

การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงสามเฟส
ANALYSIS OF EXECITATION HARMONICS IN THREE PHASE TRANSFORMER



โดย
นายเกียรติศักดิ์ จิรรัตน์โชติ
นายมานพ ประชุมพล
นายเอนก เรืองเศรษฐี

เลขหนังสือ.....
เลขทะเบียน... 42590
วัน, เดือน, ปี- 4 ส.ย. 2545

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

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2543

การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงสามเฟส
ANALYSIS OF EXECITATION HARMONICS IN THREE PHASE TRANSFORMER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัชวุฒิ นัตรอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงสามเฟส

ผู้จัดทำ

- 
1. นายเกียรติศักดิ์ จิรรัตนโชติ
 2. นายมานพ ประชุมพล
 3. นายเอนก เรืองเศรษฐี


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นหม้อแปลง 3 เฟส

นายเกียรติศักดิ์ จิรรัตน โชติ

นายมานพ ประชุมพล

นายเอนก เรืองเศรษฐี

ผศ.ดร.ชัชวาลย์ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ที่เหมือนกันทุกประการมาต่อรวมกันเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ผลตามลักษณะการต่อหม้อแปลงในระบบ 3 เฟสในสถานะไม่ได้ต่อโหลดเพื่อจะศึกษาผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้น โดยเน้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ซึ่งจะมีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสกระตุ้นหรือมีประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของกระแสพิคก จากการทำทดลองสามารถนำผลมาแสดงเป็นกราฟแท่งองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ ทำให้เปรียบเทียบกันได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ผลกับทฤษฎีอ้างอิงนั้นไปในทิศทางเดียวกัน

Analysis of excitation Harmonics in three-phase Transformer.

Mr.Kiattisak Jiraratanchot

Mr.Manop Parchoomphon

Mr.Anake Rungsatthe

Asst.Prof Dr.Chaiwut Chat-uthai Advisor

2000

Abstract

This thesis presents an analysis of the effects of harmonics as a result from excitation current of the three-phase transformer for connection as a three-phase transformer instead, the effects of the analysis of which were in accordance with a three-phase connection transformer during the state of load disconnection for the study of the effects of harmonics as a result of the excitation current with an emphasis on the third harmonics which ranges about 40% of the excitation current or approximately 2% of the coordinate current. The results from experiment can be illustrated as a bar graph of harmonic components. From these results, the comparisons of the experiment and theory are discussed.

3.2 ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว	23
3.2.1 หาขนาดพื้นที่หน้าตัด (A_C) และขนาดแกนเหล็ก ($2E$)	23
3.2.2 หาจำนวนรอบการพันลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ	24
3.2.3 หาขนาดของลวดตัวนำที่ใช้ในการพันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ	25
3.2.4 หาพื้นที่หน้าตัดรวมของลวดตัวนำ (A_{wtotal})	25
3.2.5 หาพื้นที่ใช้งานจริงในการพันลวดตัวนำหน้าต่าง (A_p)	25
3.2.6 ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดรวมของลวดตัวนำและพื้นที่ใช้งานจริงว่า สามารถพันลวดตัวนำลงไปได้จริงหรือไม่	26
3.2.7 การแก้ปัญหาเมื่อไม่สามารถพันลวดตัวนำไม่ลง	26
3.2.8 หาปริมาตรของแกนเหล็กและน้ำหนักของแกนเหล็ก	29
3.2.9 หาความยาว, ปริมาตรและน้ำหนักของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ	29
3.2.10 หาจำนวนการพันลวดตัวนำด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิตามยาว E และ $3E$ ของแกนเหล็ก	32
3.2.11 หาราคารวมของหม้อแปลงไฟฟ้า	33
3.2.12 หาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ	34
3.2.13 หาวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ	36
3.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	38
3.3.1 การทดสอบเบ็ดดวงจร	38
3.3.2 การทดสอบลัดดวงจร	40
3.4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ	42
3.5 เปรียบเทียบผล	44
3.6 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลง ไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟสจำนวน 3 ตัว	47
3.7 การทดสอบการเกิดฮาร์โมนิกส์ในหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว	50
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้น ในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส	61
4.1 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y และจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1	เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ (220 Volt)	63
4.1.2	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	66
4.1.3	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรัลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	67
4.2	การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและ จุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	68
4.2.1	เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ (220 Volt)	69
4.2.2	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	71
4.2.3	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรัลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	72
4.3	การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	73
4.3.1	เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ (220 Volt)	74
4.3.2	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	76
4.3.3	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรัลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	77
4.3.4	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ทดสอบที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	78
4.4	การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y โดยที่แยกจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิ ออกจากแหล่งจ่าย	79
4.4.1	เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ (220 Volt)	80
4.4.2	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	83
4.4.3	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของ แรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	84
4.4.4	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของ แรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของ แรงดัน V_{an} ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	85
4.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและ แยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย	86
4.5.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซ็นต์ (220 Volt)	87
4.5.2 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	90
4.5.3 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	91
4.5.4 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	92
4.5.5 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน $V_{aa'}$ ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	92
4.5.6 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	93
4.6 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่แยกจุดนิวทรัลทรอลด้านปฐมภูมิ ออกจากแหล่งจ่าย	94
4.6.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซ็นต์ (220 Volt)	95
4.6.2 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	97
4.6.3 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ในรูป Δ ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	98
4.7 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ -Y	99
4.7.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซ็นต์ (220 Volt)	100
4.7.2 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	103
4.7.3 กราฟแห่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	103
4.8 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก	105
4.8.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซ็นต์ (220 Volt)	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	108
4.8.3	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	109
4.9	การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ	110
4.9.1	เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เพลอร์เซ็นต์ (220 Volt)	111
4.9.2	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	113
4.9.3	กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส กระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	114
บทที่ 5	บทสรุป	115
5.1	พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัล ของด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	116
5.1.1	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในเฟส	116
5.1.2	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านปฐมภูมิ	117
5.1.3	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ	118
5.1.4	เมื่อทำการพิจารณากระแสที่ไหลในสายนิวทรัลของการต่อหม้อแปลง แบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัลเข้ากับแหล่งจ่าย	119
5.1.5	เมื่อทำการพิจารณาแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิ กับจุดนิวทรัลของแหล่งจ่าย ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดย ไม่ต่อจุดนิวทรัลเข้ากับแหล่งจ่าย	119
5.2	พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของด้าน ปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัล ของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	120
5.2.1	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในเฟส	120
5.2.2	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ	121
5.2.3	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในรูป Δ ของขดลวดด้าน ทุติยภูมิ	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4	เมื่อทำการพิจารณากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย	123
5.3	พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	124
5.3.1	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในเฟส	124
5.3.2	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านปฐมภูมิ	125
5.3.3	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ	126
5.3.4	เมื่อทำการพิจารณาแรงดันที่จุดเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย	127
5.3.5	เมื่อทำการพิจารณากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย	128
5.4	พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ กับการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y โดยที่จุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	129
5.4.1	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในเฟสด้านปฐมภูมิ	129
5.4.2	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ด้านปฐมภูมิ	130
5.4.3	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ	130
5.5	พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y	131
5.5.1	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสด้านปฐมภูมิ	131
5.5.2	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ	132
5.5.3	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ	133
5.5.4	เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันไลน์เทียบกับไลน์ ด้านทุติยภูมิ	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.6 พิจารณาเปรียบเทียบผลการเกิดฮาร์โมนิกส์และความผิดเพี้ยนรวมของ
สัญญาณกระแสกระตุ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดตามการต่อ
ขดลวดค้ำปฐมภูมิของหม้อแปลงแบบ Y และจุดนิวทรอลต่อรวมกับ
แหล่งจ่าย 136
- 5.7 พิจารณาเปรียบเทียบผลการเกิดฮาร์โมนิกส์และความผิดเพี้ยนรวมของ
สัญญาณกระแสกระตุ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดตามการต่อ
ขดลวดค้ำปฐมภูมิของหม้อแปลงแบบ Y และจุดนิวทรอลไม่ต่อรวมกับ
แหล่งจ่าย 137
- 5.8 พิจารณาเปรียบเทียบผลการเกิดฮาร์โมนิกส์และความผิดเพี้ยนรวมของ
สัญญาณกระแสกระตุ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดตามการต่อ
ขดลวดค้ำปฐมภูมิของหม้อแปลงแบบ Δ 138

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก จ

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 a. แสดงผลรวมของ fundamental ที่มีเฟสตรงกับฮาร์โมนิกส์ที่ 3	
b. แสดงผลรวมของ fundamental ที่มีเฟสตรงกันข้ามกับฮาร์โมนิกส์ที่ 3	4
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะไร้โหลด	6
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง φ กับ i_φ กับการ Excitation หม้อแปลงไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.4 แสดงออกซิโตแกรมของกระแสกระตุ้นพร้อมกับสเปกตรัมของ กระแสกระตุ้น i_φ	7
รูปที่ 2.5 แสดงออกซิโตแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\varphi AB}$, $i_{\varphi CA}$ และกระแส กระตุ้นในไลน์, $i_{\varphi A}$	8
รูปที่ 2.6 แสดงออกซิโตแกรมของกระแสกระตุ้นที่เกิดจากองค์ประกอบหลัก รวมกับฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และเวกเตอร์ไดอะแกรมขององค์ประกอบหลักกับ เวกเตอร์ไดอะแกรมของฮาร์โมนิกส์ที่ 3	9
รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้นที่เกิดจากองค์ประกอบหลักรวมกับ ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และเวกเตอร์ไดอะแกรมขององค์ประกอบหลักกับ เวกเตอร์ไดอะแกรมของฮาร์โมนิกส์ที่ 5	10
รูปที่ 2.8 a. วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y	
b. ออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อนปฐมภูมิเทียบกับนิวทรอล V_{AN} กระแสกระตุ้น $i_{\varphi A}$ และกระแส i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิ	13
รูปที่ 2.9 วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจร	14
รูปที่ 2.10 a. วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ แบบไม่ต่อนิวทรอล	
b. ออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล V_{AN} กระแส กระตุ้น $i_{\varphi A}$ และกระแสกระตุ้น $i_{\varphi \Delta}$ ในด้านทุติยภูมิ	16
รูปที่ 2.11 a. วงจรการต่อหม้อแปลงเฟสเดียวเป็นแบบ Y-Y	
b. ออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ V_{AB} แรงเคลื่อนเทียบกับ นิวทรอล V_{AN} กระแสกระตุ้น $i_{\varphi A}$ และแรงเคลื่อน V_{ON} ระหว่างนิวทรอล O ของแหล่งจ่ายและนิวทรอลด้านปฐมภูมิ N	17
รูปที่ 2.12 เส้นทางของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เกิดขึ้นเมื่อวงจรต่อแบบ Y-Y ที่นิวทรอลลงกราวด์ โดยต่อถึง กันด้วยสายส่งที่ยาว	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1	ภาพตัดหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	23
รูปที่ 3.2	แกน E-I มาตรฐาน	24
รูปที่ 3.3	ปริมาตรของแกนเหล็ก	29
รูปที่ 3.4	ความยาวเฉลี่ยของลวดตัวนำ	32
รูปที่ 3.5	จำนวนรอบและจำนวนชั้นในการพันลวดตัวนำ	33
รูปที่ 3.6	วงจรสมมูลย์แบบประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ	37
รูปที่ 3.7	วงจรการทดสอบเปิดวงจร	38
รูปที่ 3.8	วงจรสมมูลย์ขณะทำการทดสอบเปิดวงจร	39
รูปที่ 3.9	วงจรการทดสอบลัดวงจร	40
รูปที่ 3.10	วงจรสมมูลย์การทดสอบลัดวงจร	41
รูปที่ 3.11	วงจรสมมูลย์แบบประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว	43
รูปที่ 3.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิวัดค่าทางด้านปฐมภูมิ	49
รูปที่ 3.13	วงจรการทดสอบฮาร์โมนิกส์ขณะทำการทดสอบเปิดวงจร	50
รูปที่ 3.14	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 20% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	51
รูปที่ 3.15	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 40% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	52
รูปที่ 3.16	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 60% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	52
รูปที่ 3.17	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 80% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	53
รูปที่ 3.18	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	53
รูปที่ 3.19	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่3.20	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 110%ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	54
รูปที่3.21	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 115%ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ ตัว A	55
รูปที่3.22	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 20% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	55
รูปที่3.23	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 40% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	56
รูปที่3.24	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 60% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	56
รูปที่3.25	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 80% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	57
รูปที่3.26	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	57
รูปที่3.27	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	58
รูปที่3.28	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 110% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	58
รูปที่3.29	รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และ <i>Spectrum</i> ทางด้านทุติยภูมิที่ 115% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A	59
รูปที่4.1	แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y และจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	62
รูปที่4.2	a.แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{qd} เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{qd} ด้านปฐมภูมิ	63
รูปที่4.3	a.แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสแอส i_N ในสายนิวทรอล b.แสดงสเปกตรัมของกระแสแอส i_N ในสายนิวทรอล	63
รูปที่4.4	a.แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ	64
รูปที่4.5	a.แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.6	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่ พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	66
รูปที่4.7	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรอลด้าน ปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	67
รูปที่4.8	แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก และจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	68
รูปที่4.9	a.แสดงออกซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	69
รูปที่4.10	a.แสดงออกซิลโลแกรมของกระแส i_N ในสายนิวทรอล b.แสดงสเปกตรัมของกระแส i_N ในสายนิวทรอล	69
รูปที่4.11	a.แสดงออกซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ด้านทุติยภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ด้านทุติยภูมิ	70
รูปที่4.12	a.แสดงออกซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ	72
รูปที่4.13	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	72
รูปที่4.14	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรอล ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	72
รูปที่4.15	แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย	73
รูปที่4.16	a.แสดงออกซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	74
รูปที่4.17	a.แสดงออกซิลโลแกรมของกระแส i_N ในนิวทรอล b.แสดงสเปกตรัมของกระแส i_N ในนิวทรอล	74
รูปที่4.18	a.แสดงออกซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ	75
รูปที่4.19	a.แสดงออกซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	75
รูปที่4.20	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.21	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรัล ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	77
รูปที่4.22	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	78
รูปที่4.23	แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y โดยที่แยกจุดนิวทรัลของ ด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย	79
รูปที่4.24	a.แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันไลน์ V_{AB} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	80
รูปที่4.25	a.แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ	80
รูปที่4.26	a.แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ	81
รูปที่4.27	a แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	81
รูปที่4.28	a.แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	82
รูปที่4.29	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	84
รูปที่4.30	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัด แรงดันทดสอบต่างๆ	84
รูปที่4.31	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	85
รูปที่4.32	กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{an} ด้านทุติยภูมิที่พิกัด แรงดันทดสอบต่างๆ	85
รูปที่4.33	แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก และแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย	86
รูปที่4.34	a.แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	87
รูปที่4.35	a.แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.36 a. แสดงออกซิติโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ	88
รูปที่ 4.37 a. แสดงออกซิติโลแกรมของแรงดัน V_{aa} ที่ตักคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{aa} ที่ตักคร่อมขดลวด ด้านทุติยภูมิ	88
รูปที่ 4.38 a. แสดงออกซิติโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ	91
รูปที่ 4.39 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	91
รูปที่ 4.40 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัด แรงดันทดสอบต่างๆ	91
รูปที่ 4.41 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	92
รูปที่ 4.42 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{aa} ที่ตักคร่อมขดลวด ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	92
รูปที่ 4.43 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออก ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	93
รูปที่ 4.44 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่แยกจุดนิวทรัลของ ด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย	94
รูปที่ 4.45 a. แสดงออกซิติโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO} ด้านปฐมภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	95
รูปที่ 4.46 a. แสดงออกซิติโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ	95
รูปที่ 4.47 a. แสดงออกซิติโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ	96
รูปที่ 4.48 a. แสดงออกซิติโลแกรมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	96
รูปที่ 4.49 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่ พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	98
รูปที่ 4.50 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.51 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ -Y	99
รูปที่ 4.52 a. แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	100
รูปที่ 4.53 a. แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ	100
รูปที่ 4.54 a. แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ	101
รูปที่ 4.55 แสดงสเปกตรัมของแรงดัน ไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	101
รูปที่ 4.56 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	103
รูปที่ 4.57 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	104
รูปที่ 4.58 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก	105
รูปที่ 4.59 a. แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	106
รูปที่ 4.60 a. แสดงออกซิดโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านทุติยภูมิ	106
รูปที่ 4.61 a. แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดัน V_{aa} ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{aa} ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ	107
รูปที่ 4.62 a. แสดงออกซิดโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ	
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออก ด้านทุติยภูมิ	107
รูปที่ 4.63 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	108
รูปที่ 4.64 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	109
รูปที่ 4.65 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.66 a.แสดงออกซิติโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ	
b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ	111
รูปที่ 4.67 a.แสดงออกซิติโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ	
b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ	111
รูปที่ 4.68 a.แสดงออกซิติโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi \Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ	
b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi \Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ	112
รูปที่ 4.69 a.แสดงออกซิติโลแกรมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	
b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ	112
รูปที่ 4.70 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	113
รูปที่ 4.71 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ	114
รูปที่ 5.1 a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	
b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ	116
รูปที่ 5.2 a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	
b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ	117
รูปที่ 5.3 a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	
b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ	118
รูปที่ 5.4 แสดงสเปกตรัมกระแสในสายนิวทรัลของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	119
รูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิกับจุดนิวทรัล ของแหล่งจ่ายของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรัล	119
รูปที่ 5.6 a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	
b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ	120
รูปที่ 5.7 a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	
b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ	121
รูปที่ 5.8 a.แสดงสเปกตรัมกระแสในรูป Δ ของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	
b.แสดงสเปกตรัมกระแสในรูป Δ ของการต่อแบบ Y- Δ โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ	122
รูปที่ 5.9 แสดงสเปกตรัมกระแสในสายนิวทรัลของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรัลฯ	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 5.10 a. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรัลฯ
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ 124
- รูปที่ 5.11 a. แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรัลฯ
b. แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ 125
- รูปที่ 5.12 a. แสดงสเปกตรัมแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรัลฯ
b. แสดงสเปกตรัมแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ 126
- รูปที่ 5.13 a. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรัลฯ
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ 127
- รูปที่ 5.14 แสดงสเปกตรัมของกระแสที่ไหลในสายนิวทรัลของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรัลฯ 128
- รูปที่ 5.15 a. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่เฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่เฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y 129
- รูปที่ 5.116a. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y 130
- รูปที่ 5.17 a. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y 131
- รูปที่ 5.18 a. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 5.19 a.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของการต่อหม้อแปลง
แบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของการต่อ หม้อแปลง
แบบ Δ -Y 132
- รูปที่ 5.20 a.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อหม้อ
แปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อ หม้อแปลง
แบบ Δ -Y 133
- รูปที่ 5.21 a.แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์เทียบกับไลน์ด้านทุติยภูมิของการต่อหม้อแปลง
แบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์เทียบกับไลน์ด้านทุติยภูมิของการต่อ หม้อแปลง
แบบ Δ -Y 134

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพื้นฐานและคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า	22
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว	42
ตารางที่ 3.3 ผลของการคำนวณหาค่าวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส 3 ตัว	42
ตารางที่ 3.4 ผลเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Area Product กับผลการพันจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส 3 ตัว	45
ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิวัดค่าทางด้านทุติยภูมิของ หม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส 3 ตัว	47
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเปรียบเทียบการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ %THD เมื่อด้าน ปฐมภูมิต่อแบบ Y และจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายที่พิกัด ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (220 Volt) เมื่อทางด้านทุติยภูมิต่อแบบต่างๆ	136
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเปรียบเทียบการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ %THD เมื่อด้าน ปฐมภูมิต่อแบบ Y และจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิแยกออกจากแหล่งจ่ายที่พิกัด ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (220 Volt) เมื่อทางด้านทุติยภูมิต่อแบบต่างๆ	137
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าเปรียบเทียบการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ %THD เมื่อด้าน ปฐมภูมิต่อแบบ Δ ที่พิกัดทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (220 Volt) เมื่อทางด้านทุติยภูมิ ต่อแบบต่างๆ	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

วัตถุประสงค์ของปริญญาณิพนธ์เล่มนี้ เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง 3 เฟส ในขณะที่ไม่มีโหลด และจะทำการพิจารณาในกรณีที่น่าหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว ที่มีค่าต่างๆในวงจรสมมูลย์ใกล้เคียงกัน มาต่อเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส ซึ่งปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นจากการนำเอาหม้อแปลงไฟฟ้ามาต่อเป็นแบบต่างๆ โดยสนใจปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และทำการทดสอบที่พิกัดแรงดันต่างๆ เพื่อพิจารณาว่าการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ ว่ามีปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 หรือไม่อย่างไรโดยสนใจการต่อแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y และจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่าย
 - 1.1 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Y
 - 1.2 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ
 - 1.3 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจรออก
2. เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y ไม่ได้ต่อจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย
 - 2.1 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Y
 - 2.2 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ
 - 2.3 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจรออก
3. เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ
 - 3.1 การต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Y
 - 3.2 การต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
 - 3.3 การต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจรออก

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดฮาร์โมนิกส์ในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสจะพิจารณาตามลักษณะของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ ซึ่งจะเน้นที่การเกิดและผลของการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และฮาร์โมนิกส์ที่ 5 เพราะจะมีค่าองค์ประกอบที่มากพอที่จะทำให้ลักษณะของสัญญาณเปลี่ยนไป

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว และทำการทดสอบหาคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทั้ง 3 ตัว เพื่อทำการปรับแต่งให้หม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัวมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และสุดท้ายทำการทดสอบปรากฏการณ์ของการเกิดฮาร์โมนิกส์ในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จะเน้นองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ 5

บทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสตามลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ โดยจะทำการแสดงผลในรูปของสัญญาณ และในรูปของสเปกตรัมของสัญญาณเพื่อจะทำการดูผลขององค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ 5 ว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไรในกรณีต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆรวมทั้งเมื่อเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

บทที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ผลโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากบทที่ 4 ตามลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ โดยจะทำการพิจารณาเป็นคู่เช่น การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยนิวัตลดด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย กับการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยนิวัตลดด้านปฐมภูมิไม่ได้ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย เป็นต้น ว่ามีปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ตามลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวมาต่อเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 3 เฟสนั้น ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ผลจากรูปของสเปกตรัมขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ต่างๆเทียบกับองค์ประกอบหลัก (fundamental) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผลที่ได้จะเห็นว่าองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ต่างๆจะมีขนาดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับองค์ประกอบหลัก และผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่จะทำการวิเคราะห์ผลจะเน้นที่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ 5 เพราะจะมีผลต่อลักษณะของสัญญาณรูปคลื่นมากที่สุด

บทที่ 2 ทฤษฎีฮาร์โมนิกส์

2.1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์และนิยามต่างๆ

ในทางไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) คือ สัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ โดยที่อุปกรณ์ในระบบต่ออยู่เป็นอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) โดยสัญญาณนี้เป็นสัญญาณไซน์ และจะมีความถี่เป็นจำนวนเท่า (จำนวนเต็ม) ของสัญญาณไซน์ที่มีความถี่มูลฐานของระบบ ผลของฮาร์โมนิกส์คือทำให้สัญญาณไซน์ภายในระบบไม่เป็นไซน์อีกต่อไปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ Fourier Series ว่าสัญญาณรูปร่างในระบบที่เปลี่ยนไปสามารถแทนได้ด้วยผลรวมของสัญญาณไซน์ โดยมีความถี่ต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน โดยแสดงในรูปของสมการ

$$X(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \quad (2-1)$$

เมื่อ
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt \quad (2-2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos(n\omega t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2-3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin(n\omega t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2-4)$$

$x(t)$ คือ ค่าของฟังก์ชันที่แปรตามเวลา

a_0 คือ ค่าคงที่ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของฟังก์ชัน $x(t)$

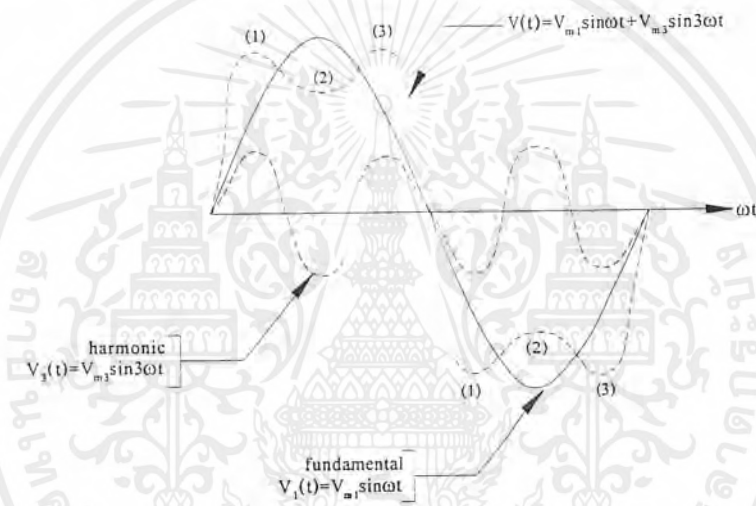
a_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ $\cos(n\omega t)$ ของอนุกรมฟังก์ชัน $x(t)$

b_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ $\sin(n\omega t)$ ของอนุกรมฟังก์ชัน $x(t)$

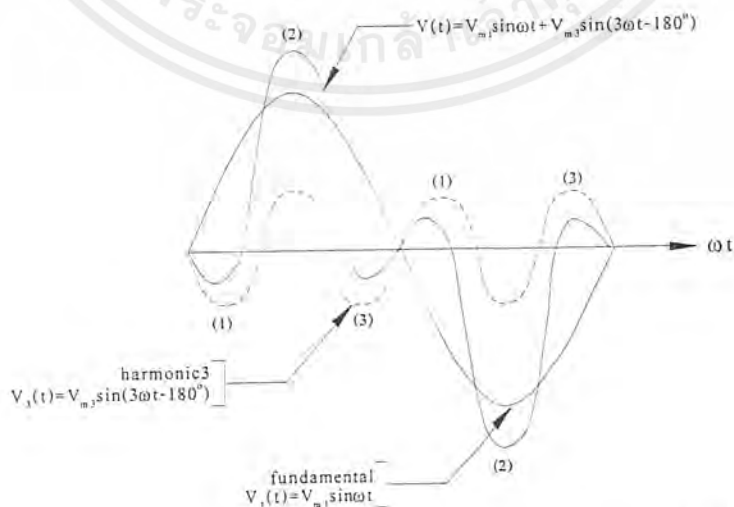
ω คือ ค่าความเร็วเชิงมุม (radian/second)

T คือ คาบเวลา (second)

รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่นสัญญาณรบกวนที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณไซน์สองรูป ซึ่งรูปแรกเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่มูลฐาน (fundamental) และอีกรูปเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เป็น 3 เท่าของความถี่มูลฐาน (ฮาร์โมนิกที่ 3) ซึ่งในรูปที่ 2.1a. เป็นรูปสัญญาณรบกวนที่เกิดจากผลรวมของสัญญาณไซน์ที่มีความถี่มูลฐาน (fundamental) กับสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เป็น 3 เท่าของความถี่มูลฐาน (ฮาร์โมนิกที่ 3) ซึ่งมีเฟสตรงกัน ส่วนรูปที่ 2.1b. เป็นรูปสัญญาณรบกวนที่เกิดจากผลรวมของสัญญาณไซน์ที่มีความถี่มูลฐาน (fundamental) กับสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เป็น 3 เท่าของความถี่มูลฐาน (ฮาร์โมนิกที่ 3) ซึ่งมีเฟสตรงกันข้ามกัน



รูปที่ 2.1a. แสดงผลรวมของ fundamental ที่มีเฟสตรงกับฮาร์โมนิกที่ 3



รูปที่ 2.1b. แสดงผลรวมของ fundamental ที่มีเฟสตรงกันข้ามกับฮาร์โมนิกที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในการศึกษาและวิเคราะห์ผลเกี่ยวกับสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณไซน์ อันเกิดจากผลรวมของสัญญาณที่มีความถี่มูลฐานกับสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานนั้น แต่ละสัญญาณจะมีความถี่ของสัญญาณไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับลักษณะของผลรวมของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งความถี่ของสัญญาณจะสามารถหาได้จากสมการดังนี้ [3]

2.1.1 ค่าความเพี้ยนของฮาร์โมนิกส์แต่ละตัว (Individual Harmonic Distortion ; D_n)

$$D_n = \left(\frac{f_n}{f_1} \right) \times 100\% \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (2-5)$$

2.1.2 ค่าความเพี้ยนของฮาร์โมนิกส์รวม (Total Harmonics Distortion ; THD)

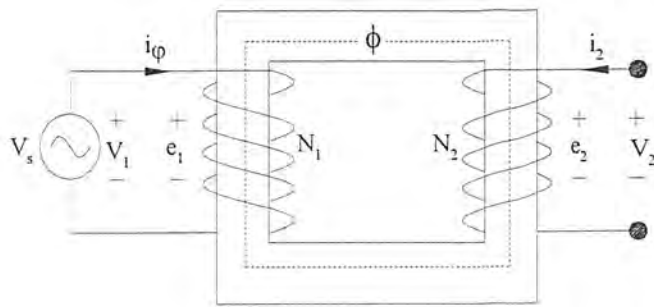
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} f_n^2}}{f_1} \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (2-6)$$

โดยที่ f_n คือ ค่าของฟังก์ชันที่ฮาร์โมนิกส์ที่ n
 f_1 คือ ค่าของฟังก์ชันที่ความถี่มูลฐาน
 n คือ ลำดับฮาร์โมนิกส์

2.2 ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากระแสกระตุ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานะไร้โหลด ดังรูปที่ 2.2 เมื่อขั้วทั้งสองด้าน ทุดิขุมิเปิดวงจรออก และมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้าที่ขั้วทั้งสองทางด้าน ปฐมภูมิ ของหม้อแปลงทำให้เกิดมีกระแสในสถานะอยู่ตัว ไหลในวงจรทางด้าน ปฐมภูมิ ซึ่งเรียกว่า กระแสกระตุ้น (exciting current : i_ϕ) และกระแสไฟฟ้า i_ϕ ทำให้เกิดฟลักซ์ไหลในวงจรแม่เหล็ก และฟลักซ์นี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดทั้งสองด้านเท่ากับ e_1 และ e_2 ตามลำดับ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรของหม้อแปลงในสภาวะไร้โหลด

ตามกฎของ ฟาราเดย์ และ กฎของ เลนส์นั้นเมื่อไม่คิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานของขดลวดค้ำ ปฐมภูมิ เนื่องจากกระแสกระตุ้นมีค่าน้อย ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e_1) เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดค้ำ ปฐมภูมิ (v_1) และแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะนำหน้าฟลักซ์อยู่ 90 องศา ได้ค่าอาร์เอ็มเอส (rms) ของ e_1 เท่ากับ

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \tag{2-7}$$

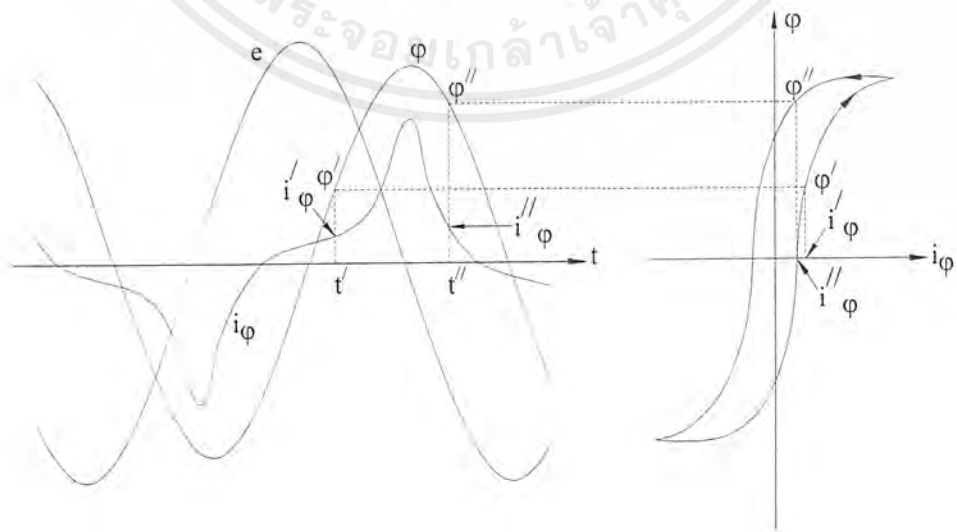
เมื่อ

E_1 คือ แรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอส (rms)

f คือ ความถี่ไฟฟ้าของ fundamental

N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดค้ำ ปฐมภูมิ

ϕ_m คือ เส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

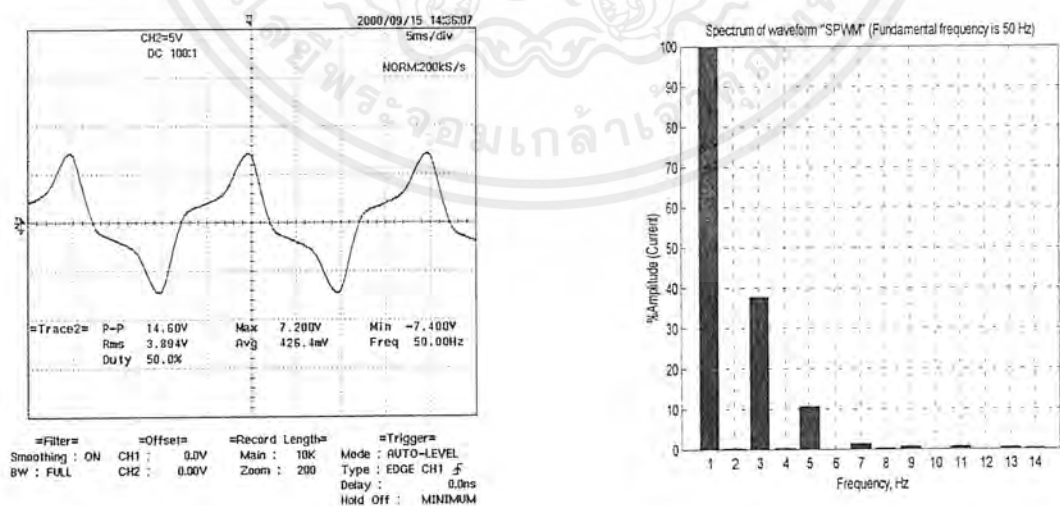


รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ กับ i_ϕ กับการ Excitation หม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 2.3 จากคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเหล็กจะเป็นตัวกำหนดกระแสกระตุ้น (i_ϕ) มันจึงจะต้องปรับตัวเองเพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กพอที่จะทำให้เกิดฟลักซ์สูงสุด (ϕ_m) ตามต้องการ เนื่องจากคุณสมบัติของแกนเหล็กไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อกราฟของกระแสกระตุ้น (i_ϕ) จะต้องหาจากวงรอบของฮิสเทอรีซิสของแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า ขณะที่เวลา t' ฟลักซ์จะมีค่าเท่ากับ ϕ' ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับวงรอบฮิสเทอรีซิส ในสภาวะกำลังจะมีค่าเพิ่มขึ้น จะได้ค่ากระแสกระตุ้น i'_ϕ ในสภาวะต่อมา ที่เวลา t'' ฟลักซ์จะมีค่าเท่ากับ ϕ'' ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับวงรอบฮิสเทอรีซิส ในสภาวะกำลังจะมีค่าลดลง จะได้ค่ากระแสกระตุ้น i''_ϕ ทำเช่นนี้ไป สำหรับทุกๆค่าของ t จาก 0 ถึง $2\pi/\omega$ ก็จะได้กราฟของกระแสกระตุ้น i_ϕ ในหนึ่งไซเคิล

ดังนั้นเมื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้ Fourier Series จะพบว่า กระแสกระตุ้น i_ϕ จะประกอบไปด้วย fundamental กับ ฮาร์โมนิกส์ที่เท่ากันซึ่งส่วนประกอบของ fundamental จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีเฟสตรงกับ e_1 และส่วนที่ล่าหลัง e_1 อยู่ 90 องศา ส่วนที่มีเฟสตรงกับ e_1 จะตรงกับการเกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากฮิสเทอรีซิสกับเอ็ดดีเคอร์เรนท์ (การสูญเสียในแกนเหล็ก) ซึ่งเรียกว่า core-loss component ของกระแสกระตุ้น (i_ϕ) เขียนแทนด้วย i_c และเมื่อนำ i_c ไปลบออกจากกระแสกระตุ้น (i_ϕ) กระแสที่เหลือจะเรียกว่า magnetizing current เขียนแทนด้วย i_m ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนของ fundamental ที่ล่าหลัง e_1 อยู่ 90 องศา กับฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด และฮาร์โมนิกส์ที่สำคัญที่สุดคือ ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ซึ่งอาจมีค่าถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสกระตุ้น และกระแสกระตุ้นมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่โหลดเต็มพิกัด [6]



รูปที่ 2.4 แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้นพร้อมกับสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น (i_ϕ)

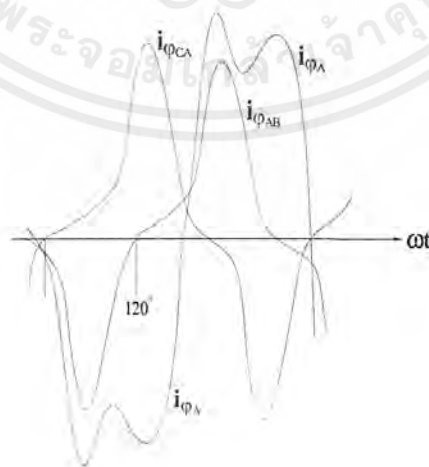
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง 3 เฟส

โดยปกติการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า เราจะพยายามให้ปริมาณของเหล็กน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งหมายความว่าเราจะต้องรักษาความแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กให้มีค่าค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามแกนเหล็กมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น นั่นคือ การเกิดฮิสเทอรีซิสทำให้ magnetizing current ทางด้านปฐมภูมิ ของหม้อแปลงไฟฟ้าผิดเพี้ยนเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ขึ้น โดยทั่วไปขนาดของฮาร์โมนิกส์ที่ 5 หรือสูงกว่าจะมีขนาดต่ำกว่าเทียบกับฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เราจึงถือว่ากระแสทางปฐมภูมิ ในสถานะไม่มีโหลดจะมีแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และมีขนาดแปรตามขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนทางด้านปฐมภูมิ นั่นเอง ดังนั้น เราอาจจะถือว่าฟลักซ์ในแกนเหล็กเป็นไซน์ซอซอด์ได้ สำหรับหม้อแปลงสามเฟส ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อวิธีการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า และชนิดของการสร้างซึ่งเราจะแยกพิจารณาเป็นกรณีไปดังต่อไปนี้

2.3.1 เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ

พิจารณาเมื่อด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อแบบ Δ และด้านทุติยภูมิทำการเปิดวงจรออกหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัวเหมือนกันทุกประการ จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงแบบสมดุทธ์ จึงได้ลักษณะของสัญญาณของกระแสกระตุ้นทั้ง 3 เฟสเหมือนกันทุกประการแต่ต่างเฟสกัน 120 องศา ซึ่งสัญญาณของกระแสกระตุ้นนั้นจะไม่ใช่สัญญาณไซน์อันเกิดจากคุณสมบัติของแกนเหล็กดังกล่าวไว้แล้วในข้อ 2.2



รูปที่ 2.5 แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi_{AB}}$, $i_{\phi_{CA}}$ และกระแสกระตุ้นในไลน์ i_{ϕ_A} เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

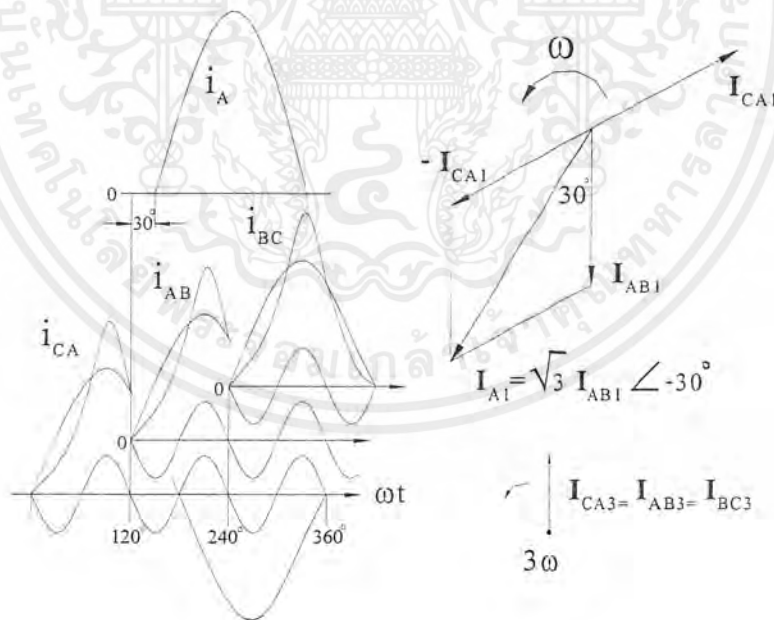
พิจารณารูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นในแต่ละเฟสจะมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีปลายแหลมซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 แต่กระแสกระตุ้นในไลน์จะเป็นลักษณะของสัญญาณที่เป็นดับเบิลท็อปซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 5 จึงเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นในไลน์จะไม่มีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ ดังสมการ

$$i_{\phi A} = i_{\phi AB} - i_{\phi CA} \quad (2-8)$$

2.3.1.1 เมื่อทำการพิจารณากระแสกระตุ้นที่มีองค์ประกอบหลัก (Fundamental)

กับฮาร์โมนิกส์ที่ 3

ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่ากระแสในเฟส i_{AB} , i_{BC} , i_{CA} ซึ่งลักษณะของสัญญาณนั้นจะเหมือนกันแต่จะต่างเฟสกัน 120 องศา สัญญาณของกระแสในเฟสซึ่งประกอบไปด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้นที่เกิดจากการองค์ประกอบหลักรวมกับฮาร์โมนิกส์ที่ 3

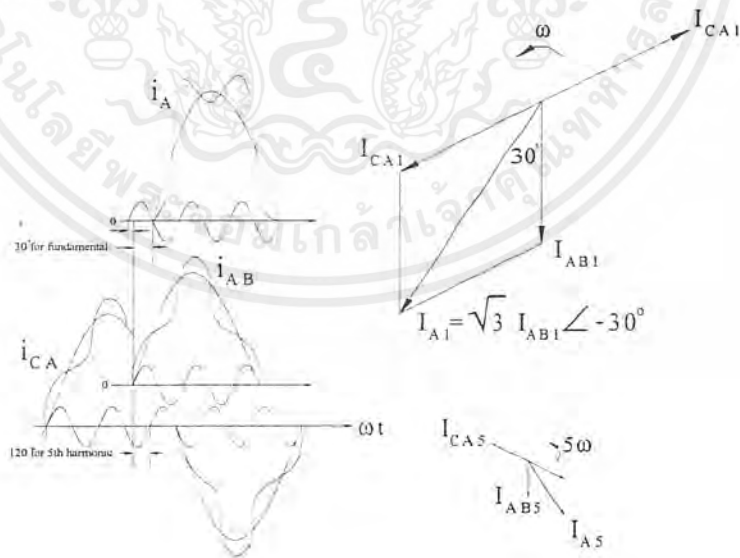
และ เวกเตอร์ไดอะแกรมขององค์ประกอบหลักกับเวกเตอร์ไดอะแกรมของฮาร์โมนิกส์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหลัก (Fundamental) กับฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เท่านั้น จึงทำให้ลักษณะของสัญญาณกระแสในเฟสเป็นสัญญาณที่มียอดแหลมแบบสมมาตรและเมื่อพิจารณาสัญญาณกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในแต่ละเฟสนั้นซึ่งจะมีเฟสตรงกัน คือ i_{CA3} จะมีเฟสตรงกับ i_{AB3} และ i_{BC3} ดังนั้นตามสมการที่ (2-8) ทำให้สัญญาณกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 i_{CA3} หักล้างกับสัญญาณกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 i_{AB3} ทำให้สัญญาณกระแสในไลน์ i_A เป็นผลรวมของสัญญาณกระแสองค์ประกอบหลัก i_{AB1} กับกระแสองค์ประกอบหลัก i_{AC1} จึงทำให้สัญญาณกระแสในไลน์เป็นสัญญาณไซน์

2.3.1.2 เมื่อพิจารณากระแสกระตุ้นที่มีองค์ประกอบหลัก (Fundamental) กับฮาร์โมนิกส์ที่ 5

ดังรูปที่ 2.6 ในการพิจารณาองค์ประกอบของกระแสกระตุ้นซึ่งคิดเฉพาะองค์ประกอบหลัก (Fundamental) รวมกับฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ดังรูป 2.7 จะเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นในแต่ละเฟส i_{AB}, i_{CA} ซึ่งแต่ละเฟสจะมีขนาดเท่ากันแต่ต่างเฟสกัน 120 องศา และฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของแต่ละเฟสจะมีขนาดเท่ากันแต่จะมีเฟสต่างกัน 120 องศา พิจารณารูป 2.7 เห็นว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{AB5} จะมีเฟสล่าหลังองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{CA5} เป็นมุม 240 องศา หรือองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{AB5} จะมีเฟสนำหน้าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{CA5} เป็นมุม 120 องศา



รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณของกระแสกระตุ้นที่เกิดจากองค์ประกอบหลักรวมกับฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ

เวกเตอร์ไดอะแกรมขององค์ประกอบหลักกับเวกเตอร์ไดอะแกรมของฮาร์โมนิกส์ที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการที่ (2-8) จะได้กระแสที่เกิดขึ้นในไลน์ i_A ซึ่งเกิดจากกระแส i_{AB} รวมกับกระแส i_{CA} ที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแส i_{AB} เนื่องจากฮาร์โมนิกที่ 5 เมื่อรวมกันแล้วมีขนาดเป็น 1.732 เท่าของฮาร์โมนิกที่ 5 ในเฟสและมีเฟสนำหน้าไปเป็นมุม 30 องศา (i_{A5} lead i_{AB5}) จึงมีผลทำให้กระแสในไลน์ i_A เป็นสัญญาณดับเบิ้ลที่ออปที่สมมาตร อันเป็นผลจากฮาร์โมนิกที่ 5 ดังรูป 2.7

2.3.1.3 บทสรุปของลำดับเฟสผลของฮาร์โมนิกที่ลำดับต่างๆ ได้ดังนี้

PHASE RELATIONS AMONG THE HARMONICS IN THREE-PHASE CIRCUIT

HARMONIC	PHASE ORDER
1, 4, 7, 10, 13, etc.	ABC (Positive Sequence)
2, 5, 8, 11, 14, etc.	CBA (Negative Sequence)
3, 6, 9, 12, 15, etc.	ABC (Zero Sequence)

2.3.1.4 ค่าประสิทธิผลของกระแสกระตุ้นในเฟสและไลน์ ของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ

1.ค่าประสิทธิผลของกระแสกระตุ้นในเฟส $i_{\phi AB}$

$$i_{\phi AB} = (i_{\phi AB1} + i_{\phi AB3} + i_{\phi AB5} + \dots)^{1/2} \quad (2-9)$$

2.ค่าประสิทธิผลของกระแสกระตุ้นในไลน์ $i_{\phi A}$

$$i_{\phi A} = 1.732 (i_{\phi AB1} + 0 + i_{\phi AB5} + \dots)^{1/2} \quad (2-10)$$

$$i_{\phi A} = 1.732 (i_{\phi AB}^2 - i_{\phi AB3}^2)^{1/2}$$

เมื่อฮาร์โมนิกที่ 3 จะมีค่าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของกระแสกระตุ้น ดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นในไลน์จะมีค่าประมาณ

$$i_{\phi A} = 1.732 [i_{\phi AB}^2 - (0.415 i_{\phi AB3})^2]^{1/2}$$

$$i_{\phi A} = 1.5588 i_{\phi AB} \quad (2-11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.5 เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าต่อแบบ Δ -Y และ Δ - Δ จะเห็นได้ว่าจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นไหลในแต่ละเฟส ของการต่อขดลวดด้านปฐมภูมิเป็นแบบ Δ ซึ่งกรณีนี้จะทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกรวมลิกเกจิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเส้นแรงแม่เหล็กที่รวมกันจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนซึ่งจะมีขนาดเท่ากันแต่จะมีเฟสตรงกันข้ามกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนที่ตกรวมลิกเกจิมพีแดนซ์ด้านปฐมภูมิ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเส้นแรงแม่เหล็กที่รวมกันจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนจะมีขนาดประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ของขนาดพิกัดแรงดันซึ่งจะมีเฟสกันทั้ง 3 เฟส

เมื่อทำการพิจารณาด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบ Y โดยทำการแยกจุดนิวทรอลกับดิน ซึ่งจะมีองค์ประกอบที่ 3 ของกระแสกระตุ้นไหลในแต่ละเฟสด้านปฐมภูมิ จะทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกรวมลิกเกจิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเส้นแรงแม่เหล็กที่รวมกันจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนขนาดเล็กๆ โดยจะปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนไฟฟ้าไลน์กับนิวทรอลแต่จะไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์

เมื่อทำการพิจารณาด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบ Δ ซึ่งจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิจะทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสไหลวนในรูปของขดลวด Δ ด้านทุติยภูมิ อันจะมีผลทำให้เกิดการหักล้างกันระหว่างองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ทำให้มีขนาดลดลง และองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนก็จะมีขนาดลดลงด้วย

2.3.2 เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y

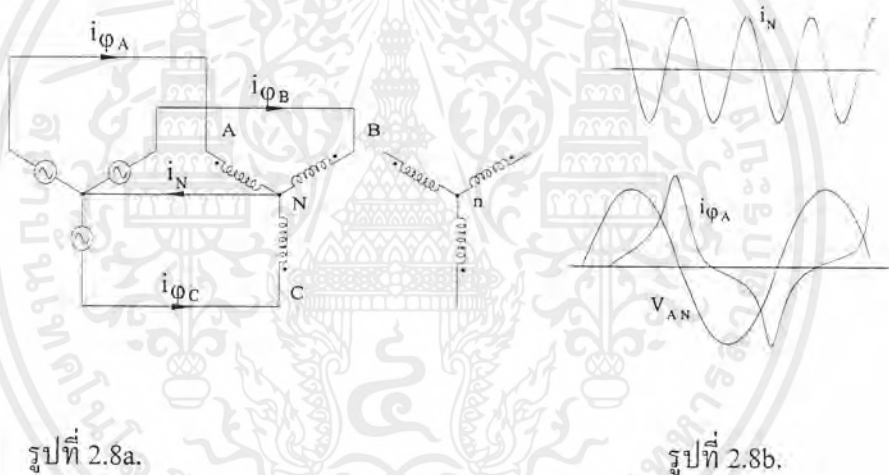
เนื่องจากฮาร์โมนิกของกระแสกระตุ้นมีขนาดเล็ก เรามักจะไม่คิดผลของมันแต่ลักษณะพิเศษของฮาร์โมนิกในระบบ 3 เฟสนี้ ในบางครั้งอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบได้โดยเฉพาะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรอลด้านทุติยภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย ของหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว 3 ชุดมาต่อร่วมกัน กระแสฮาร์โมนิกขนาดเล็กๆ ที่เกิดจากการต่อลักษณะนี้ อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบโทรคมนาคมที่อยู่ใกล้ๆ ได้อย่างรุนแรง รายละเอียดของปรากฏการณ์ฮาร์โมนิกดังต่อไปนี้

จากคุณสมบัติของการต่อแบบ Y นั้นมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากกับการแยกหรือต่อจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย และทางด้านทุติยภูมิต่อแบบ Y- Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 การต่อแบบ Y-Y และจุดนิวทรัลของปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่าย

ในลำดับแรกพิจารณาตัวอย่างง่าย ๆ ของการต่อแบบ Y-Y ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวที่เหมือน กันทุกประการและเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ จุดนิวทรัลของปฐมภูมิต่อกับนิวทรัลของแหล่งจ่าย รูป 2.8b. แสดงออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อน V_{AN} ที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ และแสดงกระแส i_N ในสายนิวทรัล แรงเคลื่อนที่จ่ายให้เป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นกระแสกระตุ้นก็จะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับคี่ซึ่งฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีขนาดใหญ่ที่สุดถ้าหากว่าหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว เหมือนกันทุกประการและแรงเคลื่อนสมดุล กระแสกระตุ้น $i_{\phi A}, i_{\phi B}, i_{\phi C}$ ก็จะเหมือนกันทุกประการเว้นแต่ความสัมพันธ์ของเฟสที่ต่างกัน 120° องศา



รูปที่ 2.8a.

รูปที่ 2.8b.

รูปที่ 2.8 2.8a. วงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y

2.8b. ออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อนปฐมภูมิเทียบกับนิวทรัล V_{AN} กระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ และกระแสในสายนิวทรัลด้านปฐมภูมิ

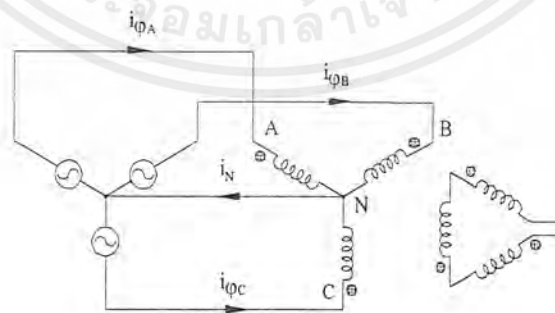
กระแสในสายนิวทรัลเป็นผลรวมของกระแส กระตุ้น $i_{\phi A}, i_{\phi B}, i_{\phi C}$ เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีลักษณะเหมือนกัน และแรงเคลื่อนสมดุล องค์ประกอบหลักของกระแสกระตุ้นทั้งสามจะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีขนาดเท่ากันแต่ต่างเฟสกัน 120 องศาจึงได้ผลรวมเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีองค์ประกอบของกระแสหลักในสายนิวทรัล แต่ เนื่องจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีเฟสตรงกัน ดังนั้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสในสายนิวทรัล จึงเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเท็จจริงนี้แสดงให้เห็นได้ดังรูป 2.8b องค์ประกอบความถี่มูลฐาน (fundamental frequency component) ค่าน้อยๆของกระแสนิวทรอล i_N เกิดจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันในสนามแม่เหล็กกระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสาม องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น ทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนตกคร่อมลิกเกอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อแรงเคลื่อนของเฟสที่จ่ายให้ทางปฐมภูมิการเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเส้นแรงแม่เหล็กร่วมก็จะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขนาดน้อยๆ อยู่ ซึ่งจะปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนของเฟสด้านทุติยภูมิแต่ไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนของไลน์ พิจารณาในเชิงปริมาณ กระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของกระแสพิคก องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสกระตุ้นหรือประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของกระแสพิคก กระแสนิวทรอลเป็น 3 เท่า ของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 หรือ ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ของกระแสพิคกซึ่งถือว่าน้อยมาก แม้ว่าคุณสมบัติของการต่อแบบ Y-Y จะเป็นที่น่าสนใจ เมื่อต่อนิวทรอลของปฐมภูมิเข้ากับนิวทรอลของแหล่งจ่าย แต่กระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในไลน์ ซึ่งเกิดจากการต่อแบบนี้อาจจะไปเหนี่ยวนำและรบกวนระบบสื่อสารที่ขนานไปกับสายส่งกำลังไฟฟ้าได้

2.3.2.2 การต่อ Y- Δ และจุดนิวทรอลของปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่าย

พิจารณาการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมือนกันทุกประการทั้ง 3 ตัว โดยทางปฐมภูมิต่อแบบ Y ส่วนทางทุติยภูมิต่ออนุกรมกันพร้อมที่จะต่อให้เป็นแบบ Δ ดังรูป 2.9 ซึ่งเปิดวงจรที่มุมหนึ่งของ Δ



รูปที่ 2.9 วงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจร

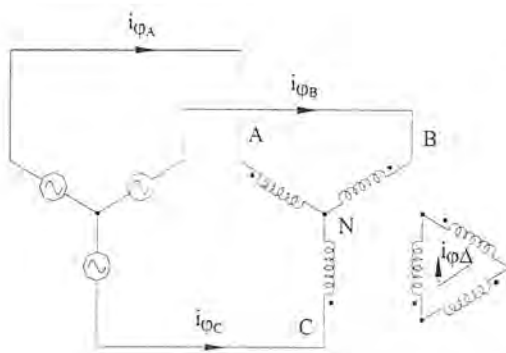
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดนิวทออลของปฐมภูมิต่อกับจุดนิวทออลของแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนสมมูลรูปชายน้ทางด้านปฐมภูมิของวงจรจะมีคุณสมบัติเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือแรงเคลื่อนด้านปฐมภูมิมีการเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวได้รับกระแสกระตุ้นจากโหนดด้านปฐมภูมิดังแสดงด้วยออสซิลโลแกรมในรูป 2.8b.

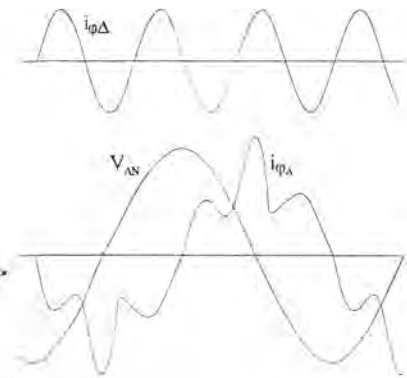
องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นทำให้เกิดแรงเคลื่อนของฮาร์โมนิกที่ 3 ขนาดน้อยๆ ตกรวมถึงเกอิมพีแดนซ์ทางปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็ก รวมทั้งมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ขนาดน้อยๆ ปนอยู่ซึ่งจะปรากฏออกมาเป็นองค์ประกอบของแรงเคลื่อนขนาดน้อยๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากแรงเคลื่อนของฮาร์โมนิกที่ 3 ในหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสามมีเฟสตรงกัน แรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบ Δ ที่จุดเปิดจึงมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 เป็น 3 เท่าของแรงเคลื่อนของฮาร์โมนิกที่ 3 ที่เกิดขึ้นในทุติยภูมิแต่ละชุด ส่วนฮาร์โมนิกที่ 1, 5, 7 ฯลฯ ของทุติยภูมิทั้ง 3 ชุด มีขนาดเท่ากันแต่เฟสต่างกัน 120 องศา ผลรวมเท่ากับศูนย์และไม่มีแรงเคลื่อนตกรวมที่จุดเปิดของ Δ ถ้าไม่คิดฮาร์โมนิกอันดับสูงกว่า 7 แรงเคลื่อนที่ปรากฏที่จุดเปิดของ Δ จะเป็น 3 เท่าของแรงเคลื่อนฮาร์โมนิกที่ 3 ที่เกิดขึ้นในชุดทุติยภูมิแต่ละชุด โดยที่หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสามเหมือนกันทุกประการและแรงเคลื่อนที่จ่ายให้สมมูลย์ แม้ว่าแรงเคลื่อนฮาร์โมนิกที่ 3 มักจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับแรงเคลื่อนทุติยภูมิที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า แต่ก็มีผลกระทบที่สำคัญต่อปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กเมื่อเป็นวงจรปิดของ Δ ซึ่งจะได้อีกกล่าวต่อไป

ถ้าปิดวงจร Δ แรงเคลื่อนไฟฟ้าฮาร์โมนิกที่ 3 ทางด้านทุติยภูมิ จะทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 ทางด้านทุติยภูมิไหลวนในวงจรทุติยภูมิ Δ แรงเคลื่อนแม่เหล็กฮาร์โมนิกที่ 3 ซึ่งจำเป็นต้องมีเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เป็นรูปคลื่นไซน์จะถูกสร้างจากกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกที่ 3 ทั้งด้านปฐมภูมิ เหมือนในกรณี Δ - Δ ดังนั้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสด้านปฐมภูมิจะลดลงเมื่อปิดวงจร Δ ด้านทุติยภูมิ

ถ้าปิดวงจร Δ ด้านทุติยภูมิและไม่ต่อจุดนิวทออลดังรูป 2.10a. รูปคลื่นของแรงเคลื่อนเทียบกับจุดนิวทออล V_{AN} ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ขดหนึ่งด้านปฐมภูมิและของกระแสกระตุ้น $i_{\phi \Delta}$ ของขดทุติยภูมิ แสดงเป็นออสซิลโลแกรมได้ดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10a.



รูปที่ 2.10b.

รูปที่ 2.10 2.10a. วงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ แบบไม่ต่อนิวทรอล

2.10b. ออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล V_{AN} กระแสกระตุ้น

$i_{\phi A}$ และกระแสกระตุ้น $i_{\phi \Delta}$ ในด้านทุติยภูมิ

ในกรณีนี้จะไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสด้านปฐมภูมิเพราะเส้นทางกลับคือสายนิวทรอลถูกเปิดวงจร ดังนั้นรูปคลื่นของกระแสกระตุ้นในรูป 2.10b จึงต่างจากรูปคลื่น $i_{\phi A}$ ในรูป 2.8b สาเหตุของความแตกต่างก็คือการแยกจุดนิวทรอลของ Y ทำให้ไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 การเปิดวงจร Δ ด้านทุติยภูมิทำให้เกิดทางเดินของกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กถูกสร้างโดยกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 $i_{\phi A}$ ในขดทุติยภูมิ Δ นี้เอง ในเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เป็นตัวสร้าง กระแส $i_{\phi \Delta}$ ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 สนามแม่เหล็กก็จะปรับตัวเองให้มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เพื่อใช้สร้างฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขนาดน้อยๆ ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลด้านปฐมภูมิ แต่มันจะมีขนาดเล็กมากรูปคลื่นของแรงเคลื่อนปฐมภูมิเทียบกับนิวทรอลจึงยังคงเป็นรูปไซน์ดังออสซิลโลแกรม V_{AN} ในรูป 2.10b

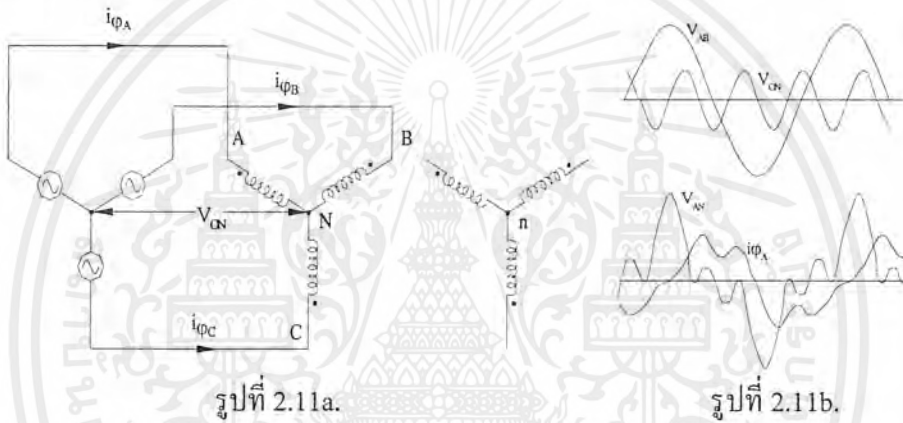
จากที่ได้กล่าวมานี้ทำให้เห็นถึงผลของการต่อขดลวดแบบ Δ ที่มีต่อปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กกระตุ้น ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะไหลอยู่ในขดที่ต่อเป็นแบบ Δ ของ $\Delta - \Delta$, $\Delta - Y$ หรือ $Y - \Delta$ ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้าเหมือนกันทุกประการ แต่ไม่สามารถปรากฏในไลน์ 3 เฟส ที่ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่ต่อจุดนิวนิวทรอลของขดลวดที่ต่อแบบ Y เข้ากับนิวทรอลของระบบอื่น หรืออีกนัยหนึ่งกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะไม่ปรากฏในไลน์ปฐมภูมิที่จ่ายไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งต่อแบบ Y-Y และต่อนิวทรอลของปฐมภูมิเข้ากับนิวทรอลของแหล่งจ่าย อาจก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนแบบเหนี่ยวนำ แต่ถ้ากำจัดกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 โดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกจุดนิวทรอลของหม้อแปลงไฟฟ้า Y-Y แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลอาจมีปัญหามากดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.3.2.3 การต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอลของปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย

ในการต่อแบบ Y-Y ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ควรศึกษาเงื่อนไขในการใช้งานอย่างระมัดระวัง เพราะการต่อแบบนี้บางครั้งอาจทำให้เกิดสภาพที่ไม่ต้องการหรืออาจเป็นอันตรายได้ พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้า 1 คู่ ซึ่งต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอลรับไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 3 เฟส ที่สมดุลย์และแรงเคลื่อนเป็นรูปคลื่นไซน์ สมมติว่าหม้อแปลงไฟฟ้ากลุ่มนี้ไม่ได้จ่ายโหลด ลักษณะของวงจรแสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 a วงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียวเป็นแบบ Y-Y
 b. ออสซิลโลแกรมของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ V_{AB} แรงเคลื่อน เทียบกับนิวทรอล V_{AN} กระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ และแรงเคลื่อน V_{ON} ระหว่างนิวทรอล 0 ของแหล่งจ่ายและนิวทรอลด้านปฐมภูมิ N

เมื่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิไม่ต่อกับนิวทรอลของแหล่งจ่าย ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นที่จะจ่ายให้กับกลุ่มหม้อแปลงต้องเป็นศูนย์ นั่นคือกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งจะไหลกลับสู่แหล่งจ่ายผ่านทางปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวอื่น ทำให้เกิดความสัมพันธ์กับกระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว ผลก็คือแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่หม้อแปลงจะหาได้จากคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้าเหล่านั้น เป็นการยากที่หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสามจะมีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกันทุกประการแม้ว่าจะออกแบบมาเหมือนกันก็ตาม แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลจึงมักจะไม่มีสมดุลย์กัน แม้ว่าแรงเคลื่อนระหว่างไลน์กับไลน์จะสมดุลย์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกจุดนิวทรอลยังมีผลที่สำคัญต่อฮาร์โมนิกส์ ในกระแสกระตุ้น ในตอนนี้ถ้าสมมติให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน ดังนั้นกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกัน 1 ใน 3 ของลูกคลื่น ซึ่งถ้าหากว่ามีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในกระแสกระตุ้นมันจะมีเฟสตรงกันและผลรวมของมันต้องไม่เป็นศูนย์ แต่ในเมื่อผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นต้องเป็นศูนย์ เนื่องจากการแยกจุดนิวทรอล จึงไม่สามารถจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 หรือลำดับอื่นๆ ที่เป็นค่าทวีคูณ ของ 3 ในกระแสกระตุ้นได้เลย ออสซิลโตแกรมของ $i_{\phi A}$ ในรูป 2.11b เป็นตัวอย่างหนึ่งของรูปคลื่นกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอล จะเห็นว่า $i_{\phi A}$ มีลักษณะเป็นดับเบิลท็อป (double topped) ซึ่งก็เป็นผลมาจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5

เฉพาะฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และฮาร์โมนิกส์ลำดับทวีคูณของ 3 เท่านั้นที่จะถูกกำจัดโดยการแยกจุดนิวทรอล ส่วนฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่นๆของกระแสกระตุ้นทั้งสามยังสามารถไหลได้ เนื่องจากต่างเฟสกัน 120 องศาและผลรวมเป็นศูนย์ โดยที่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในกระแสกระตุ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ เมื่อไม่มีกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กไม่เป็นไซน์ และเกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขึ้นในแรงเคลื่อนที่ทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิในหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว ที่ความหนาแน่นระดับธรรมดาของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก แรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มักจะมีค่าอยู่ในช่วง 30 เฟอร์เซ็นต์ ถึง 70 เฟอร์เซ็นต์ ขององค์ประกอบหลักของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล ดังนั้นแม้ว่าแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล ดังนั้นแม้ว่าแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลกลับไม่เป็นไซน์ เมื่อจุดนิวทรอลของวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ต่อเข้ากับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่าย ความสัมพันธ์ของค่าที่ขณะใดขณะหนึ่งระหว่างเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ และแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอล คือ

$$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN} \quad (12)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \quad (13)$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \quad (14)$$

โดยที่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และที่เป็นค่าทวีคูณของ 3 ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลทั้ง 3 เฟส มีเฟสตรงกันและมีขนาดเท่ากัน ผลต่างระหว่างองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล 2 ค่าใดๆ ทางด้านขวาของสมการ (12), (13), (14) จึงมีค่าเป็นศูนย์ภายใต้เงื่อนไขของความสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นก็อาจจะมียอดค่าประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และที่เป็นค่าทวีคูณของ 3 ในแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลได้โดยไม่ปรากฏองค์ประกอบเหล่านี้เลยในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์

องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์อื่นๆ ไม่มีปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอล แต่จะมีองค์ประกอบเหล่านี้อยู่แล้วในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ดังนั้นถ้าแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ สมดุลย์และเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ องค์ประกอบหลักของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอลก็จะมีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{3}$ หรือ 0.577 ของค่ายังผลของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ส่วนองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และที่เป็นค่าทวีคูณของ 3 ของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอล จะหาค่ายังผลได้จากคุณสมบัติทางแม่เหล็กซึ่งไม่เป็นเชิงเส้นของแกนเหล็ก

ถ้าไม่คิดฮาร์โมนิกส์ตั้งแต่อันดับที่ 9 ขึ้นไปและสมมติว่าแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์เป็นคลื่นรูปไซน์ ค่ายังผล V_r ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลคือ

$$V_r = \sqrt{V_{r1}^2 + V_{r3}^2}$$

เมื่อ V_{r1} คือค่ายังผลขององค์ประกอบหลัก และ V_{r3} คือค่ายังผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 อยู่ในช่วง 30-70 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบหลักถ้ากำหนดให้

$$V_{r3} = 0.50 V_{r1}$$

ดังนั้น

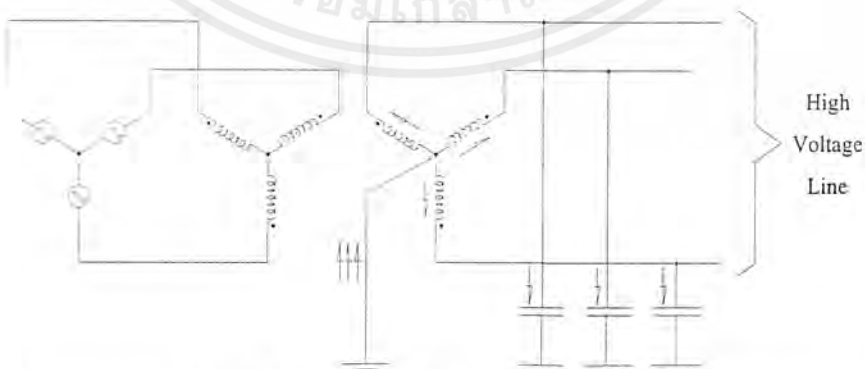
$$\begin{aligned} V_{r3} &= V_{r1} \sqrt{1 + 0.25} = 1.12 V_{r1} \\ &= 1.12 V_{line} / \sqrt{3} \end{aligned}$$

เมื่อ V_{line} คือค่ายังผลของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ที่สมดุลย์และเปลี่ยนแปลงตามแบบไซน์และถือว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน ดังนั้นค่ายังผลของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลจึงไม่เท่ากับ $V_{line} / \sqrt{3}$ ซึ่งเป็นค่าที่แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลที่เปลี่ยนแปลงแบบไซน์แต่จะมากกว่าค่านี้ ยิ่งกว่านี้ค่าสูงสุดขององค์ประกอบหลักและฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลเกิดขึ้นที่ประมาณเวลาเดียวกันในรอบคลื่น ดังนั้นรูปคลื่นของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลจึงมียอดแหลมดังออสซิลโลแกรมของ V_{AN} ในรูป 11b. ค่ายอดของแรงเคลื่อนตกรวมหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่ามากกว่าค่ายอดขององค์ประกอบหลักประมาณ 30-70 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอาจใกล้เคียงกับค่ายอดของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ความเครียดจากแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ฉนวนมีค่าสูงขึ้น เป็นสภาพที่ไม่ต้องการให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงเคลื่อนของแหล่งจ่ายแบบ Y สมดุลย์และเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ และหม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนตกคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้าจะปรากฏเป็นแรงเคลื่อนที่มีความถี่เป็น 3 เท่า อยู่ระหว่างนิวทรอลของแหล่งจ่ายและนิวทรอลปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าคังออสซิลโลแกรม V_{ON} ในรูป 11b. ถ้าต่อนิวทรอลของแหล่งจ่ายลงดินแรงเคลื่อนที่มีความถี่เป็น 3 เท่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 30-70 เปอร์เซ็นต์ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล จะปรากฏอยู่ระหว่างจุดนิวทรอลของขดลวดปฐมภูมิกับกราวด์ ถ้าทั้งนิวทรอลของแหล่งจ่ายและนิวทรอลของด้าปฐมภูมิไม่ต่อลงกราวด์ แรงเคลื่อนไลน์ของไลน์เทียบกับกราวด์และขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเทียบกับกราวด์ในบางกรณีแรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 อาจจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยปรากฏการณ์รีโซแนนซ์สภาพอันตรายนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อวงจรต่อหม้อแปลงไฟฟ้าต่อเข้ากับสายส่งหรือเคเบิลยาวๆ และเมื่อต่อนิวทรอลของขดลวดหม้อแปลงลงดินดังรูป

ในการต่อแบบนี้ นิวทรอลของวงจรหม้อแปลงไฟฟ้ามีศักย์เทียบกับกราวด์ ดังนั้นแม้ว่าแรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวจะไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ แต่มันจะปรากฏเป็นองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับกราวด์ แรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 นี้ทำให้เกิดกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในวงจรอนุกรมซึ่งประกอบด้วยคาปาซิแตนซ์ของไลน์เทียบกับกราวด์ของขดลวดซึ่งต่อลงกราวด์ของหม้อแปลงไฟฟ้างด รูป 12 ถ้าคาปาซิแตนซ์ที่ความถี่ 3 เท่าของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยประมาณ จะเกิดเงื่อนไขที่เข้าใกล้การรีโซแนนซ์แบบอนุกรม แรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของไลน์เทียบกับนิวทรอลจะสูงขึ้นอย่างน่ากลัว อาจจะสูงถึง 3 เท่าของค่าแรงเคลื่อนที่ไลน์เทียบกับนิวทรอลเดิม



รูปที่ 2.12 เส้นทางของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เกิดขึ้นเมื่อวงจรต่อแบบ Y-Y ที่นิวทรอลลงกราวด์โดยต่อถึงกันด้วย สายส่งที่ยาว การต่อเช่นนี้ควรหลีกเลี่ยง แรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 อาจจะเกิดจากเหตุผลนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดสำคัญของเนื้อหาที่ได้กล่าวถึงในปรากฏการณ์ฮาร์โมนิกส์ในวงจรสมดุทธ์ 3 เฟส สรุปรูปเกี่ยวกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสและแรงเคลื่อนในวงจรสมดุทธ์ 3 เฟส ที่มีขนาดเท่ากันและเฟสตรงกัน ส่วนลำดับเฟสขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ตรงกันข้ามกับลำดับเฟสขององค์ประกอบหลัก เนื่องจากการมีเฟสตรงกัน กระแสฮาร์โมนิกที่ 3 จึงไม่สามารถไหลในไลน์ของระบบสมดุทธ์ 3 เฟสได้ ยกเว้นเมื่อมีทางไหลกลับโดยต่อนิวทรอล อย่างไรก็ตามก็ตีกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 สามารถไหลในวงจร Δ โดยไม่ปรากฏในไลน์ที่ต่อแบบ Δ

จากการที่ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ของระบบ 3 เฟส ต้องเป็นศูนย์ องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 จึงไม่สามารถปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ของระบบสมดุทธ์ 3 เฟส เพราะองค์ประกอบเหล่านี้มีเฟสตรงกันผลรวมไม่เป็นศูนย์แต่ก็อาจมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ในแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลโดยไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์เลย

คุณสมบัติทางแม่เหล็กนั้นต้องการกระแสกระตุ้นที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 นี้มีขนาดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบหลักของกระแสกระตุ้น [9]

บทที่ 3

การออกแบบหม้อแปลงและการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์กับผลที่ได้จากการออกแบบ ในการเปรียบเทียบ เนื่องจากการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบมีข้อจำกัดทางด้านวัสดุที่นำมาใช้ทำแกนเหล็ก เพราะไม่สามารถจัดหาขนาดของแกนเหล็กได้ตามที่ออกแบบไว้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าของแกนเหล็กที่ได้จากการออกแบบมาปรับให้ได้ตามขนาดจริงที่มีการใช้งาน ซึ่งเมื่อปรับขนาดแล้วจะทำให้ค่าขนาดต่างๆที่ใช้ในการออกแบบเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการเปรียบเทียบจึงเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการออกแบบในส่วนที่ทำการปรับขนาดของแกนเหล็กแล้วกับค่าที่ได้จากการสร้างและทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ

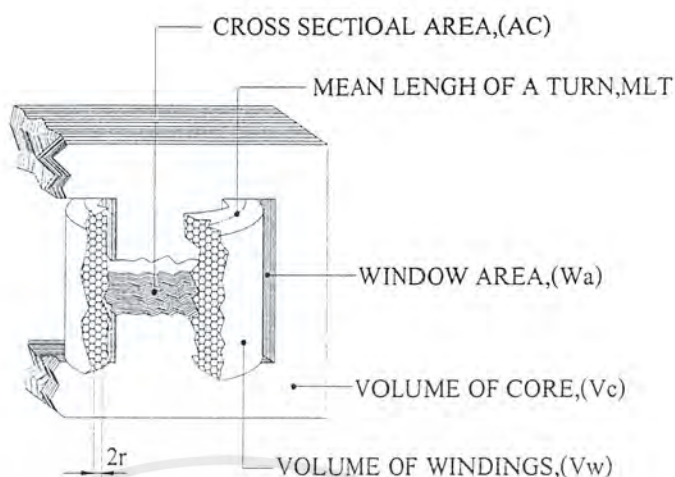
3.1 ข้อกำหนดในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นต้อง กำหนดคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ต้องการออกแบบก่อนเพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ โดยได้กำหนดคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จำเป็นดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้างดกล่าวเป็นการออกแบบผสมผสานแบบ Area product และ Numerical optimization technique เพื่อให้ได้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีสมบัติในการวิเคราะห์ผลทางฮาร์โมนิกส์

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพื้นฐานและคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า

<u>Input rate</u> Power rate 1,000 VA Primary voltage 220 V Secondary voltage 127 V Frequency 50 Hz	<u>Parameter of core</u> Flux density 1 Tesla Watts loss 2.2 watt/kg Stacking factor 0.98 Core density 7.75 g/m ³ Cost of core 50 baht/kg
<u>Parameter of winding</u> $J_{max} 2 A/mm^2$ Cu density 8,900 kg/mm ³ Cost of cu 150 baht/kg (S.W.G.) Area of wire	<u>Other parameter</u> Winding factor 0.4 Ambient temperature 35 °C Operating temperature 75 °C Bobbin thick 3.0 mm Regulation 0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ภาพตัดหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

3.2 ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

โดยในการออกแบบดังกล่าวจะใช้ ค่าข้อมูลพื้นฐานและคุณสมบัติเป็นตัวกำหนดตัวแปรในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้างดังกล่าว

3.2.1 หาขนาดพื้นที่หน้าตัด (A_c) และขนาดแกนเหล็ก ($2E$)

จากสมการ

$$A_c = \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$$

$$= \frac{\sqrt{1,000}}{5.58}$$

$$= 5.667 \text{ in}^2$$

และ

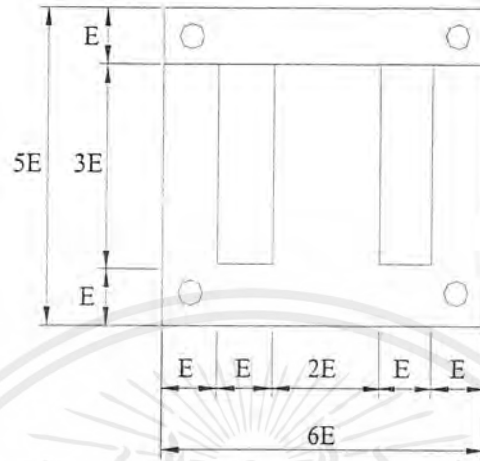
$$2E = \sqrt{A_c}$$

$$= \sqrt{5.667 \text{ in}^2}$$

∴ เลือกใช้แกนเหล็ก $2E = 2 \text{ in}$ และ $D = 2.833 \text{ in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่เลือกใช้แกนเหล็กขนาด $2E = 2in$ เนื่องจากสามารถหาซื้อขนาดของ *Bobbin* ได้ง่ายเพราะเป็นขนาดมาตรฐานอยู่แล้วซึ่งมีขายอยู่ในท้องตลาด



รูปที่ 3.2 แกน $E-I$ มาตรฐาน

3.2.2 หาจำนวนรอบการพันลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 N_p &= \frac{V_p}{4.44 f B_{max} A_c} \\
 &= \frac{220v}{4.44 \times 50Hz \times 5.667in^2 (2.54 \times 10^{-2})^2} \\
 &= 271.049 \text{ Turns} \cong 271 \text{ Turns}
 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}
 N_s &= \frac{V_s}{4.44 f B_{max} A_c} \\
 &= \frac{127v}{4.44 \times 50Hz \times 1T \times 5.667in^2 (2.54 \times 10^{-2})^2} \\
 &= 156.469 \text{ Turns} \cong 156 \text{ Turns}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 หาขนาดของลวดตัวนำที่ใช้ในการพันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
จากสมการ

$$\begin{aligned}
 Aw_p &= \frac{I_p}{J} f_v && \text{โดยกำหนดให้ } f_v = 1 \text{ จากค่ากราฟในผนวก ก} \\
 &= \frac{4.545A}{2 \frac{A}{\text{mm}^2}} \\
 &= 2.272 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

เลือกใช้ลวดตัวนำแบบ(S.W.G.) # 15 (2.627mm^2) โดยเลือกขนาดลวดตัวนำจากตาราง
ในภาคผนวก ข.

$$\begin{aligned}
 Aw_s &= \frac{I_s}{J} \\
 &= \frac{7.874A}{2 \frac{A}{\text{mm}^2}} \\
 &= 3.937 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

เลือกใช้ลวดตัวนำแบบ(S.W.G.) # 13 (4.289mm^2) โดยเลือกขนาดลวดตัวนำจากตาราง
ในภาคผนวก ข

3.2.4 หาพื้นที่หน้าตัดรวมของลวดตัวนำ Aw_{total}

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 Aw_{total} &= (N_p Aw_p + N_s Aw_s) \\
 &= ((271 \text{turns} \times 2.627 \text{mm}^2) + (156 \text{turns} \times 4.289 \text{mm}^2)) \\
 &= 1381 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

3.2.5 หาพื้นที่ใช้งานจริงหรือพื้นที่หน้าต่าง A_r

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 A_r &= 3E^2 \\
 &= 3 \times 1 \text{ in}^2 = 3 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดรวมของลวดตัวนำและพื้นที่ใช้งานจริงว่าสามารถพันลวดตัวนำลงไปได้จริงหรือไม่

จากสมการ

$$A_r \geq \frac{Aw_{total}}{F_w}$$

$$A_r \geq \frac{1,381 \text{ mm}^2}{0.4}$$

$$A_r \geq 3,452.502 \text{ mm}^2 \text{ (5.351 in}^2\text{)}$$

สรุปได้ว่าจากค่าที่คำนวณได้ไม่สามารถจะพันลวดตัวนำลงได้ เราจึงต้องทำการปรับค่าต่างๆใหม่

3.2.7 การแก้ไขปัญหาเมื่อไม่สามารถพันลวดตัวนำลงได้

แนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาค่าได้หลายแนวทางด้วยกันดังต่อไปนี้

1. แก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มค่าของ V/N ให้มากขึ้นจากค่าเดิม เพื่อลดจำนวนรอบการพันลวดตัวนำให้ลดลง โดยที่ค่าของ B_{max} และ A_c คงที่

2. แก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มค่าของ B_{max} ให้มากขึ้นจากค่าเดิมโดยที่ค่าของ V/N และ A_c คงที่ แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าอิมตัวเร็วขึ้น โดยเราสามารถดูค่าคุณสมบัติของแกนเหล็กได้จากกราฟในภาคผนวก $B-H$ Curve ซึ่งจะส่งผลทำให้จำนวนรอบในการพันลวดตัวนำลดลงได้

3. แก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มค่าของ D ความหนาของพื้นที่หน้าตัดของ A_c ให้มากขึ้นจากค่าเดิม โดยที่ B_{max} และ V/N ยังคงที่อยู่ในค่าเดิม วิธีการดังกล่าวจะทำให้จำนวนรอบในการพันลวดตัวนำลดได้ แต่มีผลเสียทำให้ต้องใช้แกนเหล็ก EI ในจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย

4. แก้ไขปัญหาโดยใช้ตัวแปรทั้งสามค่าที่กล่าวแล้ว เพิ่มขึ้นให้หมดหรือเลือกวิธีการใดวิธีการหนึ่งก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม สมการในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดพื้นฐานและคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ต้องการออกแบบว่าไปใช้งานหรือนำไปวิเคราะห์ผลทางด้านใด ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว นี้เลือกใช้วิธีการที่ 1 และ 2 เป็นหลักเนื่องจากต้องการให้หม้อแปลงที่ออกแบบมานั้นมีช่วงเวลาในการอิมตัวให้มากที่สุดโดยเพิ่มเพียงเล็กน้อยเพื่อต่อการวิเคราะห์ผลทางฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสและหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวนำมาต่อรวมกันด้วยวิธีการต่อแบบต่างๆ ดังจะได้กล่าวในบทอื่นๆต่อไป

โดยที่ในการออกแบบดังกล่าวกำหนดให้ค่าต่างๆที่เพิ่มจากเดิมดังต่อไปนี้

$$\frac{V}{N} = 1.5 \text{ volt}$$

$$B = 1.2 \text{ T}$$

1. หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กใหม่ดังสมการ

$$V = 4.44 f B_{max} A_c N$$

$$\frac{V}{N} = 4.44 f B_{max} A_c$$

โดยกำหนดให้ $\frac{V}{N} = 1.5 \text{ volt}$, $B_{max} = 1.2 \text{ T}$ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

$$\begin{aligned} K &= 4.44 f B_{max} \\ &= 4.44 \times 50 \text{ Hz} \times 1.2 \text{ T} \\ &= 266.40 \end{aligned}$$

$$A_c = \frac{V/N}{K}$$

$$= \frac{1.5 \text{ V/turn}}{266.40}$$

$$= 0.00563063 \text{ m}^2 \quad (8.7274 \text{ in}^2)$$

จากการเลือกแกนเหล็กเดิม $2E = 2 \text{ in}$; $D = 4.3636 \text{ in}$

2. หาจำนวนรอบการพันลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิใหม่ดังสมการ

$$N_p = \frac{V_p}{4.44 f B_{max} A_c}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{220\text{v}}{4.44 \times 50\text{Hz} \times 1.2\text{T} \times 8.727\text{in}^2 \times (2.54 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 146.674 \text{ turns} \cong 147 \text{ turns}$$

และ

$$N_s = \frac{V_s}{4.44 f B_{max} A_c}$$

$$= \frac{127\text{v}}{4.44 \times 50\text{Hz} \times 1.2\text{T} \times 8.727\text{in}^2 (2.54 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 84.671 \text{ turns} \cong 85 \text{ turns}$$

3. หาพื้นที่ว่างในการพันลวดตัวนำและพื้นที่รวมของลวดตัวนำว่าสามารถพันลงได้ไหมดัง
สมการ

$$Aw_{total} = (N_p Aw_p + N_s Aw_s)$$

$$= (147\text{turns} \times 2.627\text{mm}^2 + 85\text{turns} \times 4.289\text{mm}^2)$$

$$= 750.734\text{mm}^2$$

และ

$$A_r \geq \frac{Aw_{total}}{F_w}$$

$$\geq \frac{750.374\text{mm}^2}{0.4}$$

$$\geq 1,876.835 \text{ mm}^2 (2.909 \text{ in}^2)$$

แสดงว่าสามารถพันลวดตัวนำลงได้ แต่ก็ค่อนข้างพันลวดตัวนำลงได้ยากพอสมควรเนื่องจากค่าดังกล่าวค่อนข้างใกล้เคียงกันมากควรให้ค่าของ $A_r \geq \frac{Aw_{total}}{F_w}$ ให้มากกว่าจะดีกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

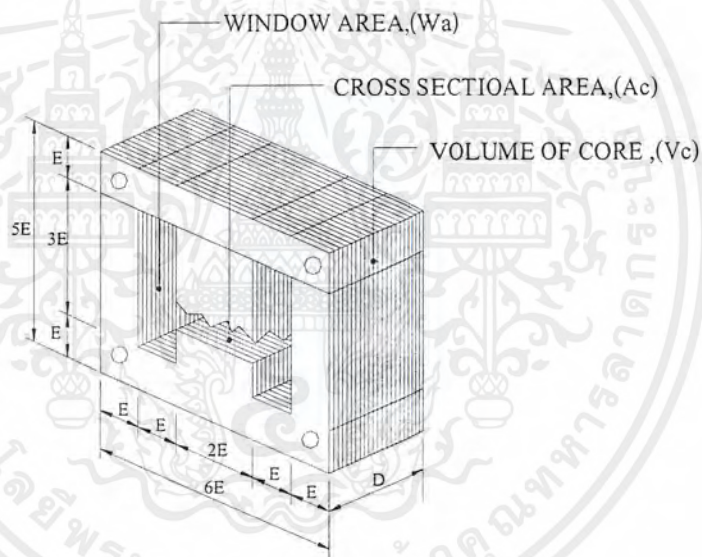
3.2.8 หาปริมาตรของแกนเหล็กและน้ำหนักของแกนเหล็ก

จากสมการ

$$\begin{aligned} V_c &= 24 DE^2 \\ &= 24 \times 4.363 \text{ in} \times (1 \text{ in}^2) \\ &= 104.712 \text{ in}^3 (1,715.922 \text{ cm}^3) \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} w_c &= \rho_c * sf * V_c \\ &= 7.75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0.98 \times 1,715.922 \text{ cm}^3 \\ &= 13,032.427 \text{ g} (13.032 \text{ kg}) \end{aligned}$$



รูปที่ 3.3 ปริมาตรของแกนเหล็ก

3.2.9 หาคความยาว, ปริมาตรและน้ำหนักของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

1. ความหนาของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ

$$a_1 = \frac{N_p A w_p}{3 E F_w}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{147 \text{ turns} \times 2.627 \text{ mm}^2 \times 1,550 \times 10^6}{3 \times 1 \text{ in} \times 0.4} = 0.498 \text{ in}$$

2. ความหนาของลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ

$$a_2 = \frac{N_s A w_s}{3 E F_w}$$

$$= \frac{85 \text{ turns} \times 4.289 \text{ mm}^2 \times 1550 \times 10^{-6}}{3 \times 1 \text{ in} \times 0.4}$$

$$= 0.498 \text{ in}$$

3. ความหนาของกระสวย เลือกใช้ $T_b = 0.1181 \text{ in}$ (3 mm)

$$MLTV_p = 2(2E + 2T_b) + 2(D + 2T_b) + \pi a_1$$

$$= 2(2 \text{ in} + 0.236 \text{ in}) + 2(4.363 \text{ in} + 0.236 \text{ in}) + \pi \times 0.498 \text{ in}$$

$$= 15.233 \text{ in}$$

$$MLTV_s = 2(2E + 2T_b) + 2(D + 2T_b) + \pi(2a_1 + a_2)$$

$$= 2(2 \text{ in} + 0.256 \text{ in}) + 2(4.363 \text{ in} + 0.236 \text{ in}) + \pi((2 \times 0.498) + 0.470)$$

$$= 18.272 \text{ in}$$

4. ความยาวของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิจากสมการ

$$LV_p = N_p MLTV_p$$

$$= 147 \text{ turns} \times 15.233 \text{ in}$$

$$= 2,239.251 \text{ (56,876.975 mm)}$$

$$LV_s = N_s MLTV_s$$

$$= 85 \text{ turns} \times 18.272 \text{ in}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 1,553.12 \text{ in } (39,449.248 \text{ mm})$$

5. ปริมาตรของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} V_{cu_p} &= A_{w_p} L V_p \\ &= 2.627 \text{ mm}^2 \times 56,876.975 \text{ mm} \\ &= 149,415.813 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cu_s} &= A_{w_s} L V_s \\ &= 4.289 \text{ mm}^2 \times 39,449.248 \text{ mm} \\ &= 169,197.824 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

6. น้ำหนักของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิจากสมการดังต่อไปนี้

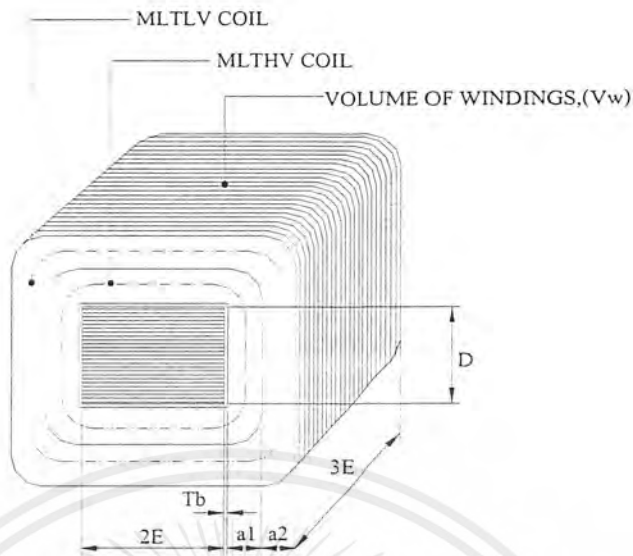
$$\begin{aligned} W_{cu_p} &= \rho_{cu} V_{cu_p} \\ &= 8,900 \text{ kg/mm}^3 \times 149,415.813 \text{ mm}^3 \times (1 \times 10^{-9}) \\ &= 1.3298 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{cu_s} &= \rho_{cu} V_{cu_s} \\ &= 8,900 \text{ kg/mm}^3 \times 169,197.824 \text{ mm}^3 \times (1 \times 10^{-9}) \\ &= 1.5058 \text{ kg} \end{aligned}$$

น้ำหนักรวมของลวดตัวนำของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งตัว

$$\begin{aligned} W_{cu_{total}} &= W_{cu_p} + W_{cu_s} \\ &= 1.3298 \text{ kg} + 1.5058 \text{ kg} \\ &= 2.8356 \text{ kg} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ความยาวเฉลี่ยของลวดตัวนำ

3.2.10 หาจำนวนรอบการพันลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิตามความยาวของ E และ $3E$ ของแกนเหล็ก

จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบตามแนวแกนเหล็ก } 3E \text{ ด้านปฐมภูมิ} &= \frac{3in}{0.0720in} \\ &= 41.667 \text{ turns} \\ &\cong 42 \text{ turns} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนรอบ(ชั้น)ตามแนวแกนเหล็ก } E \text{ ด้านปฐมภูมิ} &= \frac{147 \text{ turns}}{42 \text{ turns}} \\ &= 3.5 \text{ ชั้น} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และจำนวนรอบตามแนวแกนเหล็ก } 3E \text{ ด้านทุติยภูมิ} &= \frac{3in}{0.0920in} \\ &= 32.608 \text{ turns} \\ &\cong 33 \text{ turns} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จำนวน(ชั้น)ตามแนวแกนเหล็ก } E \text{ ด้านปฐมภูมิ} &= \frac{85 \text{ turns}}{33 \text{ turns}} \\ &= 2.572 \\ &\cong 3 \text{ ชั้น} \end{aligned}$$

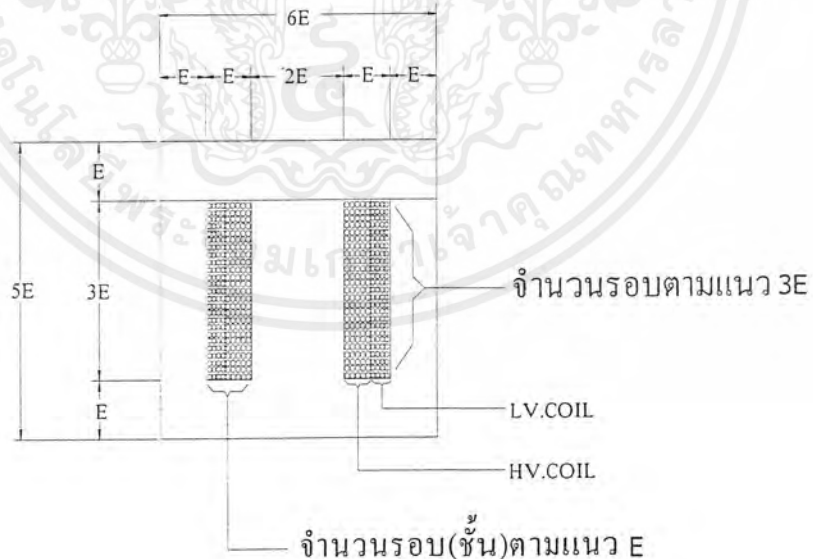
เหลือความกว้างตามแนวแกนเหล็ก E ที่ยังสามารถพันลวดตัวนำชดเชยได้อีกดังสมการ

$$1 \text{ in} - (0.0720 \text{ in} \times 3.5 \text{ ชั้น}) - (0.0920 \text{ in} \times 3 \text{ ชั้น}) = 0.472 \text{ in} (1.198 \text{ cm})$$

3.2.11 ทาราคารวมของหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยในการคำนวณราคาสามารถแบ่งการคำนวณได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นของราคาลวดตัวนำและส่วนที่เป็นราคาของแกนเหล็ก

ราคาของหม้อแปลงทั้งตัว $F(D,E) = C_c W_{core}(D,E) + C_w W_{cu}(D,E)$ จากสมการดังกล่าวหาค่าของราคาต่างๆ ได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 จำนวนรอบและจำนวนชั้นในการพันลวดตัวนำ

1. หาราคาของลวดตัวนำที่ใช้ในด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิได้จากสมการ

$$\text{ราคาของลวดตัวนำทั้งหมด } F(D, E) = C_w W_{cu}(D, E)$$

เมื่อ $C_{w_p} = C_{w_s} = 150 \text{ baht/kg}$

$$F(D, E) = C_w W_{cu}(D, E)$$

$$= 150 \text{ baht/kg} \times 2.8356 \text{ kg}$$

$$= 425.34 \text{ baht}$$

2. หาราคาของแกนเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการ

เมื่อราคาแกนเหล็ก 50 baht/kg

$$\text{ราคาของแกนเหล็กทั้งหมด } F(D, E) = C_c W_{core}$$

$$= 50 \text{ baht/kg} \times 13.032 \text{ kg}$$

$$= 651.60 \text{ baht}$$

3.2.12 หาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ

โดยการคำนวณหาค่าต่างๆสามารถพิจารณาเป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

- 1 หาความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss, P_{core}) ดังสมการ

$$P_{core}(D, E) = P_c W_{core}(D, E)$$

โดยที่ P_c ได้จากกราฟผนวก ก 3 w/kg

$$= 3 \text{ w/kg} \times 13.032 \text{ kg}$$

$$= 39.096 \text{ w}$$

- 2 หาความสูญเสียในลวดตัวนำ (Copper loss, P_{cu}) ได้จากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{cu}(D, E) = R_{warm} \rho \left(\frac{VA}{V_p} \right)^2 \left(\frac{LV_p}{A_w V_p} + \frac{a^2 LV_s}{A_w V_p} \right)$$

เมื่อ

$$R_{warm} = \left(\frac{235 \overset{\circ}{C} + T_2}{235 \overset{\circ}{C} + 75 \overset{\circ}{C}} \right) R_{eq}$$

และ

$$R_{eq} = \rho \left(\frac{LV_p}{A_w V_p} + \frac{LV_s}{A_w V_s} \right)$$

$$= 0.021 \mu\Omega\text{-m} \left(\frac{56,876.975\text{mm}}{2.627 \text{mm}^2} + \frac{39,449.248\text{mm}}{4.289 \text{mm}^2} \right) \times 1,000$$

$$= 0.6478 \Omega$$

$$R_{warm} = \left(\frac{235 \overset{\circ}{C} + 35 \overset{\circ}{C}}{235 \overset{\circ}{C} + 75 \overset{\circ}{C}} \right) \times 0.6478 \Omega$$

$$P_{cu}(D, U) = 0.5642 \Omega \left(\frac{1,000VA}{220V} \right)^2 (0.021 \mu\Omega\text{-m})$$

$$\left(\frac{56,876.975\text{mm}}{2.627\text{mm}^2} + (1.732)^2 \frac{39,449.248\text{mm}}{4.289\text{mm}^2} \right) \times 1,000$$

$$= 12.053 \text{w}$$

ความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงต้นแบบ

$$P(D, E) = P_{cu}(D, E) + P_{core}(D, E)$$

$$= 12.035 \text{ w} + 39.096 \text{ w}$$

$$= 51.149 \text{ w}$$

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงต้นแบบ *efficiency*

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{input}} \times 100$$

เมื่อสมมุติว่าจ่ายโหลด *Full load* = $\frac{1,000VA \times 0.98}{(1,000VA \times 0.98) + 51.149\text{w}} \times 100$

$$p.f. 0.98 \rightarrow 0.8 \text{ lagging} \quad = 95.039 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.13 หางจรสมมูลย์หม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบได้ดังสมการ

1. ค่ากำลังไฟฟ้ากระตุ้น VA exciting โดยที่ค่าของ P_a สามารถหาได้จากกราฟในภาคผนวก ก. ($P_a = 4.2 VA/kg$)

$$\begin{aligned} VA \text{ exciting} &= P_a W_c \\ &= 4.2 VA/kg \times 13.032 kg \\ &= 54.734 VA \end{aligned}$$

2. ค่า (Power factor) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตอน *No-load*

$$\begin{aligned} \text{Core loss} &= 39.096w \\ p.f. &= \frac{\text{Core loss}}{VA \text{ exciting}} \\ &= \frac{39.096w}{54.734VA} \\ &= 0.7142 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} \theta &= \cos^{-1} 0.7142 \\ &= 44.422^\circ \end{aligned}$$

3. ค่า *rms exciting current*

$$\begin{aligned} I_{\phi rms} &= \frac{VA \text{ exciting}}{E_{rms}} \\ &= \frac{54.734VA}{220V} = 0.2487 A \end{aligned}$$

4. *Core loss component*

$$I_c = I_{\phi} \cos \theta_c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.2487 \cos 44.422^\circ = 0.1776 \text{ A}$$

5. Magnetizing component

$$I_m = I_\phi \sin \theta_c$$

$$= 0.2487 \sin 44.422^\circ = 0.1740 \text{ A}$$

จากค่าต่างๆที่คำนวณมา สามารถหาค่าของ R_c และ X_m ดังนี้โดยประมาณ

$$R_c = \frac{V_o}{I_c}$$

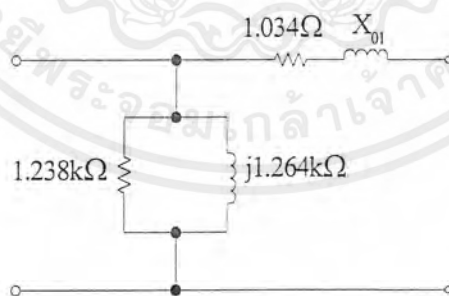
$$= \frac{220 \text{ V}}{0.1776 \text{ A}} = 1238.738 \ \Omega$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_m}$$

$$= \frac{220 \text{ V}}{0.1740 \text{ A}} = 1264.367 \ \Omega$$

จากค่าต่างๆที่เราคำนวณสามารถนำมาเขียนวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบได้

ผังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลแบบประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ

จากวงจรสมมูลที่เราไม่สามารถหาค่าของ X_{01} เนื่องจากเราไม่สามารถหาข้อมูลในการคำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

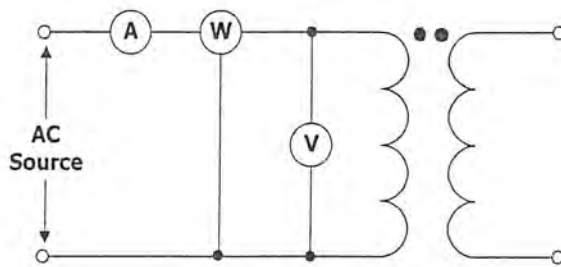
ผลจากการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว ที่ได้เป็นแนวทางเพื่อไปสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าจริงขึ้นมาเพื่อนำไปวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว นำไปต่อเป็น 3 เฟส แบบต่างๆ

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นวิธีสำคัญในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งจะช่วยให้สามารถทราบถึงวงจรสมมูลย์(Equipvalent circuit)ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งตัว ได้โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นจะหาจากด้านใดด้านหนึ่งก็ได้ จากวงจรสมมูลย์ที่ได้นี้ ทำให้สามารถทำนายประสิทธิภาพของหม้อแปลง แรงเคลื่อนที่หายไป(Voltage drop)เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของขดลวด กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกมาและอื่นๆ ได้อีกตามความต้องการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้า ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อหาค่าพารามิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

- 1 การทดสอบเปิดวงจร(Open circuit test or no load test)
- 2 การทดสอบลัดวงจร(Short circuit test)

3.3.1 การทดสอบเปิดวงจร (Open circuit test or no load test)

จุดประสงค์ของการทดสอบนี้ก็เพื่อหาส่วนสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กและกระแสกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้หาค่า R_c และ X_m ได้ ในการทดสอบนี้โดยปกติมักทำการเปิดวงจรด้านที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและทำการวัดทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำดังรูป อย่างไรก็ตามในการทดสอบนี้อาจวัดหรือเปิดวงจรด้านใดด้านหนึ่งก็ได้ จุดประสงค์ที่ทำการวัดทางด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ ก็เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากการอ่านและวัดค่ากระแสขณะไม่มีภาระ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก(ประมาณ 2-10 เปอร์เซ็นต์ของกระแสที่พิกัด) ฉะนั้นเมื่อวัดทางด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำจึงทำให้ได้กระแสไม่มีภาระ สูงกว่าเมื่อวัดทางด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงไปเป็นจำนวน N_1/N_2 เท่าของด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-7 วงจรการทดสอบเปิดวงจร

ในการทดสอบนี้จะต้องปรับให้ *Ac source* มีค่าเท่ากับพิกัดทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ แล้วทำการวัดค่าต่างๆด้วย *Volt meter*, *Amp meter* และ *Watt meter* ตามลำดับ ในขณะที่ทำการทดสอบ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของด้านที่วัดมีค่าน้อยมาก(ทั้งนี้เพราะกระแสขณะไม่มีภาระมีค่าน้อยมาก) ฉะนั้นจึงอาจตัดไม่พิจารณาค่านี้ได้และอาจเขียนวงจรสมมูลย์ขณะทำการทดสอบนี้ได้ดังรูป(เป็นวงจรสมมูลย์เมื่อพิจารณาด้านที่ทำการวัดเท่านั้น)

จากการทดลองนี้ทำให้สามารถหาค่า R_c และ X_m ได้จากสมการ

$$P_o = V_o I_o \cos \theta_o \quad (3-1)$$

$$\theta_o = \cos^{-1} \frac{P_o}{V_o I_o} \quad (3-2)$$

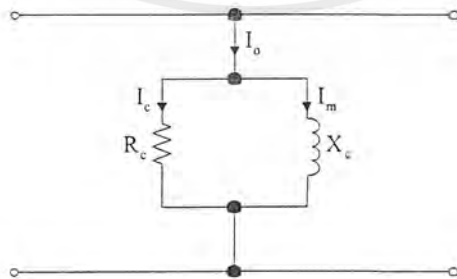
$$I_c = I_o \cos \theta_o \quad (3-3)$$

$$I_m = I_o \sin \theta_o \quad (3-4)$$

$$R_c = \frac{V_o}{I_c} \quad (3-5)$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_m} \quad (3-6)$$

ดังนั้นจึงเขียนวงจรสมมูลย์ขณะทำการทดสอบนี้ได้ดังรูป



รูปที่ 3-8 วงจรสมมูลย์ขณะทำการทดสอบเปิดวงจร

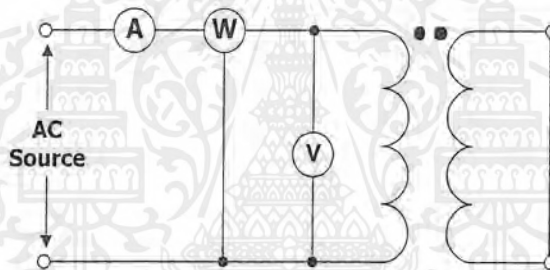
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดสอบลัดวงจร(*Short circuit test*)

จุดประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อหา

- 1 สมมูลย์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 2 ส่วนสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดทองแดง(*Copper loss*) ส่วนสูญเสียนี้นำไปใช้กำหนดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 3 ค่า *Voltage regulation* ของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบด้วยวิธีนี้ โดยปกติจะทำการลัดวงจรทางด้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ โดยใช้ขดลวดทองแดงขนาดใหญ่ลัดวงจร หรือ อาจใช้แอมป์มิเตอร์เป็นตัวลัดวงจรแทนก็ได้เพื่อให้เห็นถึงกระแสที่พิกัดในขณะลัดวงจร



รูปที่ 3.9 วงจรการทดสอบลัดวงจร

การทดสอบนี้ทำได้โดยปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก *A.C. Source* โดยเริ่มจากศูนย์โวลท์จนกระทั่งแอมป์มิเตอร์อ่านค่าของกระแสได้ตามพิกัดของด้านที่ทำการทดสอบ (โดยปกติค่าของ *A.C. Source* จะมีค่าประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของด้านที่ทำการวัด) เนื่องจากการทดสอบนี้หม้อแปลงได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่พิกัดดังนั้นจึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องขดลวดทั้งสองด้านมีค่าต่ำ ดังนั้นค่าของการสูญเสียในแกนเหล็กจึงมีค่าน้อยมาก ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ จึงเป็นค่าที่เกิดจากการสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงไฟฟ้า อันเนื่องมาจากความต้านทานของขดลวดทั้งสองด้าน

จากการทดสอบนี้ทำให้สามารถหาค่า R_{eq} และ X_{eq} ได้จากสมการ

$$P_s = I_s^2 R_{eq} \quad (3-7)$$

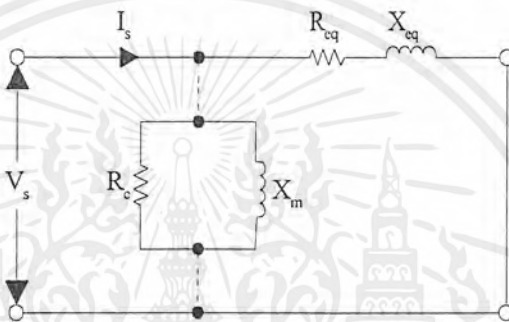
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{eq} = \frac{V_s}{I_s} \quad (3-8)$$

$$R_{eq} = \frac{P_s}{I_s^2} \quad (3-9)$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} \quad (3-10)$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ขณะทำการทดสอบนี้ได้ดังรูป



รูปที่3-10 วงจรสมมูลย์การทดสอบลัดวงจร

นอกจากวงจรสมมูลย์แล้ว ประโยชน์ที่ได้จากการทดสอบอีกประการคือความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (*Magnetic flux density, B*) และความเข้มของสนามแม่เหล็ก (*Magnetic field intensity, H*) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการของ *Faraday* และกฎของ *Ampere law*(5)

$$E = 4.44 fNBA \quad (3-11)$$

$$\therefore B = \frac{E}{4.44 fNA}$$

$$NI = Hl \quad (3-12)$$

$$\therefore H = \frac{NI}{l}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ

ตาราง 3.2 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

		Transformer 1,000 VA 220/127V		
		Transformer A	Transformer B	Transformer C
Open Circuit Test	V_o	127V	127V	127V
	I_o	660mA	650mA	665mA
	P_o	35W	37.5W	35W
Short Circuit Test	V_s	7V	6.85V	6.77V
	I_s	4.4A	4.4A	4.4A
	P_s	15.1W	17.1W	15.1W

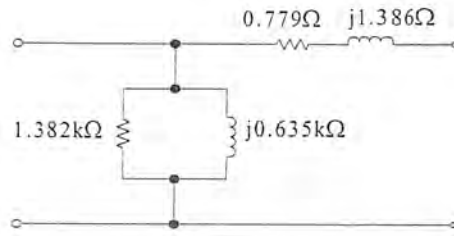
จากผลการทดสอบที่ได้ สามารถคำนวณหาจรรยาสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

ตารางที่ 3.3 ผลของการคำนวณหาค่าจรรยาสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

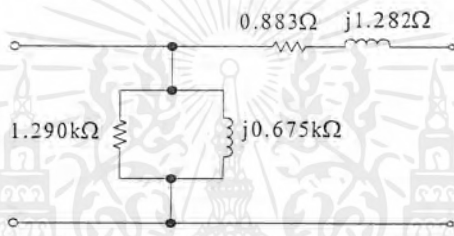
		Transformer 1,000 VA 220/127V		
		Transformer A	Transformer B	Transformer C
Open Circuit Test	R_c	460.980 Ω	430.216 Ω	460.980 Ω
	X_m	211.772 Ω	219.343 Ω	209.847 Ω
Short Circuit Test	Z_{eq}	1.590 Ω	1.556 Ω	1.538 Ω
	R_{eq}	0.779 Ω	0.883 Ω	0.779 Ω
	X_{eq}	1.386 Ω	1.282 Ω	1.326 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

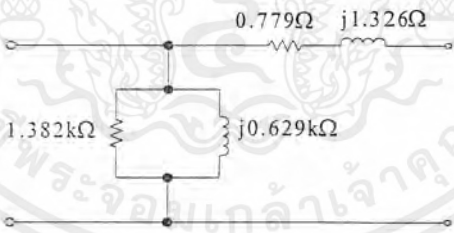
จากค่าที่คำนวณได้ในตาราง 3.2 สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวได้ดังรูป



(A)



(B)



(C)

รูปที่ 3.11 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวตามลำดับ

จากผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว จะเห็นผลได้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว วงจรสมมูลย์ที่ได้ต่างใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัว และไปในทิศทางเดียวกัน ค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยอาจมาจากผลของความผิดพลาดในการใช้เครื่องมือวัด การอ่านค่าของเครื่องมือวัดและจากการคำนวณค่าต่างๆ ในการทดสอบครั้งนี้สิ่งที่เราสนใจเป็นพิเศษคือกระแสกระตุ้นในขณะที่ไม่มีโหลดเราจะเห็นได้ว่าค่าของกระแสกระตุ้นในตอนทดสอบขณะเปิดวงจร กระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส ทั้ง 3 ตัวไปในทิศทางเดียวกันหากต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่าดังกล่าวมีความใกล้เคียงกัน สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยการปรับแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นหรือลดลง เพื่อให้กระแสกระตุ้นมีค่าใกล้เคียงกันถ้าเราปรับให้พื้นที่แกนเหล็กมากขึ้นจะทำให้ค่าของกระแสกระตุ้นน้อยลงในทางกลับกันถ้าเราปรับพื้นที่แกนเหล็กให้น้อยลงก็จะทำให้ค่าของกระแสกระตุ้นมากขึ้น

3.5 เปรียบเทียบผล

เป็นการเปรียบเทียบผลของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Area product กับผลจากการพันจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัววิเคราะห์ผลเปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบในตาราง 3.3 สรุปได้ดังนี้

1. น้ำหนักของแกนเหล็กที่ใช้จริงมีค่าแตกต่างจากที่คำนวณ ซึ่งเป็นผลจากการกำหนดค่าความหนาแน่นของแกนเหล็กและค่า Stacking factor ที่ผิดพลาด
2. จากน้ำหนักของแกนเหล็กที่ผิดพลาด จะส่งผลให้การคำนวณค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก(Core loss) ผิดพลาดด้วย
3. ความยาวของลวดตัวนำที่ใช้จริงมีค่าแตกต่างจากที่คำนวณได้ ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณค่าความยาวเฉลี่ยของลวดตัวนำที่ผิดพลาด
4. ความยาวของลวดตัวนำที่ผิดพลาดจะส่งผลให้การคำนวณค่าความสูญเสียจากลวดตัวนำ (Copper loss) ผิดพลาด
5. จากผลของข้อ 1,2,3 และ4 ส่งผลให้การคำนวณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟสจำนวน 3 ตัว ผิดพลาดด้วย โดยที่คิดค่า p.f. เท่ากับ 0.8 และคิดค่าประสิทธิภาพตอน no-load ที่พิกัดแรงดัน
6. Windows Factor ที่มีค่าสูงเกินไปจะส่งผลให้ การพันลวดตัวนำทำได้ยาก ควรกำหนดค่าให้ต่ำกว่า 0.5

ตาราง 3.4 ผลเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Area Product กับผลจากการพันจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

	Transformer 1,000 VA 220/127V			
	ออกแบบ	Transformer A	Transformer B	Transformer C
Ac (cm ²)	56.304	60.9	60.9	60.9
2E (cm)	5.08	5.08	5.08	5.08
D (cm)	11.083	12	12	12
Np(Turn)	147	147	147	147
Ns(Turn)	85	85	85	85
#Np(S.W.G.)	15	15	15	15
#Ns(S.W.G.)	13	13	13	13
V/N(Volt/Turn)	1.5	1.5	1.5	1.5
Wcore(kg)	13.032	11.7	11.7	11.7
Wcu(kg)	2.8356	2.82	2.82	2.82
Net Weight(kg)	15.867	14.52	14.52	14.52
Core Cost(Baht)	651.60	521.28	521.28	521.28
Cu Cost(Baht)	425.34	396.984	396.984	396.984
Total Cost(Baht)	1,076.97	918.264	918.264	918.264
Core loss(W)	39.096	35	35	35
Cu loss(W)	12.053	15.1	17.1	15.1
Total loss(W)	51.149	50.1	54.6	50.1
Efficiency(%)	93.99	94.106	93.611	94.106
Le H.V.(m)	56.876	60	60	60
Le L.V.(m)	39.449	42	42	42
W H.V.(kg)	1.329	1.36	1.36	1.36
W L.V.(kg)	1.505	1.46	1.46	1.46
B (T)	1.2	1.128	1.128	1.128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ *Stacking Factor* = 0.98

Window Factor = 0.4

ประสิทธิภาพตอน *no-load* ที่พิกัดแรงดัน

ราคาแกนเหล็กซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว 50 *baht/kg*

ราคาของลวดทองแดงซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว 150 *baht/kg*

Core Density 7.75 g/m^3

Cu Density 8,900 kg/m^3

J_{max} 2.00 A/mm^2

วิธีการแก้ไข

- 1.ปรับค่าความหนาแน่นของแกนเหล็กที่ใช้ในการคำนวณ
- 2.ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดและการอ่านค่าของเครื่องมือวัด
- 3.ตรวจสอบการคำนวณค่าความยาวเฉลี่ยต่อรอบของลวดตัวนำ
- 4.ตรวจสอบกระบวนการวัดความยาวของลวดตัวนำ

จากผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีการ *Area Product* กับการพันจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวจากผลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ หม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว กับการออกแบบ ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันทั้ง 3 ตัว และไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ในส่วนของประสิทธิภาพ จะพบปัญหาในขั้นตอนของการทดสอบคือ ขณะวัดค่ากระแสกระตุ้นที่วัดได้มีความแตกต่างกับที่ออกแบบไว้สาเหตุเกิดเนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้ทำการทดสอบนั้นตอบสนองสัญญาณรูป *Sinusoidal* เท่านั้น ในขณะที่สัญญาณของกระแสกระตุ้นนั้น ไม่ใช่สัญญาณรูป *Sinusoidal* ที่เป็นเช่นนั้นเพราะสารแม่เหล็กที่นำมาใช้ทำแกนเหล็กมีความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กและค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไม่เป็นเชิงเส้นดังนั้น จึงทำให้สัญญาณของกระแสกระตุ้นมีผลของฮาร์โมนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยผลการทดสอบจึงมีค่าผิดพลาดไปบ้าง แต่ไม่มากเพราะขนาดสัญญาณมีขนาดเล็ก

ในส่วนของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่ามีผลสอดคล้องกับทฤษฎี

3.6 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H นี้เพื่อตรวจสอบการอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็กของแกนเหล็ก

ตาราง 3.5 ผลการทดสอบเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิวัดค่าทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

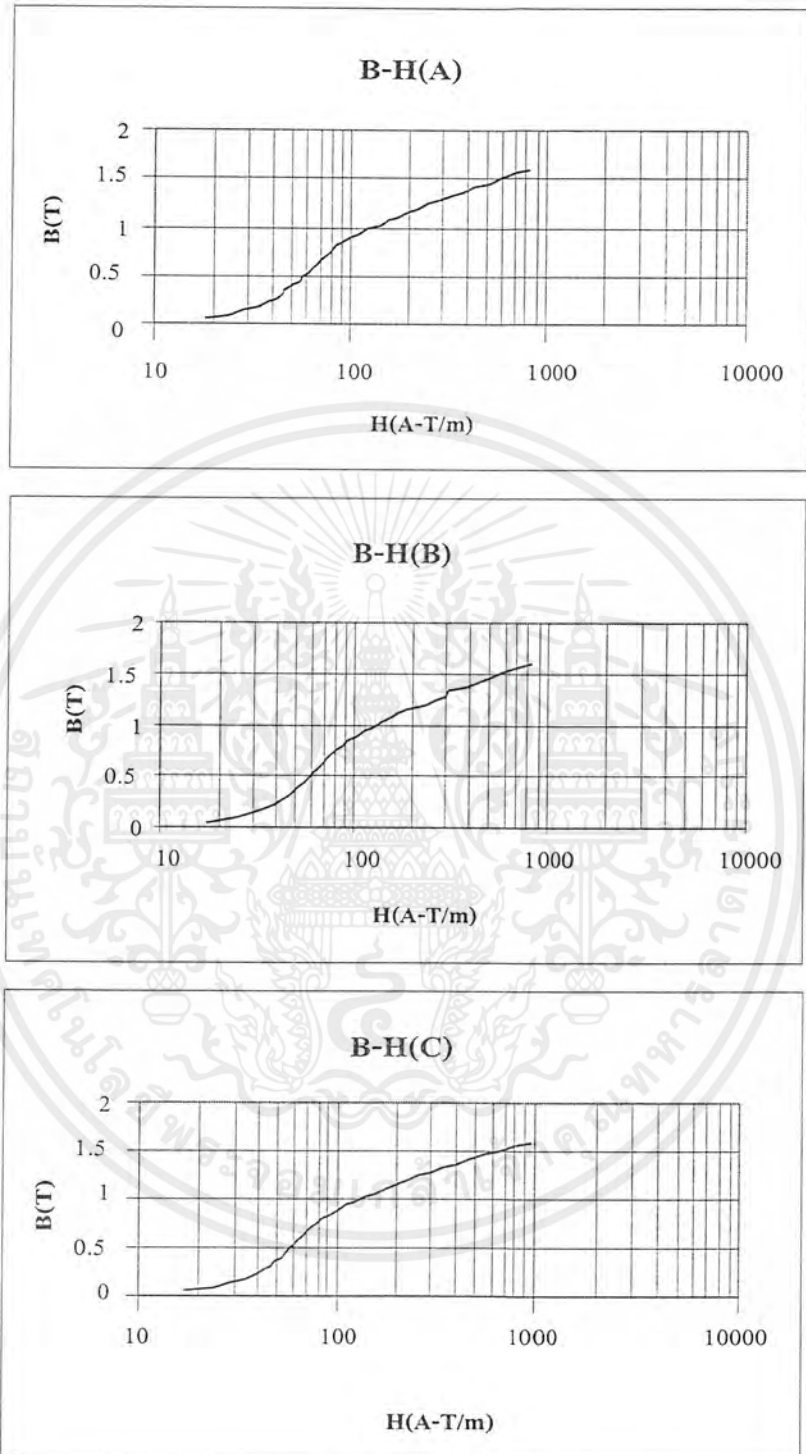
Voc(V)	Transformer 1,000 Va 220/127 V											
	Ioc (mA)			Woc (W)			H (A-T/m)			B (T)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5	27	22.25	28.5	00.5	00.5	0.1	13.021	10.730	13.745	0.025	0.025	0.025
10	36.5	38.5	35.1	0.1	0.1	0.2	17.603	18.567	16.928	0.051	0.051	0.051
15	44.5	48.5	44.5	0.2	0.2	0.3	21.461	23.390	21.461	0.076	0.076	0.076
20	56	59	56.5	0.4	0.45	0.4	27.007	28.454	27.248	0.102	0.102	0.102
25	63.5	66.5	64	0.6	0.76	0.7	30.624	32.071	30.866	0.128	0.128	0.128
30	69.5	72.8	70	1	1.1	1	33.518	35.110	33.759	0.153	0.153	0.153
35	75.5	78.5	76	1.4	1.45	1.4	36.412	37.859	36.653	0.179	0.179	0.179
40	80.5	83.25	81	1.8	1.9	1.8	38.823	40.150	39.064	0.205	0.205	0.205
45	85.5	88.5	86	2.3	2.4	2.25	41.235	42.682	41.476	0.230	0.230	0.230
50	90	93.5	91	2.8	2.9	2.8	43.405	45.093	43.887	0.256	0.256	0.256
55	95	98	95	3.3	3.45	3.25	45.816	47.263	45.816	0.282	0.282	0.282
60	99.5	102.5	99.5	4	4.1	3.9	47.987	49.434	47.987	0.307	0.307	0.307
65	103.5	106.25	103	4.5	4.7	4.4	49.916	51.242	49.675	0.333	0.333	0.333
70	107	110	107.5	5.1	5.4	5.1	51.604	53.051	51.845	0.359	0.359	0.359
75	111	115.75	111.5	5.8	6.1	5.8	53.533	55.824	53.774	0.384	0.384	0.384
80	115.5	120	115.5	6.5	6.95	6.5	55.703	57.873	55.703	0.410	0.410	0.410
85	120	124.25	120	7.4	7.55	7.3	57.873	59.923	57.873	0.435	0.435	0.435
90	123.5	128.1	123	8	8.3	8	59.561	61.780	59.320	0.461	0.461	0.461
95	128.5	133.5	128	8.5	9.2	8.9	61.973	64.384	61.732	0.487	0.487	0.487
100	132	138	131.5	9.8	10.3	9.6	63.661	66.555	63.420	0.512	0.512	0.512
105	138	143	137	10.9	11.25	10.2	66.555	68.966	66.072	0.538	0.538	0.538
110	142	146	141	11.7	12.4	11.8	68.484	70.413	68.001	0.564	0.564	0.564
115	147	153.5	146	12.9	13.5	12.7	70.895	74.030	70.413	0.589	0.589	0.589

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voc(V)	Transformer 1,000 Va 220/127 V											
	Ioc (mA)			Woc (W)			H (A-T/m)			B (T)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
120	151	157	150	13.8	14.3	13.8	72.824	75.718	72.342	0.615	0.615	0.615
125	160	162	154.5	14.8	15.4	14.8	77.165	78.129	74.512	0.641	0.641	0.641
130	162	165	157	16	16.1	15	78.129	79.576	75.718	0.666	0.666	0.666
135	166	167	159	17.1	16.6	15.4	80.058	80.541	76.682	0.692	0.692	0.692
140	168	171	161	17.6	17.7	16.6	81.023	82.470	77.647	0.718	0.718	0.718
145	171	174	166	18.8	18.4	17.8	82.470	83.917	80.058	0.743	0.743	0.743
150	175	185	172	19.1	19.8	18.5	84.399	89.222	82.952	0.769	0.769	0.769
155	180	190	178.5	20	21.1	19.6	86.810	91.633	86.087	0.794	0.794	0.794
160	185	196	186	21.2	21.8	21	89.222	94.527	89.704	0.820	0.820	0.820
165	196	205	192	22.2	23.1	22.4	94.527	98.868	92.598	0.846	0.846	0.846
170	208	215	204	23.6	25	23.6	100.31	103.69	98.385	0.871	0.871	0.871
175	218	222.5	215	24.6	26	24.6	105.13	107.30	103.69	0.897	0.897	0.897
180	231	236	228	26	27.4	25.8	111.40	113.81	109.96	0.923	0.923	0.923
185	244	253	242	27.4	29.2	27.8	117.67	122.01	116.71	0.948	0.948	0.948
190	259.5	265	258	28.6	30.6	28.6	125.15	127.80	124.42	0.974	0.974	0.974
195	278	279.5	276	30	32	30	134.07	134.79	133.11	1.000	1.000	1.000
200	296	300	295	31.2	33.6	31	142.75	144.68	142.27	1.025	1.025	1.025
205	315	320	315	33	35.6	33	151.91	154.33	151.91	1.051	1.051	1.051
210	342.5	342.5	342.5	34.6	37	34.8	165.18	165.18	165.18	1.077	1.077	1.077
215	365	367.5	370	36	39	36.4	176.03	177.23	178.44	1.102	1.102	1.102
220	395	400	397.5	37.8	41.4	38.2	190.50	192.91	191.70	1.128	1.128	1.128
225	420	417.5	425	39.4	43	39.6	202.55	201.35	204.97	1.154	1.154	1.154
230	455	455	455	41.2	45.5	40.8	219.43	219.43	219.43	1.179	1.179	1.179
235	480	470	505	44.8	46	43.4	231.49	226.67	243.55	1.205	1.205	1.205
240	525	575	530	46.6	47	45	253.19	277.31	255.60	1.230	1.230	1.230
245	565	615	580	48.8	49	47.5	272.48	296.60	279.72	1.256	1.256	1.256
245	610	660	620	52	51	51	294.19	318.30	299.01	1.282	1.282	1.282

นำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H จากสมการของ (3-11) และ (3-12) ได้ดังแสดงในตาราง 3.4 แล้วนำผลที่ได้เขียนกราฟดังแสดงในรูป 3.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวเมื่อเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิวัดค่าทางด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

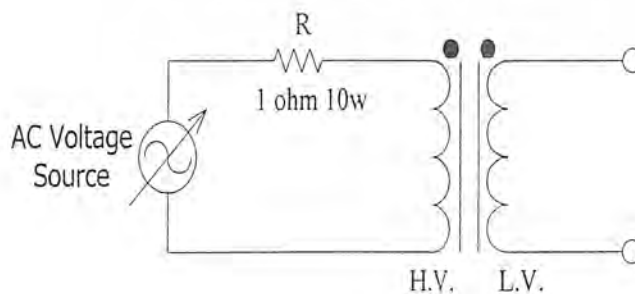
ผลที่ได้จากการคำนวณและกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H เห็นได้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวมีความสอดคล้องกับข้อมูลของแกนเหล็กจริงที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ B และ H ในภาคผนวก ก หรือ ข และขนาดของ B ที่ได้ก็มีค่าใกล้เคียงและไปในทิศทางเดียวกันตามที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนของกราฟความสัมพันธ์ของ B และ H เมื่อทำการทดสอบเปิดวงจรทั้งทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ มีทิศทางไปในแนวทางเดียวกัน ในส่วนผลการทดสอบเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิวัดค่าทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H สามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ง

3.7 การทดสอบการเกิดฮาร์โมนิกสั่นในหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว

ในการทดสอบแบ่งขั้นตอนในการทดสอบออกเป็น 3 เงื่อนไขด้วยกัน โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

- ตอน no-load ที่พิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า
- ตอน no-load ที่น้อยกว่าพิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า
- ตอน no-load ที่มากกว่าพิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า

จากขั้นตอนต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วเราจะแบ่งเป็นการทดสอบขั้นตอนย่อยๆอีกที่ no-load ที่น้อยกว่าพิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าเราจะทดสอบที่ 20 ,40,60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ และ ที่ no-load ที่มากกว่าพิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า จะทดสอบที่ 105 ,110, และ 115 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ จากขั้นตอนต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำการจับสัญญาณในรูปของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานลำดับทางด้านปฐมภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

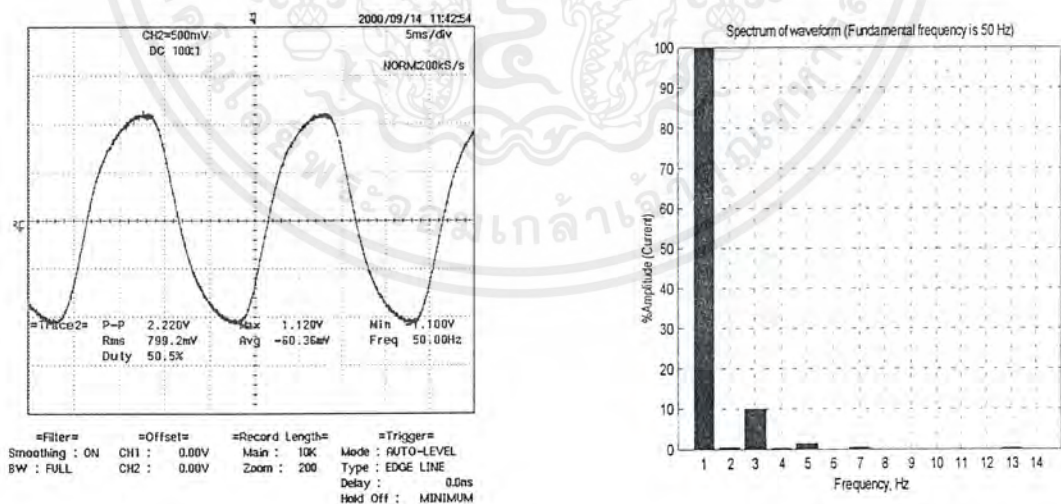


รูปที่ 3.13 วงจรการทดสอบวัดสัญญาณรูปคลื่นฮาร์โมนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

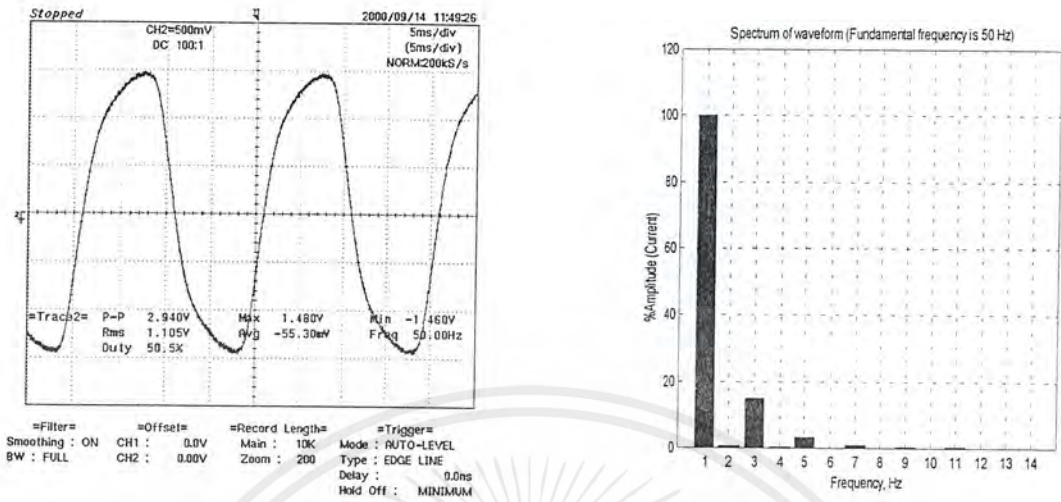
และก็ทำการเก็บข้อมูลของสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานลำดับทางด้านปฐมภูมิในรูปแบบของ Data File ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นการเก็บข้อมูลในรูปแบบของตัวอักษร ASCII-File นี้จะนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์กับโปรแกรมอื่นๆที่อ่านข้อมูลในรูปแบบของ ASCII - file ได้ โดยในการทดสอบดังกล่าวเราจะนำข้อมูลดังกล่าวที่ได้ไปใช้กับโปรแกรม Matlab ในการนำไปใช้กับ Matlab ได้เราต้องทำการลบ Head ทั้งหมดของ Data File หรือทำการใส่เปอร์เซ็นต์หน้า Head ในการลบ Head นั้นมีข้อเสียที่ว่า ไม่สามารถทราบรายละเอียดที่เกี่ยวกับตัว File ได้อีก ในการ Save File ลงในแผ่น Copy Disk เราต้อง Save File เป็นตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการแล้วนำไปทำการแตกสเปคตรัม และนำไปวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว ในการวิเคราะห์โดย Matlab ต้องทำการเขียน M-File ในการแปลงฟูเรียร์ โดยใช้คำสั่ง (Fast Fourier Transform : FFT) ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นรูปของกราฟแท่งในรูปแบบของโดเมนความถี่ ซึ่งสามารถศึกษาได้จากหนังสือคู่มือการใช้งาน Matlab [6]

ผลการทดสอบฮาร์โมนิกส์ในหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส ตัว A ที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

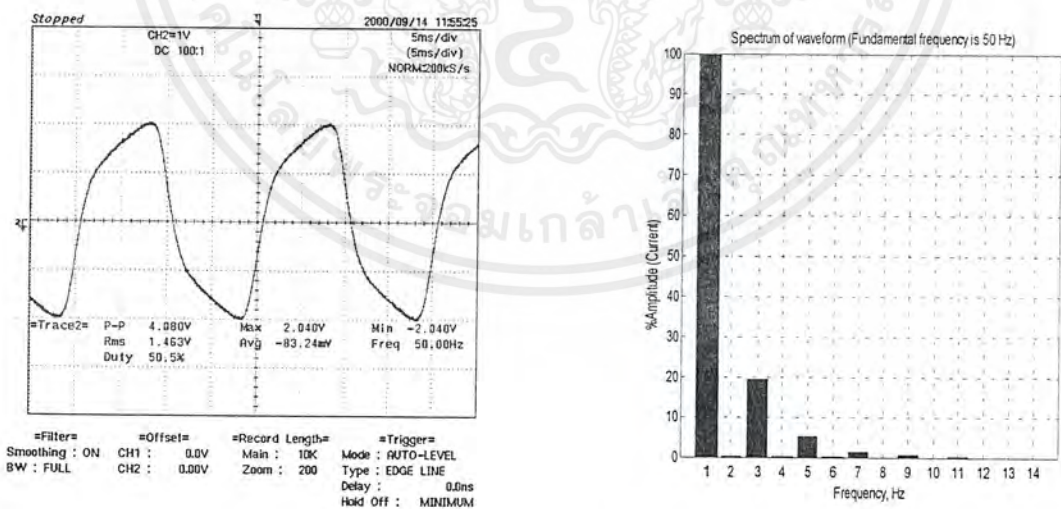


รูปที่ 3.14 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปคตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 20% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

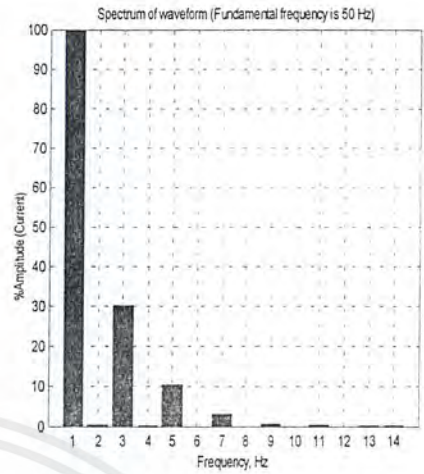
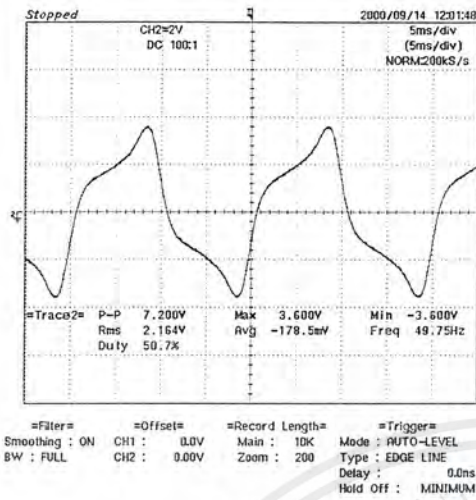


รูปที่3.15 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 40% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

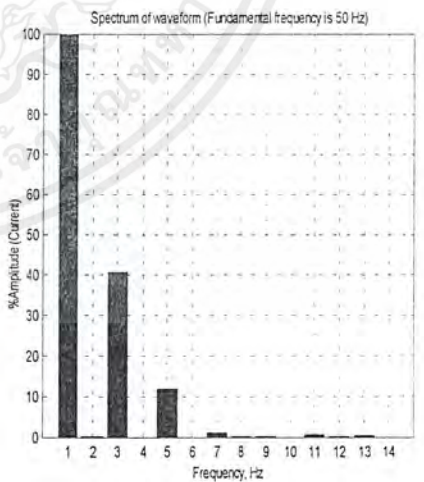
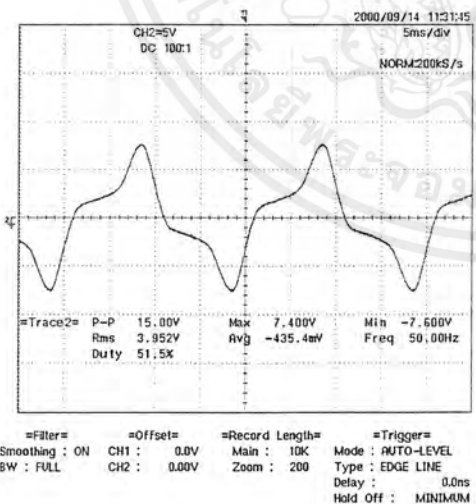


รูปที่3.16 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 60% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

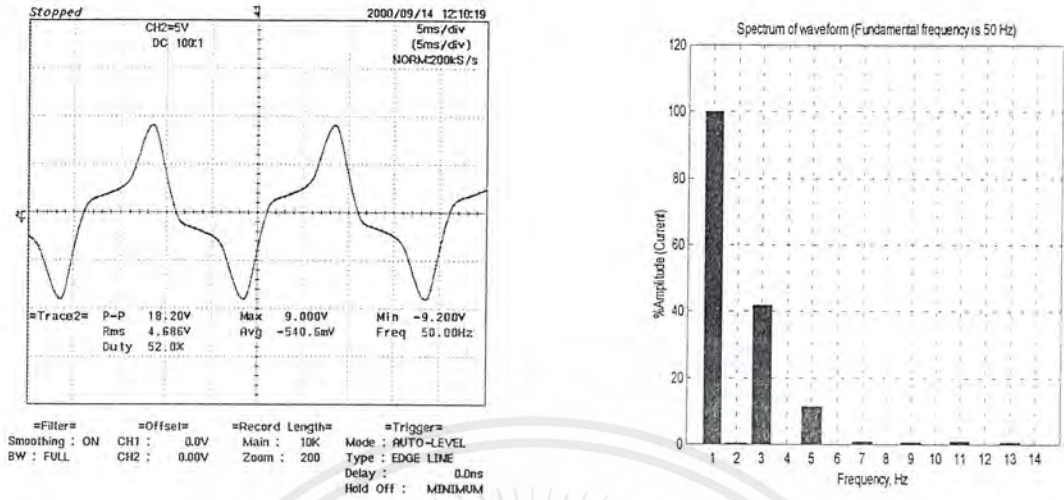


รูปที่3.17 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 80% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

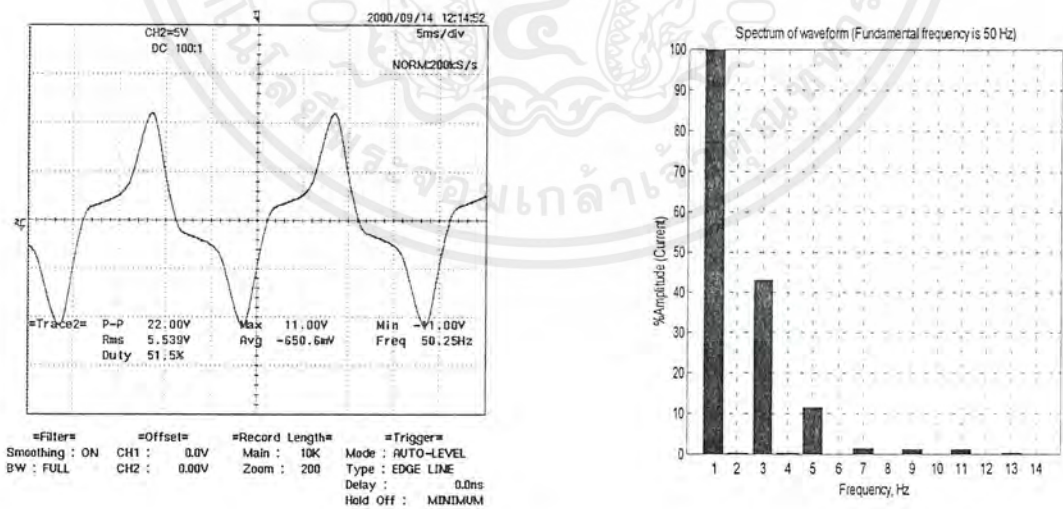


รูปที่3.18 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ สเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 100% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

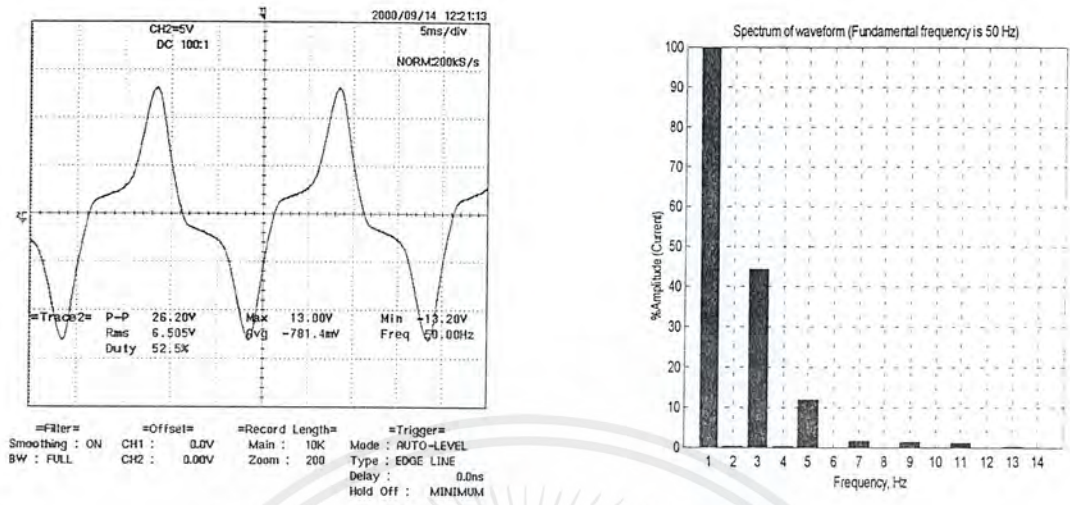


รูปที่3.19 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 105% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

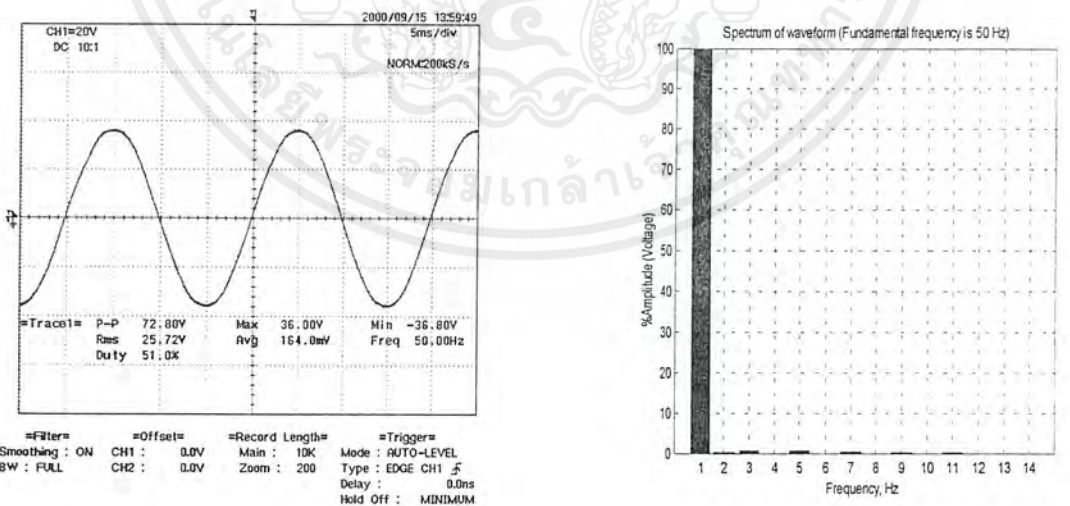


รูปที่3.20 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 110% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

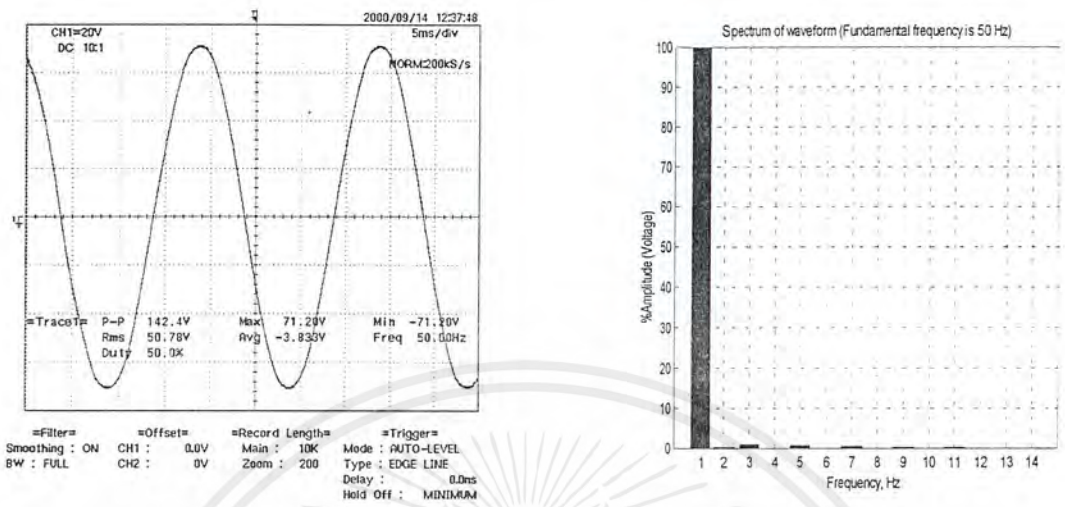


รูปที่3.21 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 115% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

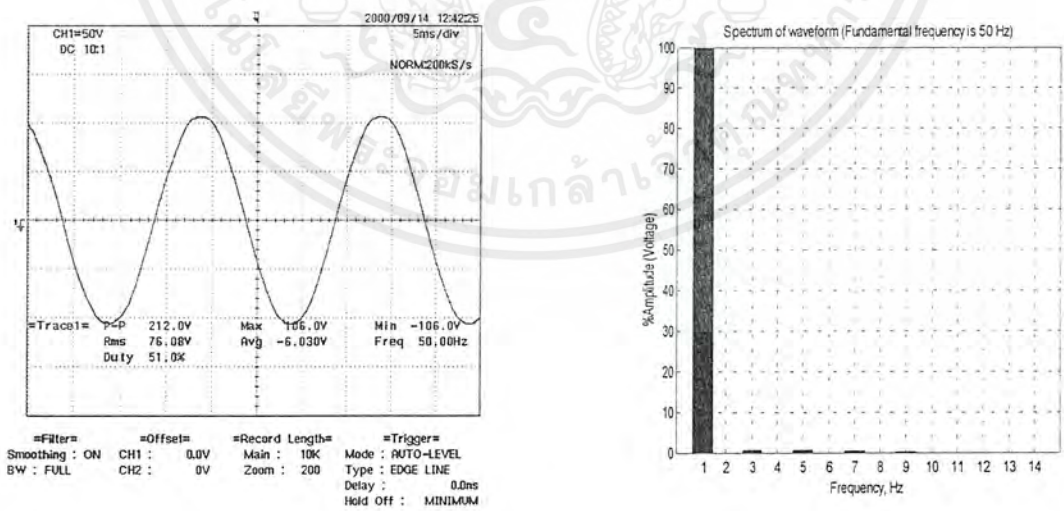


รูปที่3.22 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 20% ของพิกัดแรงดันทางด้าน ปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

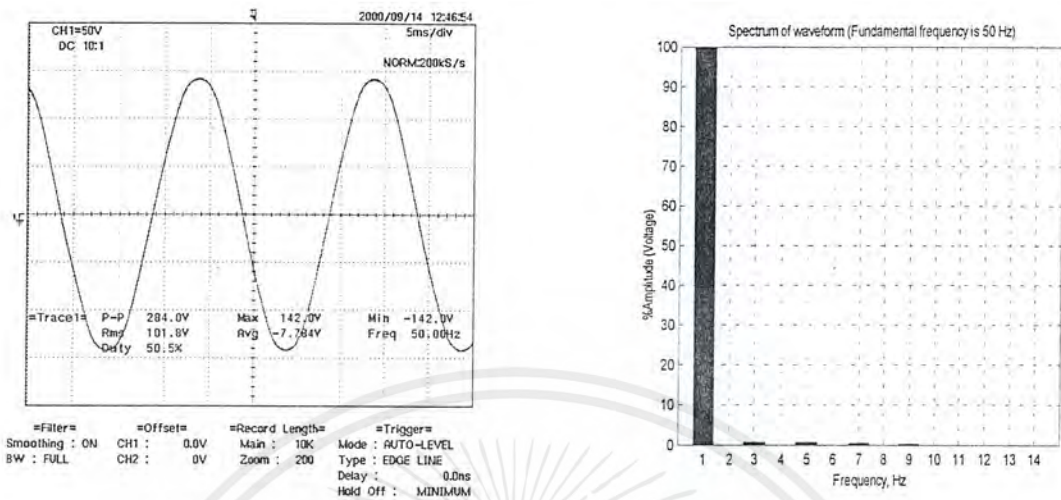


รูปที่ 3.23 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ สเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 40% ของพิกัดแรงดันทางค้ำ
ปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

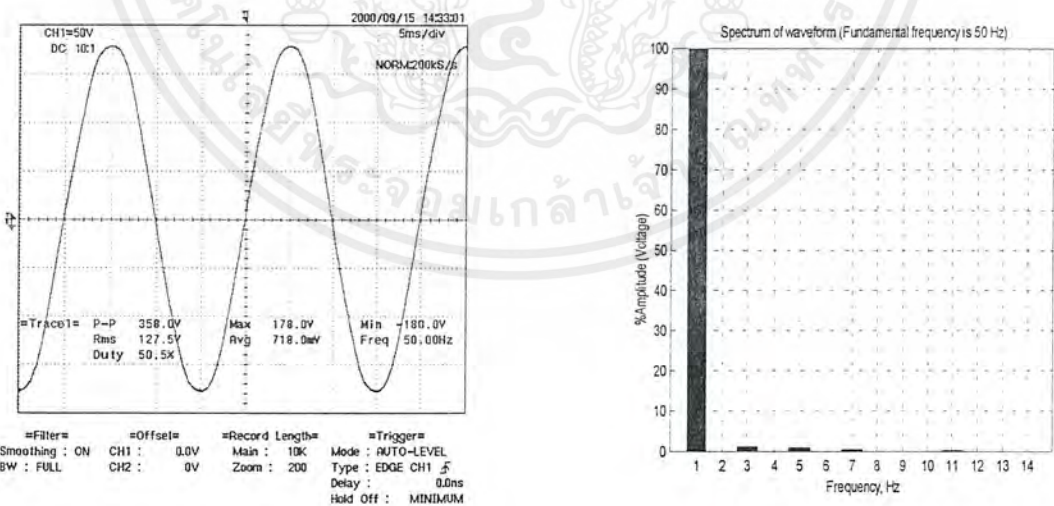


รูปที่ 3.24 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ สเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 60% ของพิกัดแรงดันทางค้ำ
ปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

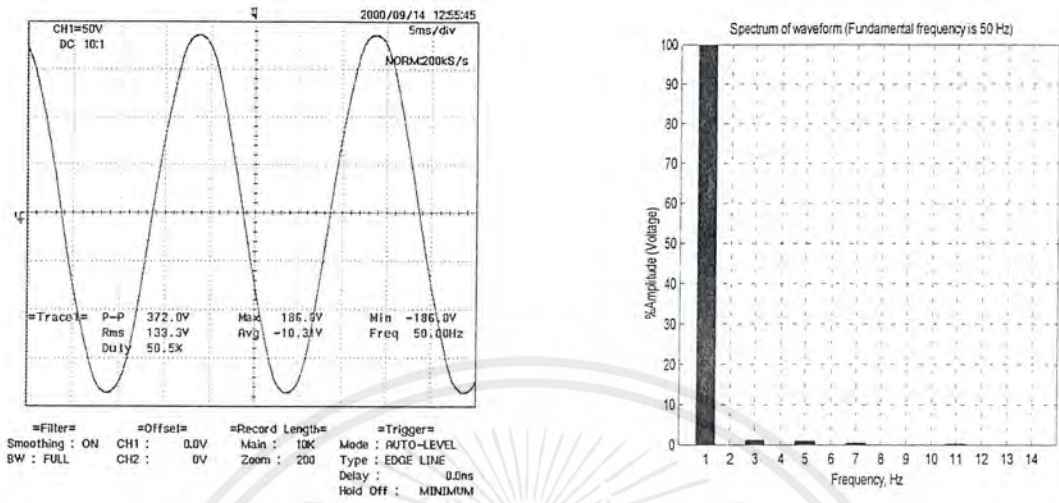


รูปที่3.25 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 80% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

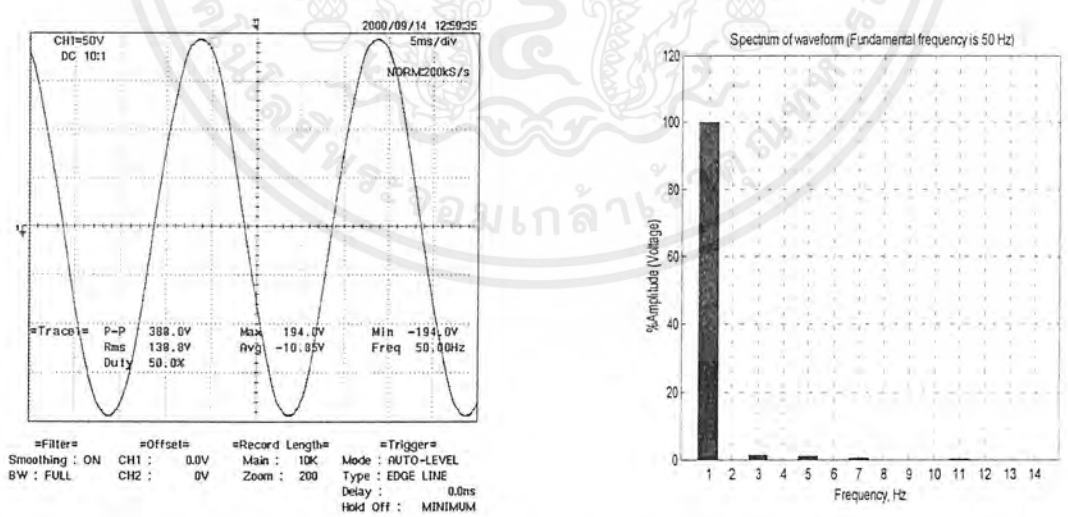


รูปที่3.26 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ ทางด้านทุติยภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

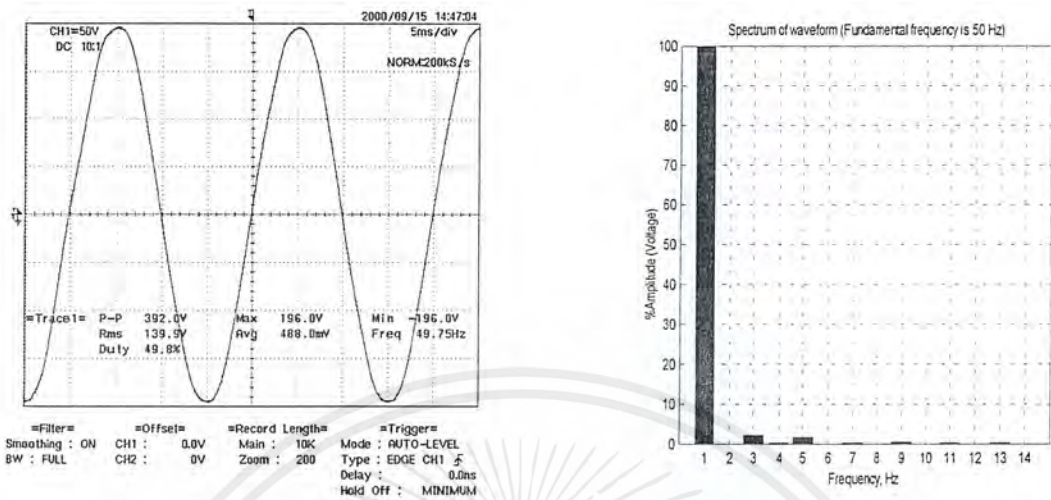


รูปที่ 3.27 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ สเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A



รูปที่ 3.28 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 110% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม ทางด้านทุติยภูมิที่ 115% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว A

พิจารณาที่ทดสอบที่ได้จากการวัดค่ากระแสกระตุ้น ในรูปของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานที่ต่อลำดับกับขดลวดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดแรงดันปฐมภูมิของ หม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิพบว่า ที่พิกัดแรงดัน Input ที่ค่าน้อยๆ รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้ค่อนข้างใกล้เคียงรูปคลื่น Sinusoidal เมื่อพิจารณาผลในรูปของกราฟ สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ที่ปรากฏบนกราฟส่วนใหญ่จะเป็น ฮาร์โมนิกส์ที่ 1, 3 และ 5 ซึ่งฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ 5 มีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับฮาร์โมนิกส์ที่ 1 เมื่อทำการปรับแรงดัน Input ให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น รูปคลื่นที่วัดได้ค่อนข้างเพี้ยนไปจากรูปคลื่นสัญญาณ Sinusoidal และ เมื่อพิจารณาผลที่ในรูปของสเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ที่ 1, 3 และ 5 มีขนาดเพิ่มมากขึ้นและเริ่มมีฮาร์โมนิกส์ที่ 7, 9 และ 11 ปรากฏให้เห็นและเมื่อทำการปรับค่าแรงดัน Input จนถึงค่าที่พิกัดและมากกว่าค่าแรงดันที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า สัญญาณที่วัดได้ ไม่คงสภาพของรูปคลื่นสัญญาณ Sinusoidal แต่มีลักษณะรูปคลื่นที่มียอดค่อนข้างแหลม เมื่อพิจารณาในรูปของกราฟสเปกตรัม ขนาดของฮาร์โมนิกส์ ที่ ลำดับต่างๆ มีขนาดเพิ่มมากขึ้นและมีฮาร์โมนิกส์ ที่ความถี่สูงๆปรากฏให้เห็น จุดประสงค์ในการป้อนแรงดัน Input ให้มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงก็เพื่อสังเกตพฤติกรรมของฮาร์โมนิกส์ต่างๆจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเพิ่มแรงดัน B ก็จะมีค่ามากขึ้นตามกระแสกระตุ้น เมื่อ B มากขึ้น ตามความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุที่นำมาใช้ทำแกนเหล็กก็อยู่ในย่านดังกล่าวแต่ถ้าแรงดัน Input น้อย B ก็จะลดน้อยลงตามทำให้ที่อยู่ย่านของความไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้น ในการที่เราเปลี่ยนจุดทำงานของ B ส่งผลเด่นชัดว่า B มีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์โมนิกส์ต่างๆที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยสรุปแล้วเมื่อพิจารณาในเชิงปริมาณ กระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้ามีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสฟลักซ์ องค์ประกอบ ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสกระตุ้นหรือประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของฟลักซ์

จากผลที่ได้ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันทั้ง รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและสเปกตรัม จะเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบทั้ง 3 ตัว มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งขนาด, รูปร่าง และยังไปในทิศทางเดียวกันด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นใน หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ในการวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จะแยกพิจารณาตามลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทั้ง 3 ตัวให้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส ดังนี้

1. เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y และจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
 - 1.1 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Y
 - 1.2 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ
 - 1.3 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจรออก
2. เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y ไม่ได้ต่อจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย
 - 2.1 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Y
 - 2.2 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ
 - 2.3 การต่อหม้อแปลงแบบ Y - Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจรออก
3. เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ
 - 3.1 การต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Y
 - 3.2 การต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
 - 3.3 การต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจรออก

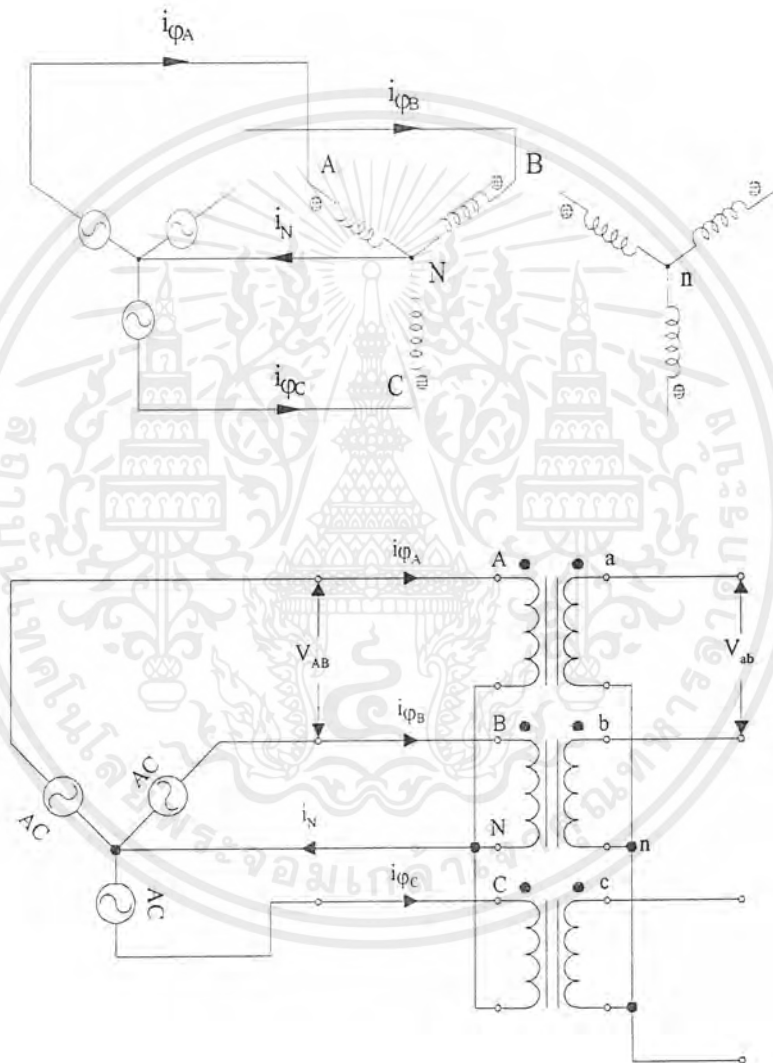
เมื่อทำการทดสอบหม้อแปลงตามลักษณะการต่อแบบต่างๆ จะทำการป้อนแรงดันทดสอบให้กับหม้อแปลงที่พิกัดแรงดันต่างๆ ดังนี้

1. เมื่อทำการทดสอบแรงดันที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)
2. เมื่อทำการทดสอบแรงดันที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด (220 Volt)
3. เมื่อทำการทดสอบแรงดันที่ 115 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด (254 Volt)

ในการวิเคราะห์ผลของปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์จะเน้นที่องค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ 5 เนื่องจากมีองค์ประกอบที่จะสามารถทำให้รูปคลื่นของสัญญาณรวมเปลี่ยนแปลงไปได้

4.1 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y และจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

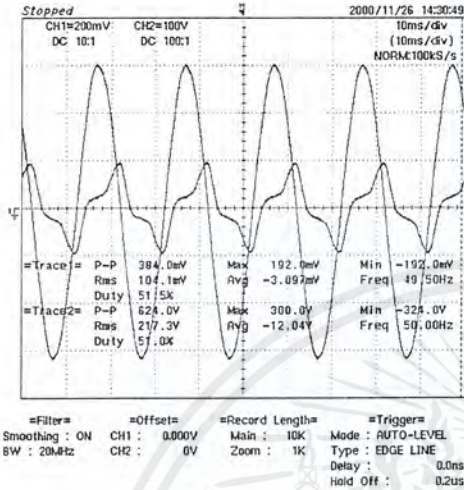
พิจารณาการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว ที่เหมือนกันทุกประการและด้านทุติยภูมิเปิดวงจรออก จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย



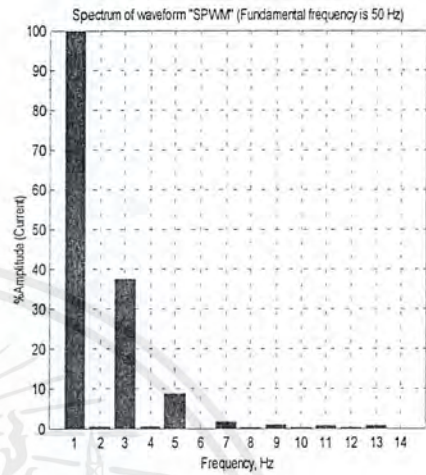
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y และจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัด (220 Volt)



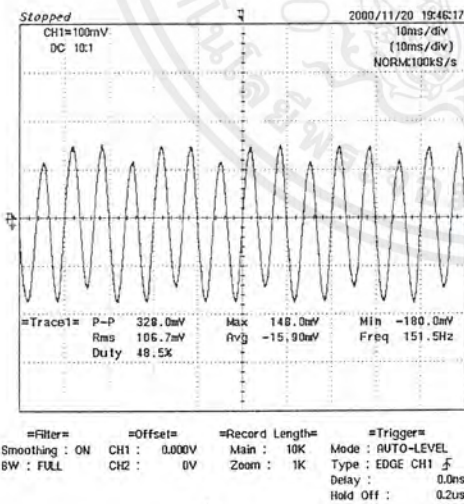
รูปที่ 4.2a.



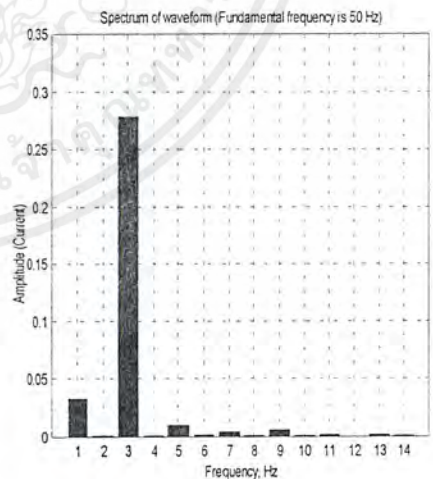
รูปที่ 4.2b.

รูปที่ 4.2 4.2a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

4.2b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.3a.

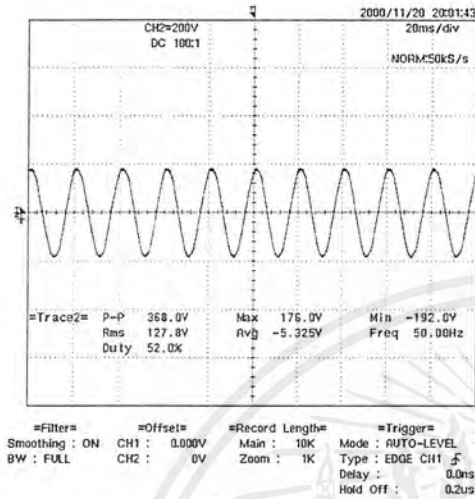


รูปที่ 4.3b.

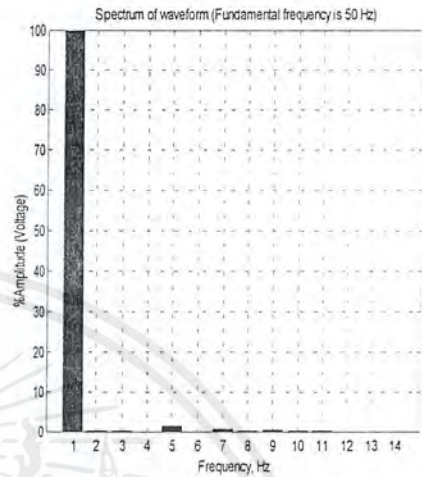
รูปที่ 4.3 4.3a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแส i_N ในสายนิวทรอล

4.3b.แสดงสเปกตรัมของกระแส i_N ในสายนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

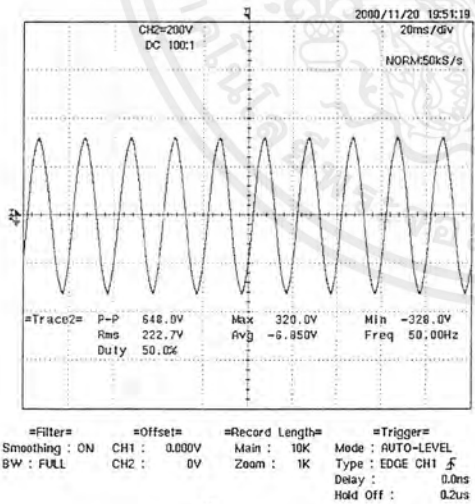


รูปที่ 4.4a.

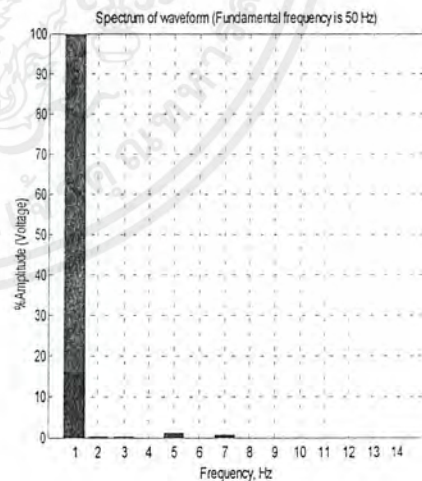


รูปที่ 4.4b.

รูปที่ 4.4 4.4a.แสดงออกสซิดโทแกรมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ
4.4b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.5a.



รูปที่ 4.5b.

รูปที่ 4.5 4.5a.แสดงออกสซิดโทแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
4.5b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันจ่ายให้กับระบบเป็นสัญญาณไซน์และมีระบบสมดุลย์ ดังนั้นกระแสกระตุ้นในแต่ละเฟสจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และเมื่อเพิ่มแรงดันตามแรงดันที่ทำการทดสอบ กระแสกระตุ้นในแต่ละเฟสก็จะมีส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เพิ่มขึ้นตามพิกัดแรงดันทดสอบ และอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากคุณสมบัติของแกนเหล็กที่ไม่เป็นเชิงเส้น

เมื่อกำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัวเหมือนกันทุกประการ กระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$, $i_{\phi B}$ และ $i_{\phi C}$ ก็จะเหมือนกันทุกประการเว้นแต่ความสัมพันธ์ของเฟสที่ต่างกัน 120 องศา ทำให้ผลรวมของกระแสในสายนิวทรัลไม่มีองค์ประกอบหลักของกระแสกระตุ้น แต่เนื่องจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีเฟสตรงกันทั้ง 3 เฟส ดังนั้นองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสในสายนิวทรัลจะเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นในเฟส พิจารณาความสัมพันธ์จากสมการ

$$i_N = i_{\phi A} + i_{\phi B} + i_{\phi C} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้กระแสกระตุ้นในแต่ละเฟสเท่ากับ

$$\begin{aligned} i_{\phi A} &= I_{1m} \sin(\omega t) + I_{3m} \sin(3\omega t) + I_{5m} \sin(5\omega t) \\ i_{\phi B} &= I_{1m} \sin(\omega t - 120^\circ) + I_{3m} \sin(3\omega t - 120^\circ) + I_{5m} \sin(5\omega t - 120^\circ) \\ i_{\phi C} &= I_{1m} \sin(\omega t - 240^\circ) + I_{3m} \sin(3\omega t - 240^\circ) + I_{5m} \sin(5\omega t - 240^\circ) \\ \therefore i_N &= 3 I_{3m} \sin(3\omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

จากฮาร์โมนิกส์ที่ 3 องค์ประกอบของกระแสกระตุ้นจะทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนตกรวมลี้เกอจิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กรวม จะมีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขนาดน้อยๆ ปนอยู่ ซึ่งจะปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านทุติยภูมิแต่จะไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์สามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดค่าให้แรงดันในแต่ละเฟสด้านทุติยภูมิเท่ากับ

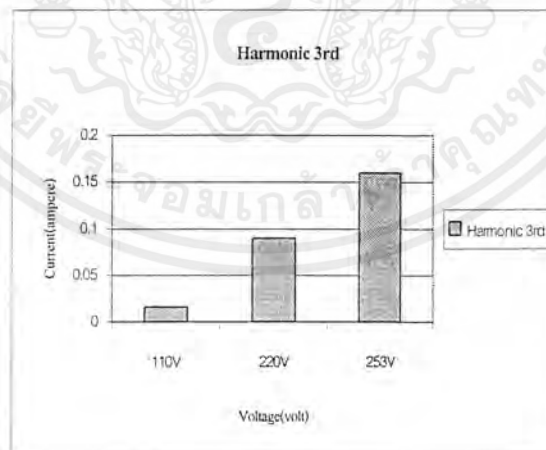
$$V_{an} = V_{1m} \sin(\omega t) + V_{3m} \sin(3\omega t)$$

$$V_{bn} = V_{1m} \sin(\omega t - 120^\circ) + V_{3m} \sin(3(\omega t - 120^\circ))$$

$$\therefore V_{ab} = \sqrt{3} V_{1m} \sin(\omega t + 30^\circ) \quad (4)$$

ในส่วนของการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เฟอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เฟอร์เซ็นต์ (254 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-1. และผลจากการทดสอบจะเห็นได้ว่ามีปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์เหมือนกันกับการทดสอบที่ 100 เฟอร์เซ็นต์ (220 Volt) ของพิกัดแรงดัน แต่จะมีขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์แตกต่างกันแล้วแต่ขนาดแรงดันทดสอบ ซึ่งจะทำการแสดงผลให้เห็นในรูปของกราฟแท่ง

4.1.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

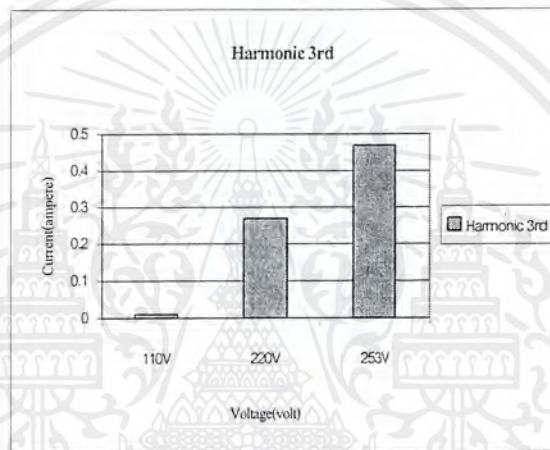


รูปที่ 4.6 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังกราฟแสดงผล

4.1.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรอล ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

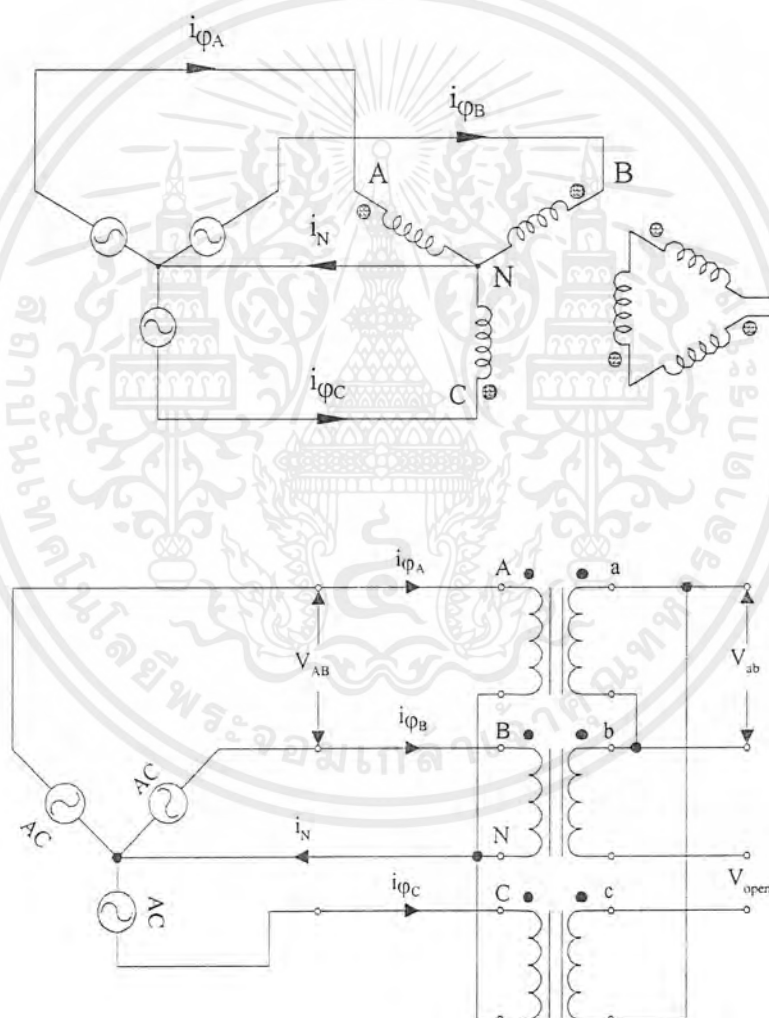


รูปที่ 4.7 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลจะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 และจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามขนาดของพิกัดแรงดันทดสอบ ดังนั้น การเพิ่มขนาดแรงดันที่พิกัดแรงดันต่างๆ เหมือนกันว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงวงรูปของฮิสเทอรีซิสของคุณสมบัติแกนเหล็ก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความเพี้ยนของสัญญาณกระแสกระตุ้นของหม้อแปลงไฟฟ้า องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสกระตุ้นจึงมีขนาดเปลี่ยนตามพิกัดแรงดันทดสอบ

4.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและต่อจุด นิวทรัลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย

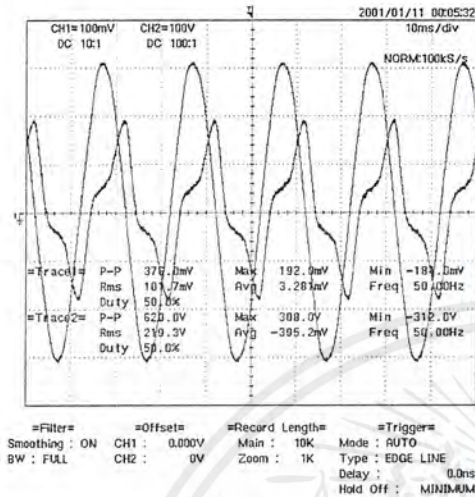
พิจารณาการต่อหม้อแปลงที่เหมือนกันทุกประการโดยด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y ส่วนทางด้านทุติยภูมิ ต่อแบบ Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย



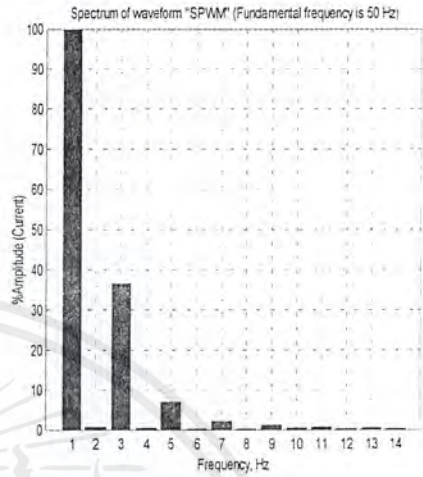
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)

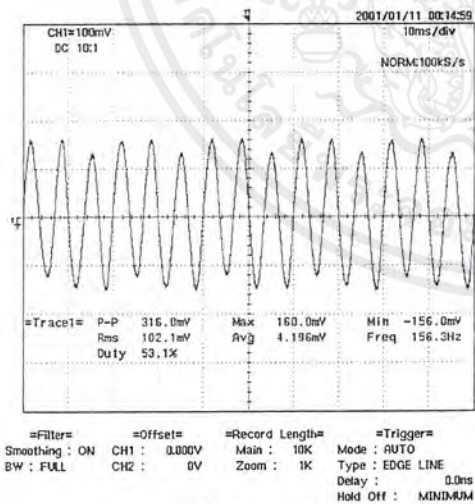


รูปที่ 4.9a.

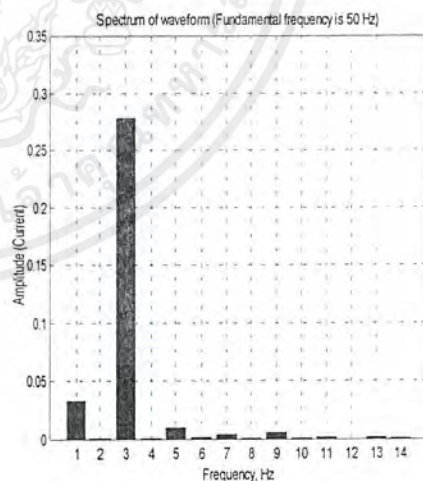


รูปที่ 4.9b.

รูปที่ 4.9 4.9a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ
4.9b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



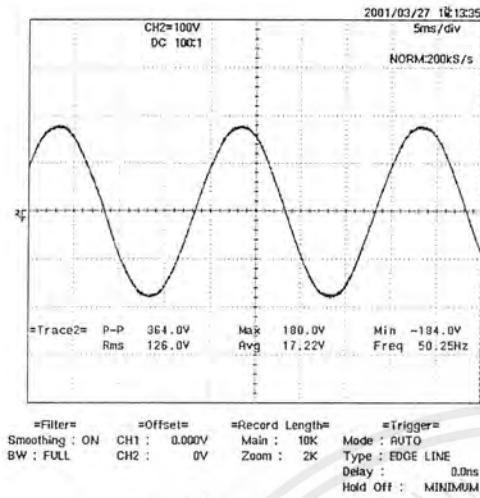
รูปที่ 4.10a.



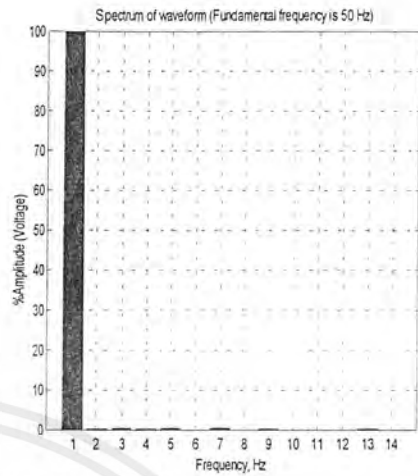
รูปที่ 4.10b.

รูปที่ 4.10 4.10a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแส i_N ในสายนิวทรอล
4.10b.แสดงสเปกตรัมของกระแส i_N ในสายนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

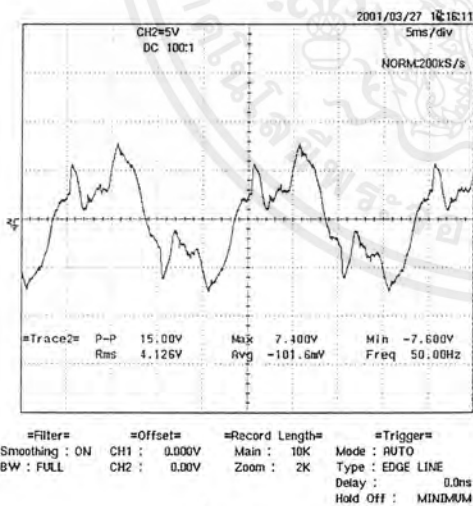


รูปที่ 4.11a.

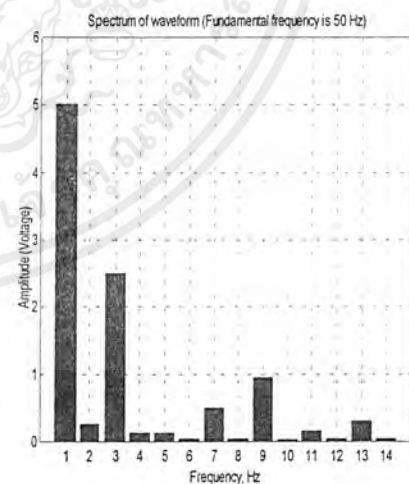


รูปที่ 4.11b.

รูปที่ 4.11 4.11a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตักกร่อมขดลวดค้ำด้านทุติยภูมิ
 4.11b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตักกร่อมขดลวดค้ำด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.12a.



รูปที่ 4.12b.

รูปที่ 4.12 4.12a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ
 4.12b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาการต่อหม้อแปลงแบบนี้ จะเห็นได้ว่าด้านปฐมภูมิจะมีลักษณะของปรากฏการณ์เหมือนกับการต่อแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย และจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส ทำให้เกิดแรงเคลื่อนฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขนาดน้อยๆ ตกคร่อมลิตเกอิมพีแดนซ์ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเส้นแรงแม่เหล็กจะมียังองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขนาดน้อยๆปรากฏออกมาเป็นองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิแต่มีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบหลัก ดังนั้นทำให้ผลรวมของแรงดันที่จุดเปิดวงจรของขดลวดด้านทุติยภูมิมีค่าเป็นศูนย์ พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

$$V_{open} = V_{aa'} + V_{bb'} + V_{cc'} \quad (5)$$

เมื่อกำหนดให้แรงดันในแต่ละเฟสด้านทุติยภูมิเท่ากับ

$$V_{aa'} = V_{1m} \sin(\omega t) + V_{5m} \sin(5\omega t)$$

$$V_{bc'} = V_{1m} \sin(\omega t - 120^\circ) + V_{5m} \sin 5(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{cc'} = V_{1m} \sin(\omega t - 240^\circ) + V_{5m} \sin 5(\omega t - 240^\circ)$$

$$\therefore V_{open} = 0$$

(6)

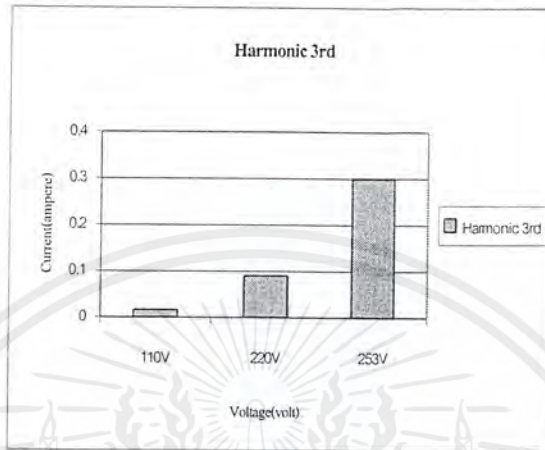
แต่จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิซึ่งเกิดจากการที่จะทำให้หม้อแปลงทั้ง 3 ตัวมีคุณสมบัติที่เหมือนกันทุกประการนั้นเป็นไปได้ยากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่แสดงด้วยผลการทดลอง

ในส่วนของการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เฟอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เฟอร์เซ็นต์ (254 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-2.

4.2.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

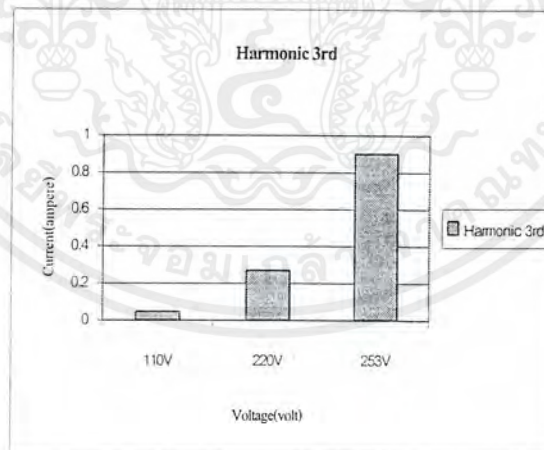
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.13 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

4.2.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแส i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ



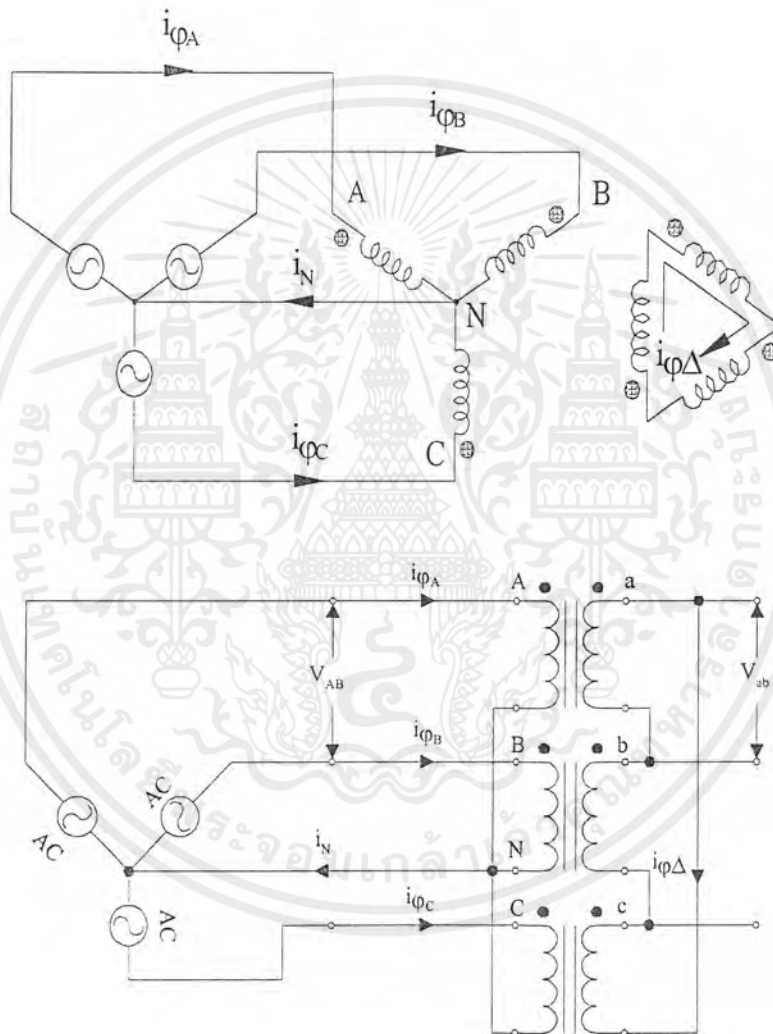
รูปที่ 4.14 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลจะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 และจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามขนาดของพิกัดแรงดันทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

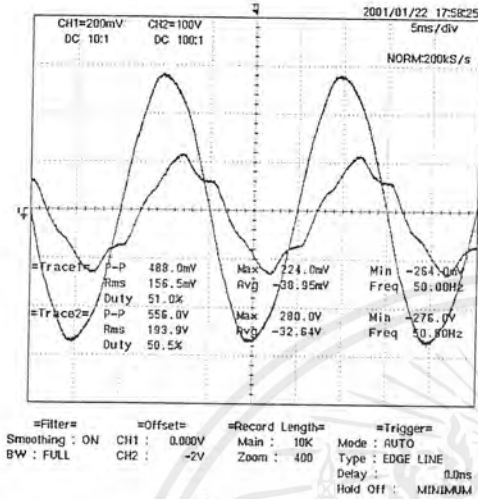
พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมือนกันทุกประการทั้ง 3 ตัวด้านปฐมภูมิต่อขดลวดแบบ Y และด้านทุติยภูมิต่อขดลวดแบบ Δ โดยที่จุดนิวทรัลของขดลวดด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย



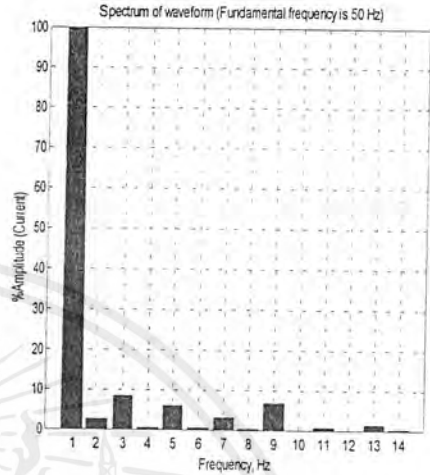
รูปที่ 4.15 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)



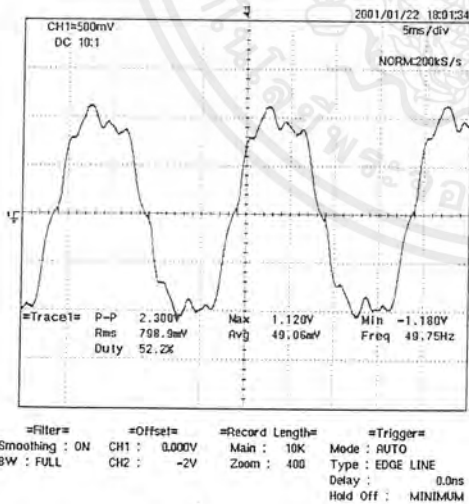
รูปที่ 4.16a.



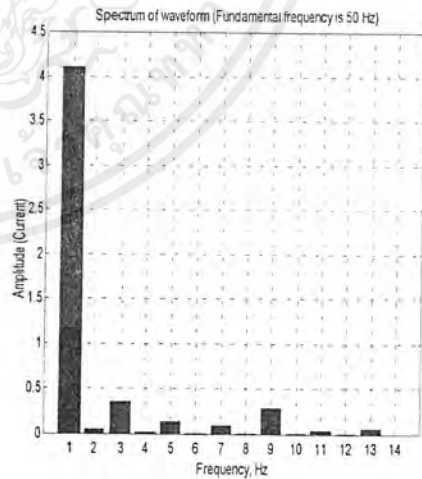
รูปที่ 4.16b.

รูปที่ 4.16 4.16a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{QA} เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

4.16b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{QA} ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.17a.

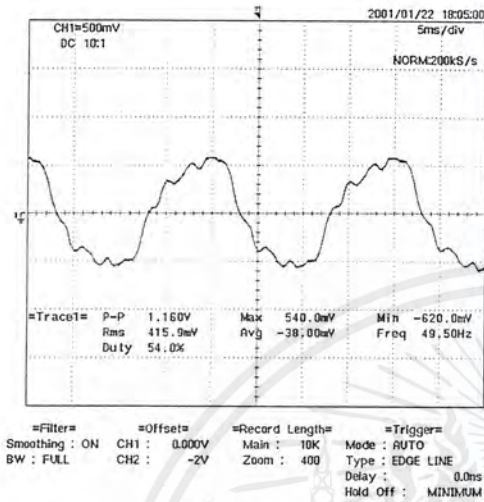


รูปที่ 4.17b.

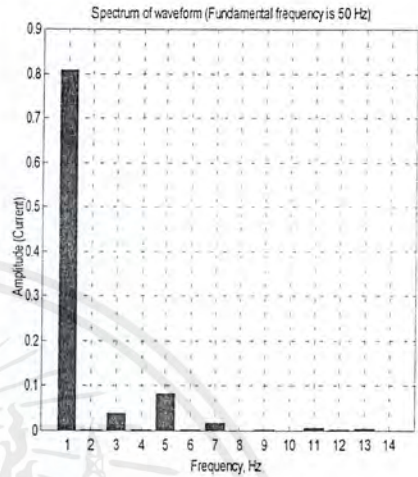
รูปที่ 4-17 4-17a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแส i_N ในสายนิวทรัล

4-17b.แสดงสเปกตรัมของกระแส i_N ในสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

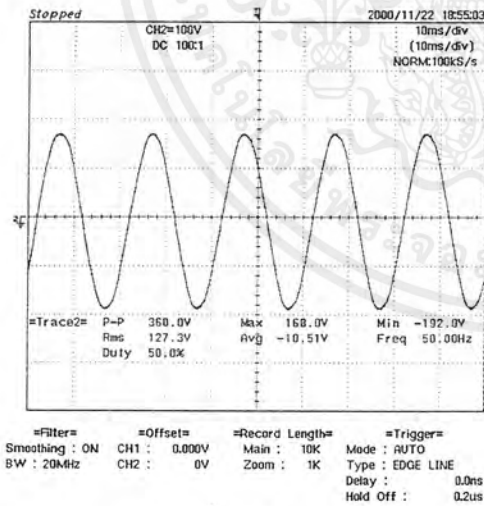


รูปที่ 4.18a.

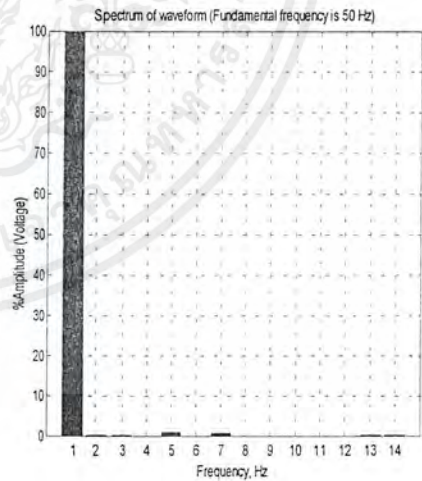


รูปที่ 4.18b.

รูปที่ 4.18 4.18a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแส i_{ϕ_1} ที่ไหลในในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ
4.18b.แสดงสเปกตรัมของกระแส i_{ϕ_1} ที่ไหลในในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.19a.



รูปที่ 4.19b.

รูปที่ 4.19 4.19a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
4.19b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

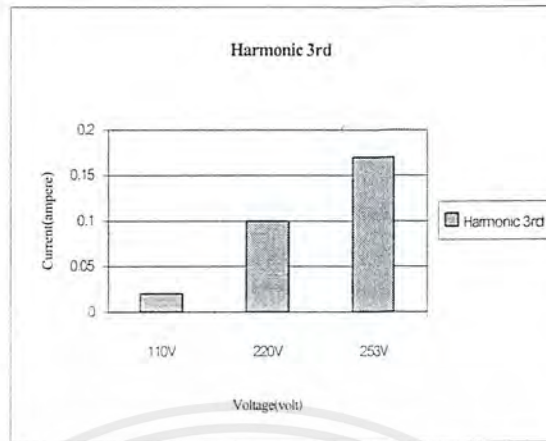
ในการพิจารณาการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของขดลวดด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับจุดนิวทรัลของแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าจากผลการทดสอบหม้อแปลงนั้นเมื่อพิจารณากระแสกระตุ้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีขนาดลดลงอันเป็นผลมาจากการที่ทำการปิดวงจรของขดลวด Δ ด้านทุติยภูมิทำให้เกิดมีกระแสไหลในรูป Δ ซึ่งจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นด้านปฐมภูมิ จึงมีผลทำให้เกิดการหักล้างกัน ทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดลดลง ทำให้ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นด้านปฐมภูมิที่ไหลกลับโดยสายนิวทรัลนั้น มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ลดลง แต่จากผลการทดลองซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักของกระแสกระตุ้นขนาดน้อยๆ อันเกิดจากการที่จะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัวมีคุณสมบัติเท่ากันทุกประการเป็นไปได้ยาก จึงเป็นผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังจะเห็นได้จากรูปของสเปกตรัมของกระแสในสายนิวทรัล

เมื่อทำการปิดวงจรขดลวดด้านปฐมภูมิทำให้กระแสในรูป Δ ครบวงจร อันเป็นผลทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดลดลง ทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กร่วม มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีขนาดลดลงด้วย ทำให้แรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิแทบจะไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะมีเฉพาะองค์ประกอบหลักของแรงเคลื่อนทำให้รูปคลื่นแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิเป็นสัญญาณไซน์

ในส่วนของการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เฟอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เฟอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-3.

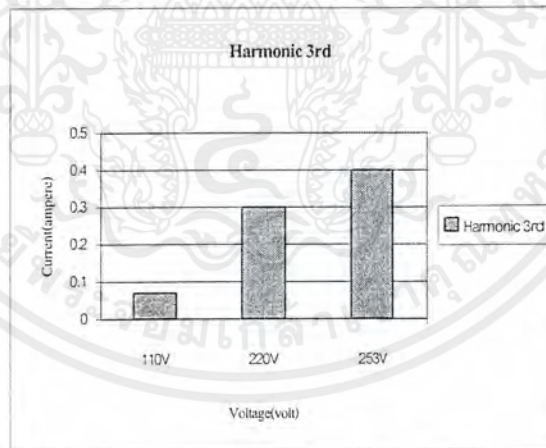
4.3.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ที่ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันต่างๆ

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.20 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 4}$ ที่ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันต่างๆ

4.3.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันต่างๆ

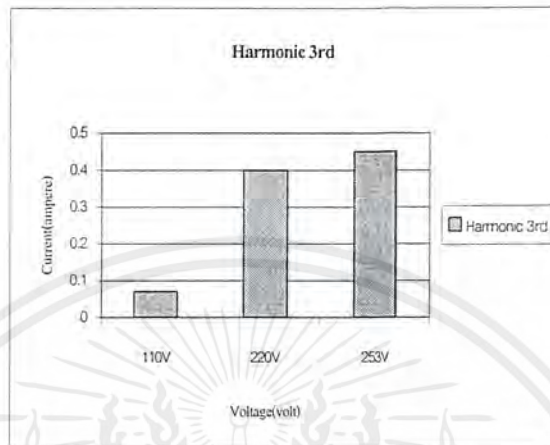


รูปที่ 4.21 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันต่างๆ

จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลซึ่งจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส และจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามขนาดของพิกัดแรงดันทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi d}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันต่างๆ

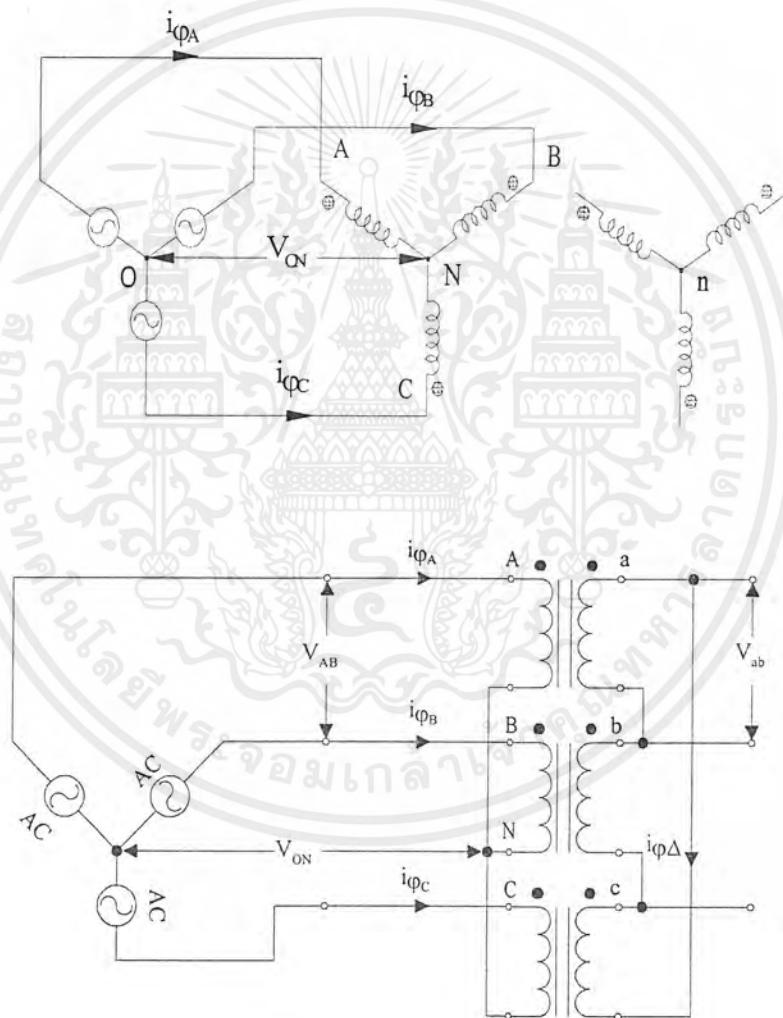


รูปที่ 4.22 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi d}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันต่างๆ

ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย เมื่อทำการปิดวงจรขดลวด Δ ด้านทุติยภูมินั้นจะมีผลทำให้เกิดมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสไหลในรูป Δ และจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น ทำให้เกิดการหักล้างกันขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแส เมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงใกล้จุดอิ่มตัว ทำให้มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสในรูป Δ มากขึ้นทำให้เกิดการหักล้างขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสมากขึ้นตามพิกัดแรงดันทดสอบ

4.4 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y โดยที่แยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

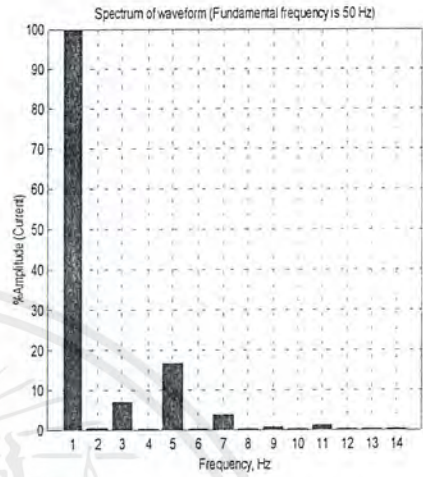
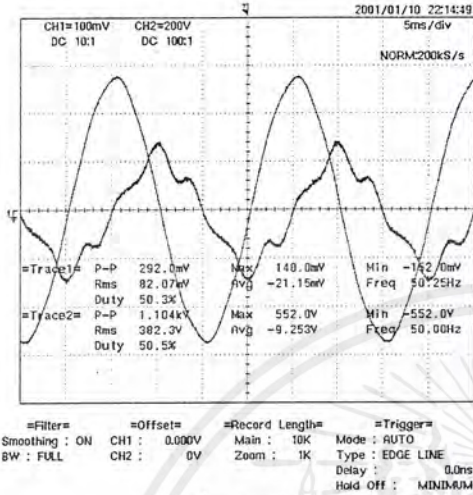
พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัวที่เหมือนกันทุกประการ นำมาต่อเป็นหม้อแปลงในระบบ 3 เฟส ซึ่งด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y โดยที่จุดนิวทรัลไม่ได้ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย และด้านทุติยภูมิต่อแบบ Y



รูปที่ 4.23 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)



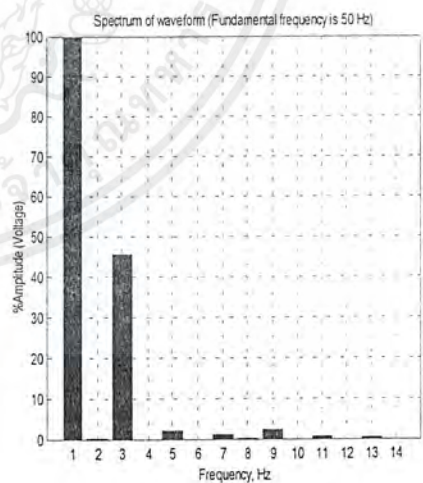
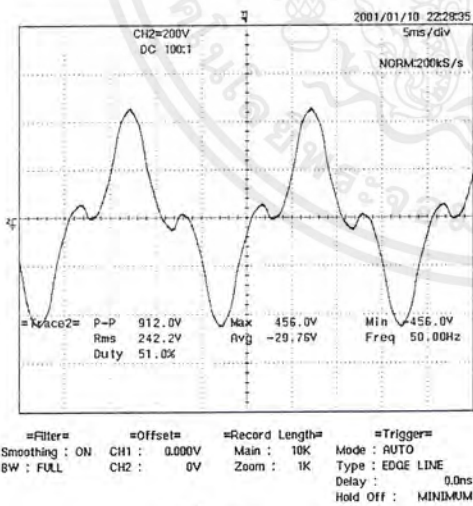
รูปที่ 4.24a.

รูปที่ 4.24b.

รูปที่ 4.24 4.24a.แสดงออสซิลโตแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดัน ไลน์ V_{AB}

ด้านปฐมภูมิ

4.24b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



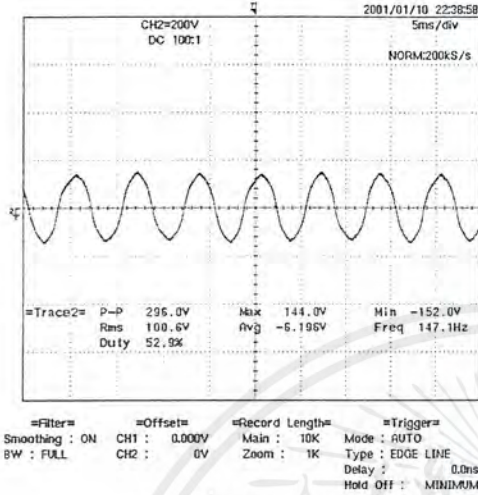
รูปที่ 4.25a.

รูปที่ 4.25b.

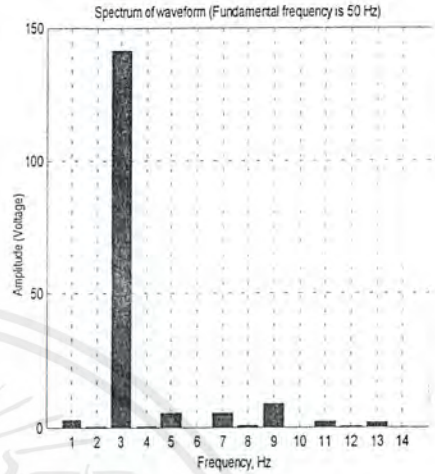
รูปที่ 4.25 4.25a.แสดงออสซิลโตแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

4.25b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

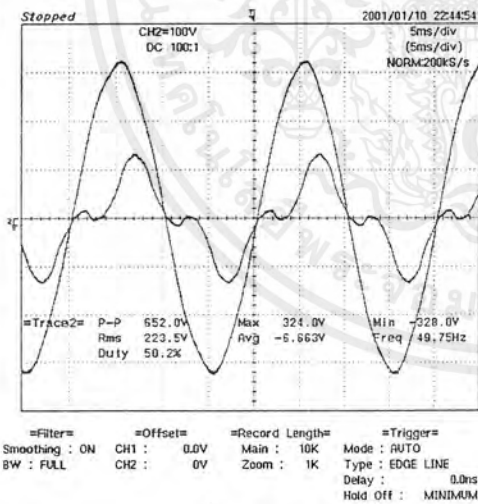


รูปที่ 4.26a.

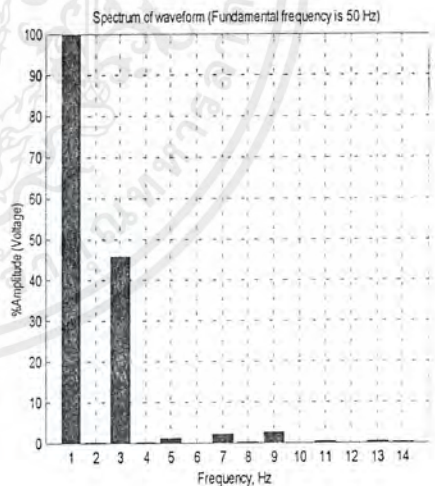


รูปที่ 4.26b.

รูปที่ 4.26 4.26a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ
 4.26b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ



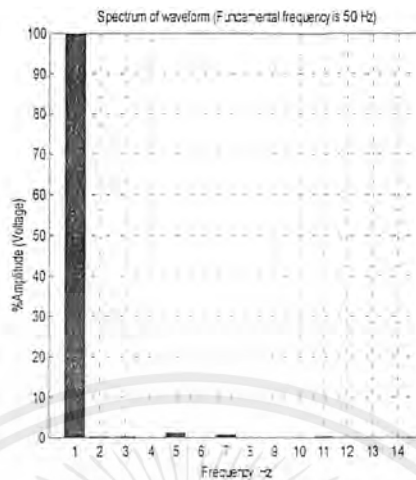
รูปที่ 4.27a.



รูปที่ 4.27b.

รูปที่ 4.27 4.27a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{AB}
 ด้านทุติยภูมิ
 4.27b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทฤษฎี

ในการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y เมื่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิแยกออกจากจุดนิวทรอลของแหล่งจ่าย จึงไม่มีเส้นทางไหลกลับของกระแสกระตุ้นทำให้ผลรวมของกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับกลุ่มหม้อแปลงเป็นศูนย์ การแยกจุดนิวทรอลยังมีผลต่อฮาร์โมนิกส์ในกระแสกระตุ้น เมื่อพิจารณาว่าหม้อแปลงมีคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน ดังนั้นกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับหม้อแปลงแต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากันแต่ต่างเฟสกัน 120 องศา แต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในกระแสกระตุ้นซึ่งมีเฟสตรงกันทำให้ผลรวมของมันไม่เท่ากับศูนย์ และเมื่อทำการแยกจุดนิวทรอลจึงทำให้ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นมีค่าเป็นศูนย์ จึงทำให้ไม่สามารถมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นไหลในขดลวดด้านปฐมภูมิได้

ดังนั้น กระแสกระตุ้นที่ไหลในขดลวดด้านปฐมภูมิ $i_{\phi A}$ ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบหลักรวมกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับต่างๆ ยกเว้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และทวีคูณของ 3 ทำให้ลักษณะของสัญญาณรูปคลื่นเป็นคัมเบลที่ต้อป ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสที่มีขนาดใหญ่สุดเมื่อเทียบกับฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ แต่เมื่อพิจารณาแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิซึ่งจะมีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ มีผลทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กพร้อมมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และจะปรากฏออกมาบนแรงเคลื่อนไฟฟ้าไลน่เทียบกับจุดนิวทรอลด้านทฤษฎี แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าไลน่เทียบกับไลน่จะไม่มีย้องค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ซึ่งจะพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} \quad (7)$$

เมื่อกำหนดให้แรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอลด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ

$$V_{an} = V_{1m} \sin(\omega t) + V_{3m} \sin(3\omega t)$$

$$V_{bn} = V_{1m} \sin(\omega t - 120^\circ) + V_{3m} \sin 3(\omega t - 120^\circ)$$

$$\therefore V_{ab} = \sqrt{3} V_{1m} \sin(\omega t + 30^\circ) \quad (8)$$

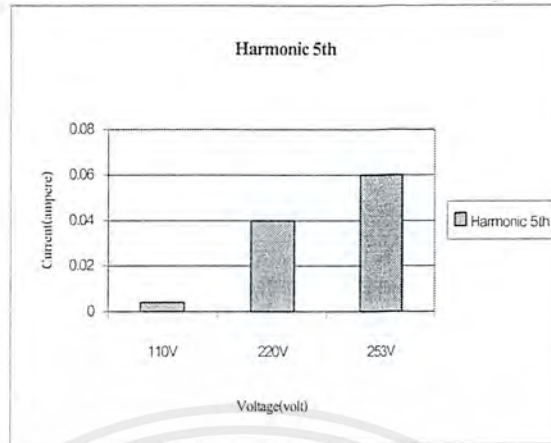
เมื่อทำการพิจารณาแรงเคลื่อนจุดเปิดวงจรด้านปฐมภูมิ คือ V_{ON} จะพบว่าจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อน แต่ผลรวมขององค์ประกอบหลักและฮาร์โมนิกส์ที่ 5 จะมีผลรวมเป็นศูนย์ พิจารณาความสัมพันธ์ได้จากสมการ

$$V_{ON} = V_{3m} \sin(3\omega t) \quad (9)$$

ในส่วนของผลการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เฟอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เฟอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-4.

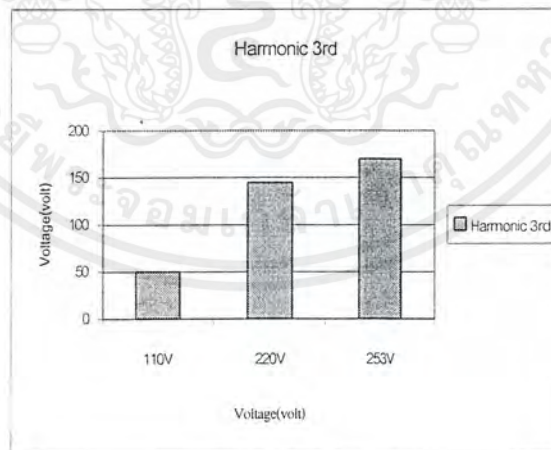
4.4.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละเฟส จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้นก็จะมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลง ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.29 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

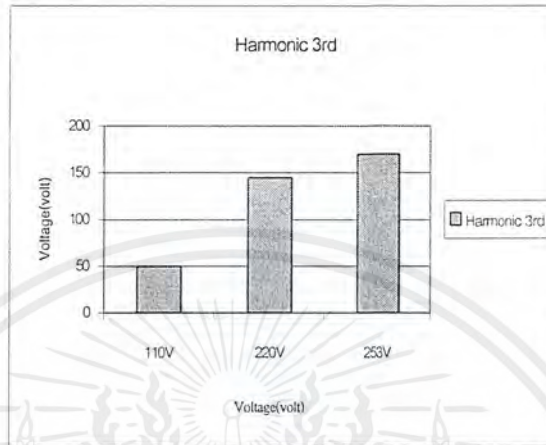
4.4.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ



รูปที่ 4.30 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

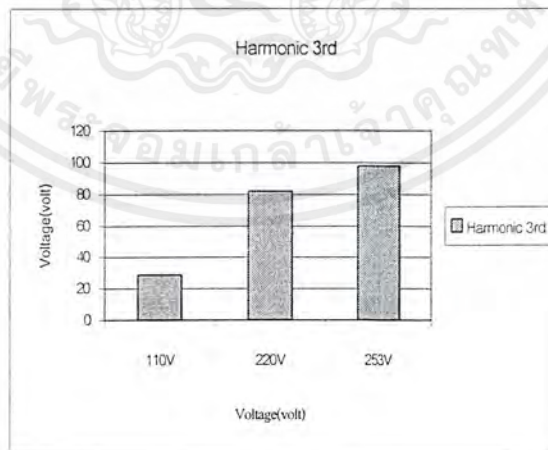
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ



รูปที่ 4.31 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดันต้น V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

4.4.5 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{an} ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

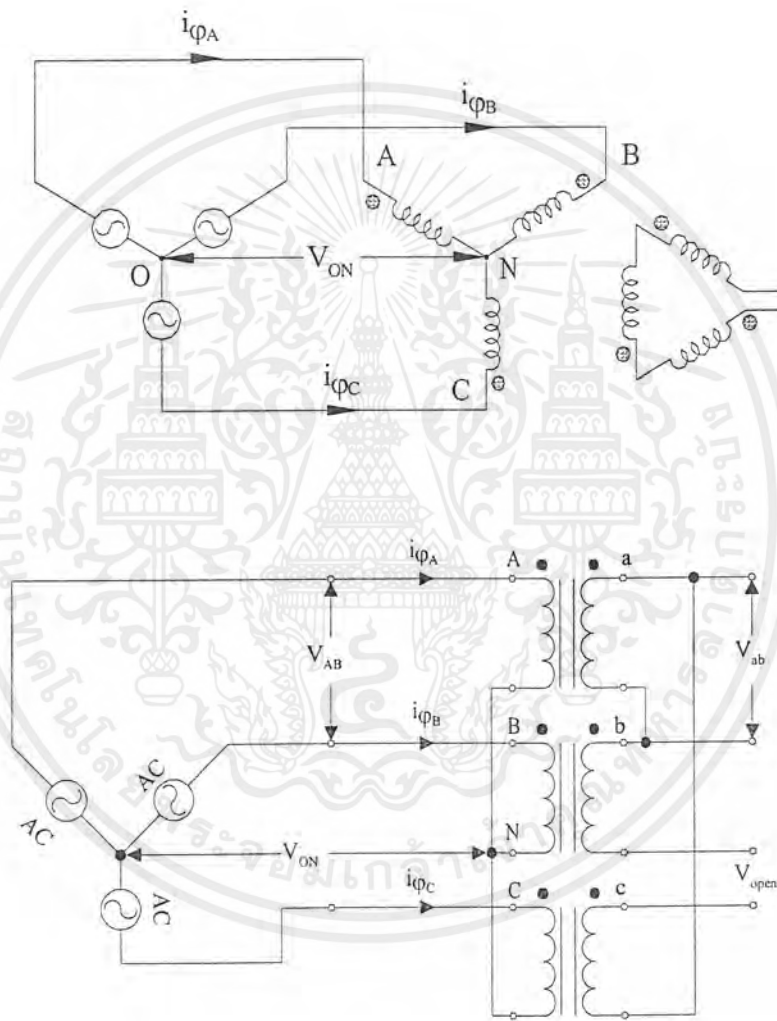


รูปที่ 4.32 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดันต้น V_{an} ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

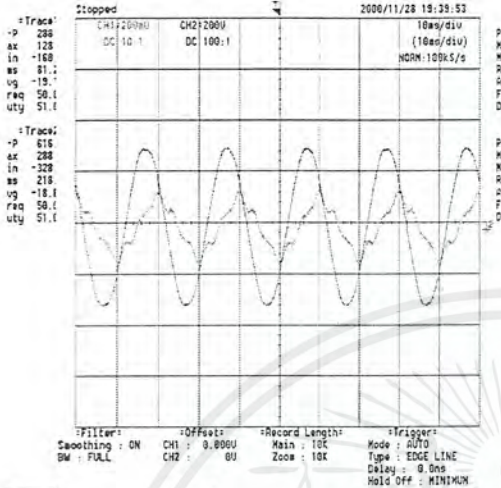
พิจารณาการต่อหม้อแปลงที่เหมือนกันทุกประการ 3 ตัว โดยที่ด้านปฐมภูมิขดลวดต่อแบบ Y และจุดนิวทรัลแยกออกจากแหล่งจ่าย ส่วนด้านทุติยภูมิต่อแบบ Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก



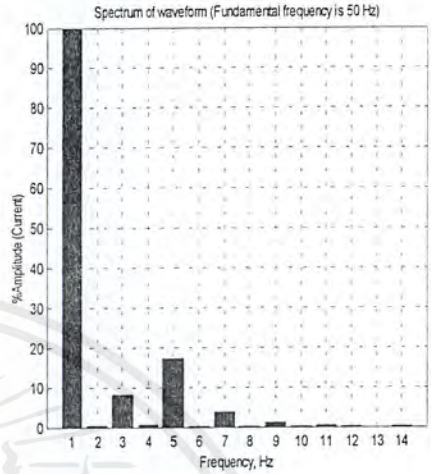
รูปที่ 4.33 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)



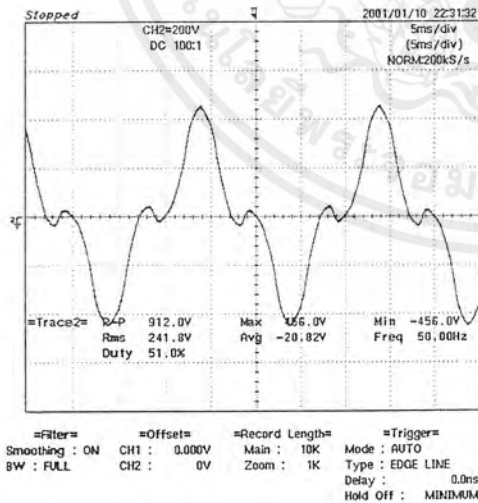
รูปที่ 4.34a.



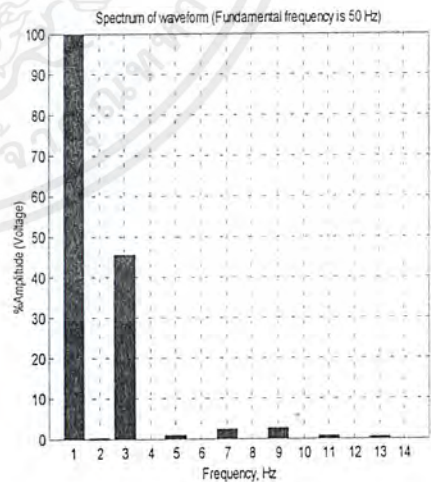
รูปที่ 4.34b.

รูปที่ 4.34 4.34a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO} ด้านปฐมภูมิ

4.34b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.35a.

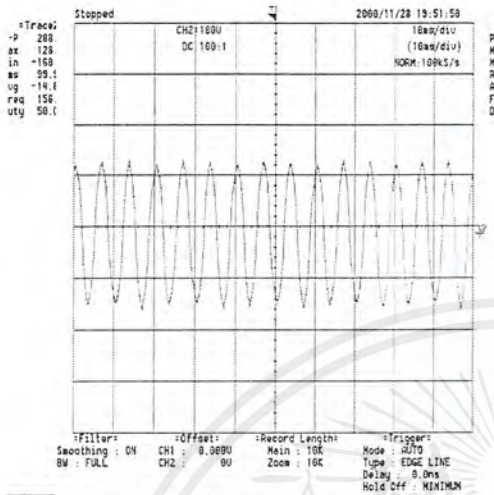


รูปที่ 4.35b.

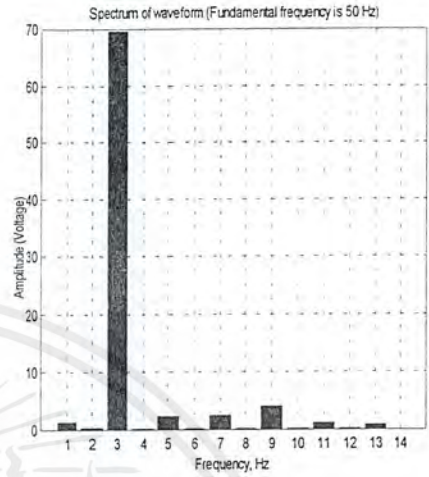
รูปที่ 4.35 4.35a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

4.35b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

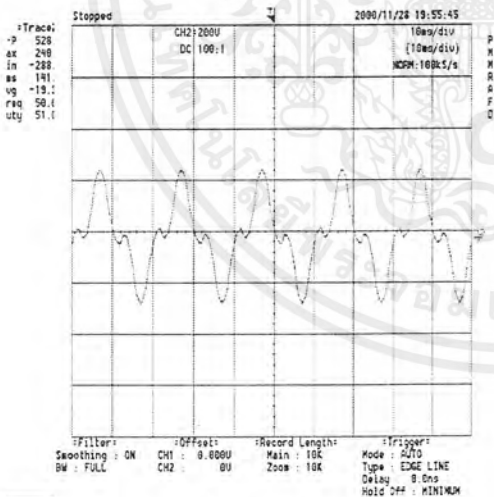


รูปที่ 4.36a.

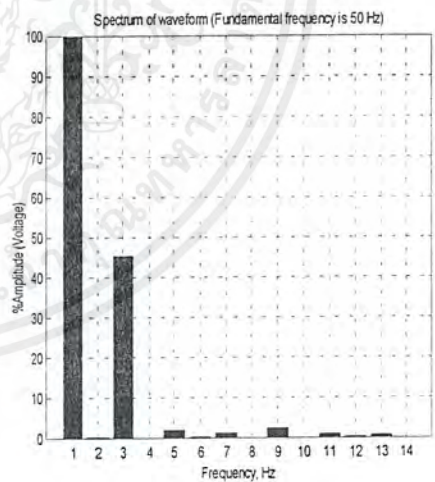


รูปที่ 4.36b.

รูปที่ 4.36 4.36a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} ที่จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ
4.36b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} ที่จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ



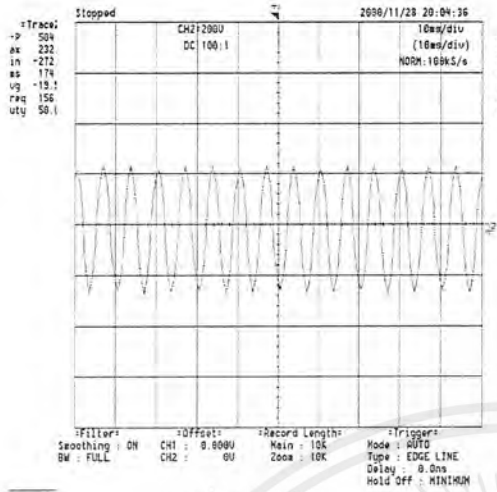
รูปที่ 4.37a.



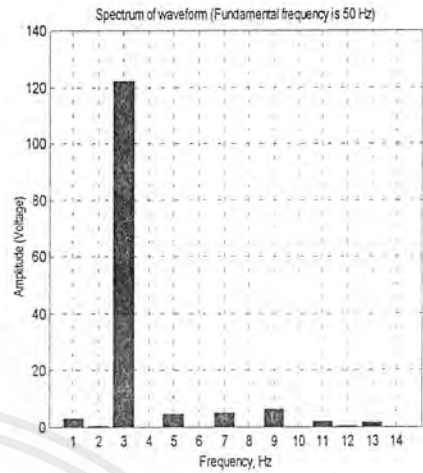
รูปที่ 4.37b.

รูปที่ 4.37 4.37a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{aa} ที่ตกรวมขดลวด ด้านทุติยภูมิ
4.37b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{aa} ที่ตกรวมขดลวดด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38a.



รูปที่ 4.38b.

รูปที่ 4.38 4.38a. แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ
4.38b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ

ในการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากจุดนิวทรัลของแหล่งจ่าย เมื่อทำการพิจารณาด้านปฐมภูมิจะเห็นว่าผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นซึ่งมีเฟส ตรงกันทั้ง 3 เฟส มีผลรวมขณะใดขณะหนึ่งเท่ากับศูนย์ เนื่องจากการแยกจุดนิวทรัลของแหล่งจ่ายทำให้ไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในกระแสกระตุ้น จึงได้ลักษณะของรูปคลื่นกระแสกระตุ้นเป็นดับเบิลทอป ซึ่งเป็นผลจากองค์ประกอบหลักรวมกับฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น พิจารณาความสัมพันธ์ได้จากสมการ

$$i_{\phi A} + i_{\phi B} + i_{\phi C} = 0 \tag{10}$$

เมื่อพิจารณาแรงเคลื่อนตกร่วมไลน์เทียบกับจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิซึ่งจะมีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ทำให้เกิดแรงเคลื่อนตกร่วมอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ มีผลทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กพร้อมมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และจะปรากฏออกมาบนแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดแต่ละชุดด้านทุติยภูมิ ทำให้แรงเคลื่อนที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิเป็นผลรวมของขดลวดในแต่ละชุดทั้ง 3 เฟส ซึ่งจะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนและจะมีขนาดเป็น 3 เท่าของขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนแต่ละชุดด้านทุติยภูมิซึ่งจะพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{open} = V_{aa'} + V_{bb'} + V_{cc'} \quad (11)$$

เมื่อกำหนดให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละขดด้านทุติยภูมิเท่ากับ

$$V_{aa'} = V_{1m} \sin(\omega t) + V_{3m} \sin(3\omega t) + V_{5m} \sin(5\omega t)$$

$$V_{bb'} = V_{1m} \sin(\omega t - 120^\circ) + V_{3m} \sin 3(\omega t - 120^\circ) + V_{5m} \sin 5(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{cc'} = V_{1m} \sin(\omega t - 240^\circ) + V_{3m} \sin 3(\omega t - 240^\circ) + V_{5m} \sin 5(\omega t - 240^\circ)$$

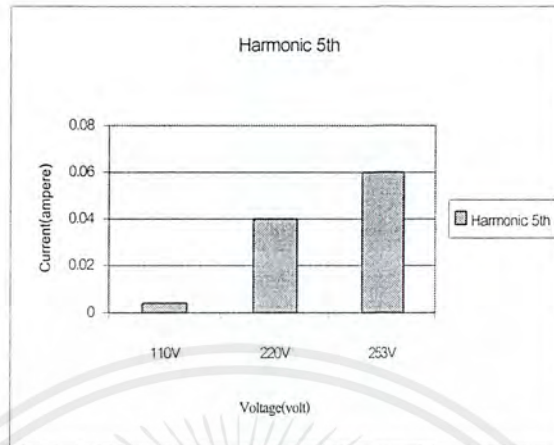
$$\therefore V_{open} = 3 V_{3m} \sin(3\omega t) \quad (12)$$

เมื่อทำการพิจารณาแรงเคลื่อนจุดเปิดวงจรด้านปฐมภูมิ คือ V_{ON} จะพบว่าจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 แรงเคลื่อน แต่ผลรวมขององค์ประกอบหลักจะมีผลรวมเป็นศูนย์ พิจารณาความสัมพันธ์ได้จากสมการ (9)

ในส่วนของการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เฟอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เฟอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-5.

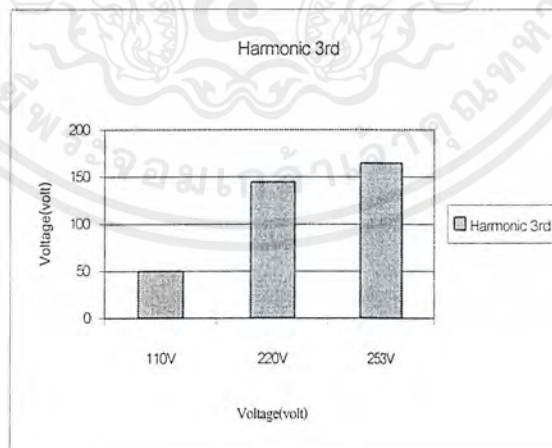
4.5.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดดอกร่วมฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่าขนาดดอกร่วมฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลของดอกร่วมฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.39 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

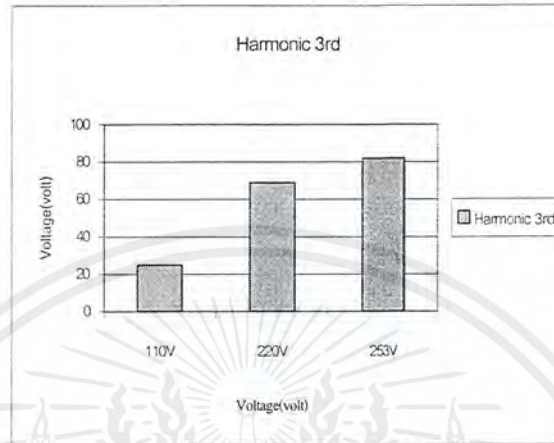
4.5.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ



รูปที่ 4.40 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{AN} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

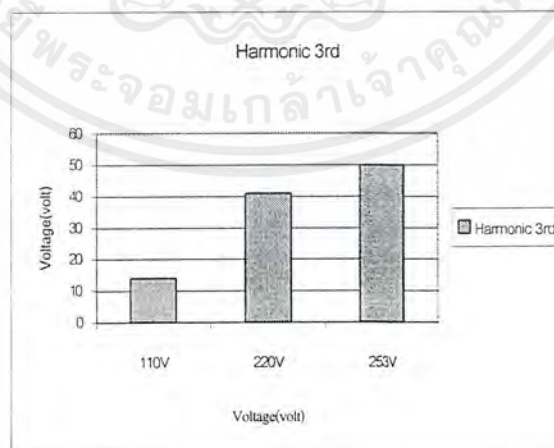
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ



รูปที่ 4.41 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

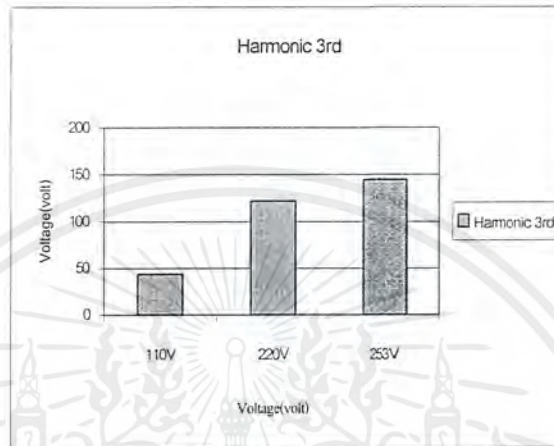
4.5.5 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดันเฟส $V_{aa'}$ ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ



รูปที่ 4.42 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน เฟส $V_{aa'}$ ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

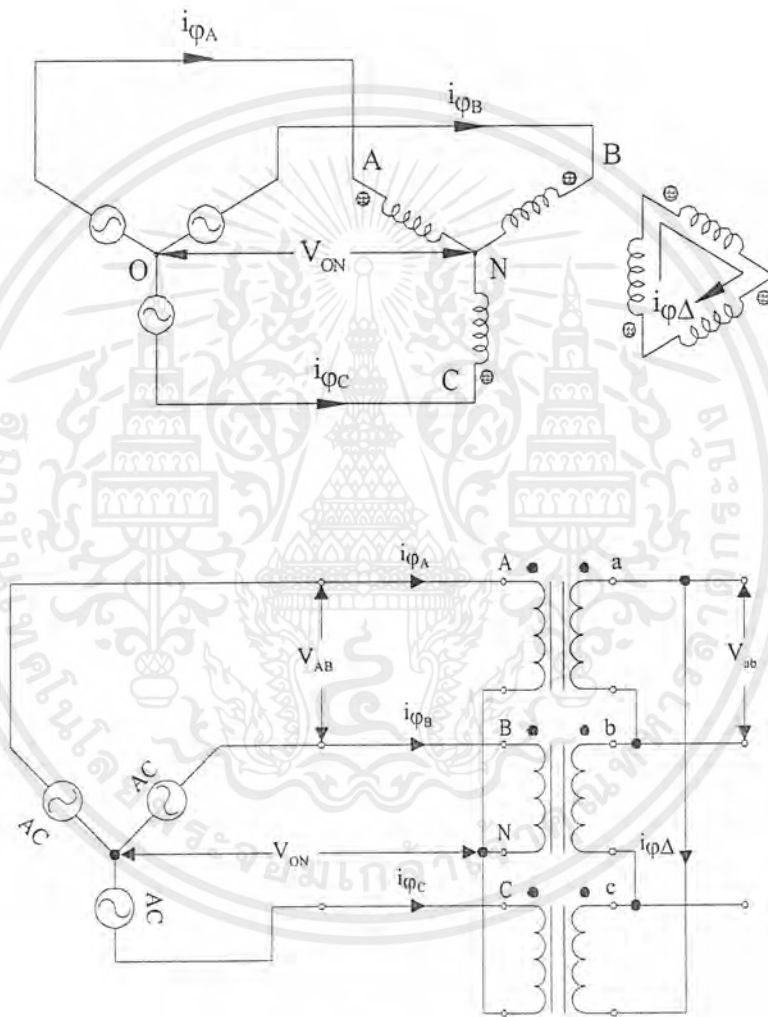


รูปที่ 4.43 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

พิจารณาค่าต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นด้านปฐมภูมิจะไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 แต่กระแสกระตุ้นกลับจะมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ที่มีองค์ประกอบใหญ่ที่สุด และแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กพร้อมจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ ดังนั้นแรงเคลื่อนที่จุดเปิดวงจรของขดลวด Δ จะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ซึ่งมีขนาดเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ที่ตกคร่อมขดลวด

4.6 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่แยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

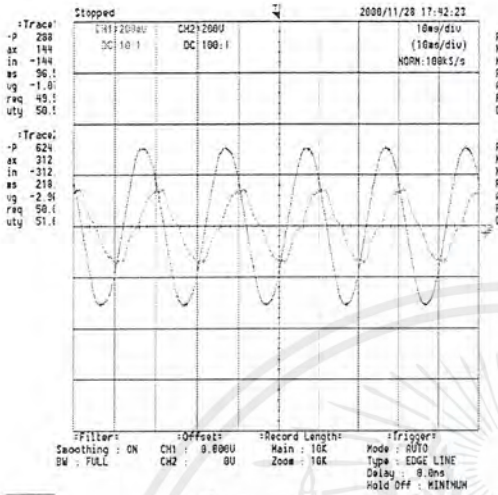
พิจารณาการต่อหม้อแปลงที่เหมือนกันทุกประการ 3 ตัว ด้านปฐมภูมิขดลวดต่อแบบ Y และจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิแยกออกจากแหล่งจ่าย ส่วนด้านทุติยภูมิต่อขดลวดแบบ Δ



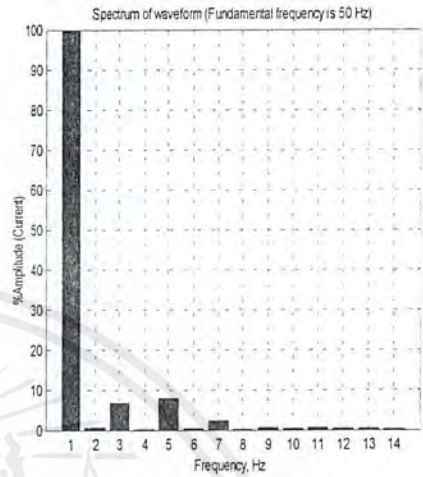
รูปที่ 4.44 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยที่แยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจาก แหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)

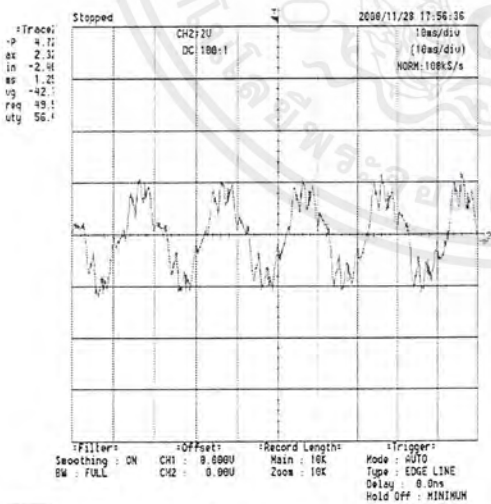


รูปที่ 4.45a.

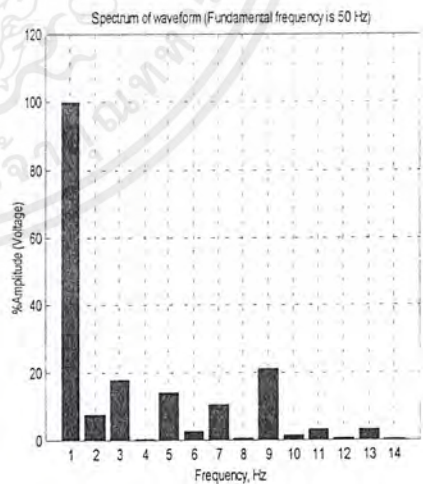


รูปที่ 4.45b.

รูปที่ 4.45 4.45a. แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO} ด้านปฐมภูมิ
 4.45b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



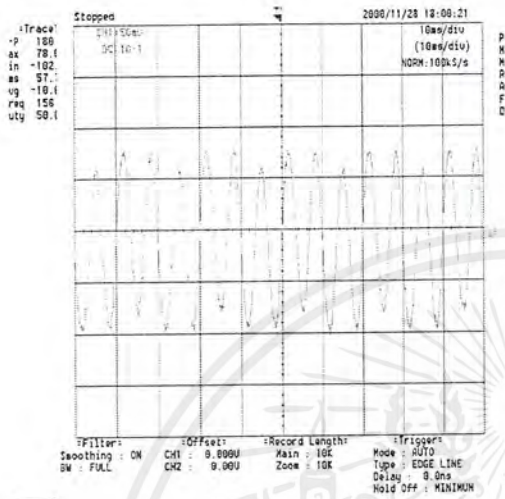
รูปที่ 4.46a.



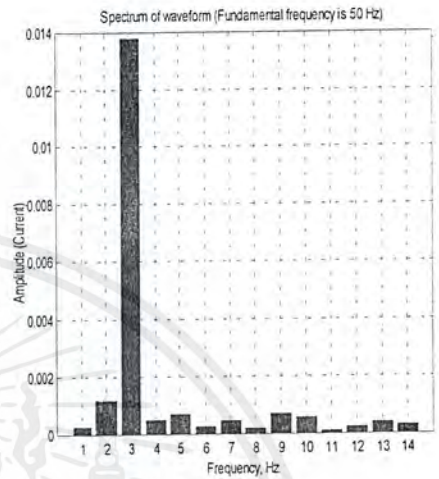
รูปที่ 4.46b.

รูปที่ 4.46 4.46a. แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} ที่จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ
 4.46b. แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} ที่จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

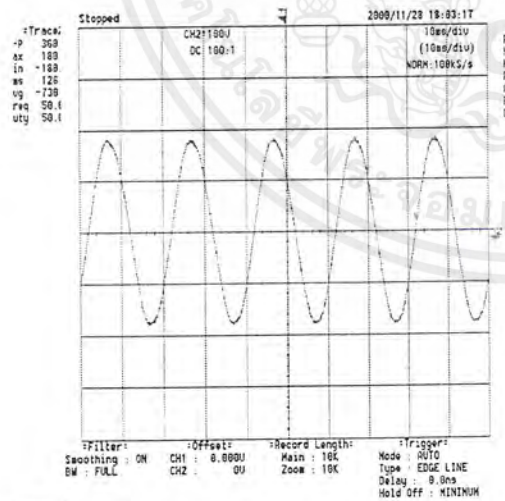


รูปที่ 4.47a.

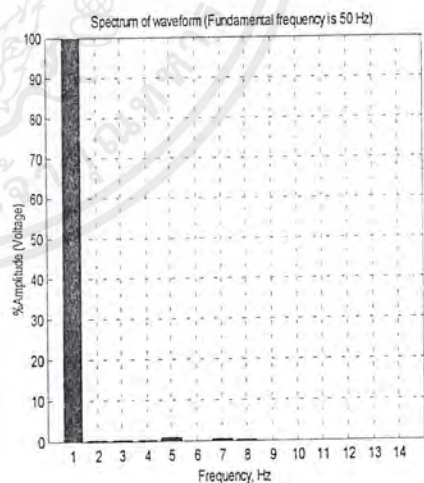


รูปที่ 4.47b.

รูปที่ 4.47 4.47a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi\Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ
4.47b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi\Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.48a.



รูปที่ 4.48b.

รูปที่ 4.48 4.48a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ
4.48b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

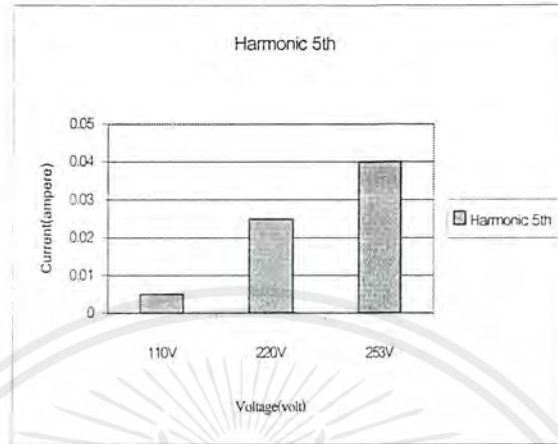
เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าต่อแบบ Y- Δ โดยที่แยกจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย ซึ่งกรณีนี้จะไม่มียอดประกอบที่ 3 ของกระแสกระตุ้นเพราะเส้นทางไหลกลับคือสายนิวทรอลเปิดวงจรออก ซึ่งจะมีผลทำให้ผลรวมของกระแสขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นมีค่าเท่ากับศูนย์ พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (10) เนื่องจากองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสในแต่ละเฟสมีเฟสตรงกัน ซึ่งผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์จึงทำให้ไม่มียอดประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นหรือลำดับอื่นที่เป็นทวีคูณของ 3 ในกระแสกระตุ้นเลข ดังนั้นกระแสกระตุ้นในแต่ละเฟส จะมีองค์ประกอบหลักรวมกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น

เมื่อทำการปิดวงจร Δ ด้านทุติยภูมิทำให้เกิดทางเดินของกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 ในรูป Δ และองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 แรงเคลื่อนจะถูกสร้างโดยองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ทำให้สนามแม่เหล็กปรับตัวเองให้มีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกที่ 3 เพื่อที่จะสร้างองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ขนาดน้อยๆของแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิ สนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ขึ้นที่แรงเคลื่อนด้านปฐมภูมิ แต่จะมีขนาดเล็กมากทำให้รูปคลื่นด้านปฐมภูมิมียลักษณะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นแรงเคลื่อนระหว่างจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิจึงมีค่าเป็นศูนย์

ในส่วนของผลการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เฟอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เฟอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-6.

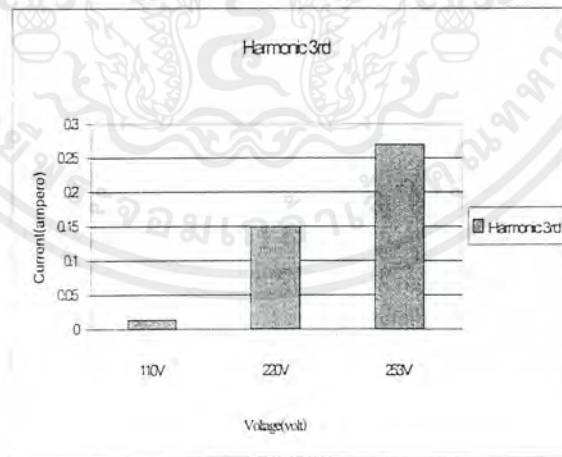
4.6.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.49 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

4.6.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

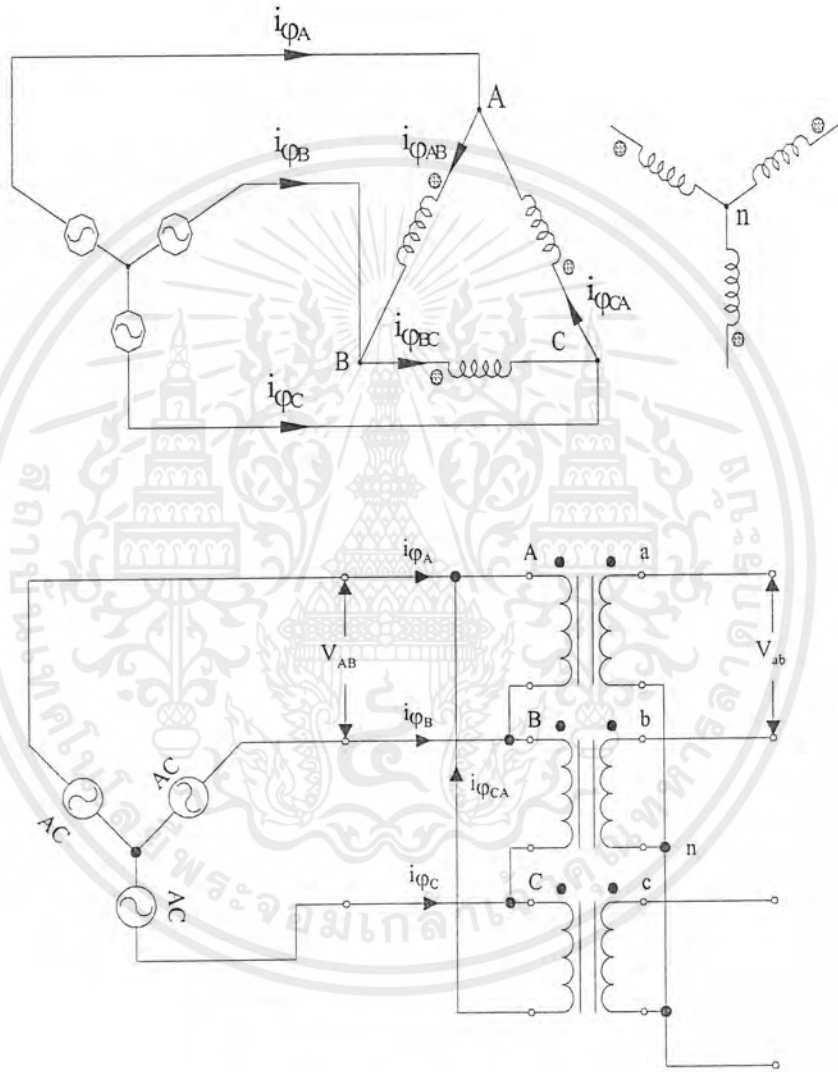


รูปที่ 4.50 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การต่อหม้อแปลงแบบไฟฟ้า Δ -Y

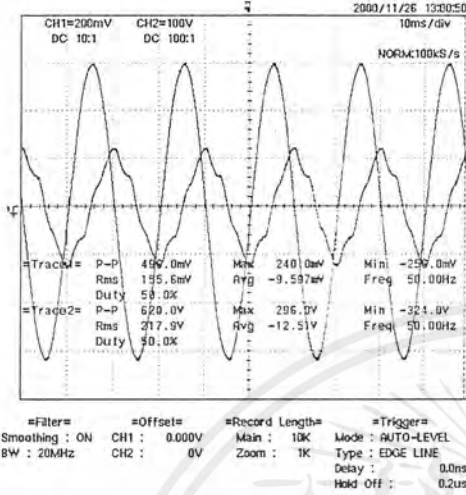
พิจารณาหม้อแปลงที่เหมือนกันทุกประการทั้ง 3 ตัว เมื่อขดลวดด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ และด้านทุติยภูมิต่อขดลวดแบบ Y



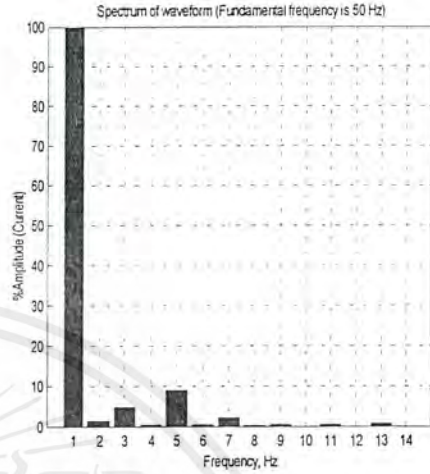
รูปที่ 4.51 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ -Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)



รูปที่ 4.52a.

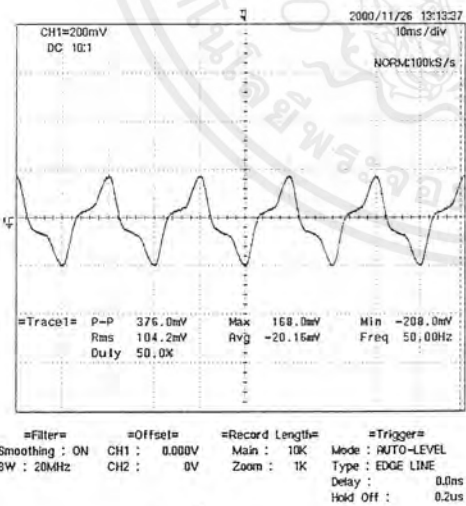


รูปที่ 4.52b.

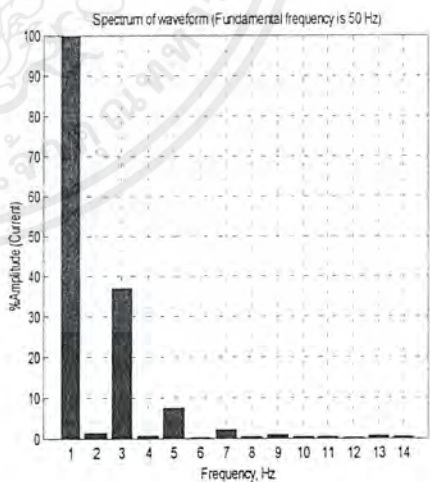
รูปที่ 4.52 4.52a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB}

ด้านปฐมภูมิ

4.52b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.53a.

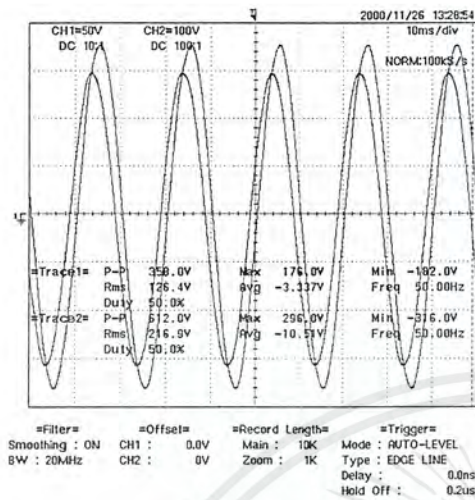


รูปที่ 4.53b.

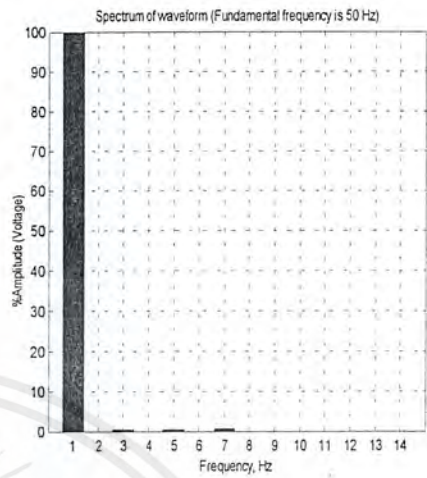
รูปที่ 4.53 4.53a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

4.53b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

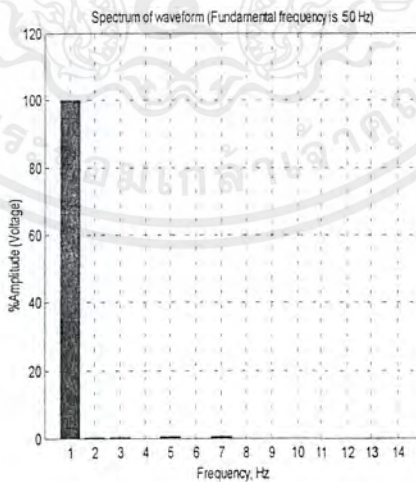


รูปที่ 4.54a.



รูปที่ 4.54b.

รูปที่ 4.54 4.54a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
4.54b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.55 แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y ทำให้กระแสกระตุ้นในแต่ละเฟสจะมีองค์ประกอบหลักรวมกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ แต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะมีขนาดใหญ่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ซึ่งมันจะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแกนเหล็ก กระแสกระตุ้นในแต่ละเฟส $i_{\phi A}$, $i_{\phi B}$ และ $i_{\phi C}$ จะมีขนาดเท่ากันแต่ต่างเฟสกัน 120 องศา ทำให้ลักษณะของสัญญาณเป็นรูปคลื่นปลายแหลม แต่เมื่อพิจารณากระแสกระตุ้นที่ไลน์จะพบว่า ลักษณะของสัญญาณเป็นดับเบิลที่อปซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณของกระแสกระตุ้นที่ไลน์จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักรวมกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ยกเว้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และทวีคูณของ 3 ซึ่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 จะมีขนาดใหญ่สุด ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสกระตุ้นที่ไลน์ได้จากสมการ

$$i_{\phi A} = i_{\phi AB} - i_{\phi CA} \quad (13)$$

เมื่อกำหนดให้กระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสมีค่าเท่ากับ

$$i_{\phi AB} = I_{1m} \sin(\omega t) + I_{3m} \sin(3\omega t) + I_{5m} \sin(5\omega t)$$

$$i_{\phi CA} = I_{1m} \sin(\omega t - 240^\circ) + I_{3m} \sin(3(\omega t - 240^\circ)) + I_{5m} \sin(5(\omega t - 240^\circ))$$

$$\therefore i_{\phi A} = \sqrt{3} I_{1m} \sin(\omega t - 30^\circ) + \sqrt{3} I_{5m} \sin(5(\omega t + 30^\circ)) \quad (14)$$

เมื่อทำการเพิ่มขนาดพิกัดแรงดันทดสอบ จะเห็นได้ว่าขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามขนาดแรงดันทดสอบ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการเพิ่มหรือลดขนาดแรงดันทดสอบจะมีผลทำให้วงรูปของฮิสทีอรีซิสมีการเปลี่ยนแปลงตามขนาดแรงดันทดสอบ ทำให้ลักษณะของรูปคลื่นของกระแสกระตุ้นมีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ มีผลเปลี่ยนแปลงไปตามการเพิ่มหรือการลดลงของแรงดันทดสอบ

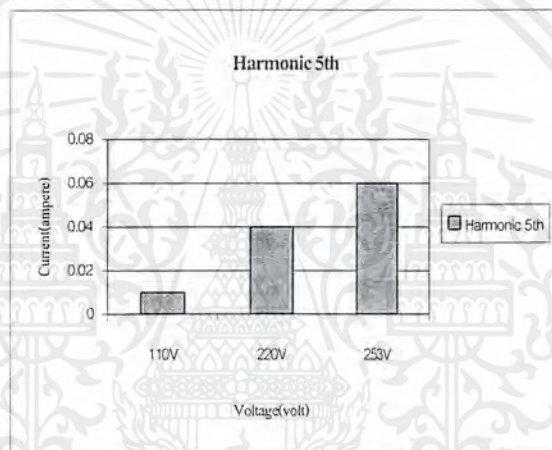
จากองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนตกคร่อมลิตเกจิมพีแคนซ์ของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เส้นแรงแม่เหล็กพร้อมจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของเคลื่อนปรากฏออกมาที่แรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอลด้านทุติยภูมิ แต่จะไม่ปรากฏในไลน์กับไลน์

ในส่วนของผลการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เปอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เปอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

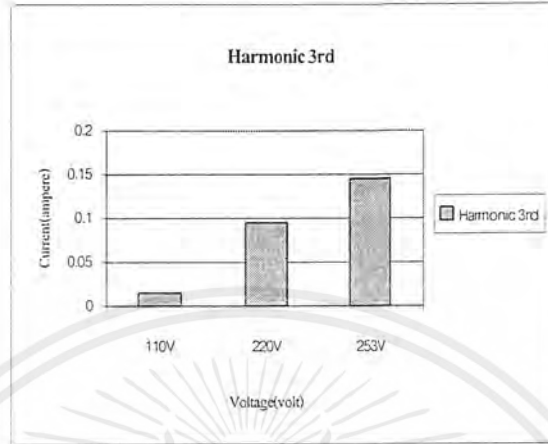
จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นที่โหลดในไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.56 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

4.7.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแส จะขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันทดสอบ ดังกราฟแสดงผล

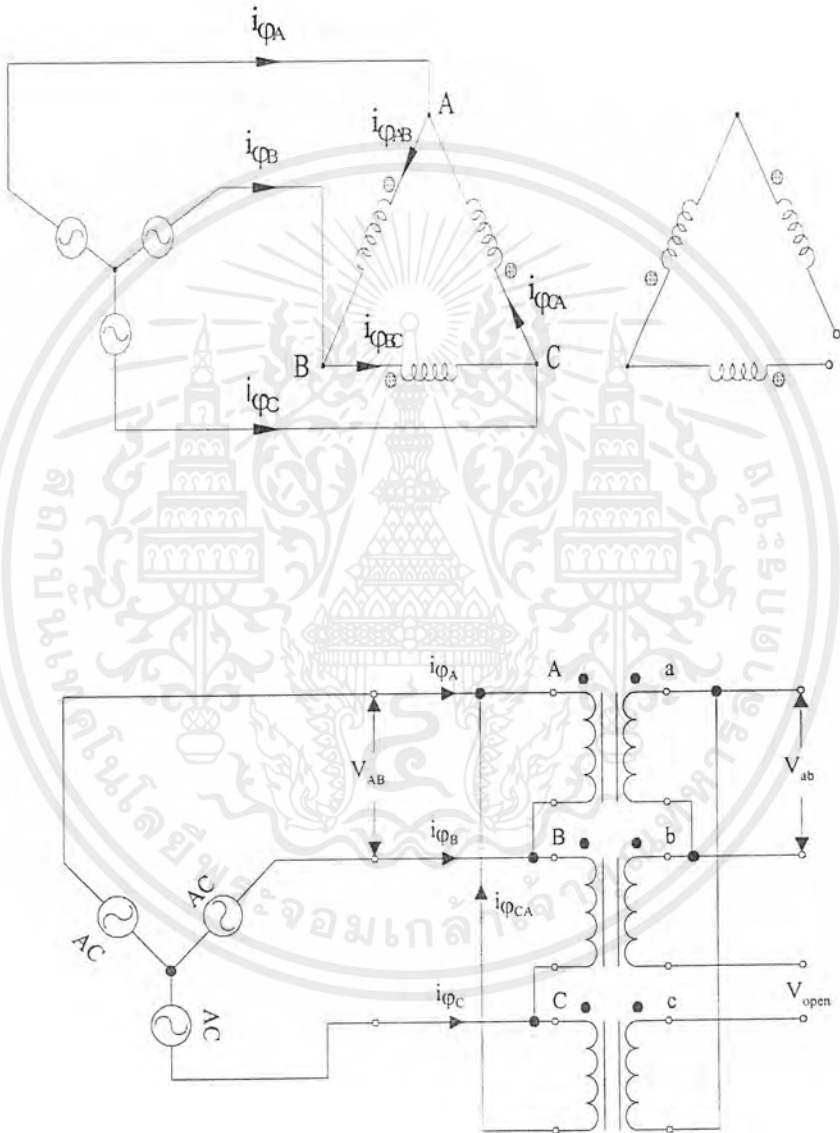


รูปที่ 4.57 กราฟแห่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสระดับ $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

ในการพิจารณาการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ -Y จะเห็นได้ว่ากระแสระดับที่ไหลในไลน์ จะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 แต่กระแสระดับที่ไหลในแต่ละเฟสจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 และแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดในแต่ละเฟสด้านทุติยภูมิก็จะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ขนาดน้อยๆ แต่จะไม่ปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนไลน์ ด้านทุติยภูมิ

4.8 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $\Delta - \Delta$ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก

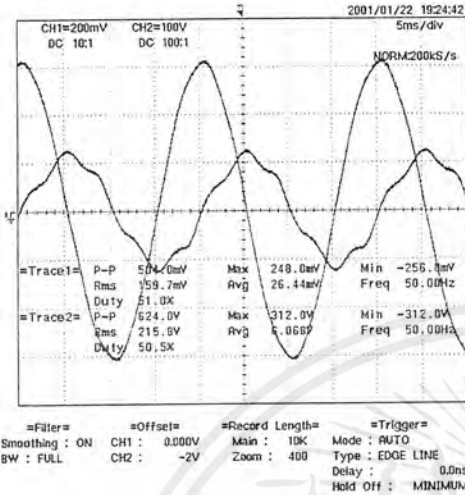
พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมือนกันทุกประการทั้ง 3 ตัว โดยที่ด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ และด้านทุติยภูมิต่อแบบ Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก



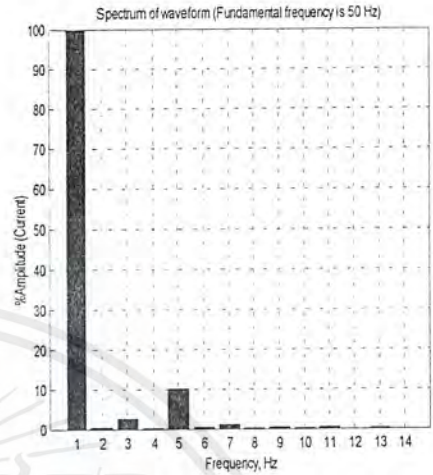
รูปที่ 4.58 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $\Delta - \Delta$ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)



รูปที่ 4.59a.

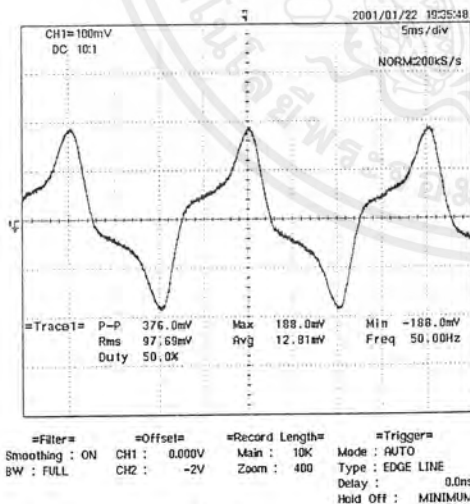


รูปที่ 4.59b.

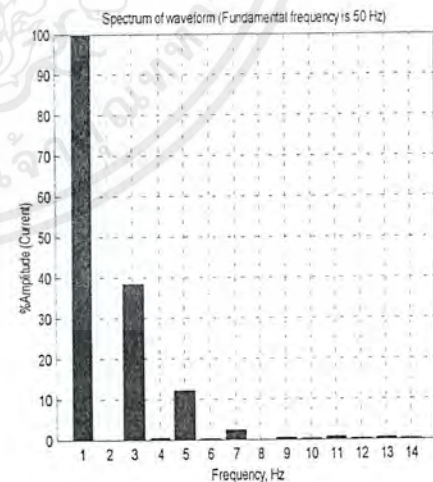
รูปที่ 4.59 4.59a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB}

ด้านปฐมภูมิ

4.59b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.60a.

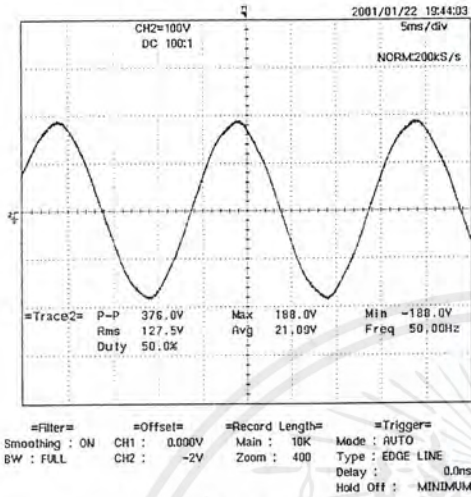


รูปที่ 4.60b.

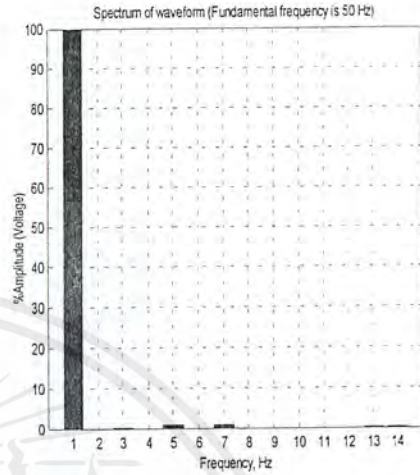
รูปที่ 4.60 4.60a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

4.60b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

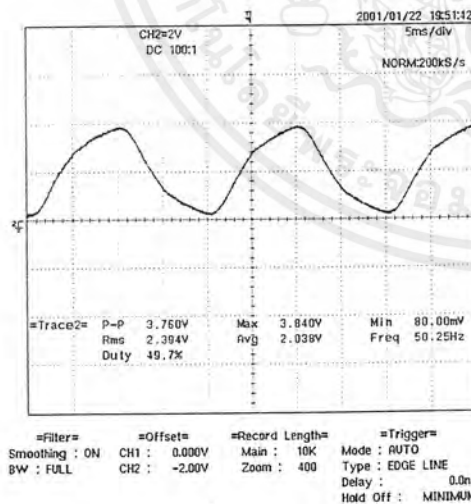


รูปที่ 4.61a.

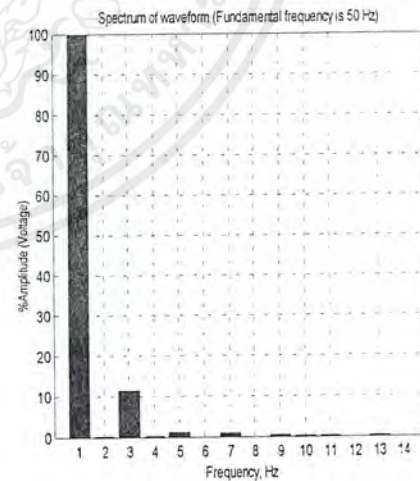


รูปที่ 4.61b.

รูปที่ 4.61 4.61a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{aa} ตกคร่อมขดลวดค้ำทุติยภูมิ
4.61b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{aa} ตกคร่อมขดลวดค้ำทุติยภูมิ



รูปที่ 4.62a.



รูปที่ 4.62b.

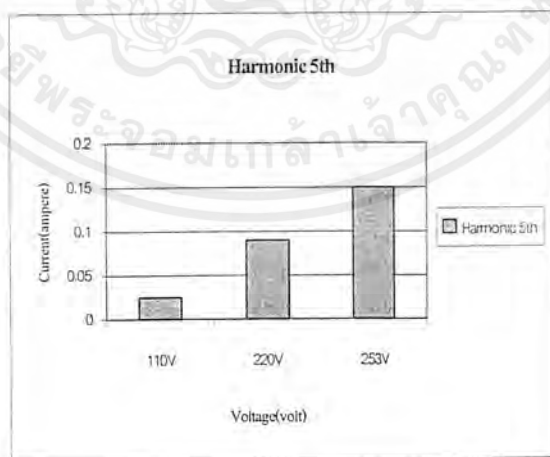
รูปที่ 4.62 4.62a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรค้ำทุติยภูมิ
4.62b.แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรค้ำทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบหม้อแปลงต่อแบบ $\Delta-\Delta$ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ ทำการเปิดวงจรออกซึ่งลักษณะการต่อหม้อแปลงแบบนี้ เหมือนการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$ ทำให้กระแสกระตุ้นในเฟสมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ทำให้กระแสกระตุ้นในแต่ละเฟส $i_{\phi A}$, $i_{\phi B}$ และ $i_{\phi C}$ มีลักษณะของรูปคลื่นปลายแหลมที่มีขนาดเท่ากันทั้ง 3 เฟสแต่จะมีเฟสต่างกัน 120 องศา แต่เมื่อพิจารณากระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในไลน์ซึ่งมีลักษณะของสัญญาณของรูปคลื่นที่เป็นดับเบิลทอป อันเกิดจากองค์ประกอบหลักรวมกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ยกเว้นฮาร์โมนิกที่ 3 ที่มีค่าเป็นศูนย์ จากองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นในเฟสทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนขนาดน้อยๆ ตกคร่อมลึกลงอิมพีแดนซ์ของขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำร่วมมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 มีค่าน้อยมาก จึงไม่สามารถปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิให้ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละชุดด้านทุติยภูมิจึงไม่มีผลของฮาร์โมนิกที่ 3 มีผลทำให้ลักษณะของรูปคลื่นด้านทุติยภูมิมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์

ในส่วนของผลการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เปอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เปอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-8.

4.8.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

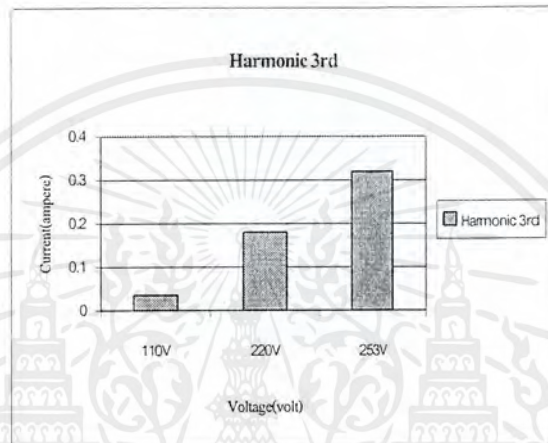


รูปที่ 4.63 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ ดังกราฟแสดงผล

4.8.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

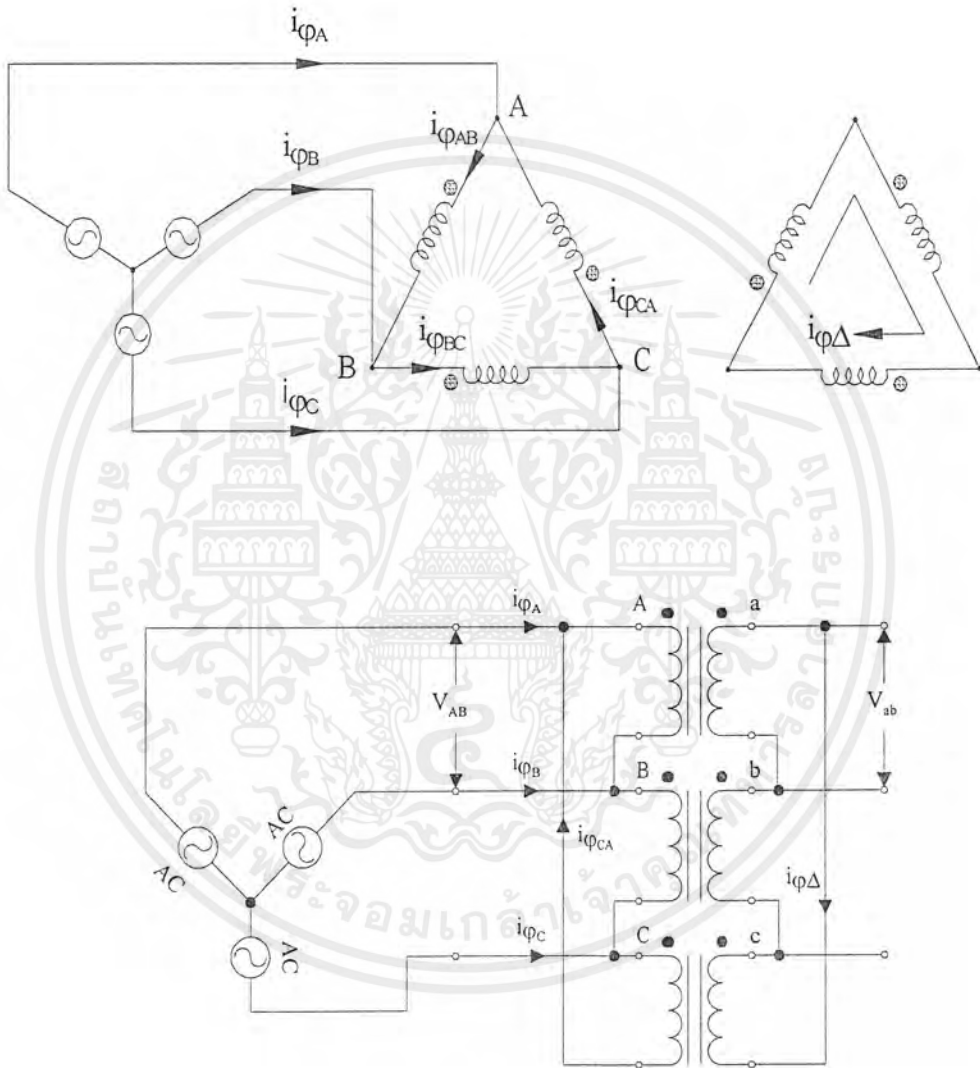


รูปที่ 4.64 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ

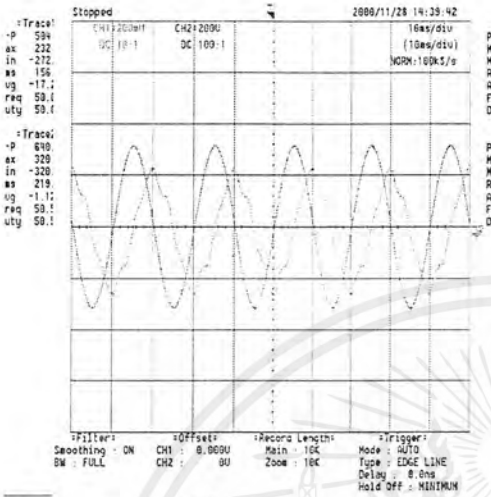
พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมือนกันทุกประการทั้ง 3 ตัวโดยที่ด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ และด้านทุติยภูมิต่อแบบ Δ



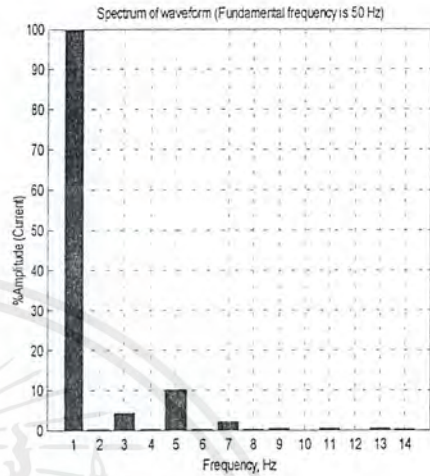
รูปที่ 4.65 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.1 เมื่อทำการทดสอบที่แรงดัน 100 เฟอร์เซนต์ของพิกัดแรงดัน (220 Volt)

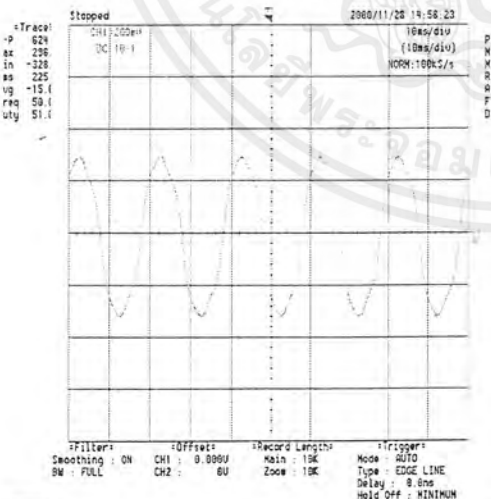


รูปที่ 4.66a.

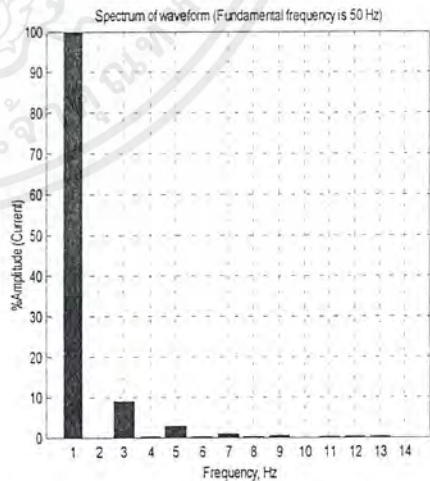


รูปที่ 4.66b.

รูปที่ 4.66 4.66a. แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ
 4.66b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



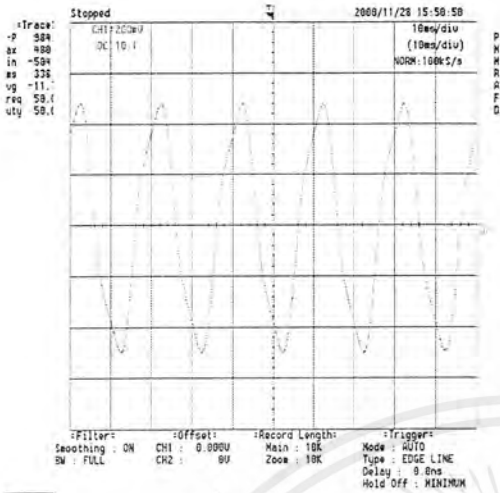
รูปที่ 4.67a.



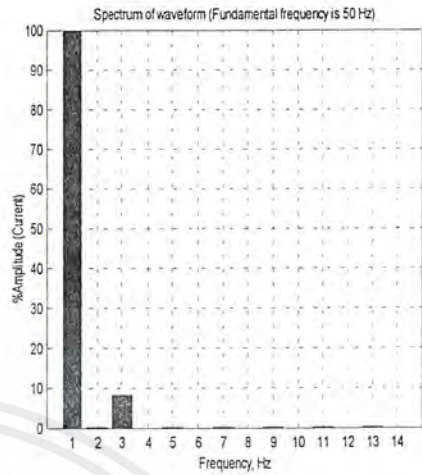
รูปที่ 4.67b.

รูปที่ 4.67 4.67a. แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ
 4.67b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

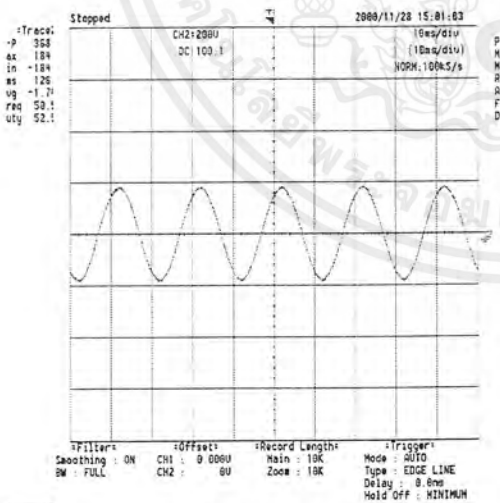


รูปที่ 4.68a.

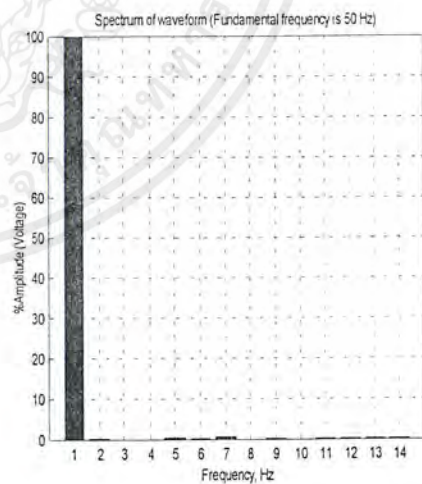


รูปที่ 4.68

รูปที่ 4.68 4.68a.แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ
 4.68b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.69a.



รูปที่ 4.69b.

รูปที่ 4.69 4.69a.แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 4.69b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

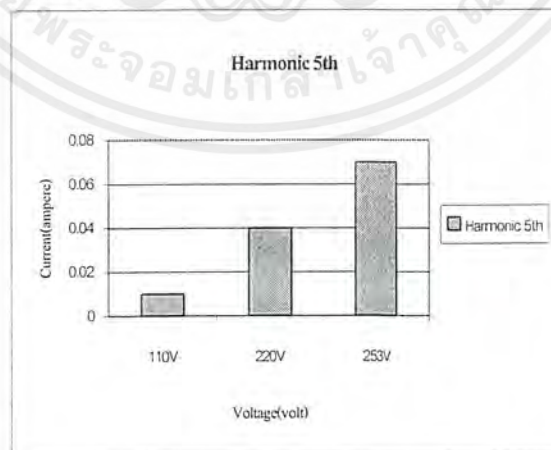
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $\Delta-\Delta$ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปิดวงจรขดลวด Δ ด้านทุติยภูมิทำให้มีกระแสไหลครบวงจร ซึ่งจะทำให้มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสไหลครบรูปและจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ที่ไหลในแต่ละเฟส จึงทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นในแต่ละเฟสลดลง เมื่อทำการเพิ่มพิกัดแรงดันทดสอบก็ยิ่งจะมีผลต่อองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นให้มีขนาดลดลงตามเมื่อองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดลดลง ทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงมีขนาดลดลงตาม มีผลทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กพร้อมองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ลดลง ดังนั้นแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิจึงมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนน้อยมาก รูปคลื่นของแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิจึงมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์

ในส่วนของผลการทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 เปอร์เซ็นต์ (110 Volt) และ 115 เปอร์เซ็นต์ (253 Volt) ของพิกัดแรงดัน จะทำการแสดงผลที่ภาคผนวก จ-9.

4.9.2 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละไลน์ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้นก็จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันทดสอบ ดังกราฟแสดงผล

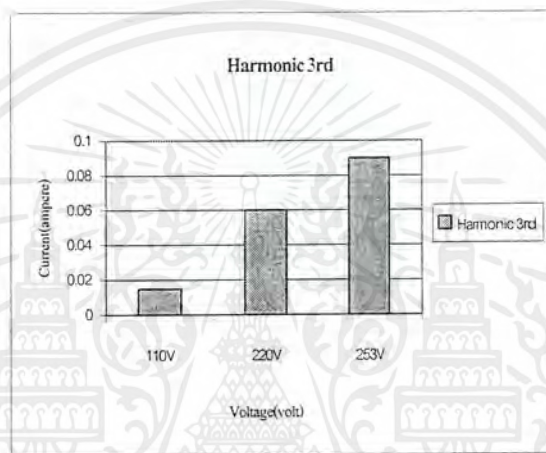


รูปที่ 4.70 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 ของกระแสกระตุ้น i_{d4} ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 กราฟแท่งแสดงผลขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

จะเห็นได้ว่าขนาดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละเฟส จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันทดสอบ เมื่อขนาดของแรงดันทดสอบมีค่ามากขึ้นหรือน้อยกว่าขนาดของพิกัดแรงดัน ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นก็จะมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลง ดังกราฟแสดงผล



รูปที่ 4.71 กราฟแท่งองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ

ในการพิจารณาการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ ซึ่งจะได้เห็นปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกในวงจรการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวให้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส จากปรากฏการณ์ขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสซึ่งจะมีเฟสตรงกันทั้ง 3 เฟสทำให้ไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ไหลในไลน์ของระบบสมมูล 3 เฟสได้ ยกเว้นแต่จะมีทางไหลกลับโดยสายนิวทรัลและจะมีขนาดเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละเฟส

จากผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นต้องเป็นศูนย์ ทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่มีเฟสตรงกันต้องมีค่ารวมกันแล้วเป็นศูนย์ ทำให้แรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรัลต้องไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 เพื่อที่จะทำให้ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสเป็นศูนย์ แต่จะไม่ปรากฏองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนที่ไลน์เทียบกับไลน์

บทที่ 5

บทสรุป

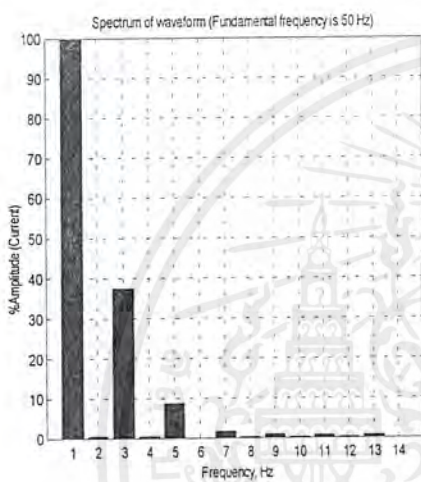
เนื้อหาในบทนี้เป็นการสรุปผลของการวิเคราะห์ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง 3 เฟส โดยจะแสดงให้เห็นถึงผลของการเปรียบเทียบตามลักษณะของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ ซึ่งผลของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆจะทำให้ปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ในลำดับต่างๆเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นอาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบสื่อสารที่อยู่ใกล้เคียงได้หรือปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ที่มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงเกินที่อาจมีผลต่อเสถียรภาพของระบบ ดังนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลตามลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆได้ 5 กรณีดังนี้คือ

1. พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
2. พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
3. พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและจุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและจุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
4. พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ กับผลของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y
5. พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับผลการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

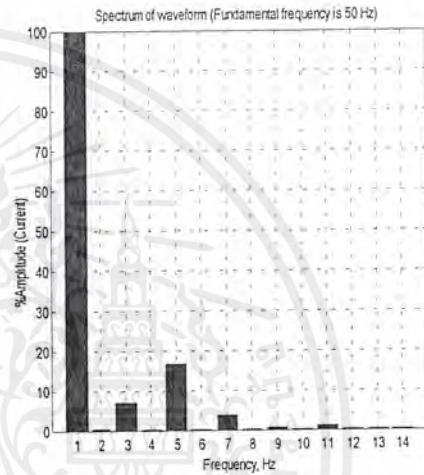
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 พิจารณาเปรียบเทียบผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับผลการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

5.1.1 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในเฟส



รูปที่ 5.1a.



รูปที่ 5.1b.

รูปที่ 5.1 5.1a. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัล

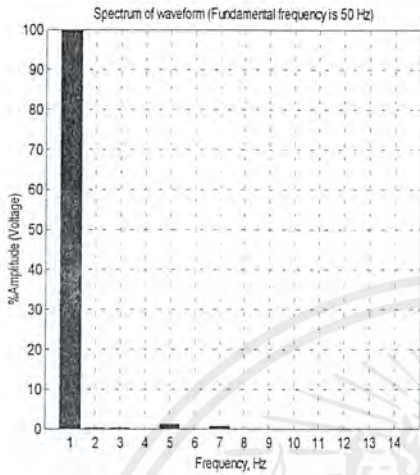
5.1b. แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรัล

จะเห็นได้ว่าผลจากการต่อจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย กระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสซึ่งเกิดจากการรวมขององค์ประกอบหลักกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ แต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ทำให้สัญญาณของกระแสกระตุ้นมีลักษณะเป็นยอดแหลม

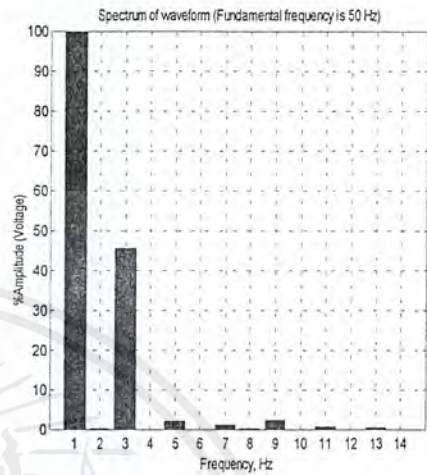
และเมื่อผลของการแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่ายทำให้กระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสเกิดจากผลรวมขององค์ประกอบหลักกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ แต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 จะมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ทำให้สัญญาณของกระแสกระตุ้นมีลักษณะเป็นดับเบิลทอป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านปฐมภูมิ(แรงดันเฟส)



รูปที่ 5.2a.



รูปที่ 5.2b.

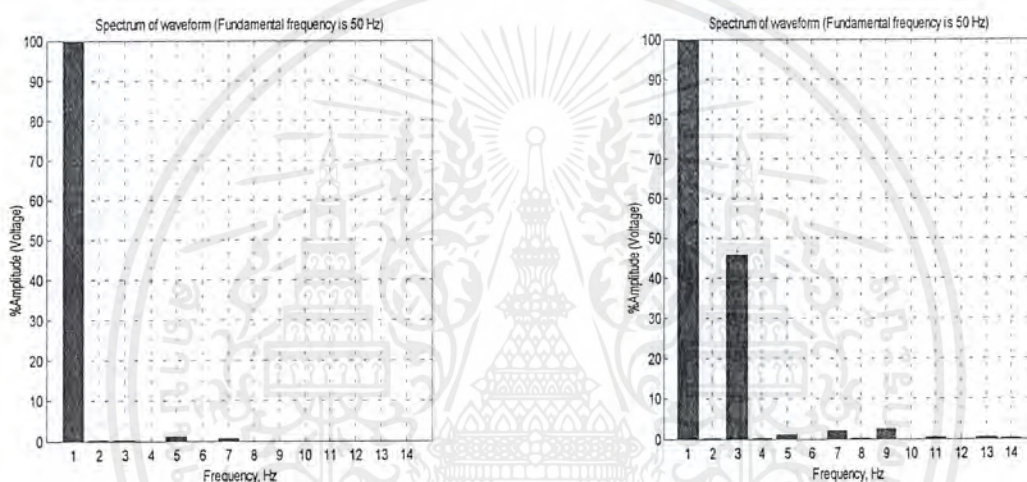
รูปที่ 5.2 5.2a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรัลฯ
5.2b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรัลฯ

ในการวัดแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ ในกรณีที่ต่อจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าจะมีเส้นทางไหลกลับของกระแสทำให้อองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีเส้นทางไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายได้ ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ จึงเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของแหล่งจ่ายจึงเป็นสัญญาณไซน์ อองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆจึงไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ

เมื่อทำการแยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย ทำให้ไม่มีเส้นทางไหลกลับของอองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส จึงทำให้ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นต้องมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้อองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลกลับโดยผ่านเฟสใดเฟสหนึ่งของขดลวดด้านปฐมภูมิ

ดังนั้นจึงทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละเฟสด้านปฐมภูมิจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ แต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่สุดและมีเฟสต่างกับองค์ประกอบหลัก 180 องศา จึงทำให้สัญญาณของแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละขดเป็นลักษณะของสัญญาณปลายแหลม

5.1.3 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ(แรงดันเฟส)



รูปที่ 5.3a.

รูปที่ 5.3b.

รูปที่ 5.3 5.3a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรอลฯ

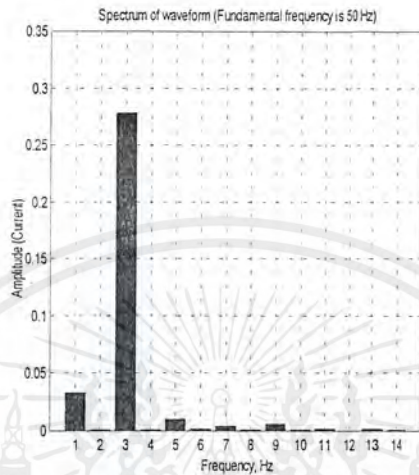
5.3b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรอลฯ

ในการวัดแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ ในกรณีที่ต่อจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิมีการเปลี่ยนแปลงตามการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ ซึ่งแรงเคลื่อนด้านปฐมภูมินั้นมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณไซน์ ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิจึงเป็นสัญญาณไซน์

เมื่อทำการแยกจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิมีการเปลี่ยนแปลงตามการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ จึงทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

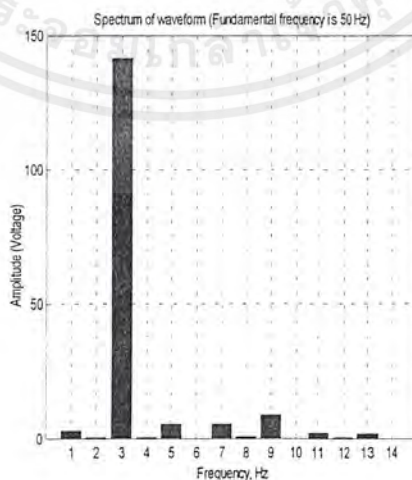
5.1.4 เมื่อทำการพิจารณากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 5.4 แสดงสเปกตรัมกระแสในสายนิวทรอลของการต่อแบบ Y-Y โดยต่อจุดนิวทรอล

กระแสที่ไหลในสายนิวทรอลนั้นซึ่งจะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เท่านั้นและจะมีขนาดเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละเฟส

5.1.5 เมื่อทำการพิจารณาแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่าย ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่ายของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรอล

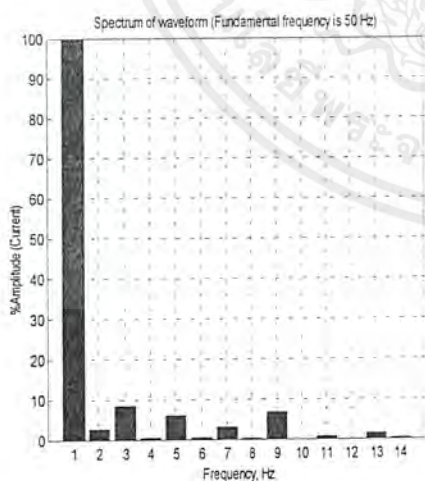
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่ายของการต่อแบบ Y-Y โดยไม่ต่อจุดนิวทรอล จะพบว่ามีเฉพาะองค์ประกอบที่ 3 ของแรงเคลื่อนเท่านั้น

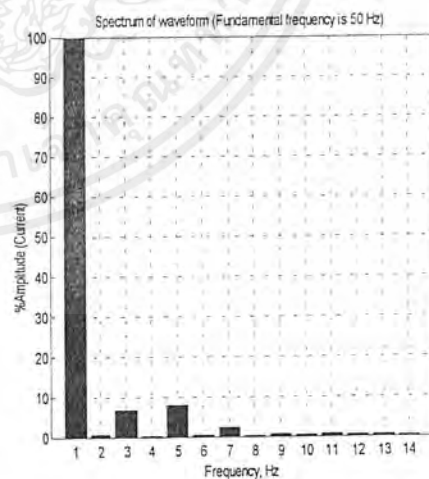
ดังนั้น จะเห็นได้จากการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y ซึ่งการต่อจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิจะมีความเหมาะสมอยู่พอสมควรแต่การที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสไหลในสายนิวทรอลซึ่งจะมีขนาดเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ในแต่ละเฟส และการกำจัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสในสายนิวทรอลได้โดยการแยกจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิจากแหล่งจ่าย แต่จะมีผลต่อแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดซึ่งจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อน ตกคร่อมระหว่างจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่าย

5.2 พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

5.2.1 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในเฟส



รูปที่ 5.6a.



รูปที่ 5.6b.

รูปที่ 5.6 5.6a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรอลฯ

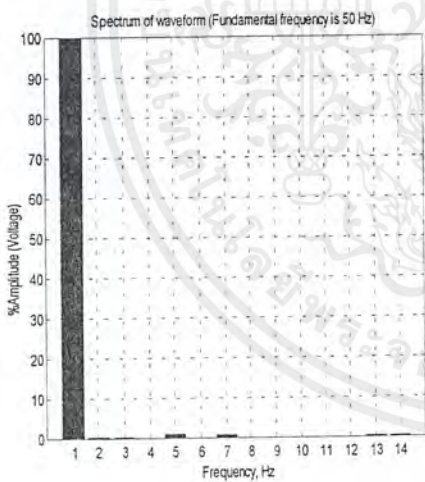
5.6b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยไม่ต่อจุดนิวทรอลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

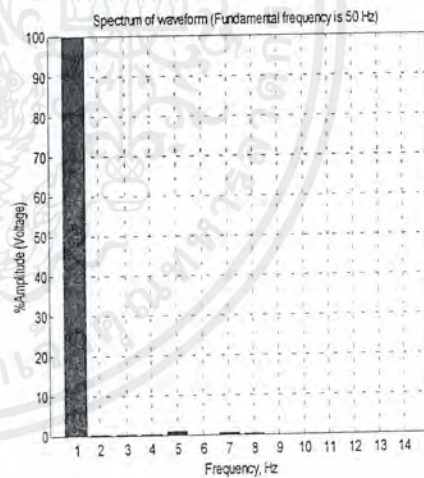
ในการพิจารณาการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นว่าผลของการบิดรูปวงจรของขดลวด Δ ด้านทุติยภูมิมีผลทำให้เกิดมอดัลประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลครบรูปซึ่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับมอดัลประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นทางด้านปฐมภูมิ ทำให้เกิดการหักล้างกันมีผลทำให้มอดัลประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดลดลง

ส่วนการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย นั้นซึ่งกระแสกระตุ้นจะต้องไม่มีมอดัลประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 อยู่แล้วเพราะเส้นทางไหลกลับของกระแสคือสายนิวทรัลถูกเปิดออก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการที่ด้านทุติยภูมิมีการต่อขดลวดแบบ Δ นั้นจะมีผลทำให้กระแสกระตุ้นมอดัลประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ลดลงไม่ว่าจะต่อจุดนิวทรัลหรือไม่

5.2.2 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ(แรงดันเฟส)



รูปที่ 5.7a.



รูปที่ 5.7b.

รูปที่5.7 5.7a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรัล

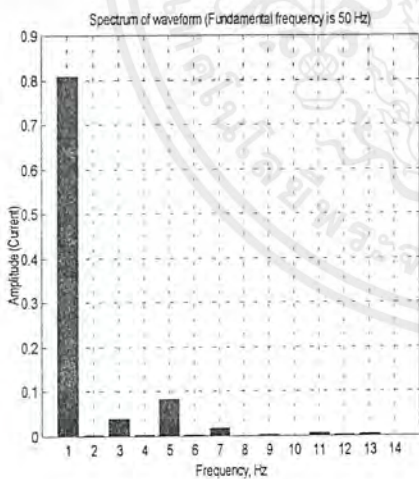
5.7b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยไม่ต่อจุดนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

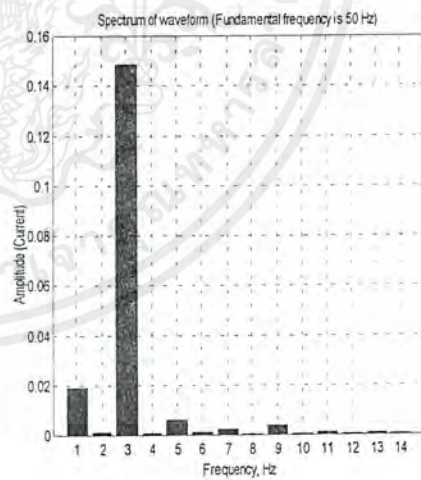
เมื่อทำการพิจารณาแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดในแต่ละเฟสด้านทุติยภูมิ ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ และต่อจุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิมียกขบวนของสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์ ซึ่งจะไม่มียอดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 อันเป็นผลจากการที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละขดลวดด้านปฐมภูมิที่ได้รับจากแหล่งจ่ายมีลักษณะของสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์

แต่เมื่อแยกจุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่ายจะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละขดลวดของด้านปฐมภูมียังมีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ เพราะองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะถูกหักล้างโดยองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ที่ไหลในรูป Δ จึงทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ลักษณะของสัญญาณจึงเป็นรูปคลื่นไซน์

5.2.3 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในรูป Δ ของขดลวดด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 5.8a.



รูปที่ 5.8b.

รูปที่ 5.8 5.8a. แสดงสเปกตรัมกระแสในรูป Δ ของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวตรอล

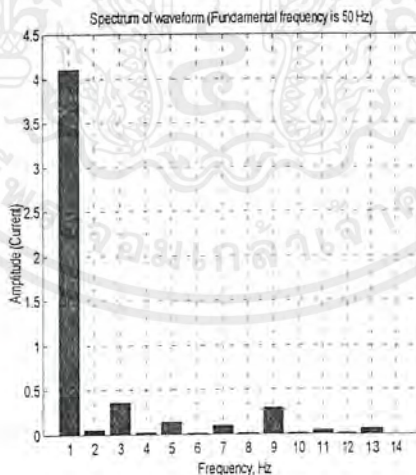
5.8b. แสดงสเปกตรัมกระแสในรูป Δ ของการต่อแบบ Y- Δ โดยไม่ต่อจุดนิวตรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรอลของขดลวดทางด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นสามารถไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายได้โดยอาศัยसानิวทรอล ดังนั้นกระแสที่ไหลในรูป Δ ของขดลวดด้านทุติยภูมิ จึงไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส แต่กลับจะมีผลขององค์ประกอบหลักของกระแส ไหลครบวงจรภายในรูป Δ ของขดลวดด้านทุติยภูมิแทน

แต่เมื่อทำการแยกจุดนิวทรอลของขดลวดด้านปฐมภูมิจากแหล่งจ่ายจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะไม่มีทางไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายได้ ดังนั้น องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะไหลกลับโดยอาศัยเฟสไดเฟสหนึ่งของขดลวดเป็นเส้นทางไหลกลับ ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิจึงมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิและเมื่อทำการปิดวงจรของขดลวดที่ต่อแบบ Δ จึงทำให้เกิดมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลภายในรูป Δ ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่จุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิไม่ได้ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

5.2.4 เมื่อทำการพิจารณากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 5.9 แสดงสเปกตรัมกระแสในสายนิวทรอลของการต่อแบบ Y- Δ โดยต่อจุดนิวทรอล

เมื่อองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในแต่ละเฟสถูกหักล้างโดยองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสที่ไหลในรูป Δ ทำให้ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นที่ไหลกลับโดยสายนิวทรอลจึงมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลกลับไปใน

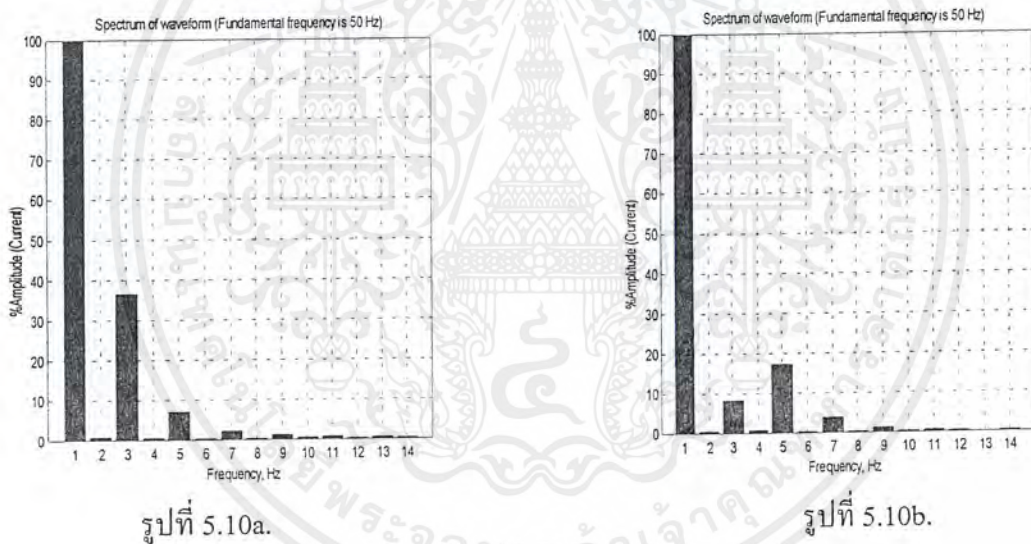
สายนิวทรอล มีขนาดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จากปรากฏการณ์ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ จะเห็นได้ว่าจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลในรูป Δ และจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นทำให้เกิดการหักล้างขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำของหม้อแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์

5.3 พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจร และจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

5.3.1 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในเฟส



รูปที่ 5.10a.

รูปที่ 5.10b.

รูปที่ 5.10 5.10a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรัล

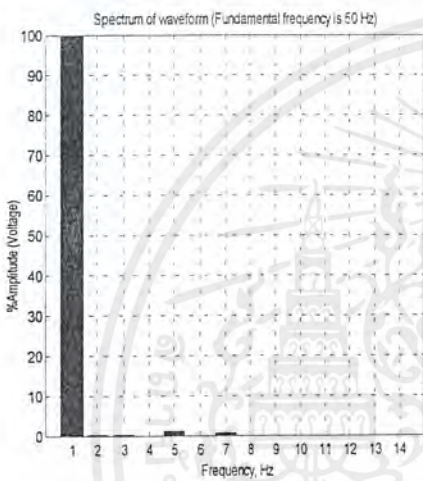
5.10b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจร และไม่ต่อจุดนิวทรัล

จะเห็นได้ว่าผลจากการต่อจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของขดลวด Δ เปิดวงจรออก จะเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสซึ่งเกิดจากการรวมขององค์ประกอบหลักของกระแสกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับ

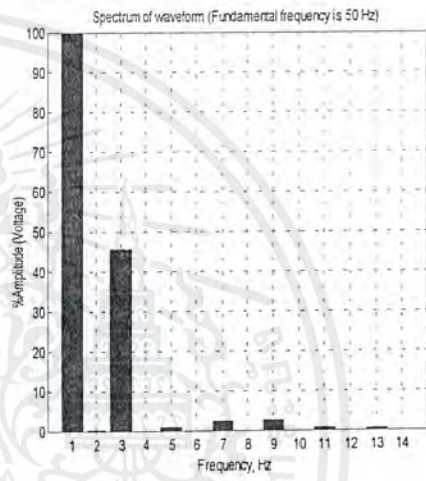
ต่างๆแต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 จะมีขนาดใหญ่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ทำให้สัญญาณของกระแสกระตุ้นมีลักษณะเป็นยอดแหลม

และเมื่อผลของการแยกจุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย ทำให้กระแสกระตุ้นที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสจะมีผลองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 มีขนาดใหญ่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกลำดับต่างๆทำให้สัญญาณของกระแสกระตุ้นมีลักษณะเป็นดับเบิลที่อป

5.3.2 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านปฐมภูมิ(แรงดันเฟส)



รูปที่ 5.11a.



รูปที่ 5.11b.

รูปที่5.11 5.11a.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y-Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เป็ควงจรและต่อจุดนิวตรอลฯ

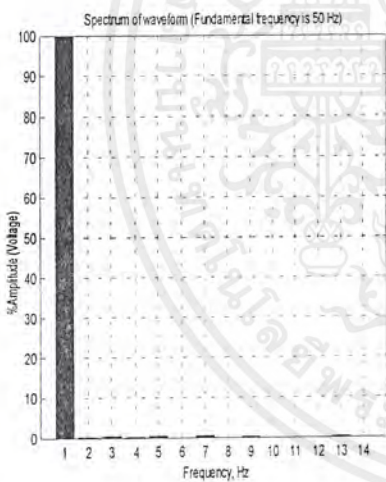
5.11b.แสดงสเปกตรัมแรงดันเฟสด้านปฐมภูมิของการต่อแบบ Y-Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เป็ควงจรและไม่ต่อจุดนิวตรอลฯ

ในการวัดแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ ในกรณีที่ต่อจุดนิวตรอลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เป็ควงจร จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีเส้นทางไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายได้ ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ จึงมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของแหล่งจ่ายซึ่งเป็สัญญาณไซน์ องค์ประกอบของฮาร์โมนิกลำดับต่างๆจึงไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ

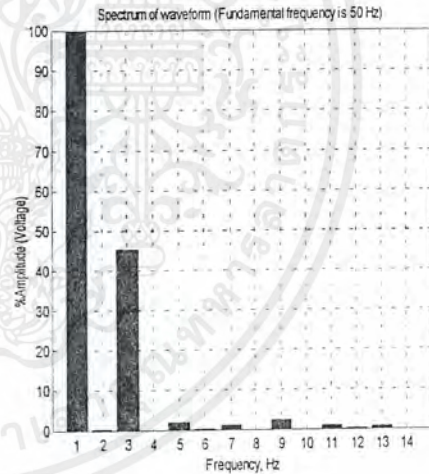
เมื่อทำการแยกจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย ทำให้ไม่มีเส้นทางไหลกลับขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส จึงทำให้ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นต้องมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลกลับโดยผ่านเฟสใดเฟสหนึ่งของขดลวดด้านปฐมภูมิ

ดังนั้นจึงทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละเฟสด้านปฐมภูมิจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ แต่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีเฟสต่างกับองค์ประกอบหลัก 180 องศา จึงทำให้สัญญาณของแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดแต่ละขดเป็นลักษณะของสัญญาณปลายแหลม ซึ่งเป็นผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 นั้นเอง

5.3.3 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 5.12a.



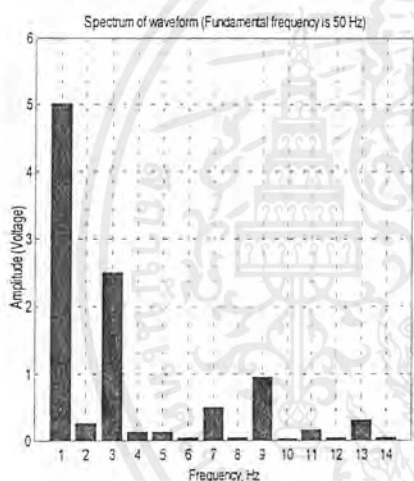
รูปที่ 5.12b.

รูปที่ 5.12 5.12a.แสดงสเปกตรัมแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรอลฯ
5.12b.แสดงสเปกตรัมแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรอลฯ

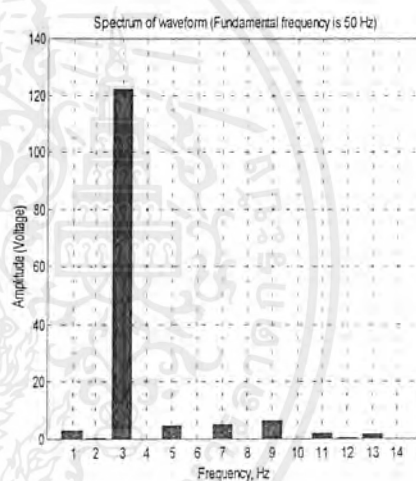
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าผลของการเปิดวงจรของขดลวดที่ต่อแบบ Δ ด้านทุติยภูมิและแยกจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่ายมีผลทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของกระแสไหลไม่ครบวงจรและไม่มีเส้นทางไหลกลับทำให้ผลของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กกรรมมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 จึงมีผลทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 แสดงผลออกมา ซึ่งแตกต่างจากการต่อจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่ายจะไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 3 ของแรงเคลื่อนแสดงผลออกมา

5.3.4 เมื่อทำการพิจารณาแรงดันที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจร



รูปที่ 5.13a.



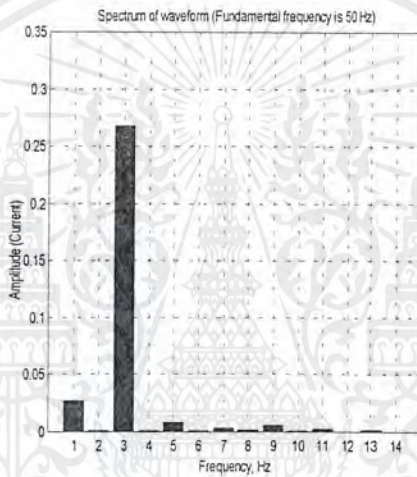
รูปที่ 5.13b.

- รูปที่ 5.13 5.13a. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรอล
- 5.13b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่จุดเปิดวงจรด้านทุติยภูมิของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและไม่ต่อจุดนิวทรอล

เมื่อทำการวัดแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมระหว่างจุดเปิดวงจรของขดลวดด้านทุติยภูมิ ของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่ายจะพบว่า มีองค์ประกอบหลักรวมกับองค์ประกอบของฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ของแรงเคลื่อนเกิดจากการที่จะทำให้คุณสมบัติของหม้อแปลงทั้ง 3 ตัวเท่ากันนั้นเป็นไปได้ยาก จึงมีค่าความคลาดเคลื่อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแยกจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่ายจะพบว่าแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมระหว่างจุดเปิดวงจรของขดลวดด้านทุติยภูมิ มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 มีขนาดเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ

5.3.5 เมื่อทำการพิจารณากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและต่อจุดนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 5.14 แสดงสเปกตรัมของกระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรและต่อจุดนิวทรอล

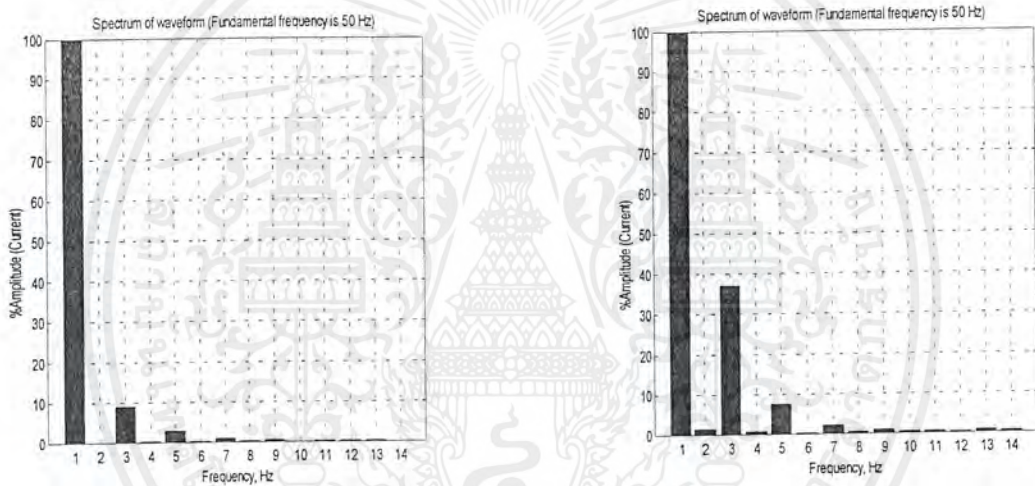
จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในสายนิวทรอลของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกนั้น ซึ่งจะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ไหลในแต่ละเฟส

ดังนั้นในการพิจารณาเปรียบเทียบของการต่อหม้อแปลงแบบ Y- Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจร จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการต่อจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย ซึ่งจะเป็นเส้นทางไหลกลับขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น ทำให้กระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดแต่ละเฟสด้านปฐมภูมิมิผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 แต่แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิจะไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 แต่เมื่อทำการแยกจุดนิวทรอลของขดลวดด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย ซึ่งจะทำให้ไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแส

กระตุ้นไหลผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิ แต่แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิกับจะมีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 แทน ส่วนแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิจะมีปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ที่คล้ายกันกับฮาร์โมนิกส์ด้านปฐมภูมิ ตามลักษณะการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ

5.4 พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ กับการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

5.4.1 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในฟาสด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 5.15a.

รูปที่ 5.15b.

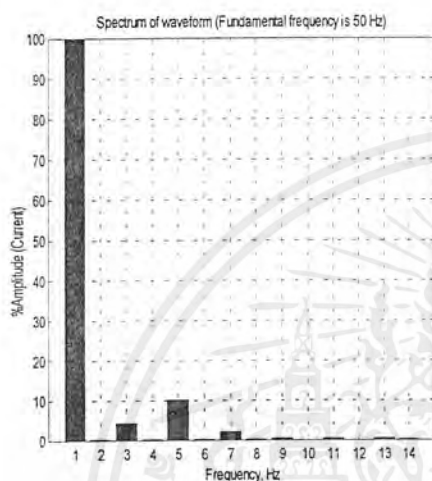
- รูปที่ 5.15 5.15a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่เฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
5.15b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่เฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

ในการพิจารณาการต่อขดลวดของหม้อแปลงแบบ Δ ด้านปฐมภูมิเหมือนกันทั้ง 2 กรณีแต่การต่อขดลวดของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิแบบ Δ และ Y จะเห็นผลได้ว่ากระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสทางด้านปฐมภูมิของการต่อหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบ Δ จะมีขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นน้อยกว่าการต่อขดลวดของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบ Y เพราะจะเกิดมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลครบวงจรในลูปขดลวด Δ

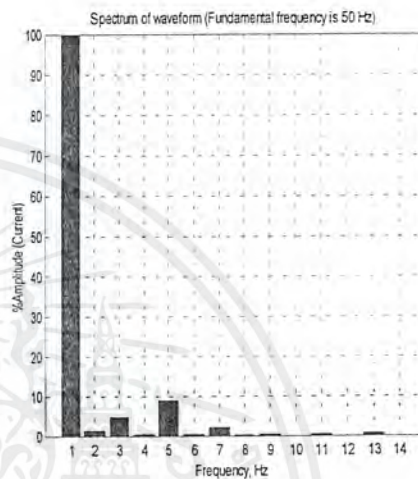
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านทุติยภูมิจึงทำให้เกิดการหักล้างกัน ส่วนการต่อขดลวดของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบ Y จะเห็นได้ว่าขดลวดแต่ละชุดแยกอิสระต่อกันทำให้ไม่เกิดผลใดๆต่อทางด้านปฐมภูมิ

5.4.2 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 5.16a.



รูปที่ 5.16b.

รูปที่ 5.16 5.16a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
5.16b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

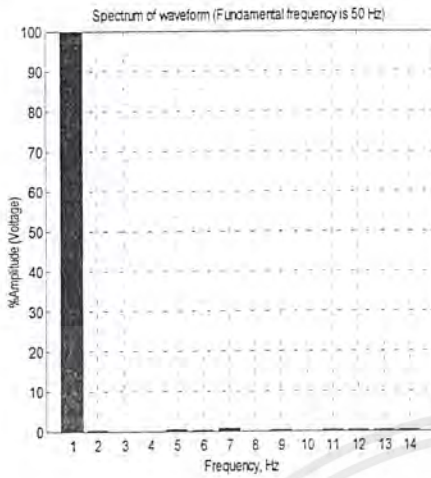
เมื่อทำการพิจารณากระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ทางด้านปฐมภูมิจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ของกระแสกระตุ้นจะมีผลต่อกระแสกระตุ้นมากกว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ไม่ว่าจะต่อขดลวดของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบ Δ หรือ Y

5.4.3 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดด้านทุติยภูมิ (แรงดันเฟส)

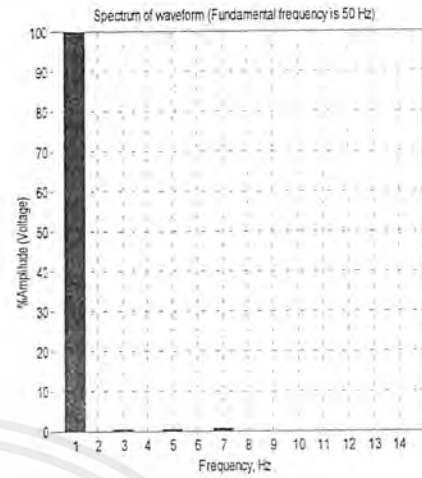
จะเห็นได้ว่าการต่อขดลวดของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิแบบ Δ แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์ตามแหล่งจ่ายดังนั้นผลของการเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กร่วมแทบจะไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ดังนั้นแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิจึงไม่มีผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ไม่ว่าจะขดลวดของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิจะต่อแบบ Δ หรือ Y

ดังนั้น จะเห็นว่าการต่อขดลวดของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิแบบ Δ จะทำให้ไม่มีองค์ประกอบ ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นไหลในไลน์แต่ละมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17a.



รูปที่ 5.17b.

รูปที่ 5.17 5.17a. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ
5.17b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

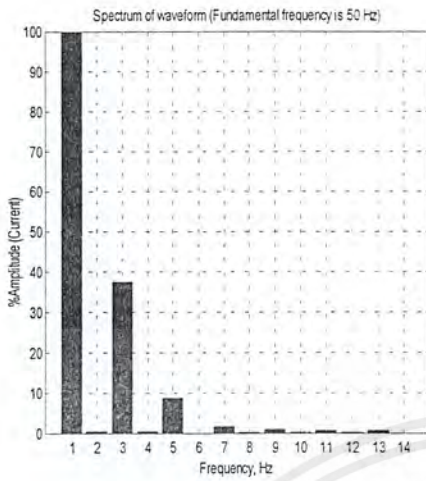
กระแสกระตุ้นไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟส หากจะลดขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟส ก็ทำการต่อขดลวดของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบ Δ แต่ควรระวังสภาวะการล้าจรของกระแสที่ไหลในภายในรูป Δ ของขดลวดด้านทุติยภูมิอันเกิดจากการที่คุณสมบัติของหม้อแปลงทั้ง 3 ตัวไม่เท่ากันทุกประการ

5.5 พิจารณาเปรียบเทียบการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

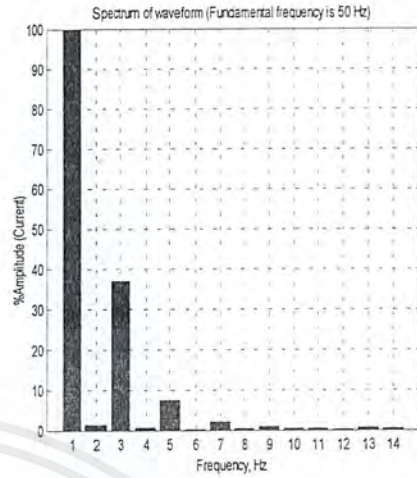
5.5.1 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในเฟสด้านปฐมภูมิ

เมื่อทำการพิจารณาในกรณีที่มีหม้อแปลงต่อขดลวดด้านทุติยภูมิเหมือนกันคือต่อแบบ Y แต่ด้านปฐมภูมิต่อขดลวดต่างกัน คือแบบ Y โดยที่นิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกับการต่อขดลวดแบบ Δ จะเห็นได้ว่ากระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดทั้งสองแบบจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่มีขนาดใหญ่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของแกนเหล็กที่ไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



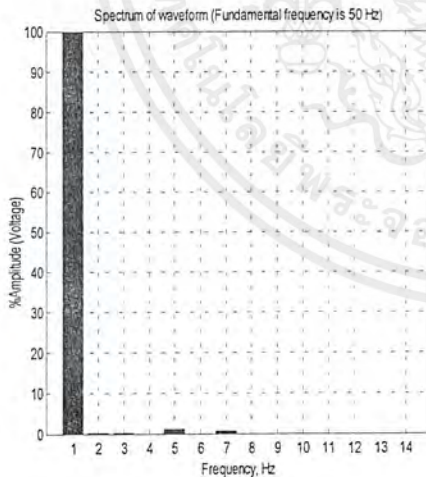
รูปที่ 5.18 a.



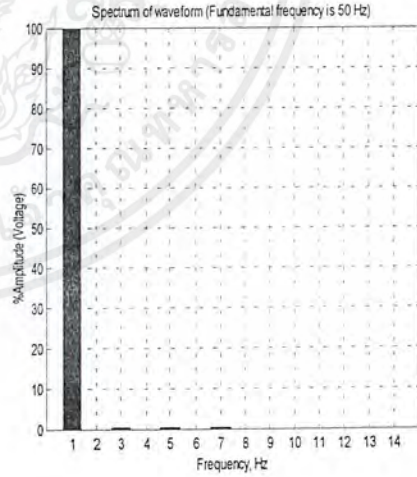
รูปที่ 5.18b.

รูปที่ 5.18 5.18 a.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
5.18b.แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

5.5.2 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิ (แรงดันเฟส)



รูปที่ 5.19 a.



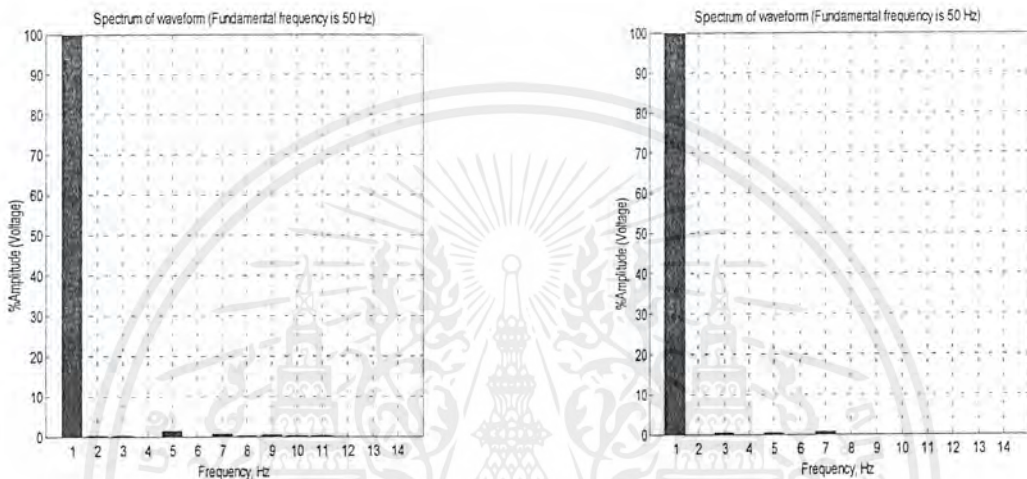
รูปที่ 5.19b.

รูปที่ 5.19 5.19 a.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิ ต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
5.19b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของการต่อ หม้อแปลงแบบ Δ -Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิที่ต่อแบบ Y หรือ Δ นั้น ซึ่งได้รับแรงเคลื่อนจากแหล่งจ่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์ ทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y หรือ Δ จึงไม่มีผลของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ

5.5.3 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ(แรงดันเฟส)



รูปที่ 5.20 a.

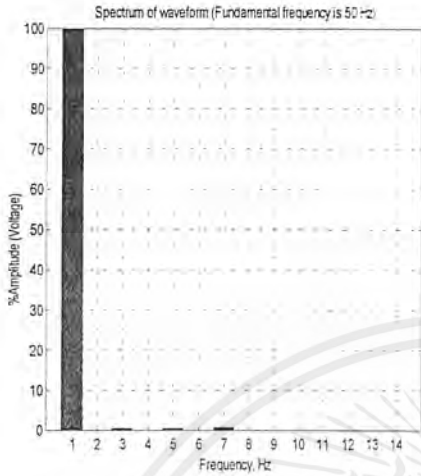
รูปที่ 5.20b.

รูปที่ 5.20 5.20 a.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

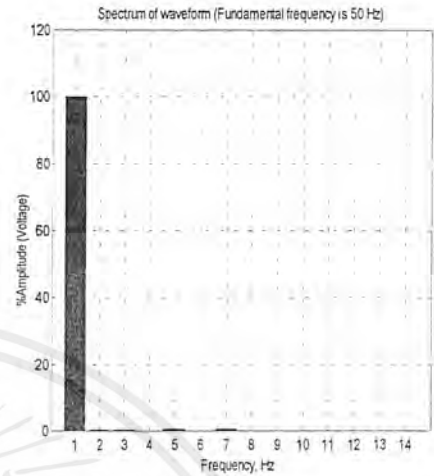
5.20b.แสดงสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Δ -Y

จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิที่ต่อแบบ Y หรือ Δ นั้น ซึ่งได้รับแรงเคลื่อนจากแหล่งจ่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์ ทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y หรือ Δ จึงไม่มีผลของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กจึงไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิจึงไม่มีปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ รูปคลื่นจึงเปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์

5.5.4 เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบแรงดันไลน์เทียบกับไลน์ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 5.21 a.



รูปที่ 5.21b.

รูปที่ 5.21 5.21 a. แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์เทียบกับไลน์ด้านทุติยภูมิของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่จุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
5.21b. แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์เทียบกับไลน์ด้านทุติยภูมิของการต่อ หม้อแปลงแบบ Δ -Y

เมื่อทำการพิจารณาแรงเคลื่อนไลน์กับไลน์ด้านทุติยภูมิของการต่อขดลวดของหม้อแปลงแบบ Y จากสมการความสัมพันธ์จะเห็นว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะต้องไม่มีปรากฏออกมาทางแรงเคลื่อนไลน์กับไลน์เพราะองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะมีเฟสตรงกันทั้ง 3 เฟสทำให้เกิดการหักล้างกันขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ดังนั้นรูปคลื่นของแรงเคลื่อนไลน์กับไลน์จึงเป็นรูปคลื่นไซน์ ในการพิจารณาเปรียบเทียบผลของการต่อขดลวดหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิแบบ Y จะเห็นได้ว่าในการต่อลักษณะนี้เหมือนกับขดลวดทั้ง 3 เฟสแยกออกจากกันอย่างอิสระจึงทำให้ไม่มีผลต่อปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ ไม่ว่าจะด้านปฐมภูมิจะต่อขดลวดแบบใด เพียงแต่ปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นทางด้านปฐมภูมิจะขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อขดลวดของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิว่าต่อแบบใด อย่งที่หม้อแปลงต่อขดลวดแบบ Δ ทางด้านปฐมภูมิจะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสแต่จะไม่มียังองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ไหลในไลน์ และกาต่อขดลวดของหม้อแปลงแบบ Y โดยที่ต่อจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะไหลผ่านขดลวดและไหลกลับไปแหล่งจ่ายโยอาศัยสายนิวทรัลเป็นเส้นทางไหลกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าจากผลการเปรียบเทียบปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ตามลักษณะของการต่อขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะเห็นได้ว่าการต่อขดลวดของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิแบบ Δ จะมีผลทำให้ปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ทางด้านปฐมภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปคือจะทำให้องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดลดลง แต่เมื่อทำการต่อขดลวดของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิแบบ Y ซึ่งจะไม่มีผลต่อปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิกส์ทางด้านปฐมภูมิ และเมื่อพิจารณาการต่อขดลวดของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิแบบ Δ จะเห็นว่ามืองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นไหลผ่านขดลวดในแต่ละเฟสแต่จะไม่มืองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ไหลในไลน์ และการต่อขดลวดของหม้อแปลงแบบ Y โดยที่ต่อจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิเข้ากับแหล่งจ่าย จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะไหลผ่านขดลวดและไหลกลับไปที่แหล่งจ่ายโดยอาศัยสายนิวทรัลเป็นเส้นทางไหลกลับแต่เมื่อแยกจุดนิวทรัลของขดลวดด้านปฐมภูมิจากแหล่งจ่าย จะทำให้ไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ไหลผ่านขดลวดซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เป็นรูปคลื่นไซน์

ดังนั้น จากคุณสมบัติของแกนเหล็กที่ทำให้กระแสกระตุ้นมีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกส์เมื่อต้องการให้แรงเคลื่อนของหม้อแปลงเปลี่ยนแปลงแบบรูปคลื่นไซน์ก็ค้องย้อมให้มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสไหลในขดลวดที่ต่อแบบ Δ หรือให้ไหลผ่านโดยสายนิวทรัล และแม้ว่าคุณสมบัติของการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y ที่มีสายนิวทรัลจะมีความเหมาะสมอยู่พอสมควรแต่การที่มีสายที่ 4 ก็เป็นข้อดีที่ยังก่อให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นมีขนาดเป็น 3 เท่า ขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้นที่ไหลในไลน์ 3 เฟส ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาที่ตามมาคือการรบกวนแบบเหนี่ยวนำต่อระบบสื่อสารที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อต้องการกำจัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของกระแสกระตุ้น เช่นในการต่อแบบ Y-Y โดยแยกนิวทรัลแต่จะทำให้แรงเคลื่อนไลน์เทียบกับจุดนิวทรัลของขดลวดอาจจะไม่สมดุลและจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ขนาดใหญ่ขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ของแรงเคลื่อนอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากปรากฏการณ์รีโซแนนซ์ ดังนั้นการต่อหม้อแปลงแบบ 1 เฟส 3 ตัวแบบ Y-Y จึงต้องใช้ความระมัดระวัง

5.6 พิจารณาเปรียบเทียบผลการเกิดฮาร์โมนิกส์และความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณ
กระแสกระตุ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดตามการต่อขดลวดด้านปฐมภูมิของ
หม้อแปลงแบบ Y และจุดนิวทรอลต่อรวมกับแหล่งจ่าย

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเปรียบเทียบการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ %THD เมื่อด้าน
ปฐมภูมิต่อแบบ Y และจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายที่พิกัดทดสอบ
หม้อแปลงไฟฟ้า (220 Volt) เมื่อทางด้านทุติยภูมิต่อแบบต่างๆ

การต่อ Y-Y	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	39.051%
V_{an}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
V_{ab}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
การต่อ Y- Δ (open)	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	35.355%
$V_{aa'}$	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
V_{open}	ปรากฏ	ปรากฏ	50.159%
การต่อ Y- Δ	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	11.401%
V_{ab}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
$i_{\phi \Delta}$	ปรากฏ	ปรากฏ	11.180%

หมายเหตุ ในการพิจารณาค่าของ %THD นั้นเป็นการพิจารณาในค่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์
ที่ 3 และ 5 เนื่องจากเป็นหลักโดยองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่น ๆ มีผลกระทบน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 พิจารณาเปรียบเทียบผลการเกิดฮาร์โมนิกส์และความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณ กระแสกระตุ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดตามการต่อขดลวดด้านปฐมภูมิของ หม้อแปลงแบบ Y และจุดนิวทรัลแยกออกจากแหล่งจ่าย

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเปรียบเทียบการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ %THD เมื่อด้าน
ปฐมภูมิต่อแบบ Y ไม่ได้ต่อจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่ายที่พิกัด
ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (220 Volt) เมื่อทางด้านทุติยภูมิต่อแบบต่างๆ

การต่อ Y-Y	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$I_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	18.384%
V_{AN}	ปรากฏ	ปรากฏ	45.120%
V_{an}	ปรากฏ	ปรากฏ	45.034%
V_{ab}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
การต่อ Y- Δ (open)	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$I_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	18.780%
V_{AN}	ปรากฏ	ปรากฏ	45.044%
$V_{aa'}$	ปรากฏ	ปรากฏ	45.044%
การต่อ Y- Δ	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$I_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	10.630%
V_{AN}	ปรากฏ	ปรากฏ	0%
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	0%

หมายเหตุ ในการพิจารณาค่าของ %THD นั้นเป็นการพิจารณาในค่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์
ที่ 3 และ 5 เนื่องจากเป็นหลักโดยองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่นๆมีผลกระทบน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 พิจารณาเปรียบเทียบผลการเกิดฮาร์โมนิกส์และความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณกระแสกระตุ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดตามการต่อขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแบบ Δ

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าเปรียบเทียบการเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ 3, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5 และ %THD เมื่อค้ำปฐมภูมิต่อแบบ Δ ที่พิกัดทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (220 Volt) เมื่อทางด้านทุติยภูมิต่อแบบต่างๆ

การต่อ Δ -Y	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	10.295%
i_{AB}	ปรากฏ	ปรากฏ	38.639%
V_{an}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
V_{ab}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
การต่อ Δ - Δ (open)	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	10.770%
i_{AB}	ปรากฏ	ปรากฏ	40.251%
$V_{aa'}$	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
V_{open}	ปรากฏ	ปรากฏ	12.041%
การต่อ Δ - Δ	HARMONIC 3 rd	HARMONIC 5 th	% THD
$i_{\phi A}$	ปรากฏ	ปรากฏ	11.180%
i_{AB}	ปรากฏ	ปรากฏ	9.848%
V_{ab}	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0%
$i_{\phi \Delta}$	ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	0.08%

หมายเหตุ ในการพิจารณาค่าของ %THD นั้นเป็นการพิจารณาในค่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และ 5 เนื่องจากเป็นหลักโดยองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่นๆมีผลกระทบน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

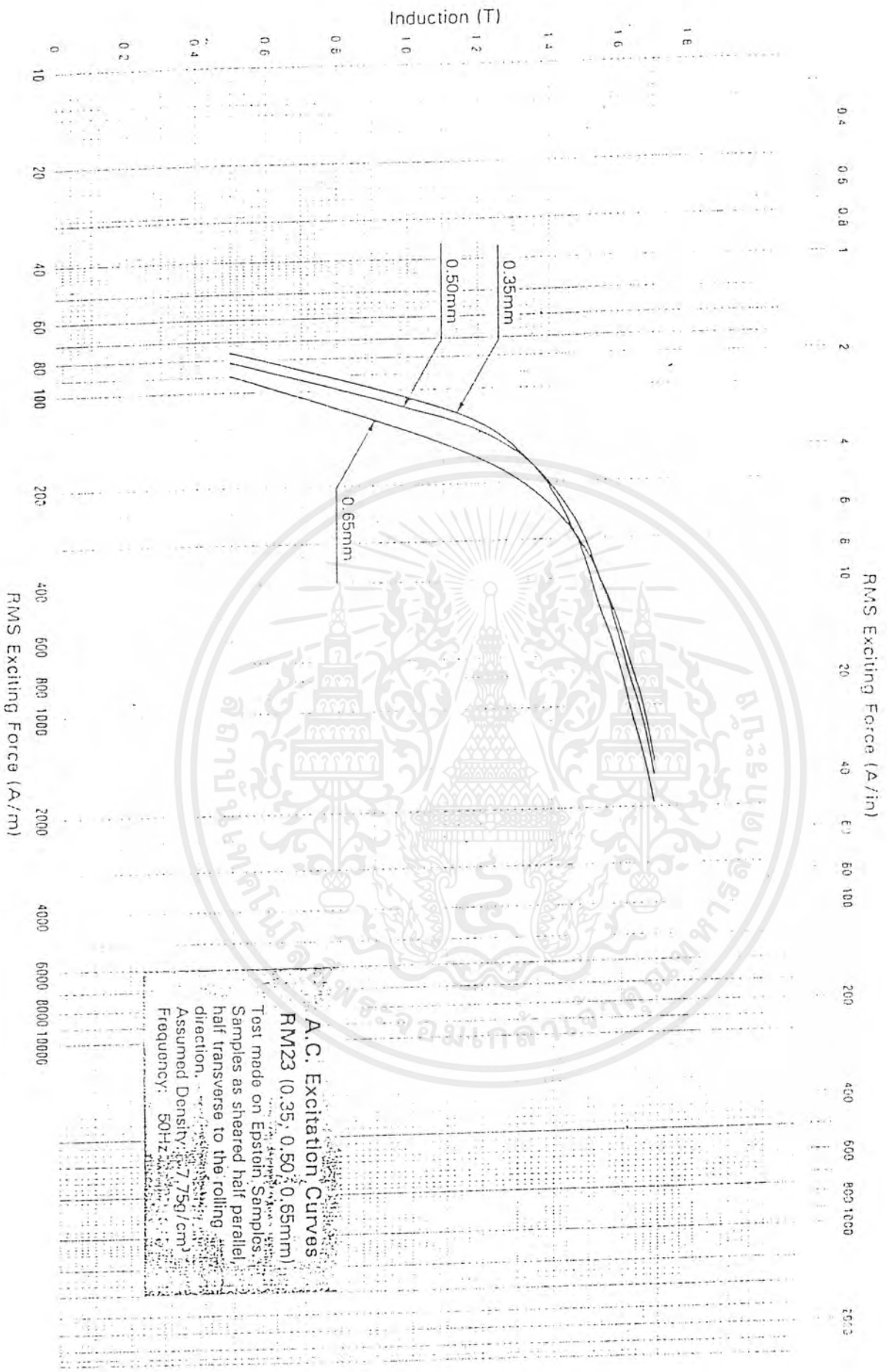
ความสัมพันธ์ของความสูญเสียและความหนาแน่นกระแสกับพิกัดกำลังไฟฟ้า

และ

คุณลักษณะของแกนเหล็ก

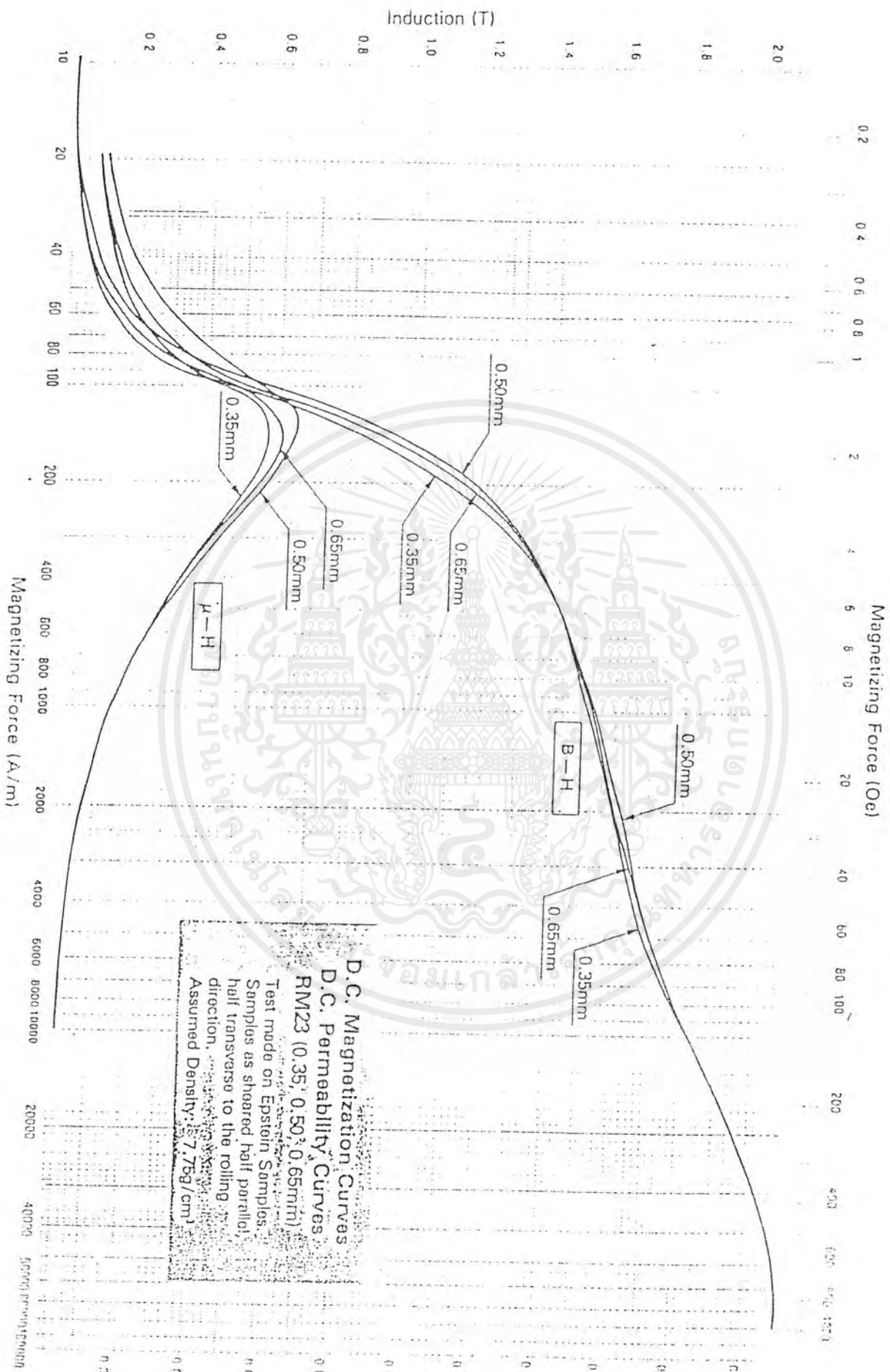


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



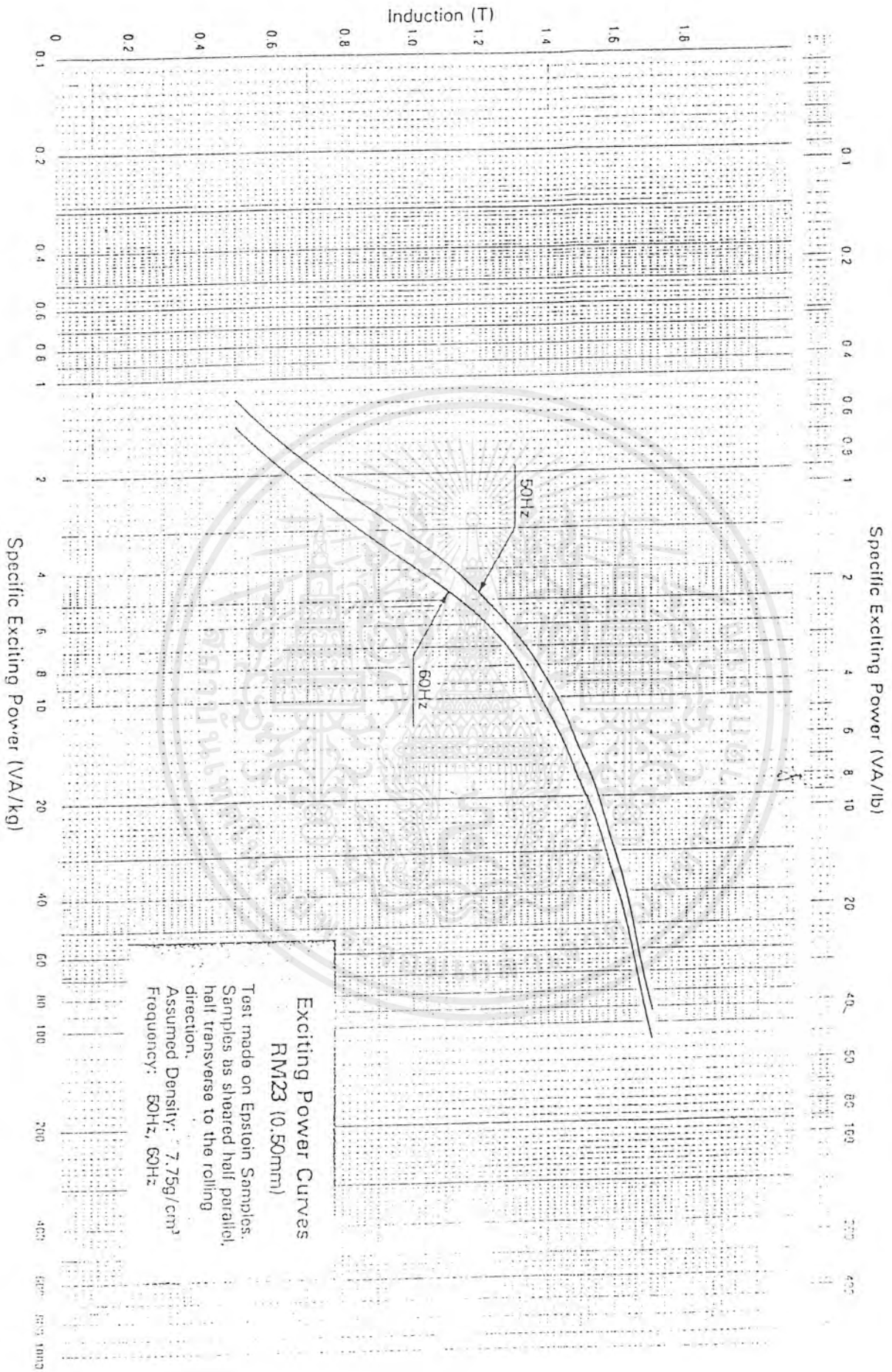
A. C. Excitation Curves
 RM23 (0.35, 0.50, 0.65mm)
 Test made on Epstein Samples
 Samples as sheared half parallel,
 half transverse to the rolling
 direction.
 Assumed Density: 7.75g/cm³
 Frequency: 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

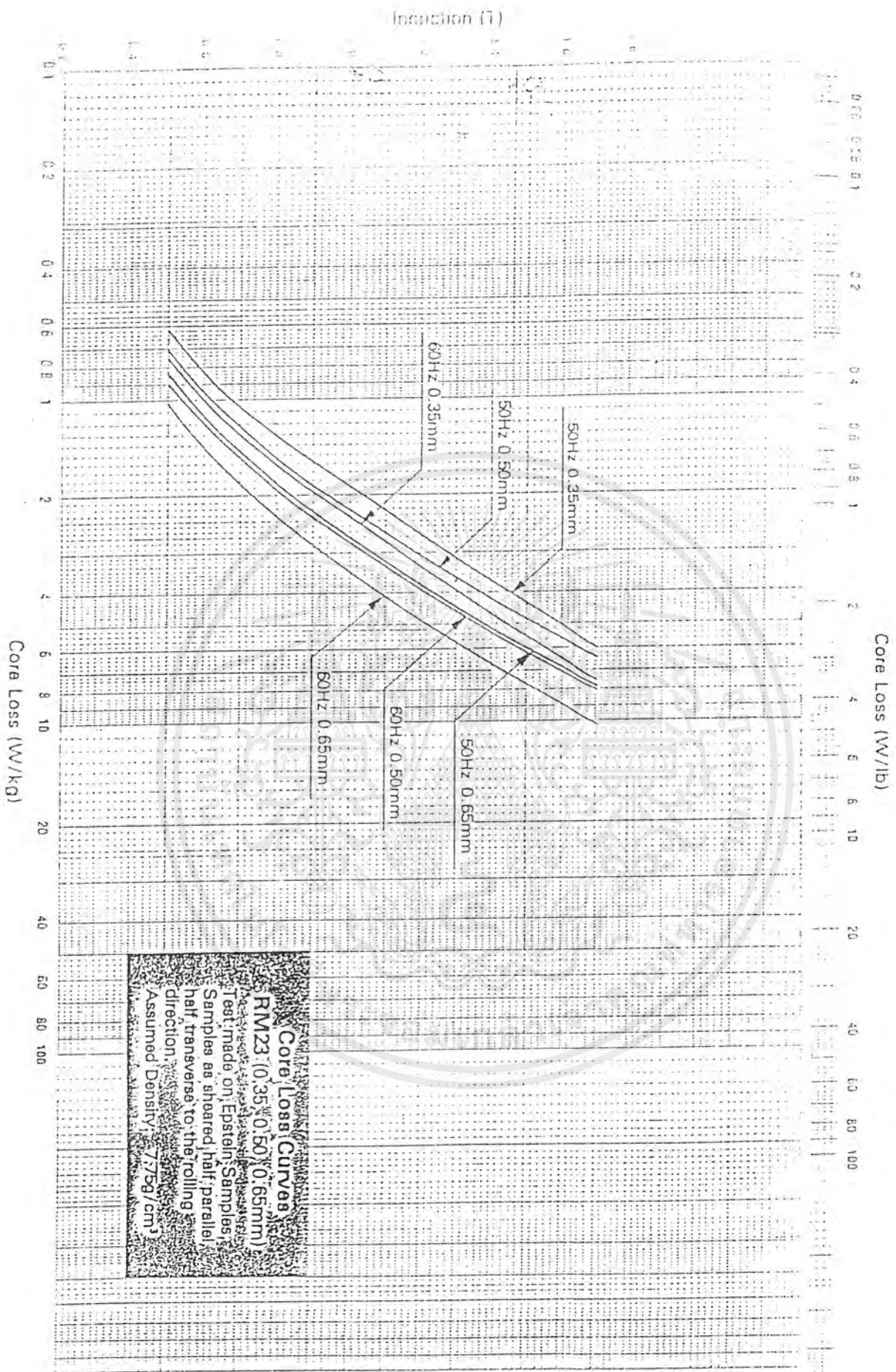


D.C. Magnetization Curves
D.C. Permeability Curves
 RM23 (0.35, 0.50, 0.65mm)
 Test made on Epstein Samples.
 Samples as sheared half parallel,
 half transverse to the rolling
 direction.
 Assumed Density: 7.75g/cm³

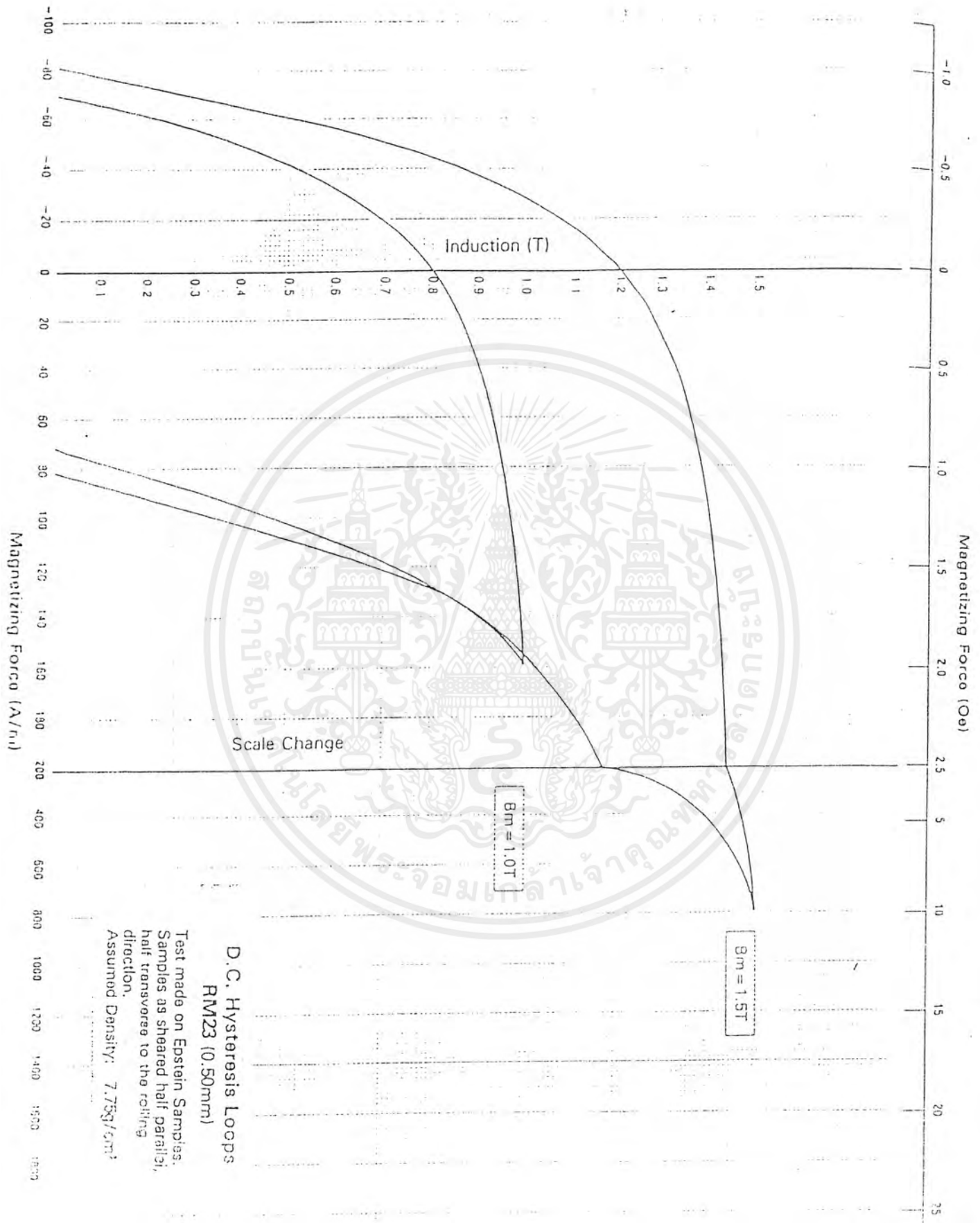
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



D.C. Hysteresis Loops
RM23 (0.50mm)
 Test made on Epstein Samples.
 Samples as sheared half parallel,
 half transverse to the rolling
 direction.
 Assumed Density: 7.75g/cm³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

WIRE GAUGES TABLE

ตารางที่ ข-1. S.W.G. Standard

Gauge S.W.G.	Diameter (mm)	Sectional area (mm ²)
7/0	12.700	126.7
6/0	11.786	109.1
5/0	10.973	94.56
4/0	10.160	81.07
3/0	9.440	70.12
2/0	8.839	61.36
0	8.230	53.19
1	7.629	45.60
2	7.010	39.60
3	6.401	32.18
4	5.893	27.27
5	5.385	22.77
6	4.877	18.68
7	4.470	15.70
8	4.064	12.97
9	3.685	10.52
10	3.251	8.302
11	2.946	6.818
12	2.642	5.481
13	2.337	4.289
14	2.032	3.243
15	1.829	2.627
16	1.626	2.075
17	1.422	1.589
18	1.219	1.1670
19	1.016	0.8107
20	0.9144	0.6576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gauge S.W.G.	Diameter (mm)	Sectional area (mm ²)
21	0.8128	0.5189
22	0.7112	0.3973
23	0.6096	0.2919
24	0.5583	0.2452
25	0.5080	0.2027
26	0.4572	0.1642
27	0.4166	0.1313
28	0.3759	0.1110
29	0.3454	0.09372
30	0.3150	0.07791
31	0.2946	0.06818
32	0.2743	0.05913
33	0.2540	0.05067
34	0.2337	0.04289
35	0.2134	0.03575
36	0.1930	0.02927
37	0.1727	0.02343
38	0.1524	0.01824
39	0.1321	0.01370
40	0.1219	0.01167
41	0.1180	0.009810
42	0.1016	0.008127
43	0.09114	0.006567
44	0.08138	0.005819
45	0.07113	0.003973
46	0.0696	0.002929
47	0.05080	0.002027
48	0.04064	0.001297
49	0.03048	0.0007297
50	0.02540	0.0005067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2. A.W.G. Standard

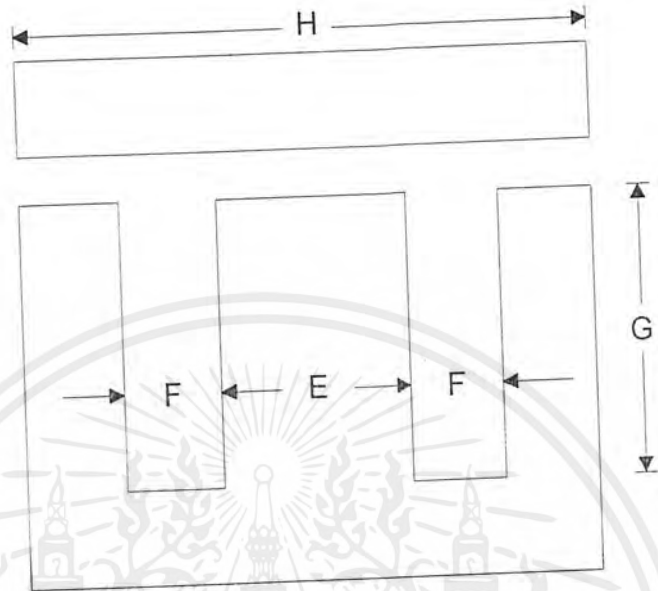
Gauge A.W.G.	Diameter (mm)	Sectional area (mm ²)
4/0	11.684	107.2
3/0	10.404	85.03
2/0	9.266	67.42
0	8.250	53.49
1	7.348	42.41
2	6.544	33.63
3	5.827	26.66
4	5.189	21.15
5	4.621	16.77
6	4.115	13.30
7	3.665	10.55
8	3.264	8.368
9	2.906	6.632
10	2.588	5.262
11	2.305	4.172
12	2.053	3.309
13	1.828	2.624
14	1.628	2.081
15	1.450	1.650
16	1.291	1.309
17	1.150	1.037
18	1.024	0.8226
19	0.9116	0.6529
20	0.8118	0.5174
21	0.7229	0.4105
22	0.6438	0.3256
23	0.5733	0.2581
24	0.5106	0.2047
25	0.4547	0.1623
26	0.4049	0.1288

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gauge A.W.G.	Diameter (mm)	Sectional area (mm ²)
27	0.606	0.1021
28	0.3211	0.08097
29	0.2859	0.06425
30	0.2546	0.05097
31	0.2238	0.04039
32	0.2019	0.03203
33	0.1798	0.02540
34	0.1601	0.02014
35	0.1426	0.01597
36	0.1270	0.01267
37	0.1131	0.01005
38	0.1007	0.007968
39	0.08969	0.006319
40	0.07987	0.005012
41	0.07113	0.003973
42	0.06334	0.003151
43	0.05641	0.002495
44	0.05023	0.001982
45	0.04473	0.001572
46	0.03984	0.001246
47	0.03547	0.0009884
48	0.03159	0.0007838
49	0.02813	0.0006216
50	0.02505	0.0004929

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE OF DIMENSION OF EI – CORE



ตารางที่ ข-3. Dimension of EI – core

EI number	F (mm)	E (mm)	G (mm)	H (mm)
14	3.5	3.5	10	14
16	4	4	10	16
19	4	5	10	19
24	6	6	12	24
28	6	8	17	28
35	7.2	9.6	19.5	35
40	7.45	12.7	20	40
41	8	13	21	41
48	8	16	24	48
54	9	18	27	54
57	9.5	19	28.5	57
60	10	20	30	60
66	11	22	33	66
76.2	12.7	25.4	38.1	76.2
85.8	14.3	28.6	42.9	85.5
95	15	30	47	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EI number	F (mm)	E (mm)	G (mm)	H (mm)
96	16	32	48	96
105	17.5	35	52.5	105
114	19	38	57	114
133.2	22.2	44.4	66.6	133.2
152	25.4	50.8	76.2	152.4
190	31.95	63.75	95.3	190.5
225	38.1	76	114.65	228.6
245	44.5	88.9	134.05	247.5
300	50.75	101.4	152.6	304.8

Stacking factor [10]

Lamination Thickness (mm)	Stacking Factor
0.0127	0.50
0.0254	0.75
0.0508	0.85
0.1-0.25	0.90
0.27-0.36	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
โปรแกรม MATLAB

โปรแกรมพล็อตกราฟสเปกตรัมกระแสกระตุ้นไฟฟ้า

```
load c:\piohm\d-d-o\50\i1.csv
z=abs(fft(i1(1:4000)/2000));
bar(z(2:15)*15/4)
title('Spectrum (Fundamental frequency is 50 Hz)'),
xlabel('Frequency, Hz'),
ylabel('Amplitude (Current)'),
grid;
```

โปรแกรมพล็อตกราฟสเปกตรัมแรงดันไฟฟ้า

```
load c:\piohm\d-d-o\115\i10.csv
z=abs(fft(i10(1:4000)/2000));
bar(z(2:15)*100/z(2:2))
title('Spectrum (Fundamental frequency is 50 Hz)'),
xlabel('Frequency, Hz'),
ylabel('%Amplitude (Voltage)'),
grid;
```

โปรแกรมพล็อตกราฟรูปคลื่นแรงดันและกระแสกระตุ้นไฟฟ้า

```
load c:\piohm\y-y-n\ a2.csv
z=(a2);
plot(z)
title('Voltage of waveform'),
xlabel('time'),
ylabel('Voltage'),
grid;
```

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบเบ็ดเสร็จทางด้านฟิสิกส์วัดค่าทางด้านปรุณภูมิ

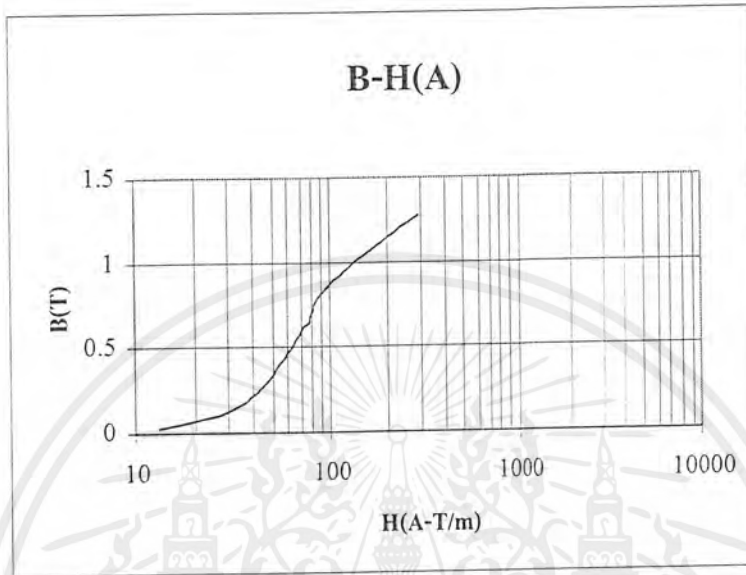
Voc(V)	Transformer 1,000 VA 220/127 V											
	Ioc (mA)			Woc (W)			H (A-T/m)			B (T)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5	65.7	61.8	59.7	0.1	0.1	0.1	18.321	17.234	16.648	0.0443	0.0443	0.0443
10	84.5	88.5	86.5	0.3	0.3	0.2	23.564	24.679	24.122	0.0887	0.0887	0.0887
15	100.5	103	103	0.5	0.55	0.5	28.026	28.723	28.723	0.1330	0.1330	0.1330
20	121.75	124	123.75	1.1	1.1	1.1	33.952	34.579	34.510	0.1774	0.1774	0.1774
25	135	138.25	137	1.5	1.8	1.5	37.647	38.553	38.205	0.2217	0.2217	0.2217
30	150	154	152	2.6	2.75	2.45	41.830	42.945	42.388	0.2661	0.2661	0.2661
35	162	166	163.75	3.5	3.6	3.5	45.176	46.292	45.664	0.3104	0.3104	0.3104
40	164	178	174	4.5	4.5	4.4	45.734	49.638	48.523	0.3548	0.3548	0.3548
45	183	188	184	5.5	4.7	5.5	51.033	52.427	51.312	0.3991	0.3991	0.3991
50	197	200	196	6.8	4.9	6.8	54.937	55.774	54.658	0.4435	0.4435	0.4435
55	205	210	206	7.9	8.1	7.9	57.168	58.562	57.447	0.4878	0.4878	0.4878
60	216	221	218	9.2	9.4	9.3	60.235	61.630	60.793	0.5322	0.5322	0.5322
65	228	233	228	10.7	10.8	10.6	63.582	64.976	63.582	0.5765	0.5765	0.5765
70	240	247	240	12.2	12.4	12.1	66.928	68.880	66.928	0.6209	0.6209	0.6209
75	252	260	251	13.6	14	13.4	70.275	72.506	69.996	0.6652	0.6652	0.6652
80	266	274	267	15.3	15.6	15.4	74.179	76.410	74.458	0.7096	0.7096	0.7096
85	285	295	282	17.3	17.8	17.1	79.477	82.266	78.641	0.7540	0.7540	0.7540
90	305	315	305	19	19	19.2	85.055	87.844	85.055	0.7983	0.7983	0.7983
95	327.5	335	325	21	22	21	91.329	93.421	90.632	0.8427	0.8427	0.8427
100	355	365	360	23.2	24.5	23.2	98.998	101.78	100.39	0.8870	0.8870	0.8870
105	395	405	395	25	26.5	25	110.15	112.94	110.15	0.9314	0.9314	0.9314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

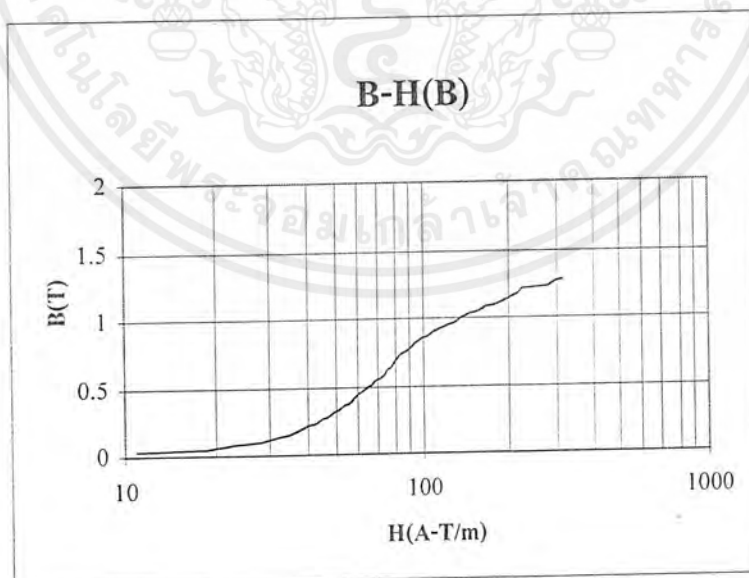
Voc(V)	Transformer 1,000 VA 220/127 V											
	Ioc (mA)			Woc (W)			H (A-T/m)			B (T)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
110	440	445	440	27.25	29	27.25	122.70	124.09	122.70	0.9757	0.9757	0.9757
115	505	492.5	497.5	30	31.5	29.5	140.82	137.34	138.73	1.0201	1.0201	1.0201
120	555	555	560	32	35	32.25	154.77	154.77	156.16	1.0644	1.0644	1.0644
125	625	610	640	35	37.5	34.75	174.29	170.11	178.47	1.1088	1.1088	1.1088
130	710	675	730	37	39	38	197.99	188.23	203.57	1.1531	1.1531	1.1531
135	800	830	815	40.5	46	39	223.09	231.46	227.27	1.1975	1.1975	1.1975
140	905	960	930	43.25	53	42	252.37	267.71	259.34	1.2418	1.2418	1.2418
145	1,020	1,075	1,065	46	59	45	284.44	299.78	296.99	1.2862	1.2862	1.2862
150	1,200	1,100	1,240	50	65	49	334.64	306.75	345.79	1.3305	1.3305	1.3305
155	1,375	1,370	1,430	54	71	52	383.44	382.05	398.78	1.3749	1.3749	1.3749
160	1,540	1,595	1,645	56.5	79	56	429.45	444.79	458.74	1.4192	1.4192	1.4192
165	1,820	1,780	1,970	60	84	60	507.54	496.38	549.37	1.4636	1.4636	1.4636
170	2,100	2,080	2,370	63	93	66	585.62	580.04	660.92	1.5080	1.5080	1.5080
175	2,540	2,395	2,830	70	99	71	708.32	667.89	789.20	1.5523	1.5523	1.5523
180	3,000	3,000	3,450	74	108	76	836.61	836.61	962.10	1.5967	1.5967	1.5967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส จำนวน 3 ตัว เมื่อเปิดวงจรทางด้านปฐมภูมิวัดค่าทางด้านทุติยภูมิ

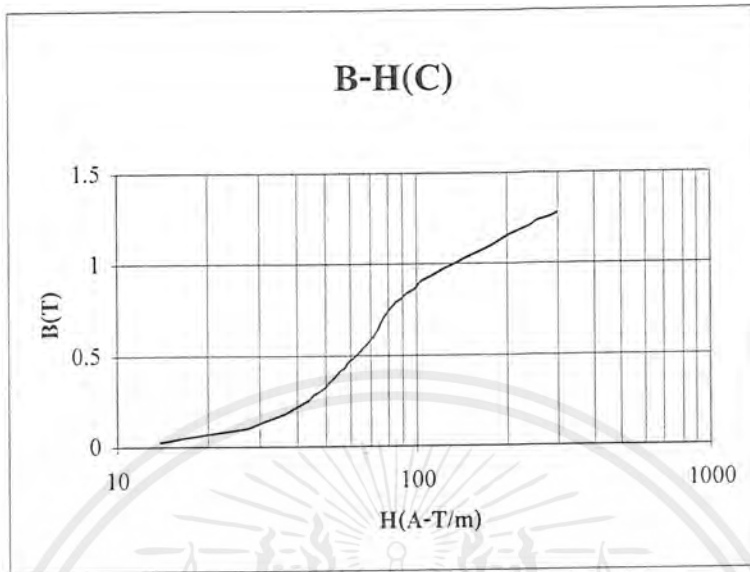


รูปที่ ง-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส ตัว A เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิวัดค่าทางด้านปฐมภูมิ



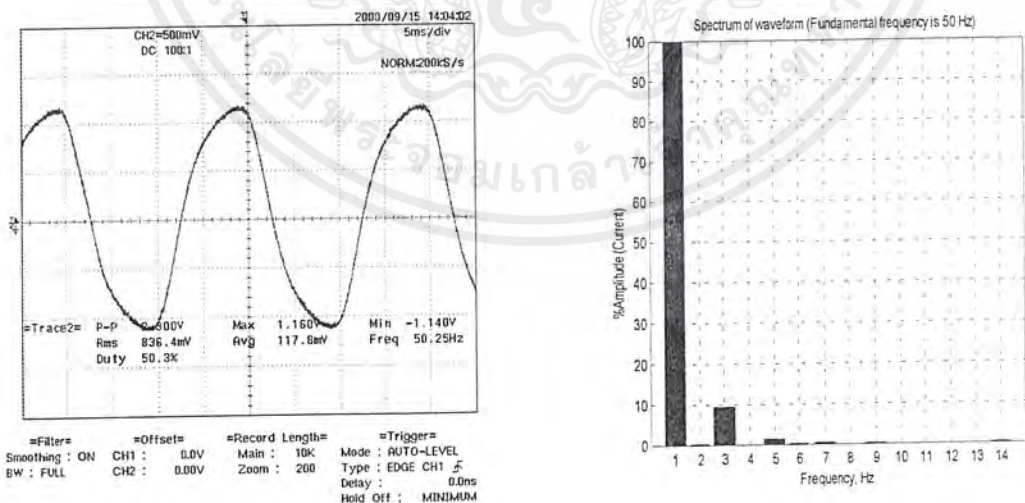
รูปที่ ง-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส ตัว B เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิวัดค่าทางด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



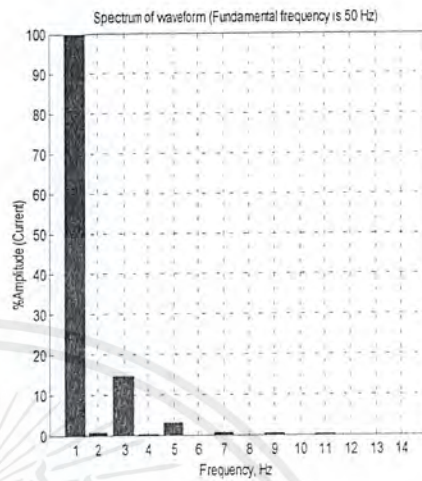
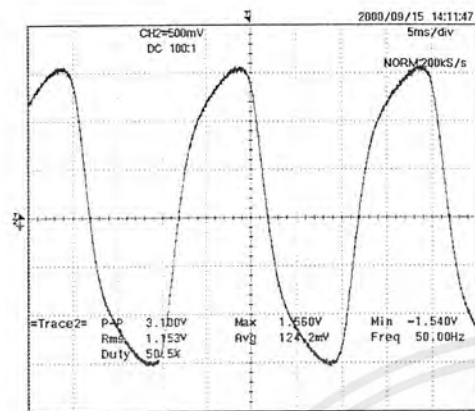
รูปที่ ง-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบ 1 เฟส ตัว C เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิวัดค่าทางด้านปฐมภูมิ

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ ทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัวที่ B



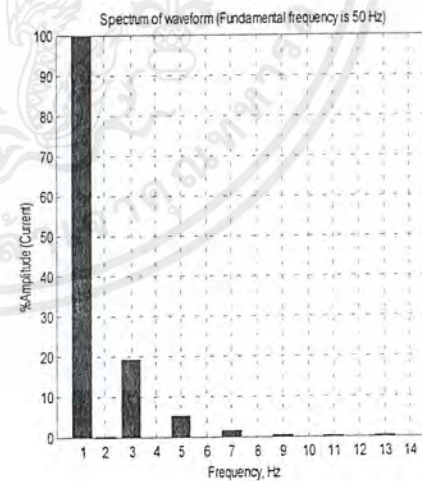
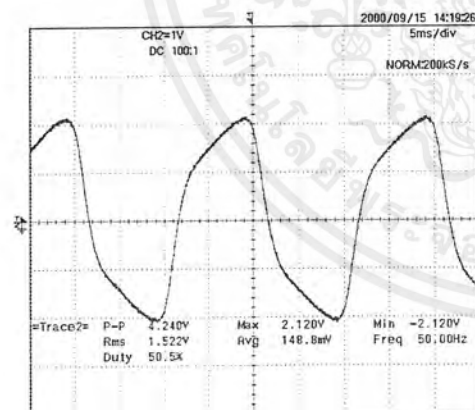
รูปที่ ง-4 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 20% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10k Mode : AUTO-LEVEL
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 200 Type : EDGE CH1 $\frac{f}{f}$
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

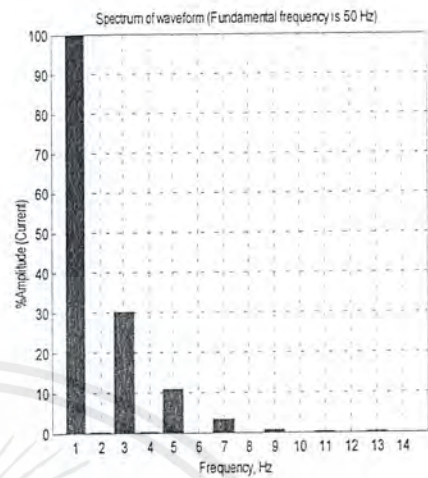
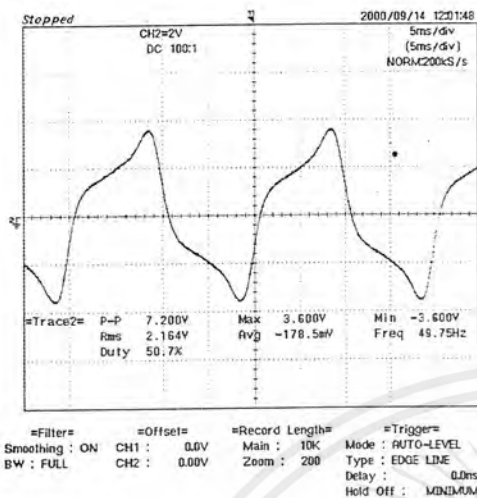
รูปที่ ง-5 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 40% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *B*



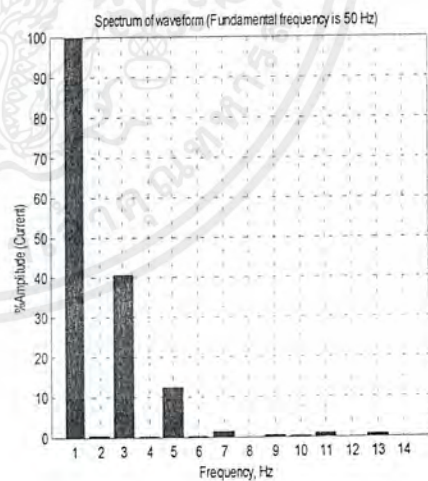
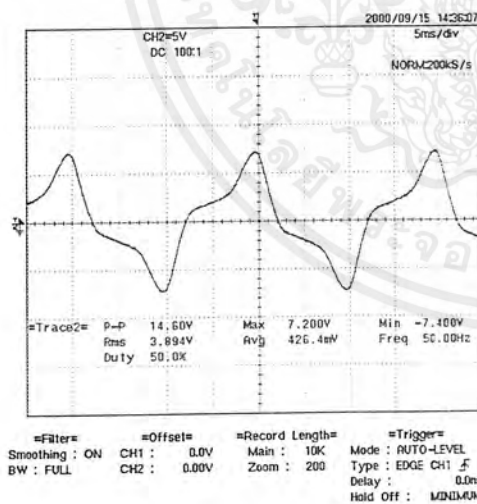
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : ON CH1 : 0.0V Main : 10k Mode : AUTO-LEVEL
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 200 Type : EDGE CH1 $\frac{f}{f}$
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ง-6 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 60% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *B*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

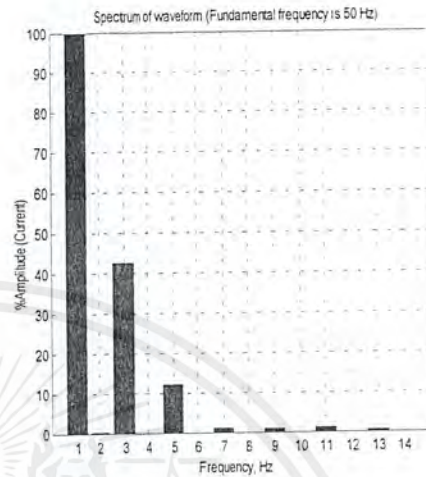
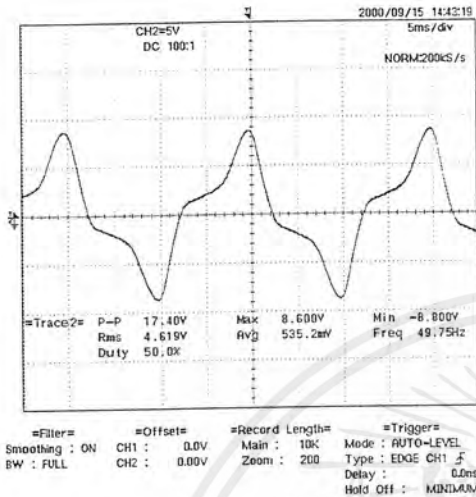


รูปที่ ง-7 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ Spectrum ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 80% ของ พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

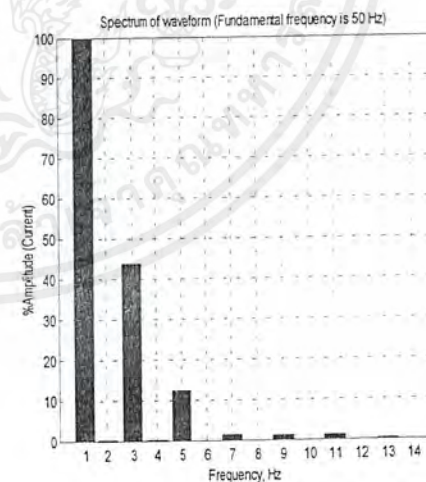
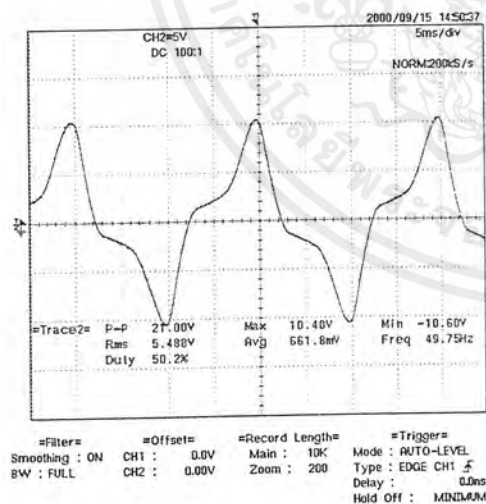


รูปที่ ง-8 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ Spectrum ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

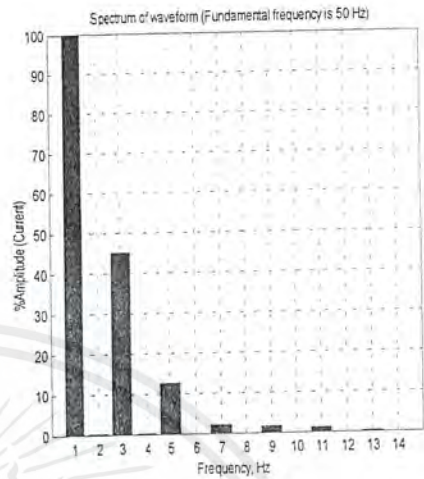
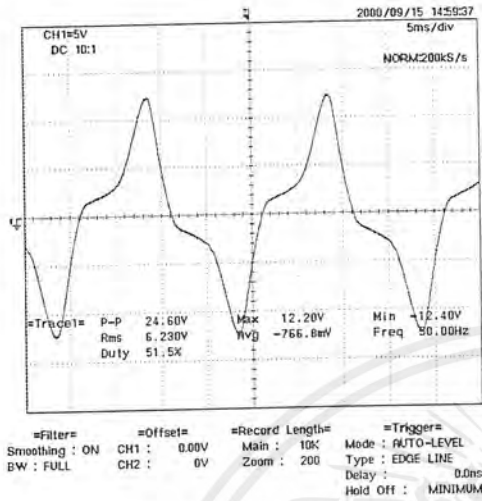


รูปที่ ง-9 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *B*



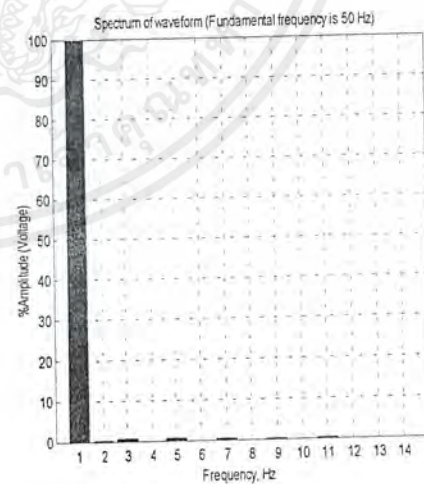
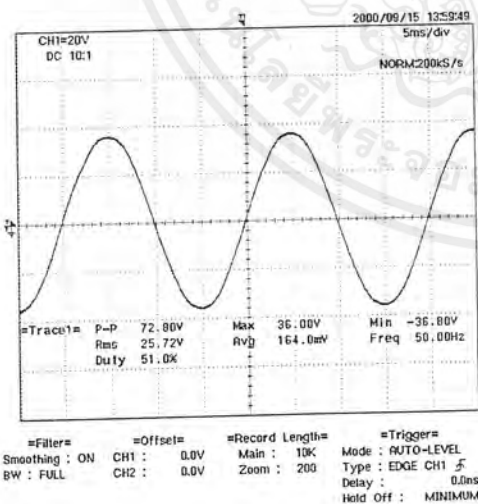
รูปที่ ง-10 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 110% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *B*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



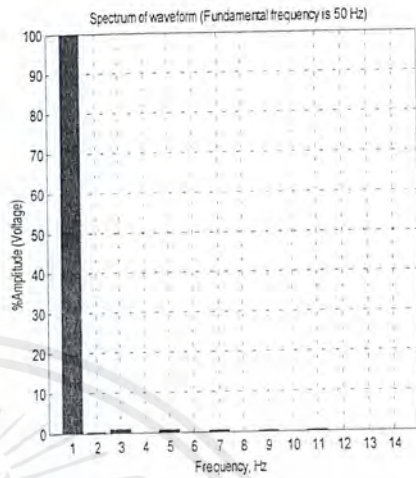
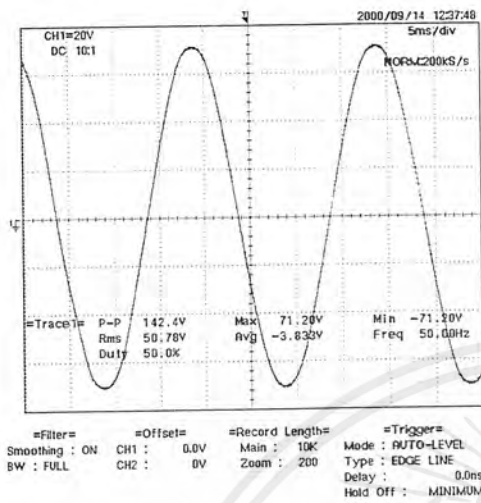
รูปที่ ง-11 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 115% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ ทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

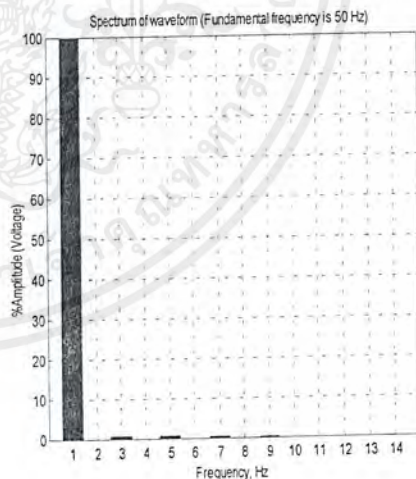
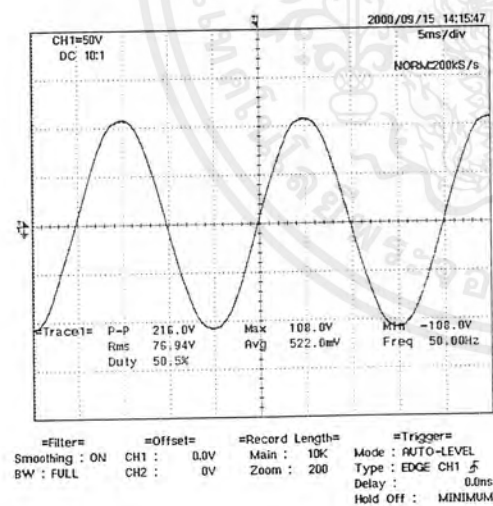


รูปที่ ง-12 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 20% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

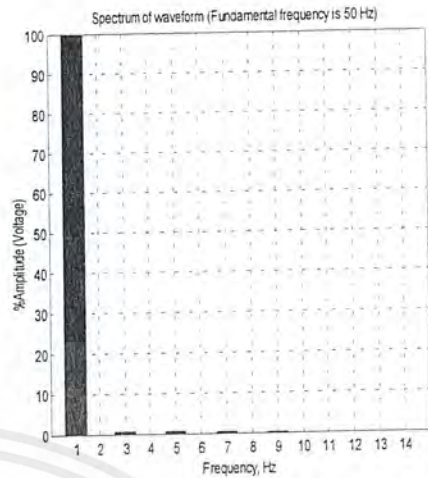
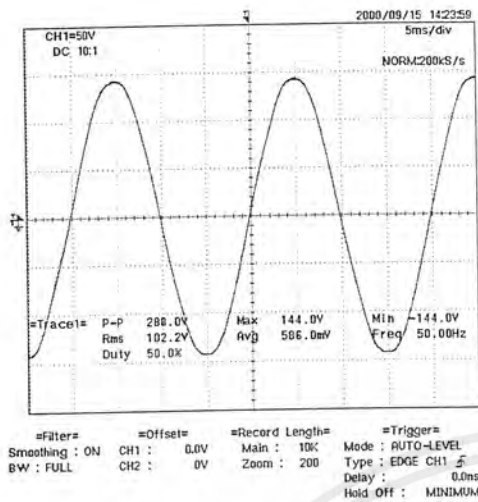


รูปที่ ง-13 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ Spectrum ทางด้านทุติยภูมิที่ 40% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

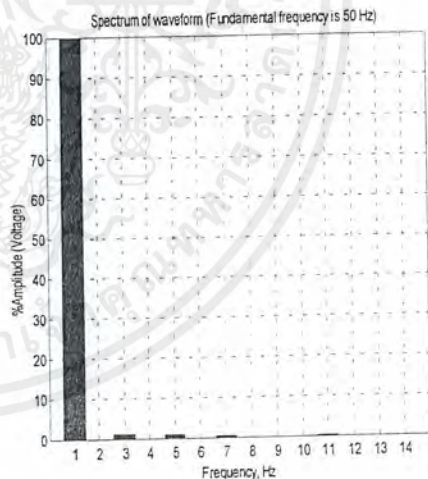
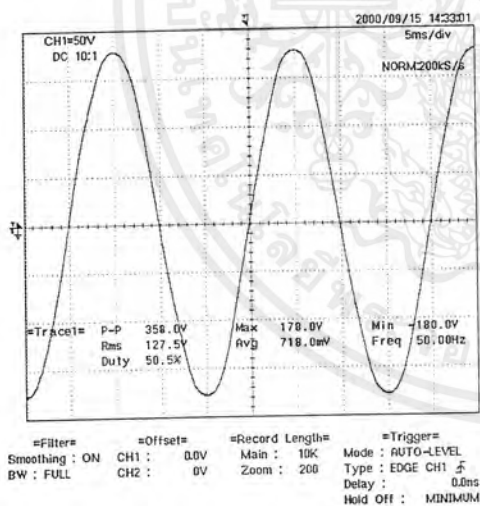


รูปที่ ง-14 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ Spectrum ทางด้านทุติยภูมิที่ 60% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

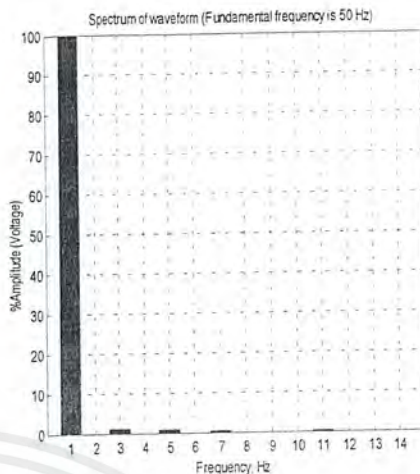
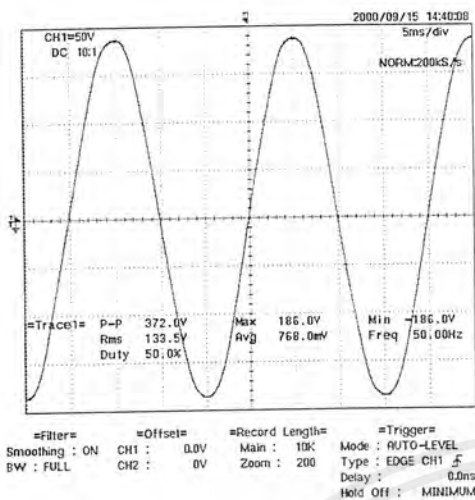


รูปที่ ง-15 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 80% ของพิกัดแรงดันทาง
ด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

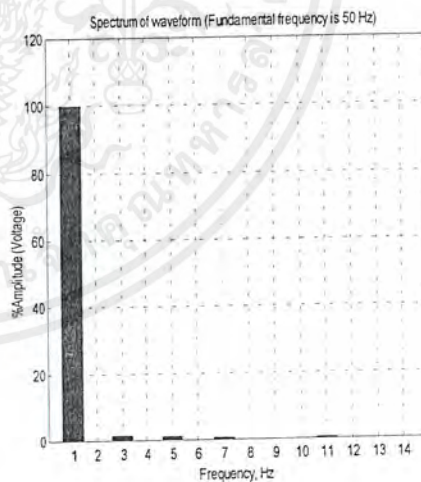
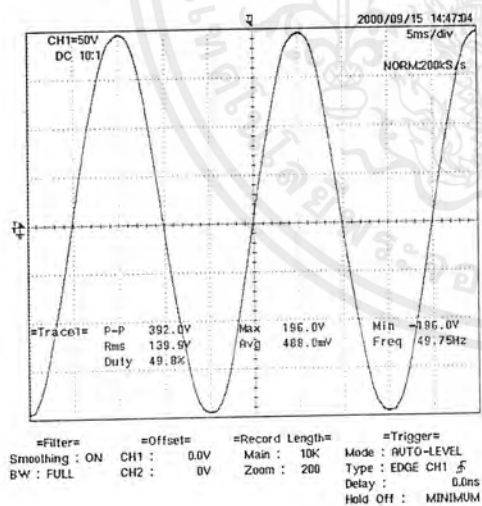


รูปที่ ง-16 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทาง
ด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

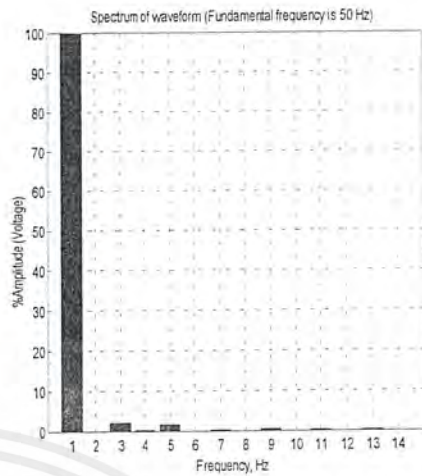
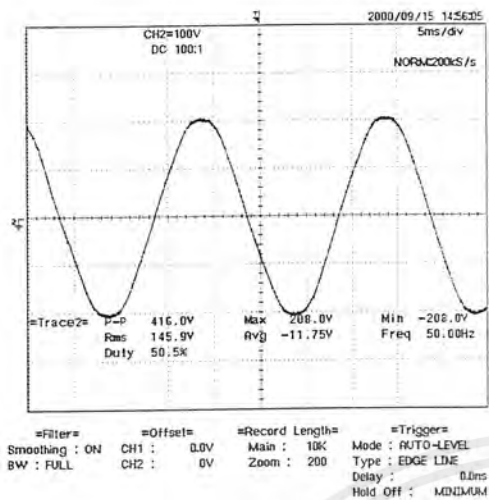


รูปที่ ง-17 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B



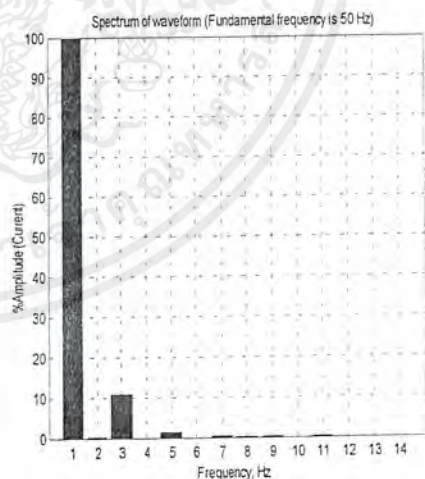
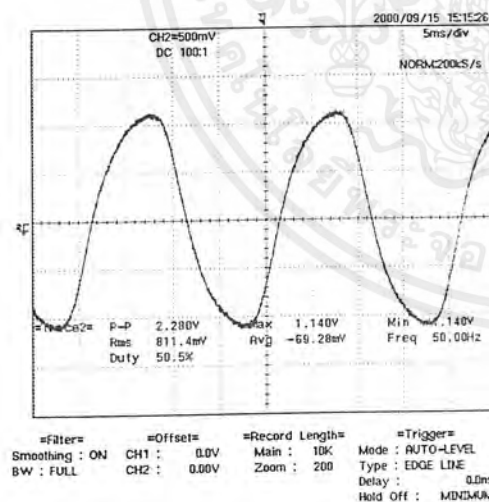
รูปที่ ง-18 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 110% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



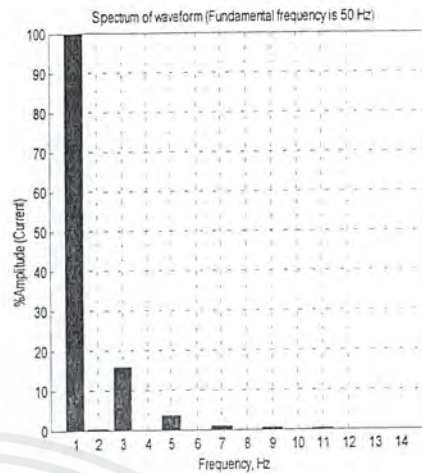
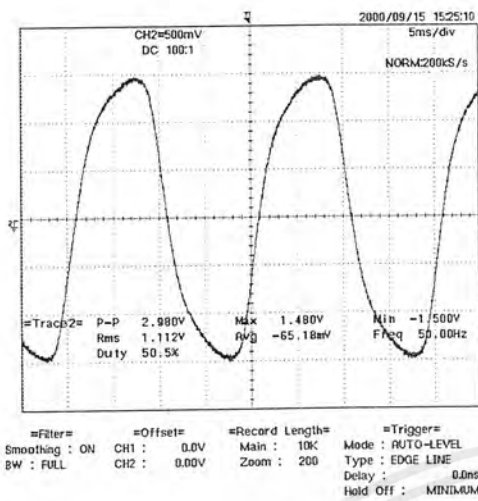
รูปที่ ง-19 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 115% ของพิกัดแรงดันทาง
ด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว B

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่พิกัด
แรงดันทดสอบต่างๆทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

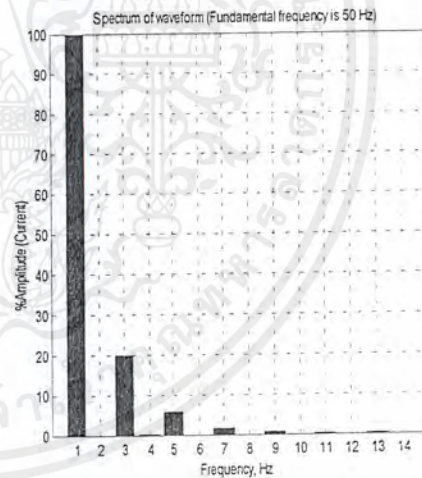
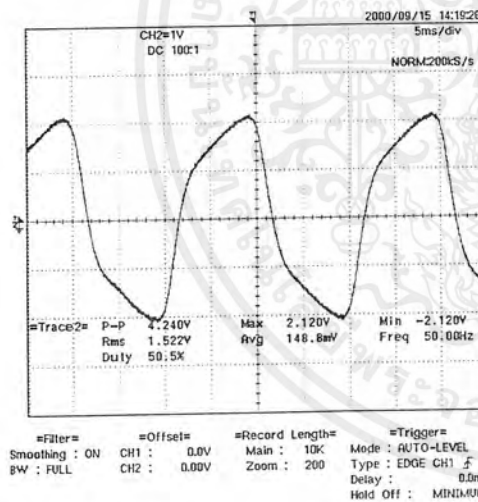


รูปที่ ง-20 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 20%
ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

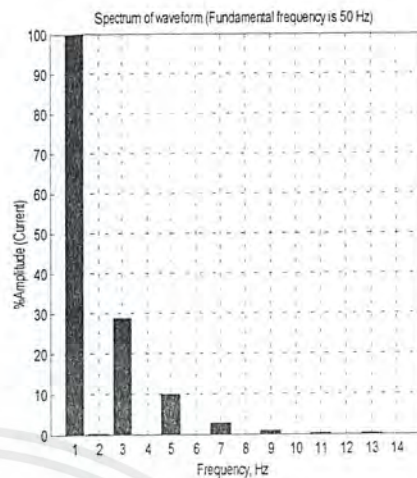
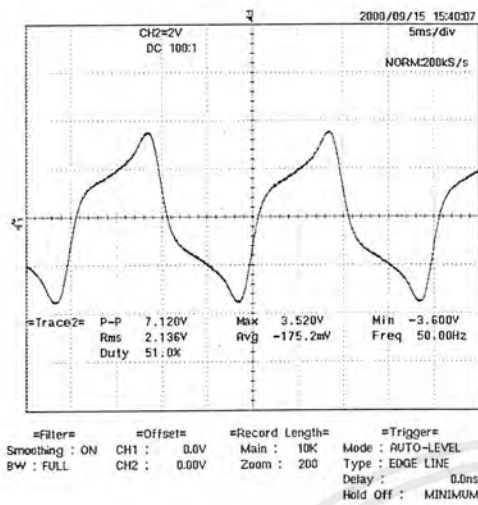


รูปที่ ง-21 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 40% ของฟลักซ์แรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *C*

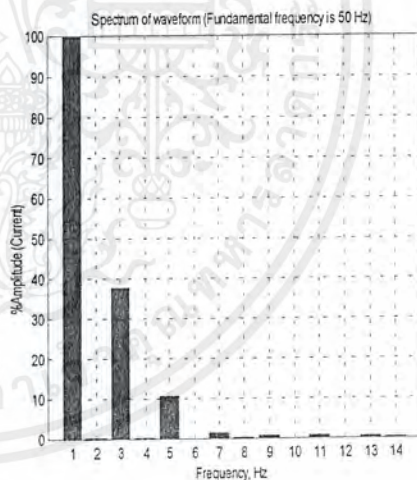
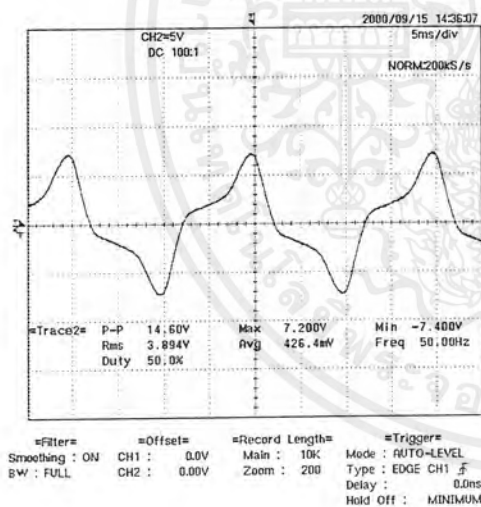


รูปที่ ง-22 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 60% ของฟลักซ์แรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *C*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

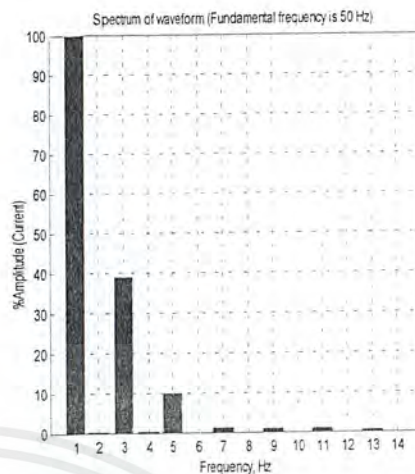
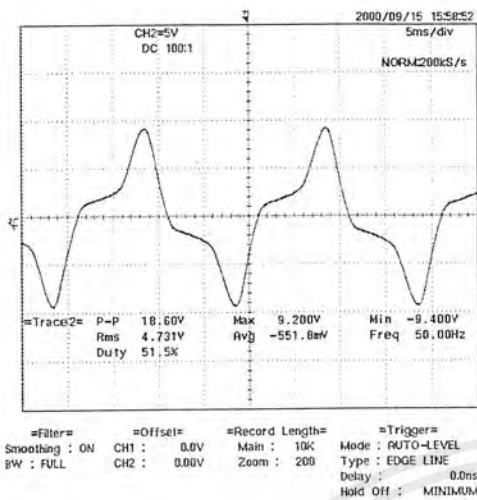


รูปที่ ง-23 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 80% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *C*

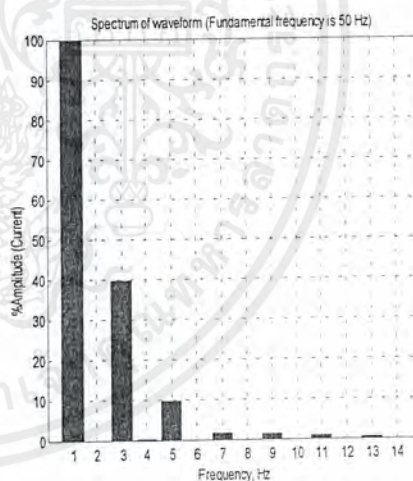
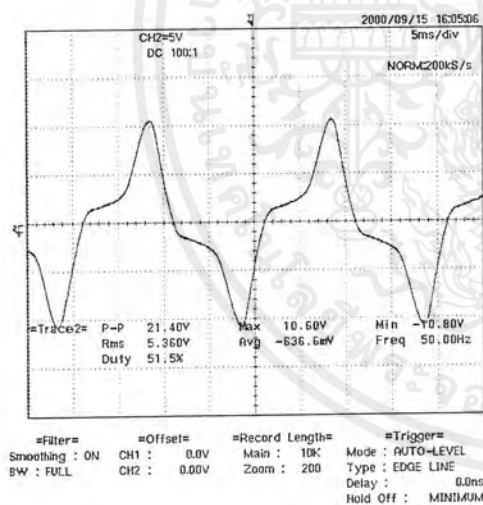


รูปที่ ง-24 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว *C*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

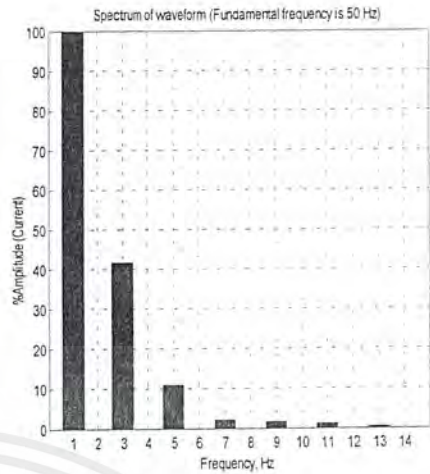
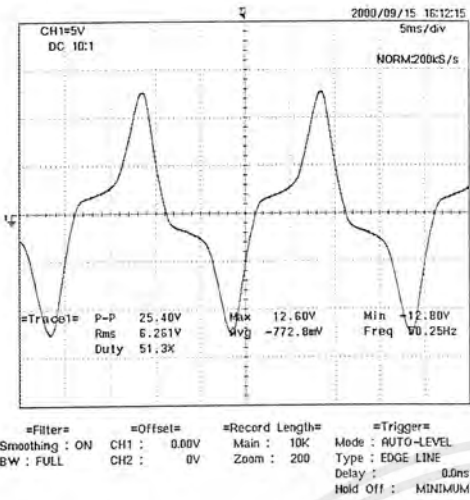


รูปที่ ง-25 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C



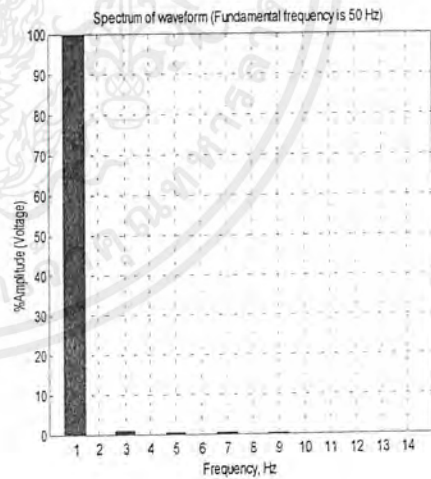
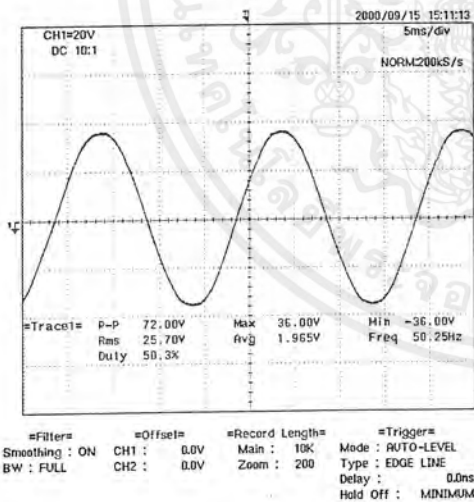
รูปที่ ง-26 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่ตกคร่อม *R* ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 110% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



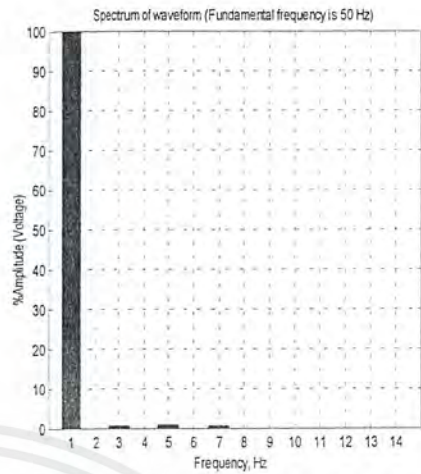
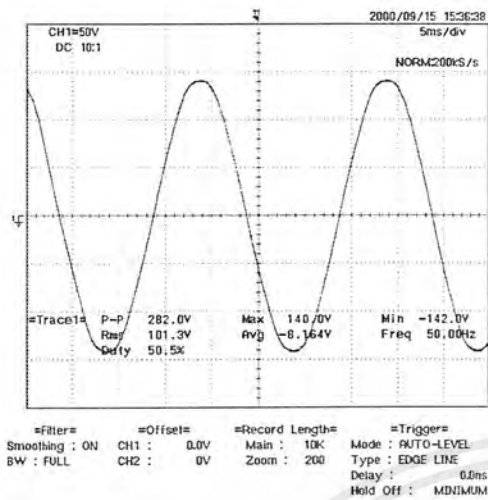
รูปที่-27 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ที่คัดกร่อม R ลำดับทางด้านปฐมภูมิที่ 115% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่พิกัดแรงดันทดสอบต่างๆ ทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

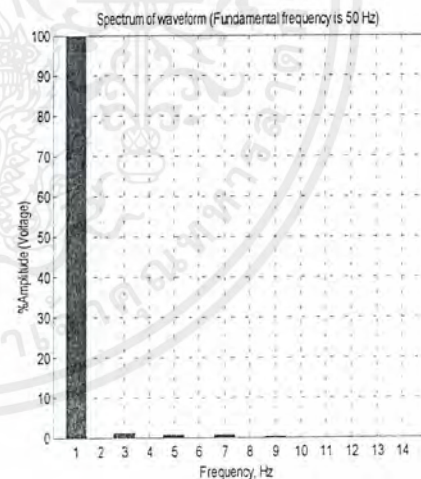
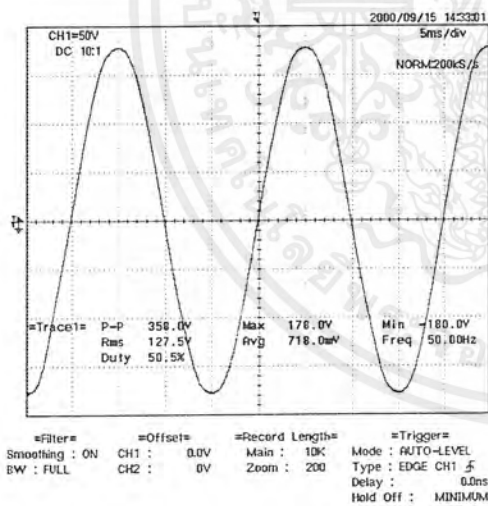


รูปที่-28 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 20% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

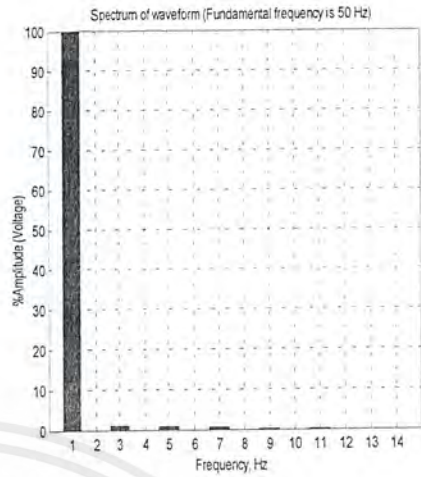
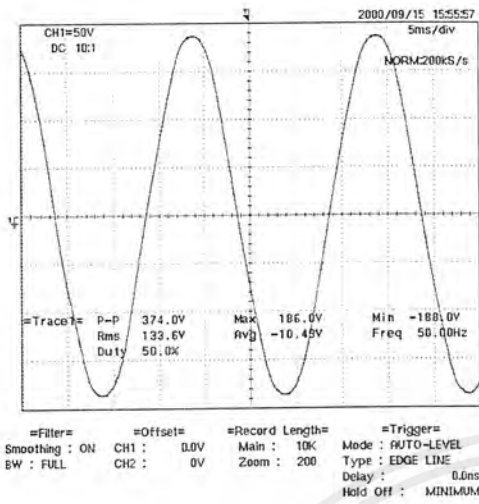


รูปที่ ง-31 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ Spectrum ทางด้านทุติยภูมิที่ 80% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

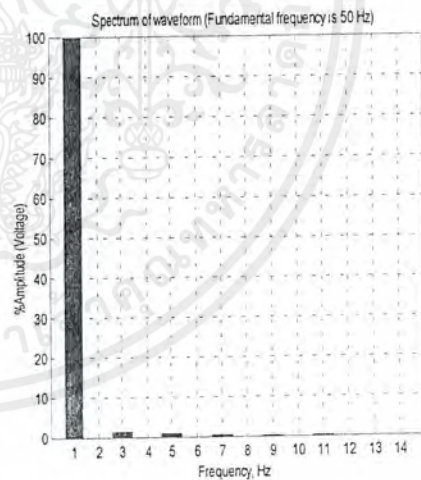
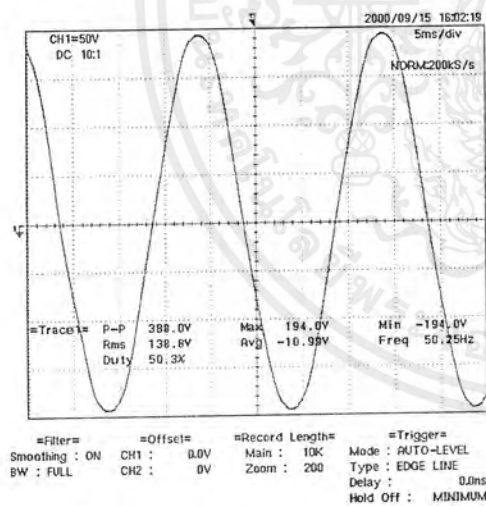


รูปที่ ง-32 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ Spectrum ทางด้านทุติยภูมิที่ 100% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

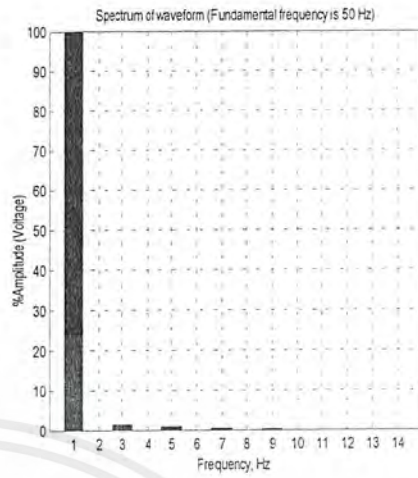
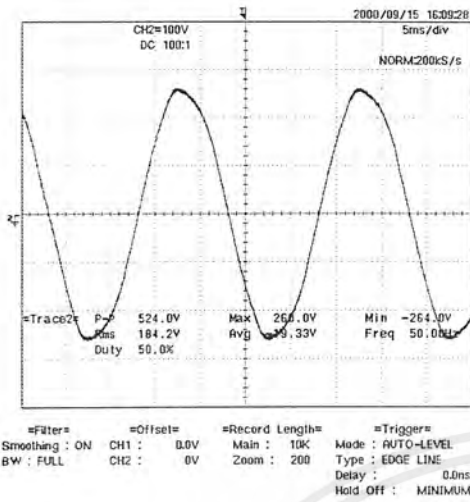


รูปที่ ง-33 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 105% ของพิกัดแรงดันทาง
ด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C



รูปที่ ง-34 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 110% ของพิกัดแรงดันทาง
ด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

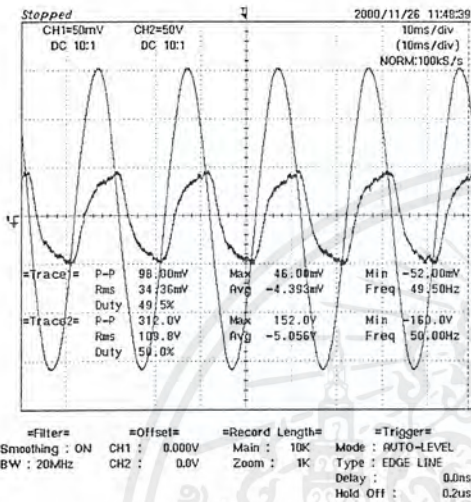


รูปที่ ง-35 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและ *Spectrum* ทางด้านทุติยภูมิที่ 115% ของพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเมื่อเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิ ตัว C

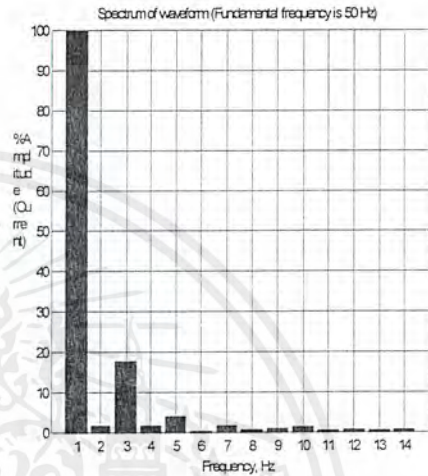
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

จ-1. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y และจุดนิวทรัลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)

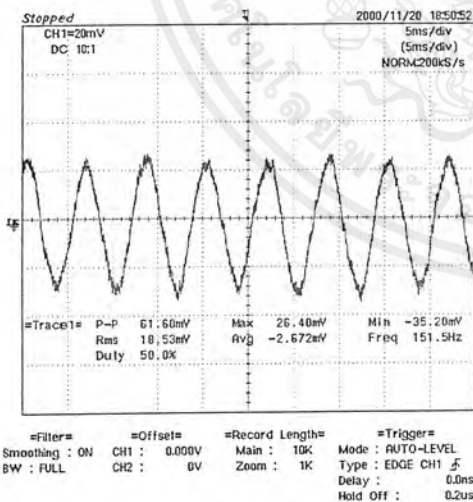


รูปที่ จ-1.a

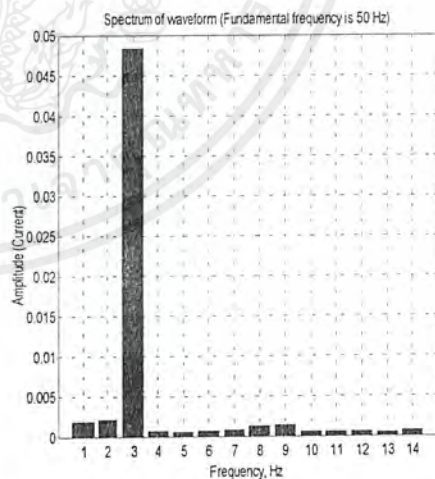


รูปที่ จ-1.b

รูปที่จ-1 จ-1.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{QA} เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ
จ-1.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{QA} ด้านปฐมภูมิ



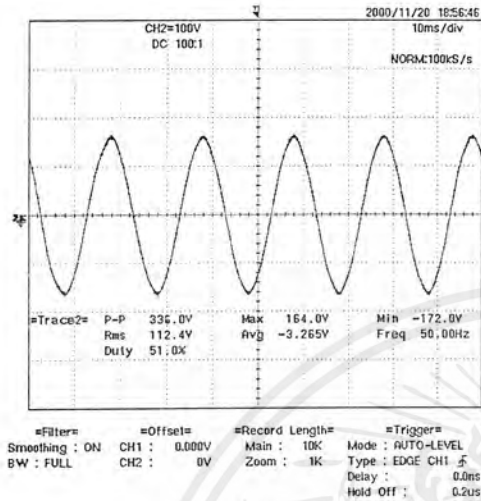
รูปที่ จ-2.a



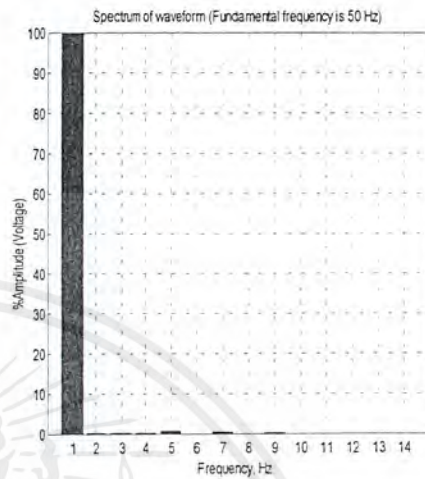
รูปที่ จ-2.b

รูปที่ จ-2 จ-2.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_N
จ-2.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

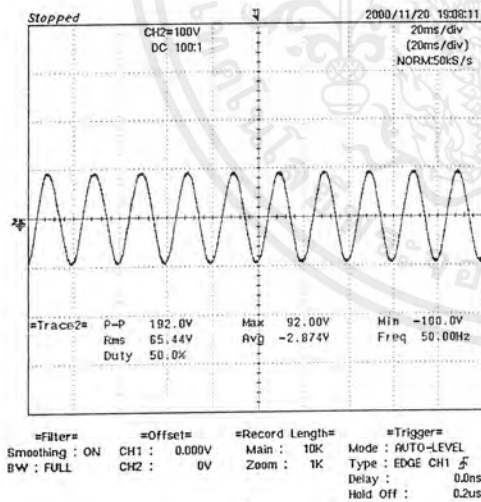


รูปที่ จ-3.a

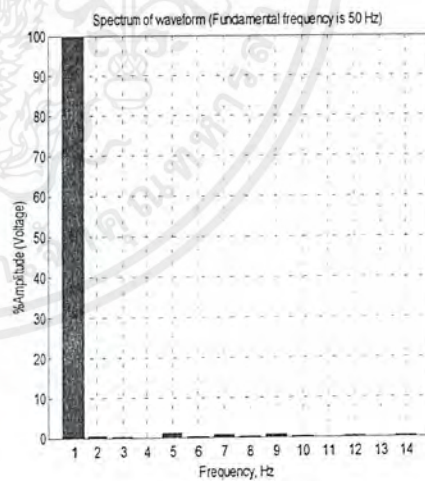


รูปที่ จ-3.b

รูปที่ จ-3 จ-3.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
จ-3.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-4.a

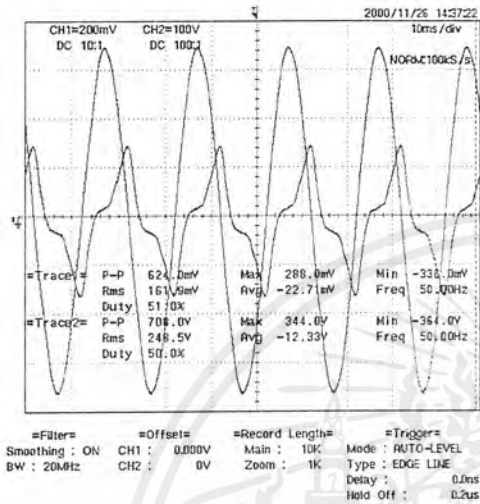


รูปที่ จ-4.b

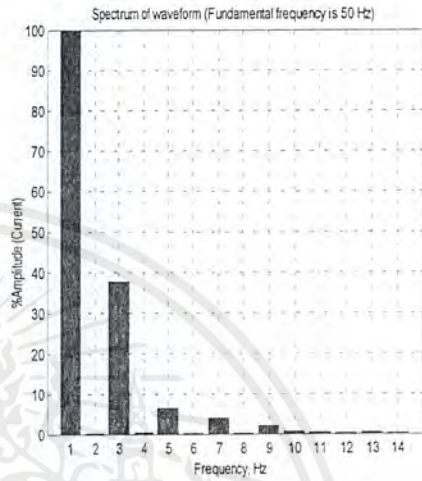
รูปที่ จ-4 จ-4.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ
จ-4.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เฟอร์เซนต์ของพิกัด (253 Volt)

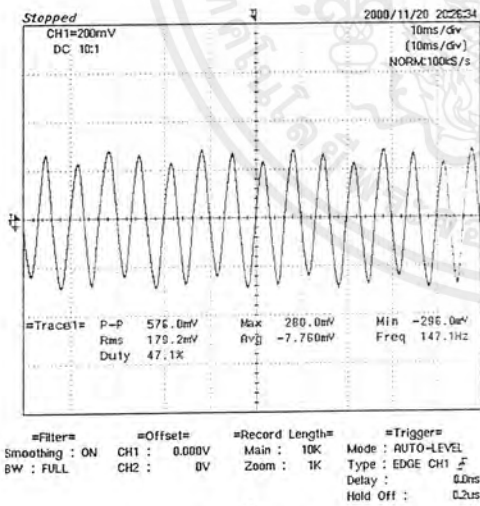


รูปที่ จ-5.a

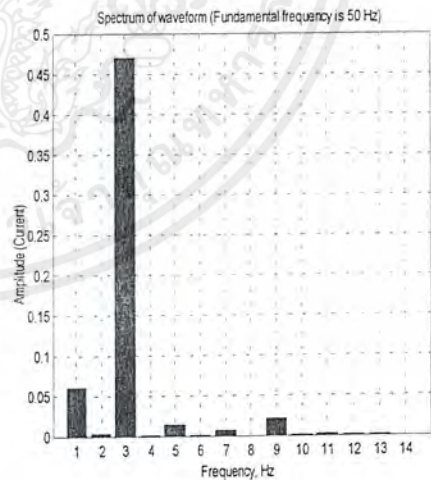


รูปที่ จ-5.b

รูปที่จ-5 จ-5.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ
 จ-5.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



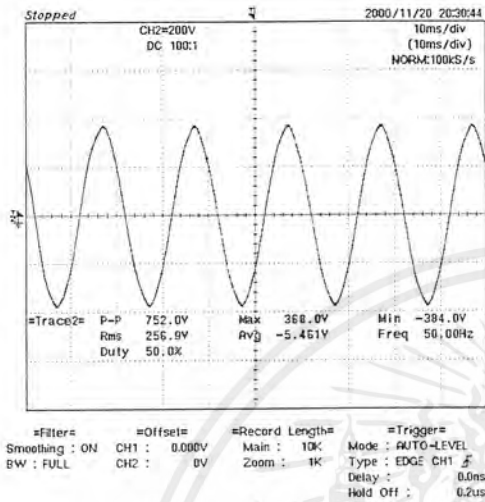
รูปที่ จ-6.a



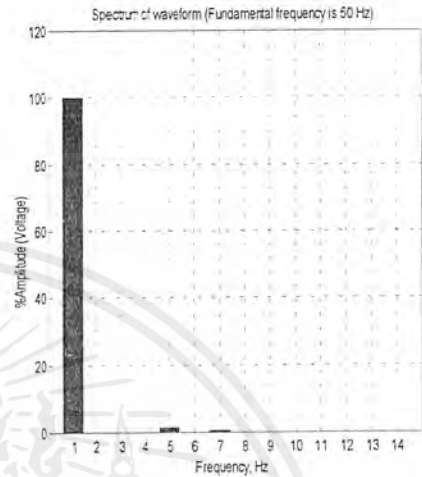
รูปที่ จ-6.b

รูปที่ จ-6 จ-6.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_N
 จ-6.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

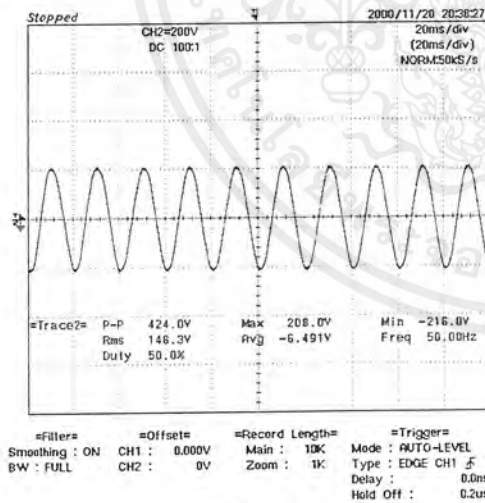


รูปที่ จ-7.a

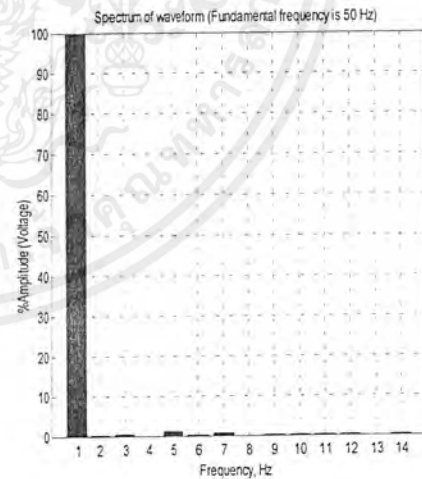


รูปที่ จ-7.b

รูปที่ จ-7 จ-7.a แสดงออสซิลโทแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-7.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-8.a



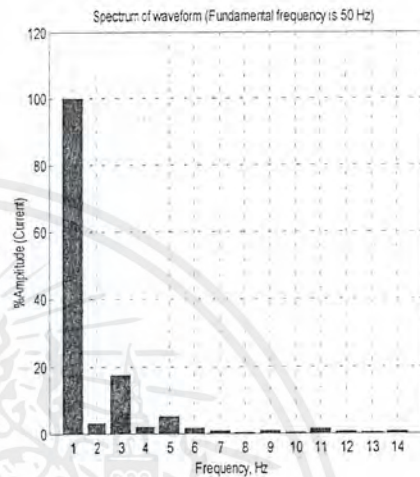
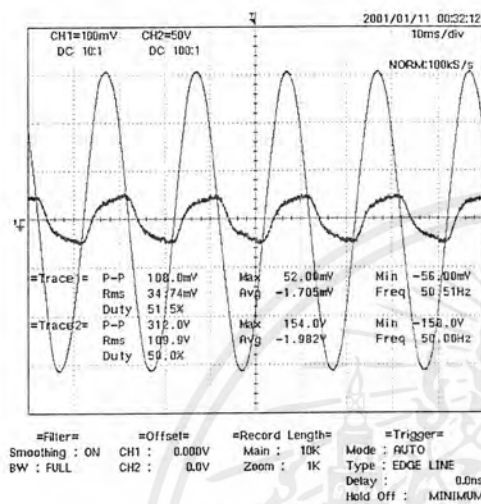
รูปที่ จ-8.b

รูปที่ จ-8 จ-8.a แสดงออสซิลโทแกรมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ
 จ-8.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-2. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและจุดนิวทรัล
ด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



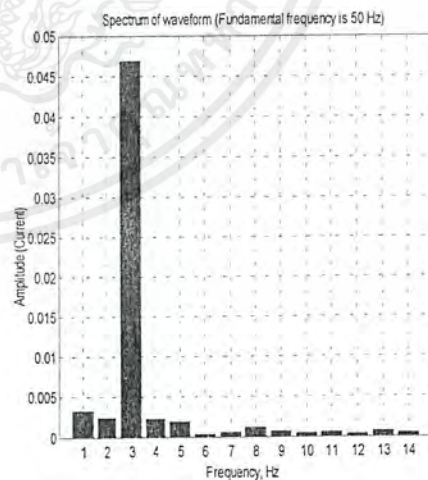
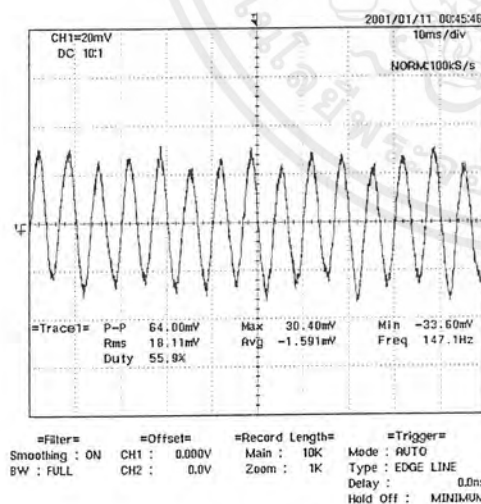
รูปที่ จ-9.a

รูปที่ จ-9.b

รูปที่จ-9 จ-9.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสระดับ $i_{\phi 1}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN}

ด้านปฐมภูมิ

จ-9.b แสดงสเปกตรัมของกระแสระดับ $i_{\phi 1}$ ด้านปฐมภูมิ



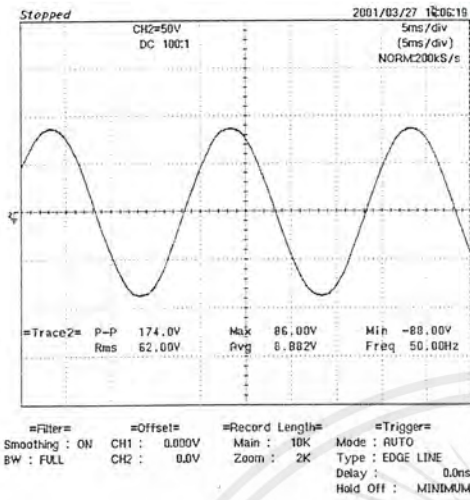
รูปที่ จ-10.a

รูปที่ จ-10.b

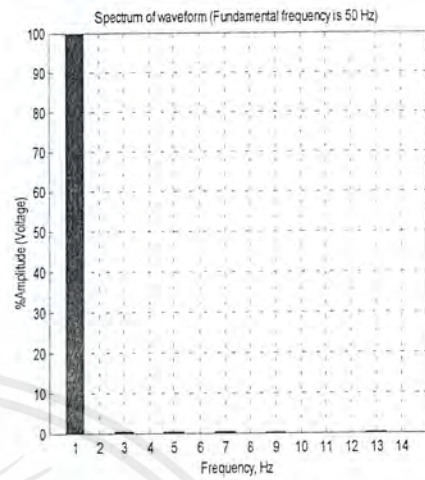
รูปที่ จ-10 จ-10.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสระดับ i_N

จ-10.b แสดงสเปกตรัมของกระแสระดับ i_N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



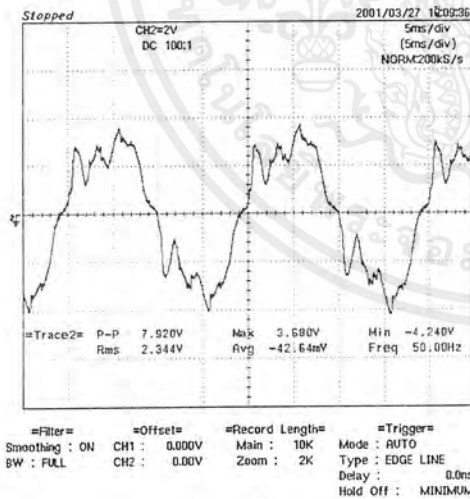
รูปที่ จ-11.a



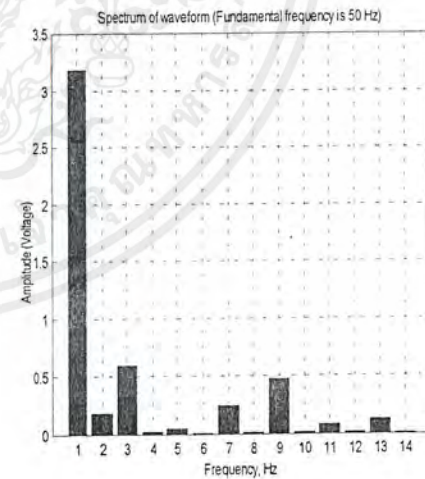
รูปที่ จ-11.b

รูปที่ จ-11 จ-11.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกคร่อมขดลวดค้ำานทุติยภูมิ

จ-11.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกคร่อมขดลวดค้ำานทุติยภูมิ



รูปที่ จ-12.a



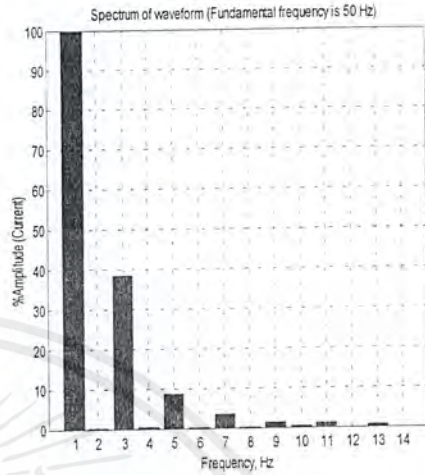
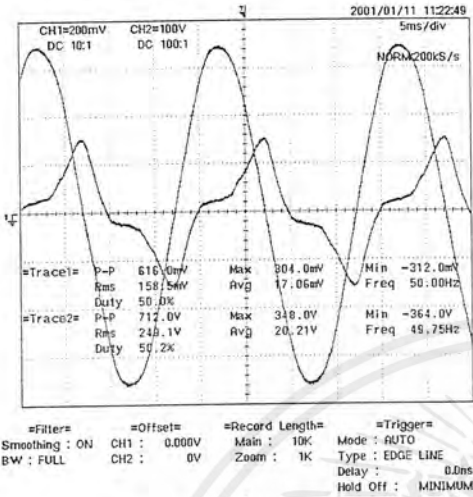
รูปที่ จ-12.b

รูปที่ จ-12 จ-12.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกค้ำานทุติยภูมิ

จ-12.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกค้ำานทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัด (253 Volt)



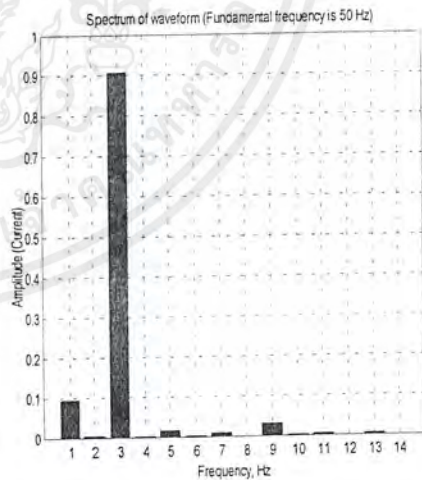
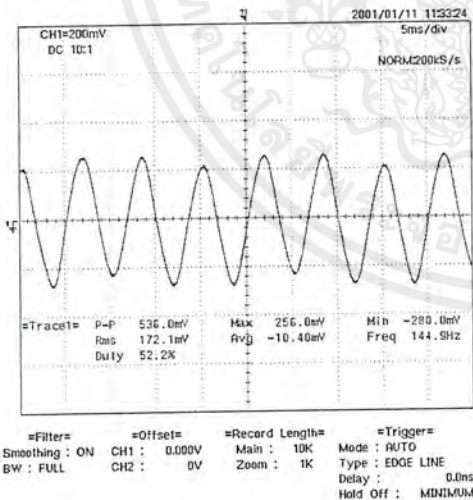
รูปที่ จ-13.a

รูปที่ จ-13.b

รูปที่ จ-913 จ-13.a แสดงออสซิโตแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN}

ด้านปฐมภูมิ

จ-13.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



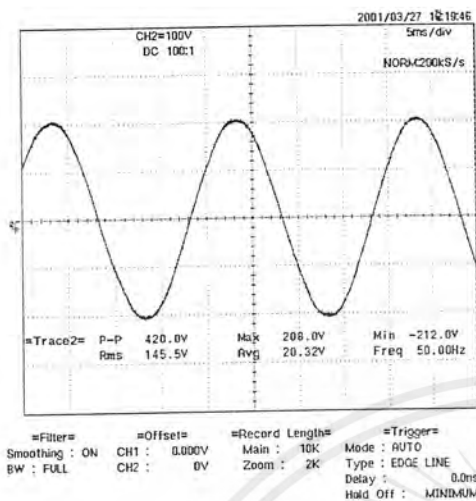
รูปที่ จ-14.a

รูปที่ จ-14.b

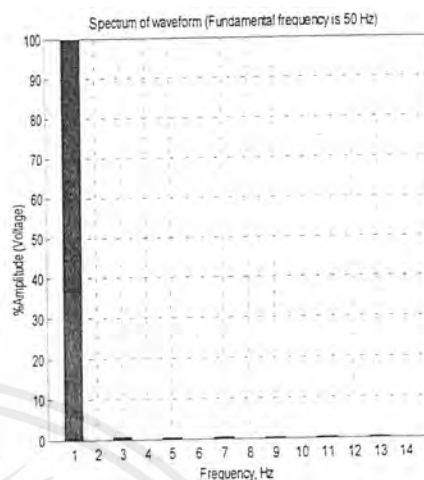
รูปที่ จ-14 จ-14.a แสดงออสซิโตแกรมของกระแสกระตุ้น i_N

จ-14.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

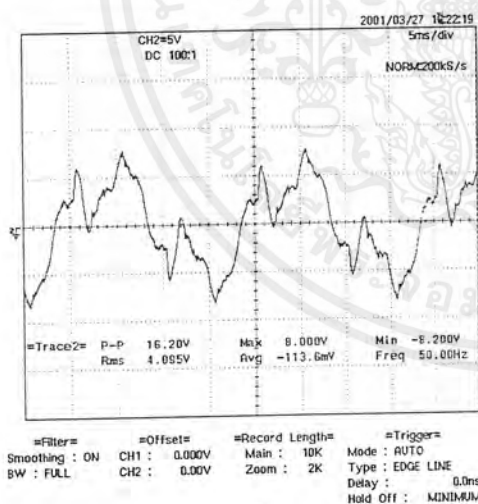


รูปที่ จ-15.a

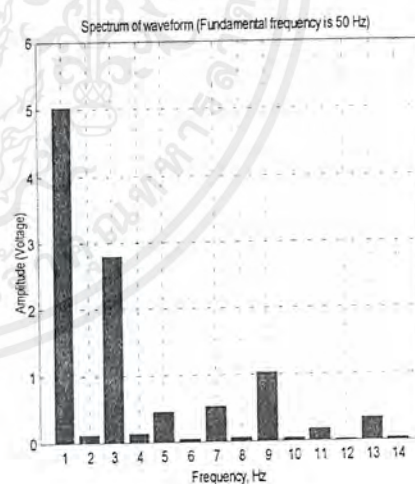


รูปที่ จ-15.b

รูปที่ จ-15 จ-15.a แสดงออสซิลโตแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกร้อมขดลวดค้ำานทุติยภูมิ
จ-15.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกร้อมขดลวดค้ำานทุติยภูมิ



รูปที่ จ-16.a

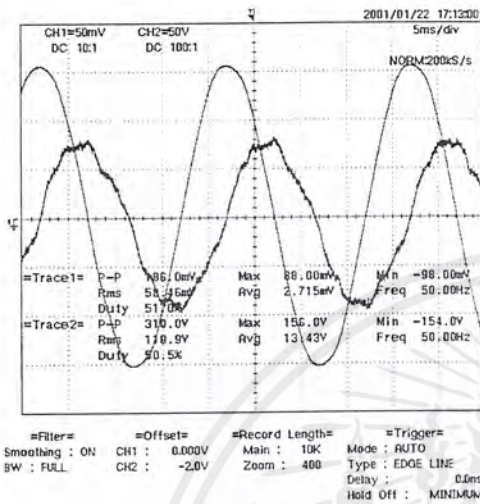


รูปที่ จ-16.b

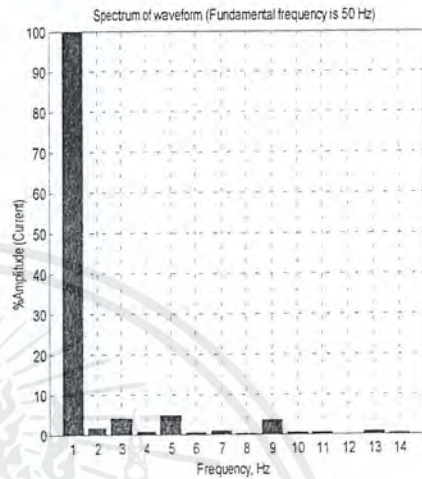
รูปที่จ-16 จ-16.a แสดงออสซิลโตแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกค้ำานทุติยภูมิ
จ-16.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกค้ำานทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-3. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Δ และจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิต่อเข้ากับแหล่งจ่าย
ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เฮอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



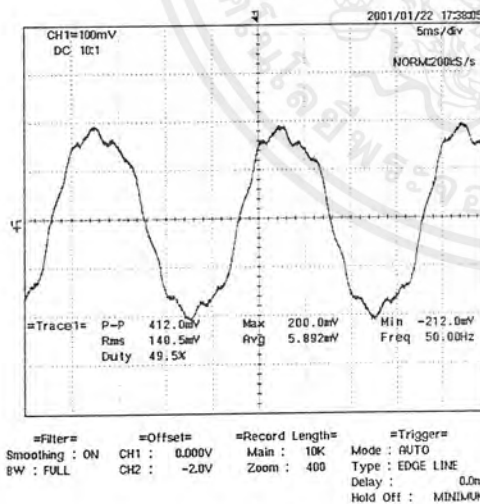
รูปที่ จ-17.a



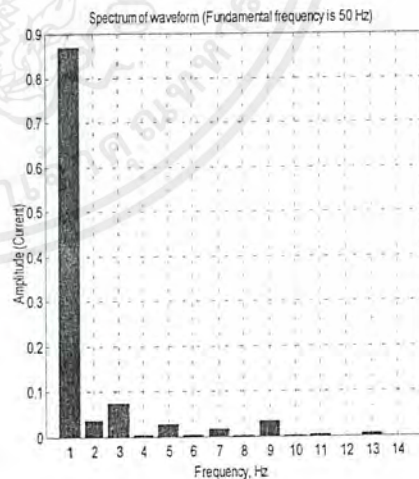
รูปที่ จ-17.b

รูปที่ จ-17 จ-17.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\omega A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN}
ด้านปฐมภูมิ

จ-17.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\omega A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-18.a

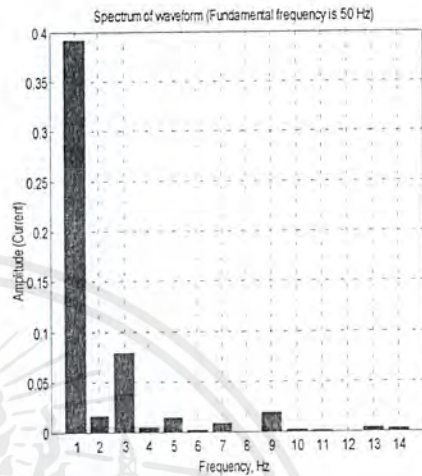
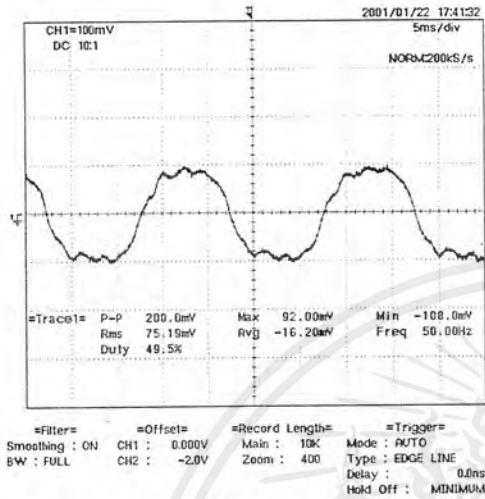


รูปที่ จ-18.b

รูปที่ จ-18 จ-18.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_N

จ-18.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

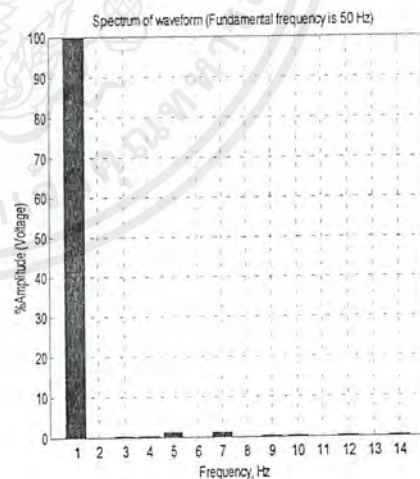
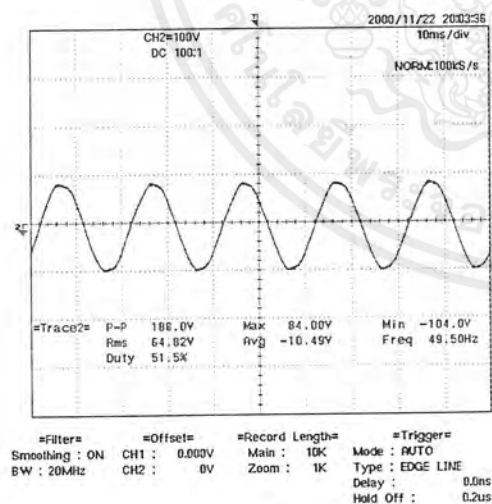


รูปที่ จ-19.a

รูปที่ จ-19.b

รูปที่ จ-19

จ-19.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{D4} ที่ไหลในลูบด้านทุติยภูมิ
จ-19.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{D4} ที่ไหลในลูบด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-20.a

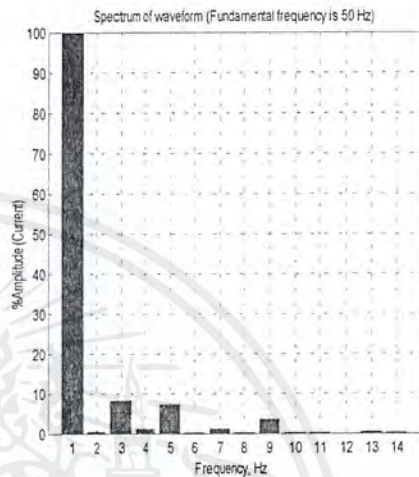
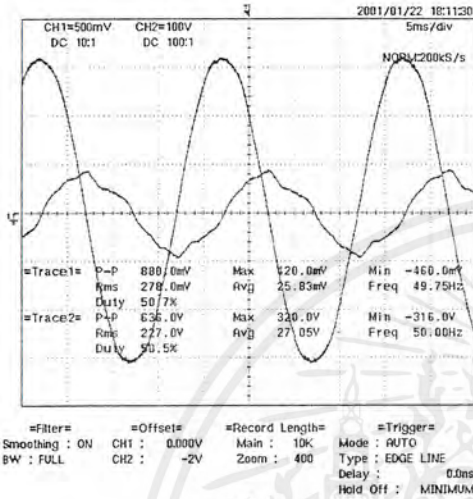
รูปที่ จ-20.b

รูปที่ จ-20

จ-20.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
จ-20.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เฟอร์เซนต์ของพิกัด (253 Volt)

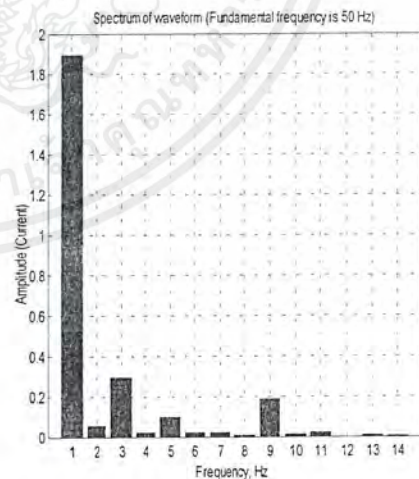
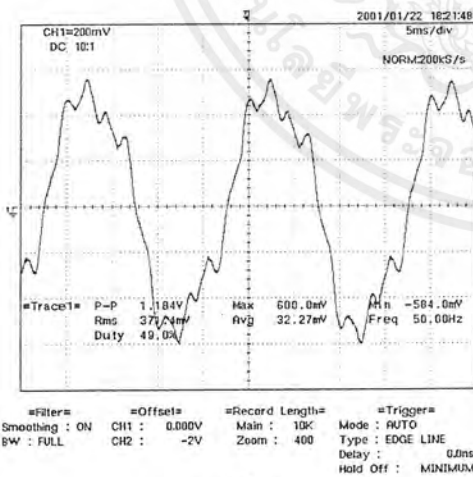


รูปที่ จ-21.a

รูปที่ จ-21.b

รูปที่ จ-21 จ-21.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{dA} เทียบกับแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

จ-21.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{dA}



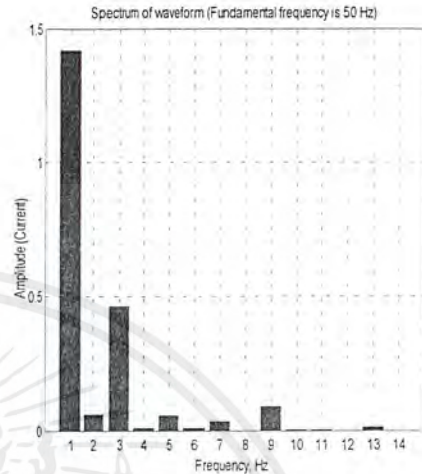
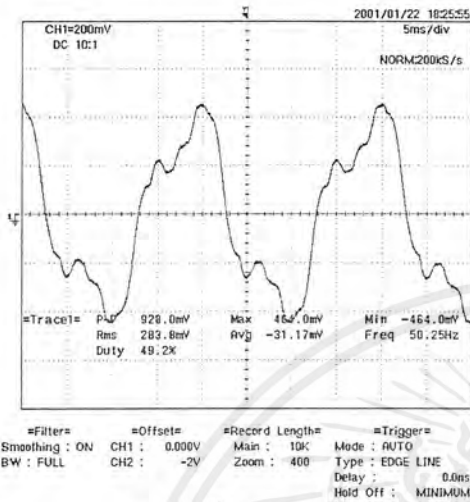
รูปที่ จ-22.a

รูปที่ จ-22.b

รูปที่ จ-22 จ-22.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{dN}

จ-22.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{dN}

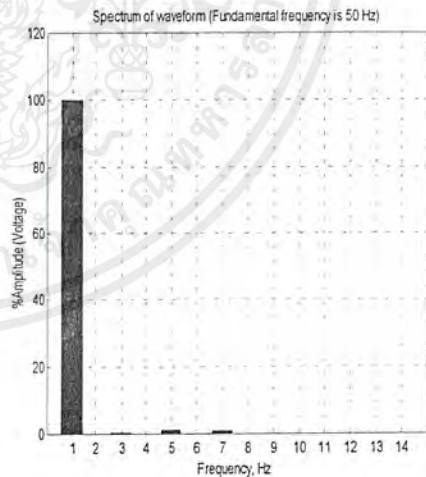
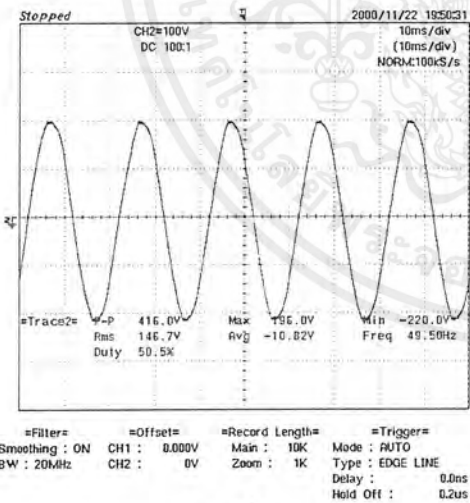
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-23.a

รูปที่จ-23.b

รูปที่ จ-23 จ-23.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ ด้านทุติยภูมิ
 จ-23.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$



รูปที่ จ-24.a

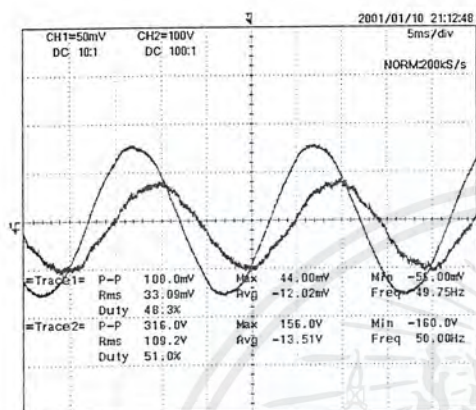
รูปที่ จ-24.b

รูปที่ จ-24 จ-24.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันโวลต์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-24.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันโวลต์ V_{ab}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

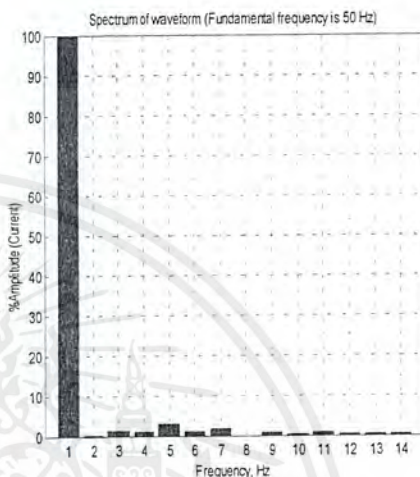
จ-4. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Y โดยที่แยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เพลอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



Filter: Smoothing: ON, BW: FULL
 Offset: CH1: 0.000V, CH2: 0V
 Record Length: Main: 10K, Zoom: 1K
 Trigger: Mode: AUTO, Type: EDGE LINE, Delay: 0.0ns, Hold Off: MINIMUM

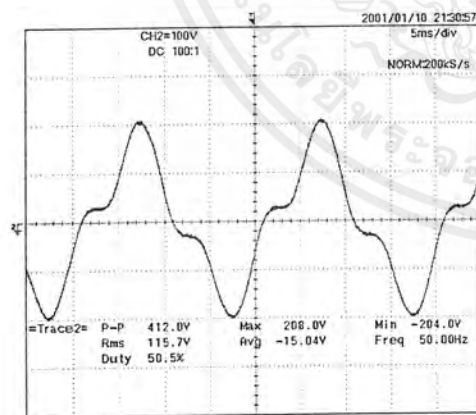
รูปที่ จ-25.a



รูปที่ จ-25.b

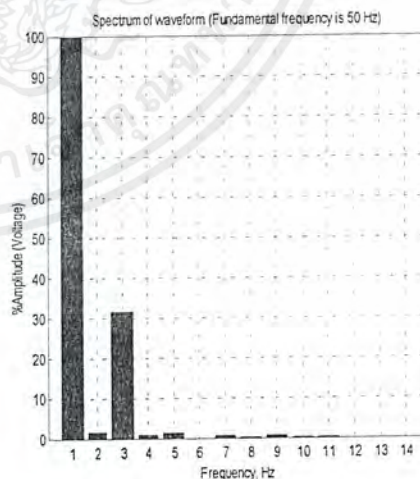
รูปที่ จ-25 จ-25.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น i_{ϕ_1} เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ

จ-25.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{ϕ_1} ด้านปฐมภูมิ



Filter: Smoothing: ON, BW: FULL
 Offset: CH1: 0.000V, CH2: 0V
 Record Length: Main: 10K, Zoom: 1K
 Trigger: Mode: AUTO, Type: EDGE LINE, Delay: 0.0ns, Hold Off: MINIMUM

รูปที่ จ-26.a

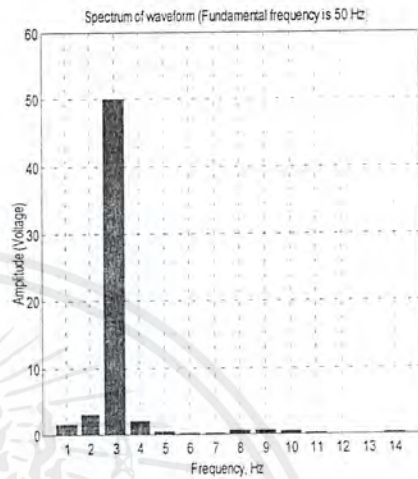
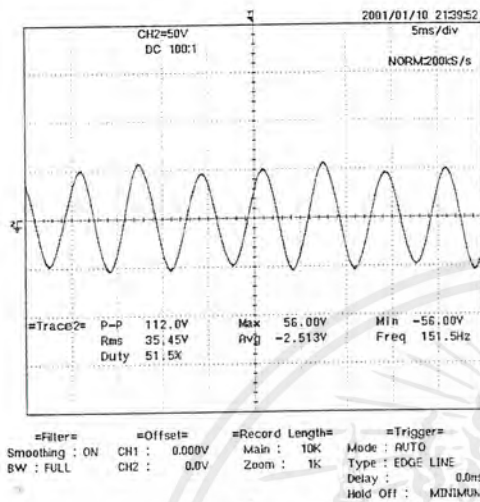


รูปที่ จ-26.b

รูปที่ จ-26 จ-26.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

จ-26.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

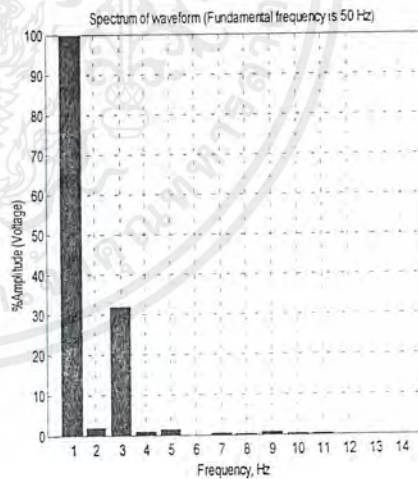
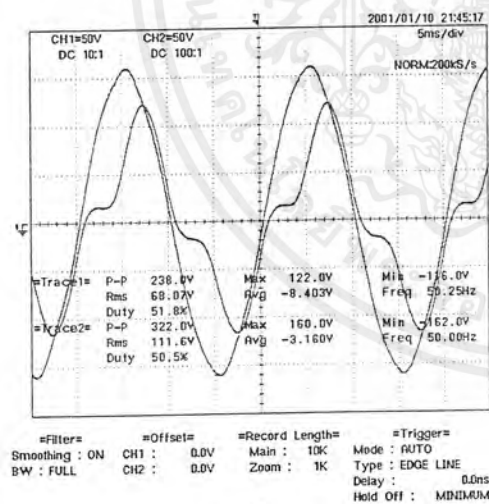
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-27.a

รูปที่ จ-27.b

รูปที่ จ-27 จ-27.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ
 จ-27.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

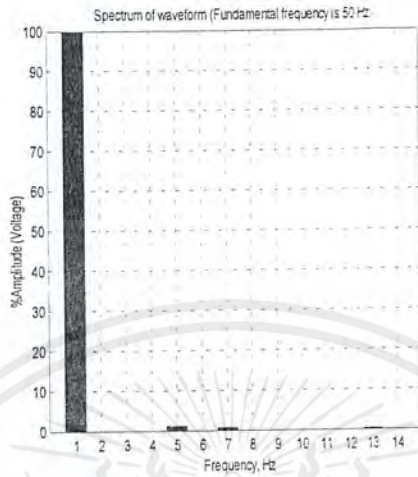


รูปที่ จ-28.a

รูปที่ จ-28.b

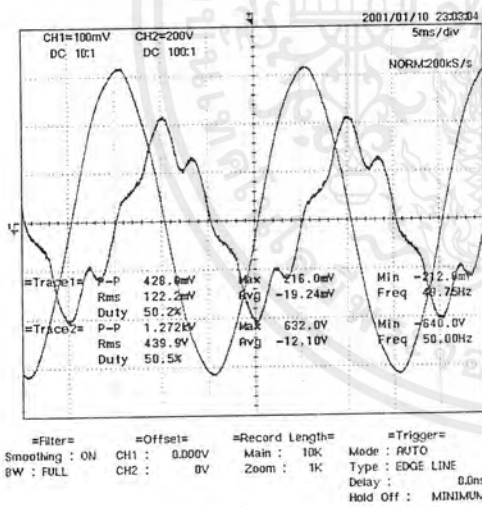
รูปที่ จ-28 จ-28.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab}
 ด้านทุติยภูมิ
 จ-28.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

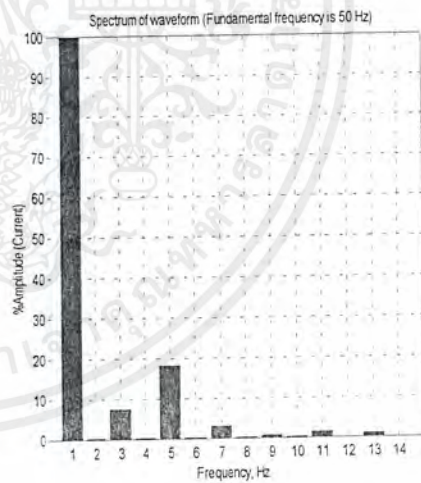


รูปที่ จ-29 แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เฟอร์เซ็นต์ของพิกัด (253 Volt)



รูปที่ จ-30.a



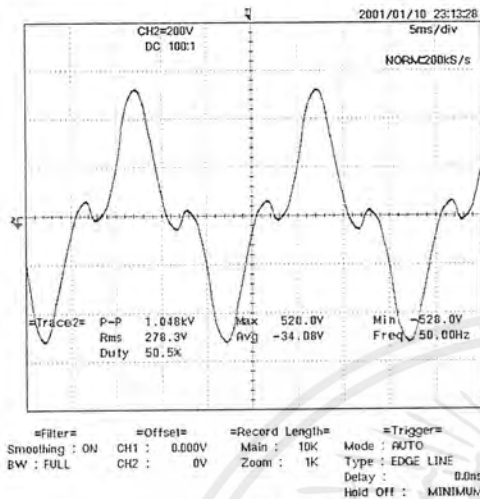
รูปที่ จ-30.b

รูปที่ จ-30 จ-30.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 4}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB}

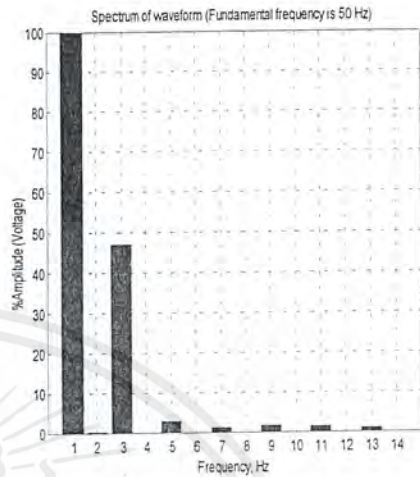
ด้านปฐมภูมิ

จ-30.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 4}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



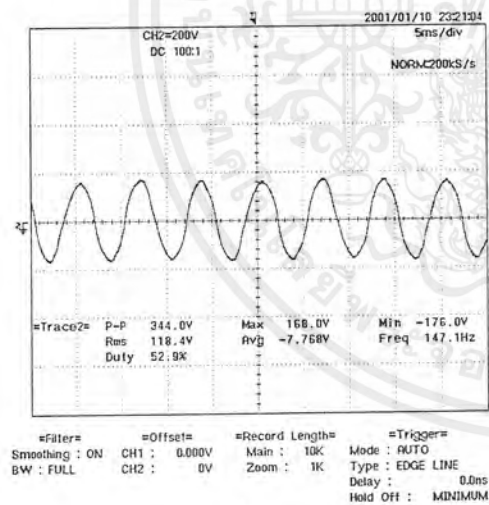
รูปที่ จ-31.a



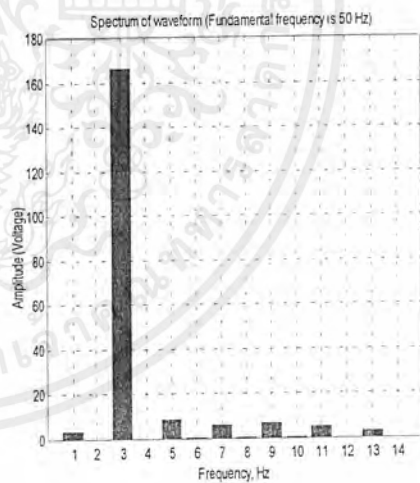
รูปที่ จ-31.b

รูปที่ จ-31 จ-31.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

จ-31.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-32.a

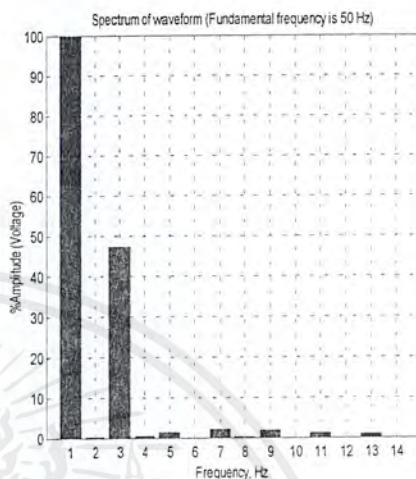
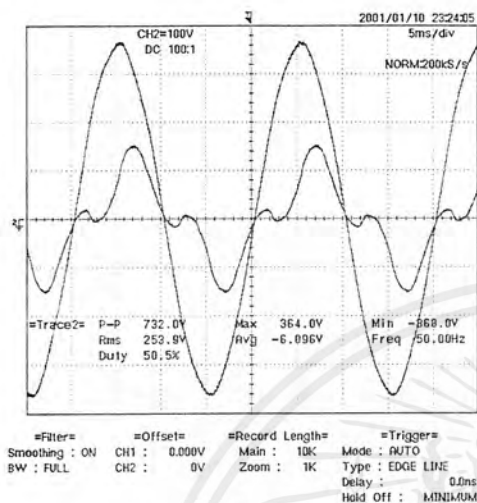


รูปที่ จ-32.b

รูปที่ จ-32 จ-32.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

จ-32.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

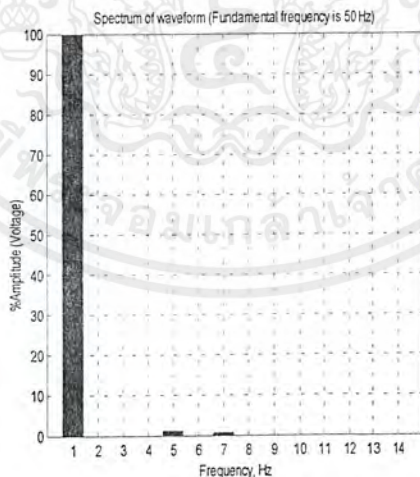


รูปที่ จ-33.a

รูปที่ จ-33.b

รูปที่ จ-33 จ-33.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

จ-33.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ

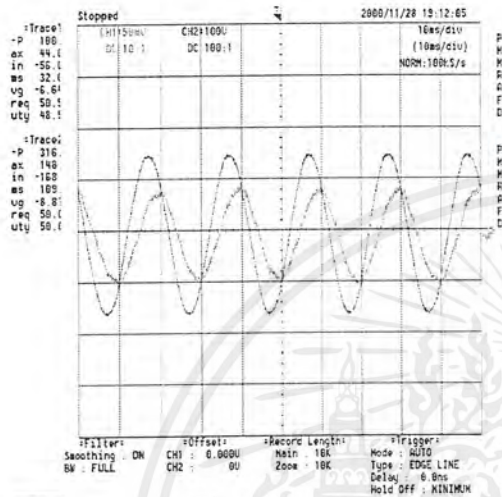


รูปที่ จ-34 แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

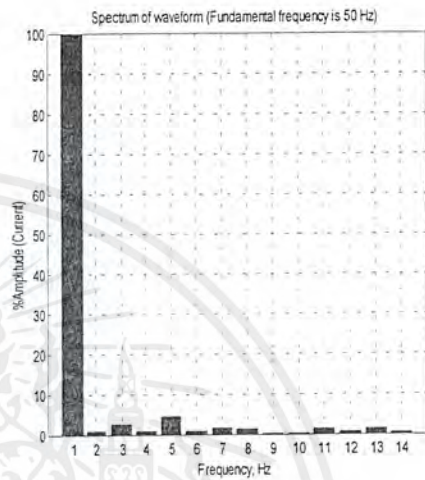
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-5. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y- Δ โดยมุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออกและแยกจุดนิวทรอลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เฮอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



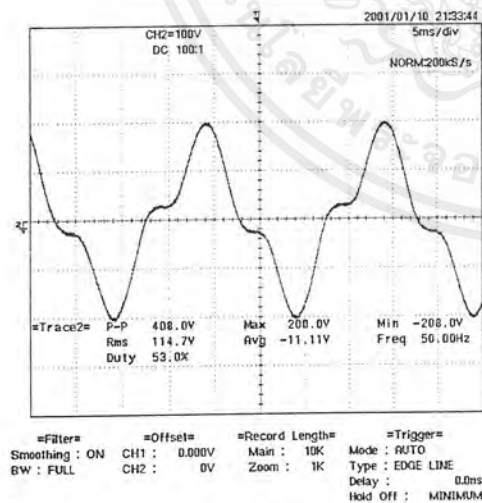
รูปที่ จ- 35.a



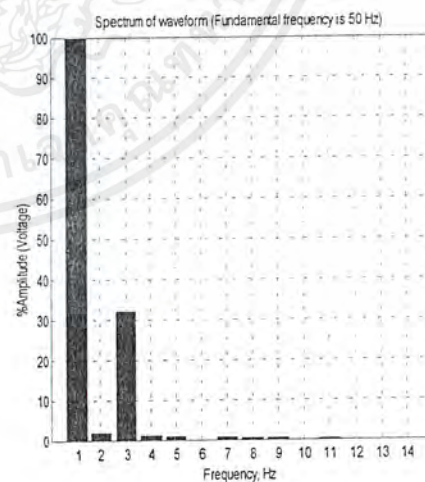
รูปที่ จ- 35.b

รูปที่ จ-35 จ-35.a แสดงออสซิลโทแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{A0} ด้านปฐมภูมิ

จ-35.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ- 36.a

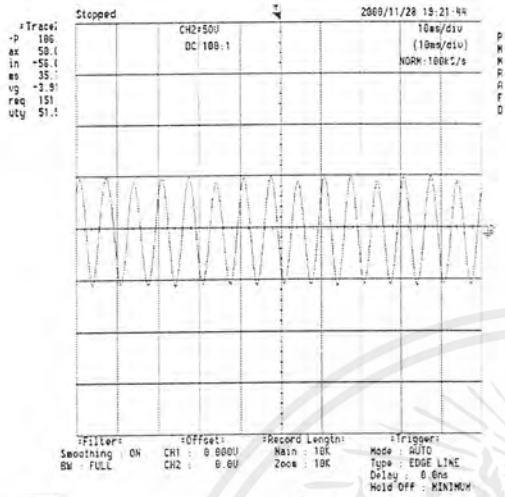


รูปที่ จ- 36.b

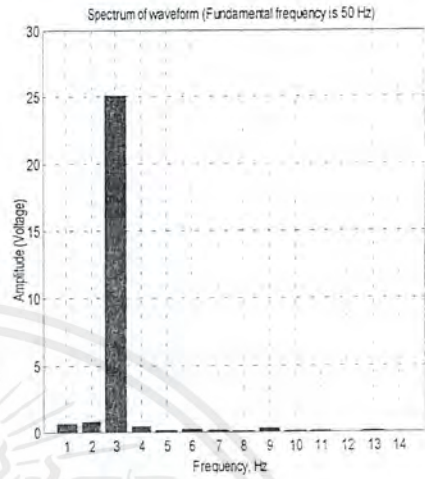
รูปที่ จ-36 จ-36.a แสดงออสซิลโทแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

จ-36.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

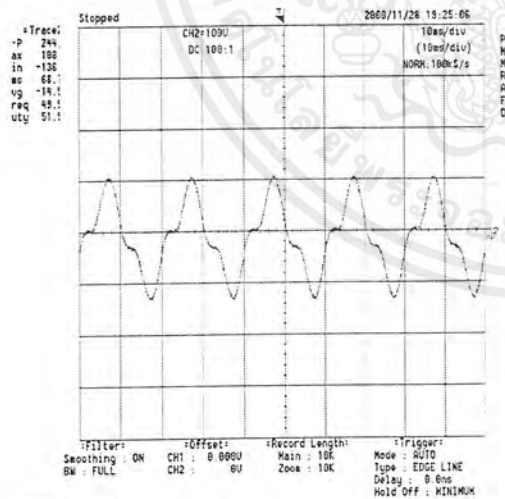


รูปที่ จ-37.a

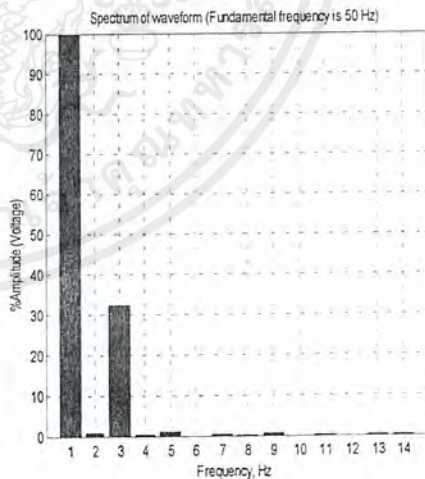


รูปที่ จ-37.b

รูปที่ จ-37 จ-37.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ
 จ-37.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ



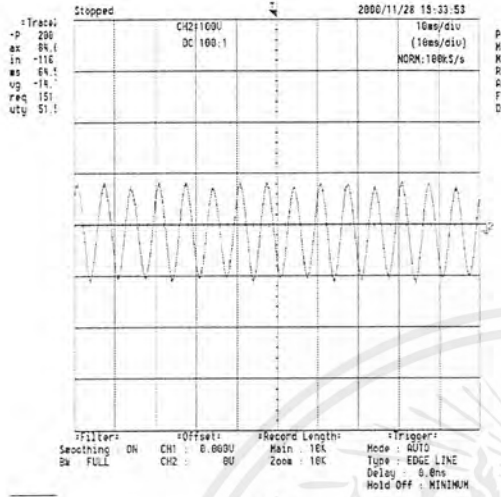
รูปที่ จ-38.a



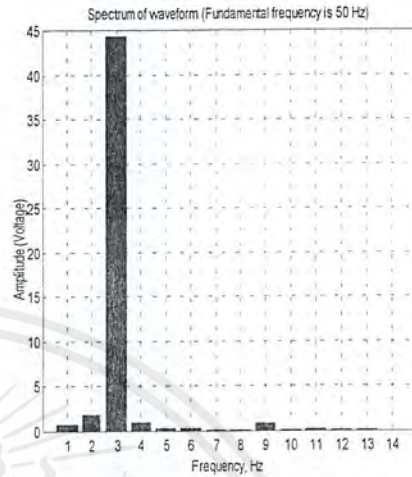
รูปที่ จ-38.b

รูปที่ จ-38 จ-38.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส $V_{aa'}$ ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ
 จ-38.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส $V_{aa'}$ ที่ตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ- 39.a

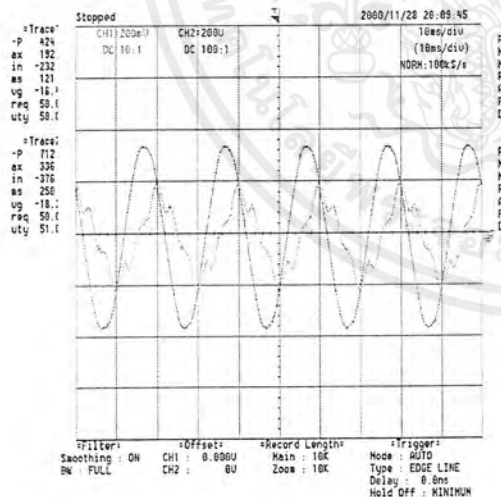


รูปที่ จ- 39.b

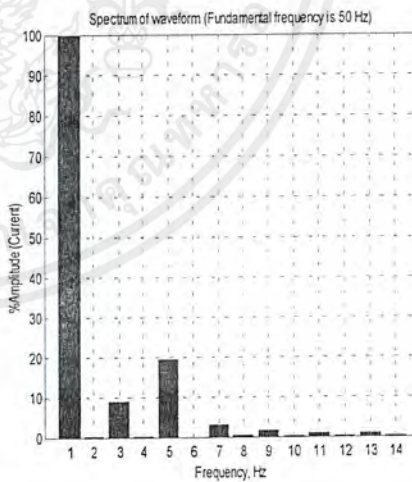
รูปที่ จ-39 จ-39.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ

จ-39.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เพลอร์เซ็นต์ของพิกัด (253 Volt)



รูปที่ จ-40.a



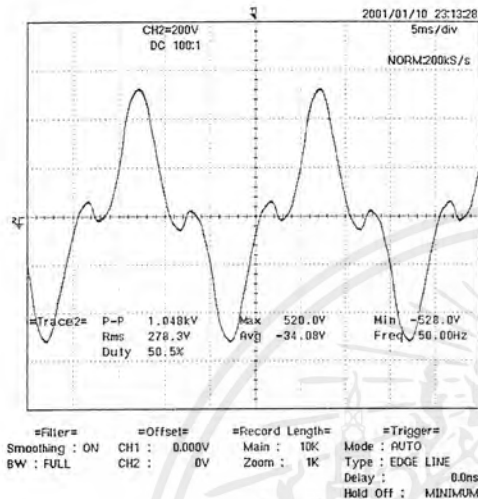
รูปที่ จ-40.b

รูปที่ จ-40 จ-40.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสคลื่น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO}

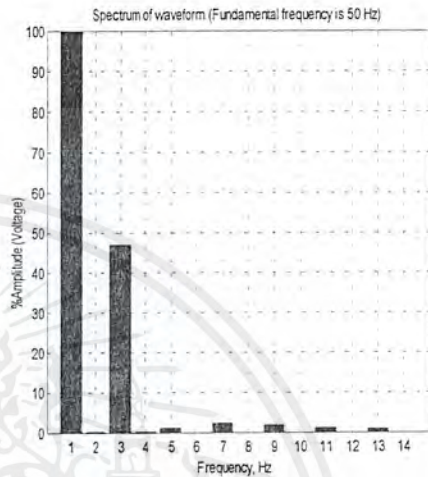
ด้านปฐมภูมิ

จ-40.b แสดงสเปกตรัมของกระแสคลื่น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

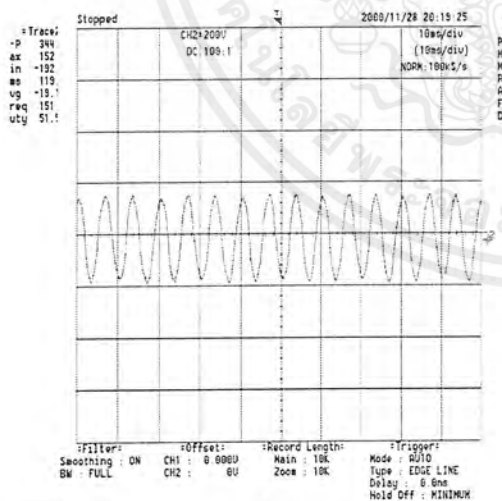


รูปที่ จ-41.a

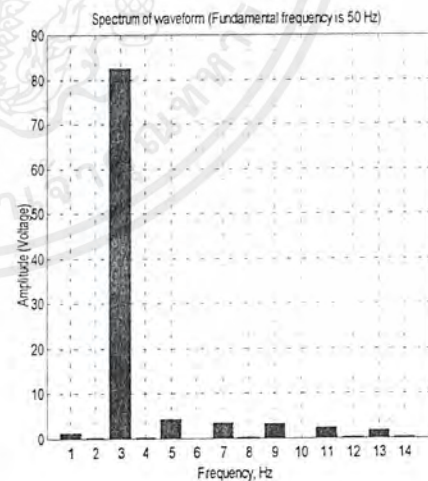


รูปที่ จ-41.b

รูปที่ จ-41 จ-41.a แสดงออสซิลโตแกรมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ
จ-41.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{AN} ด้านปฐมภูมิ



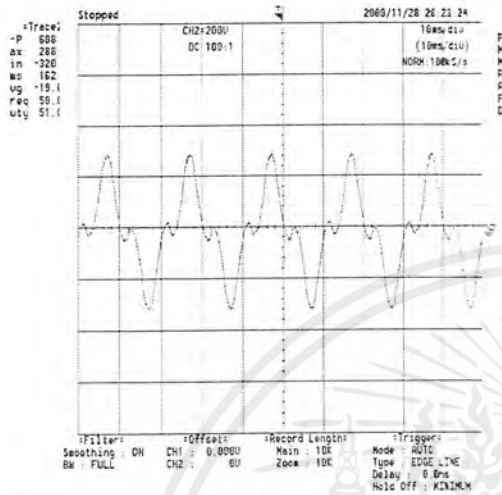
รูปที่ จ-42.a



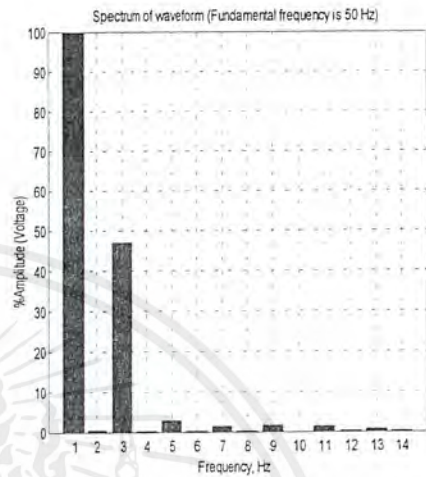
รูปที่ จ-42.b

รูปที่ จ-42 จ-42.a แสดงออสซิลโตแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ
จ-42.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



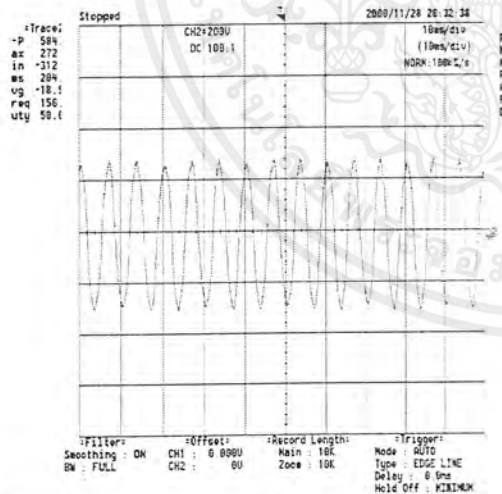
รูปที่ จ-43.a



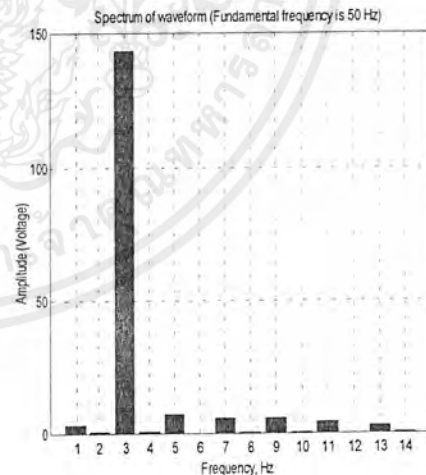
รูปที่ จ-43.b

รูปที่จ-43

จ-43.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตักกร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ
 จ-43.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตักกร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-44.a



รูปที่ จ-44.b

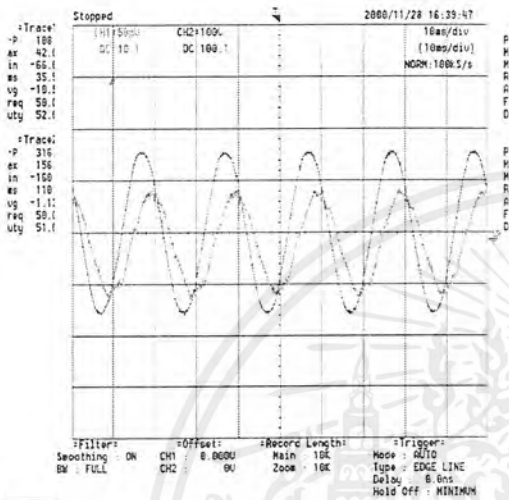
รูปที่จ-44

จ-44.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ
 จ-44.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกด้านทุติยภูมิ

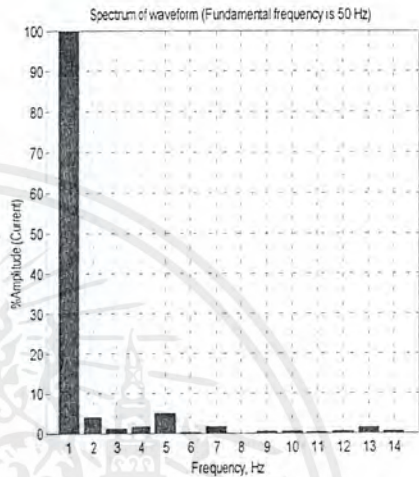
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-6. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Y-Δ โดยที่แยกจุดนิวทรัลของด้านปฐมภูมิออกจากแหล่งจ่าย

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เฮอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



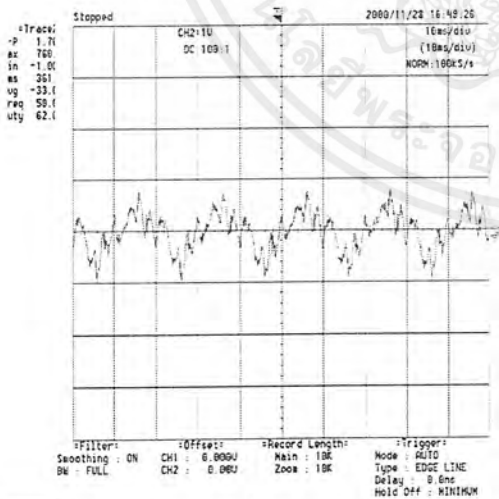
รูปที่ จ-45.a



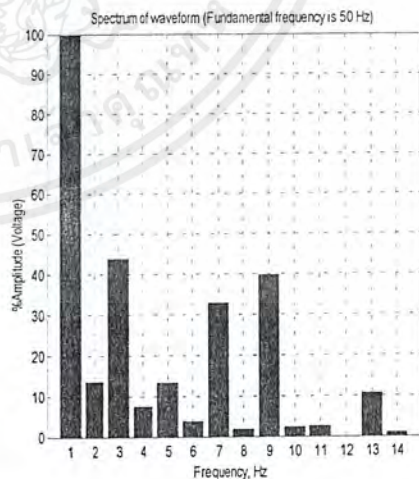
รูปที่ จ-45.b

รูปที่ จ-45 จ-45.a แสดงออสซิลโตแกรมของกระแสกระตุ้น i_{O1} เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO} ด้านปฐมภูมิ

จ-45.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น i_{O1} ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-46.a

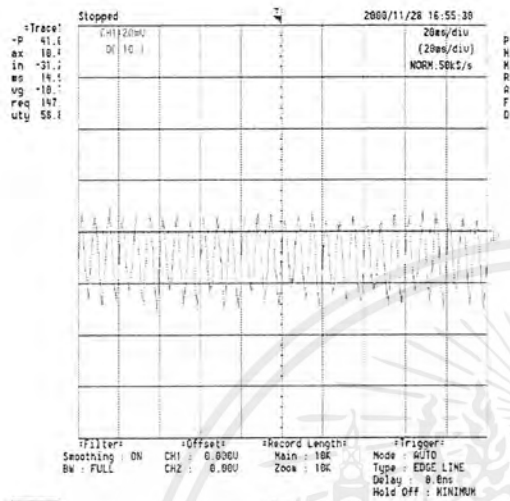


รูปที่ จ-46.b

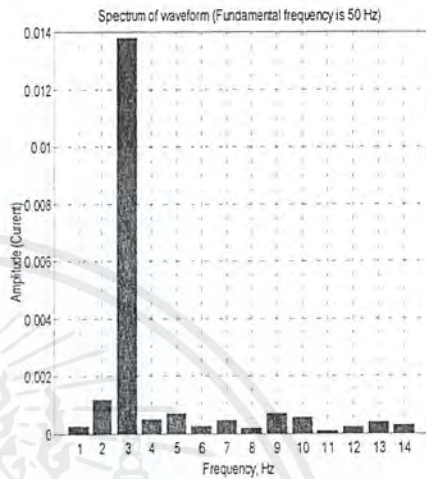
รูปที่ จ-46 จ-46.a แสดงออสซิลโตแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

จ-46.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

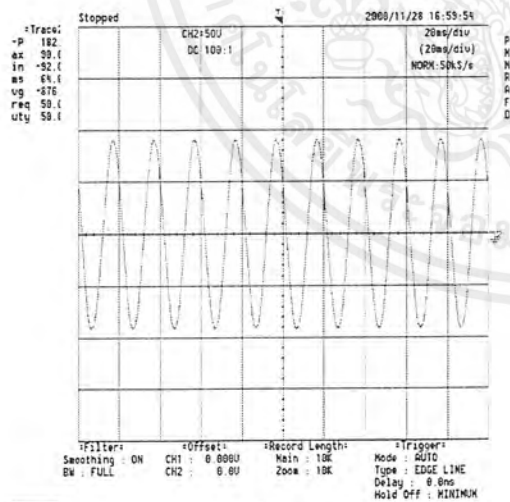


รูปที่ จ-47.a

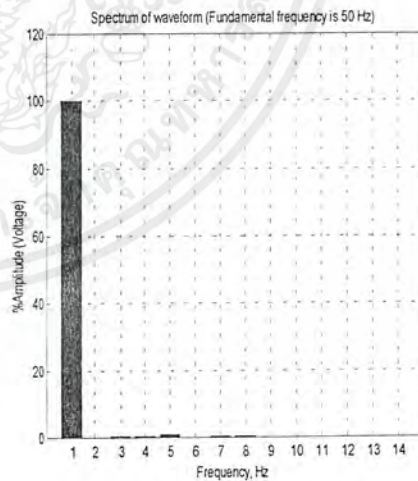


รูปที่ จ-47.b

รูปที่ จ-47 จ-47.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi\Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ
 จ-47.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi\Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-48.a

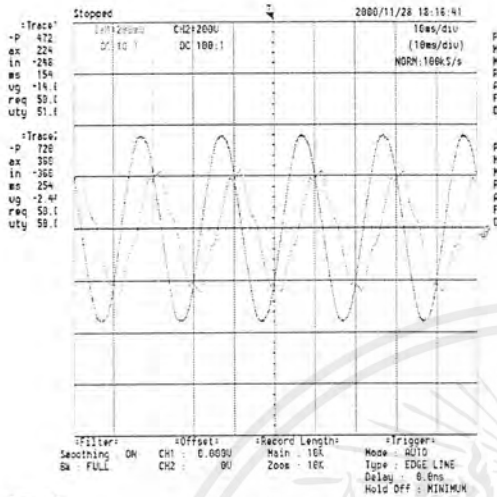


รูปที่ จ-48.b

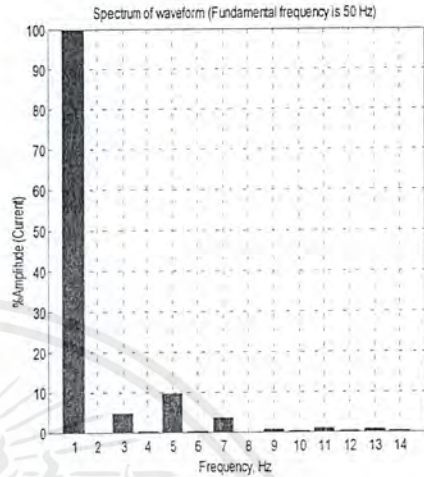
รูปที่ จ-48 จ-48.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-48.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เฟอร์เซ็นต์ของพิกัด (253 Volt)



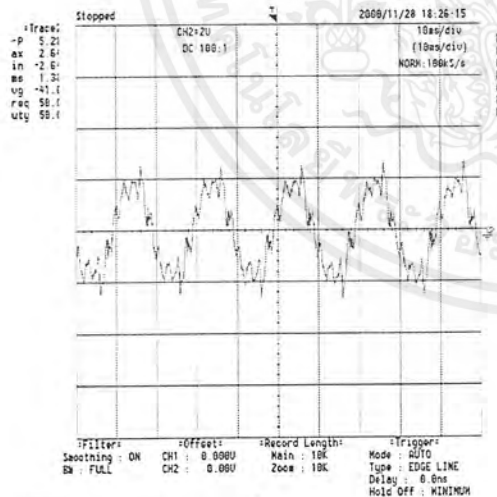
รูปที่ จ-49.a



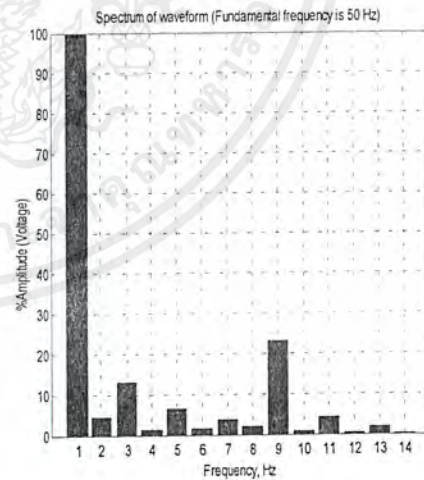
รูปที่ จ-49.b

รูปที่ จ-49 จ-49.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AO} ด้านปฐมภูมิ

จ-49.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-50.a

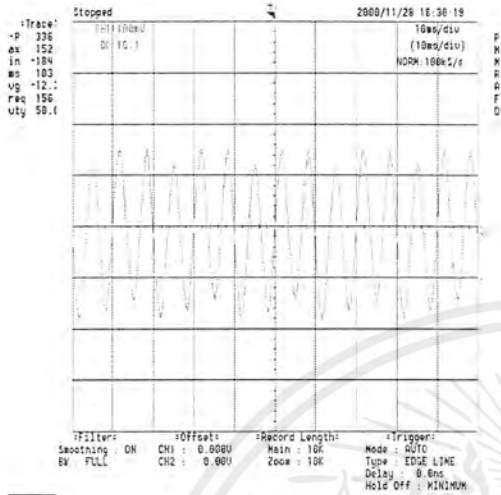


รูปที่ จ-50.b

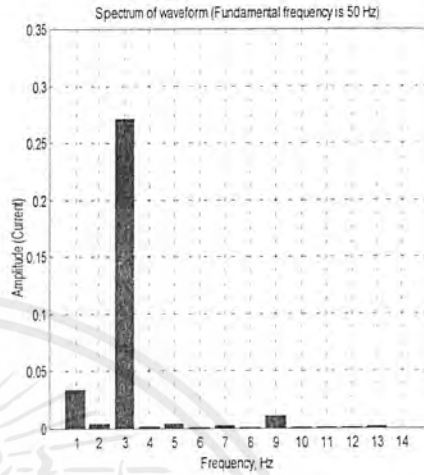
รูปที่ จ-50 จ-50.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

จ-50.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{ON} จุด O กับจุด N ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

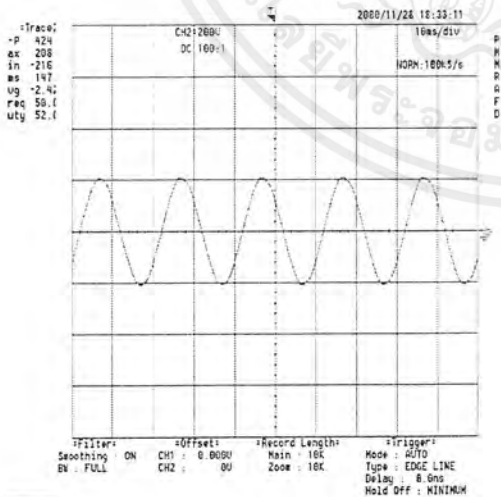


รูปที่ จ-51.a

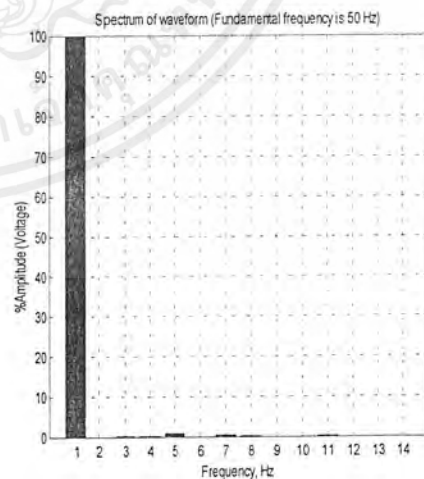


รูปที่ จ-51.b

รูปที่ จ-51 จ-51.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi\Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ
 จ-51.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi\Delta}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-52.a



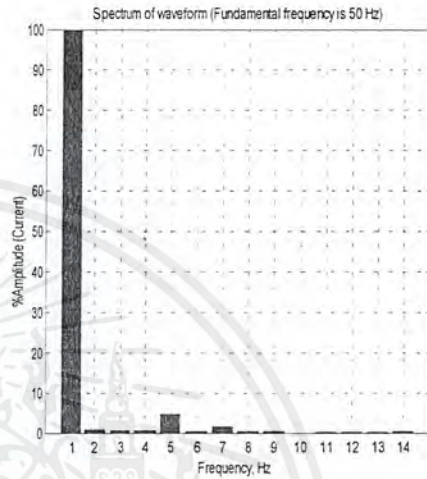
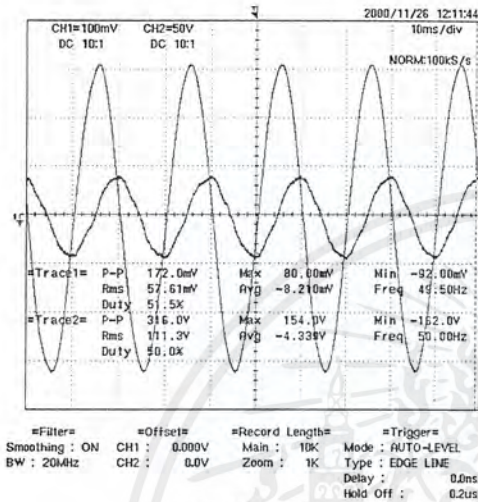
รูปที่ จ-52.b

รูปที่ จ-52 จ-1.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-1.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-7. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ -Y

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เฮอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



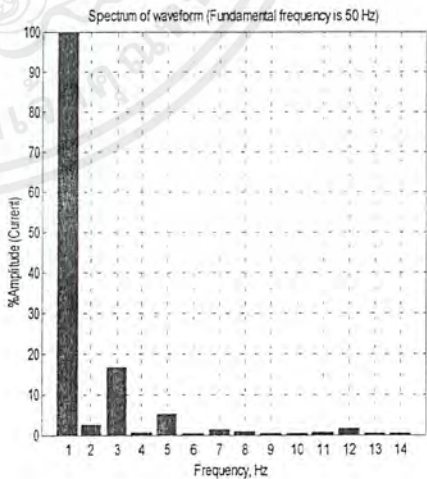
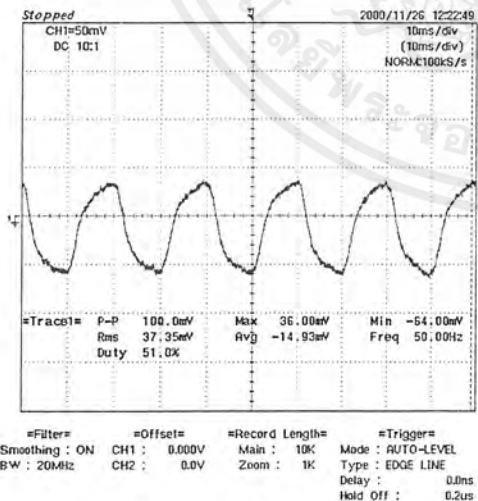
รูปที่ จ-53.a

รูปที่ จ-53.b

รูปที่ จ-53 จ-53.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB}

ด้านปฐมภูมิ

จ-53.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



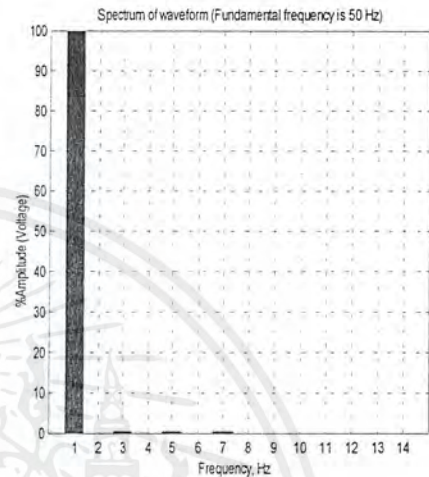
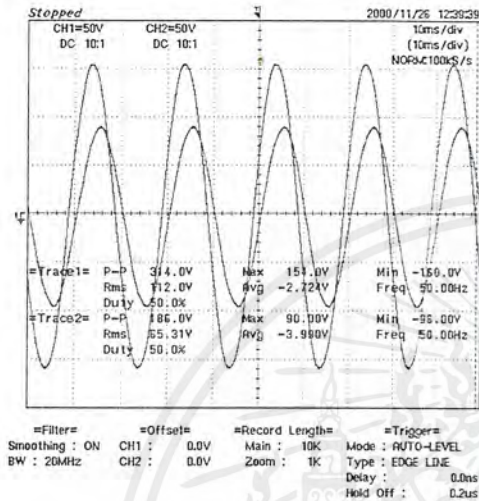
รูปที่ จ-54.a

รูปที่ จ-54.b

รูปที่ จ-54 จ-54.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

จ-54.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

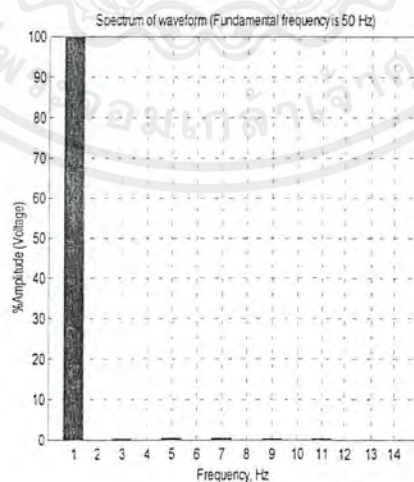
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-55.a

รูปที่ จ-55.b

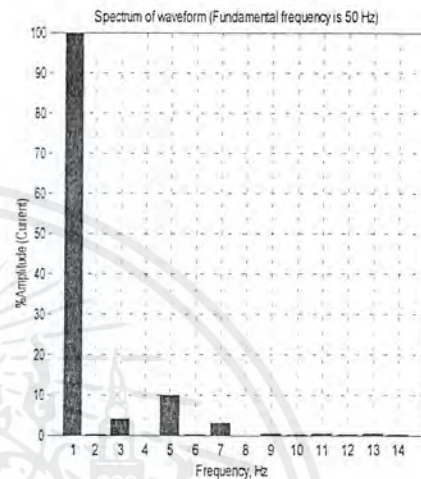
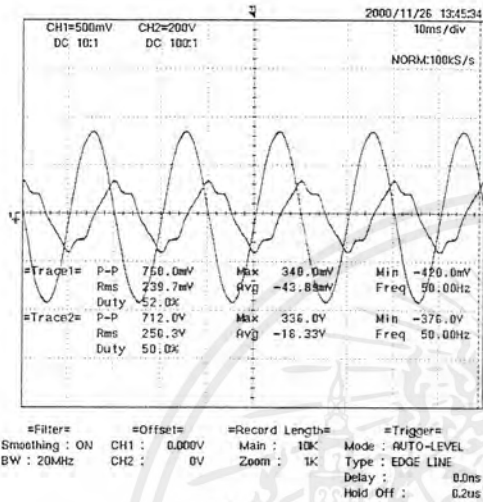
รูปที่ จ-55 จ-55.a แสดงออกสซิทโทแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-55.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-56. แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เปรอร์เซ็นต์ของพิกัด (253 Volt)

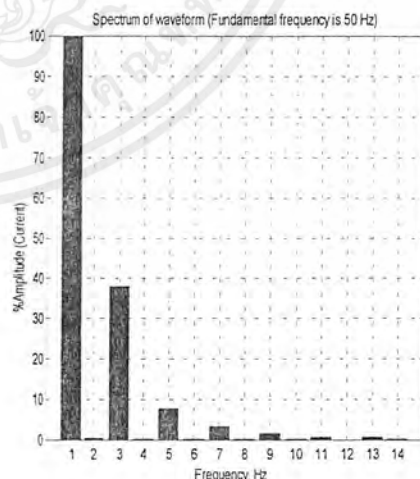
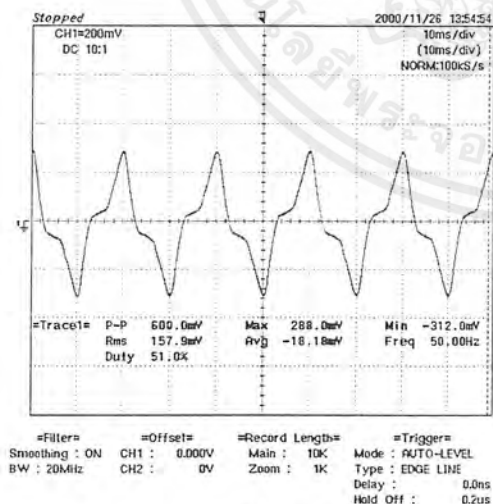


รูปที่ จ-57.a

รูปที่ จ-57.b

รูปที่ จ-57 จ-57.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} คำนวณรวมภูมิ

จ-57.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ คำนวณรวมภูมิ



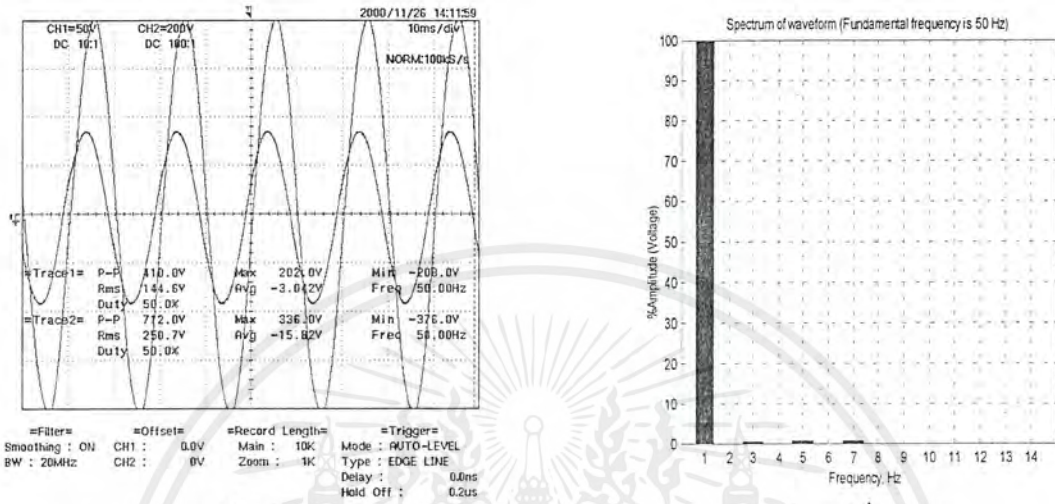
รูปที่ จ-58.a

รูปที่ จ-58.b

รูปที่ จ-58 จ-58.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ คำนวณรวมภูมิ

จ-58.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ คำนวณรวมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



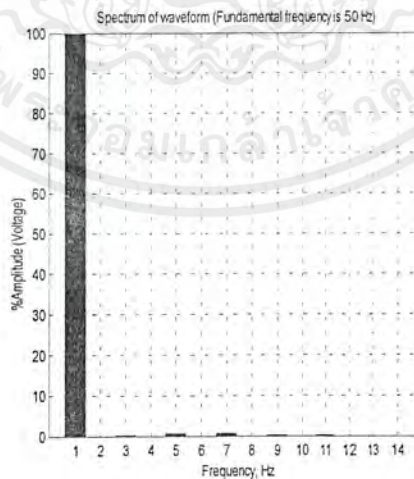
รูปที่ จ-59.a

รูปที่ จ-59.b

รูปที่ จ-59 จ-59.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{an} เทียบกับแรงดันไลน์ V_{ab} ด้าน

ทุติยภูมิ

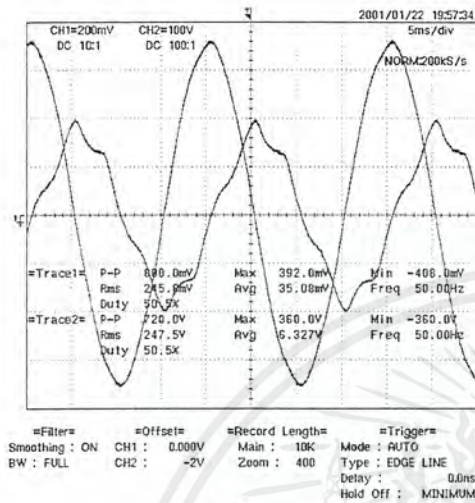
จ-59.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{an} ด้านทุติยภูมิ



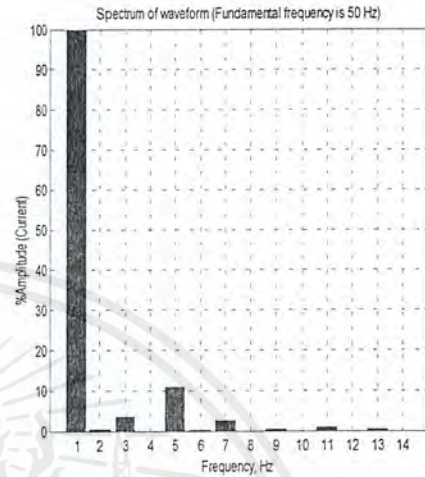
รูปที่ จ-60. แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เฟอร์เซนต์ของพิกัด (253 Volt)



รูปที่ จ-65.a

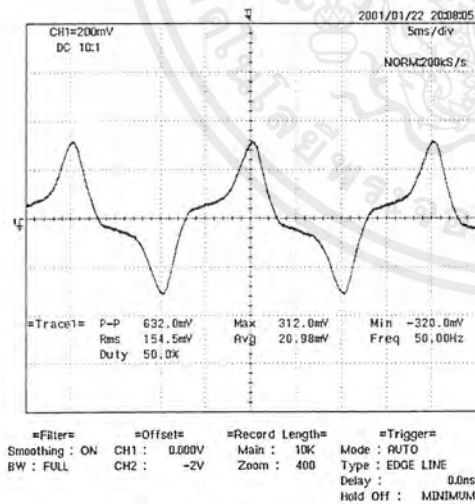


รูปที่ จ-65.b

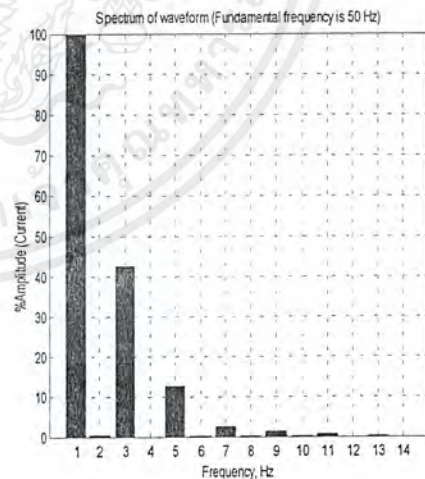
รูปที่ จ-65 จ-65.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB}

ด้านปฐมภูมิ

จ-65.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-66.a

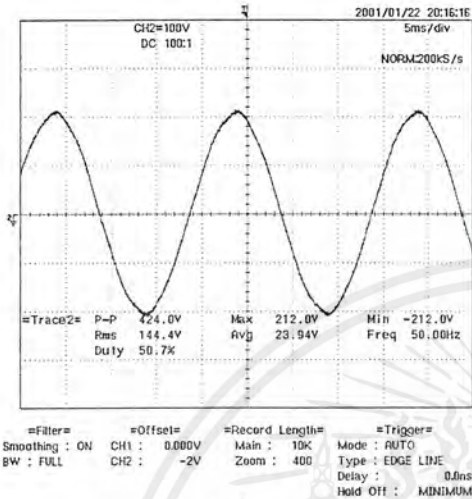


รูปที่ จ-66.b

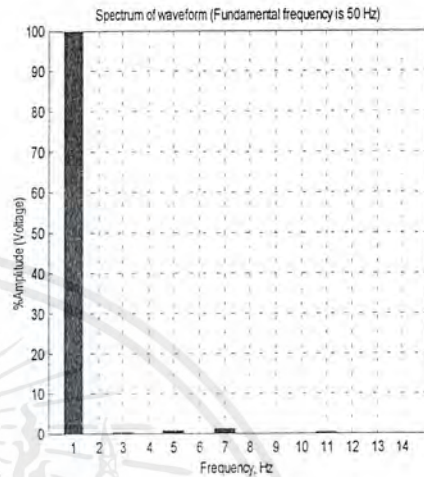
รูปที่ จ-66 จ-66.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

จ-66.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

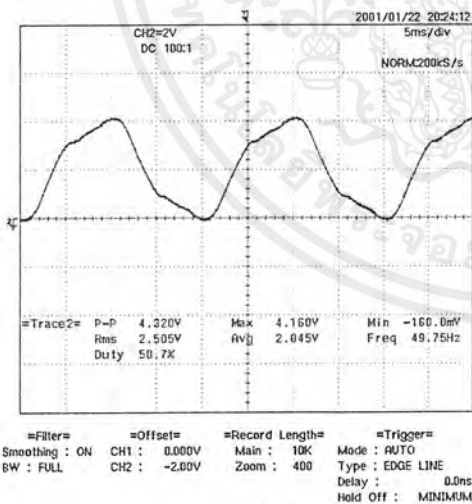


รูปที่ จ-67.a

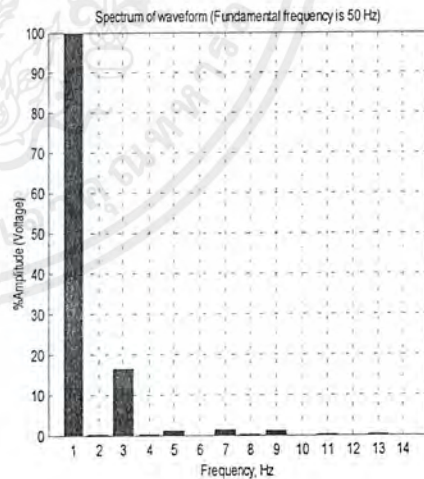


รูปที่ จ-67.b

รูปที่ จ-67 จ-67.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกคร่อมขดลวดค้ำานทุติยภูมิ
จ-67.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกคร่อมขดลวดค้ำานทุติยภูมิ



รูปที่ จ-68.a



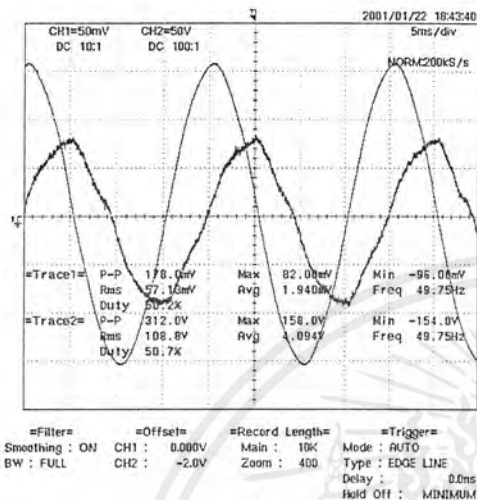
รูปที่ จ-68.b

รูปที่ จ-68 จ-68.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกค้ำานทุติยภูมิ
จ-68.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรออกค้ำานทุติยภูมิ

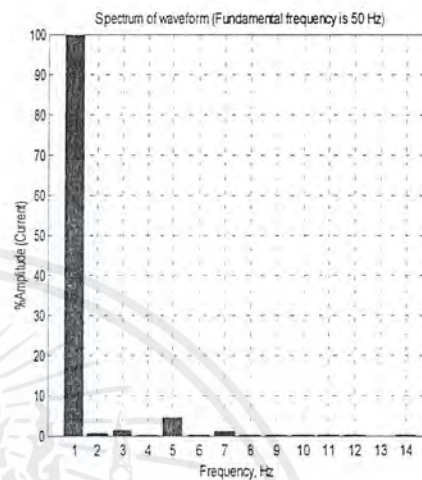
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-8. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ โดยที่มุมหนึ่งของ Δ เปิดวงจรออก

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เฮอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)



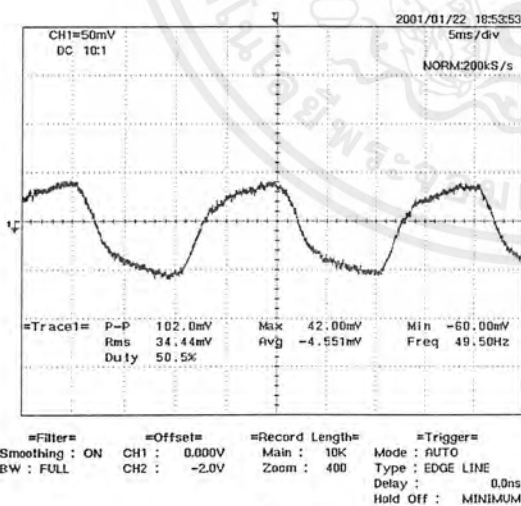
รูปที่ จ-61.a



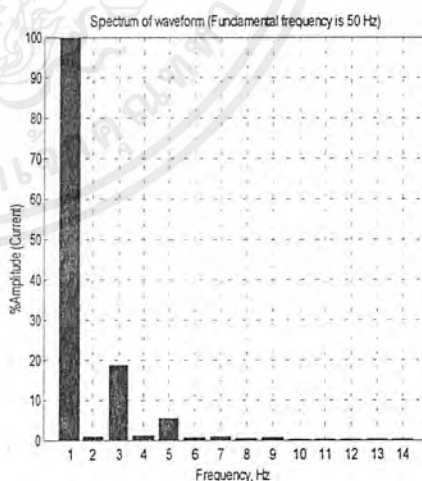
รูปที่ จ-61.b

รูปที่ จ-61 จ-61.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ

จ-61.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-62.a

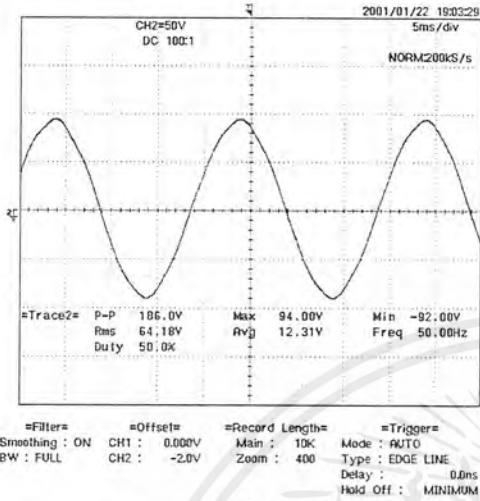


รูปที่ จ-62.b

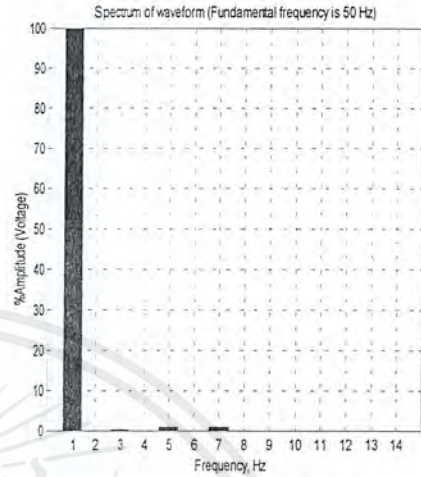
รูปที่ จ-62 จ-62.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

จ-62.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

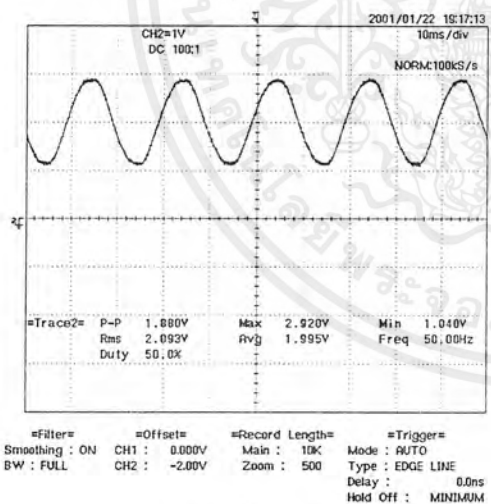


รูปที่ จ-63.a

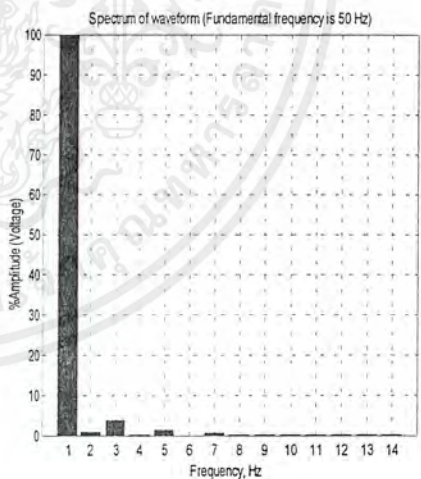


รูปที่ จ-63.b

รูปที่ จ-63 จ-63.a แสดงออสซิโตแกรมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกร้อมขดลวดด้านทุติยภูมิ
จ-63.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันเฟส V_{aa} ที่ตกร้อมขดลวดด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-64.a



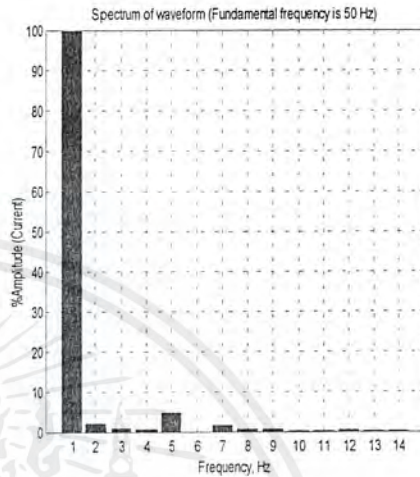
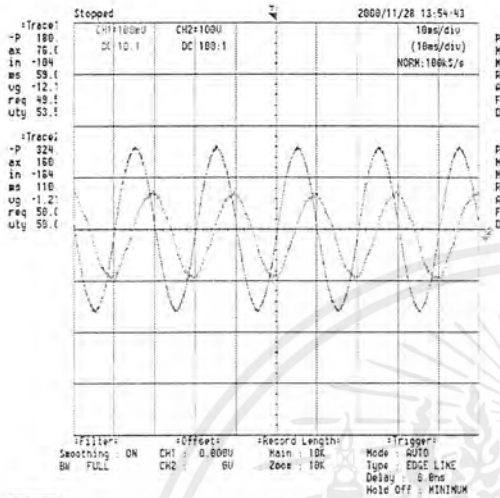
รูปที่ จ-64.b

รูปที่ จ-64 จ-64.a แสดงออสซิโตแกรมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรรอกด้านทุติยภูมิ
จ-64.b แสดงสเปกตรัมของแรงดัน V_{open} ที่จุดเปิดวงจรรอกด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-9. การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Δ - Δ

ผลการทดสอบที่แรงดัน 50 เอร์เซ็นต์ของพิกัด (110 Volt)

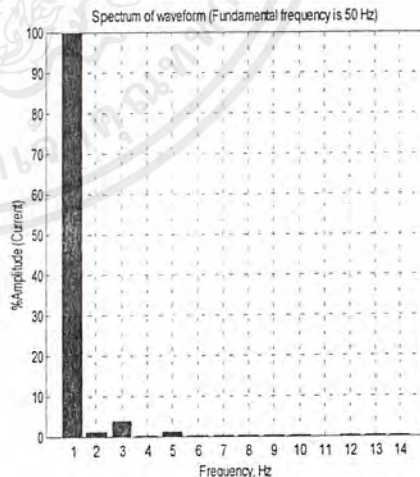
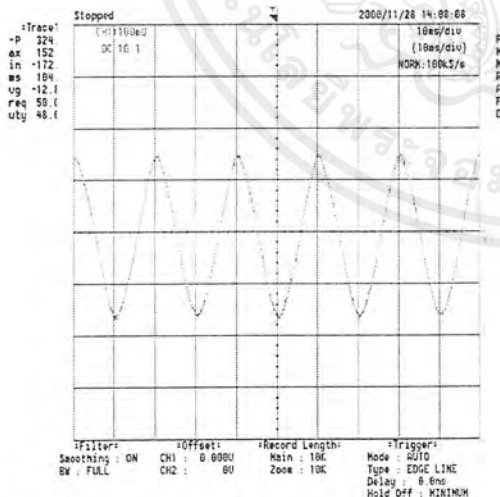


รูปที่ จ-69.a

รูปที่ จ-69.b

รูปที่ จ-69 จ-69.a แสดงออสซิลิโตแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} คำนวณรวม

จ-69.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ คำนวณรวม



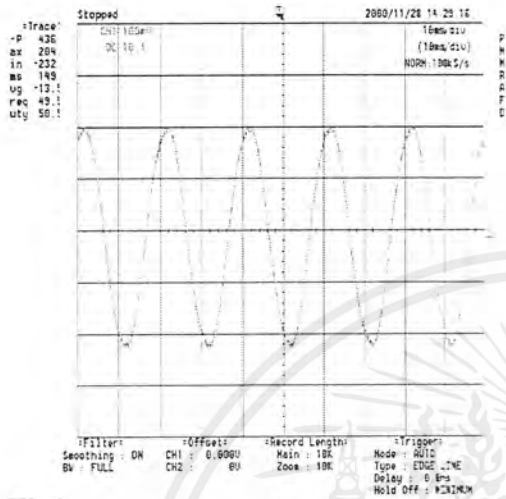
รูปที่ จ-70.a

รูปที่ จ-70.b

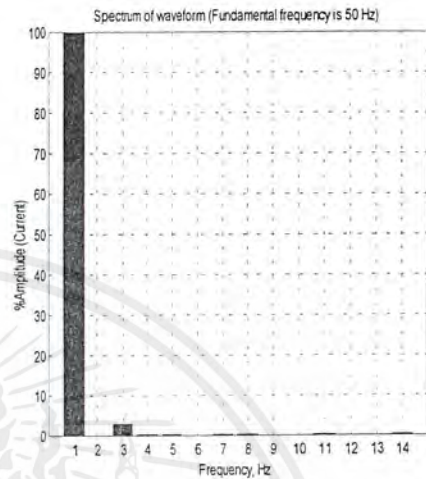
รูปที่ จ-70 จ-70.a แสดงออสซิลิโตแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ คำนวณรวม

จ-70.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ คำนวณรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

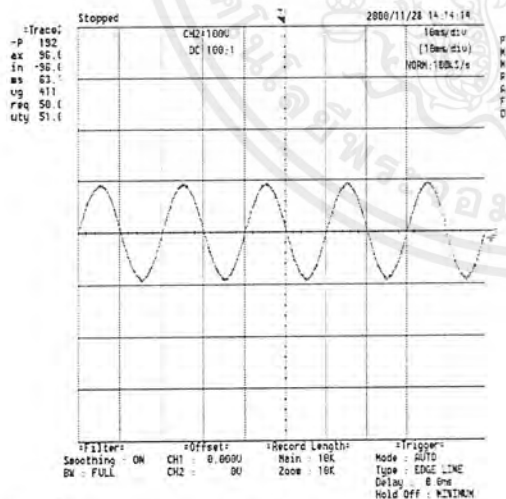


รูปที่ จ-71.a

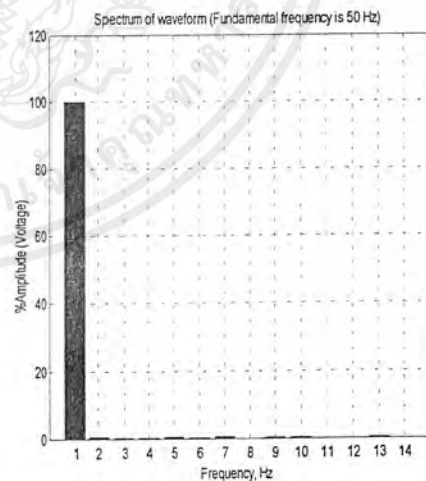


รูปที่ จ-71.b

รูปที่ จ-71 จ-71.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ
 จ-71.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi A}$ ที่ไหลในรูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-72.a

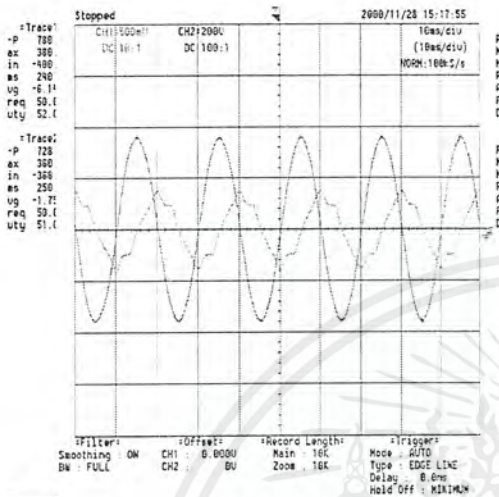


รูปที่ จ-72.b

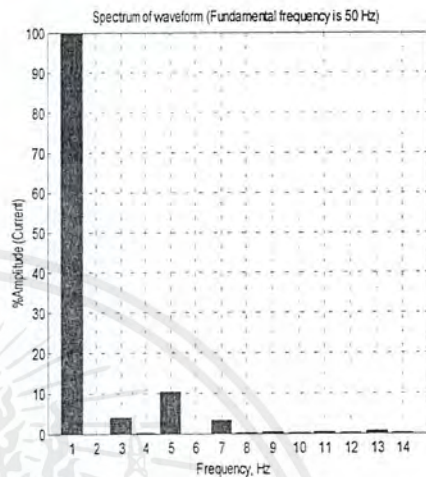
รูปที่ จ-72 จ-72.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-72.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่แรงดัน 115 เฟอร์เซนต์ของพิกัด (253 Volt)



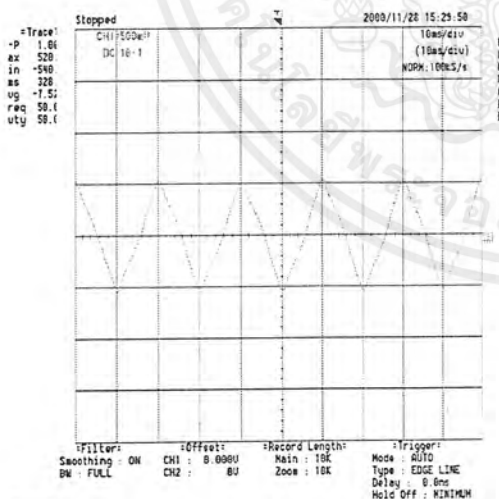
รูปที่ จ-73.a



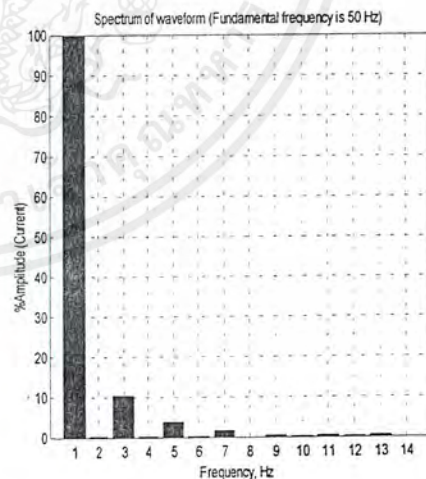
รูปที่ จ-73.b

รูปที่ จ-73 จ-73.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ เทียบกับแรงดันเฟส V_{AB} ด้านปฐมภูมิ

จ-73.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ จ-74.a

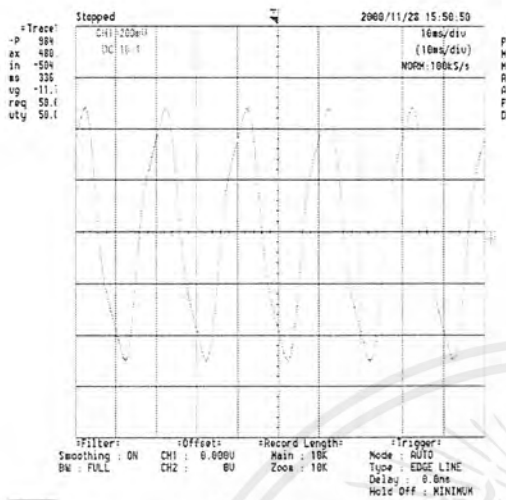


รูปที่ จ-74.b

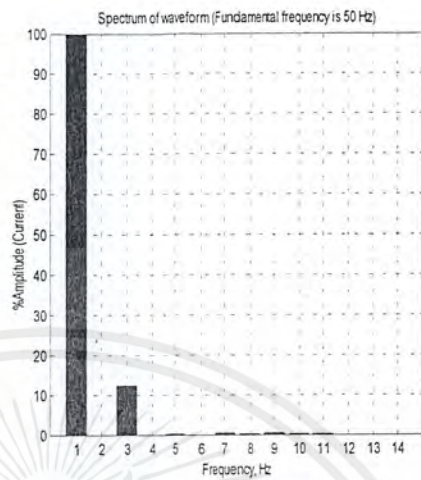
รูปที่ จ-74 จ-74.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

จ-74.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi AB}$ ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

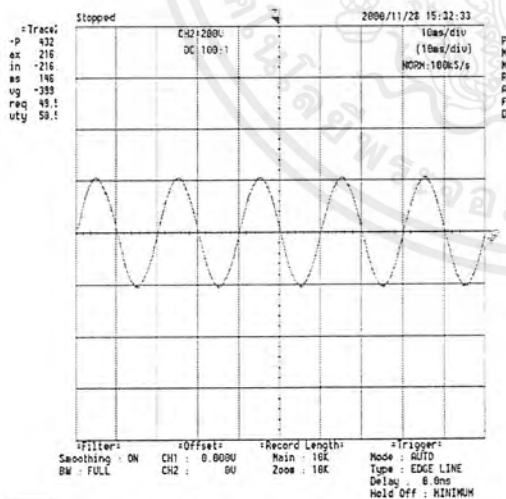


รูปที่ จ-75.a

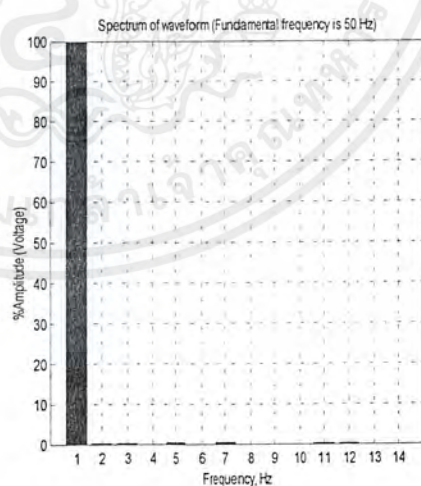


รูปที่ จ-75.b

รูปที่ จ-75 จ-75.a แสดงออสซิลโลแกรมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ ที่ไหลในลูป Δ ด้านทุติยภูมิ
 จ-75.b แสดงสเปกตรัมของกระแสกระตุ้น $i_{\phi 1}$ ที่ไหลในลูป Δ ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ จ-76.a



รูปที่ จ-76.b

รูปที่ จ-76 จ-76.a แสดงออสซิลโลแกรมของแรงดันไลน์ V_{ab} ด้านทุติยภูมิ
 จ-76.b แสดงสเปกตรัมของแรงดันไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ ผศ.ดร. ชัยวุฒิ นัทรอุทัย และ ชีรพล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์ เป็นอย่างสูงที่สละเวลา ให้คำแนะนำและคำปรึกษารวมทั้งให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน และทางโรงเรียนเทคนิควิทยาซึ่งอำนวยความสะดวกสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในโครงการนี้ ซึ่งทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาญณรงค์ เชื้อนาค,ธีรพล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์ และ นฤทธิ์ เชาว์รุ่งอรุณ,“ การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กที่เหมาะสม”,ปริญญาานิพนธ์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541.
- [2] ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, “ เอกสารประกอบการสอน วิชา Electrical Engineering Materials ”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ชัยยะ แซ่มซ้อย, “ การอบรมทางวิชาการเรื่อง Power System Harmonic ”,ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2543.
- [4] พิเชิต ถำของ, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2537.
- [5] มนัส สัจวรศิลป์ และ วรรัตน์ภัทรอมรกุล, “ Matlab ฉบับสมบูรณ์ ”, สำนักพิมพ์อิน โฟเพรส,2543.
- [6] สุรศักดิ์ ทองธรรมชาติ, “ วงจรไฟฟ้ามูลฐาน ”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2526.
- [7] A.E.Fitzgerald,Charles,Jr.Stephm D. umans, “ Electric Machinery ” Fifth Edition,McGawHill,Inc.1990.
- [8] Colonel Wm.T.Melyman, “ Transformer and Inductor Handbook”,Marcel Dekker,Inc.1990.
- [9] Members of the staff of the Department of Electrical Engineering,Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) “ Magnetic Circuits and Transformers” The M.I.T. Press, Massachusetts,1965
- [10] Pual,C.r.Nasar,S.A.,Unnewehr.,L.E., “Induction to Electrical Engineering”,Mc Graw Hill,Inc.1980.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้