

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การชดเชยกำลังรีแอกทีฟด้วยคาปาซิเตอร์และการลดกระแสฮาร์โมนิกส์
โดยวิธี Hybrid Harmonic Filter



โดย
นาย กรวิทย์ เปี่ยมทรัพย์
นาย สุพัฒน์ ปาณูเวช

๑๐๖
๓/๑๕/๖๖
๐๒๕๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62661**
วัน,เดือน,ปี.....**21 ส.ค. 2549**

b..... 1162๗82๗
i.....

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

การชดเชยกำลังรีแอกทีฟด้วยคาปาซิเตอร์และการลดกระแสฮาร์โมนิกส์
โดยวิธี Hybrid Harmonic Filter



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. จงรักษ์ บุญเส็ง

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

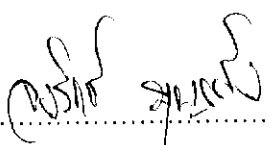
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การชดเชยกำลังรีแอกทีฟด้วยคาปาซิเตอร์และการลดกระแสฮาร์โมนิกส์
โดยวิธี Hybrid Harmonic Filter

ผู้จัดทำ

1. นาย กรวิทย์ เปี่ยมทรัพย์
2. นาย สุพัฒน์ ปานูเวช




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง)

การชดเชยกำลังรีแอกทีฟด้วยคาปาซิเตอร์และการลดกระแสฮาร์โมนิกส์
โดยวิธี **Hybrid Harmonic Filter**

นาย กรวิทย์ เปี่ยมทรัพย์
นาย สุพัฒน์ ปานเวช
รศ. จงรักษ์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบตัวกรองฮาร์โมนิกส์ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบพาสซีฟ โดยโครงการนี้ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน กล่าวคือ ส่วนการตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบตัวกรองฮาร์โมนิกส์ที่อ้างอิงข้อมูลจากวาร IEEE โดยใช้โปรแกรม ETAP และส่วนของการออกแบบตัวกรองฮาร์โมนิกส์โดยการจำลองระบบไฟฟ้าที่กำเนิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นมาโดยใช้วงจร 12 พัลส์คอนเวอร์เตอร์ เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์และทำการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ของระบบที่จำลองขึ้นมาโดยอยู่ในรูปของกระแสฮาร์โมนิกส์และแรงดันฮาร์โมนิกส์โดยใช้โปรแกรม ETAP ในการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสและสเปกตรัมโวลต์เตจ เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ของระบบที่เกิดขึ้นจริง และผลจากการใช้โปรแกรม ETAP

**COMPENSATION REACTIVE POWER BY CAPACITOR AND DECREASE HARMONIC
CURRENT USING HYBRID HARMONIC FILTER**

Kornwit Piamsab

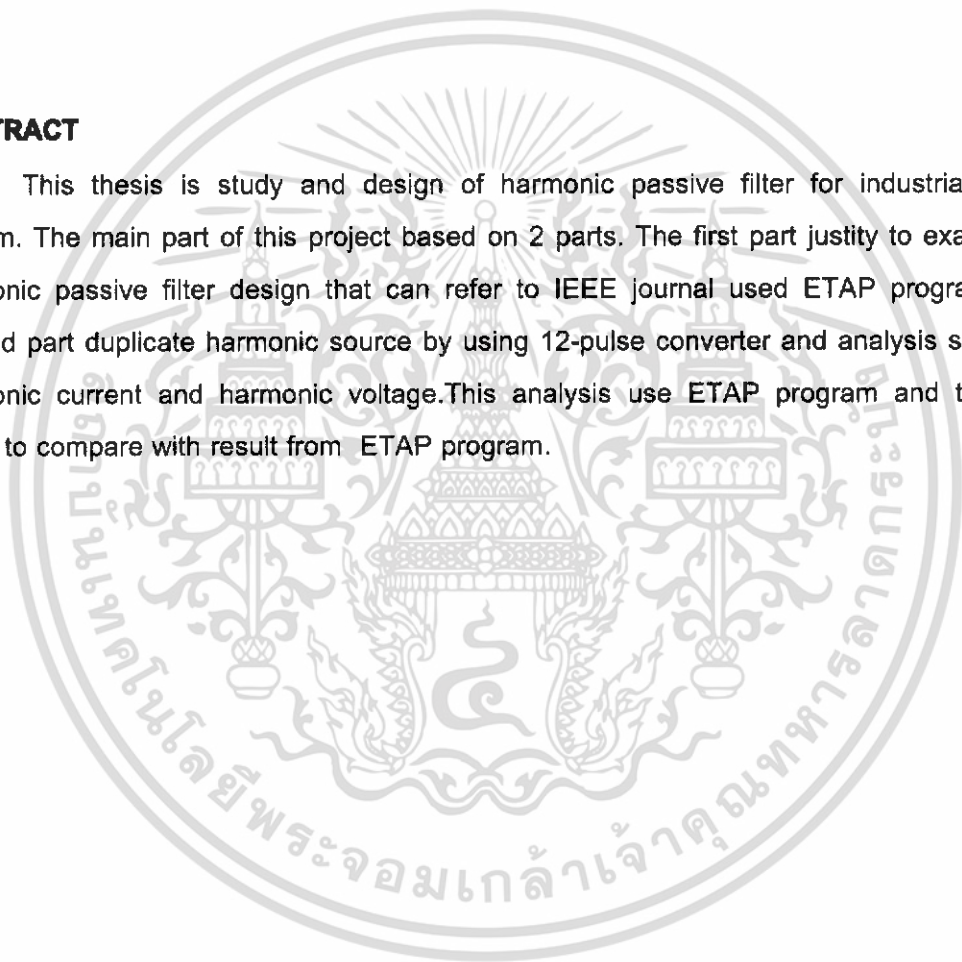
Suput Panuvat

Assoc. Prof.Chongrakg Boonseng Advisor

2005

ABSTRACT

This thesis is study and design of harmonic passive filter for industrial power system. The main part of this project based on 2 parts. The first part justify to examine of harmonic passive filter design that can refer to IEEE journal used ETAP program. The second part duplicate harmonic source by using 12-pulse converter and analysis spectrum harmonic current and harmonic voltage. This analysis use ETAP program and take the result to compare with result from ETAP program.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงมาได้ดี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณ รศ.จรงค์ บัญเสียง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำปริญญานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณบริษัท โสสุโก้ เซรามิก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปค้นหาข้อมูล เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ในการทำโปรเจก และขอขอบคุณพี่ๆที่บริษัทที่คอยเอานวยความสะดวกในการค้นหาข้อมูล

ขอขอบพระคุณอาจารย์นราดล โชติวรรณพร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม ETAP ที่ใช้ในโครงการนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุน ด้วยดีมาตลอด

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่คอยให้การช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ห้อง 3W ทุกคนที่ได้ร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมาตลอด ระยะเวลา 3 ปี และคอยเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป.....	V
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	5
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	6
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 นิยามและปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์.....	7
2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์.....	7
2.1.2 ศัพท์และปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์.....	10
2.2 ประเภทของฮาร์โมนิกส์.....	12
2.3 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์.....	13
2.3.1 โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น.....	13
2.3.2 แหล่งกำเนิดเฟสไม่สมดุล.....	13
2.3.3 ความไม่สมดุลของเฟส.....	15
2.3.4 กระแสเอ็กไซต์และเฟอโรรีโซแนนซ์.....	15
2.4 รีโซแนนซ์.....	16
2.5 ปัญหาเนื่องจากฮาร์โมนิกส์.....	19
บทที่ 3 การทำการวัดและศึกษาของมูล เพื่อนำวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับระบบ.....	22
บทที่ 4 ผลที่ได้จากการทดลอง.....	31
บทที่ 5 ผลการคำนวณและตัวอย่างการวิเคราะห์.....	37
5.1 การป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ.....	37
5.1.1 ข้อมูลของระบบไฟฟ้าและข้อมูลอื่นๆ.....	37
5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโปรแกรมด้วย E-TAP.....	42

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2.1 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB1 without Filter.....	42
5.2.2 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB1 with Filter.....	45
5.2.3 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB 2 without Filter.....	48
5.2.4 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB 2 with Filter.....	51
5.2.5 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของ โรงงาน 2 MDB 1 without Filter.....	54
5.2.6 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 2 MDB 1 with Filter.....	57
5.2.7 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 2 MDB 2 without Filter.....	60
5.2.8 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 2 MDB 2 with Filter.....	63
5.2.9 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 1 without Filter.....	66
5.2.10 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 1 with Filter.....	69
5.2.11 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 2 without Filter.....	72
5.2.12 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 2 with Filter.....	75
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	78

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์.....	1
1.2 ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า.....	2
2.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยค่าความต้าน (R) และค่าตัวเหนี่ยวนำ (L).....	8
2.2 รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าสี่เหลี่ยม.....	8
2.3 รูปคลื่นแบบยอดแบน.....	9
2.4 รูปคลื่นแบบยอดแหลม.....	9
2.5 วงจรและสัญญาณของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส 6 พัลส์.....	15
2.6 การเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	17
2.7 วงจรสมมูลของการเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	18
2.8 การเกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน.....	18
2.9 วงจรสมมูลของการเกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน.....	18
2.10 สภาพความเสียหายของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าฟิวส์.....	19
2.11 สภาพของอุปกรณ์คาปาซิเตอร์บวม.....	20
2.12 สภาพการระเบิดของตู้คาปาซิเตอร์.....	20
2.13 สภาพความเสียหายของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้า.....	20
3.1 รูปของบริษัทโซสุโก้.....	22
3.2 การต่อเครื่องที่จะทำการวัดฮาร์โมนิกส์.....	22
3.3 ทำการวัดมอเตอร์เครื่อง Pass.....	23
3.4 ทำการวัดมอเตอร์เครื่อง Gap Pap.....	23
3.5 เครื่องมือวัด 3-phase power quality analyzer.....	23
3.6 ทำการวัด Name plate ของหม้อแปลง.....	24
3.7 ทำการวัดขนาดของขงรีแอกเตอร์.....	24
3.8 ทำการเช็คโหลดแต่ละ MDB.....	24
3.9 เครื่องมือวัด 3-phase power quality analyzer Model CA 8334 ของ Chauvin Arnoux	25
3.10 เครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel ขณะวัดที่หม้อแปลงไฟฟ้า.....	25
3.11 เครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel ขณะวัดที่หม้อแปลงไฟฟ้า.....	26

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel เข้ากับ Notebook เพื่อเก็บข้อมูล.....	26
3.13 การเก็บข้อมูล.....	27
3.14 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel โดยใช้ CT 5A/1V วัดที่หน้าตู้ MDB.....	27
3.15 แสดงการวัดข้อมูลกรณีที่ยังไม่ต่อคาปาซิเตอร์เข้าในระบบ.....	28
3.16 แสดงสเปกตรัมกรณีที่เรายังไม่ต่อคาปาซิเตอร์เข้าในระบบ.....	28
3.17 ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟส ณ วันที่ 21/07/2004.....	29
3.18 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ THDv ณ วันที่ 21/07/2004.....	29
3.19 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ THDi ณ วันที่ 21/07/2004.....	30
4.1 การเกิดรีโซแนนซ์แบบขนานในวงจรสมมูลในโรงงานจริง.....	31
4.2 ผลของคาปาซิเตอร์ที่เราใส่เข้าไปในระบบไฟฟ้า.....	32
4.3 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า.....	32
4.4 ผลของ Capacitor + Filter ที่เราใส่เข้าไปในระบบ.....	33
4.5 สเปกตรัมเมื่อใส่ Capacitor + Filter ที่เราใส่เข้าไปในระบบ.....	33
4.6 ค่าของแรงดันของแต่ละเฟส ณ วันที่ 15/08/2004.....	34
4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ THDv ณ วันที่ 15/08/2004.....	34
4.8 ค่ากระแสของแต่ละเฟส ณ วันที่ 15/08/2004.....	35
4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ของ THDi ณ วันที่ 15/08/2004.....	35
4.10 ตู้ไหลดอุปการณ์ควบคุมของแต่ละ MDB.....	36
4.11 ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งชุด Harmonic filter.....	36
5.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม.....	38
5.2 หน้าจอรับข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม.....	38
5.3 หน้าจอแสดงผลต่างๆ ของตัวโปรแกรม.....	39
5.4 หน้าจอรับข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม.....	39
5.5 หน้าจอแสดงผลข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม.....	40
5.6 หน้าจอหลักของของกราฟ.....	40
5.7 กราฟแสดงค่าของกระแส.....	41
5.8 กราฟแสดงค่าแรงดัน.....	41
5.9 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน1 MDB 1 without Filter.....	42

VII

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus 2 without Filter.....	43
5.11 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus 2 without Filter.....	43
5.12 Spectrum ของ Harmonic current ที่ Cable1 without Filter.....	44
5.13 Waveform ของ Harmonic current ที่ Cabel1 without Filter.....	44
5.14 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 1 MDB 1 with Filter.....	45
5.15 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	46
5.16 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	46
5.17 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter.....	47
5.18 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter.....	47
5.19 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 1 MDB 2 without Filter.....	48
5.20 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	49
5.21 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	49
5.22 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter.....	50
5.23 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter.....	50
5.24 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 1 MDB 2 with Filter.....	51
5.25 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	52
5.26 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	52
5.27 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter.....	53
5.28 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter.....	53
5.29 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 2 MDB1 without Filter.....	54
5.30 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	55
5.31 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	55
5.32 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter.....	56
5.33 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter.....	56
5.34 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 2 MDB 1 with Filter.....	57
5.35 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	58
5.36 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	58
5.37 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter.....	59
5.38 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter.....	59
5.39 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 2 MDB 2 without Filter.....	60

VIII

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.40 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	61
5.41 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	61
5.42 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter.....	62
5.43 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter.....	62
5.44 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 2 MDB 2 with Filter.....	63
5.45 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	64
5.46 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	64
5.47 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter.....	65
5.48 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter.....	65
5.49 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 3 MDB 1 without Filter.....	66
5.50 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	67
5.51 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	67
5.52 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter.....	68
5.53 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter.....	68
5.54 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 3 MDB 1 with Filter.....	69
5.55 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	70
5.56 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	70
5.57 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter.....	71
5.58 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter.....	71
5.59 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 3 MDB 2 without Filter.....	72
5.60 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	73
5.61 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter.....	73
5.62 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter.....	74
5.63 Waveform Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter.....	74
5.64 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 3 MDB 2 with Filter.....	75
5.65 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	76
5.66 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter.....	76
5.67 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter.....	77
5.68 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter.....	77
6.1 กราฟแสดงค่า %THDv ขณะใส่ Filter ที่เฟสต่างๆ.....	78

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.2 การเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่และหลังใส่ Harmonic Filter.....	79
6.3 ผลของการเพิ่ม Power Factor ขณะที่มี Harmonic Filter.....	79
6.4 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 6/8/04.....	80
6.5 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 7/8/04.....	80
6.6 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 8/8/04.....	81
6.7 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 9/8/04.....	81
6.8 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 10/8/04.....	82
6.9 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 11/8/04.....	82
6.10 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 12/8/04.....	83
6.11 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 13/8/04.....	83
6.12 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 14/8/04.....	84
6.13 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 15/8/04.....	84
6.14 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 16/8/04.....	85
6.15 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 17/8/04.....	85
6.16 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 18/8/04.....	86
6.17 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 19/8/04.....	86
6.18 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 20/8/04.....	87
6.19 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 21/8/04.....	87
6.20 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 22/8/04.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ประเภท Converter และ A.C. Regulator แต่ละตัว.....	3
1.2 ขีดจำกัดและกระแสฮาร์โมนิกส์สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใด ๆ ที่จุดต่อร่วม.....	4
1.3 ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใด ๆ ที่จุดต่อร่วม.....	5
2.1 ส่วนประกอบของกระแสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่ใช้ไฟกระแสตรงเรียบ.....	14



บทที่ 1

บทนำ

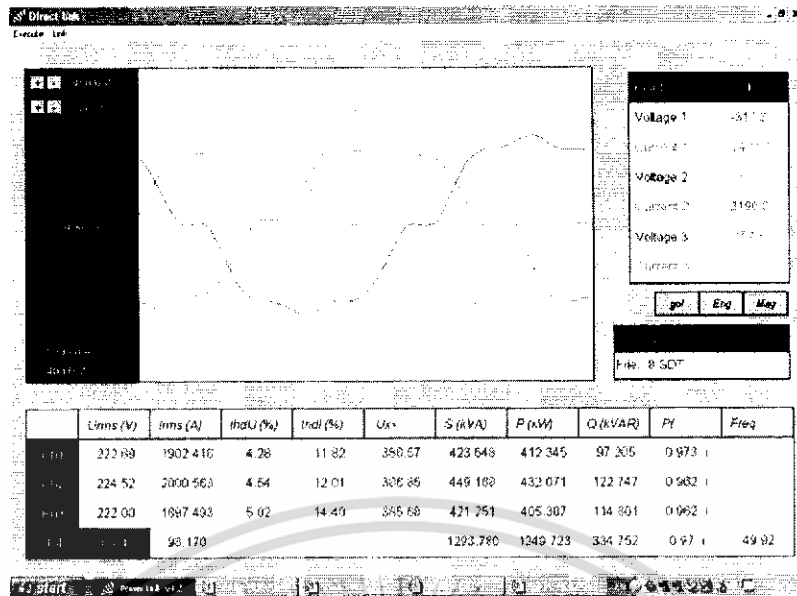
1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก การนำเอาอุปกรณ์และเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในชีวิตประจำวันจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพื่ออำนวยความสะดวกและง่ายต่อการควบคุมดูแล ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่นิยมนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพและประโยชน์ซึ่งนับว่าเป็นการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมให้เจริญก้าวหน้าอีกระดับหนึ่ง

แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่นำมาใช้เหล่านี้มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์เหล่านี้มีรูปคลื่นผิดเพี้ยนไปจากรูปไซน์ผลที่ตามมาคือจะทำให้รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าผิดเพี้ยนไปจากปกติ กล่าวคือ มีความถี่อื่นที่ไม่ใช่ความถี่หลักมุลรวมอยู่ในรูปคลื่นปกติซึ่งเรียกว่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ ถ้าอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ในระบบไฟฟ้ากำลังจำนวนมากและจะทำให้ คุณภาพกำลังไฟฟ้า(Power Quality)ลดน้อยลง หรือจ่ายไฟที่มีมลภาวะนั่นเอง



รูปที่ 1.1 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 1.2 ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพให้สูงขึ้นและจะทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดผลเสียต่อระบบน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาทางด้านฮาร์โมนิกส์ก็ยังมีอยู่ในระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าที่มีปัญหาเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ดังกล่าวนี้ก็มีก็จะมี ความแตกต่างกันออกไป วิธีการแก้ไขปัญหาก็จะมีความแตกต่างกันออกไปเช่นเดียวกัน ซึ่งระบบที่เรากำลังศึกษาจะเป็นอีกระบบหนึ่งที่มีนำเอาฟิลเตอร์ ต่อร่วมกับคาปาซิเตอร์ที่มีอยู่แล้วจะเป็นการกำจัดฮาร์โมนิกส์เฉพาะจุดที่แสดงจากการทำการทดลองว่าอยู่ช่วงไหนที่ไม่เหมาะสมกับมาตรฐาน IEEE, IEC ซึ่งเรียกว่า Hybrid Harmonic Filter ในการแก้ไขปัญหาค่าความไม่เชิงเส้นของอุปกรณ์เหล่านี้จะมีผลทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเกิดการผิดเพี้ยนไปดังนั้นโหลดที่ไม่มี ความเชิงเส้นของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้านี้จึงเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ให้แก่ระบบไฟฟ้าของเรา อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ ในปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและกำเนิดฮาร์โมนิกส์ที่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบไฟฟ้าของเราลดลง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาทางด้านฮาร์โมนิกส์ก็ยังมีอยู่ในระบบไฟฟ้ากำลังของเราแล้วแต่มักน้อยเพียงใดปัจจุบันการไฟฟ้าได้มีการนำข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรมซึ่งจัดทำโดยคณะทำงานปรับปรุงความ เชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าของ 3 การไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มาบังคับใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรมที่สำคัญ ขยายกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้วคือข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภท ธุรกิจและอุตสาหกรรมซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ 1.1 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ประเภท Converter และ A.C. Regulator แต่ละตัว

ระดับแรงดันไฟฟ้า ที่จุดต่อร่วม(kV)	Converter ชนิด 3 เฟส			A.C.Regulatorชนิด3เฟส	
	3-Pulse (kVA)	6-Pulse (kVA)	12-Pulse (kVA)	6-Thyristor (kVA)	3-Thyristor/ 3-Diode (kVA)
0.400	8	12	-	14	10
11และ12	85	130	250	150	100

ขั้นตอนที่ 1 อุปกรณ์ที่สามารถนำเขาระบบได้โดยไม่พิจารณาในส่วนของฮาร์โมนิกส์

1.1) อุปกรณ์ ไฟฟ้า 3 เฟส

อุปกรณ์ประเภท Converter หรือ A.C. Regulator ไม่เกินหนึ่งตัวและมีขนาดไม่เกินตามตารางที่ 1 แต่ถ้ามีหลายตัวให้ไปพิจารณาในขั้นตอนที่ 2

1.2) อุปกรณ์ไฟฟ้า 1 เฟส

1.2.1 ต้องผลิตตามมาตรฐาน IEC1000-3-2 ซึ่งเป็นมาตรฐานกำหนดขีดจำกัดของฮาร์โมนิกส์ที่ปล่อยจากอุปกรณ์ขนาดไม่เกิน 16 แอมป์ต่อเฟส (หรือสามารถดูได้จากข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งจัดทำโดยคณะทำงานปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าของ 3 การไฟฟ้า

1.2.2 อุปกรณ์ Converter หรือ A.C. Regulator แรงดัน 230 โวลต์เพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรมที่ไม่สร้างกระแสฮาร์โมนิกส์อันดับคูมีขนาดไม่เกิน 5 kVA โดยติดตั้งไม่เกินหนึ่งตัวต่อเฟส

1.2.3 ถ้ามีการติดตั้งอุปกรณ์มากกว่าหนึ่งตัวต่อเฟสพิจารณาตามขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 อุปกรณ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดในขั้นตอนที่ 1 สามารถนำเขาระบบได้เมื่อ

2.1) อุปกรณ์ 3 เฟส

2.1.1 ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ที่จุดต่อร่วมต้องไม่เกินค่าขีดจำกัด

2.1.2 หากค่า MVA_{sc} ต่ำสุด ณ จุดต่อร่วมมีค่าแตกต่างจากค่า MVA_{sc} Base ที่ระบุในตารางที่ 2 ยอมให้ปรับค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบด้วยสมการ

$$I_h = I_{hp} \times \frac{MVA_{sc1}}{MVA_{sc(Basc)}} \quad (1.1)$$

I_h = กระแสฮาร์โมนิกส์ (A) ลำดับที่ h ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบ
เมื่อค่า MVA_{sc} เป็น MVA_{sc1}

I_{hp} = กระแสฮาร์โมนิกส์ (A) ลำดับที่ h ที่กำหนดในตารางที่ 1.2

MVA_{sc1} = ค่า MVA_{sc} ต่ำสุด ณ จุด PCC มีค่าไม่เท่ากับค่า $MVA_{sc(Basc)}$

$MVA_{sc(Basc)}$ = ค่า $MVA_{sc(Basc)}$ สำหรับค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ชีตจำกัดและกระแสฮาร์โมนิกส์สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่จุดต่อร่วม

อันดับฮาร์โมนิกส์และ ชีตจำกัดของกระแส (A_{rms})	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)				
	0.400	11and22	22,24and33	69	115 and above
2	48	13	11	8.8	5
3	34	8	7	5.9	4
4	22	6	5	4.3	3
5	56	10	9	7.3	4
6	11	4	4	3.3	2
7	40	8	6	4.9	3
8	9	3	3	2.3	1
9	8	3	2	1.6	1
10	7	3	2	1.6	1
11	19	7	6	4.9	3
12	6	2	2	1.6	1
13	16	6	5	4.3	3
14	5	2	2	1.6	1
15	5	2	1	1	1
16	5	2	1	1	1
17	6	2	2	1.6	1
18	4	1	1	1	1
19	6	1	1	1	1

ขั้นตอนที่ 3

อุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นที่ไม่ผ่านการพิจารณาขั้นตอนที่ 2 ผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถเชื่อมต่อโหลดดังกล่าวกับระบบไฟฟ้าได้ถ้ามีการศึกษาทำการวิเคราะห์คำนวณจากคุณลักษณะระบบและพฤติกรรมฮาร์โมนิกส์ของโหลดอย่างละเอียดโดยผลของแรงดันฮาร์โมนิกส์ที่ได้ต้องไม่เกินชีตจำกัดตามตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ารายใด ๆ ที่จุดต่อร่วม

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดัน (% THD_v)	ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันแต่ละอันดับ (% THD_v)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.400	5	4	2
11,12,24,and24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115	1.5	1	0.5

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษามลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นต่อระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบที่อยู่ร่วมอย่างไรบ้าง
2. เพื่อศึกษาผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรมมาศึกษาความเป็นไปได้ต่าง ๆ ที่มีผลต่อระบบระหว่างไม่มีอุปกรณ์บางตัวในระบบกับมีในระบบว่ามีความแตกต่างผลที่เกิดขึ้นอย่างไรจะเป็นแนวคิดในการแก้ไขปัญห
3. เพื่อทำการศึกษาเพื่อทำการออกแบบโปรแกรมคำนวณค่าของตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบพาสซีฟและระบบนั้นเรียกว่า Harmonic Hybrid Filter ให้สามารถนำไปใช้งานจริงกับระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

ทำการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาของฮาร์โมนิกส์ที่ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบไฟฟ้าว่าเกิดจากสาเหตุอะไร ทำไม่ถึงเกิดและ เมื่อเกิดแล้วเราจะทำการแก้ไขอย่างไรถึงจะเหมาะสม และมีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยวิธีใดบ้าง จึงจะเหมาะสมกับประเภทของงานที่นำไปใช้เพื่อนำข้อมูลที่ทำการศึกษาเพื่อมาทำการพัฒนาและการออกแบบการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อที่จะทำการออกแบบและนำไปใช้ในทำการวิเคราะห์ผลและการทำการแก้ไขผลที่เกิดขึ้นของฮาร์โมนิกส์ที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในบริษัทไสสุโก้ เพื่อนำไปทำการออกแบบตัวกรอง Harmonic ที่เหมาะสมซึ่งนำไปใช้งานร่วมกับคาปาซิเตอร์ที่มีอยู่แล้วเพื่อไม่ให้เกิดการรีโซแนนซ์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ทำการศึกษาผลกระทบของ แรงดัน และกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในลักษณะต่างๆ ตามทฤษฎีจากข้อมูลต่างๆ
2. ทำการตรวจวัดปริมาณของฮาร์โมนิกส์ของ บริษัท โสสุโก้ โดยการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันมากน้อยเท่าไรเมื่อมีการใส่อุปกรณ์เพิ่ม เพื่อประเมินค่าปริมาณฮาร์โมนิกส์
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดปริมาณฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นที่ได้จากการวัดจากโรงงานที่เป็นค่าจริง ๆ มาทำการเทียบกับมาตรฐานของฮาร์โมนิกส์ ว่ามีค่าที่ยอมรับได้หรือเปล่านั้นเกินสมควรที่จะมีการแก้ไขฮาร์โมนิกส์ที่เกินไปเท่าไรที่จะทำการแก้ไข
4. สร้างสมการเพิ่มในการทำการแก้ไขผลที่ฮาร์โมนิกส์มีค่าเกินมาตรฐานเพื่อที่จะทำการแก้ไข แล้วนำมาเขียนโปรแกรมเพื่อทำการออกแบบ Hybrid Harmonic Filter เพื่อเข้าไปในระบบเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดความเสียหาย
5. สรุปผลการทดลองและทำการทดสอบว่านำไปใช้งานได้จริงหรือไม่
6. เขียนปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ผลของการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบของโรงงานอุตสาหกรรม และทำการออกแบบวงจรที่จะทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยที่จะทำการออกแบบวงจร Filter ร่วมกับคาปาซิเตอร์ เพื่อไม่ให้ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่อรวมได้รับผลกระทบซึ่งมีผลต่อระบบทำให้ระบบเกิดความเสียหาย ซึ่งต้องการแก้ไขโดยการออกแบบ Hybrid Harmonic Filter เพื่อที่จะแก้ไขโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาของฮาร์โมนิกส์ที่จะมีผลเกิดความเสียหายต่อระบบที่เรานำไปใช้งาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามและปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์

เมื่อพูดถึงเรื่องปัญหาเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าในอดีตที่ผ่านมาจะมีเพียงวิศวกรไฟฟ้าและช่างไฟฟ้าที่ทำงานเกี่ยวกับเรื่องนี้เท่านั้นที่รู้จักแต่ในปัจจุบันเมื่อเอ่ยถึงเรื่องนี้อาจมีหลายคนที่ไม่รู้จักอาจจะเป็นเพราะความบังเอิญหรือเพราะความจำเป็นที่ต้องเรียนรู้เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ในเรื่องของศัพท์และปริมาณต่าง ๆ ประเภทของฮาร์โมนิกส์ แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ การเกิดรีโซแนนซ์ในระบบไฟฟ้า ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ และวิธีการแก้ปัญหา

2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์

ไฟฟ้ากระแสสลับที่เราใช้งานกันอยู่ในทุกวันนี้ โดยทั่วไปจะมีคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Wave) จากทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเราทราบว่าถ้าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นไซน์มีภาระไฟฟ้าเป็นแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (R-L-C) แล้วกระแสไฟฟ้าของวงจรก็ยังคงมีรูปคลื่นไซน์เช่นกันแต่อาจจะมีมุมของเฟสระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับค่าแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พิจารณาตัวอย่างเช่นวงจรดังรูปที่ 2.1 เมื่อภาระของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยค่าความต้านทาน (R) และค่าตัวเหนี่ยวนำ (L) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 เฟสของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าอาจต่างกันด้วยมุม ϕ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า R และ L ของวงจร ถ้ากำหนดให้แรงดันที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ที่ไม่ผิดเพี้ยนเราสามารถเขียนสมการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (instantaneous voltage) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 และค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะ (instantaneous currents) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$v(t) = V_m \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \phi) \quad (2.2)$$

กำหนดให้

$v(t)$ = ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ณ เวลา t ใดๆ

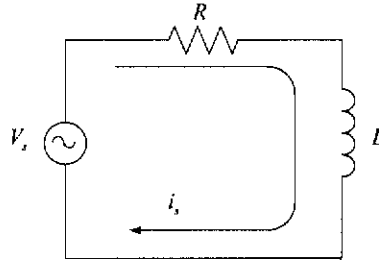
V_m = ขนาดสูงสุดหรือค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

$i(t)$ = ขนาดของกระแสไฟฟ้า ณ เวลา t ใดๆ

I_m = ขนาดสูงสุดหรือค่ายอดของกระแสไฟฟ้า

ϕ = ขนาดของมุมที่กระแสไฟฟ้าตามหลังแรงดันไฟฟ้า

t = เวลา

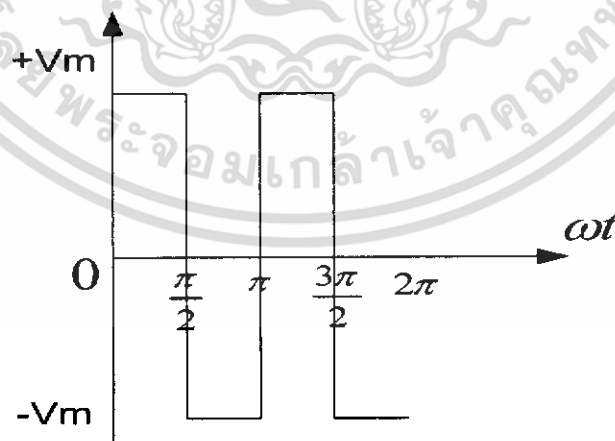


รูปที่ 2.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยค่าความต้าน (R) และค่าตัวเหนี่ยวนำ (L)

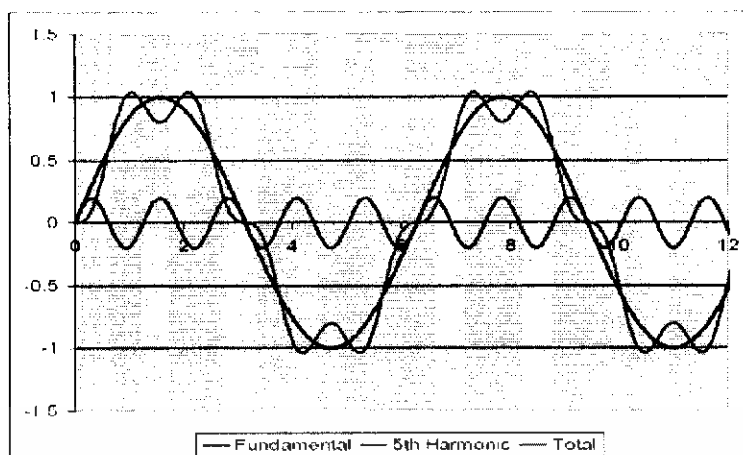
สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องเป็นรูปคลื่นไซน์เช่น อาจเป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 รูปคลื่นของแรงดันในรูปที่ 2.2 นี้เราสามารถเขียนเป็นสมการแสดงขนาดที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้ดังนี้

$$v(t) = \frac{4}{\pi} V_m \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \frac{1}{9} \sin(9\omega t) \right] \quad (2.3)$$

จากรูปที่ 2.2 พบว่า แรงดันที่มีรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมจะประกอบไปด้วยรูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาดและความถี่ต่างๆจำนวนมากมาย เพื่อแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาดและความถี่ต่างกันเมื่อนำมารวมกันจะเกิดเป็นรูปคลื่นแบบต่างๆได้เราสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าสี่เหลี่ยม

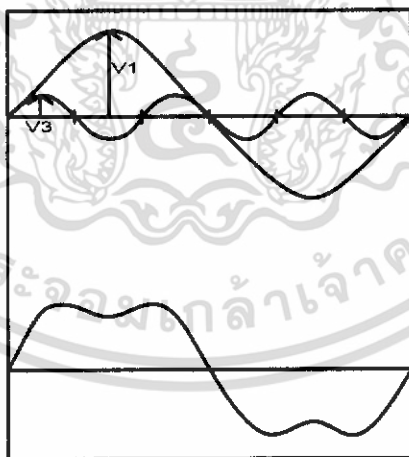


รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแบบยอดแบน

ในรูปที่ 2.3 นี้เป็นรูปคลื่นแบบยอดแบนเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์จำนวนสองชุดที่มีความถี่ต่างกันคือ

$$v(t) = V_1 \sin(\omega t) + V_5 \sin(5\omega t) \quad (2.4)$$

ส่วนในรูปที่ 2.4 เป็นรูปคลื่นแบบยอดแหลมเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์จำนวน 2 ชุดที่มีความถี่ต่างกันสามเท่า มารวมกันแต่มีมุมเฟสต่างจากรูปที่ 2.2 คือ



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแบบยอดแหลม

จากรูปคลื่นต่างๆที่กล่าวมาเราสามารถสรุปได้ว่าไม่ว่ารูปคลื่นเหล่านั้นจะมีรูปร่างเป็นอย่างไรเช่นแบบไซน์ แบบสี่เหลี่ยม แบบยอดแบน หรือแบบยอดแหลม ต่างเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาดและความถี่ต่างๆจำนวนมากมารวมกัน พิจารณารูปคลื่น $V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 2.1 หรือ $V_1 \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 2.4 เราจะเรียกรูปคลื่นนี้ว่ารูปคลื่นความถี่หลักมูล (Fundamental Wave) ส่วนรูปคลื่นอื่นๆที่มีความถี่ต่างไปจากรูปคลื่นความถี่หลักมูลเป็นจำนวน n เท่าโดยที่ $n = 2, 3, 4, \dots$ เช่น $\frac{4}{\pi} V_m \left[\frac{1}{3} \sin(3\omega t) \right]$ ในสมการที่ 2.3 ที่มีความถี่เป็นสามเท่าของความถี่หลักมูล เราจะเรียกว่าเป็นรูปคลื่นฮาร์โมนิกส์โดยมีลำดับฮาร์โมนิกส์เป็นลำดับที่ 3 ดังนั้น ฮาร์โมนิกส์ก็คือขนาดของแรงดันไฟฟ้าหรือขนาดของกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล ยกตัวอย่างเช่น ระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย ความถี่หลักมูลมีค่าเท่ากับ 50Hz ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ก็คือ 50×3 ก็มีค่าเท่ากับ 150Hz และฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ก็คือ 50×5 ก็มีค่าเท่ากับ 250Hz เป็นต้น การที่จะอธิบายว่ารูปคลื่นใดๆมีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เท่าใดขึ้นอยู่กับฮาร์โมนิกส์แต่ละอันดับนั้นมีปริมาณหรือขนาดมากน้อยเพียงใดเราสามารถอธิบายได้โดยใช้อนุกรมฟูริเยร์ (Fourier Series)

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) \quad (2.5)$$

$v(t)$ = ฟังก์ชันของรูปคลื่นรายคาบใดๆ

a_0 = ค่าเฉลี่ยของ $v(t)$

n = เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ (ลำดับของฮาร์โมนิก)

a_n, b_n = ค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์

T = คาบเวลาของรูปคลื่น $v(t)$

2.1.2 ศัพท์และปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์

เพื่อให้สามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจถึงเรื่องฮาร์โมนิกส์ได้อย่างถูกต้องแท้เราคงต้องเริ่มต้นด้วยการทำความเข้าใจเกี่ยวกับศัพท์และปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์กันก่อน

1. ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic)

ในวิชาการทางไฟฟ้า ฮาร์โมนิกส์ คือ สัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล ระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยมีความถี่หลักมูลมีค่าเท่ากับ 50Hz เราจะเรียกความถี่หลักมูลว่าฮาร์โมนิกส์ที่ 1 ส่วนฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่นๆเราสามารถหาได้จากการนำเอาเลขจำนวนเต็มบวกมาคูณกับความถี่หลักมูลยกตัวอย่าง เช่น ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ก็คือให้เรานำ 2 ไปคูณกับความถี่หลักมูลซึ่งมีค่าเท่ากับ 50Hz ($2 \times 50 = 100$) เพราะฉะนั้นฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ก็มีค่าเท่ากับ 100Hz เป็นต้น ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปคลื่นไซน์โดยสมบูรณ์จะไม่มีฮาร์โมนิกส์รวมอยู่ด้วยในขณะที่รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า

หรือแรงดันไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์จะมีฮาร์โมนิกส์รวมอยู่ด้วย แต่ในการที่จะบอก ว่ารูปคลื่นนั้นๆ มีค่าความผิดเพี้ยนมากไปหรือน้อยไปจากรูปคลื่นไซน์นั้นๆ จะต้องพิจารณาจาก ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (Total Harmonic Distortion) ซึ่งเราสามารถทำการวัดได้โดยใช้ เครื่องมือวัดฮาร์โมนิกส์

2. กระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Current)

ในระบบไฟฟ้ากำลัง ฮาร์โมนิกส์ที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่มี คุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Devices) ซึ่งอาจจะเป็นโหลดหรือแหล่งกำเนิดก็ได้ในอดีตที่ไม่มีการศึกษาฮาร์โมนิกส์กันอย่างจริงจัง เนื่องจากอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นมีจำนวนน้อยทำให้ผลของฮาร์โมนิกส์ต่อระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าน้อย แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ อุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ขยายตัวอย่างมากเป็นผลให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ขึ้นอย่างมากมาย

3. แรงดันฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Voltage)

เกิดจากการที่กระแสฮาร์โมนิกส์ไหลผ่านค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ของระบบ (รีแอกแตนซ์ของแหล่งจ่ายของสายส่งหรือรีแอกแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าให้ดีขึ้น) ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดันอันเนื่องมาจากรีแอกแตนซ์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ ส่วนค่าความต้านทานนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่กระแสฮาร์โมนิกส์ที่ไหลในระบบนั้นจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Voltage Distortion) ซึ่งเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$V_n = Z_n I_n \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$V_n = \text{แรงดันฮาร์โมนิกส์}$$

$$I_n = \text{กระแสฮาร์โมนิกส์}$$

$$Z_n = \text{ค่าอิมพีแดนซ์}$$

4. ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion Factor : DF), ตัวประกอบฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Factor : HF), ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด (Total Harmonic Distortion : THD)

ความหมายทั้งสามตัวนั้นตามมาตรฐาน IEEE ได้ให้ความหมายไว้เหมือนกัน กล่าวคือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์โมนิกส์ที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของส่วนประกอบความถี่หลักมูลดังสมการที่ (2.7) และสมการที่ (2.8) ซึ่งเป็นมาตรฐาน IEEE 519-1992

$$DV_v = HF_v = THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\alpha} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.7)$$

$$DF_i = HF_i = THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\alpha} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.8)$$

5. ลำดับฮาร์โมนิกส์ (Power Order)

ลำดับฮาร์โมนิกส์ คือ อัตราส่วนของความถี่ฮาร์โมนิกส์และความถี่หลักมูล เช่น เมื่อเอ่ยถึงฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 หากความถี่หลักมูลเป็น 50 Hz จะได้ความถี่ของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เป็น 150 Hz

6. ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

หมายถึง อัตราส่วนของกำลังงานจริง (W,kW) ต่อกำลังงานปรากฏ (VA,kVA) อย่างไรก็ตามหากรูปคลื่นของแรงดันและกระแสมีลักษณะรูปคลื่นไซน์เราอาจพูดถึงตัวประกอบกำลังในเทอมค่าโคไซน์(cosine)ของมุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแสก็ได้

2.2 ประเภทของฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นปะปนอยู่ในกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า อาจแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆดังต่อไปนี้

1. ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic)

หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความถี่หลักมูล

2. อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ (Interharmonic)

หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความถี่หลักมูล อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์นี้ส่วนมากจะพบในกระแสเตาหลอมแบบอาร์ก (Arc furnace) เนื่องจากในระหว่างหลอมเหล็ก โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นการหลอม กระแสอาร์กจะยังไม่เสถียร ทำให้กระแสไม่แน่นอน กล่าวคือ ความถี่ 50 Hz คาบจะกินเวลา 20 มิลลิวินาที แต่กระแสอาร์กจะมีคาบเวลาไม่เป็น 20 มิลลิวินาทีทุกคาบ ทำให้เกิด Interharmonic ขึ้น นอกจากนี้ก็จะพบ Interharmonic ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle หรือ Burst firing

3. ฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะ (Characteristic Harmonic)

หมายถึง ฮาร์โมนิกส์ที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้าหรือคอนเวอร์เตอร์(Converter) ซึ่งแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือกลับกัน โดยใช้สารกึ่งตัวนำเช่น ไดโอด, SCR เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแส ในสภาวะการทำงานปกติ ลำดับของฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะสามารถหาได้จาก

$$n = KP \pm 1 \quad (2.9)$$

เมื่อ

n = ลำดับฮาร์โมนิกส์

K = เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ(1,2,3,...)

P = จำนวนพัลส์(pulse number) ของคอนเวอร์เตอร์

4. ฮาร์โมนิกที่ไม่ได้เกิดจากคุณลักษณะ (Noncharacteristic Harmonic)

หมายถึงฮาร์โมนิกที่ถูกสร้างโดยคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่เป็นไปตามสมการ $n = kp \pm 1$ เช่น คอนเวอร์เตอร์แบบ 12 พัลส์ ควรจะมีเฉพาะฮาร์โมนิกคุณลักษณะที่มีลำดับ 11,13,23,25,35,37,... ดังนั้นถ้ามีฮาร์โมนิกที่มีลำดับเป็น 5,7,17,19 ป็นมาด้วย ฮาร์โมนิกเหล่านี้ถือว่าเป็นฮาร์โมนิกที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบมากที่สุด

5. ฮาร์โมนิกลำดับที่สามหารลงตัว

หมายถึง ฮาร์โมนิกที่ลำดับถูกหารด้วย 3 ลงตัว ได้แก่ ฮาร์โมนิกลำดับที่ 3,6,9 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับ(sequence)เป็นศูนย์ ในกรณีที่เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกกลุ่มนี้จะรวมกันไหลอยู่ในสายนิวทรัล ทำให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าได้ เช่น สายนิวทรัลมีความร้อนสูงมาก ๆ จะส่งผลทำให้ฉนวนเกิดความเสียหายและทำให้เกิดลัดวงจร เป็นต้น

2.3 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิก

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้ามีด้วยกันหลายอย่าง ทั้งจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท static power converter ที่เริ่มนำมาใช้กันแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมและเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆที่มีใช้กันมานานแล้วกล่าวคือได้รวบรวมสรุปแหล่งที่มาทั้งหมดที่เป็นตัวกำเนิดฮาร์โมนิกขึ้นมาในระบบไฟฟ้ากำลัง รวมทั้งกล่าวถึงรายละเอียดของการเกิดและขนาดของฮาร์โมนิกว่ามีมากน้อยเพียงใดที่จะมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์หรือไม่ แหล่งกำเนิดสัญญาณฮาร์โมนิกสามารถแยกออกได้หลายประเภทดังนี้

2.3.1 โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear load)

- เรคตีไฟเออร์ (rectifier)
- เรคตีไฟเออร์แบบมีการควบคุม (controlled rectifier)
- คอนเวอร์เตอร์แบบความถี่ (static frequency converter)
- รีแอกเตอร์แบบอิ่มตัว (saturable reactor)
- เต้าหลอมแบบอาร์ค (arc furnace)
- เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค

2.3.2 แหล่งกำเนิดเฟสไม่สมดุล (phase unbalance sources)

- โหลดแบบเชิงเส้นเฟสเดียว (single phase linear load)
- โหลดแบบไม่เชิงเส้นเฟสเดียว (single phase nonlinear load)
- หม้อแปลงเดลต้าเปิด (open delta transformer)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของกระแสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่ใช้ไฟกระแสตรงเรียบ

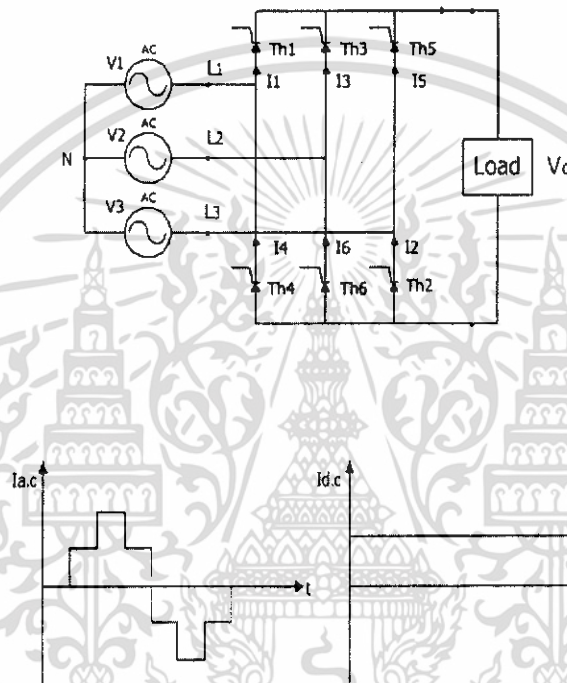
ฮาร์โมนิกส์	ขนาด(p.u.)
ความถี่ปกติ(fundamental)	1.0
5	0.2
7	0.143
11	0.077
13	0.059
17	0.053

ในกรณีที่ไม่ได้มีการใช้ทั้งความเหนี่ยวนำและความจุเพื่อทำให้สัญญาณกระแสตรงเรียบนั้นทางด้านกระแสลับจากแหล่งจ่ายไฟก็มีการเบี่ยงเบนจากไซน์ (distort) น้อย เเรคตีไฟเออร์แบบคลื่นเต็มเฟสเดี่ยว (full wave single phase) เมื่อจ่ายกระแสให้โหลดที่เป็นความต้านทานอย่างเดียวกันก็ไม่มี การเบี่ยงเบนของไซน์เกิดขึ้นทางด้านกระแสลับของแหล่งจ่ายไฟอย่างไรก็ตามถ้าแบบเป็นสามเฟสการเบี่ยงเบนของไซน์ทางด้านกระแสของแหล่งจ่ายไฟก็เกิดขึ้น การเบี่ยงเบนจากไซน์เนื่องจากมีการใช้เรคตีไฟเออร์ที่มากที่สุดก็คือสัญญาณสามเฟสกระแสลับแบบคลื่นสแควร์ที่ผ่านเรคตีไฟเออร์สามเฟสโดยมีความเหนี่ยวนำขนาดใหญ่เพื่อทำให้สัญญาณกระแสตรงเรียบขึ้น ขนาดของฮาร์โมนิกส์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งมีค่าขนาดสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสัญญาณคลื่นสแควร์ทางด้านกระแสลับของแหล่งจ่าย รูปที่ 2.5 เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส 6 พัลส์เปลี่ยนแปลงกระแสลับเป็นกระแสตรงโดยจ่ายกระแสตรงออกมาเรียบ ส่วนกระแสลับมีลักษณะเป็นคลื่นสแควร์ และกระแสแควร์ทางด้านอินพุทที่มาจากแหล่งจ่ายไฟนี้ก็คือคลื่นที่เบี่ยงเบนจากไซน์ซึ่งเมื่อแยกคลื่นออกโดยใช้ Fourier Analysis จะได้

$$I_{AC} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\cos\theta - \frac{1}{5} \cos 5\theta + \frac{1}{7} \cos 7\theta - \frac{1}{11} \cos 11\theta + \frac{1}{13} \cos 13\theta \dots \right) \quad (2.10)$$

การเบี่ยงเบนจากไซน์ของสัญญาณที่แหล่งจ่ายไฟอันเนื่องมาจากวงจรไทรสเตอร์ก็มีสาเหตุอีกประการหนึ่งที่เรียกว่าคอมมิวเตชันน็อช (commutation notches) มันจะเกิดขึ้นทุกๆ ครึ่งไซเคิลในแต่ละเฟสของระบบ 6 พัลส์ สาเหตุเกิดเนื่องจากการควบคุมตัดก้าไฟฟ้าเอาท์พุทนั้นไทรสเตอร์บางขณะก็อยู่ในช่วงเป็นตัวนำและบางขณะก็ไม่เป็นตัวนำ (conducting and nonconducting) การที่ทำเช่นนี้ได้ นั้น การคอมมิวเตทกระแสกับไทรสเตอร์ตัวถัดไปจำเป็นต้องลัดวงจรทางด้านกระแสลับชั่วขณะเป็นไมโครวินาที การจำกัดกระแสจรรให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นขึ้นอยู่กับขนาดความเหนี่ยวนำในสายและระบบ ความเหนี่ยวนำยิ่ง

มากกระแสลัดวงจรน้อยและระยะเวลาที่เกิดก็ต้องให้นานพอควรในการทำให้เกิดคอมมิวเตชันที่สมบูรณ์ คอมมิวเตชันน้อยอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนจากไซน์ เช่น มอเตอร์ขนาด 500 แรงม้า อาจมีขนาดคอมมิวเตชันน้อยเกิดขึ้นขนาด 70% เป็นเวลา $\frac{1}{4} m/s$ โดยเกิด 6 ครั้ง ภายในครึ่งไซเคิลซึ่งก็คือ $1.5 m/s$ ภายในหนึ่งไซเคิลหรือประมาณ 10% ของเวลา และถ้าหากมีมอเตอร์ดังกล่าวหลายๆชุดต่อกันก็อาจทำให้มีผลเสียมากขึ้นความถี่ของคอมมิวเตชันน้อยอยู่ในย่านความถี่ mid-audio หรือสูงกว่าที่ทำให้เกิดการรบกวนคลื่นวิทยุและเกิดการเบี่ยงเบนจากไซน์ในสัญญาณจากแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.5 วงจรและสัญญาณของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส 6 พัลส์

2.3.3 ความไม่สมดุลของเฟส (phase unbalance)

ความไม่สมดุลของเฟสที่เกิดขึ้นในระบบก็มีผลต่อระบบเช่นเดียวกับการเบี่ยงเบนจากไซน์ เพราะมันมีผลต่อมอเตอร์เช่นเดียวกับการเบี่ยงเบนของความถี่สาเหตุของการเกิดความไม่สมดุลของเฟสก็เนื่องมาจากโหลดไม่สมดุลหรืออิมพีแดนซ์ของเฟสไม่สมดุลหรืออาจเกิดเนื่องมาจากมีโหลดแบบเฟสเดียวที่เป็นแบบไม่เชิงเส้น เช่น การขับเคลื่อนแบบใช้ไทรสเตอร์เฟสเดียว เป็นต้น ซึ่งทำให้มีปัญหาทางด้านฮาร์มอนิกส์เกิดขึ้นนอกเหนือจากเฟสไม่สมดุลสาเหตุของความไม่สมดุลของเฟสที่คาดไม่ถึงอีกประการก็คือ เมินฟิวส์เฟสหนึ่งของคาปาซิเตอร์ขาดและฟิวส์ที่ขาดแบบนี้โดยทั่วไปก็ไม่ทราบว่ามันเกิดขึ้นดังนั้นทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ถ้าคาปาซิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ใช้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้น 4% ของระบบเมื่อฟิวส์ขาดไปหนึ่งเฟสจะเกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 2% ทำให้เกิดความสูญเสียในมอเตอร์

ประมาณ 8% ดังตารางที่แสดงไว้ในหัวข้อเรื่องปัญหาเนื่องจากฮาร์โมนิกสั่นในหัวข้อย่อยของมอเตอร์

2.3.4 กระแสเอ็กไซท์และเฟอโรรีโซแนนซ์(exciting current and ferroresonance)

กระแสเอ็กไซท์โดยปกติไม่ได้ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของคลื่น(wave distortion)แต่ปัญหาเกิดเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเพราะกระแสเอ็กไซท์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐานแล้วหม้อแปลงที่แรงดันไฟฟ้า 110% ของอัตรากระแสไม่ควรเกิดความร้อนมากเกินไป (overheat)เมื่อไม่มีโหลดนั้นก็คือที่ 110% ของอัตราแรงดันไฟฟ้าความสูญเสียเนื่องจากกระแสเอ็กไซท์มีค่าเท่ากับความสูญเสียในหม้อแปลงเมื่อจ่ายโหลดเต็มที่ที่ 130% ของอัตราแรงดันไฟฟ้ากระแสเอ็กไซท์อาจมีขนาดใกล้เคียงกับกระแสโหลดเต็มที่ซึ่งกระแสดังกล่าวประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์ที่ 3 หรือมากกว่ามีขนาดมากกว่า 50% และทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของคลื่น เฟอโรรีโซแนนซ์เป็นสิ่งผิดปกติอีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นไม่บ่อยนักแต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วก็ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของคลื่นและเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินขึ้น (overvoltage) เฟอโรรีโซแนนซ์อาจเกิดขึ้นได้เมื่อเฟสหนึ่งเปิดวงจรออกและเฟสหนึ่งของหม้อแปลงถูกจ่ายไฟผ่านทางความจุเคเบิลยาว 30-60 เมตร สามารถให้ความจุมากพอที่จะทำให้เกิดเฟอโรรีโซแนนซ์ สาเหตุที่อาจเป็นได้ว่าฟิวส์ต้นทางตัวหนึ่งของสายที่จ่ายมายังหม้อแปลงขนาดไม่เกิน 5000 KVA ขาดลงขนาดกระแสคาปาซิเตอร์แม้เพียง 1% ของกระแสเอ็กไซท์ของหม้อแปลงก็สามารถทำให้เกิดเฟอโรรีโซแนนซ์ได้กับหม้อแปลงที่ไม่ได้จ่ายโหลดโดยทั่วไปเฟอโรรีโซแนนซ์ไม่เกิดขึ้นถ้าหม้อแปลงจ่ายโหลดมากกว่า 30% ของอัตราป้องกันระบบก็คือพยายามไม่ให้เกิดการเอ็กไซท์หม้อแปลงผ่านความจุที่ต่ออนุกรมและพยายามให้หม้อแปลงจ่ายโหลดเสมอ เมื่อเกิดเฟอโรรีโซแนนซ์ขึ้นให้รีบปลดเฟสอื่นๆ ของหม้อแปลงทันที

2.4 รีโซแนนซ์ (Resonance)

เมื่อทราบสาเหตุของการเกิดฮาร์โมนิกแล้วปัญหาต่อไปที่ต้องศึกษาก็คือฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบมีกระแสฮาร์โมนิกส์ไหลไปในระบบแล้วเกิดอะไรตามมา สำหรับผลเสียอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์จะกล่าวไว้ในภายหลังแต่ในที่นี้จะกล่าวถึงฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบที่มีความถี่ตรงกับรีโซแนนซ์ของระบบ รีโซแนนซ์ในระบบมี 2 แบบคือรีโซแนนซ์แบบขนานและรีโซแนนซ์แบบอนุกรม เมื่อเกิดรีโซแนนซ์แบบขนานกระแสเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงๆ ส่วนวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมเมื่อเกิดแล้วแรงดันไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดกระแสไหลสูงที่ความถี่รีโซแนนซ์ถ้าไม่มีการเบี่ยงเบนของคลื่นหรือไม่มีโหลดประเภทไม่เชิงเส้นรีโซแนนซ์ที่มีอยู่ในระบบก็ไม่สร้างปัญหาแต่อย่างใด ความถี่รีโซแนนซ์สามารถหาได้จาก

$$F_P = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} \tag{2.6}$$

$$= 50 \sqrt{\frac{KVA_{sc}}{KVA_c}} \tag{2.7}$$

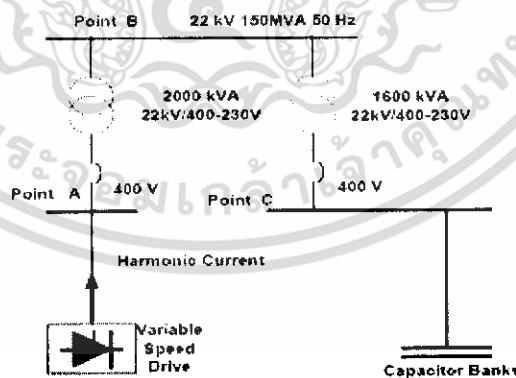
L = ความเหนี่ยวนำของระบบ

C = ความจุของระบบหรือคาปาซิเตอร์

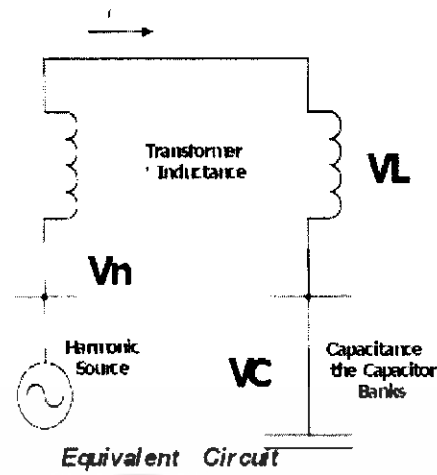
KVA_{sc} = KVA ลัดวงจรของระบบตำแหน่งที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์

KVA_c = KVA ของคาปาซิเตอร์

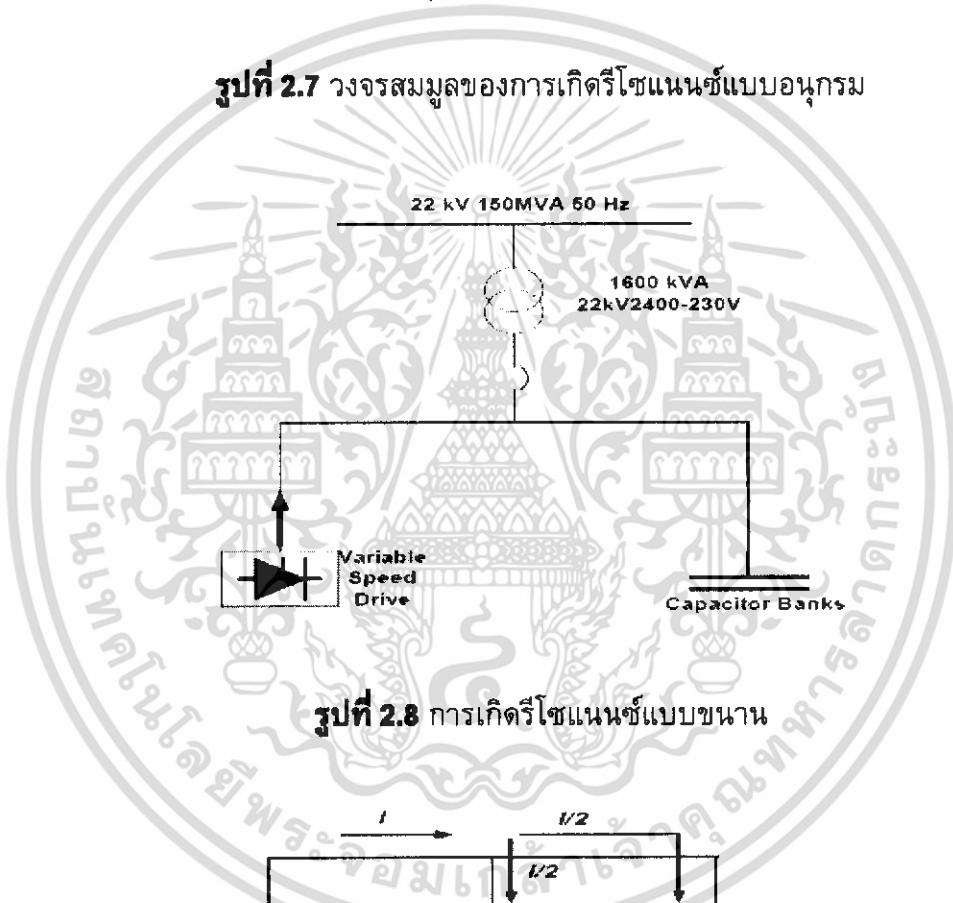
รีโซแนนซ์อนุกรมโดยปกติเป็นเป็นวงจรที่ถูกออกแบบไว้ คือ ตั้งใจทำขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเนื่องจากรีโซแนนซ์ขนานโดยใช้รีโซแนนซ์อนุกรมเป็นทางผ่านสำหรับฮาร์มอนิกส์ที่ต้องการรีโซแนนซ์อนุกรมประกอบด้วยความเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับความจุหรือคาปาซิเตอร์เพื่อทำให้เกิดรีโซแนนซ์ที่ความถี่หนึ่งและอิมพีแดนซ์รวมของความเหนี่ยวนำและความจุมีค่าต่ำมากทำให้กระแสฮาร์มอนิกส์ที่ความถี่ดังกล่าวไหลเข้าไปในวงจรรีโซแนนซ์ที่ทำล่อไว้เพื่อไม่ให้เข้าไปในระบบไฟฟ้า บางครั้งก็เรียกววงจรรีโซแนนซ์ที่ทำไว้ล่อว่า แทรป(trap) วงจรรีโซแนนซ์อนุกรมทำหน้าที่เหมือนความเหนี่ยวนำที่ความถี่สูงมาก ๆ ดังนั้นจึงไม่มีโอกาสที่จะเกิดรีโซแนนซ์ขนานที่ความถี่สูงกว่านี้ เมื่อเพิ่มวงจรรีโซแนนซ์อนุกรมเข้าไป การต่อความเหนี่ยวนำอนุกรมเข้าไปทำให้ความถี่รีโซแนนซ์ขนานต่ำลง ตัวอย่างการเกิดรีโซแนนซ์ขนานและอนุกรมได้แสดงไว้ในรูปจะแสดงในรูปด้านล่าง ในรูปที่ 2.7 และ 2.8 เกิดรีโซแนนซ์อนุกรมระหว่างคาปาซิเตอร์และความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงเมื่อมองจากเรกติไฟเออร์ ส่วนในรูปที่ 2.9 และ 2.10 เกิดรีโซแนนซ์ขนานระหว่างความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงที่จ่ายให้กับมอเตอร์และคาปาซิเตอร์เมื่อมองจากเรกติไฟเออร์



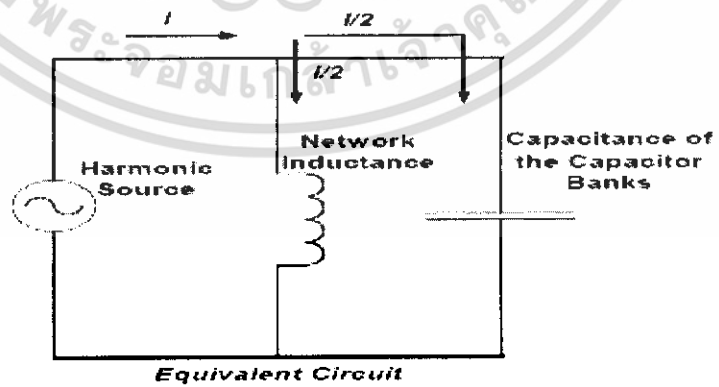
รูปที่ 2.6 การเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของการเกิดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.8 การเกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของการเกิดรีโซแนนซ์แบบขนาน

สำหรับกรณีการทำงานปกติของคอนเวอเตอร์พาราเมเตอร์ของวงจรซึ่งได้แก่ ความเหนียวนำความจุและความต้านทานไม่ทำให้เกิดรีโซแนนซ์เข้ากับความถี่ที่กำเนิดจากคอนเวอเตอร์ ความจุของหม้อแปลงเคเบิลและสายมีค่าน้อยมากและความเหนียวนำของหม้อแปลงเคเบิลและสายทำให้เกิดรีโซแนนซ์ได้แต่เป็นความถี่สูงมาก ๆ ซึ่งไม่มีปัญหาต่อระบบแต่ถ้าเติมคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบรีโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นในระบบมีโอกาสที่จะตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากคอนเวอเตอร์และเป็นปัญหาต้องแก้ไขเมื่อจะใช้คาปาซิเตอร์

2.5 ปัญหาเนื่องจากฮาร์โมนิกส์

ปัญหาเนื่องจากฮาร์โมนิกส์อาจพิจารณาได้เป็นสองขั้นตอน คือในระบบไฟฟ้าเมื่อแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นทำให้เกิดผลเสียโดยเฉพาะทางด้านความสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไปในตอนนี้

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเกิดฮาร์โมนิกส์

ในการวิเคราะห์ปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นเราจะต้องมีความรู้และประสบการณ์ต้องทำการวัดอย่างละเอียดแล้วนำค่าที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากอะไรมีความรุนแรงแค่ไหนจะมีผลต่อกระบวนการผลิตของเราหรือไม่ ซึ่งถ้าเกิดปัญหาแล้วจะทำให้ระบบไฟฟ้าของเราเสียหาย



รูป 2.10 สภาพความเสียหายของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าฟิวส์



รูปที่ 2.11 สภาพของอุปกรณ์คาปาซิเตอร์รวม



รูปที่ 2.12 สภาพการระเบิดของตู้คาปาซิเตอร์



รูปที่ 2.13 สภาพความเสียหายของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้า

ในระบบที่มีแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์มักมีเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ดังนั้นเมื่อต้องการปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้นโดยใช้คาปาซิเตอร์ก็ต้องระวังปัญหาความถี่รีโซแนนซ์ของวงจรไปใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์เข้า ดังที่ได้กล่าวไว้ในเรื่องรีโซแนนซ์เพราะทำให้มีกระแสและแรงดันไฟฟ้าสูงในระบบ จะเห็นว่าปัญหาที่เกิดขึ้นต้องแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังที่ได้กล่าวและสรุปไว้ดังนี้

1. ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดในระบบทำให้เกิดปัญหาเรื่องความสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในระบบ

2. เมื่อต้องการปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้นในระบบที่มีฮาร์โมนิกส์โดยใช้คาปาซิเตอร์ก็อาจพบกับปัญหาเรื่องของรีโซแนนซ์ของวงจรตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์

สำหรับการแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์อันเนื่องมาจากการใช้คาปาซิเตอร์ในระบบจะกล่าวไว้ในตอนต่อไป ส่วนในตอนต่อไปนี้จะกล่าวรายละเอียดเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์แล้วมีผลเสียต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาของคลื่นเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์หรือเนื่องจากความไม่สมดุลของเฟสก็ทำให้ค่าใช้จ่ายในระบบสูงขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะ

- ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง
- ความสูญเสียของมอเตอร์สำรอง(standby motor)เพิ่มขึ้น
- ความสูญเสียในหม้อแปลงคาปาซิเตอร์ สายและสวิตช์เกียร์สูงขึ้น
- กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพิ่มมากขึ้น
- เพิ่มเงินลงทุนระบบมากขึ้น
- คุณภาพของผลผลิตลดลง
- ค่าบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้น
- ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

รายละเอียดที่ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเนื่องจากความสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุของสกินเอฟเฟค (skin effect) มอเตอร์ หม้อแปลง คาปาซิเตอร์ และโหลดแบบไม่เชิงเส้นทำให้เกิดปัญหาของฮาร์โมนิกส์ขึ้นมาเป็นอย่างมากทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือที่เราใช้งานประสิทธิภาพน้อยลง

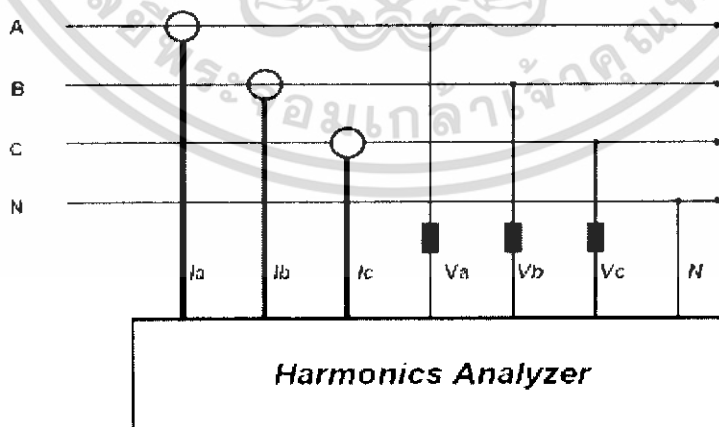
บทที่ 3

การทำการวัดและศึกษาของมูล เพื่อนำวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับระบบ

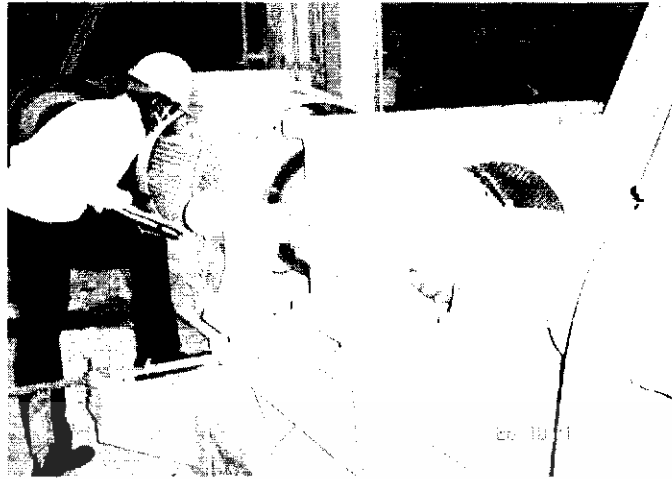
ทำการวัดผลที่เกิดจากการทำงานของเครื่องและพิจารณาผลที่ได้จากการวัดและทดสอบผลที่ได้จริงของโรงงานงานที่เกิดปัญหาที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งมีผลเป็นตัวสร้างฮาร์โมนิกส์ในโรงงานนี้ และการพิจารณาจากรูปที่ 3.1



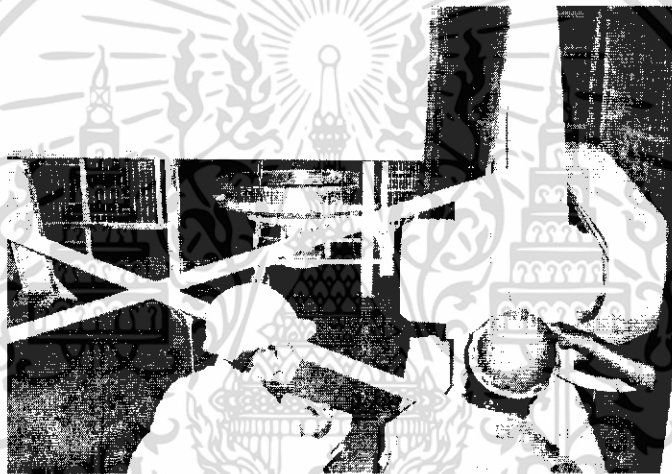
รูปที่ 3.1 รูปของบริษัทโซสุโก้ เซรามิก จำกัด เป็นที่ที่เราทำการศึกษาและทำการเก็บข้อมูลผลที่เกิดขึ้นจากระบบเพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.2 การต่อเครื่องที่จะทำการวัดฮาร์โมนิกส์



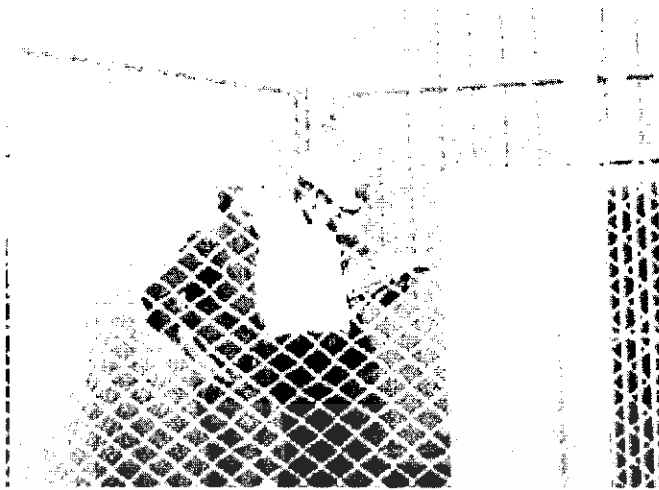
รูปที่ 3.3 ทำการวัดมอเตอร์เครื่อง Pass



รูปที่ 3.4 ทำการวัดมอเตอร์เครื่อง Gap Pap



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัด 3-phase power quality analyzer



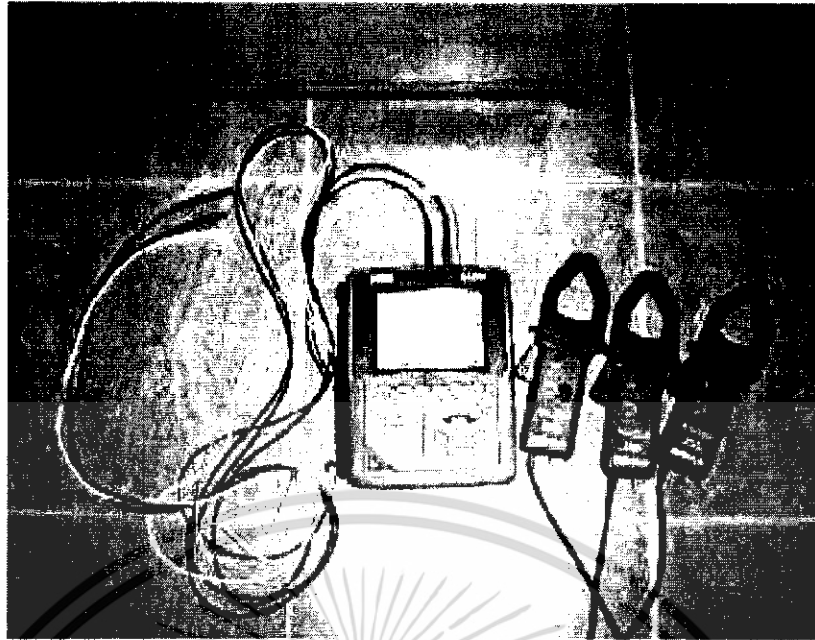
รูปที่ 3.6 ทำการวัด Name plate ของหม้อแปลง



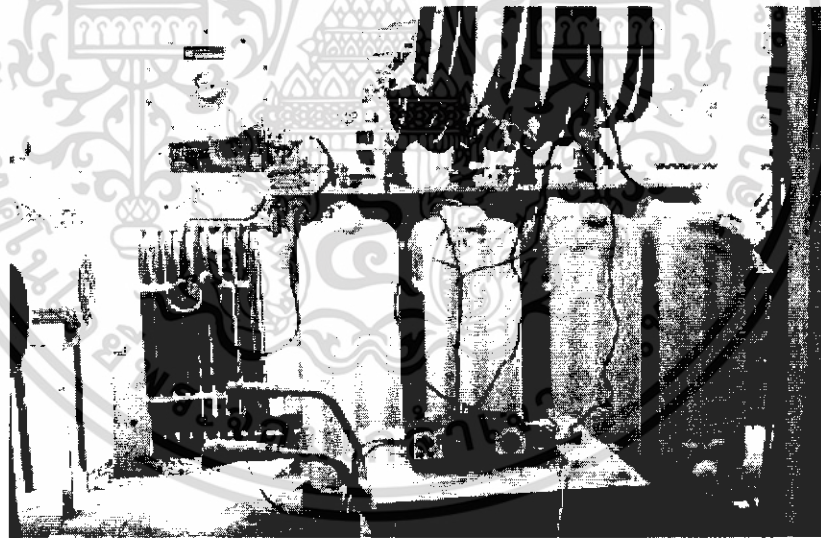
รูปที่ 3.7 ทำการวัดขนาดของของรีแอกเตอร์



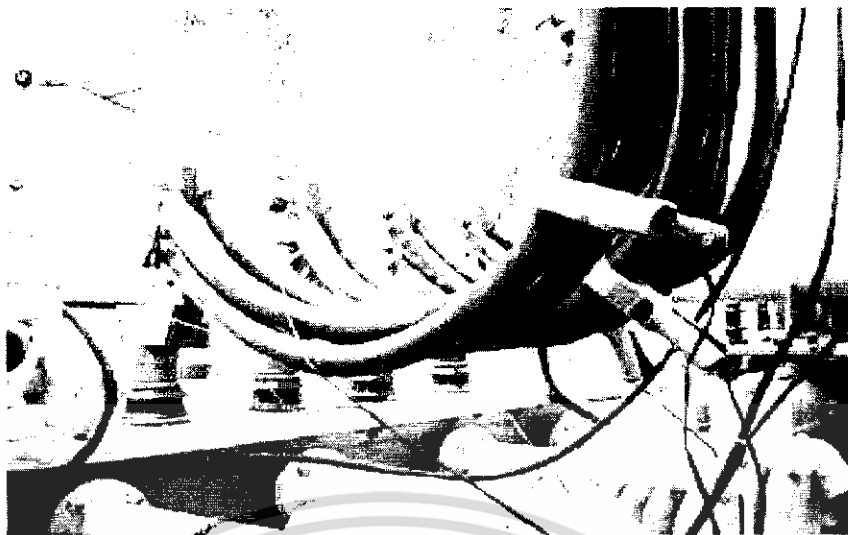
รูปที่ 3.8 ทำการเช็คโหลดแต่ละ MDB



รูปที่ 3.9 เครื่องมือวัด 3-phase power quality analyzer Model CA 8334 ของ Chauvin Arnoux



รูปที่ 3.10 เครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel ขณะวัดที่หม้อแปลงไฟฟ้า



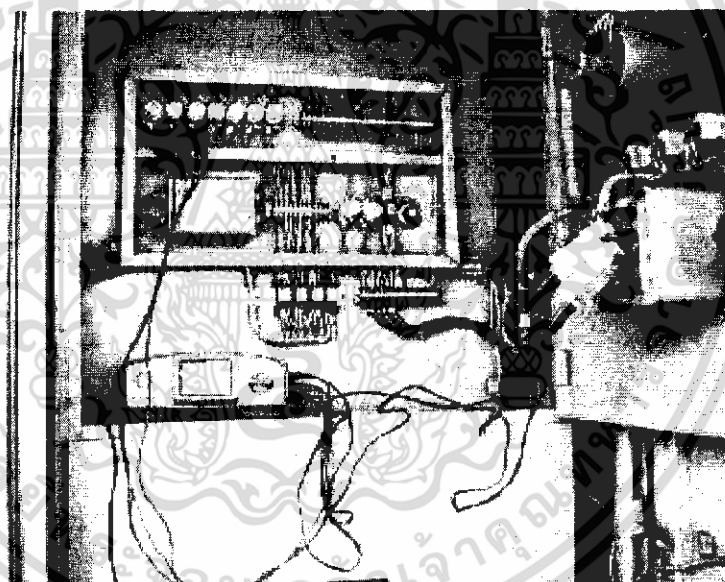
รูปที่ 3.11 เครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel ขณะวัดที่หม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel เข้ากับ Notebook เพื่อเก็บข้อมูล

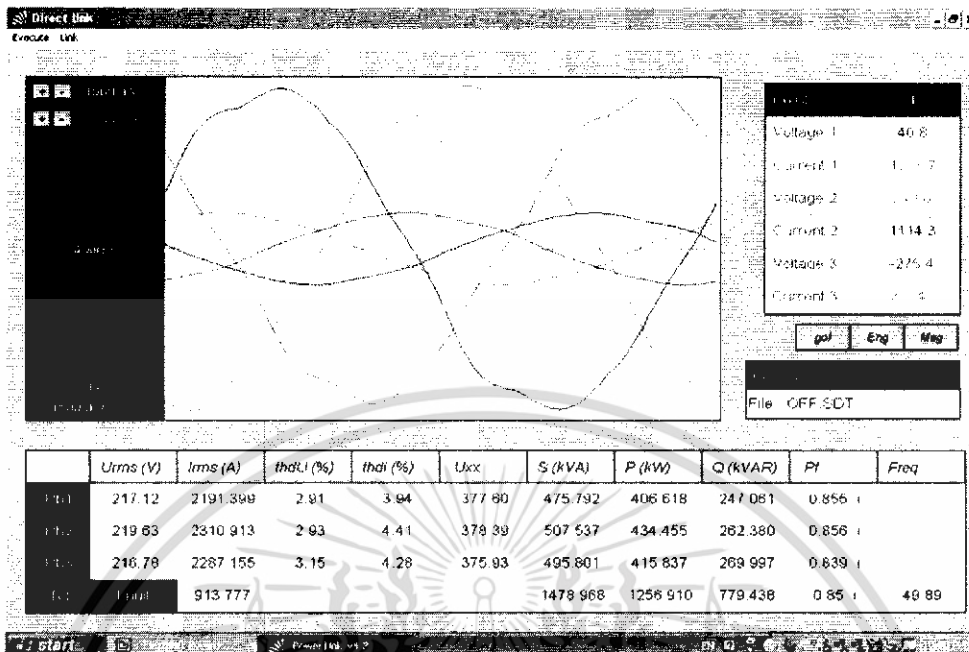


รูปที่ 3.13 การเก็บข้อมูล



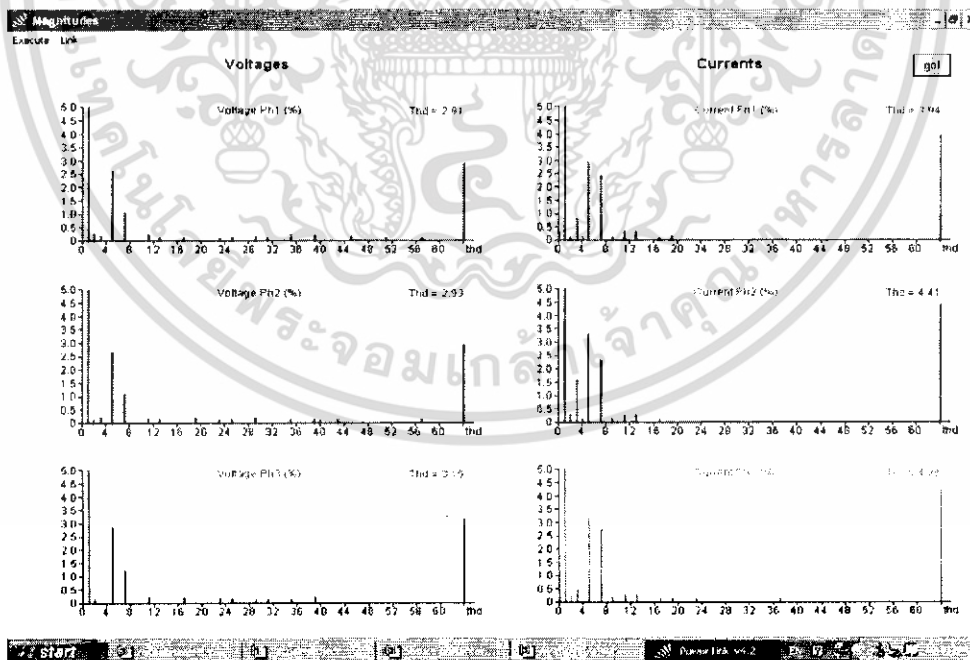
รูปที่ 3.14 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel โดยใช้ CT 5A/1V วัดที่หน้าตู้ MDB

พิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการวัดระบบยังไม่ใส่ System without 5th Filter Installation



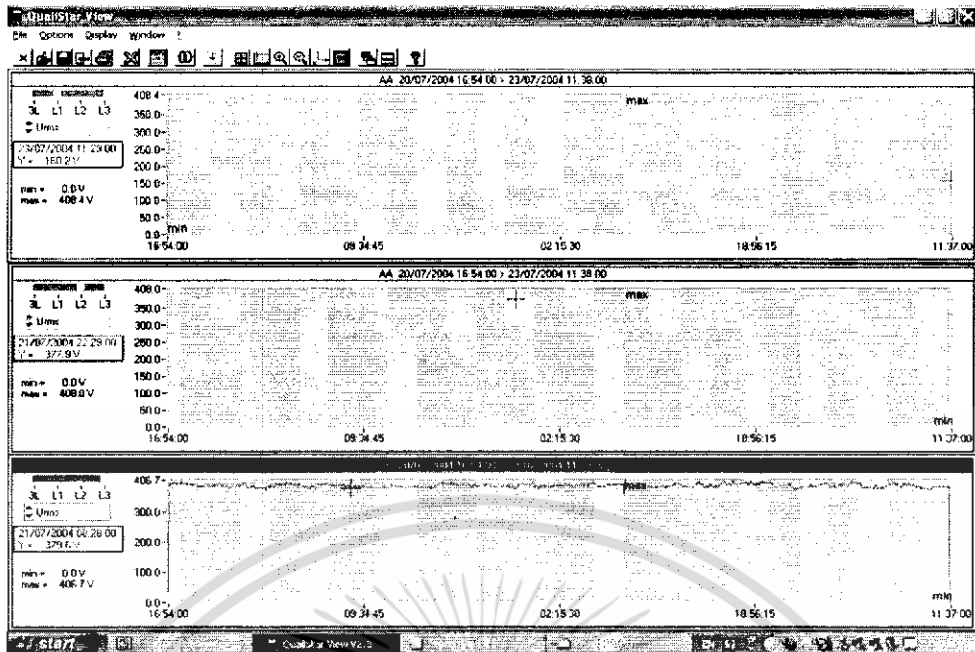
3/14/2006 Harmonic Filter Designs and Installation The Sosuco Group Project 1
Without Capacitor

รูปที่ 3.15 แสดงการวัดข้อมูลกรณีที่ยังไม่ต่อคาปาซิเตอร์เข้าในระบบ



3/14/2006 Harmonic Filter Designs and Installation The Sosuco Group Project 4
Without Capacitor

รูปที่ 3.16 แสดงสเปกตรัมกรณีที่เรายังไม่ต่อคาปาซิเตอร์เข้าในระบบ

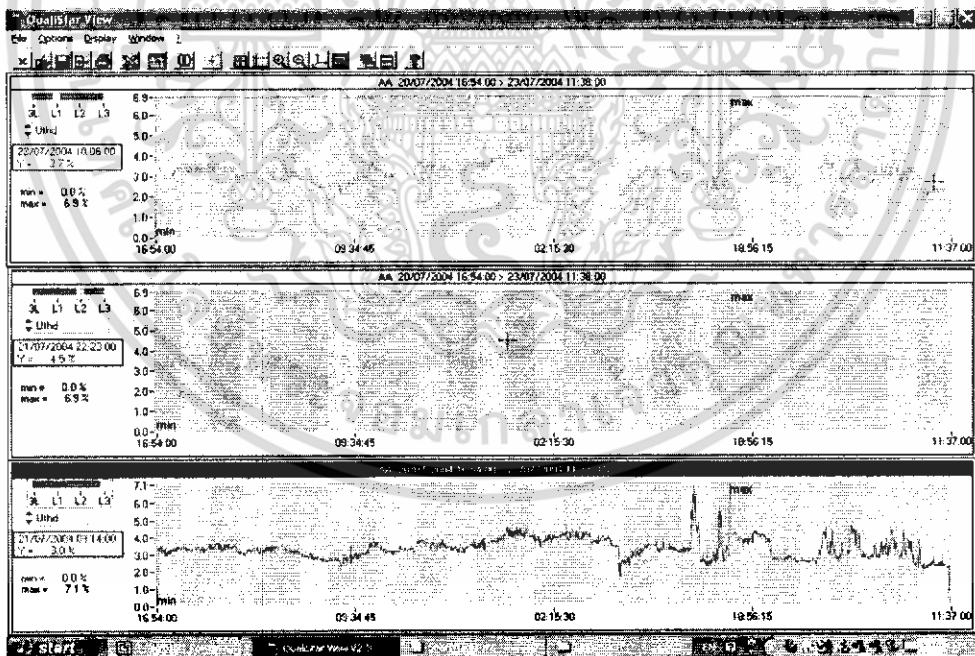


3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

The Sosuco Group Project 29

รูปที่ 3.17 ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟส ณ วันที่ 21/07/2004

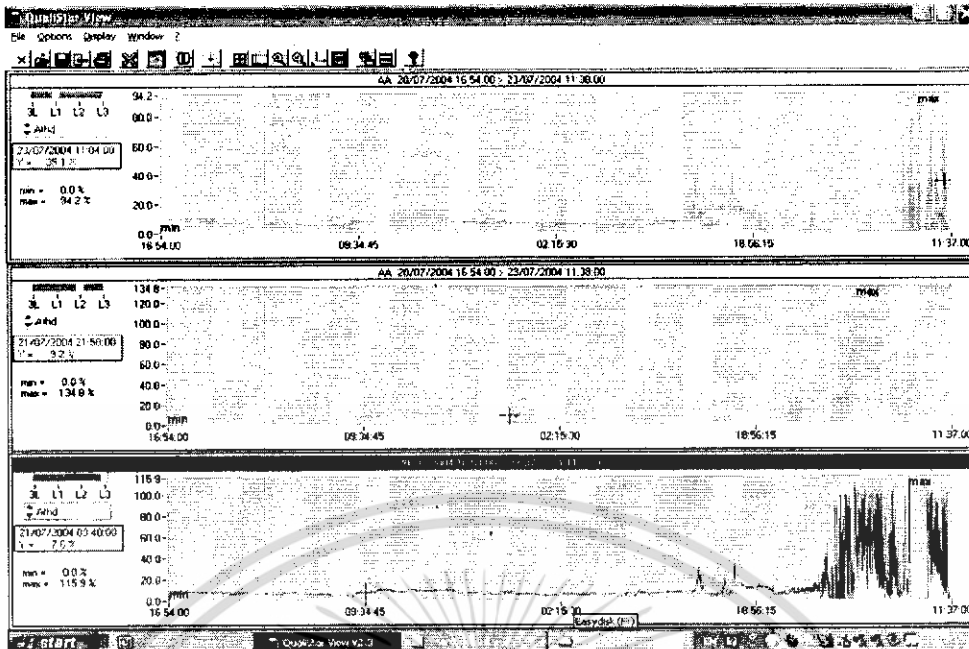


3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

The Sosuco Group Project 30

รูปที่ 3.18 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ THDv ณ วันที่ 21/07/2004



3/14/2006

Harmonic Filter Designs and
Installation

The Sosuco Group Project 32

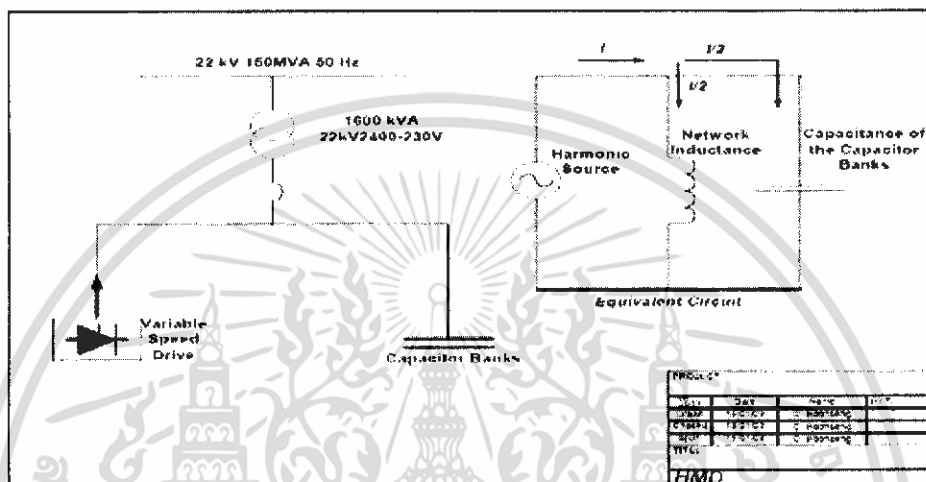
รูปที่ 3.19 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ THDi ณ วันที่ 21/07/2004



บทที่ 4

ผลที่ได้จากการทดลอง

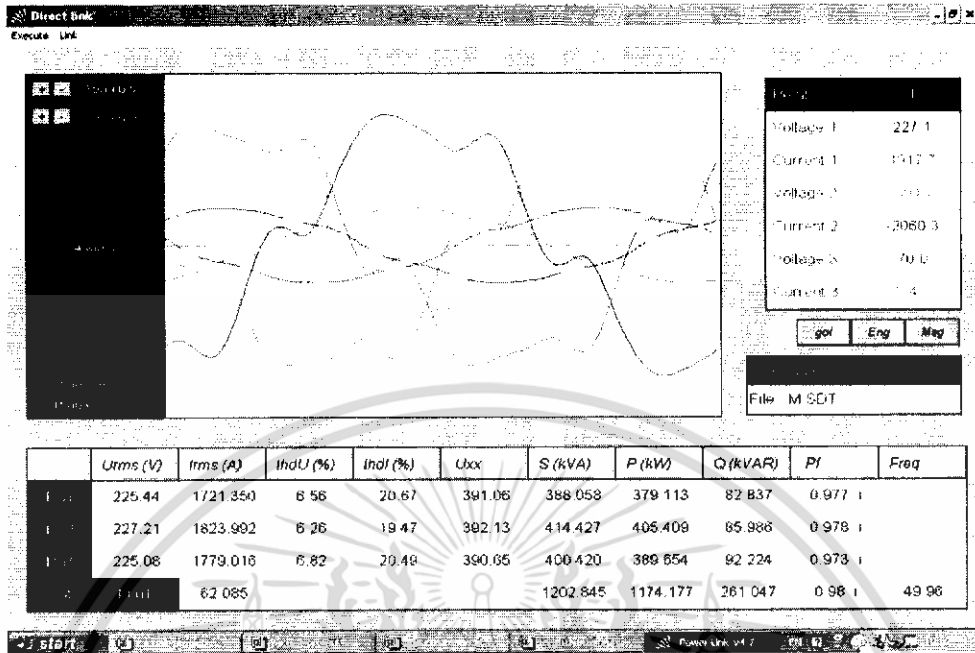
ในการทำการตรวจสอบจุดต่อรวมเพื่อที่จะมีผลที่ได้จากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นมาและจะมีผลกระทบที่จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อระบบหรือไม่เพื่อที่จะทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว



รูปที่ 4.1 การเกิดรีโซแนนซ์แบบขนานในวงจรสมมูลในโรงงานจริง

การทำการวัดและการทดสอบอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงานบริษัทโซสุโก้ ในการทำการทดสอบทำได้โดยการใช้วัดเครื่องมือวัด 3-phase power harmonic analyzer ของ Metrel เข้ากับ Notebook เพื่อเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงๆ ในระบบที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไรและสามารถนำข้อมูลที่ได้นั้นมาทำการพิจารณาหาแนวทางในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะทำการออกแบบวงจรกรองฮาร์โมนิกส์โดยที่เข้าร่วมกับคาปาซิเตอร์ให้มีค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบฟิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อจะทำการลดผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น

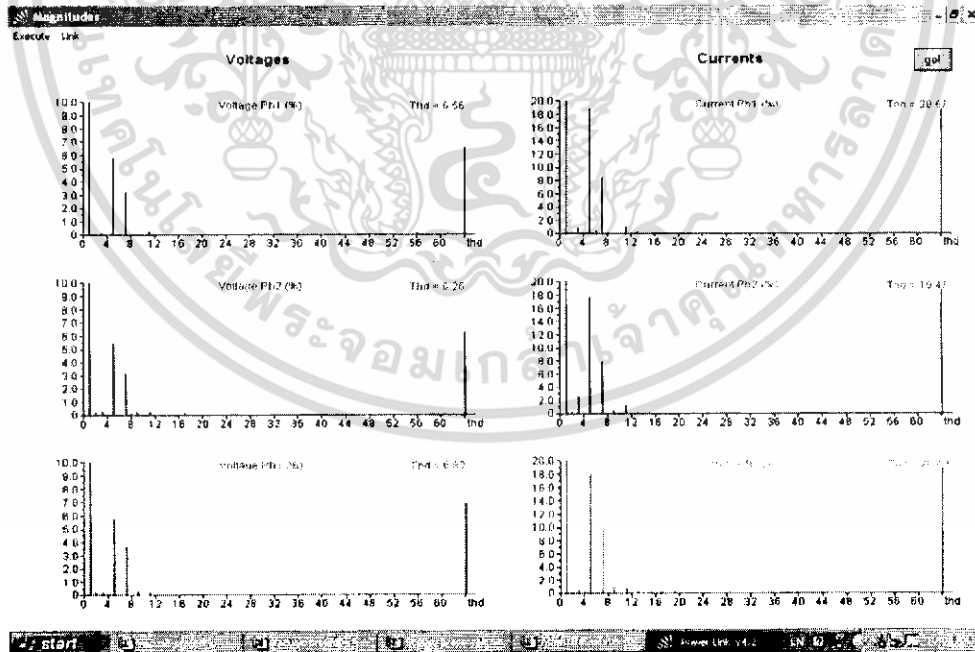
เมื่อเราทำการใส่ Capacitor เข้าไปในระบบเพื่อแก้ปัญหา Power Factor



3/14/2006 Harmonic Filter Designs and Installation The Sosuco Group Project 5

With Capacitor

รูปที่ 4.2 ผลของคาปาซิเตอร์ที่เราใส่เข้าไปในระบบไฟฟ้า

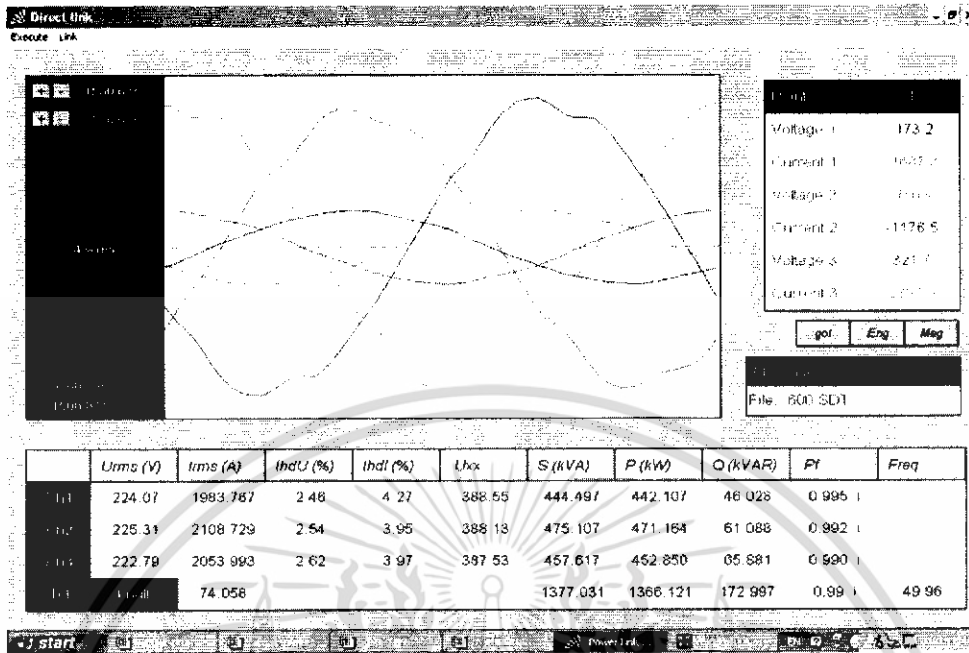


3/14/2006 Harmonic Filter Designs and Installation The Sosuco Group Project 6

With Capacitor

รูปที่ 4.3 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

เมื่อเราทำการใส่ Capacitor+filter เข้าไปในระบบเพื่อแก้ปัญหา

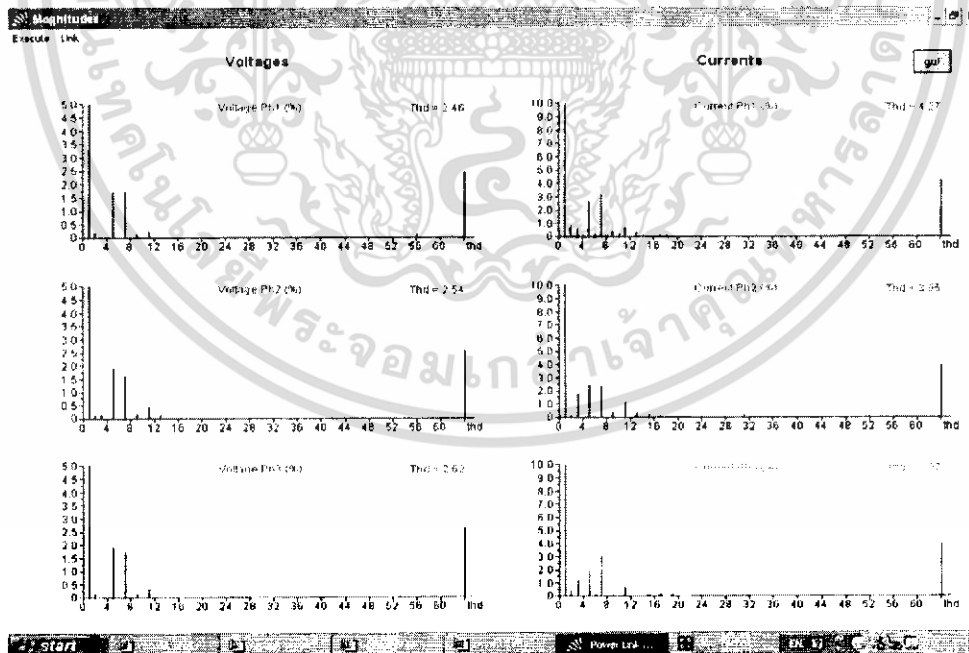


3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.4 ผลของ Capacitor + Filter ที่เราใส่เข้าไปในระบบ

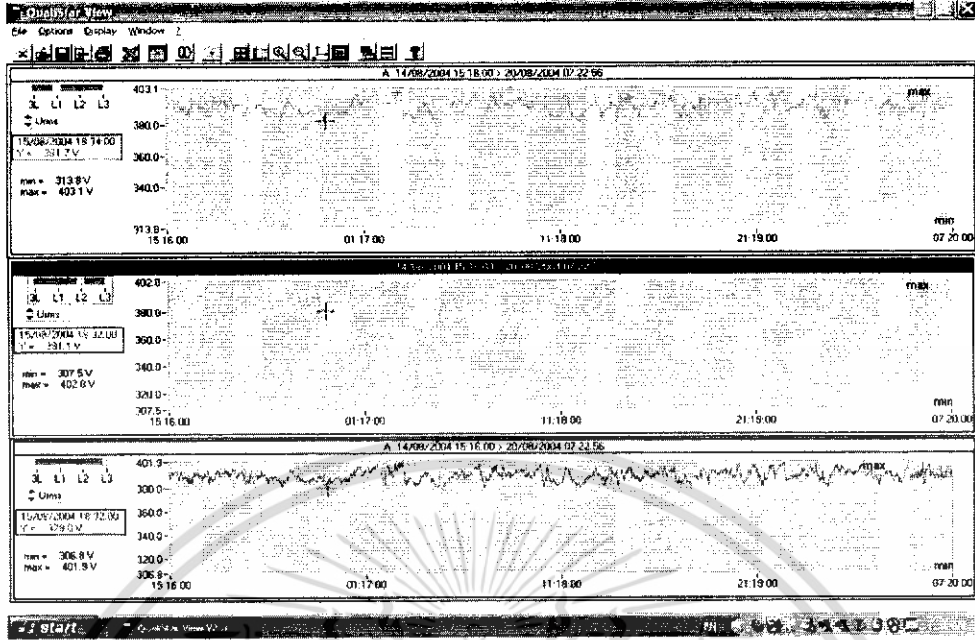


3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.5 สเปกตรัมเมื่อใส่ Capacitor + Filter ที่เราใส่เข้าไปในระบบ



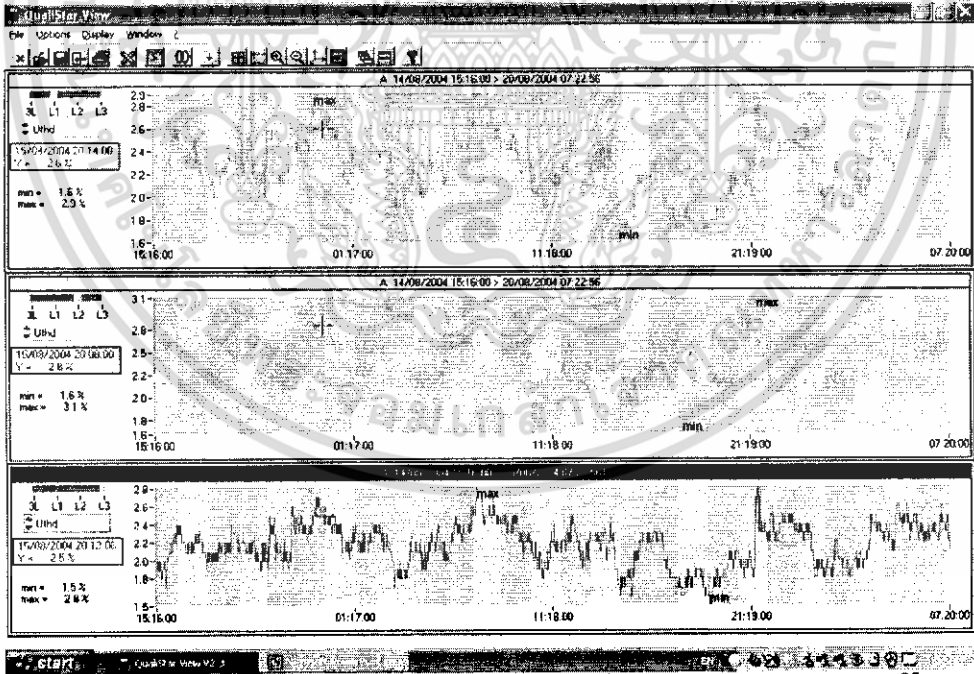
3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

24

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.6 ค่าของแรงดันของแต่ละเฟส ณ วันที่ 15/08/2004



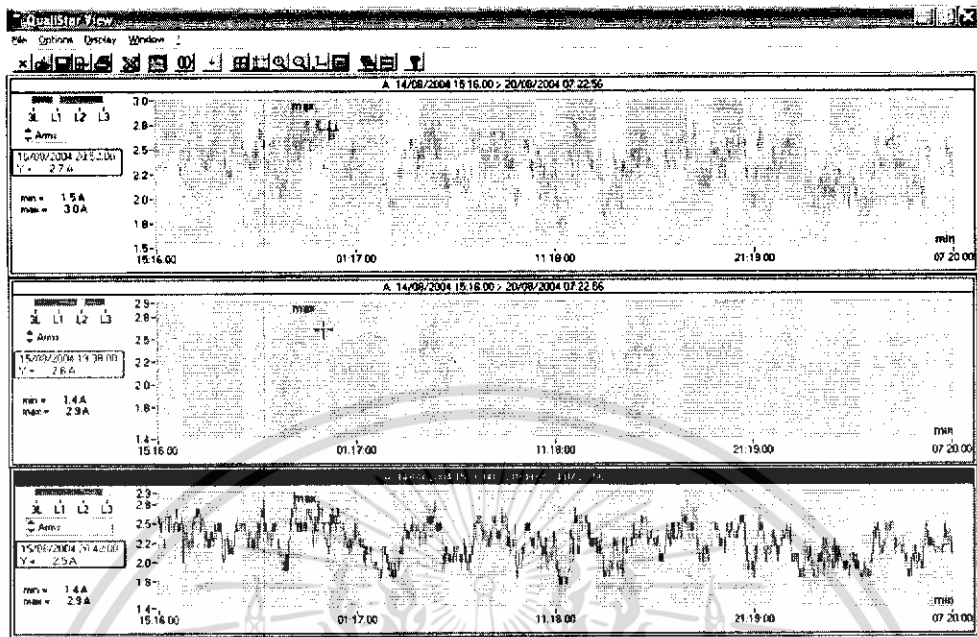
3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

25

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ THDv ณ วันที่ 15/08/2004



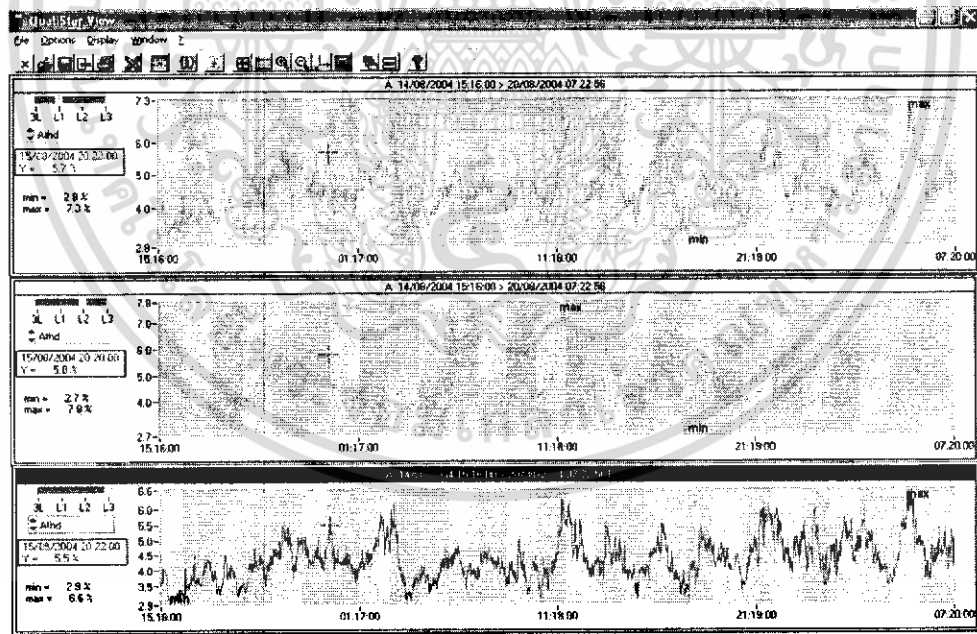
3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

26

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.8 ค่ากระแสของแต่ละเฟส ณ วันที่ 15/08/2004



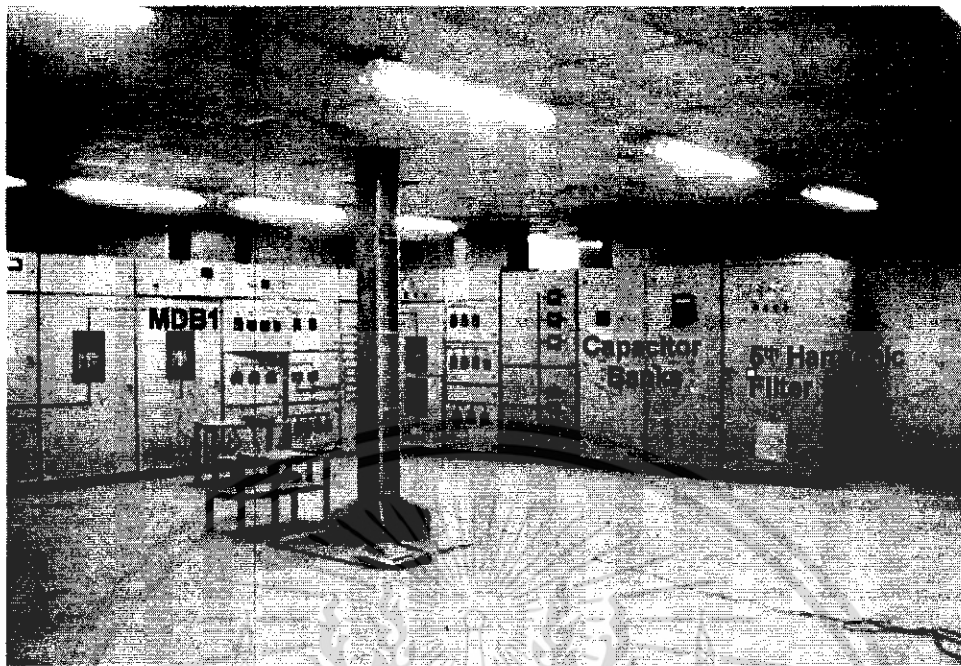
3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

27

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ของ THDi ณ วันที่ 15/08/2004



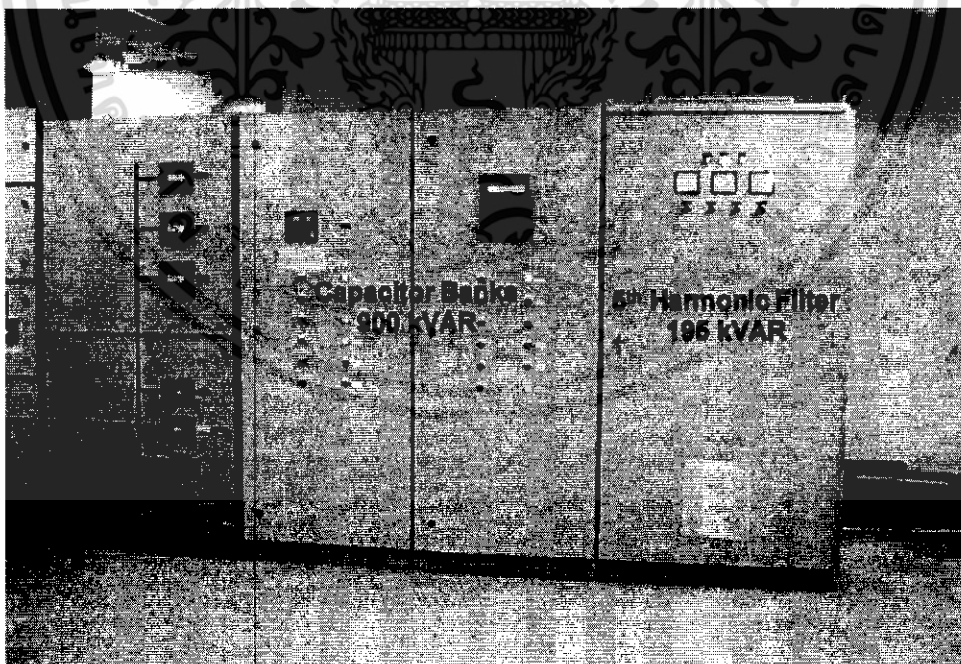
3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

9

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.10 ตู้ไหลดอุปกรณควบคุมของแต่ละ MDB



3/14/2006

Harmonic Filter Designs and Installation

10

The Sосуco Group Project

รูปที่ 4.11 ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งชุด Harmonic filter

บทที่ 5

ผลการคำนวณและตัวอย่างการวิเคราะห์

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการคำนวณหาขนาดของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เหมาะสม กับการใช้งาน โดยทำการหาค่าเป็นโปรแกรมคำนวณหาค่าของผลที่เกิดขึ้น จากค่าของฮาร์โมนิกส์เพื่อทำการศึกษาผลการกรองค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าโดยการ Simulation ด้วยโปรแกรม E-TAP และ Visual Basic 6.0 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นี้ให้ขีดความสามารถดีพอสมควร โดยเฉพาะภาษาที่ใช้ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม สะดวกและเข้าใจง่าย และตอบสนองต่อการทำงานของโปรแกรมได้ตามต้องการ ในบทนี้กล่าวถึงการ ทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมถึงการคำนวณและการวิเคราะห์ของระบบทดสอบ โดย จำลองลักษณะของโหลดจริงที่มีการใช้งาน

5.1 การป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ

ข้อมูลของระบบไฟฟ้า จะทำการเก็บรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ข้อมูลในระบบ ข้อมูลหม้อแปลง ข้อมูลของโหลดที่เรานำมาใช้งาน ขนาดของตัวประกอบกำลังที่เราต้องการ

5.1.1 ข้อมูลของระบบไฟฟ้าและข้อมูลอื่นๆ

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในปริญญาณิพนธ์เล่มนี้จะคิดว่าโหลดอยู่ในสถานะที่สมดุลกันทั้ง สามเฟสจึงใช้แบบจำลองหนึ่งเฟสเป็นตัวแทนของระบบไฟฟ้าในการวิเคราะห์การไหลของ กระแสไฟฟ้าในการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์โมนิกส์ ในระบบ การป้อนข้อมูลจะต้องทำการ เรียงโปรแกรมซึ่งหน้าจอลักษณะรูปที่ 5.1 แล้วจึงทำการป้อนข้อมูลต่างๆ ในระบบผ่านหน้าจอรับ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม

Harmonics Analysis Filter [Design: Harmonic Filter]

File

Menu Tab 1 Tab 2

System Data		Respons Harmonic		Harmonic Data Circuit (h)	
				Harmonic Order (h) Mag(% of I1)	
System Voltage	22 kV	THDv	%	5	19.2
System frequency	50 Hz	THDi	%	7	13.2
Short Circuit Power	1350 MVAsc	PF	0.95	11	7.3
X/R Ratio	20	Load Data		13	5.7
		Voltage Operating	400 V	17	3.5
		loss Operating	1500 kVA	19	2.7
Transformer		Efficiency	75 %	23	2.0
System Transformer	2500 kVA	Motor Load Data		25	1.6
High Side	22 kV	Voltage Operating	400 V	29	1.4
Low Side	400 V	loss Operating	1500 kVA	31	1.2
Winding Loss	25 kW	Efficiency	75 %		
X2	6	Harmonic Load		Real amp	A
Short Circuit Power	kVAsc	KVARcap	kVAR	Z/phase	Ohm
SDW	%	Order Harmonic		XL/phase	Ohm
		Harmonic Circuit	1913.77 A		

OK Cancel

start Harmonics An 2:29

รูปที่ 5.2 หน้าจอรับข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม

Harmonics Analysis Filter - [Design Harmonic Filter]

File Edit View Help

Menu Tab 1 Tab 2

System Data		Response Harmonic		Harmonic Data Circuit (h)			
System Voltage	22 kV	THDv	2.24264328199942 %	Harmonic Order (h)	Mag(% of I)		
System Frequency	50 Hz	THDi	2.76912895482463 %	5	19.2	17.544364	2.39077344678
Short Circuit Power	350 MVA	PF	0.95	7	13.2	12.061754	2.30881944252
X/R Ratio	20	Load Data		11	7.3	6.670521	2.00647403934
Transformer		Voltage Operating	400 V	13	5.7	5.208489	1.85195325429
System Transformer	2500 kVA	loss Operating	500 KVA	17	3.5	3.198195	1.48673879253
High Side	22 kV	Efficiency	75 %	19	2.7	2.467173	1.201844560621
Low Side	400 V	Motor Load Data		23	2.0	1.82754	1.149412276558
Winding Loss	25 kW	Voltage Operating	400 V	25	1.6	1.462032	99949893615
XZ	6	loss Operating	1500 KVA	29	1.4	1.279279	1.014481270201
Short Circuit Power	37234.042 kVA	Efficiency	75 %	31	1.2	1.085324	829824710528
SDW	2.68671428571429 %	Harmonic Load		Real amp		505.196304849888 A	
		kVARcap	823.645499357796 kVAR	Z/phase		2.74285714285714 Ohm	
		Order Harmonic	6.69838990679317	XL/phase		0.273452 Ohm	
		Harmonic Circuit	913.77 A				

OK Next Cancel

start Harmonics An 2:30

รูปที่ 5.3 หน้าจอแสดงข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม

Harmonics Analysis Filter - [Design Harmonic Filter]

File Edit View Help

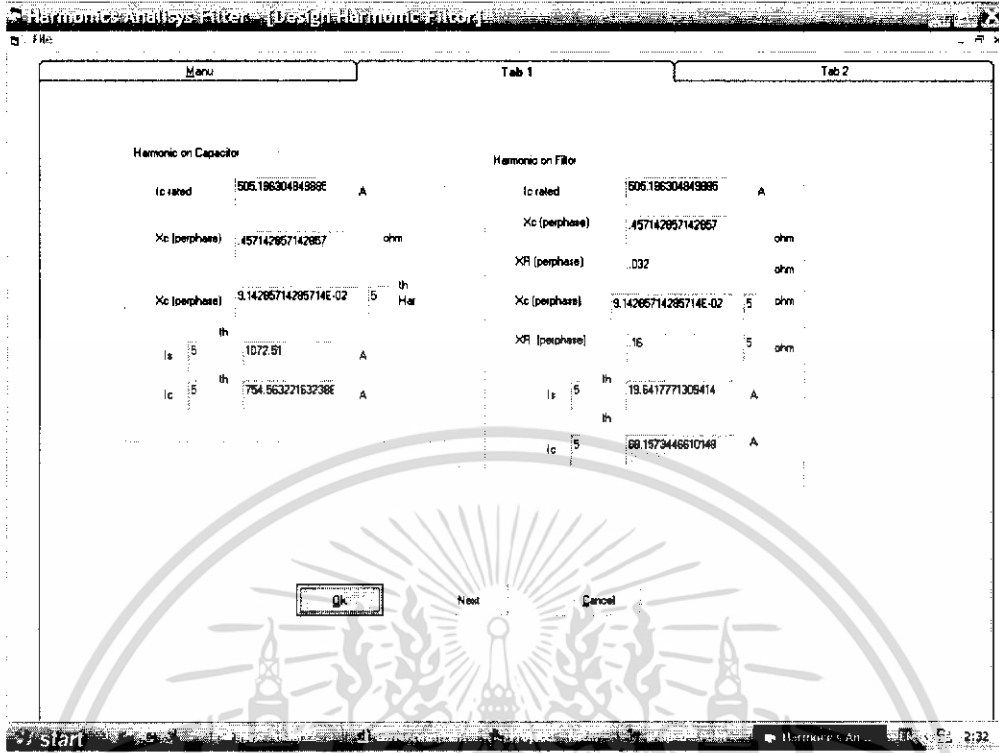
Menu Tab 1 Tab 2

Harmonic on Capacitor		Harmonic on Filter	
Ic rated	A	Ic rated	A
Xc (perphase)	ohm	Xc (perphase)	ohm
Xc (perphase)	th	Xr (perphase)	ohm
Ia	A	Xc (perphase)	ohm
Ic	A	Xr (perphase)	ohm

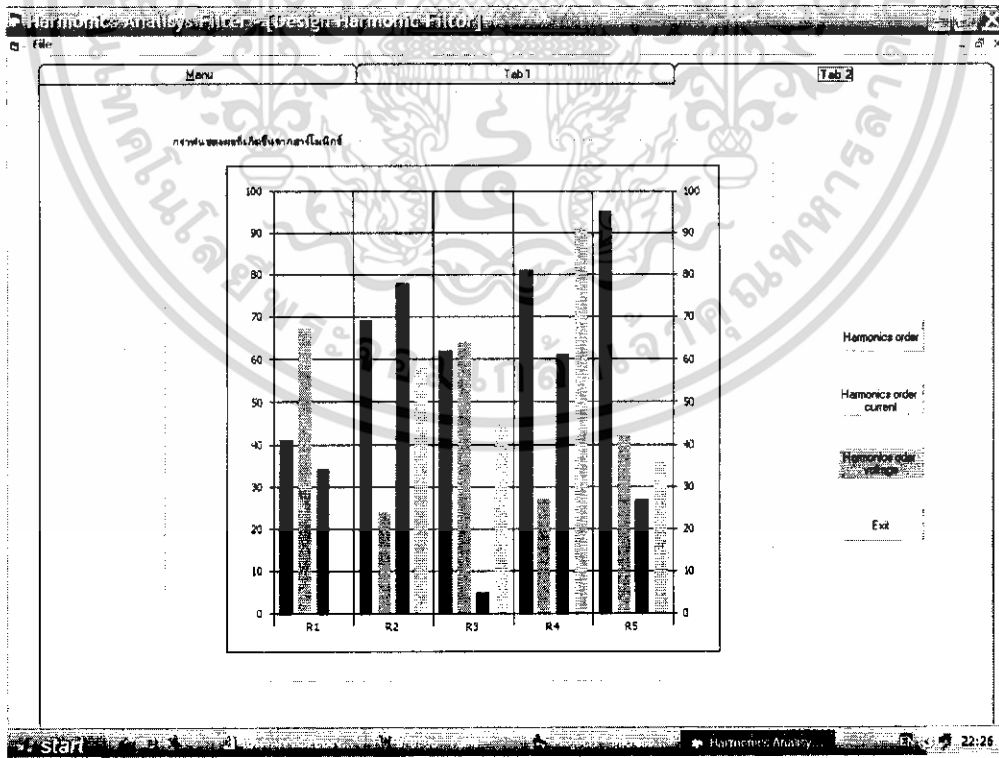
OK Cancel

start Harmonics An 2:31

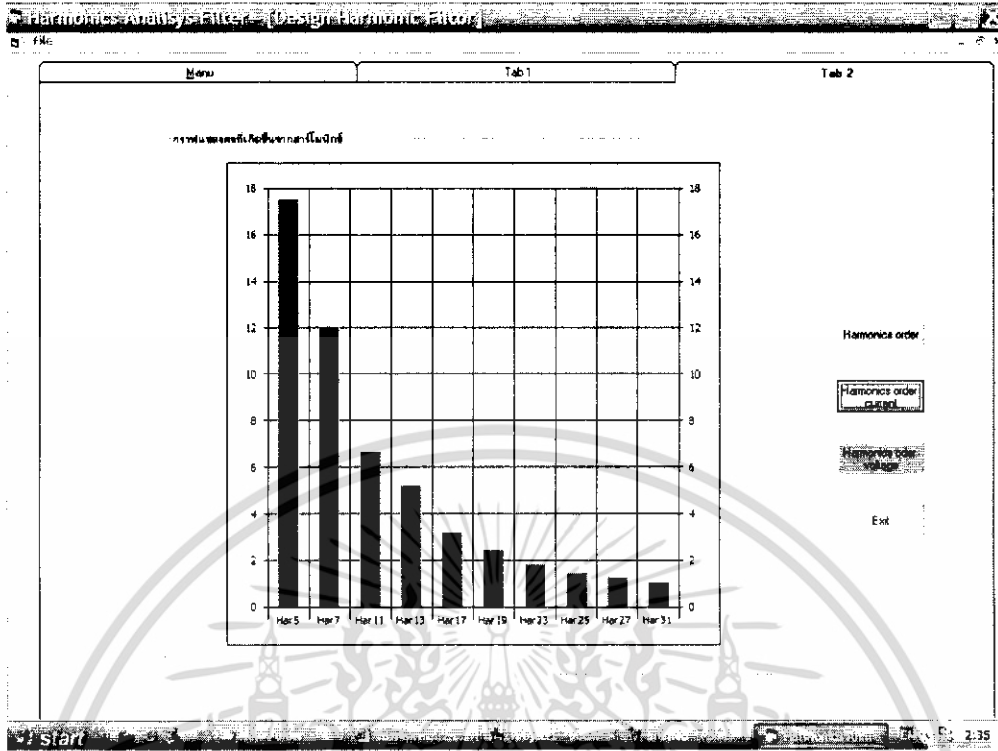
รูปที่ 5.4 หน้าจอรับข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม



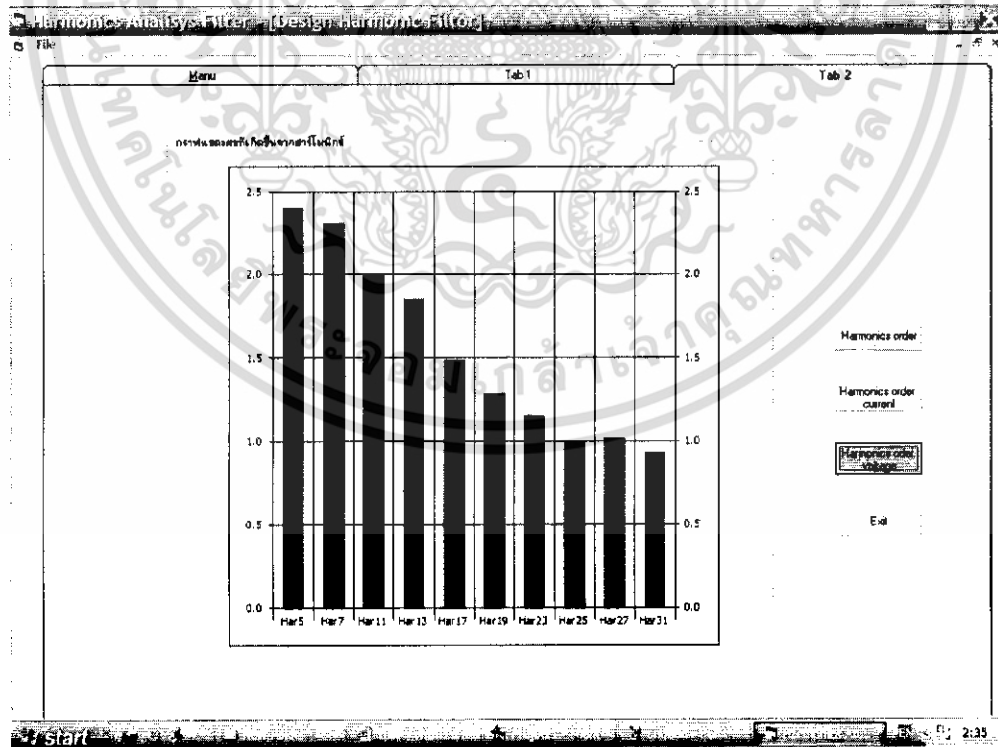
รูปที่ 5.5 หน้าจอแสดงข้อมูลต่างๆ ของตัวโปรแกรม



รูปที่ 5.6 หน้าจอหลักของของกราฟ



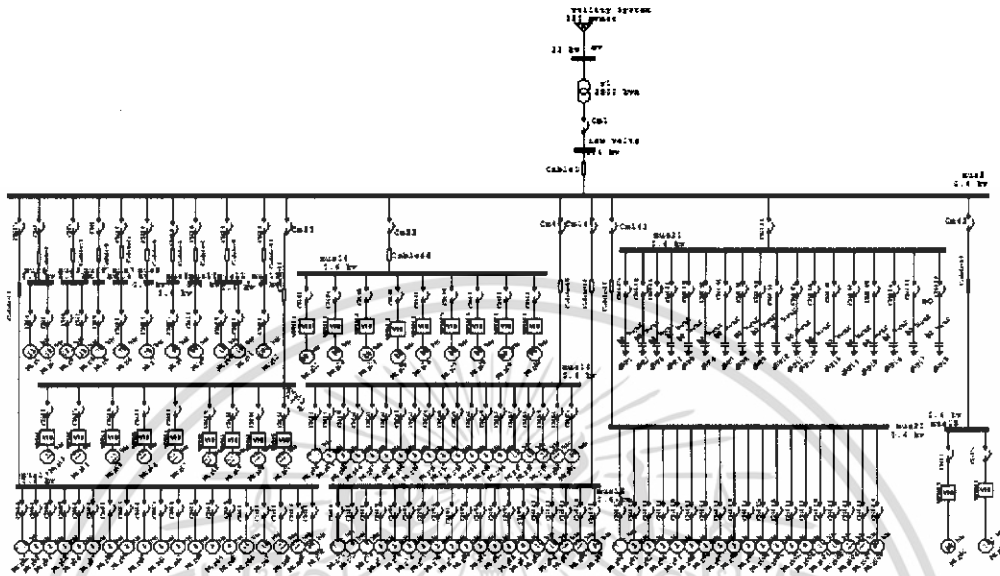
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่าของกระแส



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่าแรงดัน

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโปรแกรมด้วย E-TAP

5.2.1 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกสระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB1 without Filter



รูปที่ 5.9 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน1 MDB 1 without Filter

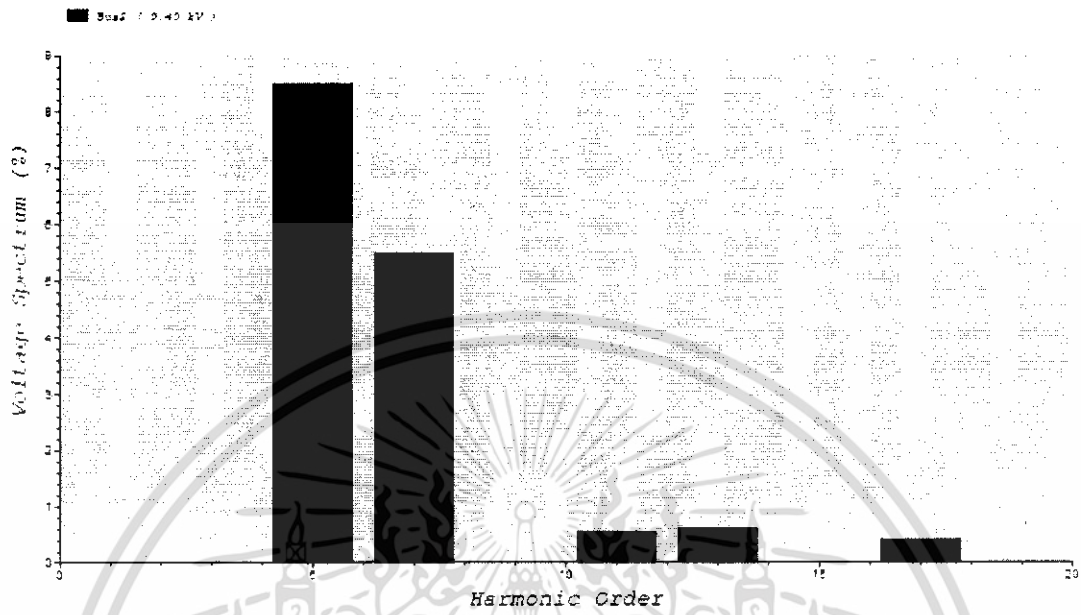
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus		Voltage Distortion	
ID	kV	Fund. %	THD %
Bus2	0.400	92.85	11.11
Bus4	0.400	92.25	11.16
Bus5	0.400	92.45	11.11
Bus6	0.400	92.38	11.16
Bus7	0.400	84.47	12.09
Bus8	0.400	90.28	11.39
Bus9	0.400	88.32	11.57
Bus11	0.400	90.49	11.33
Bus12	0.400	73.41	13.76
Bus13	0.400	92.17	11.16
Bus14	0.400	90.30	11.59
Bus15	0.400	82.57	14.26
Bus16	0.400	91.71	11.21
Bus17	0.400	89.08	11.42
Bus19	0.400	92.09	11.18
Bus20	0.400	88.25	11.55
Bus21	0.400	92.85	11.11
Low Voltage	0.400	95.47	10.14

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

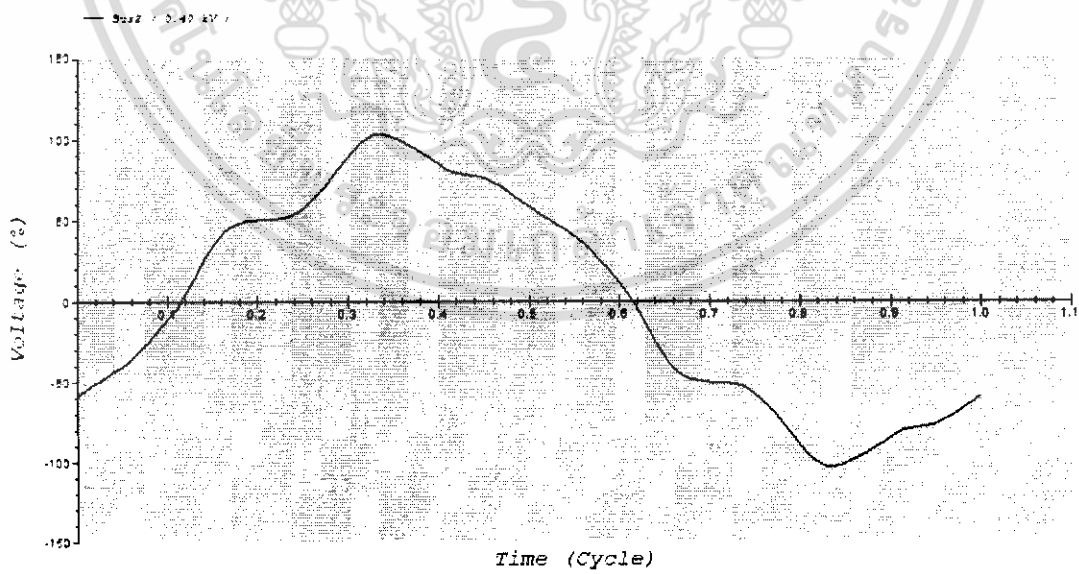
ผลการ Simulate Harmonic Voltage without Filter

Spectrum



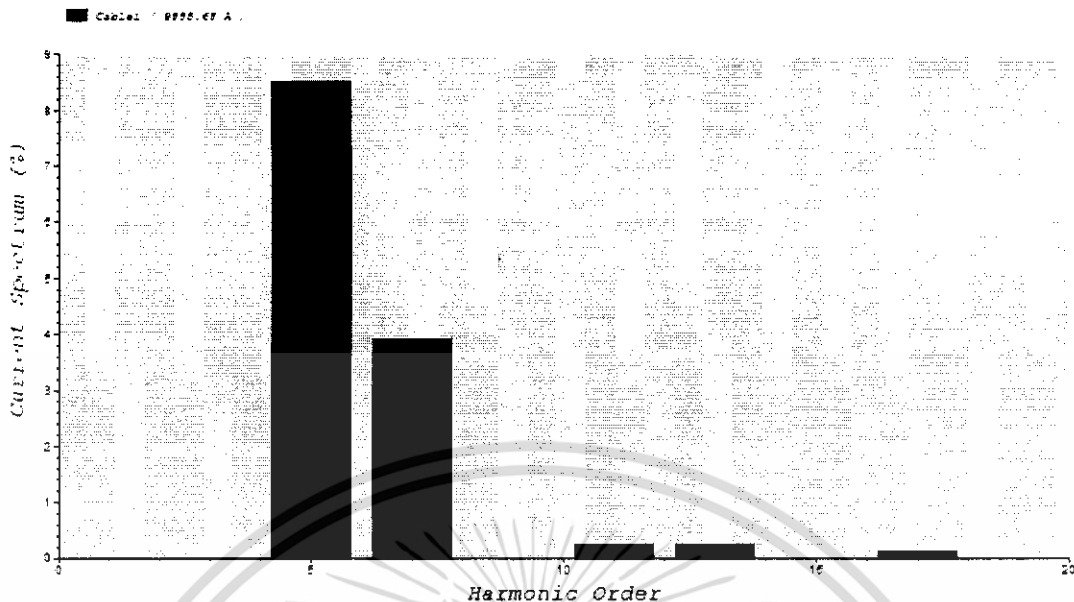
รูปที่ 5.10 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus 2 without Filter

Waveform

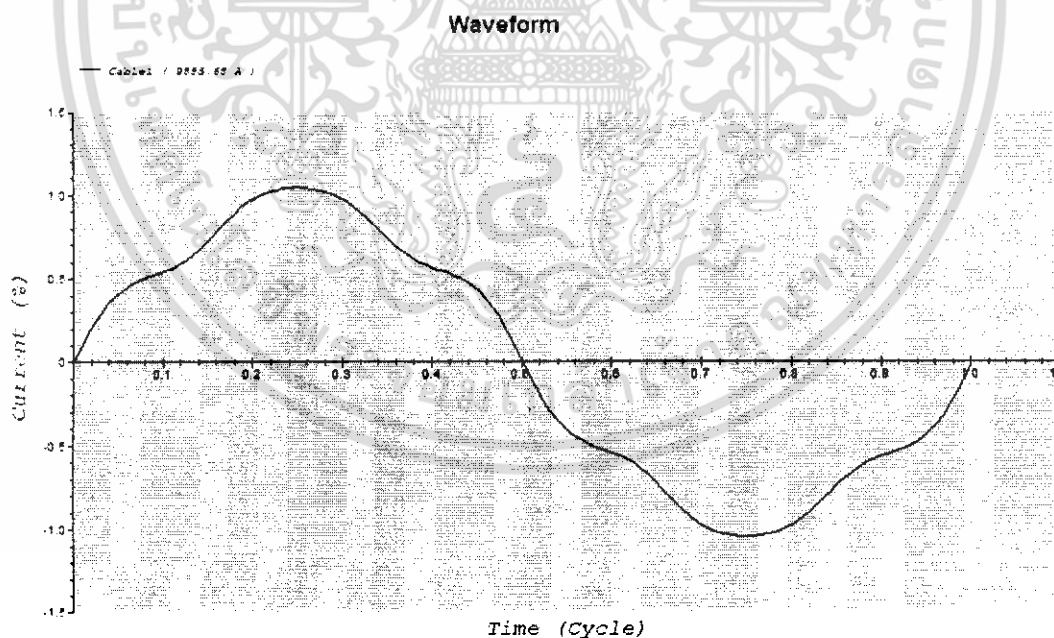


รูปที่ 5.11 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus 2 without Filter

Spectrum

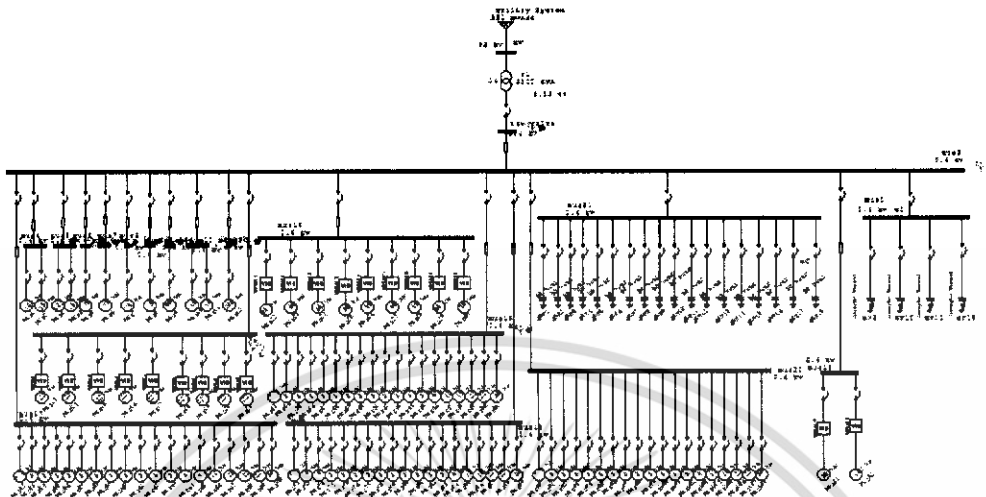


รูปที่ 5.12 Spectrum ของ Harmonic current ที่ Cable1 without Filter



รูปที่ 5.13 Waveform ของ Harmonic current ที่ Cable1 without Filter

5.2.2 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB1 with Filter



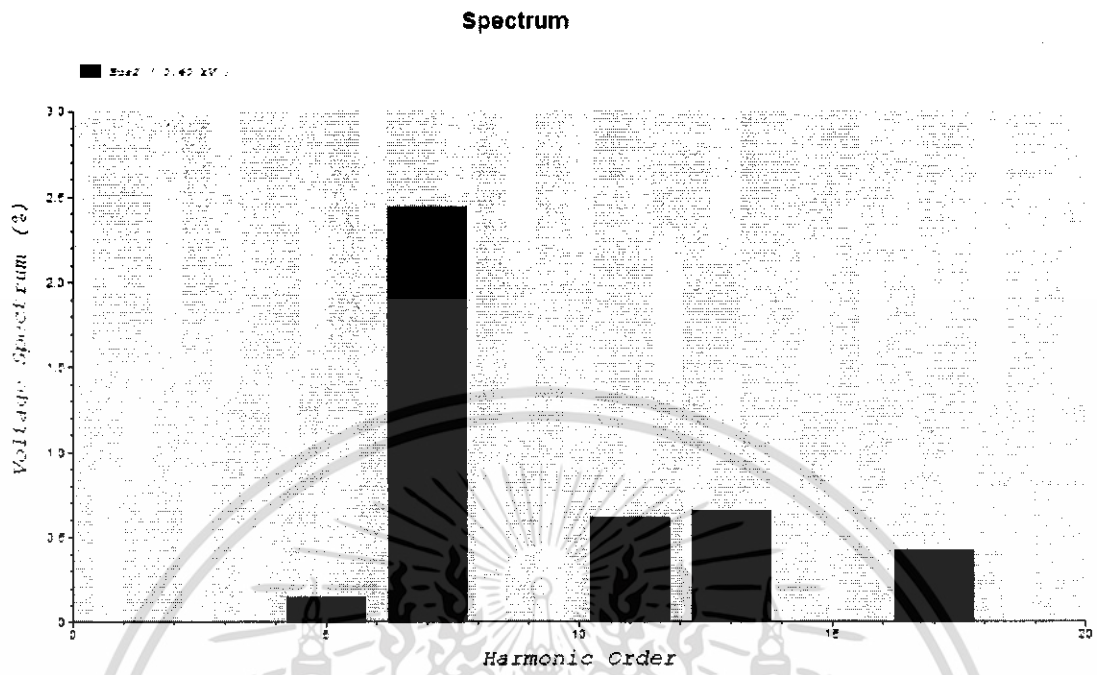
รูปที่ 5.14 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 1 MDB 1 with Filter

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

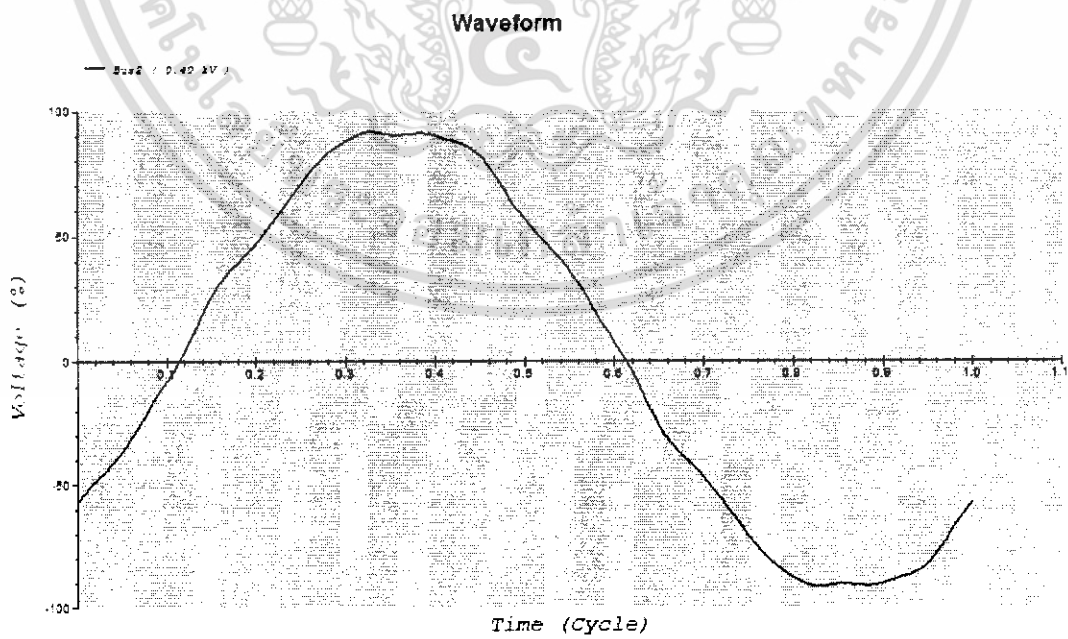
Bus		Voltage Distortion	
ID	kV	Fund. %	THD %
Bus1	0.400	93.42	2.90
Bus2	0.400	93.42	2.90
Bus4	0.400	92.82	2.91
Bus5	0.400	93.03	2.90
Bus6	0.400	92.96	2.91
Bus7	0.400	85.11	3.15
Bus8	0.400	90.87	2.97
Bus9	0.400	88.93	3.02
Bus11	0.400	91.07	2.95
Bus12	0.400	74.18	3.58
Bus13	0.400	92.75	2.92
Bus14	0.400	90.90	3.00
Bus15	0.400	83.23	4.56
Bus16	0.400	92.29	2.92
Bus17	0.400	89.68	2.98
Bus19	0.400	92.67	2.91
Bus20	0.400	88.86	3.01
Bus21	0.400	93.42	2.90
LowVolte	0.400	95.98	2.65

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

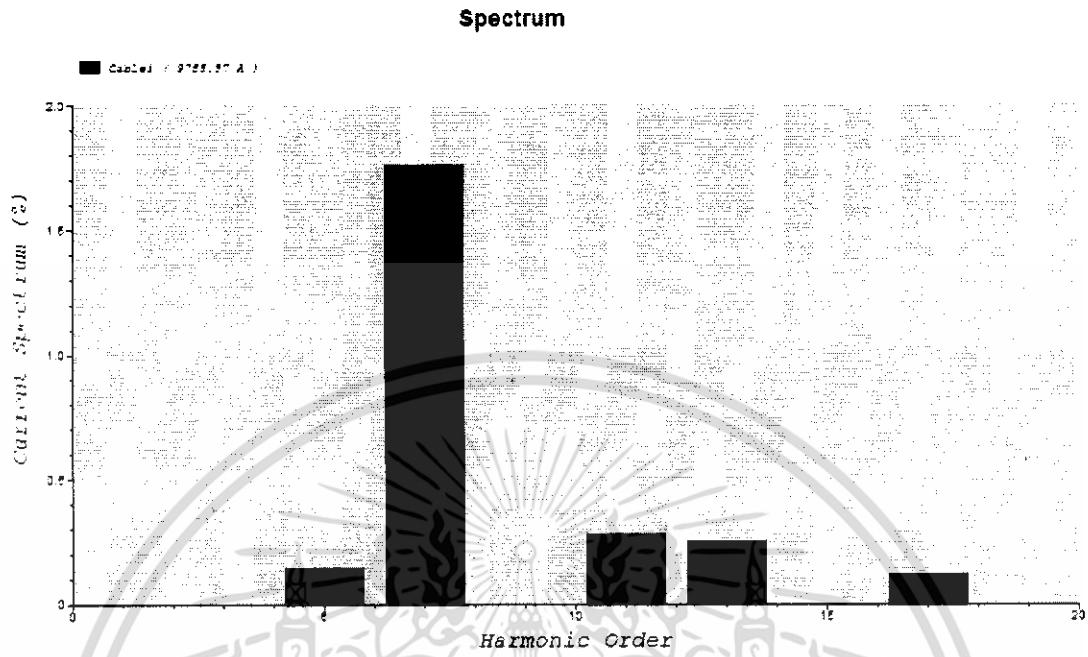
ผลการ Simulate Harmonic Voltage with Filter



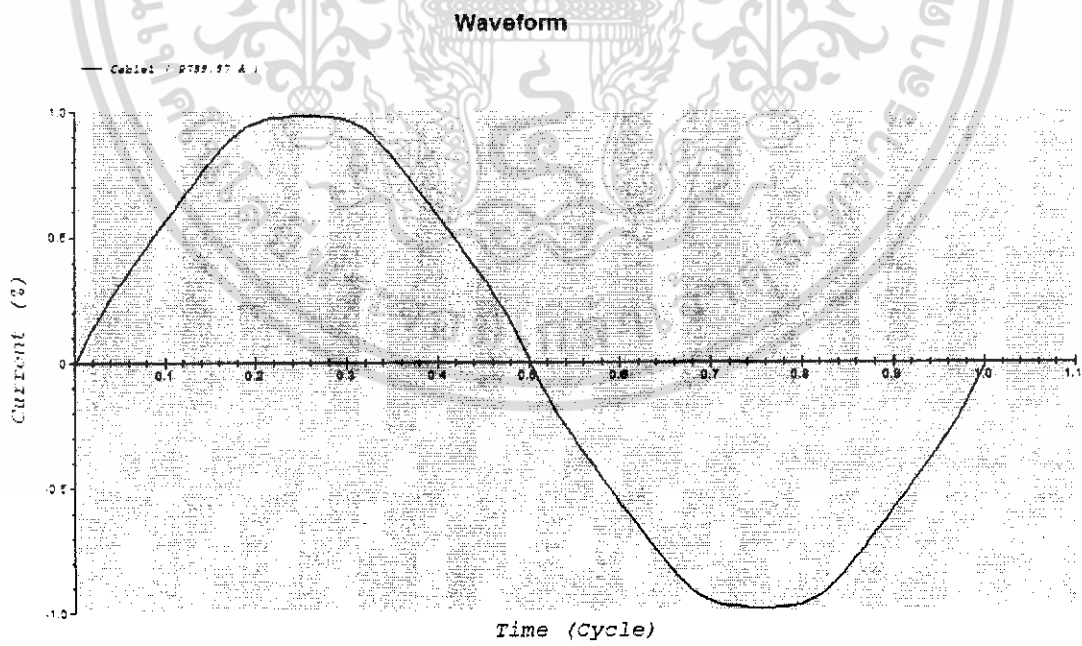
รูปที่ 5.15 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter



รูปที่ 5.16 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

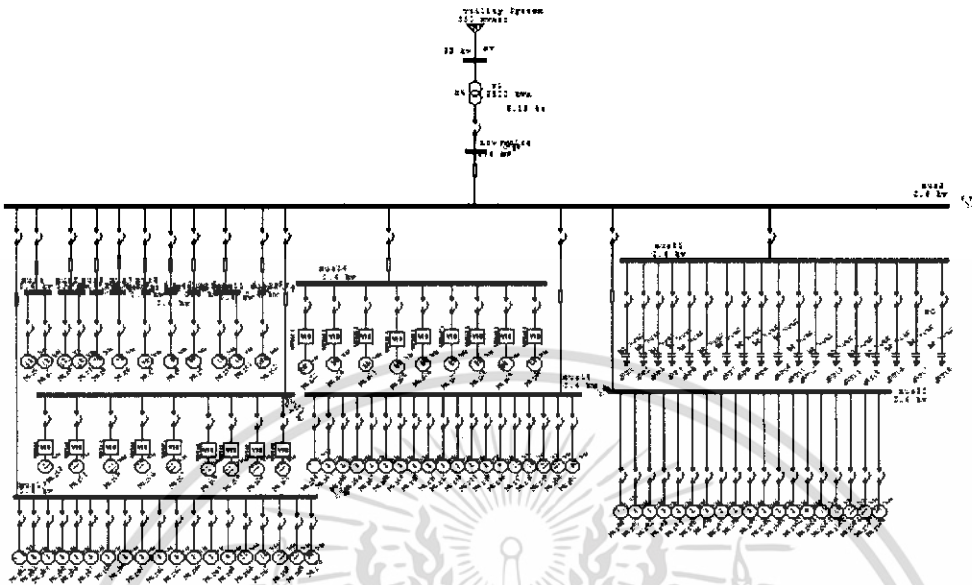


รูปที่ 5.17 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter



รูปที่ 5.18 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter

5.2.3 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB 2 without Filter



รูปที่ 5.19 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 1 MDB 2 without Filter

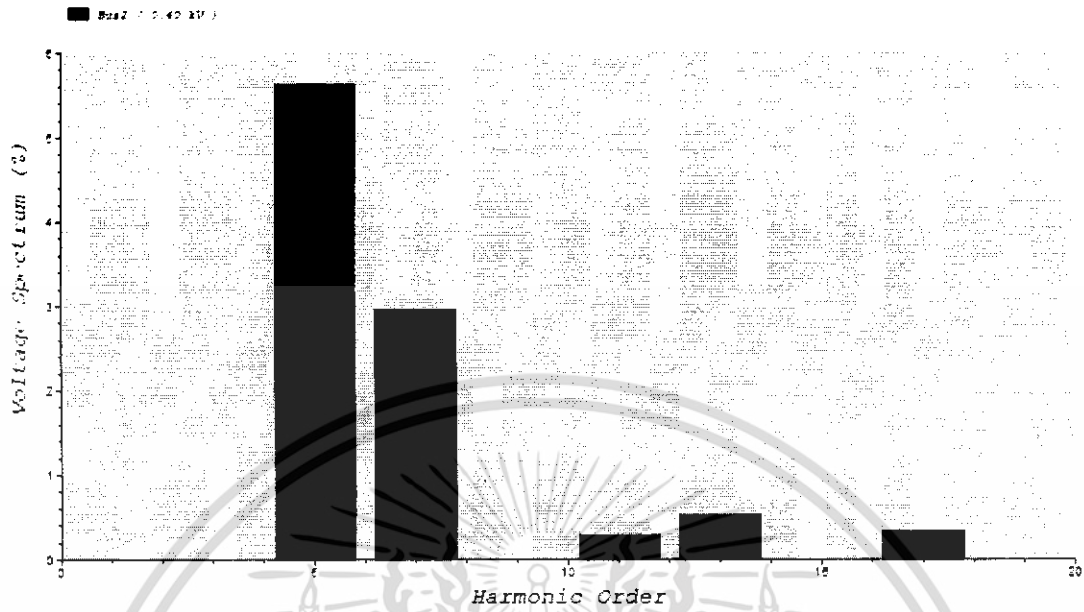
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus ID	Bus	kV	Voltage Distortion	
			Fund. %	THD %
Bus2		0.400	94.50	6.77
Bus4		0.400	93.91	6.79
Bus5		0.400	94.11	6.76
Bus6		0.400	94.04	6.79
Bus7		0.400	86.30	7.33
Bus8		0.400	91.98	6.93
Bus9		0.400	90.06	7.03
Bus10		0.400	71.21	8.66
Bus11		0.400	92.18	6.90
Bus12		0.400	75.63	8.28
Bus13		0.400	93.84	6.81
Bus14		0.400	92.01	7.19
Bus16		0.400	93.38	6.82
Bus17		0.400	90.81	6.94
Bus20		0.400	90.00	7.02
Bus21		0.400	94.50	6.77
Low Volte		0.400	96.68	6.21

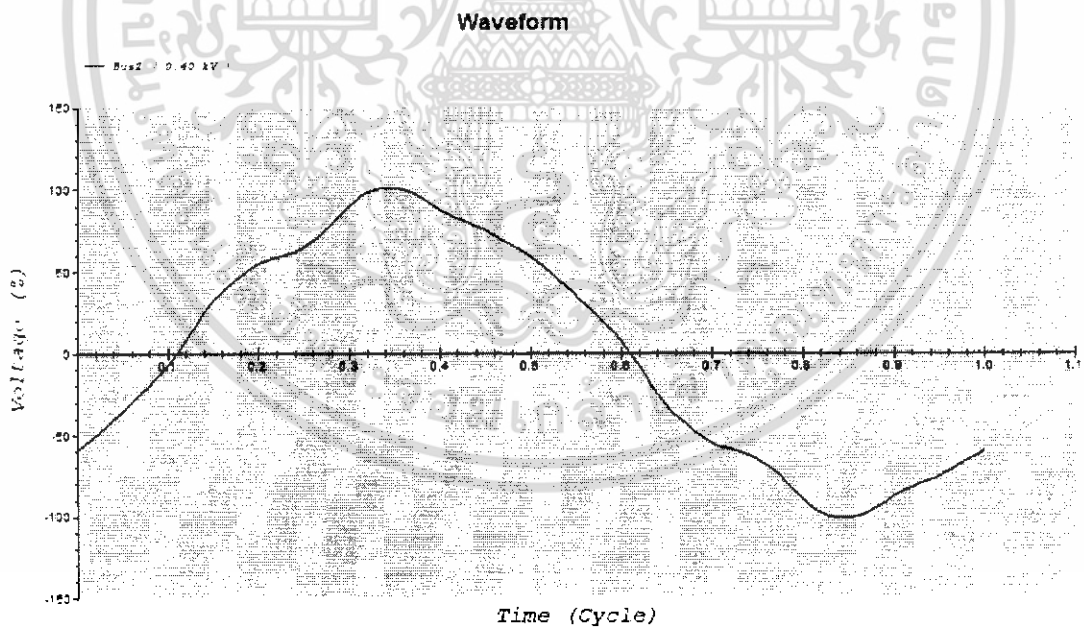
Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

ผลการ Simulate Harmonic Voltage without Filter

Spectrum

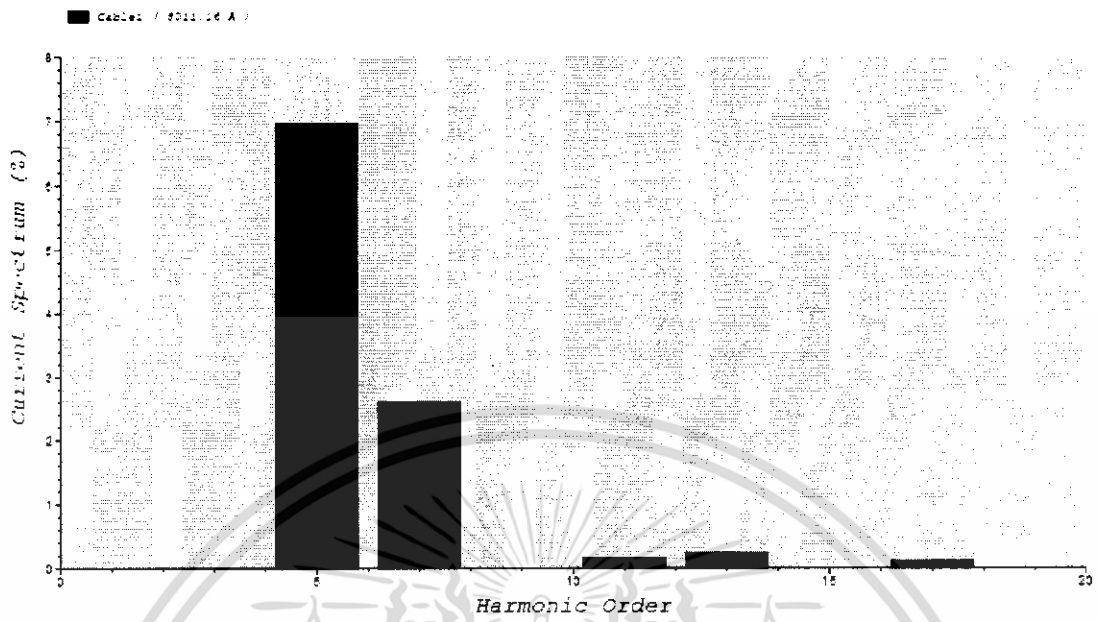


รูปที่ 5.20 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

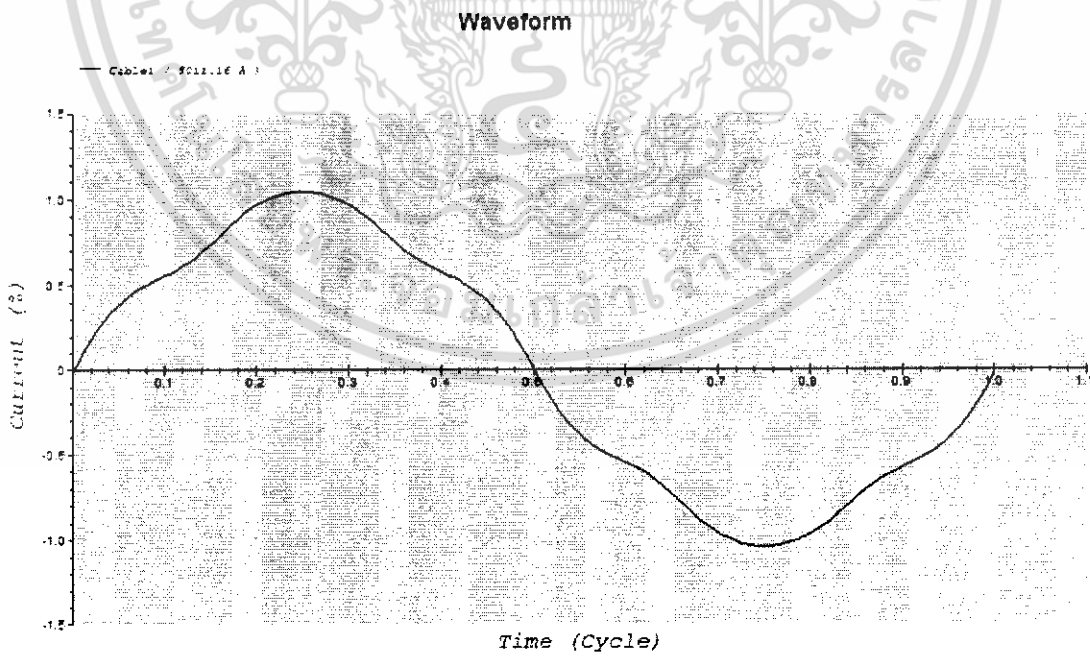


รูปที่ 5.21 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

Spectrum

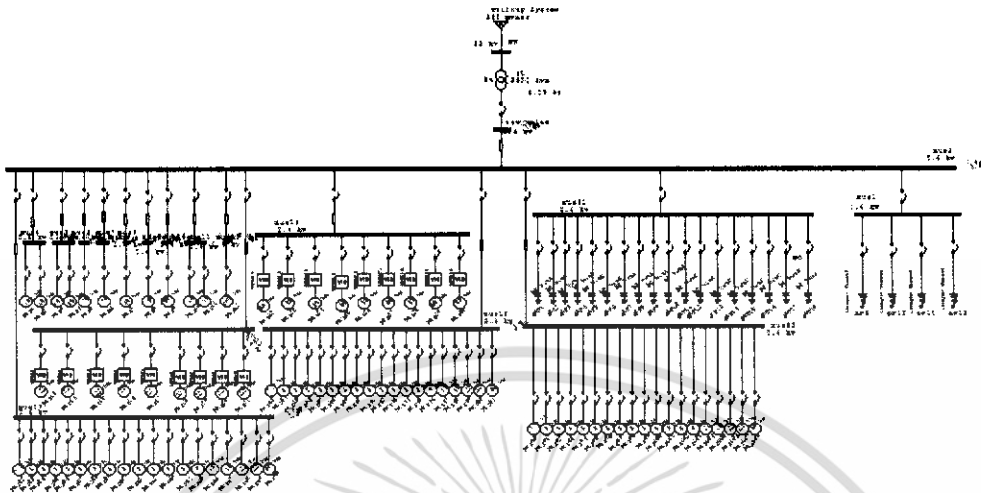


รูปที่ 5.22 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter



รูปที่ 5.23 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter

5.2.4 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 1 MDB 2 with Filter



รูปที่ 5.24 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 1 MDB 2 with Filter

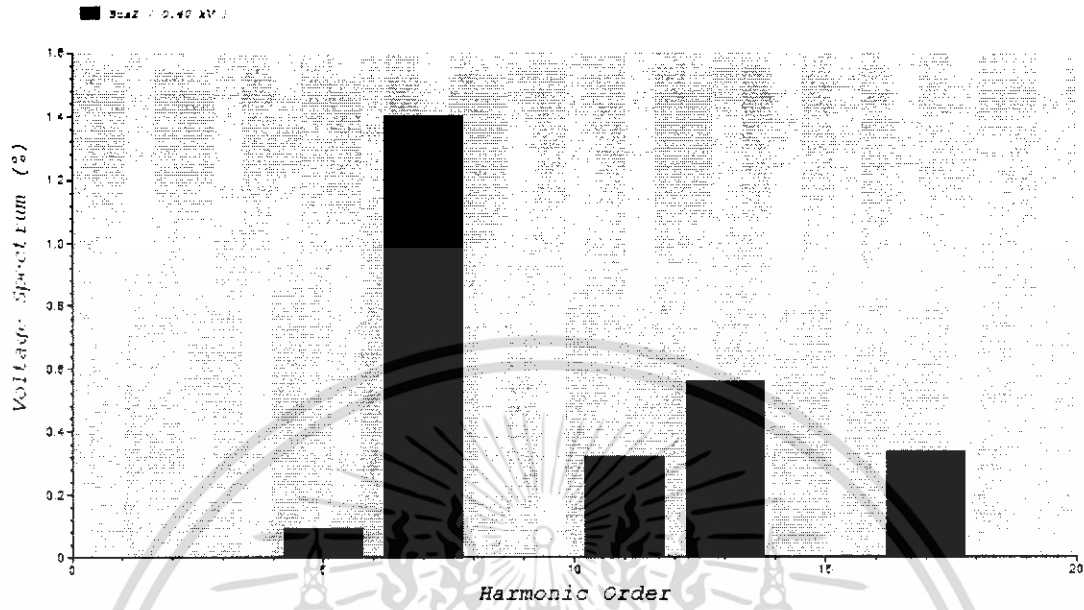
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus	Voltage Distortion	
	Fund. %	THD %
Bus1	93.71	2.97
Bus2	93.71	2.97
Bus4	93.12	2.98
Bus5	93.32	2.97
Bus6	93.25	2.98
Bus7	85.43	3.23
Bus8	91.17	3.04
Bus9	89.23	3.09
Bus10	70.02	3.85
Bus11	91.37	3.03
Bus12	74.58	3.66
Bus13	93.04	2.99
Bus14	91.19	3.08
Bus15	83.56	4.62
Bus16	92.58	3.00
Bus17	89.98	3.05
Bus19	92.96	2.99
Bus21	93.71	2.97
Low Volte	96.24	2.72

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

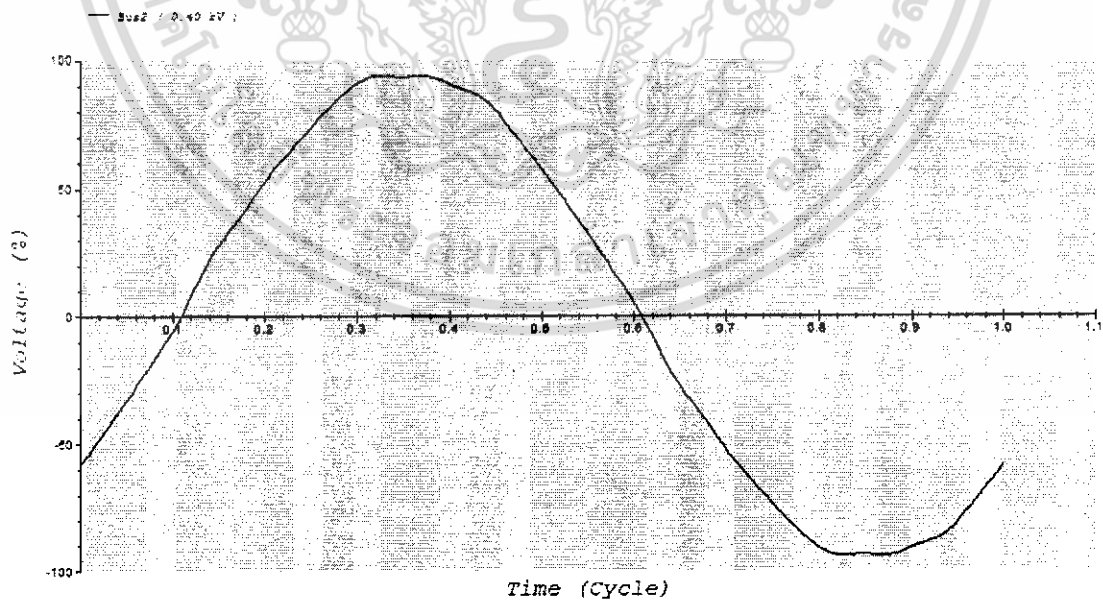
ผลการ Simulate Harmonic Voltage with Filter

Spectrum

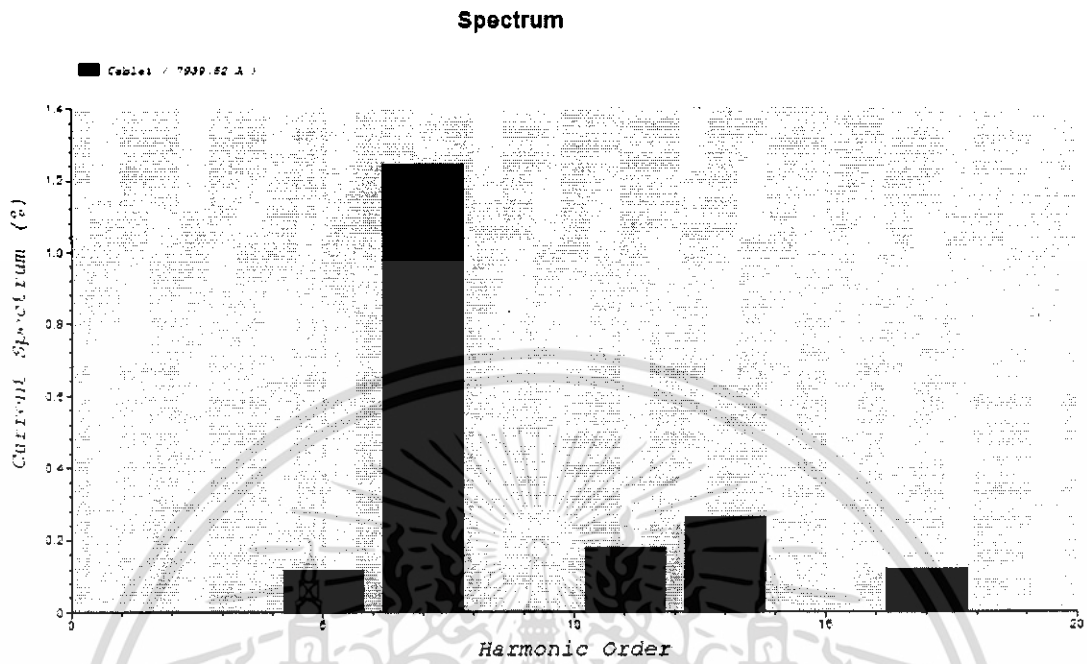


รูปที่ 5.25 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

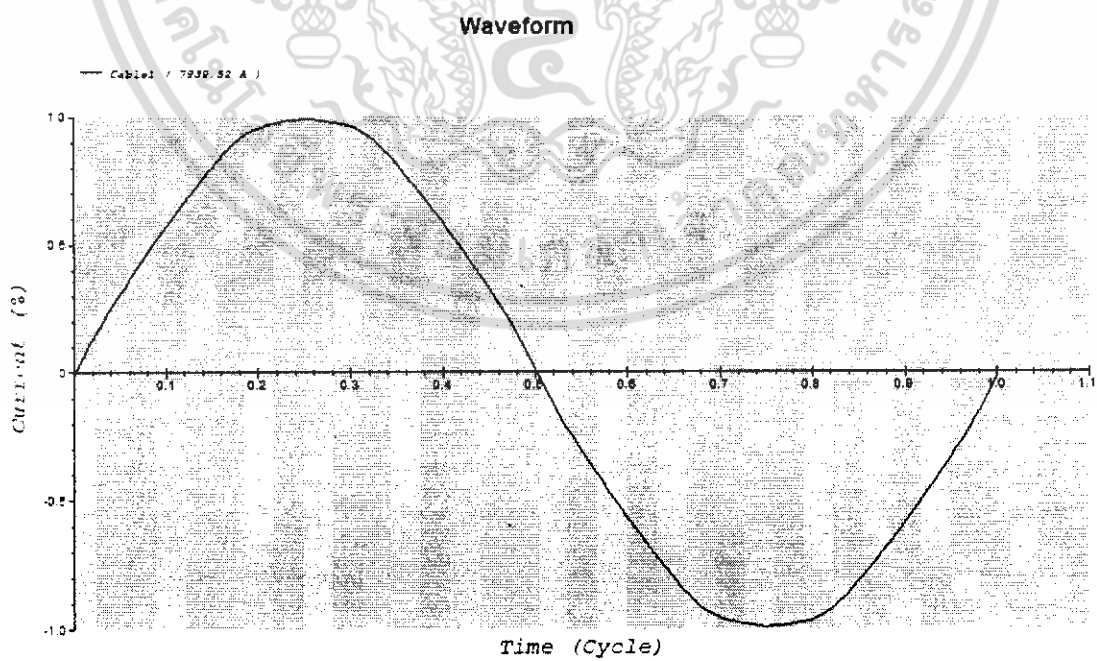
Waveform



รูปที่ 5.26 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

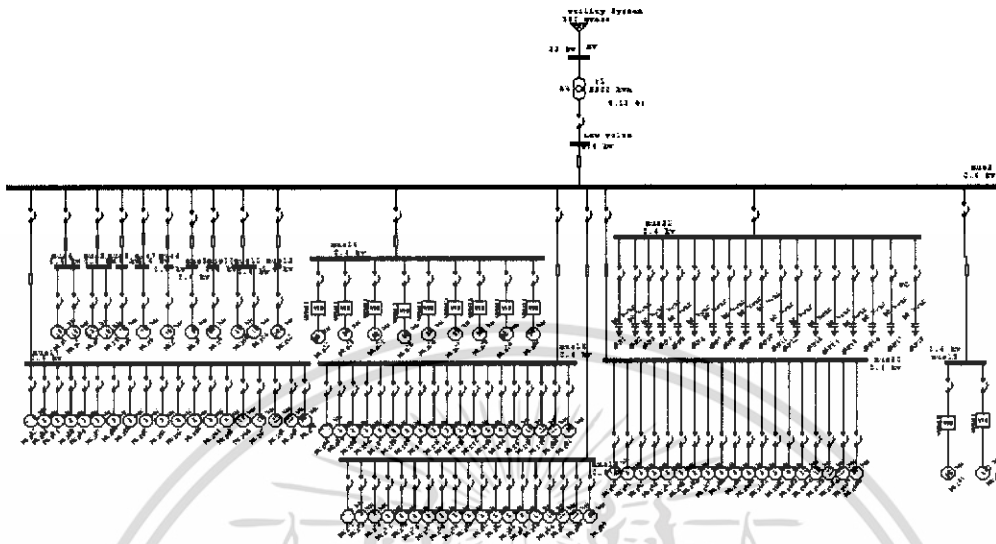


รูปที่ 5.27 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter



รูปที่ 5.28 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter

5.2.5 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของ โรงงาน 2 MDB 1 without Filter



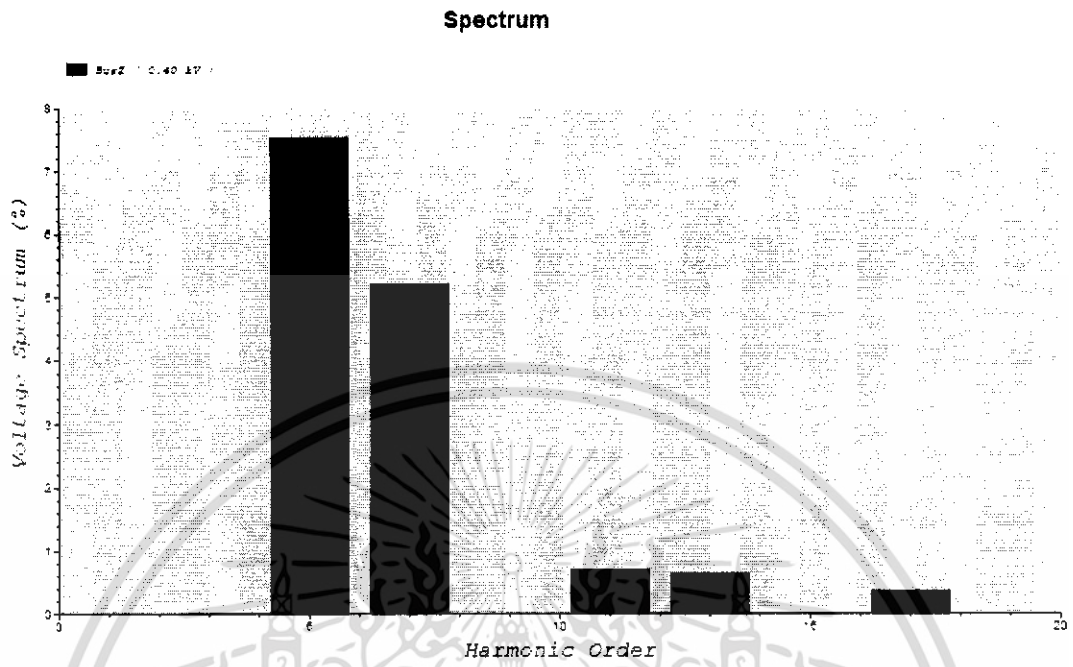
รูปที่ 5.29 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 2 MDB1 without Filter

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

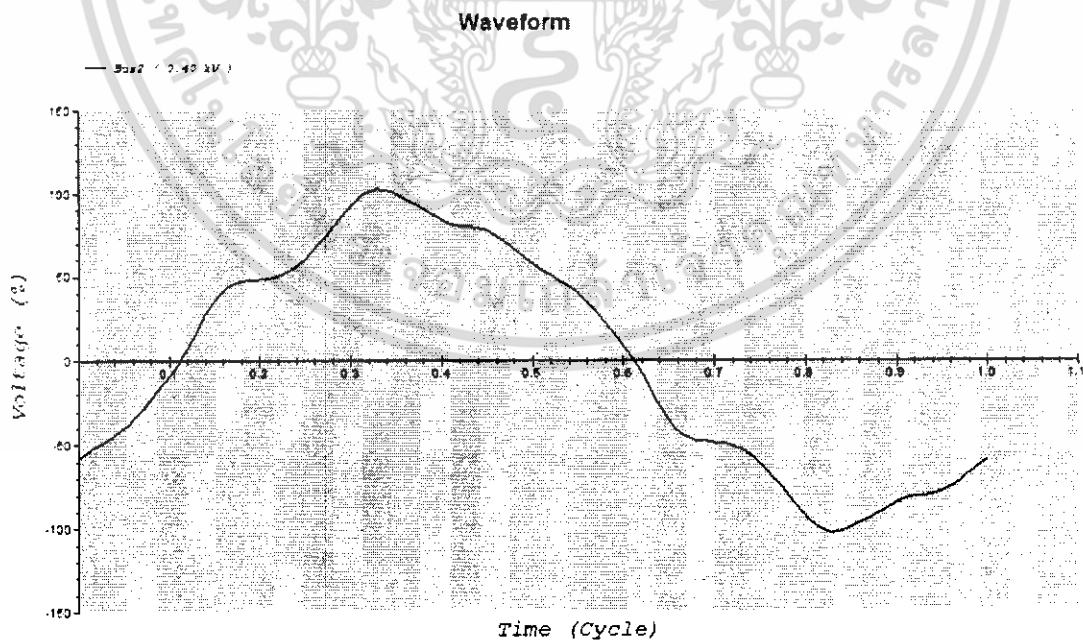
Bus ID	Bus	kV	Voltage Distortion	
			Fund. %	THD %
Bus2		0.400	93.39	9.86
Bus4		0.400	92.79	9.91
Bus5		0.400	92.99	9.86
Bus6		0.400	92.92	9.91
Bus7		0.400	85.07	10.72
Bus8		0.400	90.84	10.11
Bus9		0.400	88.89	10.27
Bus10		0.400	69.52	12.79
Bus11		0.400	91.04	10.06
Bus12		0.400	74.14	12.17
Bus14		0.400	90.86	10.27
Bus15		0.400	83.18	12.68
Bus16		0.400	92.25	9.95
Bus17		0.400	89.64	10.13
Bus19		0.400	92.63	9.92
Bus20		0.400	88.82	10.25
Bus21		0.400	93.39	9.86
Low Volte		0.400	95.90	9.02

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

ผลการ Simulate Harmonic Voltage without Filter

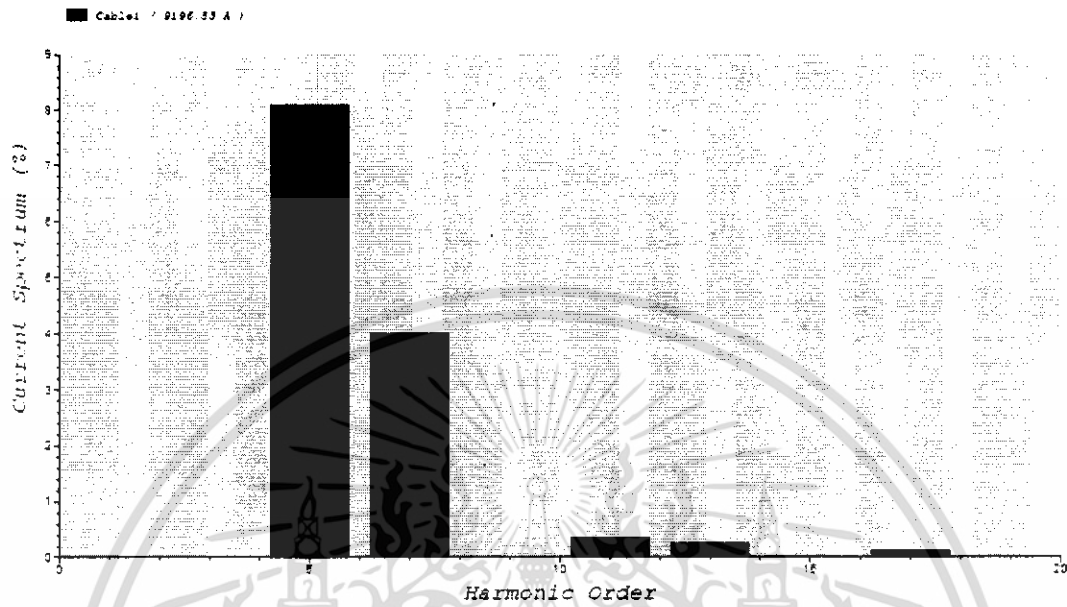


รูปที่ 5.30 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter



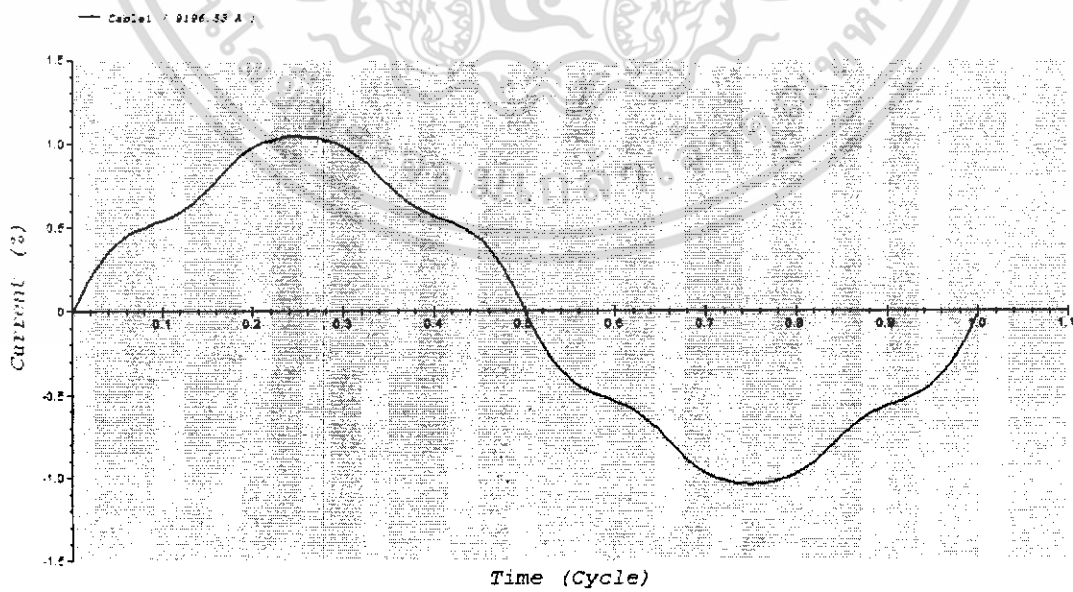
รูปที่ 5.31 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

Spectrum



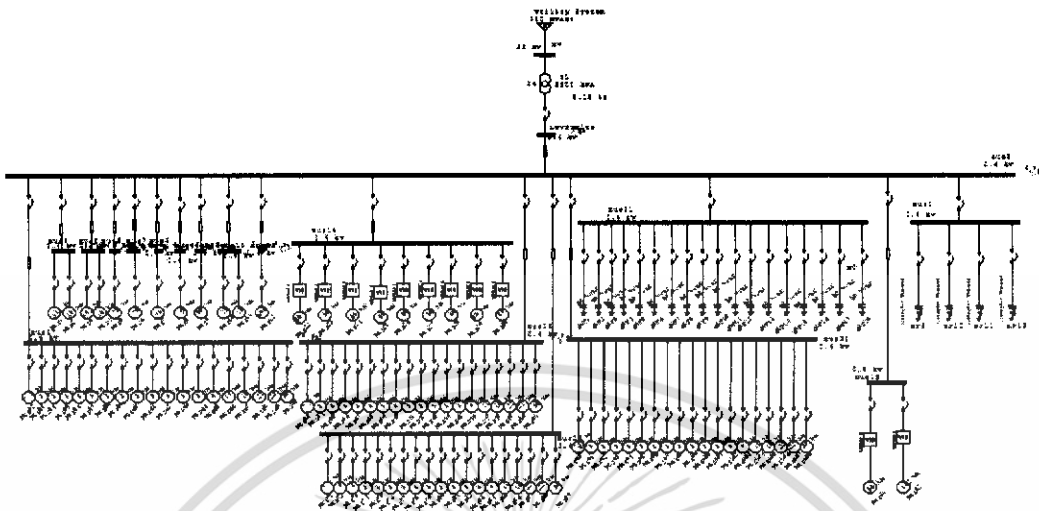
รูปที่ 5.32 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter

Waveform



รูปที่ 5.33 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter

5.2.6 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 2 MDB 1 with Filter



รูปที่ 5.34 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 2 MDB 1 with Filter

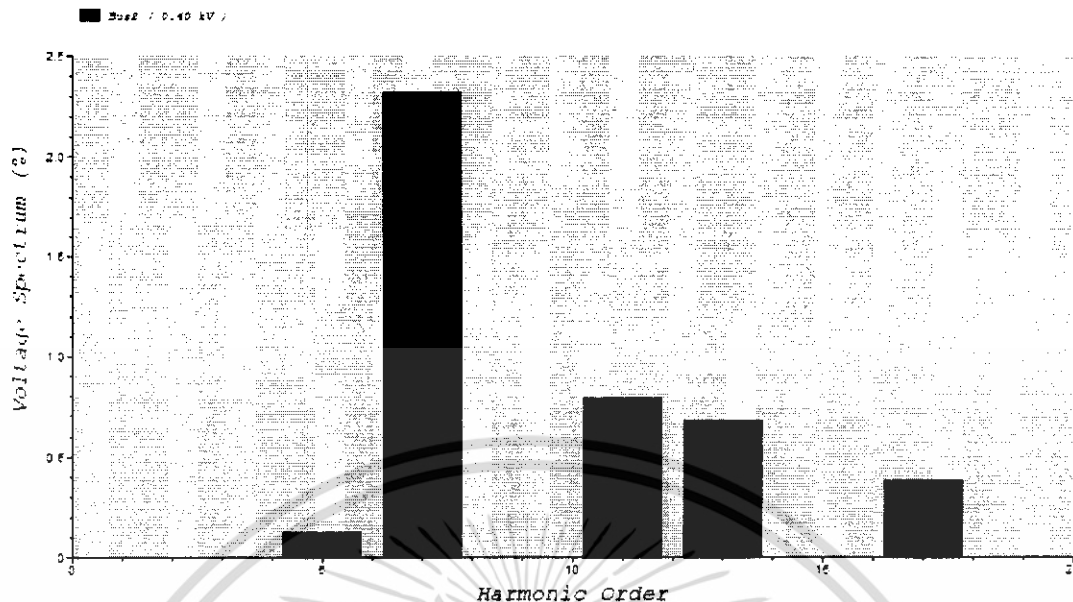
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus	Voltage Distortion	
	Fund. %	THD %
Bus1	93.96	2.74
Bus2	93.96	2.74
Bus4	93.37	2.75
Bus5	93.57	2.74
Bus6	93.50	2.75
Bus7	85.71	2.97
Bus8	91.43	2.80
Bus9	89.49	2.85
Bus10	70.40	3.54
Bus11	91.63	2.79
Bus12	74.91	3.37
Bus14	91.45	2.83
Bus15	83.84	4.35
Bus16	92.83	2.76
Bus17	90.24	2.81
Bus19	93.21	2.75
Bus20	89.43	2.84
Bus21	93.96	2.74
Low Volte	96.42	2.51

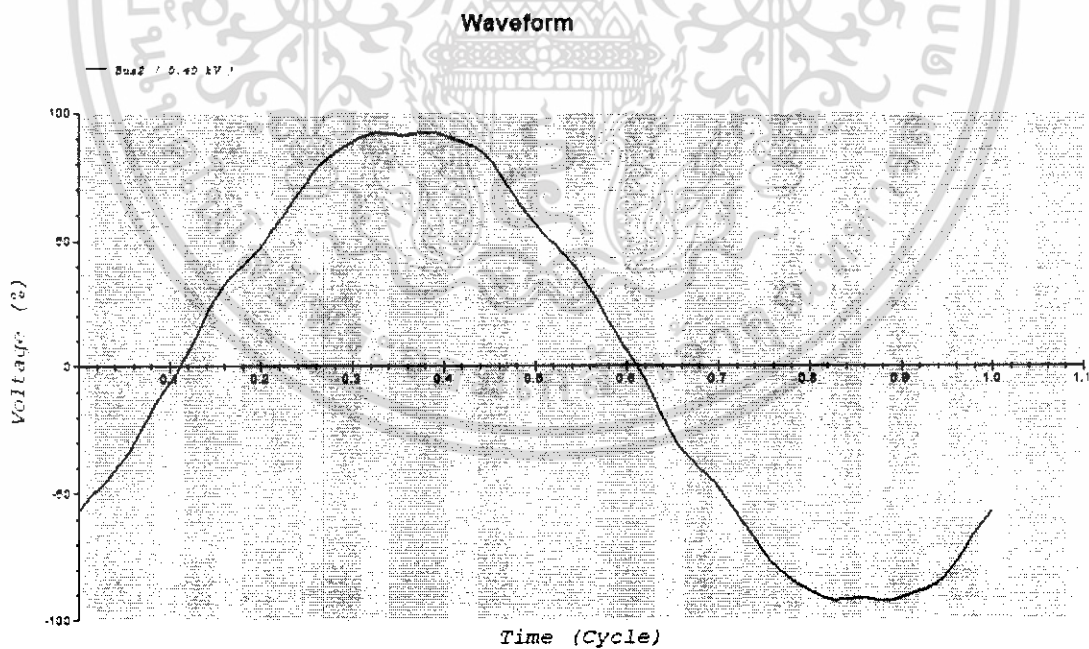
Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

ผลการ Simulate Harmonic Voltage with Filter

Spectrum

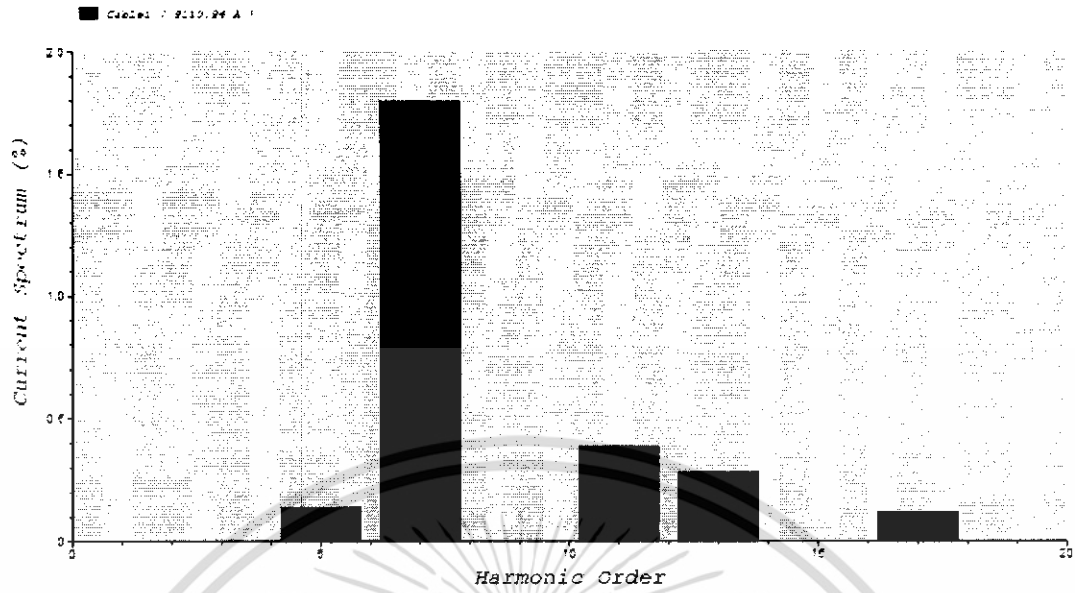


รูปที่ 5.35 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

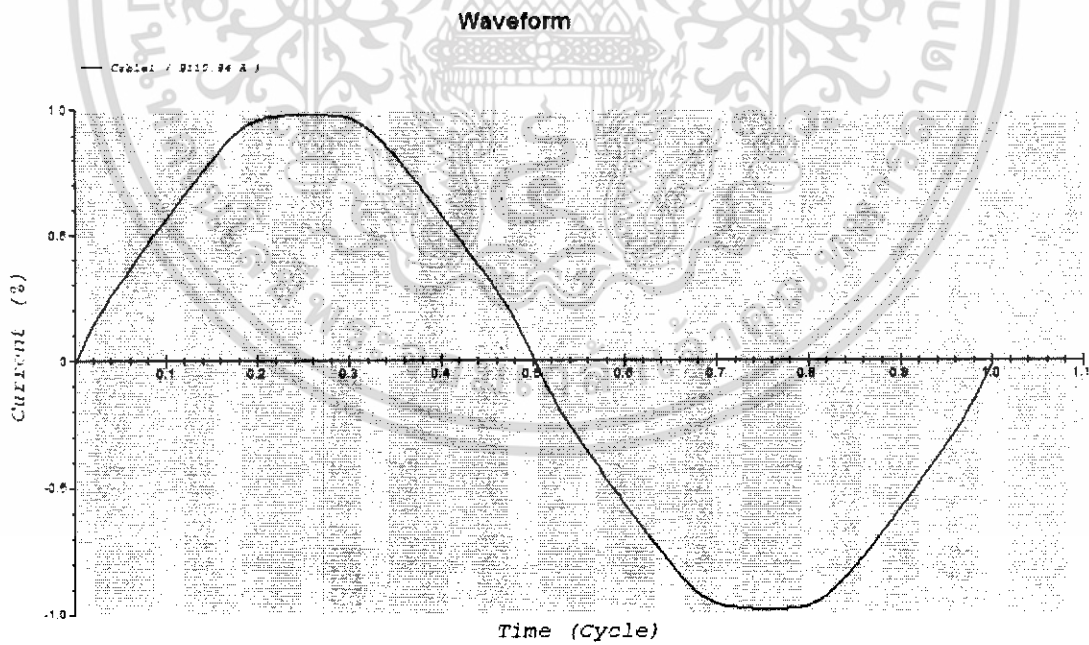


รูปที่ 5.36 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

Spectrum

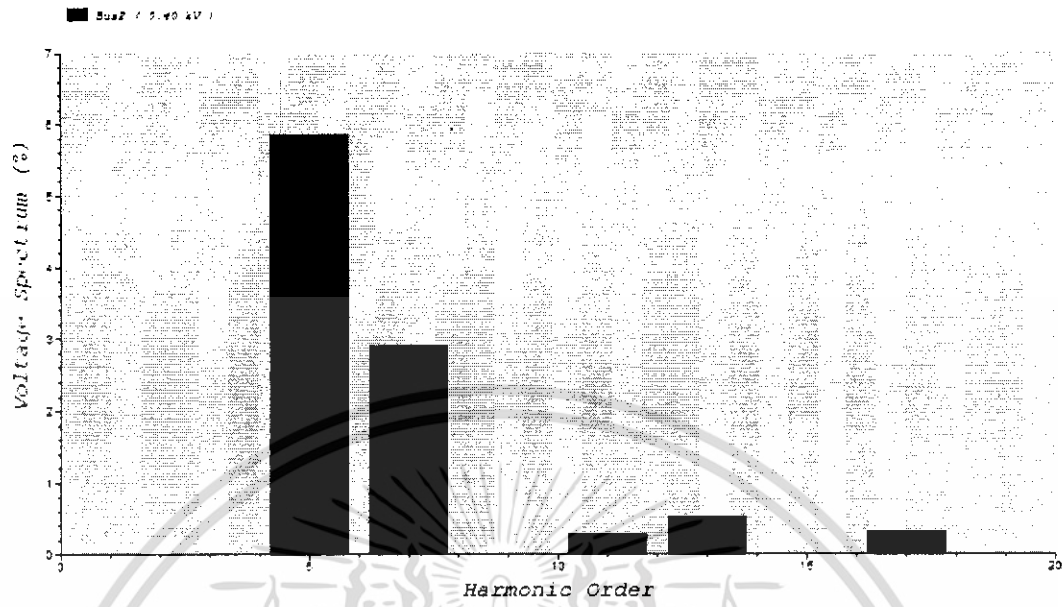


รูปที่ 5.37 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter

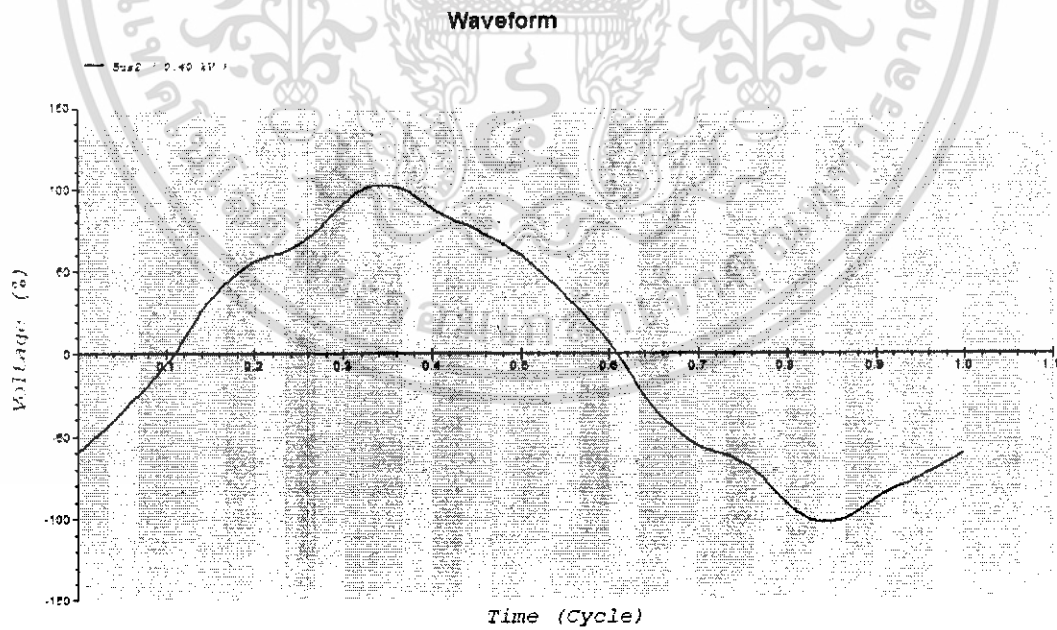


รูปที่ 5.38 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter

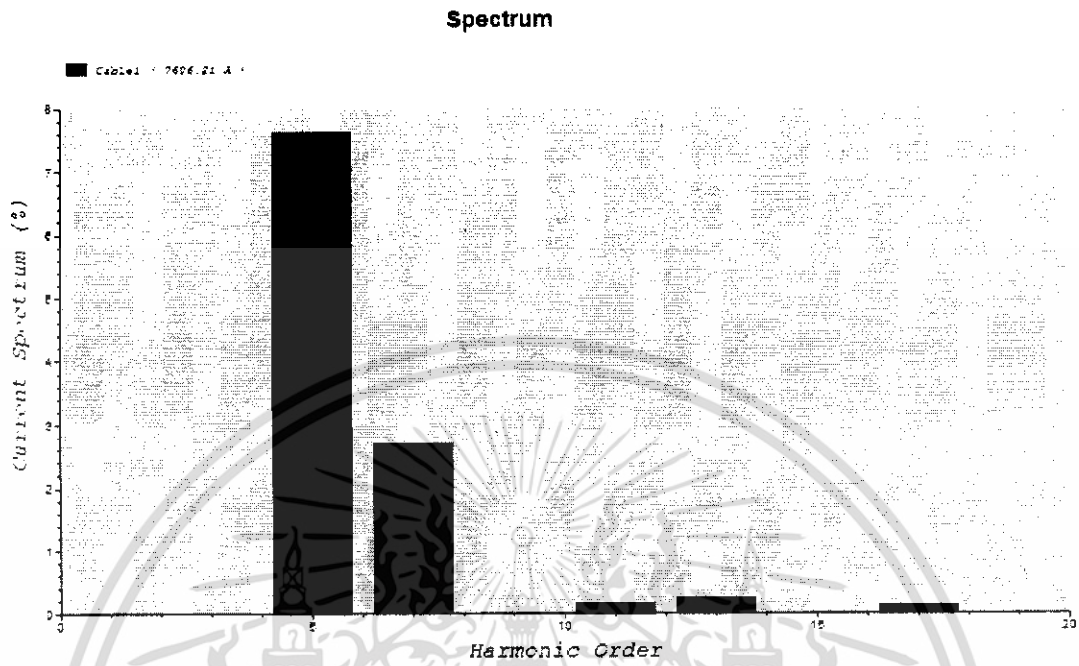
Spectrum



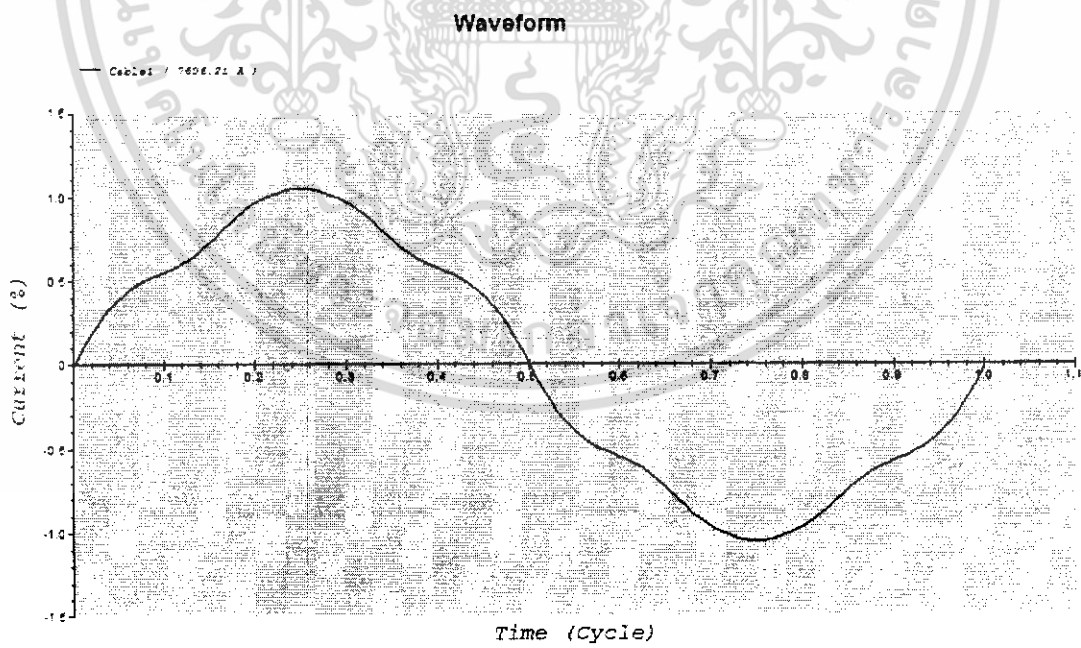
รูปที่ 5.40 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter



รูปที่ 5.41 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

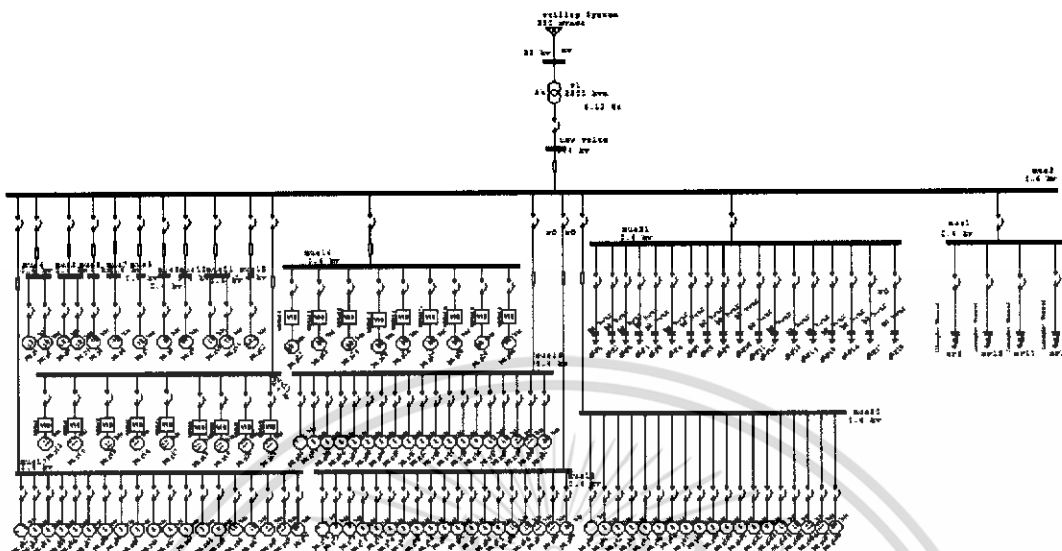


รูปที่ 5.42 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter



รูปที่ 5.43 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter

5.2.8 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 2 MDB 2 with Filter



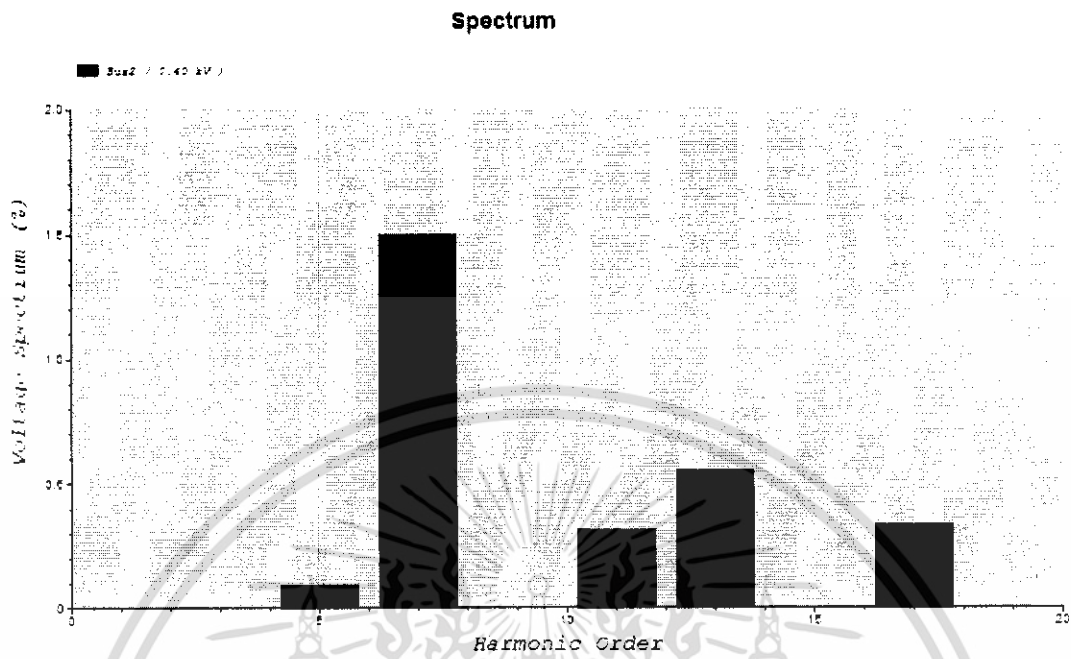
รูปที่ 5.44 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 2 MDB 2 with Filter

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

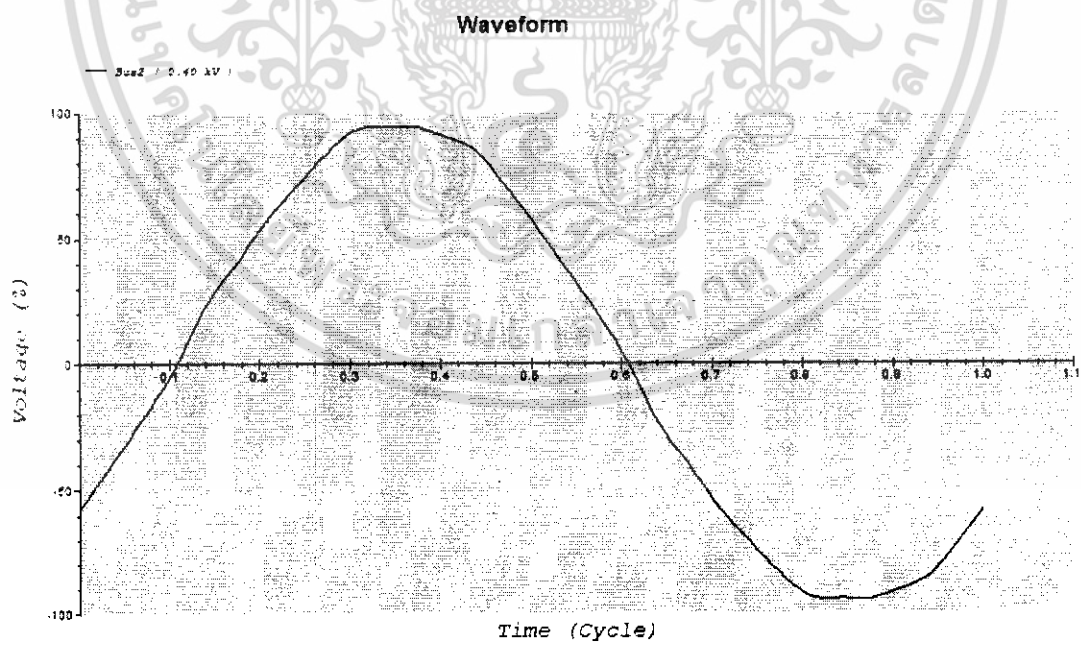
Bus ID	Bus kV	Voltage Distortion	
		Fund. %	THD %
Bus1	0.400	93.71	2.97
Bus2	0.400	93.71	2.97
Bus4	0.400	93.12	2.98
Bus5	0.400	93.32	2.97
Bus6	0.400	93.25	2.98
Bus7	0.400	85.43	3.23
Bus8	0.400	91.17	3.04
Bus9	0.400	89.23	3.09
Bus10	0.400	70.02	3.85
Bus11	0.400	91.37	3.03
Bus12	0.400	74.58	3.66
Bus13	0.400	93.04	2.99
Bus14	0.400	91.19	3.08
Bus15	0.400	83.56	4.62
Bus16	0.400	92.58	3.00
Bus17	0.400	89.98	3.05
Bus19	0.400	92.96	2.99
Bus21	0.400	93.71	2.97
Low Voltage	0.400	96.24	2.72

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

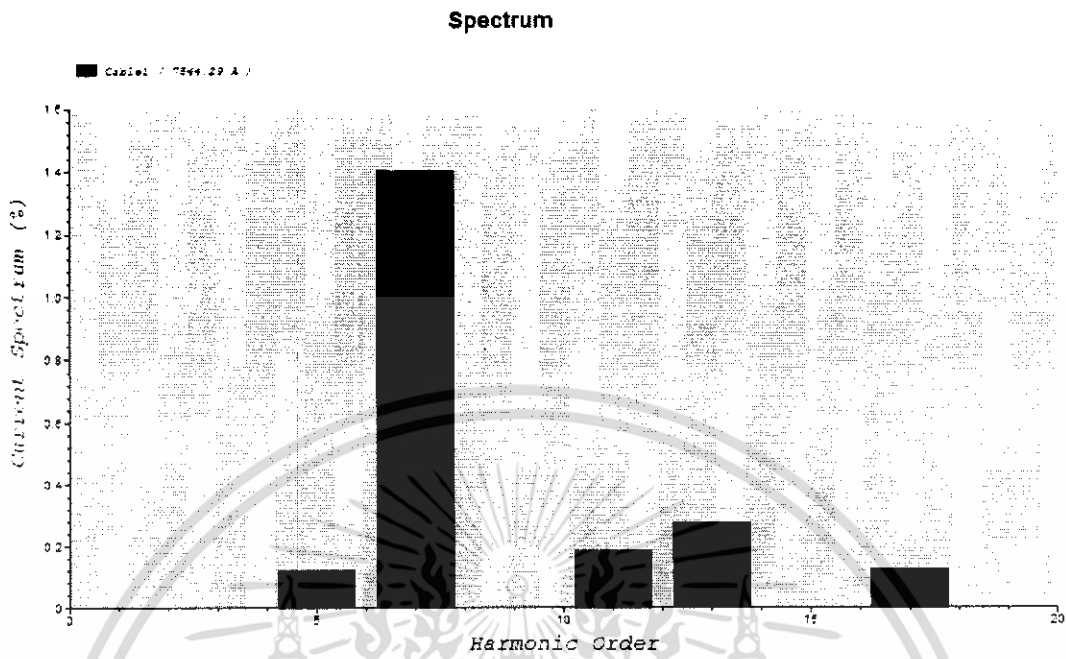
ผลการ Simulate Harmonic Voltage with Filter



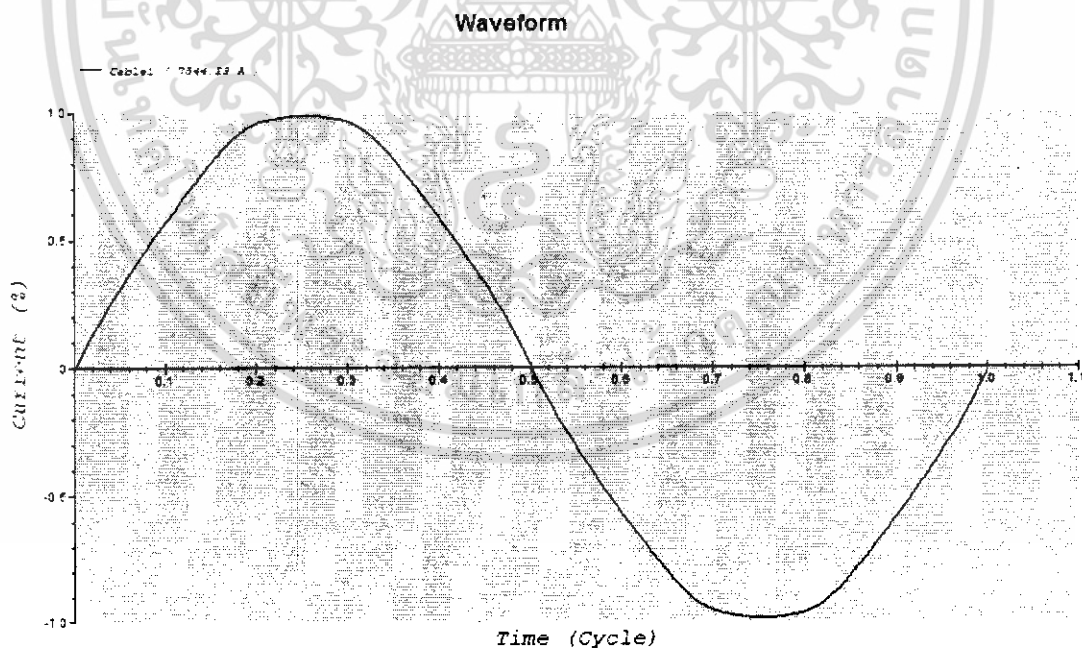
รูปที่ 5.45 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter



รูปที่ 5.46 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

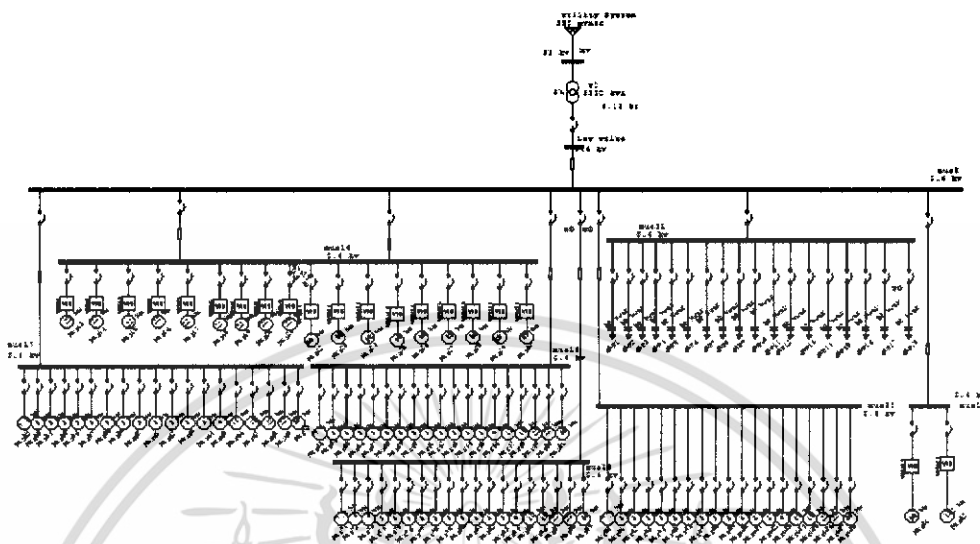


รูปที่ 5.47 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter



รูปที่ 5.48 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter

5.2.9 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 1 without Filter



รูปที่ 5.49 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 3 MDB 1 without Filter

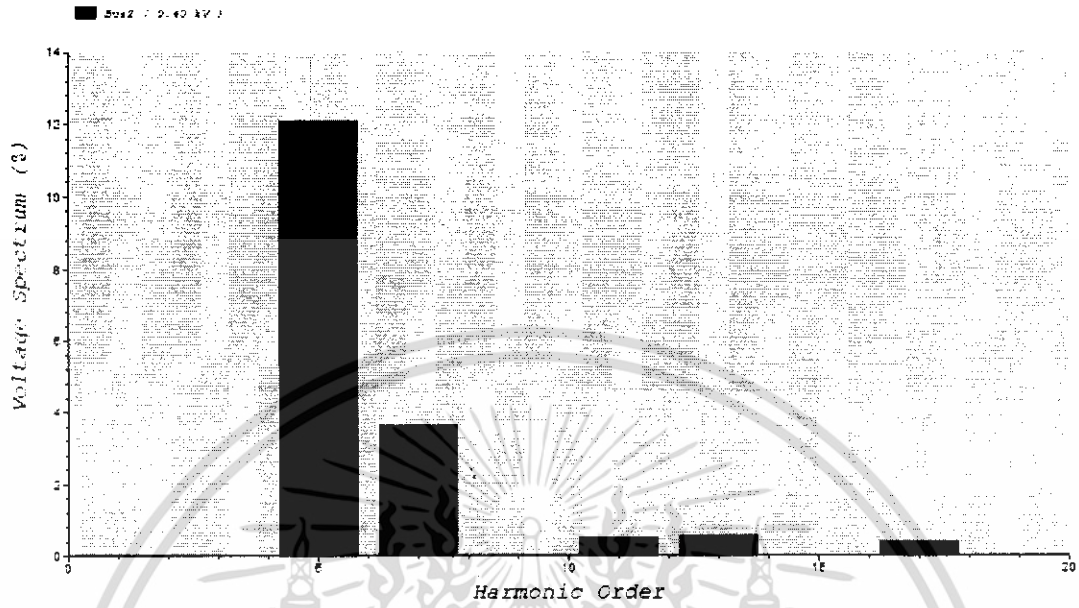
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus ID	Voltage kV	Voltage Distortion	
		Fund. %	THD %
Bus2	0.400	97.03	12.11
Bus13	0.400	96.39	12.17
Bus14	0.400	94.61	12.61
Bus15	0.400	87.32	15.19
Bus16	0.400	95.94	12.21
Bus17	0.400	93.44	12.40
Bus19	0.400	96.31	12.18
Bus20	0.400	92.66	12.53
Bus21	0.400	97.03	12.11
Low Voltage	0.400	98.40	11.21

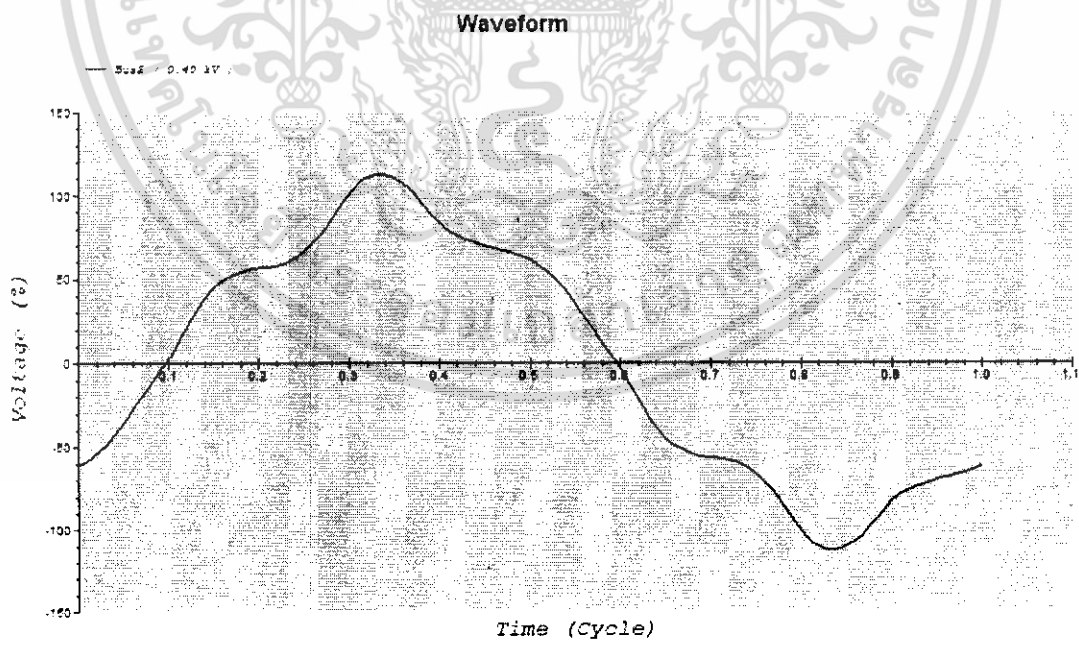
Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

ผลการ Simulate Harmonic Voltage without Filter

Spectrum

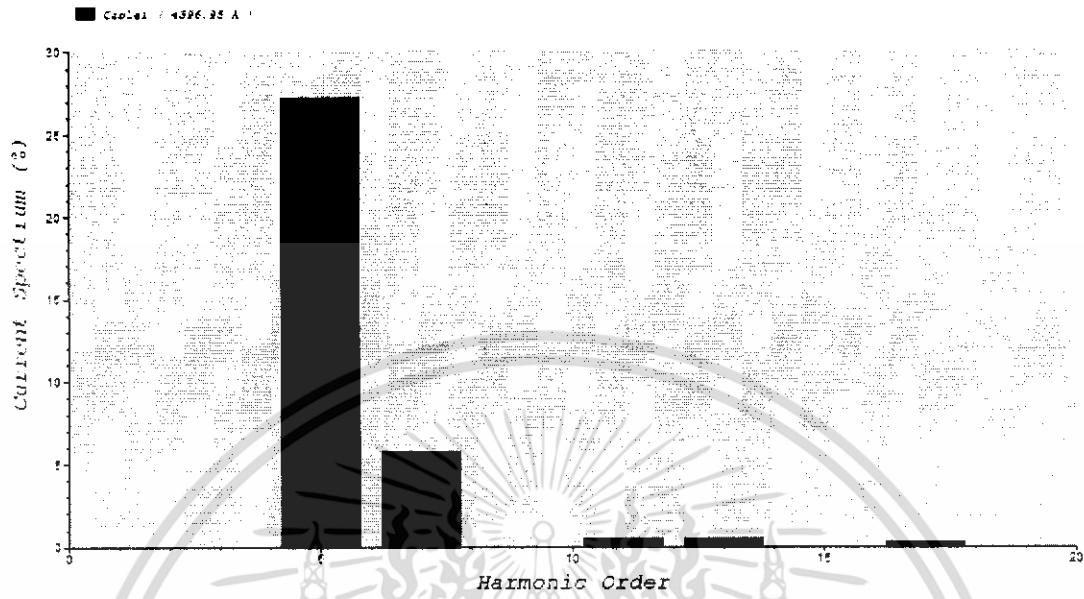


รูปที่ 5.50 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

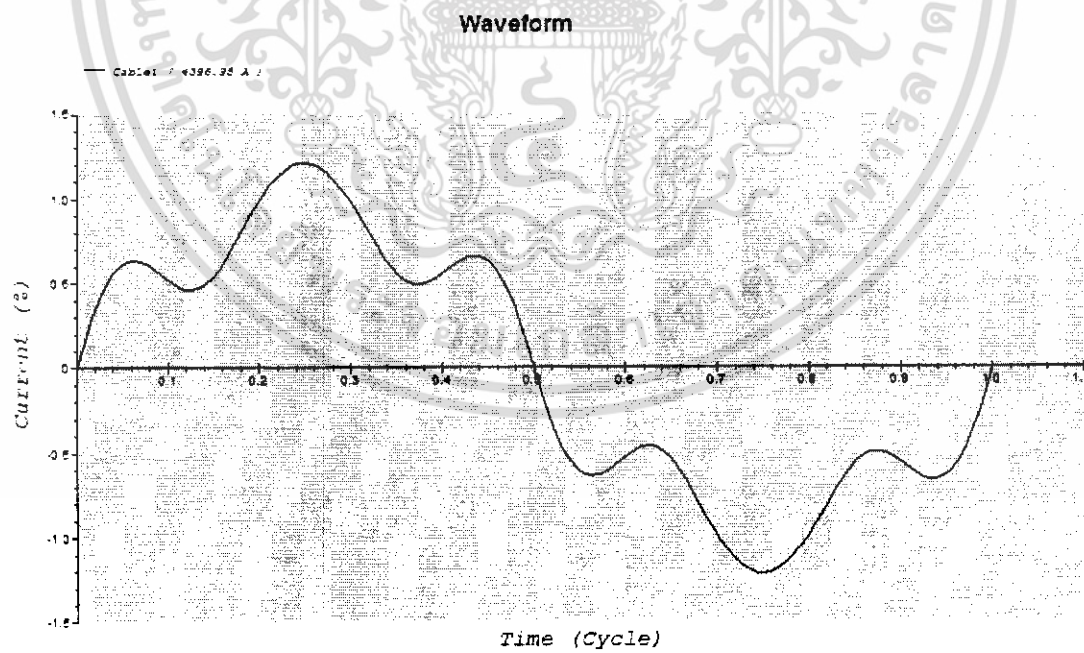


รูปที่ 5.51 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

Spectrum

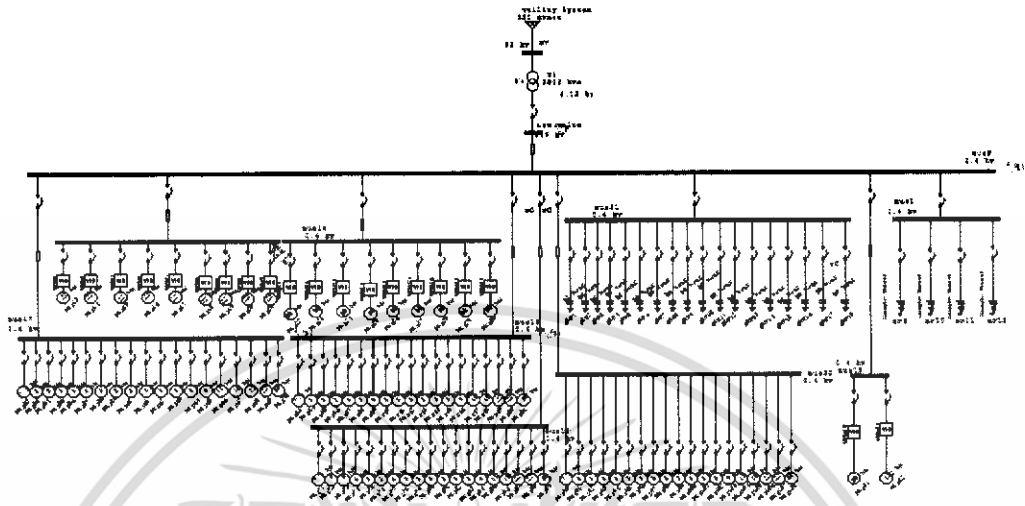


รูปที่ 5.52 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter



รูปที่ 5.53 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 without Filter

5.2.10 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกส์ระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 1 with Filter



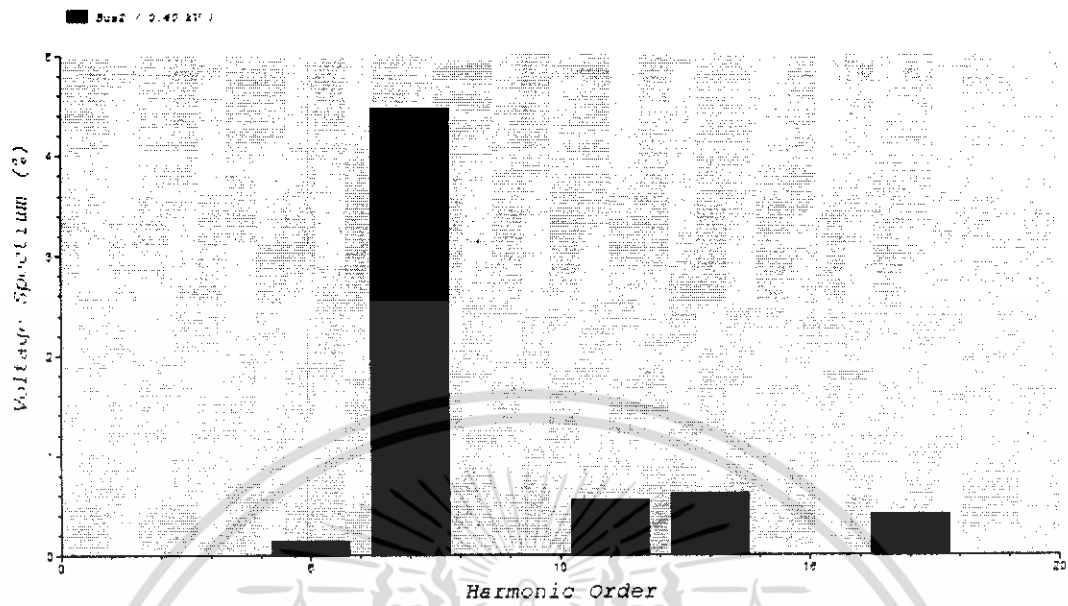
รูปที่ 5.54 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 3 MDB 1 with Filter
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus ID	Bus	kV	Voltage Distortion	
			Fund. %	THD %
Bus1		0.400	93.96	2.74
Bus2		0.400	93.96	2.74
Bus4		0.400	93.37	2.75
Bus5		0.400	93.57	2.74
Bus6		0.400	93.50	2.75
Bus7		0.400	85.71	2.97
Bus8		0.400	91.43	2.80
Bus9		0.400	89.49	2.85
Bus10		0.400	70.40	3.54
Bus11		0.400	91.63	2.79
Bus12		0.400	74.91	3.37
Bus14		0.400	91.45	2.83
Bus15		0.400	83.84	4.35
Bus16		0.400	92.83	2.76
Bus17		0.400	90.24	2.81
Bus19		0.400	93.21	2.75
Bus20		0.400	89.43	2.84
Bus21		0.400	93.96	2.74
Low Voltage		0.400	96.42	2.51

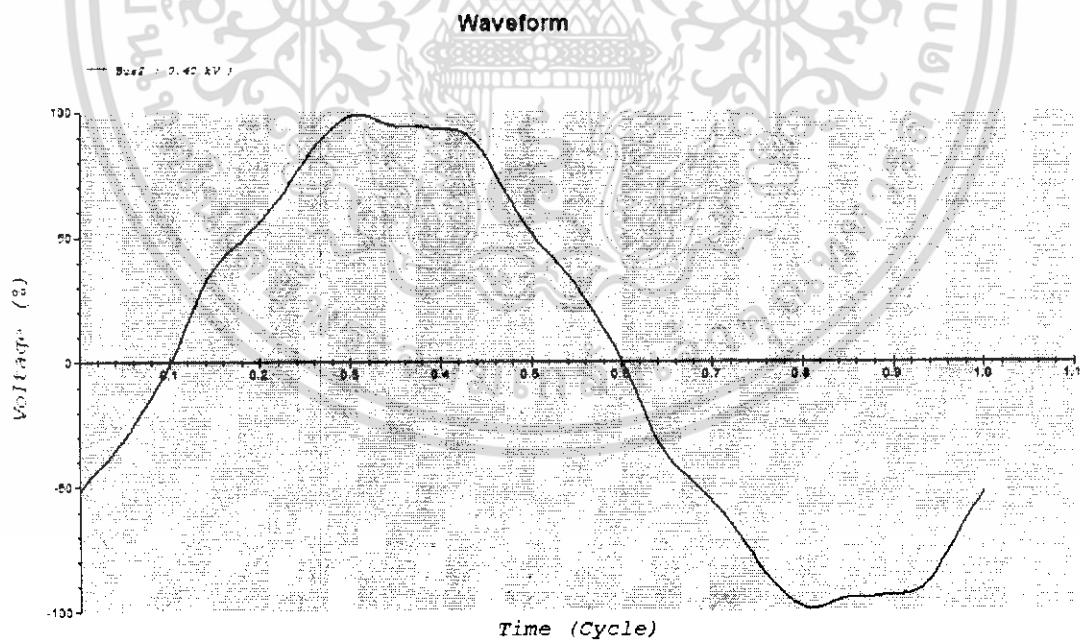
Indicates buses with THD (Total Harmonic Distortion) exceeding the limit

ผลการ Simulate Harmonic Voltage with Filter

Spectrum

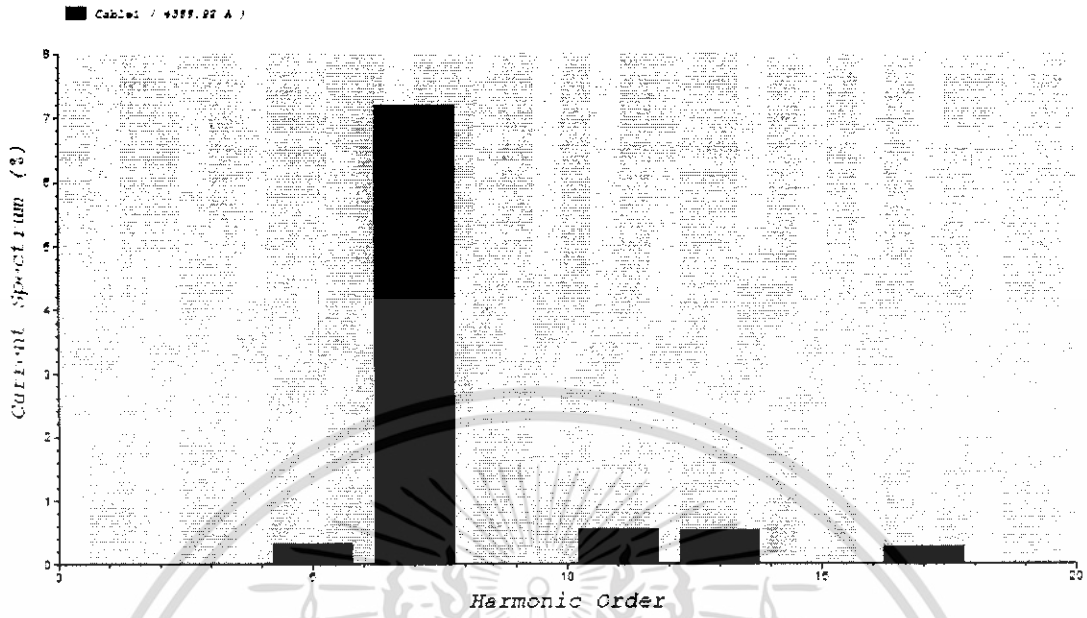


รูปที่ 5.55 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

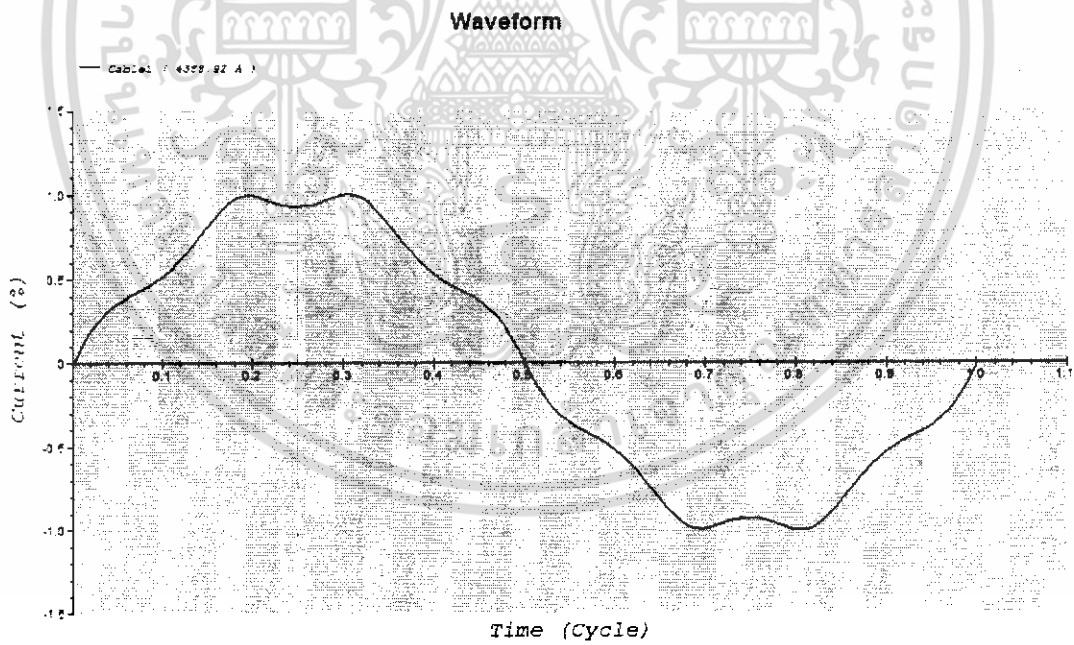


รูปที่ 5.56 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter

Spectrum

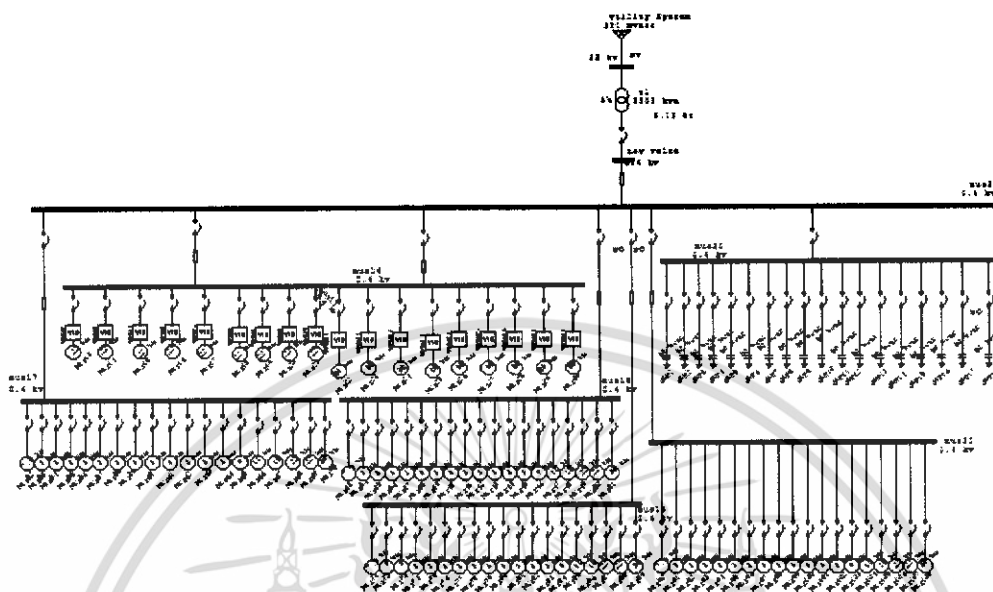


รูปที่ 5.57 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter



รูปที่ 5.58 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter

5.2.11 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 2 without Filter



รูปที่ 5.59 One line diagram ของชุด Converter ของ โรงงาน 3 MDB 2 without Filter

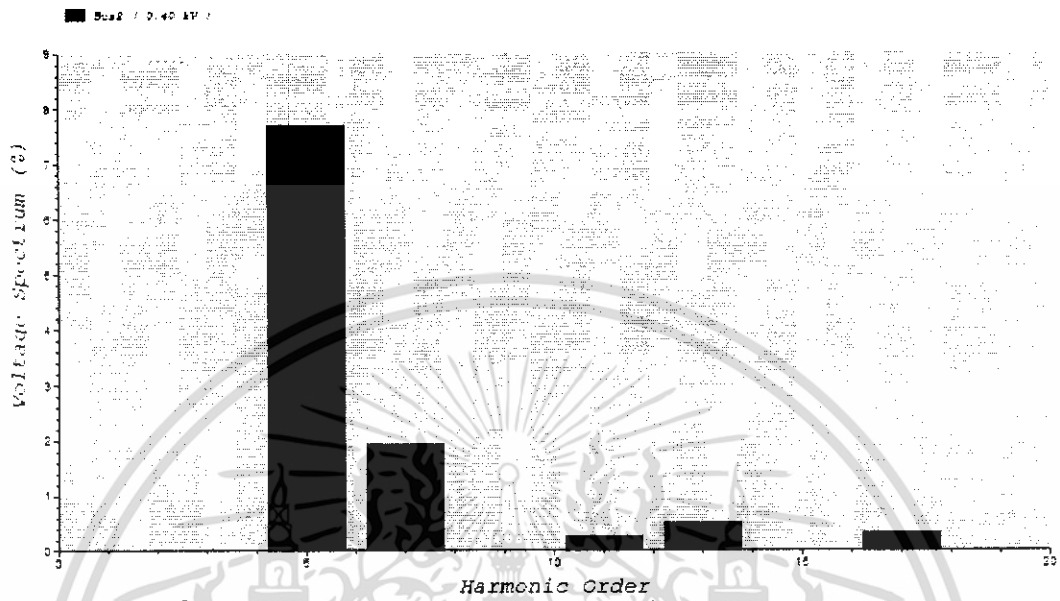
VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

Bus ID	Bus	kV	Voltage Distortion	
			Fund. %	THD %
Bus2		0.400	93.39	9.86
Bus4		0.400	92.79	9.91
Bus5		0.400	92.99	9.86
Bus6		0.400	92.92	9.91
Bus7		0.400	85.07	10.72
Bus8		0.400	90.84	10.11
Bus9		0.400	88.89	10.27
Bus10		0.400	69.52	12.79
Bus11		0.400	91.04	10.06
Bus12		0.400	74.14	12.17
Bus14		0.400	90.86	10.27
Bus15		0.400	83.18	12.68
Bus16		0.400	92.25	9.95
Bus17		0.400	89.64	10.13
Bus19		0.400	92.63	9.92
Bus20		0.400	88.82	10.25
Bus21		0.400	93.39	9.86
Low Voltage		0.400	95.90	9.02

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

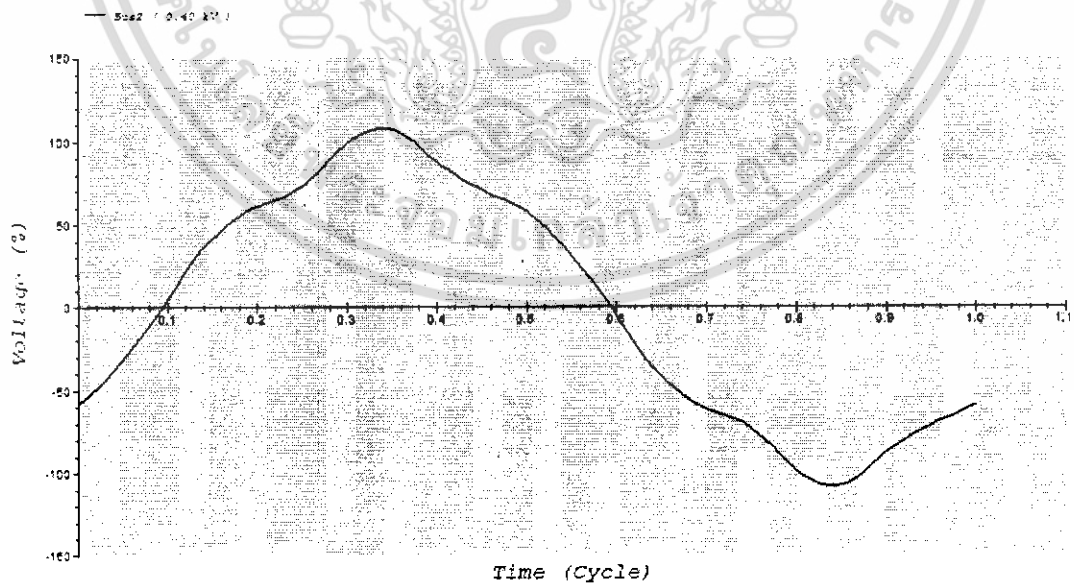
ผลการ Simulate Harmonic Voltage without Filter

Spectrum



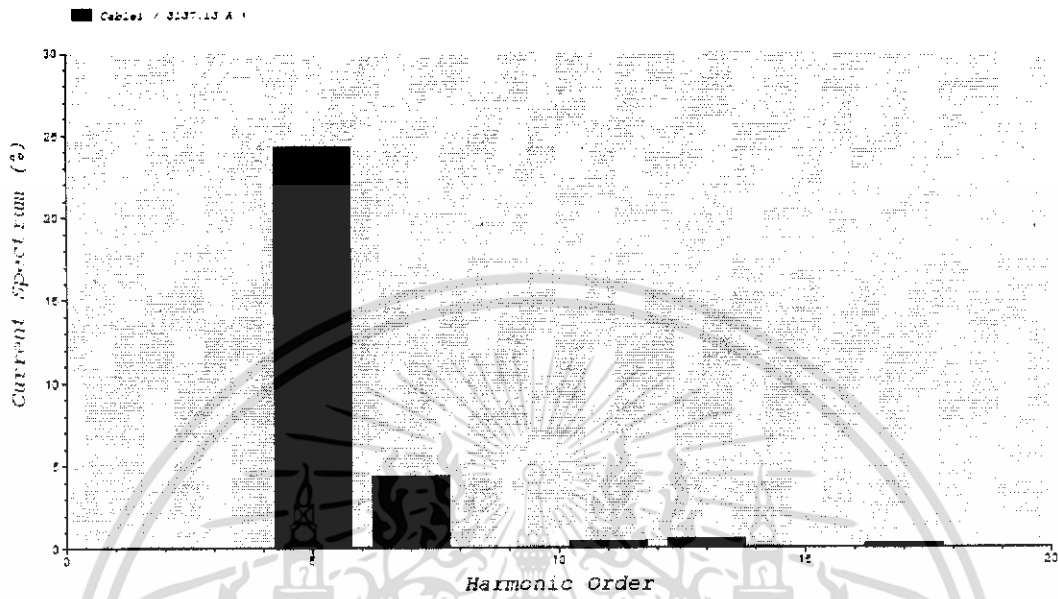
รูปที่ 5.60 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

Waveform

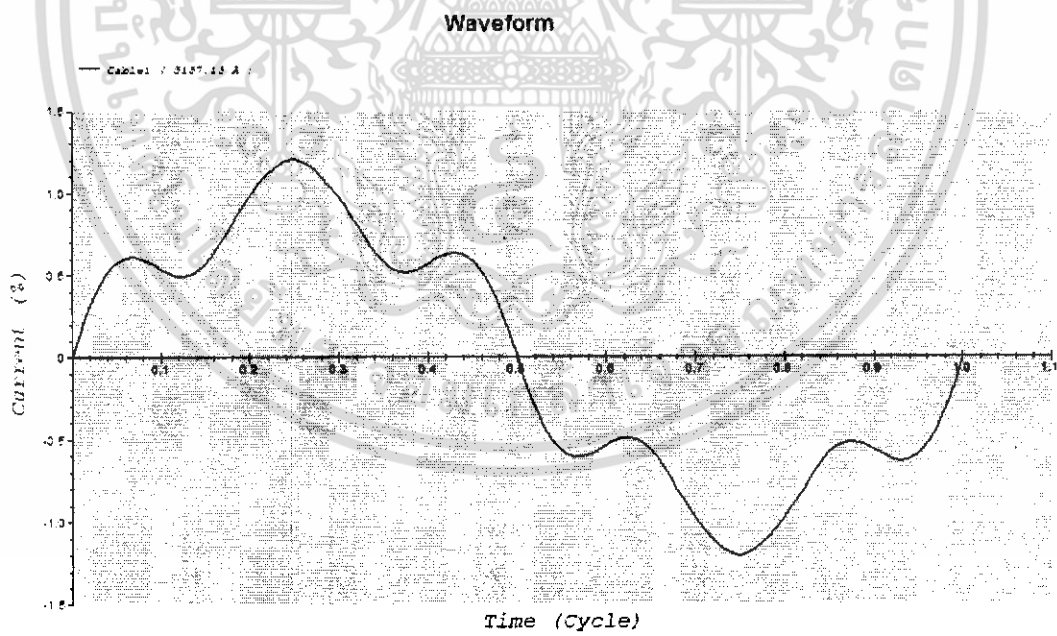


รูปที่ 5.61 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 without Filter

Spectrum

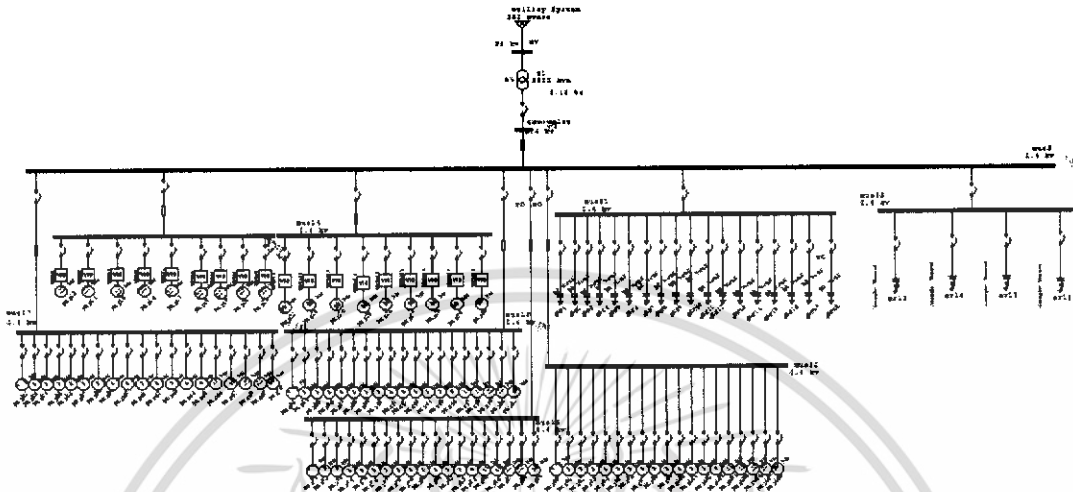


รูปที่ 5.62 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter



รูปที่ 5.63 Waveform Harmonic current ที่ Cabel2 without Filter

5.2.12 ผลจากการ Simulate การกรองฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าของโรงงาน 3 MDB 2 with Filter



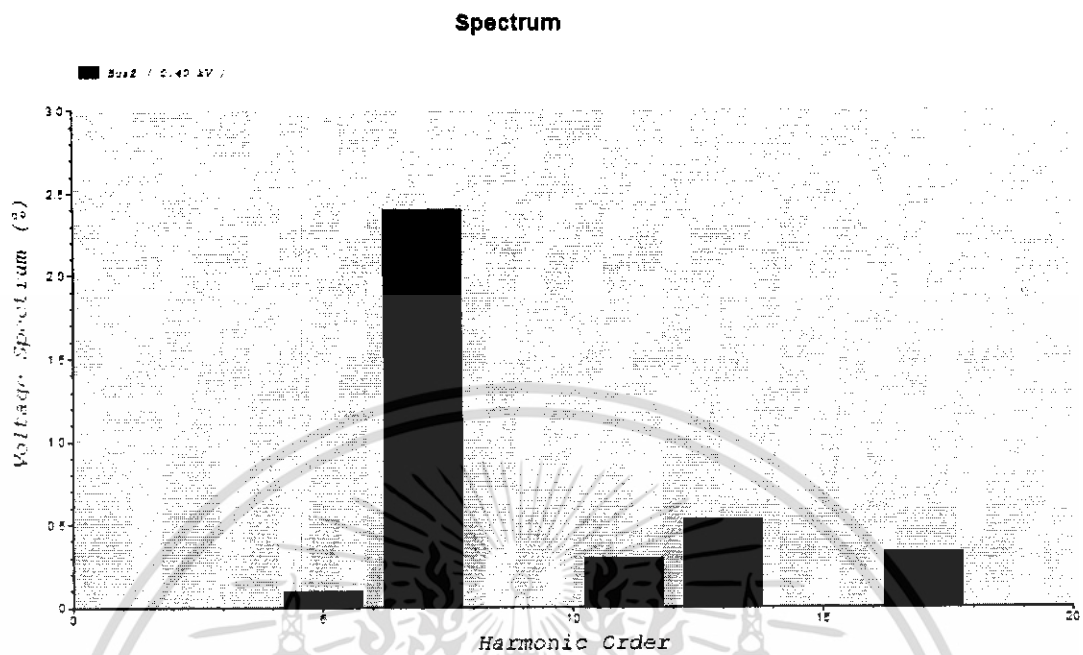
รูปที่ 5.64 One line diagram ของชุด Converter ของโรงงาน 3 MDB 2 with Filter

VTHD (Total Harmonic Distortion) Report

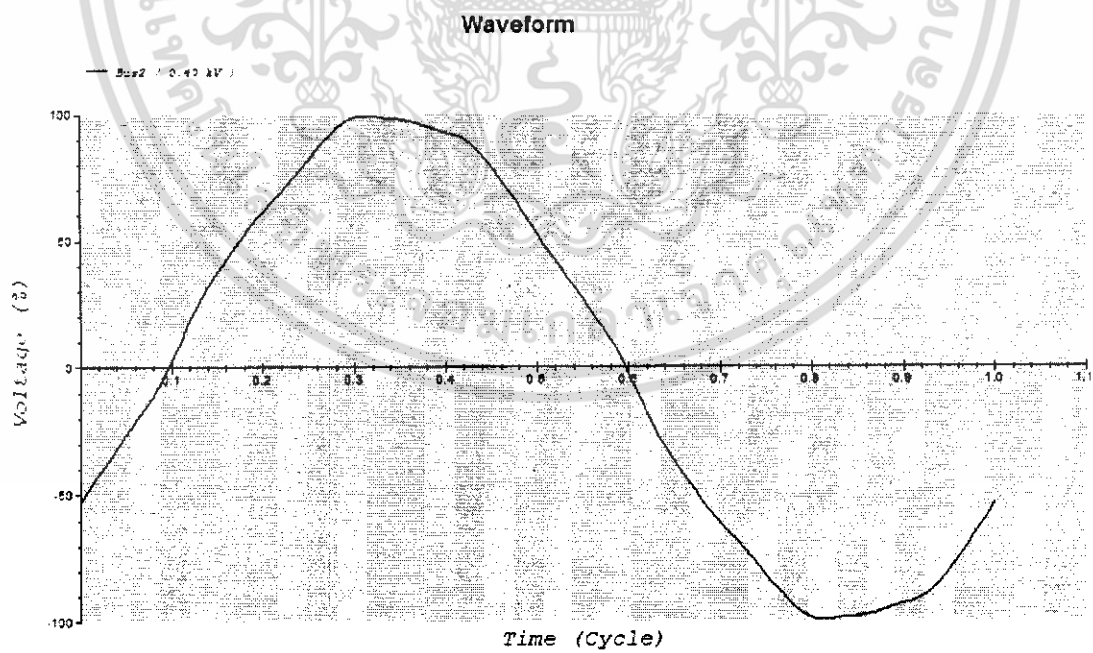
Bus ID	Voltage Fund. kV	Voltage Distortion	
		Fund. %	THD %
Bus1	0.400	93.96	2.74
Bus2	0.400	93.96	2.74
Bus4	0.400	93.37	2.75
Bus5	0.400	93.57	2.74
Bus6	0.400	93.50	2.75
Bus7	0.400	85.71	2.97
Bus8	0.400	91.43	2.80
Bus9	0.400	89.49	2.85
Bus10	0.400	70.40	3.54
Bus11	0.400	91.63	2.79
Bus12	0.400	74.91	3.37
Bus14	0.400	91.45	2.83
Bus15	0.400	83.84	4.35
Bus16	0.400	92.83	2.76
Bus17	0.400	90.24	2.81
Bus19	0.400	93.21	2.75
Bus20	0.400	89.43	2.84
Bus21	0.400	93.96	2.74
Low Volte	0.400	96.42	2.51

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

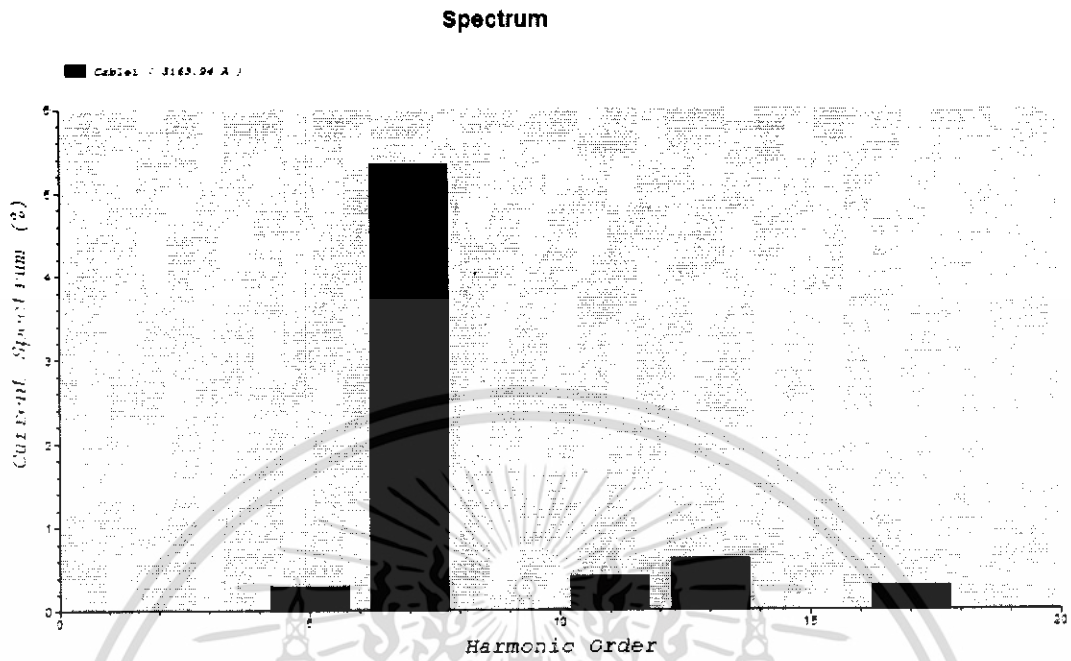
ผลการ Simulate Harmonic Voltage with Filter



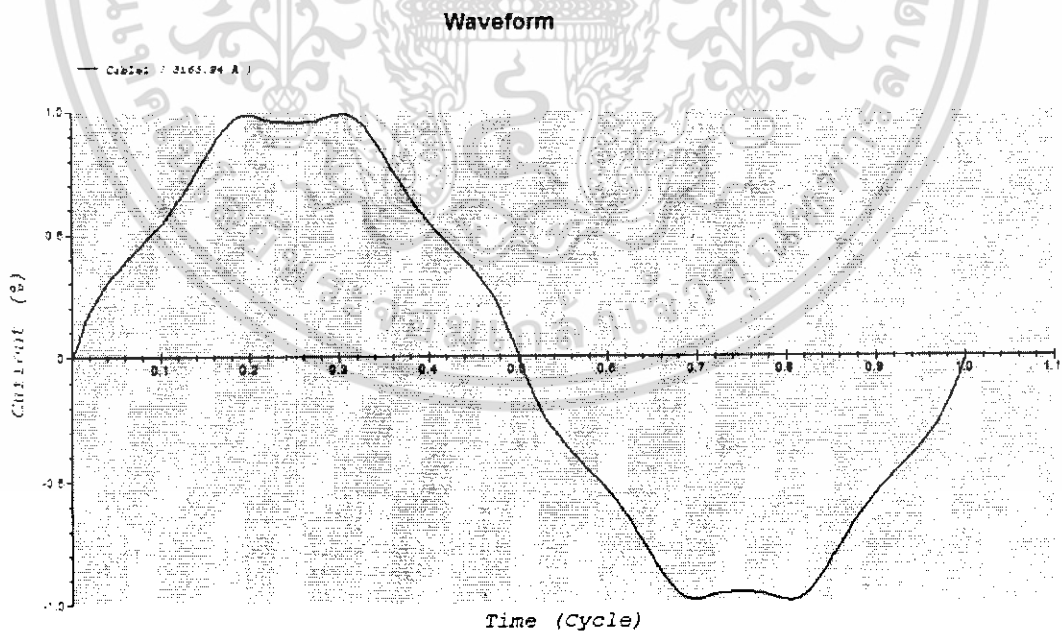
รูปที่ 5.65 Spectrum Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter



รูปที่ 5.66 Waveform Harmonic Voltage ที่ Bus2 with Filter



รูปที่ 5.67 Spectrum Harmonic current ที่ Cabel2 with Filter

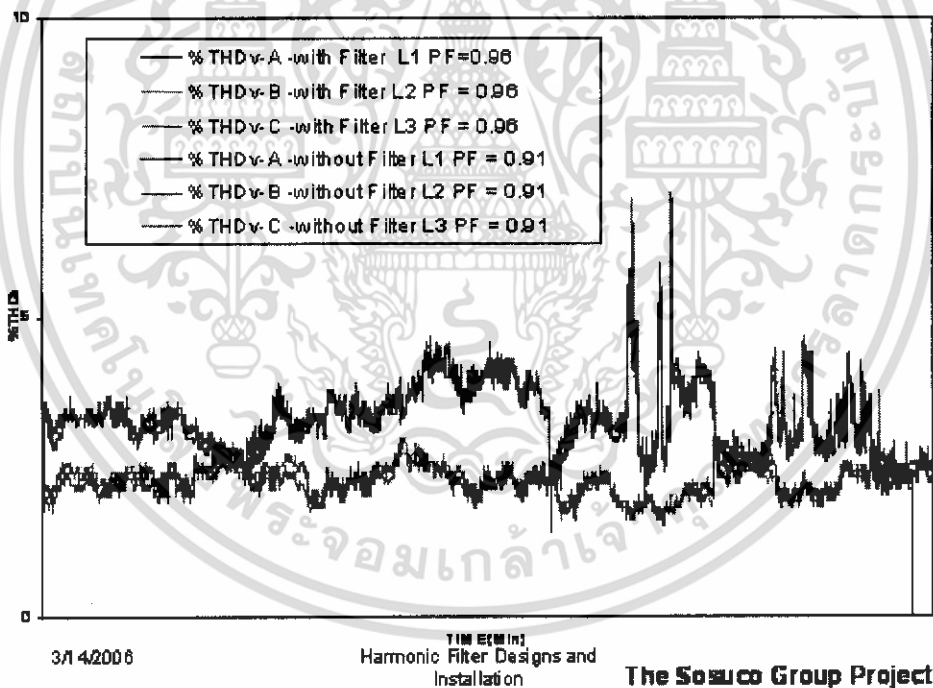


รูปที่ 5.68 Waveform Harmonic current ที่ Cabel 2 with Filter

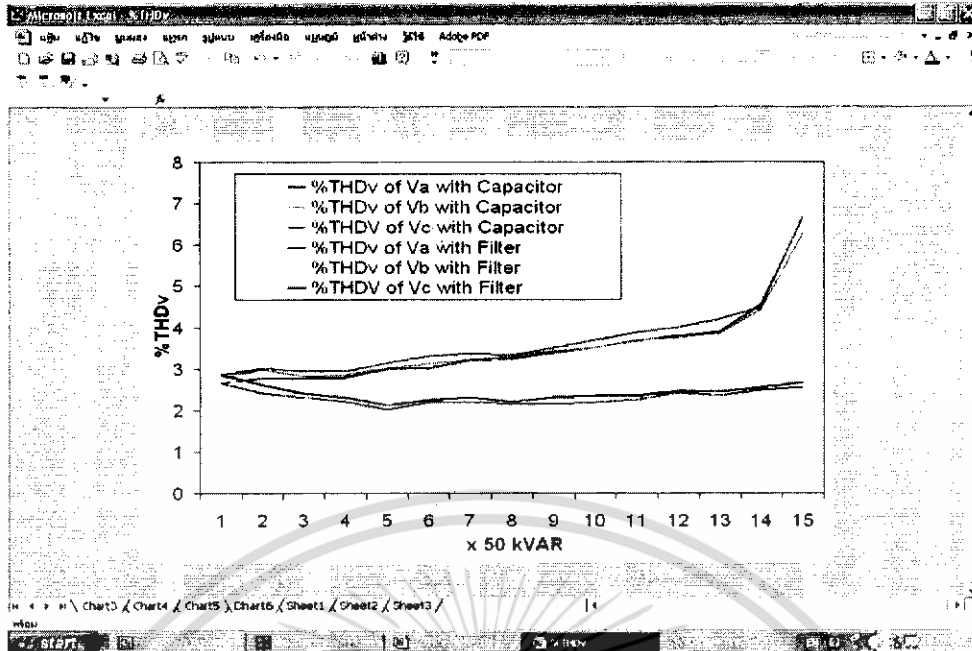
บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้เสนอวิธีการวิเคราะห์หาขนาดของตัวกรองฮาร์โมนิกส์ชนิดที่ใช้ฟิลเตอร์ร่วมกับคาปาซิเตอร์ ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบ เพื่อลดกำลังสูญเสีย และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบ ซึ่งการวิเคราะห์ในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้เป็นการวิเคราะห์เฉพาะแห่ง เพราะจะเป็นการวิเคราะห์ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แบบจำลองตามที่เสนอในปฏิญานิพนธ์ หลังจากการทำงานของโปรแกรมจะทำการพิจารณาออกแบบตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ต้องการทำการติดตั้งในระบบให้สามารถรักษาระดับกระแสฮาร์โมนิกส์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยที่ผู้ใช้กรอกข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ตามไดอะแกรมของโรงงานที่จะทำการวิเคราะห์ และโปรแกรมคำนวณผลลัพธ์ออกมา ความสามารถของโปรแกรมวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงค่า %THDv ขณะใส่ Filter ที่เฟสต่างๆ

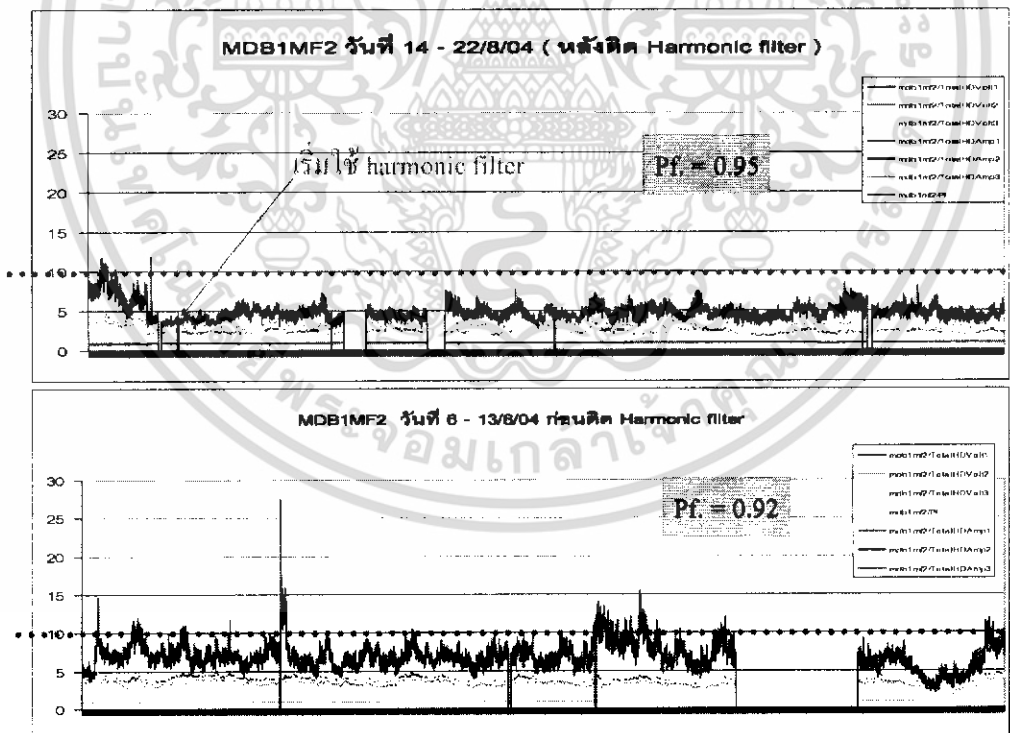


3/14/2006

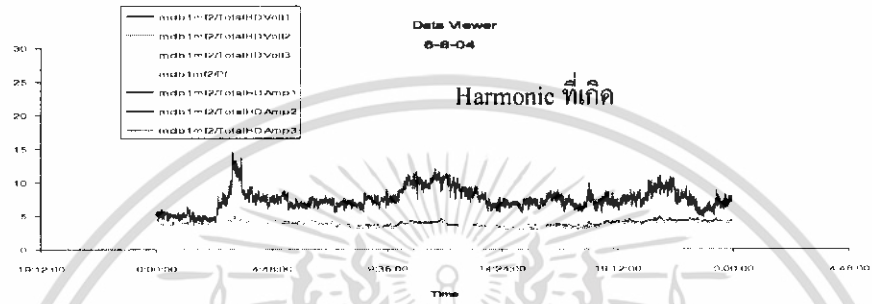
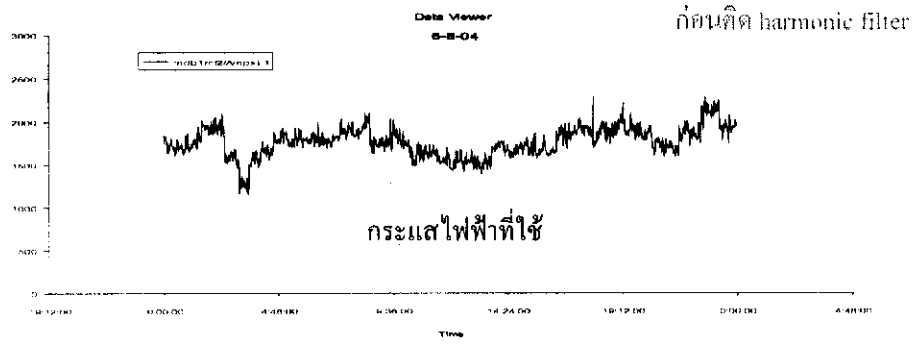
Harmonic Filter Designs and Installation

The Sосуco Group Project 37

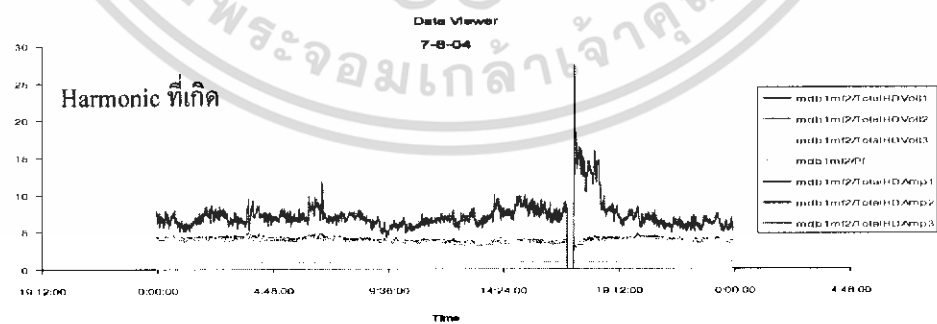
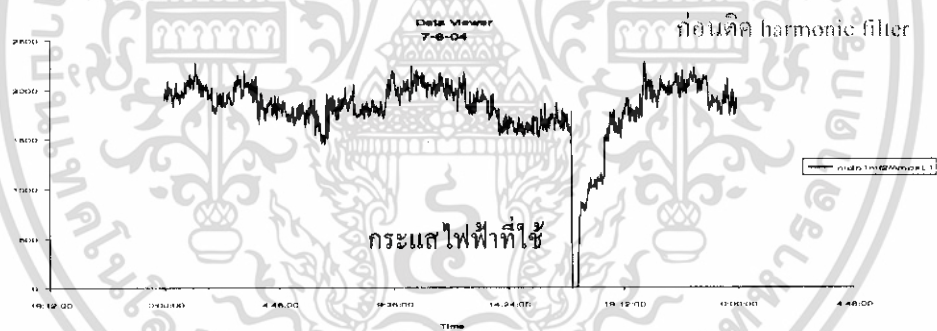
รูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่และหลังใส่ Harmonic Filter



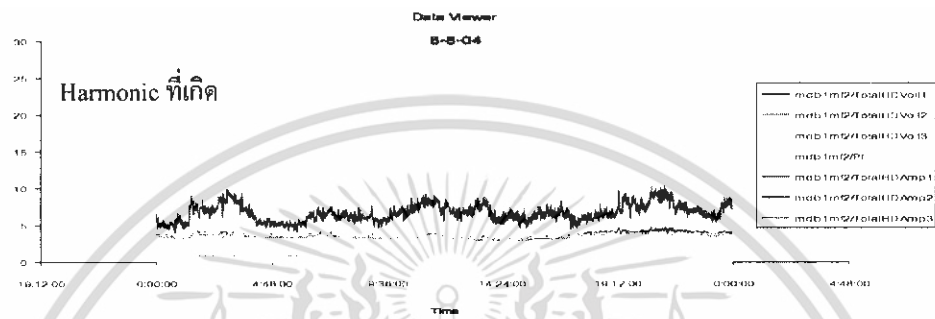
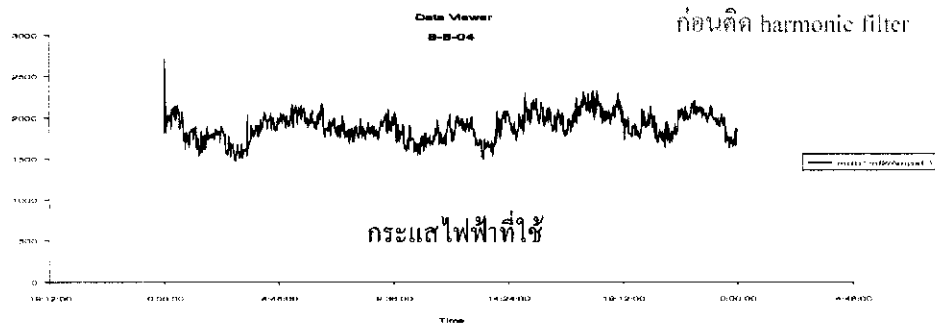
รูปที่ 6.3 ผลของการเพิ่ม Power Factor ขณะที่มี Harmonic Filter



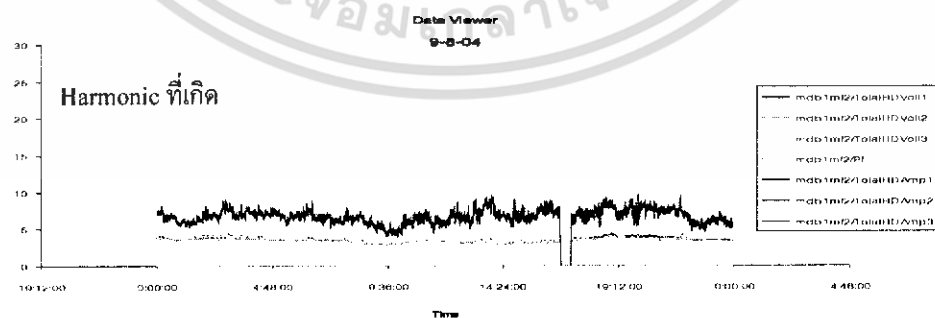
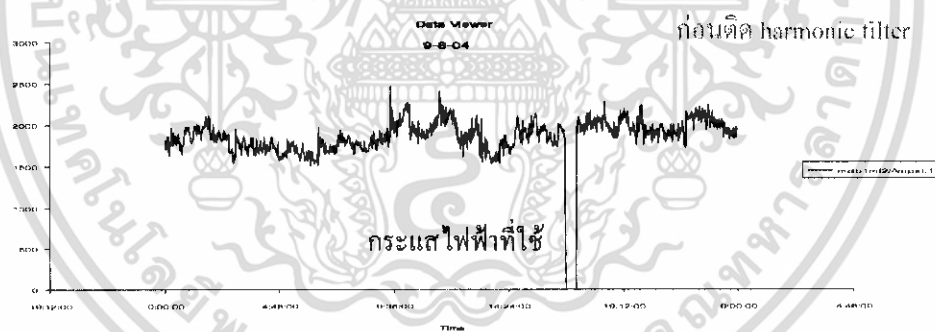
รูปที่ 6.4 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 6/8/04



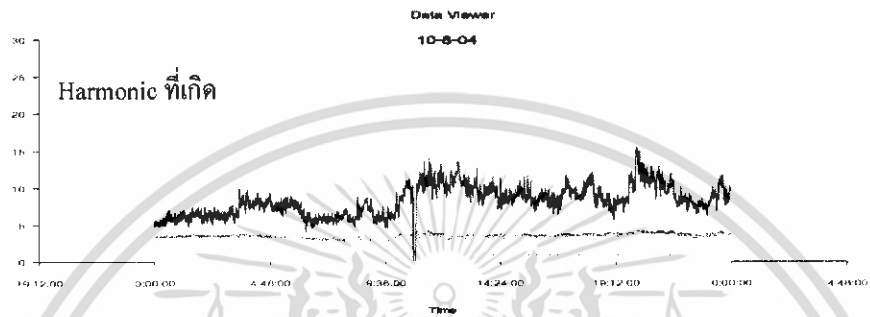
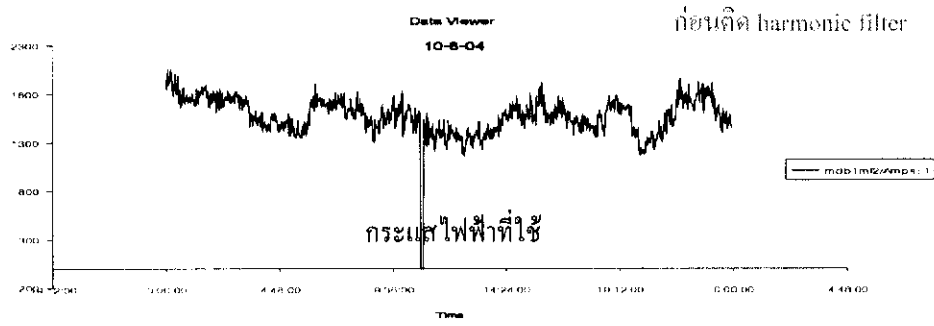
รูปที่ 6.5 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 7/8/04



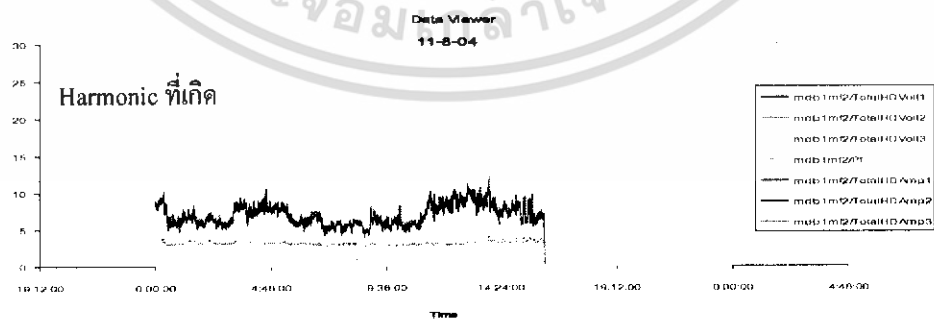
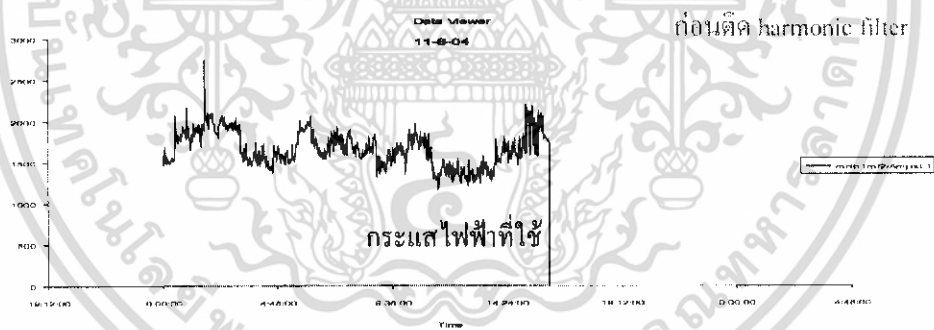
รูปที่ 6.6 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 8/8/04



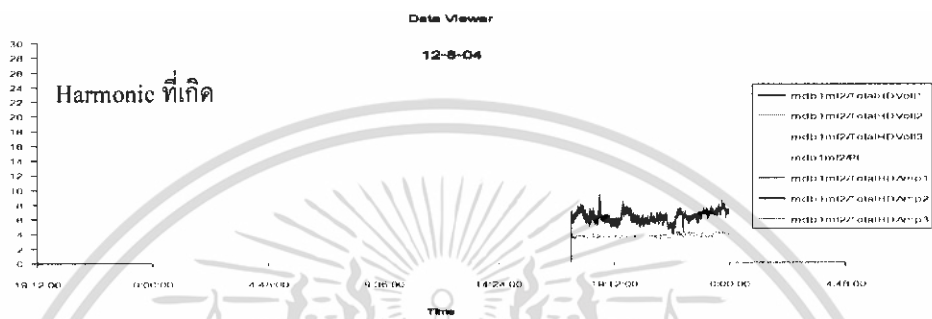
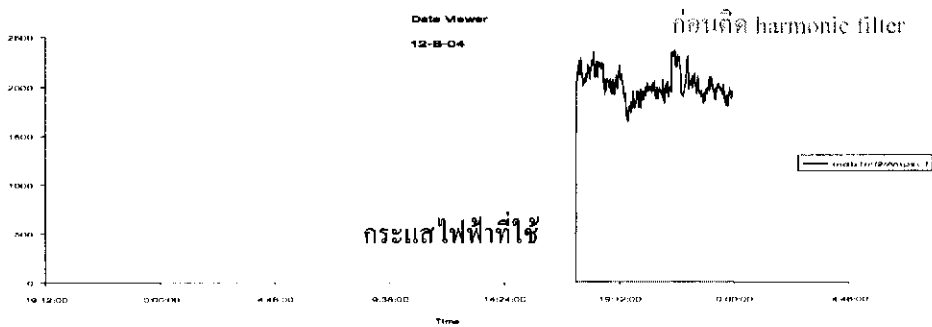
รูปที่ 6.7 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 9/8/04



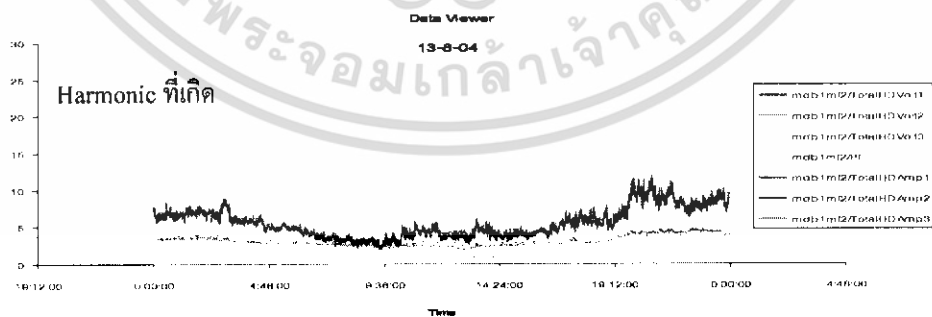
รูปที่ 6.8 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 10/8/04



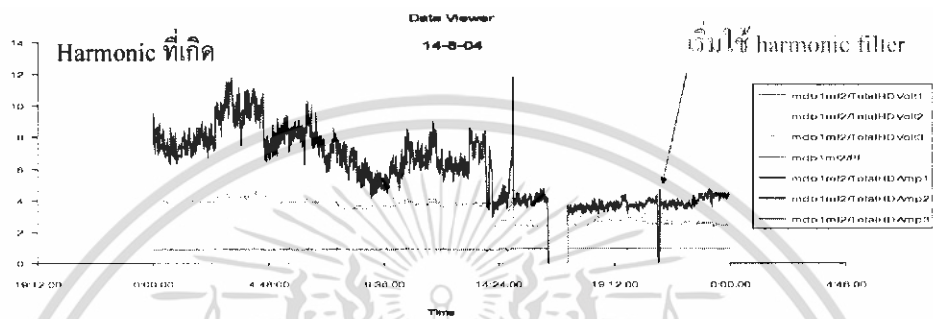
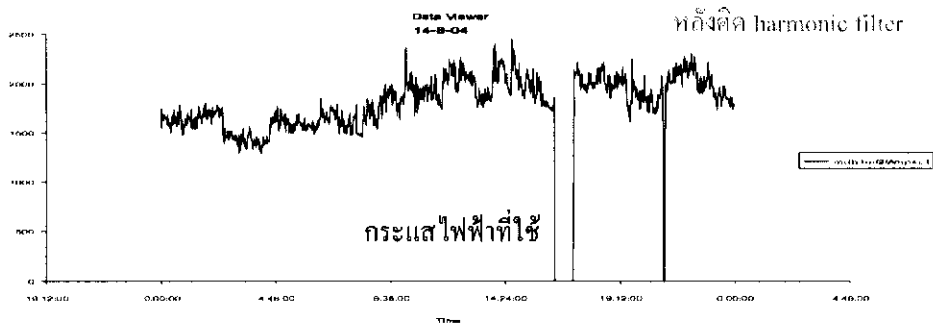
รูปที่ 6.9 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 11/8/04



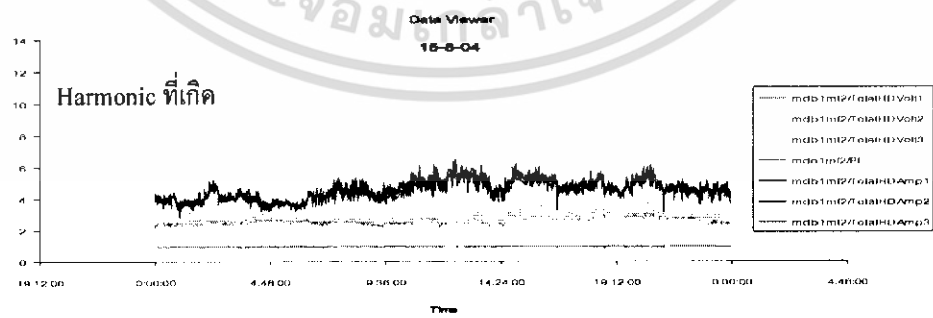
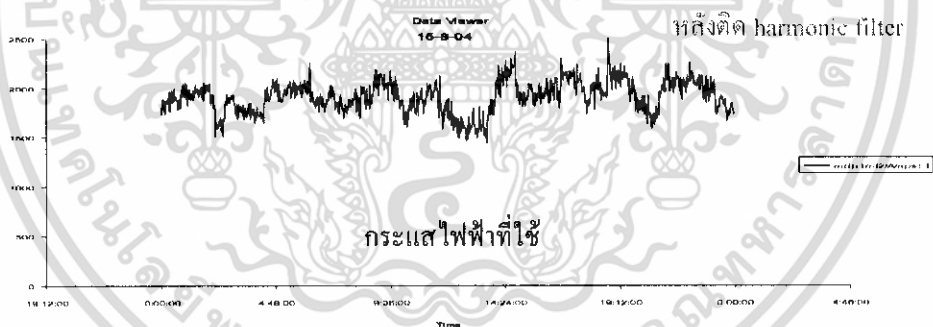
รูปที่ 6.10 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 12/8/04



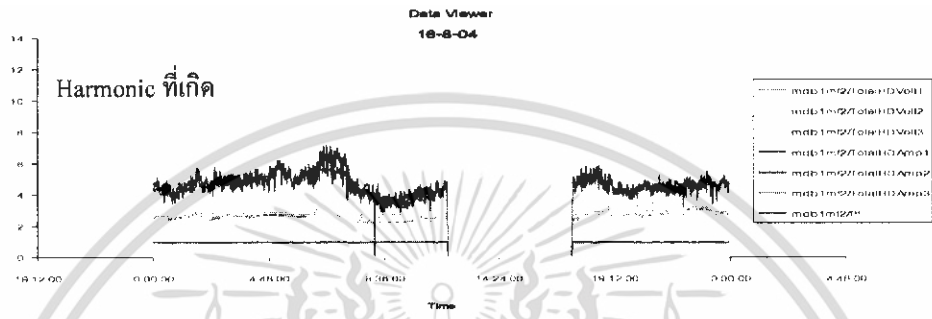
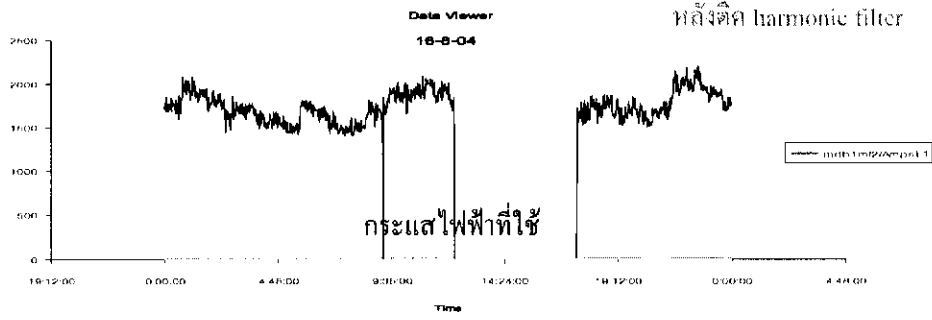
รูปที่ 6.11 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 13/8/04



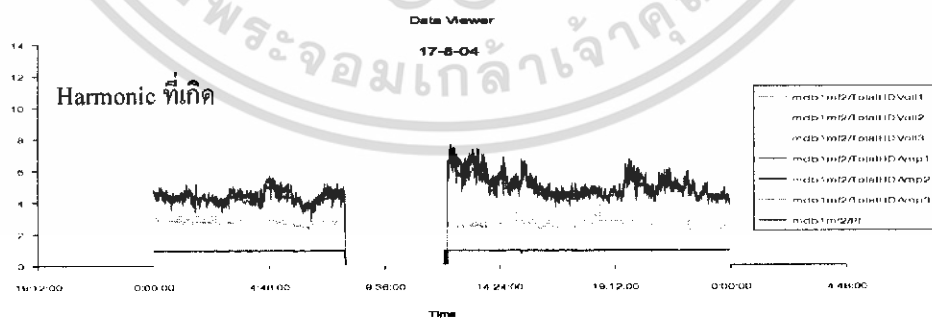
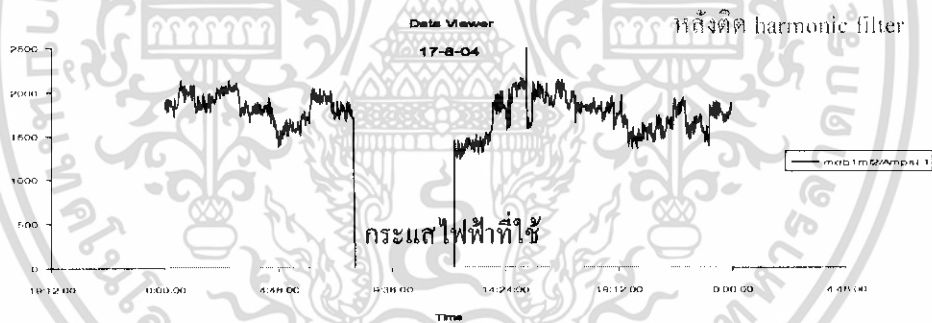
รูปที่ 6.12 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 14/8/04



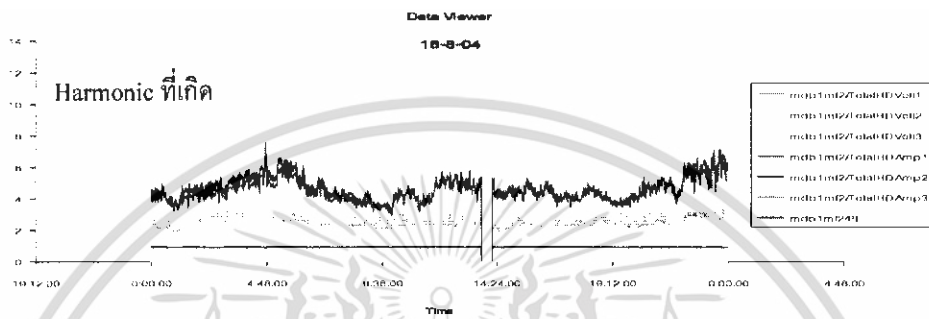
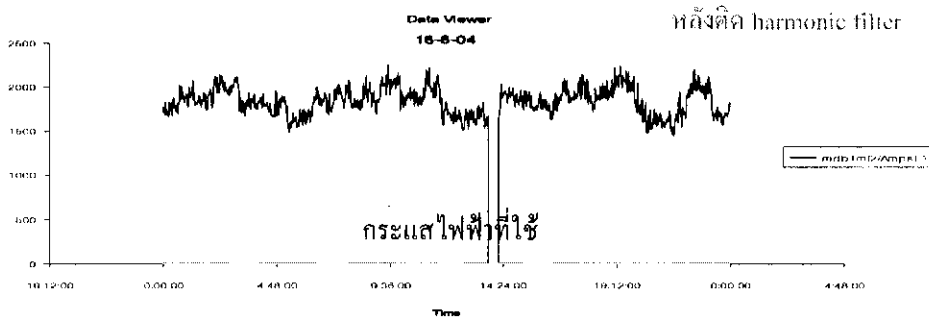
รูปที่ 6.13 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 15/8/04



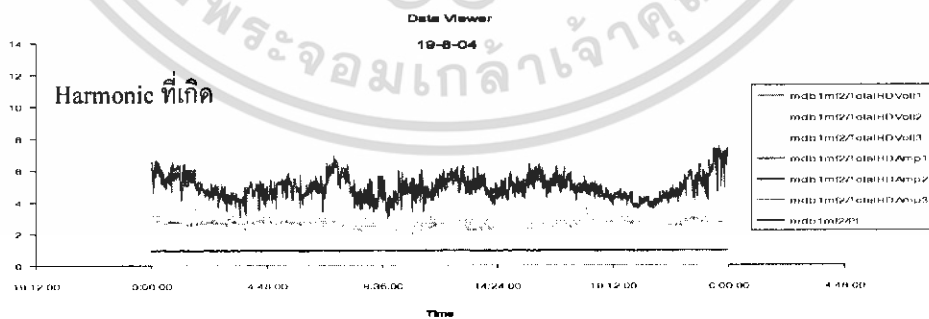
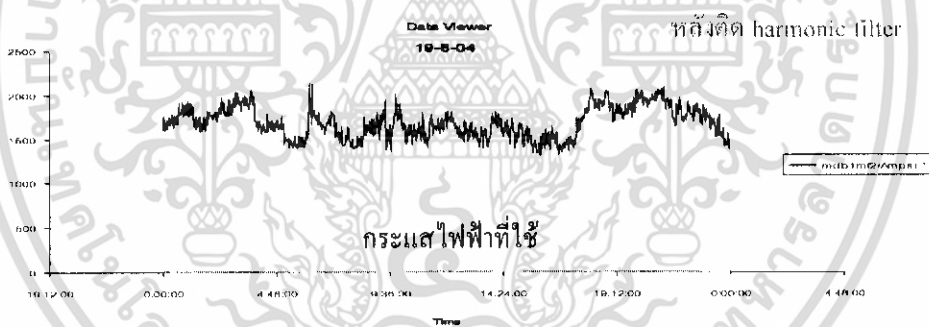
รูปที่ 6.14 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 16/8/04



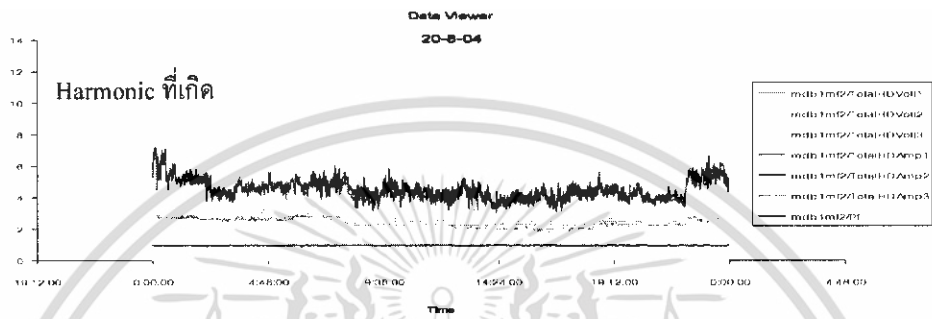
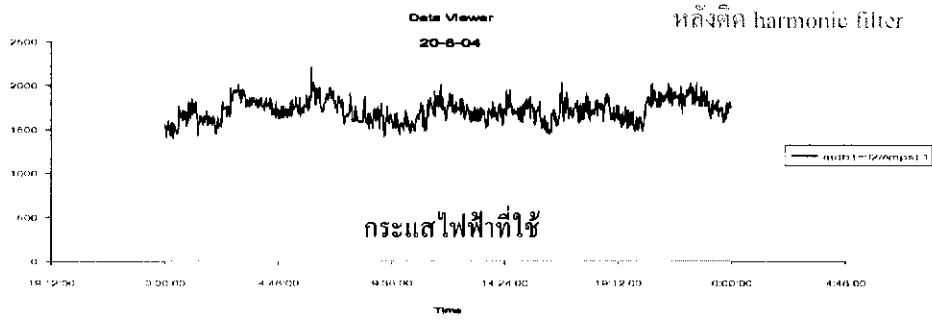
รูปที่ 6.15 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 17/8/04



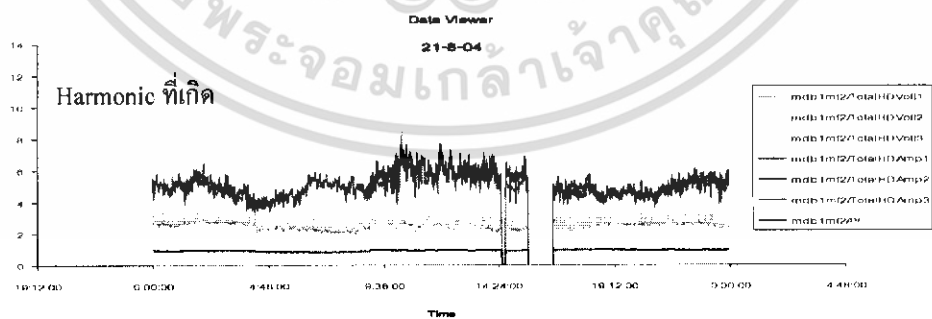
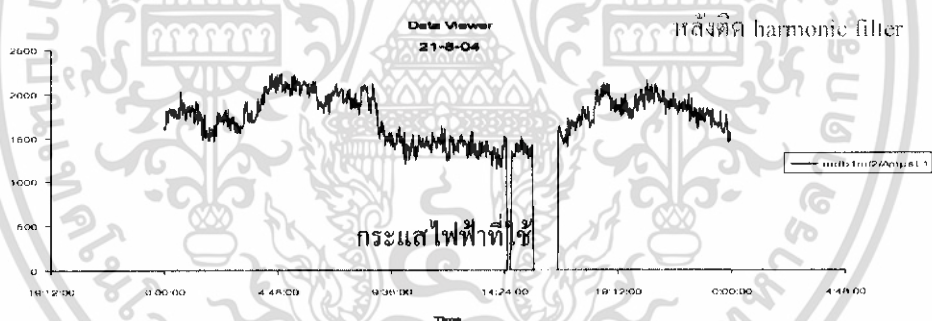
รูปที่ 6.16 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 18/8/04



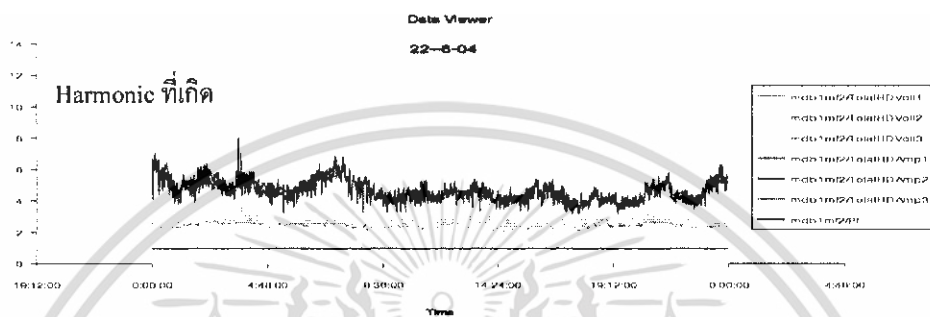
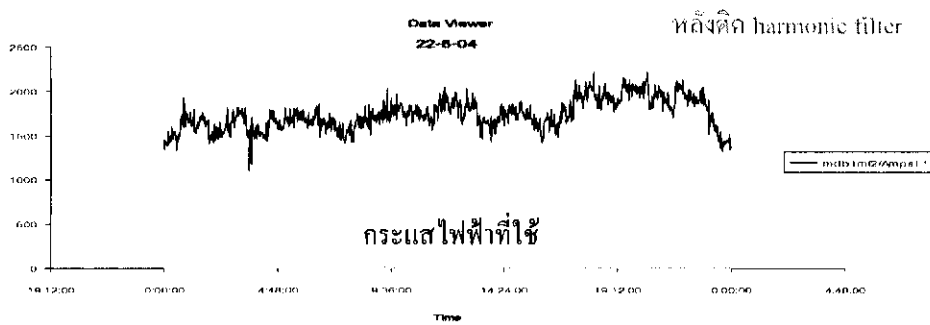
รูปที่ 6.17 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 19/8/04



รูปที่ 6.18 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 20/8/04



รูปที่ 6.19 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 21/8/04



รูปที่ 6.20 ผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ณ วันที่ 22/8/04



เอกสารอ้างอิง

- [1] "ANSI/IEEE Standard for Shunt Power Capacitor," **ANSI/IEEE Standard 18**, 1992.
- [2] J.Arrillage, D.A. Bradley, and P.S. Bodger, **P.P. Power System Harmonic** Norwich, John Wiley & Sons, 1985.
- [3] V.E Wagner and etal, " Effects of Harmonics on Equipment ," **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol.8, No.2, April 1993, pp. 672-680.
- [4] " IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control Power System ," **IEEE Std 519**, 1992.
- [5] IEC Publication prepared by Technical Committee " Part 2 : Harmonics ," **IEC Std 555-1**, No.7, 1982.
- [6] "Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents ," **ANSI / IEEE Std C57.110**, 1986.
- [7] " Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters," **IEEE 519**, 1981
- [8] 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.
- [9] Bimal K. Bose, **Tower Electronics and AC Drive**, Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1986
- [10] คณะกรรมการปรับปรุงความหนาเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ ฮาร์โมนิกส์เกี่ยวไฟฟ้าประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรม , PRC-PQG-01/1998
- [11] ศุภี บรรจงจิตร, หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2547.
- [12] สุกกิจ ฉั่วเจริญ อัครเดช พรหมชน และ อาทิตย์ พัฒนพงศ์ชัย, " การศึกษาและออกแบบตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบพาสซีฟ," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [13] ปานทอง ถินสถิตย์, " การวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์สำหรับระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [14] สมพร ฮะวังจุ, " การออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกส์กรองเดี่ยว," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.