

การออกแบบวงจรกรองปรับค่าได้อัตโนมัติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร
AUTO-TURNED ACTIVE FILTER DESIGN
FOR LIGHTING SYSTEM IN BUILDINGS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTO-TURNED ACTIVE FILTER DESIGN FOR LIGHTING SYSTEM IN BUILDINGS



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR'S DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2565

การออกแบบวงจรกรองปรับค่าได้อัตโนมัติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร
AUTO-TURNED ACTIVE FILTER DESIGN FOR LIGHTING SYSTEM IN BUILDINGS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อรรถพล เ่งาพิทักษ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

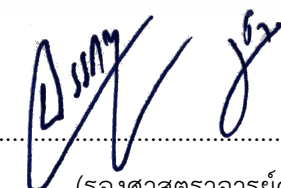
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

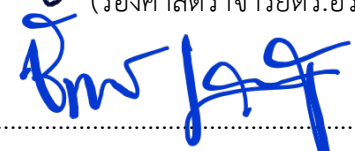
เรื่อง การออกแบบวงจรกรองปรับค่าได้อัตโนมัติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร

ผู้จัดทำ

1. นางสาว นันทน์ภัส บุญสม
2. นาย ภูชิษฐ์ มังคุณ
3. นาย วิทน์ธวินท์ พัยคพันธ์
4. นาย วิชญะ วิสภักดิ์




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรกรองปรับค่าได้อัตโนมัติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร

นางสาว นันทน์ภัส บุญสม

นาย ภูชิษฐ์ มังคุณ

นาย วัชรวิวัฒน์ พยัคพันธ์

นาย วิชญะ วิสภักดี

รศ.ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบวงจรกรองปรับสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารโดยใช้วิธีการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสโดยใช้วิธีจับสัญญาณการตรวจจับฮาร์มอนิกใช้วิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมกับระบบที่พิจารณากำจัดฮาร์มอนิก การควบคุมการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟเพื่อให้สามารถฉีดกระแสชดเชยได้ตามลักษณะของกระแส อ้างอิงที่ได้จากการตรวจจับฮาร์มอนิกจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมกระแสชดเชย และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ โดยเราได้เลือกศึกษาและใช้ตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสสำหรับควบคุมการฉีดกระแสชดเชย และใช้ตัวควบคุมพีไอสำหรับควบคุมค่าแรงดันบัสไฟตรง และได้ใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB ในจำลองสถานการณ์กับโหลดแสงสว่าง 4 กรณี คือ โหลด 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์พบว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งร่วมกับการใช้ตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบสามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกได้ โดยรูปสัญญาณของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยสามารถกลับมามีลักษณะคล้ายรูปไซน์ และค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสได้ลดลง โดยผลการจำลองพบว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟและระบบควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจริงได้

Auto-tuned active filter design for lighting system in buildings

Nunnapat Boonsom

Phuchich Mungkun

Wattawin Payakkhapan

Wichaya Wisapak

Assistant.Prof.Dr.Atthapol Ngaopitakkul Advisor

Assistant.Prof.Dr.Chaiyan Jettanasen Co-Advisor

ABSTRACT

This thesis presents the design of active power filter for a lighting system in building via shunt active power filter for single-phase systems. The harmonic detection by Instantaneous reactive power theory. The parameters design of active power filter is based on the system rating and components to allow it eliminate harmonics from the system appropriately and effectively. The control systems for active power filter are divided into two parts: current compensation control and dc bus voltage control. In this thesis, hysteresis controller is selected for current compensation control and PI controller is used for dc bus voltage control. Simulink/MATLAB software is employed to simulate the scenarios with four different light loads: 90, 180, 360, and 720 watts. The simulation results shown that the active power filter using Instantaneous reactive power theory harmonic detection cooperate with the designed controllers can inject compensating current and eliminate harmonics from the system effectively. The waveform of source current after compensation has come back into sinusoidal waveform.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมไปถึงคุณบุญยวีร์ ฉายศิริ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนและมอบองค์ความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ ทั้งบุคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้การสนับสนุนในด้านอุปกรณ์ สถานที่และคำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสุดทายนี่ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมภาควิชาทุกคน รวมไปถึงบิดามารดาและครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ และเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์มอนิก	5
2.2 นิยามของฮาร์มอนิก	5
2.3 ประเภทของฮาร์มอนิก	6
2.4 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก	7
2.4.1 อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	7
2.4.2 อุปกรณ์ประเภทแม่เหล็ก	7
2.4.3 อุปกรณ์ประเภทอาร์ค	7
2.5 ผลกระทบของฮาร์มอนิก	8
2.5.1 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า	8
2.5.1.1 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)	8
2.5.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์	9
2.5.1.3 หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง	9
2.5.1.4 รีเลย์ป้องกัน	9
2.5.1.5 หม้อแปลง	9
2.5.1.6 เครื่องจักรชนิดหมุน (Rotating Machine)	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	10
2.5.1.8 การรบกวนโทรศัพท์ (Telephone Interference)	10
2.6 วิธีการกำจัดฮาร์โมนิก	11
2.6.1 การใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ	11
2.6.2 การใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ	12
2.6.3 การใช้วงจรกรองกำลังไฮบริด	12
2.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิก	13
บทที่ 3 การออกแบบระบบการกำจัดฮาร์โมนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ	
3.1 บทนำ	16
3.2 การออกแบบระบบตรวจจับฮาร์โมนิก	17
3.3 การออกแบบระบบกำจัดฮาร์โมนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน	19
3.3.1 การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ L_f	20
3.3.2 การออกแบบค่าตัวเก็บประจุ C_{DC}	22
3.4 การออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชย	23
3.5 การออกแบบระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 กรณีโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์	27
4.2 กรณีโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์	30
4.3 กรณีโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์	33
4.4 กรณีโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์	36
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ปัญหาที่พบ	41
5.3 แนวทางการพัฒนา	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก ก	
บทความทางวิชาการ	45
ภาคผนวก ข	
วงจรใน Simulink/MATLAB	54
ประวัติผู้เขียน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังพาสซีฟ	11
2.2 การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ	12
2.3 การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ	12
2.4 จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC)	13
3.1 ระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน	16
3.2 แผนภาพการใช้โปรแกรมตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ	19
3.3 โครงสร้างวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (SAPF)	20
3.4 สเปกตรัมของกระแสไหลตในระบบที่พิจารณากำจัดฮาร์มอนิก	21
3.5 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส	23
3.6 หลักการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส	23
3.7 แผนภาพบล็อกการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ	24
4.1 ระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน	26
4.2 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	27
4.3 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	28
4.4 กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ (ก)	29
4.4 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ (ข)	29
4.5 กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ (ก)	29
4.5 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ (ข)	29
4.6 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	30
4.7 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	31
4.8 กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ (ก)	32
4.8 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ (ข)	32
4.9 กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ (ก)	32
4.9 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ (ข)	32
4.10 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์ เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	33

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 360 วัตต์ หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	34
4.12 กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 360 วัตต์ (ก)	35
4.12 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 360 วัตต์ (ข)	35
4.13 กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 360 วัตต์ (ก)	35
4.13 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 360 วัตต์ (ข)	35
4.14 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 720 วัตต์ เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	36
4.15 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 720 วัตต์ หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)	37
4.16 กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 720 วัตต์ (ก)	38
4.16 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 720 วัตต์ (ข)	38
4.17 กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 720 วัตต์ (ก)	38
4.17 สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดแสงสว่าง 720 วัตต์ (ข)	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	2
2.1 แสดงขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิก	13
2.2 แสดงขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส	13
2.3 แสดงขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส	14
2.4 แสดงขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส	14
3.1 โหมตการทำงานของสวิตช์โอจีบีทีในวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน	20
3.2 โหลดและค่าพารามิเตอร์ในกรณีต่าง ๆ	21
3.3 โหลดในกรณีต่าง ๆ และค่าขอบเขตต่ำสุดของตัวเก็บประจุ	22
4.1 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกำจัดฮาร์มอนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์	27
4.2 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกำจัดฮาร์มอนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์	30
4.3 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกำจัดฮาร์มอนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์	33
4.4 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกำจัดฮาร์มอนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์	36
4.5 สรุปค่าฮาร์มอนิกก่อนการชดเชยของหลอดไฟ LED Bulb จากการทดลอง	39
5.1 สรุปค่าฮาร์มอนิกก่อนชดเชยและหลังชดเชยของโหลดกรณีต่าง ๆ	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นระบบที่ขาดไม่ได้ในโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการ สำนักงาน รวมถึงบ้านพักอาศัยต่าง ๆ ล้วนเป็นการใช้งานโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear load) การใช้งานโหลดดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ซึ่งฮาร์มอนิกเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อทำให้คุณภาพทางไฟฟ้าของระบบลดลง เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาและผลเสียต่าง ๆ เช่น ก่อให้เกิดกำลังงานสูญเสียที่สายส่ง ทำให้อุปกรณ์ประเภทมอเตอร์วัดอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์มีการทำงานผิดพลาด และยังทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานที่สั้นลง เป็นต้น [1-4] จากผลเสียดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการกำจัดฮาร์มอนิกให้หมดหรือลดน้อยลง เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากลับมามีคุณภาพทางมากยิ่งขึ้น วิธีการกำจัดฮาร์มอนิกที่นิยมใช้ในปัจจุบันพบว่ามีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ การใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ (Passive power filter) [5] การใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ (Active power filter) [6] และการใช้วงจรกรองกำลังไฮบริด (Hybrid power filter) [7] อย่างไรก็ตาม ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ เรามุ่งเน้นไปในการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ (Active power filter) ในการกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ความรู้ด้านการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร
2. เพื่อศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน
3. เพื่อศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส
4. เพื่อศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ
5. เพื่อจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาและวิเคราะห์วิธีการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร ด้วยการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาและวิเคราะห์เรื่องการควบคุมกระแสชดเชย และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ

3. เลือกใช้โหลดแสงสว่างคือหลอดไฟ LED ขนาด 18 วัตต์ เป็นตัวทดลองเปรียบเทียบ 4 กรณีจำนวน 5, 10, 20 และ 40 หลอด

4. จำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟกับโหลดแสงสว่าง 4 กรณี คือโหลด 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ ด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

วิธีการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส โดยใช้ทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่ง ควบคุมกระแสชดเชยด้วยวิธีฮีสเทอรีซิสและควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยวิธีพีไอ

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	พ.ศ.2565					พ.ศ.2566				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
ศึกษาความแตกต่างระหว่างการใช้รีจอร์จรอกกำลังพาสซีฟ, แอกทีฟและไฮบริด เพื่อหาวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการกำจัดฮาร์มอนิก										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ (ต่อ)

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	พ.ศ.2565					พ.ศ.2566				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาเรื่องการควบคุมกระแสชดเชยโดยใช้ตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ										
ออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสสำหรับกำจัดฮาร์มอนิก										
จำลองการทดลองกับโหลดแสงสว่าง 4 กรณี คือ โหลด 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ ด้วย Simulink/MATLAB										
สรุปผลงานวิจัย										
จัดทำรูปเล่มปริยญาานิพนธ์										
นำเสนอผลงานวิจัย										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้รับองค์ความรู้ด้านการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร
2. ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน
3. ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเทอรีซิส
4. ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ
5. ได้โปรแกรมสำหรับจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์มอนิก

การกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานของฮาร์มอนิกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ถึงปัญหาและเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ในบทนี้จึงนำเสนอความรู้พื้นฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์มอนิก ซึ่งประกอบด้วย นิยามของฮาร์มอนิก ประเภทของฮาร์มอนิก แหล่งกำเนิดของฮาร์มอนิก ผลกระทบของฮาร์มอนิก วิธีการกำจัดฮาร์มอนิก และมาตรฐานเกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิก ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

2.2 นิยามของฮาร์มอนิก

นิยามของฮาร์มอนิก (Harmonics) คือ องค์ประกอบของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า รูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier equation) ดังสมการที่ 2.1 โดยที่ $f(t)$ คือ ฟังก์ชันของรูปสัญญาณแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า และ h คือ อันดับฮาร์มอนิก

$$f(t) = a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos(h\omega t) + \sum_{h=1}^{\infty} b_h \sin(h\omega t) \quad (2.1)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ a_0 a_h และ b_h สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2) ถึง (2.4)

$$a_0 = \frac{1}{T} \int f(t) dt \quad (2.2)$$

$$a_h = \frac{2}{T} \int f(t) \cos(h\omega t) dt \quad (2.3)$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int f(t) \sin(h\omega t) dt \quad (2.4)$$

โดยที่ T คือ คาบของสัญญาณ (s)

ω คือ ความถี่มูลฐานเชิงมุม (rad/s)

เนื่องจากแรงดันหรือกระแสฮาร์มอนิกอันดับต่าง ๆ ($h > 1$) จะมีค่าความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน ($h = 1$) ดังนั้น ในระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่มีความถี่มูลฐาน 50 Hz จะมี

แรงดันหรือกระแสที่ความถี่ฮาร์มอนิกอันดับที่ 3, 5 และ 7 เท่ากับ 150 Hz, 250 Hz และ 350 Hz ตามลำดับ

การวัดปริมาณฮาร์มอนิกจะระบุด้วยค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: THD) ซึ่งคือ อัตราส่วนระหว่างรากที่สองขององค์ประกอบฮาร์มอนิกกำลังสอง (แรงดันหรือกระแสฮาร์มอนิก) ต่อองค์ประกอบมูลฐาน โดยจะพิจารณาองค์ประกอบฮาร์มอนิกถึงอันดับที่ 50 สำหรับองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่มีอันดับมากกว่า 50 โดยปกติจะไม่ถูกใช้ในการคำนวณค่า THD และจะถูกนิยามเป็นสัญญาณรบกวนแทนมาตรฐานสากล IEEE และ IEC พิจารณาปริมาณของฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า %THD ของแรงดัน ฮาร์มอนิก และค่า %THD ของกระแสฮาร์มอนิกได้จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ [8]

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.5)$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.6)$$

โดยที่ V_h คือ ค่า RMS ของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h

V_1 คือ ค่า RMS ของแรงดันที่ความถี่มูลฐาน

I_h คือ ค่า RMS ของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h

I_1 คือ ค่า RMS ของกระแสที่ความถี่มูลฐาน

2.3 ประเภทของฮาร์มอนิก

ฮาร์มอนิกสามารถแยกออกเป็นประเภทย่อย ๆ ตามลักษณะกลุ่มอันดับฮาร์มอนิกได้ ดังนี้

ประเภทที่ 1 Harmonic (อันดับเป็นจำนวนเต็ม) คือ องค์ประกอบของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของค่าความถี่มูลฐาน พบในโหลดที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไป (สามารถดูได้จากหัวข้อที่ 2.4)

ประเภทที่ 2 Interharmonic คือ องค์ประกอบของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าแบบไม่ลงตัวของความถี่มูลฐาน (อันดับฮาร์มอนิกไม่ใช่จำนวนเต็ม) พบมากในกระแสไฟฟ้าของโหลดเตาหลอมแบบอาร์ค (arc furnace)

ประเภทที่ 3 Characteristic Harmonic คือ ฮาร์โมนิกที่ถูกสร้างขึ้นจากโหลด วงจรแปลงผันไฟฟ้า ซึ่งมียอดฮาร์โมนิก h เป็นไปตามสมการที่ (2.7)

$$h = kp \pm 1 \quad (2.7)$$

โดยที่ k คือ จำนวนที่มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3...

p คือ จำนวนพัลส์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้า

ประเภทที่ 4 Non-characteristic Harmonic คือ ฮาร์โมนิกที่ถูกสร้างขึ้นจากโหลด วงจรแปลงผันไฟฟ้าเช่นเดียวกับ Characteristic Harmonic แต่ Non-characteristic Harmonic มียอดฮาร์โมนิกไม่เป็นไปตามสมการที่ (2.7)

ประเภทที่ 5 Triplen Harmonic คือ กลุ่มฮาร์โมนิกที่อันดับถูกหารด้วย 3 ลงตัว เช่น ฮาร์โมนิกอันดับที่ 3, 6, 9 และ 12 เป็นต้น ซึ่งอยู่ในกลุ่มของลำดับศูนย์ (zero sequence) และ จะไหลอยู่ในสายนิวทรัล

2.4 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิก

ระบบไฟฟ้ากำลังในอุดมคติจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยแรงดันที่เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ แต่ในความเป็นจริงรูปคลื่นแรงดันมักมีความเพี้ยนซึ่งการที่รูปคลื่นไซน์ เบี่ยงเบนไปจากรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ โดยปกติจะอ้างอิงถึงเทอมความเพี้ยนฮาร์โมนิกของรูปคลื่นแรงดันและกระแส โดยทั่วไปความเพี้ยนนี้มีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ประเภทโหลดไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ให้กับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งโหลดประเภทนี้มีคุณสมบัติในการทำให้เป็นต้นเหตุให้เกิดความเพี้ยนของแรงดันและไปปรากฏอยู่ในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าโหลดไม่เป็นเชิงเส้นคือแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกขึ้นมาให้กับระบบไฟฟ้าและเราสามารถแบ่งโหลดเหล่านี้ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.4.1 อุปกรณ์ประเภทยิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic Devices)

อุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ เครื่องแปลงผันที่สามารถใช้ได้หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น ตัวเรียงกระแส ระบบขับเคลื่อนปรับความเร็วได้และอินเวอร์เตอร์

2.4.2 อุปกรณ์ประเภทแม่เหล็ก (Ferromagnetic Devices)

ซึ่งอุปกรณ์ประเภทนี้ ได้แก่ หม้อแปลง เมื่อหม้อแปลงได้รับแรงดันเกินพิกัดจะทำให้กระแสแม่เหล็ก เพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็กหม้อแปลงจึงเกิดฮาร์โมนิกขึ้นมา

2.4.3 อุปกรณ์ประเภทอาร์ค (Arcing Devices)

อุปกรณ์ประเภทนี้ ได้แก่ เต้าหอลอม จะทำให้เกิดฮาร์โมนิกเป็นจำนวนมาก เพราะสาเหตุเกิดจากคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นในการอาร์ค นอกจากนี้หลอดฟลูออเรสเซนต์ก็มีคุณลักษณะพื้นฐานของ

การอาร์คเช่นเดียวกันและมีการใช้งานอย่างมากมาย ปัจจุบันโหลดไม่เป็นเชิงเส้นมีการใช้กันในระบบไฟฟ้ากำลังอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมและธุรกิจขนาดใหญ่ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้วยคุณสมบัติการทำงานของโหลดประเภทนี้จะทำให้รูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ของแรงดันและกระแสเกิดฮาร์มอนิกไหลกลับเข้าไปในระบบของการไฟฟ้า โดยจะไปมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ จึงเป็นการทำให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพกำลังลดต่ำลง

2.5 ผลกระทบของฮาร์มอนิก

โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อถูกเชื่อมต่อใช้งานเข้ากับระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อรูปสัญญาณของแรงดันหรือกระแสที่แหล่งจ่ายมีลักษณะบิดเบี้ยวหรือผิดเพี้ยนไม่เป็นรูปไซน์ และก่อให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าซึ่งมีผลกระทบหลายประการตามมา เช่น

- ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในวงจรสื่อสารและอุปกรณ์ประเภทอื่น ๆ ในระบบไฟฟ้า
- ก่อให้เกิดความร้อนและกำลังงานสูญเสียในสายส่งอย่างมาก รวมถึงกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ประเภทแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์ [1-3]
- ทำให้อุปกรณ์ป้องกัน เช่น ฟิวส์ เบรกเกอร์ และรีเลย์ทำงานผิดพลาด เนื่องจากผลของฮาร์มอนิกที่ทำให้แรงดันหรือกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ อุปกรณ์วัดบางชนิด เช่น มิเตอร์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้า (watt-hour meter) ซึ่งโดยปกติถูกปรับแต่งไว้ให้ทำงานที่ความถี่มูลฐานอาจทำงานผิดพลาดเช่นกัน [2],[9]
- แรงดันฮาร์มอนิกและสภาวะเรโซแนนซ์จะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัวเก็บประจุ และการขยายตัวของกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้กระแสฮาร์มอนิกยังส่งผลให้ความร้อนและความเครียดไดอิเล็กทริกในตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวเก็บประจุมีอายุการใช้งานที่สั้นลง [10]

2.5.1 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2.5.1.1 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)

การใช้คาปาซิเตอร์ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์และแรงดันให้ดีขึ้นนั้นจะทำให้มีอิทธิพลต่อระดับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ในความเป็นจริงคาปาซิเตอร์ไม่ได้เป็นตัวกำเนิดฮาร์มอนิก แต่การต่อคาปาซิเตอร์และรีแอคแตนซ์เข้าไปในระบบจะมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดเงื่อนไขเรโซแนนซ์ขนานระหว่างคาปาซิเตอร์และรีแอคแตนซ์ของระบบ เมื่อพิจารณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์มอนิก ถ้ารีโซแนนซ์แบบขนานเกิดขึ้นที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับความถี่ฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้น จะทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลผ่านระหว่างรีแอคแตนซ์ของระบบและรีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ และกระแสนี้จะรวมกับกระแส ฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมรีแอคแตนซ์ของระบบ

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความเพี้ยนของแรงดันมีค่ามาก ดังนั้นวิธีการเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ควรหลีกเลี่ยงขนาดที่ทำให้เกิดความถี่รีโซแนนซ์เดียวกัน หรือใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์โมนิก

2.5.1.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์

ความเพี้ยนของกระแสฮาร์โมนิกจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อฮาร์โมนิกมีความถี่สูงมากกว่าความถี่หลักมูลมีผลทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากการสูญเสียในขดลวดโซลีนอยด์รวมกับความร้อนที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัว ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้อุปกรณ์ตัดวงจรด้วยความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะทำให้จุดตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าลดลง

2.5.1.3 หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง

เมื่อใช้งานหลอดไฟแบบเผาไส้ด้วยแรงดันที่มีความเพี้ยนจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดไฟสั้นลง เพราะหลอดไฟจะมีความไวต่อระดับแรงดันที่ใช้งาน ถ้าแรงดันประสิทธิผลขณะใช้งานมีค่าสูงกว่าพิกัดเนื่องจากความเพี้ยนของฮาร์โมนิกจะทำให้มีผลต่ออุณหภูมิของหลอดไส้ และจะไปลดอายุการใช้งานของหลอดไฟ สำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่องของหลอดไฟที่ 105 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดันประสิทธิผลจะมีผลให้อายุการใช้งานของหลอดไฟลดลง 47 เปอร์เซ็นต์

2.5.1.4 รีเลย์ป้องกัน

รูปคลื่นที่มีความเพี้ยนจะมีผลต่อสมรรถนะของรีเลย์ป้องกัน โดยอาจเป็นสาเหตุให้รีเลย์ทำงานไม่ถูกต้องเมื่อต้องการให้ทำงาน หม้อแปลงแรงดันโดยเฉพาะหม้อแปลงกระแสจะเป็นตัวส่งสัญญาณความเพี้ยนของฮาร์โมนิกเข้าสู่ระบบรีเลย์ โดยปกติหม้อแปลงกระแสจะมีการทำงานที่ระดับของกระแสไหลแต่เมื่อเกิดกระแสฟลทสูง ๆ จะทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสอิ่มตัวซึ่งทำให้เกิดสัญญาณความเพี้ยนเข้าไปในระบบรีเลย์ ดังนั้นความเพี้ยนนี้อาจเป็นสาเหตุให้รีเลย์สั่งตัดวงจรไม่ถูกต้องในกรณีที่ฟลทเกิดขึ้นหรืออาจสร้างความเดือดร้อนให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยการสั่งตัดวงจรขณะที่ไม่ได้เกิดฟลทขึ้นในระบบไฟฟ้า

2.5.1.5 หม้อแปลง

ผลกระทบต่อฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าที่มีต่อหม้อแปลงคือ มีการเพิ่มความร้อนในรูปแบบของกำลังสูญเสียมากขึ้น ซึ่งกำลังสูญเสียเหล่านี้ได้แก่

-กำลังสูญเสียของขดลวด กำลังสูญเสียส่วนนี้จะเกิดความร้อนขึ้นในตัวขดลวดและเกิดปรากฏการณ์ทางผิว

-กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวด กำลังสูญเสียในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นตามกำลังสองของกระแสไหลและกำลังสองของความถี่

-กำลังสูญเสียปลั๊กย่อย เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กไปคล้องผ่านส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นโลหะของหม้อแปลงซึ่งกำลังสูญเสียเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามความถี่เมื่อหม้อแปลงมีความร้อนสูงขึ้นกว่าค่าที่กำหนดจะทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงสั้นลง

2.5.1.6 เครื่องจักรชนิดหมุน (Rotating Machine)

เมื่อจ่ายแรงดันไม่เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์กับเครื่องจักรกลไฟฟ้า จะเป็นเหตุให้เกิดความร้อนสูงมาก การสั่นของทอร์คหรือคลื่นรบกวนขึ้นและกำลังสูญเสียในเครื่องจักรกลจะขึ้นอยู่กับสเปกตรัมของความถี่ แรงดันที่จ่ายความเพี้ยนของแรงดันทำให้โรเตอร์เกิดความร้อนมากเกินไปซึ่งปัญหาหลักของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีอุณหภูมิขณะทำงานสูงขึ้นจะเป็นสาเหตุให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง

2.5.1.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ความเพี้ยนของฮาร์โมนิกจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายอย่าง เช่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการตรวจสอบแรงดันผ่านศูนย์ของความถี่มูลฐานเมื่อเกิดฮาร์โมนิกที่มีความถี่มูลฐาน จึงทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์นี้ทำงานผิดพลาด เช่น นาฬิกาดิจิตอลจะมีเวลาเร็วขึ้นนอกจากนี้อุปกรณ์โซลิตัสเตทที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ตำแหน่งแรงดันผ่านศูนย์ เพื่อลดการรบกวนของสนามแม่เหล็กและกระแสพุ่งเข้า การที่มีจุดผ่านศูนย์มากขึ้นเนื่องจากฮาร์โมนิกจะทำให้เวลาของการสวิตช์เปลี่ยนไป ดังนั้นอุปกรณ์ที่ต่อกับสวิตช์นี้จะทำงานผิดพลาดไปด้วย แหล่งจ่ายกำลังอิเล็กทรอนิกส์ที่ขั้วออกคลื่นของแรงดันในการอัดประจุให้กับคาปาซิเตอร์ที่เป็นวงจรกรองให้เต็ม แต่ความถี่ของฮาร์โมนิกและความสัมพันธ์ของเฟสระหว่างแรงดันมูลฐานและแรงดันฮาร์โมนิกที่เพี้ยนสามารถทำให้ยอดคลื่นสูงขึ้นหรือแบนราบ ด้วยเหตุนี้แหล่งจ่ายกำลังจึงมีแรงดันขาออกไม่คงที่หรือต่ำกว่าระดับแรงดันที่ต้องการ ดังนั้นอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องรับไฟจากแหล่งจ่ายกำลังนี้ก็จะจะมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เศษส่วนของฮาร์โมนิกและฮาร์โมนิกย่อย (Fraction and Sub-Harmonic) สามารถมีผลกระทบต่อวิดีโอหรือโทรทัศน์ ซึ่งเศษส่วนของฮาร์โมนิกคือฮาร์โมนิกที่มีจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานไม่เป็นจำนวนเต็มและฮาร์โมนิกย่อยคือฮาร์โมนิกที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่มูลฐาน

2.5.1.8 การรบกวนโทรศัพท์ (Telephone Interference)

เมื่อติดตั้งสายโทรศัพท์บนเสาใกล้กับสายไฟฟ้าจะมีโอกาสที่สัญญาณรบกวนจากสายไฟฟ้าเข้าไปรบกวนระบบสื่อสารทางโทรศัพท์ได้ และถ้ามีฮาร์โมนิกรวมอยู่ด้วยซึ่งความถี่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

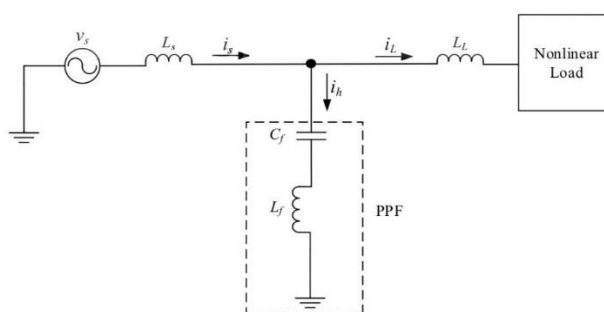
ฮาร์มอนิก สามารถที่จะสร้างปัญหาได้มากกว่าความถี่หลักมูล เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์มีความไวต่อการได้ยินและโทรศัพท์ตอบสนองได้ใกล้เคียงในระยะเวลา 1 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับการรบกวนสามารถวัดได้หลายวิธีแตกต่างกัน แต่มีวิธีการหนึ่ง คือ TIF (Telephone Influence Factor) เป็นแฟกเตอร์ที่รวมเอาความถี่ขนาดและน้ำหนักของความถี่ซึ่งในทางปฏิบัติการวัดการรบกวนโทรศัพท์จะใช้ผลคูณ IT ซึ่งผลคูณระหว่างกระแสประสิทธิผลเป็นแอมแปร์และ TIF ถ้าผลคูณ IT มีค่าน้อยกว่า 10,000 จะไม่มีผลกระทบต่อกรรบกวน แต่ถ้าผลคูณ IT มีค่าเกิน 25,500 จะสร้างปัญหาในการรบกวนการสื่อสารทางโทรศัพท์

2.6 วิธีการกำจัดฮาร์มอนิก

จากการศึกษาค้นคว้าวิธีการกำจัดฮาร์มอนิกพบว่า มีวิธีที่นิยมใช้แก้ปัญหาอยู่ 3 วิธี ได้แก่ การใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ การใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ และ การใช้วงจรกรองกำลังไฮบริด โดยแต่ละวิธีหลักการทำงาน ข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.6.1 การใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ (Passive Power Filter: PPF) จะใช้การเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ ได้แก่ ตัวต้านทาน (R_f) ตัวเหนี่ยวนำ (L_f) และตัวเก็บประจุ (C_f) เพื่อดูดซับฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า วงจรกรองกำลังพาสซีฟสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทและให้ผลของการดูดซับฮาร์มอนิกที่แตกต่างกันออกไป เช่น วงจรกรองจูนแบบอนุกรม (Series Tuned Filter) ให้ผลการดูดซับฮาร์มอนิกอันดับใดอันดับหนึ่งเท่านั้น วงจรกรองผ่านแถบคู่ (Double band-pass Filter) ให้ผลของการดูดซับฮาร์มอนิกสองอันดับ วงจรกรองหน่วง (Damped Filter) ให้ผลการดูดซับฮาร์มอนิกในอันดับใด ๆ ที่สูงกว่าอันดับที่ออกแบบไว้ และ วงจรกรองดีจูน (Detuned Filter) ช่วยดูดซับฮาร์มอนิกได้เล็กน้อย แต่มีวัตถุประสงค์หลักในการใช้งาน คือ หลีกเลี่ยงการเกิดเรโซแนนซ์ เป็นต้น

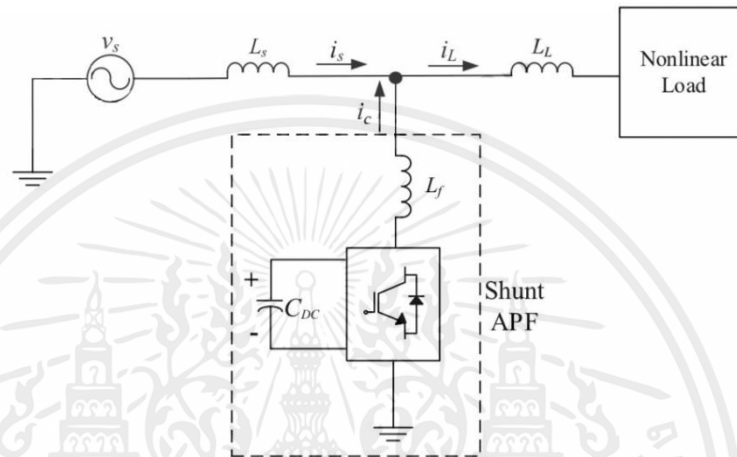
โดยข้อดีของการใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ คือ ใช้อุปกรณ์น้อย การออกแบบทำได้ง่ายไม่จำเป็นต้องมีตัวควบคุม และมีราคาถูก ส่วนข้อเสีย คือ อาจทำให้เกิดสถานะเรโซแนนซ์ และไม่ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังพาสซีฟ

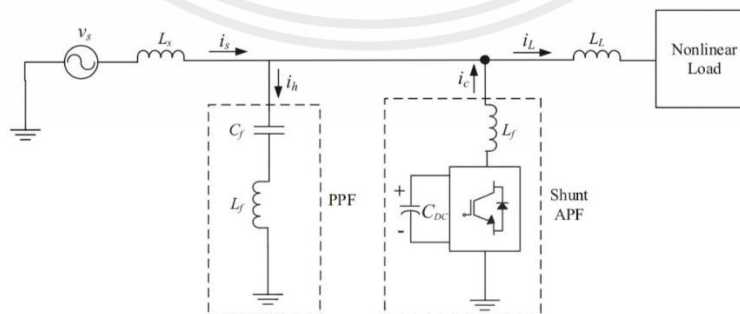
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ (Active Power Filter: APF) [11,12] จะใช้ วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดกระแสซิงโครนัสเพื่อกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ซึ่งแผนภาพระบบ กำจัดฮาร์มอนิกด้วยวิธีนี้สามารถแสดงดังรูปที่ 2.2 สำหรับข้อดีของการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ คือ มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรโซแนนซ์ ส่วนข้อเสียคือมีความซับซ้อนมากกว่าวงจรกรองกำลังพาสซีฟ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมาก และ จำเป็นต้องมีการออกแบบตัวควบคุมหลายส่วน



รูปที่ 2.2 การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

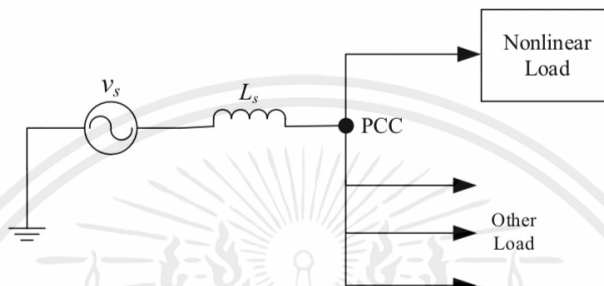
2.6.3 การใช้วงจรกรองกำลังไฮบริด (Hybrid Power Filter: HPF) [12] เป็นการนำ ข้อดีของวงจรกรองกำลังพาสซีฟและวงจรกรองกำลังแอกทีฟมาผสมผสานเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการทำงานของวงจรกรอง แต่จะส่งผลให้มีราคาแพง และการออกแบบมีความยากและ ซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ [13] อีกทั้งยังคงต้องเสี่ยงกับปัญหาเรโซแนนซ์ในส่วนของวงจรกรองกำลัง พาสซีฟ แผนภาพระบบกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังไฮบริดสามารถดูได้จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

2.7 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิก

มาตรฐาน IEEE std. 519-2014 [8] ได้กำหนดขีดจำกัดค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส และ แรงดันที่ยอมรับได้ ณ จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC) ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้าและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนของ แรงดันฮาร์มอนิกสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1 ส่วนขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส ฮาร์มอนิกสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1 ถึง 2.4



รูปที่ 2.4 จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC)

ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิก [14]

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Individual harmonic (%)
$V \leq 1.0$ kV	5	80
1 kV $< V \leq 69$ kV	3	5
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1	1.5 ^a

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส [14]

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{sc} / I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	%TDD
$< 20^c$	4	2	1.5	0.6	0.3	5
$25 < 50$	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกของกระแส [14]

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{sc} / I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	%TDD
$< 20^c$	2	1	0.75	0.3	0.15	2.5
$25 < 50$	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4
$50 < 100$	5	2.25	2	0.75	0.35	6
$100 < 1000$	6	2.75	2.5	1	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3	1.25	0.7	10

ตารางที่ 2.4 ขีดจำกัดของค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกของกระแส [14]

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{sc} / I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	%TDD
$< 25^c$	1	0.5	0.38	0.15	0.1	1.5
$25 < 50$	2	1	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

โดย I_{sc} ในตารางที่ 2.1 ถึง 2.4 คือ ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุด PCC และ I_L คือ ค่าความต้องการกระแสโหลดสูงสุด (ส่วนประกอบที่ความถี่มูลฐาน) ที่จุด PCC ภายใต้การทำงานของโหลดในสภาวะปกติ ส่วนค่า TDD หรือ Total Demand Distortion คือ ค่ารากที่สองของผลรวมกระแสฮาร์โมนิกกำลังสองต่อความต้องการกระแสโหลดสูงสุด โดยสามารถคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ได้จากสมการที่ 2.5

จากตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกแต่ละอันดับและค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมที่ยอมรับได้ ณ จุด PCC จะมีค่าแตกต่างกันตามระดับพิกัดแรงดันไฟฟ้าของระบบ เช่น ที่แรงดันน้อยกว่า 1 kV ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกแต่ละอันดับจะต้องไม่เกิน 5% และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวมจะต้องไม่เกิน 8% เป็นต้นจากตารางที่ 2.2 ถึง 2.4 ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกที่ยอมรับได้ ณ จุด PCC จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ I_{sc} / I_L เช่น

กรณีระบบจำหน่ายมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 120 V ถึง 69 kV และมีค่าอัตราส่วนของ I_{sc} / I_L น้อยกว่า 20 ขีดจำกัดค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกของอันดับที่ 3, 5, 7 และ 9 จะมีค่าเท่ากับ 4% อันดับที่ 11, 13 และ 15 มีค่าเท่ากับ 2% อันดับที่ 17, 19 และ 21 มีค่าเท่ากับ 1.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับที่ 23, 25, 27, 29, 31 และ 33 มีค่าเท่ากับ 0.6% อันดับที่ 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47 และ 50 มีค่าเท่ากับ 0.3% และค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมแบบ %TDD จะต้องไม่เกิน 5% เป็นต้น



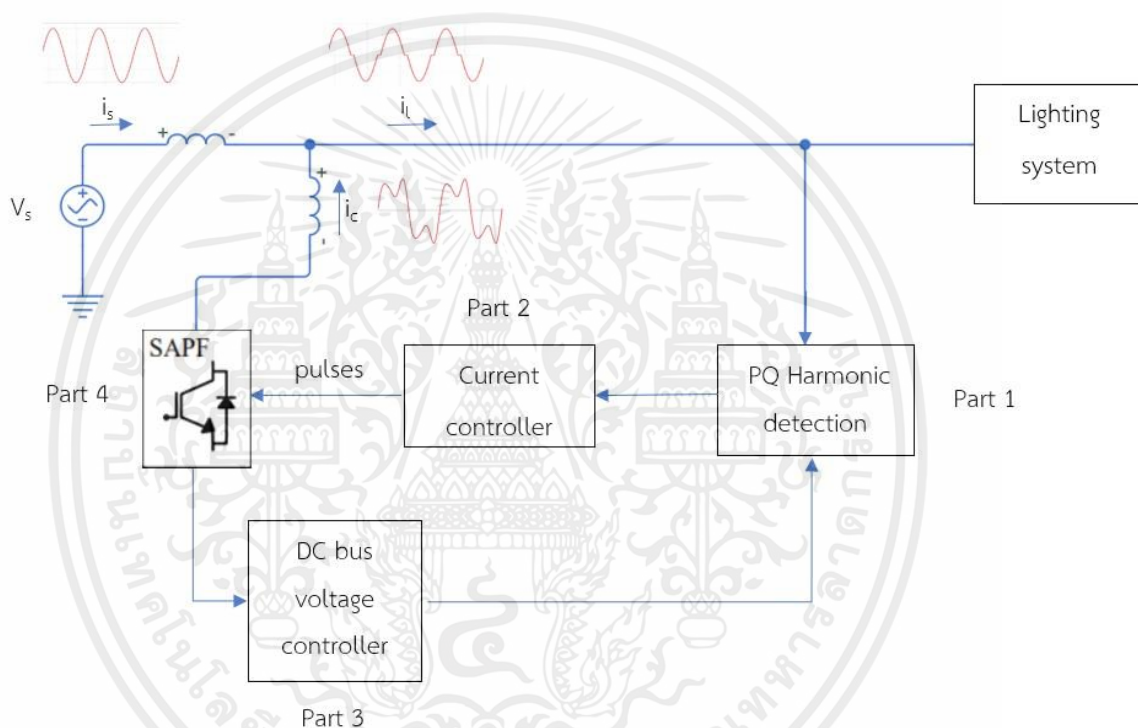
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟ

3.1 บทนำ

การออกแบบและสร้างวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานนั้นแบบมีส่วนประกอบของระบบกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานหนึ่งเฟสสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนที่สำคัญ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ส่วนที่ 1 การตรวจจับฮาร์มอนิก (Harmonic detection) ทำหน้าที่คำนวณหากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งกระแสดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่ากระแสชดเชยให้กับวงจรรอกกำลังแอกทีฟ ดังนั้นในส่วนของการตรวจจับฮาร์มอนิกนี้จึงถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง และจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีที่ให้ผลลัพธ์การคำนวณกระแสฮาร์มอนิกที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

ส่วนที่ 2 การควบคุมกระแสชดเชย (Current control) ทำหน้าที่ควบคุมการฉีดกระแสชดเชยของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ โดยในส่วนนี้จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมที่มีสมรรถนะ และการออกแบบให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้วงจรรอกกำลังแอกทีฟสามารถฉีดกระแสชดเชยได้ตามลักษณะรูปสัญญาณของกระแสอ้างอิงที่ได้จากส่วนการตรวจจับฮาร์มอนิกให้ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 การควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (DC bus voltage control) ทำหน้าที่ควบคุมค่าแรงดันบัสไฟตรงของวงจรรอกกำลังแอกทีฟให้มีค่าคงที่ตามค่าอ้างอิงที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อส่งเสริมให้ วงจรรอกกำลังแอกทีฟสามารถฉีดกระแสชดเชยได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดี

ส่วนที่ 4 วงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน ทำหน้าที่ฉีดกระแสชดเชยเข้าสู่ระบบไฟฟ้าเพื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิก ลดผลกระทบจากปัญหาฮาร์มอนิก และเพิ่มคุณภาพทางไฟฟ้าให้สูงขึ้น ซึ่งวงจรนี้จำเป็นต้องมีการออกแบบพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับระบบที่พิจารณา

โดยผู้จัดทำได้การทดสอบทั้งหมด 4 กรณี ซึ่งมีดังนี้ โหลดแสงสว่าง 90 วัตต์, โหลดแสงสว่าง 180 วัตต์, โหลดแสงสว่าง 360 วัตต์ และ โหลดแสงสว่าง 720 วัตต์

3.2 การออกแบบระบบตรวจจับฮาร์มอนิก (Harmonic detection)

การตรวจจับฮาร์มอนิกของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ ส่งผลต่อสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกของระบบ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นการคำนวณค่ากระแสอ้างอิงให้กับระบบควบคุมกระแสชดเชย โดยเราได้เลือกการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังไฟฟ้าขณะหนึ่งหรือเรียกว่า วิธี PQ ซึ่งวิธีดังกล่าวได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย Akagi Kannazawa and Nabae [15] ข้อดีของการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ คือ มีสมรรถนะที่ดีในการตรวจจับฮาร์มอนิกและการชดเชยกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติด้านการคำนวณ ที่รวดเร็วและไม่ซับซ้อน

วิธีนี้การแปลงของคาร์ก (Clarke transformation) สำหรับแรงดันและกระแสสามเฟส จะถูกแปลงให้อยู่บนแกนแอลฟาและเบต้า ($\alpha\beta$) แม้ว่าทฤษฎีนี้จะใช้สามกระแสและสามแรงดัน เนื่องจากสัญญาณเป็นสัญญาณเฟสเดียวจึงต้องทำการแปลงกระแสและแรงดันให้เป็นกระแสและแรงดันสามเฟสได้ตาม สมการที่ (3.1) สำหรับสัญญาณกระแสและสมการที่ (3.2) สำหรับสัญญาณแรงดัน

$$\begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \angle 0^\circ \\ 1 \angle 120^\circ \\ 1 \angle 240^\circ \end{pmatrix} [i_a] \quad (3.1)$$

$$\begin{pmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \angle 0^\circ \\ 1 \angle 120^\circ \\ 1 \angle 240^\circ \end{pmatrix} [v_a] \quad (3.2)$$

และใช้วิธีนี้การแปลงของคาร์ก (Clarke transformation) แปลงให้อยู่บนแกนแอลฟาและเบต้า ($\alpha\beta$) โดยที่แสดงในสมการ (3.3) สำหรับสัญญาณกระแสและในสมการ (3.4) สำหรับสัญญาณแรงดัน

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

$$\begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ และ รีแอกทีฟสามารถเขียนได้ตามสมการที่ (3.5)

$$\begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ และรีแอกทีฟที่ได้จากการคำนวณ สามารถบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนที่บ่งบอกถึงปริมาณมูลฐาน (\bar{p}, \bar{q}) หรือเรียกว่า ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรง และส่วนที่บ่งบอกถึงปริมาณฮาร์มอนิก (\tilde{p}, \tilde{q}) หรือเรียกว่าค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงได้ดังสมการที่ (3.6)

$$\begin{aligned} p &= \bar{p} + \tilde{p} \\ q &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned} \quad (3.6)$$

ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรง สามารถคำนวณได้โดยใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำซึ่งสามารถลบความถี่สูงออกและให้องค์ประกอบพื้นฐานหรือส่วน DC จากค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนพลังงานที่ใช้งานและพลังงานปฏิกิริยาแปลงให้อยู่บนแกนแอลฟาและเบต้า ($\alpha\beta$) สามารถใช้สมการที่ (3.7)

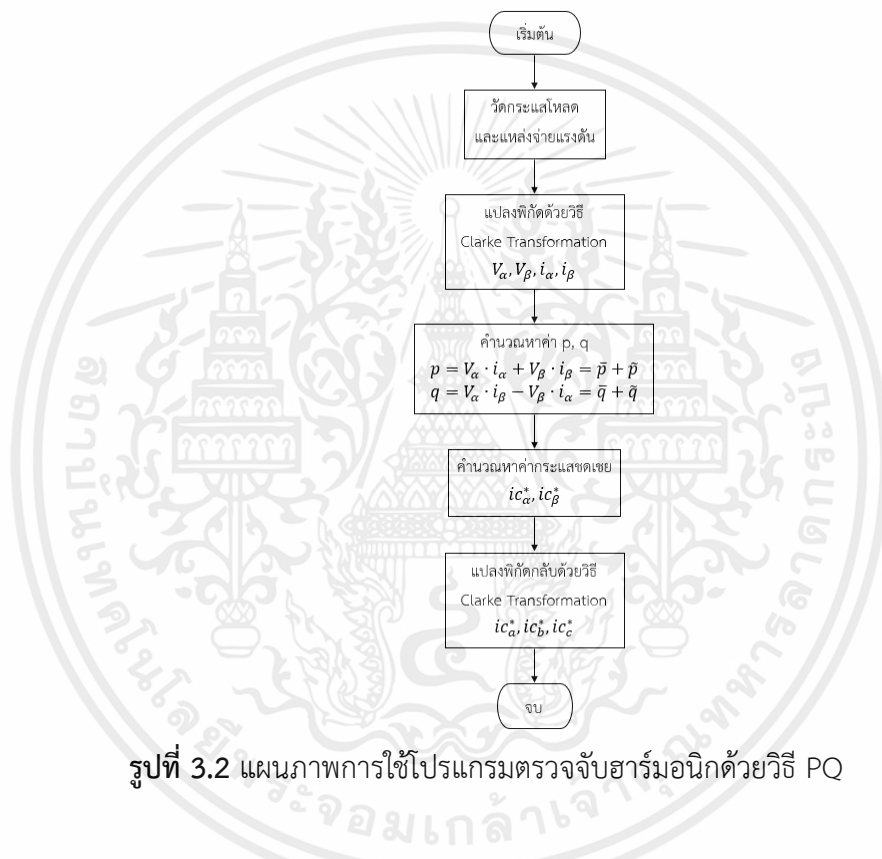
$$i_{\alpha\beta} = \frac{1}{v_\alpha + v_\beta} \begin{pmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

การกระแสอ้างอิงของการตรวจจับฮาร์มอนิกจะอยู่ที่สมการที่ (3.8) และกระแสอ้างอิงจะถูกส่งต่อไปที่ระบบควบคุมกระแสชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{i}_{abc}^* = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \mathbf{i}_{\alpha\beta}^* \quad (3.8)$$

จากการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก ในขั้นตอนในข้างต้น สามารถเขียนสรุปเป็นแผนภาพการโปรแกรมคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2

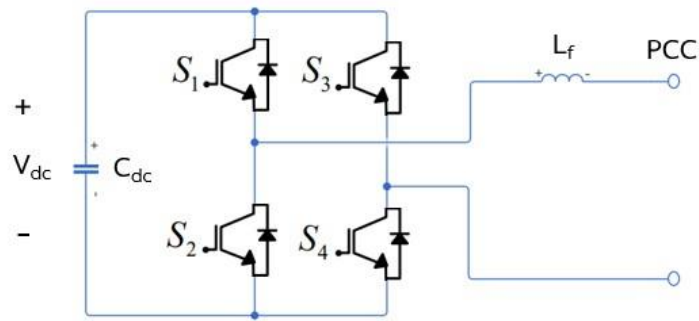


รูปที่ 3.2 แผนภาพการใช้โปรแกรมตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ

3.3 การออกแบบระบบกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

โครงสร้างของวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (SAPF) ที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ วงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบด้วย สวิตช์ไอจีบีที (IGBT) จำนวน 4 ตัว ($S_1 - S_4$) ตัวเก็บประจุทางฝั่ง DC (C_{dc}) และตัวเหนี่ยวนำวงจรรองทางฝั่ง AC [16,17] โดยตัวเก็บประจุ C_{dc} จะทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานในการจ่ายแรงดันกระแสตรงให้กับวงจรรองกำลังแอกทีฟในขณะที่สวิตช์ $S_1 - S_4$ จะทำหน้าที่เปิด-ปิดวงจรเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาต์พุตของวงจร ดังโหมดการทำงานแสดงไว้ตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โครงสร้างวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (SAPF)

ตารางที่ 3.1 โหมดการทำงานของสวิตช์ไอจีบีทีในวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

โหมดการทำงาน	S_1	S_2	S_3	S_4	V_{output}
1	ON	OFF	ON	OFF	0
2	ON	OFF	OFF	ON	$+V_{dc}$
3	OFF	ON	ON	OFF	$-V_{dc}$
4	OFF	ON	OFF	ON	0

3.3.1 การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ L_f

การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ (L_f) จะใช้วิธีการของ D. M.E. Ingram and S. D. Round [18] โดยจะคำนวณทั้งหมด 4 กรณี เพื่อให้ได้ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ได้ทุกกรณี โดยจะเสนอการคำนวณของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสอ้างอิงในการชดเชยสูงสุดเทียบกับเวลา $\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.9)

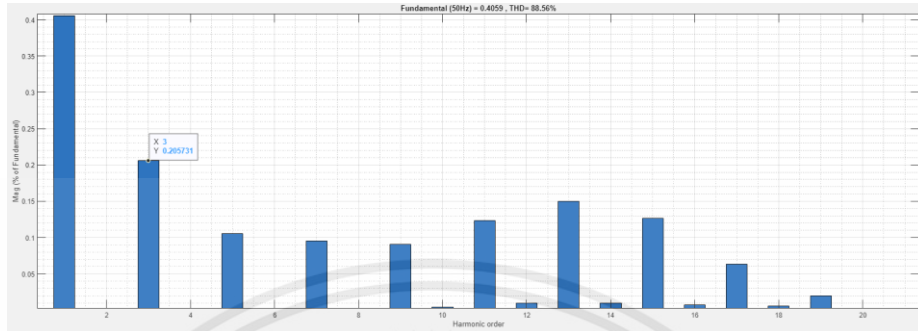
$$\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right) = A2\pi f \quad (3.9)$$

โดยที่ A คือ แอมพลิจูดของกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่มีขนาดสูงสุด

f คือ ความถี่ของอันดับฮาร์มอนิกที่มีขนาดกระแสสูงสุด

จากระบบไฟฟ้าที่พิจารณากำจัดฮาร์มอนิก สามารถวิเคราะห์กระแสโหลด (i_L) แสดงในรูปแบบของกราฟสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 3.4 จากรูปดังกล่าวพบว่ากระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 3

($f = 150 \text{ Hz}$) มีขนาดสูงสุด ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 0.2057 A ดังนั้น จากสมการที่ (3.9) จะสามารถคำนวณค่า $\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right)$ ได้เท่ากับ 965.55 A/s



รูปที่ 3.4 ขนาดของสเปกตรัมเมื่อเทียบกับความถี่มูลฐานในแต่ละฮาร์โมนิก

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าขอบเขตสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำ $L_{f(\max)}$ โดยใช้สมการที่

(3.10) ดังนี้

$$L_{f,\max} = \frac{V_{DC} - V_{PCC}}{\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right)} \quad (3.10)$$

โดยที่ V_{PCC} คือ ค่ายอดแรงดันที่จุด PCC ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา ($\approx 311 \text{ V}$)
 หมายเหตุ: การออกแบบค่า V_{DC} ควรออกแบบให้มีขนาดมากกว่าค่า V_{PCC} เพื่อให้วงจรรอกกำลังแอกที่ฟสามารถฉีดกระแสชดเชยได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดีในทุกช่วงรูปสัญญาณ ถ้ากำหนดให้ค่า V_{DC} เท่ากับ 320 V จะสามารถคำนวณ $L_{f(\max)}$ ได้เท่ากับ 9.32 mH และได้ค่า $L_{f(\max)}$ ในกรณีอื่น ๆ ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 โหลดและค่าพารามิเตอร์ในกรณีต่าง ๆ

กรณีของโหลด (W)	A (A)	F (Hz)	$\max\left(\frac{di_c^*}{dt}\right)$ (A/s)	$L_{f(\max)}$ (mH)
90	0.2057	150	193.86	30.95
180	0.4090	150	385.47	15.56
360	0.8182	150	771.13	7.78
720	1.6364	150	1542.27	3.89

ขั้นที่ 3 หลังจากได้พิจารณาค่าตัวเหนี่ยวนำ (L_f) ของทุกกรณีแล้วจึงเลือกตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองกำลังแอกทีฟโดยใช้วิธีการเลือกค่าที่มีขนาดไม่เกินค่า $L_{f(max)}$ โดยในที่นี้ผู้จัดทำเลือกใช้ค่า L_f เท่ากับ 1.5 mH

3.3.2 การออกแบบค่าตัวเก็บประจุ C_{DC}

วิธีการออกแบบค่าตัวเก็บประจุ C_{DC} ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟได้ใช้วิธี T. Thomas and et. al, [19] โดยจะคำนวณทั้งหมด 4 กรณี เพื่อให้ได้ตัวเก็บประจุที่ใช้ได้ทุกกรณี โดยจะเสนอการคำนวณของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่าขอบเขตต่ำสุดของตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ (3.11)

$$C_{DC,min} = \frac{\Delta \int \tilde{p}(t) dt}{\Delta V_{DC} \times V_{DC}^*} \quad (3.11)$$

เมื่อ $\tilde{p}(t)$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ

ΔV_{DC} คือ ค่าการกระเพื่อมของแรงดันบัสไฟตรง

V_{DC}^* คือ ค่าแรงดันบัสไฟตรงอ้างอิงที่ได้จากการออกแบบ

โดยการออกแบบค่าตัวเก็บประจุจะต้องคำนึงถึงค่าการกระเพื่อมของแรงดันบัสไฟตรง (ΔV_{DC}) ซึ่งค่า ΔV_{DC} ดังกล่าว ควรกำหนดให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปไม่เกิน 2% [19] ดังนั้น จากค่าแรงดันบัสไฟตรงที่ได้ออกแบบไว้ (V_{DC}^*) คือ 320 V และกำหนดการออกแบบให้การกระเพื่อมของแรงดันมีค่าไม่เกิน 2% จะได้ว่า ΔV_{DC} มีค่าเท่ากับ 6.4 V

นอกจากนี้ ค่าการกระเพื่อมของเทอมอินทิเกรตผลคูณระหว่างค่าแรงดัน V_{PCC} และกระแสฮาร์มอนิก $\int V_{PCC} \cdot i_h dt$ ของระบบที่พิจารณานี้มีค่าประมาณ เท่ากับ 25.2 VA

จากค่า (V_{DC}^*) คือ 320 V ค่า ΔV_{DC} เท่ากับ 6.4 V และค่า $\int V_{PCC} \cdot i_h dt$ เท่ากับ 25.2 VA ทำให้สามารถคำนวณค่า $C_{DC,min}$ ตามสมการที่ (3.11) ได้เท่ากับ 12.30 mF และได้ $C_{DC,min}$ กรณีอื่นตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 โหลดในกรณีต่าง ๆ และค่าขอบเขตต่ำสุดของตัวเก็บประจุ

กรณีของโหลด (วัตต์)	$\int V_{PCC} \cdot i_h dt$ (VA)	$C_{DC,min}$ (mF)
90	3.235	12.30
180	48.7	23.77
360	95.42	46.5
720	189.7	92.62

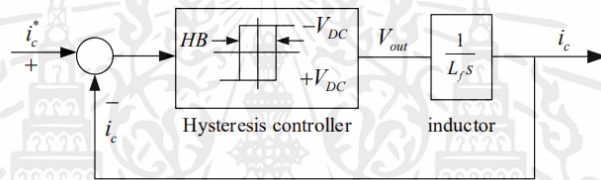
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 หลังจากได้พิจารณาเหนี่ยวนำ C_{DC} ของทุกกรณีแล้วจึงเลือกตัวเก็บประจุของวงจรกรองกำลังแอกทีฟโดยใช้ วิธีการเลือกค่าที่มีขนาดมากกว่าค่า $C_{DC,min}$

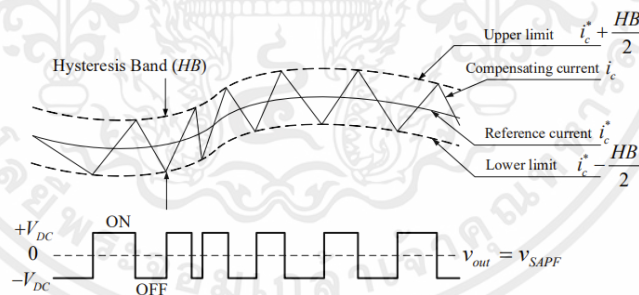
ซึ่งในที่นี้จัดทำเลือกใช้ขนาดตัวเก็บประจุ C_{DC} เท่ากับ ใช้ 14 mF สำหรับโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ ใช้ 28 mF สำหรับโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์ ใช้ 56 mF สำหรับโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์ และใช้ 112 mF สำหรับโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์

3.4 การออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชย (Current control)

การควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเทอรีซิส (Hysteresis controller) [20] เป็นวิธีการที่สามารถควบคุมการผิดกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้เหมาะกับการสร้างใช้งานจริง สำหรับแผนภาพบล็อกและหลักการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเทอรีซิสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเทอรีซิส



รูปที่ 3.6 หลักการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเทอรีซิส

รูปที่ 3.5 และ 3.6 หลักการทำงานของตัวควบคุมฮิสเทอรีซิสจะอาศัยแถบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Band: HB) เป็นตัวกำหนดในการเปิดปิดสวิตช์โดยแถบฮิสเทอรีซิส จะมีลักษณะครอบและเกาะตามกระแสอ้างอิงที่ได้จากการตรวจจับฮาร์มอนิก (i_c^*) ตลอดทุกช่วงรูปสัญญาณค่าขอบเขตบนของแถบฮิสเทอรีซิสจะมีค่าเท่ากับ $i_c^* + \frac{HB}{2}$ ในขณะที่ค่าขอบเขตล่างจะมีค่าเท่ากับ $i_c^* - \frac{HB}{2}$ กระแสชดเชย (i_c) ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมฮิสเทอรีซิสจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงสลับอยู่ภายในแถบฮิสเทอรีซิส โดยมีเงื่อนไขการสวิตช์ 3 ข้อ ดังนี้

1. ถ้า $i_c \leq (i_c^* - \frac{HB}{2})$ กำหนดให้เอาต์พุตสวิตช์นำกระแส (ON) ส่งผลให้ค่าแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) ของวงจร SAPF เท่ากับ V_{DC} และจะทำให้กระแส i_c มีค่าเพิ่มขึ้น
2. ถ้า $i_c \geq (i_c^* + \frac{HB}{2})$ กำหนดให้เอาต์พุตสวิตช์หยุดนำกระแส (OFF) ส่งผลให้ค่าแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) ของวงจร SAPF เท่ากับ V_{DC} และจะทำให้กระแส i_c มีค่าลดลง
3. ถ้า $(i_c^* + \frac{HB}{2}) > i_c < (i_c^* - \frac{HB}{2})$ กำหนดให้เอาต์พุตสวิตช์คงสถานะตามเดิม และจะทำให้กระแส i_c มีค่าคงที่

สำหรับการออกแบบค่า HB [21] จะใช้สมการที่ (3.12) ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าแถบฮีสเตอร์ซีส์ต่ำสุด (HB_{min}) ที่เกิดจากการสวิตช์ที่ความถี่สูงสุด จากนั้นจะทำการเลือกใช้ค่า HB ภายใต้ง่อนไข $HB \geq HB_{min}$

$$HB_{min} = - \left| \frac{V_{out} - V_{PCC}}{2L_f f_{s,max}} \right| \quad (3.12)$$

เมื่อ V_{out} คือ ค่ายอดแรงดันเอาต์พุตของวงจร SAPF ซึ่งเท่ากับ $V_{out} = mV_{DC}$

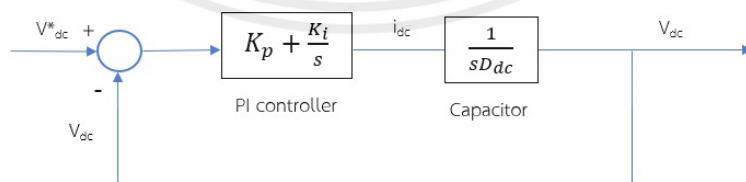
m คือ ค่าดัชนีมอดูเลชัน

$L_f(max)$ คือ ค่าความถี่สวิตช์สูงสุด (Hz)

จากสมการที่ (5.5) เมื่อพิจารณาออกแบบที่ค่า $m = 0.95$ และ $L_f(max) = 30$ kHz จะสามารถคำนวณค่า HB_{min} ได้เท่ากับ 0.016

จากค่า HB_{min} ที่ได้ในข้างต้น ผู้จัดทำเลือกใช้ค่า HB เท่ากับ 0.1 A สำหรับใช้ทดสอบควบคุมกระแสชดเชยให้กับวงจรรอกำลังแอกทีฟ

3.5 การออกแบบระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (DC bus voltage control)



รูปที่ 3.7 แผนภาพบล็อกการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ

การควบคุมค่าแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอสามารถแสดงแผนภาพได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่ง อินพุตของตัวควบคุม คือ ผลต่างของแรงดันบัสไฟตรงค่าจริงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรรอกำลังแอกทีฟ (V_{DC}) กับค่าแรงดันบัสไฟตรงอ้างอิงที่ได้ออกแบบไว้ (V_{DC}^*) สำหรับแพลนท์

(Plant) ของระบบควบคุม คือ ตัวเก็บประจุ (C_{DC}) โดยเอาต์พุตของตัวควบคุมพีไอจะถูกนำไปหักลบกับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกอ้างอิงที่ได้จากการตรวจจับฮาร์มอนิก

ตัวควบคุมแบบพีไอต้องการการการออกแบบค่าพารามิเตอร์ K_p และค่า K_i [22] จะใช้วิธีการประมาณ โดยการเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างพจน์พหุนามลักษณะเฉพาะในฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของระบบควบคุม ($\frac{V_{DC}}{V_{DC}^*}$) และพจน์พหุนามลักษณะเฉพาะของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสองมาตรฐาน ($\frac{Y(s)}{X(s)}$) ซึ่งได้แสดงไว้ดังสมการที่ (3.13) และ (3.14) ตามลำดับ

$$\frac{V_{DC}}{V_{DC}^*} = \frac{K_p s + K_i}{C_{DC} s^2 + K_p s + K_i} \quad (3.13)$$

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.14)$$

การเทียบสัมประสิทธิ์ดังกล่าว ทำให้ได้สมการสำหรับใช้ออกแบบค่า K_p และค่า K_i ของตัวควบคุมพีไอแสดงได้ดังสมการที่ (3.15) และ (3.16) ตามลำดับ

$$K_p = 2\zeta\omega_n C_{DC} \quad (3.15)$$

$$K_i = C_{DC}\omega_n^2 \quad (3.16)$$

โดยที่ ζ คือ อัตราส่วนการหน่วง (damping ratio)

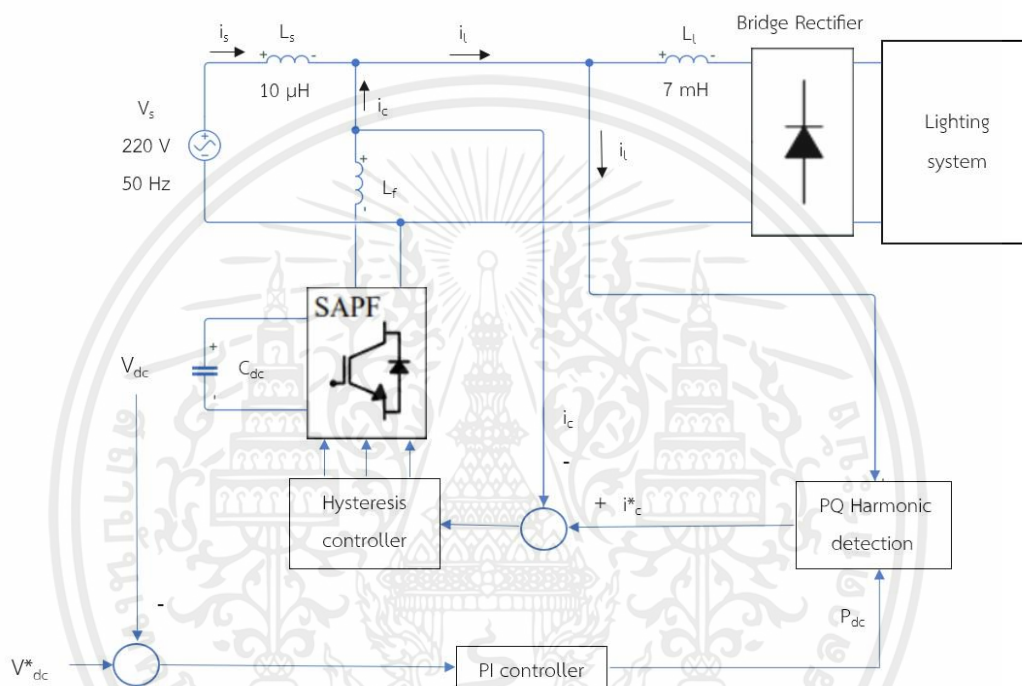
ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)

สำหรับการออกแบบตัวควบคุมพีไอ จะกำหนดให้ ω_n มีค่าเท่ากับ 10π เนื่องจากค่าแรงดันบัสไฟตรงที่ต้องการควบคุมมีค่าคงที่และไม่มี ดังนั้นตัวควบคุมจึงไม่จำเป็นต้องมีความไวสูง และการออกแบบกำหนดให้ ζ มีค่าเท่ากับ 0.707 ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดค่าแรงดันพุ่งเกินที่สูงจนเกินไปจากการกำหนดค่าดังกล่าว เมื่อกำหนดค่า K_p , K_i ตามสมการที่ (3.15) และ (3.16)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานการออกแบบตัวควบคุมฮีสเตอร์ซีสสำหรับใช้ควบคุมกระแสชดเชยและตัวควบคุมพีโอสำหรับใช้ควบคุมแรงดันบัสไฟตรง ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 จะสามารถแสดงระบบได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

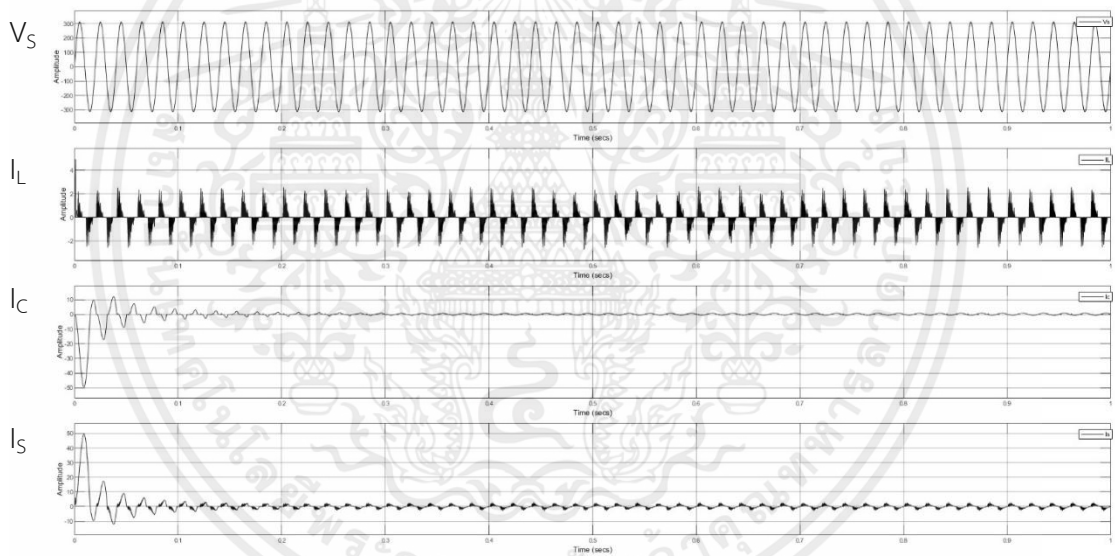
โดยสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการออกแบบทั้งหมด 4 กรณี ซึ่งแบ่งเป็นกรณี ดังนี้ โหลดแสงสว่าง 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.1 กรณีโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบก่าจัดฮาร์โมนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์

ส่วนที่พิจารณา	ค่าพารามิเตอร์
วงจร SAPF	$V_{DC}^* = 320 \text{ V}$, $L_f = 1.5 \text{ mH}$, $C_{DC} = 14 \text{ mF}$
ตัวควบคุมฮีสเตอร์รีซีส	$HB = 0.1 \text{ A}$, $f_{s,max} = 30 \text{ Hz}$
ตัวควบคุมพีไอ	$K_p = 0.622$, $K_i = 13.817$

นำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1 โดยการจำลองสถานการณ์ระบบดังกล่าว โดยใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB สามารถแสดงผลการก่าจัดฮาร์โมนิกได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองสถานการณ์การก่าจัดฮาร์โมนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์
เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

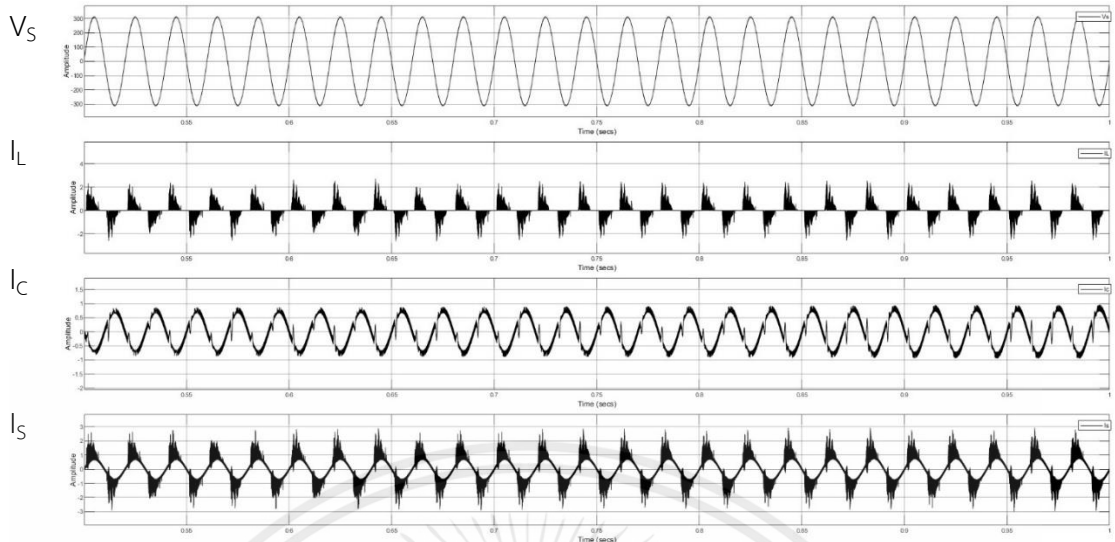
โดยที่ V_s คือ แรงดัน

I_c คือ กระแสก่อนการก่าจัดฮาร์โมนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

I_s คือ กระแสหลังการก่าจัดฮาร์โมนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์โมนิกของโพลดีแสงสว่าง 90 วัตต์
หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

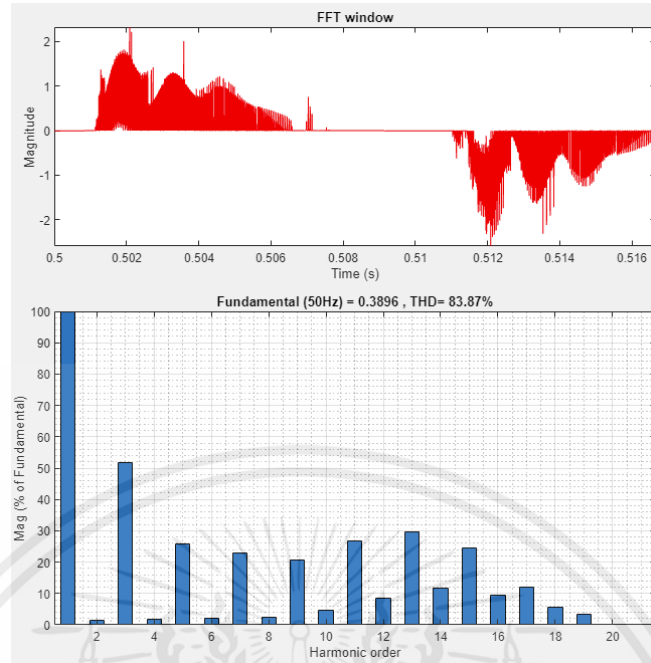
โดยที่ V_S คือ แรงดัน

I_C คือ กระแสก่อนการกำจัดฮาร์โมนิก

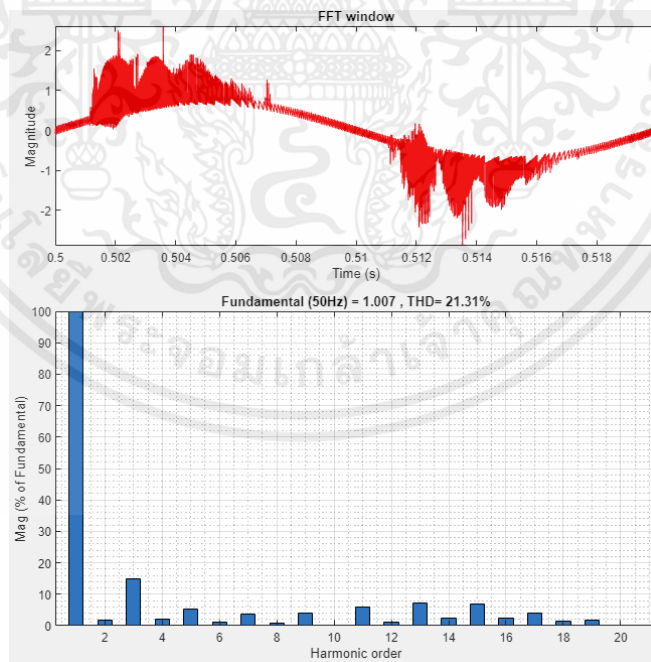
I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

I_S คือ กระแสหลังกำจัดฮาร์โมนิก

จากรูปที่ 4.2 ในช่วงเวลาแรกกระแสชดเชย (i_c) มีค่าสูงมากและค่อย ๆ ลดลง สังเกตได้ว่า กระแสที่แหล่งจ่าย (i_s) ของระบบไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปสัญญาณเหมือนกับกระแสชดเชย (i_c) คือ เป็นรูปไซน์ที่มีกระแสสูงมาก เมื่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟทำการฉีดกระแส i_c ลดกระแสที่จ่าย จะเห็นได้ว่ากระแส i_s มีลักษณะรูปสัญญาณเป็นรูปไซน์มากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.3 โดยค่า %THDi มีค่าลดลงเหลือ 21.13 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาวิเคราะห์กระแสหลังการชดเชยดังกล่าว สามารถแสดงสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งสังเกตได้ว่าขนาดกระแสที่อันดับฮาร์โมนิกต่าง ๆ มีค่าลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟสเปกตรัมของกระแส i_L ในกรณีก่อนมีการชดเชยดังรูปที่ 4.4 จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นแล้วว่าวงจรกรองแอกทีฟและตัวควบคุมฮีสเทอรีซิสที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อที่ผ่านมา มีสมรรถนะการทำงานร่วมกันได้ดี สามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์โมนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.4 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ (กราฟด้านบน)
รูปที่ 4.4 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์
ค่า %THD = 83.87% (กราฟด้านล่าง)



รูปที่ 4.5 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ (กราฟด้านบน)
รูปที่ 4.5 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์
ค่า %THD = 21.31% (กราฟด้านล่าง)

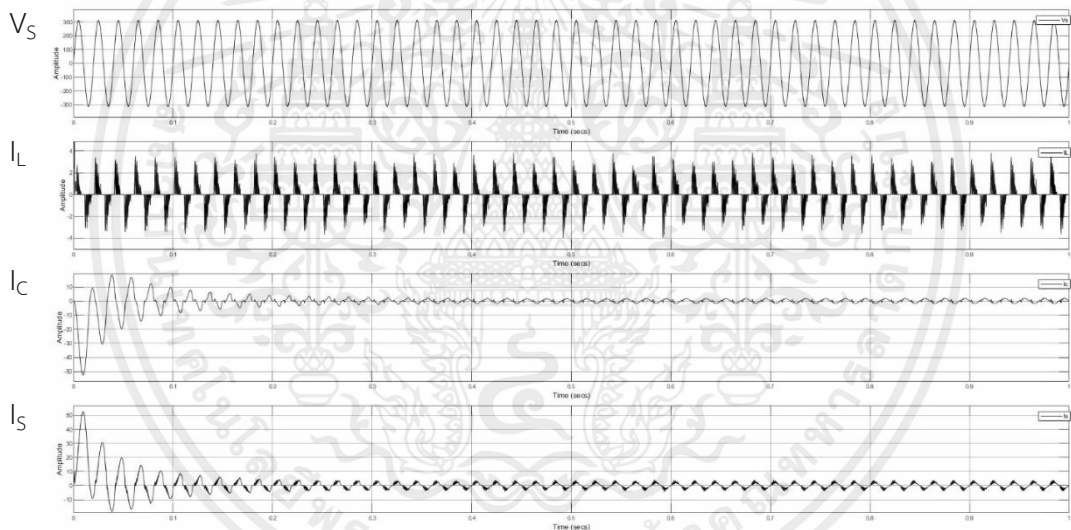
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กรณีโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกำลังจัดฮาร์โมนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์

ส่วนที่พิจารณา	ค่าพารามิเตอร์
วงจร SAPF	$V_{DC}^* = 320 \text{ V}$, $L_f = 1.5 \text{ mH}$, $C_{DC} = 28 \text{ mF}$
ตัวควบคุมฮีสเตอร์รีซิส	$HB = 0.1 \text{ A}$, $f_{s,max} = 30 \text{ Hz}$
ตัวควบคุมพีไอ	$K_p = 1.244$, $K_I = 27.635$

นำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.2 โดยการจำลองสถานการณ์ระบบดังกล่าว โดยใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB สามารถแสดงผลการกำจัดฮาร์โมนิกได้ดังที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์โมนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์
เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

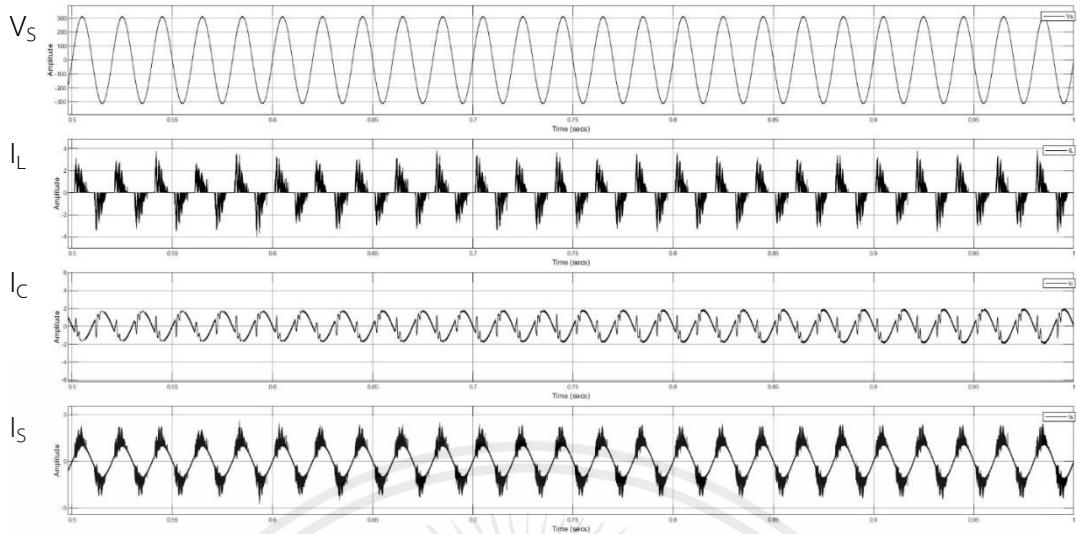
โดยที่ V_s คือ แรงดัน

I_C คือ กระแสก่อนการกำจัดฮาร์โมนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

I_s คือ กระแสหลังกำจัดฮาร์โมนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโพลแสงสว่าง 180 วัตต์
หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

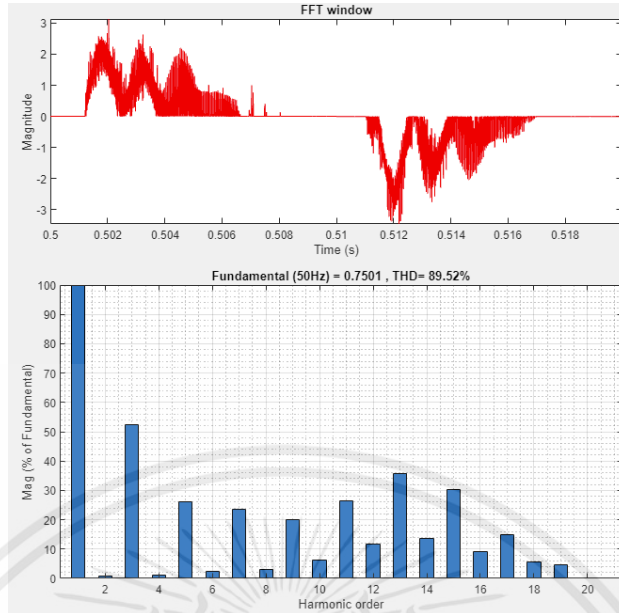
โดยที่ V_s คือ แรงดัน

I_c คือ กระแสก่อนการกำจัดฮาร์มอนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

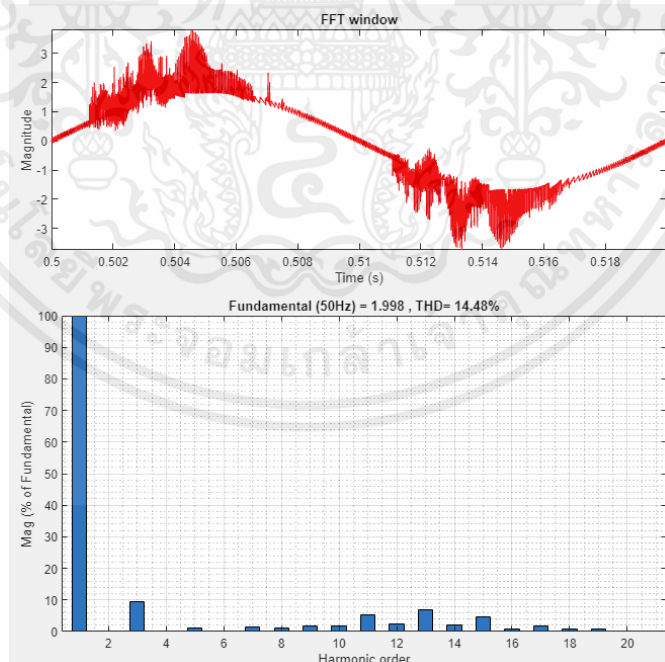
I_s คือ กระแสหลังกำจัดฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 4.6 ในช่วงเวลาแรกกระแสชดเชย (i_c) มีค่าสูงมากและค่อย ๆ ลดลง สังเกตได้ว่า กระแสที่แหล่งจ่าย (i_s) ของระบบไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปสัญญาณเหมือนกับกระแสชดเชย (i_c) คือ เป็นรูปไซน์ที่มีกระแสสูงมาก เมื่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟทำการฉีดกระแส i_c ลดกระแสที่จ่าย จะเห็นได้ว่ากระแส i_s มีลักษณะรูปสัญญาณเป็นรูปไซน์มากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.7 โดยค่า %THDi มีค่าลดลงเหลือ 14.48 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาวิเคราะห์กระแสหลังการชดเชยดังกล่าว สามารถแสดงสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งสังเกตได้ว่าขนาดกระแสที่อันดับฮาร์มอนิกต่าง ๆ มีค่าลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟสเปกตรัมของกระแส i_L ในกรณีก่อนมีการชดเชยดังรูปที่ 4.8 จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นแล้วว่าวงจรกรองแอกทีฟและตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อที่ผ่านมา มีสมรรถนะการทำงานร่วมกันได้ดี สามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.8 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์
(กราฟด้านบน)

รูปที่ 4.8 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์
ค่า %THD = 89.52% (กราฟด้านล่าง)



รูปที่ 4.9 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์
(กราฟด้านบน)

รูปที่ 4.9 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 180 วัตต์
ค่า %THD = 14.48% (กราฟด้านล่าง)

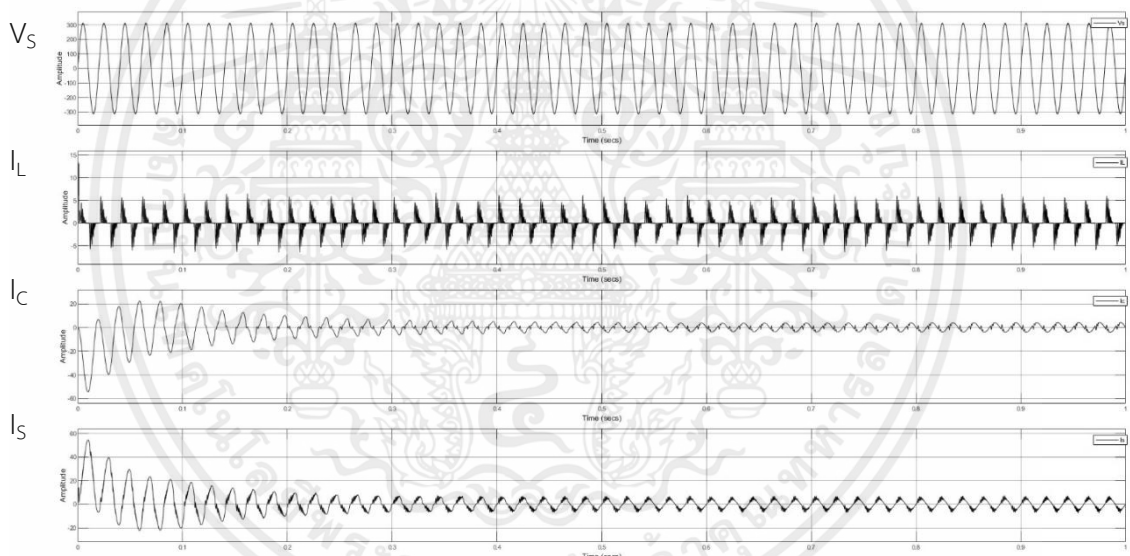
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กรณีโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกําจัดฮาร์มอนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์

ส่วนที่พิจารณา	ค่าพารามิเตอร์
วงจร SAPF	$V_{DC}^* = 320 \text{ V}$, $L_f = 1.5 \text{ mH}$, $C_{DC} = 56 \text{ mF}$
ตัวควบคุมฮีสเตอร์รีซิส	$HB = 0.1 \text{ A}$, $f_{s,max} = 30 \text{ Hz}$
ตัวควบคุมพีไอ	$K_p = 2.488$, $K_I = 55.270$

นำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.3 โดยการจำลองสถานการณ์ระบบดังกล่าว โดยใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB สามารถแสดงผลการกําจัดฮาร์มอนิกได้ดังที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการจำลองสถานการณ์การกําจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์
เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

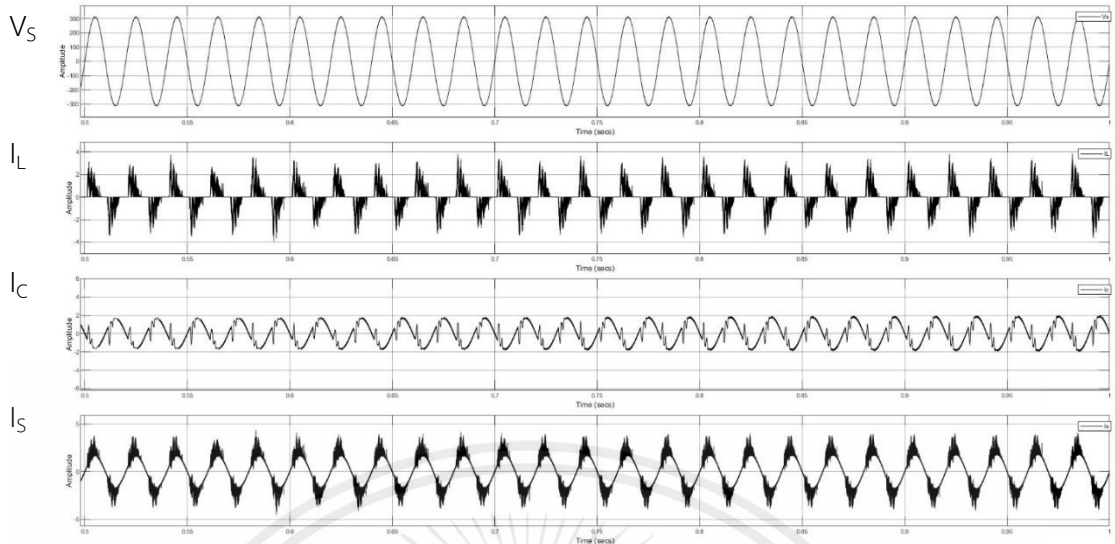
โดยที่ V_S คือ แรงดัน

I_C คือ กระแสก่อนการกําจัดฮาร์มอนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

I_S คือ กระแสหลังกําจัดฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโพลตแสงสว่าง 360 วัตต์
หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

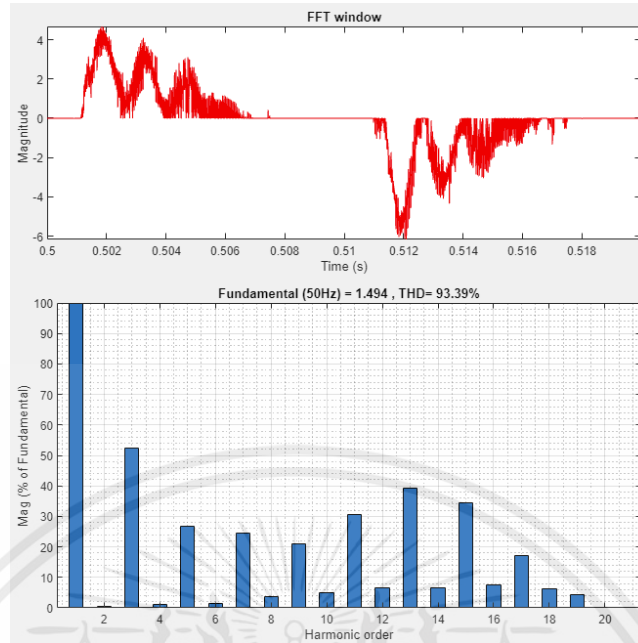
โดยที่ V_s คือ แรงดัน

I_c คือ กระแสก่อนการกำจัดฮาร์มอนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

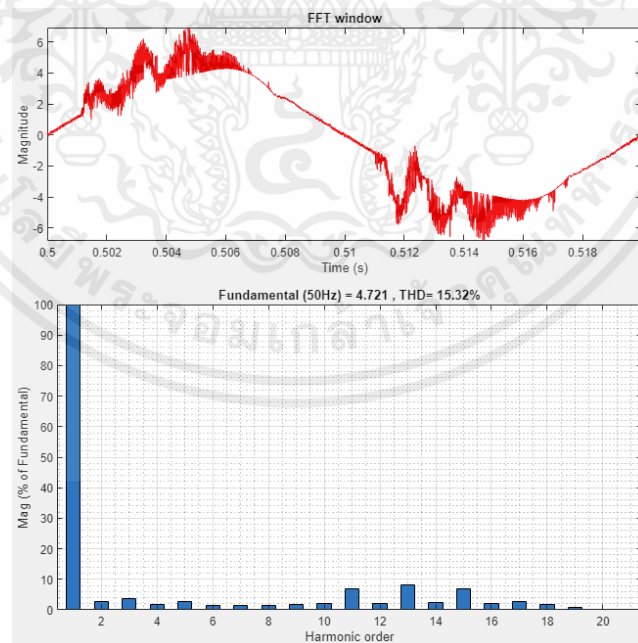
I_s คือ กระแสหลังกำจัดฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 4.10 ในช่วงเวลาแรกกระแสชดเชย (i_c) มีค่าสูงมากและค่อย ๆ ลดลง สังเกตได้ว่ากระแสที่แหล่งจ่าย (i_s) ของระบบไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปสัญญาณเหมือนกับกระแสชดเชย (i_c) เมื่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟทำการฉีดกระแส i_c ลดกระแสที่จ่าย จะเห็นได้ว่า กระแส i_s มีลักษณะรูปสัญญาณเป็นรูปไซน์มากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.11 โดยค่า %THDi มีค่าลดลงเหลือ 15.32 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาวิเคราะห์กระแสหลังการชดเชยดังกล่าว สามารถแสดงสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งสังเกตได้ว่าขนาดกระแสที่อันดับฮาร์มอนิกต่าง ๆ มีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟสเปกตรัมของกระแส i_L ในกรณีก่อนมีการชดเชยดังรูปที่ 4.11 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นแล้วว่าวงจรกรองแอกทีฟและตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิสที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อที่ผ่านมามีสมรรถนะการทำงานร่วมกันได้ดี สามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.12 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์
(กราฟด้านบน)

รูปที่ 4.12 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของ
โหลดแสงสว่าง 360 วัตต์ ค่า %THD = 93.39% (กราฟด้านล่าง)



รูปที่ 4.13 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 360 วัตต์
(กราฟด้านบน)

รูปที่ 4.13 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของ
โหลดแสงสว่าง 360 วัตต์ ค่า %THD = 15.32% (กราฟด้านล่าง)

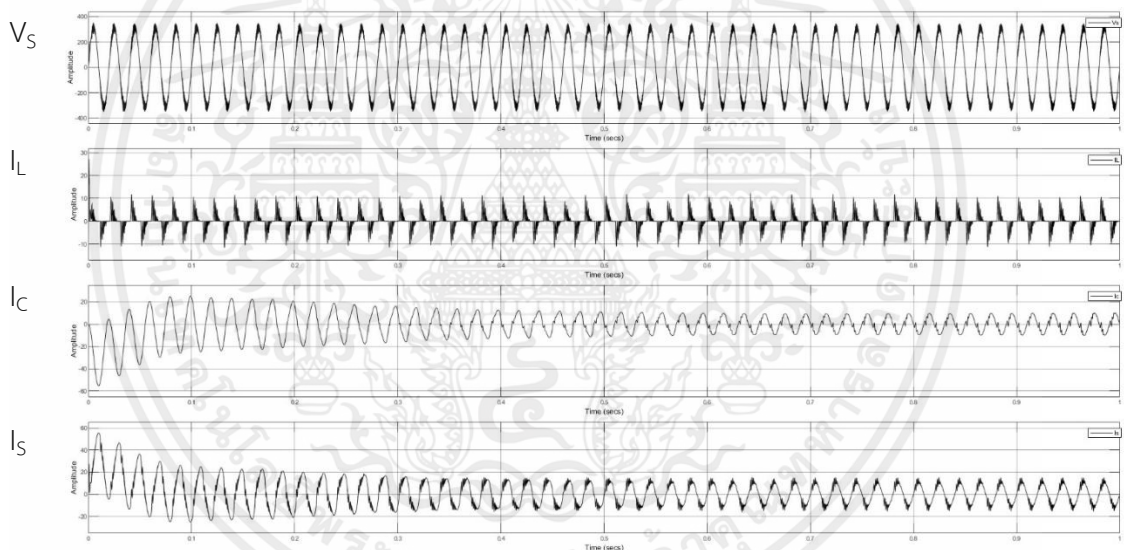
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กรณีโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบก้ำจัดฮาร์โมนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์

ส่วนที่พิจารณา	ค่าพารามิเตอร์
วงจร SAPF	$V_{DC}^* = 320 \text{ V}$, $L_f = 1.5 \text{ mH}$, $C_{DC} = 112 \text{ mF}$
ตัวควบคุมฮีสเตอร์รีซีส	$HB = 0.1 \text{ A}$, $f_{s,max} = 30 \text{ Hz}$
ตัวควบคุมพีไอ	$K_p = 4.975$, $K_I = 110.540$

นำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.4 โดยการจำลองสถานการณ์ระบบดังกล่าว โดยใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB สามารถแสดงผลการก้ำจัดฮาร์โมนิกได้ดังที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลการจำลองสถานการณ์การก้ำจัดฮาร์โมนิกของโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์ เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

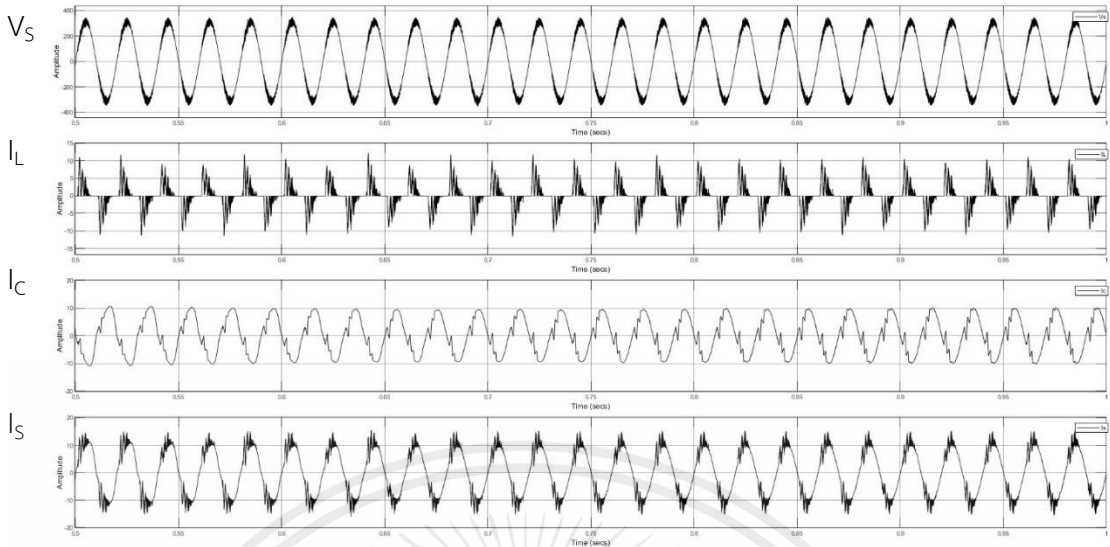
โดยที่ V_s คือ แรงดัน

I_C คือ กระแสก่อนการก้ำจัดฮาร์โมนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

I_S คือ กระแสหลังการก้ำจัดฮาร์โมนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโพลแสงสว่าง 720 วัตต์
หลังจาก 0.5 วินาทีแรก เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

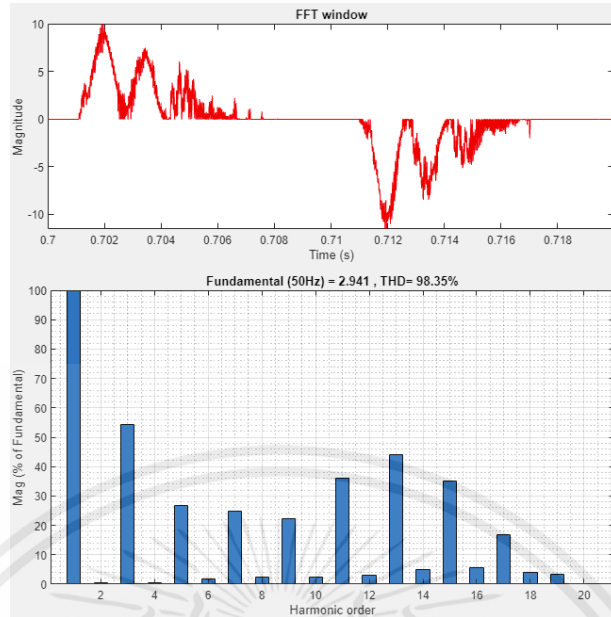
โดยที่ V_S คือ แรงดัน

I_C คือ กระแสก่อนการกำจัดฮาร์มอนิก

I_L คือ กระแสที่ฉีดเข้าไป

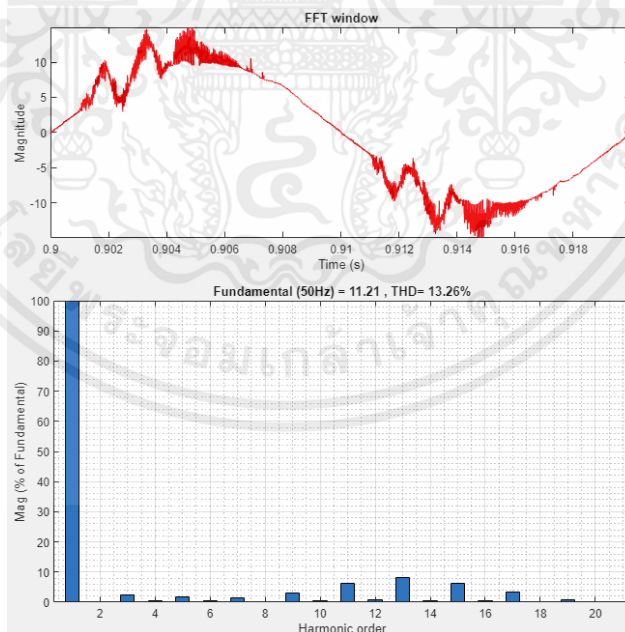
I_S คือ กระแสหลังกำจัดฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 4.14 ในช่วงเวลาแรกกระแสชดเชย (i_c) มีค่าสูงมากและค่อย ๆ ลดลง สังเกตได้ว่ากระแสที่แหล่งจ่าย (i_s) ของระบบไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปสัญญาณเหมือนกับกระแสชดเชย (i_c) คือ เป็นรูปไซน์ที่มีกระแสสูงมาก เมื่อวงจรรอกำลังแอกทีฟทำการฉีดกระแส i_c ลดกระแสที่จ่าย จะเห็นได้ว่ากระแส i_s มีลักษณะรูปสัญญาณเป็นรูปไซน์มากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.15 โดยค่า %THDi มีค่าลดลงเหลือ 13.26 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาวิเคราะห์กระแสหลังการชดเชยดังกล่าว สามารถแสดงสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งสังเกตได้ว่าขนาดกระแสที่อันดับฮาร์มอนิกต่าง ๆ มีค่าลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟสเปกตรัมของกระแส i_L ในกรณีก่อนมีการชดเชยดังรูปที่ 4.15 จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นแล้วว่าวงจรรอกำลังแอกทีฟและตัวควบคุมฮีสเตอร์ซีเอสที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อที่ผ่านมา มีสมรรถนะการทำงานร่วมกันได้ดี สามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.16 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์
(กราฟด้านบน)

รูปที่ 4.16 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายก่อนการกำจัดฮาร์มอนิกของ
โหลดแสงสว่าง 720 วัตต์ ค่า %THD = 98.35% (กราฟด้านล่าง)



รูปที่ 4.17 (ก) กระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 720 วัตต์
(กราฟด้านบน)

รูปที่ 4.17 (ข) สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการกำจัดฮาร์มอนิกของ
โหลดแสงสว่าง 720 วัตต์ ค่า %THD = 13.26% (กราฟด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดค่าจากหลอดไฟประเภท LED Bulb ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 5 หลอด และ 10 หลอด (เนื่องจากจำนวนจำกัดของหลอดไฟประเภท 18 วัตต์ในห้องทดลอง จึงเลือกทำการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีโหลดรวม 90 วัตต์ และ 180 วัตต์ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink โดยในการจำลองจะเพิ่มกรณีของโหลดทั้งหมด ไปอีก 2 กรณีคือ 360 วัตต์ และ 720 วัตต์)

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าฮาร์มอนิกก่อนการชดเชยของหลอดไฟ LED Bulb จากการทดลอง

กรณีของโหลด (W)	ค่าฮาร์มอนิกกระแสก่อนชดเชย
90	85.64 %
180	90.31 %

จากการทดสอบโหลดที่ 90 วัตต์ พบว่ามีค่าของ %THDi ที่ 85.64% จึงได้นำมาเป็น ต้นแบบการจำลองสถานการณ์จากโปรแกรม MATLAB Simulink ได้ค่า %THDi 83.87% ดังที่ได้ กล่าวมาข้างต้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส โดยการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ การตรวจจับฮาร์มอนิก การควบคุมกระแสชดเชย และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างและวิธีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน การควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเทอรีซิส และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ อีกทั้งยังทดสอบสมรรถนะการทำงานของตัวควบคุมกระแสชดเชยและตัวควบคุมแรงดันบัสไฟตรงที่ได้ออกแบบด้วยการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB ซึ่งจากผลการจำลองสถานการณ์พบว่าตัวควบคุมฮีสเทอรีซิสสามารถควบคุมกระแสชดเชยให้มีลักษณะคล้ายตามกระแสอ้างอิงที่ได้จากการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี SWFA ได้เป็นอย่างดี และตัวควบคุมพีไอสามารถควบคุมแรงดันบัสไฟตรง ให้มีค่าคงที่ตามค่าแรงดันอ้างอิงได้ จึงส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถชดเชยกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าที่พิจารณาได้อย่างมีประสิทธิภาพรูปสัญญาณของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีลักษณะเป็นรูปไซน์เพิ่มมากขึ้น โดยค่า %THDi ของกระแสดังกล่าวมีค่าลดลง โดยมีผลการลด %THDi ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปค่าฮาร์มอนิกก่อนชดเชยและหลังชดเชยของโหลดกรณีต่าง ๆ

กรณีของโหลด (W)	ค่าฮาร์มอนิกก่อนชดเชย	ค่าฮาร์มอนิก หลังชดเชย
90	83.87 %	21.31 %
180	89.52 %	14.48 %
360	93.39 %	15.32 %
720	98.35 %	13.26 %

5.2 ปัญหาที่พบ

1. ความสามารถในการทดลองสำหรับการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบส่องสว่างของอาคารเป็นเรื่องที่ซับซ้อน และการทดลองอาจมีข้อจำกัดเนื่องจากความสามารถทางเทคนิค หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2. ในการจำลองเพื่อจัดสร้างชุดการทดลองนั้น ผลการคำนวณค่าขนาดพิกัดของอุปกรณ์และคาปาซิเตอร์ที่ได้นั้นไม่สามารถหาได้จากท้องตลาด จึงจำเป็นต้องเลือกอุปกรณ์และขนาดของคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ทำให้ชุดการทดลองไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์เรียบร้อยได้ตามที่คาดหวัง

3. ในการออกแบบวงจรสำหรับการจำลองนั้น ต้องทำการศึกษาและเรียนรู้เพิ่มเติมจากแหล่งข้อมูลอื่น รวมถึงการเขียนคำสั่งต่าง ๆ สำหรับวงจรทดลองด้วย เพราะในบางครั้งระบบจำลองไม่สามารถทำงานได้ตามที่คาดหวัง จึงเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่พบขณะทำการศึกษา

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ศึกษาคุณลักษณะของอุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมเพื่อที่จะสามารถสร้างชุดทดลองสาธิตขึ้นได้

2. ในการทดลองครั้งที่ โหลดที่เลือกใช้คือโหลดแบบ nonlinear ซึ่งอุปกรณ์ส่องสว่างส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ก็จัดเป็นโหลดประเภทนี้ แต่ในการทดลองมีการกำหนดขนาดของกำลังไฟฟ้าไว้ดังนี้ คือ 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ แต่ในการใช้งานจริงขนาดของโหลดอาจจะไม่ได้มีค่าเท่ากับขนาดที่กำหนดไว้ ดังนั้นหากมีการพัฒนาควรพิจารณาถึงประเด็นนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Hiranandani, "Calculation of cable ampacities including the effects of harmonics", **IEEE Industry Applications Magazine.**, Vol. 4, No. 2, 1998, pp. 42-51.
- [2] V. E. Wagner et al, "Effects of harmonics on equipment", **IEEE Transactions on Power Delivery.**, Vol. 8, No. 2, 1993, pp. 672-680.
- [3] R. D. Henderson and P. J. Rose, "Harmonics :the effects on power quality and transformers", **IEEE Transactions on Industry Applications.**, Vol. 30, No. 3, 1994, pp. 528-532.
- [4] D. E. Rice "Adjustable Speed Drive and Power Rectifier Harmonics-Their Effect on Power Systems Components", **IEEE Transactions on Industry Applications.**, Vol. IA-22, No. 1, 1986, pp. 161-177.
- [5] G. W. Chang, H.-L. Wang, and S.-Y. Chu, "Strategic placement and sizing of passive filters in a power system for controlling voltage distortion", **IEEE Transactions on Power Delivery.**, Vol. 19, No. 3, 2004, pp.1204-1211.
- [6] H.L. Jou J.-C. Wu and H.-Y. Chu, "New single-phase active power filter", in **IEE Proc.Electr. Power Appl.**, Vol. 141, No. 3, 1994, pp. 129-134.
- [7] P. K. Ray, G. Panda, and P. S. Puhon, "Fuzzy logic based intelligent Shunt Hybrid filter applied to single phase system," **2013 Annual IEEE India Conference (INDICON).**, 2013, pp. 1-6.
- [8] IEEE std 519-2014, IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.
- [9] J. M. Ho, and C. C. Liu, " The Effects of Harmonics on Differential Relay for a Transformer", **16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. (IEE Conf. Publ No. 482).**, 2001, pp.-.
- [10] George, J. W. "Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design", **New York: Springer.**
- [11] M. Rukonuzzaman, and M. Nakaoka, "Single-phase shunt active power filter with harmonic detection" **IEE Proc.-Electr. Power Appl.**, Vol. 149, No. 5, 2002, pp. 343-350.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] S-L Ho, C-S Lam, and M-C Wong, “Comparison Among PPF, APF, HAPF and A Combined System of A Shunt HAPF and A Shunt Thyristor Controlled LC”, **TENCON 2015, IEEE Region 10 Conference.**, 2015, pp.-.
- [13] B. Singh, K. Al-Haddad, and A. Chandra, “A Review of Active Filters for Power Quality Improvement” **IEEE Trans. on Ind. Electron.**, Vol. 46, 1999, No. 5, pp. 960-970.
- [14] Maneerat Padungsin, Tosaporn Narongrit and Kongpol Areerak, “The Comparison Study of Harmonic Detection Algorithms for Single-Phase Power Systems”, **5th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, Kitakyushu, Japan : April 23-25.**, 2018, pp. 25.
- [15] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, “Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits,” **In Proc. Int. Power Electronics Conference.**, 1983, pp. 1375-1386.
- [16] D. A. Torrey and A. M. A. M. Al-Zamelin, “Single-phase Active Power Filters for Multiple Nonlinear Loads” **IEEE Trans. on Power Electronics.**, Vol. 10, No. 3, 1995, pp. 263- 272.
- [17] B. Singh, K. Al-Haddad, and A. Chandra, “A Review of Active Filters for Power Quality Improvement” **IEEE Trans. on Ind. Electron**, Vol. 46, No. 5, 1999, pp. 960-970.
- [18] D. M. E. Ingram and S. D. Round, “A Novel Digital Hysteresis Current Controller for an Active Power Filter”, **IEEE ProcProc. in Int. Power Electronics and Drive system Conf.**, Vol. 2, No. 1, 1997, pp. 744-749.
- [19] T. Thomas, K. Haddad, G. Joos, and A. Jaafari, “Design and Performance of Active Power Filters” **IEEE Ind. Appl. Magazine.**, 1998, pp. 38-46.
- [20] D. M. E. Ingram and S. D. Round, “A Novel Digital Hysteresis Current Controller for an Active Power Filter”, **IEEE ProcProc. in Int. Power Electronics and Drive system Conf.**, Vol. 2, No. 1, 1997, pp. 744-749.
- [21] P.A. Dahono, “New hysteresis current controller for single-phase full-bridge inverters”, **IET Power Electronics**, Vol. 2, 2009, No. 5, pp. 585–594.
- [22] B. A. Angélico, L. B. G. Campanhol, and S. A. Oliveira da Silva, “Proportional–integral/proportional–integral derivative tuning procedure of a single-phase

shunt active power filter using Bode diagram”, *IET Power Electronics.*, Vol. 7, 2014, pp. 2647–2659.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรกรองปรับค่าได้อัตโนมัติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร

Auto-turned active filter design for lighting system in buildings

นางสาวนันท์นภัส บุญสม นายภูษิษฐ์ มังคุณ นายวิวัฒน์วินท์ พยัคพันธ์ นายวิษณุ วิศวภักดิ์
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร 0-2739-2478

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบวงจรกรองปรับ สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารโดยใช้วิธีการกำจัดฮาร์มอนิกด้วย วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสโดยใช้ วิธีจับสัญญาณการตรวจจับฮาร์มอนิกใช้วิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟ ขณะหนึ่ง การควบคุมการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟเพื่อให้ สามารถฉีดกระแสชดเชยได้ตามลักษณะของกระแสอ้างอิงที่ได้จาก การตรวจจับฮาร์มอนิกจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมกระแส ชดเชย และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ โดยเราได้เลือกศึกษาและใช้ตัวควบคุมฮิสเทอรีซิสสำหรับควบคุมการฉีด กระแสชดเชย และใช้ตัวควบคุมพีไอสำหรับควบคุมค่าแรงดันบัสไฟตรง และได้ใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB ในจำลองสถานการณ์กับโหลด แสงสว่าง 4 กรณี คือ โหลด 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ ซึ่งผลการจำลอง สถานการณ์พบว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟที่ใช้การตรวจจับ ฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งร่วมกับการใช้ตัวควบคุม ที่ได้จากการออกแบบสามารถฉีดกระแสชดเชยกำจัดฮาร์มอนิกได้ โดยรูปสัญญาณของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยสามารถ กลับมามีลักษณะคล้ายรูปไซน์ และค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยน ฮาร์มอนิกรวมของกระแสได้ลดลง

คำสำคัญ: ฮาร์มอนิก, วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

Abstract

This thesis presents the design of active power filter for a lighting system in building via shunt active power filter for single-phase systems. The harmonic detection by Instantaneous reactive power theory. The parameters design of active power filter is based on the system rating and components to allow it eliminate harmonics from the system appropriately and effectively The control systems for active power filter are divided into two parts: current compensation by hysteresis control and dc bus voltage control control by PI controller. In this thesis, hysteresis controller is selected for current compensation control. Simulink/MATLAB software is employed to simulate the scenarios with four different light loads: 90, 180, 360, and 720 watts.

The simulation results shown that the active power filter using Instantaneous reactive power theory harmonic detection cooperate with the designed controllers can inject compensating current and eliminate harmonics from the system effectively. The waveform of source current after compensation has come back into sinusoidal waveform.

Keywords: Harmonics, Shunt Active Power Filter

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นระบบที่ขาดไม่ได้ในโรงงาน อุตสาหกรรม สถานประกอบการ สำนักงาน รวมถึงบ้านพักอาศัยต่าง ๆ ส่วนเป็นการใช้งานโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear load) การใช้งานโหลดดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ซึ่ง ฮาร์มอนิกเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางไฟฟ้าของระบบลดลง เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาและผลเสียต่าง ๆ เช่น ก่อให้เกิดกำลังงานสูญเสียที่สายส่ง ทำให้อุปกรณ์ประเภทมิเตอร์วัด อุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์มีการทำงานผิดพลาด และยังทำให้อุปกรณ์ ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานที่สั้นลง เป็นต้น [1-4] จากผลเสียดังกล่าวจึงมี ความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการกำจัดฮาร์มอนิกให้หมดหรือ ลดน้อยลง เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากลับมามีคุณภาพทางมากยิ่งขึ้น วิธีการ กำจัดฮาร์มอนิกที่นิยมใช้ในปัจจุบันพบว่ามีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ การ ใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ (Passive power filter) [5] การใช้วงจรกรองกำลัง แอกทีฟ (Active power filter) [6] และการใช้วงจรกรองกำลังไฮบริด (Hybrid power filter) [7] อย่างไรก็ตามในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ เรามุ่งเน้นไปในการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ (Active power filter) ในการกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิบนาน ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร

2. ฮาร์มอนิก

2.1 นิยามฮาร์มอนิก

ฮาร์มอนิก (Harmonics) คือองค์ประกอบของแรงดันหรือ กระแสไฟฟ้ารูปคลื่น ไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier equation) ดังสมการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(t) = a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} a_n \cos(h\omega t) + \sum_{h=1}^{\infty} b_n \sin(h\omega t) \quad (1)$$

โดยที่ $f(t)$ คือ ฟังก์ชันของรูปสัญญาณแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า
 h คือ อันดับฮาร์มอนิก
 t คือ คาบของสัญญาณ (s)
 ω คือ ความถี่มูลฐานเชิงมุม (s)

การวัดปริมาณฮาร์มอนิกจะระบุด้วยค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: THD) ซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างรากที่สองขององค์ประกอบฮาร์มอนิกกำลังสอง (แรงดันหรือกระแสฮาร์มอนิก) ต่อองค์ประกอบมูลฐาน โดยจะพิจารณาองค์ประกอบฮาร์มอนิกถึงอันดับที่ 50 สำหรับองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่มีอันดับมากกว่า 50 โดยปกติจะไม่ถูกใช้ในการคำนวณค่า THD และจะถูกนิยามเป็นสัญญาณรบกวนแทนมาตรฐานสากล IEEE และ IEC พิจารณาปริมาณของฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิก ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า %THD ของแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิกได้จากสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ [8]

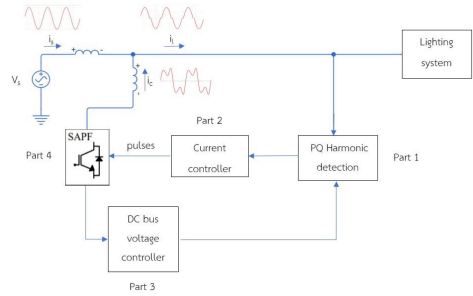
$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

โดยที่ V_h คือ ค่า RMS ของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h
 V_1 คือ ค่า RMS ของแรงดันที่มีความถี่มูลฐาน
 I_h คือ ค่า RMS ของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h
 I_1 คือ ค่า RMS ของกระแสที่มีความถี่มูลฐาน

3. การออกแบบระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

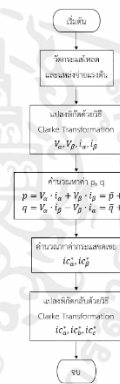
การใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ (Active Power Filter: APF) จะใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง หนีกระแสชดเชยเพื่อกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า สำหรับข้อดีของการใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ คือ มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรโซแนนซ์ ส่วนข้อเสีย คือ มีความซับซ้อนมากกว่าวงจรกรองกำลังพาสซีฟ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมาก และจำเป็นต้องมีการออกแบบตัวควบคุมหลายส่วน การออกแบบและสร้างวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานนั้นแบบมีส่วนประกอบของระบบกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบ ขนานหนึ่งเฟสสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนที่สำคัญดังรูป



รูปที่ 1 ระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

3.1 การออกแบบระบบตรวจจับฮาร์มอนิก (Harmonic detection)

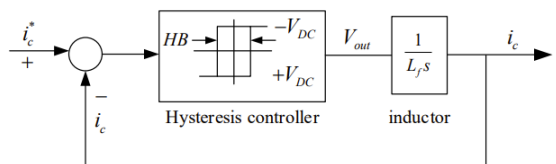
ทำหน้าที่คำนวณหากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งกระแสดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่ากระแสชดเชยให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟ โดยเราได้เลือกการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีพีทีทีกำลังไฟฟ้าขณะหนึ่งหรือเรียกว่า วิธี PQ ซึ่งหลักการทำงานสามารถแสดงดังรูปที่ 2 ได้ดังนี้



รูปที่ 2 แผนภาพการใช้โปรแกรมตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ

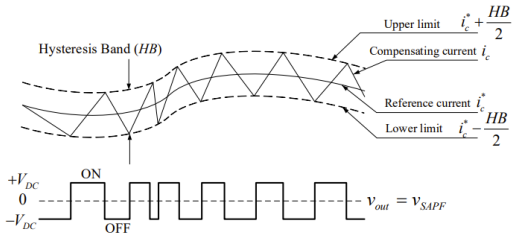
3.2 การควบคุมกระแสชดเชย (Current control)

ทำหน้าที่ควบคุมการหนีกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ โดยใช้ตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis controller) สำหรับแผนภาพบล็อกและหลักการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 3 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส

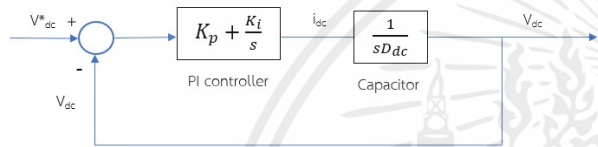
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 หลักการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส

3.3 การควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (DC bus voltage control)

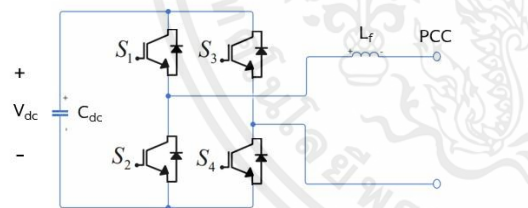
ทำหน้าที่ควบคุมค่าแรงดันบัสไฟตรงของวงจรรอกกำลัง แอกทีฟให้มีค่าคงที่ตามค่าอ้างอิงที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้ตัวควบคุมพีไอ ซึ่งสามารถแสดงแผนภาพได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพบล็อกการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ

3.4 วงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน

โครงสร้างของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน (SAPF) ที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือวงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบเต็มบริดจ์แสดงได้ดังรูปที่ 3.3

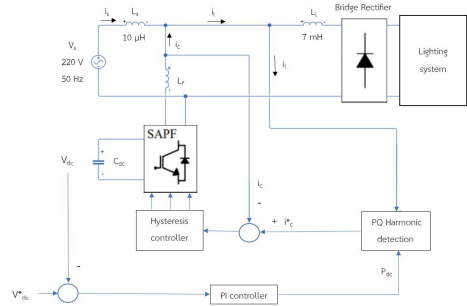


รูปที่ 6 โครงสร้างวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน (SAPF)

โดยผู้จัดทำได้การทดสอบทั้งหมด 4 กรณี ซึ่งมีดังนี้ โหลดแสงสว่าง 90 วัตต์, โหลดแสงสว่าง 180 วัตต์, โหลดแสงสว่าง 360 วัตต์ และ โหลดแสงสว่าง 720 วัตต์

4. ผลการวิจัย

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน การออกแบบตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิสสำหรับใช้ควบคุมกระแสชดเชยและตัวควบคุมพีไอสำหรับใช้ควบคุมแรงดันบัสไฟตรง จะสามารถแสดงระบบได้ดังรูปที่ 7

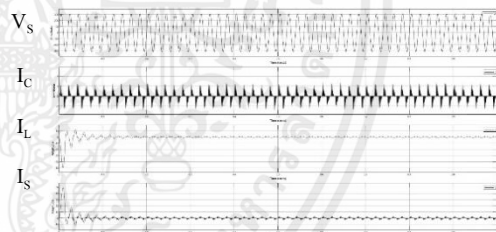


รูปที่ 7 ระบบการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน

โดยสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการออกแบบทั้งหมด 4 กรณี ซึ่งแบ่งเป็นกรณีดังนี้ โหลดแสงสว่าง 90, 180, 360 และ 720 วัตต์ โดยจะแสดงตัวอย่างผลของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ไว้ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับระบบกำจัดฮาร์มอนิก กรณีโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์

ส่วนที่พิจารณา	ค่าพารามิเตอร์
วงจร SAPF	$V_{DC}^* = 320 \text{ V}, L_f = 1.5 \text{ mH}, C_{DC} = 14 \text{ mF}$
ตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส	$HB = 0.1 \text{ A}, f_{s,max} = 30 \text{ Hz}$
ตัวควบคุมพีไอ	$K_p = 0.622, K_i = 13.817$



รูปที่ 8 ผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกของโหลดแสงสว่าง 90 วัตต์ เมื่อเทียบกับเวลา (วินาที)

โดยที่ v_s คือแรงดัน

i_c คือกระแสก่อนการกำจัดฮาร์มอนิก

i_L คือกระแสที่ฉีดเข้าไป

i_s คือกระแสหลังกำจัดฮาร์มอนิก

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับ โครงสร้างและวิธีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน การควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ อีกทั้งยังทดสอบสมรรถนะการทำงานของตัวควบคุมกระแสชดเชยและตัวควบคุมแรงดันบัสไฟตรง ที่ได้ออกแบบด้วยการจำลองสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulink/MATLAB ซึ่งจากผลการจำลองสถานการณ์พบว่า ตัวควบคุมอีสเตอรีซิสสามารถควบคุมกระแสชดเชยให้มีลักษณะคล้ายตามกระแสอ้างอิงที่ได้จากการตรวจจับฮาร์โมนิก ด้วยวิธี SWFA ได้เป็นอย่างดี และตัวควบคุมที่ไอสามารถควบคุมแรงดันบัสไฟตรงให้มีค่าคงที่ตามค่าแรงดันอ้างอิงได้ จึงส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถจัดการกระแสชดเชยกำจัดฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าที่พิจารณาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปสัญญาณของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังจากชดเชยมีลักษณะคล้ายรูปไซน์เพิ่มมากขึ้น โดยค่า %THDi ของกระแสดังกล่าวมีค่าลดลง โดยมีผลการลด %THDi ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปค่าฮาร์โมนิกก่อนและหลังชดเชยของโหนดกรณีต่าง ๆ

โหนด (วัตต์)	ค่าฮาร์โมนิก ก่อนชดเชย	ค่าฮาร์โมนิก หลังชดเชย
90	83.87 %	21.31 %
180	89.52 %	14.48 %
360	93.39 %	15.32 %
720	98.35 %	13.26 %

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.อรรณพ เสง่าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดในการทำปริญญาโทให้ ความช่วยเหลือในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ รวมทั้งให้การสนับสนุน และแรงกระตุ้น เพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Hiranandani, "Calculation of cable ampacities including the effects of harmonics", **IEEE Industry Applications Magazine.**, Vol. 4, No. 2, 1998, pp. 42-51.
- [2] V. E. Wagner et al, "Effects of harmonics on equipment", **IEEE Transactions on Power Delivery.**, Vol. 8, No. 2, 1993, pp.672-680.
- [3] R. D. Henderson and P. J. Rose, "Harmonics :the effects on power quality and transformers", **IEEE Transactions on Industry Applications.**, Vol. 30, No. 3, 1994, pp. 528-532.
- [4] D. E. Rice "Adjustable Speed Drive and Power Rectifier Harmonics-Their Effect on Power Systems Components", **IEEE Transactions on Industry Applications.**, Vol. IA-22, No. 1, 1986, pp. 161-177.

- [5] G. W. Chang, H.-L. Wang, and S.-Y. Chu, "Strategic placement and sizing of passive filters in a power system for controlling voltage distortion", **IEEE Transactions on Power Delivery.**, Vol. 19, No. 3, 2004, pp.1204-1211.
- [6] H.L. Jou J.-C. Wu and H.-Y. Chu, "New single-phase active power filter", in **IEE Proc.Electr. Power Appl.**, Vol. 141, No. 3, 1994, pp. 129-134.
- [7] P. K. Ray, G. Panda, and P. S. Puhon, "Fuzzy logic based intelligent Shunt Hybrid filter applied to single phase system," 2013 Annual **IEEE India Conference (INDICON).**, 2013, pp. 1-6.
- [8] IEEE std 519-2014, IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.

ประวัติผู้เขียน



นางสาว นันทน์กัศ บัญสม
เกิดวันที่ 23 เมษายน 2544
นักศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายภูษิษฐ์ มังคุณ
เกิดวันที่ 5 พฤศจิกายน 2543
นักศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายวิวัฒน์วิรัตน์ พิชักพันธ์
เกิดวันที่ 2 ธันวาคม 2543
นักศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

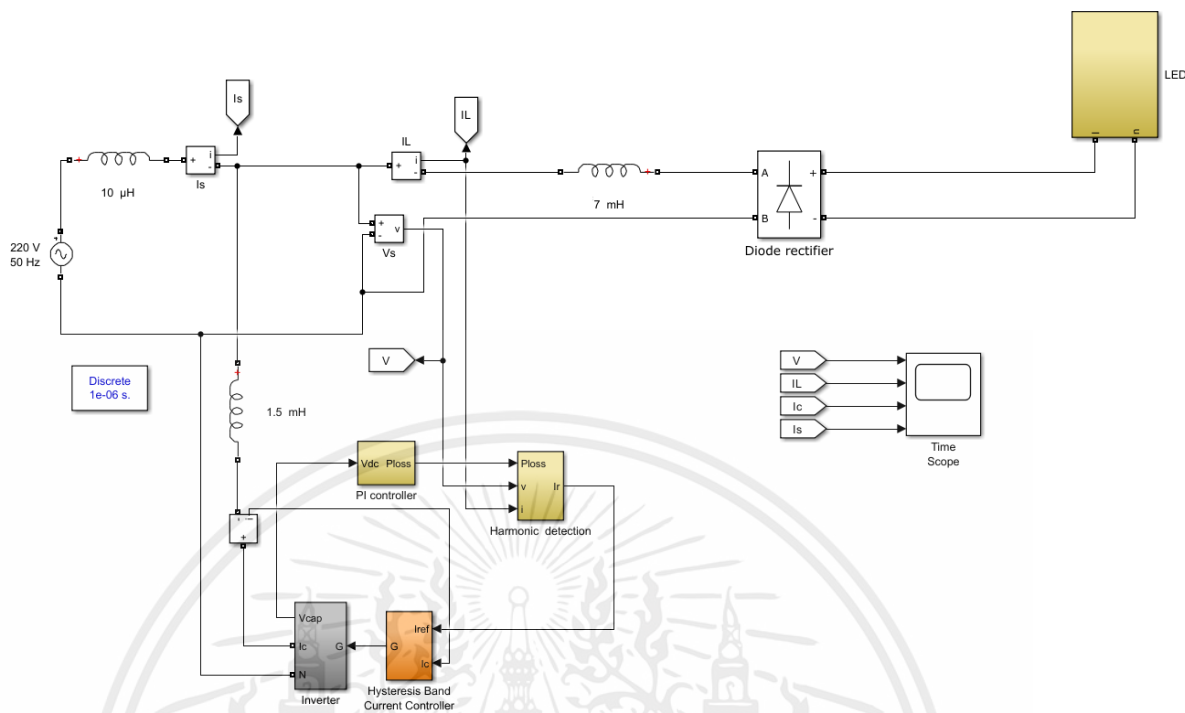


นายวิษุฒะ วิสัทธิ
เกิดวันที่ 29 ตุลาคม 2543
นักศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

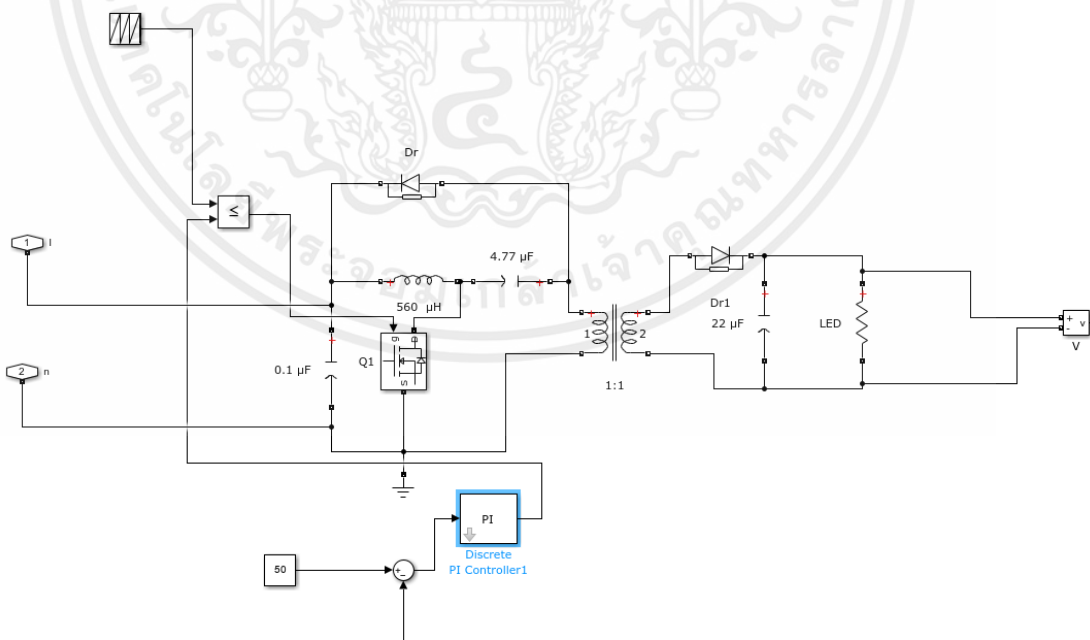
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

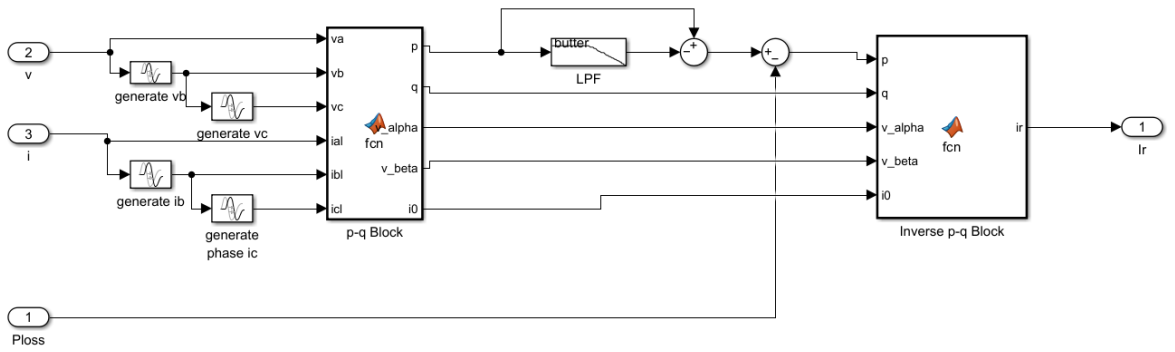


รูปที่ ข.1 ภาพรวมระบบควบคุมและกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรองกำลังแยกที่ฟแบบขนาน

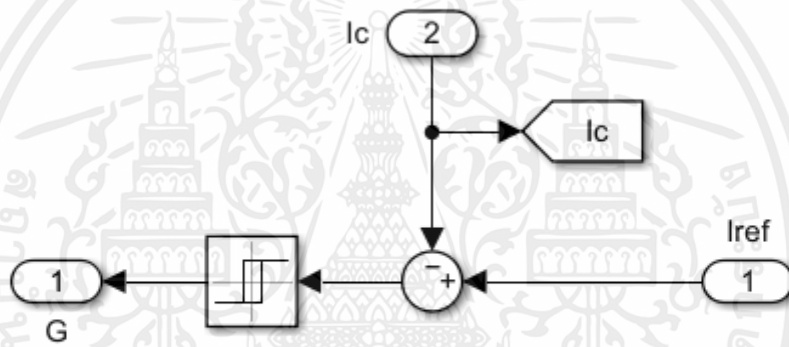


รูปที่ ข.2 วงจรโหลตแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

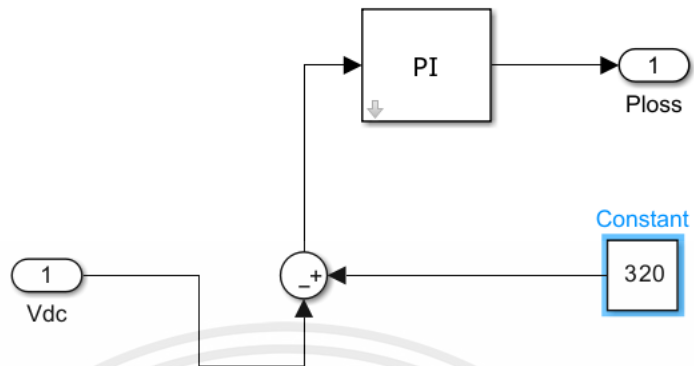


รูปที่ ข.3 การตรวจจับฮาร์มอนิก

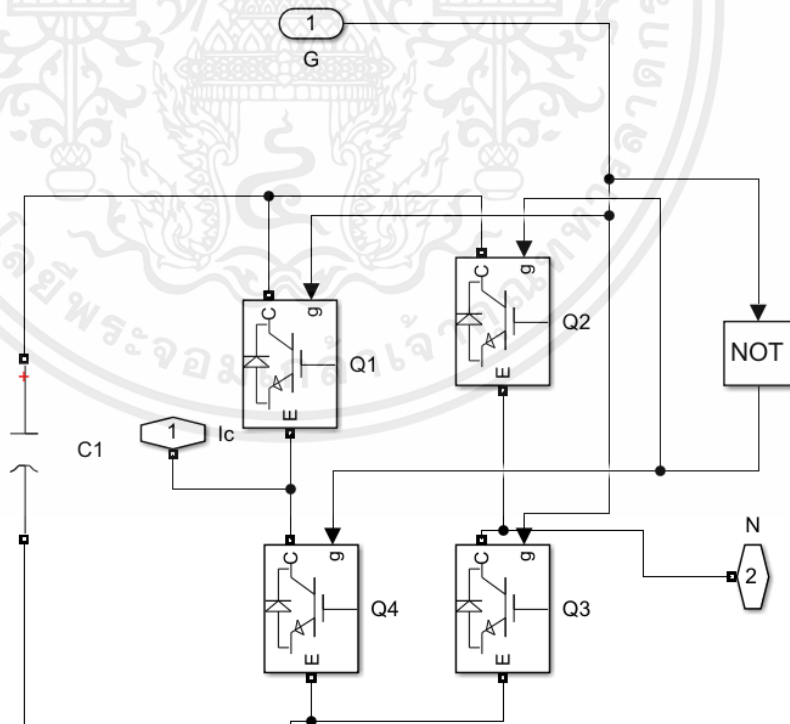


รูปที่ ข.4 การควบคุมกระแสขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 การควบคุมแรงดันบัสไฟตรง



รูปที่ ข.6 วงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นางสาวนันทน์ภัส บุญสม

เกิดวันที่ 23 เมษายน 2544

ที่อยู่ : 26 หมู่12 ต.บ้านกาศ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน 58110

Email : 62010481@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : โรงเรียนแม่สะเรียง“ปริพัตรศึกษา”

ประวัติการฝึกงาน : ฝ่ายแผนกซ่อมบำรุง บริษัท อสมท (จำกัด)
มหาชน จ.กรุงเทพมหานครฯ



นายภูชิชย์ มังคุณ

เกิดวันที่ 5 พฤศจิกายน 2543

ที่อยู่ : 28 หมู่4 ต.ขนวน อ.หนองนาคำ จ.ขอนแก่น 40150

E-mail : 62010709@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : โรงเรียนภูเวียงวิทยาคม

ประวัติการฝึกงาน : ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า กองบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า
โรงไฟฟ้าน้ำพอง จ.ขอนแก่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



นายวัธนันท์ พยัคพันธ์

เกิดวันที่ 2 ธันวาคม 2543

ที่อยู่ : 62 หมู่6 ต.แม่ขรี อ.ตะโหมด จ.พัทลุง 93160

Email : 62010816@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : โรงเรียนจุฬารัตนราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช

ประวัติการฝึกงาน : พัทลุง กรีน เพาเวอร์ จ.พัทลุง



นายวิษณุ วิสภักดี

เกิดวันที่ 29 ตุลาคม 2543

ที่อยู่ : 88/42 หมู่5 ต.ท่าระหัด อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000

Email : 62010824@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : โรงเรียนจุฬารัตนราชวิทยาลัย เพชรบุรี

ประวัติการฝึกงาน : กองบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า เชื้อนภูมิพล จ.ตาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้