การแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์โดยใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ และผลของทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ ต่อผู้ใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้า

HARMONICS SOLUTION BASED ON ACTIVE FILTER AND DIRECTION OF CURRENT HARMONICS VIA CUSTOMER WITH THE POWER BOARD

สันติ มุ่งเขม้น
SANTI MUNGKHAMEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-2018-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์โดยใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ และผลของทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ ต่อผู้ใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้า

HARMONICS SOLUTION BASED ON ACTIVE FILTER AND DIRECTION OF CURRENT HARMONICS VIA CUSTOMER WITH THE POWER BOARD

T 061229

สันติ มุ่งเขม้น

SANTI MUNGKHAMEN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61229
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-2018-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARMONICS SOLUTION BASED ON ACTIVE FILTER AND DIRECTION OF CURRENT HARMONICS VIA CUSTOMER WITH THE POWER BOARD

SANTI MUNGKHAMEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE S TUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-2018-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์โดยใช้แอคทีฟฟิลเตอร์และผลของทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิกส์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้า**
นักศึกษา	นายสันติ มุ่งเขม้น
รหัสประจำตัว	45060515
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์โดยใช้ แอคทีฟฟิลเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังทุกส่วนที่มีการใช้ไฟฟ้า และก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ เกือบทุกที่ในระบบไฟฟ้า จะมีฮาร์โมนิคส์อยู่ เสมอ โดย สามารถแบบ ออก เป็น สามระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับที่มีปริมาณฮาร์โมนิคส์มาก โดยส่วนใหญ่แล้วเราจะพบฮาร์โมนิคส์ในระดับต่ำที่ไม่สร้างปัญหาแต่อย่างใดในระบบไฟฟ้าจึงไม่จำเป็นต้องแก้ปัญหาหรือติดตั้งอุปกรณ์ในการแก้ปัญหาแต่อย่างใด ยกเว้นผู้ที่มีปัญหามากเกินกว่าค่ามาตรฐาน ที่กำหนดจึงจำเป็นต้องทำการแก้ไข ในบทความนี้ จะใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ เพื่อมาทำการแก้ไขปัญหา และสามารถรู้ถึงพฤติกรรม การไหลของกระแส ฮาร์โมนิคส์ระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับ การไฟฟ้า ได้อย่างถูกต้องประกอบการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Harmonics Solution Based On Active Filter and Direction of Current Harmonics via Customer with the Power Board
Student	Mr. Santi Mungkhamen
Student ID.	45060515
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This paper proposes the solution of harmonics by active filter in power system by using the and effect of harmonics distortion may damage the equipment. Therefore, we can separate the harmonics in 3 levels, low, a medium and high the results show the values of total current harmonic distortion (THD_i) and total demand distortion (TDD) are within the limit given by the standards. However, some sites is high at the sometime it has the voltage sag, Which is used to limit the level of current and voltage harmonic and compensate reactive power? The step can also select the suitable single-tune current harmonic filter size, which is a guideline before the installation of harmonic filter will be completed in the electrical system. This survey results can be further used as a reference for power quality of mobile telephone exchange system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ กอบชัย เดชหาญ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า และสถานที่ๆ ต่างๆ ที่ได้ให้โอกาสในการตรวจวัด และนำผลมาทำการวิเคราะห์ แก่ข้าพเจ้า อันได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุมสายโทรศัพท์พระโขนง ชุมสายต่างๆ อีกหลายแห่ง เพื่อใช้ในการตรวจวัดวิเคราะห์หาข้อมูลที่ ถูกต้อง และอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับศิษย์ในการศึกษา

นอกจากนี้แล้วผู้เขียนขอขอบคุณ เพื่อนๆ และ เจ้าหน้าที่ องค์การโทรศัพท์ TOT, AIS ที่ให้อนุญาตในการเข้าทำการเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์ ในการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้

ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายช่วยคลบันดาล ให้ทุกท่านที่ได้กล่าวถึงนี้ จงประสบแต่ความสำเร็จและมีความสุขความเจริญในชีวิตและหน้าที่การงานทุกประการ

สันติ มุ่งเขม้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1. บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....3

1.7 พารามิเตอร์ทางคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....4

1.8 อธิบายปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ของวิทยานิพนธ์.....4

1.9 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม.....5

1.10 ทำไมปัญญานี้ถึงน่าสนใจ.....5

1.11 หลักการใหม่ที่นำเสนอ.....5

บทที่ 2. แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายกำลัง..... 7

2.1 แหล่งกำเนิดของฮาร์โมนิคส์ที่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ความถี่ใด ๆ เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล.....8

2.2 แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง.....13

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า.....14

2.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....15

2.5 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแส.....16

2.6 เตาหลอมแบบอาร์ก.....17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3. การพิจารณาในการเลือก แหล่งของปัญหาที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์.....20

3.1 ลำดับตัวอย่างในการวิเคราะห์.....20

3.2 หลักการของการวัด.....21

3.3 จุดตรวจวัด.....21

3.4 ช่วงเวลาของการวัด.....22

3.5 ผลกระทบของฮาร์โมนิคส์กับการเกิดรีโซแนนซ์ในระบบ.....22

3.6 ปัญหาฮาร์โมนิคส์ Triple.....26

บทที่ 4. แนวทางในการวิเคราะห์.....30

4.1 การวิเคราะห์โดยการใช้วงจรสมมูลเข้าช่วย.....30

4.2 การวิเคราะห์ด้วยการใช้เมตริกซ์ความนำ.....31

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ ฮาร์โมนิคส์ สามารถเขียนเป็น Flow Chart.....33

4.4 การวิเคราะห์จุดของเรโซแนนซ์ในระบบ.....34

4.5 การวิเคราะห์อัตราการขยายกระแส.....34

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ในสายป้อน.....35

4.7 มาตรฐาน IEEE Std.519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical System.....35

4.8 ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม.....38

4.9 วิธีการประเมิน ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรม.....40

บทที่ 5. หลักการทำงานของแอคทิฟฟิลเตอร์.....47

5.1 โครงสร้างของแอคทีฟฟิลเตอร์.....49

5.2 การควบคุมการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์.....50

5.3 ขั้นตอนการประมาณผลตามผังการทำงานในรูปโปรแกรมคำนวณ.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6. การปรับแก้ฮาร์โมนิคส์ในรูปแบบต่างๆ 54

6.1 การปรับปรุงค่า Power Factor 55

6.2 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่า Power Factor 56

6.3 หลักการเลือกคาปาซิเตอร์ เพื่อการปรับปรุงค่า Power Factor 57

6.4 วิธีการปรับปรุงค่า Power Factor แบบต่างๆ และตำแหน่งการติดตั้ง Capacitor.....57

6.5 ข้อดีของการปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์.....58

6.6 ข้อเสียของการปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์.....58

6.7 ฮาร์โมนิคส์กับการปรับปรุงค่า Power Factor.....58

6.8 หลักพื้นฐานของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์และการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าเพื่อลดฮาร์โมนิคส์.....59

6.9 ตัวเหนี่ยวนำ.....59

6.10 ตัวประกอบกำลังและการชดเชย.....59

6.11 การชดเชยกำลังรีแอกทีฟ.....59

6.12 การออกแบบ และคำนวณค่าส่วนประกอบของวงจรตัวกรอง.....61

6.13 วงจรกรองแอกทีฟ (Active Filters).....64

6.14 ชนิดของวงจรกรองแอกทีฟ.....66

6.15 วงจรกรองแอกทีฟแบบขนาน.....66

6.16 วงจรกรองแอกทีฟแบบอนุกรม.....67

6.17 ข้อควรระวังในการใช้วงจรกรองแบบแอกทีฟ.....67

บทที่ 7. สรุปและข้อเสนอแนะ 69

เอกสารอ้างอิง.....73

ภาคผนวก.....74

ภาคผนวก ก. ข้อแนะนำในการวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์.....75

ประวัติผู้เขียน.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่จำกัดค่าตามมาตรฐานของ IEEE Standard 519-1992 โดยพิจารณาแรงดัน ตั้งแต่ 120 โวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์.....36

4.2 ปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่จำกัดค่าตามมาตรฐานของ IEEE Standard 519-1992 โดยพิจารณาที่แรงดันที่สูงกว่า 69 กิโลโวลต์ ถึง 161 กิโลโวลต์.....36

4.3 ปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่จำกัดค่าตามมาตรฐานของ IEEE Standard 519-1992 โดยพิจารณาที่แรงดันที่สูงกว่า 161 กิโลโวลต์.....36

4.4 การกำหนดค่า Total Harmonic Distortion ของแรงดันโดยขึ้นกับระดับแรงดันของระบบ...38

4.5 การวัดอันดับฮาร์โมนิคส์ในแต่ละอันดับ.....39

4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ในรูปของแรงดันอันดับคู่และอันดับคี่.....40

4.7 กฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์ของ Convertor ชนิดต่างๆ เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม.....40

4.8 ค่าในการตรวจวัดในแต่ละอันดับของฮาร์โมนิคส์ ณ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่.....43

4.9 การสรุปผลการเปรียบเทียบที่สายป้อนเข้าชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับค่ากำหนดในมาตรฐาน.....46

5.1 คุณสมบัติของ filter แต่ละชนิดในการเลือกใช้.....51

6.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่าง Passive filter และ Active filter.....65

6.2 การเปรียบเทียบวงจรแอฟทีฟฟิลเตอร์แบบขนานและแบบอนุกรม.....67

7.1 แสดงตารางที่ได้จากการวัดกระแสฮาร์โมนิคส์ (Arms) เทียบกับมาตรฐาน G5/3.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่....6

1.2 อุปกรณ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม....6

2.1 ระบบจ่ายกำลังในทางอุดมคติ กับโหลดไม่เป็นเชิงเส้น....7

2.2 เครื่องแปลงผันกำลังสถิต ชนิดสามเฟส....8

2.3 Harmonic spectrum from 6-pluse rectifiers....9

2.4 รูปคลื่นของกระแสเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบอุดมคติ....9

2.5 พัลส์เครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 12 พัลส์....11

2.6 สเปคตรัม ฮาร์โมนิคส์ของเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 6 พัลส์....11

2.7 เปคตรัม คอนเวอร์เตอร์ ชนิด 6 พัลส์....12

2.8 วงจรของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง....13

2.9 จำลองวงจรแหล่งจ่ายสวิตชิ่ง....13

2.10 การสร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงเมื่อไม่คิดผลของ hysteresis loss....14

2.11 การสร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงเมื่อคิดผลของ hysteresis loss....15

2.12 รูปแบบวงจรการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์....16

2.13 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแส....17

2.14 ตัวอย่างของระบบเตาหลอม....18

2.15 กระแสฮาร์โมนิคส์ แปรเปลี่ยนตามจังหวะการทำงานของเตาหลอม....18

2.16 แบบจำลองเตาหลอมแบบอาร์ก....19

2.17 แหล่งฮาร์โมนิคส์ ในแต่ละอันดับของสัญญาณ....19

3.1 ลักษณะการติดตั้งคาปาซิเตอร์ ของการเกิดรีโซแนนซ์ แบบขนานและอนุกรม....22

3.2 ตำแหน่งค่าลำดับที่เกิดฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์....24

3.3 ความสัมพันธ์ของลำดับฮาร์โมนิคส์กับคาปาซิเตอร์....25

3.4 ผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ ในแต่ละเฟสต่ออุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์....27

3.5 ค่ากระแส rms ที่จุด neutral%....27

4.1 ไดอะแกรม ของระบบจ่ายให้กับโหลดต่างๆ....30

4.2 วงจรสมมูลในรูปของ (Equivalent circuit)....31

4.3 การจำลองรูปแบบของอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ (Equivalent model)....32

4.4 Flow Chart การวิเคราะห์ฮาร์โมนิคส์....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ขั้นตอนในการตรวจสอบทางการไฟฟ้า....42

4.6 ค่าที่ได้จากการตรวจวัดของแรงดัน ตก ได้จาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่....44

4.7 ค่าแรงดันและค่ากระแสที่วัดได้จากแหล่งจ่ายไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่....44

4.8 (ก) ค่าแรงดัน ที่ได้จากการบันทึกในการตรวจวัดฮาร์โมนิคส์....45

4.9 (ข) ค่าแรงดันที่บันทึกได้ในการตรวจวัดฮาร์โมนิคส์เทียบกับค่า power factor....45

4.10 ค่าแรงดันฮาร์โมนิค แสดงอยู่ในรูปของสเปคตรัม....46

5.1 หลักการนำเอาแอคทีฟฟิลเตอร์ไปต่อใช้ในระบบเพื่อปรับแก้ฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้น ในระบบ....47

5.2 ไดอะแกรมของการต่ออุปกรณ์แอคทีฟฟิลเตอร์ในแบบขนานกับการหักล้าง ฮาร์โมนิคส์ออกจากระบบ....48

5.3 เปรียบเทียบของแอคทีฟฟิลเตอร์ต่อโหลด....48

5.4 หลักการหักล้างกระแสฮาร์โมนิคส์โดยใช้ค่ากระแส AF....49

5.5 โครงสร้างภายในแอคทีฟฟิลเตอร์....50

5.6 การทำงานของโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณ....52

6.1 วงจรกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดียว....60

6.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม....60

6.3 ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายจากทางการไฟฟ้าเข้าไปยังโหลด....63

6.4 Equivalent circuit จากรูปไดอะแกรมทางการไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด....64

6.5 องค์ประกอบหลังของแอคทีฟฟิลเตอร์....64

7.1 รูปของ Single line และผลที่ได้จากใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ต่อเข้าไปยังระบบ....69

7.2 การเปรียบเทียบเมื่อใช้แอคทีฟฟิลเตอร์....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีในโลกปัจจุบันมีการพัฒนาไม่หยุดยั้ง ในระบบไฟฟ้าถือเป็นวิศวกรรม แขนงหนึ่งที่มีการพัฒนามาโดยตลอด ปัจจุบันมีการใช้งานโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear load) มากขึ้น ซึ่งโหลดเหล่านี้จะเป็นแหล่งกำเนิดของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง ส่งผลต่อระบบหรือ อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกัน ถ้าปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์มีปริมาณที่สูงเพียงพอก็อาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าเองได้เช่นกัน และยังส่งผลต่ออุปกรณ์ข้างเคียงในระบบไฟฟ้ากำลังเองโดยตรง อันได้แก่ หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส คาปาซิเตอร์ และอื่น ๆ อีก

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ส่วนใหญ่ จะเกิดจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น อุปกรณ์ ภาคเรียงกระแส (Rectifier) เครื่องแปลงผันแบบสถิต (static converter), เตาหลอม แบบอาร์ก เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ จะทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์ไหลเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า หรือ เรียกอีกอย่างคือ เกิด Pollutions ขึ้นในระบบไฟฟ้า จากวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาถึง การแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์โดยใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ และ ผลของทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ ต่อผู้ใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้า โดยสามารถที่จะแยกพิจารณาเป็นหัวข้อ ได้แก่ แหล่งที่มา ผลกระทบ ระดับฮาร์โมนิคส์ ที่ควบคุม และค่ามาตรฐานที่อ้างอิงที่ยอมรับได้ในระบบ ตลอดจนวิธีแก้ไขเป็นขั้นตอน

การเกิดฮาร์โมนิคส์ ในข้างต้นเราได้แบบ ออกเป็น สามระดับใหญ่ๆ ที่มีผลต่อระบบ ซึ่งฮาร์โมนิคส์ที่มีปริมาณน้อย ย้อมไม่ก่อให้เกิดผลกระทบแต่ผู้ใช้ไฟที่มีฮาร์โมนิคส์มากขึ้นกว่ากรณีแรก ปกติแล้วจะไม่สังเกตุเห็นปัญหาที่เกิดจาก ฮาร์โมนิคส์ แต่เมื่อมีการติดตั้งคาแพซิเตอร์ เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะเกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์เรโซแนนซ์ขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่มีอยู่อย่างมากจนอาจทำให้เกิดปัญหาเช่น คาแพซิเตอร์ชำรุดอย่างรวดเร็ว เกิดการทริปของเมนเบรคเกอร์โดยไม่ทราบสาเหตุหรือ เกิดความเสียหายแก่กระบวนการผลิตและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ การป้องกันปัญหาฮาร์โมนิคส์เรโซแนนซ์ทำได้โดยติดตั้งดีจูนฟิลเตอร์ ดีจูนฟิลเตอร์นี้ประกอบด้วยคาแพซิเตอร์ และ รีแอคเตอร์ ต่ออนุกรมกันโดยที่มีการออกแบบและเลือกขนาดที่เหมาะสม สามารถป้องกันการเกิดฮาร์โมนิคส์เรโซแนนซ์ได้ และมีหน้าที่หลักในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และเสริมในการป้องกันฮาร์โมนิคส์เรโซแนนซ์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถที่จะแบ่งได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะบรรยายถึง แนวคิดและเหตุผล วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน นิยามที่ใช้ในการบรรยายถึง และ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 การแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์ที่มีปริมาณมาก ควรจะพิจารณาอย่างไร แหล่งที่มาของฮาร์โมนิคส์ในระบบจำหน่าย จะอธิบายถึงแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ ชนิดต่างๆ ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระบบชุมสายโทรศัพท์ ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า รวมถึงกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบ และตัวอุปกรณ์ประเภท (Nonlinear) ในระบบที่ทำให้เกิด โดยจะจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล และ แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าและไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล ตลอดจนความเบี่ยงเบนเนื่องจากความผิดพลาด ของอุปกรณ์ และ การเลือกวงจรที่เหมาะสมในการแก้ฮาร์โมนิคส์

บทที่ 3 การบ่งบอกว่าทิศทางของฮาร์โมนิคส์ระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้าว่าเป็นไปในทิศทางใด การวิเคาะห์ทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ และความสำคัญระหว่างปริมาณและ ทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ ต่อผู้ใช้ และ การไฟฟ้า ตลอดจนความเสียหาย ต่อผู้ใช้ไฟฟ้า และ การไฟฟ้า เนื่องจากทิศทางการไหล ต่อปริมาณการไหล และ การคัดเลือกตัวอย่าง ในการวิเคาะห์ ให้เหมาะแก้การศึกษา และตรวจสอบข้อมูล จะอธิบายถึงประเภทของระบบโทรคมนาคม และ ระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และ ขั้นตอนการตรวจวัด

บทที่ 4 การวิเคราะห์ ปริมาณกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ในระบบเทียบกับค่ามาราฐานอ้างอิง IEEE 519-1992 และข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์ของการไฟฟ้าที่จะไม่ก่อปัญหาให้ทางการไฟฟ้าและถือเป็นข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัตตาม และการวิเคราะห์ ผลที่ได้จากตรวจวัดโดยเปรียบเทียบกันในรูปแบบของตาราง และ กราฟ

บทที่ 5 หลักการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์ และ การเกิดโรโซแนนซ์ต่าง ๆ ผลกระทบกับตัวอุปกรณ์ อันได้แก่ คาปาซิเตอร์ หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 60871-1-1997 และ วิเคราะห์ ผลที่ได้จากการตรวจวัด

บทที่ 6 การปรับแก้ฮาร์โมนิคส์ในรูปแบบต่างๆ และวิธีที่เหมาะสมที่จะเลือกใช้ และหลักการในการคำนวณ ตลอดจนการเลือกอุปกรณ์ ที่จำทำการปรับแก้ ในแต่ละกรณี

บทที่ 7 สรุปผล และข้อเสนอแนะ จากการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 พารามิเตอร์ทางคุณภาพกำลังไฟฟ้า

1.7.1 ฮาร์โมนิคส์ (Harmonic) ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น 2-เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์โมนิคส์ที่ 2 (Second Harmonic)

1.7.2 ความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Distortion) การเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นทางไฟฟ้า (Power Waveform) ไปจากรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) โดยเกิดจากการรวมกันของค่าความถี่หลักมูล (Fundamental) และฮาร์โมนิคส์ อื่น ๆ เข้าด้วยกัน

1.7.3 ส่วนประกอบฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Component) ส่วนประกอบของอันดับฮาร์โมนิคส์ที่มากกว่าหนึ่งของปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งแสดงในรูปของอันดับ (Order) และค่า rms ของอันดับนั้น

1.7.4 ปริมาณรวมฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Content) ปริมาณที่ได้จากการหักค่า DC และส่วน ประกอบความถี่หลักมูลจากปริมาณเป็นคาบที่ไม่อยู่ในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave)

1.7.5 ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์เฉพาะ (Individual Harmonic Distortion, IHD) หรืออัตราส่วนฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Ratio) อัตราส่วนระหว่างค่า rms ของส่วนประกอบฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Component) ต่อค่า rms ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component) เทียบเป็นร้อยละ

1.7.6 ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์รวม (Total Harmonic Distortion, THD) คืออัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Root-Sum-Square) ของค่า rms ของส่วนประกอบฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Component) กับค่า rms ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component) เทียบเป็นร้อยละดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

1.8 อธิบายปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ของวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์จำพวก (Non-linear) เป็นจำนวนมาก ๆ และส่งผลกระทบกับอุปกรณ์จ่ายกำลัง อันได้แก่ หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส อื่นๆ และอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ ถูกใช้ กับระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่กระจายอยู่ทั่วประเทศในลักษณะของตู้คอนเทรนเนอร์ ที่ประกอบด้วยชุมสายโทรศัพท์อยู่ภายใน และบ่อยครั้งที่ระบบจ่ายกำลังมีปัญหาอันหาสาเหตุไม่พบ ซึ่งสร้างความเสียหายต่อระบบ เศรษฐกิจเป็นอย่างมาก และปัญหาเหล่านี้ เมื่อมาพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น เหตุการณ์ที่หน้าจะเกิดขึ้นอยู่หลายสาเหตุ ด้วยกัน แต่หนึ่งในสาเหตุของการเกิดขึ้นนั้น จะรวมเหตุการณ์ของฮาร์โมนิคส์อยู่ด้วย และวิธีการเลือกวิธีป้องกันต่างๆ จะต้องรู้หลักการพื้นฐานของฮาร์โมนิคส์ แนวทางในการแก้ไข ตลอดจนเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะแนะนำการใช้ แอคทีฟฟิลเตอร์ เป็นตัวปรับแก้ พร้อมเหตุผล ในการเลือกใช้

1.9 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

จากหลักการเดิม เมื่อมาวิเคราะห์ พฤติกรรม การเกิดฮาร์โมนิคส์ นั้น จะออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์ ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเท่านั้น แต่ หากในอนาคตมีการเพิ่มอุปกรณ์ และ อาจก่อให้เกิดฮาร์โมนิคส์อีก ก็จะไม่สามารถแก้ไขได้ ซึ่งแตกต่างจาก แอคทีฟฟิลเตอร์ ที่สามารถปรับค่าเพื่อให้สัมพันธ์กับฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นใหม่ในอนาคตได้ วิทยานิพนธ์จะนำเสนอวิธีการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ในระบบสามารถแบ่งวิธีการวิเคราะห์ได้ 2 วิธีหลักๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ โดยการใช้วงจรสมมูล (Equivalent Circuit) และการใช้เมตริกซ์ความนำ (Admittance Matrix: bus) จากเดิมที่ใช้ FFT ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน ส่วนใหญ่จะใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด ที่มี ฟังชั่นอยู่ใน Microprocessor เพื่อที่จะคำนวณออกมาในรูปของค่า หรือ ปริมาณและแสดงออกทาง สเปกตรัม แต่ ฉะนั้น จากทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่สามารถคำนวณเพื่อหาปริมาณของกระแสฮาร์โมนิคส์ในแต่ละ ลำดับ เพื่อที่จะทำการแก้ไข ซึ่งวิธีการแก้ไขนั้นก็ทำได้หลายวิธี เช่น C-Bank, Filter แต่ละชนิดที่สอดคล้องกับค่าของลำดับนั้นๆ ที่ส่งผลกระทบ

1.10 ทำไมปัญหานี้ถึงน่าสนใจ

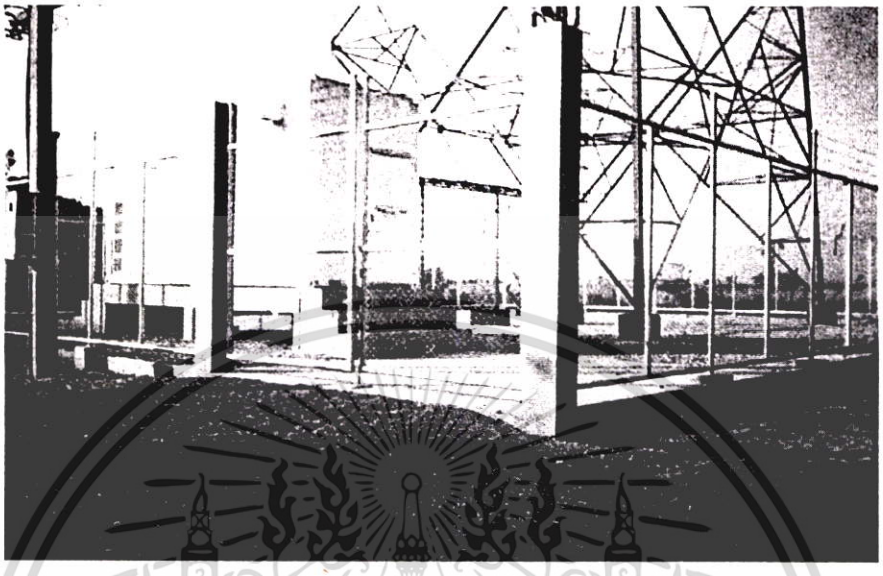
จากปัญหาผลกระทบกับระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบไฟฟ้าสื่อสารที่มีอุปกรณ์อิเลคทรอนิกเป็นจำนวนมาก และอุปกรณ์บางประเภททำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์โดยตรง ซึ่งมีผลต่อความเสียหายต่อทรัพย์สิน และ ระบบเศรษฐกิจ จากการวิเคราะห์ คาดการณ์และการตรวจวัด โดยเครื่องมือวัด สามารถที่จะรู้ได้ว่าเกิดจากฮาร์โมนิคส์ในอันดับใด แต่วิธีการวัดอย่างเดียวไม่สามารถแก้ไข้ปัญหาได้ จำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณช่วยในการหาคำตอบ ณ ฮาร์โมนิคส์ในอันดับนั้นๆ สมการทั้งสองวิธีข้างต้นสามารถช่วยในการคำนวณเพื่อหาวิธีแก้ ได้แก่ การใช้ Filter ชนิดต่างๆ ขึ้นกับ อันดับของฮาร์โมนิคส์ที่ทำให้เกิดผลกระทบนั้นๆ

1.11 หลักการใหม่ที่นำเสนอ

หลักการใหม่ที่นำเสนอจะเป็นการคำนวณ เพื่อมาวิเคราะห์ การเกิดฮาร์โมนิคส์ โดยที่ยังไม่ได้เกิดเหตุการณ์จริง เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการป้องกัน ที่ต้นเหตุก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์จริง ป้องกันทั้งทรัพย์สิน และ ความเสียหายในระบบเศรษฐกิจ จากวิธีการของทั้งสองวิธีอันได้แก่ การวิเคราะห์โดยการใช้วงจรสมมูล หรือ การใช้ เมตริกซ์ความนำ สามารถคำนวณได้โดยง่ายเมื่อเทียบกับ การใช้ หลักการของ FFT ที่มีความยุ่งยากที่จะมาคำนวณ และการเลือกใช้ วิธีเดิม ยังคงแก้ไขแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จูนฟิลเตอร์ ที่มีประสิทธิภาพต่ำ และ อาจเกิดการรีโซแนนซ์ มาก ถ้าการวิเคราะห์ หรือ ออกแบบตามขั้นตอนที่ไม่ถูกต้อง



รูปที่ 1.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม

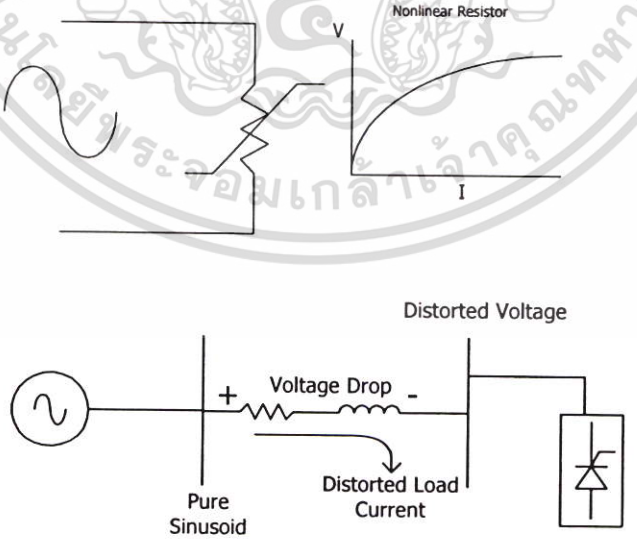
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แหล่งที่มาของฮาร์โมนิคส์ในระบบจ่ายกำลัง

ในระบบการจ่ายกำลังที่ใช้งานกันในปัจจุบันมีอุปกรณ์ด้าน Solid State อยู่ เป็นจำนวนมาก และมีการเพิ่มขึ้น ทั้งระบบควบคุมอุตสาหกรรมหลายๆ ด้านรวมทั้ง เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือน จากอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบให้มีระบบควบคุมที่ตอบสนองความสะดวกสบาย และเพิ่มการพัฒนาในด้านปรับปรุงอุปกรณ์ Solid State ดังกล่าว ทำให้เกิดความผิดเพี้ยน ในระบบจ่ายกำลัง เพิ่มมากขึ้นตาม และถือได้ว่าเป็นปัญหา สำคัญที่ไม่อาจมองข้าง ฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายเอง และอุปกรณ์ จ่ายกำลังต่างๆ มากมาย เช่น หม้อแปลงแรงดัน , หม้อแปลงกระแส ตัวเก็บประจุ อุปกรณ์ตัดตอน และ อื่นๆ อีกมากมาย

ฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นในระบบจ่ายกำลัง นั้น ส่วนใหญ่เกิดมาจากอุปกรณ์ประเภท วงจรเรียงกระแส เครื่องแปลงผันกำลังสถิต ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือได้ว่า เป็น โหลดประเภท ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load)

การตรวจวัด และการวิเคราะห์ ร่วม เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยในการลด ฮาร์โมนิคส์ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ และ การวัดมาทำการวิเคราะห์ หา จากนั้น จึงหาวิธีที่จะทำการป้องกัน ซึ่งสามารถกระทำได้ หลายวิธี



รูปที่ 2.1 ระบบจ่ายกำลังในทางอุดมคติ กับ โหลดไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 แหล่งกำเนิดของฮาร์โมนิคส์ที่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ความถี่ใดๆ เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล สามารถจำแนกออกเพื่อพิจารณาสำคัญ ๆ ดังนี้

2.1.1 เครื่องแปลงผันกำลังสถิต (Static power convector)

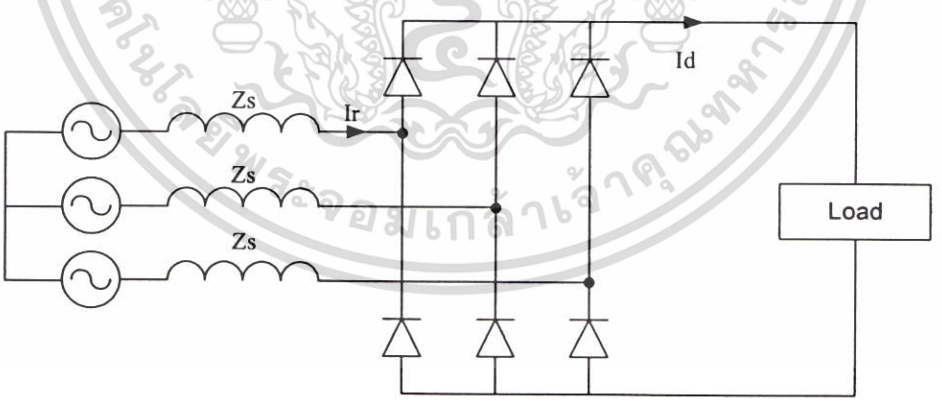
เครื่องแปลงผันกำลังสถิต ถือได้ว่าเป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมมาก ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ในชีวิตประจำวัน ภายในครัวเรือน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง โดยเครื่องแปลงผันกำลังสถิต จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสตรง เพื่อจ่ายไปยัง โหลด สามารถแบ่งขนาดตามการใช้งานได้เป็น 3 ขนาด ดังนี้

เครื่องแปลงผันกำลังสถิตขนาดใหญ่ จะมีหน่วยเป็น MW จะใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อันได้แก่ อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมไปถึง ระบบชุมสายโทรศัพท์ขนาดใหญ่ หรือ ชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านเป็นต้น

เครื่องแปลงผันกำลังสถิตขนาดกลาง จะมีพิกัดอยู่ในช่วง 10-1000 KW จะใช้อยู่ในระบบอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น ในส่วนของอุตสาหกรรม ที่ใช้ เทคโนโลยีการควบคุม มอเตอร์ เช่น vector control motor, invertor control motor เป็นต้น

เครื่องแปลงผันกำลังสถิตขนาดเล็ก จะมีพิกัดต่ำกว่า 10 KW จะนิยมใช้ในแหล่งจ่ายไฟของชุดชาร์ตแบตตารี่ และ ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นต้น

เครื่องแปลงผันกำลังสถิต มีทั้งชนิด เฟสเดียว และ สามเฟส และแบ่งได้ตามจำนวน พัลส์ ได้ดังนี้



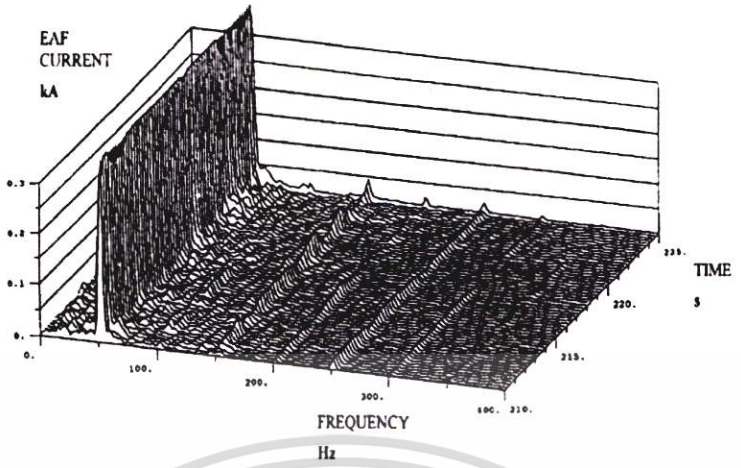
รูปที่ 2.2 เครื่องแปลงผันกำลังสถิต ชนิด สามเฟส

$n = 6*k\pm1 \qquad k = 1, 2, 3 \ldots n$

$$I_r = I1\ (\text{Cos}\ \omega t - 1/5\ \text{Cos}\ 5\omega t + 1/7\ \text{Cos}\ 7\omega t - 1/11\ \text{Cos}\ 11\omega t + \ldots) \quad (2.1)$$

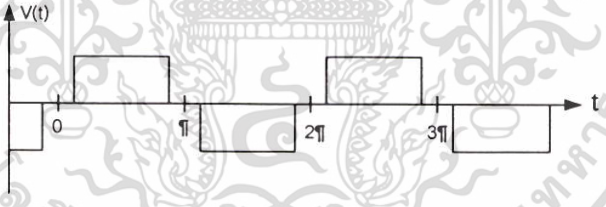
$$I_1 = Id*2*\sqrt{3}/\pi \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

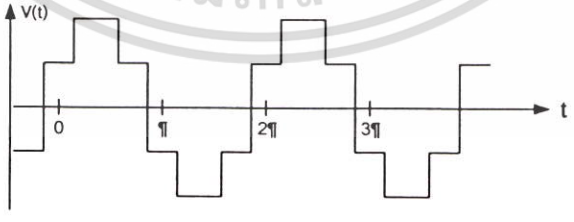


รูปที่ 2.3 Harmonic spectrum from 6-pluse rectifiers

จากรูปที่ 2.2 เมื่อมาทำการวิเคราะห์ในรูปของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงผันกำลังสถิต พบว่า ความราบเรียบที่ได้ทำให้กระแสที่เครื่องแปลงผันกำลังสถิตดึงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความราบเรียบไป และ เมื่อมองจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับเครื่องแปลงผันกำลังผลิตจะเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์เองสามารถพิจารณาปริมาณของกระแสฮาร์โมนิคส์ได้จากรูป



- รูปคลื่นของกระแสเครื่องแปลงผันอุดมคติ เมื่อหม้อแปลง ต่อในลักษณะของ วาย-วาย



- รูปคลื่นของกระแสเครื่องแปลงผันอุดมคติเมื่อหม้อแปลง ต่อในลักษณะของ เดลตา-วาย

รูปที่ 2.4 รูปคลื่นของกระแสเครื่องแปลงผันกำลังสถิต แบบ อุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ในกรณีที่ต่อหม้อแปลงเป็นแบบ วาย-วาย จะได้ดังสมการที่ 2.3

$$I_L = \frac{\sqrt{2}I_1}{\pi}\left[\sin(\omega t) - \frac{1}{5}\sin(5\omega t) - \frac{1}{7}\sin(7\omega t) + \frac{1}{11}\sin(11\omega t) + \frac{1}{13}\sin(13\omega t) - \frac{1}{17}\sin(17\omega t)\right] \quad (2.3)$$

และกรณีที่หม้อแปลงต่อแบบ เดลตา-วาย จะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.4

$$I_L = \frac{\sqrt{2}I_1}{\pi}\left[\sin(\omega t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega t) + \frac{1}{7}\sin(7\omega t) + \frac{1}{11}\sin(11\omega t) + \frac{1}{13}\sin(13\omega t) + \frac{1}{17}\sin(17\omega t)\right] \quad (2.4)$$

จากเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบอุดมคติจะมีองศ์ประกอบของกระแสฮาร์โมนิคส์เฉพาะตัว โดย ทั้งขนาดและลำดับของกระแสฮาร์โมนิคส์จะสามารถนิยามได้ดังสมการ

$$h = kP \pm 1 \quad (2.5)$$

$$I_h = \frac{I_1}{h} \quad (2.6)$$

$$I_1 \approx \frac{\sqrt{6}\, I_d}{\pi} \quad (2.7)$$

โดยที่

h คือ อันดับของฮาร์โมนิคส์

k คือ จำนวนเต็มบวก เช่น 1, 2 , 3 ....

P คือ จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันกำลังสถิต

I_h คือ ขนาดกระแสฮาร์โมนิคส์อันดับที่ h

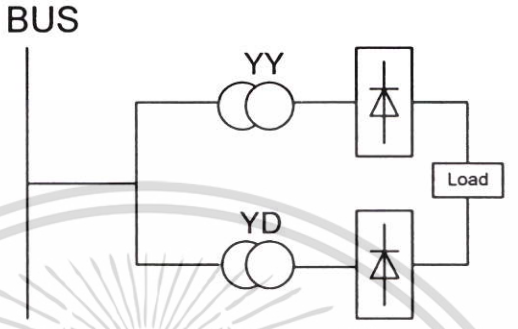
I_d คือ ค่าเฉลี่ยขนาดกระแสทางด้านขาออกของเครื่องแปลงผันสถิต

I_1 คือ ขนาดกระแสของเครื่องแปลงผันสถิตที่ความถี่หลักมูล

การต่อเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 6 พัลส์ สามารถเขียนในรูปขององค์ประกอบกระแสฮาร์โมนิคส์ในรูปของ ฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม ดังสมการที่ 2.3 – 2.4 ซึ่งมีรูปของสมการคล้ายคลึงกัน แต่จะมีบางอันดับของฮาร์โมนิคส์ที่ไม่เหมือนกัน ที่อันดับ 5,7,17,19 .. เป็นต้น ที่จะมีเครื่องหมายแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ ลักษณะการต่อของหม้อแปลง ว่าเป็นการต่อในลักษณะใด วาย – วาย หรือ เป็น เดลตา – วาย และหากนำเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ อุดมคติ 2 ชุด มาต่อใช้งานร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย ต่อขนานกัน จะเรียกว่าเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 12 พัลส์ โดยที่ กระแส ฮาร์โมนิคส์ อันดับที่ 5,7,17,19 .. จะหักล้างกันไปสามารถพิจารณาดังกราฟด้านล่าง ซึ่งการนำเอาเครื่องแปลงผันกำลังสถิต แบบ 6 พัลส์ 2 ชุดมาต่อกันในลักษณะขนานกันนี้ จะเรียกว่า การทำเฟสมัลติพลิเคชั่น (Phase multiplication)

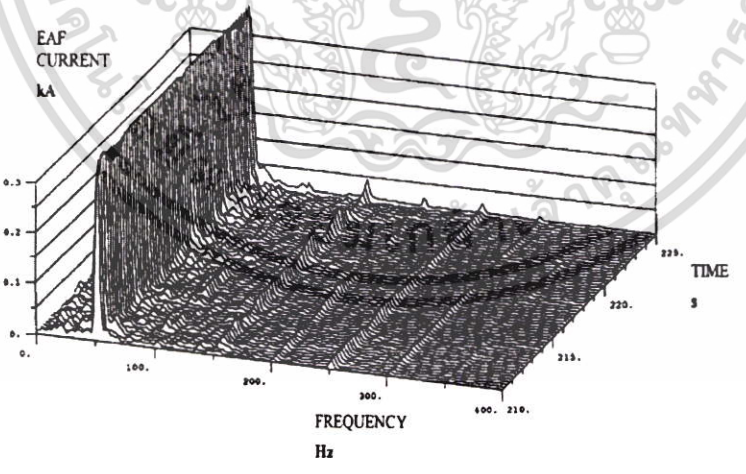


$N = 12*k+1 \qquad k = 1,2,3\ldots n$

$$I_r = I_1 (\text{Cos } \omega t - 1/11 \text{ Cos } 11\omega t + 1/13 \text{ Cos} 13\omega t - 1/23 \text{ Cos } 23\omega t + \ldots) \quad (2.8)$$

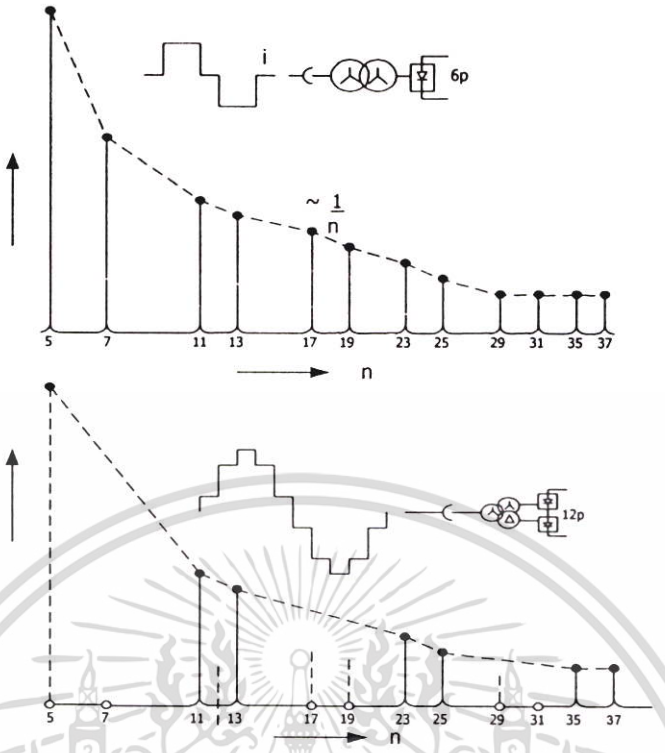
$$I_1 = I_d * 2\sqrt{3}/\pi \quad (2.9)$$

รูปที่ 2.5 พัลส์เครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 12 พัลส์



รูปที่ 2.6 สเปคตรัม ฮาร์โมนิคส์ ของเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 6 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Six-pulse converter

รูปที่ 2.7 เปดตรัม คอนเวอร์เตอร์ชนิด 6 พัลส์

B Twelve-pulse converter

I, 1 Current

N Harmonic number

P Pulse number of converter

การทำเฟสมัลติเคชั่นจึงเป็นการลดปัญหาเรื่องฮาร์โมนิคส์อีกวิธีหนึ่ง โดยปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์จะเป็นไปตามทฤษฎีได้จะต้องมีเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

1. หม้อแปลงที่ใช้ต้องมีอัตราส่วนของการแปลงแรงดันเท่ากัน
2. หม้อแปลงที่ใช้ต้องมีค่าอิมพิแดนซ์เท่ากัน
3. เครื่องผันกำลังสถิตแต่ละชุดต้องถูกควบคุมด้วยมุมหน่วงจุดชนวนเท่ากัน
4. การเลื่อนของมุมเฟสของหม้อแปลงแต่ละตัวต้องห่างกันด้วยมุมเฟส 60/N ในกรณีที่นำเครื่องแปลงผันกำลังสถิตแบบ 6 พัลส์ N ตัวมาต่อขนานกัน
5. เครื่องแปลงผันกำลังสถิตแต่ละชุดจะต้องรับโหลดเท่ากัน

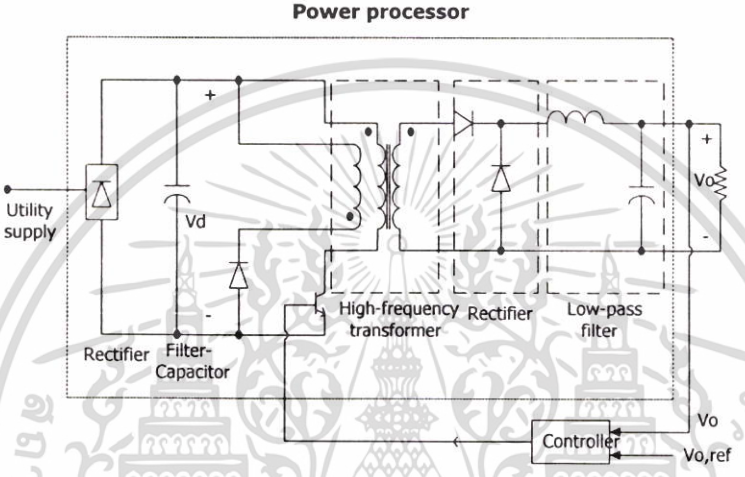
ในทางปฏิบัติตามเงื่อนไขดังกล่าวอาจจะเป็นไปได้ยาก ทำให้กระแสฮาร์โมนิคส์อาจจะไม่เป็นไปตามทฤษฎี นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้น เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

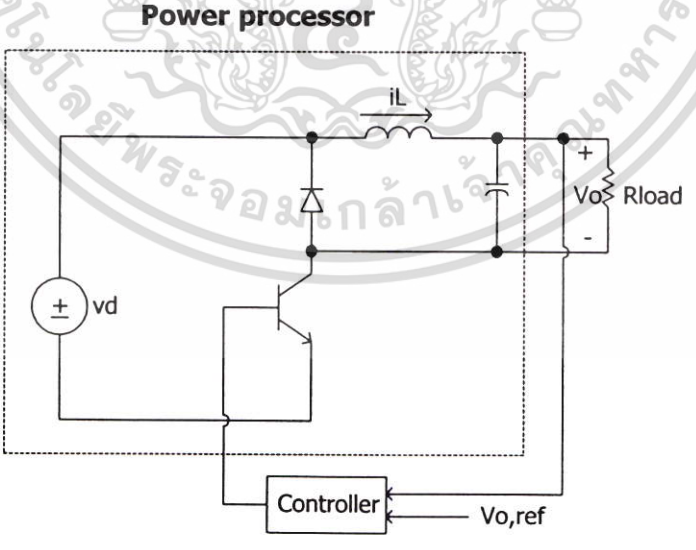
การกระเพื่อมของกระแสตรง และ การนำกระแสจากเฟสหนึ่งไปยังอีกเฟสหนึ่งซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์คอมมิวเตชั่น (Commutation phenomena) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลทำให้กระแสฮาร์โมนิคส์ที่ได้จากเครื่องแปลงผันกำลังสถิตมีค่าแตกต่างไปจากทฤษฎี ไป

2.2 แหล่งจ่ายกำลัง แบบ สวิตชิง (Switch Mode Power Supply, SMPS)

แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง กำเนิดที่ถือได้ว่ามีมากในปัจจุบัน



รูปที่ 2.8 วงจรของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง



รูปที่ 2.9 จำลองวงจรแหล่งจ่ายสวิตชิ่ง

แหล่งจ่ายสวิตชิ่ง Power supply ถือเป็นอุปกรณ์ที่จะทำให้ได้มาซึ่งไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีความราบเรียบโดยทางด้านรับไฟจะต่อโดยตรงเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวงจรเรียงกระแส ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย ไดโอด จะได้แรงดันกระแสตรงที่ยังไม่เรียบที่ตกคร่อม Filter Capacitor ดังในรูป ที่ 10 จากนั้น จะถูกแปลงกลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอีกครั้งที่มีความถี่สูงด้วยตัว สวิตซ์ ต่อมาจะผ่านชุดวงจรเรียงกระแส อีกเพื่อให้ได้แรงดันกระแสตรงที่มีความเรียบมากขึ้น คุณลักษณะที่สำคัญของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิทซ์ คือ ก่อให้เกิดปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ 3 ไหลในสายนิวทรอล

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

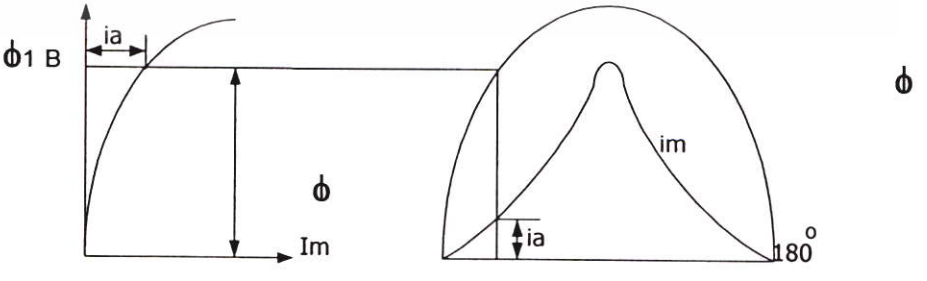
หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้กำเนิดฮาร์โมนิคส์ สาเหตุมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของแกนเหล็ก ในสภาวะต่างๆ ในการทำงาน เช่นในสภาวะไม่มีโหลดแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงจะสมดุลกับแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับสมการแรงดัน V1 สำหรับ แหล่งจ่ายไฟฟ้า สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.10

$$V_1 = -e = -E_m \sin(\omega t) = N_1 \frac{d\phi}{d\phi} \qquad (2.10)$$

เพราะฉนั้นจะได้ค่า ϕ

$$\phi = -\frac{\int e1\, dt}{N_1} = \frac{Em}{N_1 \omega} \cos(\omega t) = N1\, d\phi \qquad (2.11)$$

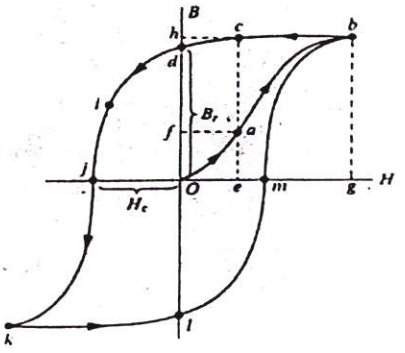
ผลจากสมการ แรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเป็นรูปไซน์ แต่กระแสจะไม่เป็นรูปไซน์เพราะว่าฟลักซ์แม่เหล็กไม่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก ถ้าแกนเหล็กไม่มี Hysteresis loss จะได้ความสัมพันธ์ของฟลักซ์แม่เหล็ก และ กระแสสร้างสนามแม่เหล็กดังภาพที่ 2.10 แต่ถ้าคิดผลของ hysteresis loss ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะผิดเพี้ยนไป และจะก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ 3 ขึ้น ดังภาพที่ 2.11 การแก้ปัญหาดังกล่าวในหม้อแปลงทำได้โดยการต่อขดลวดเดลตา เพื่อให้กระแสฮาร์โมนิคส์ที่ 3 ไหลวนในขดลวดชุดนี้



(a) เส้นโค้งการเกิดสนามแม่เหล็ก (b) ฟลักซ์และกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 2.10 การสร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงเมื่อไม่คิดผลของ hysteresis loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การสร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงเมื่อคิดผลของ hysteresis loss

เมื่อหม้อแปลงอยู่ในสภาวะการกระตุ้นเกิน (Over excitation) กล่าวคือ การที่หม้อแปลงรับแรงดัน หรือภาระเกินพิกัดจนทำให้แกนเหล็กหม้อแปลงอิ่มตัว ในกรณีนี้กระแสสร้างสนามแม่เหล็กจะผิดเพี้ยนมากทำให้ปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์เพิ่มมากขึ้น ปกติในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าจะออกแบบให้หม้อแปลงทำงานที่จุดต่ำกว่า จุดที่แกนเหล็กหม้อแปลงอิ่มตัว (knee point)

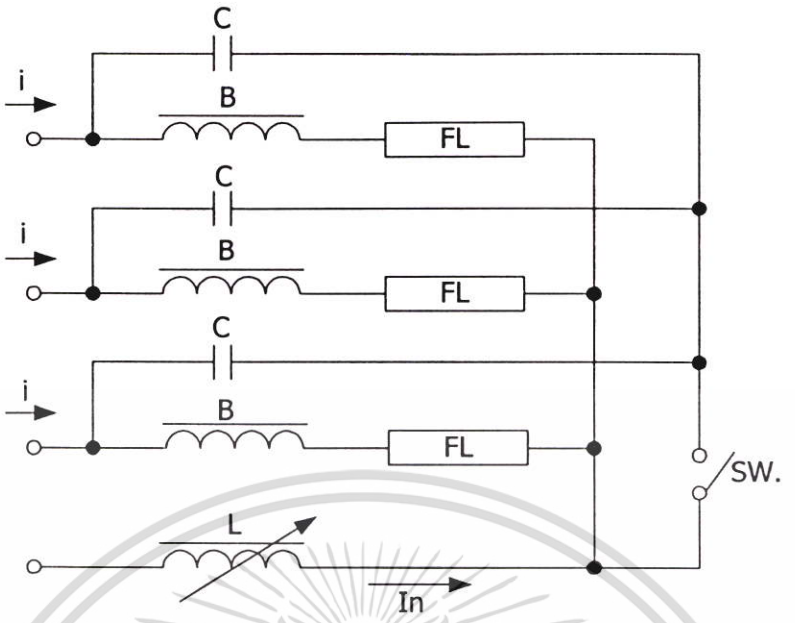
ในกรณีที่หม้อแปลงถูกปลดออกจากระบบ จะมีความหนาแน่นของฟลักซ์ แม่เหล็กส่วนหนึ่งที่ตกค้างอยู่ภายในแกนเหล็กขนาด B+ หรือ B- เมื่อหม้อแปลงถูกจ่ายไฟกลับ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอาจจะสูงถึง 2 หรือ 3 เท่าของความหน้าแน่นสนามแม่เหล็กขณะทำงาน

2.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่สำคัญในระบบจำหน่ายโดยที่ในปัจจุบันมีการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ มากขึ้นเนื่องจากเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งการใช้งานหลอดดังกล่าว จะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ และก่อให้เกิดฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้า โดยปริมาณการรบกวนขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอด

หลอดฟลูออเรสเซนต์ จะให้ปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์ที่เป็นเลขคี่ ในระบบ 3-เฟส 4-สาย กระแสฮาร์โมนิคส์ที่เป็นพหุคูณของสาม (Triple harmonic) จะไหลมารวมกันในสายนิวทรอล โดยเฉพาะฮาร์โมนิคส์ที่ 3-จะมีปริมาณที่สูงที่สุดในวงจรการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ดัง รูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รูปแบบวงจรการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์

จากรูปที่ 2.12 จะพบว่ามีการใช้งานตัวเก็บประจุในการแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ อาจจะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ ขึ้นที่ฮาร์โมนิคส์ที่ 3 ได้ ดังนั้นในการออกแบบใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ต้องใช้งานร่วมกันชุดตัวเก็บประจุ ดังกล่าวอาจแก้ปัญหาการเกิดเรโซแนนซ์ได้โดยการต่อหลอดแบบเดลตา หรือ ต่อแบบ วาย และไม่ต่อสายนิวทรอลลงกรวด์

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่า และไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ๆ สามารถที่จะจำแนกได้ดังนี้ คือ

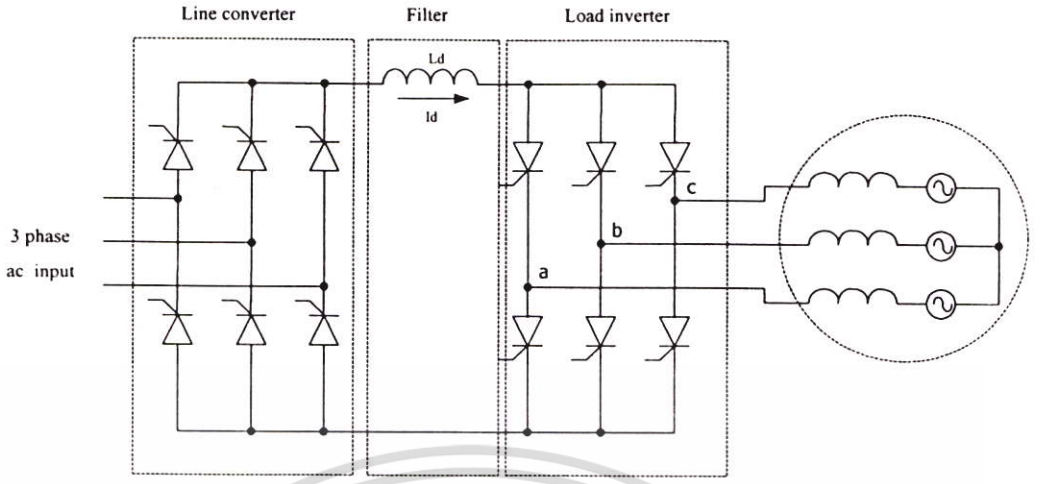
2.5 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแส (Current source inverter adjustable speed drive)

ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแส (Current source inverter adjustable speed drive) เป็นแหล่งจ่ายกระแสสลับที่สามารถปรับความถี่ เพื่อที่จะใช้ควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้า ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแสนี้ เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่จะสร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าและไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล

โดยสามารถที่จะแสดงรูปแบบ ของชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแส ได้ดัง รูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระแส

จากรูปที่ 2.13 จะประกอบด้วยเครื่องแปลงผันกำลังสถิตชนิด 6-พัลส์จำนวน 2 ชุดเชื่อมต่อด้วย แรงดันกระแสตรง โดยที่ความเร็วของมอเตอร์ จะขึ้นกับระดับแรงดันกระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้โดยขึ้นอยู่กับมุมจุดชนวนของไทริสเตอร์และสามารถที่จะเขียนคุณลักษณะของความถี่ของฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นได้ดังสมการที่ 2.12

$$f_i = n_1 f_{ac} \pm 6 n_2 f_s \qquad (2.12)$$

โดยที่

$n_1 = 1, 5, 7, 11, \ldots n$

$n_2 = 1, 2, 3,$

f_{ac} คือ ความถี่หลักมูลของระบบ

f_s คือ ความถี่ของแรงดันด้านออก

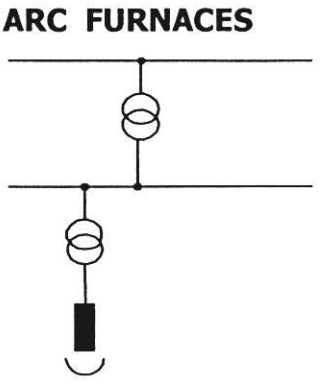
2.6 เตาหลอมแบบอาร์ก (Arc furnace)

เตาหลอมแบบอาร์กที่ใช้กันโดยทั่วไปในการหลอมละลายโลหะต่างๆ ในปัจจุบันนิยมใช้กันมากนั้น อาศัยความร้อนที่เกิดจากกระแสจำนวนมากไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรด เช่น เตาหลอมแบบอาร์กขนาดใหญ่ที่มีขนาด 50 MVA ขึ้นไป

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง นั้นคือ เตาหลอมแบบอาร์ก ที่มีแรงดันที่ไม่เป็นไซน์ เนื่องจากการอาร์กมีความไม่เสถียรภาพเตาหลอมแบบอาร์ก จึงมีลักษณะเหมือนเป็นความเหนี่ยวนำที่แปรค่าได้ เพราะหลักการทำงานของอาร์กใช้การเปลี่ยนแทป แรงดันไฟฟ้าอาร์กจะอาศัยการแปรเปลี่ยนไปตามระบบการทำงานเป็นขั้นตอน ตั้งแต่สภาพลัดวงจรจนถึงเปิดวงจร โดยแสดงดังภาพที่ 2.12 จะเป็นระบบของเตาหลอมแบบอาร์ก

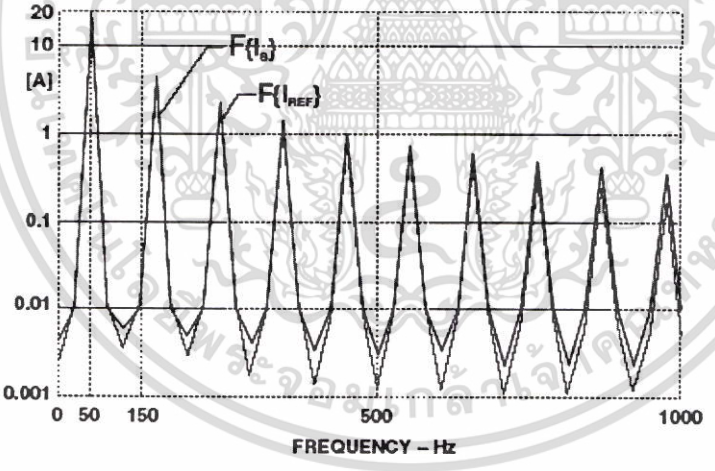
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

61229



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของระบบเตาหลอม

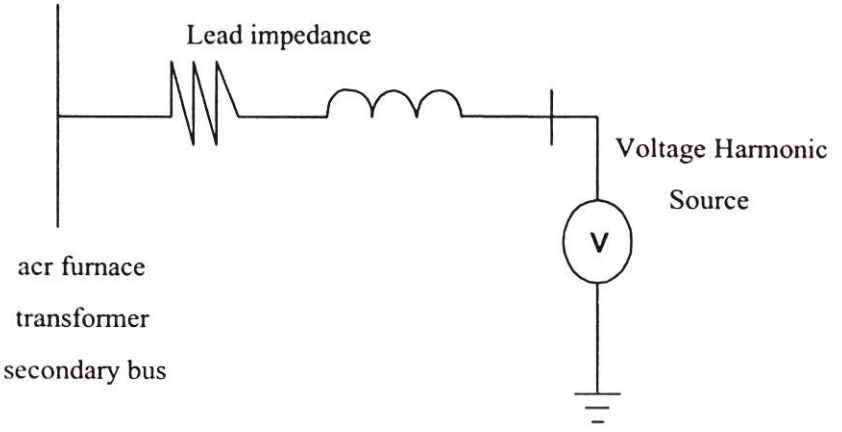
จะเห็นได้ว่าปริมาณของฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถบอกได้อย่างเจาะจงเพราะว่าค่าจะแปรเปลี่ยนไปตามจังหวะการทำงานของเตาหลอม กรณีที่แรงดันที่ใช้ในการอาร์กไม่สมดุลจะทำให้เกิดฮาร์โมนิคส์อันดับที่ 3 มากที่สุด ส่วนในสภาวะสมดุลจะเกิดฮาร์โมนิคส์อันดับที่ 5 และ 7 มากขึ้นกว่าตอนสภาวะไม่สมดุล แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.15 กระแสฮาร์โมนิคส์ แปรเปลี่ยนตามจังหวะการทำงานของเตาหลอม

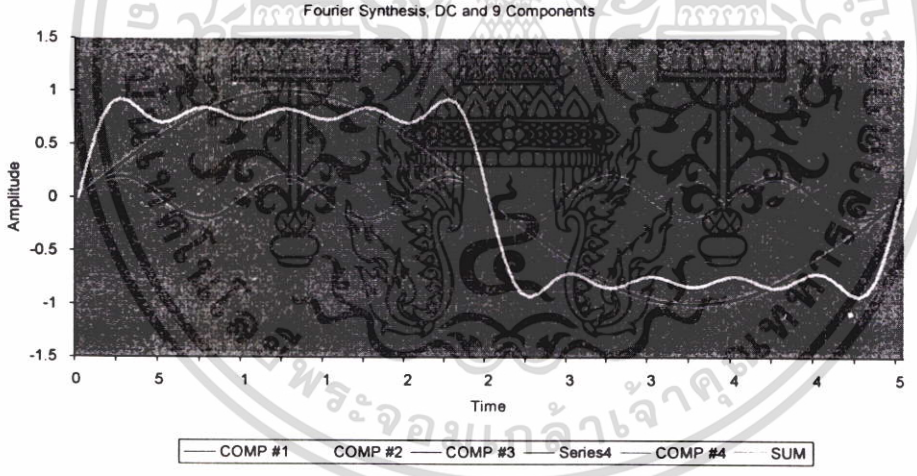
จากรูปที่ 2.13 จะพบว่าปริมาณฮาร์โมนิคส์อันดับที่ 5 จะมี การเปลี่ยนแปลง 8 %, 6 % และ 2.5 % ของความถี่หลักมูล ในช่วงเวลาที่เริ่มหลอมละลาย และ ช่วงการทำให้บริสุทธิ์ตามลำดับ ด้วยเหตุที่กระแสฮาร์โมนิคส์จะไม่สามารถคาดการ forecast ได้อย่างเจาะจง เพราะอาร์กเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้สามารถแทนแบบจำลองเตาหลอม (Equivalent arc furnace) แบบอาร์กด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันฮาร์โมนิคส์ แสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แบบจำลองเตาหลอมแบบอาร์ก

โดยลักษณะของการทำงานที่ไม่เป็น เชิงเส้น (Non-leaner) ของเตาหลอมแบบอาร์ก ทำให้เตาหลอมแบบอาร์กเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งในระบบจำหน่ายที่จะต้องพิจารณาในการป้องกัน



รูปที่ 2.17 แหล่งฮาร์โมนิคส์ ในแต่ละอันดับของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การพิจารณาในการเลือก แหล่งของปัญหาที่ใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์

3.1 ลำดับตัวอย่างในการวิเคราะห์

ในการเลือก หรือ พิจารณาแหล่งที่อาจเกิด และ เป็นไปได้ของฮาร์โมนิคส์ ทางระบบไฟฟ้า จะเกิดได้ทั้ง ระบบไฟฟ้ากำลังหรือ ระบบไฟฟ้าโรงงาน และ ระบบไฟฟ้าสื่อสาร หรือ ระบบโทรคมนาคม โดยที่ระบบไฟฟ้าโรงงานจะจำแนกเป็นขนาดของโรงงานที่มีการใช้ปริมาณโหลดที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่เล็ก จนถึงโรงงานขนาดใหญ่ ส่วนระบบไฟฟ้าสื่อหรือระบบโทรศัพท์แบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทแรก เป็น ชุมสายโทรศัพท์ที่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าต่อเข้าโดยตรง ได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (Local Exchange) และ ตู้สาขา (Private Automatic Branch Exchange เขียนย่อว่า (PABX) ประเภทที่สองเป็นชุมสายโทรศัพท์ที่ไม่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าต่อเข้าโดยตรง ได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านท้องถิ่น (Tandem Exchange) และชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านทางไกล (Transit Exchange) ตลอดจนโทรศัพท์เคลื่อนที่ อันได้แก่ระบบต่างๆ เช่น 900MHz , D900 ,D1800 ,D1900 และย่าน D2000MHZ ซึ่งเป็นย่านความถี่ของการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 หรือ 3G ในอนาคตต่อไป

ชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (Local Exchange) หมายถึงชุมสายโทรศัพท์ที่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าต่อเข้าโดยตรง ชุมสายโทรศัพท์แบบนี้มีขนาดตั้งแต่ เป็น ร้อย ๆ เลขหมาย จนถึงหมื่นเลขหมายหรือมากกว่า

ตู้สาขา (PABX) เป็นชุมสายโทรศัพท์ที่มีลักษณะคล้ายกันกับชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น แต่จะใช้ติดต่อกันภายในสำนักงาน โดยไม่ต้องผ่านชุมสายท้องถิ่น ตู้สาขาจะเป็นชุมสายโทรศัพท์ที่มีการบริการพิเศษ (Facilities) แก่ เลขหมายภายใน (Extension)ได้ หลายอย่าง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าตู้สาขานั้นๆ มีขีดความสามารถเป็นอย่างไร การบริการพิเศษดังกล่าวได้แก่ การย่อเลขหมาย (Abbreviated) Dialing) การเรียกกลับอัตโนมัติ (Automatic Callback) การประชุมกันทางโทรศัพท์ (Conference Call) การโอนการเรียก (Transfer of Call) การโอนโทรศัพท์ติดตามตัว (Follow Me) ฯลฯ นอกจากนี้ในกรณีที่ตู้สาขาได้ทำการต่อเชื่อมกับชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น ก็จะทำให้โทรศัพท์เลขหมายภายในสามารถติดต่อไปยังเลขหมายภายนอกได้ โดยผ่านชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นและในทำนองเดียวกัน โทรศัพท์จากเลขหมายภายนอกก็สมารถเรียกเข้าไปยังเลขหมายภายในโดยผ่านตู้สาขาได้ ตู้สาขาจะมีขนาดตั้งแต่ไม่ถึงสิบเลขหมายจนถึง หมื่นเลขหมาย หรือ มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่าน หมายถึงชุมสายโทรศัพท์ที่ไม่มีเลขหมายโทรศัพท์ของผู้เช่าต่อเข้ามาโดยตรง แต่จะบริการเรียกระหว่างวางชุมสายท้องถิ่นกับชุมสายท้องถิ่นด้วยกัน การเรียกระหว่างโทรศัพท์ 2 เลขหมาย อาจเรียกผ่านไปยัง ชุมสายต่อผ่านหลาย ๆ ชุมสายก็ได้ ชุมสายต่อผ่านยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Tandem Exchange) ซึ่งเป็นชุมสายโทรศัพท์ที่ใช้สำหรับต่อผ่านภายใน Local Network หนึ่ง ๆ เท่านั้น เช่นการเรียกภายในกรุงเทพฯ เป็นต้น และชุมสายต่อผ่านทางไกล (Transit Exchange) ซึ่งเป็นชุมสายโทรศัพท์ที่ใช้สำหรับต่อผ่านไปยัง Local Network อื่น ๆ เช่น การเรียกจากชลบุรี มายังกรุงเทพฯ เป็นต้น

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สาย อันได้แก่จำพวกโทรศัพท์มือถือที่ใช้กันในปัจจุบัน โดยมีสถานีแม่ข่ายเรียกว่า Base station (BTS: Cellular System), Mobile Satellite System: MSS และมีลูกข่ายเรียกว่า Subscriber โดยที่ Subscriber จะอยู่ภายใต้ Network และ Network นั้นขึ้นกับ Operator หรือผู้ให้บริการเครือข่ายขึ้นอยู่กับระบบ และ ความถี่ที่ Operator เป็นผู้ให้บริการ

3.2 หลักการของการวัด

โดยทั่วไปในการวัดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ และค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ ของแรงดันเพื่อประเมินตามขีดจำกัดของข้อกำหนดนี้ จะต้องวัดค่าที่มีอยู่เดิมหรือบริเวณที่จะติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ในอนาคต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องจะต้องคำนึงถึง เครื่องมือวัด วิธีวัด และจุดตรวจวัด ให้สอดคล้อง กับชนิดของฮาร์โมนิคส์ที่จะทำการวัด สิ่งที่ควรจะต้องให้ความสำคัญ มีดังนี้

3.3 จุดตรวจวัด

จุดที่จะทำการตรวจวัดโดยทั่วไปแล้ว จะดำเนินการที่จุดต่อร่วม ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ประเมินโหลด ไฟฟ้า หรือ อุปกรณ์ อย่างไรก็ดีอาจมีความจำเป็นที่จะต้องวัดที่จุด อื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น จุดที่ต่อกับอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นโดยตรง เพื่อหาคุณลักษณะของฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นสำหรับนำมาประกอบในการพิจารณาประเมินอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

ในกรณีที่จุดต่อร่วมเป็นระบบแรงดันต่ำสามารถที่จะต่อวัดแรงดันได้โดยตรง และสำหรับระดับแรงดันที่สูงขึ้น จุดต่อเครื่องวัดจะเป็นด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer, VT) ส่วนจุดวัดกระแสจะต้องต่อผ่านหม้อแปลงกระแส (Current Transformer, CT)

ดังนั้นคุณสมบัติของทั้งหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสนั้นจะต้องตอบสนองความถี่ได้ถูกต้องในช่วงกว้าง

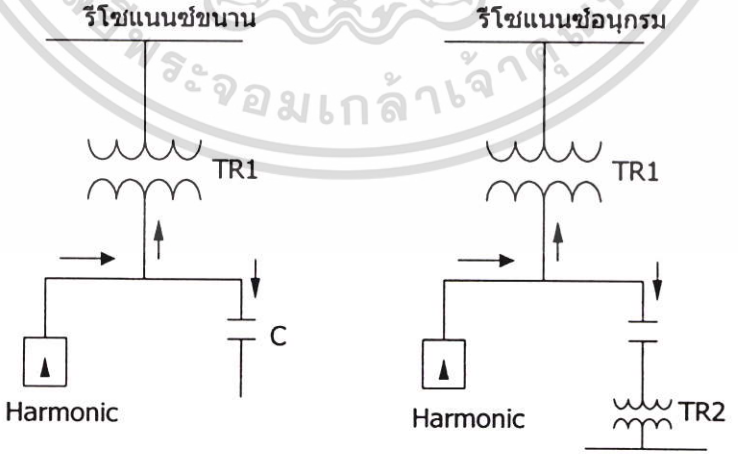
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ช่วงเวลาของการวัด

ช่วงเวลาที่เหมาะสม สำหรับการวัดขึ้นกับคุณลักษณะของฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นเช่น ถ้าฮาร์โมนิคส์มีลักษณะที่ค่อนข้างจะคงที่ (Steady State) เวลาที่ใช้วัดเพียง 24 ชั่วโมงก็อาจจะเพียงพอ จุดที่สำคัญคือ ช่วงเวลาทำการวัดต้องครบช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์โดยทั่วไปแล้วช่วงเวลาสำหรับการวัดอย่างต่ำ 7 วัน เวลาของการวัด 10 วินาที ต่อการวัดฮาร์โมนิคส์ 1 ครั้ง ทั้งนี้การวัดซ้ำจะทำการวัดทุก ๆ 15 นาที หรือครบช่วงเวลาทำงาน

3.5 ผลกระทบของฮาร์โมนิคส์กับการเกิดรีโซแนนซ์ในระบบ

1. ปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ เนื่องจากในระบบไฟฟ้ามีการใช้คาปาซิเตอร์เพื่อแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เพื่อทำให้การจ่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดปรากฏการณ์รีโซแนนซ์ขึ้นระหว่างค่าปาซิติฟรีแอกแตนซ์ของคาปาซเตอร์กับค่ารีแอกแตนซ์ของระบบการไฟฟ้าและของหม้อแปลงที่ความถี่หนึ่ง และถ้าในระบบมีกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีลำดับความถี่ตรงหรือใกล้เคียงกับความถี่รีโซแนนซ์ของระบบแล้ว จะเป็นผลทำให้เกิดการขยายกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ขนาดใหญ่ ผลจะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ของคาปาซิเตอร์ทริปโดยไม่ทราบสาเหตุหรือ อาจทำความเสียหายให้คาปาซิเตอร์เกิดการชำรุดได้ ปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นในระบบนั้นเกิดขึ้น 2 ลักษณะคือฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ขนาน และฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ อนุกรม ซึ่งพิจารณาได้จากตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์ และแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ ดัง รูปที่ 2.15 ซึ่งการเกิดรีโซแนนซ์โดยส่วนใหญ่จะเกิดได้ที่บัสของผู้ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการติดตั้งคาปาซิเตอร์ ของการเกิดรีโซแนนซ์ แบบ ขนาน และ อนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงลักษณะการเกิดรีโซแนนซ์ ขนาน และรีโซแนนซ์ อนุกรม ในระบบจากวงจรดังรูปที่

3.1 ความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{Ls\ C}} \tag{3.1}$$

เมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรของระบบและค่าอิมพีแดนซ์ของคาปาซิเตอร์ ที่จุดร่วม (PCC) ได้ค่าลำดับฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ h_r

$$h_r = \sqrt{\frac{MVAsc}{MVARcap}} \tag{3.2}$$

และเมื่อทราบค่าพิกัดกำลังของคาปาซิเตอร์และหม้อแปลง ได้

$$h_r \approx \sqrt{\frac{KVAt \times 100}{KAVcap \times X(\%)}} \tag{3.3}$$

ดังนั้นความถี่ รีโซแนนซ์ในระบบ

$$f_r \approx f \times \sqrt{\frac{KVAt \times 100}{KAVcap \times X(\%)}} \tag{3.4}$$

โดยที่

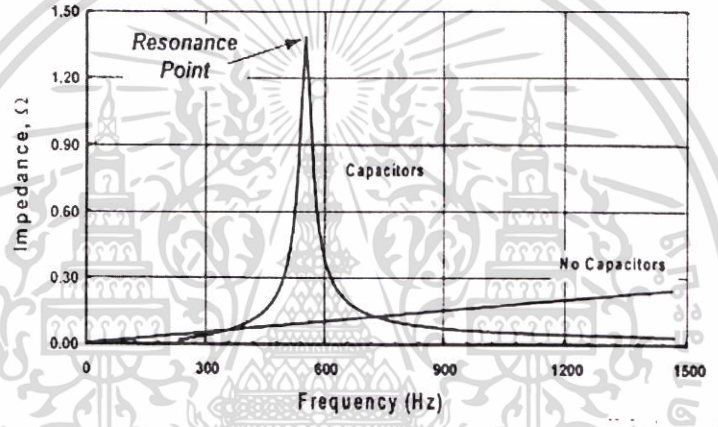
h_r	คือ ลำดับฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์
f_r	ความถี่รีโซแนนซ์ (Hz)
X_c	ค่ารีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ (Ω)
X_{sc}	ค่ารีแอกแตนซ์ลัดวงจรของระบบ (Ω)
MVA_{scc}	ค่าพิกัดกำลังลัดวงจรที่สถานีไฟฟ้า (MVA)
MVA_{sc}	ค่าพิกัดกำลังลัดวงจรที่บัสของระบบ (MVA)
MVA_{cap}	ค่าพิกัดกำลังของคาปาซิเตอร์ (Mvar)
KVA_t	ค่าพิกัดกำลังของหม้อแปลง (KVA)
KVA_{cap}	ค่าพิกัดกำลังของคาปาซิเตอร์ (kVar)
X_t	ค่ารีแอคแตนซ์ของหม้อแปลง (%)
(f)	ความถี่ของระบบ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเราสามารถที่จะตรวจสอบเบื้องต้นได้ว่า จะเกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์กับระบบไฟฟ้า ของเราหรือไม่ ดังตัวอย่าง ถ้าเราให้อุตสาหกรรมหนึ่ง มีขนาดหม้อแปลง 1500 kvar, Zt = 6% มีขนาดคาปาซิเตอร์ 500 Kvar และถ้าเกิดสภาวะรีโซแนนซ์ ขึ้นที่ระบบนี้ จะมีค่าลำดับของฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ ของระบบ $\approx \sqrt{\frac{1500 \times 100}{500 \times 6}} \approx 7.07$

และถ้าระบบดังกล่าวมีกระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 7 อยู่ด้วยอาจจะทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ ขึ้นได้ ส่วนการแก้ไขที่นิยมในปัจจุบันคือติดตั้งฟิลเตอร์เพื่อกำจัดฮาร์โมนิคส์ ลำดับที่จะทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ นั้นหมดไป หรือเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฮาร์โมนิคส์ รีโซแนนซ์ในระบบ

ในระบบ



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งค่าลำดับที่เกิดฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์

เราสามารถที่จะทำการประเมินการเกิดฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์กับระบบไฟฟ้าแรงต่ำในระบบที่มีการติดตั้งคาปาซิเตอร์ในเบื้องต้นได้ โดยพิจารณาตามขนาดของโหลดฮาร์โมนิคส์ ขนาดหม้อแปลง และ ขนาดของคาปาซิเตอร์ได้ ซึ่งมีหลักในการพิจารณาดังนี้

- ถ้าขนาดของโหลดฮาร์โมนิคส์มีค่าน้อยกว่า 10 % ของขนาดหม้อแปลงจะไม่เกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์
- ถ้าขนาดของโหลดฮาร์โมนิคส์มีค่าน้อยกว่า 30 % และขนาดของคาปาซิเตอร์มีค่าน้อยกว่า 20 % ของขนาดหม้อแปลง จะไม่เกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์
- ถ้าขนาดของโหลดฮาร์โมนิคส์มีค่ามากกว่า 30 % ของขนาดหม้อแปลง และมีการติดตั้งฟิลเตอร์ จะไม่เกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์

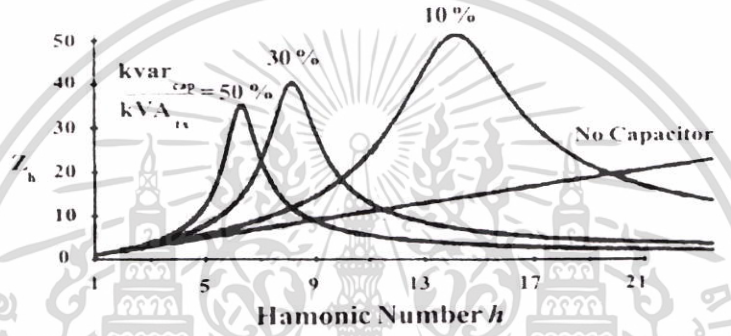
และจาก P519A/D2 [2] ได้มีการประเมินลำดับความถี่ รีโซแนนซ์ และขนาดค่าอิมพิแดนซ์ที่เกิดขึนในระบบโดยมีการเทียบขนาดค่าคาปาซิเตอร์ กับหม้อแปลงในระบบ ทำให้พิจารณาความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมในการเลือกค่าขนาด คาปาซิเตอร์มาใช้กับระบบที่มีฮาร์โมนิคส์ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ และดังรูปที่ 2.16 เมื่อพิจารณาค่าที่ 50 % อาจจะเกิดปัญหา

ฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ในระบบได้ ถ้ามีการใช้โหลด คอนเวอร์เตอร์ 6 พัลซ์ ซึ่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับ ที่ 7 เข้าสู่ระบบ

ดังนั้นจึงควรระวังสำหรับระบบที่มีการติดตั้งคาปาซิเตอร์และ มีฮาร์โมนิคส์ปะปนอยู่ด้วย อาจจะทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ และค่าคาปาซิเตอร์เกิดการชำรุดได้ ซึ่ง ตามมาตรฐาน IEEE Std. 18-1992 ได้มีการกำหนดค่าใช้งานของคาปาซิเตอร์ ดังตารางที่ 4.3 เพื่อการใช้งานคาปาซิเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ อายุการใช้งานนาน



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของลำดับฮาร์โมนิคส์ กับ คาปาซิเตอร์

2. ผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่ง

ผลกระทบดังกล่าวทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์โมนิคส์ทำให้ค่า RMS ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้นตามสมการ

$$P_n = \sum_{n=2}^{\infty} I^2_n \times R_n \qquad (3.5)$$

โดยที่ P_n

P_n กำลังสูญเสียในสาย

I_n กระแสฮาร์โมนิคส์ (RMS) ลำดับที่ n

R_n ความต้านทานของสาย ที่ความถี่ฮาร์โมนิคส์

และกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลผ่านสายเคเบิล ทำให้เกิดความร้อนสูงในสายเคเบิลเนื่องจากผลของ Skin Effect และ Proximity Effect คือเกิดการไหลผ่านบริเวณใกล้ผิวของสายไฟฟ้า ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าทั้งสองนี้ จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ขนาดสาย ระยะห่างระหว่างสาย และความถี่ของสายเคเบิล ซึ่งค่าดังกล่าวจะทำให้ค่าความต้านทาน เพิ่มสูงขึ้น

3.6 ปัญหาฮาร์โมนิคส์ Triple

ลำดับที่ 3 , 6 , 9 จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย และเป็นโหลดจ่ายกำลังแบบสวิทช์ชิ่ง (Switching Mode Power Supply : SMPS) เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์จะมีค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 3 สูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปัญหาฮาร์โมนิคส์ Triplen จะพิจารณาถึงค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 3 เป็นสำคัญ ซึ่งแต่ละเฟสจะรวมกันไหลอยู่ในสายนิวตรอน อาจทำให้สายนิวตรอนทำงานเกินพิกัดได้หากไม่มีการออกแบบรองรับไว้ ดังรูปที่ 3.1 เราสามารถจำทำการคำนวณได้จากสมการ

$$I_{phase} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} \qquad (3.6)$$

$$I_{neutral} = (I3+I_3+I_3) \qquad (3.7)$$

การออกแบบสายนิวตรอนสำหรับโหลดที่มีการใช้ อุปกรณ์ SMPS นั้น พิกัดขนาดของสายนิวตรอนต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.72 เท่าของสายเฟส

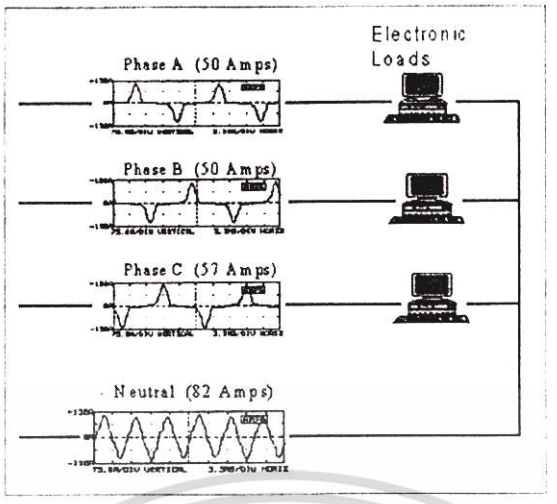
หรือเราสามารถคำนวณหาค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่สายนิวตรอนจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้จากสมการ

$$I_{neutral\ (rms)} = 3 \sqrt{\frac{0.56\ P\ nl}{1+0.56\ P\ nl}} \qquad (3.8)$$

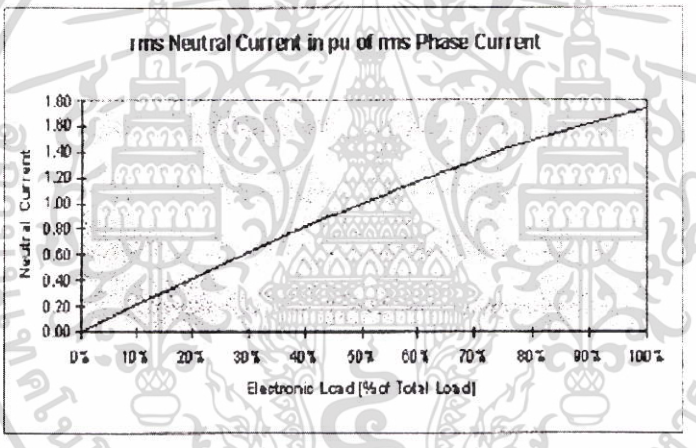
โดยที่

P_{nl} คือกำลังไฟฟ้าของโหลอิเล็กทรอนิกส์ชนิดไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ ในแต่ละ เฟสต่ออุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์



รูปที่ 3.5 แสดงค่ากระแส rms ที่จุด neutral %

การแก้ไขปัญหาฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 3 วิธีที่นิยมกันคือ การเพิ่มขนาดพิกัดสายนิวตรอน ในกรณีที่กระแสฮาร์โมนิคส์ในสายนิวตรอนไปรบกวนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดที่มีการตรวจจับกราวด์ อาจทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ดังกล่วงทำงานผิดพลาดได้ การแก้อาจติดตั้งฟิลเตอร์ลำดับที่ 3 เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 3 ไหลเข้าสายนิวตรอน

4. ผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในหม้อแปลง คือ กำลังสูญเสียสเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพในการรับโหลดของหม้อแปลงลดลงไป (Derating) ผลของแรงดันฮาร์โมนิคส์ทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแสไหลวง (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซีส (Hysteresis Loss) เพิ่มขึ้น ทำให้พิจารณาถึงการใช้หม้อแปลงที่มีการใช้โหลดฮาร์โมนิคส์ตามมาตรฐาน IEEE Std.C57.110-1986 ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานที่แนะนำวิธีการประเมินการใช้งานลดพิกัดหม้อแปลงที่มีใช้อยู่แล้วในระบบ หรือสำหรับการออกแบบสเปคในการจัดซื้อหม้อแปลงที่จ่ายให้กับระบบที่มีโหลดไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ด้วย เพื่อป้องกันหม้อแปลงเกิดความร้อนเนื่องจากกระแสฮาร์มอนิก ซึ่งอาจทำให้หม้อแปลงเสียหายหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

โดยมีการกำหนดค่ากระแสของหม้อแปลงที่มีการ Derated ตามสมการ

$$I_{rms\ (derated)} = \sqrt{\frac{1 + PEC\text{-}R}{1 + K\ xPEC\text{-}R}} \qquad (3.9)$$

โดยที่ $P_{EC\text{-}R}$: Eddy Current loss factor, Ih ลำดับกระแสฮาร์โมนิคส์, h: ลำดับฮาร์โมนิคส์

$$K\text{: K-factor} = \sum \frac{Ih2 \times h2}{\sum Ih2} \qquad (3.10)$$

สำหรับค่า K-factor เป็นค่าที่มาตรฐาน UL 1561 (Underwriter Laboratories) กำหนดค่าสัมประสิทธ์ K เป็นตัวบอกถึงความสามารถของหม้อแปลงในการจ่ายโหลด ไม่เป็นเชิงเส้น

5. ผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเลคตริก (Dielectric Stress) กับตัวคาปาซิเตอร์ และอาจทำให้ฟิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการใช้ปกติ ผลของแรงดันฮาร์โมนิคส์ทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ตามสมการ

$$PL = \sum_{n=1}^{\infty} C(\tan \partial)\omega nV2n \qquad (3.11)$$

และผลจากภาวะรีโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดการขยายกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ขนาดใหญ่ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถแทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ คาปาซิเตอร์ที่ผู้ผลิตออกแบบสร้างต้องได้ตามมาตรฐาน IEEE Std. 18-1992

6. ผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ทำให้เกิดความร้อนในตัวฟิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเวลา-กระแส (Time-Current Characteristic) ของฟิวส์เปลี่ยนไป กรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นฟิวส์จะขาดก่อนในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่ฟิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุอาจเป็นเหตุมาจากฮาร์โมนิคส์ในกรณีที่เกิดภาวะรีโซแนนซ์ได้เช่นกัน

7. ผลของฮาร์โมนิคส์ทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาด ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงานของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิด Electromagnetic ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน RMS ส่วนการทำงานของรีเลย์ชนิด Digital ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sampling และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ถ้ามีฮาร์โมนิคส์เข้ามารบกวนการทำงานของรีเลย์ ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดได้ดังนี้

- ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่า (Pickup Values) ที่สูง ๆ โดยปกติรีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงานด้วยค่าเริ่มต้น ๆ
- กรณีที่มีกระแสฮาร์โมนิคส์ Triplen มากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด
- ทำให้รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ทำให้อิมพิแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าอิมพิแแดนซ์ที่ทำการเซทติ้งที่ความถี่หลักมูล
- ทำให้รีเลย์สถิตย์แบบความถี่ต่ำ (Static under Frequency Relay) มีความไวกว่าปกติอาจทำให้เกิดการทริปพิดพลาด
- ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง

8. ผลของกระแสฮาร์โมนิคส์ต่อความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ คือ ทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลามีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าศูนย์ เป็นผลทำให้ เซอร์กิตเบรกเกียร์คือ ทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลามีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้เมื่อมีฮาร์โมนิคส์ ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน

9. ผลของฮาร์โมนิคส์ต่อมิเตอร์วัดค่าไฟฟ้า (Watt-hour Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ประเภทจานเหนี่ยวนำ (Induction Disk) ทำให้การวัดค่าผิดพลาดได้ ซึ่งโดยปกติการปรับแต่งมิเตอร์นั้นจะทำการปรับแต่งที่ความถี่หลักมูล

10. ผลของฮาร์โมนิคส์ต่อเครื่องจักรไฟฟ้า ทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเกิดปรากฏการณ์ค็อกกิ้ง (Cogging) คือไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ จากการที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส และ ทำให้เกิดการออสซิเลตทางกลของเครื่องจักรไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดของเครื่องจักร

11. ผลของฮาร์โมนิคส์ต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร คือจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด และ มีอายุการใช้งานน้อยลง หรือเกิดการชำรุดเสียหาย ด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีขนาดและรูปคลื่นสัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป หรือมีสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร เช่น ระบบโทรศัพท์

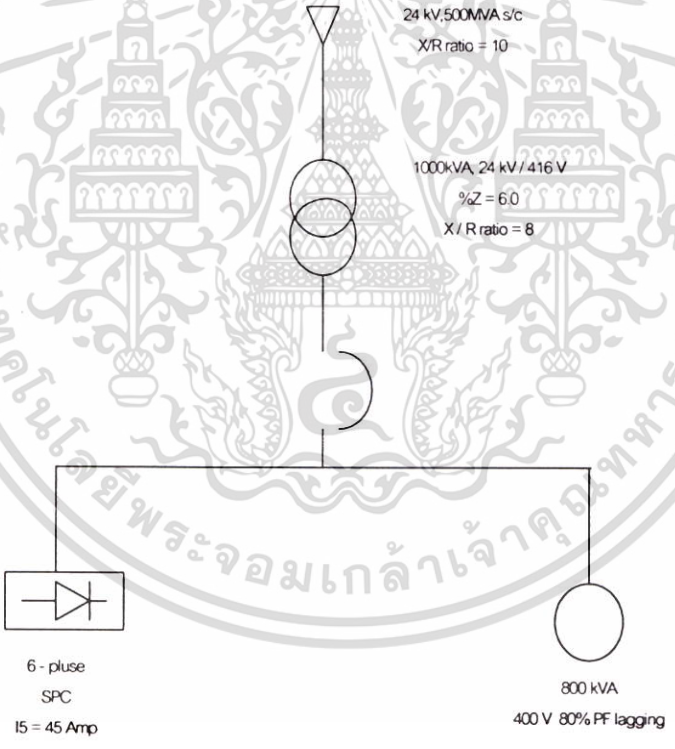
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
แนวทางในการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ในระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยสามารถแทนแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ ด้วยแหล่งกำเนิดกระแส [1] และแบ่งวิธีการวิเคราะห์ทั่วไปออกเป็น 2 วิธีช่วยในการวิเคราะห์ คือ

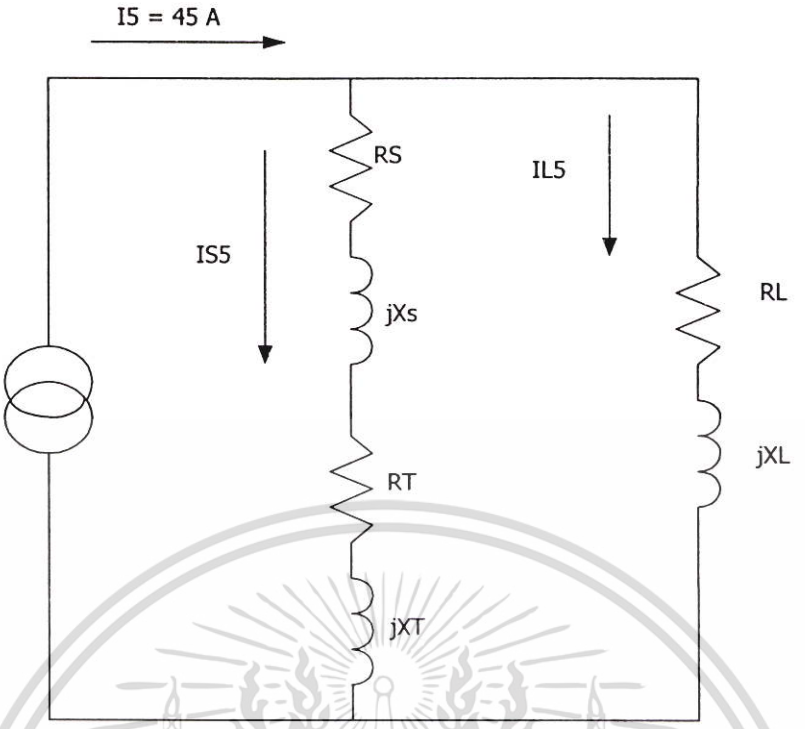
1. การวิเคราะห์โดยการใช้วงจรสมมูล (Equivalent Circuit)
2. การใช้เมตริกซ์ความนำ (Admittance Matrix: Y bus)

4.1 การวิเคราะห์โดยการใช้วงจรสมมูลเข้าช่วย (Equivalent circuit)



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรม ของระบบจ่ายให้กับโหลดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลในรูปของ (Equivalent circuit)

จากนั้นอาศัยสมการพื้นฐานทางไฟฟ้าวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ โดยมองจากแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิคส์

$$V_h = Zh \times I_h \qquad (4.1)$$

โดยที่

V_h เป็นแรงดันฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ h ที่แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์อยู่

Z_h เป็นอิมพิแดนซ์สมมูลลำดับที่ h ที่แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิคส์มองเห็น

I_h กระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ h จากแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์

การกำหนดค่าอิมพิแดนซ์สมมูลสามารถกำหนดได้เป็น Z_{eq} โดยมองจากวงจรสมมูลที่ได้จากการแปลง single line diagram

4.2 การวิเคราะห์ด้วยการใช้เมตริกซ์ความนำ (Admittance Matrix: Y_{bus})

จากสมการของ Z_{eq} สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Matrix ได้ เหมือน กับการแก้สมการทางไฟฟ้าทั่วไป ฉะนั้น สมการของ Y_{bus} จะได้จากส่วนกลับของ Z_{eq} ($1 / Z_{eq}$) นั้นเอง เราสามารเขียนให้อยู่ในรูปของสมการใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[V_h] = [Yh_{bus}]\text{-}1\ [I_h] \quad (4.2)$$

เมื่อได้ผลลัพธ์ของ $[V_h]$ จะสามารถหาค่าของ Ih ที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ได้จาก

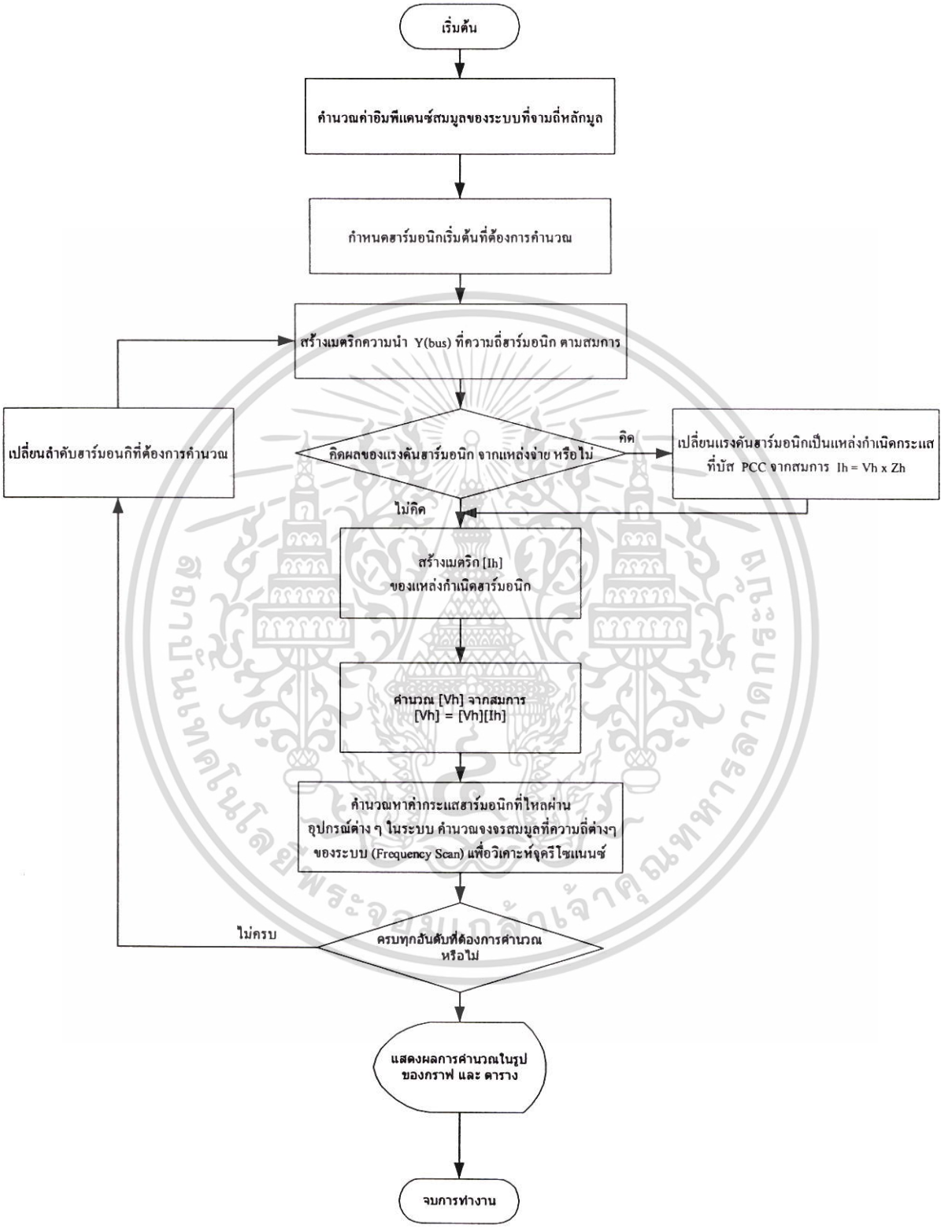
$$Ih_{Tr} = \frac{V_{h2} - V_{h1}}{Zh_{Tr}} \quad (4.3)$$

การวิเคราะห์ สามารถจำลองแบบของอุปกรณ์ที่จะทำการวิเคราะห์ จาก Equivalent Circuit เป็น Equivalent model เช่น Source impedance , Transformer , Cable or Line , Motor Load , Linear load , Capacitor , Harmonics source และกำหนดเป็น สมการของตัว Equivalent mode ของตัวอุปกรณ์นั้น ๆ

รูปที่ 4.3 การจำลองรูปแบบของอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ (Equivalent model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ ฮาร์โมนิคส์ สามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังภาพ



รูปที่ 4.4 แสดง Flow Chart การวิเคราะห์ฮาร์โมนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์จุดของเรโซแนนซ์ในระบบ

โดยทั่วไปของระบบอุตสาหกรรม หรือ ระบบไฟฟ้าในชุมสายโทรศัพท์เองจะมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้อยู่ในมาตรฐานที่ทางการไฟฟ้า ได้กำหนดไว้ ไม่ให้เกินค่าที่กำหนด เมื่อมีฮาร์โมนิคส์เกิดขึ้น ในระบบอาจเกิดปัญหาที่รุนแรงต่อคาปาซิเตอร์ได้ในกรณีเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาจุดเรโซแนนซ์ของระบบเพื่อพิจารณาว่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้น จะมีลำดับที่ตรงหรือ ใกล้เคียงกับจุดนี้ หรือ ไม่จากสมการแรงดันที่บัส ใดๆ ของระบบ เช่นบัสที่ 1^{th} เขียนได้ดังนี้

$$V_1 = Z_{i1}I_1+\ldots Z_{ii}I_1+\ldots Z_{in}I_n \qquad (4.4)$$

ถ้า Inject กระแสขนาด 1 pu. เข้าที่บัส ith เพียงบัสเดียวจะเขียนสมการได้ใหม่ดังสมการที่ (4.5)

$$V_1 = Z_{ii} \qquad (4.5)$$

ดังนั้นค่าอิมพิแดนซ์ที่บัสใดๆ สามารถหาได้จากค่าของแรงดันที่บัสใดๆ เมื่อ Inject กระแสขนาด 1 pu. เข้าที่บัสนั้น ๆ เพียงบัสเดียว และถ้าคิดที่ความถี่อื่น ๆ ด้วยจะได้เส้นกราฟของค่าอิมพิแดนซ์ที่ลำดับฮาร์โมนิคส์ต่างๆ เรียกว่า การทำ Frequency Scan ทำให้สามารถวิเคราะห์สภาวะการเกิดเรโซแนนซ์ของบัสต่างๆ ในระบบได้

4.5 การวิเคราะห์อัตราการขยายกระแส

อัตราขยายกระแส เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณา สำหรับการติดตั้งชุดคาปาซิเตอร์ การวิเคราะห์ จะทำในลักษณะเดียวกับการวิเคราะห์ เรโซแนนซ์ กล่าวคือ Inject กระแสขนาด 1 pu. ที่ทุกความถี่ฮาร์โมนิคส์ สมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (4.6)

$$AF^k_n = \frac{U^k_n}{U^k_n} \qquad (4.6)$$

โดยที่

AF^k_n = อัตราขยายกระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ h ที่ไหลผ่าน Branch k

U^k_n = กระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ h ที่ไหลผ่าน Branch k

U^k_n = กระแสฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ h จากแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ในสายป้อน

มาตรฐาน IEEE Std.519-1992 และ ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์เป็นจำนวนมาก ทำให้มีการตรวจวัดฮาร์โมนิคส์ขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าจำกัดในมาตรฐานต่าง ๆ หรือ เพื่อใช้ในการพิจารณาปัญหาและสาเหตุที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์

ดังนั้นระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันจะต้องมีการกำจัดฮาร์โมนิกคส์ออกไปเพื่อที่จะรักษาระดับฮาร์โมนิคส์ให้มีพิกัดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมรวมถึงแหล่งที่มีอุปกรณ์เซมิคอนดัคเตอร์ประเภทชุมสายโทรศัพท์ก็เช่นกัน ดังนั้นจำต้องมีการกำหนดมาตรฐานขึ้นเพื่อให้ผู้บริโภคได้ใช้ไฟฟ้าอย่างมีคุณภาพ

โดยในการพิจารณาปริมาณกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ นั้นจะกระทำโดยการติดตั้งเครื่องตรวจวัดฮาร์โมนิคส์ที่ทุกๆ สายป้อนภายในชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ที่อันดับต่างๆ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกันค่าจำกัดที่กำหนดในมาตรฐาน

4.7 มาตรฐาน IEEE Std.519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical System

ในการกำหนด เกณฑ์การกำหนดค่าเพื่อเป็นข้อกำหนด จำกัดทางด้านฮาร์โมนิคส์ของมาตรฐาน IEEE Std.519-1992 ได้กำหนดไว้ดังนี้ คือ

ปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับสามารถกำหนดค่าจำกัดได้ ขึ้นกับขนาดของระบบไฟฟ้าในเทอมของ I_{SC}/I_C และ ระดับแรงดันที่ใช้ในระบบไฟฟ้า โดย จะจำกัดค่าของกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับจะมีขนาดลดลงเมื่ออันดับของฮาร์โมนิคส์เพิ่มขึ้น

Total demand distortion (TDD) ของกระแสฮาร์โมนิคส์จะกำหนดค่าขึ้นกับขนาดของระบบไฟฟ้าในเทอมของ ISC / I_L และระดับแรงดันที่ใช้งานในระบบไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่จำกัดค่าตามมาตราฐานของ IEEE Standard 519-1992 โดยพิจารณาแรงดัน ตั้งแต่ 120 โวลต์ ถึง 69 กิโลโวลต์

Maximum Harmonic Current Distortion in % of Fundamental						
Harmonic Order (Odd Harmonics)						
ISC/IL	h < 11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20
Even harmonics are limited to 25% of the harmonic limits above.						

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่จำกัดค่าตามมาตราฐานของ IEEE Standard 519-1992 โดยพิจารณาที่แรงดันที่สูงกว่า 69 กิโลโวลต์ ถึง 161 กิโลโวลต์

Maximum Harmonic Current Distortion in % of Fundamental						
Harmonic Order (Odd Harmonics)						
ISC/IL	h < 11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20
Even harmonics are limited to 25% of the harmonic limits above.						

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่จำกัดค่าตามมาตราฐานของ IEEE Standard 519-1992 โดยพิจารณาที่แรงดันที่สูงกว่า 161 กิโลโวลต์

Maximum Harmonic Current Distortion in % of Fundamental						
Harmonic Order (Odd Harmonics)						
Isc/I_L	h<11	11 ≤h<17	17 ≤h<23	23 ≤h<35	35 ≤h	TDD
<50	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
≥50	3.00	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75
Even harmonics are limited to 25 % of the harmonic limits above						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ I_{SC} คือ ค่าของกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดต่อร่วมใดๆ (PCC) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.7

$$I_{SC} = \frac{MVA_{sc} x 1000}{\sqrt{3}\ x\ kv} \qquad (4.7)$$

โดยที่

MVA_{SC} คือ ค่าพิกัดของการลัดวงจร (short circuit capacity) ที่จุดต่อร่วม (PCC)

K_v คือ แรงดันระหว่างสาย

I_L คือค่ากระแสโหลดที่ได้จากการเฉลี่ยค่าของกระแสโหลดสูงสุดแต่ละเดือนในรอบ 12 เดือน

ฉะนั้นจะสามารถหาค่าของอัตราส่วนการลัดวงจร (Short circuit ratio) ที่สามารถคำนวณได้จาก I_{SC}/I_L ของแต่ละสายป้อน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับและค่า Total Demand Distortion (TDD) กับค่าจำกัดตามมาตรฐาน โดยค่า TDD สามารถ คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=max} h2}}{I_h} x\ 100 \qquad (4.8)$$

โดยที่ I_h คือกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับ

ส่วนเกณฑ์การพิจารณาแรงดันฮาร์โมนิคส์ตามมาตรฐาน IEEE Standard 519-1992 จะพิจารณาดังนี้

กำหนดค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับโดยขึ้นกับระดับแรงดันของระบบและ มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอันดับของฮาร์โมนิคส์

กำหนดค่า Total Harmonic Distortion ของแรงดันโดยขึ้นกับระดับแรงดันของระบบดังตาราง ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การกำหนดค่า Total Harmonic Distortion ของแรงดันโดยขึ้นกับระดับแรงดันของระบบ

Bus Voltage at PCC	Individual voltage Distortion (%)	Total voltage Distortion (%)
Below 69 kV	3.0	5.0
69kV 69 kV	1.5	2.5
138 kV and above	1.0	1.5

โดยค่า Total Harmonic Distortion ของแรงดัน (THDv) นี้ สามารถคำนวณได้จาก

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=max} h2}}{V1} \times 100 \qquad (4.9)$$

โดยที่

V_h คือค่าแรงดันฮาร์โมนิคส์แต่ละอับ

V_1 คือค่าแรงดันที่ความถี่หลักมูล

4.8 ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม จัดทำโดย คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย , การไฟฟ้านครหลวง และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งอ้างอิงจาก Engineering Recommendation G.5/3-1976 Limits for harmonics in the United Kingdom Electricity Supply System, ประเทศอังกฤษ มีขอบเขตดังนี้

1. เพื่อเป็นข้อกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับขีดจำกัด และวิธีการตรวจสอบฮาร์โมนิคส์สำหรับลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

2. เพื่อกำหนดมาตรการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าแก้ไขและปรับปรุงวงจรที่ทำให้เกิดฮาร์โมนิคส์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

3. เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งชนิดเฟสเดียวและสามเฟส

มีวัตถุประสงค์ เพื่อกำหนดขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของระดับความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์และระดับความเพี้ยนของกระแสที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์การกำหนดค่าจำกัดของปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับตามข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์ ขึ้นกับระดับแรงดันที่ใช้งานในระบบไฟฟ้า โดยค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับจะมีขนาดไม่คงที่ขึ้นกับอันดับของฮาร์โมนิคส์ที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวัดอันดับฮาร์โมนิคส์ในแต่ละอันดับ

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	MVAsc* * Base	อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms)																	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.4	10	48	34	22	56	1	10	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
2.2 and 4.2	100	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
33	500	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
69	500	8.5	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	1,000	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

ยอมให้นำค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 หรือ 0.5 A (ค่าที่มากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง) มาใช้กับขีดจำกัดของกระแสแต่ละอันดับได้ไม่เกิน 2 อันดับ

* *: หากค่า MVAsc ต่ำสุด ณ จุดต่อร่วมมีค่าแตกต่างจากค่า MVAsc Base ที่ระบุในตารางที่ 4.5 มาก ยอมให้ปรับค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบด้วยสมการ

I_h = ระแสฮาร์โมนิคส์ (A) ลำดับที่ h ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบ เมื่อค่า MVAsc เป็น MVAsc1

I_{hp} = กระแสฮาร์โมนิคส์ (A) ลำดับที่ h ที่กำหนดในตารางที่ 4.5

MVAsc1 = ค่า MVAsc ต่ำสุด ณ จุดต่อร่วมมีค่าไม่เท่ากับค่า MVAsc Base

MVAsc (Base) = ค่า MAVsc Base สำหรับค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ตามตารางที่ 4.5

ยอมให้ปรับค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมให้ไหลเข้าสู่ระบบ

กำหนดค่า Total Harmonic Distortion ของแรงดัน โดยขึ้นกับระดับแรงดันของระบบ ดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ในรูปของแรงดันอันดับคู่และอันดับคี่

ระดับแรงดันไฟฟ้า	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.4	5	4	2
11, 12, 22 and 24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 and above	1.5	1	0.5

4.9 วิธีการประเมิน ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

ขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์ แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

อุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟส

อุปกรณ์ประเภท Convertor หรือ A.C.Regulator ไม่เกิน 1 ตัว ที่จะนำเข้าระบบแรงดัน 0.400, 11, 12 kV หากมีขนาดไม่เกินตารางที่ 4.7 สามารถนำเข้าระบบได้โดยไม่ต้องพิจารณาในส่วนฮาร์โมนิคส์ แต่ถ้ามีอุปกรณ์หลายตัวให้พิจารณาใน ขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ 4.7 กฎเกณฑ์ฮาร์โมนิคส์ของ Convertor ชนิดต่าง ๆ เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม	Convertors ชนิด 3 เฟส			A.C. Regulator ชนิด 3 เฟส	
(kVA)	3-Pulse	6-Pulse	12-Pulse	6-Thyristor	3-Thyristor /
	(kVA)	(kVA)	(kVA)	(kVA)	3-Diode (kVA)
0.4	8	12	-	14	10
11 and 12	85	130	250	150	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ไฟฟ้า 1 เฟส เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีค่าตามมาตรฐาน IEC 1000-3-2 สามารถติดตั้งเข้าระบบได้

อุปกรณ์ประเภท Convertor **หรือ** A.C. Regulator **ที่ไม่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์อันดับคู่** (Even Harmonic Current) **สามารถนำเข้าระบบได้ โดยอุปกรณ์ต้องมีขนาดตามที่กำหนดคือไม่เกิน** 5 kVA **ที่ระดับแรงดัน** 230 V **อุปกรณ์ประเภท** Convertor **หรือ** A.C. Regulator **ที่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ทั้งอันดับคู่ และอันดับคี่ จะไม่อนุญาตให้นำเข้าระบบ หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ประเภท** Convertor **หรือ** A.C.Regulator **สำหรับ** Single-Phase **อยู่แล้ว แต่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มขึ้น อนุญาตให้ทำได้หากมีการติดตั้งที่เฟสอื่น ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดการสมดุลของอุปกรณ์ประเภท** Non-Linear Load

แต่หากต้องการติดตั้งอุปกรณ์มากกว่าหนึ่งตัวต่อเฟส ให้พิจารณาตามขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2

อุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟส อุปกรณ์ที่มีขนาด (Size) เกินขอบเขตจำกัดในขั้นตอนที่ 1 สามารถนำเข้าระบบได้ก็ต่อเมื่อ

1 ระบบของผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องไม่สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Current) ที่จุดต่อร่วมเกินค่าขีด จำกัดในตารางที่ 4.5

2 ค่าแรงดันฮาร์โมนิคส์ที่จุดต่อร่วมก่อนที่จะต่อเชื่อมโหลดใหม่จะต้องมีค่าไม่เกิน 75% ของค่าขีด จำกัดในตารางที่ 4.6

3 ค่า short-circuit Level ต้องมีค่าไม่ต่ำมาก

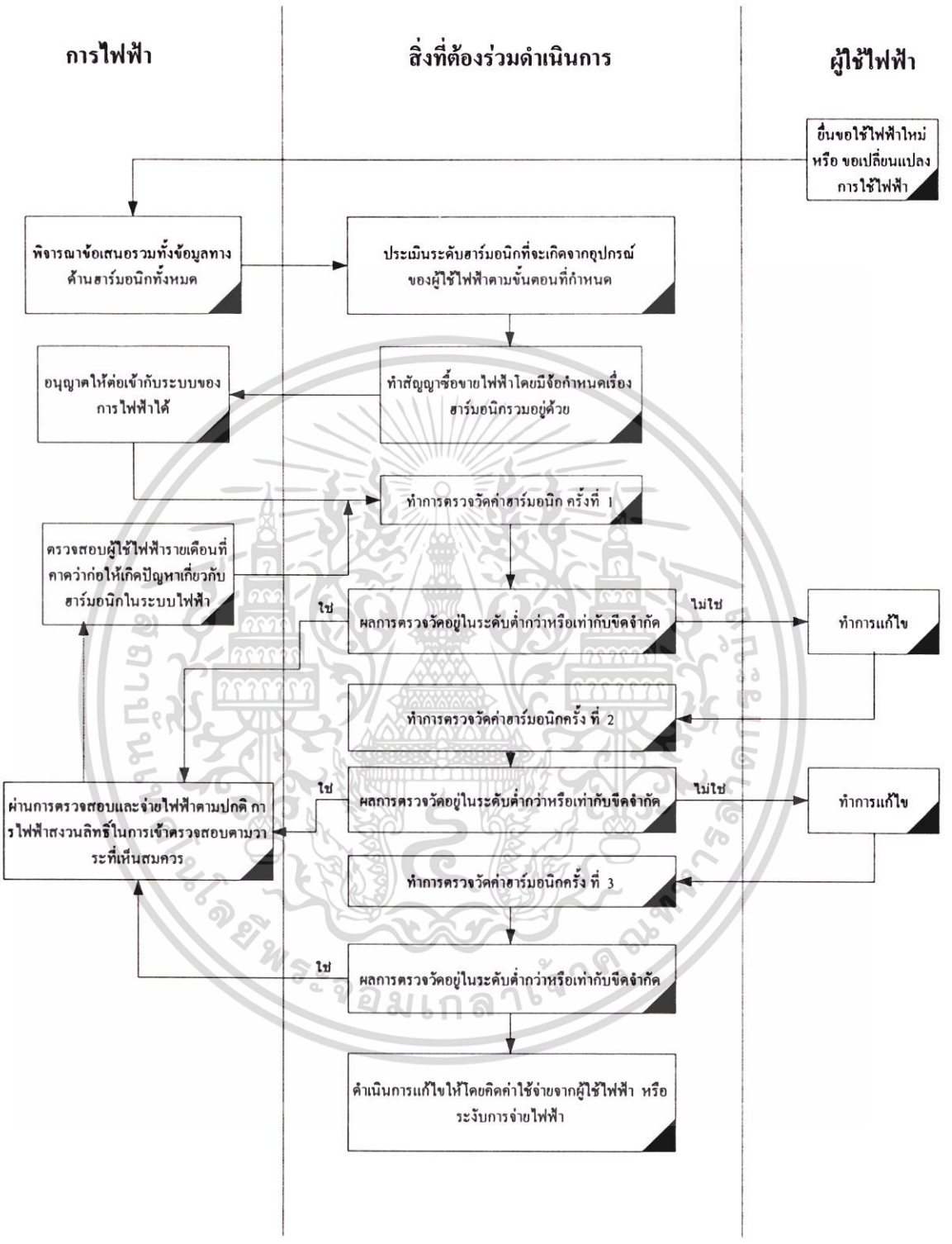
อุปกรณ์ไฟฟ้า 1 เฟส

อุปกรณ์ที่เกินขีดจำกัดในขั้นตอนที่ 1 ไม่อนุญาตให้ต่อเข้ากับระบบ การติดตั้งอุปกรณ์ 1 เฟส จะต้องสอดคล้องกับขีดจำกัดแรงดันไม่สมดุลตาม Engineering Recommendation P.16 จึงจะสามารถนำเข้าระบบได้

ขั้นตอนที่ 3

อุปกรณ์ประเภท Non-Linear **ที่ไม่ผ่านการพิจารณาตาม ขั้นตอนที่ 2 หรือที่จุดต่อร่วมของระบบมีค่าแรงดันฮาร์โมนิคส์** (Harmonic Voltage) **เกิน** 75% **ของค่าในตารางที่** 4.5 **ให้พิจารณาค่าฮาร์โมนิคส์ที่สามารถยอมรับอุปกรณ์เหล่านั้นเข้าระบบได้ตาม- ภาคผนวก** 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



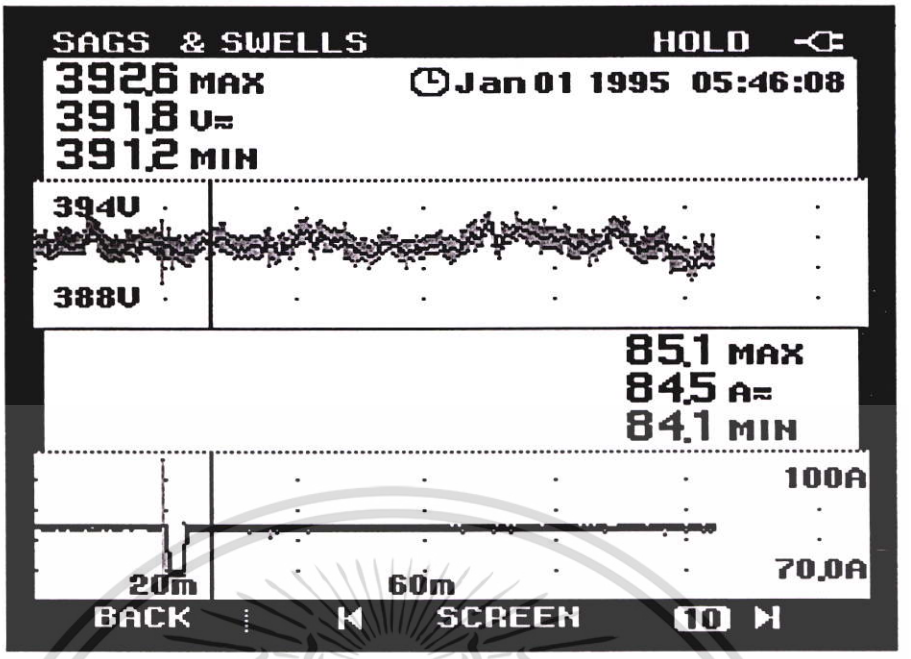
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนในการตรวจสอบทางการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

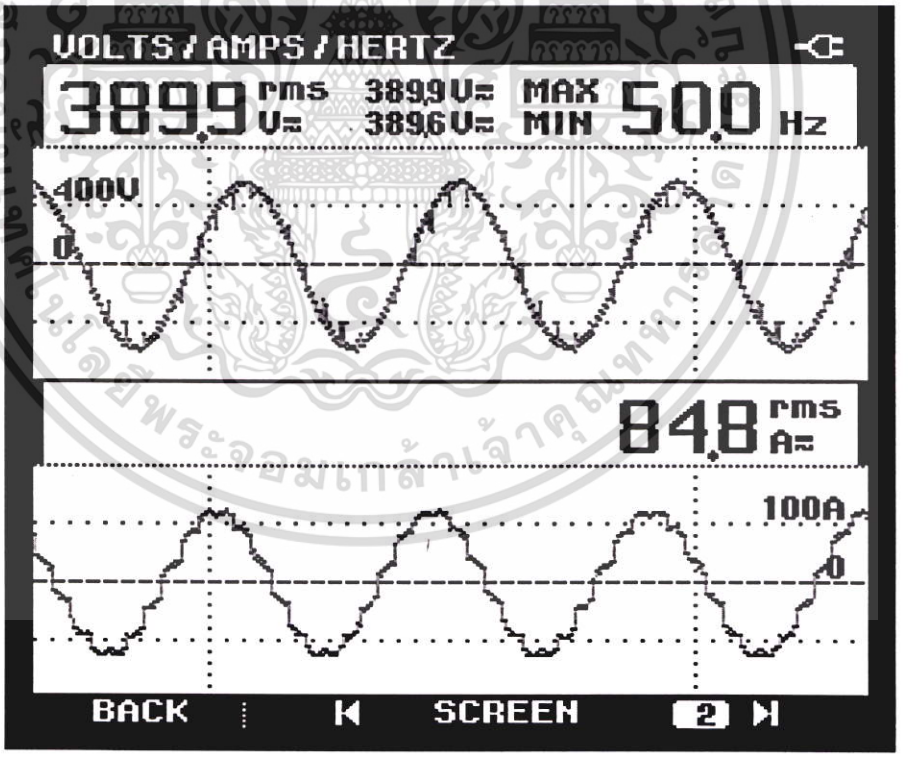
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าในการตรวจวัดในแต่ละอันดับของฮาร์โมนิคส์ ณ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

Harmonics No.	Amp. (L1)	Amp. (L2)	Amp. (L3)	Amp.(N)
1	78.3	77	78	1.14
2	25	1	0.9	0.04
3	0.4	1.5	1.8	0.23
4	0.5	0.3	0	0.02
5	2.2	2	2.8	0.32
6	0	0	0	0
7	1.2	1.1	1.2	0.03
8	0.2	0.1	0.1	0.01
9	0.1	0.1	0.2	0.02
10	0	0	0	0.01
11	5.1	5.3	4.6	0.31
12	0	0	0	0
13	2.4	1	2	0.15
14	0	0	0	0
15	0.1	0.1	0	0.04
16	0	0	0	0.9
17	0.5	0.4	0.6	0.04
18	0	0	0	0
19	0.03	0.2	0.3	0.02
20	0.1	0	0	0
21	0	0	0.1	0.04
22	0	0	0	0.01
23	0	1.3	0.5	0.06
24	0.8	0	0	0
25	0.5	0.2	0.3	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

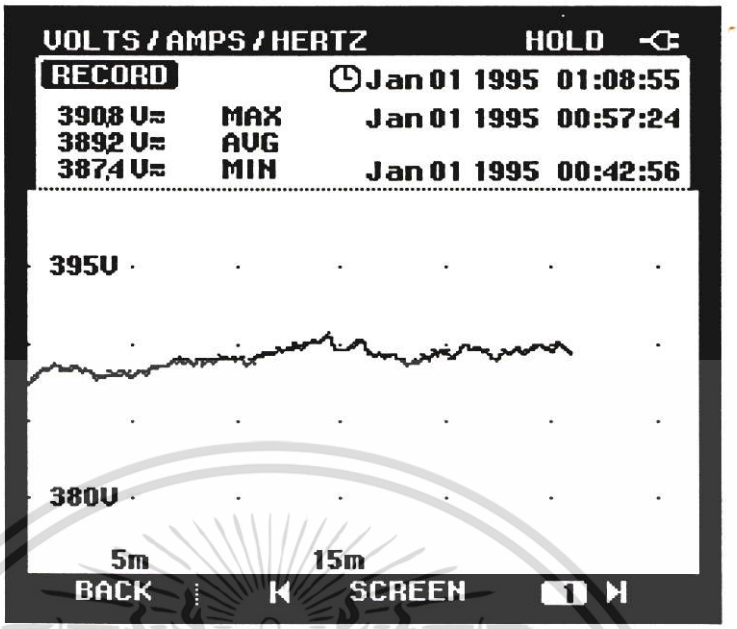


รูปที่ 4.6 ค่าที่ได้จากการตรวจวัดของแรงดัน ตก ได้จาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

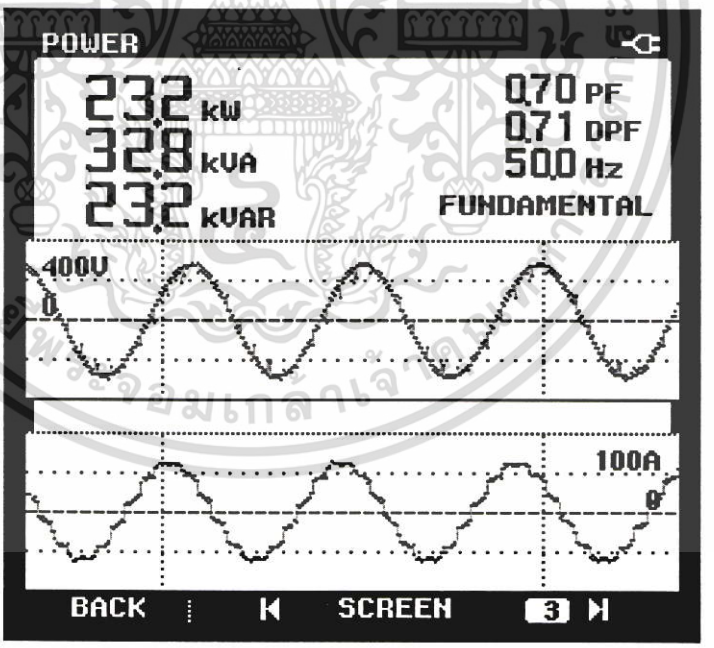


รูปที่ 4.7 ค่าแรงดัน และ ค่ากระแส ที่วัดได้จากแหล่งจ่าย ไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

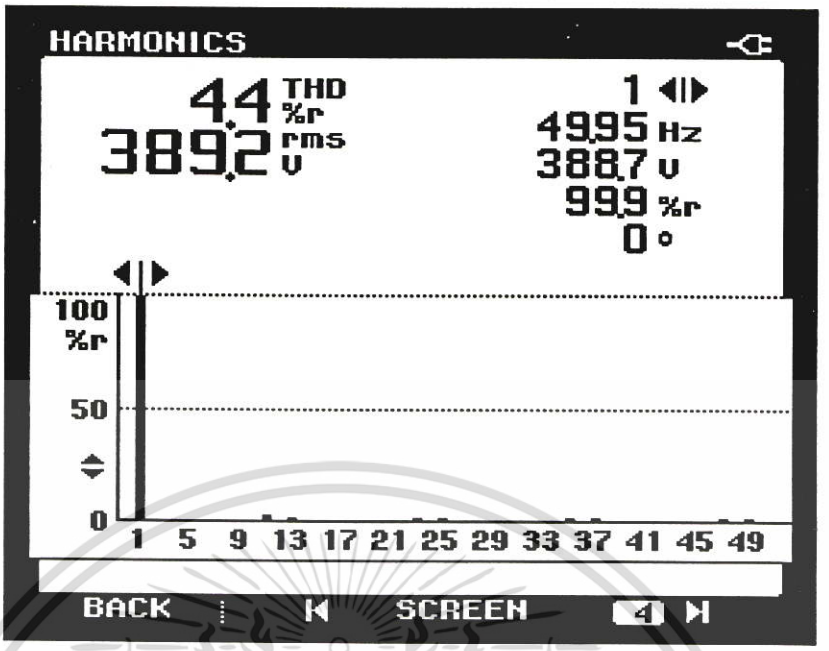


รูปที่ 4.8 (ก) ค่าแรงดัน ที่ได้จากการบันทึก ในการตรวจวัดฮาร์โมนิคส์



รูปที่ 4.9 (ข) ค่าแรงดันที่บันทึกได้ ในการตรวจวัดฮาร์โมนิคส์ เทียบกับค่า power factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่าแรงดันฮาร์โมนิคส์ แสดงอยู่ในรูปของ สเปคตรัม

ตารางที่ 4.9 การสรุปผลการเปรียบเทียบที่สายป้อนเข้าชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับค่ากำหนดในมาตรฐาน

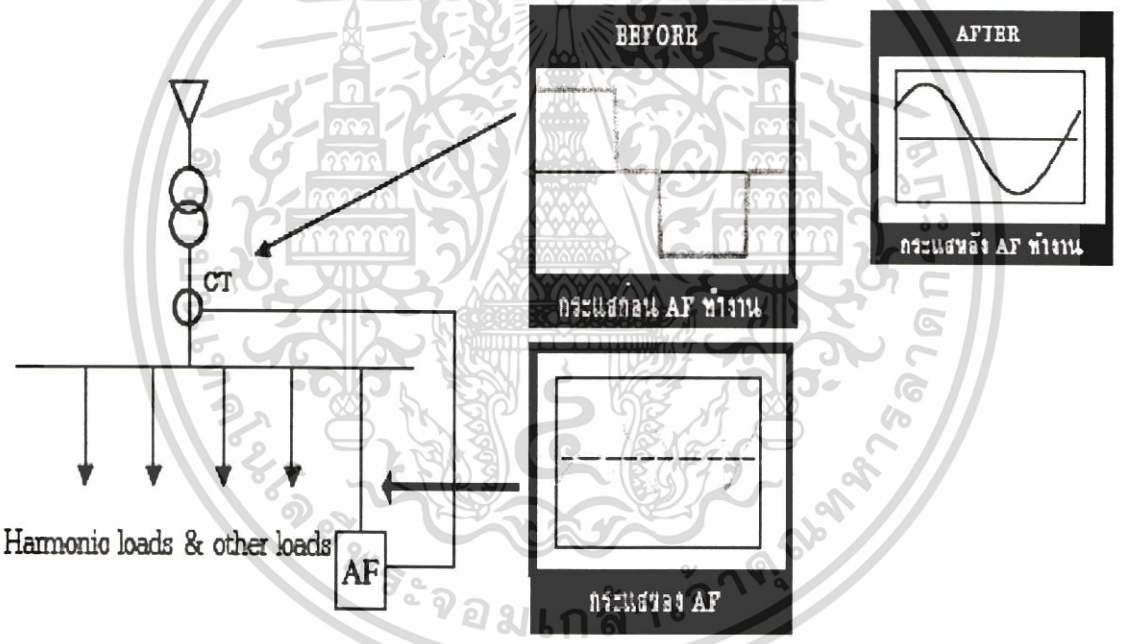
จำนวนสถานี	ชื่อสถานี	ลักษณะการจ่ายโหลด	รายละเอียด	หมายเหตุ
1	ชุมสายพระโขนง	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์มีฮาร์มอนิกที่ 3 เล็กน้อย	Fixe Line
2	ชุมสาย เพรชบุรี	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์มีฮาร์มอนิกที่ 11 เล็กน้อย	Fixe Line
3	ชุมสายสมุทรปราการ	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Fixe Line
4	ชุมสายเอกชัย	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Fixe Line
5	ชุมสายประเวศ	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Fixe Line
6	ชุมสาย เพลินจิต	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์มีฮาร์มอนิกที่ 3,7,9,11 เล็กน้อย	Fixe Line
7	ชุมสายหลักสี่	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์มีฮาร์มอนิกที่ 3 เล็กน้อย	Fixe Line
8	ชุมสายลาดหญ้า	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์มีฮาร์มอนิกที่ 3,7,9 เล็กน้อย	Fixe Line
9	ชุมสายวัดชัยมงคล	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Fixe Line
10	ชุมสาย ปากั่น	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
11	ชุมสาย ลูกเสือโลก	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
12	ชุมสายเพรรสยาม	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
13	ชุมสายวัดเขานันทา	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
14	ชุมสายบ้านคลองสามบาท	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
15	ชุมสาย นาดี	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
16	ชุมสายบ้านนา	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
17	ชุมสายท่าตูม	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
18	ชุมสาย โคกมัน	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
19	ชุมสายท่าเรือแหลมงอบ	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
20	ชุมสายแยกบางประกง	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์	Mobile Exchange
21	ชุมสาย ทับกวาง	จ่ายโหลด ชุมสาย	ค่าอยู่ในเกณฑ์มีฮาร์มอนิกที่ 7,11 เล็กน้อย	Mobile Exchange
22	ชุมสาย ปักธงชัย	จ่ายโหลด ชุมสาย	มีฮาร์มอนิก ที่ 3 , 7 ทำให้อุปกรณ์ตัดตอน trip บ่อย	Mobile Exchange
23	ชุมสาย บางควาย	จ่ายโหลด ชุมสาย	มีฮาร์มอนิก ที่ 3 , 7 ทำให้อุปกรณ์ตัดตอน trip บ่อย	Mobile Exchange

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
หลักการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์

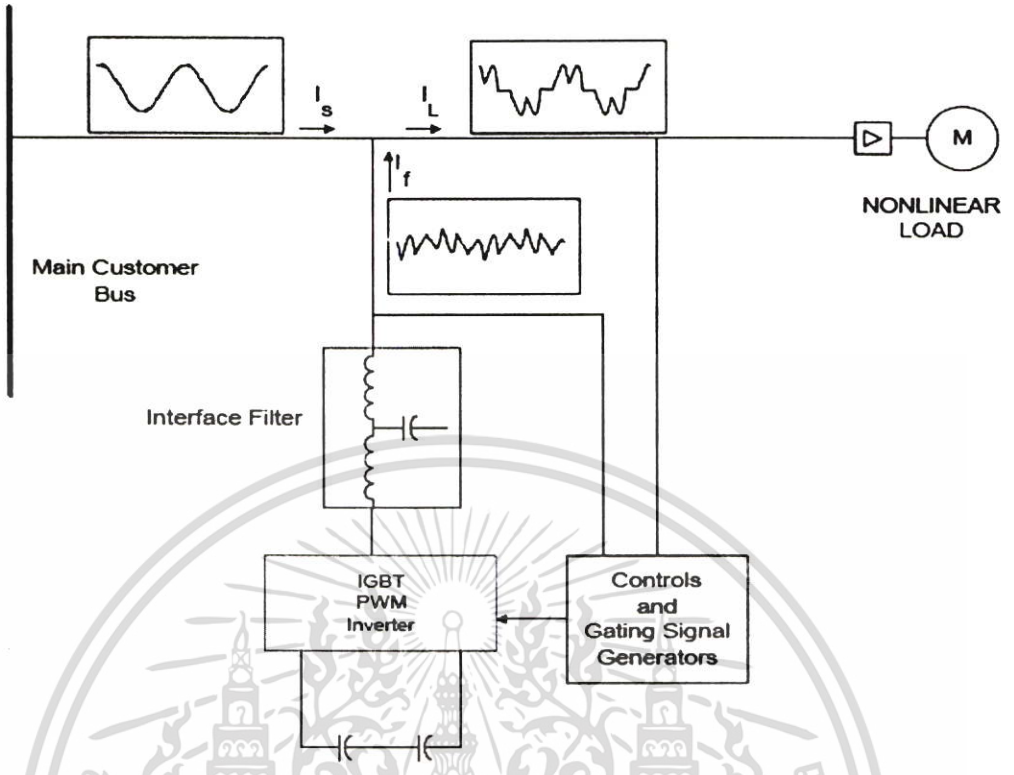
การใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ สามารถวัดและวิเคราะห์ฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้า และกรองฮาร์โมนิคส์ออกจากระบบไฟฟ้าโดยตรง ตรวจสอบผลการกรองฮาร์โมนิคส์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการตลอดเวลา

ภายหลังการติดตั้งและใช้งาน แอคทีฟฟิลเตอร์ จะกรองฮาร์โมนิคส์ออกจากระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการตลอดเวลา โดยปรับปริมาณการกรองตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดอัตโนมัติ และมีการตรวจสอบการทำงานของตัวเองตลอดเวลาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสูงสุด

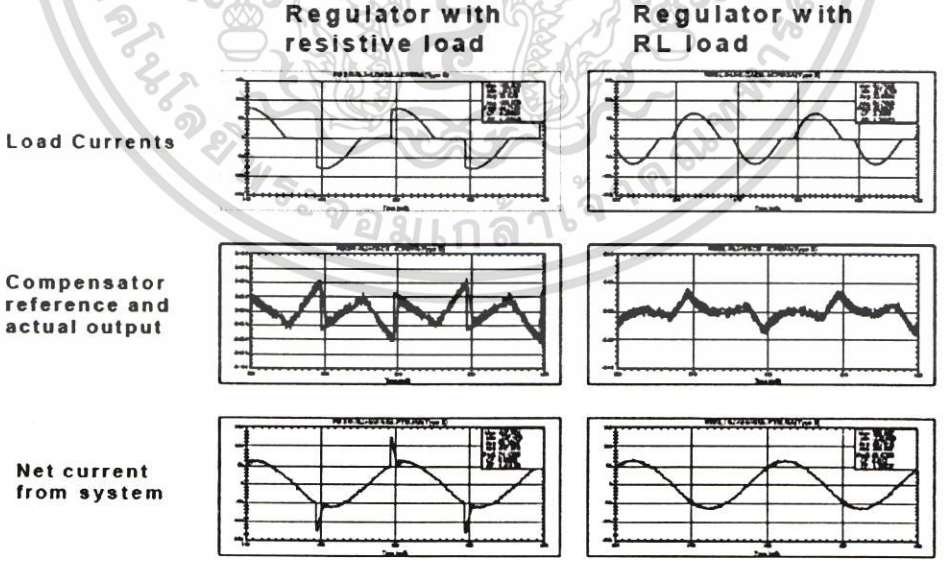


รูปที่ 5.1 แสดงหลักการนำเอา แอคทีฟฟิลเตอร์ไปต่อใช้ในระบบเพื่อปรับแก้ฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงไดอะแกรมของการต่ออุปกรณ์แอคทีฟฟิลเตอร์ในแบบขนาน กับการ หักล้างฮาร์โมนิคส์ออกจากระบบโดยพิจารณาจากรูป



รูปที่ 5.3 แสดงรูปเปรียบเทียบของแอคทีฟฟิลเตอร์ต่อโหลด

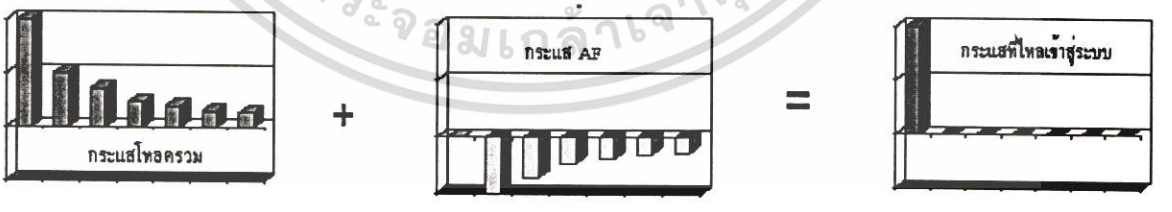
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1, 5.2, 5.3 แสดงผลของทิศทางกระแสฮาร์โมนิคส์ กับ แหล่งต้นกำลัง

ตามรูปที่ 5.2 แอคทิฟฟิลเตอร์จะวัดกระแสโหลดทั้งหมดที่ไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าผ่าน CT ธรรมดา แล้วทำการแปลงสัญญาณที่ได้จากอนาลอคเป็น ดิจิตอลเพื่อใช้ในการคำนวณโดย ไมโครโปรเซสเซอร์ ภายหลังการวิเคราะห์ฮาร์โมนิคส์ด้วยตัวแอคทีฟฟิลเตอร์เองแล้ว แอคทีฟฟิลเตอร์จะสร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ขึ้นมาจำนวนหนึ่งให้มีปริมาณเท่ากับกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ตรวจวัดได้แล้วจ่ายกระแสฮาร์โมนิคส์เหล่านี้เข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยให้มีมุมเหสต่างกัน 180 อาศา กระแสฮาร์โมนิคส์ที่แคคทีฟฟิลเตอร์จ่ายเข้าไปในระบบจะหักล้างกับกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีในระบบไฟฟ้าพอดีจนเหลือเพียงกระแสธรรมดา (50 Hz) ที่ปราศจากฮาร์โมนิคส์ไหลเข้าระบบไฟฟ้าเท่านั้น

ในทางปฏิบัติแอคทีฟฟิลเตอร์จะจัดการกับฮาร์โมนิคส์ในเชิงตัวเลขหรือระบบดิจิตอลโดยใช้ทฤษฎี FFT (Fast Fourier Transform) เพื่อแปลงรูปคลื่นฮาร์โมนิคส์ให้เป็นสเปคตรัม (Spectrum) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแอคทีฟฟิลเตอร์สร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ขนาดเท่ากับฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นให้มีเฟสตรงข้ามกันส่งผลให้กระแสฮาร์โมนิคส์ถูกหักล้างไปหมดจนเหลือเพียงกระแส 50 Hz ไหลเข้าสู่ระบบ หรือ สามารถบอกได้ว่าแอคทีฟฟิลเตอร์เป็นเสมือนเครื่องกำเนิดที่สามารถโปรแกรมได้ โดยตัวมันเอง (Self generate) และเพื่อให้ปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่ไหลเข้าระบบไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการตลอดเวลาแอคทีฟฟิลเตอร์ จะตรวจสอบกระแสฮาร์โมนิคส์ภายหลังการกรองเปรียบเทียบกับมาตราฐานฮาร์โมนิคส์ที่เราเลือกไว้แล้วควบคุมให้ปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่ไหลเข้าระบบไฟฟ้าอยู่ภายในขอบเขตของมาตราฐานนี้ ไม่ว่าปริมาณโหลดที่สร้างฮาร์โมนิคส์และโหลดอื่นๆ มากน้อยแค่ไหนก็ตาม

กระบวนการทำงานที่ซับซ้อนของแอคทีฟฟิลเตอร์ สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่เกิน 0.04 วินาที



รูปที่ 5.4 แสดงหลักการหักล้างกระแสฮาร์โมนิคส์โดยใช้ค่ากระแส AF

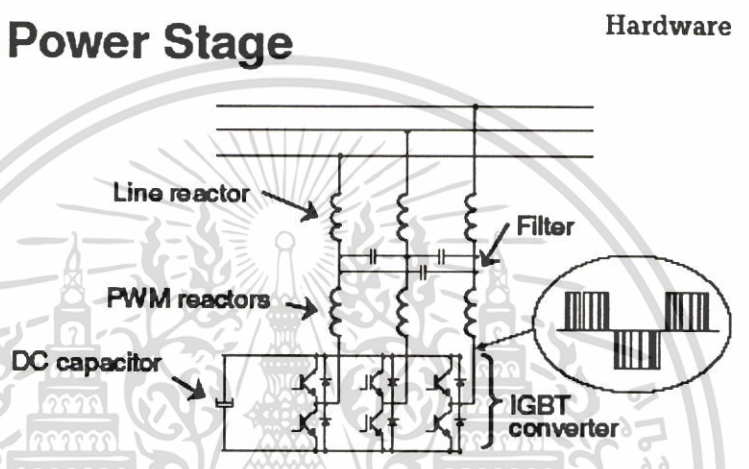
5.1 โครงสร้างภายในแอคทีฟฟิลเตอร์

1. DC คาแพซิเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็น DC bus เพื่อสร้างระดับไฟตรงอ้างอิง
2. IGBT ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้า DC จาก DC bus ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า AC ความถี่สูงโดย DC คาแพซิเตอร์ และ IGBT รวมกันเป็นเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมให้จ่ายแรงดัน AC ที่มีความถี่ ขนาด และมุมเฟสตรงตามต้องการได้ แรงดัน AC ความถี่สูงที่ได้จะเป็นผลรวมของแรงดันฮาร์โมนิคส์หลาย ๆ ฮาร์โมนิคส์รวมกันซึ่งถูกโปรแกรมจากไมรโครโปรเซสเซอร์อีกต่อหนึ่ง

3. รีแอคเตอร์ ทำหน้าที่เชื่อมต่อชุด DC คาแพซิเตอร์และ IGBT กับระบบไฟฟ้า หรืออีกนัยหนึ่งคือ เป็นตัวแปลงแหล่งจ่ายแรงดันให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสนั่นเอง โดยกระแสที่ได้จะเป็นกระแสฮาร์โมนิคส์หลาย ๆ ฮาร์โมนิคส์รวมกัน เมื่อจ่ายเข้าสู่ระบบ แล้วจะหักล้างกับกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีในระบบ



รูปที่ 5.5 โครงสร้างภายในแอคทีฟฟิลเตอร์

5.2 การควบคุมการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์

มีหลักการดังนี้

1. แอคทีฟฟลิเตอร์จะทำการแปลงสัญญาณกระแสอานาลอคจาก CT เป็นสัญญาณ ดิจิตอล

2. DSP (Digital Signal Processor) จะทำหน้าที่วิเคราะห์ฮาร์โมนิคส์โดยใช้ FFT เพื่อตรวจอันดับของฮาร์โมนิคส์ และ ปริมาณ และจากนั้นวงจรจะคำนวณปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่ต้องการเพื่อใช้หักล้างที่ทุกๆ ฮาร์โมนิคส์ห ให้ผ่านเกณฑ์ที่ต้องการแล้วส่งสัญญาณต่อให้กับชุดควบคุม IGBT

3. Microcontroller ทำหน้าที่เชื่อมต่อการทำงานระหว่างผู้ใช้งานกับแอคทีฟฟิลเตอร์โดยผู้ใช้งานสามารถสั่งงานและโปรแกรมแอคทีฟฟิลเตอร์ผ่านแป้นพิมพ์ และจอภาพของแอคทีฟฟิลเตอร์ได้นอกจากนี้จอภาพยังใช้แสดงสภานะการทำงานแสดงผลการกรองฮาร์โมนิคส์ ทั้งในรูปของตัวเลข ตาราง และรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

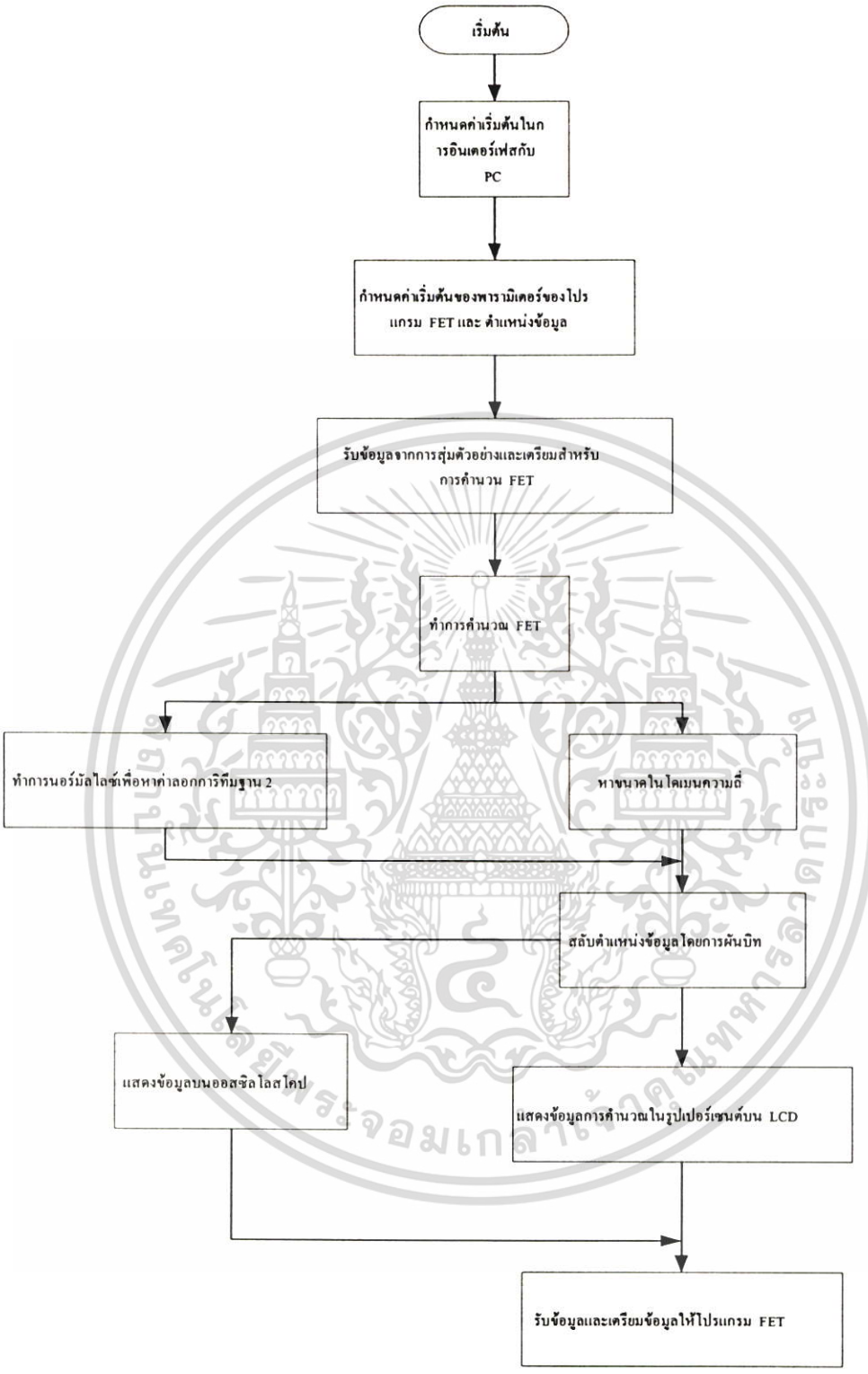
อุปกรณ์การวัดสัญญาณฮาร์โมนิคส์ (Harmonics Measuring)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณจะมีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบ แต่ทุกๆ วิธีจะใช้หลักการอันเดียวกันโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า การแปลงฟาสต์ฟูเรียร์ หรือ FFT (Fast Fourier Transform) จะสามารถนำหลักการไปใช้ได้ทั้งแรงดันและกระแส และประยุกต์เข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ ในการประมาวผลการวิเคราะห์ซึ่งตัวของไมโครโปรเซสเซอร์นี้จะรับรู้ลักษณะสัญญาณในรูปของแรงดันภายในค่าจำกัดเท่านั้น และแสดงออกทางจอ Display หรือในรูปแบบต่างๆ จากเครื่องมือวัดต่างๆ สามารถนำมาสร้างและพัฒนาเพื่อให้เกิดความคล่องตัวและดัดแปลงให้อยู่ในรูปของ ซอฟแวร์บน PC ได้ และนำไปใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ ปริมาณ ขนาด และวิธีการป้องกันที่สามารรถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมการพัฒนาเพื่อช่วยในการวัดและวิเคราะห์ ดัง ผังเพื่อใช้ในการคำนวณ

5.3 ขั้นตอนการประมาลผลตามผังการทำงานในรูปโปรแกรมคำนวณ

โดยเริ่มจากค่าเริ่มต้นเพื่อประกอบในการคำนวณในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ พอร์ต ไปยังตัวแปลงสัญญาณมาเพื่อเป็นอินพุตสำหรับการคำนวณ และเริ่มกำหนดค่าเริ่มต้นตัวแปรต่างๆ หรือ พารามิเตอร์ใช้ในการคำนวนของโปรแกรม FFT ทำการคำนวณและแสดงผลในรูปของ ภาพ หรือ กราฟ จากขั้นตอนดังกล่าวจะลูป ข้อมูลไปเลื่อยๆ ของข้อมูลที่เข้ามาและคำนวนมาในรูปต่างๆ จากขั้นตอนดังกล่าวเป็นหลักการทั่วไปที่สามรถนำมาพัฒนามาใช้ร่วมกับ ซอร์ฟแวร์เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ รวดเร็วและแม่นย่ำขึ้น จากผังแผนการแสดง สามารถใช้เป็นแนวทางและหลักในการคำนวณต่อไปที่จะนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 การทำงานของโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของ-filter แต่ละชนิดในการเลือกใช้

คุณสมบัติ	Passive Filters	Active Filters
การกำจัดฮาร์มอนิก	สามารถแยกกำจัดแต่ละอันดับได้ แต่ต้องติดตั้งวงจรกรองเรียงตั้งแต่อันดับต่ำเสมอเพื่อป้องกันการเรโซแนนซ์	สามารถแยกกำจัดอันดับใดๆ ได้ (ไม่ต้องเรียง) หรือ จะกำจัดหมดก็ได้
ขนาด	ใหญ่	เล็กกว่า
ความสามารถในการกำจัดฮาร์มอนิก	ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย โดยออกแบบให้ค่า Q สูง	ไม่ขึ้นกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย กำจัดฮาร์มอนิกอันดับสูงได้ไม่ดี
ความเปลี่ยนแปลงของความถี่แหล่งจ่าย	คุณสมบัติการกรองลดลง โดยเฉพาะเมื่อค่า Q สูง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
การเพิ่มของปริมาณฮาร์มอนิก	ทำให้เกิดโหลดเกิน เกิดความร้อนและเสียหายได้ การเพิ่มขนาดกำลังโดยการขนานวงจรกรองต้องระวังเรื่องการแบ่งโหลด	ไม่เกิดการโหลดเกิน และสามารถเพิ่มขนาดกำลังได้ง่าย โดยเพิ่มเฉพาะในส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์
ปริมาณกำลังงานรีแอกทีฟ	จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟเสมอ ซึ่งอาจเกินความต้องการ	เลือกให้จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟ หรือ ไม่จ่ายก็ได้ ตามที่ผู้ใช้กำหนด
กำลังงานสูญเสีย	น้อย	มากกว่า (ประสิทธิภาพมากกว่า 90%)
ราคา	ถูกกว่า	แพงกว่า
ปัญหาเรโซแนนซ์กับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย	อาจเกิดเรโซแนนซ์แบบขนาน เมื่อมองจากโหลด หรือ เกิดเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเมื่อมองจากแหล่งจ่าย ทำให้เกิดกระแสและแรงดันเกินในวงจรกรอง	ไม่มี
การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ของระบบ	ต้องวิเคราะห์อย่างละเอียด	โดยทั่วไปไม่จำเป็น
การออกแบบ	เป็นกรณีๆ	ใช้ได้ทันทีไม่ต้องออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การปรับแก้ฮาร์โมนิคส์ในรูปแบบต่างๆ

การแก้ปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์ กระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบไฟฟ้า สามารถควบคุมได้หลายวิธี คือ

1. เปลี่ยนตำแหน่งที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์ และ หรือเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์ การที่ระบบไฟฟ้ามีปัญหาฮาร์โมนิคส์นั้น ส่วนใหญ่เนื่องจากระดับฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์ของระบบใกล้กับระดับฮาร์โมนิคส์ที่แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ผลิตออกมา เช่น 5, 7, 11, 13 สำหรับคอนเวอร์เตอร์ แบบ 6 พัลส์ เป็นต้น เนื่องจากระดับฮาร์โมนิคส์รีโซแนนซ์

$$n = \sqrt{\frac{Ssc}{Qc}} \qquad (6.1)$$

ถ้าเราเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งของคาปาซิเตอร์ให้ไกลจากขั้วหม้อแปลงทางด้านแรงต่ำ จะสามารถลดค่า Ssc ลง ทำให้ค่า n ลดลงด้วย การลด หรือ การเพิ่มขนาดของคาปาซิเตอร์ Qc ก็ทำให้ค่า n เพิ่มหรือ ลดลงด้วย แต่ต้องคำนึงถึง ค่า PF ด้วย การแก้ฮาร์โมนิคส์วิธีนี้ ใช้กับระบบที่มีอุปกรณ์ที่ผลิตฮาร์โมนิคส์ออกมามาก

2. การทำเฟสมัลติพลิเคชั่น (Phase Multiplication) ถ้าคอนเวอร์เตอร์มีจำนวนเฟส หรือพัลส์สูง ฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นระดับสูง และมีปริมาณน้อย ดังนั้น จึงควรเลือกคอนเวอร์เตอร์ที่มีพัลส์สูง ๆ หรือ นำ คอนเวอร์เตอร์แบบ 6 พัลส์ หลาย ๆ ชุดมาต่อกับผ่านหม้อแปลงที่มีมุมต่างกัน 15° คือ $\Delta\Delta$ และ ΔY

3. ชั้นต์ฟิลเตอร์ (Shunt Filter) เมื่อเกิดปัญหาฮาร์โมนิคส์จนกระทั่งสองวิธีที่กล่าวมาใช้ไม่ได้ผลแสดงว่า เกิดรีโซแนนซ์ระหว่างระบบกับคาปาซิเตอร์ที่ระดับฮาร์มอนิกใกล้กับความถี่ฮาร์โมนิคส์ที่แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์ผลิดออกมามาก (ตามปกติ คือระดับฮาร์โมนิคส์ ที่ 5, 7,11,13 เป็นต้น) ทำให้เกิดภาวะโหลดเกินทั้งกระแส และแรงดันที่ตัวคาปาซิเตอร์ วิธีแก้ปัญหาที่แน่นอนที่สุด คือ การใช้ฟิลเตอร์โดยการนำตัวเหนี่ยวนำ (Reactor) มาต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์เพื่อปรับความถี่รีโซแนนซ์ โดยฟิลเตอร์จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- ดีจูนฟิลเตอร์ (Detuned filter) จะปรับรีแอคเตอร์ให้เกิดรีโซแนนซ์อนุกรม กับคาปาซิเตอร์ที่ความถี่ต่ำกว่าระดับฮาร์โมนิคส์ต่ำสุดที่มีในระบบปกติ คือ ฮาร์โมนิคส์ที่ 5 โดยทั่วไปจะใช้ฟิลเตอร์ที่มีค่าอินดักแตนซ์ 4.5-7 % ของค่ารีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ดีจูนฟิลเตอร์กระแสฮาร์โมนิคส์จะไหลเข้าฟิลเตอร์น้อย แต่จะไหลเข้าทางด้านแรงสูงของระบบมาก

- จูนฟิลเตอร์ (Tuned Filter) ใช้เมื่อต้องการให้กระแสฮาร์โมนิคส์ไหลเข้าฟิลเตอร์ทั้งหมด โดยปรับค่ารีแอคเตอร์ให้เกิดรีโซแนนซ์ อนุกรม กับค่าคาปาซิเตอร์ ที่ตรงกับระดับฮาร์โมนิคส์ที่มีในระบบไฟฟ้า

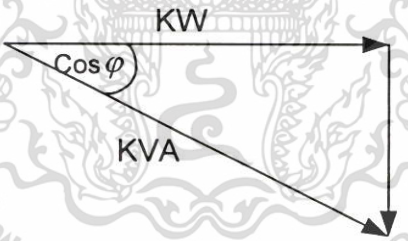
6.1 การปรับปรุงค่า POWER FACTOR

สาเหตุของการปรับปรุงค่า POWER Factor

กำลังงานทางไฟฟ้ากระแสสลับที่แหล่งจ่ายให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถแบบแยกได้เป็น 2 ส่วนคือ

- กำลังไฟฟ้าจริง (Real or Active Power) เป็นกำลังไฟฟ้า ที่ใช้งานจริง เช่น เปลี่ยนเป็นความร้อนแสงสว่าง หรือ ขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ มีหน่วยเป็น W หรือ KW

- กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) เป็น พลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กในอุปกรณ์ที่ทำงาน โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ Coil ต่างๆ มีหน่วยเป็น VAR หรือ KVAR กำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนสามารถรวมเข้าด้วยกันทางเฟสเซอร์ (Phassor) เป็น กำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent power) มีหน่วยเป็น VA หรือ KVA ดังรูปด้านล่าง



$$KVA = \sqrt{(KW)2 + (KVAR)2} \tag{6.2}$$

ค่า Power Factor (Cosφ) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Cos } \varphi = \frac{KW}{\sqrt{(KW)2 + (KVAR)2}} \tag{6.3}$$

จากสูตรข้างต้น เราสามารถปรับค่า Cos φ ให้สูงขึ้นได้โดยวิธีลดการใช้ KVAR ให้น้อยลงซึ่งสามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะมาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า Reactive (KVAR) ให้แก่ load เดิม Capacitor เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า Reactive โดยที่ตัวของมันเองต้องการกำลังไฟฟ้าจริง (KW) เป็นจำนวนน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่า Power Factor

เมื่อทำการปรับปรุง PF ให้มีค่าสูงขึ้นแล้ว จะได้ประโยชน์หลายประการดังนี้

- ระบบไฟฟ้าสามารถปรับ load ได้เพิ่มขึ้น เมื่อปรับปรุง PF ของระบบสูงขึ้นแล้วกระแสของระบบจะลดลง นั่นคือ KVA ของ load รวมลดลง ทำให้ระบบสามรถจ่าย load ได้มากขึ้น ทั้งนี้ เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องกำเนินไฟฟ้า หม้อแปลง และสายไฟฟ้า เป็นต้น มีพิกัดเป็นกระแสหรือ KVA

- ระบบแรงดันดีขึ้น แรงดันตกระหว่างสายของระบบไฟฟ้า 3 เฟส หาได้จากสูตร

$$\Delta V = \sqrt{3} \text{ X I x (R Cos } \varphi + \text{X Sin } \varphi \text{)} \qquad (6.4)$$

โดยที่ I = กระแสสาย (A)

R = ความต้านทานทางเดียว (Ω)

X = รีแอคแต้นซ์ทางเดียว (Ω)

φ = มุมของ PF

เมื่อปรับปรุง PF ให้สูงขึ้น I จะลดลง φ มีค่าเล็กลงทำให้ V มีค่าลดลง

- แรงดันตกในหม้อแปลง จะลดลง เมื่อ PF สูงขึ้น แรงดันทางด้านทุติยภูมิ ของหม้อแปลงจะเพิ่มขึ้นตามสูตร

$$\%V \text{ (เพิ่มขึ้น)} = \frac{\text{ขนาดพิกัดคาปาซิเตอร์ x \% อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง}}{\text{ขนาดพิกัดหม้อแปลง}}$$

$$= \frac{\text{KVAR x } U_k}{\text{KVA}} \qquad (6.5)$$

- กำลังสูญเสียของระบบลดลง กำลังสูญเสียในตัวนำไฟฟ้า ของระบบเป็นสัดส่วนกลังสองของกระแส และ เมื่อปรับปรุง PF ให้สูงขึ้น กระแสจะลดลง ดังนั้น กำลังสูญจึงเป็นสัดส่วนกลกลับกับ PF กำลังสอง

$$\% \text{ กำลังสูญ} = 100 \text{ x} \left| \frac{\text{PF. ก่อนทำการปรับปรุง}}{\text{PF หลังทำการปรับปรุง}} \right| 2 \qquad (6.6)$$

$$\% \text{ กำลังสูญลดลง} = 100 \text{ x } 1 - \left| \frac{\text{PF.1}}{\text{PF.2}} \right| 2 \qquad (6.7)$$

$$\text{กำลังสูญใหม่} = \text{กำลังสูญที่ PF1} \left| 1 - \left| \frac{\text{PF.1}}{\text{PF.2}} \right| 2 \right| \qquad (6.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PF.1 = ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก่อนทำการปรับปรุง

PF.2 = ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์หลักทำการปรับปรุง

- กำลังสูญเสียในสายไฟลดลง กำลังสูญในสายไฟเราหาได้จากสมการ

ในระบบ 1 เฟส กำลังสูญ = 2 x I2 x R

ในระบบ 3 เฟสกำลังสูญ = 3 x I2 x R

โดยที่ I = กระแสที่ไหล (A)

R = ความต้านทานทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)

- กำลังสูญเสียในหม้อแปลงลดลง กำลังสูญเสียในหม้อแปลงประกอบด้วย
- กำลังสูญไม่มี load (no load loss) หมายถึง กำลังสูญขณะที่หม้อแปลงยังไม่จ่าย load กำลังนี้เกิดในแกนเหล็ก เรียกว่า Iron loss ซึ่งประกอบด้วย Hysteresis และ eddy current loss
- กำลังสูญเนื่องจาก load (load loss) หรือ Copper loss หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูญเนื่องจากกระแสไหลผ่านขดลวดของหม้อแปลง กำลังสูญนี้จะแปรตามกระแสกำลังสองเมื่อปรับปรุง PF ให้สูงขึ้น แล้ว กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะลดลงทำให้กำลังสูญเสีย เนื่องจาก load ลดลงไปด้วย
- ลดค่าไฟฟ้า ลดค่า KVAR Charge จากการไฟฟ้า ถ้าปรับค่า PF สูงกว่า 0.85 ขึ้นไป

6.3 หลักการเลือกคาปาซิเตอร์ เพื่อการปรับปรุงค่า Power Factor

ค่าปาซิเตอร์ที่เหมาะสำหรับ การปรับปรุง Power Factor ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

- อายุการใช้งานยาวนาน
- มีพลังงานสูญเสียต่ำ
- สามารถทนอุณหภูมิสูง
- ไม่มีอันตรายต่อสภาพแวดล้อม
- มีระบบการป้องกันที่ดีพอ

6.4 วิธีการปรับปรุงค่า Power Factor แบบต่างๆ และตำแหน่งการติดตั้ง Capacitor

ตำแหน่งของคาปาซิเตอร์ ที่นำมาติดตั้งเพื่อแก้ Power Capacitor ที่ได้ผลมากที่สุด และลดการสูญเสีย (ลด loss) มากที่สุด คือติดตั้งที่ตัว load หรือใกล้ load มากที่สุด แต่ส่วนมากลักษณะ load หรือ เครื่องจักรของโรงงานจะทำได้ยาก จึงแบ่งการติดตั้ง หรือ ปรับปรุงค่า Power Factor ตามลักษณะ ของ load แบ่งเป็นข้อๆ ไปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปรับปรุง ที่ตัวอุปกรณ์ (Individual Compensation) *แบบนี้* เราติดคาปาซิเตอร์ เข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ Reactive Power ค่อนข้างสูง ซึ่งมีขนาดค่อนข้างแน่นอน และ มี ช.ม การทำงานสูง ๆ เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ตัวใหญ่ ๆ ที่เดินเกือบตลอดเวลา หรือ เครื่องเชื่อม

6.5 ข้อดีของการปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์ คือ

- คาปาซิเตอร์ จะจ่ายกำลังไฟฟ้า Reactive ให้กับอุปกรณ์นั้น ทำให้อุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพสูง
- ลดกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายในไฟฟ้าเดินในอุปกรณ์ตัวนั้น
- แรงดันไฟฟ้าตกที่อุปกรณ์ตัวนั้น ลงเอง
- อาจใช้อุปกรณ์ตัดต่อร่วมกันในการตัดต่อคาปาซิเตอร์

6.6 ข้อเสียของการปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์คือ

- ต้องใช้คาปาซิเตอร์ขนาดเล็กจำนวนมากทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับ (Capacitor และการติดตั้งสูง)
- คาปาซิเตอร์จะถูกใช้งานเมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์นั้นเท่านั้น

6.7 ฮาร์โมนิคส์กับการปรับปรุงค่า Power Factor

ฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้าใด ๆ เกิดจากการที่ Load ที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น (Nonlinear load) เข้ามาต่ออยู่ในระบบกระแสที่ไหลผ่าน และแรงดันที่คร่อม load จะเป็นรูปคลื่นที่เพี้ยน (Distorted Wave) รูปคลื่นที่เพี้ยนนี้ ถ้าแยกออกมาจะพบว่าประกอบด้วย รูปคลื่น Sine ที่มีความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) เช่น 50 Hz และรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่า (2,3,4) ของความถี่หลักมูล ซึ่งเรียกว่าฮาร์โมนิคส์ กระแสหรือแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล [2(100), 3(150), 4(200)] มีชื่อเรียกว่า ฮาร์โมนิคส์ (Harmonic) และเรียกจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลว่า ระดับฮาร์โมนิคส์ เช่น รูปคลื่นความถี่ 250 Hz มีระดับฮาร์โมนิคส์เท่ากับ 5 หรือเรียกว่า ฮาร์โมนิคส์ที่ 5 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8 หลักพื้นฐานของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์และการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้าเพื่อลดฮาร์โมนิคส์

ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุกำลังจะมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือสามารถจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้าได้

6.9 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่มีองค์ประกอบเดียว คือ ขดลวดทองแดงพันอยู่บนแกน และมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถรับกำลังงานรีแอกทีฟที่เป็นส่วนเกินในระบบไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวมันได้เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้ระบบไฟฟ้า

6.10 ตัวประกอบกำลังและการชดเชย

ค่าตัวประกอบกำลัง คือ ค่าคงที่ของโหลดตัวใดตัวหนึ่ง หรือ ของกลุ่มโหลดใดๆ ซึ่งใช้เป็นค่าบอกความสามารถในการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าปรากฏให้เป็นกำลังไฟฟ้าจริง

6.11 การชดเชยกำลังรีแอกทีฟ

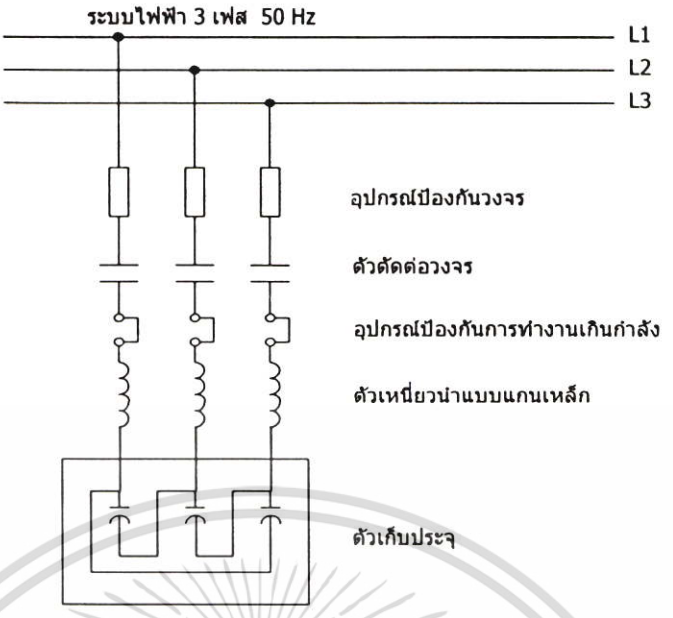
การชดเชยในรูปนี้คือการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

ตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดียว

โครงสร้าง หน้าที่ และการทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์โดยจะแบ่งออกเป็นส่วนสำคัญอยู่ 5 ส่วนคือ

- ตัวเก็บประจุแบบ 3 เฟส
- ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็ก
- ตัวตัดต่อวงจรตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก
- อุปกรณ์ป้องกันตัววงจรเอง
- อุปกรณ์ป้องกันการทำงานเกินกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

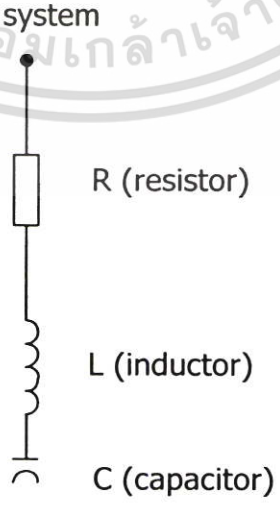


รูปที่ 6.1 แสดงวงจรกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดียว

ตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดี่ยวมีหน้าที่ที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ

1. จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟที่ความถี่หลักมูลให้ระบบไฟฟ้า
2. กรองกระแส และ ลดแรงดันฮาร์โมนิคส์ ในระบบไฟฟ้าให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดี่ยวจะใช้ ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และตัวต้านทาน ที่อยู่ในรูปของขดลวดเหนี่ยวนำ มาต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม เพื่อให้ตัวกรองมีค่าอิมพิแดนซ์ต่ำที่สุด ซึ่งเท่ากับความต้านทาน



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลสามารถเขียนแทนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Z_F = R + j\,[2\pi fL - (2\pi fc)^{-1}] \qquad (6.9)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (6.10)$$

จากสมการจะเห็นว่าค่าของ Z_F จะมีค่าต่ำสุดเท่ากับค่า R เมื่อค่าความถี่ f มีค่าเป็น fn ตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดี่ยว ที่ต่อขนานกับระบบไฟฟ้าควรมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำในย่านความถี่ของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ต้องการจะกรองทิ้ง

2. ค่าความกว้างแถบการกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ของตัวกรองฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดี่ยวควรมีความกว้างของแถบการกรองกว้างพอสมควร

6.12 การออกแบบ และคำนวณค่าส่วนประกอบของวงจรตัวกรอง

การออกแบบตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดี่ยวสามารถพิจารณาเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งตัวกรองกรแสฮาร์โมนิคส์ว่ามีค่าเป็นเท่าใด หรือ การกำหนดตัวแปร

2. กำหนดค่ากำลังงานรีแอกทีฟที่ระบบต้องการ

$$Q = KW\,(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \qquad (6.11)$$

โดยที่

Q คือ กำลังงานรีแอกทีฟที่ระบบต้องการ (KVAr)

KW กำลังงานจริงของโหลดรวมทั้งหมด (kW)

θ_1 ค่ามุมของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเดิม

θ_2 ค่ามุมของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใหม่

3. วิเคราะห์ข้อมูลกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบ ที่ได้จากการวัดจริงในโรงงาน หรือการประเมิน และทำการกำหนดจำนวนชุดตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ในระบบ

4. ทำการแบ่งค่า Q ออกเป็นส่วนตามจำนวนชุดของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ได้กำหนดไว้ โดยอาศัยข้อมูลขนาดกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบและขนาดของภาระโหลดในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กำหนดจุดปรับคลื่น (Tuning Point : nh) ของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์แต่ละอันดับ
6. กำหนดขนาดพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุที่ความถี่หลักมูล

$$Vcr > \frac{n_h^2}{n_h^2 - 1} \times V_{sys} \qquad (6.12)$$

โดยที่ V_{sys} คือ แรงดันระบบที่ตัวกรองต่ออยู่

n_h ค่าจุดปรับคลื่นของตัวกรอง

V_{cr} แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ

7. กำหนดขนาดกำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ ที่ต้องใช้ในตัวกรองแต่ละอันดับ

$$Q_{cr} = \frac{Q}{\left[\frac{n_h^2}{n_h^2 - 1}\right]^2 \times \left[\frac{V_{sys}}{Vcr}\right]^2} \qquad (6.13)$$

โดยที่ V_{sys} คือ แรงดันระบบที่ตัวกรองต่ออยู่

n_h ค่าจุดปรับคลื่นของตัวกรอง

V_{cr} แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ

Q กำลังงานรีแอกทีฟชดเชยที่จ่ายให้ระบบ

Q_{cr} กำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ

8. การหาค่าตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และ ค่าความต้านทาน ดังสมการดังนี้

$$Xc = \frac{V_{cr}^2}{Q_{cr} \times 10^3} \qquad (6.14)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f.Xc} \qquad (6.15)$$

$$L = \frac{Xc}{2\pi f.n_h^2} \qquad (6.16)$$

$$R = \frac{X_L \text{ at } n_h}{Q_F} \qquad (6.17)$$

โดยที่ Vcr คือ แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ

Q_{cr} กำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ

n_h ค่าจุดปรับคลื่นของตัวกรอง

Q_F ตัวประกอบคุณภาพของตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์เข้ากับระบบแล้วทำการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์ในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าใหม่ และตรวจสอบการทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์

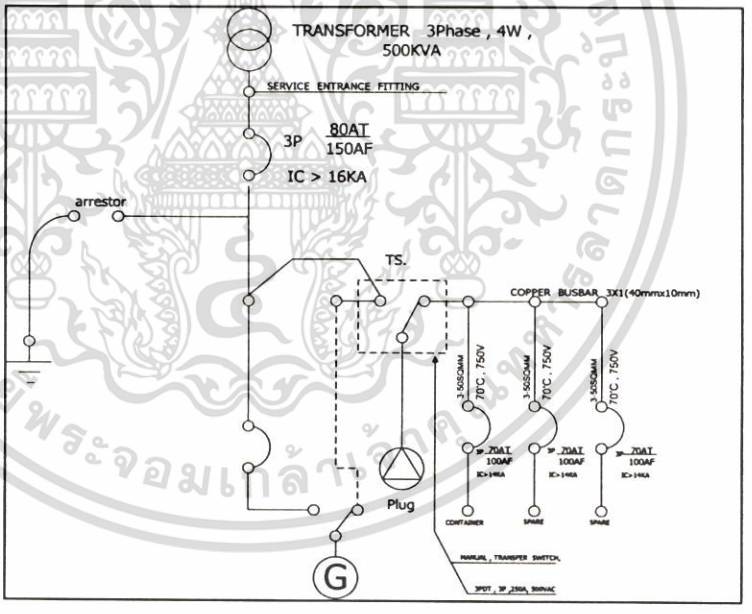
9.1 ตรวจสอบตัวเก็บประจุว่าทำงานเกินพิกัดหรือไม่

9.2 ตรวจสอบขนาดกระแสรวมที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

9.3 ตรวจสอบขนาดกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฮาร์โมนิคส์ที่กำหนดหรือไม่

9.4 ทดสอบการทำงานตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์เมื่อตัวแปรต่างๆ ของระบบเปลี่ยนไป

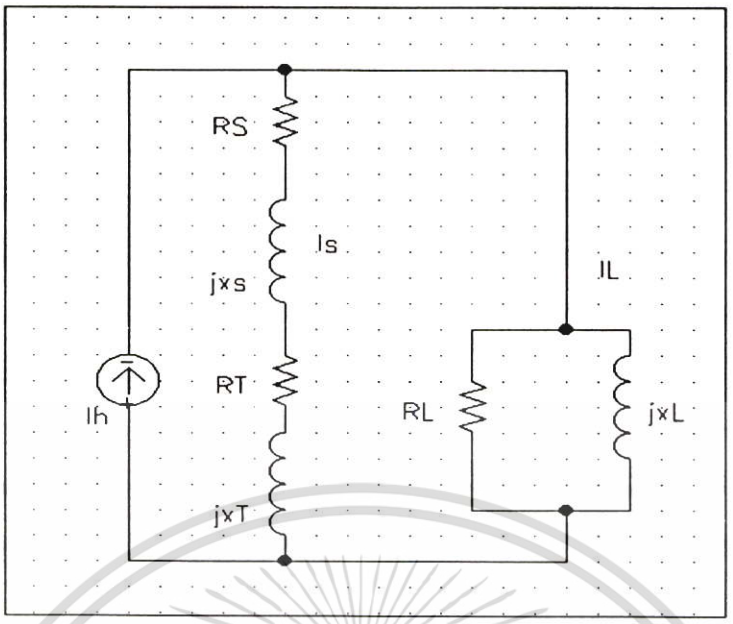
10. การคำนวณขนาดตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดี่ยว ระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปที่มีการใช้ภาระที่ไม่เป็นเชิงเส้น และมีการต่อตัวเก็บประจุเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดสภาวะการเท่ากันของความถี่ธรรมชาติของระบบไฟฟ้ากำลัง กับความถี่ของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบ ทำให้เกิดการขยายของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบ ทำให้เกิดการขยายของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบ จนเกินค่ากระแสพิกัดของอุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือเกิดระเบิดได้ และ ยังทำให้มีกระแสฮาร์โมนิคส์ไหลเข้าไปในระบบ



รูปที่ 6.3 ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายจากทางการไฟฟ้าเข้าไปยังโหลด

จากรูปด้านบนแสดง Single line diagram ของระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในโครงการ TOT จาก Single line เราสามารถพิจารณาการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ โดยการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์โมนิคส์ชนิดกรองเดียวเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีกระแสฮาร์โมนิคส์ส่วนน้อยเท่านั้นที่ไหลในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานฮาร์โมนิคส์ที่กำหนดไว้

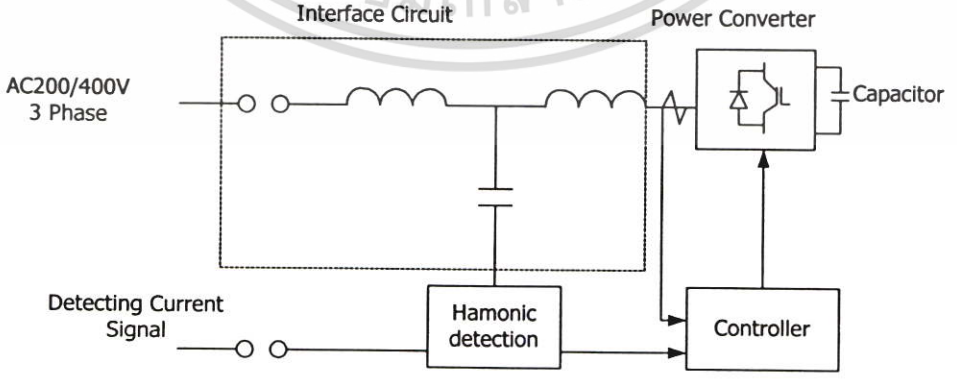
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 equivalent circuit จากรูปไดอะแกรมทางการไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด

6.13 วงจรกรองแอกทีฟ (Active Filters)

วงจรกรองแอกทีฟ คือ วงจรที่มีคุณสมบัติ ในการกำจัดกระแสหรือ แรงดันฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทำการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังงาน (Power converters) ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับโหลดที่สร้างฮาร์โมนิคส์ ให้จ่ายแรงดันหรือ กระแสป้อนเข้าสู่ระบบ ไฟฟ้ากำลังอย่างเหมาะสม ทำให้กระแสฮาร์โมนิคส์ไม่ไหลกลับไปยังแหล่งจ่าย หรือแก้ไขความผิดเพี้ยนของแรงดันในระบบได้ วงจรกรองแอกทีฟโดยทั่วไปจะประกอบด้วย องค์ประกอบหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.5 คือ



รูปที่ 6.5 แสดงองค์ประกอบหลังของ แอคทีฟฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนตรวจจับกระแสหรือแรงดันฮาร์โมนิคส์ กระแส หรือ แรงดันในระบบจะถูกตรวจจับแล้วนำมาคำนวณหาค่าองค์ประกอบฮาร์โมนิคส์ในระบบโดยอาศัยวิธีการต่างๆ

2. ส่วนควบคุม ค่ากระแสหรือแรงดันฮาร์โมนิคส์ที่คำนวณได้จากส่วนที่ 1 จะถูกนำมาใช้ในการกำหนดค่าแรงดันหรือกระแสที่วงจรกรองจะต้องจ่ายเข้าสู่ระบบเพื่อกำจัดฮาร์โมนิคส์ตามที่ต้องการ โดยค่าแรงดันหรือกระแสจะแตกต่างกันตามหลักการของแต่ละวงจรกรอง

3. วงจรแปลงผันกำลัง จะทำการควบคุมแรงดันหรือกระแสของวงจรกรองให้มีค่าตามที่ส่วนควบคุม 2 กำหนด วงจรในส่วนนี้โดยทั่วไปจะเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันบัสไฟตรง ให้เป็นแรงดันไฟสลับโดยเทคนิคการปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation ; PWM) และมีวงรอบการควบคุมกระแสรวมอยู่ด้วย สวิตช์กำลังที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็น IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) หรือ GTO (Gate Turn-Off Thyristor) ความถี่การสวิตช์จะอยู่ที่ประมาณ 1-20 kHz

4. วงจรเชื่อมต่อระหว่างอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่าย วงจรกรองแอกทีฟจะมีการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟผ่านตัวเหนี่ยวนำ และวงจรกรองระลอกคลื่นความถี่การสวิตช์ และในกรณีที่ใช้กับระดับแรงดันสูงก็อาจมีการต่อผ่าน หม้อแปลง หรือ ตัวเก็บประจุ เพื่อลดขนาดแรงดันที่ตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

วงจรกรองแอกทีฟมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับวงจรกรองพาสซีฟ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.1 ประกอบกับปัญหาฮาร์มอนิกที่เพิ่มขึ้นและราคาอุปกรณ์ที่มีแนวโน้มลดลง ทำให้มีการนำเอาวงจรกรองแอกทีฟมาใช้เป็นจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในขนาดเล็ก (50-100 KVA) คุณสมบัติการกรอง (effective filtering efficiency) ของวงจรกรองแอกทีฟอยู่ในระดับ 80-95 %

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่าง Passive filter และ Active filter

คุณสมบัติ	Passive Filters	Active Filters
การกำจัดฮาร์มอนิก	สามารถแยกกำจัดแต่ละอันดับได้ แต่ต้องติดตั้งวงจรกรองเรียงตั้งแต่อันดับต่ำเสมอเพื่อป้องกันการเรโซแนนซ์	สามารถแยกกำจัดอันดับใด ๆ ได้ (ไม่ต้องเรียง) หรือจะกำจัดหมดก็ได้
ขนาด	ใหญ่	เล็กกว่า
ความสามารถในการกำจัดฮาร์มอนิก	ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายโดยออกแบบให้ค่า Q สูง	ไม่ขึ้นกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย กำจัดฮาร์มอนิกอันดับสูงได้ไม่ดี
การเพิ่มของปริมาณฮาร์มอนิก	ทำให้เกิดโหลดเกิน เกิดความร้อนและเสียหายได้ การเพิ่มขนาดกำลังโดยการขนานวงจรกรองต้องระวังเรื่องการแบ่งโหลด	ไม่เกิดการโหลดเกิน และสามารถเพิ่มขนาดกำลังได้ง่าย โดยเพิ่มเฉพาะในส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

คุณสมบัติ	Passive Filters	Active Filters
ปริมาณกำลังงานรีแอกทีฟ	จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟเสมอ ซึ่งอาจเกินความต้องการ	เลือกให้จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟหรือไม่จ่ายก็ได้ ตามที่ผู้ใช้กำหนด
กำลังงานสูญเสีย	น้อย	มากกว่า (ประสิทธิภาพมากกว่า 90%)
ราคา	ถูกกว่า	แพงกว่า
ปัญหาเรโซแนนซ์กับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย	อาจเกิดเรโซแนนซ์แบบขนานเมื่อมองจากโหลดหรือเกิดเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเมื่อมองจากแหล่งจ่าย ทำให้เกิดกระแสและแรงดันเกินในวงจรกรอง	ไม่มี
การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ของระบบ	ต้องวิเคราะห์อย่างละเอียด	โดยทั่วไปไม่จำเป็น
การออกแบบ	เป็นกรณี ๆ	ใช้ได้ทันทีไม่ต้องออกแบบ

6.14 ชนิดของวงจรกรองแอกทีฟ

เราสามารถจำแนกชนิดของวงจรกรองแอกทีฟตามวิธีการติดตั้งได้เป็น

6.15 วงจรกรองแอกทีฟแบบขนาน

วงจรกรองชนิดนี้จะติดตั้งขนานกับโหลดที่สร้างฮาร์โมนิคส์ และ วงจรกรองแอกทีฟที่มีใช้งานจริงส่วนใหญ่ก็จะเป็นชนิดนี้

หลักการทำงานของวงจรกรองชนิดนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ

1. วงจรกรองแอกทีฟจะประพฤติตัวเป็นแหล่งจ่ายกระแส ที่จ่ายกระแสฮาร์โมนิคส์ในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสฮาร์โมนิคส์จากโหลด หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ วงจรกรองแอกทีฟจะจ่ายกระแสฮาร์โมนิคส์ให้กับโหลดแทนแหล่งจ่าย หรือ

2. วงจรกรองจะประพฤติตัวเป็นเสมือนตัวเหนี่ยวนำหรือความต้านทาน (อิมพีแดนซ์ เสมือน) ค่าต่ำเฉพาะที่ความถี่ฮาร์โมนิคส์ทำให้กระแสฮาร์โมนิคส์ไหลลงในวงจรกรองแอกทีฟ การทำงานจึงคล้ายๆ กับ กรณีที่ใช้วงจรพาสซีฟ แต่มีข้อดีคือ ไม่มีการดึงกระแสรีแอกทีฟที่ความถี่ 50 Hz และสามารถกำหนดค่า อิมพีแดนซ์เสมือนให้มีค่าต่ำกว่าในกรณีวงจรกรองพาสซีฟมาก จึงมีคุณสมบัติการกรองที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.16 วงจรกรองแอกทีฟแบบอนุกรม

วงจรกรองชนิดนี้ จะต่ออนุกรมกับ โหลดที่สร้างฮาร์โมนิคส์ หลักการทำงานของวงจรกรองชนิดนี้คือ วงจรกรองจะทำการตรวจจับกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลในระบบ แล้วจะนำไปสร้างแรงดันของวงจรกรองให้มีเฟสตรงกันกับกระแสฮาร์โมนิคส์ วงจรกรองจึงประพฤติตัวเป็นเสมือนความต้านทานค่าสูงเฉพาะที่ความถี่ฮาร์โมนิคส์ กระแสฮาร์โมนิคส์ก็ถูกกั้นไม่ให้ไหลไปยังแหล่งจ่ายก็ไม่สามารถไหลไปทางด้านโหลดด้วย ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในกรณีที่แหล่งจ่ายมีความเพี้ยนของแรงดัน และโหลดมีอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ฮาร์โมนิคส์ต่ำ วงจรกรองแอกทีฟแบบอนุกรมจึงทำหน้าที่เป็นตัวแยกฮาร์โมนิคส์ (Harmonics isolator) ระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลด ในกรณีที่โหลดเป็นแบบแหล่งจ่ายกระแส เราจะใช้วงจรกรองพาสซีฟช่วยเป็นทางไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์แทน ข้อดีข้อเสียของวงจรกรองแอกทีฟ ทั้ง 2 ชนิดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์แบบขนานและแบบอนุกรม

	วงจรกรองแอกทีฟแบบขนาน	**วงจรกรองแอกทีฟแบบอนุกรม**
ขนาดกระแส/แรงดัน	ต้องรับแรงดันพิกันของระบบ	ต้องรับกระแสสูงสุดของระบบ
โหลดมีฮาร์มอนิก	แก้ได้ดีเฉพาะกรณีที่โหลดมีอิมพีแดนซ์สูงเทียบกับแหล่งจ่าย	แก้ได้โดยอาศัยวงจรกรองพาสซีฟช่วย
แหล่งจ่ายมีฮาร์มอนิก	แก้ไม่ได้	แก้ได้
ความน่าเชื่อถือ	สูงเพราะต่อขนานกับระบบเหมือนโหลดทั่วไป	ต่ำเพราะต้องต่ออนุกรมกับระบบ
หลักการทำงาน	ทำตัวเป็นแหล่งจ่ายกระแส	ทำตัวเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน

6.17 ข้อควรระวังในการใช้วงจรกรองแบบแอกทีฟ

วงจรกรองแอกทีฟแบบขนาน เหมาะสำหรับโหลดที่มี อิมพิแดนซ์สูงเมื่อเทียบกับ อิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่าย มิฉะนั้นแล้ว กระแสที่จ่ายจากวงจรกรองแอกทีฟจะไหลย้อนกลับไปทางด้านโหลดและทำให้เกิดการขยายกระแสฮาร์โมนิคส์ในระบบได้ในกรณีที่จะนำไปใช้กับโหลดที่มีอิมพิแดนซ์ต่ำ เช่น วงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุ (ซึ่งจะพบได้ทั่วไปในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอินเวอร์เตอร์ในงานขับเคลื่อนมอเตอร์) เราอาจทำการเพิ่ม AC/DC reactor อนุกรมกับโหลดได้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์ทางด้านโหลดได้พร้อมๆ กัน

วงจรกรองแอกทีฟที่ผลิตในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ใช้ FFT ในการตรวจจับกระแสฮาร์โมนิคส์เฉพาะอันดับที่กำหนด จึงไม่สามรถนำไปใช้กับ โหลดที่มีกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของ 50 Hz (Interharmonics) ได้ เช่น โหลดที่เป็นวงจรแปลงผันกำลัง ac-ac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(cycloconverter) ถ้าวงจรกรองเป็นแบบที่ทำการตรวจจับกระแสที่ความถี่หลักมูล 50 Hz แล้วนำมาหักออกเพื่อหากระแสฮาร์โมนิคส์ทั้งหมดและทำการชดเชยกระแสฮาร์โมนิคส์ทั้งหมด ก็จะไม่มีปัญหาในเรื่องนี้

วงจรกรองแอกทีฟแบบขนาน ไม่สามารถป้องกันการไหลของฮาร์โมนิคส์จากแหล่งจ่ายได้ในกรณีที่แรงดันแหล่งจ่ายมีความเพี้ยน

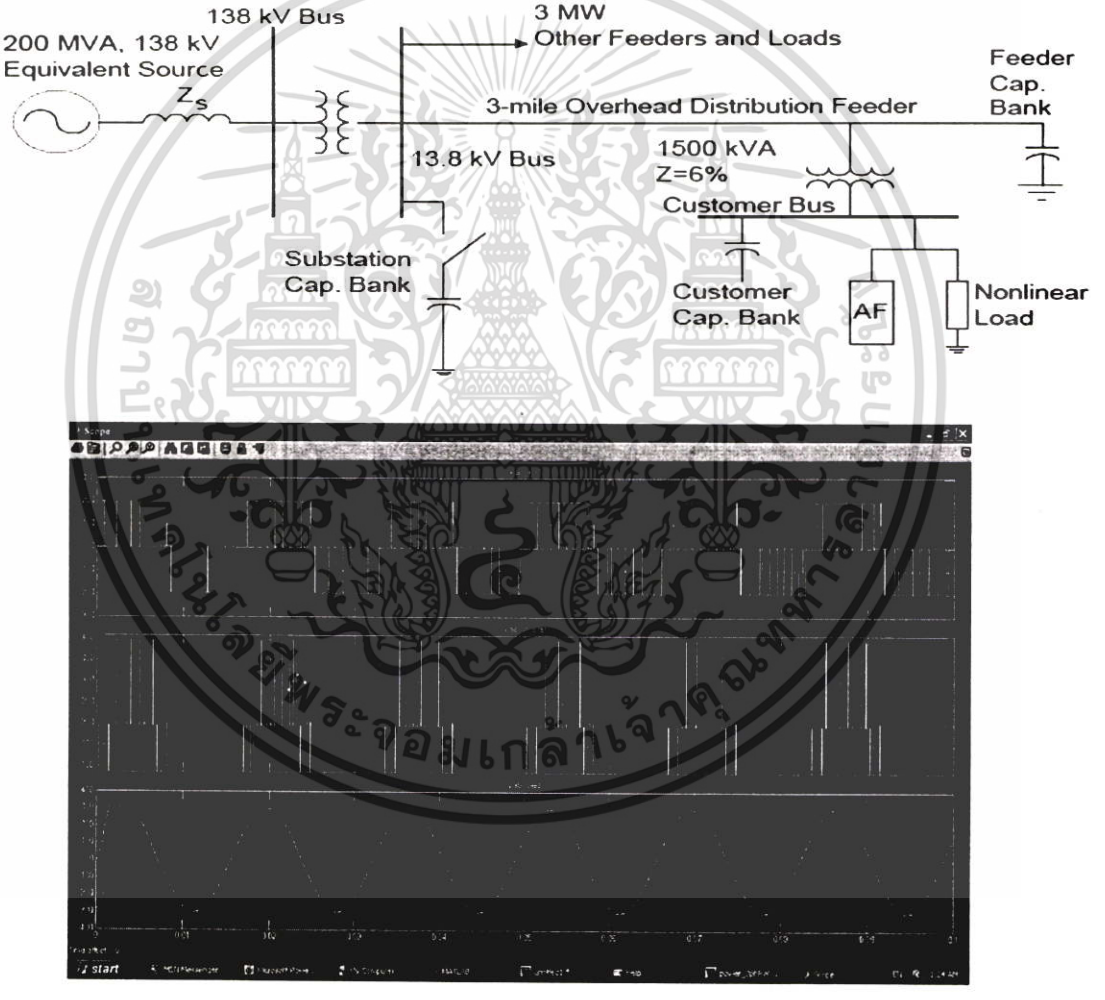
วงจรกรองแอกทีฟจะทำการชดเชยเฉพาะกระแสฮาร์โมนิคส์ กระแสซีเควนซ์ลบ และกระแสรีแอกทีฟเท่านั้น จึงไม่ดึงกำลังงานจริงจากแหล่งจ่าย ยกเว้นในส่วนที่ใช้ชดเชยความสูญเสียในวงจรอินเวอร์เตอร์เท่านั้น ถ้าจะทำการชดเชยกำลังงานจริงด้วยจะต้องมีการจัดการกำลังงานจริงที่ไหลเข้าที่บัสไฟตรงต่างหาก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

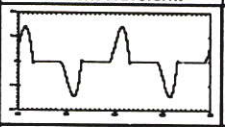
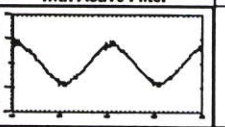
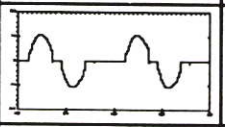
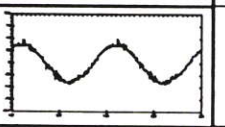
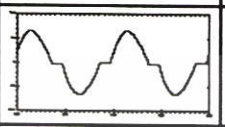
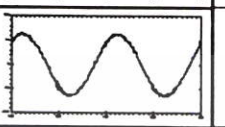
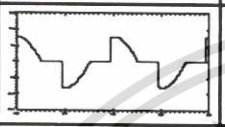
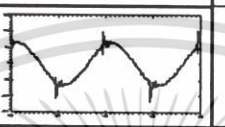
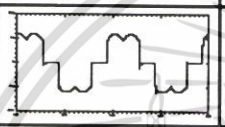
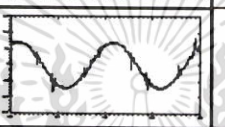
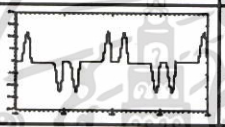
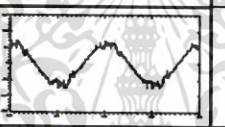
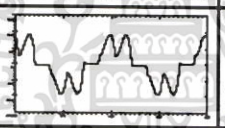
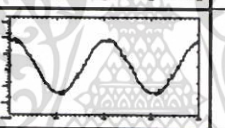
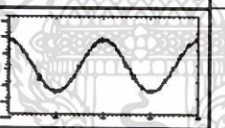
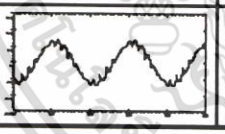
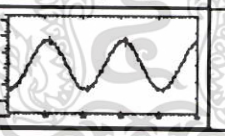
บทที่ 7
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากวงจรที่ได้จากการ Simulator ค่าฮาร์โมนิคส์เกินมาตราฐาน G5/3 หรือ มาตราฐานของการไฟฟ้ากำหนด จึงจำเป็นต้องติดตั้ง แอคทีฟฟิลเตอร์ดังรูป ขนาดของแอคทีฟฟิลเตอร์ที่ต้องการคือ 221 Arms (295-74 = 221 A) เมื่อติดตั้งแอคทีฟฟิลเตอร์ขนาด 221 A, 400 V, 50 Hz ปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่ไหลเข้าสู่ระบบ จะลดลงเหลือตามมาตราฐานที่ต้องการ



รูปที่ 7.1 แสดงรูปของ Single line และ ผลที่ได้จากใช้ แอคทีฟฟิลเตอร์ต่อเข้าไปยังระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type of Load	Nonlinear Load Current Waveform	Supply Current with Active Filter	Nonlinear Load Current THD (%)	Supply Current THD (%)	Active Filter Rating (rms Amps/kVA of Load) 120/208 volt applications	480 volt applications
Single Phase Power Supply			84%	8.2%	1.79	0.77
Semiconverter			87%	9.6%	1.82	0.79
ac Voltage Regulator, RL Load			23%	4.3%	0.62	0.27
ac Voltage Regulator, Resistive Load			51%	16.7%	1.26	0.54
6 Pulse Drive, Current Source Inverter			31%	10.3%	0.82	0.36
6 Pulse Drive, Voltage Source Inverter no series inductance			109%	13.2%	2.05	0.88
6 Pulse Drive, Voltage Source Inverter 3% ac input choke			45%	5.0%	1.14	0.49
12 Pulse Converter, Current Source Inverter			13%	5.6%	0.36	0.15
12 Pulse Converter, Voltage Source Inverter			13%	6.3%	0.36	0.15

รูปที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อใช้ แอคทีฟฟิลเตอร์

ตารางที่ 7.1 แสดงตารางที่ได้จากการวัดกระแสฮาร์โมนิคส์ (Arms) เทียบกับมาตรฐาน G5/3

กระแสฮาร์โมนิคส์ (Arms)		
ฮาร์โมนิคส์	**ฮาร์โมนิคส์เริ่มต้น**	**มาตราฐาน (G5/3**
5	224	56
7	160	40
11	76	19
13	64	19
17	24	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

กระแสฮาร์โมนิคส์ (Arms)		
ฮาร์โมนิคส์	**ฮาร์โมนิคส์เริ่มต้น**	**มาตราฐาน (G5/3**
19	24	6
"	"	"
"	"	"
"	"	"
รวม (rms)	295	74

จากการวิจัยที่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฮาร์โมนิคส์ที่มีอยู่ในชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และชุมสายท้องถิ่น จากตัวอย่างจำนวน 23 แห่ง กับการSimulator ค่าฮาร์โมนิคส์ อันประกอบไปด้วย ตัวชุมสายต่อผ่าน และ ชุมสายย่อย ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับปัญหาและแนวทางในการแก้ไข สามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. ผลที่ได้จากการวัดปริมาณของกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์ในสายป้อน ไปยังอุปกรณ์อันได้แก่ Rectifier แต่ละแห่งโดยรวมมีค่าฮาร์โมนิคส์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของการการไฟฟ้า แต่มีสองชุมสายที่มีค่าของฮาร์โมนิคส์ที่ทำให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน พบว่ามีลำดับของฮาร์โมนิคส์ที่ 3 , 7 ได้แก่ ชุมสายปักธงชัย จังหวัด นครราชศรีมา และ ชุมสาย บางควาย ที่จังหวัด เพชรบุรี จากเครื่องมือวัดสามารถบอกได้ว่ามีฮาร์โมนิคส์ในลำดับใด แต่ไม่สามรถบอกได้ว่า จะแก้ไขอย่างไร ซึ่งการแก้ไขนั้น สามารถนำวงรจ่ายกำลังมาทำการคำนวณ ด้วยวิธี วงจรสมมูล และแก้สมการจะได้ค่า กระแสที่ทำให้อุปกรณ์ตัดตอน trip จากนั้นใช้ Third Harmonic Blocking Filter เข้าแก้ไข หรือใช้ Active Filter ก็สามารถกำจัดได้ แต่ เนื่องจาก ปริมาณของฮาร์โมนิคส์มีไม่มากและถ้าเราเลือกใช้ Active Filter จะมีราคาค่อนข้างแพง เราจึงควรเลือกใช้ จูนฟิลเตอร์ก็จะเพียงพอ

2. การตรวจวัดทิศทางเป็นอีกวิธีที่ทำให้เกิดความมั่นใจว่า แหล่งที่มาๆจากแหล่งทางใดภายนอก หรือ ภายใน ซึ่งการวัดขนาดเพียงอย่างเดียวโดยไม่ระบุทิศทางก็จะไม่สามรถที่จะระบุได้ว่าใครเป็นผู้สร้างฮาร์โมนิคส์ที่ควรจะรับผิดชอบต่อผลที่เกิดขึ้น การระบุทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิคส์โดยอาศัยเครื่องหมายของ Harmonic Power นั้น จะได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำเพียงใดนั้นจะขึ้นกับความแม่ยำของเครื่องวัดในการวิเคราะห์ ขนาดและมุมเฟสของแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ใช้หา Harmonics Power

3. ปัจจุบันชุมสายโทรศัพท์เป็นสิ่งที่จำเป็นในด้านการติดต่อทางธุรกิจ ของประเทศ ถ้ามีสิ่งที่ไม่ทราบสามรถทำให้เกิดผลต่อระบบจ่ายกำลังแล้วนั้น ควรใช้หลักการที่กล่าวมาในบทที่ผ่านมาพิจารณาและวิเคราะห์ หาสาเหตุ และ คำนวณเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากเหตุการณ์ที่เกิดอุปกรณ์ตัดตอน Trip บ่อยครั้งในบางชุมสาย อาจเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ อันได้แก่ ระบบ Grounding , protective device ก็ได้ ฉะนั้น ควรวิเคราะห์ จากข้อมูลหลายๆ ตัว เป็นองค์ประกอบ

ข้อควรคำนึงถึงเกี่ยวกับการแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์

ต้องการทราบข้อมูลต่างๆ เช่น

1. กระแสฮาร์โมนิคส์จากแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคส์
2. แรงดันอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง
3. วัดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ระดับต่างๆ โดยใช้ Harmonic Analyser ต้องลดพิกัดของคาปาซิเตอร์ลง แรงดันที่คาปาซิเตอร์จะสูงกว่าปกติ ต้องใช้คาปาซิเตอร์ทนอรงดันได้สูงขึ้น รีแอคเตอร์จะต้องมีค่าความ คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และต้องมีระบบป้องกันที่ดีพอ

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงผลกระทบ โดยพิจารณาจากค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสและแรงดัน เปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 60871-1-1997, IEEE 512-1992 จะพบว่ายังมีปริมาณไม่เกิดค่าจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน และ จากแนวทางการวิเคราะห์ดังกล่าวน่าจะเป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิคส์ต่อไป

จากการศึกษาดังกล่าวสามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ ปัญหาทางด้านฮาร์โมนิคส์ในระบบชุมสายโทรศัพท์ หรือ โรงงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการวางแผนที่จะป้องกันปัญหาทางด้านฮาร์โมนิคส์ของระบบไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคตต่อไป

จากการวิเคราะห์และการทดลองจะเห็นได้ว่า การแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์ปริมาณมากๆ ทำได้ง่ายมากโดยใช้แอคทีฟฟิลเตอร์ เพียงแค่ทราบปริมาณกระแสฮาร์โมนิคส์สูงสุดที่เกิดขึ้นในระบบ และหากเปรียบเทียบกับการใช้งานจูนฟิลเตอร์แล้ว การออกแบบจะซับซ้อนใช้เวลานานและเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนสูง จูนฟิลเตอร์ที่ใช้ยังไม่สามารถเทียบได้กับแอคทีฟฟิลเตอร์เพราะข้อจำกัดหลายประการ ในการออกแบบและบำรุงรักษา แต่ข้อเสียที่เป็นอุปสรรคประการหนึ่งคือเรื่องของราคาของแอคทีฟฟิลเตอร์ที่สูงกว่าจูนฟิลเตอร์มาก ประกอบกับภาคควบคุมและโปรแกรมของแอคทีฟฟิลเตอร์มีความซับซ้อนมากกว่า ปัจจุบันวิศวกร และ ผู้ออกแบบทั่วโลกได้ลดการใช้งานจูนฟิลเตอร์ลงและเพิ่มการใช้งานแอคทิฟฟิลเตอร์มากขึ้น จนสุดท้ายแล้วการใช้งานจูนฟิลเตอร์จะมีอยู่น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] "IEEE Recommended practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System," IEEE Standard 519-1992

[2] McGraw Hill Roger C.Dugan, Mark F.McGranaghan, H.Wayne Beaty; Electrical Power System Quality

[3] 12 CEPSI "Case Studies on Harmonic Current Flow Direction in Electrical Power System in Thailand"

[4] 12 CEPSI "Case Studies on Harmonic Current Flow Direction in Electrical Power System in Thailand"

[5] Modeling and Nonlinear Control of shunt active power filter "N.Mendalek and K.Al-Haddad International Journal of Power and Energy systems, Vol.23, No.1 2003

[6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ข้อกำหนด และ นิยาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อแนะนำในการวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแสและแรงดันฮาร์โมนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.1 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ Converter - พิจารณาตามขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ ผ.1 และ ผ.2 เป็นแนวทางในการพิจารณาขนาดของอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ติดตั้งเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามขอบเขตกำหนดในขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ ผ.1 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ Convertor แต่ละตัวพิจารณาตามขีดจำกัดของกระแสฮาร์โมนิคส์ ขั้นตอนที่ 2

ระดับแรงดันที่จุดต่อร่วม (kV)	การทำงานของ Convertor	ขนาดอุปกรณ์ (kVA) แบ่งตามของอุปกรณ์ 3 เฟส		
		3 พัลซ์	6 พัลซ์	12 พัลซ์
0.4	ไม่มีการควบคุม		150	300
	กึ่งควบคุม		65	
	ควบคุม		100	150
11, 12, 22 และ 24	ไม่มีการควบคุม	400	1000	3000
	กึ่งควบคุม		500	
	ควบคุม		800	1500
33	ไม่มีการควบคุม	1200	3000	7600
	กึ่งควบคุม		1200	
	ควบคุม		2400	3800
115	ไม่มีการควบคุม	1800	5200	15000
	กึ่งควบคุม		2200	
	ควบคุม		4700	7500

*** หมายเหตุ**

1. การติดตั้งอุปกรณ์ Converter จำนวนมาก

ขนาดโดยรวมของอุปกรณ์ Converter อาจมีค่าสูงกว่าตาราง ผ.1 หากมีการใช้งาน หรือการควบคุมที่ต่างกัน พิจารณาตามหัวข้อ ผ.2.1 "Coincidence Factor" และตารางที่ ผ.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ Converter ชนิด 3 พัลซ์

จะไม่ยอมรับการติดตั้งอุปกรณ์ Converter ชนิดนี้ที่ระดับแรงดัน 400 V เพราะจะเกิดกระแสตรง (Direct Current) ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3. อุปกรณ์ Converter ที่มีการทำงานแบบกึ่งควบคุม

จากตาราง ผ.1 ขนาดของอุปกรณ์ Converter แบบ 6 พัลซ์ ที่มีการทำงานแบบกึ่งควบคุมจะเป็น Convecter แบบ Three-Thyristor / Three-Diode Half Controlled Bridges

4. อุปกรณ์ Converter ที่มีการทำงานแบบไม่มีการควบคุม Firing Angle

ขนาดของ Converter ที่มีการทำงานแบบไม่มีการควบคุม Firing Angle ในตาราง ผ.1 เป็นขนาดที่คำนึงถึงผลสืบเนื่องจากอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงที่จะช่วยลดกระแสฮาร์โมนิคส์ให้ต่ำลงกว่าค่าที่ควรจะเป็นจากการคำนวณทางทฤษฎี

5. ความแม่นยำในการควบคุม

ขนาดของอุปกรณ์ดังกล่าว ถือว่าการทำงานของอุปกรณ์ต้องมีความแม่นยำในการควบคุมการทำงาน เช่น Firing Pulse จะต้องสอดคล้องกันทั้ง 3 เฟส

ตารางที่ ผ.2 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ A. C. Regulator แต่ละตัวพิจารณาตามขอบเขตของกระแสฮาร์โมนิคส์ ขั้นตอนที่ 2

ระดับแรงดันที่จุดต่อร่วม (kV)	3 เฟส		1 เฟส
	* 6 Thyristor Type (kVA)	3 Diode/3 Thyristor Type (kVA)	* 2 ThyristorFull Wave Type (kVA)
0.4	100	85	25 (240 V)
11 และ 12	900	600	45 (415 V)

ผ.2 วิธีการพิจารณาเมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์ที่สร้างฮาร์โมนิคส์มากกว่า 1 ตัว

โดยสถิติเกี่ยวกับกระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Load) หลายตัวที่แหล่งจ่ายพลังงานเดียวกัน ได้ทำการตรวจสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณ พบว่าสามารถใช้ค่าตัวประกอบการคูณจากตาราง ผ.3 เพื่อประมาณค่าฮาร์โมนิคส์ที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวหลาย ๆ ตัวที่จุดต่อร่วมเดียวกันได้ แต่หากพบว่ามีอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งสร้างฮาร์โมนิคส์ มากกว่าร้อยละ 60 ของค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ควรจะใช้ค่าที่เกิดขึ้นจริง สำหรับตัวประกอบการคูณ (Coincidence Factor) การพิจารณาจะเป็นไปตามที่แสดงไว้ในตารางค่าตัวประกอบการคูณสำหรับใช้หาผลรวมของกระแสฮาร์โมนิคส์ *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.3 ค่าตัวประกอบการคูณสำหรับใช้หาผลรวมของกระแสฮาร์โมนิคส์ *

กลุ่มที่ ชนิดและรูปแบบการใช้งาน Convertor	ตัวประกอบการคูณ
1. Convertor ชนิดทำงานแบบไม่มีการควบคุม (มีค่าสูงเพราะโอกาสที่จะเกิดฮาร์โมนิคส์สูงสุดมีมาก)	0.9
2 . Convertor ชนิดทำงานโดยวิธีควบคุม Firing Angle ซึ่งมีการใช้งานเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน และทำให้เกิดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์สูงหลายครั้งในแต่ละวัน (มีโอกาสพอสมควรในการเกิดฮาร์โมนิคส์สูงสุด จากอุปกรณ์หลาย ๆ ตัว)	0.75
3 . Convertor ชนิดทำงานโดยวิธีควบคุม Firing Angle มีการ ใช้เป็นอิสระใช้งานเป็นพัก ๆ ตลอดวัน หรือเพียงสร้างกระแสฮาร์โมนิคส์ในช่วงเวลาเริ่มเดินเครื่อง (มีค่าที่ต่ำ เหมาะสำหรับใช้พิจารณาค่ากระแสฮาร์โมนิคส์สูงสุด ที่เป็นช่วงเวลาอื่นๆ)	0.6 เมื่อมีการใช้งาน Convertor ไม่เกิน 3 ตัว 0.5 เมื่อมีการใช้งาน Convertor ตั้งแต่ 4 ตัวขึ้นไป

* หมายเหตุ ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ ผ.2 คือค่าตัวคูณดังกล่าวจะใช้ก็ต่อเมื่อไม่มี Convertor ตัวใดสร้างกระแสฮาร์โมนิคส์เกินร้อยละ 60 ของค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่

หากพบว่า Convertor ตัวใดตัวหนึ่งสร้างกระแสฮาร์โมนิคส์เกินร้อยละ 60 จะใช้ตัวคูณเท่ากับ 1 ตัวคูณในตาราง ผ.3 สามารถใช้สำหรับพิจารณาผลรวมของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์จำนวนมาก ๆ ได้โดยใช้ประกอบการพิจารณากับค่าในตารางที่ 4.5 หรือตาราง ผ.1 และ ผ.2

ผ.3 การปฏิบัติตามข้อกำหนดในขั้นตอนที่ 2 และ 3

3.1 วิธีการวัด

จำเป็นต้องมีการตรวจวัดฮาร์โมนิคส์ก่อนที่จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือลูกค้าเดิมที่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ซึ่งควรจะตรวจวัดขณะที่เกิดความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์สูงสุด ส่วนใหญ่จะเป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานต่ำสุดจากระบบไฟฟ้าโดยไม่มีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ใช่ของระบบ โดยแบ่งขั้นตอนการตรวจวัดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดตามขั้นตอน 2

(1) ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ ตรวจวัดความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันเพื่อดูว่าค่าความเพี้ยนของแรงดันที่จุดต่อร่วมไม่เกินร้อยละ 75 ของค่าในตารางที่ 4.6 และพิจารณาผู้ใช้ไฟฟ้าตามขั้นตอนที่ 2

(2) ผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม ตรวจวัดค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันเหมือนในข้อ (1) และตรวจวัดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับประมาณค่าอุปกรณ์ใหม่ ตามขั้นตอนที่ 2 (วิธีการคำนวณตามหัวข้อ 3.5)

การตรวจวัดตามขั้นตอนที่ 3

(3) ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ ตรวจวัดความเพี้ยนของแรงดันฮาร์โมนิคส์ที่จุดต่อร่วม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับประมาณค่าความเพี้ยนของ

แรงดันที่จะยอมรับได้สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ที่ไม่เป็น เชิงเส้นตัวใหม่ และอาจตรวจวัดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์

เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง ในช่วงเวลาต่างๆของค่ากระแสแต่ละเฟสในแต่ละวัน ของ

Feeder ที่มีการขอใช้ไฟฟ้า (วิธีการคำนวณตามหัวข้อ 3.6.1)

(4) ผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม ตรวจวัดค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันและกระแสของ Feeder ผู้ใช้ไฟฟ้า รายดังกล่าว เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับประมาณค่าอุปกรณ์ที่จะติดตั้งเพิ่ม (วิธีการคำนวณตามหัวข้อ 3.6.2)

3.2 ข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาตามขั้นตอนที่ 2 และ 3

การขอใช้ไฟฟ้า ผู้ขอจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงงาน และอุปกรณ์ที่มีการใช้งานในโรงงานซึ่งข้อมูลบางอย่างอาจขอได้จาก

ผู้ผลิตอุปกรณ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่

(1) ประเภทและขนาดของโรงงานที่ต้องการใช้ไฟฟ้า

(2) ขนาดและจุดต่อร่วมของคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุง Power Factor และอุปกรณ์กรองฮาร์โมนิคส์

(3) จำนวนพัลซ์ของ Convertor ชนิดของ A.C Regulator และรายละเอียดอื่นๆเกี่ยวกับอุปกรณ์รวมทั้งวิธีการต่อหม้อแปลง ซึ่งอาจทำให้เกิด Phase Displacement ระหว่างอุปกรณ์ Convertor แต่ละตัว

(4) ค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยจะแสดงค่าสูงสุดแบบ rms ของแต่ละอันดับฮาร์โมนิคส์ที่เวลาใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะวัดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ขณะที่มีค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันสูงสุด ซึ่งจะเป็นขณะที่มีโหลดเต็มพิกัดของโรงงาน

(5) ชนิดและช่วงเวลาทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงาน โดยเฉพาะช่วงเวลาที่เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์สูงสุด

(6) ข้อมูลขณะเกิดกระแสฮาร์โมนิคส์สูงผิดปกติ (พิจารณาตามหัวข้อที่ 9 ของ Engineering Recommendation G.5/3 เรื่อง ("Short Duration Harmonic")

ผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม

ใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ตั้งแต่ (1) - (6) และ

(7) ความสัมพันธ์ของ Phase Displacement ของฮาร์โมนิคาส์ที่เกิดจากอุปกรณ์ใหม่และอุปกรณ์ที่มีอยู่ หากไม่สามารถหาข้อมูลนี้ได้ ให้พิจารณาตามหัวข้อ ผ.2 ของภาคผนวก ตามตาราง ผ.3 หรือพิจารณาค่ากระแสฮาร์โมนิคส์สูงสุด ที่เกิดจากผู้ใช้ไฟ หลังจากการติดตั้งสมบูรณ์แล้ว โดยจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.5 ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการวัดจริง

3.3 ข้อมูลสำหรับผู้ขอใช้ไฟฟ้า

(1) ระดับของการลัดวงจรของระบบที่จุดต่อร่วม

(2) รายละเอียดของค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันที่จุดต่อร่วมที่มีอยู่แล้ว

(3) หากพิจารณาตามขั้นตอนที่ 3 ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่จะต้องการข้อมูลของค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมให้เกิดขึ้นที่จุดต่อร่วม ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมจะต้องการข้อมูลค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมให้เกิดขึ้นที่จุดต่อร่วม

ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มกับอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่

3.4 ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ (System Impedance)

ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบจ่ายไฟฟ้า เมื่อมองจากจุดต่อร่วม จะขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสที่กำลังใช้งาน ค่าความต้านทาน ค่าอินดัคแตนซ์ (Inductance) และค่าคาปาซิแตนซ์ (Capacitance) ของระบบและของโหลดที่ต่ออยู่กับระบบ เมื่อพิจารณาถึงผลของกระแสฮาร์โมนิคส์

ที่ผลิตโดยผู้ใช้ไฟฟ้า พบว่าเป็นไปได้ยากที่จะมีข้อมูลอย่างเพียงพอเกี่ยวกับระบบและคุณสมบัติของโหลดเพื่อใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้องและชัดเจน จุดประสงค์ของเอกสารเพื่อแนะนำใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีไม่เพียงพอ โดยจะสมมุติว่าค่าอิมพีแดนซ์ของระบบเป็นอินดัคทีฟ (Inductive) และแปรผันกับความถี่ และไม่มีผลของรีโซแนนซ์ (Resonance)

ที่ระดับแรงดัน 115 kV ควรจะมีข้อมูลอย่างเพียงพอเพื่อใช้ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะฮาร์โมนิคส์อันดับที่สูงขึ้น และอันดับที่เป็น 3 เท่า (Triplen) ควรจะสนใจ

เป็นพิเศษ ในกรณีที่กล่าวแล้ว การต่อขดลวดของหม้อแปลงจะเป็นสาเหตุหลักและต้องถูกแทนในการคำนวณอย่างระมัดระวัง

เอกสารนี้มีไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การประเมินกระแสฮาร์โมนิคส์สำหรับขั้นตอนที่ 2

กรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมต้องการที่จะติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Load) เพิ่มภายในขั้นตอนที่ 2 การพิจารณาถึงการประยุกต์ใช้มีความจำเป็นที่จะต้องทำร่วมกับผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อหาค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ ซึ่งเกิดจากโหลดตัวใหม่ โดยต้องไม่มีการรวมของค่าที่มีอยู่เดิมกับค่าของกระแสฮาร์โมนิคส์ใหม่ ซึ่งเกินจากค่าที่อนุญาตในตารางที่ 4.5 จากนั้นก็เป็นไปได้ที่ว่าผู้ใช้ไฟฟ้าหรือผู้ขายอุปกรณ์จะไปประมาณคุณสมบัติเกี่ยวกับฮาร์โมนิคส์ของอุปกรณ์ให้ได้ตามที่กำหนด

การประมาณค่าถูกทำขึ้นโดยใช้ผลที่ได้จากการวัดยังสถานที่จริงดังที่วางไว้ในส่วนที่ 3.1(2) และอธิบายในส่วน ผ.4 :

สำหรับแต่ละฮาร์โมนิคส์ กำหนดให้

Im = ค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ได้จากการวัด (หัวข้อ (2) ของส่วน 3.1)

Ip = ค่ารวมของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่อนุญาตตามตารางที่ 4.5

Ia = ค่าของกระแสฮาร์โมนิคส์จากโหลดที่ต่อใหม่ ซึ่งยอมรับได้ภายใต้ขั้นตอนที่ 2

k1 = ตัวคูณจากตาราง ผ.3 โดยพิจารณาทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมและโหลดที่ต่อใหม่ ดังนี้

$$Ia = \frac{Ip - \mathrm{Im}}{k1}$$

จากนั้นก็สามารถแนะนำต่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้ว่า ถ้าการทำงานร่วมกันของโหลดเดิมกับโหลดที่ต่อเข้าไปใหม่จะเป็นที่ยอมรับ เมื่อโหลดที่ติดตั้งทั้งหมดไปทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์เกินจาก Ip (จากตารางที่ 4.5) ซึ่งได้ประมาณว่า Ia อาจถูกผลิตโดยโหลดที่ต่อเข้ามาใหม่ การวัดควรจะถูกทำในระหว่างการทดสอบนำอุปกรณ์เข้าใช้งาน เพื่อมั่นใจว่าค่าของ Ip ไม่เกินจากที่กำหนด

ในการใช้วิธีการที่กล่าวมาแล้ว คำนวณค่าของ Ia ไม่ให้เกินจากที่กำหนด จะต้องใช้ตัวประกอบการคูณ k1 (Coincidence Factor) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าบางครั้งค่าของ Ip จะเกินจากที่กำหนด (ดู Section 10.2 ของ Engineering Recommendation G.5/3 เรื่อง "Automatic Mains Harmonic Analyzer") เมื่อทำการวัดเพื่อหาค่าจริงของกระแสที่ถูกผลิตขึ้น ก็ควรตระหนักถึงเรื่องนี้ไว้ด้วย ซึ่งก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการหาวิธีการวัดแบบใหม่

3.6 การประมาณค่าแรงดันและกระแสฮาร์โมนิคส์สำหรับขั้นตอนที่ 3

จะมีปัญหา 2 แบบเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 3 ดังที่แสดงไว้ในส่วนที่ 3.1(3) และ (4) เชื่อว่าการต่อเข้าระบบของผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือการพิจารณาถึงการติดตั้งอุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้นเพิ่มสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม ความจริงการพิจารณาการเพิ่มโหลดภายใต้ขั้นตอนที่ 3 นี้ บอกเป็นนัยว่ากระแสฮาร์โมนิคส์ ที่คาดว่าจะถูกผลิตออกมาจะมีค่ามากกว่าค่าที่แนะนำไว้ตามตารางที่ 4.5 หรือค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดัน (Voltage Distortion) ที่จุดต่อร่วม เกินร้อยละ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่าในตารางที่ 4.6 การประเมินผลกระทบจากโหลดที่เพิ่มเข้ามาในระบบนั้น ควรทำโดยใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดเท่าที่หาได้ และวิเคราะห์โดยพิจารณาคุณลักษณะที่แท้จริงของระบบ เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) และความถี่ อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ยากที่จะมีข้อมูลอย่างเพียงพอให้คำนวณได้อย่างจริงจัง และวิธีการประมาณต่อไปนี้ เป็นเสมือนข้อแนะนำ (Guide) สำหรับแต่ละฮาร์โมนิคส์ให้

KV = แรงดันของระบบที่จุดต่อร่วม หน่วย kV (เฟสต่อเฟส)

n = อันดับของฮาร์โมนิคส์

Vp = ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันที่ยอมรับได้ ตามตารางที่ 4.6

Vm = ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันที่วัดได้ ตามส่วนที่ 3.1(3), 3.1(4) และ ผ.4

Va = ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดันซึ่งควรจะเป็น ที่ยอมภายใต้ขั้นตอนที่ 3 เนื่องจากโหลดที่ต่อเข้าไปใหม่

k2 = ตัวประกอบการคูณจากตาราง ผ.3 โดยพิจารณาทั้งโหลดใหม่ และโหลดที่มีอยู่แล้วที่จุดต่อร่วม

F = ระดับของการลัดวงจรของระบบที่จุดต่อ (System Short-Circuit Level) หน่วย MVA ดูส่วน 3.3(1)

ดังนั้น $$Ia = \frac{Ip - \mathrm{Im}}{k1} \%$$

3.6.1 ผู้ขอใช้ไฟฟ้าใหม่

เริ่มแรกในกรณีของการเชื่อมต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ภายใต้ขั้นตอนที่ 3 ต้องประมาณค่าของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมรับได้ก่อน

ในกรณีที่ต้องเปลี่ยนค่าของ Va ไปเป็นกระแสฮาร์โมนิคส์ให้ Ia = ค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ควรจะเป็นที่ยอมรับได้ถ้าถูกสร้างขึ้นโดยโหลดที่ต่อใหม่

ดังนั้น $$Ia = \frac{Va \times 10 \times F}{\sqrt{3} \times kV \times n}$$

จากนั้นก็สามารถแนะนำกับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ว่าโหลดที่จะต่อใหม่ยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งทำให้กระแสฮาร์โมนิคส์ที่สร้างขึ้นไม่เกินค่าของ Ia

ที่คำนวณได้ และจะทำการวัดหลังจาก ต่อโหลดเข้าใช้งาน เพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าดังกล่าวไม่เกินจากที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ผู้ใช้ไฟฟ้าเดิม

ในรายการที่ 2 นี้ การต่อโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Load) เพิ่มเข้าไปโดยผู้ใช้ไฟฟ้าเดิม จำเป็นที่จะต้องประมาณค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่สามารถยอมรับโดยพิจารณาทั้งโหลดที่มีอยู่เดิมและโหลดใหม่รวมกัน เริ่มแรกให้กำหนดตามส่วนที่ 3.6 ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์ของแรงดัน (Va) ซึ่งสามารถยอมรับได้ ภายใต้ขั้นตอนที่ 3 เนื่องจากโหลดที่ต่อเข้าไปใหม่โดยผู้ใช้ไฟฟ้า สำหรับการคำนวณในส่วนนี้ ตัวประกอบการคูณที่จะได้จากตารางที่ ผ.3 จะต้องสัมพันธ์กับความแตกต่างในการติดตั้งอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่พิจารณาและผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นรอบจุดต่อร่วม นั้นคือ k2 ของส่วน 3.6

สำหรับแต่ละฮาร์โมนิคส์กำหนดให้

Ic = กระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมรับได้จากการรวมกันของโหลดเดิมกับโหลดใหม่

Im = ค่าที่วัดได้ของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่มีอยู่เดิมที่จุดต่อร่วม (ดูข้อ (2) ของหัวข้อ 3.1)

Ia = ค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ที่ยอมรับได้ภายใต้ขั้นตอนที่ 3 จากโหลดที่ต่อใหม่

k1 = ตัวประกอบการคูณร่วมระหว่างโหลดเดิมของผู้ใช้ไฟฟ้ากับโหลดที่ต่อใหม่

ดังนั้น Ia = $$Ia = \frac{Va \times 10 \times F}{\sqrt{3} \times kV \times n}$$

ซึ่ง Va ได้ถูกกำหนดนิยามไว้แล้วในข้อที่ 3.6 และ

$$Ic = k1\ (Im + Ia)\ A\ rms$$

จากนั้นก็สามารถบอกกับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ว่าการต่อโหลดเข้าใช้งานร่วมกันระหว่างโหลดเดิมกับโหลดใหม่จะเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อไม่ทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์เกินจากค่าของ Ic แล้ว ยังรวมถึงค่ากระแสฮาร์โมนิคส์ Ia ที่มีผลต่อโหลดใหม่ ข้อตกลงนี้จะเป็นการจำกัดค่ากระแสฮาร์โมนิคส์รวม

ที่ถูกผลิตออกมาจากโหลดที่ติดตั้งอยู่ทั้งหมดให้เป็นค่า Ic และการวัดควรจะถูกทำหลังจากต่อโหลดเข้าใช้งาน เพื่อให้แน่ใจว่ามีค่าไม่เกินจากที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายสันติ มุ่งเขม้น

วัน/เดือน/ปี เกิด 1 มิถุนายน 2514

สถานที่เกิด จังหวัด อ่างทอง

อายุ 34 ปี

ที่อยู่ปัจจุบัน 80/324 หมู่บ้านบุศรินทร์ ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี

การศึกษา จบอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม เกียรตินิยมอันดับสอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือพ.ศ.2539

เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545

ประสบการณ์การทำงาน

เดิมเป็นผู้ปฏิบัติงานในโครงการปรับปรุงระบบไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ และต่อมาเข้ามาปฏิบัติงาน SIEMENS LTD THAILAND. ในส่วนงาน Project Co-coordinator โครงการแปดแสนเลขหมาย องค์การโทรศัพท์ โครงการ PCT TA โครงการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ACT 1900 องค์การโทรศัพท์ และ กสท. โครงการโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM 1800 MHz, 900 MHz

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับ

1. สันติ มุ่งเขม้น และ กอบชัย เดชหาญ "ผลกระทบของฮาร์มอนิกในระบบชุมสายโทรศัพท์ที่ "วิศวสารลาดกระบัง"2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้