

สถาบันหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การวิเคราะห์การสูญเสียในระบบการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
ในระบบที่มีความเพี้ยนสูงด้วยวงจรถู 7%
FAILURE ANALYSIS FOR DETUNER 7%
IN COMPENSATION SYSTEM WITH HIGH DISTORTION LEVEL**



โดย

นายธวัตรชัย มาคง
นายธีรพล ณรงค์เปลี่ยน
นายอดิชาติ ยืนยงจงเจริญ

๒๕๔๘
๒๕๔๙
๒๕๕๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62397
วัน,เดือน,ปี..... 17 ส.ค. 2549

b..... 11622954
i.....

**ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การวิเคราะห์การสูญเสียในระบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าร์เอกทีฟ
ในระบบที่มีความเพี้ยนสูงด้วยวงจรถัดจูน 7%
FAILURE ANALYSIS FOR DETUNER 7%
IN COMPENSATION SYSTEM WITH HIGH DISTORTION LEVEL



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. จงรักษ์ บุญเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์การสูญเสียในระบบการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบที่มีความเพี้ยนสูง
ด้วยวงจรถัดจูน 7%

ผู้จัดทำ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การสูญเสียในระบบการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบที่มีความเพี้ยนสูงด้วยวงจรดีจูน 7%

นายชวัตร์ชัย มาคง

นายธีรพล ณรงค์เปลี่ยน

นายอดิชาติ ยืนยงจงเจริญ

รศ. จงรักษ์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของฮาร์โมนิกส์มาใช้กันเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าเสียหายได้ ปรินูญาพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอการออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน เพื่อจำกัดกระแสและแรงดันฮาร์โมนิกส์ และชดเชยกำลังรีแอกทีฟ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ และศึกษาการวิเคราะห์ผลการกรองค่าฮาร์โมนิกส์ ความผิดเพี้ยนและประสิทธิภาพของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูนเจ็ดเปอร์เซ็นต์ และผลการกรองค่าฮาร์โมนิกส์และประสิทธิภาพของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์

FAILURE ANALYSIS FOR DETUNER 7% IN COMPENSATION SYSTEM WITH HIGH DISTORTION LEVEL

Tawatchai Makong

Terapol Narongplian

Atichat Yuenyongchongcharuæn

Assoc. Prof. Chongrag Bunseng Advisor

2005

ABSTRACT

Electrical equipments that generate high harmonics are more prevailing now a day. These electrical equipments may damage the power systems. To mitigate this problem, this project presents a design of detune 7 % harmonic filter reduce the current and harmonic voltage and compensate the reactive power. The analysis of the result harmonic distortion efficiency of this detune 7 % and the harmonic filter are also proposed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงมาได้ดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.จรงค์ บุญเสียง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คอยให้คำแนะนำ ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำปริญญานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณอาจารย์นราตล โชติวรรณพร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม ETAP ที่ใช้ในโครงการนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุน ด้วยดีมาตลอด

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่คอยให้การช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ห้อง 3W ทุกคนที่ได้ร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมาตลอด ระยะเวลา 3 ปี และคอยเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 นิยามและความหมายของฮาร์โมนิกส์.....	5
2.1.1 นิยามของฮาร์โมนิกส์.....	5
2.1.2 อนุกรมฟูรีเยร์.....	9
2.1.3 ศัพท์และปริมาณต่างๆ.....	9
2.1.4 ประเภทของฮาร์โมนิกส์.....	10
2.2 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์.....	11
บทที่ 3 ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์.....	12
3.1 ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า.....	12
3.1.1 สกินเอฟเฟค (Skin effect).....	12
3.1.2 มอเตอร์ (Motor).....	12
3.1.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer).....	13
3.1.4 สวิตช์เกียร์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Switch gear and Circuit breaker) ..	13
3.1.5 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)	13
3.2 ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์.....	14
3.3 การวิเคราะห์การเกิดรีโซแนนซ์.....	14
3.3.1 ตัวอย่างการรีโซแนนซ์แบบขนาน.....	19
3.3.2 ตัวอย่างการรีโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ผลที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์.....	29
บทที่ 4 อุปกรณ์และโครงสร้างของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%	30
4.1 โครงสร้างและหน้าที่ของตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%	30
4.2 อุปกรณ์ของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%.....	31
4.2.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitors)	31
4.2.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Reactor)	32
บทที่ 5 หลักการพื้นฐานและการออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%	37
5.1 การชดเชยกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ.....	37
5.2 การวัดค่าฮาร์โมนิกส์และข้อมูลพื้นฐานที่ควรทราบ.....	37
5.3 การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์โดยการใช้วงจร Blocking หรือ Detune.....	41
5.4 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณค่าส่วนประกอบ วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%	42
บทที่ 6 การศึกษาและวิเคราะห์ผลการกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า โดยการ Simulation ด้วยโปรแกรม ETAP	45
6.1 ขั้นตอนการสร้างฮาร์โมนิกส์ที่ใช้ในการ Simulation.....	45
6.2 ผลการ Simulate การกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าของ MSSC Project แบบแยกชุด Converter	49
6.2.1 ผลการ Simulate ของชุด Converter ชุดที่ 1 และ 2.....	50
6.2.2 ผลการ Simulate ของชุด Converter ชุดที่ 3 และ 4.....	59
6.2.3 ผลการ Simulate ของชุด Converter ชุดที่ 5 และ 6.....	68
6.2.4 ผลการ Simulate ของชุด Converter ชุดที่ 7 และ 8	77
6.2.5 ผลการ Simulate ของชุด Converter ชุดที่ 9 และ 10	86
6.3 ผลการ Simulate การกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าของ MSSC Project แบบรวมทุกชุด Converter.....	95
6.3.1 ที่ Without Detune 7% และ without Harmonic Filter	96
6.3.2 ที่ With Detune 7% พิกัด 6 x 320 kVAR และ 6 x 300 kVAR ที่ 770V	99
6.3.3 ที่ With Harmonic Filter 5 th พิกัด 6 x 320 kVAR และ 6 x 300 kVAR ที่ 770 V	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 การ Simulation วิเคราะห์การกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.....	105
7.1 ผลการ Simulate การกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.....	105
7.1.1 ผลการ Simulate ที่ without Detune 7% และ without Harmonic Filter	106
7.1.2 ผลการ Simulate ที่ with Detune 7% พิกัด 2 x 145 KVAR และ 2 x 97 KVAR ที่ 400 V	109
7.1.3 ผลการ Simulate ที่ with Harmonic Filter 5 th พิกัด 2 x 145 KVAR และ 2 x 97 KVAR ที่ 400 V	112
7.2 ผลการวัดค่าฮาร์โมนิกส์ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD	115
7.2.1. ก่อนการติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	115
7.2.2 หลังจากใส่ Harmonic Filter 5 th พิกัด 2 X 145 KVAR และ 2 X 97 KVAR	118
บทที่ 8 บทสรุป.....	122
8.1 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	122
8.2 สรุป	122
8.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	123
8.4 ประโยชน์ที่ได้รับและแนวทางการพัฒนาต่อไป.....	123
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ..	3
2.1 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสแบบรูปไซน์.....	6
2.2 รูปคลื่นของแรงดันแบบสี่เหลี่ยม.....	7
2.3 รูปคลื่นแบบยอดแบน	7
2.4 รูปคลื่นแบบยอดแหลม	8
3.1 ระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูลที่เกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน	15
3.2 ค่าของ Z_h ที่แปรเปลี่ยนตามความถี่	16
3.3 ระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูลที่เกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม	17
3.4 ค่าของ Z_h ที่แปรเปลี่ยนตามความถี่	18
3.5 การเกิดรีโซแนนซ์แบบขนานของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 400 kW	19
3.6 %THDv at MDB with off Capacitor	20
3.7 %THDv at MDB with on Capacitor 350 kVAR	20
3.8 %THDv at Load 400kW with off Capacitor.....	21
3.9 %THDv at Load 400kW with on Capacitor 350 kVAR.....	21
3.10 กระแสและแรงดันไฟฟ้า With Capacitor.....	22
3.11 กระแสและแรงดันไฟฟ้า Without Capacitor	22
3.12 กระแสและแรงดันไฟฟ้า With Capacitor.....	22
3.13 กระแสและแรงดันไฟฟ้า Without Capacitor	22
3.14 การเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรมและวงจรสมมูล	23
3.15 แรงดันไฟฟ้าวัดที่จุด A	23
3.16 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่จุด A	24
3.17 กระแสไฟฟ้าวัดที่จุด A	24
3.18 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่จุด A.....	25
3.19 แรงดันไฟฟ้าที่จุด C without Capacitor	25
3.20 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่จุด C without Capacitor.....	26
3.21 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่จุด C without Capacitor.....	26
3.22 แรงดันไฟฟ้าที่จุด C with Capacitor	27
3.23 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่จุด C with Capacitor.....	27
3.24 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่จุด C with Capacitor	28
3.25 สภาพการระเบิดของตู้คาปาซิเตอร์	29
3.26 สภาพของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าฟิวส์.....	29
4.1 โครงสร้างของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ตัวเก็บประจุกำลังที่ใช้ปรับค่าตัวประกอบกำลัง	31
4.3 ภาพของตัวเหนี่ยวนำกำลัง.....	32
5.1 Single line diagram ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะทำการวัด Harmonic	38
5.2 การต่อเครื่องมือที่จะทำการวัดค่า Harmonic	39
5.3 เครื่องวัด 3-phase power quality analyzer Model CA 8334 ของ Chauvin Arnoux.....	39
5.4 เครื่องวัด 3-phase power quality analyzer ขณะวัดข้อมูลทางไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์.....	40
5.5 การเชื่อมต่อเครื่องวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel โดยใช้ CT 5A/1V วัดที่หน้าตู้ MDB	40
5.6 ตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบ Single-tuned.....	40
5.7 การใช้รีแอกเตอร์ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์แบบ Blocking หรือ Detuned.....	41
6.1 ชั้นตอนที่ 1 ของการสร้างฮาร์โมนิกส์ที่ใช้ในการ Simulation.....	45
6.2 ชั้นตอนที่ 2 ของการสร้างฮาร์โมนิกส์ที่ใช้ในการ Simulation.....	46
6.3 ชั้นตอนที่ 3 ของการสร้างฮาร์โมนิกส์ที่ใช้ในการ Simulation.....	46
6.4 ชั้นตอนที่ 4 ของการสร้างฮาร์โมนิกส์ที่ใช้ในการ Simulation.....	47
6.5 ชั้นตอนที่ 5 ของการสร้างฮาร์โมนิกส์ที่ใช้ในการ Simulation.....	48
6.6 One line diagram ของชุด Converter ชุดที่ 1 และ 2.....	49
6.7 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	50
6.8 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5.....	51
6.9 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	51
6.10 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5.....	52
6.11 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	53
6.12 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	54
6.13 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	54
6.14 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	55
6.15 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	56
6.16 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	57
6.17 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	57
6.18 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	58
6.19 One line diagram ของชุด Converter ชุดที่ 3 และ 4.....	58
6.20 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	59
6.21 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5.....	60
6.22 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.23 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5.....	61
6.24 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	62
6.25 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	63
6.26 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	63
6.27 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	64
6.28 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	65
6.29 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	66
6.30 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	66
6.31 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	67
6.32 One line diagram ของชุด Converter ชุดที่ 5 และ 6.....	67
6.33 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	68
6.34 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5.....	69
6.35 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	69
6.36 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5.....	70
6.37 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	71
6.38 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	72
6.39 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	72
6.40 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	73
6.41 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	74
6.42 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	75
6.43 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	75
6.44 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	76
6.45 One line diagram ของชุด Converter ชุดที่ 7 และ 8.....	76
6.46 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	77
6.47 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5.....	78
6.48 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5.....	78
6.49 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5.....	79
6.50 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	80
6.51 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	81
6.52 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	81
6.53 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.54 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	83
6.55 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	84
6.56 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	84
6.57 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	85
6.58 One line diagram ของชุด Converter ชุดที่ 9 และ 10	85
6.59 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5	86
6.60 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5	87
6.61 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5	87
6.62 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5	88
6.63 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%	89
6.64 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%	90
6.65 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%	90
6.66 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Detune 7%	91
6.67 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	92
6.68 Waveform ของแรงดันที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	93
6.69 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	93
6.70 Waveform ของกระแสที่ Bus 4 และ Bus 5 with Harmonic Filter 5 th	94
6.71 One line diagram รวมชุด Converter ทั้ง 10 ชุด	95
6.72 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 2	96
6.73 Waveform ของแรงดันที่ Bus 2	97
6.74 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 2	97
6.75 Waveform ของกระแสที่ Bus 2	98
6.76 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 2 with Detune 7%	99
6.77 Waveform ของแรงดันที่ Bus 2 with Detune 7%	100
6.78 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 2 with Detune 7%	100
6.79 Waveform ของกระแสที่ Bus 2 with Detune 7%	101
6.80 Spectrum ของ Harmonic Voltage ที่ Bus 2 with Harmonic Filter 5 th	102
6.81 Waveform ของแรงดันที่ Bus 2 with Harmonic Filter 5 th	103
6.82 Spectrum ของ Harmonic Current ที่ Bus 2 with Harmonic Filter 5 th	103
6.83 Waveform ของกระแสที่ Bus 2 with Harmonic Filter 5 th	104
7.1 One line diagram ของชุด Converter ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.2 Spectrum ของ Harmonic Voltage.....	106
7.3 Waveform ของแรงดันที่ Bus 3.....	107
7.4 Spectrum ของ Harmonic Current.....	107
7.5 Waveform ของกระแสที่ Bus 3.....	108
7.6 Spectrum ของ Harmonic Voltage with Detune 7%	109
7.7 Waveform ของแรงดันที่ Bus 3 with Detune 7%.....	110
7.8 Spectrum ของ Harmonic Current with Detune 7%.....	110
7.9 Waveform ของกระแสที่ Bus 3 with Detune 7%	111
7.10 Spectrum ของ Harmonic Voltage with Harmonic Filter 5 th	112
7.11 Waveform ของแรงดันที่ Bus 3 with Harmonic Filter 5 th	113
7.12 Spectrum ของ Harmonic Current with Harmonic Filter 5 th	113
7.13 Waveform ของกระแสที่ Bus 3 with Harmonic Filter 5 th	114
7.14 Wave form ของแรงดันในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	115
7.15 Wave form ของกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	115
7.16 Spectrum ของแรงดันและกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	116
7.17 Wave form ของแรงดันในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	117
7.18 Wave form ของกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	117
7.19 Spectrum ของแรงดันและกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	118
7.20 การติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	118
7.21 ลักษณะของ Harmonic Filter 5 th ที่ติดตั้ง.....	119
7.22 Wave form ของแรงดันในระบบหลังจากติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	119
7.23 Wave form ของกระแสในระบบหลังจากติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	120
7.24 Spectrum ของแรงดันและกระแสในระบบหลังจากติดตั้ง Harmonic Filter 5 th	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่า Impedance, Resistance และค่า Inductance ที่ความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7.....	33
4.2 แสดงค่า Power loss ที่พิกัดกระแสและความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7.....	34
4.3 แสดงค่า Impedance, Resistance และค่า Inductance ที่ความถี่ต่างๆ ของ ตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11.....	35
4.4 แสดงค่า Power loss ที่พิกัดกระแสและความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11.....	36
6.1 สรุปผลการ Simulate การกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าของ MSSC Project แบบแยกชุด Converter	
7.1 พิกัดอุปกรณ์ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.....	101
7.2 สรุปผลการ Simulate ด้วยวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบต่างๆ ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.....	110
7.3 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้ ก่อนและหลังการติดตั้ง Harmonic Filter 5 th ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.....	117

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าไปมาก มีการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น ทั้งในด้านอุตสาหกรรม เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในสำนักงานและที่อยู่อาศัยก็มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่แทบทุกชนิด ในระบบอุตสาหกรรมปัจจุบันมีการนำอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากทำให้ควบคุมเครื่องจักรได้สะดวกและง่ายขึ้น รวมทั้งให้ประสิทธิภาพค่อนข้างดี แต่อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้มีเพียงแต่ประโยชน์เท่านั้น อุปกรณ์ ทางอิเล็กทรอนิกส์ยังให้โทษอีกด้วย คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะก่อให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นในระบบไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดความเสียหาย กับระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้เป็นโหลดที่ไม่มีความเป็นเชิงเส้นของกระแสและแรงดัน เพราะความสัมพันธ์ของค่าชั่วขณะของกระแสและแรงดันไม่คงที่ โหลดที่ไม่มีความเป็นเชิงเส้นและมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันสูง การเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลันเป็นผลให้เกิดฮาร์โมนิกส์หรือสัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลฐานในระบบไฟฟ้า และความไม่เป็นเชิงเส้นทำให้เกิด ความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นจึงถือเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ให้กับระบบไฟฟ้า และในปัจจุบันพบว่าในระบบที่มีฮาร์โมนิกส์เพียงเล็กน้อย แต่ทำให้มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำการใส่คาปาซิเตอร์เข้าในระบบเพื่อแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์อาจทำให้ค่าของฮาร์โมนิกส์เกิดการขยายตัวได้ที่มีความถี่รีโซแนนซ์ ดังนั้นในปัจจุบันได้นิยมหันมาใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์ต่อในระบบไฟฟ้าแทน นอกจากจะกรองกระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบแล้วยังสามารถชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าย้อนที่ไฟให้กับระบบไฟฟ้าอีกด้วย แต่วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แต่ละแบบก็มีข้อจำกัดหรือเงื่อนไขการใช้งานต่างกัน และมีประสิทธิภาพต่างกันด้วย

ปริญญาณิพนธ์นี้ ได้กล่าวถึงวงจรกรองฮาร์โมนิกแบบดีจูน7% ทั้งการศึกษาข้อมูลของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าจริงและจากการจำลองขึ้น การออกแบบวงจรกรอง ฮาร์โมนิกแบบดีจูน7% และการสรุปวิเคราะห์ข้อผิดพลาดของวงจรกรองฮาร์โมนิส แบบดีจูน7% เพื่อที่จะได้เป็นประโยชน์ในการเลือกใช้งานวงจรกรองฮาร์โมนิกส์กับระบบไฟฟ้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเนื่องจากผลของฮาร์โมนิกส์
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความผิดพลาดของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% ที่ใช้เป็นวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

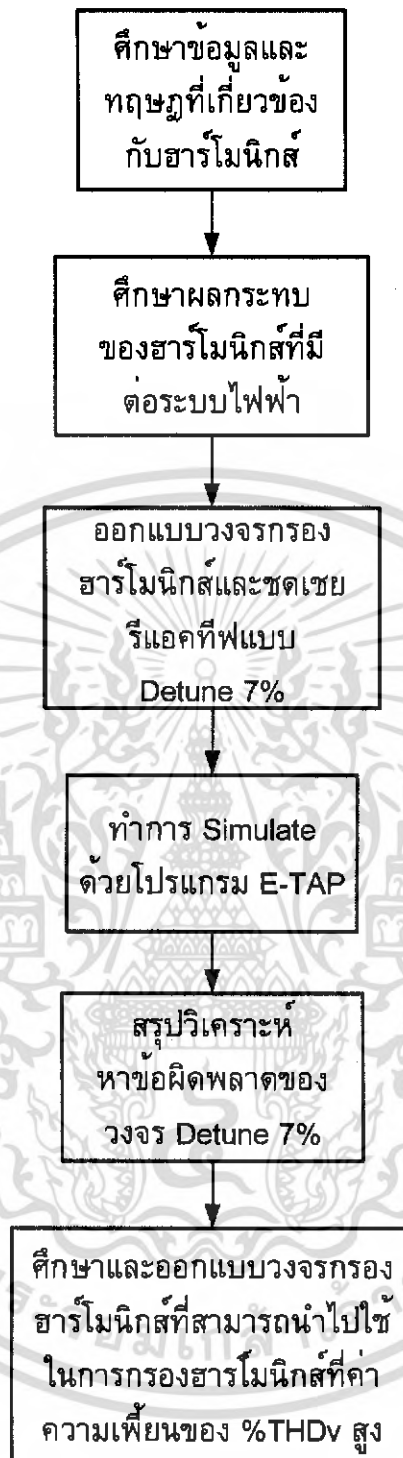
โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงการออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% และการวิเคราะห์ความผิดพลาดของวงจรดีจูน 7% โดยการวัดค่าจริงจากระบบที่มีความเพี้ยนสูง(High Distortion) แล้วจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม ETAP แล้วนำมาออกแบบดีจูน 7% โดยอ้างอิงมาตรฐาน IEEE 159-1992 และ IEC 1000-2-2-1990 จากนั้นนำผลที่ได้จากการ Simulate มาวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% ว่ามีข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องประการใดบ้างในการใช้เป็นวงจรกรองฮาร์โมนิกส์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานสามารถแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 1.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แผนภาพขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ

จากการทำโครงการทำให้สามารถออกแบบและสร้างวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ แบบดีจูน 7% ได้ สามารถวิเคราะห์ข้อผิดพลาดของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% ได้ รวมทั้งสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าที่มีความเพี้ยนสูงต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามและความหมายของฮาร์โมนิกส์

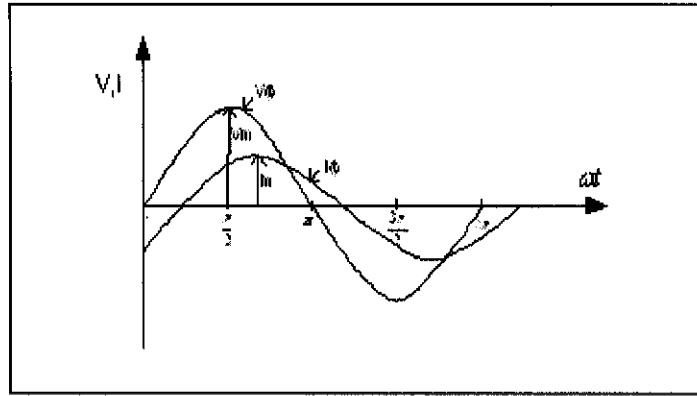
รอยจ่ายที่เพิ่มขึ้นในเรื่องของพลังงานนั้น สาเหตุหนึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นจากการใช้งานอุปกรณ์ประเภทเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำให้เกิดมลภาวะของฮาร์โมนิกส์ (harmonic pollution) ในระบบไฟฟ้า สิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นนั้นมาจากการใช้งานอุปกรณ์ประเภทสวิตชิง (ไม่ว่าจะเป็นขนาดไหนก็ตาม ก็ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ทั้งสิ้น) โดยในขณะนี้ฮาร์โมนิกส์เป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวาง เพราะว่า 60-70% ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบันเป็นพลังงานที่ถูกใช้ โดยอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์นั้นมาจากหม้อแปลง, มอเตอร์, และเรกติไฟเออร์ โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ และฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ไหลเข้าสู่ระบบมีน้อยมากในระบบ ขนาดเล็กแต่ปัญหาของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่แล้วมาจากการที่อุตสาหกรรม ขนาดใหญ่ยังใช้วิธีการในการกำจัดฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ยังไม่ได้ผลเท่าที่ควร ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์ประเภท non-linear ในโรงงานอุตสาหกรรมและผู้ใช้ไฟขนาดใหญ่มีมากขึ้น ทำให้สถานการณ์ของฮาร์โมนิกส์แยลง จำนวนของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เพิ่มขึ้นนี้อาจทำให้เกิดความเสียหาย แก่อุปกรณ์ที่ต่อใช้งานในระบบได้

ฮาร์โมนิกส์จำนวนมากที่เข้าสู่ระบบจำหน่ายนั้น เกิดจากผู้ใช้ไฟและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเรื่องธรรมดาที่โรงงานอุตสาหกรรมนั้นไม่ต้องการที่ประสบกับปัญหาใดๆ ที่มาจากฮาร์โมนิกส์ และเช่นเดียวกันผู้ใช้ไฟเองก็ไม่ต้องการให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น หรือมีสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากฮาร์โมนิกส์ อย่างไรก็ตามต้องตระหนักว่า พลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นจากฮาร์โมนิกส์นั้น ไม่ใช่เรื่องที่เล็กน้อยที่จะปล่อยปละละเลยได้

2.1.1 นิยามของฮาร์โมนิกส์

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ โดยทั่วไปจะมีรูปคลื่นของแรงดันและกระแสเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสในรูปที่ 2.1 นี้สามารถเขียนเป็นสมการแสดงขนาดที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสแบบรูปไซน์

$$v(t) = V_m \sin(\omega t)$$

$$\text{หรือ } v(t) = V_m \sin(2\pi f t) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \theta)$$

$$\text{หรือ } i(t) = I_m \sin(2\pi f t - \theta) \quad (2.2)$$

เมื่อ $v(t)$ = ขนาดของแรงดัน ณ เวลา t ใดๆ

V_m = ขนาดสูงสุดหรือค่ายอดของแรงดัน

$i(t)$ = ขนาดของกระแส ณ เวลา t ใดๆ

I_m = ขนาดสูงสุดหรือค่ายอดของกระแส

f = ความถี่ของแรงดันและกระแส

θ = ขนาดของมุมที่กระแสตามหลังแรงดัน

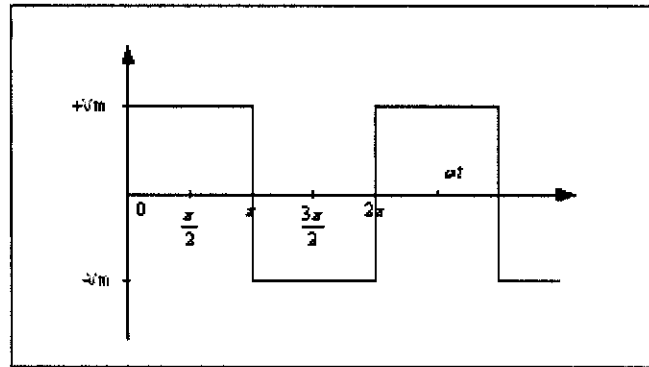
t = เวลา

สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รูปคลื่นของแรงดันและกระแสไม่จำเป็นต้องเป็นไซน์ เช่น อาจจะเป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (Square wave) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 รูปคลื่นของแรงดันในรูปที่ 2.2 นี้ สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความถี่ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้ดังนี้

$$v(t) = \frac{4}{\pi} V_m \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \dots \right]$$

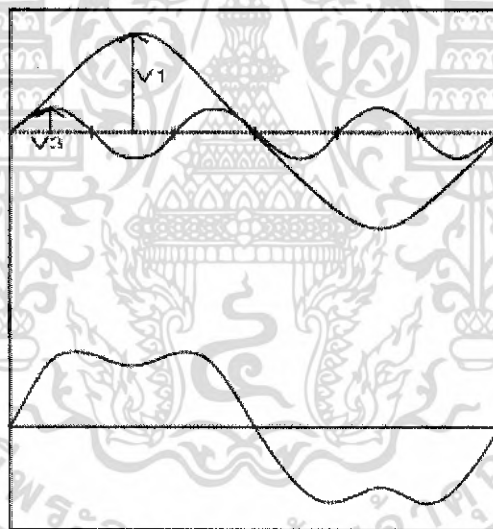
$$\text{หรือ } v(t) = \frac{4}{\pi} V_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(n\omega t) \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



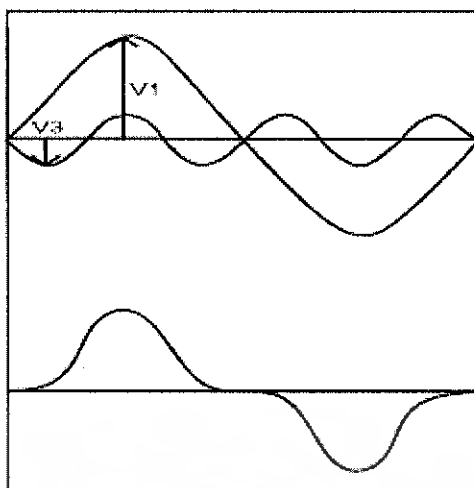
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของแรงดันแบบสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 2.2 และสมการที่ (2.3) นี้จะพบว่าแรงดันที่มีรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม จะประกอบไปด้วยรูปคลื่นแบบไซน์ ที่มีขนาดและความถี่ต่างๆ จำนวนมาก เพื่อแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาดและความถี่ต่างกัน เมื่อนำมารวมกันจะเกิดเป็นรูปคลื่นแบบต่างๆ ได้ สามารถแสดงเป็นตัวอย่างได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแบบยอดแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแบบยอดแหลม

ในรูปที่ 2.3 นี้เป็นรูปคลื่นแบบยอดแบนเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์จำนวน 2 ชุดที่มีความถี่ 3 เท่ารวมตัวกันคือ

$$v(t) = V_1 \sin(\omega t) + V_3 \sin(3\omega t) \quad (2.4)$$

ส่วนในรูปที่ 2.4 เป็นรูปคลื่นแบบยอดแหลมเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์จำนวน สองชุดที่มีความถี่สามเท่าเหมือนรูปที่ 2.3 มารวมกัน แต่มีมุมเฟสต่างจากรูปที่ 2.3 คือ

$$v(t) = V_1 \sin(\omega t) - V_3 \sin(3\omega t) \quad (2.5)$$

จากรูปคลื่นต่างๆ ที่กล่าวมาเราสามารถสรุปได้ว่าไม่ว่ารูปคลื่นเหล่านั้นจะมีรูปร่างเป็นอย่างไร เช่นแบบไซน์ แบบสี่เหลี่ยม แบบยอดแบนหรือแบบยอดแหลมต่างเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาดและความถี่ต่างๆ จำนวนมากมารวมกัน

รูปคลื่น $V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ (2.1) หรือ $\frac{4}{\pi} V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ (2.3) หรือ $V_1 \sin(\omega t)$ ในสมการที่ (2.4) และ (2.5) เราเรียกเป็นรูปคลื่นความถี่หลักมูล (Fundamental wave) ส่วนรูปคลื่นอื่นๆ ที่มีความถี่ต่างไปจากรูปคลื่นความถี่หลักมูลเป็นจำนวน n เท่า โดยที่ $n = 2, 3, 4, \dots$ เช่น $\frac{4}{3\pi} V_m \sin(3\omega t)$ ในสมการที่ (2.3) หรือ $V_3 \sin(3\omega t)$ ในสมการที่ (2.4) และ (2.5) ที่มีความถี่เป็นสามเท่าของความถี่หลักมูล เราเรียกเป็นรูปคลื่นฮาร์โมนิกส์ โดยมีลำดับฮาร์โมนิกส์เป็น 3

ดังนั้นฮาร์โมนิกส์ก็คือขนาดของแรงดันหรือกระแสที่มีความถี่ต่างไปจากความถี่หลักมูล ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแรงดันหรือกระแสดังกล่าว สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย ความถี่หลักมูลคือ 50 Hz ความถี่ของแรงดันฮาร์โมนิกส์หรือกระแสฮาร์โมนิกส์ซึ่งเป็น 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, ...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 อนุกรมฟูรีเยร์

การที่จะอธิบายว่ารูปคลื่นใด ๆ มีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เท่าไรปนอยู่บ้าง และฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับนั้นมีปริมาณหรือขนาดมากน้อยแค่ไหน สามารถอธิบายได้โดยใช้อนุกรมฟูรีเยร์

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(\frac{2\pi n t}{T}) + b_n \sin(\frac{2\pi n t}{T})] \quad (2.6)$$

เมื่อ $v(t)$ = ฟังก์ชันของรูปคลื่นรายคาบใด ๆ

a_0 = ค่าเฉลี่ยของ $v(t)$

n = เลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ (ลำดับฮาร์โมนิกส์)

a_n และ b_n = สัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์

T = คาบเวลาของรูปคลื่น $v(t)$

หรือสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [c_n \cos(n(2\pi f t - \phi_n))] \quad (2.7)$$

เมื่อ f = ความถี่

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(\frac{b_n}{a_n})$$

2.1.3 ศัพท์และปริมาณต่าง ๆ

เพื่อสามารถเรียนรู้และเข้าใจเรื่องฮาร์โมนิกส์ได้อย่างถ่องแท้ในตอนแรก ต้องเริ่มต้นด้วยการทำความเข้าใจกับศัพท์และปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์ก่อน

- Distortion Factor : DF
- Harmonic Factor : HF
- Total Harmonic Content : THC
- Total Harmonic Distortion : THD

ทั้ง DF, HF, THC หรือ THD ต่างก็ใช้ระบุปริมาณของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีอยู่ทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับค่า RMS ของความถี่หลักมูล หรือเปรียบเทียบกับค่า RMS ของปริมาณทั้งหมดทั้งนี้แล้วแต่มาตรฐานต่าง ๆ จะกำหนดนิยามไว้จากมาตรฐาน IEEE 519-1992 ได้

$$DF_v = HF_v = THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \% \quad (2.8)$$

$$DF_i = DF_i = THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 \% \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ประเภทของฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เกิดขึ้นปะปนอยู่ในกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าอาจแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อความสะดวกในการกล่าวถึงได้ดังต่อไปนี้

- Harmonic
- Interharmonic
- Characteristic Harmonic
- Noncharacteristic Harmonic
- Triple Harmonic

Harmonic หมายถึงส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล เช่น รูปคลื่นสี่เหลี่ยมในรูปที่ 2.2 จะมีฮาร์โมนิกส์ปนอยู่จำนวนมากตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2, 3, 4,... หรือรูปคลื่นในรูปที่ 2.3 และในรูปที่ 2.4 จะมีเฉพาะฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ปนอยู่เท่านั้น

Interharmonic หมายถึงส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล Interharmonic นี้ส่วนมากจะพบในกระแสของเตาหลอมแบบอาร์ค (arc furnace) เนื่องจากในระหว่างหลอมเหล็ก โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นการหลอม กระแสอาร์คจะยังไม่เสถียร ทำให้คาบของกระแสไม่แน่นอน กล่าวคือ ความถี่ 50 Hz 1 คาบใช้เวลา 20 มิลลิวินาที แต่กระแสอาร์ค จะมีคาบเวลาไม่เป็น 20 มิลลิวินาทีทุกคาบ ทำให้เกิด Interharmonic ขึ้น นอกจากนี้จะพบ Interharmonic ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle Control หรือ Burst firing

Characteristic Harmonic คือฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้า (แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือกลับกัน โดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น Transistor, SCR เป็นตัวสวิตช์ตัดต่อกระแส) ในสภาวะการทำงานตามปกติ

ลำดับของ characteristic harmonic สามารถหาได้จาก

$$n = kp \pm 1 \quad (2.10)$$

เมื่อ

n = ลำดับของฮาร์โมนิกส์

k = เลขจำนวนเต็มบวกใด ๆ

p = จำนวนพัลส์ (pulse number) ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

Noncharacteristic Harmonic คือฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้าที่ไม่เป็นไปตามสมการ $n = kp \pm 1$ เช่นเครื่องแปลงผันไฟฟ้าชนิด 12 พัลส์ ควรจะมีเฉพาะ characteristic harmonic ที่มีลำดับ 11, 13, 23, 25, 35, 37 ดังนั้น ถ้ามีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีลำดับเป็น 5, 7, 17, 19 ปนมาด้วยฮาร์โมนิกส์ เหล่านี้ถือว่าเป็น Noncharacteristic Harmonic

Triple Harmonic คือฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีลำดับถูกหารด้วย 3 ลงตัว ได้แก่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3, 6, 9, ... ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับ (sequence) เป็นศูนย์ในกรณีที่เป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกส์กลุ่มนี้จะรวมตัวกันไหลอยู่ในสายนิวตรอล ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าได้ เช่น สายนิวตรอลร้อน ฉนวนเสียหายเกิดลัดวงจร เป็นต้น

2.2 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ามีด้วยกันหลายอย่าง ทั้งจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท static power converter ที่เริ่มนำมาใช้กันแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมและเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ที่มีใช้กันมานานแล้ว กล่าวคือได้รวบรวมสรุปแหล่งที่มาทั้งหมดที่เป็นตัวกำเนิดฮาร์โมนิกส์ว่ามีอย่างน้อยเพียงใดที่จะมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์หรือไม่

แหล่งกำเนิดสัญญาณฮาร์โมนิกส์สามารถแยกออกได้หลายประเภท ดังนี้

ก. โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

- เรกติไฟเออร์ (rectifier)
- เรกติไฟเออร์แบบมีการควบคุม (controlled rectifier)
- คอนเวอร์เตอร์แบบมีความถี่ (static frequency converter)
- รีแอคเตอร์แบบอิ่มตัว (saturable reactor)
- เตาหลอมแบบอาร์ค (arc furnace)
- เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค

ข. แหล่งกำเนิดเฟสแบบไม่สมดุล (phase unbalance sources)

- โหลดแบบเชิงเส้นเฟสเดียว (single phase linear load)
- โหลดแบบไม่เชิงเส้นเฟสเดียว (single phase nonlinear load)
- หม้อแปลงเดลต้าเปิด (open delta transformer)
- ระบบจำหน่ายแบบวางนอนและไม่มีการสลับสาย (untransposed flat configuration of conductors)

ค. กระแสกระตุ้น (exciting currents)

- กรณีปกติ (normal condition)
- กรณีกระตุ้นมากเกินไป (overexcited condition)
- รีโซแนนซ์กับแกนเหล็ก (ferroresonance)

ง. แหล่งกำเนิดอื่นๆ

- สวิตชิงเสิร์จ
- ฟิวส์
- ฟอลต์
- กระแสตรงในวงจรกระแสสลับ

บทที่ 3

ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์

3.1 ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

ฮาร์โมนิกส์สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ ที่ไม่ต้องการได้ในระบบไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน ทำให้เกิดความเสียหายแก่ข้อมูล ทำให้เกิดแรงดันเกิน พิกัด ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความร้อนและไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ และอาจเกิดความเสียหายขึ้นได้ ผลของฮาร์โมนิกส์ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบโทรศัพท์และสายส่งสัญญาณต่างๆ และยังทำให้รีเลย์และมิเตอร์ต่างๆ ทำงานผิดพลาดอีกด้วย องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์มีลักษณะที่เหมือนกับสัญญาณพาหะในระบบ สิ่งที่ได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์มากที่สุดก็คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความเสียหายของข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ฮาร์โมนิกส์ยังสามารถทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นในหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ ส่งผลให้มีอายุการใช้งานที่สั้นลงหรืออาจเกิดความเสียหายขึ้น เงื่อนไขต่างๆ และรายละเอียดของการใช้งานอุปกรณ์ในขณะที่มีฮาร์โมนิกส์นั้น สามารถดูได้จากมาตรฐาน ANSI/IEEE Std 18-1980 และ IEEE Std C57.110 ตามลำดับ ความร้อนและการสั่นสะเทือนของโรเตอร์ของมอเตอร์นั้น ก็มีสาเหตุมาจากฮาร์โมนิกส์ และยังส่งผลให้มอเตอร์นั้นเกิดความร้อนขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง

โดยทั่วไปแล้วปริมาณฮาร์โมนิกส์รวมทั้งหมดที่คิดเป็นร้อยละ (Total Harmonic Distortion; THD) ในโรงงานอุตสาหกรรมต้องไม่เกิน 5% ตามคำแนะนำของมาตรฐาน IEEE เรื่อง Harmonic Control in Electrical Power System Std. 519-1992 และฮาร์โมนิกส์นั้นไม่ได้ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีประสิทธิภาพลดลง ทำให้ต้องเพิ่มการบำรุงรักษามากขึ้น เป็นการทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่ม และเพิ่มความสูญเสียในหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ ซึ่งจะขอลงถึงผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบกันมากในอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

3.1.1 สกินเอฟเฟค (Skin effect)

การเกิดฮาร์โมนิกส์ทำให้เกิดสกินเอฟเฟคในสายตัวนำทำให้ค่าความต้านทานของสายเพิ่มมากขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นที่ความถี่ปกติ 50-60 Hz สกินเอฟเฟคไม่มีปัญหาเท่าใดนัก สกินเอฟเฟคเกิดขึ้นเนื่องจากความเหนี่ยวนำของสาย (Self-inductance) ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของสาย กระแสไหลทางด้านนอกของสายมาก มีกระแสไหลผ่านตัวนำได้น้อย เพราะความต้านทานของสายเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความถี่ที่เพิ่มขึ้น

3.1.2 มอเตอร์ (Motor)

สายตัวนำที่มีวัสดุสนามแม่เหล็ก (magnetic material) เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น ในมอเตอร์ หรือแม้กระทั่งท่อโลหะร้อยสายทำให้ผลเนื่องจากสกินเอฟเฟคมีมากขึ้น เช่น โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะแสดงผลอย่างรุนแรงเนื่องจากปัญหาดังกล่าว ความต้านทานภายในโรเตอร์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าต่างกันขณะหมุนอยู่และขณะเริ่มสตาร์ท ทั้งนี้เนื่องจากสกินเอฟเฟคที่มีค่าต่างกันอันเกิดจากความถี่ในโรเตอร์ไม่เหมือนกัน

กรณีที่แหล่งจ่ายไฟป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไม่สมมาตรสามเฟส (unsymmetrical 3 phase voltage) ให้กับมอเตอร์จะเกิดกระแสที่เค้นล้นเกินขึ้นในโรเตอร์และเกิดความถี่ขึ้นในโรเตอร์ 60-118 Hz ความต้านทานของโรเตอร์ที่ความถี่สูงนี้เนื่องจากสกินเอฟเฟคมีค่าสูงกว่าที่ลอคโรเตอร์ บางที่อาจถึง 5-6 เท่าของความถี่ปกติ ความไม่สมดุลของเฟสเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดความสูญเสียในโรเตอร์เพิ่มขึ้น

3.1.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

สกินเอฟเฟคทำให้หม้อแปลงเกิดความร้อนมากเกินไป นอกจากนี้การเบี่ยงเบนของคลื่นสัญญาณทำให้ความสูญเสียในแกนเหล็กมากขึ้นด้วยเนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าความถี่ปกติ ผลของความเบี่ยงเบนของคลื่นสัญญาณในหม้อแปลงไฟฟ้ามีมากกว่าในสายตัวนำขนาดใหญ่แต่มีผลน้อยกว่าในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ไฟฟ้ากระแสตรงในระบบถือว่าเป็นความเบี่ยงเบนของคลื่นชนิดหนึ่งที่ได้รับการพิจารณาน้อย ถ้าหากมีส่วนหนึ่งของกระแสตรงไหลในหม้อแปลงไฟฟ้า ก็อาจทำให้เกิดความร้อนมากเกินไปในหม้อแปลงไฟฟ้าได้ เพราะไฟฟ้ากระแสตรงทำให้เกิดการอิ่มตัวในแกนเหล็ก

3.1.4 สวิตช์เกียร์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Switch gear and Circuit breaker)

ความสูญเสียในสวิตช์เกียร์เนื่องจากความเบี่ยงเบนของคลื่นสัญญาณเหมือนกับในสายตัวนำ นอกจากนี้อุปกรณ์ใดๆ ที่มีค่าของความเหนี่ยวนำเป็นสำคัญจะมีความสูญเสียเพิ่มขึ้นอันเนื่องจาก proximity effect หม้อแปลงกระแสจะมีความสูญเสียเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากความเหนี่ยวนำใดๆ ที่มีอยู่ภายในหม้อแปลงกระแสจะมีผลต่อ burden ของหม้อแปลง กระแสแม่เหล็กที่ความถี่ฮาร์โมนิกส์และทำให้ความสูญเสียในแกนเหล็กเพิ่มขึ้น

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีขดลวดหรืออยู่ในตัวมันเองก็มีปัญหาเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากปัญหาสกินเอฟเฟคและ proximity effect ซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่มากเกินไปในอุปกรณ์ที่นำกระแสหลัก ความร้อนมากเกินไปที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิรอบด้านภายใน เซอร์กิตเบรกเกอร์สูงขึ้นและทำให้การตั้งค่าการทริปผิดไป อุปกรณ์การทริปภายใน เซอร์กิตเบรกเกอร์จะไวต่อคลื่นประเภทฮาร์โมนิกส์ เพราะประสิทธิภาพของการส่งกำลังไปยังอุปกรณ์การทริปเพิ่มขึ้นตามความถี่ แม้มาตรฐานหรือกฎใดๆ จะไม่มีการใช้หรือตั้งขึ้นมาสำหรับกรณีนี้ แต่พบว่าการทริปของเซอร์กิตเบรกเกอร์อันเนื่องจากการเกิดฮาร์โมนิกส์นั้นร้อนมาก

3.1.5 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)

ความสูญเสียภายในคาปาซิเตอร์ ความสูญเสียไดอิเล็กตริกขนาดหนึ่งวัตต์ต่อ KVA ที่ความถี่ปกติมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนกับความถี่ที่เพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วคงที่ ส่วนความสูญเสียอันเนื่องมาจากความต้านทานภายในของคาปาซิเตอร์มีค่าไม่สูงมากนัก รวมแล้วความสูญเสียทั้งหมดภายในคาปาซิเตอร์เนื่องจากฮาร์โมนิกส์มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ KVA ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวมันเอง แต่ถ้ามองในอีกด้านของคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดเล็กๆ ต่อ kVA ของมันความสูญเสีย อาจทำให้อุณหภูมิภายในคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นและอายุการใช้งานสั้นลง

3.2 ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์

ในระบบไฟฟ้ากำลังมีความถี่ธรรมชาติซึ่งมีความสำคัญกับค่าคาปาซิแตนซ์ของ capacitor bank แต่ความถี่ธรรมชาติดังกล่าวนี้มักจะอยู่ในช่วงของฮาร์โมนิกส์ซึ่งเกิดจากการใช้ อุปกรณ์ประเภท non-linear การเท่ากันของความถี่หรือการเกิดรีโซแนนซ์นั้น อาจทำให้กระแสของฮาร์โมนิกส์เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ในกรณีการเกิดรีโซแนนซ์จะเกิดการขยายตัวของกระแส ดังนั้นกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีขนาดเล็กๆ ก็สามารถเพิ่มขนาดขึ้น ซึ่งขนาดของฮาร์โมนิกส์ในลำดับต่างๆ จะใกล้เคียงกับขนาดของรูปคลื่นในความถี่มูลฐานส่งผลให้เกิดแรงดันเกินพิกัด (Over Voltage) ขนาดใหญ่ การเกิดรีโซแนนซ์มีสาเหตุมาจากความไม่มีเสถียรภาพของระบบ และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากการเกิดแรงดันเกินพิกัดอีกด้วย

3.3 การวิเคราะห์การเกิดรีโซแนนซ์

การคำนวณหาความถี่ที่ทำให้เกิดการรีโซแนนซ์ (n) ของระบบไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของ short circuit impedance (X_{SC}) ของบริเวณที่ตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ากับค่าอิมพีแดนซ์ของคาปาซิเตอร์ (X_C) ดังสมการที่ (3.1)

$$n = \sqrt{\frac{X_C}{X_{SC}}} = \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{MVA_C}} = \sqrt{\frac{(100 \times kVA_T)}{(kVA_C \times Z_T)}} \quad (3.1)$$

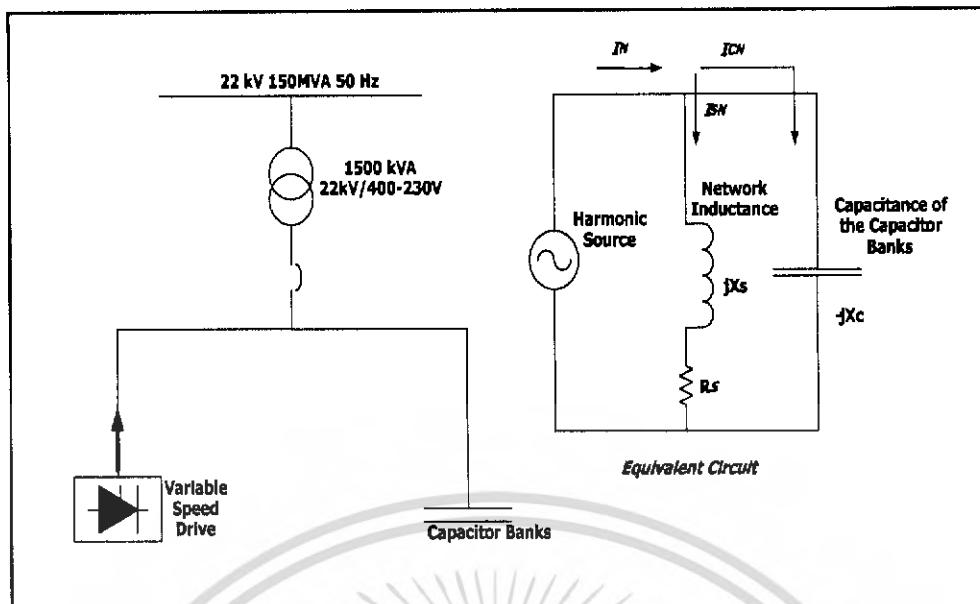
โดยที่ n = ความถี่ที่ทำให้เกิดรีโซแนนซ์
 MVA_{SC} = Short - circuit capacity
 MVA_C, kVA_C = Capacitor banks rating
 kVA_T = Transformer rating
 Z_T = Transformer impedance

สมการที่ (3.1) เป็นความสัมพันธ์เบื้องต้นที่ผู้วิเคราะห์การเกิดรีโซแนนซ์จะต้องตรวจสอบเป็นอันดับแรก การเกิดปัญหาการรีโซแนนซ์มักจะเกิดที่ความถี่ในระหว่าง 250-350 Hz ซึ่งตรงกับ n ที่ 5 และ 7 ซึ่งสอดคล้องกับฮาร์โมนิกส์ที่ผลิตโดยวงจรควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์และจะก่อให้เกิดการรีโซแนนซ์แบบขนาน (parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า

$$I_N = I_{CN} + I_{SN} \quad (3.2)$$

$$I_{CN} = \frac{R_S + jX_S}{R_S + (jX_S - jX_C)} I_N \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูลที่เกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน

$$I_{SN} = \frac{-jX_C}{R_S + (jX_S - jX_C)} I_N \tag{3.4}$$

โดยที่ $R_S = R_{NETWORK} + R_{TRANSFORMER}$

$$X_S = X_{NETWORK} + X_{TRANSFORMER}$$

ที่ความถี่รีโซแนนซ์ค่า $jX_S = jX_C$ สมการที่ (3.3) - (3.4) จะเหลือ

$$I_{CN} = \frac{R_S + jX_S}{R_S} I_N \tag{3.5}$$

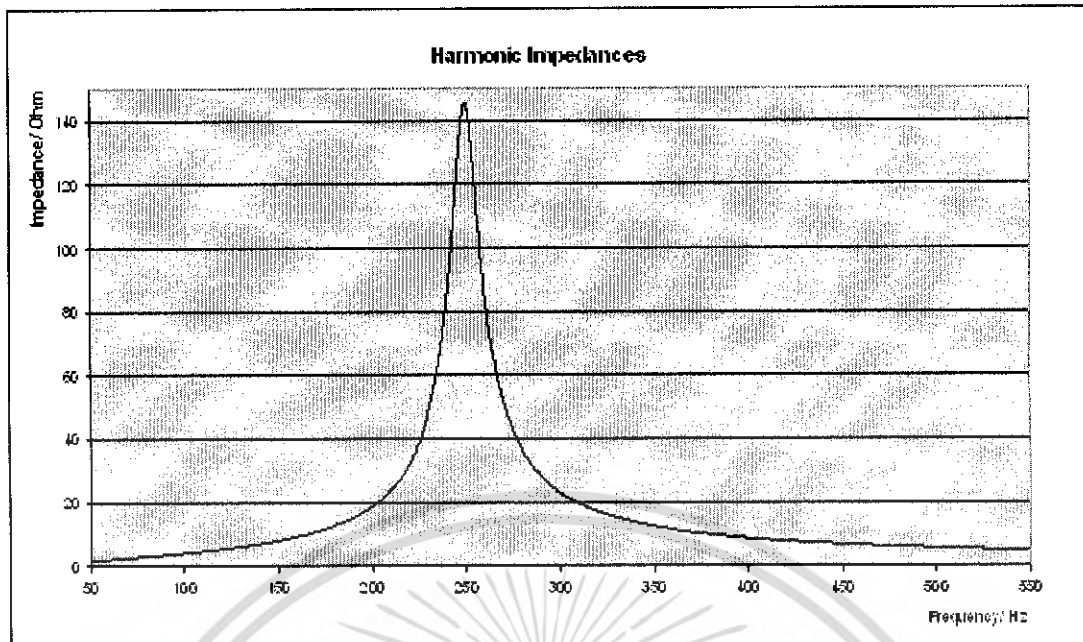
$$I_{SN} = \frac{-jX_C}{R_S} I_N \tag{3.6}$$

จากสมการที่ (3.3) - (3.4) ถ้าค่าของ $X_S = X_C > R_S$ ประมาณ 10-15 เท่า มีผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน X_S, X_C ถูกขยายเพิ่มขึ้นเป็น 10-15 เท่าของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่รีโซแนนซ์ และถ้า $R_S \rightarrow 0$

$$I_{CN} = \frac{jX_S}{jX_S - jX_C} I_N \tag{3.7}$$

$$I_{SN} = \frac{-jX_C}{jX_S - jX_C} I_N \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ค่าของ Z_h ที่แปรเปลี่ยนตามความถี่

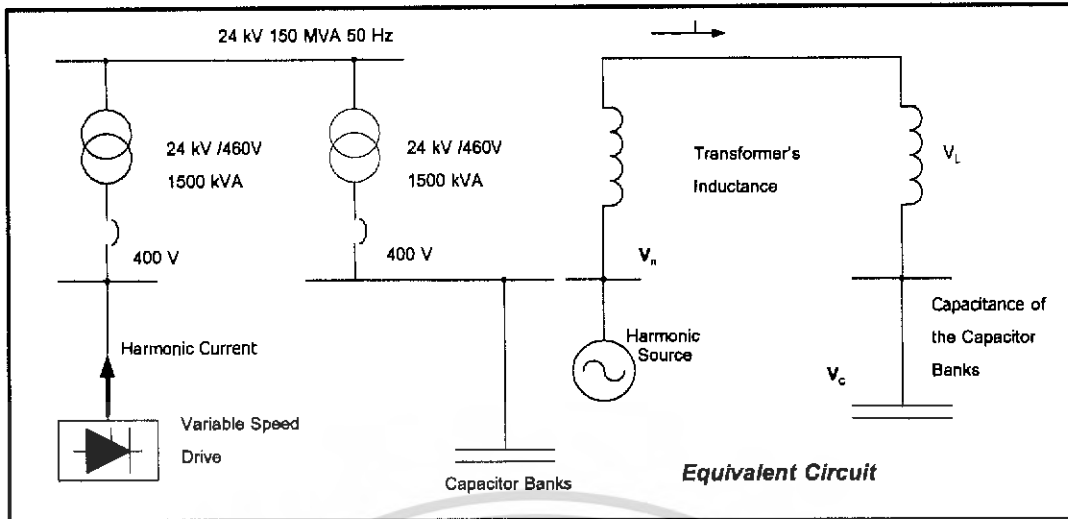
ที่ความถี่รีโซแนนซ์กระแสฮาร์โมนิกส์มองเห็นค่าอิมพีแดนซ์ของระบบรวม หาได้จากสมการที่ (3.9) ถือว่าความต้านทานในระบบน้อยมากดังนี้

$$Z = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} \quad (3.9)$$

ที่ความถี่รีโซแนนซ์จะได้ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ แทนค่าในสมการที่ 3.9

$$Z \rightarrow \infty \quad (3.10)$$

จากสมการที่ (3.10) ถ้ามีกระแสฮาร์โมนิกส์ไหลในวงจรมีผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ของฮาร์โมนิกส์นั้นมากเป็นอนันต์ (infinite) ณ บริเวณบัสในตำแหน่งที่มีภาระไฟฟ้า ต่ออยู่และเกิดกระแสไฟฟ้าไหลมากเป็นอนันต์เข้าสู่ L และ C ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดทางต้านแรงดัน โดยกระแสไฟฟ้าจะถูกขยาย ถ้าค่าของคาปาซิเตอร์มากพอจะมีผลให้เกิด การขยายของกระแสฮาร์โมนิกส์ไหลออกมาทางต้านแรงดันสูงของหม้อแปลงเข้าสู่ระบบไฟฟ้าแรงสูงและอาจจะไหลผ่านลงมาหาคาปาซิเตอร์แรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าอีกตัวหนึ่ง ถ้าค่า L และ C สอดคล้องกัน เรียกว่า การรีโซแนนซ์แบบอนุกรม (series resonance) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูลที่เกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม

และจะได้

$$V_N = V_L + V_C \quad (3.11)$$

$$V_L = V_N \frac{jX_L}{jX_L - jX_C} \quad (3.12)$$

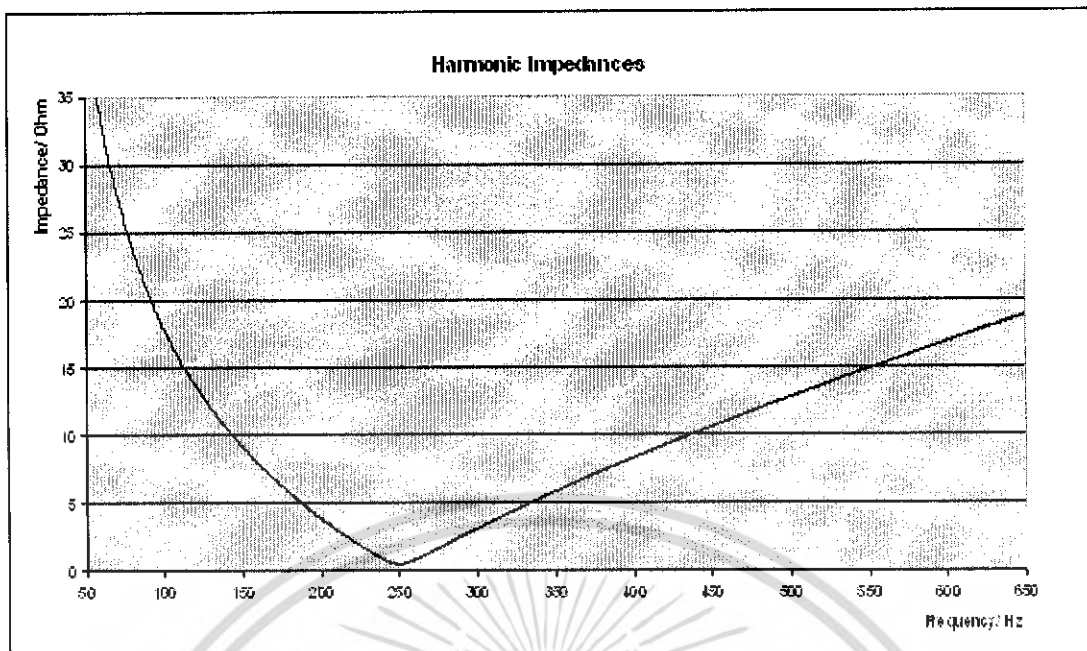
$$V_C = V_N \frac{-jX_C}{jX_L - jX_C} \quad (3.13)$$

ที่ความถี่รีโซแนนซ์กระแสฮาร์โมนิกส์มองเห็นค่าอิมพีแดนซ์ของระบบรวมหาได้จากสมการที่ (3.14) ถือว่าความต้านทานในระบบน้อยมากดังนี้

$$Z = \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega C} \quad (3.14)$$

ที่ความถี่รีโซแนนซ์จะได้ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ แทนค่าในสมการที่ (3.14) จะได้

$$Z \rightarrow 0 \quad (3.15)$$



รูปที่ 3.4 ค่าของ Z_h ที่แปรเปลี่ยนตามความถี่

การเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรมมีผลให้อิมพีแดนซ์มีค่าน้อยมาก กระแส ฮาร์โมนิกส์จะไหลเข้าสู่ฉนวน แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม L และ C เข้าสู่ฉนวนด้วย มีผลในทางปฏิบัติให้แรงดันฮาร์โมนิกส์ ณ บัสที่ต่อคาปาซิเตอร์อยู่จะสูงขึ้นประมาณ 6-20 เท่า มีผลให้เกิด dielectric losses และเกิด partial discharge กับฉนวนของคาปาซิเตอร์ การเกิดรีโซแนนซ์ทั้งสองแบบมีผลเสียหายต่อคาปาซิเตอร์ ในกรณีที่มีการใส่วงจรกรองฮาร์โมนิกส์ สามารถหา อิมพีแดนซ์ของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ในสมการที่ (3.14) ได้ และที่ความถี่รีโซแนนซ์ $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ แทนค่าในสมการที่ (3.14) ได้อิมพีแดนซ์ของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่ที่ความถี่มูลฐาน ω_0 สามารถหาอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$Z_0 = \frac{1 - \frac{\omega_0^2}{\omega_1^2}}{j\omega C} \cong \frac{1}{j\omega C} \quad (3.16)$$

หาอิมพีแดนซ์ของระบบหลังมีการติดตั้งวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ และหาความถี่ที่ทำให้เกิด parallel resonance peak (ω_2) และ cross-over point (ω_3) ดังสมการที่ (3.17)-(3.19)

$$Z = \frac{1 - \omega^2 L_F C_F}{1 - \omega^2 (L_F + L_S) C_F} j\omega L_S \quad (3.17)$$

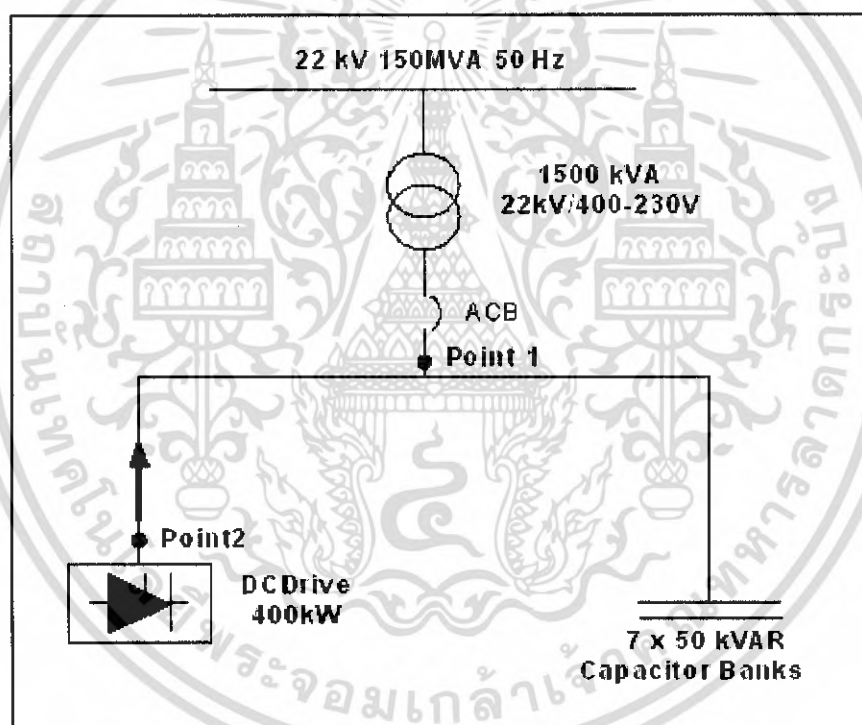
$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{C_F (L_F + L_S)}} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_3 = \frac{1}{\sqrt{L_F C_F + \frac{1}{2} L_S C_F}} \quad (3.19)$$

3.3.1 ตัวอย่างการรีโซแนนซ์แบบขนาน

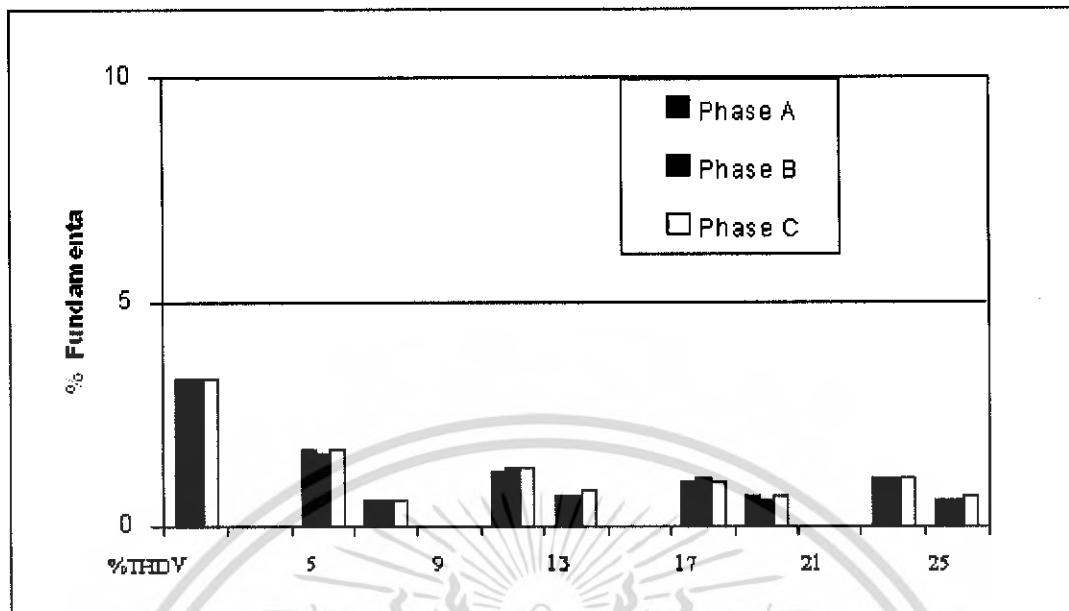
ในโรงงานประกอบด้วย DC Drives ขนาด 400 kW หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1500 kVA มีคาปาซิเตอร์ขนาด 7 x 50 kVAR ซึ่งมีภาระไฟฟ้าเป็นเครื่องฉีดยาสติก ในการทำงานมี power factor ต่ำมาก ต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกตีฟมาก ซึ่งเมื่อระบบมีการทำงานมีผลทำให้เกิดการระเบิดของ คาปาซิเตอร์และ ACB เกิด Trip ส่งผลเสียหายต่อระบบไฟฟ้าทั้งหมดในโรงงานแห่งนี้ ดังนั้นเพื่อหาสาเหตุการเกิดการ Trip ตรงนี้จึงได้วัดที่จุด Point 1 และ Point 2 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีคาปาซิเตอร์และไม่มีคาปาซิเตอร์



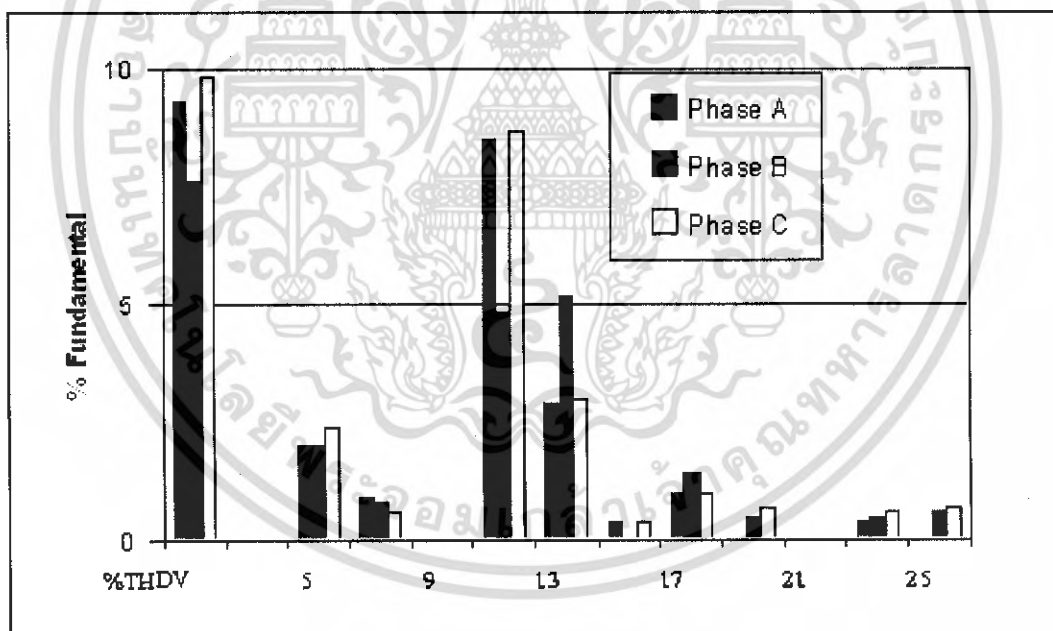
รูปที่ 3.5 การเกิดรีโซแนนซ์แบบขนานของเครื่องฉีดยาสติกขนาด 400 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัด %THDV at Point 1 (บริเวณ ACB)



รูปที่ 3.6 %THDV at MDB with off Capacitor

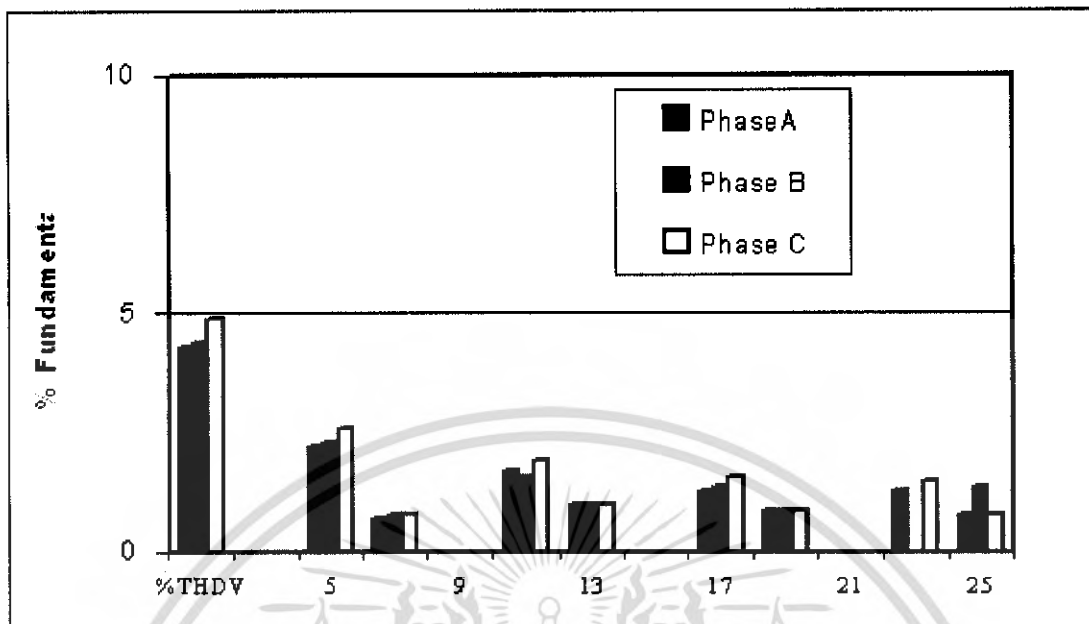


รูปที่ 3.7 %THDV at MDB with on Capacitor 350 KVAR

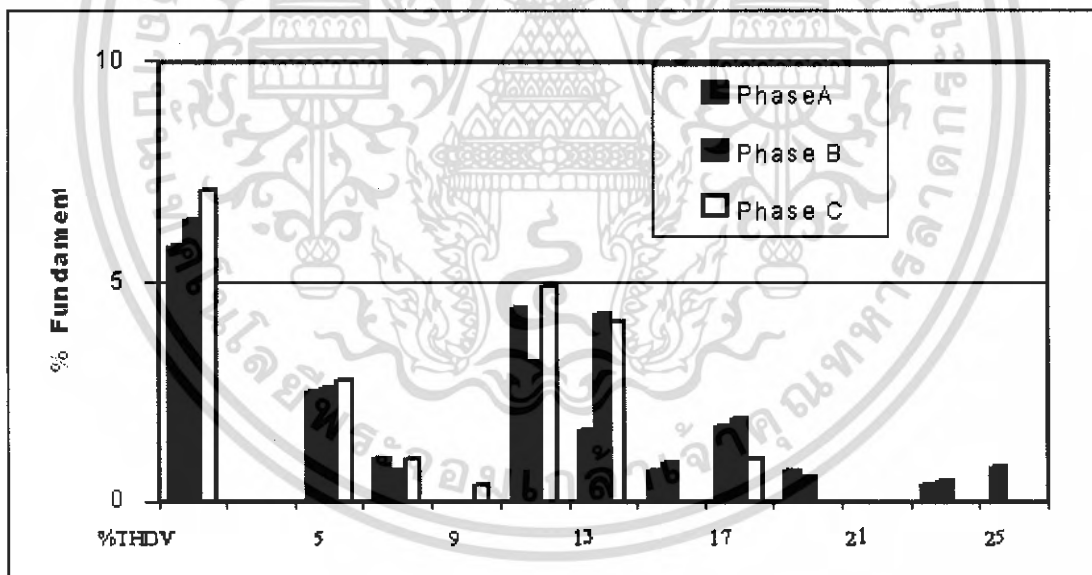
ในรูปที่ 3.6 มี %THDV = 3.8% และรูปที่ 3.7 จะมี %THDV = 8.6% โดยเมื่อใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบแล้วมีผลให้ มี %THDV สูงขึ้น เนื่องจากมีการขยายของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11 และ 13 ส่งผลให้มี %THDV สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัด %THDV at Point 2 (บริเวณ 400 kW DC Motor)



รูปที่ 3.8 %THDV at Load 400kW with off Capacitor

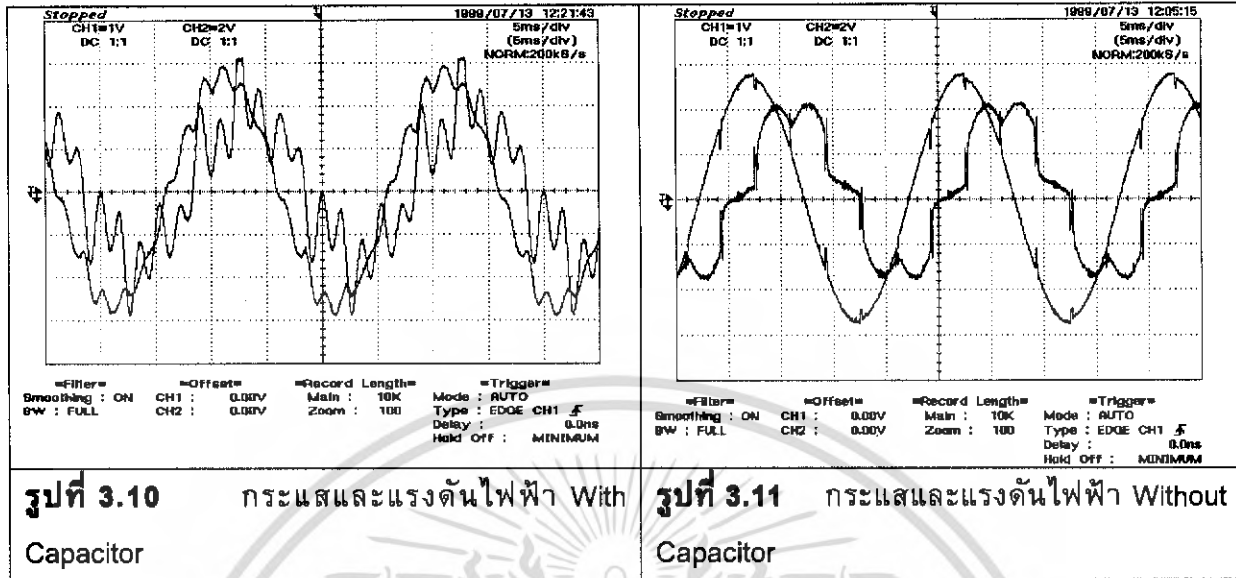


รูปที่ 3.9 %THDV at Load 400kW with on Capacitor 350 kVAR

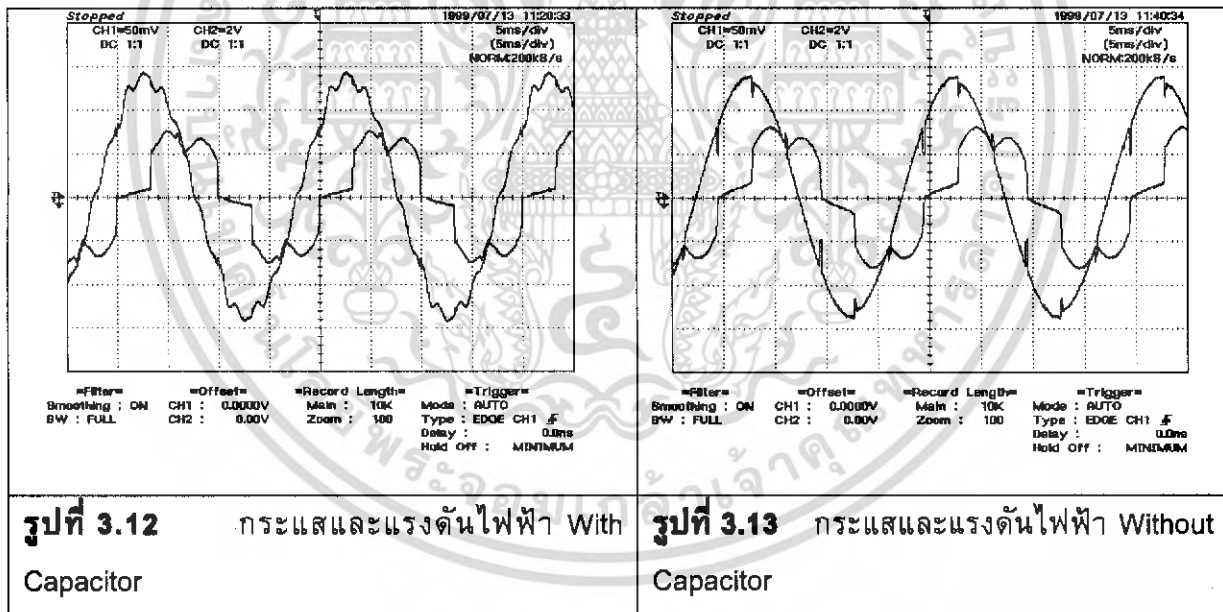
ในรูปที่ 3.8 มี %THDV = 4.5% และรูปที่ 3.9 จะมี %THDV = 6.2% โดยเมื่อใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบแล้วมีผลให้ มี %THDV สูงขึ้น เนื่องจากการขยายของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11 และ 13 ส่งผลให้มี %THDV สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัด Waveform at Point 1 (บริเวณ ACB)

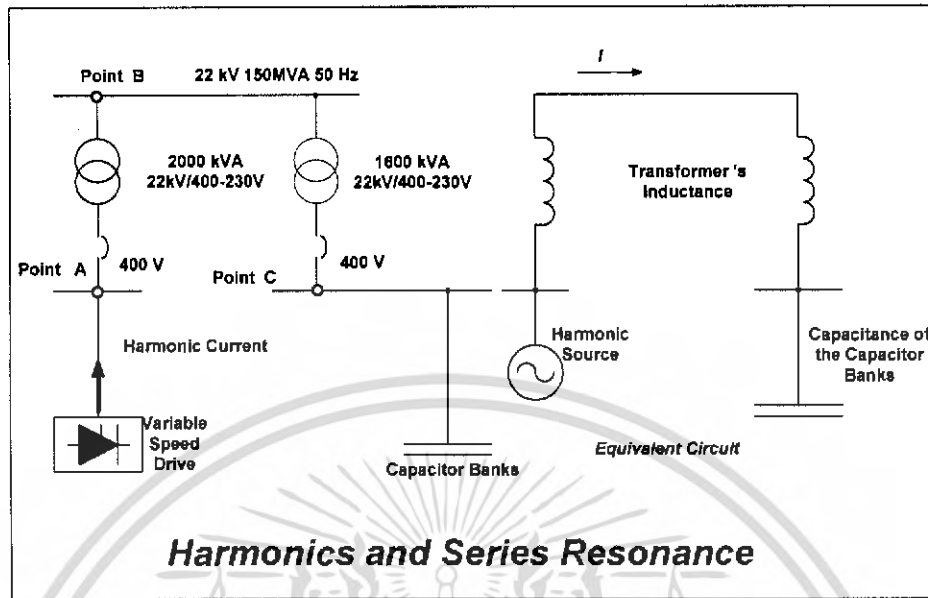


ผลการวัด Waveform at Point 2 (บริเวณ 400 kW DC Motor)



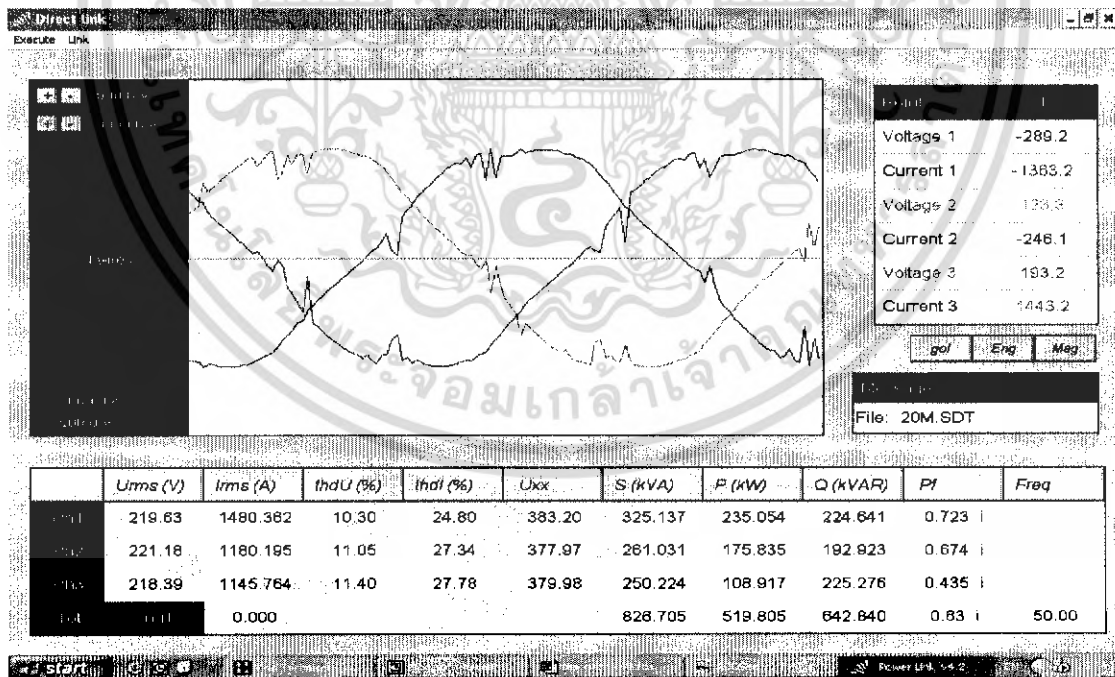
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตัวอย่างการรีโซแนนซ์แบบอนุกรม



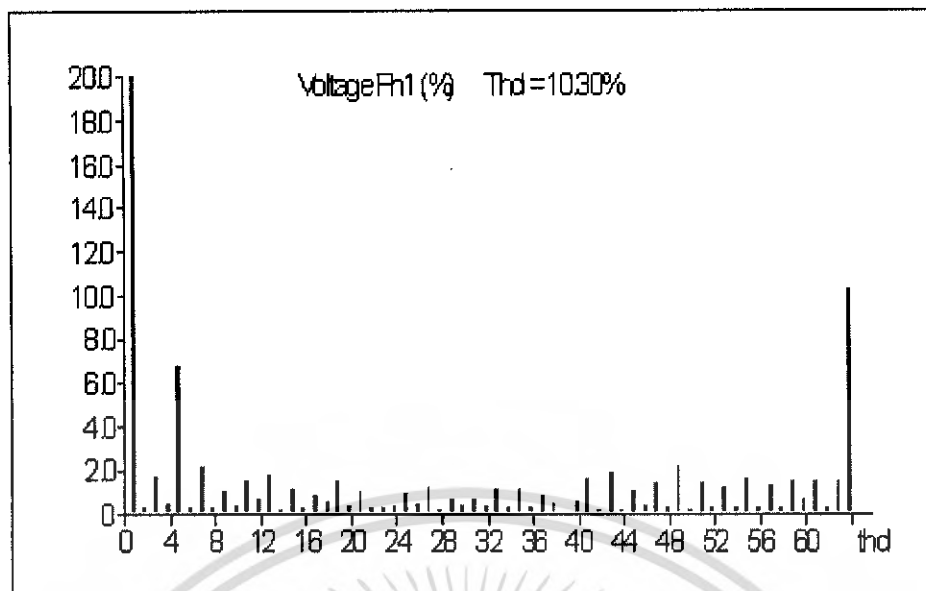
รูปที่ 3.14 การเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรมและวงจรสมมูล

วัดที่จุด A

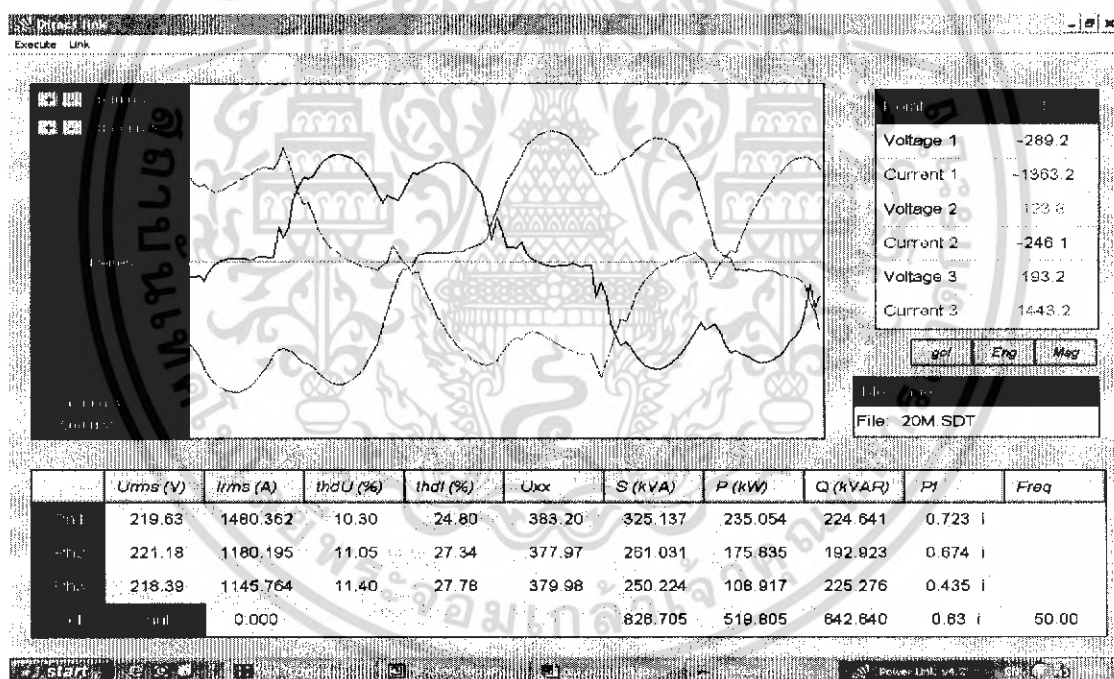


รูปที่ 3.15 แรงแดันไฟฟ้าวัดที่จุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

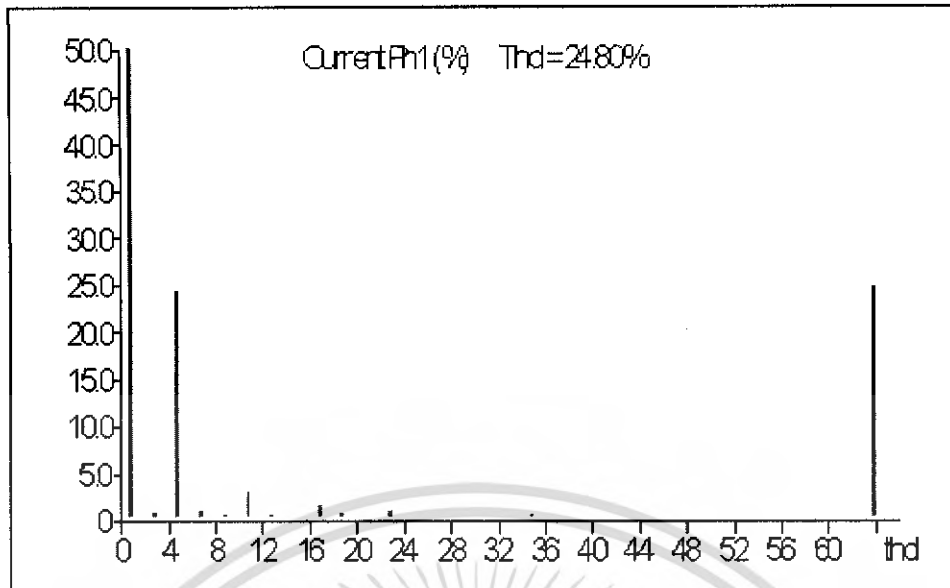


รูปที่ 3.16 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่จุด A



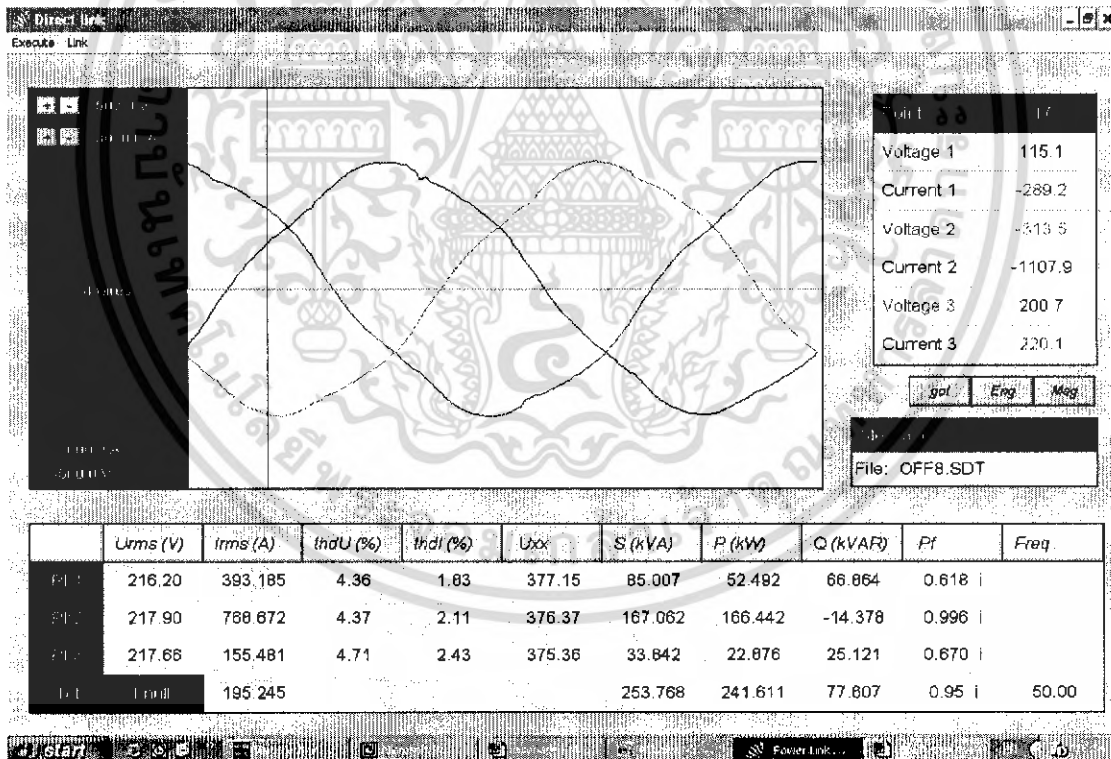
รูปที่ 3.17 กระแสไฟฟ้าวัดที่จุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



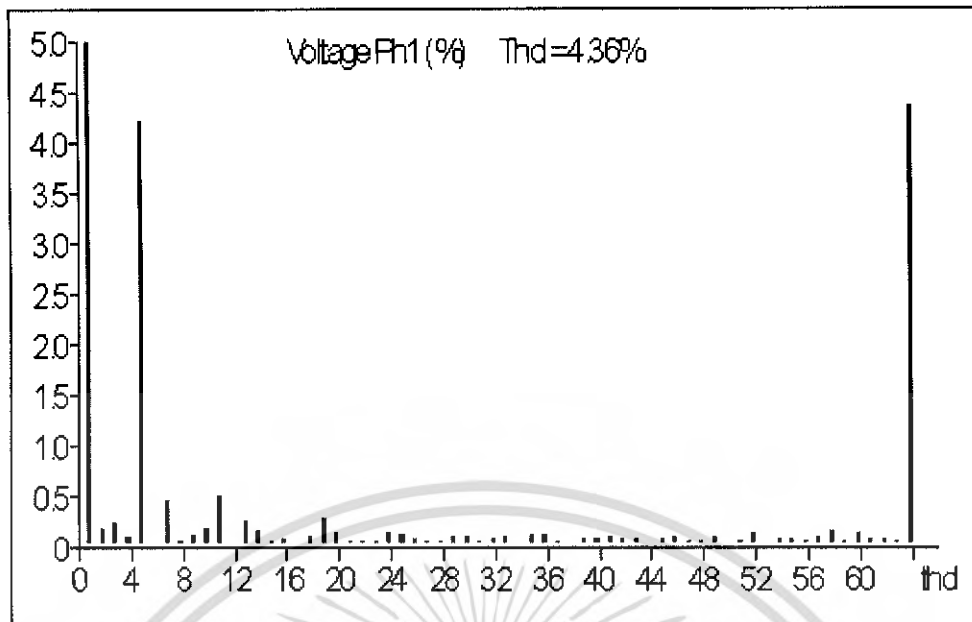
รูปที่ 3.18 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่จุด A

วัดที่จุด C

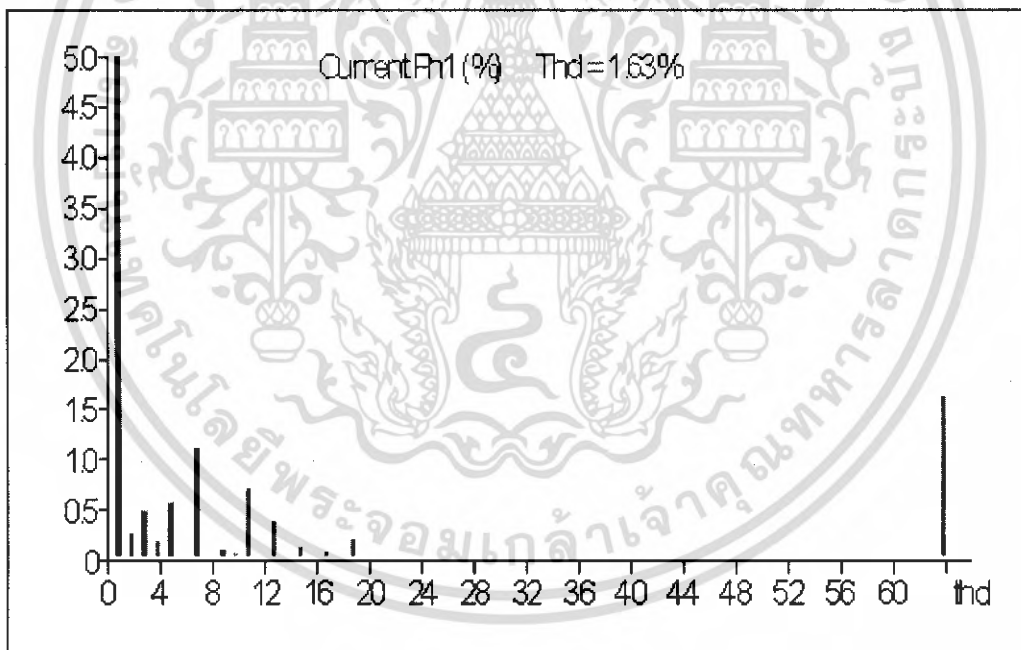


รูปที่ 3.19 แรงดันไฟฟ้าที่จุด C without Capacitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

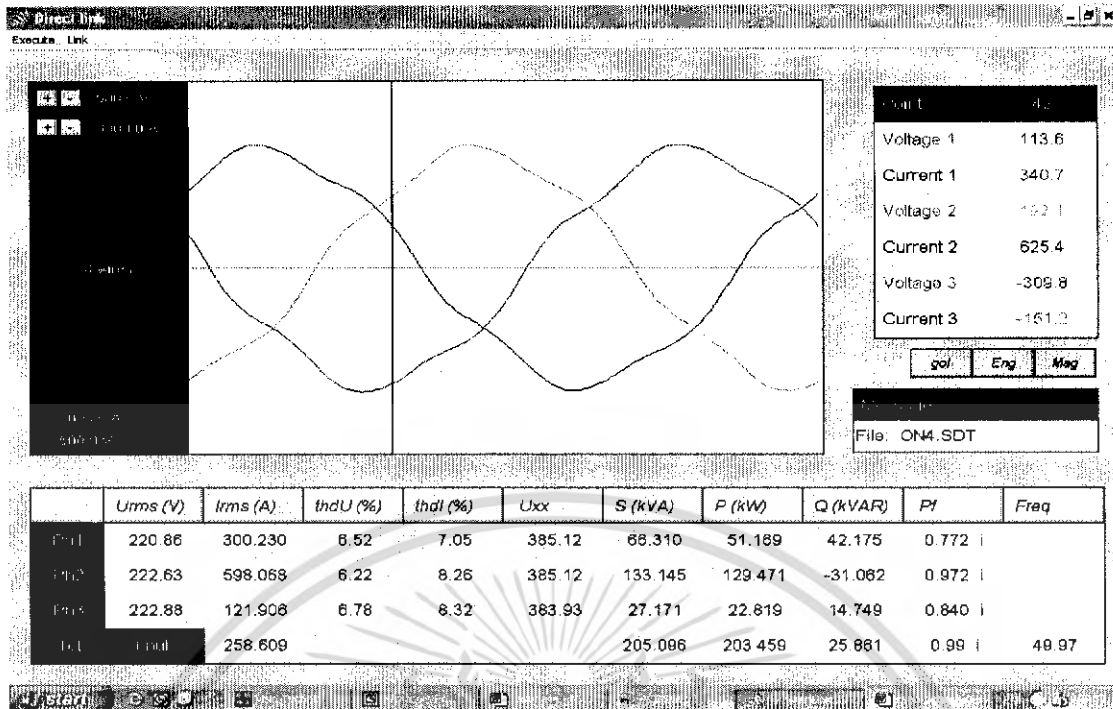


รูปที่ 3.20 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่จุด C without Capacitor



รูปที่ 3.21 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่จุด C without Capacitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

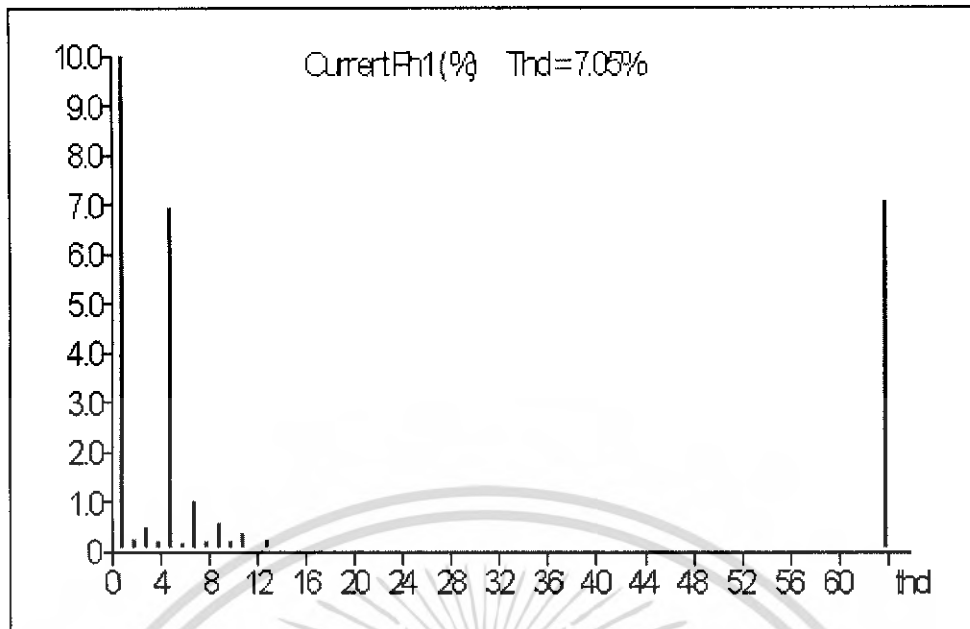


รูปที่ 3.22 แรงดันไฟฟ้าที่จุด C with Capacitor



รูปที่ 3.23 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่จุด C with Capacitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่จุด C with Capacitor

ในรูปที่ 3.15 DC Drives ที่ bus 400 V เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ มี %THDv ประมาณ 10.3% และ %THDi ประมาณ 24.8% และในรูปที่ 3.16-3.18 มีแรงดันฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ประมาณ 7% และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ประมาณ 23% ซึ่งปริมาณฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นที่ 400 V จะไหลขึ้นไปที่ 22 kV และวัด %THDv ประมาณ 4 % และที่ bus 22 kV มีหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1600 KVA ซึ่งหม้อแปลงนี้มีการไฟฟ้าปกติไม่มีฮาร์โมนิกส์ ซึ่งยืนยันได้จากผลการวัดในรูปที่ 3.19 เป็นข้อมูลการวัดที่จุด C เป็นสภาพของระบบที่ไม่มีคาปาซิเตอร์ โดยมี %THDi = 1.63 -2.43 และมี %THDv = 4.37-4.71 คู่สเปกตรัมในรูปที่ 3.20-3.21 มีแรงดันฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ประมาณ 4.3% และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7 ประมาณ 1.2% ใช้เวลาวัดประมาณ 1 วันและมีการเปิดภาระไฟฟ้าทั้งหมด เป็นการยืนยันว่าภาระไฟฟ้าในหม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีฮาร์โมนิกส์

แต่ถ้าใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบ มีการเปิดภาระไฟฟ้าทั้งหมดและใช้เวลาวัดประมาณ 1 วันเช่นกันได้ผลแสดงในรูปที่ 3.22 โดยมี %THDi = 7.05-8.32 และมี %THDv = 6.22 -6.88 คู่สเปกตรัมในรูปที่ 3.23-3.24 มีแรงดันฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ประมาณ 6.5% และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ประมาณ 6.8 % กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7 ประมาณ 1.2% ซึ่งเท่ากับตอนที่ไม่มีใส่คาปาซิเตอร์ แสดงให้เห็นว่ามีการริโซแนนซ์เกิดขึ้นในระบบ

3.4 ผลที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์

เมื่อก้าวถึงผลเสียหายที่เกิดขึ้นและมีส่วนเกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์ ต้องนึกถึงการเกิดระเบิดที่รุนแรงของคาปาซิเตอร์และส่งผลเสียหายกับระบบไฟฟ้า ทำให้ ACB (air circuit breaker) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำเกิดการตัดตอนออกจากระบบไฟฟ้า จะกระทบต่อขบวนการผลิตในทางอุตสาหกรรมหรือในโรงงานดังตัวอย่างในรูปที่ 3.25 เป็นการระเบิดของตู้คาปาซิเตอร์ที่รุนแรงมาก



รูปที่ 3.25 สภาพการระเบิดของตู้คาปาซิเตอร์



รูปที่ 3.26 สภาพของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าฟิวส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และโครงสร้างของวงจรงรองฮาร์โมนิกส์แบบดิจิ้น 7%

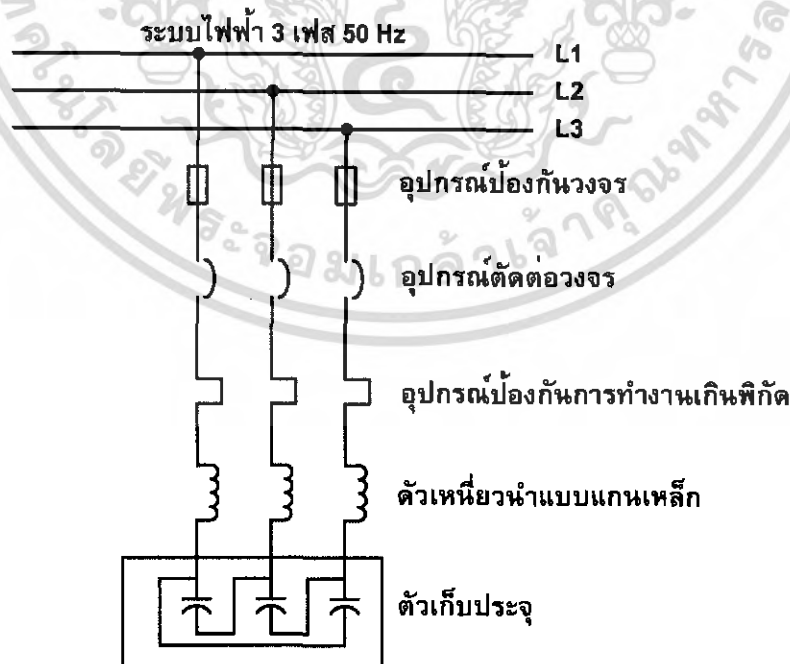
4.1 โครงสร้างและหน้าที่ของตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบดิจิ้น 7%

โครงสร้างของตัวกรองฮาร์โมนิกส์จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีส่วนประกอบคือ

- 1) ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็ก ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้ร่วมกับตัวเก็บประจุโดยเฉพาะ มีความเป็นเชิงเส้นดี สนามแม่เหล็กไม่อิ่มตัวขณะใช้งานปกติ ทำหน้าที่กรองกระแสฮาร์โมนิกส์ และทนต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวมันเองได้
- 2) ตัวเก็บประจุหรือคาปาซิเตอร์ ที่พิกัดแรงดันต่าง ๆ
- 3) อุปกรณ์ตัดต่อวงจร ใช้ตัดต่อวงจรตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์
- 4) อุปกรณ์ป้องกันวงจร ใช้ป้องกันการลัดวงจรของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์
- 5) อุปกรณ์ป้องกันการทำงานเกินพิกัดของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไหลผ่านตัวกรองเกินพิกัดที่กำหนดไว้

ตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์มีหน้าที่หลักที่สำคัญ 2 ประการคือ

- 1) กรองกระแสฮาร์โมนิกส์และลดแรงดันฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด
- 2) จ่ายกำลังชดเชยรีแอกทีฟที่ความถี่หลักมูลให้กับระบบไฟฟ้า เพื่อชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต้องการ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์

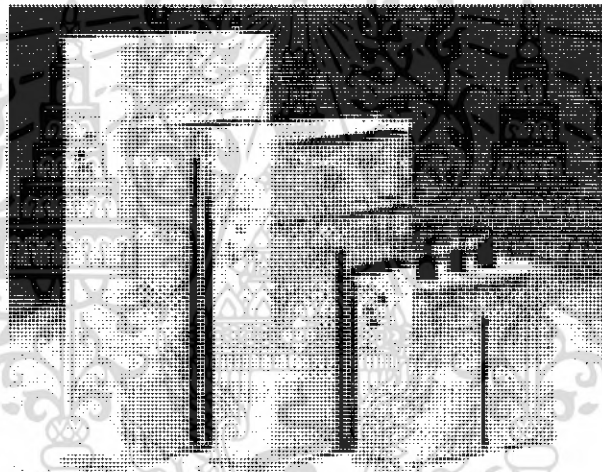
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์ของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%

4.2.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitors)

ตัวเก็บประจุกำลังจะประกอบไปด้วยส่วยประกอบต่างๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นกว่าตัวเก็บประจุโดยทั่วไป เพราะให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานที่แรงดันสูง โดยเฉพาะวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีขนาดบางมากและต้องทนต่อความเครียดทางไฟฟ้าสูงได้ ตัวเก็บประจุกำลังมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้าได้ รูปที่ 4.2 แสดงตัวเก็บประจุกำลังที่ใช้ในการปรับค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction Capacitor)

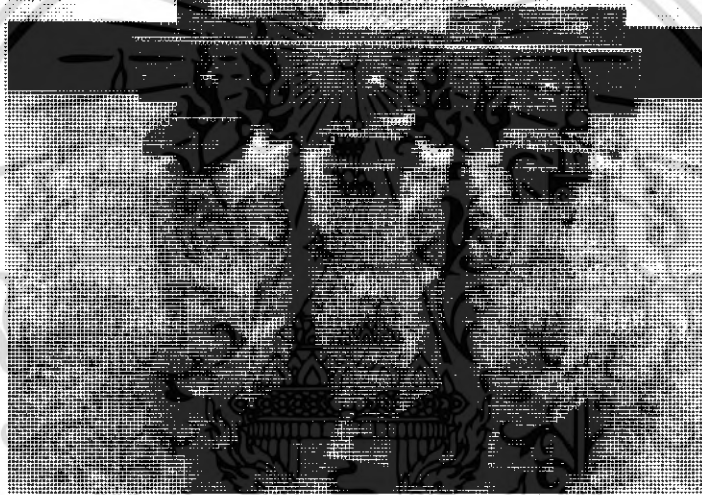
ในปัจจุบันการผลิตตัวเก็บประจุกำลัง ได้มีการผลิตให้มีประสิทธิภาพดีกว่าในอดีตมาก จึงทำให้ตัวเก็บประจุกำลังมีคุณภาพดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการพัฒนาและการปรับปรุงวัสดุไดอิเล็กตริกให้มีคุณภาพดีขึ้น รวมถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงทำให้ตัวเก็บประจุกำลังมีคุณภาพที่ดี และขนาดที่เพิ่มขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งเป็นผลให้ตัวเก็บประจุกำลังมีราคาต่อกิโลวาร์ (Cost per KVAR) ต่ำและมีความเหมาะสมในการทำงานมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.2 ตัวเก็บประจุกำลังที่ใช้ปรับค่าตัวประกอบกำลัง

4.2.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Reactor)

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่มีองค์ประกอบเดียว คือ ขดลวดทองแดงพันอยู่บนแกนซึ่งแกนของขดลวดนั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบแกนเหล็ก และแบบแกนอากาศ แกนทั้ง 2 แบบนี้จะทำให้ตัวเหนี่ยวนำมีคุณสมบัติการทำงานแตกต่างกัน ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็กสามารถเกิดการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านตัวมันได้ แต่ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศจะไม่เกิดการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็ก การอิ่มตัวของสนามแม่เหล็กของตัวเหนี่ยวนำนั้นจะเป็นข้อจำกัดในการทำงานของตัวเหนี่ยวนำด้วย คุณสมบัติอีกประการของตัวเหนี่ยวนำคือสามารถรับกำลังงานรีแอกทีฟที่เป็นส่วนเกินในระบบไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวมันได้ เพื่อไม่ให้แรงดันในระบบเกินค่าพิกัดจึงถูกนำมาใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพให้ระบบไฟฟ้า รูปที่ 4.3 แสดงตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็ก 3 เฟส



รูปที่ 4.3 ภาพของตัวเหนี่ยวนำกำลัง

ตัวอย่าง ลักษณะของตัวเหนี่ยวนำที่นิยมนำมาใช้ในวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ ซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามระดับพิกัดการนำไปใช้งาน ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4.1-4.4
Filter Reactor 7th

Typ E155776 Nr 9710757 VDE 0532 LN/mH 0.056 UN/V 400 IP 00 IN/A 287
I_{rms}/A 342.5 ED/% 100 fN/Hz 50 1997

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Impedance, Resistance และค่า Inductance ที่ความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7

f (Hz)	Z (mΩ)	θ (องศา)	R (mΩ)	X(mΩ)	Rs (mΩ)	Ls (uH)
100	188.84	8.64	205.86	28.82	172.43	45.34
150	197.40	11.96	205.11	37.50	172.86	39.88
200	197.66	15.38	202.70	53.01	172.80	40.53
250	202.51	18.55	203.21	64.87	171.25	40.58
300	206.63	22.05	198.70	79.88	173.46	40.64
350	213.16	25.38	202.77	88.89	171.40	41.03
400	217.11	28.40	203.28	102.78	172.22	40.72
450	225.20	31.02	203.82	114.86	172.78	40.25
500	230.50	33.65	204.01	128.13	173.94	40.98
550	238.63	36.03	205.11	140.43	172.10	40.99
600	248.53	38.44	205.39	152.91	173.80	40.67
650	253.95	40.45	203.50	166.20	174.61	40.36
700	262.93	42.95	203.03	177.66	174.72	40.20
750	274.56	44.52	205.48	190.92	176.26	40.14
800	282.45	46.63	205.72	201.28	174.94	40.57
900	300.26	49.41	205.60	227.13	175.95	40.44
1000	316.76	51.61	205.11	249.70	175.04	40.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Power loss ที่พิกัดกระแสและความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7

f (Hz)	R _s (mΩ)	I _{rms} (A)							
	P _{loss} (kW)	50	100	150	200	250	300	350	400
100	R _s (mΩ)	172.43	172.43	172.43	172.43	172.43	172.43	172.43	172.43
	P _{loss} (kW)	0.43	1.72	3.88	6.90	10.78	15.52	21.12	27.59
150	R _s (mΩ)	172.85	172.85	172.85	172.85	172.85	172.85	172.85	172.85
	P _{loss} (kW)	0.43	1.73	3.89	6.91	10.80	15.56	21.17	27.66
200	R _s (mΩ)	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80	172.80
	P _{loss} (kW)	0.43	1.73	3.89	6.91	10.80	15.55	21.17	27.65
250	R _s (mΩ)	171.25	171.25	171.25	171.25	171.25	171.25	171.25	171.25
	P _{loss} (kW)	0.43	1.71	3.85	6.85	10.70	15.41	20.98	27.40
300	R _s (mΩ)	173.46	173.46	173.46	173.46	173.46	173.46	173.46	173.46
	P _{loss} (kW)	0.43	1.73	3.90	6.94	10.84	15.61	21.25	27.75
350	R _s (mΩ)	171.40	171.40	171.40	171.40	171.40	171.40	171.40	171.40
	P _{loss} (kW)	0.43	1.71	3.86	6.86	10.71	15.43	21.00	27.42
400	R _s (mΩ)	172.22	172.22	172.22	172.22	172.22	172.22	172.22	172.22
	P _{loss} (kW)	0.43	1.72	3.87	6.89	10.76	15.50	21.10	27.56
450	R _s (mΩ)	172.78	172.78	172.78	172.78	172.78	172.78	172.78	172.78
	P _{loss} (kW)	0.43	1.72	3.89	6.91	10.80	15.56	21.17	27.64
500	R _s (mΩ)	173.94	173.94	173.94	173.94	173.94	173.94	173.94	173.94
	P _{loss} (kW)	0.43	1.74	3.91	6.96	10.87	15.65	21.31	27.83
550	R _s (mΩ)	172.10	172.10	172.10	172.10	172.10	172.10	172.10	172.10
	P _{loss} (kW)	0.43	1.72	3.87	6.88	10.76	15.50	21.08	27.54
600	R _s (mΩ)	173.80	173.80	173.80	173.80	173.80	173.80	173.80	173.80
	P _{loss} (kW)	0.43	1.74	3.91	6.95	10.86	15.64	21.29	27.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter Reactor 11th

Typ E155777 Nr 9711197 VDE 0532 LN/mH 0.023 UN/V 400 IP 00 IN/A 128.4
 I_{rms}/A 311.5 ED/% 100 fN/Hz 50 1997

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Impedance, Resistance และค่า Inductance ที่ความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11

f (Hz)	Z (Ω)	θ (องศา)	R (m Ω)	X(m Ω)	Rs (m Ω)	Ls (μ H)
100	141.08	5.00	141.98	10.46	142.01	22.18
150	142.52	7.33	139.34	13.57	141.01	16.40
200	142.46	9.11	139.98	18.33	143.03	16.70
250	142.70	9.85	140.69	23.24	135.42	15.92
300	145.36	11.81	137.95	30.70	140.57	16.15
350	145.48	13.93	141.42	35.43	141.42	14.98
400	145.61	16.08	141.06	40.43	141.03	16.19
450	146.68	17.63	141.18	45.82	142.20	15.60
500	149.11	19.46	141.48	49.06	141.50	16.10
550	153.02	20.46	142.12	53.60	143.20	16.10
600	153.76	22.22	140.30	58.54	142.60	15.75
650	155.48	25.44	140.35	64.70	141.76	16.03
700	157.10	25.44	141.48	68.78	142.02	15.21
750	159.92	27.58	143.01	73.30	143.01	15.83
800	162.03	28.75	143.19	76.73	142.73	15.46
900	161.48	34.67	142.62	88.30	142.73	15.56
1000	169.19	31.99	144.01	94.01	144.50	15.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Power loss ที่พิกัดกระแสและความถี่ต่างๆ ของตัวอย่าง Reactor ที่ใช้
กรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11

f (Hz)	R _s (mΩ)	I _{rms} (A)							
		50	100	150	200	250	300	350	400
100	R _s (mΩ)	141.98	141.98	141.98	141.98	141.98	141.98	141.98	141.98
	P _{loss} (kW)	0.35	1.42	3.19	5.68	8.87	12.78	17.39	22.72
150	R _s (mΩ)	139.34	139.34	139.34	139.34	139.34	139.34	139.34	139.34
	P _{loss} (kW)	0.35	1.39	3.14	5.57	8.71	12.54	17.07	22.29
200	R _s (mΩ)	139.98	139.98	139.98	139.98	139.98	139.98	139.98	139.98
	P _{loss} (kW)	0.35	1.40	3.15	5.60	8.75	12.60	17.15	22.40
250	R _s (mΩ)	140.69	140.69	140.69	140.69	140.69	140.69	140.69	140.69
	P _{loss} (kW)	0.35	1.41	3.17	5.63	8.80	12.66	17.23	22.51
300	R _s (mΩ)	137.95	137.95	137.95	137.95	137.95	137.95	137.95	137.95
	P _{loss} (kW)	0.34	1.38	3.10	5.52	8.62	12.42	16.90	22.07
350	R _s (mΩ)	141.42	141.42	141.42	141.42	141.42	141.42	141.42	141.42
	P _{loss} (kW)	0.35	1.41	3.18	5.66	8.84	12.73	17.32	22.63
400	R _s (mΩ)	141.06	141.06	141.06	141.06	141.06	141.06	141.06	141.06
	P _{loss} (kW)	0.35	1.41	3.17	5.64	8.82	12.70	17.28	22.57
450	R _s (mΩ)	141.18	141.18	141.18	141.18	141.18	141.18	141.18	141.18
	P _{loss} (kW)	0.35	1.41	3.18	5.65	8.82	12.71	17.29	22.29
500	R _s (mΩ)	141.48	141.48	141.48	141.48	141.48	141.48	141.48	141.48
	P _{loss} (kW)	0.35	1.41	3.18	5.67	8.84	12.73	17.33	22.64
550	R _s (mΩ)	142.12	142.12	142.12	142.12	142.12	142.12	142.12	142.12
	P _{loss} (kW)	0.36	1.42	3.20	5.68	8.88	12.79	17.41	22.74
600	R _s (mΩ)	140.30	140.30	140.30	140.30	140.30	140.30	140.30	140.30
	P _{loss} (kW)	0.35	1.40	3.16	5.61	8.77	12.63	17.19	22.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

หลักการพื้นฐานและการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบดิจิตอล 7%

ในระบบไฟฟ้าที่มีกระแสฮาร์มอนิกส์ไหลในระบบจะก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าขึ้นมากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกรองกระแสฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ไหลอยู่ในระบบไฟฟ้าออก โดยการใช้ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกส์ เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพให้กับระบบรวมถึงการมีคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย

5.1 การชดเชยกำลังไฟฟ้านอกทีฟ

ในระบบไฟฟ้าปัจจุบันการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกส์และการชดเชยกำลังไฟฟ้านอกทีฟจะกระทำควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากการชดเชยกำลังไฟฟ้านอกทีฟเป็นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้ดีขึ้น และทำให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพและประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

ปัญหาจากฮาร์มอนิกส์ลำดับที่พบในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น มักมีระดับความรุนแรงต่างกัน และวิธีการแก้ไขก็จะแตกต่างกันออกไปด้วย

ประโยชน์จากการชดเชยกำลังไฟฟ้านอกทีฟ

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีข้อดีดังนี้

- 1) หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น
- 2) ปรับปรุงระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น ลดแรงดันตกคร่อมในสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า
- 3) ลดความสูญเสียในสายส่ง หม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ
- 4) ลดขนาดของสายส่งให้มีขนาดเล็กลง

5.2 การวัดค่าฮาร์มอนิกส์และข้อมูลพื้นฐานที่ควรทราบ

ในการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกส์จำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลพื้นฐานต่างๆ และข้อมูลของฮาร์มอนิกส์ลำดับที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า เพื่อที่จะได้ทำการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกส์ได้ถูกต้อง ในการวัดค่าฮาร์มอนิกส์ต้องอาศัยความชำนาญในการหาตำแหน่งที่ถูกต้อง ปลอดภัยและเก็บข้อมูลได้ครบถ้วน เพื่อจะได้นำไปวิเคราะห์และออกแบบได้ถูกต้อง ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานที่ต้องใช้ในการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกส์มีดังนี้

1) พิกัดแรงดันไฟฟ้า (rated voltage) พิกัดแรงดันไฟฟ้าใช้งาน (operating voltage) และเงื่อนไขทางคุณสมบัติของคุณภาพไฟฟ้า (power quality) เช่น ช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของภาระไฟฟ้า เป็นต้น

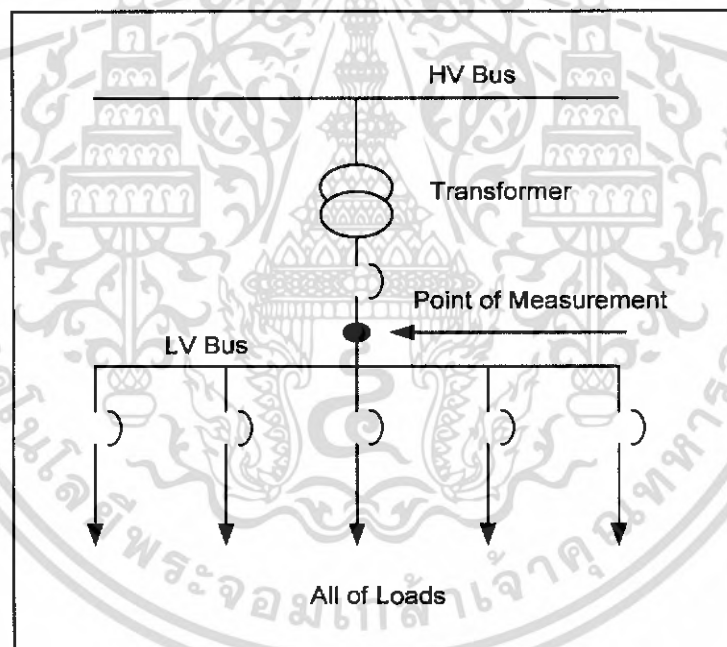
2) กำลังไฟฟ้านอกทีฟที่ระบบต้องการที่ความถี่พื้นฐาน

3) Single line diagram ของระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้า

ภายใน (co-generator) ระบบบริเลย์ เป็นต้น

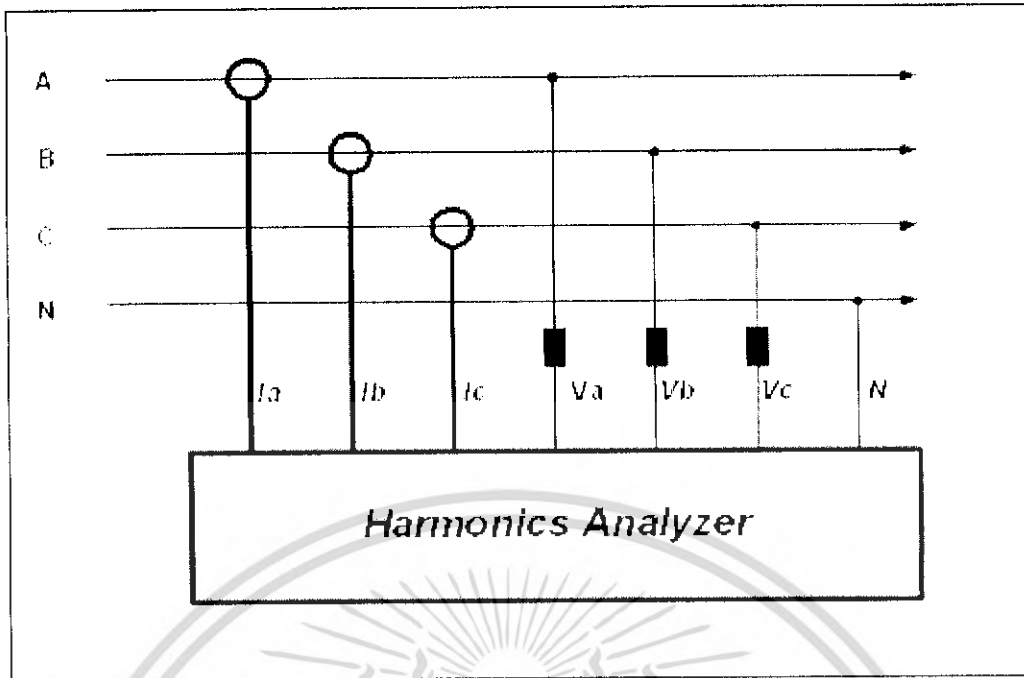
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) รายละเอียดของภาระไฟฟ้าและแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ เช่น 6-pulse rectifier เป็นต้น
- 5) รายละเอียดของการเกิดฮาร์โมนิกส์ อันดับ แอมปริจูด ทั้งในทางทฤษฎีและการวัดจริงที่เวลาต่างๆ อาจใช้เวลา 1 ชั่วโมง หรือ 1 วัน หรือ 1 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้วัด
- 6) ระดับของ short circuit level ของโครงข่ายระบบไฟฟ้าและช่วงที่มีการเปลี่ยนโครงข่ายระบบไฟฟ้า
- 7) ความต้องการของผู้ใช้หรือระบบว่าต้องการ %THDv และ %THDi ของฮาร์โมนิกส์ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆ
- 8) ความต้องการของผู้ใช้ที่จะติดตั้งวงจรรองฮาร์โมนิกส์ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า เช่น 400 V หรือ 22 kV เป็นต้น
- 9) ในกรณีทีติดตั้งวงจรรองฮาร์โมนิกส์ลำดับที่แรงดันสูงในระดับ high voltage จะมีลักษณะการติดตั้งอยู่ 2 แบบคือ ติดตั้งในร่วมกับติดตั้งกลางแจ้ง



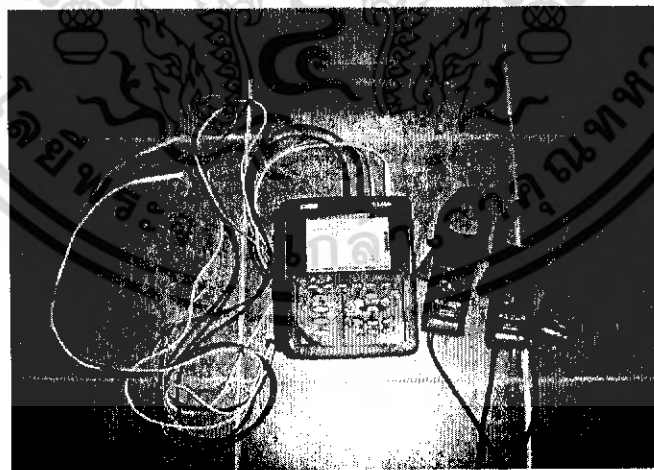
รูปที่ 5.1 Single line diagram ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะทำการวัด Harmonic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การต่อเครื่องมือที่จะทำการวัดค่า Harmonic

ในรูปที่ 5.1 เป็นการเลือกตำแหน่งการวัดฮาร์โมนิกส์ ที่ตำแหน่งหลัง ACB (air circuit breaker) เพื่อตรวจสอบและบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์ หลังจากนั้นนำเครื่องมือวัดฮาร์โมนิกส์มาต่อดังในรูปที่ 5.2 สำหรับเครื่องมือที่นำมาวัดที่ดี ต้องใช้ชนิดที่วัดพร้อมกันทั้งสามเฟสดังในรูปที่ 5.3-5.5

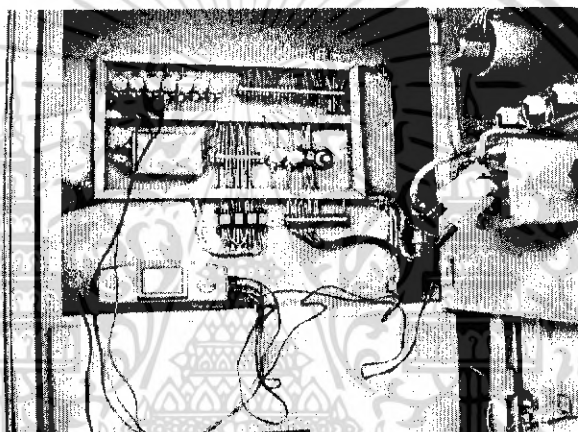


รูปที่ 5.3 เครื่องวัด 3-phase power quality analyzer Model CA 8334 ของ Chauvin Arnoux

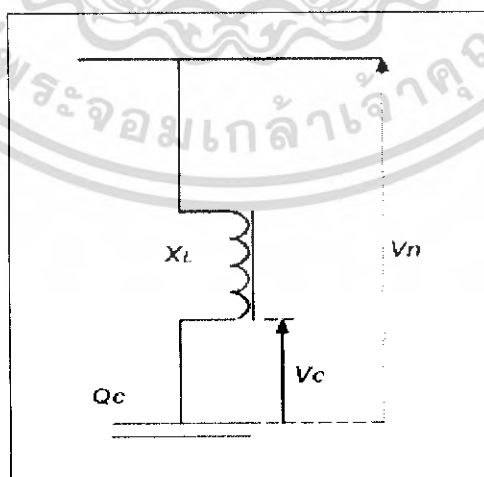
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 เครื่องวัด 3-phase power quality analyzer ขณะวัดข้อมูลทางไฟฟ้าและฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 5.5 การเชื่อมต่อเครื่องวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel โดยใช้ CT 5A/1V วัดที่หน้าตู้ MDB



รูปที่ 5.6 ตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบ Single-tuned

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์โดยการใช่วงจร Blocking หรือ Detune

เป็นการนำรีแอกเตอร์ที่มีค่า Reactance เป็น 6% หรือ 7% ของค่า Reactance ของคาปาซิเตอร์ มาต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ ในทางปฏิบัติใช้ p แทนขนาดของรีแอกเตอร์ เช่น รีแอกเตอร์ 7% แทนด้วย $p = 7$ เป็นต้น

เมื่อใส่รีแอกเตอร์ขนาด 6% สามารถหาความถี่ที่สอดคล้องกับคาปาซิเตอร์ได้จากสมการที่ (5.1) เมื่อแทนค่า $p = 6$ และให้ค่า $\frac{X_C}{X_L} = \frac{100}{6}$ จะได้ค่าความถี่เป็น 204 Hz และเมื่อแทนค่า $p = 7$ จะได้ค่าความถี่เป็น 189 Hz ซึ่งทั้งสองค่าไม่ตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์ จึงไม่เกิดรีโซแนนซ์ ซึ่งทำให้คาปาซิเตอร์ปลอดภัยไม่เกิดความเสียหาย

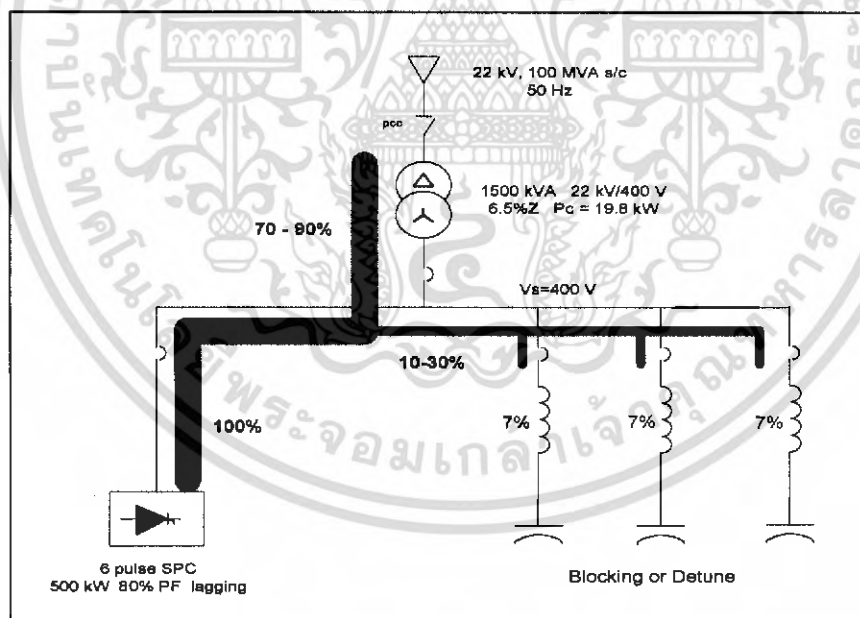
$$f_s = f_n \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (5.1)$$

เมื่อ f_s = ความถี่รีโซแนนซ์ระหว่างรีแอกเตอร์

f_n = ความถี่มูลฐาน

X_C = ค่า Reactance ของคาปาซิเตอร์

X_L = ค่า Reactance ของรีแอกเตอร์



รูปที่ 5.7 การใช้รีแอกเตอร์ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์แบบ Blocking หรือ Detuned

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณค่าส่วนประกอบของตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%

ในการออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% นั้น จำเป็นจะต้องมีข้อมูลและหลักการคำนวณที่ถูกต้อง เพื่อที่จะได้ทำการออกแบบวงจรที่จะนำมาแก้ไขปัญหาฮาร์โมนิกส์ได้ถูกต้องและไม่ก่อให้เกิดปัญหาเพิ่มเติมให้กับระบบไฟฟ้าที่ต้องการแก้ไขต่อไป จากรูปที่ 5.6 ขั้นตอนการออกแบบตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% มีดังนี้

1) กำหนดค่าพิคตแรงดันและค่าความถี่หลักมูลของระบบไฟฟ้าที่จะทำการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์ ว่ามีค่าเท่าใด

2) กำหนดค่ากำลังงานไฟฟ้รีแอกทีฟ ($Q_{\text{compensate}}$) ที่ระบบต้องการ และตรวจสอบว่าค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟในระบบว่าค่าเท่าใด (ได้จากกรวัด) จากนั้นหาค่า $Q_{\text{ชดเชย}}$ จากสมการที่ (5.2) และสมการที่ (5.3)

$$Q_{\text{ชดเชย}} = Q_{\text{compensate}} - Q_{\text{ที่มีในระบบ}} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{compensate}} &= Q_{\text{total load}} \\ &= \sqrt{3}VI \sin \theta \\ &= kW(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \end{aligned} \quad (5.3)$$

โดยที่ kW = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงในระบบ
 θ_1 = มุมของตัวประกอบกำลังเดิม
 θ_2 = มุมของตัวประกอบกำลังใหม่

3) นำค่า $Q_{\text{ชดเชย}}$ มาพิจารณหาจำนวนของชุดกรองกระแสฮาร์โมนิกส์ โดยพิจารณาจากข้อมูลของกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เกิดขึ้นในระบบ และค่ากระแสฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n ที่เกิดในระบบหาได้จากสมการที่ (5.4)

$$I_{hn} = \%THDi_n \times I_{\text{Fundamental}} \quad (5.4)$$

เมื่อ I_{hn} = กระแสฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n
 $\%THDi_n$ = เปอร์เซนต์กระแสฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n
 $I_{\text{Fundamental}}$ = ค่ากระแสใช้งานปกติ

4) หาขนาดพิคตของตัวเก็บประจุได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_n &= V_C + V_L \\ &= I(X_C - X_L) \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$p = \frac{Q_C}{Q_L} \times 100 \% \quad (5.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_n = V_c \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (5.7)$$

$$V_c = \frac{V_n}{1 - \frac{p}{100}} \quad (5.8)$$

$$Q_c = \frac{V_c^2}{X_c} \quad (5.9)$$

$$Q_L = \frac{V_L^2}{X_L} \quad (5.10)$$

$$Q_{C1} = \frac{V_{n1}^2}{X_c} ; X_L = 0 \quad (5.11)$$

$$Q_{C2} = \frac{V_{n2}^2}{X_c - X_L} \quad (5.12)$$

$$\frac{Q_{C2}}{Q_{C1}} = \left(\frac{V_{C2}^2}{V_{C1}^2}\right) \frac{1}{1 - \frac{p}{100}} \quad (5.13)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_n X_c} \quad (5.14)$$

เมื่อต่อตัวเก็บประจุแบบสตาร์

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f_n V_n^2} \quad (5.15)$$

เมื่อต่อตัวเก็บประจุแบบเดลต้า

$$C = \frac{Q_c}{6\pi f_n V_n^2} \quad (5.16)$$

เมื่อ

V_n = พิกัดแรงดันของระบบ

V_c = แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

V_L = แรงดันตกคร่อมรีแอคเตอร์

p = เปอร์เซ็นต์ขนาดของรีแอคเตอร์

Q_c = กำลังงานไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุ

Q_L = กำลังงานไฟฟ้ารีแอคทีฟของรีแอคเตอร์

X_c = ค่า Reactance ของคาปาซิเตอร์

X_L = ค่า Reactance ของรีแอคเตอร์

C = พิกัดของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (5.8) ถ้าในระบบมีฮาร์โมนิกส์โอกาสที่จะเกิดการขยายตัวของ %THDv ทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่รีแอกเตอร์มากถึง 30-60 V ส่งผลให้มีแรงดันตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการออกแบบจะต้องเผื่อเปอร์เซ็นต์ความปลอดภัยให้กับตัวเก็บประจุ โดยใช้เป็น 130% ของแรงดันระบบ ดังสมการที่ (5.17)

$$V_C = 1.3 \times V_n \quad (5.17)$$

5) หาขนาดพิกัดกระแสที่ไหลผ่านรีแอกเตอร์ ได้จากสมการที่ (5.18) และสมการที่ (5.19)

$$I_{Ln} = \sqrt{I_C^2 + I_{hn}^2} \quad (5.18)$$

$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3}V_n} \quad (5.19)$$

6) หาขนาดพิกัดของรีแอกเตอร์ โดยกำหนดให้ค่า Reactance ของรีแอกเตอร์มีค่าเป็น 7% ของค่า Reactance ของตัวเก็บประจุ ดังสมการที่ (5.20)

$$X_L = \frac{7}{100} X_C \quad (5.20)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_n} \quad (5.21)$$

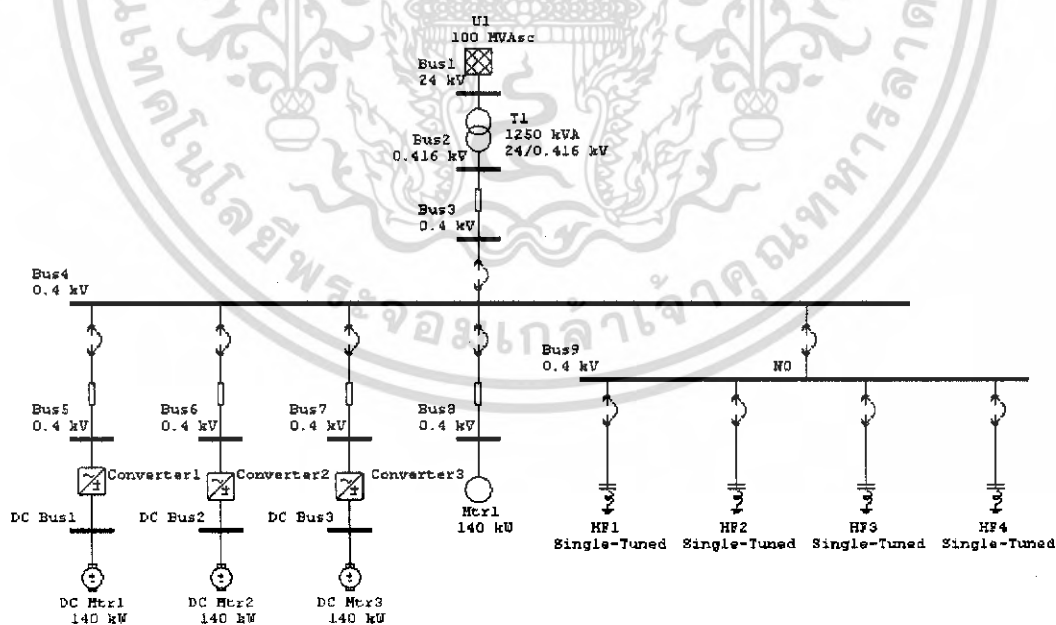
บทที่ 7

การ Simulation วิเคราะห์การกรองค่าฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของ
THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

7.1 ผลการ Simulate การกรองค่าฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของ THAI-YAZAKI
ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

ตารางที่ 7.1 พิกัดอุปกรณ์ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

พิกัดอุปกรณ์						
Converter1, 2 and 3				DC motor	AC motor	
Harmonic order (n)	Harmonic current (%)	Power factor (%)	Rated (kW)	Rated (kW)	Power factor (%)	Rated (kW)
5	22	50	140	140	70	140
7	15					
11	8					
13	6					



รูปที่ 7.1 One line diagram ของชุด Converter ของ THAI-YAZAKI
ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

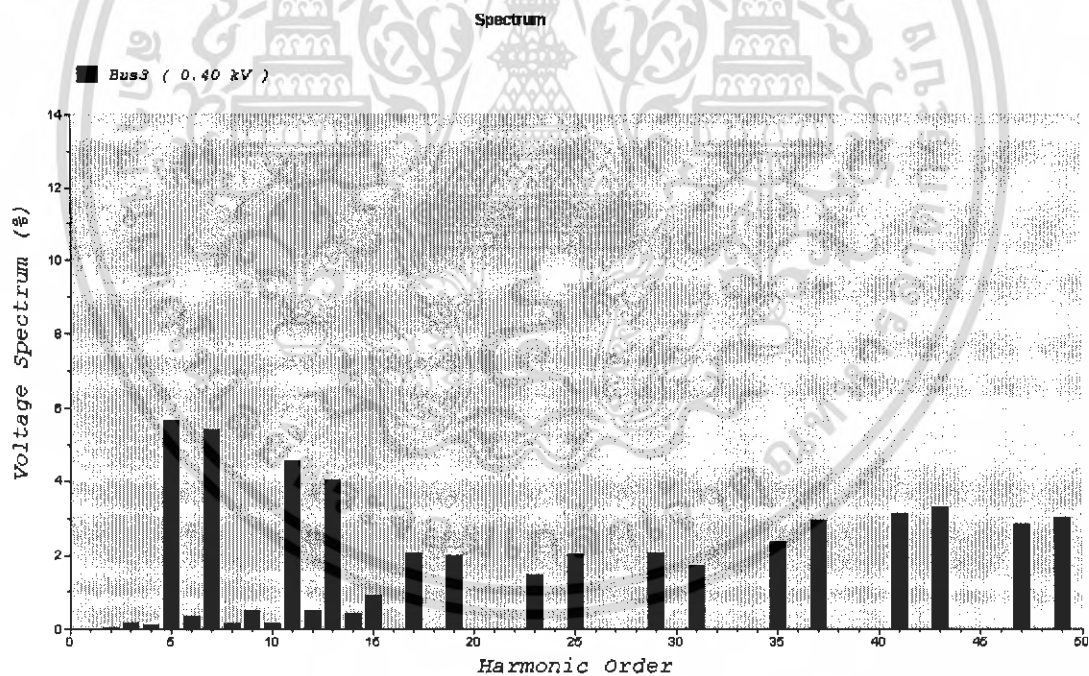
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.1 ผลการ Simulate ที่ without Detune 7% และ without Harmonic Filter

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

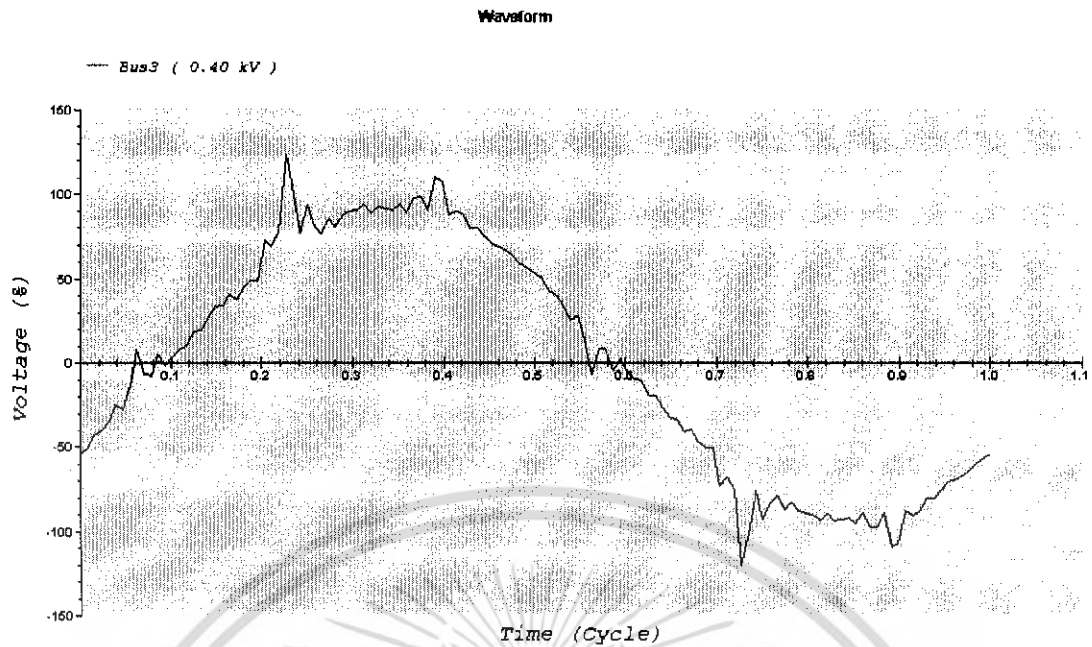
Bus		Voltage Distortion	
ID	kV	Fund. %	THD %
Bus2	0.416	95.31	11.81
Bus3	0.400	97.33	14.08
Bus4	0.400	97.33	14.08
Bus5	0.400	89.80	27.84
Bus6	0.400	89.80	27.84
Bus7	0.400	89.80	27.84
Bus8	0.400	91.76	12.76

Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

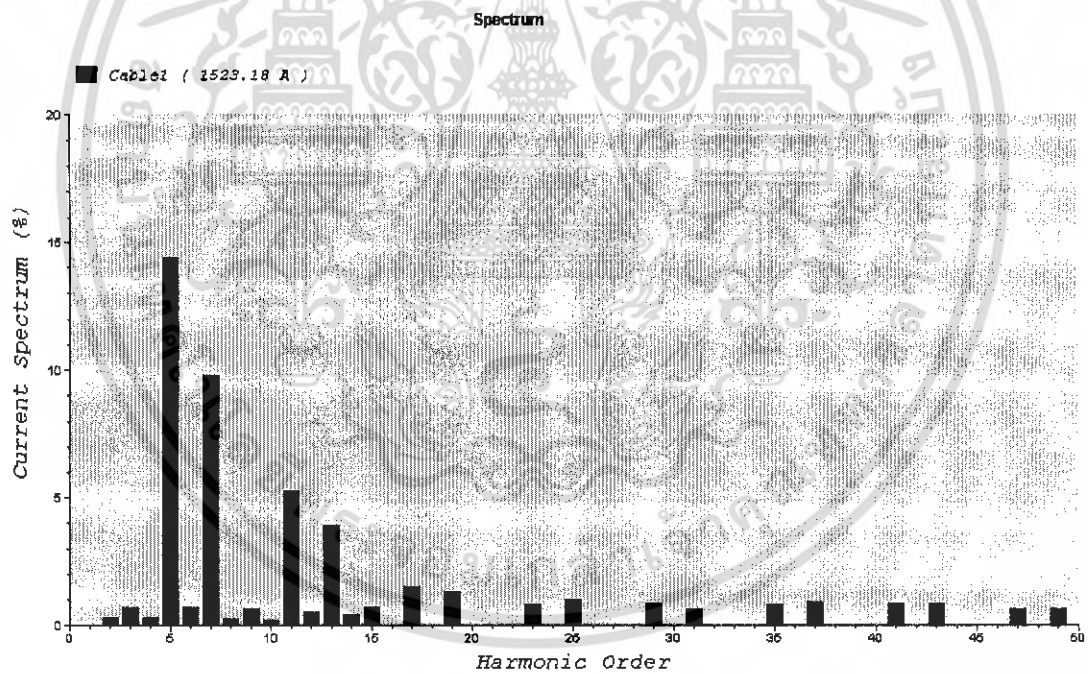


รูปที่ 7.2 Spectrum ของ Harmonic Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

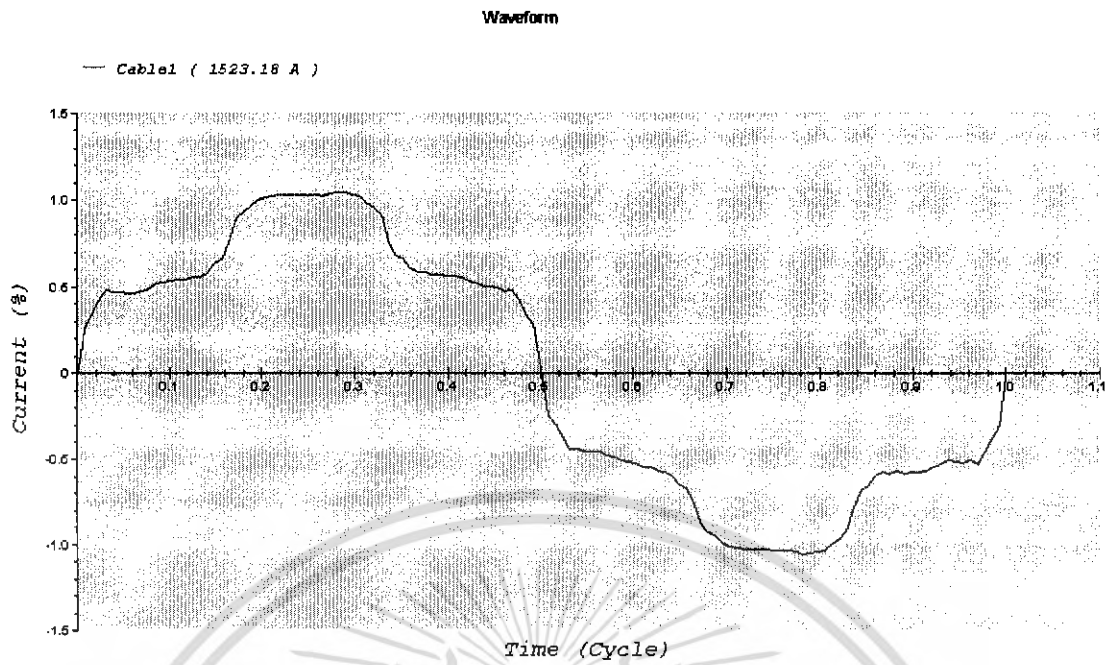


รูปที่ 7.3 Waveform ของแรงดันที่ Bus 3



รูปที่ 7.4 Spectrum ของ Harmonic Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 Waveform ของกระแสที่ Bus 3

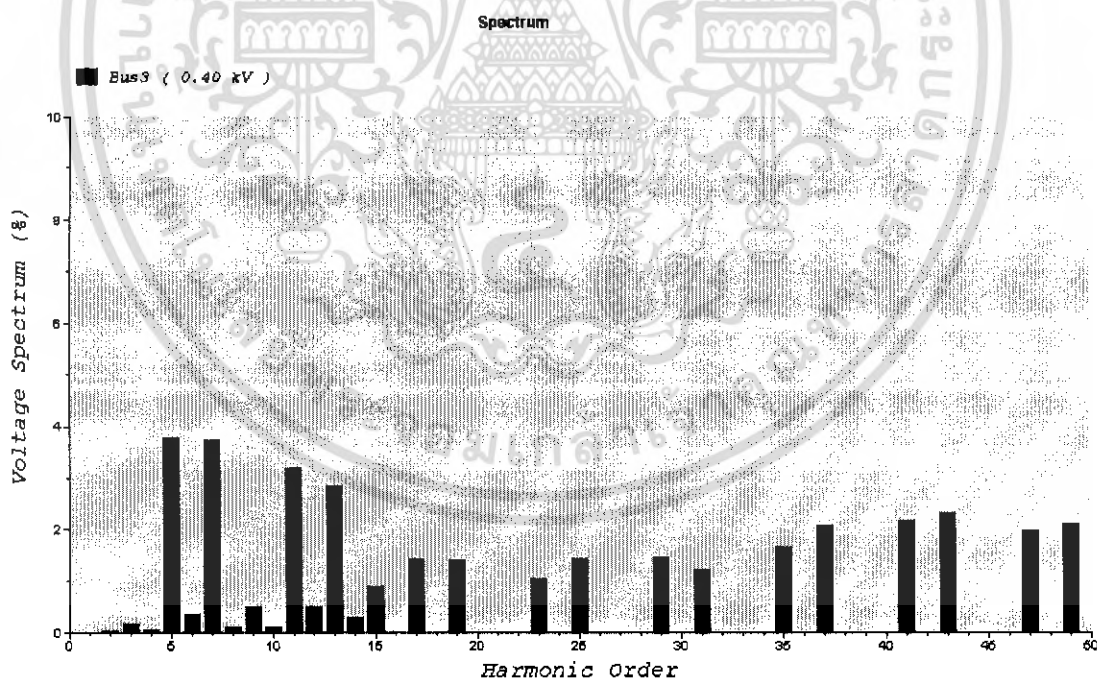
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 ผลการ Simulate ที่ with Detune 7% พิกัด 2 x 145 kVAR และ 2 x 97 kVAR ที่ 400 V

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

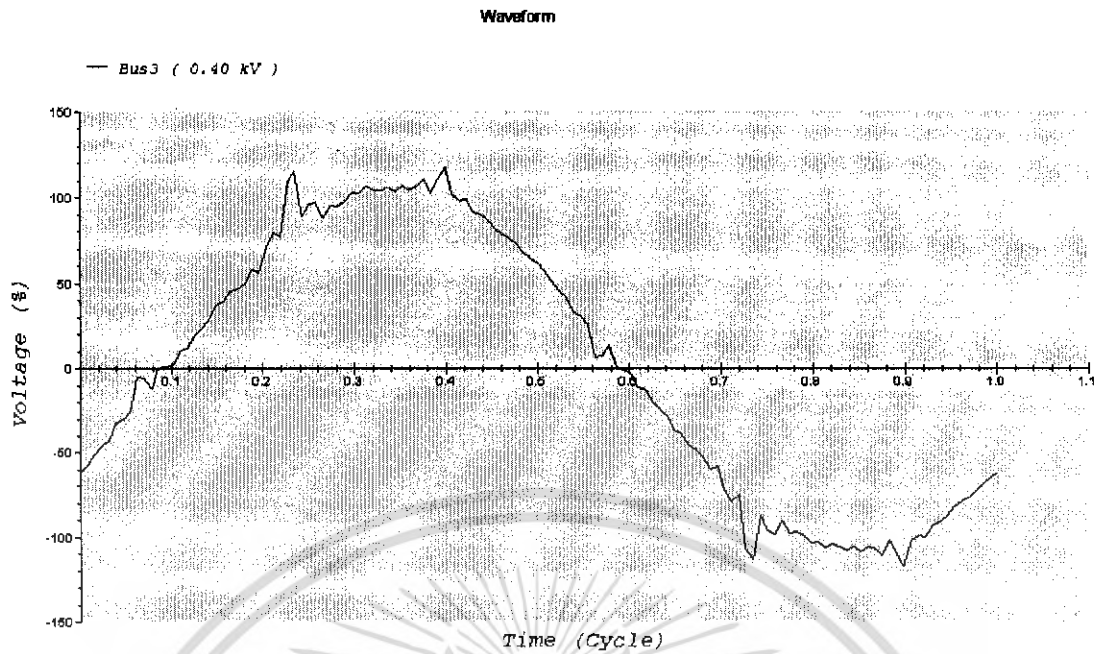
Bus	Voltage Distortion			
	ID	kV	Fund. %	THD %
Bus2		0.416	104.52	7.53
Bus3		0.400	109.40	8.77
Bus4		0.400	109.40	8.77
Bus5		0.400	102.83	20.45
Bus6		0.400	102.83	20.45
Bus7		0.400	102.83	20.45
Bus8		0.400	104.52	7.85
Bus9		0.400	109.40	8.77

Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

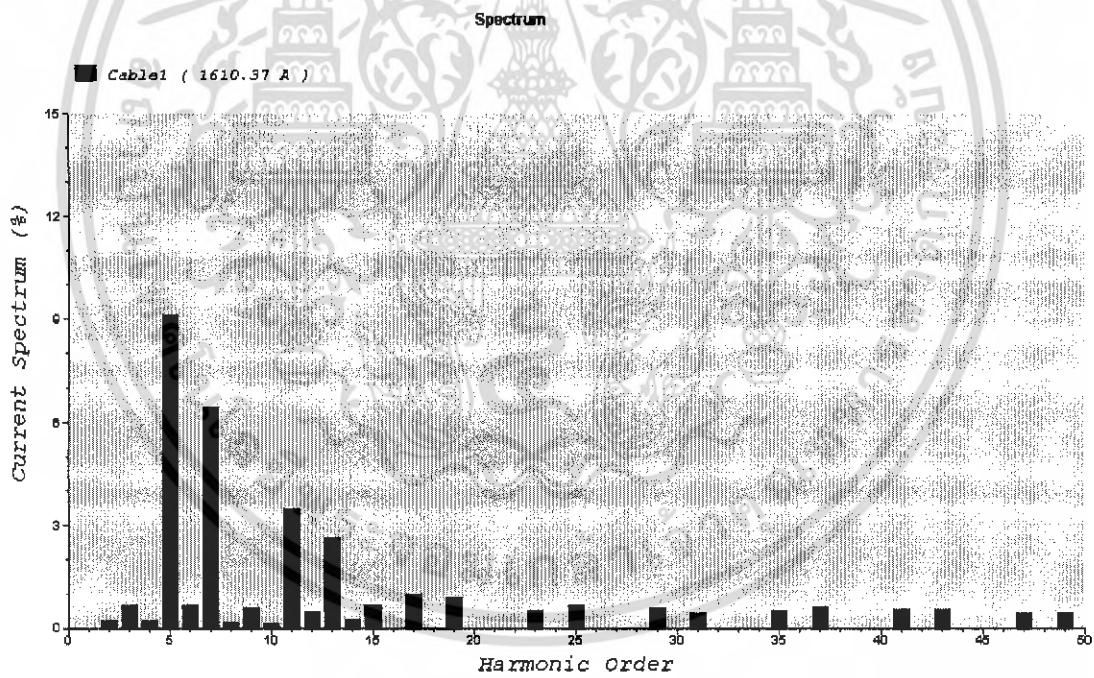


รูปที่ 7.6 Spectrum ของ Harmonic Voltage with Detune 7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

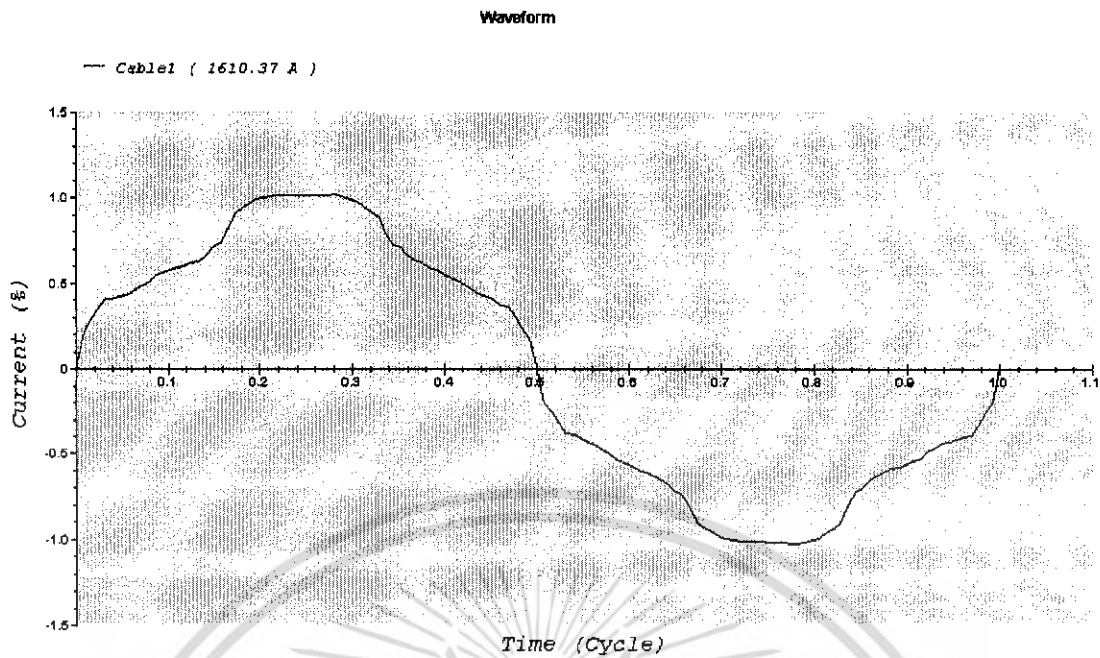


รูปที่ 7.7 Waveform ของแรงดันที่ Bus 3 with Detune 7%



รูปที่ 7.8 Spectrum ของ Harmonic Current with Detune 7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 Waveform ของกระแสที่ Bus 3 with Detune 7%

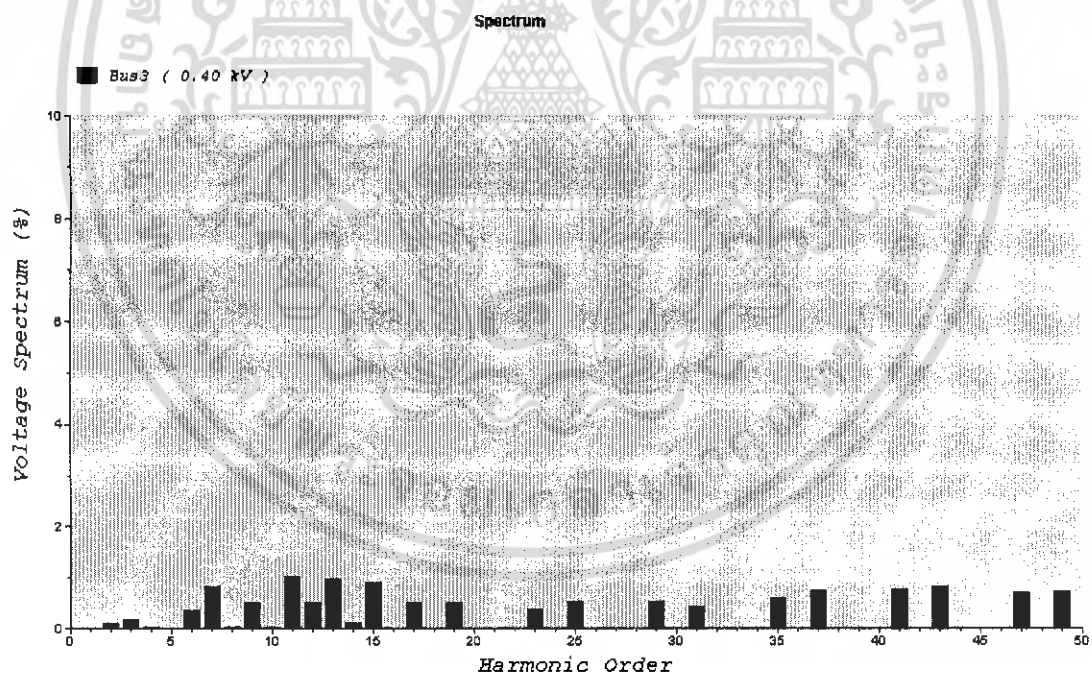
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 ผลการ Simulate ที่ with Harmonic Filter 5th พิกัด 2 x 145 kVAR และ 2 x 97 kVAR ที่ 400 V

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

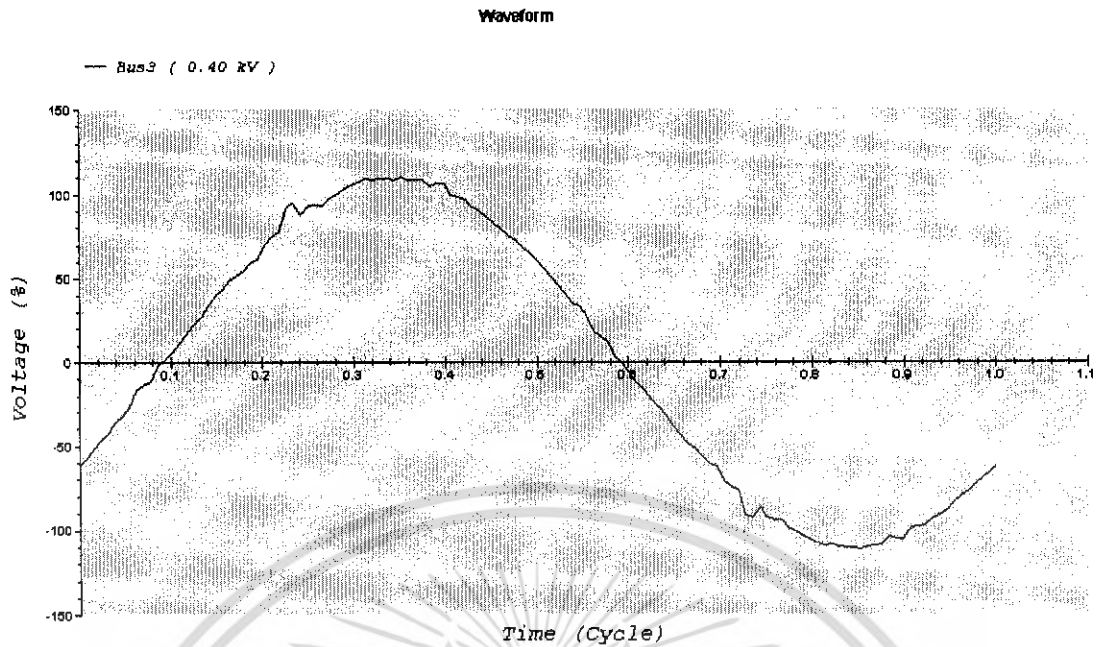
Bus ID	kV	Voltage Distortion	
		Fund. %	THD %
Bus3	0.400	109.72	2.80
Bus4	0.400	109.72	2.80
Bus5	0.400	103.16	13.82
Bus6	0.400	103.16	13.82
Bus7	0.400	103.16	13.82
Bus8	0.400	104.84	2.58
Bus9	0.400	109.72	2.80

Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

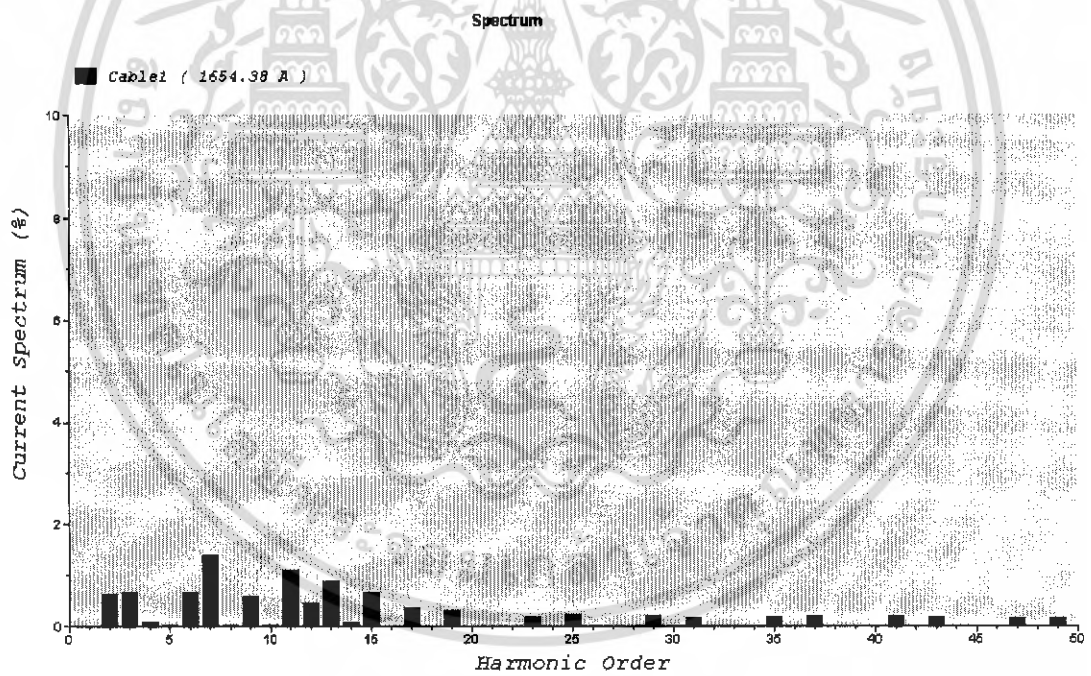


รูปที่ 7.10 Spectrum ของ Harmonic Voltage with Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

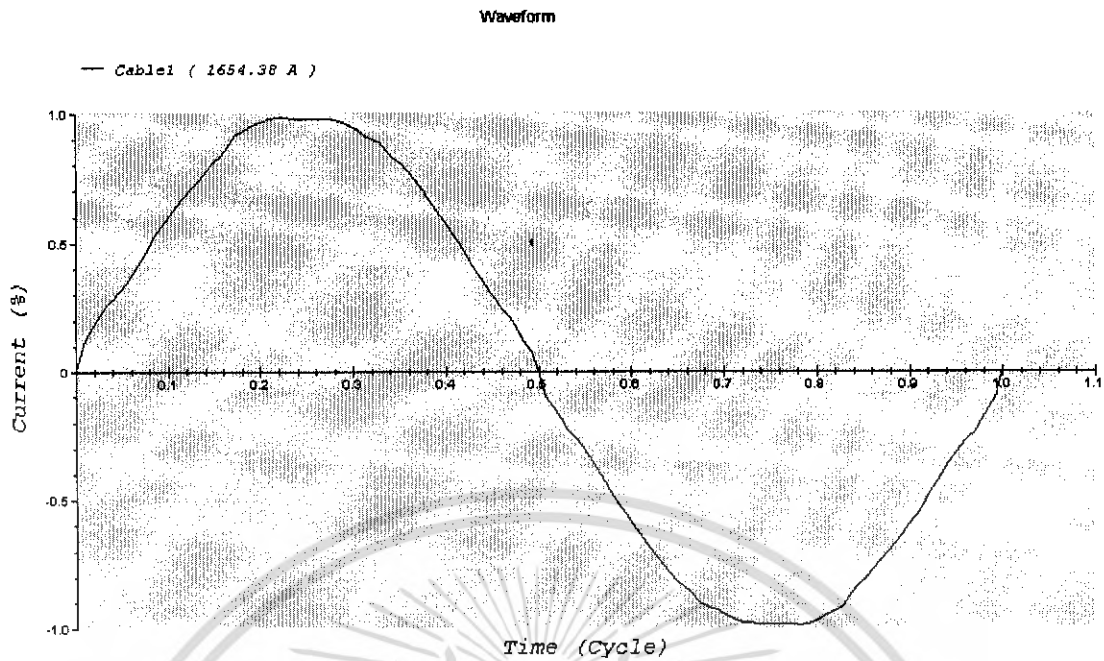


รูปที่ 7.11 Waveform ของแรงดันที่ Bus 3 with Harmonic Filter 5th



รูปที่ 7.12 Spectrum ของ Harmonic Current with Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.13 Waveform ของกระแสที่ Bus 3 with Harmonic Filter 5th

ตารางที่ 7.2 สรุปผลการ Simulate ด้วยวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบต่างๆ ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

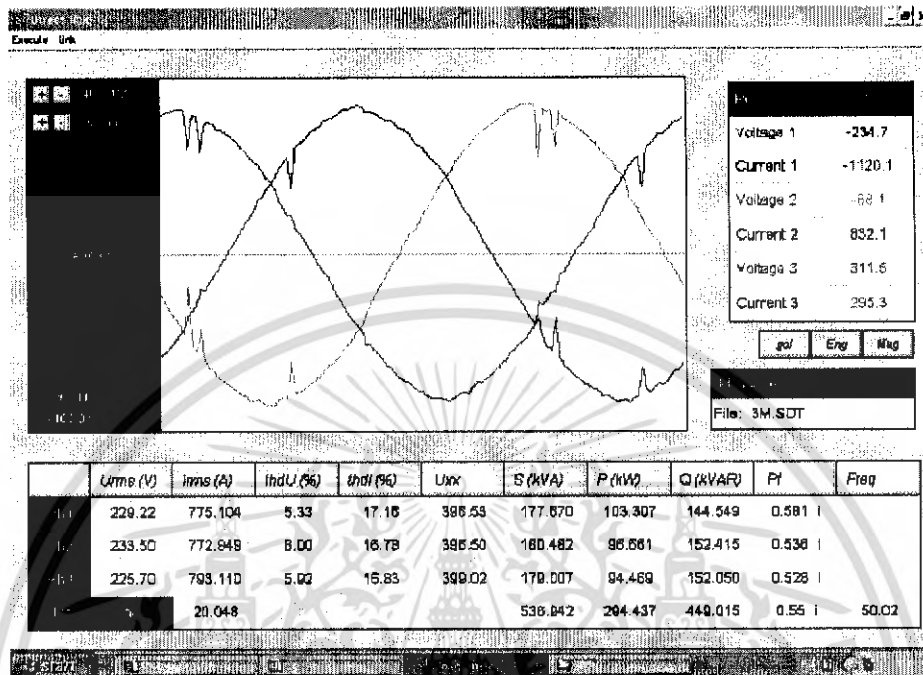
สถานะของระบบไฟฟ้า	%THDV
Without Detune 7% and without Harmonic Filter 5 th	14.08
With Detune 7%	8.77
With Filter 5 th	2.80

* **หมายเหตุ** ในทางปฏิบัติพบว่าเมื่อติดตั้งวงจร Detune 7% ค่า %THDV จะมีค่าใกล้เคียงกับขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้ง

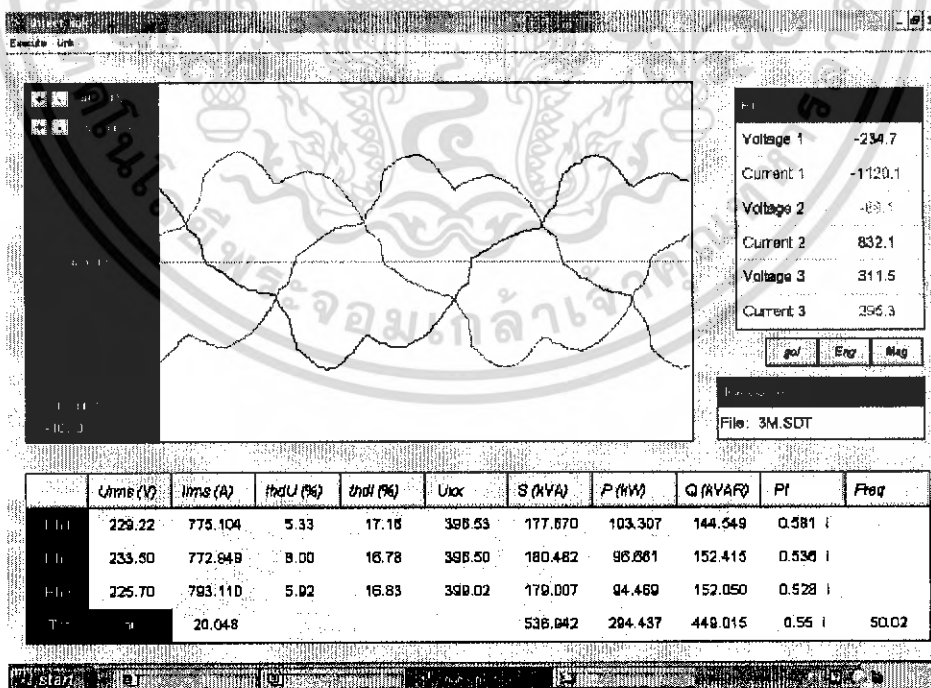
7.2 ผลการวัดค่าฮาร์โมนิกของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

7.2.1. ก่อนการติดตั้ง Harmonic Filter 5th

1) บันทึกวันที่ 17 / 06 / 2005

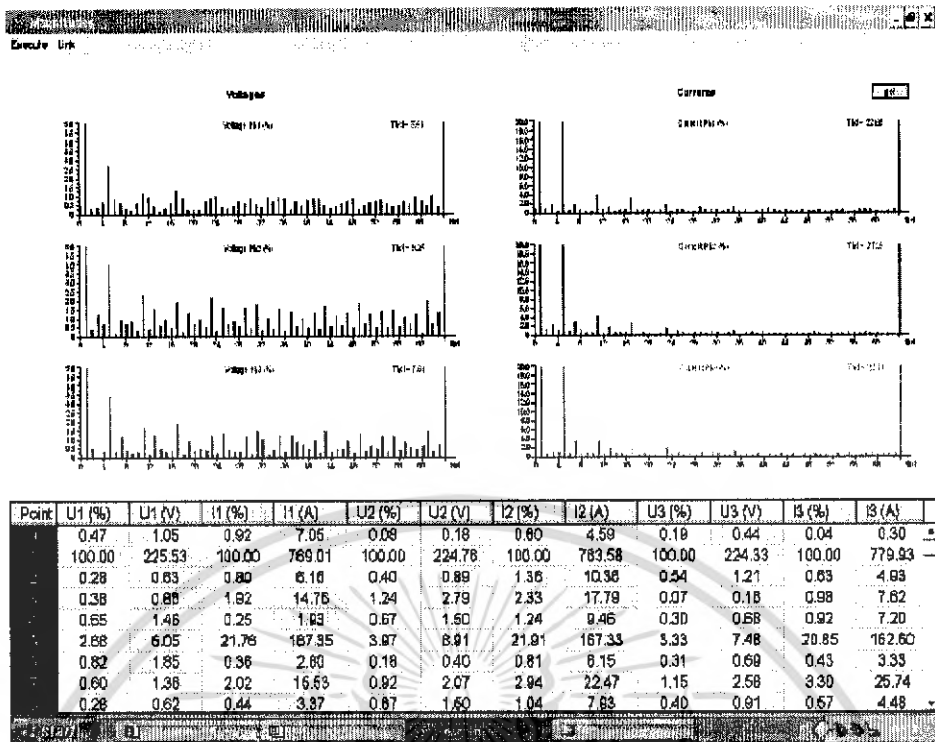


รูปที่ 7.14 Wave form ของแรงดันในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5th



รูปที่ 7.15 Wave form ของกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5th

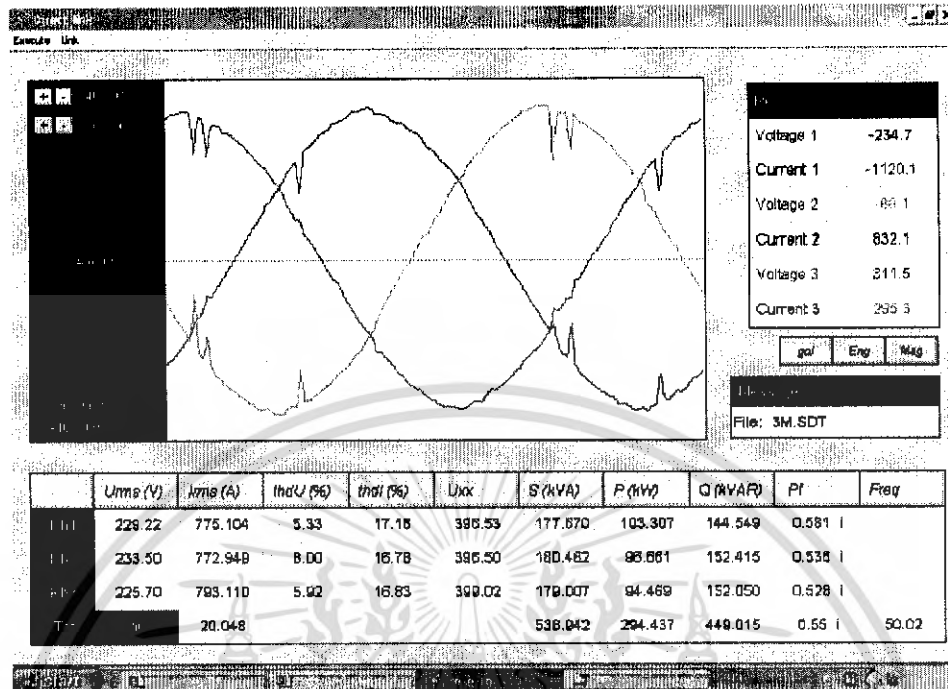
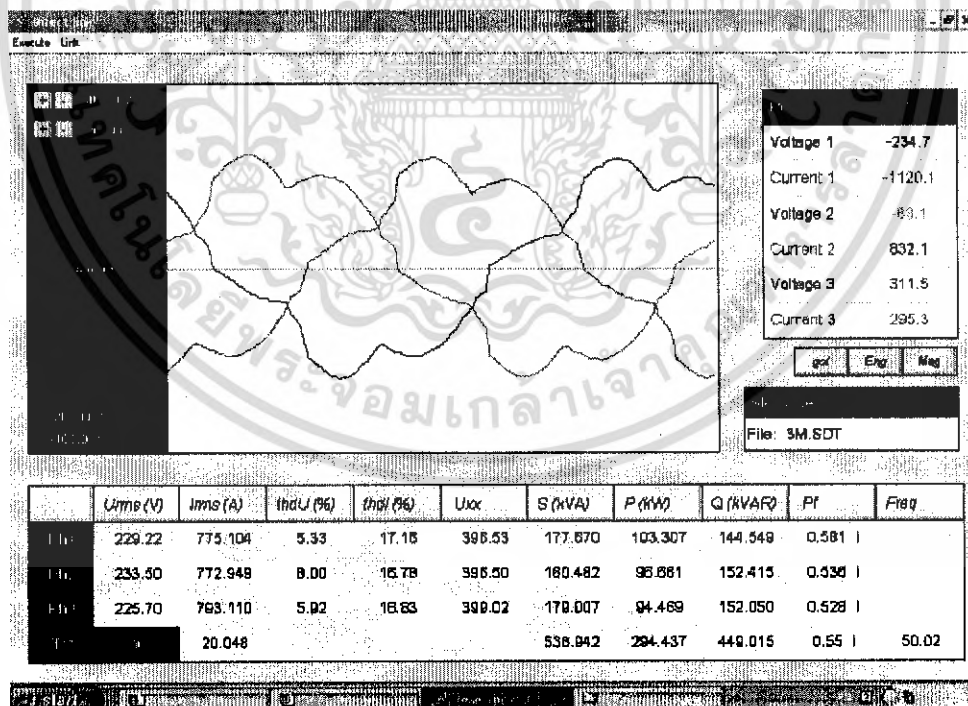
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



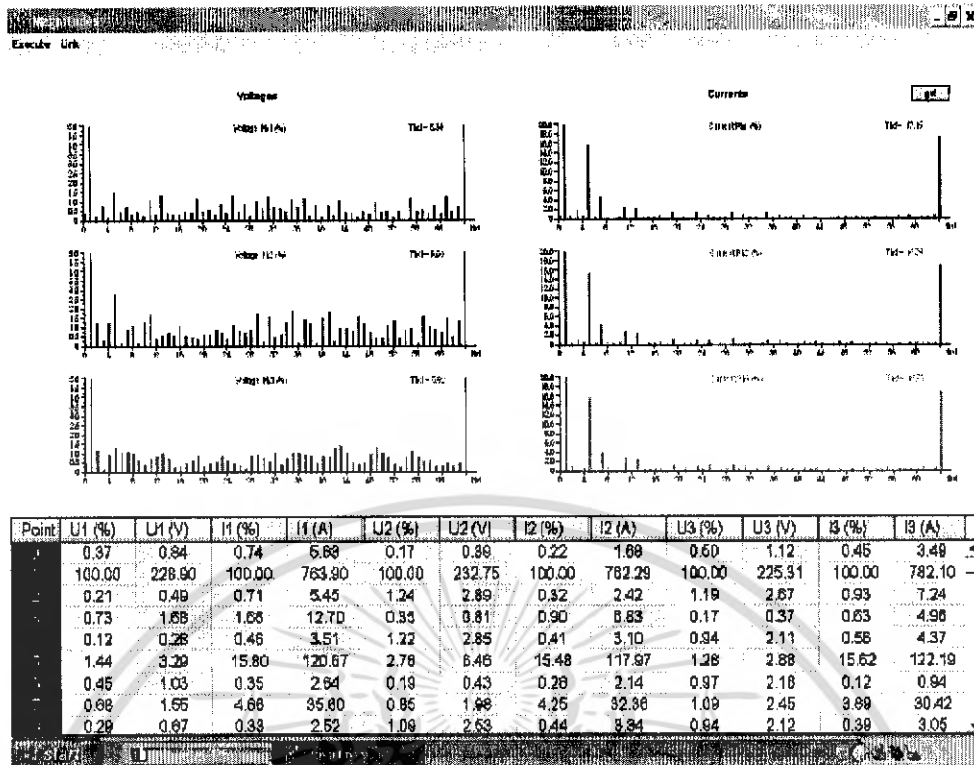
รูปที่ 7.16 Spectrum ของแรงดันและกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วันที่วันที่ 04 / 01 / 2006

รูปที่ 7.17 Wave form ของแรงดันในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5thรูปที่ 7.18 Wave form ของกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



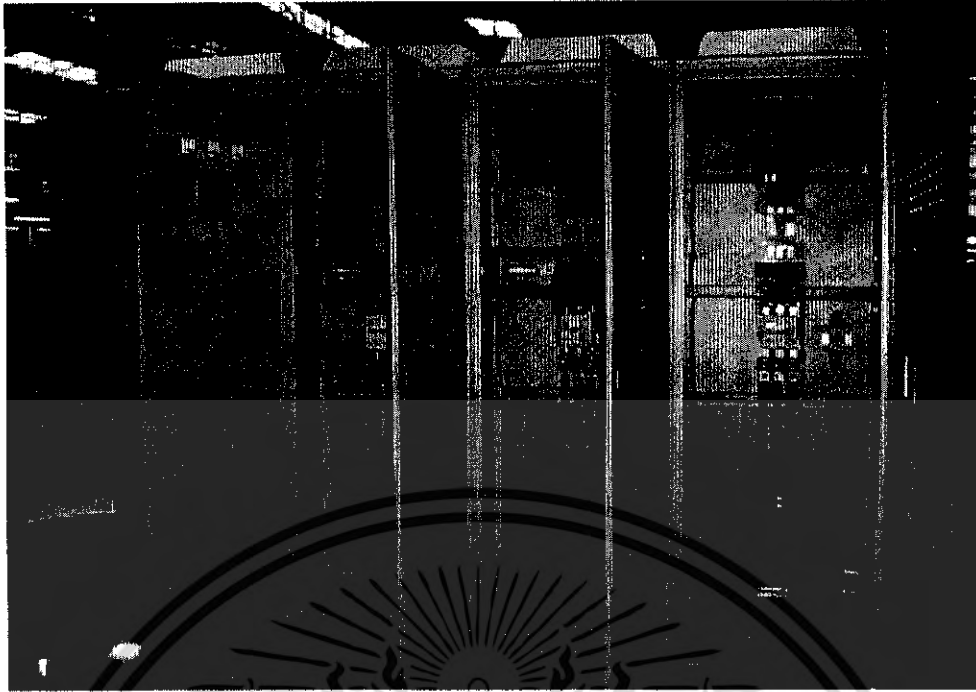
รูปที่ 7.19 Spectrum ของแรงดันและกระแสในระบบก่อนติดตั้ง Harmonic Filter 5th

7.2.2 หลังจากใส่ Harmonic Filter 5th พิกัด 2 X 145 kVAR และ 2 X 97 kVAR

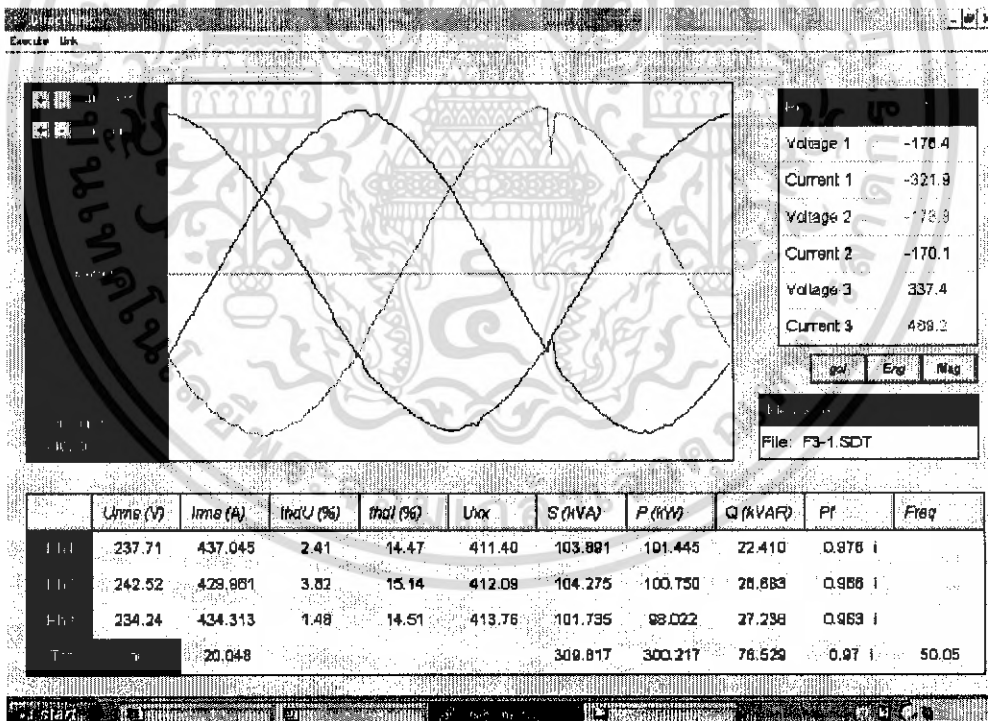


รูปที่ 7.20 การติดตั้ง Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

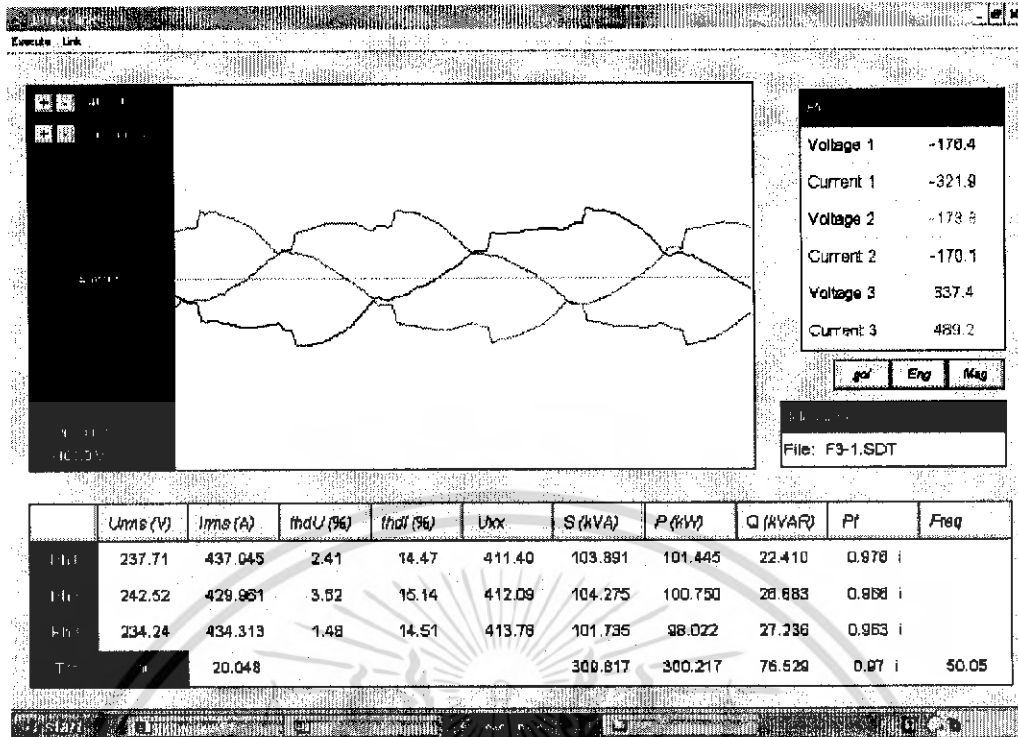


รูปที่ 7.21 ลักษณะของ Harmonic Filter 5th ที่ติดตั้ง

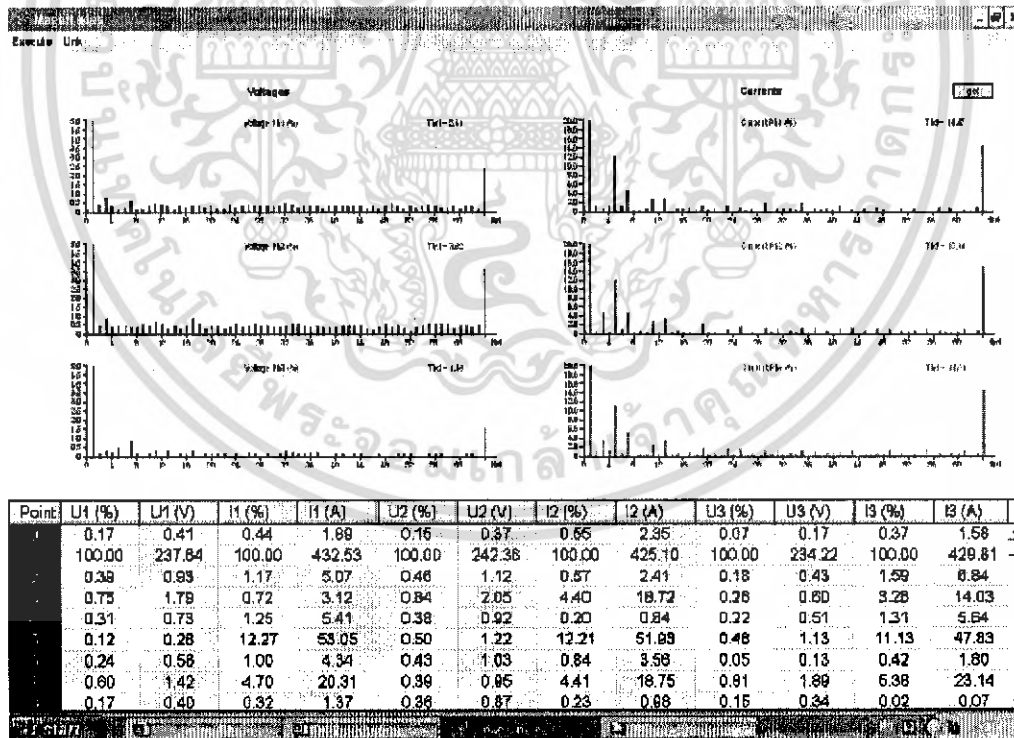


รูปที่ 7.22 Wave form ของแรงดันในระบบหลังจากติดตั้ง Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.23 Wave form ของกระแสในระบบหลังจากติดตั้ง Harmonic Filter 5th



รูปที่ 7.24 Spectrum ของแรงดันและกระแสในระบบหลังจากติดตั้ง Harmonic Filter 5th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้ ก่อนและหลังการติดตั้ง Harmonic Filter 5th ของ THAI-YAZAKI ELECTRIC WIRE CO.,LTD.

สถานะของระบบไฟฟ้า	%THDV
Without Harmonic Filter 5 th	8.00
With Harmonic Filter 5 th	2.41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุป

8.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

วิธีการแก้ไขค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า โดยการใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% และการใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์

1) การใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7%

การใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% ในการกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้านั้น เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% เข้าในระบบไฟฟ้าแล้วทำการ Simulate ด้วยโปรแกรม ETAP พบว่าค่า %THDv และค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าลดลงแต่ลดลงไม่มากนัก และเมื่อพิจารณาค่า %THDv เทียบกับมาตรฐาน IEEE 519 -1992 และมาตรฐานของ กฟน. และ กฟภ. พบว่าไม่ผ่านมาตรฐานทั้งหมด

2) การใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์

การใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์ ในการกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์เข้าระบบไฟฟ้าแล้วทำการ Simulate ด้วยโปรแกรม ETAP พบว่าค่า %THDv และค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าลดลงมาก และเมื่อพิจารณาค่า %THDv เทียบกับมาตรฐาน IEEE 519 -1992 และมาตรฐานของ กฟน. และ กฟภ. พบว่าผ่านมาตรฐานทั้งหมด

8.2 สรุป

จากผลที่ได้จากการ Simulate สรุปได้ดังนี้

1) วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% ไม่สามารถใช้กรองฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าที่มีค่าความเพี้ยนทางแรงดันไฟฟ้าสูงได้ เนื่องจากวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% จะออกแบบให้มีความถี่รีโซแนนซ์ที่ 189 Hz สำหรับระบบที่มีความถี่หลักมูล 50 Hz ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงความถี่รีโซแนนซ์แบบขนานของความถี่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ซึ่งมีความถี่ 250 Hz ซึ่งตัวรีแอกเตอร์ที่ต่ออยู่ในวงจรดีจูน 7% นั้นจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กระแสฮาร์โมนิกส์ไหลเข้าตัวเก็บประจุจากการขยายตัวของค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ เนื่องจากการเกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน

2) ในระบบที่ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มากกว่าลำดับที่ 5 เช่น ลำดับที่ 7, 11, 13,... มีค่าของกระแสฮาร์โมนิกส์มาก วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% ไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากความถี่ของฮาร์โมนิกส์ลำดับเหล่านี้จะมีค่าเป็น n เท่าของความถี่หลักมูล ซึ่งมีค่ามากกว่าความถี่รีโซแนนซ์ของวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบดีจูน 7% จึงไม่สามารถกรองกระแสฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ได้

3) จากการศึกษาพบว่าในระบบไฟฟ้าที่มีค่าความเพี้ยนทางแรงดันไฟฟ้าสูงมาก ๆ (%THDv >5) ขอแนะนำให้ใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์

ดังนั้นในระบบที่มีค่าความเพี้ยนทางแรงดันไฟฟ้าสูง ต้องใช้วงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์ เนื่องจากสามารถเลือกกรองค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ได้ เนื่องจากวงจรกรองฮาร์โมนิกส์แบบฟิลเตอร์จะออกแบบให้เกิดรีโซแนนซ์ตรงกับที่ความถี่ของฮาร์โมนิกส์ที่ต้องการจะกรองออก แต่การออกแบบต้องออกแบบให้รับค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ของที่ลำดับที่ต้องการกรองออกได้ด้วย

8.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1) ผลที่ได้จากการ Simulate นั้น ค่าที่ได้จะมีลักษณะแตกต่างจากค่าที่วัดได้จริงบ้าง เนื่องจากในการ Simulate นั้นโปรแกรมจะทำงานตามสถานะที่ตั้งค่าเอาไว้ แต่ในระบบจริงนั้น โหลดของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานของโหลด

2) การที่จะทำให้ผลที่ได้จากการ Simulate มีค่าใกล้เคียงค่าจริงที่วัดได้มากที่สุด ต้องทราบแพคเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุด แต่ในระบบไฟฟ้าจริงนั้น ลักษณะการใช้งานสภาวะแวดล้อมและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนไปจากที่ระบุไว้ จึงทำให้ผลที่ได้จากการ Simulate มีค่าแตกต่างจากค่าที่วัดได้จากระบบจริงบ้าง

3) การทำงานของโปรแกรม ETAP ที่ใช้วิเคราะห์นั้น มีขอบเขตจำกัดในบางเรื่อง บางอย่างไม่สามารถทำให้เหมือนกับค่าที่วัดได้จริง และความเข้าใจหรือความรู้ในโปรแกรมของผู้จัดทำโครงการอาจยังไม่ลึกซึ้งเพียงพอ ดังนั้นในอนาคตจึงควรหาศึกษาโปรแกรมให้เข้าใจถ่องแท้มากที่สุดและหาโปรแกรมที่นำมาใช้ควบคุม เพื่อให้ผลการ Simulate มีค่าถูกต้องที่สุด

4) การออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์นั้นควรระวังการใส่ตัวเก็บประจุ ถ้าตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ตอนซาร์จประจุจะดึงกระแสเข้าระบบมาก จึงควรออกแบบให้เหมาะสมกับค่าที่ระบบต้องการ

8.4 ประโยชน์ที่ได้รับและแนวทางการพัฒนาต่อไป

1) ทราบวิธีการพื้นฐานในการแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจริง และสามารถนำไปพัฒนาแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ลักษณะต่างๆ ที่เกิดกับระบบไฟฟ้าต่อไป

2) ทราบถึงวิธีการวิเคราะห์และวัดค่าฮาร์โมนิกส์ รวมถึงหลักการพื้นฐานในการออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ ซึ่งจะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

3) ทราบถึงวิธีการเบื้องต้นในการเลือกวงจรกรองฮาร์โมนิกส์ให้เหมาะสมกับปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert G.Ellis, " Harmonic analysis of industrial power system," **IEEE transaction on industry application**, 32, March/April 1996.
- [2] Guy Lemieux, " Power System Harmonic Resonance A Documented Case," **IEEE Transaction on Industry Application**.Vol.26,No.3, May/June 1990, pp.483-488.
- [3] "ANSI/IEEE Standard for Shunt Power Capacitor," **ANSI/IEEE Standard 18**,1992.
- [4] J.Arrillage, D.A. Bradley, and P.S. Bodger, **P.P. Power System Harmonic Norwich**, John Wiley & Sons, 1985.
- [5] V.E Wagner and etal, " Effects of Harmonics on Equipment ," **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol.8, No.2, April 1993, pp. 672-680.
- [6] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control Power System ," **IEEE Std 519**, 1992.
- [7] IEC Publication prepared by Technical Committee "Part 2 : Harmonics", **IEC Std 555-1**, No.7, 1982.
- [8] "Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents ," **ANSI / IEEE Std C57.110**, 1986.
- [9] "Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters," **IEEE 519**, 1981
- [10] Jens-Onno Krahn and Joachim Holtz, " Total Compensation of Line-Side Switching Harmonics in Converter-Fed AC Locomotives ," **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol.31, No.6, November/December 1995, pp. 1264-1273.
- [11] Bimimal K. Bose, **Tower Electronics and AC Drive**, Englewood Cliffs : Prentice-Hall,1986
- [12] คณะกรรมการปรับปรุงความหนาเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, **ข้อกำหนดกฎเกณฑ์สารไมนิกส์เกี่ยวไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม** , PRC-PQG-01/1998
- [13] ศุทธิ์ บรรจงจิตร, **หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า**, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดของ Converter โครงการ MSSC Project

Power factor = 0.65

Converter 1					Required Reactive Power kVAR	Converter 2					Required Reactive Power kVAR
Harmonic			Motor			Harmonic			Motor		
Order n	Current					Order n	Current				
	%	A	kW			%	A	kW			
5	24	472.56	kW	1707	1999	5	24	434.40	kW	1569	1835
7	9	177.21	kVA	2626		7	9	162.90	kVA	2414	
11	14	275.66	A	1969		11	14	253.40	A	1810	
13	7	137.83				13	7	126.70			

Converter 3					Required Reactive Power kVAR	Converter 4					Required Reactive Power kVAR
Harmonic			Motor			Harmonic			Motor		
Order n	Current					Order n	Current				
	%	A	kW			%	A	kW			
5	24	435.22	kW	1572	1837	5	24	378.74	kW	1368	1599
7	9	163.21	kVA	2418		7	9	142.03	kVA	2105	
11	14	253.88	A	1813		11	14	220.93	A	1578	
13	7	126.94				13	7	110.47			

Converter 5					Required Reactive Power kVAR	Converter 6					Required Reactive Power kVAR
Harmonic			Motor			Harmonic			Motor		
Order n	Current					Order n	Current				
	%	A	kW			%	A	kW			
5	24	347.46	kW	1255	1467	5	24	313.128	kW	1131	1322
7	9	130.30	kVA	1931		7	9	177.423	kVA	1740	
11	14	202.68	A	1448		11	14	182.658	A	1305	
13	7	101.34				13	7	91.329			

Converter 7					Required Reactive Power kVAR	Converter 8					Required Reactive Power kVAR
Harmonic			Motor			Harmonic			Motor		
Order n	Current					Order n	Current				
	%	A	kW			%	A	kW			
5	24	296.793	kW	1072	1253	5	24	274.645	kW	992	1159
7	9	111.297	kVA	1649		7	9	102.992	kVA	1526	
11	14	173.129	A	1237		11	14	160.209	A	1144	
13	7	86.5647				13	7	80.1047			

Converter 9					Required Reactive Power kVAR	Converter 10					Required Reactive Power kVAR
Harmonic			Motor			Harmonic			Motor		
Order n	Current					Order n	Current				
	%	A	kW			%	A	kW			
5	24	226.471	kW	818	995	5	24	126.248	kW	456	533
7	9	84.9226	kVA	1258		7	9	47.343	kVA	702	
11	14	132.108	A	994		11	14	73.6446	A	526	
13	7	66.054				13	7	36.8223			

มาตรฐานและการตรวจวัดฮาร์โมนิกส์

เมื่อมีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าในปริมาณที่มาก จะทำให้เกิดผลเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะกรณีเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้น ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ารับกระแสหรือแรงดันเกินพิกัดไปมาก ปัญหาเหล่านี้มีความสำคัญมากขึ้นเพราะ ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรม ได้นำอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกมาใช้มากขึ้น ประเทศที่ประสบปัญหาเรื่องนี้ จะมีการวางแผนป้องกันปัญหาเนื่องจากฮาร์โมนิกส์ด้วยการประกาศใช้มาตรฐานทางด้านฮาร์โมนิกส์ขึ้น และมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะกับสภาวะการณ์ปัจจุบัน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาประกาศใช้มาตรฐาน IEEE Std.519 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 และมีการปรับปรุงเรื่อยมาฉบับที่ใช้ปัจจุบันคือ IEEE Std.519 – 1992 : IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic control in Electrical Power System ประเทศอังกฤษ ประกาศใช้มาตรฐานด้านฮาร์โมนิกส์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 และยังคงใช้มาจนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีการปรับปรุง มาตรฐานฉบับดังกล่าวชื่อ Engineering Recommendation G.5/3-1976 : Limits for Harmonics in the United Kingdom Electricity Supply System สำหรับประเทศไทยการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง (กฟผ. กฟภ. กฟน.) ได้ร่วมกันจัดทำข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (G.5/3) สำหรับในปฏิญญาพนันท์นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับระบบอุตสาหกรรม ที่ควรศึกษาดังนี้

1. มาตรฐาน IEEE Std.519 – 1992 [2,9]

เป็นมาตรฐานที่โรงงานอุตสาหกรรม และบทความที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า อุตสาหกรรมหลายบทความกล่าวถึง สำหรับรายละเอียดในส่วนของค่าจำกัดระดับความผิดเพี้ยนของกระแสหรือแรงดันฮาร์โมนิกส์นั้น จะทำการประเมินที่จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) มาตรฐานฉบับนี้ได้แบ่งแนวทางปฏิบัติออกเป็น 2 แนวทางคือ

1.1 แนวปฏิบัติสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละราย

จะพิจารณากระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าว่าส่วนที่ป้อนเข้าสู่ระบบว่ามีค่าเท่าใด ด้วยการกำหนดค่าขีดจำกัดกระแสผิดเพี้ยนโดยใช้ดัชนีชี้วัด 2 ตัว คือ ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (Total Demand Distortion :TDD) และ กระแสฮาร์โมนิกส์ในแต่ละลำดับ (Individual Harmonic Current distortion : I_h) ค่าจำกัดจะแบ่งตามระดับแรงดัน และขนาดของกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ต่อกระแสในช่วงที่มีความต้องการสูงสุด (I_L) ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน IEEE Std.519 – 1992

Vn ≤ 69 kV						
I _{sc} /I _L	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35<h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

69 kV<Vn≤161kV						
I _{sc} /I _L	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35<h	TDD
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Vn ≥ 161 kV						
I _{sc} /I _L	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35<h	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≤50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

*อุปกรณ์ที่ทำให้กำเนิดกำลังไฟฟ้าจะถูกจำกัดให้อยู่ในค่ากระแสฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ โดยไม่คำนึงถึงค่า I_{sc} /I_L จริง

หมายเหตุ

- I_{sc} เป็นค่ากระแสลัดวงจรที่จุดต่อร่วม (PCC) ปกติจะใช้กระแสลัดวงจรในกรณีเกิดการลัดวงจรแบบ 3 เฟส เพราะถือเป็นกรณีรุนแรงที่สุด
- I_L เป็นค่ากระแสที่วัดในช่วงผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้พลังงานสูงสุดในเวลา 15 หรือ 30 นาที แต่ถ้าข้อมูลมีเพียงพอ I_L คำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของกระแสคิดย้อนหลังในรอบ 1 ปี (คิดจากบิลค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า) ในกรณีผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่จะประมาณกระแส I_L โดยการทำนายลักษณะโหลดล่วงหน้า (Predicted load profile)
- ค่าในตารางที่ 1.1 เป็นค่าจำกัดของฮาร์โมนิกส์ที่เป็นลำดับคี่ส่วนค่าจำกัดของลำดับคู่จะใช้ค่า เป็นร้อยละ 25 ของค่าจำกัดลำดับที่อยู่เหนือขึ้นไปเช่น ถ้าพิจารณาฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 4 ให้ใช้ค่า ร้อยละ 25 ของจำกัดของของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วจะไม่พิจารณาฮาร์โมนิกส์ลำดับคู่ เว้นแต่ว่าผู้ใช้ไฟฟ้ามีชุดกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์โมนิกส์ หรือ คาปาซิเตอร์ของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ซึ่งอาจทำให้เกิดสถานะเรโซแนนซ์ ขยายกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับคู่ให้มีค่ามากขึ้น

- กระแสผิดเพี้ยนนี้ไม่ให้มีผลของส่วนประกอบไฟตรง (dc offset not allowed)
- นิยามของ TDD คือ

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_2^{\infty} I_h}}{I_L} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ I_h = ขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ h (ค่า rms)

H = ลำดับฮาร์โมนิก

I_L = ขนาดของกระแสในช่วงความต้องการสูงสุด

- ถ้าโหลดที่กำเนิดฮาร์โมนิกส์ประกอบด้วย คอนเวอร์เตอร์ ที่มีจำนวนพัลส์ (q) มากกว่า 6 พัลส์ ค่าจำกัดในตารางให้เพิ่มขึ้นด้วยตัวประกอบการคูณ $\sqrt{q/6}$ เช่น ถ้าแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์เป็นคอนเวอร์เตอร์แบบ 12 พัลส์ ค่าจำกัดในตารางของฮาร์โมนิกส์เฉพาะตัวให้เพิ่มขึ้นด้วยตัวคูณ $\sqrt{2}$
- ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่ใช่ฮาร์โมนิกเฉพาะตัว (Non-characteristic harmonic) ให้มีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 25 ของค่าจำกัดในตารางที่ 1.1

จากตารางค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน IEEE Std.519-1992 พบว่า จะยอมให้ผู้ใช้งานไฟฟ้าปล่อยกระแสฮาร์โมนิกเข้าสู่ระบบได้มากหรือน้อยขึ้นกับระบบและขนาดของโหลด เช่น ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ามีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระบบจะยอมให้มีค่าจำกัดได้สูงกว่าผู้ใช้ไฟขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับระบบ

1.2 แนวปฏิบัติสำหรับการไฟฟ้า

เพื่อรักษาคุณภาพการจ่ายกำลังไฟฟ้า ทางกรไฟฟ้าจะพิจารณาในเรื่องของระดับแรงดันฮาร์โมนิกส์ผิดเพี้ยนที่จุด PCC โดยใช้ดัชนีชี้วัด 2 ตัวคือ แรงดันฮาร์โมนิกผิดเพี้ยนรวม (Total harmonic distortion : THDv) และ แรงดันฮาร์โมนิกแต่ละลำดับ (Individual harmonic voltage : Vh) การไฟฟ้าจะพยายามรักษาระดับแรงดันผิดเพี้ยนที่จุด PCC ด้วยการจำกัดค่ากระแสฮาร์โมนิกส์จากผู้ใช้ไฟฟ้า (ดังตารางที่ 1.1) และสำหรับค่าจำกัดของระดับแรงดันผิดเพี้ยนจะแบ่งตามระดับแรงดันดังตารางที่ 1.2 ซึ่งค่าจำกัดนี้เป็นสภาวะแรงดันปกติ สำหรับสภาวะการใช้งานในช่วงสั้นๆ ของการเริ่มต้นเครื่องจักรหรือสภาวะผิดปกติ ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิกส์ สามารถเพิ่มได้อีก 50% จากค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ค่าจำกัดแรงดันฮาร์โมนิก ตาม IEEE Std.519-1992

Bus voltage At PCC (Vn)	Individual Harmonic Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion – THDv (%)
Vn ≤ 69kV	3.0	5.0
69kV < Vn ≤ 161 kV	1.5	2.5
Vn > 161 kV	1.0	1.5

* High-voltage system can have up to 2.0 % THD cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.

หมายเหตุ

- นิยามของ THDv คือ

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ Vh = ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกลำดับที่ h (ค่า rms)

h = ลำดับฮาร์โมนิกส์

V₁ = ขนาดของแรงดันที่ความถี่หลักมูลในสภาวะปกติของระบบ (ค่า rms)

จากตารางจะพบว่าที่ระดับแรงดันสูงๆ การไฟฟ้าจะต้องให้ความสำคัญกับระดับแรงดันผิดเพี้ยน ค่าแรงฮาร์โมนิกส์จะมีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับเลขลำดับฮาร์โมนิกส์ และจะกำหนดให้ระดับแรงดันผิดเพี้ยนมีค่าต่ำๆ

2. มาตรฐาน G.5/3-1976 [2,11]

มาตรฐาน G.5/3-1976 เป็นมาตรฐานที่การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง (กฟผ. กฟภ. และ กฟน.) ใช้อ้างอิง ในการออกข้อกำหนดกฎเกณฑ์ ฮาร์โมนิกส์ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมสำหรับรายละเอียดมีดังนี้

ในส่วนค่าจำกัดกระแสหรือแรงดันฮาร์โมนิกส์ มาตรฐานฉบับนี้จะกำหนดค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์ ที่การไฟฟ้าจะยอมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อไม่ให้เกิดแรงดันฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยการพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งพิจารณาตามขนาดของอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ โดยเฉพาะคอนเวอร์เตอร์ แต่ละขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กทั่วไป โดยขนาดใหญ่สุดของตัว คอนเวอร์เตอร์

หรือ A.C.regulator เมื่อต่อเข้ากับระบบแรงดัน 415 V, 6.6 หรือ 11 kV ในสภาวะปกติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะยอมรับได้โดยไม่ต้อง พิจารณาระบบอย่างละเอียดนอกเหนือไปจากการพิจารณาตามปกติ เมื่อมีการต่อโหลดชนิดใหม่ เรื่อง Thermal rating ของวงจร Voltage regulation เป็นต้น

ข้อจำกัดของขั้นตอนที่ 1

(ก) อุปกรณ์ 3 เฟส ขนาดสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ หรือ A.C.regulator จะต่อเข้ากับระบบ 415 V., 6.6 หรือ 11 kV โดยไม่ต้องผ่านการพิจารณาอย่างละเอียดจากการไฟฟ้านั้น จะต้องมีความใหญ่สุด ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.3

(ข) อุปกรณ์ 1 เฟส เครื่องใช้ไฟฟ้าเฟสเดียวที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมการทำงานหรือจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องดังกล่าวและออกแบบเพื่อใช้งานในบ้านอยู่อาศัย หรืองานในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งควรเป็นไปตามมาตรฐาน BS-5406 (European Standard EN50.006) คอนเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟส หรือ A.C.regulator ซึ่งตามกฎหมายจะไม่สร้างฮาร์โมนิกส์ลำดับคู่ และจุดมุ่งหมายในการใช้คือในโรงงานอุตสาหกรรมและเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ซึ่งควรมีขนาดไม่เกิน 5 kVA เมื่อใช้กับแรงดัน 240 V ขนาดไม่เกิน 7.5 kVA เมื่อใช้กับระดับแรงดัน 415 หรือ 450 V ส่วนคอนเวอร์เตอร์ หรือ A.C.regulator ที่สร้างฮาร์โมนิกส์ลำดับคู่และจะไม่ให้ใช้

เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ 1 เฟส หลายตัวต้องพยายามกระจายโหลดให้เท่ากันทั้ง 3 เฟส ส่วนการประเมินผลจะพิจารณาตามเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 ถ้าอุปกรณ์มีความใหญ่กว่าที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1 การพิจารณาจะต้องทำในขั้นตอนที่ 2 โดยการไฟฟ้าจะกำหนดค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับที่จะให้ผู้ใช้ไฟฟ้าบ่อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยพิจารณาที่จุด PCC

- (ก) อุปกรณ์ 3 เฟส การไฟฟ้าจะยอมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต่ออุปกรณ์แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีความใหญ่เกินกว่าที่กำหนดไว้ ขั้นตอนที่ 1 ได้ หากเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้
- อุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สร้างกระแสฮาร์โมนิกส์บ่อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่จุด PCC (ในเฟสใดๆ) เกินกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 1.4
 - แรงดันฮาร์โมนิกส์ที่จุด PCC ก่อนการติดตั้งโหลดใหม่จะต้องมีค่าไม่เกิน ร้อยละ 75 ของค่าในตารางที่ 1.5
 - ค่า Short-circuit level จะต้องไม่ต่ำจนเกินไป

ตารางที่ 1.3 ขนาดใหญ่ที่สุดของคอนเวอร์เตอร์ และ A.C. regulator แต่ละตัวภายใต้ค่าจำกัดของขั้นตอนที่ 1

Supply System Voltage (kV) at Point of Common Coupling	3-Phase Converters			3-Phase A.C. Regulators	
	3-Pulse (kVA)	6-Pulse (kVA)	12-Pulse (kVA)	6-Thyristor (kVA)	6-Thyristor/3-Diode(kVA)
0.415	8	12	-	14	10
6.6 and 11	85	130	250*	150	100

*This limit applies to 12-pulse devices, and to combinations of 6-pulse devices always operated as 12-pulse devices, employing careful control of the firing angles and the d.c.ripple to minimize noncharacteristic harmonics, e.g. 3rd, 5th, and 7th

ตารางที่ 1.4 ค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุด PCC ภายใต้ข้อกำหนดของขั้นตอนที่ 2

Supply System Voltage (kV) at Point of Common Coupling	Harmonic Number and Current (Arms)																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0.415	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6	
6.6 and 11	13	8	10	6	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1	
33	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1	
132	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	

* A tolerance of +10% or 5A (Whichever is the greater) is permissible, provided it applies to not more than two harmonic

ตารางที่ 1.5 ค่าจำกัดความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกที่จุดใดๆ ในระบบ

Supply System Voltage (kV) at Point of Common Coupling	Total Harmonic Voltage	Individual Harmonic Voltage Distortion (%)	
	Distortion V _T (%)	Odd	Even
0.415	5	4	2.0
6.6 and 11	4	3	1.75
33	3	2	1.0
132	1.5	1	0.5

(ข) อุปกรณ์ 1 เฟส สำหรับอุปกรณ์เฟสเดียวที่เป็นตัวสร้างฮาร์โมนิกที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าค่าที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1 มาตรฐานฉบับนี้ไม่แนะนำให้ใช้ เพราะจะมีปัญหาเรื่องความไม่สมดุลเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 เมื่ออุปกรณ์ที่ไม่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ไม่ผ่านการประเมินในขั้นตอนที่ 2 กล่าวคือ มีกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นเกินค่าจำกัดในตารางที่ 1.4 หรือมีแรงดันผิดเพี้ยนที่จุด PCC มากกว่าร้อยละ 75 ของค่าที่จำกัดในตารางที่ 1.5 ก่อนที่จะต่อโหลดใหม่เพิ่ม การพิจารณาการอนุญาตให้ต่อเข้ากับระบบได้หรือไม่นั้นจะประเมินในขั้นตอนที่ 3 โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงต่อโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับระบบได้ หลังจากได้ทำการศึกษาวิเคราะห์กระแสและแรงดันฮาร์โมนิกส์ในสภาพที่เกิดขึ้นปัจจุบัน และมีการจำลองผลที่เกิดขึ้นในอนาคตเมื่อต่อโหลดใหม่เพิ่มอย่างละเอียดโดยผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับอนุญาต ให้ต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบได้ หากผลการศึกษาวิเคราะห์ได้ว่าระดับแรงดันฮาร์โมนิกส์ที่จุดใดๆ ในระบบไฟฟ้ามีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1.5

3.มาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990 และ 1000-2-4-1994 [12]

มาตรฐานของ IEC ถือเป็นมาตรฐานสากลที่หลายประเทศยอมรับตั้งนั้นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์จึงควรศึกษาด้วย สำหรับเกณฑ์การกำหนดค่าจำกัดทางด้านฮาร์โมนิกส์มีอยู่ในมาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990 และ 1000-2-4-1994

3.1 มาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990 [13]

สำหรับส่วนที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์ของ มาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990 จะใช้กับระดับแรงดัน 415/240 V. โดยค่าที่กำหนดจะเป็นแรงดันฮาร์โมนิกส์ในแต่ละลำดับ ดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิกส์สำหรับแรงดันต่ำ(415/240 Volt)

Odd harmonics (non-multiple of 3)		Odd harmonics (multiple of 3)		Even harmonics	
Harmonic order (h)	Harmonic Voltage (%)	Harmonic order (h)	Harmonic Voltage (%)	Harmonic order (h)	Harmonic Voltage (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			12	0.2
25	1.5			>12	0.2
>25	0.2+0.5*25/h				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า Total Distortion factor (D) นิยามเป็น

$$D = \sqrt{\sum_{h=2}^N U_h^2} \quad (3)$$

เมื่อ $U_h = U_h/U_1$

h = เลขลำดับฮาร์โมนิกส์

U_h = ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ h

U_1 = ขนาดของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

N = เลขจำนวนเต็มบวกซึ่งในทางปฏิบัติอาจคิดเพียง $N = 40$

สำหรับค่าตัวประกอบความผิดเพี้ยนรวม (D) นี้จะกำหนดค่าเป็น 0.08 หรือ ร้อยละ 8 ซึ่งเป็นค่า THD_v นั้นเองและจะเห็นว่าค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับจะลดลงเมื่อลำดับฮาร์โมนิกส์เพิ่ม

3.2 มาตรฐาน IEC 1000-2-4-1994

เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ในมาตรฐานฉบับนี้จะกำหนดค่าจำกัดระดับฮาร์โมนิกส์ในระดับอุตสาหกรรมทั้งจุด PCC และจุดที่อยู่ภายในระบบโรงงานหรือจุดติดตั้งอุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า In-plant of coupling (PIC) โดยพิจารณาจะแบ่งออกเป็น Class ดังนี้

Class 1 ค่าจำกัดใน Class นี้จะกำหนดเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีความไวต่อสิ่งรบกวนจากระบบจ่ายไฟมาก เช่น อุปกรณ์เครื่องมือวัดของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ป้องกันของระบบอัตโนมัติคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

Class 2 ค่าจำกัดใน Class นี้ จะใช้ทั่วไปกับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งจุด PCC และ PIC

Class 3 ค่าจำกัดใน Class นี้จะใช้จุด PIC ในโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น ซึ่งระดับค่าจำกัดของ Class 2 จะพิจารณาค่าจำกัดใน Class 3 เมื่อพบเงื่อนไขดังตัวอย่างต่อไปนี้

- โหลดสำคัญๆ ส่วนใหญ่ ต่อตรงอยู่กับคอนเวอร์เตอร์

- มีเครื่องเชื่อม

- มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีการสตาร์ทอยู่บ่อยๆ

- การทำงานของโหลดเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

สำหรับค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิกส์ของมาตรฐาน IEC 1000-2-4-1994 สรุปได้ดังตารางที่ 1.7 ถึงตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.7 ค่าจำกัดระดับฮาร์โมนิกในแต่ละลำดับ (ไม่รวมฮาร์โมนิกที่เป็นพหุคูณของ 3)

Oder h	Class 1 $U_h(\%)$	Class 2 $U_h(\%)$	Class 3 $U_h(\%)$	Oder h	Class 1 $U_h(\%)$	Class 2 $U_h(\%)$	Class 3 $U_h(\%)$
5	3	6	8	2	2	2	3
7	3	5	7	4	1	1	1.5
11	3	3.5	5	6	0.5	0.5	1
13	3	3	4.5	8	0.5	0.5	1
17	2	2	4	10	0.5	0.5	1
19	1.5	1.5	4	>10	0.2	0.2	1
23	1.5	1.5	3.5				
25	1.5	1.5	3.5				
>25	$0.2+12.5/h$	$0.2+12.5/h$	$5 \cdot \sqrt{11/h}$				

ตารางที่ 1.8 ค่าจำกัดของระดับฮาร์โมนิกในแต่ละลำดับ (ฮาร์โมนิกที่เป็นพหุคูณของ 3 ลำดับคือ)

Oder h	Class 1 $U_h(\%)$	Class 2 $U_h(\%)$	Class 3 $U_h(\%)$
3	3	5	6
9	1.5	1.5	2.5
5	0.3	0.3	2
21	0.2	0.2	1.75
>21	0.2	0.2	1

ตารางที่ 1.9 ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิกผิดเพี้ยนรวม (THD)

Total harmonic Distortion (THD)	Class 1	Class 2	Class 3
	5%	8%	10%

ตารางที่ 1.10 ตารางเปรียบเทียบการกำหนดกระแสฮาร์โมนิกและแรงดันฮาร์โมนิกตามมาตรฐานที่กล่าวถึงในปริญญาโทฉบับนี้

มาตรฐาน	กรณีที่ใช้กำหนดค่าจำกัด	
IEEE Std.519-1992	TDD (% of I_L), I_h (% of I_L)	THD, V_h
G.5/3-1976	I_h (Arms)	THD, V_h
IEC 1000-2-2	ไม่ได้กำหนด	THD, V_h
IEC 1000-2-4	ไม่ได้กำหนด	THD, V_h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางค่าจำกัดของ IEC 1000-2-4-1994 จะเห็นได้ว่าค่าจำกัดนั้นจะขึ้นกับประเภทของ Class และมีค่าลดลงเมื่อลำดับฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่า มาตรฐาน IEC นั้นจะกำหนดค่าจำกัดไปถึงจุดที่แหล่งฮาร์โมนิกส์ต่อใช้งานอยู่ในขณะที่มาตรฐาน IEEE-519 จะประเมินที่จุดต่อรวมเท่านั้น จากมาตรฐาน IEEE Std.519-1992,G.5/3, IEC1000-2-2, IEC 1000-2-4 จะเห็นว่า ค่าจำกัดเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จะมีทั้ง ค่าจำกัดของกระแส และค่าจำกัดของแรงดัน สรุปได้ดังตารางที่ 1.10

4. ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม [3]

ข้อกำหนดนี้การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งในประเทศไทย ได้แก่ การไฟฟ้าการผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้ตั้งคณะทำงานขึ้นเพื่อปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ซึ่งในสวนคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เกี่ยวกับเรื่องฮาร์โมนิกส์ได้จัดทำขึ้น เนื่องจากมีการบังคับใช้ขึ้นในประเทศไทยดังนั้นจึงได้กล่าวไว้ในปริญญานิพนธ์นี้ ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนของค่าจำกัดของฮาร์โมนิกส์สรุปได้ดังนี้

4.1 ขอบเขตของข้อกำหนด

-เพื่อเป็นข้อกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับขีดจำกัดและวิธีการตรวจสอบฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) สำหรับลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

-เพื่อกำหนดมาตรฐานการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าแก้ไขและปรับปรุงวงจรที่ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

-ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้น(Non-Linear Load) ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับระบบไฟฟ้า ทั้งอุปกรณ์ชนิดเฟสเดียวและสามเฟส

4.2 วัตถุประสงค์ของข้อกำหนด

เพื่อกำหนดขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของระดับความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Voltage Distortion) และระดับความเพี้ยนของกระแสที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Current Distortion) ของโรงงานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

4.3 ค่าจำกัดของกระแสและแรงดันฮาร์โมนิกส์

มาตรฐานอ้างอิงที่ฮาร์โมนิกส์นี้นำมาใช้ในส่วน of ค่าจำกัดจำอ้างอิงมาจากมาตรฐานของประเทศอังกฤษ G.5/3-1976 :Engineering Recommendation แต่ไม่ได้รวมระดับแรงดันที่มีใช้จริงในประเทศไทยเข้าไปด้วย ดังตารางที่ 1.11 และ 1.12 ซึ่งเป็นขีดจำกัดของกระแสและแรงดัน ตามลำดับ ดังนั้นวิธีการประเมินจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ตามมาตรฐาน G.5/3-1976

ตารางที่ 1.11 ขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใด ๆ ที่จุดต่อร่วม *(PCC)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	อันดับฮาร์โมนิกส์และขีดจำกัดของกระแส (A rms)																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.400	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
11 and 12	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
22, 24 and 33	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
69	8.8	5.9	4.3	7.3	3.3	4.9	2.3	1.6	1.6	4.9	1.6	4.3	1.6	1	1	1.6	1	1
115 and above	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

* ยอมให้ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 หรือ 0.5 A (ค่าที่มากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง) มาใช้กับขีดจำกัดของกระแสแต่ละอันดับได้ไม่เกิน 2 อันดับ

ตารางที่ 1.12 ขีดจำกัดความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใด ๆ ที่จุดต่อร่วม (PCC) (รวมทั้งระดับความเพี้ยนที่มีอยู่เดิม)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม(kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมของแรงดัน (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.400	5	4	2
11 and 12	4	3	1.75
22, 24 and 33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 and above	1.5	1	0.5

4.4 การบังคับใช้

การบังคับใช้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ การไฟฟ้า สิ่งที่ต้องร่วมดำเนินการระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้าและการไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดแสดงดังแผนผังในรูปที่ (1.1)

- (1.) ผู้ขอใช้ไฟฟ้ารายใหม่ ผู้ขอใช้ไฟฟ้ารายใหม่ต้องจัดส่งรายละเอียดของอุปกรณ์และการคำนวณการให้การไฟฟ้าฯ ตรวจสอบโดยแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าแล้ว จะไม่ก่อให้เกิดฮาร์โมนิกส์เกินขีดจำกัดฯ ข้างต้น การไฟฟ้าฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการไม่จ่ายไฟฟ้า หากการต่อใช้ไฟฟ้าดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2.) ผู้ขอเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้า ผู้ขอเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าจะต้องปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ (1) โดยจะต้องจัดส่งรายละเอียดของอุปกรณ์และการคำนวณทั้งโหลดเดิมและโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงการให้ไฟฟ้าฯ ตรวจสอบ
- (3.) ผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม ถ้าทางการไฟฟ้าฯ ตรวจสอบแล้วพบว่าการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมนั้น ก่อให้เกิดฮาร์โมนิกส์เกินขีดจำกัดฯ ข้างต้น ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว หากผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข การไฟฟ้าฯ จะเข้าไปทำการปรับปรุงแก้ไขโดยคิดค่าใช้จ่ายจากผู้ใช้ไฟฟ้าหรืองดการจ่ายไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้