



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

Attenuation of Electromagnetic Interference (EMI) in Lighting System

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

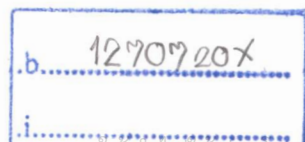
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

ร 418 ก

2556



เลขหมู่ 138161

เลขทะเบียน 18 ก.ย. 2558

รับเดือนปี 18 ก.ย. 2558

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าลาดกระบังไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去เผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) วรรณคดีทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง
แหล่งเงิน เงินรายได้คณะ

ประจำปีงบประมาณ.....2556... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน.....80,000... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย.....1 ปี ตั้งแต่...ตุลาคม 2555 ถึง...กันยายน 2556..

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

..ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

..ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เก่งพิทักษ์กุล สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 และหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ถูกนำมาใช้งานในระบบแสงสว่างทั้งภายในและภายนอกอาคารมากขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานที่ดี น้ำหนักเบา และมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อย จึงทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของสารที่เป็นพิษ แต่ในการทำงาน เพื่อให้หลอดไฟเหล่านี้สามารถจุดติดได้ จำเป็นต้องใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ล้วนทำงานด้วยหลักการสวิตชิง จึงเป็นต้นกำเนิดของการเกิดฮาร์โมนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่ข้างเคียงอาจทำงานผิดปกติหรือได้รับความเสียหายได้ ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้ นอกจากจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงาน ความเข้มของการส่องสว่างของหลอดไฟบนที่ทำงาน แล้ว ยังมีการศึกษาในประเด็นของการลดทอนฮาร์โมนิกส์หรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานของบริภัณฑ์ส่องสว่าง IEC 1000-3-2 (หรือ EN 61000-3-2)

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงหลายๆยี่ห้อ เพื่อดูประสิทธิภาพและฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น และสำหรับยี่ห้อที่ให้สัญญาณรบกวนสูงที่สุดจะเป็นยี่ห้อที่มีราคาถูก และไม่มีมาตรฐานรองรับ จึงได้ใช้เป็นตัวอย่างในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนเพื่อลดทอนให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนด ซึ่งทำให้ได้ชุดที่มีราคาไม่สูงแต่มีคุณภาพทัดเทียมกับยี่ห้อที่มีคุณภาพดีแต่ราคาสูง จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้บริโภคทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบแสงสว่าง วงจรกรอง หลอดไดโอดเปล่งแสง หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ 5 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ฮาร์โมนิกส์

Research Title: Attenuation of Electromagnetic Interference (EMI) in Lighting System

Researcher: Asst. Prof. Dr. Chaiyan Jettanasen and
Asst. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

ABSTRACT

T5 fluorescent lamp and Light Emitting Diode (LED) lamp become nowadays increasingly widely used in lighting system both inside and outside the buildings due to their efficient performance, light weight, low electrical loss resulting in energy savings. In addition, they are environmentally friendly because they do not contain toxic substance. For functioning, T5 fluorescent lamp and LED lamp need electronic ballast and driver, respectively. These additional devices produce harmonics and/or electromagnetic interference (EMI) in the system owing to their switching operation; this may cause malfunction or damage to nearby sensitive electrical/electronic equipments. Consequently, in this research, overall performance, illumination on the working area and harmonics or EMI reduction are all investigated. The noise level must be conformed to IEC 1000-3-2 (or EN 61000-3-2) standard.

In this research, comparative study of different brands of ballast electronics and LED lamp drivers is carried out in order to know the performance and harmonics generation. It is later found that the brand with low cost and without any standards has the highest harmonics and exceeds the applied standard. Hence, this type is used for harmonics filter design. After adding the filter, the overall system generates less harmonics and its performance is presently fairly equivalent to the high quality and high cost one, and also respects to the EMC standard. This could finally save cost for the consumers when using this lamp.

Keywords : Electronic ballast, Lighting System, filter, LED, T5 Fluorescent lamp, Electromagnetic Interference, Harmonics

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่มีคุณค่าจากบุคคลและเจ้าหน้าที่ภายในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บุคคลที่มีความสำคัญยิ่งได้แก่ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ซึ่งเป็นบิดาและมารดาที่ได้มอบการอบรมสั่งสอนและสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนตั้งแต่อดีตจวบจนถึงปัจจุบัน รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ชีวิตและอบรมความรู้จนทำให้คณะวิจัยมีโอกาสได้เขียนโครงการวิจัยฉบับนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เเง้าพิทักษ์กุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 และชนิด T8	6
2.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)	7
2.3 ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ Switching Power Supply	9
2.3.1 หลักการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (แหล่งจ่ายไฟตรง)	10
2.4 ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า (Harmonics in Power System)	11
2.4.1 ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม	12
2.5 ฟิวเตอร์ (Filter)	12
บทที่ 3 การจำลองและวิเคราะห์ฟอลต์	26
3.1 การจำลองด้วยโปรแกรม DIALux	26
3.1.1 กรณีศึกษาห้องตัวอย่าง	26
3.2 การทดสอบฮาร์โมนิกในบัลลาสต์ชนิดต่างๆ โดยใช้แผงทดสอบ	30
3.2.1 การทดสอบฮาร์โมนิกในกรณีที่เปิดใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์เพียงชนิดเดียว	31
3.2.2 การทดสอบฮาร์โมนิกในกรณีที่เปิดใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงเพียงชนิดเดียว	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	43
4.1 การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของบัลลาสต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์	43
4.2 ผลการประยุกต์ใช้วงจรกรองตัวต้นแบบ	45
4.2.1 การทดสอบวงจรกรองตัวต้นแบบร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	46
4.2.2 การทดสอบวงจรกรองตัวต้นแบบร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)	48
บทที่ 5 บทสรุป	52
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	57

เอกสารนี้เป็นภาคผนวก ก ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติผู้จัดทำโครงการวิจัย	หน้า 61
-----------------------------------	------------



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแสงของหลอดชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งในโคมตามชนิดของหลอด	7
3.1 การเปรียบเทียบข้อมูลรายละเอียดต่างๆในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม DIALux.....	29
3.2 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B.....	31
3.3 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด.....	32
3.4 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 10 หลอด.....	33
3.5 ตารางแสดงข้อมูลเบื้องต้น ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับ ชุดขับหลอดยี่ห้อ A.....	37
3.6 ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับ ชุดขับหลอด ไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (1ชุดขับ 1หลอด).....	37
3.7 ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับ ชุดขับหลอด ไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (9 ชุดขับ 9 หลอด)	39
4.1 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด.....	46
4.2 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด	47
4.3 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 ชุด	50
4.4 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 หลอด	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์คุณภาพต่าง ๆ	2
2. หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) และชุดขับ (drive) ที่ใช้ในระบบแสงสว่าง	2
2.1 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ	6
2.2 แสดงโครงสร้างของบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์	8
2.3 ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ Switching Power Supply	10
2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	10
2.5 ฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ลำดับต่าง ๆ	11
2.6 แสดงรูปแบบการต่อวงจรฟิลเตอร์.....	13
2.7 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	14
2.8 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน.....	14
2.9 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน	15
3.1 ห้อง ECC-301 ตึก ECC.....	26
3.2 ห้อง ECC-301 ที่จำลองโดยใช้โปรแกรม DIALux.....	27
3.3 การกระจายแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่าง.....	28
3.4 สเปกตรัมของแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่าง.....	28
3.5 ชุดแผงทดสอบฮาร์โมนิก.....	30
3.6 การวัดค่าฮาร์โมนิกที่ศูนย์ทดสอบ PTEC	31
3.7 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด.....	34
3.8 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด.....	34
3.9 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 10 หลอด.....	35
3.10 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 10 หลอด.....	35
3.11 ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 และ 10 หลอด.....	36
3.12 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (1 ชุดขับ 1หลอด).....	38
3.13 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (1 ชุดขับ 1หลอด).....	38
3.14 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (9 ชุดขับ 9หลอด).....	40
3.15 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (9 ชุดขับ 9หลอด).....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.16 ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดยี่ห้อ A จำนวน 1 และ 9 ชุด	41
4.1 พฤติกรรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B ที่ความถี่ 602.560 เฮิรตซ์.....	43
4.2 พฤติกรรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B ที่ความถี่ 8,912.509 เฮิรตซ์	44
4.3 พฤติกรรมของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์.....	44
4.4 พฤติกรรมของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A ที่ความถี่ 3.350 เมกะเฮิรตซ์....	45
4.5 วงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5	45
4.6 กระแสฮาร์โมนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด ก่อนใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	46
4.7 กระแสฮาร์โมนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด หลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	46
4.8 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ทั้งก่อนและหลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 จำนวน 4 หลอดกับมาตรฐาน IEC1000-3-2	48
4.9 วงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จำนวน 1 หลอด.....	48
4.10 กระแสฮาร์โมนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 หลอด ก่อนใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	49
4.11 กระแสฮาร์โมนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 ชุด หลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	49
4.12 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ทั้งก่อนและหลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จำนวน 1 หลอดกับมาตรฐาน IEC1000-3-2.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้า นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน ปรับปรุงคุณภาพชีวิต และขับเคลื่อนการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ จึงอาจกล่าวได้ว่า พลังงานไฟฟ้าเปรียบเสมือนเส้นเลือดใหญ่ของสังคมในทุกวันนี้และในอนาคต ซึ่งความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยนั้นมีความต้องการมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และนับวันยังมีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นหากไม่ตระหนักถึงการลดปริมาณการใช้ เชื่อได้ว่า อนาคตพลังงานจะต้องหมดสิ้นไป การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้มีการรณรงค์ให้มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงภายใต้สัญลักษณ์ฉลากเบอร์ 5 โดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายให้ กฟผ. รณรงค์ฉลากเบอร์ 5 ให้เป็นที่แพร่หลายพร้อมกับพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

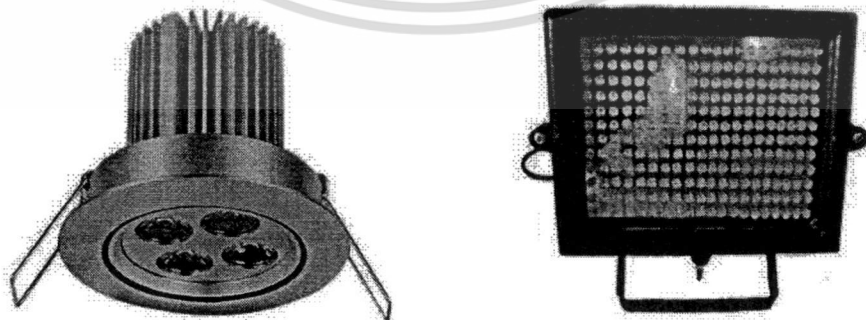
ในระบบแสงสว่างจึงมีการสนับสนุนให้ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T5) ซึ่งเป็นอีกอุปกรณ์หนึ่งที่ กฟผ. สามารถดำเนินการพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2550 กฟผ. เปิดตัวโครงการ “เครือข่ายร่วมลดโลกร้อน ด้วยหลอดผอมใหม่เบอร์ 5” ตามมติคณะรัฐมนตรีให้ทุกกระทรวงให้ความร่วมมือในการดำเนินงานโครงการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมภาครัฐตามที่กระทรวงพลังงานเสนอ และหนึ่งในแนวทางการดำเนินงานโครงการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุมภาครัฐคือ ส่งเสริมการใช้หลอดประหยัดพลังงานหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 โดยมีเป้าหมายเปลี่ยนหลอด T8 เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 จำนวน 110 ล้านหลอด แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางไฟฟ้าทำให้หลอด T5 ไม่สามารถเปลี่ยนใส่แทนหลอด T8 (หลอดผอม) และหลอด T12 (หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา) ได้ นอกจากนี้หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 ต้องใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นบัลลาสต์เฉพาะสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 โดยทั่วไปบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 ไม่สามารถใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T8 และหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T12 ได้เช่นเดียวกัน และอีกทั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่ยังมีทั้งที่มีคุณภาพสูงและคุณภาพต่ำ ซึ่งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพสูงนั้นจะก่อให้เกิดฮาร์มอนิกส์ (ในย่านความถี่ต่ำ) หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (ในย่านความถี่สูง) ที่น้อยแต่มีราคาแพง แต่ในทางตรงกันข้ามการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาถูกจะส่งผลให้มีฮาร์มอนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูงเนื่องจากมีคุณภาพต่ำ และสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวนตัวอื่นๆ ที่ต่อรวมอยู่ในระบบด้วย ทำให้อายุการใช้งานอุปกรณ์นั้น ๆ ลดลงหรือเกิดความเสียหายได้ อีกทั้งในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าหากมีการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพต่ำรวมกันภายในระบบเป็นจำนวนมาก อาจส่งผลกระทบต่อมาตรวัดกำลังไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ค่าที่มาตรวัดวัดออกมาได้มีความผิดเพี้ยนไป ด้วยเหตุนี้เองทำให้ผู้ใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 อาจจะต้องจ่ายเงินค่าไฟที่ไม่เป็นไปตามความเป็นจริง ซึ่งอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ จะเป็นการส่งผลเสียต่อตัวผู้ใช้งานเอง ซึ่งแน่นอนว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ก็มีอยู่หลายยี่ห้อและหลายเกรด ทำให้ราคาแตกต่างกันตามคุณภาพ โดยในการติดตั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตามบ้านเรือนประชาชนอาจใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ได้มาตรฐานหรือได้มาตรฐานแต่คุณภาพไม่ดีนัก เนื่องด้วยปัจจัยทางด้านราคา ซึ่งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะมีสัญญาณรบกวนที่สูงซึ่งจะส่งผลต่ออุปกรณ์ที่มีความไวสูงทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายหรืออายุการใช้งานสั้นลงได้ โดยที่ผู้บริโภคไม่รู้ ด้วยเหตุนี้เอง งานวิจัยนี้จึงได้พยายามหาวิธีการในการลดทอนฮาร์มอนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบแสงสว่าง ซึ่งรวมถึงการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่มีชุดขับ (drive) เพื่อให้หลอดทำงานด้วย ชุดขับดังกล่าวทำงานด้วยการสวิตซ์ชิ่ง ดังนั้นก็จะเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นด้วยอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ในการลดทอนหรือควบคุมสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด อาจทำได้โดยการออกแบบและติดตั้งวงจรกรองสัญญาณรบกวนในระบบเพื่อกรองสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการที่เกิดจากชุดขับของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) และที่เกิดจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ได้มาตรฐานหรือได้มาตรฐานแต่คุณภาพไม่ดีออกไป เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ เทียบเท่ากับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพสูงแต่มีราคาแพง ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้บริโภคทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คุณภาพต่าง ๆ



รูปที่ 2 หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) และชุดขับ (drive) ที่ใช้ในระบบแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 ได้แสดงให้เห็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพแตกต่างกันออกไป ซึ่งมีทั้งที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งบางชนิดไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน CE ซึ่งเป็นเครื่องหมายแสดงว่าสินค้านั้นมีการออกแบบและการผลิตที่ได้มาตรฐานความปลอดภัยตามข้อกำหนดในระเบียบข้อบังคับด้านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของยุโรป หรือ EU เพื่อให้ผู้บริโภคใน EU มีความมั่นใจถึงความปลอดภัยในการใช้สินค้าและการจัดการตามมาตรการพิทักษ์รักษาและลดผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อม

จากความต้องการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าในระบบแสงสว่าง จึงมีการรณรงค์ให้มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 แทนหลอดรุ่นเดิม รวมถึงการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) แต่สิ่งที่ตามมาคือ การเกิดฮาร์โมนิกหรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า [1, 2] อันเกิดจากการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility; EMC) ในระบบแสงสว่างและระบบที่อยู่ใกล้เคียง กล่าวคือเพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทางแม่เหล็กไฟฟ้าเดียวกันทำงานได้อย่างปกติและไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาหาวิธีลดฮาร์โมนิกหรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ซึ่งมีวิธีการด้วยกันหลายวิธี [3-6] เช่น การใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวน (EMI filter) การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรือชุดขับอย่างเหมาะสม การชีลด์ (shielding) การกราวด์ (grounding) เป็นต้น โดยอาจเลือกเพียงวิธีใดวิธีหนึ่งที่เหมาะสมหรือหลายวิธีร่วมกัน

เมื่อในระบบมีฮาร์โมนิกเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณ (Power quality) กล่าวคือสัญญาณกระแสสลับจะไม่ใช่รูปคลื่นไซน์อีกต่อไป จะมีความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกสรวม (Total Harmonic Distortion; THD) มากขึ้น ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบที่พิจารณา ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณดังกล่าวเพื่อให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อระบบ โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์หาวิธีการลดฮาร์โมนิกหรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากการทำแบบจำลองระบบที่ศึกษาด้วย circuit type simulators เช่น PSpice, Simpler หรือ Saber ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลของสัญญาณหรือพารามิเตอร์ที่ศึกษาในโดเมนเวลา แต่การวิเคราะห์ปัญหา Electromagnetic interference (EMI) จะพิจารณาในโดเมนความถี่เป็นส่วนใหญ่เพื่อดูสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ดังนั้นหลังจากที่ได้สัญญาณในโดเมนเวลา ต้องมีการแปลง (convert) ให้อยู่ในโดเมนความถี่โดยใช้คำสั่ง FFT ซึ่งมีอยู่ในซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะ

กล่าวโดยสรุป จากนโยบายด้านการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะช่วยเผยแพร่ข้อมูลและส่งเสริมการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) อีกทั้งยังช่วยเสนอแนะแนวทางในการลดปัญหาด้านฮาร์โมนิกหรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากระบบดังกล่าว โดยเลือกใช้วิธีการใส่วงจรกรองในระบบโดยการหาค่าองค์ประกอบ (element) ของวงจรกรอง (filter) ที่เหมาะสม ซึ่งอาจคำนวณจากการพิจารณา cut-off frequency ของวงจรกรอง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 และ/หรือ หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) เพื่อให้เกิดผลประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) เพื่อรณรงค์ให้ประชาชนชาวไทยลดความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน
- 3) เพื่อศึกษาและหาวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวน โดยการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนเพื่อช่วยลดฮาร์มอนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คุณภาพต่ำและจากชุดขับของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)
- 4) เพื่อให้ได้วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ออกแบบร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาไม่สูง แทนที่จะใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาสูงเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ระบบแสงสว่างที่พิจารณาคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้ชุดขับเพื่อให้เกิดแสงสว่าง
- 2) วัดสัญญาณฮาร์มอนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากระบบแสงสว่างที่พิจารณา
- 3) ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนเพื่อลดระดับสัญญาณเพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานที่กำหนด
- 4) ตรวจสอบประสิทธิภาพของวงจรกรองที่ออกแบบโดยการนำไปใส่ในระบบจริงที่พิจารณา แล้ววัดค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือสอดคล้องตามมาตรฐานที่พิจารณาหรือไม่

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด ได้แก่ มิเตอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า ออสซิลโลสโคป บัลลาสต์ขดลวด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ชุดหลอดไฟ หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชุดขับหลอด เป็นต้น
- 2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ รุ่น T5 ชุดขับหลอด ไดโอดเปล่งแสง (LED) และการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวน ตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 และชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)
- 3) ติดตั้งอุปกรณ์และทำการวัดค่าและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพต่างๆ กัน เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน, power factor, total harmonic distortion เป็นต้น และพิจารณาในทำนองเดียวกันสำหรับการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) พร้อมชุดขับ
- 4) ทำการออกแบบและติดตั้งวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบแสงสว่างที่พิจารณา เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง จากนั้นนำผลที่ได้จากการติดตั้งในแต่ละกรณีศึกษามารวบรวมเพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
- 5) นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาปรับปรุงวงจรกรองต้นแบบ
- 6) สรุปผลการศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และเขียนบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ประโยชน์จากองค์ความรู้ใหม่ และ ประโยชน์ในด้านการพัฒนาทางด้านอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมของประเทศ ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ประโยชน์ในด้านการพัฒนาด้านอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมของประเทศ

- 1) ส่งเสริมงานวิจัยให้มีการพัฒนาทางด้านการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดผลการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป
- 2) เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5
- 3) สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ในระดับหนึ่ง โดยยังคงประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นเดิม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากองค์ความรู้ใหม่

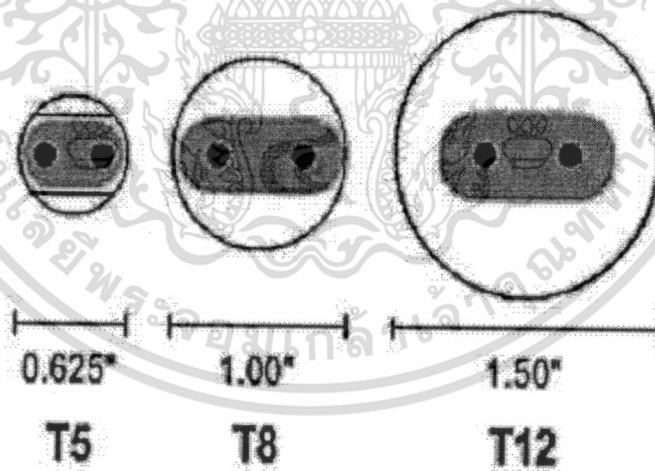
- 1) สามารถเป็นแนวคิดในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวน
- 2) เผยแพร่ความรู้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาฮาร์มอนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และที่เกิดจากชุดขับของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป อีกทั้งยังนำไปใช้ประโยชน์แก่หน่วยงานที่สนใจ เพื่อเป็นการส่งเสริมลดโลกร้อน
- 3) เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น T5 และหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยชุดตัวต้นแบบให้ความรู้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 และชนิด T8

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่คนไทยรู้จักเป็นอย่างดีคือ หลอดอ้วนในอดีตขนาด 20 วัตต์และ 40 วัตต์หรือทางเทคนิคคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T12 ต่อมาเมื่อประมาณสิบปีที่แล้วมีการเปลี่ยนมาใช้หลอดผอมขนาด 18 วัตต์และ 36 วัตต์โดยทางเทคนิคคือหลอด ฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ทางกรไฟฟ้าฝ่ายผลิตให้ชื่อว่าหลอดผอมใหม่ขนาด 14 วัตต์และ 28 วัตต์ ที่จริงแล้วคำว่า T5 T8 T12 นั้นหมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดว่ามีขนาดกี่ท่อน เช่น T8 หมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 ท่อนหรือ 26 มม. ดังภาพที่ 2.1

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T12 กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 นั้นมีความยาวเท่ากันสำหรับขนาดวัตต์ที่ใช้แทนกัน จึงทำให้สามารถเปลี่ยนหลอดทดแทนกันได้ โดยใช้บัลลาสต์เดิม ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 มีขนาดความยาวที่สั้นกว่าและต้องใช้บัลลาสต์เฉพาะของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ซึ่งต้องเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แต่ก็มีการคิดค้นอุปกรณ์ชุดที่ช่วยประยุกต์ให้นำหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 มาใส่กับโคมเดิมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ซึ่งควรต้องพิจารณาให้ดีเพราะยังไม่มีมาตรฐานสากลที่ชัดเจนของอุปกรณ์ที่ว่านี้ ดังนั้นในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ถ้าเป็นการติดตั้งใหม่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำมาสำหรับใช้หลอด ฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 จะเหมาะสมกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการได้ประสิทธิภาพของแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ไปใช้งานให้คุ้มกับเงินที่จ่าย



ภาพที่ 2.1 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแสงของหลอดชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งในโคมตามชนิดของหลอด

สีคูโลวท์	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm.)	ขนาดวัตต์ (W)	ปริมาณแสง (Lumen)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Lumen/W)
หลอด 36 วัตต์ แบบธรรมดา	26	36	2850	79
หลอด 36 วัตต์ แบบซูปเปอร์	26	36	3350	93
หลอด T5 28 วัตต์	16	28	2900	104

จากตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ กล่าวคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ที่ติดตั้งในโคมขนาด 36 วัตต์แบบธรรมดา และแบบซูปเปอร์จะให้ ลูเมนต่อวัตต์ที่น้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ติดตั้งในโคมขนาด 28 วัตต์

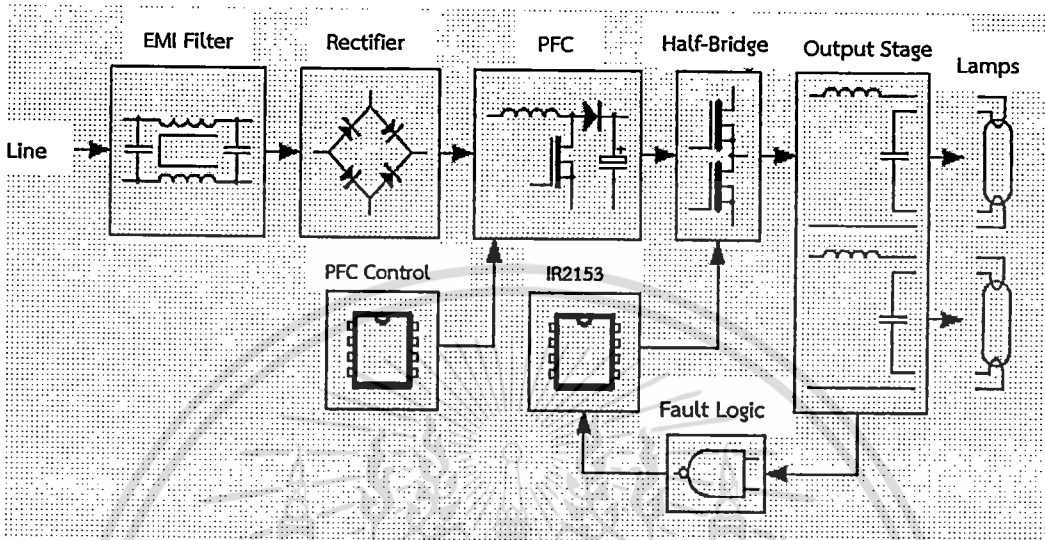
2.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) [4]

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องใช้ ต้องมีอยู่ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์ ประเภทหลอดคายประจุความดันสูง โดยมีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในขั้วหลอดให้มีค่าเหมาะสมสม่ำเสมอตามแต่ละประเภท หลอดแต่ละชนิด แต่ละรุ่น แต่ละขนาด บัลลาสต์ประหยัดพลังงานที่นิยมใช้กันมาก คือ บัลลาสต์โลว์ลอส (Low Loss Ballast) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพียงอย่างเดียว ในการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อลดการสูญเสียของบัลลาสต์แบบแกนเหล็กและเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะพบว่าในบัลลาสต์แกนเหล็กนั้นพลังงานที่สูญเสียไปจะเกิดจากค่าตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในบัลลาสต์ เนื่องจากค่าตัวต้านทานที่อยู่ในบัลลาสต์ควรมีค่าสูง จึงทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากด้วยเพราะว่าบัลลาสต์แกนเหล็กทำงานที่ความถี่ต่ำ (50 Hz) ค่าตัวเหนี่ยวนำจึงจำเป็นต้องมีค่าสูง แต่ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง จึงทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กลงได้ (ค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$) ดังนั้นเมื่อใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำลดลงได้ ส่งผลให้ความสูญเสียลดลงด้วย นอกจากนี้การทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดสูงขึ้นอีกด้วย

ในการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความถี่สูง ถึงแม้ว่าจะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้จริง แต่ก็จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง เนื่องจากว่าแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz จึงจำเป็นต้องใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับ (AC to AC Converter) ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งในการทำงานจะเกิดกำลังสูญเสียของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับเอง และเพื่อให้สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัววงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับนี้ต้องมีประสิทธิภาพสูง (กำลังสูญเสียที่เกิดต่อน้อยกว่ากำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัลลาสต์แกนเหล็ก) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถลดความสูญเสียประมาณ 10-12 วัตต์ต่อหลอด เมื่อเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กแต่จะมีราคาแพงกว่า สำหรับระยะเวลาการคืนทุนและผลประหยัดที่ จะได้รับนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดไฟ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากภาพที่ 2.2 วงจรต่าง ๆ ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบไปด้วย

- 1) วงจรกรองด้านเข้าและวงจรป้องกัน (Input filter and Protection Circuit) มีหน้าที่ ลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI (Electromagnetic interference) จากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนบัลลาสต์และจากบัลลาสต์ที่จะออกไปยังสายส่ง และช่วยป้องกันกระแสกระชาก (Surge current) แรงดันเกินชั่วขณะ ในตอนเปิดไฟอีกด้วย
- 2) วงจรเรียงกระแส (Rectifier) มีหน้าที่ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง
- 3) วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction Circuit ; PFC) มีหน้าที่ ปรับรูปคลื่นของกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะใกล้เคียงแรงดันด้านเข้า ซึ่งเป็นสัญญาณรูปไซน์เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิก และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง
- 4) วงจรกรองผ่านต่ำ (Low pass filter) มีหน้าที่ ลดแรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์
- 5) วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency inverter) มีหน้าที่ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ส่วนใหญ่นิยมใช้วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้าแบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter) เนื่องจากใช้อุปกรณ์สวิตช์เพียง 2 ชุด และแรงดันตกคร่อมบนตัวสวิตช์จะมีค่าสูงสุดไม่เกินแรงดันขาเข้า ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาถูก
- 6) วงจรเรโซแนนซ์ (Resonance Filter) วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมแบบโพลต์ต่อขนานกับตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับวงจรบัลลาสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่สุด เนื่องจากสามารถสร้างแรงดันสูงเพื่อจุดหลอดในตอนแรก และลดแรงดันลงเพื่อควบคุมกระแสเมื่อหลอดติดแล้วได้

เมื่อ “การประหยัดพลังงาน” หมายถึง การลดต้นทุนที่สามารถเอาชนะคู่แข่งขั้นได้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการถูกเลือกให้เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน เพราะนอกเหนือจากการประหยัดพลังงานได้ถึง 30% แล้ว ยังคืนกำไรให้กับผู้ลงทุนได้ในอัตราผลตอบแทนที่สูงเพราะหากใช้งานมากเท่าไรยิ่งกำไรเร็วขึ้นเท่านั้น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่เช่นเดียวกับบัลลาสต์แกนเหล็ก แต่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ปกติ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมีค่าระหว่าง 25 ถึง 50 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) เพื่อป้องกันหลอดฟลูออเรสเซนต์ กระแสไฟฟ้าสลับจากแหล่งจ่ายจะถูกเรียงกระแสและกรองเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับวงจรสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวกำเนิดความถี่จะผลิตสัญญาณความถี่สูงซึ่งจะขับตัวทรานซิสเตอร์ให้ทำงานสลับกัน โดยมีตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรท์ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าและตัวเก็บประจุร้อมหลอดทำหน้าที่กำหนดความถี่ และการสตาร์ทบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรมีความถี่ด้านออกอยู่ในช่วง 25 ถึง 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อป้องกันการรบกวนต่อความถี่เสียงและความถี่วิทยุ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยสามารถลดกำลังสูญเสียที่หลอดลงมาได้ 10 เปอร์เซ็นต์ และยังคงความสว่างเท่ากันเมื่อขับหลอดที่ความถี่ปกติ 50 เฮิร์ตซ์ และเนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบกันเป็นวงจร เพื่อทำงานในย่านความถี่สูง ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถที่จะลดกำลังการสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาที่แสงสว่างออกมาเท่ากัน

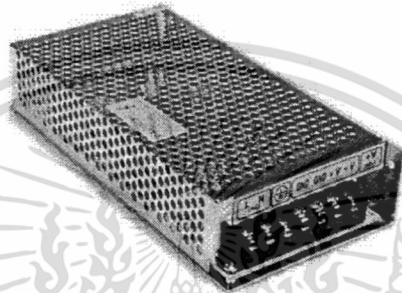
2.3 ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ Switching Power Supply

สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไฟสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอน แรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย ในปัจจุบันสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตอย่างมาก เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูงแต่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรสาร และ โทรศัพท์ จำเป็นจะต้องใช้สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย แนวโน้มการนำสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ใน

ข้อได้เปรียบของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น คือ ประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบาว่าแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก ขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงจึงมีค่าสูง การคงค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นส่วนมากจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่อนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อเพาเวอร์ซัพพลายต้องจ่ายกำลังงานสูงๆ จะทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ปกติแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะมี

ประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ในบางกรณี ซึ่งนับได้ว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งมีประสิทธิภาพในช่วง 65%-80%

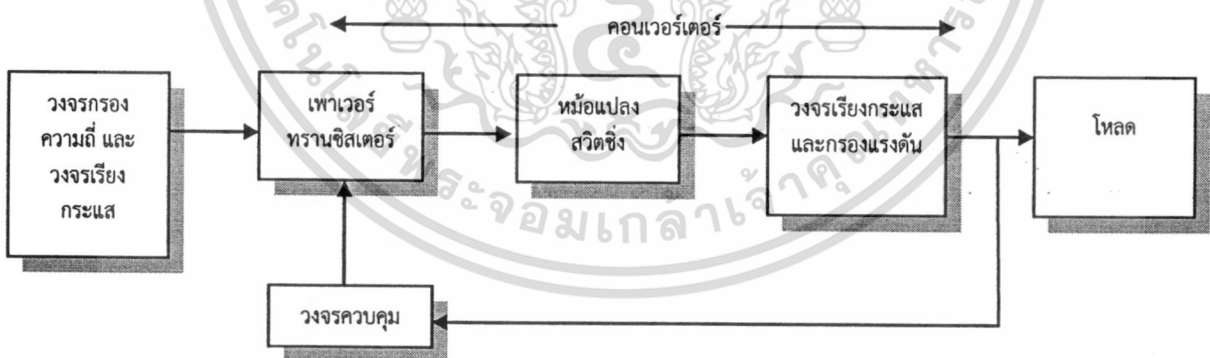
อย่างไรก็ตาม แหล่งจ่ายแรงดันคงที่จะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่า และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น รวมทั้งแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ยังมีความซับซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง ที่กำลังงานต่ำๆ แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะประหยัดกว่าและให้ผลดีเท่าเทียมกัน ดังนั้นแหล่งจ่ายแรงดันคงที่จึงมักนิยมใช้กันในงานที่ต้องการ กำลังงานตั้งแต่ 20 วัตต์ขึ้นไป เท่านั้น



ภาพที่ 2.3 ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ Switching Power Supply

2.3.1 หลักการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (แหล่งจ่ายไฟตรง)

หัวใจสำคัญของ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุต



ภาพที่ 2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

คอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมี

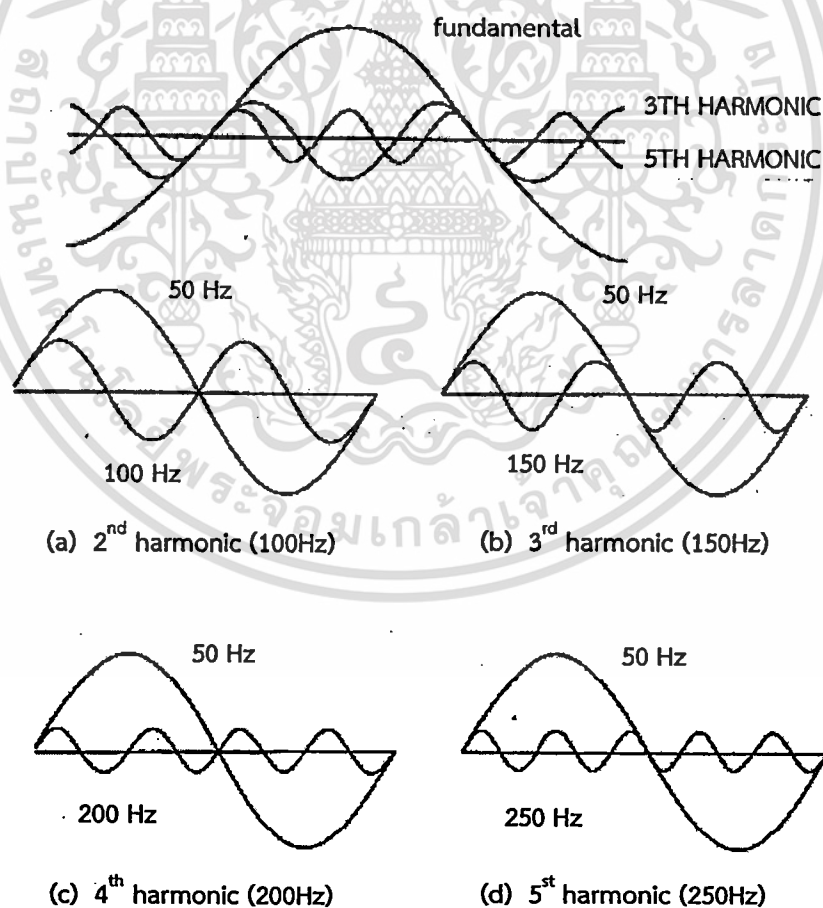
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้น มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

- ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
- การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

2.4 ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า (Harmonics in Power System) [3]

ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใด ๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์) เช่น ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150 เฮิร์ตซ์ และฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250 เฮิร์ตซ์ เป็นต้น ดังแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ลำดับต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวม

มาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวม : %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวม โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกสรวม กับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกเป็นค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสรวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกสรวม

ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสรวม (Total Harmonic current Distortion: THD_i)

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2(rms)}}{I_1(rms)} \times 100\% \quad (2.1)$$

ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกสรวม (Total Harmonic voltage Distortion: THD_v)

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2(rms)}}{V_1(rms)} \times 100\% \quad (2.2)$$

V_h (rms) : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h

I_h (rms) : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h

V_1 (rms) : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

I_1 (rms) : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสที่ความถี่หลักมูล

สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกสรวม ตามคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ได้ดังต่อไปนี้

- อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทั่วไปในบ้านพัก สำนักงาน ส่วนใหญ่เป็นชนิด 1 เฟส
- อุปกรณ์ที่มีการใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง (SWITCHING MODE POWER SUPPLY : SMPS เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์)

ปัญหาฮาร์มอนิกสรวมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลัก ๆ คือ

1. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกสรวมที่มีขนาด และรูปคลื่น สัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป
2. ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยกำลังสอง (rms) ของแรงดันหรือ กระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์มอนิกสรวม

2.5 ฟิลเตอร์ (Filter) [12]

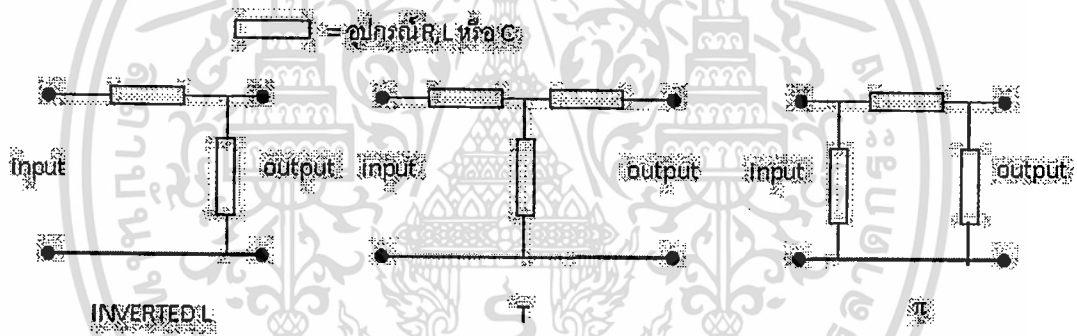
วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่สามารถทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออก อาจจะเป็น เฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งหรือช่วงกว้าง ๆ ก็ได้ การใช้งานวงจรกรองความถี่สามารถใช้กรองสัญญาณรบกวน ซึ่งวงจรจะประกอบขึ้นด้วยตัวต้านทาน (resistor), ตัวเหนี่ยวนำ (inductors) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ (capacitors) โดยเอาคุณสมบัติประจำตัวของอุปกรณ์แต่ละชนิด คือ ตัวเหนี่ยวนำจะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านได้ง่าย ความถี่สูงผ่านยาก ส่วนตัวเก็บประจุความถี่ต่ำผ่านยาก ความถี่สูงผ่านง่าย ส่วนตัวต้านทานจะต้านทานทุกความถี่ให้มีระดับสัญญาณลดลง ซึ่งวงจรกรองความถี่เมื่อแบ่งตามอุปกรณ์ที่สร้างจะแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบ พาสซีฟ(Passive Filter)
2. วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบแอคทีฟ (Active Filter)

ในที่นี้จะกล่าวถึงวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบพาสซีฟ (Passive Filter) คำว่าพาสซีฟ นั้นหมายถึงวงจรฟิลเตอร์ที่ ไม่มีการขยาย (Unpowered Components (R,L,C)) มีแต่การลดทอนสัญญาณลง การลดทอนนี้จะเรียกว่า ค่าการสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก (Insertion Loss) ส่วนวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟนั้นจะมีวงจรขยายสัญญาณอยู่ใน จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น ในวงจรเครื่องขยายเสียง ซึ่งมักจะใช้กันที่ความถี่ต่ำ ๆ โดยจะใช้ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำการขยายสัญญาณ เช่น ออปแอมป์ ฟิลเตอร์ชนิดต่างๆ จะมีรูปแบบการต่อวงจรที่ค่อนข้างจะแน่นอน และแบ่งแยกได้เป็น 3 แบบ หลักๆคือ แบบ L (หรืออาจเป็นแบบ Inverted L) แบบ T และแบบ π (อ่านว่า pi) ซึ่งแต่ละแบบเหล่านี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.6

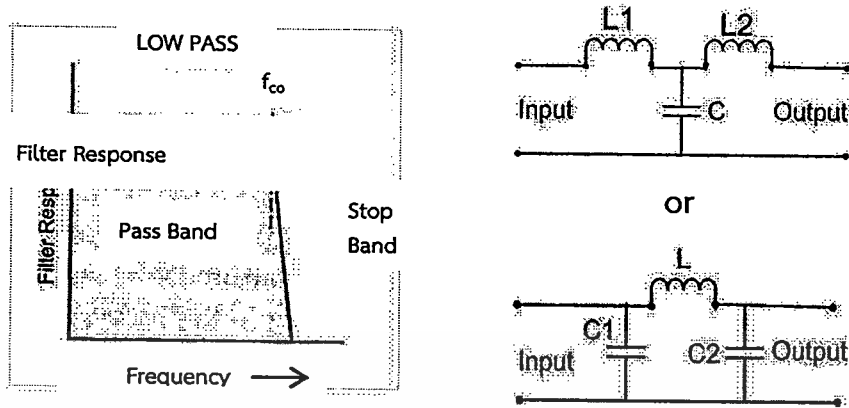


ภาพที่ 2.6 แสดงรูปแบบการต่อวงจรฟิลเตอร์

วงจรฟิลเตอร์พื้นฐานนั้นสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 4 แบบ ตามลักษณะของการตอบสนองต่อความถี่ ดังนี้

1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter ,LPF)

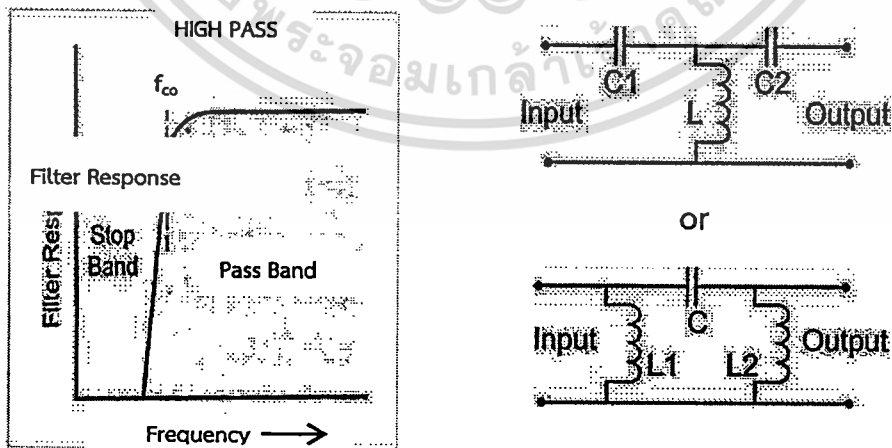
เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านไปได้ดี และทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่สูงออกไป วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมีลักษณะการต่อคือ ใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L) อนุกรมกับวงจร และตัวเก็บประจุ (C) ขนานกับวงจร คุณสมบัติของวงจรก็คือ เมื่อเราป้อนความถี่ต่ำเข้ามาในวงจร ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำต่ำและตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานตัวเก็บประจุสูง ทำให้ความถี่ต่ำผ่านตัวเหนี่ยวนำได้สะดวก ระดับสัญญาณขาออกจึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนดค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำจะมากขึ้นและค่าความต้านทานตัวเก็บประจุจะลดลง ทำให้ความถี่ผ่านลดลงได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูกตัวเก็บประจุดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณขาออกจึงผ่านได้น้อยมาก



ภาพที่ 2.7 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High-Pass Filter ,HPF)

เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่สูงผ่านไปได้ดี และทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ต่ำออกไป วงจรนี้จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่ากำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าจะโดนจับลงกราวด์ จากรูปจะเห็นว่าตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับวงจร ส่วนตัวเหนี่ยวนำต่อขนานกับวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำเข้ามา ตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานตัวเก็บประจุสูงทำให้สัญญาณผ่านไปได้้น้อย ส่วนตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำต่ำ ทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจากตัวเก็บประจุลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้นตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานตัวเก็บประจุลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น ส่วนตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำมากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลง สัญญาณที่ออกไปยังด้านออกก็มากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7 % ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เรียกว่า ช่วงจุดตัดความถี่ เมื่อความถี่สูงกว่าความถี่นี้ตัวเก็บประจุยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกและค่าความต้านทานตัวเหนี่ยวนำจะต้านสัญญาณไม่ให้ลงกราวด์ ความถี่จึงผ่านไปทางขาออกได้ทั้งหมด



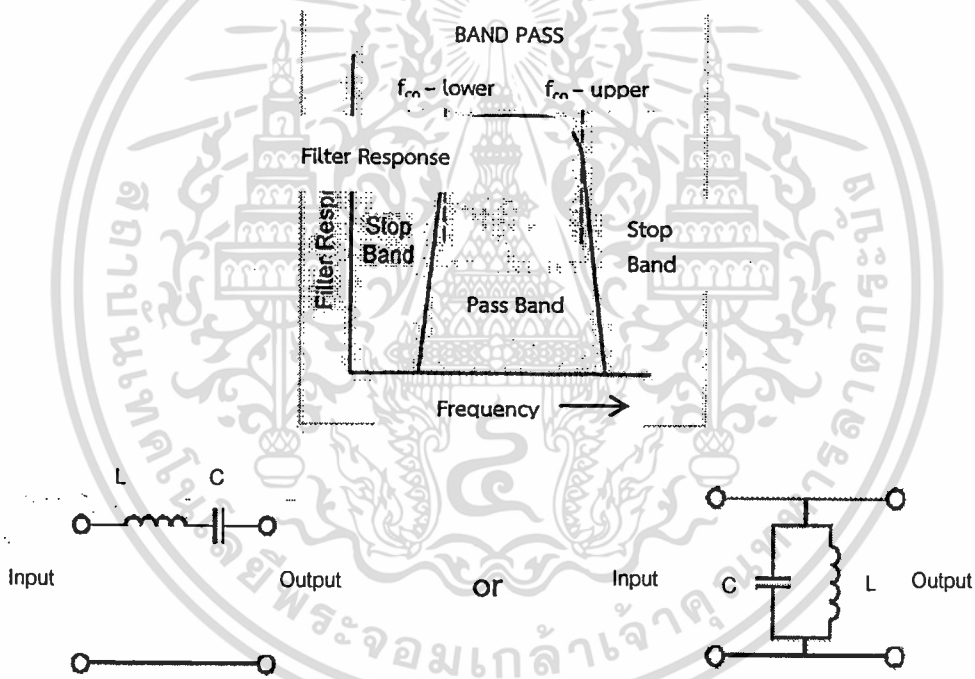
ภาพที่ 2.8 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-Pass Filter ,BPF)

เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่บางช่วงผ่านไปได้ และทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าออกไป วงจรกรองความถี่แบบแถบความถี่ผ่านจะยอมให้ความถี่เฉพาะช่วงที่กำหนดให้ผ่านได้ ความถี่ที่นอกเหนือจากช่วงที่กำหนดจะโดนตัดลงกราวด์ ซึ่งเราสามารถสร้างวงจรกรองแถบความถี่ผ่านได้โดยการใช้วงจรเรโซแนนซ์ เป็นต้น

- ในรูปวงจрд้านซ้ายเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้สัญญาณผ่านไปได้ง่าย แต่สำหรับความถี่อื่น ๆ ทั้งที่สูงกว่าและที่ต่ำกว่าจะไหลผ่านได้ยาก
- ในรูปวงจрд้านขวาเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ต่อสัญญาณลงกราวด์ คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ความถี่อื่น ๆ จะถูกดึงลงกราวด์ (เพราะมีความต้านทานต่ำ) ส่วนความถี่เรโซแนนซ์จะผ่านไปได้ (ไม่ถูกดึงลงกราวด์ เพราะความต้านทานสูง)



ภาพที่ 2.9 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน

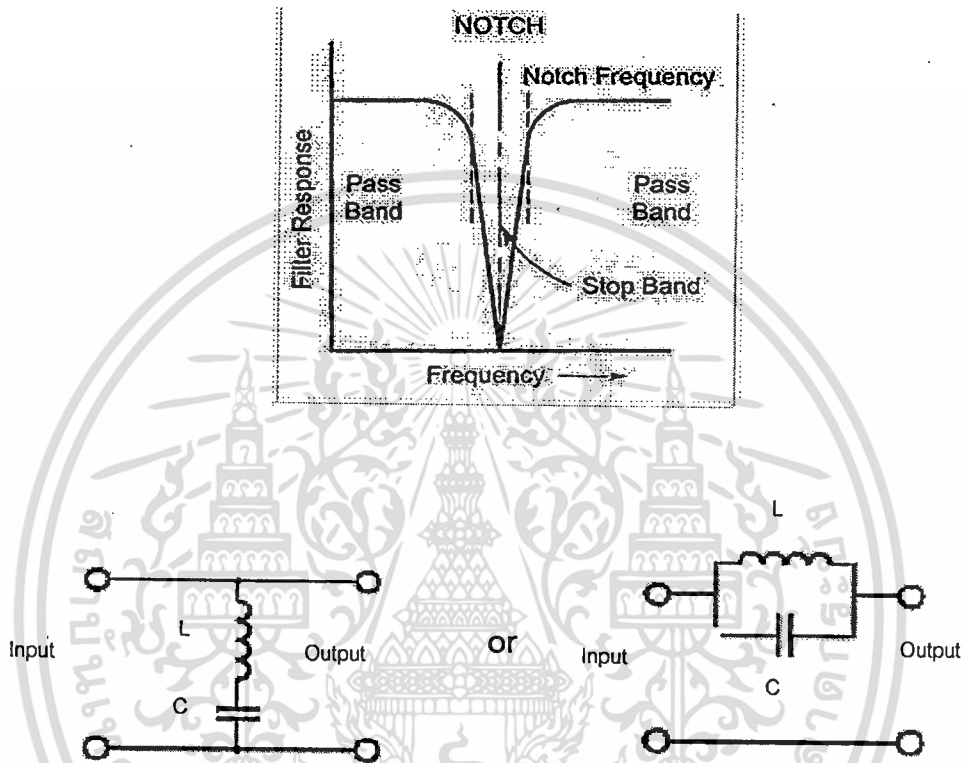
4. วงจรก้ำจัดแถบความถี่ (Band-Reject Filter ,BRF)

เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าผ่านออกไปได้ วงจรกรองความถี่แบบก้ำจัดความถี่จะยอมให้ความถี่อื่น ๆ ผ่านไปได้สะดวก แต่สำหรับความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่ที่จะก้ำจัด) จะโดนดึงลงกราวด์

- ในรูปวงจрд้านซ้ายเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมต่อลงกราวด์ คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้สัญญาณผ่านลงกราวด์ได้ง่ายจึงไม่มีสัญญาณ

ออกทางขาออก แต่สำหรับความถี่อื่น ๆ ทั้งที่สูงกว่าและที่ต่ำกว่าวงจรจะมีความต้านทานสูง สัญญาณจะไม่ถูกดึงลงกราวด์ สามารถผ่านวงจรนี้ไปได้

- ในรูปวงจรด้านขวาเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน แต่มาต่ออนุกรมกับวงจร คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ สัญญาณจึงไม่สามารถผ่านไปได้ แต่พอความถี่อื่น ๆ จะมีความต้านทานต่ำสัญญาณสามารถผ่านไปได้



ภาพที่ 2.10 รูปแบบการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกำจัดแถบความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองและทดสอบฮาร์โมนิกส์

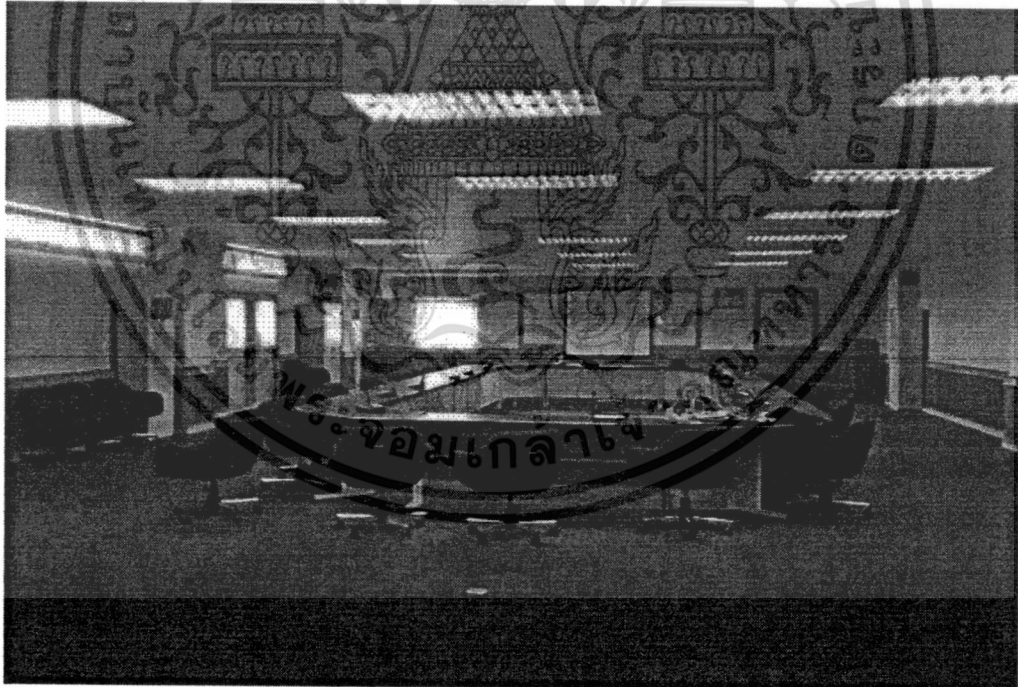
ในบทนี้จะทำการอธิบายถึงการออกแบบการทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. การจำลองด้วยโปรแกรม DIALux ในกรณีศึกษาต่าง ๆ
2. การศึกษาทางด้านพลังงานไฟฟ้าและแสงสว่างโดยใช้ตู้ทดสอบ
3. การทดสอบฮาร์โมนิกในบัลลาสต์และชุดขับชนิดต่าง ๆ โดยใช้แผงทดสอบ

3.1 การจำลองด้วยโปรแกรม DIALux

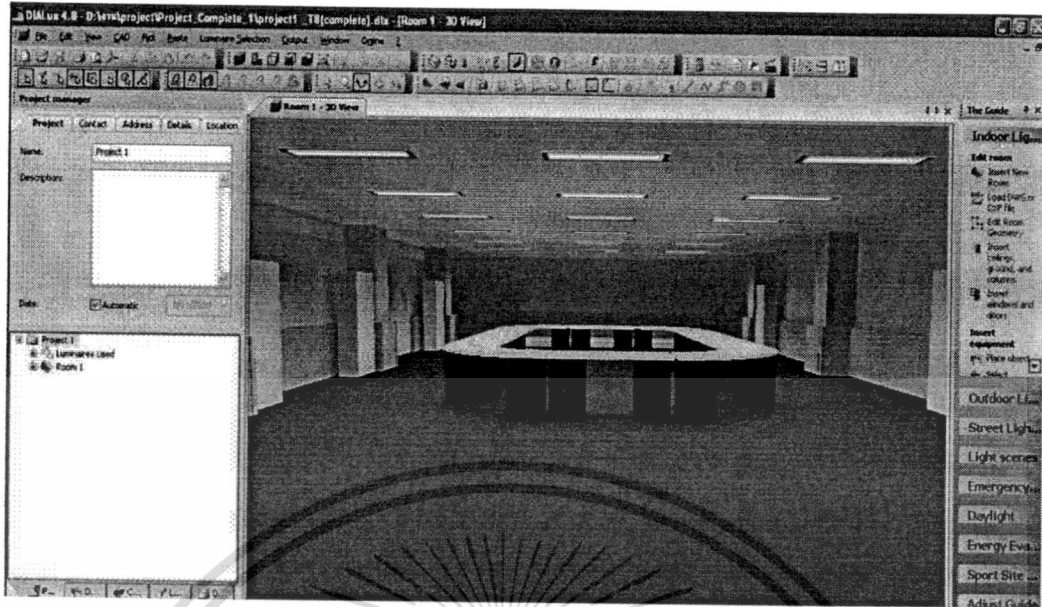
3.1.1 กรณีศึกษาห้องตัวอย่าง

ได้ทำการจำลองห้อง ECC-301 ตึก ECC คณะวิศวกรรมศาสตร์ ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งมีพื้นที่ห้องประมาณ 230 ตร.ม. พื้นที่ใช้งานสูง 85 ซม. มีโคมฟลูออเรสเซนต์ชนิด 2x36 วัตต์ จำนวน 21 โคม ซึ่งจะได้ห้องที่จำลองโดยใช้โปรแกรม DIALux ดังภาพที่ 3.2 จากนั้นทำการหาค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและหาค่าประสิทธิภาพ วัตต์ต่อตารางเมตร เพื่อศึกษาค่าทางด้านแสงสว่างและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า



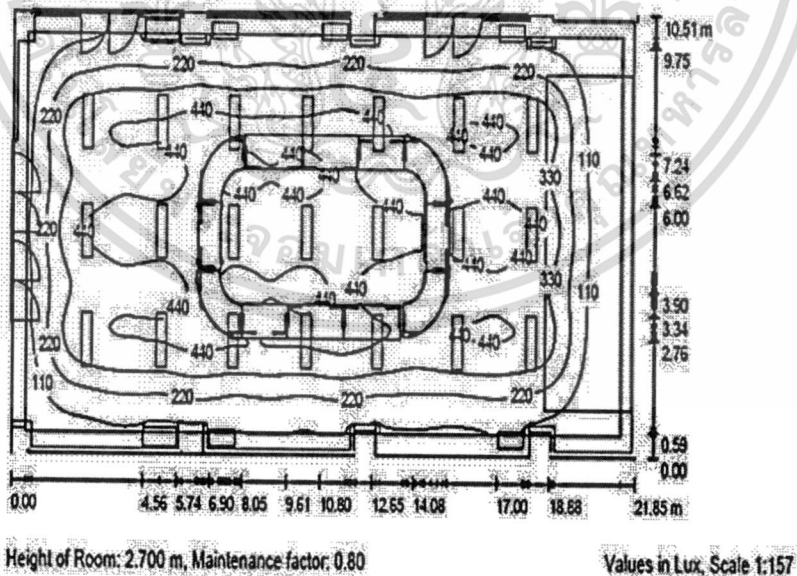
ภาพที่ 3.1 ห้อง ECC-301 ตึก ECC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



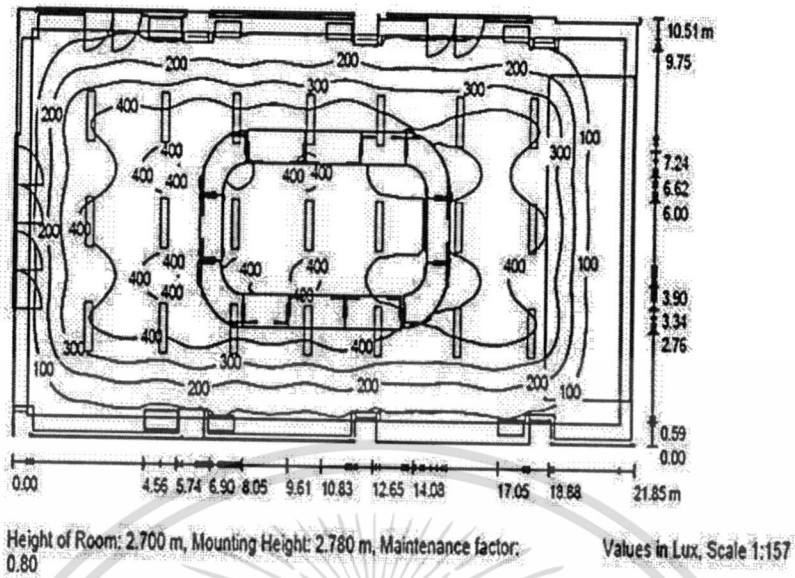
ภาพที่ 3.2 ห้อง ECC-301 ที่จำลองโดยใช้โปรแกรม DIALux

จากการจำลองได้ทำการคำนวณค่าต่างๆภายในห้องตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม DIALux เพื่อศึกษาผลและเปรียบเทียบผลการติดตั้งของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 และการติดตั้งของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ภายในห้องตัวอย่างคือห้อง ECC-301 ห้องประชุมสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า อาคาร ECC สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้ผลจากการจำลองดังต่อไปนี้



(ก) ติดตั้งด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8

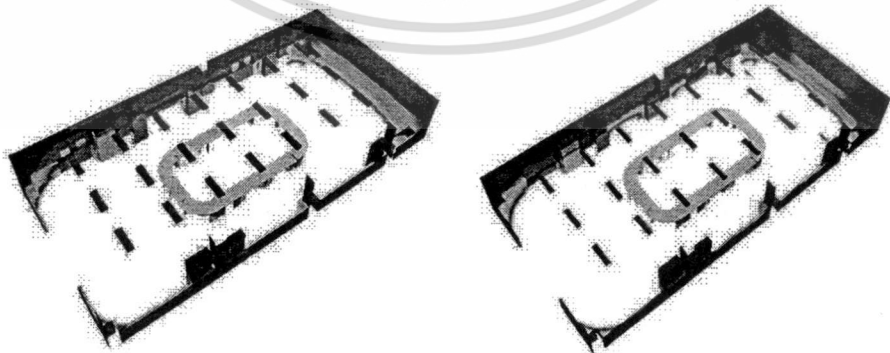
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ติดตั้งด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

ภาพที่ 3.3 การกระจายแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่าง

จากภาพที่ 3.3 แสดงการกระจายแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่าง พบว่าความเข้มแสงของการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 จะมีค่ามากกว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ณ ตำแหน่งต่างๆภายในห้องตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 มีความสว่างในพื้นที่ใช้งานที่สว่างกว่าเมื่อเทียบกับการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 เพราะเส้นค่าความเข้มแสงของการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 มีค่ามากกว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ซึ่งเส้นค่าความเข้มแสงนี้มาจากการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์หลาย ๆ ดวง พร้อมกัน โดยที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 มีความส่องสว่างต่อหลอดมากกว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 เมื่อติดตั้งหลาย ๆ ดวง โคม พร้อมกับค่าความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 จะมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5



(ก) ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 (ข) ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

ภาพที่ 3.4 สเปกตรัมของแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.4 รูปแสดงสเปกตรัมของการกระจายแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่างนั้น จะพบว่าลักษณะการกระจายแสงในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 และชนิด T5 นั้นมีการกระจายที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

จากนั้นได้ทำการหาค่าของความเข้มแสงในพื้นที่ห้องในส่วนต่างแล้วนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างการติดตั้งทั้งสองกรณีจะได้ผลออกมาดังแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบข้อมูลรายละเอียดต่างๆในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดภายในห้องตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม DIALux

ชนิดดวงโคม	ประเภทพื้นผิว	สัมประสิทธิ์การสะท้อน [%]	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย [lux]	ค่าความเข้มแสงต่ำสุด [lux]	ค่าความเข้มแสงสูงสุด [lux]	ค่าความสม่ำเสมอของแสง
2x36 W	พื้นที่ใช้งาน	/	316	23	527	0.072
	พื้นที่ห้อง	13	257	6.73	477	/
	เพดาน	47	56	21	102	0.376
	กำแพง	71	30	5.31	103	/
2x28 W	พื้นที่ใช้งาน	/	299	17	493	0.058
	พื้นที่ห้อง	13	245	5.47	465	/
	เพดาน	47	51	18	95	0.348
	กำแพง	71	22	4.72	88	/

ชนิดหลอดไฟ	จำนวนดวงโคม	ประเภทดวงโคม	จำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง [Lumen]	ค่ากำลังไฟฟ้าจริง [W]
T8	21	โคมไฟชนิดฝังฝ้าฟิลิปส์ ชนิด 2x36 วัตต์ สำหรับหลอด T8(1.000)	6,500	88.2
		รวม	136,500	1,852.2
T5	21	โคมไฟชนิดฝังฝ้าฟิลิปส์ ชนิด 2x28 วัตต์ สำหรับหลอด T5(1.000)	4,800	64.0
		รวม	100,800	1,344.0

ชนิดดวงโคม	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า
2x36 W	$8.07 \text{ W/m}^2 = 2.55 \text{ W/m}^2/100 \text{ lux}$ (Ground area : 229.64 m^2)
2x28 W	$5.85 \text{ W/m}^2 = 1.96 \text{ W/m}^2/100 \text{ lux}$ (Ground area : 229.64 m^2)

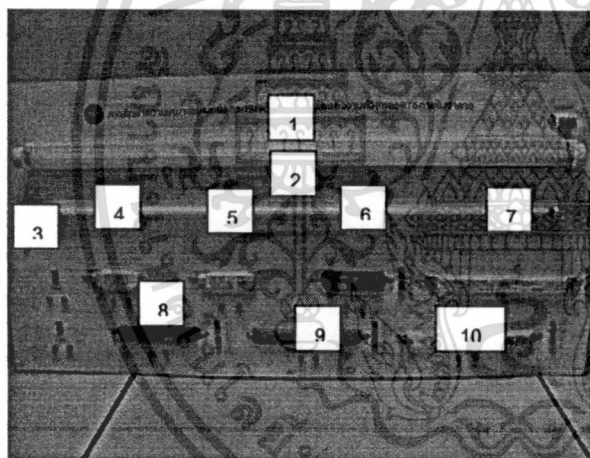
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 จะพบได้ว่า ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ณ พื้นที่ใช้งานภายในห้องตัวอย่างของการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 จะมีค่ามากกว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 อยู่ 17 ลักซ์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ประมาณ 5.38เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8ภายในห้องตัวอย่างนั้น จะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าการติดตั้งด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 อยู่ 2.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ประมาณ 27.51 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ภายในห้องตัวอย่างจะมีความเข้มแสงมากกว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ประมาณ 5.38 เปอร์เซ็นต์ แต่ใช้พลังงานมากกว่าประมาณ 27.51 เปอร์เซ็นต์

3.2 การทดสอบฮาร์มอนิกในบัลลาสต์ชนิดต่างๆ โดยใช้แอมป์ทดสอบ

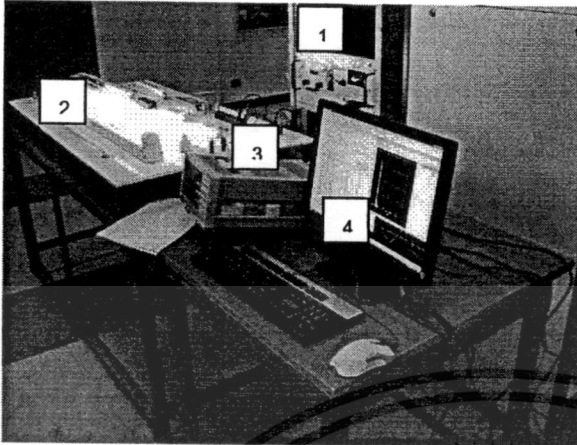
เนื่องจากการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์จริงนั้น จะมีผลของฮาร์มอนิกเนื่องจากบัลลาสต์ในการวิจัยนี้จึงต้องทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของฮาร์มอนิก ในการต่อบัลลาสต์กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ในแต่ละกรณี จากการออกแบบชุดทดสอบฮาร์มอนิกในบัลลาสต์ชนิดต่างๆได้ ออกแบบแอมป์ทดสอบได้ดังภาพที่ 3.5



1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ขนาด36 วัตต์
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์
3. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไซน์ กับ ขั้วนิวตรอน
4. บัลลาสต์แกนเหล็ก
5. บัลลาสต์แกนเหล็กชนิด ประสิทธิภาพสูง
6. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 36 วัตต์(ยี่ห้อ P)
7. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 36 วัตต์(ยี่ห้อ O)
8. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 28 วัตต์(ยี่ห้อ P)
9. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 28 วัตต์(ยี่ห้อ B)
10. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 28 วัตต์(ยี่ห้อ E)

ภาพที่ 3.5 ชุดแอมป์ทดสอบฮาร์มอนิก

จากการออกแบบชุดแอมป์ทดสอบฮาร์มอนิก ได้นำชุดแอมป์ทดสอบนี้ไปทดสอบที่ศูนย์ทดสอบ PTEC โดยมีอุปกรณ์ที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนของแหล่งจ่ายและอุปกรณ์การประมวลผล ดังภาพที่ 3.6



1. เครื่องลดสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย
2. ชุดแผงทดสอบฮาร์มอนิก
3. สโคปวัดค่าความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิก
4. คอมพิวเตอร์แสดงผลการวัด

ภาพที่ 3.6 การวัดค่าฮาร์มอนิกที่ศูนย์ทดสอบ PTEC

จากการทดสอบที่ศูนย์ทดสอบ PTEC ได้ทำการทดสอบใน 2 กรณีที่ศึกษา คือการศึกษาผลกระทบของฮาร์มอนิกของการต่อบัลลาสต์เพียงชนิดเดียว และผลกระทบของฮาร์มอนิกของการต่อบัลลาสต์ร่วมกัน

3.2.1 การทดสอบฮาร์มอนิกในกรณีที่เปิดใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์เพียงชนิดเดียว

ในหัวข้อนี้ได้ทำการวัดค่าฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัท B ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B

ข้อมูลที่วัดค่า	4 หลอด	10 หลอด
Power (kW)	0.09 kW	0.24 kW
Frequency(Hz)	50	50
PF	0.95	0.95
%THD _v	0.6	0.6
V _{rms} (V)	227.5	225.7
%THD _i	23.7	27.2
I _{rms} (A)	0.41	1.07

จากตารางที่ 3.2 จะพบว่า เมื่อใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวนมากขึ้นก็จะส่งผลให้มีกำลังการสูญเสียไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกส์ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกส์นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด

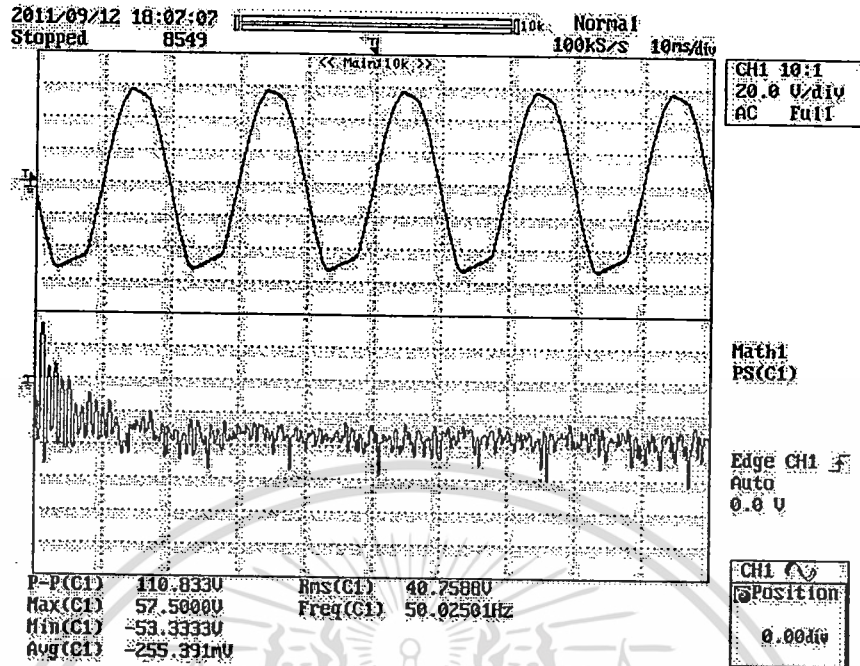
ลำดับฮาร์มอนิกส์	V_{rms}	%THD _v	I_{rms}	%THD _i
DC	0.2	0.1	0	0
1	227.5	100	0.4	100
2	0.1	0	0	0.6
3	0.3	0.1	0.08	18.9
4	0.1	0	0	0.6
5	0.1	0.1	0.02	6.1
6	0.1	0	0	0.6
7	1.2	0.5	0.04	8.3
8	0.1	0.1	0	0.6
9	0.2	0.1	0.01	1.7
10	0.1	0	0	0.6
11	0.4	0.2	0.03	6.7
12	0.1	0	0	0.6
13	0.1	0	0.01	3.3
14	0.1	0	0	0.6
15	0.1	0	0.01	2.2
16	0.1	0	0	0.6
17	0.1	0	0.01	2.8
18	0.1	0	0	0.6
19	0.1	0	0.01	1.1
20	0.1	0	0	0.6
21	0.1	0	0	0.6

จากตารางที่ 3.3 จะพบว่าค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกส์ในแต่ละลำดับนั้นมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่ในส่วนค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกส์ลำดับคู่จะมีค่าสูงขึ้น

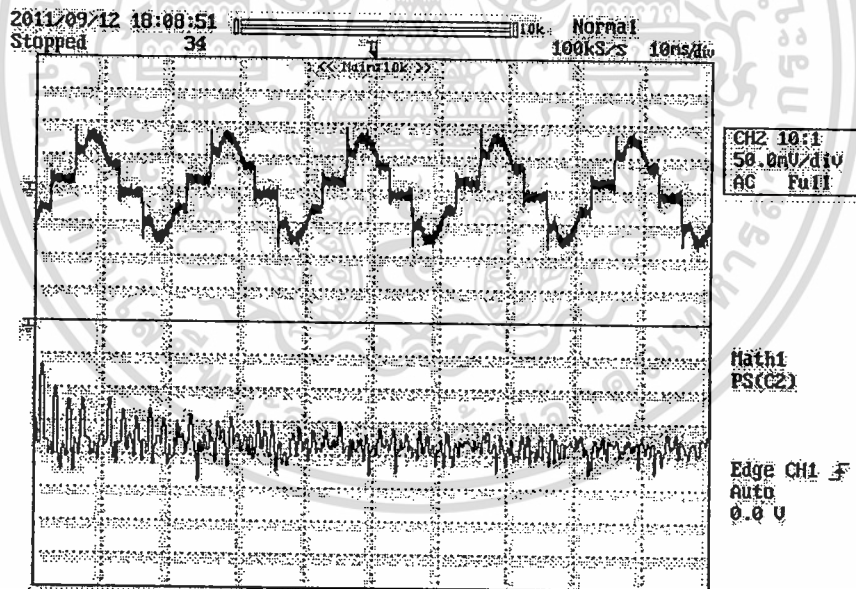
ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 10 หลอด

ลำดับฮาร์มอนิกส์	V_{rms}	%THD _v	I_{rms}	%THD _i
DC	0.2	0.1	0.01	0.9
1	225.6	100	1.03	100
2	0.1	0	0	0.2
3	0.4	0.2	0.21	20.3
4	0.1	0	0	0.2
5	0.2	0.1	0.08	8
6	0.1	0	0	0.2
7	1.1	0.5	0.11	10
8	0.1	0	0	0.2
9	0.2	0.1	0	0.2
10	0.1	0	0	0.2
11	0.4	0.2	0.09	9.1
12	0.1	0	0	0.2
13	0.1	0	0.04	4.1
14	0.1	0	0	0.2
15	0.1	0	0.02	2.4
16	0.1	0	0.01	0.9
17	0.1	0	0.04	4.3
18	0.1	0	0	0.2
19	0.1	0	0.02	1.7
20	0.1	0	0	0.2
21	0.1	0	0.01	1.3

จากตารางที่ 3.4 จะพบว่าค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกส์ในแต่ละลำดับนั้นมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่ในส่วนค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกส์ลำดับคี่จะมีค่าสูงขึ้น

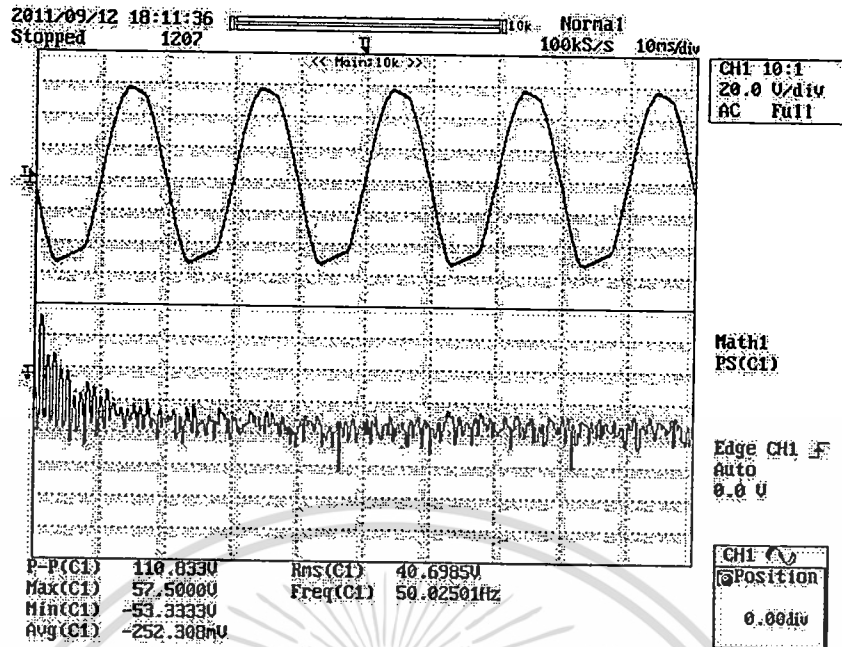


ภาพที่ 3.7 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด

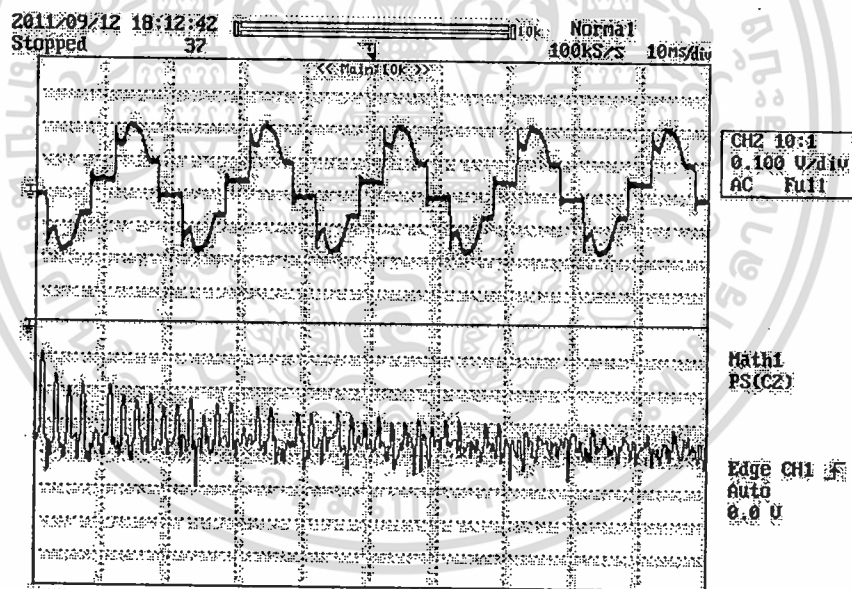


ภาพที่ 3.8 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



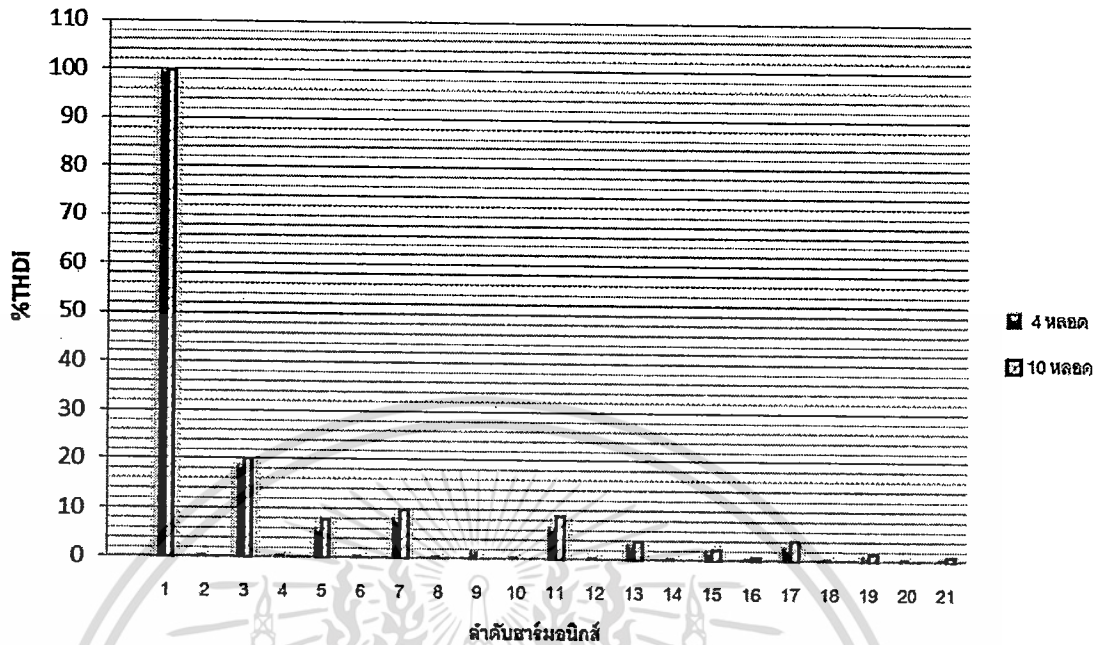
ภาพที่ 3.9 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 10 หลอด



ภาพที่ 3.10 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 10 หลอด

จากภาพที่ 3.7 และ ภาพที่ 3.10 พบว่าการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B พบว่ารูปคลื่นของกระแสมีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์เป็นอย่างมาก จึงทำให้ทราบได้ว่าการใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์มากกว่าการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กซึ่งเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์จ่ายพิกัดอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 และ 10 หลอด

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า บัลลาสต์ที่ไม่มีมาตรฐานใดๆ รองรับติดไว้ที่ฉลากนั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ในปริมาณมาก ส่วนบัลลาสต์ที่ได้รับรองมาตรฐานต่างๆ นั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ในปริมาณน้อย ในขณะที่เดียวกันผลกระทบด้านฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเลือกใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานที่ในการติดตั้งใช้งานว่าสามารถยอมรับฮาร์มอนิกส์ได้มากน้อยเพียงใดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่าง เช่น ในโรงพยาบาล จะมีอุปกรณ์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมาก ดังนั้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลือกใช้ควรมีมาตรฐานรองรับด้วย เป็นต้น

3.2.2 การทดสอบฮาร์มอนิกในกรณีที่เปิดใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงเพียงชนิดเดียว

ในหัวข้อนี้ได้ทำการวัดค่าฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ของยี่ห้อ A ดังนี้

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงข้อมูลเบื้องต้น ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับ ชุดขับหลอดยี่ห้อ A

ข้อมูลทางไฟฟ้าที่วัด	1 หลอด	9 หลอด
Power (W)	4.4	42.5
Frequency (Hz)	50	50
PF	0.42	0.47
%THD _v	1.7	2.5
V _{rms} (V)	226.5	226.1
%THD _i	141.4	174.6
I _{rms} (A)	0.046	0.40

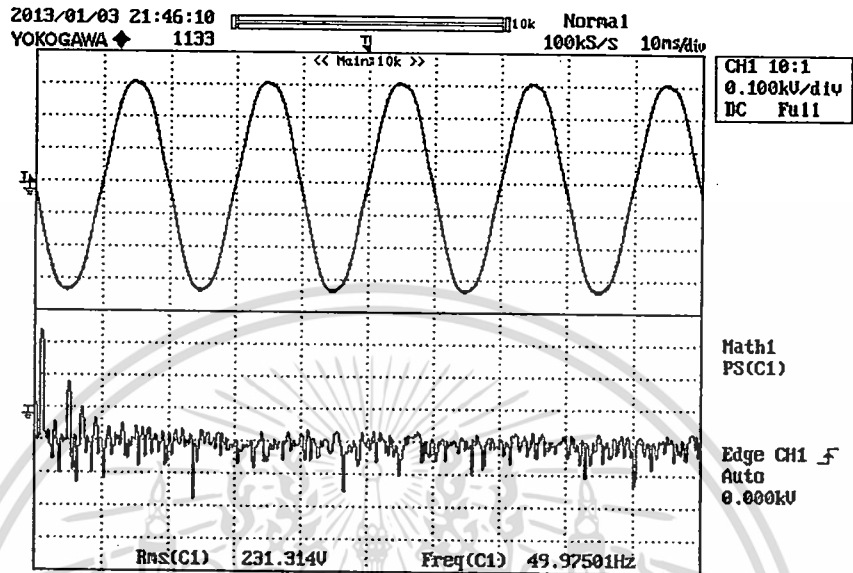
จากตารางที่ 3.5 จะพบว่า เมื่อใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ร่วมกับชุดขับหลอด ไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวนมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีกำลังการสูญเสียไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนค่าความผิดเพี้ยนของ แรงดันฮาร์มอนิกนั้นมีความใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.6 ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับ ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (1ชุดขับ 1หลอด)

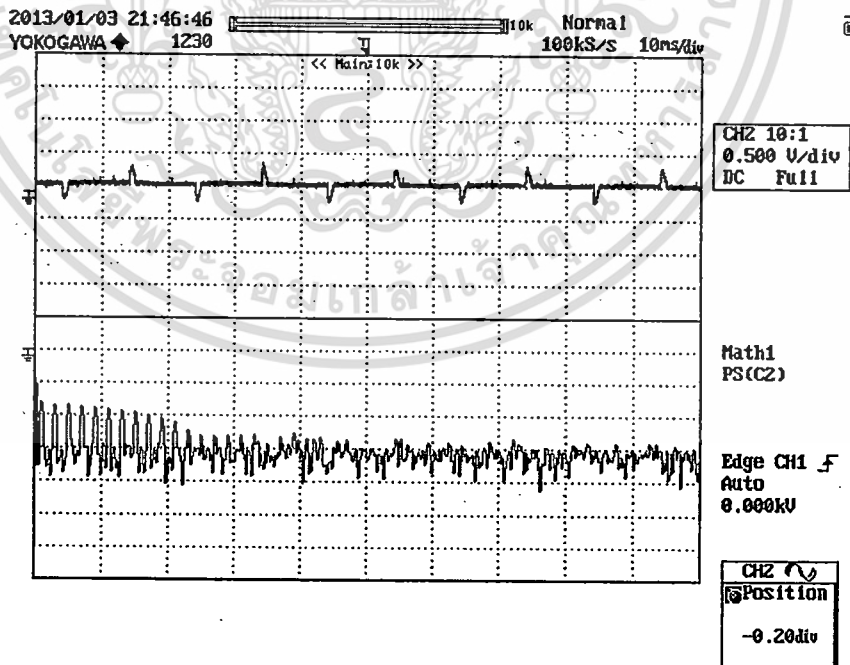
ลำดับฮาร์มอนิกส์	V _{rms}	%THD _v	I _{rms}	%THD _i
DC	0.2	0.1	0.01	40.3
1	225.7	100	0.01	100
2	0.1	0	0	14.3
3	0.1	0	0.01	71.4
4	0.1	0	0	14.3
5	3.1	1.4	0.01	28.6
6	0.1	0	0	14.3
7	2.1	1	0.01	28.6
8	0.1	0	0.01	28.6
9	0.1	0	0.01	57.1
10	0.1	0	0	14.3
11	0.3	0.1	0	14.3
12	0.1	0	0	14.3
13	0.1	0	0	14.3
14	0.1	0	0	14.3
15	0.1	0	0	14.3
16	0.1	0	0	14.3
17	0.1	0	0	14.3
18	0.1	0	0	14.3
19	0.1	0	0	14.3
20	0.1	0	0	14.3
21	0.1	0	0	14.3
22	0.1	0	0	14.3
23	0.1	0	0	14.3
24	0.1	0	0	14.3
25	0.1	0	0	14.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.6 จะเห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกสีนในแต่ละลำดับนั้นมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่ในส่วนค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกสีนนั้นจะมีความผิดเพี้ยนที่มากกว่า



ภาพที่ 3.12 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (1 ชุดขับ 1 หลอด)



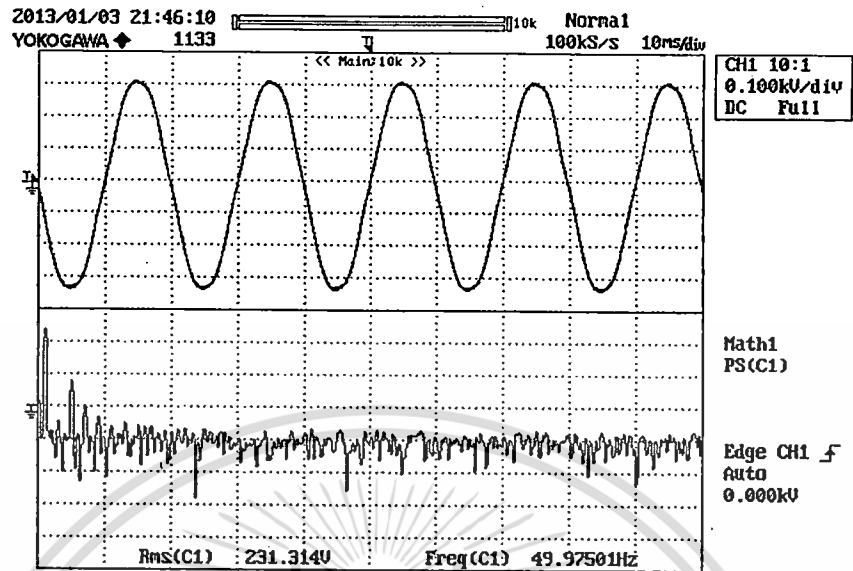
ภาพที่ 3.13 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (1 ชุดขับ 1 หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

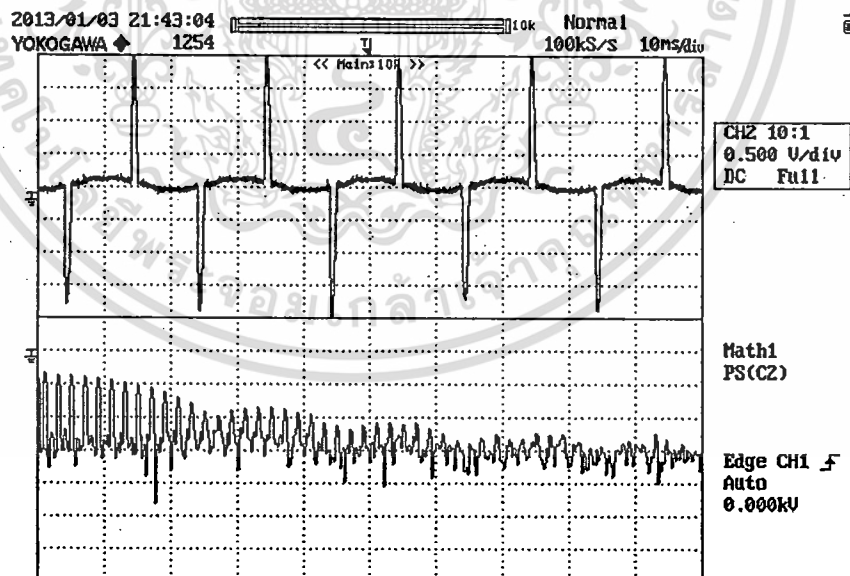
ตารางที่ 3.7 ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (9 ชุดขับ 9หลอด)

ลำดับฮาร์โมนิกส์	Vrms	%THDv	Irms	%THDi
DC	0	0	0.16	94.6
1	225.8	100	0.17	100
2	0.1	0	0	1.3
3	0.1	0.1	0.15	88.2
4	0.1	0	0	1.3
5	5.7	2.5	0.13	80.3
6	0.1	0	0	1.3
7	1	0.4	0.12	71.1
8	0.1	0	0	1.3
9	0.1	0	0.11	67.1
10	0.1	0	0	1.3
11	0.1	0	0.09	55.3
12	0.1	0	0	1.3
13	0.1	0	0.07	40.8
14	0.1	0	0	1.3
15	0.1	0	0.06	34.2
16	0.1	0	0	1.3
17	0.1	0	0.04	22.4
18	0.1	0	0	1.3
19	0.1	0	0.02	14.5
20	0.1	0	0	1.3
21	0.1	0	0.01	5.3
22	0.1	0	0	1.3
23	0.1	0	0	1.3
24	0.1	0	0	1.3
25	0.1	0	0	1.3

จากตารางที่ 3.7 จะเห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์โมนิกส์ในแต่ละลำดับนั้นมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่ในส่วนค่าความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์โมนิกส์นั้นจะมีความผิดเพี้ยนที่มากกว่า



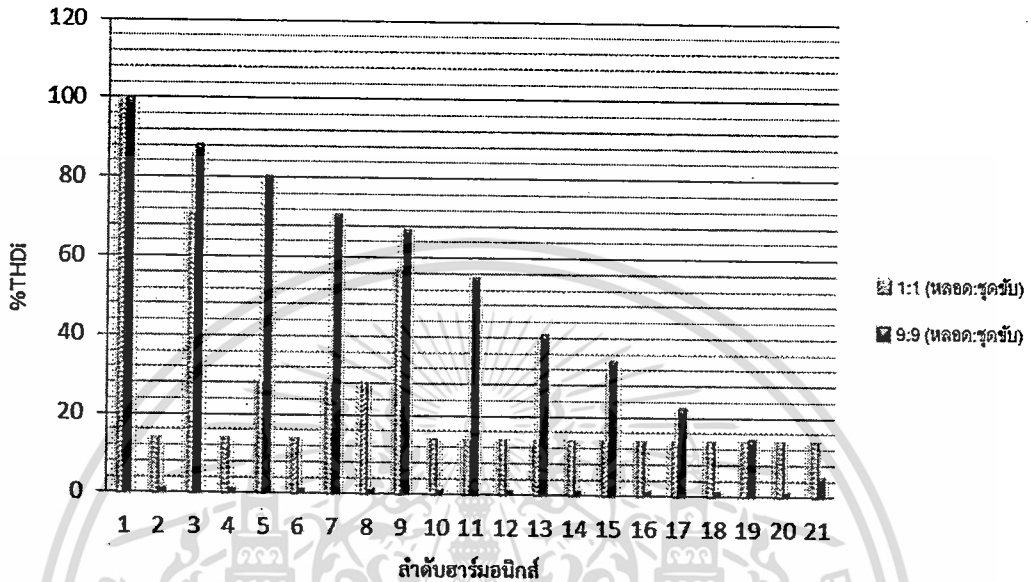
ภาพที่ 3.14 แรงดันและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (9 ชุดขับ 9หลอด)



ภาพที่ 3.15 กระแสและสเปกตรัมขาออกของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A (9 ชุดขับ 9หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.12 และ 3.15 เป็นการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ร่วมกับ ชุดขับหลอดยี่ห้อ A พบว่ารูปคลื่นของกระแสมีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์เป็นอย่างมาก จึงทำให้ทราบได้ว่าการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ร่วมกับ ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) นั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์มากซึ่งเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ภาพที่ 3.16 ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดยี่ห้อ A จำนวน 1 และ 9 ชุด

จากกราฟแสดงค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งในกรณีที่ใช้ชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) 1 ชุด เมื่อพิจารณาลำดับฮาร์มอนิกที่ 1 – 21 ภาพรวมของการเกิดฮาร์มอนิกส์ลำดับคี่ มีปริมาณที่น้อยกว่า กรณีที่ใช้ชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) 9 ชุด ในทางกลับกันภาพรวมของการเกิดฮาร์มอนิกส์ลำดับคู่ นั้น พบว่ากรณีที่ใช้ชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) 9 ชุด กระแสฮาร์มอนิกส์ไม่เกิดหรือเกิดน้อยมากเมื่อเทียบกับ กรณีที่ใช้ชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) 1 ชุด

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ไม่มีมาตรฐานใดๆ รองรับไว้ที่ตลาดนั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ในปริมาณมาก ส่วนชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ได้รับรองมาตรฐานต่างๆ นั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ในปริมาณน้อย ในขณะที่ผลกระทบด้านฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จะมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเลือกใช้งานชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานที่ในการติดตั้งใช้งานว่าสามารถยอมรับฮาร์มอนิกส์ได้มากน้อยเพียงใดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ในโรงพยาบาล จะมีอุปกรณ์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมาก ดังนั้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลือกใช้ควรมีมาตรฐานรองรับด้วย เป็นต้น แต่ในปัจจุบันราคาของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ได้มาตรฐานนั้นมีราคาค่อนข้างสูง อยู่ในช่วงประมาณ 1000 – 1500 บาท ส่วนชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ไม่มีมาตรฐานใด ๆ รองรับนั้นมีราคาเพียงประมาณ 300 - 500 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัยนี้จึงได้คิดออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนมากรองสัญญาณรบกวนที่เกิดจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ไม่ได้มาตรฐานหรือได้มาตรฐานแต่คุณภาพไม่ดีให้มีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับ ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่มีคุณภาพสูงแต่มีราคาแพงเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงให้เป็นที่แพร่หลายพร้อมกับพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้บริโภคโดยใช้วงจรกรองที่ออกแบบร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่มีราคาถูกและมีคุณภาพ รวมทั้งเพื่อรณรงค์ให้ประชาชนทั่วประเทศร่วมมือกันประหยัดพลังงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

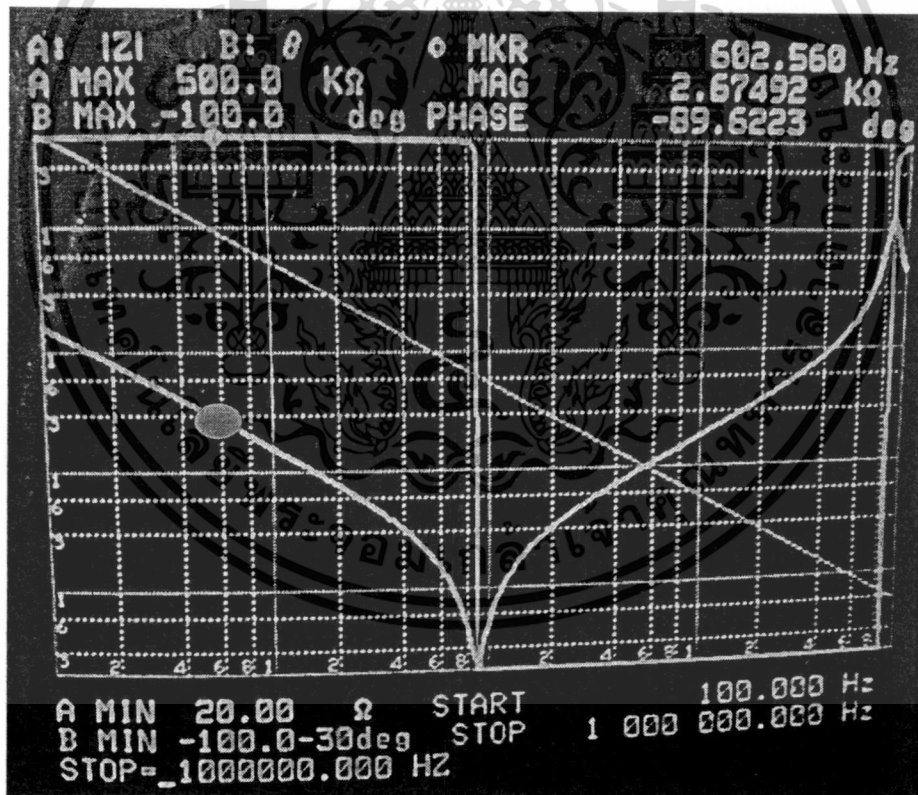
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของบัลลาสต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์

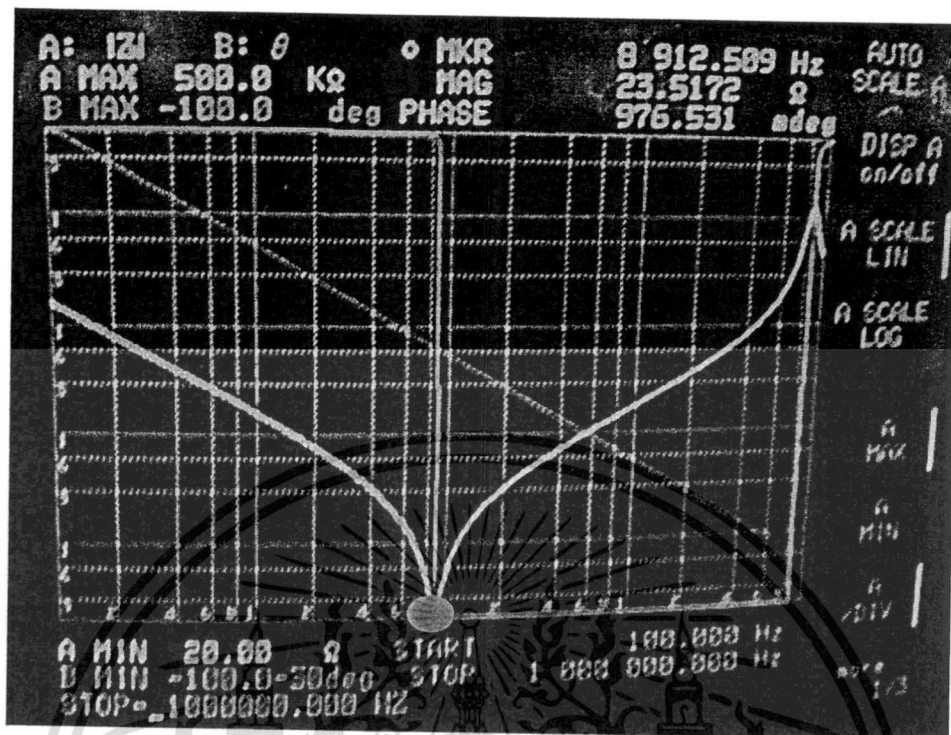
ในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น ในขั้นแรกผู้ทำการทดลองได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ (Impedance Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ (Impedance Analyzer) ใช้ในการวัดค่าอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน $Z(\omega) = Z'(\omega) + jZ''(\omega)$ ระหว่างพอร์ตของระบบไฟฟ้าภายใต้การทดสอบโดยที่ความถี่มีค่าเท่ากับ $\frac{\omega}{2\pi}$ ซึ่งสามารถแสดงผลในรูปของขนาดและมุมของอุปกรณ์ที่นิยามวัด นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลที่เกี่ยวข้องกับค่าองค์ประกอบแฝงของอุปกรณ์ ค่ารีแอคแตนซ์ และยังมีวงจรสมมูลทางไฟฟ้าอย่างง่าย ที่อาจจะสอดคล้องกับพฤติกรรมของบางอุปกรณ์ หรือบางชิ้นส่วนตลอดย่านความถี่ที่สนใจ



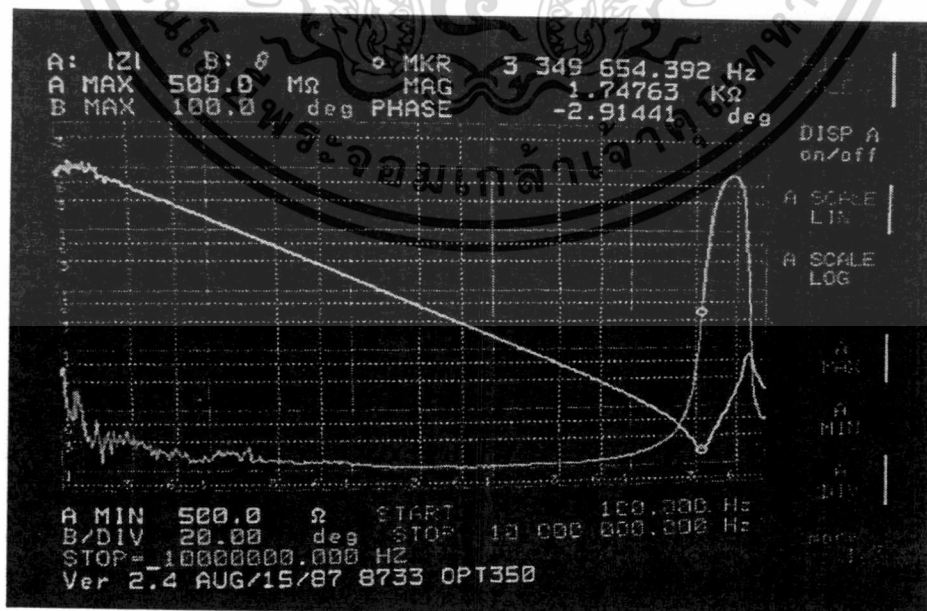
ภาพที่ 4.1 พฤติกรรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่ 602.560 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



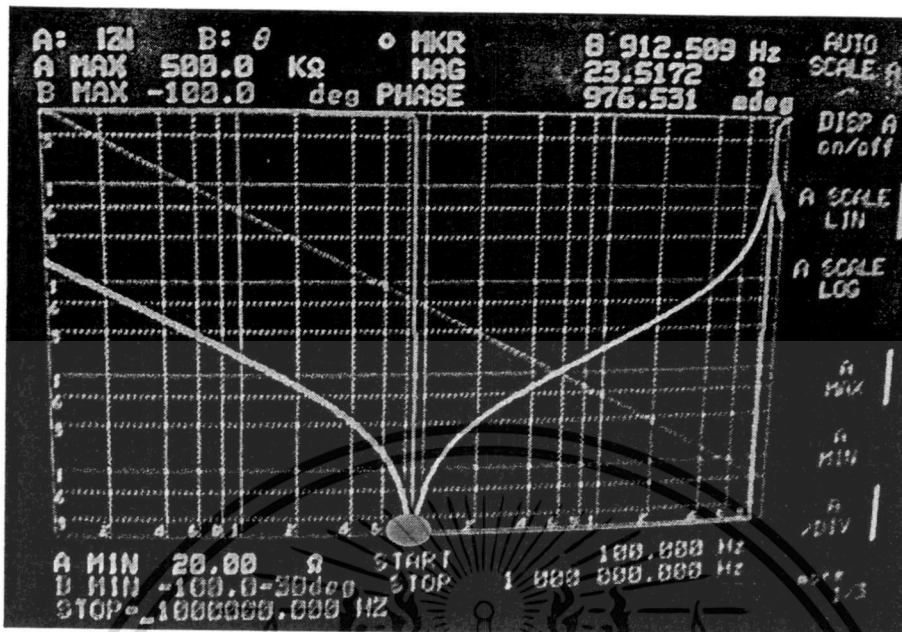
ภาพที่ 4.2 พฤติกรรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B ที่ความถี่ 8,912.509 เฮิร์ตซ์

จากภาพที่ 4.1 และ 4.2 เป็นการศึกษาพฤติกรรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ จะเห็นว่าที่ความถี่ 602.560 เฮิร์ตซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ภายในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B นั้นจะแสดงพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้มีค่า 2.67492 กิโลโห์ม



ภาพที่ 4.3 พฤติกรรมของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

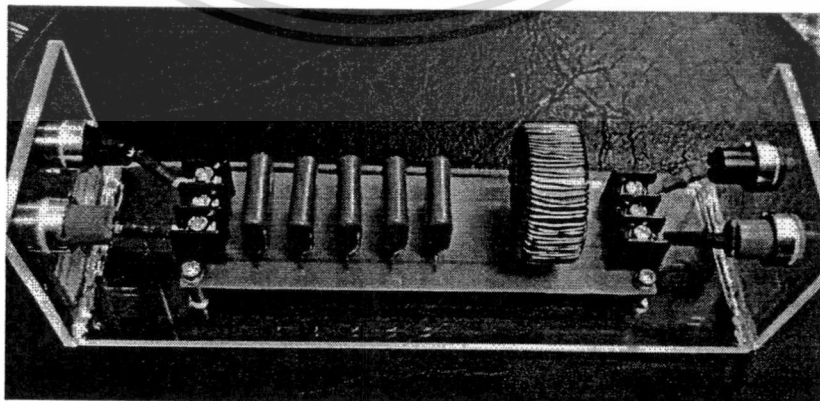


ภาพที่ 4.4 พฤติกรรมของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A ที่ความถี่ 3.350 เมกะเฮิร์ตซ์

จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 เป็นการศึกษาพฤติกรรมของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ จะเห็นว่าที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ภายในชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A นั้นจะแสดงพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้มีค่า 1.64339 เมกะโอห์ม

4.2 ผลการประยุกต์ใช้วงจรกรองตัวต้นแบบ

หลังจากที่ได้สร้างวงจรกรองตัวต้นแบบแล้วนั้น จากภาพที่ 4.5 วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้ในการทดลองได้ใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 38 มิลลิเฮนรี่ และตัวเก็บประจุขนาด 11 ไมโครฟารัด ได้นำมาทดสอบการใช้งานกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B ที่ใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ซึ่งค่าฮาร์โมนิกส์เกินค่ามาตรฐาน

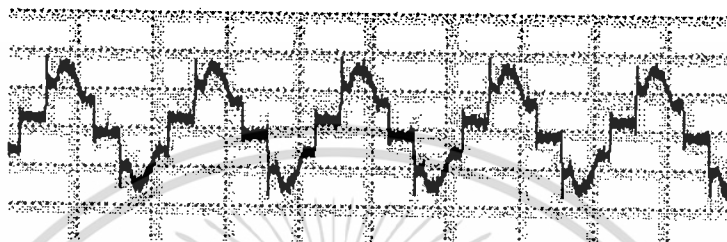


ภาพที่ 4.5 วงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

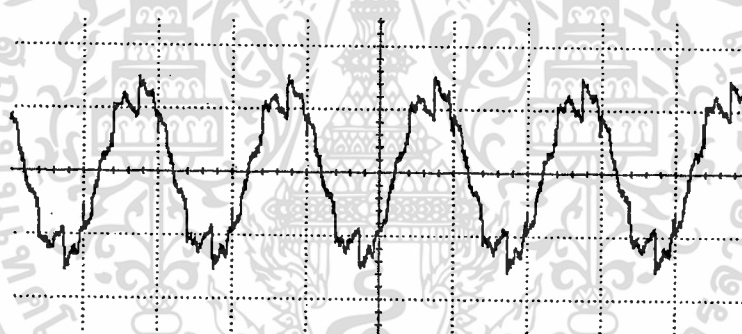
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบวงจรกรองตัวต้นแบบร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5

จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 จะพบว่าเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้วนั้น รูปคลื่นที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากขึ้น จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ที่วัดได้เมื่อนำวงจรกรองสัญญาณรบกวนตัวต้นแบบมาใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าลดลงกว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ยังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนคือ ลดลงจาก 23.7 เปอร์เซ็นต์ เป็น 11 เปอร์เซ็นต์ โดยค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ในแต่ละลำดับที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.6 กระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด ก่อนใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน



ภาพที่ 4.7 กระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด หลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 หลอด

ข้อมูลที่วัดค่า	หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 4 หลอด	
	ก่อนใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน	หลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน
Real Power (kW)	0.09	0.08
Frequency (Hz)	50	50
%THD _v	1.2	1.1
V _{rms} (V)	226.2	225.8
%THD _i	23.7	11
I _{rms} (A)	0.41	0.83

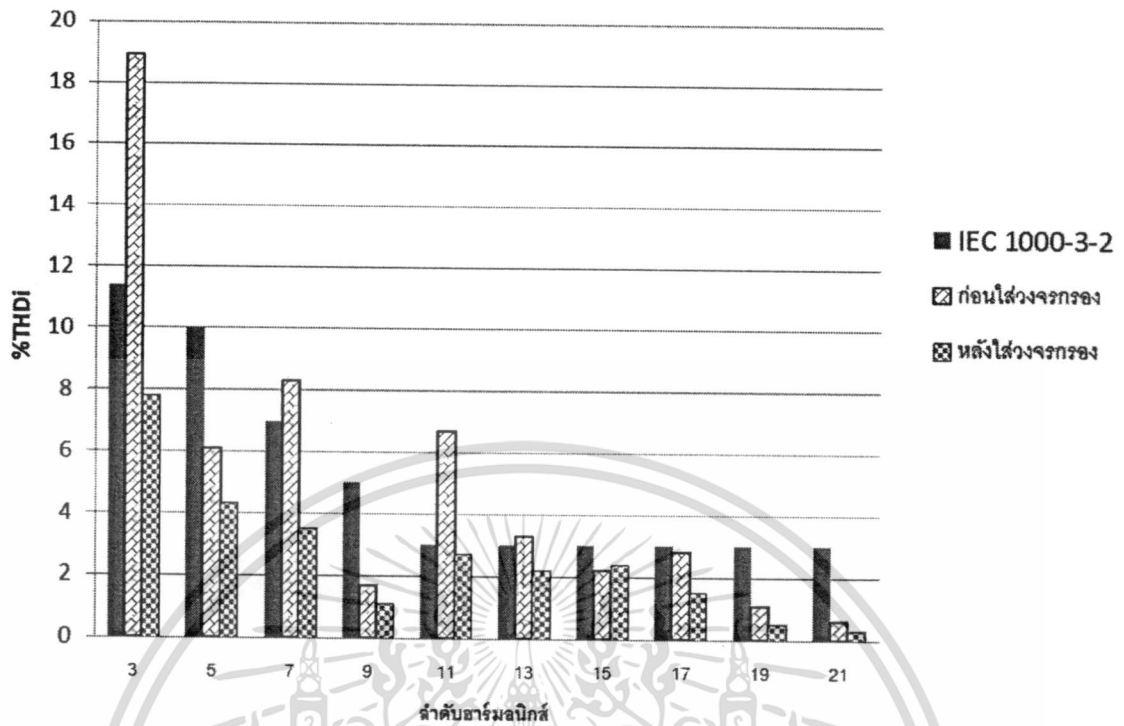
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของโหลดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ที่ใช้งานร่วมกับ
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ B จำนวน 4 โหลด

ลำดับฮาร์มอนิก	V_{rms}		%THD _v		I_{rms}		%THD _i	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
DC	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0.4
1	226.2	225.9	100	100	0.4	0.83	100	100
2	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
3	0.1	0.1	0	0	0.08	0.06	18.9	7.8
4	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
5	2.7	2.4	1.2	1.1	0.02	0.04	6.1	4.3
6	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
7	0.6	0.7	0.3	0.3	0.04	0.03	8.3	3.5
8	0.1	0.1	0	0	0	0.01	0.6	0.5
9	0.1	0.3	0	0.3	0.01	0.01	1.7	1.1
10	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
11	0.1	0.1	0	0	0.03	0.02	6.7	2.7
12	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
13	0.1	0.1	0	0	0.01	0.02	3.3	2.2
14	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
15	0.1	0.2	0.1	0.1	0.01	0.02	2.2	2.4
16	0.1	0.1	0	0	0	0.01	0.6	0.5
17	0.1	0.1	0	0	0.01	0.01	2.8	1.5
18	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
19	0.1	0.1	0	0	0.01	0.01	1.1	0.5
20	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3
21	0.1	0.1	0	0	0	0	0.6	0.3

จากนั้นนำค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้จากวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานร่วมกับวงจร
กรองสัญญาณรบกวนมาทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2) ซึ่ง
สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.8

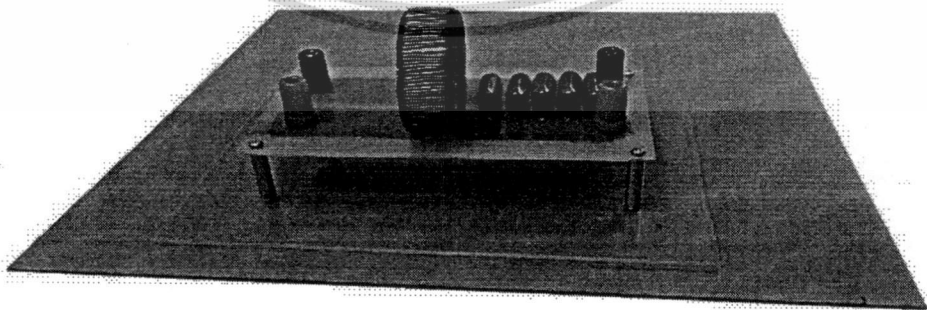
จากภาพที่ 4.8 พบว่าเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปทำงานร่วมกับบัลลาสต์
อิเล็กทรอนิกส์จะส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้นั้นมีค่าลดลงจากเดิม ซึ่งจะเห็นว่า บัลลาสต์
อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนนั้น มีกระแสฮาร์มอนิกบางลำดับที่เกินกว่าค่า
มาตรฐาน IEC 1000-3-2 แต่เมื่อได้ทำการใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปแล้วนั้นจะพบว่า
ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้จะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน



ภาพที่ 4.8. เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ทั้งก่อนและหลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 จำนวน 4 หลอดกับมาตรฐาน IEC1000-3-2

4.2.2 การทดสอบวงจรกรองตัวต้นแบบร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)

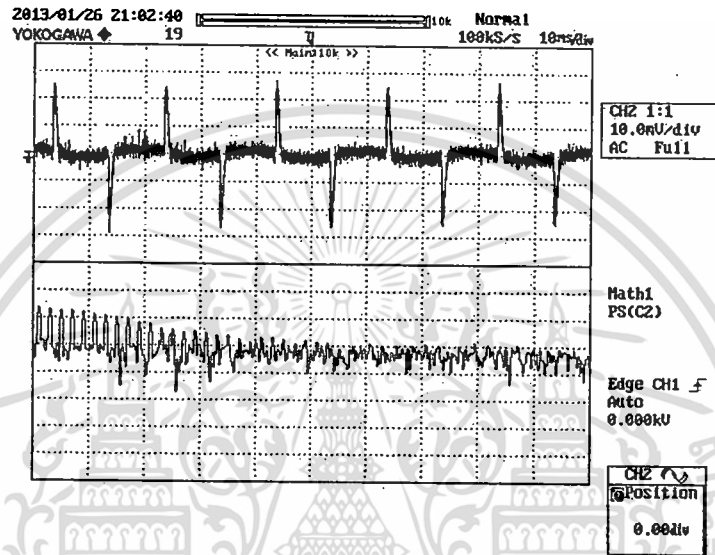
หลังจากที่ได้สร้างวงจรกรองตัวต้นแบบแล้วนั้น จากภาพที่ 4.9 วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้ในการทดสอบได้ใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาด 102 มิลลิเฮนรี และตัวเก็บประจุขนาด 11 ไมโครฟารัด ได้นำมาทดสอบการใช้งานกับชุดขั้วต่อ A ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสง ซึ่งค่าฮาร์โมนิกส์เกินค่ามาตรฐาน



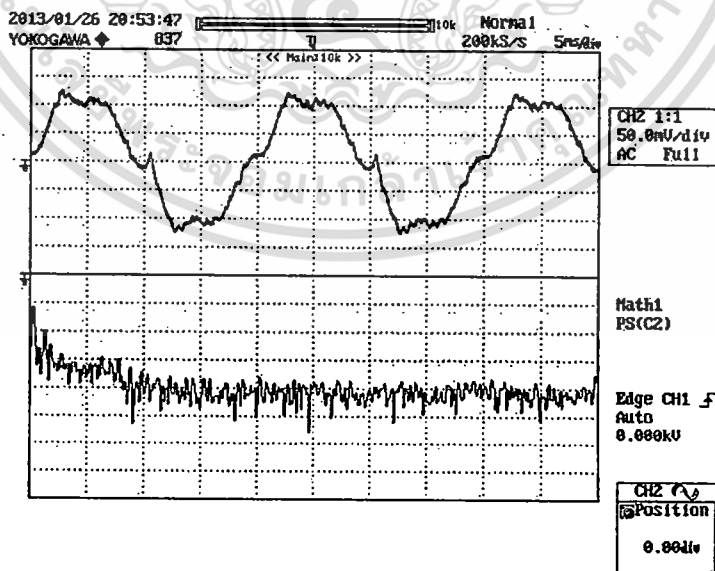
ภาพที่ 4.9 วงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จำนวน 1 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 จะพบว่าเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้วนั้น รูปคลื่นที่ได้ จะมีความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากขึ้น จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ที่วัดได้เมื่อนำวงจรกรองสัญญาณรบกวนตัวต้นแบบมาใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จะมีค่าลดลงกว่าชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ยังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนคือ ลดลงจาก 141.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10.2 เปอร์เซ็นต์ โดยค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ในแต่ละลำดับที่วัดได้แสดงดัง ตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.10 กระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 หลอด ก่อนใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน



ภาพที่ 4.11 กระแสฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 ชุด หลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 ชุด

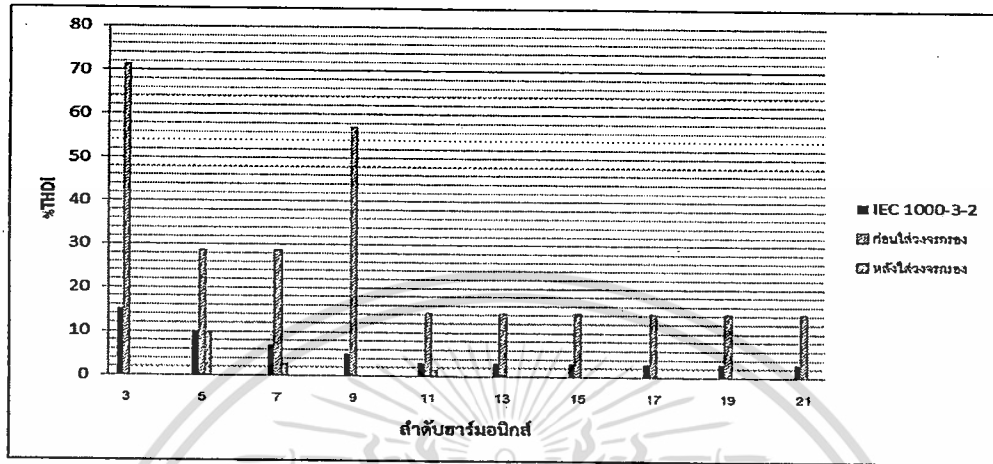
ข้อมูลที่วัดค่า	หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) 1 หลอด	
	ก่อนใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน	หลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน
Real Power (W)	4.4	6.4
Frequency (Hz)	50	50
%THD _v	1.7	1.9
V _{rms} (V)	226.5	227.5
%THD _i	141.4	10.2
I _{rms} (A)	0.046	0.79

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ยี่ห้อ A จำนวน 1 หลอด

ลำดับฮาร์มอนิกส์	V _{rms}		%THD _v		I _{rms}		%THD _i	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
DC	0.2	0	0.1	0	0.01	0.7	40.3	18.5
1	225.7	227.5	100	0	0.01	0.7	100	100
2	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
3	0.1	0	0	0	0.01	0	71.4	0
4	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
5	3.1	4	1.4	1.8	0.01	0.07	28.6	9.7
6	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
7	2.1	0	1	0	0.01	0.02	28.6	2.7
8	0.1	0	0	0	0.01	0	28.6	0
9	0.1	0	0	0	0.01	0	57.1	0
10	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
11	0.3	0	0.1	0	0	0.01	14.3	1.3
12	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
13	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
14	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
15	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
16	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
17	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
18	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
19	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
20	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0
21	0.1	0	0	0	0	0	14.3	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่ากระแสฮาร์โมนิกที่วัดได้จากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้งานร่วมกับวงจรกรองสัญญาณรบกวนมาทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกทั้งก่อนและหลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จำนวน 1 หลอดกับมาตรฐาน IEC1000-3-2

จากภาพที่ 4.12 พบว่าเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปทำงานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จะส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์โมนิกที่วัดได้นั้นมีค่าลดลงจากเดิม ซึ่งจะเห็นว่าชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนนั้น มีกระแสฮาร์โมนิกบางลำดับที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน IEC 1000-3-2 แต่เมื่อได้ทำการใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปแล้วนั้นจะพบว่าค่ากระแสฮาร์โมนิกที่วัดได้จะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

บทที่ 5 บทสรุป

การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากอุปกรณ์แสงสว่าง ได้แบ่งการศึกษาและทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนถัดมาได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากชุดขับหลอด ส่วนสุดท้ายได้ทำการออกแบบวงจรกรองเพื่อกำจัดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากอุปกรณ์แสงสว่างคุณภาพต่ำ

ในการศึกษาและจำลองผลการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux จะพบว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 สามารถให้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกับการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 แต่จะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า ดังนั้นค่าของความเข้มแสงเฉลี่ยต่อพลังงานที่ใช้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 จึงมีค่าสูงกว่าในการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 จึงสามารถกล่าวได้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารได้ในขณะเดียวกันก็สามารถให้แสงสว่างได้ไม่แตกต่างกับการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ที่มีการใช้งานแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน

ในการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากบัลลาสต์ชนิดต่าง ๆ กัน จากการทดลองพบว่า ในการทดลองได้ทดลองใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คุณภาพ ต่าง ๆ กัน จาก 3 บริษัท โดยที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพสูงที่สุดนั้นเป็นยี่ห้อ E ค่าผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้นั้นมีค่าต่ำที่สุด รวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้นั้นยังมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ซึ่งบัลลาสต์ยี่ห้อ E นั้นผลิตในประเทศไทย ซึ่งมีมาตรฐานรองรับ เช่น มาตรฐาน CE, มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) เป็นต้น ส่วนบัลลาสต์คุณภาพรองลงมาคือยี่ห้อ P พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับบัลลาสต์ยี่ห้อ E ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพต่ำสุดคือยี่ห้อ B ซึ่งไม่มีมาตรฐานใด ๆ รองรับที่ฉลาก และจากการวิเคราะห์พบว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่นั้นเกิดในย่านความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากวงจรเรียงกระแสที่อยู่ภายในตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนวงจรที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงนั้นคือวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งไม่สามารถวัดค่าออกมาได้ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่มีที่สามารถวัดได้สูงสุดที่ค่าความถี่ 10 kHz เท่านั้น

ในการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ต่างชนิดกัน จากการทดลองพบว่า ในการทดลองได้ทดลองใช้ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่ (Constant Voltage) โดยที่ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่ ที่มีคุณภาพสูงที่สุดนั้นเป็นยี่ห้อ B ค่าผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้นั้นมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่ยี่ห้อ B นั้นมีมาตรฐานรองรับ เช่น มาตรฐาน CE, มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) เป็นต้น ส่วนชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่คุณภาพรองลงมาคือยี่ห้อ A พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่ยี่ห้อ B ส่วน ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่ ที่มีคุณภาพต่ำสุดคือยี่ห้อ A ซึ่งไม่มีมาตรฐานใด ๆ รองรับที่ฉลาก และจากการวิเคราะห์พบว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่นั้นเกิดในย่านความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากวงจรเรียงกระแสที่อยู่ภายในตัวชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่ ส่วนวงจรที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงนั้นคือวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งไม่สามารถวัดค่าออกมาได้ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่มีที่สามารถวัดได้สูงสุดที่ค่าความถี่ 10 kHz เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดแรงดันคงที่และบัลลาสต์ที่ไม่มีมาตรฐานใดๆ รองรับติดตั้งที่ฉลากนั้นก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ในปริมาณมาก ส่วนบัลลาสต์ที่ได้รับรองมาตรฐานต่างๆ นั้นก่อให้เกิด กระแสฮาร์มอนิกส์ในปริมาณน้อย ในขณะที่เดียวกันผลกระทบด้านฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเลือกใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานที่ในการติดตั้งใช้งานว่าสามารถยอมรับฮาร์มอนิกส์ได้มากน้อยเพียงใดด้วย

จากการศึกษาข้างต้นผู้ทำการทดลองได้ออกแบบวงจรกรองโดยใช้การจำลองในโปรแกรม Orcad Family Release 9.2 โดยวงจรกรองนี้ผู้ทำการทดลองได้ออกแบบให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEC 1000-3-2 โดยมาตรฐาน IEC 1000-3-2 เป็นมาตรฐานที่นิยามการวัดค่าจำกัดฮาร์มอนิกส์ของไฟฟ้ากระแสสลับของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยได้ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนออกมา 2 แบบด้วยกัน โดยแบบแรกออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์ แบบที่สองใช้งานร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ขนาด 3 วัตต์ ซึ่งวงจรกรองนี้เป็นแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นพบว่าวงจรกรองนี้สามารถกรองฮาร์มอนิกส์ได้จริง และผ่านค่ามาตรฐาน แต่ทั้งนี้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้อาจไม่สูงนัก ดังนั้นแนวโน้มในการศึกษาในอนาคตอาจมีการพัฒนาต่อยอดโดยการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

โดยรวมแล้วนั้นหากมีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 หรือหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ก็จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า จึงใช้วัสดุ และ สารปรอทน้อยกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดชนิดอื่นเมื่อเทียบกับที่ปริมาณแสงสว่างเท่ากัน ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับสถานที่ติดตั้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานสามารถยอมรับค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่าง ๆ ได้มากแค่ไหน รวมถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ด้วย งานปริญญาโทฉบับนี้จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้สนใจและตระหนักถึงในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างรู้คุณค่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rudolph R. Verderber, Oliver C. Morse, and William R. Alling, "Harmonics from Compact Fluorescent Lamps", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, No. 3, May/June 1993, pp. 670-674.
- [2] Aurora Gil-De-Castro, Antonio Moreno-Munoz, and J.J.G. De La Rosa, "Comparative Study of Electromagnetic and Electronic Ballasts-an Assessment on Harmonic Emission", Electrical Review, ISSN 0033-2097, 2012, pp. 288-294.
- [3] Harpreet kaur Channi, and Harwinder Singh Sohal, "Power Quality Innovation in Harmonic Filtering", International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences (IJREAS), Vol. 2, Issue 2, February 2012, pp. 518-528.
- [4] Manuel Arias, Diego G. Lamar, Francisco F. Linera, Didier Balocco, Almadidi Aguisa Diallo, and Javier Sebastián, "Design of a Soft-Switching Asymmetrical Half-Bridge Converter as Second Stage of an LED Driver for Street Lightinh Application", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 27, No. 3, March 2012, pp. 1608-1621.
- [5] S. Y. Ron Hui, Leung Ming Lee, Henry Shu-Hung Chung, and Y.K. Ho, "An Electronic Ballast with Wide Dimming Range, High PF, and Low EMI", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, No. 4, July 2001, pp. 465-472.
- [6] Fabio Luis Tomm, Álysson Raniere Seidel, Alexandre Campos, Marco A. Dalla Costa, and Rocardo Nederson do Prado, "HID Lamp Electronic Ballast Based on Chopper Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 4, April 2012, pp. 1799-1807.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานที่ได้รับจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนเงินรายได้คณะ

1. ผลงานวิจัย/ผลผลิตที่ได้จากการทำวิจัย และมี Impact ต่อสังคม, ประเทศชาติ
 - 1) ส่งเสริมงานวิจัยให้มีการพัฒนาทางด้านการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดผลการประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป
 - 2) เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5
 - 3) สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ในระดับหนึ่ง โดยยังคงประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นเดิม
 - 4) สามารถเป็นแนวคิดในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวน
 - 5) เผยแพร่ความรู้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาฮาร์โมนิกส์หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และที่เกิดจากชุดขับของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป อีกทั้งยังนำไปใช้ประโยชน์แก่หน่วยงานที่สนใจ เพื่อเป็นการส่งเสริมลดโลกร้อน
2. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร หรือผลงานตามที่คาดไว้ในโครงการวิจัย
 - 2.1 ตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ รวมทั้งสิ้น 1 บทความ
 1. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, "Analytical Study of Harmonics Issued from LED Lamp Driver"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analytical Study of Harmonics Issued from LED Lamp Driver

Chaiyan Jettanasen

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
kjchaiya@kmitl.ac.th

Atthapol Ngaopitakkul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
knatthap@kmitl.ac.th

Abstract—Harmonics are always generated in any non-linear electrical/electronic systems, and cause severe problems in terms of performance and operation. This paper focuses on analytical study of harmonics originated from LED lamps usually functioning using a driver. Since the driver is a switching device, it will be thus a direct harmonic and/or electromagnetic interference (EMI) source of the system. In order to suppress or reduce produced harmonics, a low-pass harmonic filtering technique is proposed and applied. The experimental results can reveal harmonic reduction effectiveness by comparing with lighting standard, which is herein IEC 1000-3-2 (or EN 61000-3-2); this confirms finally the Electromagnetic Compatibility (EMC) of the system.

Keywords—EMI/EMC; harmonics; LED driver; low-pass filter

I. INTRODUCTION

Nowadays, Light Emitting Diode (LED) lamps become increasingly popular to be used in many applications, for example, inside and outside of the residence or office, street lights, building decoration, and vehicle application. The main purposes of using LED lamp are energy savings because of low energy consumption and overall efficiency augmentation. Moreover, it has long lifetime, and is environmentally friendly because there is no composition of the toxic substance comparing to other types of lamps. As a result, in the buildings, LEDs have replaced incandescent lamps and fluorescent lamps, which have been usually used for many decades. Even though LED lamp has many advantages, it also has some disadvantages such as generation of harmonics or EMI in the system due to the functioning of switching devices of the LED driver. The driver is essential for lightening the lamp.

Many research papers have focused on development of performance of LED lamps, lighting control, and illumination on the work surface [1-4], but there are few papers concerning side effects [5-6] when employing this kind of lamp.

To reduce or suppress harmonics generated in any electrical/electronic system, there are a number of traditional and innovative techniques [7-11]. However, in this paper, low-pass harmonic filtering approach will be studied and discussed.

In this paper, the studied system and its experimental setup are first presented. Second, the harmonics measurement and its results are illustrated. Harmonic filter design is next carried out in order to overcome harmonics problem. Finally, the results

when inserting harmonic filter at the input of LED lamp's driver are shown and compared with the lighting standard to reveal the effectiveness of passive filtering technique implemented in the studied system. This will further confirm the electromagnetic compatibility (EMC) of the considered system.

II. STUDIED SYSTEM AND EXPERIMENTAL SETUP

The studied system composed of an ac power source, and LED lamp and its driver set of different commercial brands. Three brands are studied in this paper; two brands (A and B) are constant voltage LED driver and one brand (C) is constant current LED driver. Various configurations are considered and carried out for each brand as presented below:

- 1 driver for 1 LED lamp
- 1 driver for 9 LED lamps
- 9 drivers for 9 LED lamps

The purpose is to know the effect of number of driver and number of LED lamp to generation of harmonics and/or EMI.



Fig. 1. LED lamps (a) and driver (b)

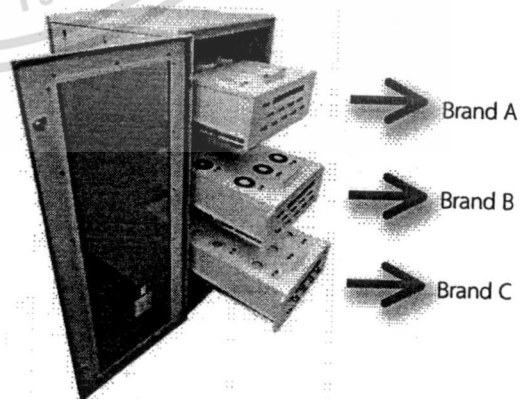


Fig. 2. Experimental setup of LED lamps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The example of LED lamp and its driver used in this study is shown in Fig. 1 and the overall experimental setup is illustrated in Fig. 2.

III. HARMONICS MEASUREMENT AND RESULTS

For each configuration, the harmonic measurement is carried out at the input of LED lamp using a power quality analyzer as depicted in Fig. 3. This measuring instrument can provide a number of electrical quantities, such as values of power, power factor, and total harmonic distortion percentage.

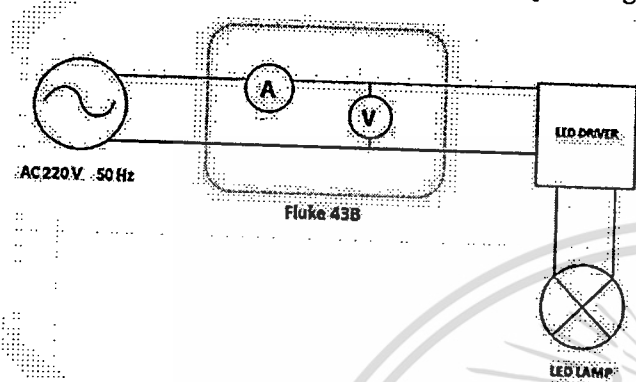


Fig. 3. Harmonics measurement in LED lamps system

The percentage of total harmonic distortion of current (%THD_i) is compared for different configurations as presented in Table I.

TABLE I. PERCENTAGE OF TOTAL HARMONIC DISTORTION OF CURRENT FOR DIFFERENT CONFIGURATIONS

LED lamps and Drivers	%THD _i	
	1 driver	9 drivers
LED lamp with driver of brand A	141.4	174.6
LED lamp with driver of brand B	75.6	76.3
LED lamp with driver of brand C	56.0	23.5

Note that LED lamp of brand C produces less harmonics than that of brand A and B because the current waveform is less distorted. Fig. 4 and Fig. 5 show the current waveform of brand A and C, in time domain, respectively. However, it is clearly seen that these waveforms contain harmonic components by using Fast Fourier Transform (FFT) function of oscilloscope.

Moreover, harmonics magnitude (%f) of each harmonics order is compared for each LED lamp brand and shown in Fig. 6.

According to the results, it is found that LED lamp of brand A has high %THD_i; that is why, this study will focus on this brand, and the low-pass harmonic filtering technique will be applied to improve power quality of current signal.

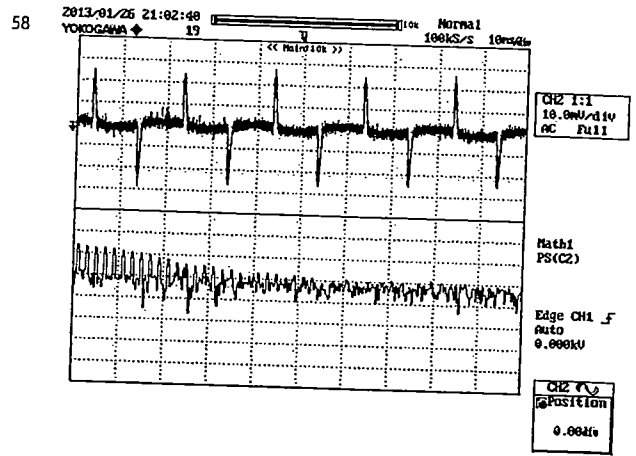


Fig. 4. Waveform of current in LED lamp with 1 driver of brand A

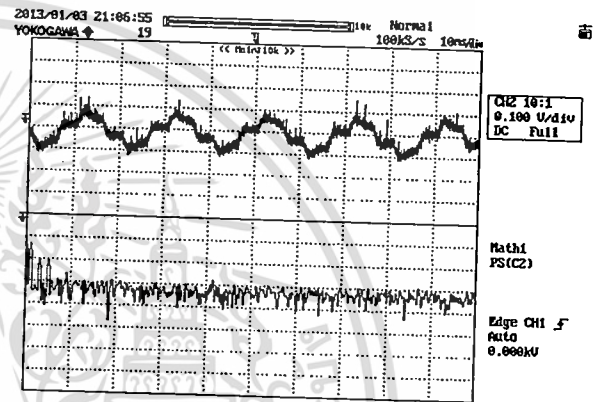


Fig. 5. Waveform of current in LED lamp with 1 driver of brand C

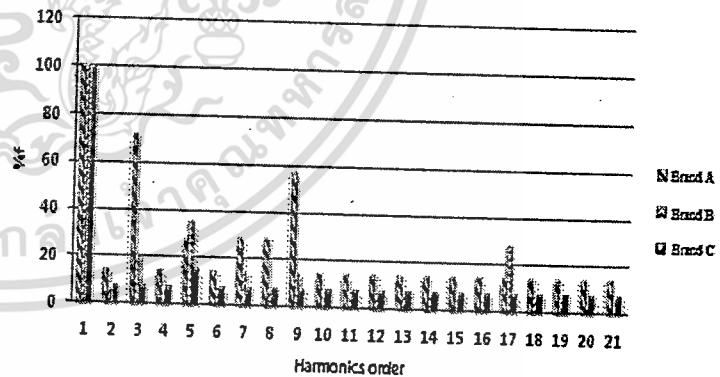


Fig. 6. Comparison of harmonics magnitude at different harmonics order for each brand (1 lamp & 1 driver)

IV. DESIGN OF LOW-PASS HARMONIC FILTER

LED lamp functioning with driver of brand A is chosen for harmonic filter design owing to its highest harmonics generation. The acceptable level of harmonics is normally defined by a standard, which is herein IEC Std. 1000-3-2 (Group C); this ensures that the sensitive nearby

electrical/electronic equipments or itself will be not affected by generated harmonics. Table II shows the limited harmonic current of lighting equipments according to the mentioned standard.

TABLE II. LIMIT OF HARMONIC CURRENT OF LIGHTING EQUIPMENTS (GROUP C) ACCORDING TO IEC 1000-3-2 STANDARD

Harmonics Order (n)	Maximum harmonic current permitted (calculated in percentage by comparing to the fundamental magnitude)
2	2
3	30*(power factor)
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (only odd order)	3

Note that for brand A and B, the harmonics level exceeds the maximum harmonic current permitted by the applied standard, whereas brand C rather respects to the standard.

The generated harmonics issued from LED lamp of brand A will be reduced by adding the harmonic filter at the input of the LED lamp. This filter is simply composed of one series inductor and one parallel capacitor. The resistor of the order of MΩ can be added in parallel with the capacitor in order to discharge its electric charge and also for a reason of mechanical structure.

To reduce the harmonics magnitude, the cut-off frequency is a key parameter to be considered. Here, the cut-off frequency of harmonic filter is fixed at 150 Hz, and the value of capacitor is 11 μF, thus by using (1), the value of inductor will be 102.34 mH.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

After inserting the experimentally designed filter as depicted in Fig. 7, the current waveform becomes more sinusoidal as shown in Fig. 8. Furthermore, the %THD_i is improved, it is presently equal to 10.2 % (before insertion of harmonic filter, it was equal to 141.4%)

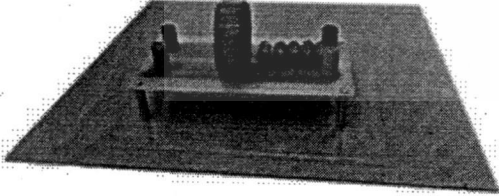


Fig. 7. Experimentally designed filter used in this study

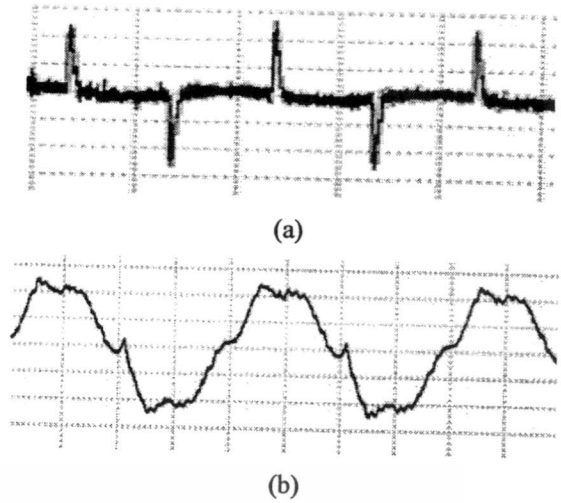


Fig. 8. Current waveform without harmonic filter (a), and with harmonic filter (b)

The spectrum of current waveform with harmonic filter is also determined. The result is shown in Fig. 9.

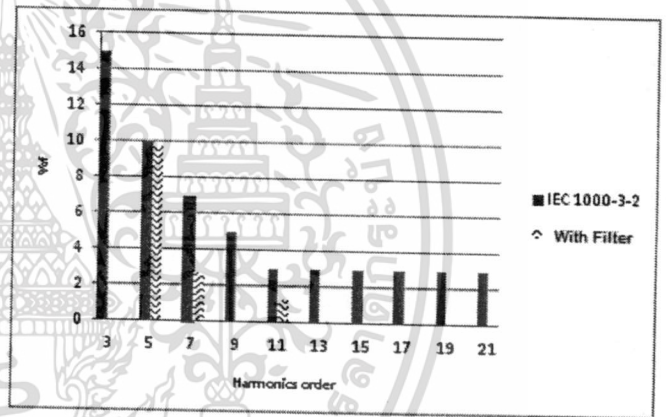


Fig. 9. Harmonics magnitude, obtained after insertion of harmonic filter, at different orders compared with IEC standard

The results are obviously shown that the harmonics level is now conformed to the lighting equipment standard.

V. CONCLUSION

The analytical study of harmonics generated by LED lamp driver for lighting applications has been conducted in this paper. Since the harmonics level exceeds the applied IEC 1000-3-2 standard, it must be reduced by an attenuation approach. The passive low-pass harmonic filtering technique was proposed in this study, and with this filter, the level of harmonics respects satisfactorily to the standard. Finally, this shows the Electromagnetic Compatibility of the overall system.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by Research Fund of Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand, the authors would like to thank for this financial support. The authors also gratefully acknowledge the helpful comments and suggestions of the reviewers, which have improved the presentation.

REFERENCES

- [1] Ashish Pandharipande and David Caicedo, "Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing," 2011, pp. 944 - 950.
- [2] W.R.Ryckaert, K.A.G.Smet, I.A.A.Roelandts, M.VanGils and P.Hanselaer, "Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation," 2012, pp. 429 - 436.
- [3] Mokhtar Ali, Mohamed Orabi, Mahrous E. Ahmed and Abdelali El Aroudi, "Design Considerations of a Single-Stage LED Lamp Driver with Power Factor Correction".
- [4] T. M. Roffi, I. Idris, K. Uchida, S. Nozaki, N. Sugiyama, H. Morisaki, F. X. N. Soelami, "Improvement of High-Power-White-LED Lamp Performance by Liquid Injection," 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics 17-19 July 2011, Bandung, Indonesia.
- [5] Sohel Uddin, Hussain Shareef, Azah Mohamed, M A Hannan, "An Analysis of Harmonics from LED Lamps," 2012, pp. 837 - 840.
- [6] Sohel Uddin, Hussain Shareef, Member, IEEE, Azah Mohamed, Senior Member, IEEE, and M A Hannan, Member, IEEE, "An Analysis of Harmonics from Dimmable LED Lamps," 2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2012), Melaka, Malaysia: 6-7 June 2012, pp. 182 - 186.
- [7] Harpreet kaur Channi, and Harwinder Singh Sohal, "Power Quality Innovation in Harmonic Filtering," International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences (IJREAS), Vol. 2, Issue 2, February 2012, pp. 518-528.
- [8] Manuel Arias, Diego G. Lamar, Francisco F. Linera, Didier Balocco, Almadidi Aguisa Diallo, and Javier Sebastián, "Design of a Soft-Switching Asymmetrical Half-Bridge Converter as Second Stage of an LED Driver for Street Lighting Application," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 27, No. 3, March 2012, pp. 1608-1621.
- [9] S. Y. Ron Hui, Leung Ming Lee, Henry Shu-Hung Chung, and Y.K. Ho, "An Electronic Ballast with Wide Dimming Range, High PF, and Low EMI," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, No. 4, July 2001, pp. 465-472.
- [10] Fabio Luis Tømm, Álysson Raniere Seidel, Alexandre Campos, Marco A. Dalla Costa, and Rocardo Nederson do Prado, "HID Lamp Electronic Ballast Based on Chopper Converters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 4, April 2012, pp. 1799-1807.
- [11] Liang, and Tsorng-Juu, "A two-stage electronic ballast for HID lamp with flyback PFC," 7th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPBMC) 2012, Vol. 1, 2-5 June 2012, China, pp. 192-198.



ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ดร.อรรถพล เ่งพิทักษ์กุล
(ภาษาอังกฤษ) Atthapol Ngaopitakkul, Ph.D.

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี)
ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-326-4550 โทรสาร 02-688-4954
เบอร์มือถือ 0817324318 Email knatthap@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (B.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2545	
ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (M.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2547	
ปริญญาเอกสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (D.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2550	

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Power System, Power System Protection, Application of Wavelet Transform to power system protection, Artificial Neural Networks

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 5 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

(a) Journals

1. A. Ngaopitakkul and A. Kunakorn, "Selection of Proper Activation Function in Back-propagation neural networks algorithm for Transformer Internal Fault Locations," *International Journal of Computer and Network Security*, Vol. 1, No. 2, pp. 47-55. (Impact factor 2009 = 0.00)

(b) International Conference Papers

1. A. Ngaopitakkul, C. Apisit, C. Pothisarn, C. Jettanasen and S. Jaikhan, "Identification of Fault Location in Underground Distribution System using Discrete Wavelet transform" *In Proceedings of 2010 International MultiConference on Engineering and Computer Scientists 2010(IMECS2010)*, Hong Kong, March 2009.
2. C. Apisit, and A. Ngaopitakkul, "Identification of Fault Types for Underground Cable using Discrete Wavelet transform" *In Proceedings of 2010 International MultiConference on Engineering and Computer Scientists 2010(IMECS2010)*, Hong Kong, March 2009.
3. C. Pothisarn, and A. Ngaopitakkul, "Application of Discrete Wavelet Transform for fault location on Transmission Network Systems" *In Proceedings of the 8th IET International Conference on Advances in*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power System Control, Operation and Management (APSCOM2009) , Paper No. APSCOM2009-47, Hong Kong, November 2009.

4. C. Pothisam, and A. Ngaopitakkul, "Discrete Wavelet Transform and Back-propagation Neural Networks Algorithm for Fault Classification on Transmission Line" In *Proceedings of IEEE International Conference on Transmission and Distribution (T&D Asia 2009)*, Korea, October 2009.
5. P. Chiradeja, and A. Ngaopitakkul, "Identification of Fault Types for Single Circuit Transmission Line using Discrete Wavelet transform and Artificial Neural Networks" In *Proceedings of 2009 International MultiConference on Engineering and Computer Scientists 2009 (IMECS2009)*, Hong Kong, March 2009.
6. A. Ngaopitakkul and C. Pothisam, "Discrete Wavelet Transform and Back-propagation neural networks algorithm for fault location on Single-circuit transmission line" In *Proceedings of 2004 International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)*, Thailand, February 2009.
7. A. Ngaopitakkul, W. Pongchaisrikul, and A.Kunakorn, "Analysis of Characteristics of Simultaneous Faults in Electrical Power Systems using Wavelet Transform," In *Proceedings of the 1st International Conference Sustainable Energy Technologies (ICSET2008)*, Singapore, November 2008.
8. T. Patcharoen, A. Ngaopitakkul and A.Kunakorn, "Identification of fault types for a three-bus transmission network using Discrete Wavelet Transform and Probabilistic Neural Networks," In *Proceedings of the 8th International Power Engineering Conference (IPEC2007)*, Paper No. conf122a641, Singapore, December 2007.

(c) National Conference Papers

1. A. Ngaopitakkul, S. Jonpermpoonpol and C. Pothisam, "Studies of Turn to turn Fault in Power Transformer Using Discrete Wavelet Transform," In *Proceedings of the 32th Electrical Engineering Conference (EECON32)*, Vol. 1, pp.391-394, 28-30 October 2009.
2. S. Jonpermpoonpol, A. Ngaopitakkul, "Studies of Winding to ground Fault in Power Transformer Using Discrete Wavelet Transform," In *Proceedings of the 32th Electrical Engineering Conference (EECON32)*, Vol. 1, pp.383-386, 28-30 October 2009.
3. S. Surisunthon, A. Ngaopitakkul, "Miscalculation Fault location due to behavior of Simultaneous Faults in Electrical Power Transmission Systems Using Discrete Wavelet Transform," In *Proceedings of the 32th Electrical Engineering Conference (EECON32)*, Vol. 1, pp.239-242, 28-30 October 2009.
4. W. Pongchaisrikul, A. Ngaopitakkul, and A.Kunakorn, "Studies of Characteristics of Simultaneous Faults in Electrical Power Transmission Systems Using Discrete Wavelet Transform," In *Proceedings of the 31st Electrical Engineering Conference (EECON31)*, Vol. 1, 25-26 October 2008.
5. A. Ngaopitakkul, T. Patcharoen, A.Kunakorn, and S. Bunjongjit, "Application of Discrete Wavelet Transform and Probabilistic Neural Networks for Detecting Fault Location in Electrical Transmission Systems," In *Proceedings of the 30th Electrical Engineering Conference (EECON30)*, Vol. 1, Paper PW074, 25-26 October 2007.

(d) Book

1. Atthapol Ngaopitakkul, "Electrical Transmission Systems," Ladkrabang Book, 2009, ISBN 978-974-8308-98-2.

ประวัติการทำงานที่สำคัญ และ Professional Activities

Reviewer : The 11th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC2010), Nagaoka, Japan.
 Reviewer : ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, Communication.
 Reviewer : IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008), Bangkok, Thailand, 2008.
 Committee : IEEJ-EIT Joint Symposium : Advanced Technology in Power Systems (2008-2009)
 Committee : Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA) (Jan 2008 – Present)
 Committee : Thai Mechanical and Electrical Design and Consulting Engineer Association (MECT) (Oct 2008 – Present)

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

Dec 2009 – Nov 2011 Head of Research Project “An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent Algorithm for Simultaneous Fault Diagnosis in Electrical Power Transmission Systems” {Supported by the King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Fund, Thailand}

Oct 2009 – Sep 2010 Head of Research Project “Fault Diagnosis in Underground Cable Systems using Discrete Wavelet Transform” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}

Oct 2008 – Sep 2009 Researcher of Project “Fault Analysis on Single Circuit Transmission line Using Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Logic” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}

Oct 2007 – Sep 2008 Researcher of Project “An Application of Discrete Wavelet Transform and Neural Network for Fault Diagnosis in Transmission Systems” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}

2. ชื่อ

(ภาษาไทย) ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

(ภาษาอังกฤษ) Chaiyan Jettanasen, Ph.D.

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี)

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 Email kjchaiya@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาเอก Ph.D. of Electrical Engineering (Docteur en Génie Electrique), Ecole Centrale de Lyon, France ปีที่จบ พ.ศ.2551
- ปริญญาตรีโท Master of Electrical Engineering (Master de Recherche en Génie Electrique) / Diploma of Electrical Engineering (Diplôme d’ingénieur), Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, France ปีที่จบ พ.ศ. 2548

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

EMI/EMC in power electronic systems, ESD in electric/electronic system, Conversion of electrical energy, Power electronics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 5 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

(a) Journals

1. C. Jettanasen, F. Costa, C. Vollaïre, "Common mode emissions measurements and simulation in variable-speed drive systems", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 11, November 2009.
2. C. Jettanasen, J. Genoulaz, C. Vollaïre, F. Costa, "Modelling and reduction of common mode currents in a variable-speed drive system by two-port network approach", The 4th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD), York, UK, April 2-4, 2008, pp. 416 - 420.

(b) International Conference Papers

1. C. Jettanasen, "Influence of power shielded cable and ground on distribution of common mode currents flowing in variable-speed AC motor drive systems", 2010 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility & Technical Exhibition on EMC RF/Microwave Measurement & Instrumentation, Beijing, China, April 12-16, 2010 (oral).
2. C. Jettanasen, "Minimization of common-mode conducted noise in PWM inverter-fed AC motor drive systems using optimized passive EMI filter", The 2010 IAENG International Conference on Electrical Engineering, Hong Kong, March 17-19, 2010 (oral).
3. C. Jettanasen, F. Costa, C. Vollaïre, B. Revol, F. Morel, "Measurements and simulation of common mode conducted noise emissions in adjustable-speed AC drive systems", The 20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Zurich 2009), Zurich, Switzerland, January 12-16, 2009 (oral).
4. C. Jettanasen, "Modélisation et réduction des perturbations de mode commun dans un système d'entraînement à vitesse variable", 8^{ème} Conférence des Jeunes Chercheurs en Génie Electrique (JCGE'2008), Ecully, France, December 16-17, 2008 (oral).
5. C. Jettanasen, J. Genoulaz, C. Vollaïre, F. Costa, "Optimisation d'un filtre CEM à l'aide d'un modèle quadripolaire pour un système d'entraînement à vitesse variable", Compatibilité Electromagnétique 14^{ème} Colloque Internationale et Exposition & Journée Scientifique du CNFRS/URSI, Paris, France, May 20-23, 2008 (oral).
6. C. Jettanasen, J. Genoulaz, C. Vollaïre, F. Costa, "Modelling and reduction of common mode currents in a variable-speed drive system by two-port network approach", presented at the 4th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD), York, UK, April 2-4, 2008 (oral).

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

Head of Project "Design of Electrostatic Discharge (ESD) Detector for Hard Disk Drive Industry" {Supported by the NECTEC, Thailand}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้