



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลกระทบของสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์จากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ของโคมไฟฟ้
แบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี

The Effect of Harmonics Noise of Power Supplies on Down-Light Lamp with LED

นามผู้วิจัยนาม นายสุพิศ บุญรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D.

หัวหน้าภาควิชา

รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงค์, Ph.D.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของสัญญาณรบกวนฮาร์โมนิกส์จากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ
ของโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี

The Effect of Harmonics Noise of Power Supplies
on Down-Light Lamp with LED

โดย

นายสุพิศ บุญรัตน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุพิศ บุญรัตน์ 2553: ผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์จากแหล่งจ่ายไฟ
แบบต่างๆ ของโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี ปรินญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D. 191 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำแอลอีดีมาออกแบบประยุกต์ใช้งานใน
ระบบส่องสว่างภายในอาคาร ซึ่งทำการออกแบบสร้างโดยใช้แอลอีดีชนิด 4.8 mm straw-hat shape
ใช้แอลอีดีรวมทั้งสิ้น 56 หลอด โดยทำการจัดวางแอลอีดีลงในโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ (FBS
110/118) ในลักษณะวงกลมซ้อนกัน 3 วง จากนั้นทำการทดสอบความสว่าง, การกระจายความร้อน
และผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ ที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ของโคม
ไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้แอลอีดี โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แหล่งจ่ายไฟ
แบบสำเร็จรูป และแหล่งจ่ายแบบที่ออกแบบสร้างใหม่ โดยแหล่งจ่ายแบบสำเร็จรูปประกอบด้วย
แบตเตอรี่, แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น, แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่ง และแหล่งจ่ายไฟจากวงจรเรียง
กระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด ส่วนแหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบสร้างใหม่ได้แก่ วงจรเรียง
กระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรเรกูเลเตอร์แบบชดเชยสำหรับจ่ายให้กับ 1 โคม
จำนวน 5 ชุด และชุดใหญ่สำหรับจ่ายให้กับ 5 โคม จำนวน 1 ชุด

ผลที่ได้คือโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้แอลอีดีจะกินกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.58 วัตต์ ที่ระยะ
1 เมตรจะให้ความสว่างเท่ากับ 105.8 ลักซ์ มีประสิทธิภาพการส่องสว่างเท่ากับ 148.41 ลักซ์ต่อ
วัตต์ เมื่อเปิดใช้งานเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะเกิดความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอดเท่ากับ 55.1 องศาเซลเซียส
ผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์จากแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูปนั้นพบว่า
แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่งจะมีกระแสฮาร์โมนิกส์รวมที่สูงที่สุด ส่วนวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบ
บริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรเรกูเลเตอร์นั้นเมื่อนำมาต่อร่วมกันหลายๆ โคมก็จะทำให้มีกระแส
ฮาร์โมนิกส์รวมเพิ่มสูงขึ้น โดยที่แหล่งจ่ายชุดใหญ่สำหรับจ่ายให้กับ 5 โคมจะมีข้อดีคือกิน
กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าแหล่งจ่ายชุดเล็กสำหรับจ่ายให้กับ 1 โคม (ที่จำนวน 5 โคมเท่ากัน) ซึ่งมีกระแส
ฮาร์โมนิกส์รวมใกล้เคียงกัน

Supit Boonrat 2010: The Effect of Harmonics Noise of Power Supplies on Down-Light Lamp with LED. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Kiatiyuth Kveeyarn, Ph.D. 191 pages.

This study researches have the objective for studies the lead LED to design and apply in the illuminates system inside the building , which designing and builds by used 4.8 mm straw-hat shape LED kinds and used total 56 of LED. The arrangement lays LED on down-light lanterns (FBS 110/118) in 3 circle character , from that time , brightness test , spread heat test , and the effect of harmonics noise from power supplies of down-light lanterns with LED. The power supplies to used consist 2 kind , the readymade power supplies and rebuild power supplies. The readymade power supplies compose such as battery , linear power supply , switching mode power supply and bridge diode rectifier circuit. The rebuild power supplies part that design to rebuild for example , bridge diode rectifier with regulator circuit compose such as, the small set for 1 lanterns (5 set) and a big set for 5 lanterns (1 set) .

The experiment result is the down-light lanterns with LED will be consume power equals to 2.58W , at the 1 meter distance will give the brightness equals to 105.8 lx , effective illuminating equals to 148.41 lx/W , when turn on for 1 hour will born topmost heat that tube skin equals to 55.1 the degree Celsius. The effect of harmonics noise from the readymade power supplies that switching mode power supply will be topmost total harmonics current. The bridge diode rectifier with regulator circuit part that when bring accompany with many lantern will make have the total harmonics current up to enhance , by a big set for 5 lanterns has will the merit is consume the little power more than the small set for 1 lanterns (at 5 lantern amounts are equal) , which there are the total harmonics current are similar to.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. เกียรติยุทธ กวีญาณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกๆ ท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สมบัติ ทิมทรัพย์ อ.ชุตินันท์ อุทัยโสธม อ.ปฎิภาณ เกิดลาภ และขอขอบคณาจารย์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ที่ให้โอกาสและแนะนำช่วยเหลือรวมถึงอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดสอบทางด้าน Harmonic และ EMC รวมถึงให้คำแนะนำช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อ. วสันต์ อุทัยโสธม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือทดสอบในการภาพถ่ายความร้อน

ขอขอบคุณน้องๆ เพื่อนๆ พี่ๆ ทุกๆ ท่านที่คอยให้กำลังใจและให้ข้อคิดดีๆ รวมถึงขอขอบคุณบริษัทปัทมกรูไทย จำกัด ที่ให้ความคล่องตัวในการบริหารการเงินในการทำวิจัย

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อบุญเสริม บุญรัตน์ คุณแม่จินต์ บุญรัตน์ คุณจิราวรรณ จันทรด้วง และผู้มีพระคุณทุกๆ ท่านที่มีได้เอื้อนนามที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

สุพิศ บุญรัตน์

พฤษภาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	64
ผล	64
วิจารณ์	147
สรุปและข้อเสนอแนะ	154
สรุป	154
ข้อเสนอแนะ	156
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	157
ภาคผนวก	158
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	191

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณที่สำคัญทางด้านการส่องสว่าง	4
2	ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแอลอีดี ความยาวคลื่นและสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ	13
3	ผลการทดลองแรงดันของการต่อแอลอีดีแบบต่างๆ	44
4	ผลการทดลองกระแสของการต่อแอลอีดีแบบต่างๆ	44
5	ผลการทดลองกำลังไฟฟ้าของการต่อแอลอีดีแบบต่างๆ	44
6	ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบอนุกรม	46
7	ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบขนาน	47
8	ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบผสม A	47
9	ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบผสม B	47
10	ผลการทดลองการต่อหลอดแอลอีดีในลักษณะวงจรแบบต่างๆ จากมิเตอร์วัด power quality analyzer (Fluke รุ่น 43B)	51
11	ผลการทดสอบวัดค่าความสว่างของโคมหลอดแอลอีดีโดยเทียบกับโคมหลอดไส้ 25W และโคมหลอดตะเกียบ 5W	64
12	ผลการทดสอบวัดค่าการกระจายแสงของโคมหลอดแอลอีดีเทียบกับโคมหลอดไส้ 25W และโคมหลอดตะเกียบ 5W ที่ระยะ 0.5 m	66
13	ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่จ่ายให้กับโคมหลอดแอลอีดีกับค่าความสว่าง	68
14	ผลการทดสอบความร้อนสูงสุดที่ผิวของโคมหลอดไส้ โคมหลอดตะเกียบและโคมแอลอีดีเทียบกับระยะเวลาการเปิดใช้งาน	69
15	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	73
16	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

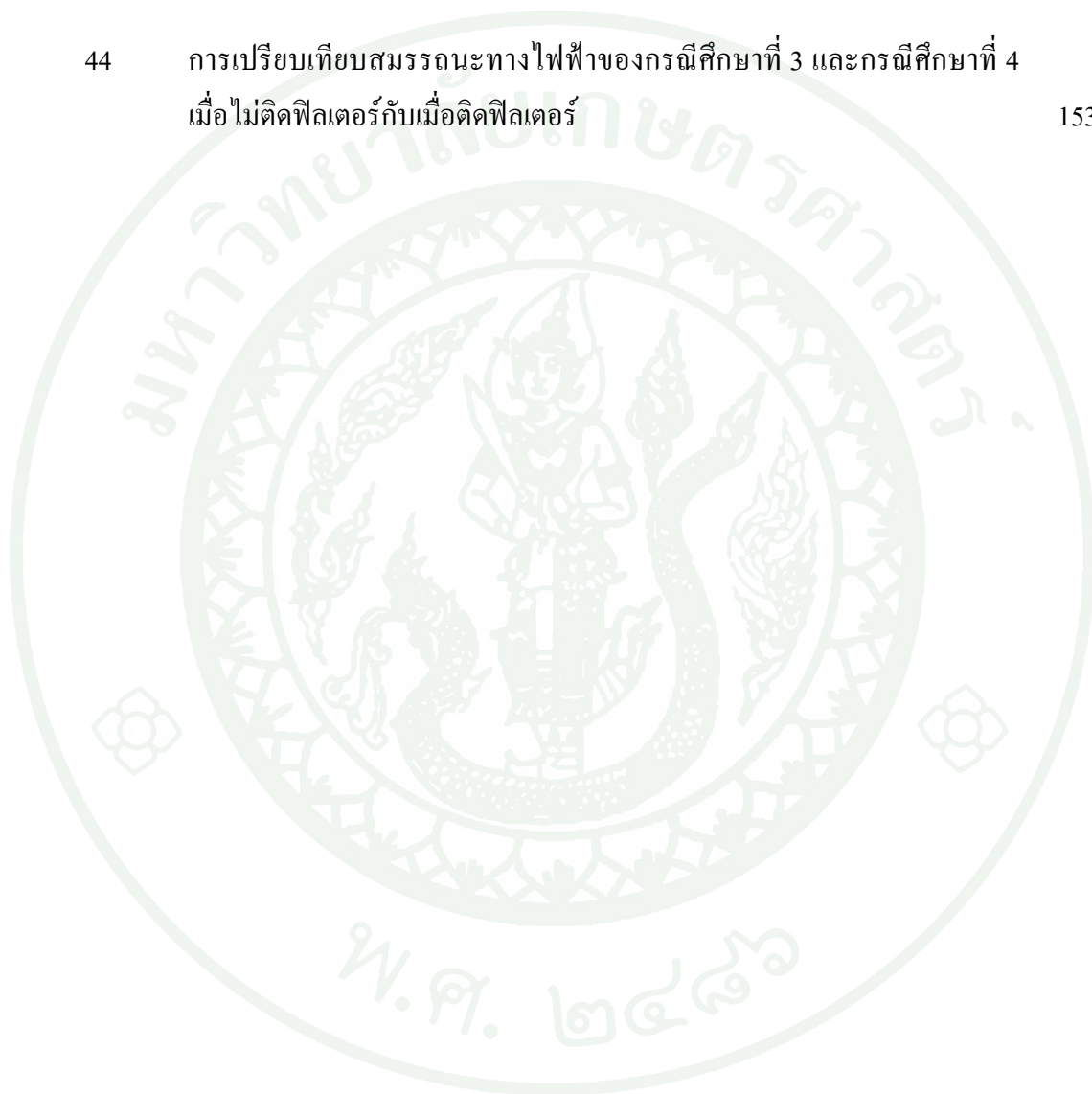
ตารางที่		หน้า
17	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายไฟแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	79
18	ผลการทดสอบอัตราะลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก % r ของแหล่งจ่ายแต่ละชุด ซึ่งออกแบบไว้ให้มีค่าไม่เกิน 0.1%	82
19	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณีศึกษาที่ 1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	83
20	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	87
21	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	90
22	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	93
23	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	97
24	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	100
25	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	103
26	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	107
27	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	111
28	ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
29	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.5 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	119
30	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.1 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	123
31	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.2 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	126
32	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.3 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	130
33	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.4 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	134
34	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.5 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	137
35	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 5.1 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	141
36	ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 5.2 เทียบกับค่าขีดจำกัด กระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	144
37	ความสว่างต่อกำลังวัตต์ของโคมแอลอีดีเมื่อเทียบกับหลอดไส้และหลอด ตะเกียบ	147
38	ความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอดต่อกำลังวัตต์ของโคมแอลอีดีเมื่อเทียบกับโคม หลอดไส้และโคมหลอดตะเกียบ	148
39	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป	149
40	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 2	150
41	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 3	150
42	สรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 4	151
43	การเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4	151

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
44	การเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 เมื่อไม่ติดฟิลเตอร์กับเมื่อติดฟิลเตอร์	153



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เส้นโค้งโพลาร์	9
2 เส้นโค้งกราฟโซนอนลพลักซ์	9
3 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า	10
4 แอลอีดีแบบต่างๆ	15
5 โครงสร้างภายในของชิปสารกึ่งตัวนำ	16
6 โครงสร้างหน้าตัดภายในของแอลอีดี	16
7 การไหลของกระแสอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ	17
8 ลักษณะการกระจายแสงของแอลอีดี	18
9 คุณลักษณะทางกายภาพของแอลอีดี	19
10 สัญลักษณ์ของแอลอีดี	19
11 วงจรการทดสอบขั้วของแอลอีดี	19
12 กราฟของแอลอีดีเมื่อได้รับการไบอัสกลับ	20
13 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ชนิดไดโอดพร้อมตัวเก็บประจุ	21
14 คลื่นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์เมื่อไม่ต่อคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์	21
15 คลื่นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์เมื่อต่อคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์	22
16 วงจรเรกูเลเตอร์ที่ใช้ IC regulator เบอร์ LM350	23
17 ย่านความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	24
18 ฮาร์โมนิกที่ลำดับต่างๆ	26
19 รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากไซน์ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบความถี่หลักมูลที่มีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3	26
20 แสดงถึงฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน	27
21 พาสซีฟฟิลเตอร์	33
22 แอคทีฟฟิลเตอร์	34
23 ไฮบริดฟิลเตอร์	34
24 แอลอีดีแบบ 4.8 mm. straw hat-shaped LED	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	โคมไฟควานไลท์แบบฝังฝ้า (FBS 110/118)	35
26	มัลติมิเตอร์ FLUKE 177 True RMS multimeter	36
27	Power Quality Analyzer (Fluke รุ่น 43B)	36
28	กล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20)	37
29	ลักซ์มิเตอร์ (TES 1332 Digital lux meter)	37
30	ไดอะแกรมภาพรวมการศึกษาทดลอง	38
31	ไดอะแกรมการทดลองแอลอีดีเบื้องต้น	39
32	ตัวอย่างวงจรการทดลองแบบอนุกรมแบบขนานและแบบผสม	40
33	วงจรที่ใช้ในการทดลองแบบผสมแบบที่ A	41
34	วงจรที่ใช้ในการทดลองแบบผสมแบบที่ B	42
35	การวัดค่าความสว่างจากกล่องวัดแสง	43
36	การวัดค่าความสว่างจากกล่องวัดแสง (ภาพการทดลองจริง)	43
37	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับจำนวนหลอด	45
38	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับจำนวนหลอด	45
39	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับจำนวนหลอด	46
40	ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับจำนวนหลอดที่ระยะ 30 cm	48
41	ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรแบบอนุกรม 10 หลอด (Max Temp =31.3 °C)	48
42	ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรแบบขนาน 10 หลอด (Max Temp =31.5 °C)	49
43	ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน(Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรผสมแบบ A 10 หลอด (Max Temp =31.5 °C)	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรผสมแบบ B 10 หลอด (Max Temp = 30.8 °C)	50
45	ลักษณะการต่อวงจรในการออกแบบสร้างหลอดไฟฟ้าจาก LED	53
46	การออกแบบและการวาง LED	54
47	หลอดไฟฟ้าจากแอลอีดีที่บรรจุในโคมदान์ไต้จำนวน 3 แถว รวม 56 หลอด	54
48	แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (12V _{dc} , 26Ah)	55
49	แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น (0-30 V _{dc})	55
50	แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง (0-30 V _{dc})	56
51	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด (0-30 V _{dc})	56
52	วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันที่เป็นไอซีเบอร์ LM350T	58
53	แหล่งจ่ายไฟจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดัน (12V _{dc})	57
54	วงจรกรองความถี่แบบความถี่ต่ำผ่าน R-C filter	59
55	R-C filter ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 1 Ω , ตัวเก็บประจุ 20 μF	60
56	ไดอะแกรมการทดสอบค่าสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า	61
57	มิติต่างๆ ของกล่องวัดแสง	62
58	ลักษณะจริงของกล่องวัดแสง	62
59	ไดอะแกรมการทดสอบการกระจายความร้อน	63
60	ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับระยะจากจุดวัดแสงถึงหลอดไฟที่ระยะ 10 cm-200 cm	65
61	ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับระยะจากจุดวัดแสงถึงหลอดไฟที่ระยะ 100 cm-200 cm	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
62 การกระจายแสงของหลอดไส้ หลอดตะเกียบ และแอลอีดีซึ่งบรรจุอยู่ในโคมที่ชนิดเดียวกันที่ระยะ 0.5 m	68
63 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากหลอดไส้ (25 W) เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Max Temp = 169.9 °C)	70
64 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากหลอดตะเกียบ (5 W) เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Max Temp = 83.3 °C)	70
65 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากโคมหลอดแอลอีดี เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Max Temp = 55.8 °C)	71
66 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแบตเตอรี่	72
67 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น	72
68 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายแบบแบบเชิงเส้นเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	75
69 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบสวิตชิง	75
70 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายแบบสวิตชิงเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3- 2 class C	78
71 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด	78
72 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	81
73 ไดอะแกรมการทดลองกรณีศึกษาที่ 1	82
74 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันในกรณีศึกษาที่ 1	82
75 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีศึกษาที่ 1 เทียบกับค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	85
76 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.1	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
77	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.1	86
78	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	89
79	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.2	89
80	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.2	89
81	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	92
82	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.3	92
83	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.3	93
84	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.3 เทียบกับโหลดความต้านทานและค่าขีดจำกัดฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	95
85	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.4	96
86	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.4	96
87	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.4 เทียบกับโหลดความต้านทานและค่าขีดจำกัดฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	98
88	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.5	99
89	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.5	99
90	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	102
91	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.1	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
92	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.1	102
93	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	105
94	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.2	106
95	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.2	106
96	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	109
97	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.3	109
98	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.3	110
99	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	113
100	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.4	113
101	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.4	114
102	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	117
103	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.5	118
104	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.5	118
105	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
106	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.1	122
107	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.1	122
108	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	125
109	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.2	125
110	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.2	126
111	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	128
112	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.3	129
113	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.3	129
114	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	132
115	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.4	132
116	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.4	133
117	กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	135
118	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.5	136
119	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.5	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
120	กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	139
121	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 5.1	140
122	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 5.1	140
123	กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 5.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	143
124	ไดอะแกรมการทดลองกรณี 5.2	143
125	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 5.2	144
126	กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 5.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C	146
ภาพผนวกที่		
1	ความต้านทานโหลดที่ใช้ในการทดลองเทียบกับแอลอีดี	159
2	Maximum harmonics ลำดับที่ 1-40 จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Linear Power Supply เมื่อเทียบกับค่าขีดจำกัดตามมาตรฐาน EN/IEC 61000-3-2 A14 (2000) Quasi-stationary Equipment class C ที่ทดสอบโดย PTEC	159
3	Maximum harmonics ลำดับที่ 1-40 จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Full Bridge Rectifier เมื่อเทียบกับค่าขีดจำกัดตามมาตรฐาน EN/IEC 61000-3-2 A14 (2000) Quasi-stationary Equipment class C ที่ทดสอบโดย PTEC	160

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
4 Maximum harmonics ลำดับที่ 1-40 จากแหล่งจ่ายไฟแบบ SMPS เมื่อเทียบกับค่า ขีดจำกัดตามมาตรฐาน EN/IEC 61000-3-2 A14 (2000) Quasi-stationary Equipment class C ที่ทดสอบโดย PTEC ที่ทดสอบโดย PTEC	160
5 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Battery 12 VDC ที่ทดสอบโดย PTEC	161
6 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Linear Power Supply ที่ทดสอบโดย PTEC	161
7 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Full Bridge Rectifier ที่ทดสอบโดย PTEC	162
8 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก SMPS ที่ทดสอบโดย PTEC	162
9 ข้อมูลจำเพาะของแอลอีดีชนิด 4.8 mm straw hat – shaped LED	163
10 ข้อมูลจำเพาะของถักซ์มิเตอร์	168
11 Guidelines to the standard EN61000-3-2	169
12 ข้อมูลจำเพาะของ IC regulator เบอร์ LM350	176
13 ข้อมูลจำเพาะของบริดจ์ไดโอด	184
14 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	186

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

LED	=	light emitting diode
THD	=	total harmonics distortion
THDi	=	total harmonics current distortion
THDv	=	total harmonics voltage distortion
P	=	power
I _{ac}	=	alternating current
I _{dc}	=	direct current
I _{adj}	=	adjustable current
V _{ac}	=	alternating voltage
V _p	=	peak voltage
V _{dc}	=	direct voltage
V _c	=	capacitor voltage
V _i	=	input voltage
V _o	=	output voltage
rms	=	root mean square
Temp	=	temperature
LPS	=	linear power supply
SMPS	=	switching mode power supply
m	=	10^{-3}
μ	=	10^{-6}
C	=	capacitor
R	=	resistance
R _L	=	load resistance
D	=	diode
H _n	=	Harmonics order

ผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์มอนิกส์จากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ
ของโคมไฟฟ้านาฬิกาที่ใช้หลอดแอลอีดี

The Effect of Harmonics Noise of Power Supplies
on Down-Light Lamp with LED

คำนำ

ในปัจจุบันการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งทีวิศวกรไฟฟ้าและทุกๆ องค์กรกำลังให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงภาวะโหลด ในกิจกรรมต่างๆ ทางธุรกิจ หรืออาคารสถานที่ต่างๆ พบว่าจะมีการใช้งานโหลดประเภทแสงสว่างอยู่ประมาณ 30 % (ชุดพิมพ์, 2551) ดังนั้นการประหยัดพลังงานแสงสว่างจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับทุกๆ คน และทุกๆ องค์กร เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่าย และลดต้นทุนผลิต หรือการดำเนินการ ซึ่งในการประหยัดพลังงานจากแสงสว่างดังกล่าว จึงมีการพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่ขึ้นมาซึ่งเป็นอุปกรณ์โซลิตัสเตท นั่นคือ ไดโอดเปล่งแสง หรือหลอดแอลอีดี (LED) นั่นเอง

หลอดแอลอีดีมีหลักการทำงานเหมือนกับไดโอดทั่วๆ ไป โดยจะเปล่งแสงออกมาเมื่อเกิดการนำกระแส การนำหลอดแอลอีดีเหล่านี้มาต่อรวมกันจำนวนหลายๆ หลอด ก็จะทำให้ความสว่างเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดอื่นๆ จะมีข้อดีคือ หลอดแอลอีดีจะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า เกิดความร้อนต่ำกว่า มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะไม่มีองค์ประกอบของสารที่เป็นพิษ โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มว่าอาจจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟประเภทอื่นๆ (โบนัส และชาญศักดิ์, 2551)

สิ่งที่จะต้องพิจารณาสำหรับผู้ออกแบบและผู้ใช้งานสำหรับการนำหลอดแอลอีดีมาใช้ในระบบส่องสว่างภายในอาคารคือ แหล่งจ่ายไฟสำหรับหลอดแอลอีดี ซึ่งแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ เช่น แบบเป็นเชิงเส้น แบบสวิตซิ่ง หรือแบบอื่นๆ อาจส่งผลกระทบทางด้านสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาต่อระบบ เนื่องจากการรบกวนดังกล่าวจะส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ในระบบทำงานผิดพลาดได้ เช่น ความร้อนที่สูงเกิน การสั่นของเครื่องจักรกล การล้มเหลวของมอเตอร์ กระแสนิวตรอนที่มากเกินไป เป็นต้น

งานวิจัยนี้จะการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของสัญญาณรบกวนในย่านฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดหลอดแอลอีดีรวมถึงทำการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า ทางแสง ทางความร้อน ซึ่งจะทำให้สามารถพิจารณาเลือกใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดหลอดแอลอีดีได้อย่างเหมาะสมที่สุดต่อไป



วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการนำหลอดแอลอีดีมาประยุกต์ใช้งานในระบบส่องสว่าง
2. ศึกษาผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ
3. ศึกษาข้อกำหนดและวิธีการทดสอบสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์รวมถึงการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า ทางแสง ทางความร้อนที่เป็นผลมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ
4. เพื่อศึกษาแนวทางในการออกแบบสร้างชุดหลอดไฟฟ้าแบบใหม่บรรจุในโคมदान์ไลท์โดยใช้หลอดแอลอีดีที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. การส่องสว่าง

1.1 ปริมาณที่สำคัญทางด้านการส่องสว่าง (ศุติ , 2538)

ปริมาณที่สำคัญทางด้านการส่องสว่างที่จะกล่าวถึงมี 5 ชนิด ประกอบด้วย

- ความเข้มของแสงสว่าง (Luminous Intensity)
- ความเข้มแสง (Illuminance)
- ความส่องสว่าง (Luminance)
- ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux)
- มุมตัน (Solid Angle)

ปริมาณทั้ง 5 ชนิด มีสัญลักษณ์ นิยาม และหน่วยที่ใช้ในการวัด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณที่สำคัญทางด้านการส่องสว่าง

ปริมาณ	สัญลักษณ์	นิยาม	หน่วยวัด
1) ความเข้มส่องสว่าง	I	$I = \frac{d\phi}{d\omega}$	แคนเดลา (candela ; cd)
2) ความเข้มแสง	E	$E = \frac{d\phi}{dA}$	ลักซ์ (lux ; lx)
3) ความส่องสว่าง	L	$L = \frac{d^2\phi}{d\omega \times dA \times \cos \epsilon}$	แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/ m ²)
4) ฟลักซ์ส่องสว่าง	ϕ	$\phi = \frac{dQ}{dt}$	ลูเมน (lumen ; lm)
5) มุมตัน	ω	$\omega = \frac{A_m}{r^2}$	สเตอเรเดียน (steradian ; sr)

1.1.1 ความเข้มส่องสว่าง

ความเข้มส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่กำหนดมาให้ คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด แพร่กระจายไปยังมุมเชิงของแข็งย่อย ที่กำหนดมาให้ต่อมุมเชิงของแข็ง

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (1)$$

โดยที่

I	คือความเข้มส่องสว่าง (แคนเดลา)
$d\phi$	คือฟลักซ์ส่องสว่างย่อย (ลูเมน)
$d\omega$	คือมุมเชิงของแข็งย่อย (สเตอเรเดียน)

1.1.2 ความเข้มแสง

ความเข้มแสงที่จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นผิว คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างที่พุ่งไปที่พื้นผิวย่อยต่อพื้นที่ผิวย่อยนั้นๆ

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (2)$$

โดยที่

E	คือความเข้มแสง (ลักซ์)
$d\phi$	คือฟลักซ์ส่องสว่างย่อย (ลูเมน)
dA	คือพื้นที่ผิวย่อย (ตารางเมตร)

1.1.3 ความส่องสว่าง

ความส่องสว่างที่จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นผิวของแหล่งกำเนิดแสง หรือตัวรับแสงในทิศทางที่กำหนดให้ หรือจุดที่อยู่ในเส้นทางของแสงคืออัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ส่องสว่างที่ออกหรือเข้ามา หรือส่องผ่านพื้นผิวย่อยที่จุดนั้น และแพร่กระจายในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อส่วนย่อย

ของกรวยตามทิศทางที่กำหนดให้ ต่อผลของมุมเชิงของแข็งของรูปกรวยต่อพื้นที่ของการฉายเงา โดยตรงของพื้นผิวย่อยบนระนาบตั้งฉากในทิศทางที่กำหนดให้

$$L = \frac{d^2 \varphi}{d\omega \times dA \times \cos \varepsilon} \quad (3)$$

โดยที่

L คือความส่องสว่าง (แคนเดลาต่อตารางเมตร)
 $d\varphi$ คือฟลักซ์ส่องสว่างย่อย (ลูเมน)
 dA คือพื้นที่ผิวย่อย (ตารางเมตร)

1.1.4 ฟลักซ์การส่องสว่าง

ฟลักซ์การส่องสว่าง คือ พลังงานแสงที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหน่วย
 เวลา

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \quad (4)$$

โดยที่

φ คือฟลักซ์การส่องสว่าง (ลูเมน)
 Q คือพลังงานแสงสว่าง (ลูเมนวินาที)
 t คือเวลา (วินาที)

1.1.5 มุมตัน

มุมตัน คือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมต่อ รัศมีของทรงกลมยกกำลังสอง

$$\omega = \frac{A_m}{r^2} \quad (5)$$

โดยที่

ω	คือมุมตัน (สเตอเรเดียน)
A_m	คือพื้นที่ผิวทรงกลม (ตารางเมตร)
r	คือรัศมีทรงกลม (เมตร)

1.2 การคำนวณระบบแสงสว่างภายใน (ศุติ , 2538)

การคำนวณระบบแสงสว่างภายในนี้ แบ่งออกเป็น 2 หลักการใหญ่ๆ คือ วิธีการออกแบบสำหรับความเข้มแสงเฉลี่ย และวิธีการแบบความเข้มแสงโดยตรง

1.3 การกระจายความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity Distribution) (ศุติ , 2538)

การกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม เป็นข้อมูลที่จะบอกให้ทราบว่า ดวงโคมมีการกระจายแสงอย่างไร มีลำแสงกว้างแคบมากน้อยแค่ไหน การกระจายของแสงมีลักษณะสมมาตรหรือไม่ เป็นต้น การกระจายความเข้มของแสงสว่างดวงโคม จะวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดการกระจายของแสง (Distribution Photometer)

1.4 ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม (Photometric Luminaire Data) (ศุติ , 2538)

ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม หรือข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างเป็นข้อมูลที่ผู้ออกแบบไฟฟ้าแสงสว่าง และผู้เลือกใช้ดวงโคมจะต้องให้ความสำคัญ เพราะเป็นข้อมูลที่จะบอกให้ทราบว่าดวงโคมที่เลือกใช้มีการกระจายแสงอย่างไร เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ หรือไม่ เช่น ถ้าแสงไม่กว้างหรือแคบจนเกินไป คือในห้องที่มีขนาดเล็กควรใช้ดวงโคมที่มีการกระจายแสงแคบ เพื่อไม่ให้สว่างส่วนใหญ่ตกลงบนผนัง ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้น้อย หรือในทางตรงกันข้าม เราจะเลือกใช้โคมที่มีการกระจายแสงกว้างในห้องที่มีขนาดใหญ่ เป็นข้อมูลที่นำไปใช้หาค่าความสว่างที่จุดใดๆ ได้โดยการคำนวณด้วยกฎกำลังสองผกผันร่วมกับกฎโคไซน์ และเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้คำนวณหาข้อมูลตัวอื่นๆ ได้อีกหลายตัว เช่น สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์แสง ความส่องสว่างเฉลี่ยในระนาบหลักที่มุมต่างๆ ที่วัดจากแนวดิ่ง ฯลฯ

1.5 การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสง (ศุภี , 2538)

การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม โดยทั่วไปจะแสดงได้หลายแบบ เช่น

- ตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่าง (Luminous Intensity Table)
- เส้นโค้งโพลาร์ (Polar Curves)
- โซนอลฟลักซ์ (Zonal Flux)
- เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า (Isocandela Curver)

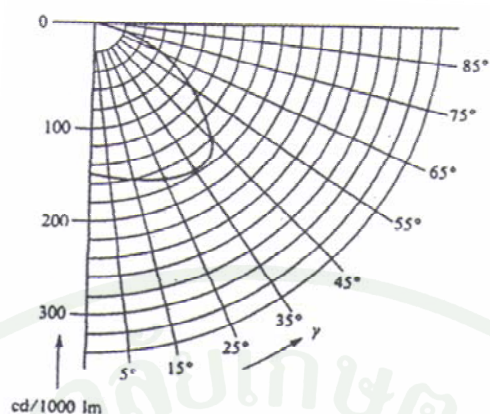
การนำเสนอข้อมูลการกระจายของดวงโคม แต่ละแบบนี้จะมีข้อดีข้อเสีย และการนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดวงโคมว่าเป็นดวงโคมใช้งานภายในอาคาร โคมไฟส่อง โคมไฟถนน ฯลฯ การนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณ ถ้าใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ การนำเสนอข้อมูลในรูปของตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างจะเหมาะสมที่สุด เพราะมีข้อมูลละเอียด แต่ผู้ใช้ดวงโคมจะดูลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมได้ยาก แต่การนำเสนอในรูปแบบของเส้นโค้งโพลาร์ หรือเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า จะแสดงให้เห็นลักษณะของการกระจายแสงของดวงโคมได้ง่ายกว่า

1.5.1 ตารางข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่าง

การนำเสนอข้อมูลแบบนี้ เป็นการนำเสนอในรูปตารางตัวเลขเหมาะกับการนำไปใช้ในการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ มีความละเอียดสูง แต่มีข้อเสียคือดูลักษณะการกระจายแสงยาก เนื่องจากดูความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของค่าความเข้มส่องสว่างที่มุมต่างๆ ยาก

1.5.2 เส้นโค้งโพลาร์

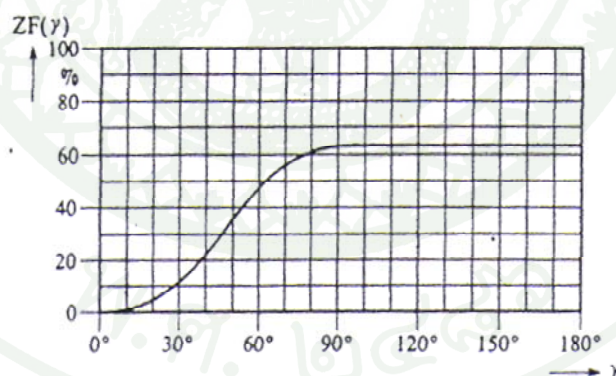
การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของเส้นโค้งโพลาร์ จะใช้กระดาษกราฟวงกลมโดยใช้แนวรัศมีแสดงขนาดของมุม ที่วัดจากแนวดิ่งลงจนถึงแนวดิ่งขึ้น (0 องศาถึง 180 องศา) และให้ความยาวของรัศมี (หรือขนาดของวงกลม) แทนค่าความส่องสว่างที่มีหน่วยเป็นแคนเดลา การนำเสนอแบบนี้นิยมใช้แสดงข้อมูลของดวงโคมที่มีแกนอ้างอิงตั้งลงมาข้างล่างเวลาติดตั้งใช้งาน เช่น ดวงโคมติดตั้งภายในอาคาร (โคม Downright โคมใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์) โดยปกติมักจะแสดงเพียงครึ่งซีกเท่านั้น เนื่องจากมีความสมมาตรระหว่างซีกซ้ายมือกับขวามือ



ภาพที่ 1 เส้นโค้งโพลาร์

1.5.3 โชนอลฟลักซ์

การนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของโชนอลฟลักซ์เป็นการบอกลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมในรูปของปริมาณฟลักซ์ส่องสว่าง มีหน่วยเป็นลูเมน ซึ่งเป็นค่าผลรวมเฉลี่ยของฟลักซ์ในแต่ละโชนดังแสดงในภาพที่ 2

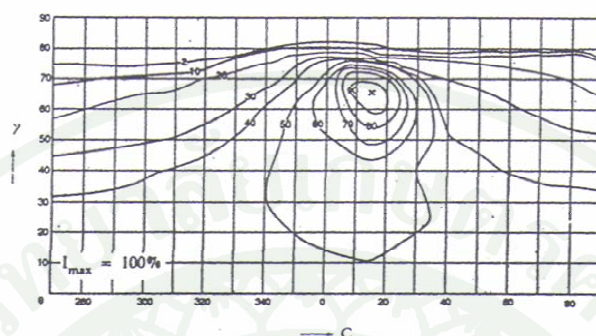


ภาพที่ 2 เส้นโค้งกราฟโชนอลฟลักซ์

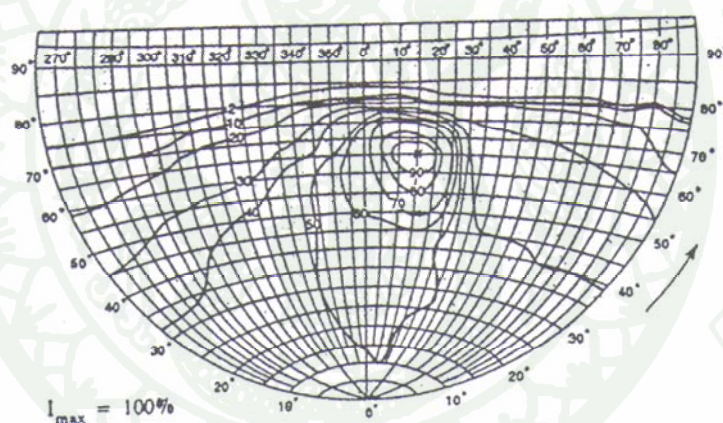
1.5.4 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า

การนำเสนอข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม ในรูปของเส้นโค้งความเข้มแสงเท่า จะเริ่มต้นด้วยการจินตนาการว่ามีทรงกลมจินตภาพรูปหนึ่งล้อมรอบดวงโคมไว้ โดยดวงโคมจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมจินตภาพ จากนั้นจะลากเส้นไปบนผิวของทรง

กลมจินตภาพนี้ ตามแนวที่มีค่าความเข้มส่องสว่างเท่ากัน เช่นเดียวกับการทำแผนที่แสดงชั้นความสูงที่เท่ากันของพื้นผิวโลก การกำหนดที่จุดตำแหน่งใดๆ บนผิวทรงกลมจะขึ้นอยู่กับระบบของโกนิโอมิเตอร์ที่ใช้วัดข้อมูล



(ก) เส้นโค้งความเข้มแสงเท่ารูปสี่เหลี่ยม



(ข) เส้นโค้งความเข้มแสงเท่ารูปวงกลม

ภาพที่ 3 เส้นโค้งความเข้มแสงเท่า

ข้อมูลการกระจายแสงหรือการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม จัดเป็นข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการทางแสงโดยตรง เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างมาก เพราะเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับคำนวณหาข้อมูลที่จะบอกสมรรถนะตัวอื่นๆ ของดวงโคม เช่น ประสิทธิภาพ สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์แสง ความกว้างของลำแสง การจัดประเภทของดวงโคม ฯลฯ เมื่อเข้าใจถึงหลักการวัดการกระจายแสง และรูปแบบของการนำเสนอข้อมูลการกระจายแสงแล้ว จะทำให้สามารถทำความเข้าใจข้อมูลตัวอื่นๆ ที่ติดตามมาได้อย่างง่าย

2. โคมไฟฟ้าและหลอดไฟฟ้า

2.1 โคมไฟฟ้า

โคมไฟฟ้าที่ใช้ในการให้แสงสว่างภายในอาคารมีมากมายหลายชนิดตามวัตถุประสงค์การใช้งานเช่น โคมไฟแบบเปลือย โคมไฟรูปตัววี โคมไฟโรงงาน โคมไฟแบบมีแผ่นกรองแสง โคมไฟตะแกรง AL โคมไฟส่องลง (Downlight) โคมไฟ Highbay เป็นต้น ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะโคมไฟส่องลง (Downlight)

โคมไฟส่องลง (Downlight) เป็นกลุ่มของโคมไฟซึ่งมีมากมายหลายชนิด และมีการใช้กันมากรองจากโคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ประสิทธิ์, 2530) เป็นโคมไฟที่ใช้กันเกือบทุกบริเวณภายในอาคาร เช่น บ้าน อพาร์ทเมนต์ คอนโดมิเนียม อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม ร้านอาหารต่างๆ เป็นต้น ส่วนมากใช้กับงานที่ต้องการระบบแสงสว่างที่สวยงาม และให้บรรยากาศที่ดี

2.2 หลอดไฟฟ้า

หลอดไฟฟ้าสำหรับโคมไฟแบบส่องลง (Downlight) ที่นิยมใช้ในการให้แสงสว่างภายในอาคาร มี 2 ชนิดคือ หลอดไส้และ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

2.2.1 หลอดไส้

ใช้สำหรับไฟส่องลง (Downlight) เพื่อสร้างบรรยากาศ ซึ่งสามารถหรี่เพื่อปรับความสว่างได้ เป็นหลอดที่ให้สีดีมาก ($R_a = 100$) แต่มีข้อเสียคือมีประสิทธิภาพการส่องสว่างและอายุการใช้งานที่ต่ำ (ประสิทธิ์, 2530)

2.2.2 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

หลอดชนิดนี้มีขั้วแบบ E14 E27 ซึ่งสามารถใช้แทนหลอดไส้ได้ เหมาะกับการใช้สำหรับไฟส่องลง (Downlight) ที่ต้องใช้ติดต่อกันนานๆ มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไส้ แต่ไม่สามารถหรี่เพื่อลดความสว่างได้ (ประสิทธิ์, 2530)

3. แอลอีดี

3.1 นิยามแอลอีดี

แอลอีดีเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอดเหมือนไดโอดทั่ว ๆ ไปที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ประกอบกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อไดโอดถูกไบอัสไปข้างหน้าจะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน P ก่อให้เกิดพลังงานในรูปของประจุโฟตอน ซึ่งจะเปล่งแสงออกมา มีการประยุกต์แอลอีดีไปใช้งานอย่างกว้างขวางส่วนมากใช้ในภาคแสดงผล (display unit) โดยทั่วไปแอลอีดี จะมีด้วยกัน 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แอลอีดี ชนิดที่ตาคนมองเห็นได้กับ ชนิดที่ตาคนมองไม่เห็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน

แอลอีดีสามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบ เมื่อได้รับไบอัสไปข้างหน้า ปรากฏการณ์นี้อยู่ในรูปของ electroluminescence สีของแสงที่เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ และเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงแสงที่มองเห็น และช่วงอินฟราเรด แอลอีดีสามารถนำไปใช้งานในการแสดงผลโดยทั่ว ๆ ไป เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟธรรมดาแล้วจะสามารถทำงานโดยใช้แรงดันและกระแสไฟที่น้อยกว่ามาก ปกติจะใช้กระแสอยู่ช่วงระหว่าง 5 - 20 มิลลิแอมป์ในทางทฤษฎี ข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงแบบทั่วไปทั้งทางด้านการประหยัดพลังงาน ความปลอดภัย ความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งาน รวมทั้งคุณภาพของแสงที่ได้ จึงทำให้ปัจจุบันแอลอีดีเริ่มได้รับความนิยม และถูกนำไปใช้ในงานส่องสว่างรูปแบบต่างๆ อย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งข้อได้เปรียบของแอลอีดีสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 1) อายุการใช้งาน 100,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอดไส้มีอายุเพียง 1,000 ชั่วโมง
- 2) กินกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 2 ถึง 5 เท่าโดยเฉพาะกับหลอดที่มีไส้ เช่น หลอดทังสเตนหรือหลอดฮาโลเจน โดยให้แสงสว่างใกล้เคียงกัน
- 3) แสงสำหรับการส่องสว่างที่ได้จะไม่รังสียูวี หรือ อินฟราเรด (ความร้อน) ซึ่งจะเหมาะกับงานส่องสว่างภาพศิลปะ อาหาร เครื่องสำอาง เครื่องประดับ
- 4) มีความปลอดภัย เนื่องจากแอลอีดีทำงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ เหมาะสำหรับติดตั้งในพื้นที่ที่ผู้ใช้อาจจะสัมผัสกับหลอดหรือขั้วหลอดได้ง่ายเช่น ตู้เสื้อผ้า หรือตู้โชว์
- 5) มีขนาดเล็ก สามารถออกแบบและติดตั้งในสถานที่ที่หลอดแบบอื่นๆ ติดตั้งไม่ได้

6) มีความทนทาน เนื่องจากว่าไม่มีไส้หลอด หรือส่วนที่สามารถแตกหักได้ สามารถออกแบบให้ใช้กับงานที่มีความสั่นสะเทือนสูงได้เช่น ไฟสำหรับเครื่องจักรกล หรือพื้นที่ขึ้นลงสินค้าจากรถบรรทุก

7) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะว่าไม่มีองค์ประกอบของปรอท ตะกั่ว หรือสารเป็นพิษอื่นๆ ซึ่งต่างจากหลอดไฟประเภทอื่นเช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งจะมีปรอทเป็นองค์ประกอบ

8) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้สีด้วยตัวเอง ไม่ต้องใช้ฟิลาเตอร์ แสงที่ได้มีความอิ่มตัวสูงและเที่ยงตรง

9) สามารถควบคุมการทำงานได้หลากหลายตามจินตนาการของผู้ออกแบบ สามารถทำงานได้ทันทีโดยไม่ต้องมีการอุ่นหลอด อีกทั้งสามารถที่จะควบคุมความเข้มแสงได้ง่ายและมีราคาถูก

10) มีแม่สีหลักครบทั้งสามสีคือ แดง เขียว น้ำเงิน สามารถนำมาผสมกันเพื่อสร้างสีใหม่ได้ไม่จำกัด หรือสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิสีของแสงขาวได้ง่ายโดยการผสมสีอำพันหรือสีน้ำเงินเข้าไป

3.2 ประเภทของแอลอีดี

แอลอีดีโดยทั่วไป หากพิจารณาตามลักษณะแสงที่เปล่งออกมา สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แอลอีดีชนิดที่มองเห็นได้ กับชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้

3.2.1 แอลอีดีชนิดที่มองเห็นได้

คือแอลอีดีที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สายตาค人可以มองเห็นได้ โดยความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งจากแอลอีดีจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำไดโอดและส่วนผสมของสารเจือปน

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแอลอีดี ความยาวคลื่นและสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ

สีของแอลอีดี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ
แดง	700	แกเลียมฟอสไฟด์ (GaP) เจือด้วย Zn
แดง	660	อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ (AlGaAs)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สีของแอลอีดี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำ
ส้มแดง	630	แกเลียมอาร์เซไนด์ ฟอสไฟด์ (GaAsP)
ส้ม	610	แกเลียมอาร์เซไนด์ ฟอสไฟด์ (GaAsP)
เหลือง	590	แกเลียมฟอสไฟด์ (GaP)
เหลืองเขียว	565	แกเลียมฟอสไฟด์ (GaP) เจือด้วย N
เขียว	555	แกเลียมฟอสไฟด์ (GaP)
น้ำเงิน	490	แกเลียมไนไตรด์ (GaN)
น้ำเงิน	480	ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)
น้ำเงิน	470	อินเดียมแกเลียมไนไตรด์ (InGaN)

สำหรับกลวิธีในการสร้างแอลอีดีที่ให้แสงสีขาวมี 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 คือ การรวมเอาต์พุตของแอลอีดีที่ความยาวคลื่นสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยอาศัยหลักการรวมตามทฤษฎีแสงสี เพื่อสร้างให้เกิดเป็นแสงสีขาว แต่เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบความเข้มแสงที่ได้จากแอลอีดีแต่ละสีจะพบว่าแสงสีแดงจะมีความสว่างมากกว่าแสงสีน้ำเงินอยู่มาก (ที่กระแสบั๊บเท่าๆ กัน) จึงทำให้ต้องใช้แอลอีดีสีน้ำเงิน 2 ตัวต่อสีแดง 1 ตัว เพื่อให้ความเข้มแสงมีความสมดุลกัน

วิธีที่ 2 การทำโดยอาศัยกระบวนการผลิตที่ใช้สารอินเดียมแกเลียมไนไตรด์ (InGaN) เพื่อสร้างแอลอีดีสีน้ำเงินที่เปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร โดยฉาบฟอสฟอรัสที่ภายในเลนส์รวมแสงของแอลอีดี สารฟอสฟอรัสจะทำให้เกิดแสงสีขาวนวนในลักษณะเดียวกับแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งถ้าหากเพิ่มปริมาณของสารฟอสฟอรัสที่ฉาบภายในให้มากขึ้นแสงที่ได้ออกมาก็จะมีความนุ่มนวลมากตามไปด้วย แต่ความสว่างของแสงที่ได้จะลดลง แต่ในทางกลับกันถ้าลดปริมาณฟอสฟอรัสลงความสว่างของแอลอีดี จะเพิ่มขึ้นแต่ความนุ่มนวลของแสงก็จะลดลง เงื่อนไขที่กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารฉาบผิวเลนส์เป็นปัจจัยที่กำหนดคุณลักษณะของแสงที่เปล่งออกมา

3.2.2 แอลอีดีชนิดไม่สามารถมองเห็นได้

คือแอลอีดีที่เปล่งแสงในย่านใกล้อินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่น 890-900 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่สายตาคannotมองเห็นได้ต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน แอลอีดีชนิดนี้ทำจากสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงในย่านใกล้อินฟราเรด

3.3 โครงสร้างของหลอดแอลอีดี

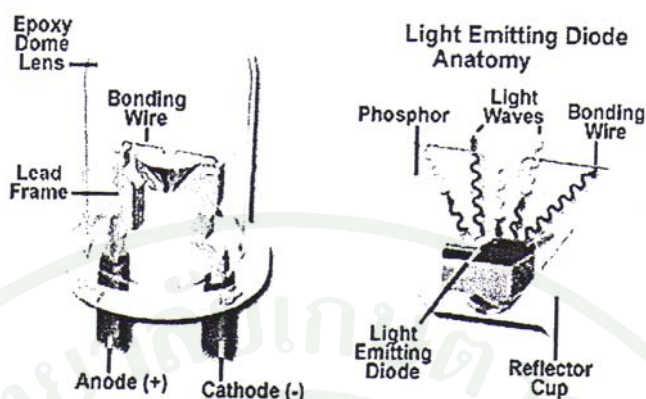
แอลอีดีมีรูปร่างและขนาดหลายรูปแบบ เช่น แอลอีดีแบบห้วมน แอลอีดีแบบสี่เหลี่ยม แอลอีดีแบบทรงกระบอก เป็นต้น โดยรูปร่างและขนาดจะแตกต่างกันตามการใช้งาน โดยปกติ แอลอีดีที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นแอลอีดีแบบห้วมนซึ่งทำด้วยพลาสติกโปร่งแสงดังแสดงใน ภาพที่ 4



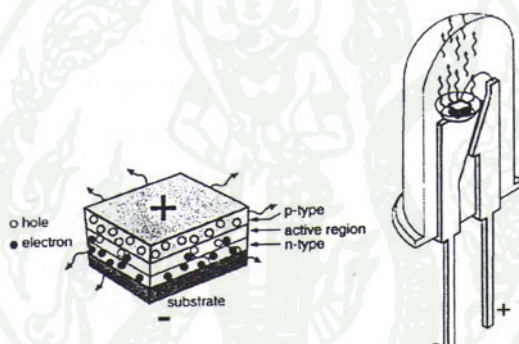
ภาพที่ 4 แอลอีดีแบบต่างๆ

โครงสร้างแอลอีดีประกอบด้วย

- 1) ชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor chip)
- 2) กรวยสะท้อนแสง (Reflector Cup)
- 3) ลวดที่เชื่อมต่อกับชิปสารกึ่งตัวนำ (Bonding Wire)
- 4) เลนส์ครอบบนอก (Epoxy Dome Lens)



ภาพที่ 5 โครงสร้างภายในของชิปสารกึ่งตัวนำ



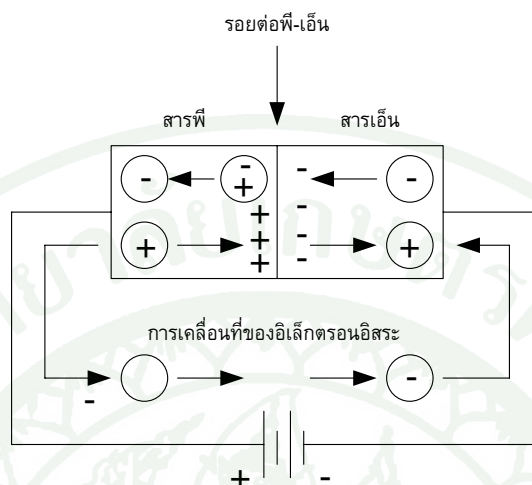
ภาพที่ 6 โครงสร้างหน้าตัดภายในของแอลอีดี

โครงสร้างของแอลอีดี ถูกหุ้มไว้ด้วยเลนส์ซึ่งอาจทำจากอีพอกซี เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับตัวชิปที่อยู่ภายใน และเป็นส่วนที่กรองเอาช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมา และยังช่วยกระจายแสงในทิศทางต่างๆ ด้วย

3.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของแอลอีดี

แอลอีดีประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อพีเอ็น จะเปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับการไบอัสตรง การไบอัสตรง คือ การจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดัน ภายนอกให้แก่แอลอีดี โดยการต่อขั้วบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และขั้วลบเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อพีเอ็น หรือเข้าสู่ชั้นผิวทำงาน ในขณะเดียวกันแรงดันที่จ่ายให้ นี้ก็จะทำให้อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเคลื่อนที่ออกมาและเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่าย

แรงดัน ดังนั้นจึงเกิดช่องว่างระหว่างโฮลขึ้น อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจึงสามารถเข้ามารวมได้ทำให้แอลอีดีสามารถนำกระแสได้



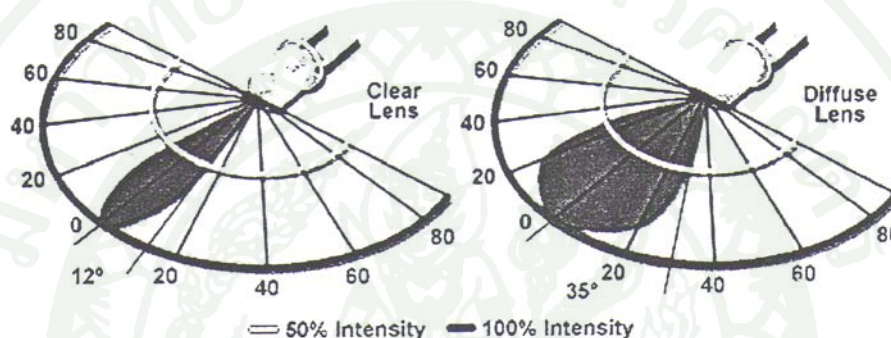
ภาพที่ 7 การไหลของกระแสอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ

ถ้าจ่ายแรงดันกลับขั้วไปจากเดิม คือการต่อขั้วบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และขั้วลบเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะเรียกว่าการไบอัสกลับ (Reverse Bias) เมื่อทำเช่นนี้ อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะเคลื่อนที่ออกห่างจากรอยต่อ ในขณะที่เดียวกันอิเล็กตรอนจากแหล่งจ่ายแรงดัน ก็จะเข้าไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ยิ่งทำให้ชั้นผิวทำงานกว้างขึ้น อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ไม่สามารถข้ามชั้นผิวการทำงานที่กว้างขึ้น ไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีได้ แอลอีดีจึงไม่สามารถนำกระแสได้ ในความเป็นจริงทางการปฏิบัติจะมีอิเล็กตรอนบางตัวจะอยู่ใกล้ๆ รอยต่อสามารถข้ามไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเล็กน้อย ส่งผลทำให้กระแสไหลขึ้นเป็นจำนวนน้อยมากๆ นั่นคือเกิดเป็นกระแสรั่วไหลขึ้น (Leakage current) การไบอัสกลับหากจ่ายไฟแรงดันสูงมากๆ และจ่ายเป็นระยะเวลานาน ก็จะทำให้แอลอีดีเสีย แต่ก็มีมีการนำการไบอัสกลับนี้ไปใช้กับอุปกรณ์ที่เรียกว่า ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) อันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแรงดันให้คงที่

3.5 คุณสมบัติการกระจายแสงของแอลอีดี

แอลอีดีที่ใช้งานกันโดยทั่วไป มีมุมการกระจายแสงที่แคบมาก คือประมาณ 12 องศา ในแต่ละด้านเทียบจากจุดศูนย์กลางของหลอด (มุมการกระจายของแสง หมายถึง มุมที่ความเข้มของ

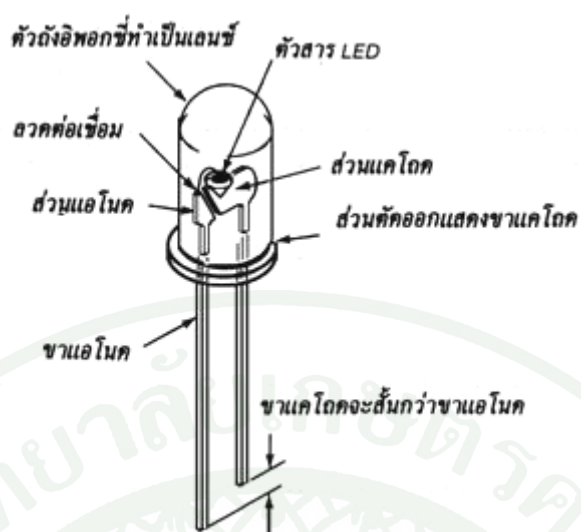
แสงมีค่าลดลงไป 50 เปอร์เซ็นต์จากค่าสูงสุด) มุมการกระจายแสงที่แคบนี้เหมาะกับการใช้งานเช่น การใช้เป็นแบล็กไลต์บนแผงควบคุม เพราะแสงของแอลอีดีจะถูกส่งตรงไปยังจุดที่ต้องการ โดยไม่กระเจิงไปในทิศทางอื่นมากนัก อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการให้แอลอีดีมีมุมการกระจายของแสงที่กว้างขึ้นก็สามารถทำได้โดยในกระบวนการผลิต ที่มีการผสมแก้วเข้าไปในเนื้อเลนส์ฟอกซีของแอลอีดีวิธีนี้สามารถช่วยให้มุมการกระจายของแสงเพิ่มขึ้น เป็น 35 องศา อย่างไรก็ตามเมื่อมุมการกระจายของแสงเพิ่มมากขึ้น ก็ทำให้ความเข้มของแสงในทิศทางเดิม (ที่มุมการกระจายแสง 0 องศา ถึง 12 องศา) ก็จะลดลงไป เนื่องจากพลังงานแสงที่ได้จากแอลอีดียังคงมีค่าเท่าเดิม



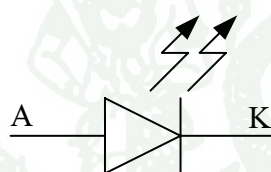
ภาพที่ 8 ลักษณะการกระจายแสงของแอลอีดี

3.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแอลอีดี

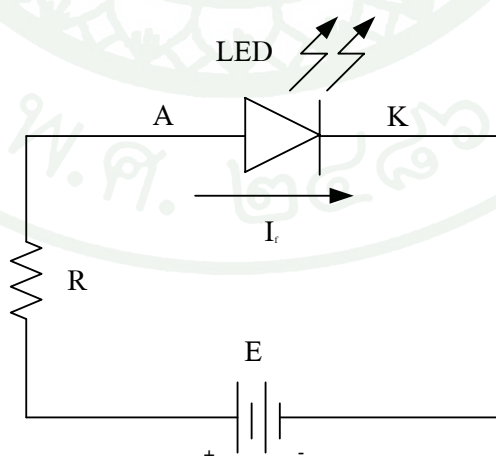
แอลอีดีมี 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทดและแอโนด ขั้วแคโทดจะอยู่ตรงด้านรอยบาก หรือเป็นขาที่สั้นกว่าอีกขาหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 9 หรืออาจจะทดสอบหาขั้วโดยใช้วงจรพื้นฐานในภาพที่ 11 โดยการทดลองกลับขั้วของแอลอีดีและถ้าแอลอีดีติดสว่าง ขั้วแคโทดจะเป็นขาที่ต่ออยู่กับขั้วลบของแบตเตอรี่



ภาพที่ 9 คุณลักษณะทางกายภาพของแอลอีดี



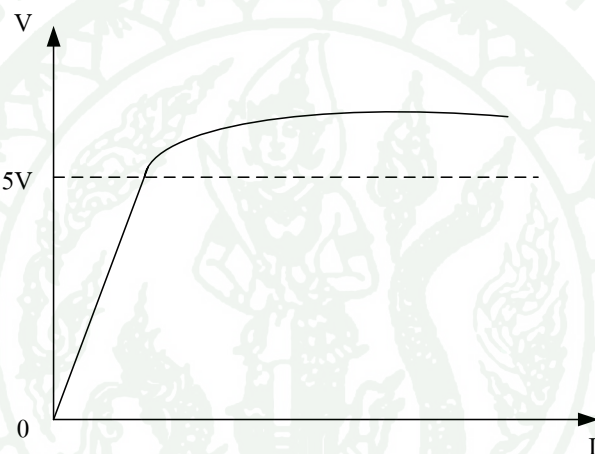
ภาพที่ 10 สัญลักษณ์ของแอลอีดี



ภาพที่ 11 วงจรการทดสอบขั้วของแอลอีดี

3.7 การนำแอลอีดีไปใช้งาน

แอลอีดีจะทำงานด้วยกระแสไฟฟ้า (Current Driven) โดยทั่วไปกระแสขับแอลอีดีได้จากการนำตัวต้านทานต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน เพื่อจำกัดกระแสที่ป้อนให้กับแอลอีดี เมื่อแอลอีดีได้รับกระแสไบอัสตรง จะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 2 โวลต์ ถ้าแอลอีดีได้รับการไบอัสกลับ ก็จะเกิดปรากฏการณ์ อะวอลานซ์ หรือซีเนอร์เช่นเดียวกับไดโอดชนิดอื่นๆ แต่ค่าแรงดันนั้นจะมีค่าน้อยกว่า ดังแสดงในภาพที่ 12 โดยทั่วไป แอลอีดีจะทนแรงดันย้อนกลับได้สูงสุดประมาณ 3 ถึง 5 โวลต์



ภาพที่ 12 กราฟของแอลอีดีเมื่อได้รับการไบอัสกลับ

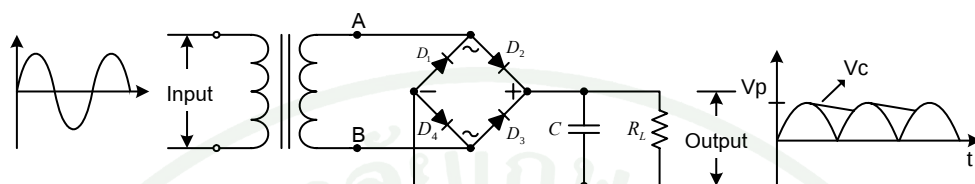
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ นั่นคือ แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น และแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ซึ่งแหล่งจ่ายไฟแต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวถึงแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นซึ่งก็คือวงจรเรียงกระแสนั่นเอง

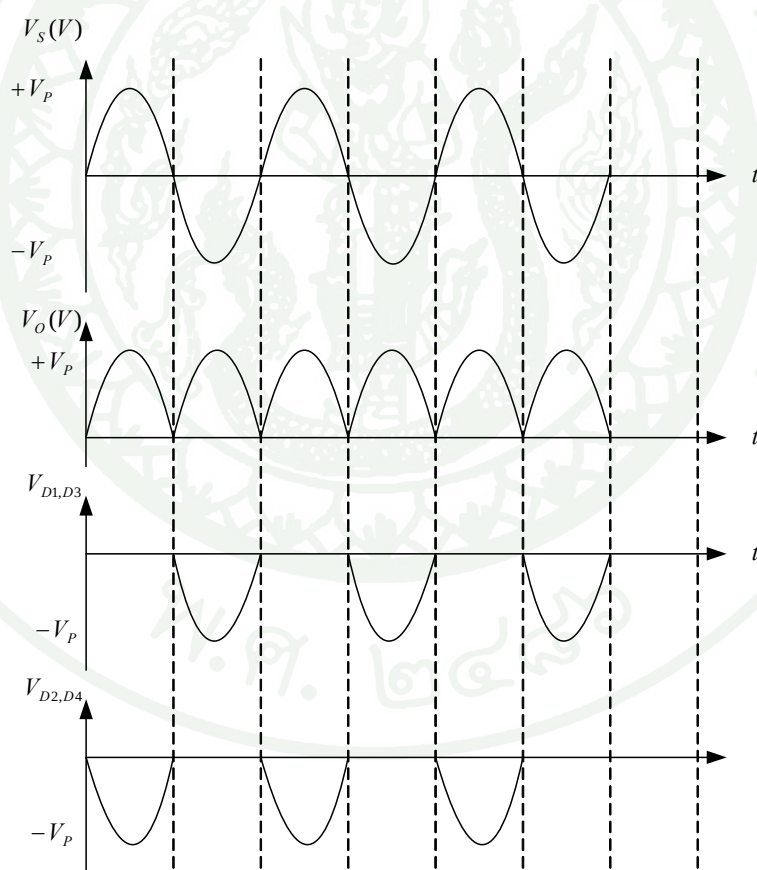
4.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรที่ให้สัญญาณออกเป็นรูปเต็มคลื่น (full wave) แบบหนึ่งก็คือวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบ แต่ที่ต่างกันคือในวงจรบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงจะเป็นแบบไม่มีเซ็นเตอร์แท็ป วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ โดยการทำงานของวงจรเมื่อได้รับสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาอยู่

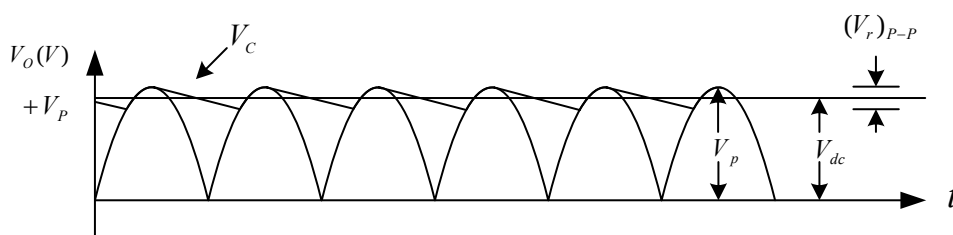
ในช่วงครึ่งคลื่นบวก การทำงานของวงจรโดยสัญญาณแรงดันไฟบวกที่ป้อนเข้ามาส่วนบนของวงจรบริดจ์จะส่งผลทำให้ไดโอดอยู่ในสถานะ ON จึงทำให้อิเล็กตรอนจากส่วนล่างของวงจรบริดจ์ซึ่งเป็นแรงดันไฟลบไหลผ่านโหลด



ภาพที่ 13 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ชนิดไดโอดพร้อมตัวเก็บประจุ (L. Boylestad and Nashelsky, 2002)



ภาพที่ 14 คลื่นเรียงกระแสแบบบริดจ์ชนิดไดโอดเมื่อไม่ต่อคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์



ภาพที่ 15 คลื่นเรียงกระแสแบบบริดจ์ชนิดไดโอดเมื่อต่อคาปาซิเตอร์ฟิเตอร์

จากภาพที่ 13 เมื่อมีสัญญาณไฟซีกบวกเข้ามาที่จุด A จะทำให้ที่ D_2 และ D_4 ได้รับไบอัสไปข้างหน้า กระแสไฟจะไหลผ่าน D_2 โหลด R_L และ D_4 ครอบคลุมวงจรที่จุด B ในขณะเดียวกันที่ D_1 และ D_3 จะได้รับไบอัสย้อนกลับ ทำให้ไดโอดไม่นำกระแส และเมื่อที่จุด B มีสัญญาณไฟซีกบวกเข้ามา กระแสจะไหลผ่าน D_3 โหลด R_L และ D_1 ครอบคลุมวงจรที่จุด A แต่ในขณะเดียวกันที่ D_2 และ D_4 จะไม่นำกระแสวงจรบริดจ์จะให้สัญญาณเอาต์พุตเหมือนกับวงจรฟูลเวฟ

$$V_{dc} = 0.636V_p \quad (6)$$

ถ้าคิดแรงดันตกคร่อมไดโอด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{dc} = 0.636(V_p - 1.4) \quad (7)$$

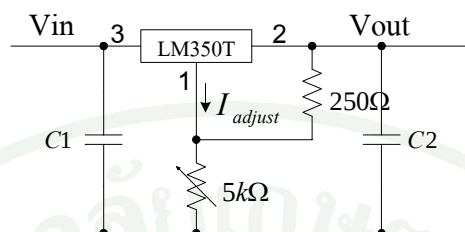
จากภาพที่ 15 เมื่อต่อคาปาซิเตอร์ฟิเตอร์แรงดัน dc ก็จะมีค่าเรียบและมีค่าสูงขึ้นซึ่งอัตราการลอคคลื่นไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้จากสมการ (L. Boylestad and Nashelsky, 2002)

$$r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} = \frac{2.4 \times I_{dc(mA)}}{C_{(\mu F)} \times V_{dc}} \times 100\% \quad (8)$$

5. วงจรเรกูเลเตอร์

วงจรเรกูเลเตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ซึ่งมีหลายเบอร์ใช้งาน เช่น 78xx , 79xx หรือ LM350 (ดูภาคผนวก) ในที่นี้จะขอกล่าวถึง IC regulator เบอร์ LM350 มีหลักการทำงานคือขา 3 เป็นแรงดันด้านเข้า ขา 2 เป็นแรงดันด้านออก ขา 1 เป็น adjust ซึ่งผลต่าง

ของแรงดันด้านเข้ากับด้านออกจะต้องอยู่ในช่วง 1.25-35V โดยแรงดันด้านออกจะสามารถปรับได้ โดยความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 1 ซึ่งแสดงดังภาพที่ 16

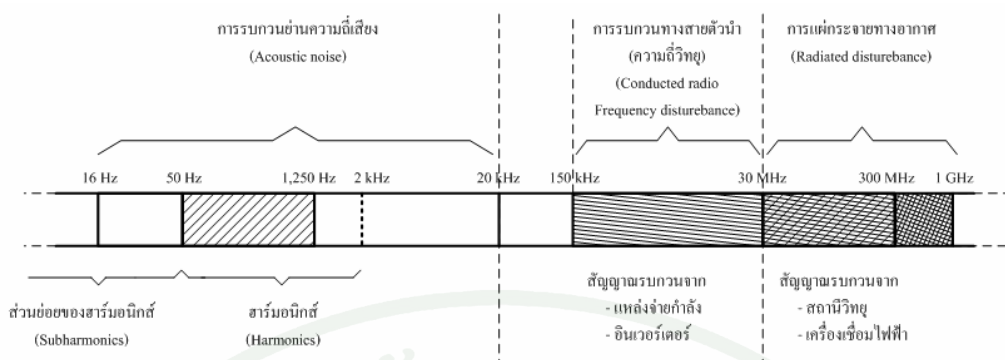


ภาพที่ 16 วงจรเรกูเลเตอร์ที่ใช้ IC regulator เบอร์ LM350

6. การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) อาจจะทำให้การทำงานของ อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบมีความผิดพลาดหรือเกิดความเสียหายได้ ซึ่งเมื่อใดก็ตามที่การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าง่ายๆ ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานหรือเกิดความเสียหายต่อ อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบ การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าง่ายๆ จะเรียกว่าเป็น สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าหรือการแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic interference : EMI) ซึ่งก็หมายถึงสัญญาณที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบนั่นเอง (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล, 2549)

โดยทั่วไปการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบตามย่านความถี่ ดังแสดงในภาพที่ 17 การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ในย่าน 0 Hz ถึงประมาณ 2,000 Hz จะจัดอยู่ในย่านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำหรือที่นิยมเรียกกันว่า “ฮาร์โมนิกส์” (Harmonics) ซึ่งจะมีผลทำให้สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลังมีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์และนอกจากนั้นยังเพิ่มความสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังอีกด้วย (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล, 2549)



ภาพที่ 17 ย่านความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล, 2549)

ส่วนย่านความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าหรือบางครั้งเรียกแทนว่าการรบกวนความถี่วิทยุ (Radio frequency disturbance) จะจัดอยู่ในการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยเริ่มพิจารณาความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 1GHz สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ ที่ความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (Conducted EMI) และย่านความถี่ตั้งแต่ 30 MHz ถึง 1 GHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ (Radio EMI) ซึ่งทั้งสองแบบจะมีรูปแบบในการรบกวนและวิธีการตรวจสอบจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามโดยแท้จริงแล้วคำว่า “ การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ” กับ “ การรบกวนความถี่วิทยุ ” จะไม่สามารถนำมาใช้แทนกันได้ เพราะการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเพียงส่วนหนึ่งในย่านความถี่วิทยุเท่านั้น (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล, 2549)

กล่าวในทำนองเดียวกัน สำหรับการแก้ปัญหาฮาร์โมนิกของวงจรหนึ่ง จะนับว่าเป็นการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่ความถี่ถึง 2,000 Hz เท่านั้น ยังไม่ถือว่าเป็นการป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล, 2549)

อีกกรณีหนึ่ง คือ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบ ไม่ถือว่าเป็นการป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์เช่นกัน เพราะเป็นการแก้ปัญหาในย่านความถี่ 50 Hz ถึงประมาณ 2,000 Hz (ย่านความถี่ฮาร์โมนิก) ซึ่งรูปแบบของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ต่ำ ซึ่งจะไม่ครอบคลุมถึงการแก้ไขสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูง (150 kHz ถึงประมาณ 30 MHz) (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล, 2549)

เครื่องมือหรือระบบบางแบบจะเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและตัวรับผลกระทบ โดยเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับผลกระทบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบด้วยกันคือ

1) การแผ่กระจาย (Radiation) หรือการเชื่อมต่อโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศหรือวัตถุอื่นๆ

2) การเชื่อมต่อผ่านทางสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

6.1 ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า

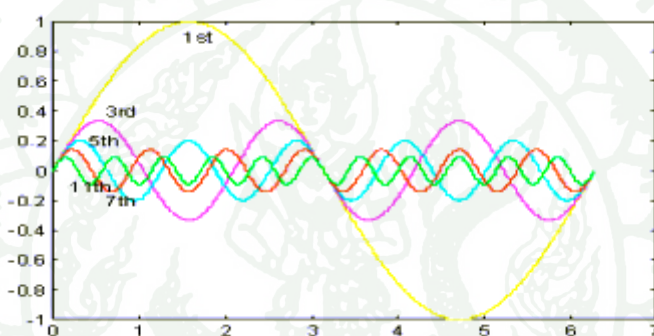
ในปัจจุบันการไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากในระบบไฟฟ้าและโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม ได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงกว่าเดิมในอดีต ซึ่งคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสและแรงดัน คือถ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ อาจจะทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้ ซึ่งเป็นปัญหาคือคุณภาพไฟฟ้าที่ต้องมีกาป้องกันและแก้ไข โดยสาเหตุหลักที่ทำให้กระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ มีสาเหตุเกิดจากฮาร์โมนิกส์ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งเนื่องจากปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์มีการใช้อุปกรณ์สมัยใหม่เทคโนโลยีสูงที่ทำจากอุปกรณ์ทางด้านโซลิตสเตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพและได้ปริมาณตามที่ต้องการและในอนาคตจะมีแนวโน้มการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ เช่นคอนเวอร์เตอร์ (Converter) ตัวเรียงกระแสกำลัง (Power Rectifier) และชุดขับเคลื่อนปรับความเร็ว (Adjustable Speed Drive) เป็นต้น

ด้วยผลของการใช้อุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ดังกล่าวจะจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายในของผู้ใช้ไฟเอง หรือถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีพิกัดขนาดใหญ่กระแสฮาร์โมนิกส์นั้นอาจไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าอื่นในบริเวณข้างเคียง จากผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ทำให้กระแสและแรงดันในระบบมีขนาดและรูปร่างเพี้ยน (Distortion) ไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายได้ และเพื่อเป็นการเตรียมพร้อมสำหรับการป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าในบ้านเรา ในบทความนี้จะกล่าวถึงความเข้าใจเบื้องต้น และภาพโดยรวมทั่วไปของฮาร์โมนิกส์ แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ และผลกระทบที่เกิดจากปัญหาฮาร์โมนิกส์เพื่อเป็นความเข้าใจเบื้องต้นก่อนที่จะศึกษาและ

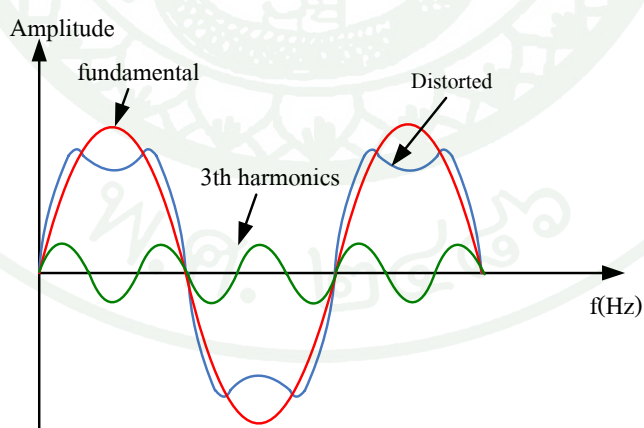
ทำการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกส์ขั้นต่อไปซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยทำให้ระบบไฟฟ้าในบ้านเรามีคุณภาพยิ่งขึ้น

6.2 คำนิยามฮาร์มอนิกส์

ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้าเรามีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 มีความถี่เป็น 150Hz และฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 มีความถี่เป็น 250Hz ฯ แสดงดังภาพที่ 18

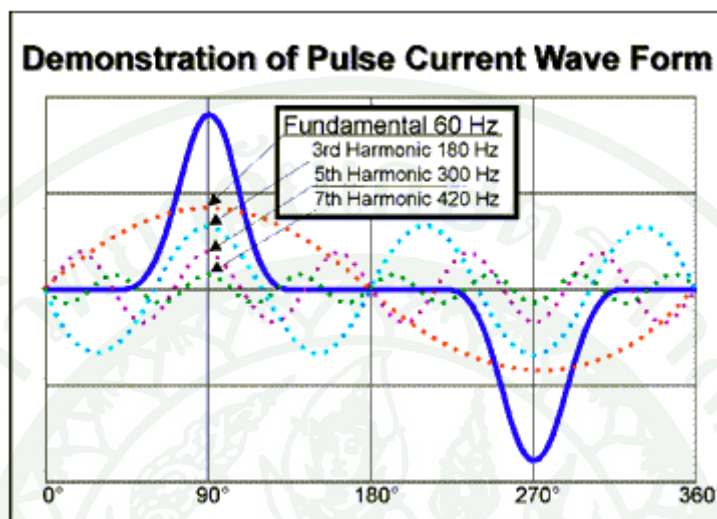


ภาพที่ 18 ฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ



ภาพที่ 19 รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากไซน์ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบความถี่หลักมูลที่มีฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3

ผลของฮาร์มอนิกส์เมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเปลี่ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงถึงฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน

6.3 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์

จากที่กล่าวมาโดยภาวะปกติการไฟฟ้าจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปสัญญาณคลื่นไซน์ให้กับโหลดประเภทต่างๆของผู้ใช้ไฟ แต่ในกรณีในระบบไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟบางรายมีโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) ซึ่งโหลดดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ กระแสฮาร์มอนิกส์นั้นจะไหลเข้าสู่ระบบของผู้ใช้ไฟเองและระบบไฟฟ้าข้างเคียง ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์จะทำให้เกิดแรงดันในระบบไฟฟ้าเปลี่ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ค่าความเพี้ยนของแรงดันจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของระบบและขนาดของกระแสฮาร์มอนิกส์ที่ความถี่ต่างๆ ด้วยผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ดังกล่าวไหลเข้าสู่ระบบใกล้เคียง อาจไปรบกวนการทำงานหรือสร้างความเสียหายแก่อุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟรายอื่นๆและอุปกรณ์ในระบบของการไฟฟ้าได้ ดังนั้นเรามีความเป็นที่จะต้องทราบว่าโหลดที่อยู่ในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมเรานั้น มีโหลดที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์หรือไม่ และโหลดประเภทใดเป็นโหลดที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์ เพื่อที่ทำความเข้าใจก่อนที่จะทำการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากฮาร์มอนิกส์ต่อไป เราสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ตามคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ได้ดังต่อไปนี้

6.3.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทั่วไปในบ้านพัก สำนักงาน ส่วนใหญ่เป็นชนิด 1 เฟส

1) อุปกรณ์ที่มีการใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching Mode Power Supply : SMPS เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

2) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

6.3.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

1) ตัวเรียงกระแสกำลัง (Power Rectifier)

2) เครื่องแปลงผันกำลังแบบสถิต (Static Power Converter :SPC)

3) ตัวโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller :PLC)

4) ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ (Adjustable Speed Drive :ASD)

6.3.3 อุปกรณ์ที่มีการทำงานประเภทอาร์ค

1) เตาหลอมแบบอาร์ค (Arc Furnace)

2) เตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnace)

3) เครื่องเชื่อมแบบอาร์ค/แบบสปอต (Arc Welding / Spot Welding)

6.3.4 อุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นของแรงดันและกระแสเนื่องจากการอิ่มตัวของแกนเหล็กทางแม่เหล็กไฟฟ้า

1) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

2) เครื่องกลไฟฟ้า (Electric Machine)

6.4 ผลกระทบของฮาร์มอนิกส์ที่มีผลต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ปัญหาฮาร์มอนิกส์ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 กรณี

- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีขนาดและรูปคลื่นสัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป

- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหายเนื่องจากมีค่า rms ของแรงดันหรือกระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์มอนิกส์ หรือมีการขยายของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากฮาร์มอนิกส์รีโซแนนซ์

ปัญหาฮาร์โมนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าดังนี้คือ

1) ผลของฮาร์โมนิกเรโซแนนซ์เกิดขึ้นในกรณีที่ความถี่เรโซแนนซ์ของระบบไปตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกทำให้เกิดการขยายขนาดของแรงดันและกระแสฮาร์โมนิก เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแสและแรงดันเกินปกติ

2) ผลของกระแสฮาร์โมนิกที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่ง ทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมากขึ้น ทำให้ ประสิทธิภาพ การส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์โมนิกทำให้ค่า rms ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น

3) ผลของกระแสฮาร์โมนิก Triple n (ลำดับที่ 3, 6, 9..) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกกลุ่มนี้จะรวมกันกันไหลอยู่ในสายนิว-ตรอล อาจทำให้สายนิวตรอนหรือหม้อ แปลงเสียหายได้หากไม่มีการออกแบบรองรับไว้

4) ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดและกำลังสูญเสียสเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการในรับโหลดของหม้อแปลงลดลงไป (derating) ผลของแรงดันฮาร์โมนิกทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis -Loss) เพิ่มขึ้น

5) ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเล็กตริก (Dielectric Stress) กับตัวคาปาซิเตอร์และอาจทำให้ฟิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการใช้งานปกติ ผลของแรงดันฮาร์โมนิกทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ และผลจากภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดขยายกระแสและแรงดันฮาร์โมนิกขนาดใหญ่ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์โมนิก คาปาซิเตอร์ที่ออกแบบสร้างจากผู้ผลิตได้กำหนดตามมาตรฐาน มาตรฐาน IEEE Std.18-1992

6) ผลของกระแสฮาร์โมนิกทำให้เกิดความร้อนในตัวฟิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเวลากระแส (Time-Current Characteristic) ของฟิวส์เปลี่ยนไป กรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นฟิวส์จะขาดก่อนในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่ฟิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุจะเป็นเหตุมาจากฮาร์โมนิกในกรณีที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นกัน

7) ผลของฮาร์โมนิกทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงานของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิด Electromagnetic ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน rms ส่วนการทำงานของรีเลย์ชนิด Digital ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จากการ Sampling และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ โดยลักษณะที่ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดดังนี้

- ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่า(Pickup Values) ที่สูง โดยปกติรีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงานด้วยค่าเริ่มต่ำๆ
- กรณีที่มีกระแสฮาร์โมนิกTriplenมากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด (False Trip)
- ทำให้รีเลย์ระยะทาง(Distance Relay)ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าอิมพีแดนซ์ที่ทำการเซตตั้งที่ความถี่หลักมูล
- ทำให้รีเลย์สถิตแบบความถี่ต่ำ (Static Underfrequency Relay) มีความไวกว่าปกติอาจทำให้เกิดการทริปผิดพลาด
- ทำให้รีเลย์กระแสและแรงดันเกิน (Overcurrent and Overvoltage Relay) ทำงานผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้
- ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง

8) ผลของกระแสฮาร์โมนิกส์มีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ คือทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลา di/dt มีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้เมื่อมีฮาร์โมนิกส์ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน

9) ผลของฮาร์โมนิกส์ทำให้มิเตอร์วัดค่าไฟฟ้า (Watt - Hour Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ประเภทจานเหนี่ยวนำ (Induction Disk) ทำการวัดค่าผิดพลาดได้ ซึ่งโดยปกติการปรับแต่งมิเตอร์นั้นจะทำการปรับแต่งที่ความถี่หลักมูล

10) ผลของฮาร์โมนิกส์ต่อเครื่องจักรไฟฟ้าทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสเกิดปรากฏการณ์ค็อกกิ้ง (Cogging) คือไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ จากการที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสและทำให้เกิดการออสซิลเลตทางกลของเครื่องจักรไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดของเครื่องจักร

11) ผลของฮาร์โมนิกส์ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสารเช่นในระบบโทรศัพท์

ในทางคณิตศาสตร์สามารถใช้อนุกรมฟูเรียร์อธิบายคุณลักษณะของฮาร์มอนิกส์ได้ (จารินี, 2546 ; ภาคนิต, 2548) โดยสัญญาณหรือฟังก์ชันรายคาบใดๆ ($f(t)$) ซึ่งสามารถกระจายให้อยู่ในรูปผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติที่ความถี่ต่างๆ ได้ดังสมการ

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad (10)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int f(t) dt \quad (11)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad (12)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int f(t) \sin n\omega_0 t dt \quad (13)$$

โดยที่ T คือคาบของสัญญาณ
 n คือเลขจำนวนเต็มบวก
 ω_0 คือค่าความถี่มูลฐาน

ในกรณีที่ $n=1$ เป็นลำดับของความถี่มูลฐาน หรือกรณีที่ n มีค่ามากกว่าศูนย์ เราเรียกว่า ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ n

6.5 ฮาร์มอนิกส์และค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม

ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม (Total Harmonics Distortion : THD) (จารินี, 2546 ; ภาคนิต, 2548) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Root-Sum-Square) ของค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ของส่วนประกอบฮาร์มอนิกส์ (Harmonics Component) ต่อค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component) เทียบเป็นร้อยละ

ค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์รวม (Total Harmonics Current Distortion : THD_i)

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{n(rms)}^2}}{I_{1(rms)}} \times 100\% \quad (14)$$

โดยที่ $I_{n(rms)}$ คือค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n
 $I_{1(rms)}$ คือค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยกระแสที่ความถี่หลักมูล

ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกส์รวม (Total Harmonics Voltage Distortion :
 THD_v)

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n(rms)}^2}}{V_{1(rms)}} \times 100\% \quad (15)$$

โดยที่ $V_{n(rms)}$ คือค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ n
 $V_{1(rms)}$ คือค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยแรงดันที่ความถี่หลักมูล

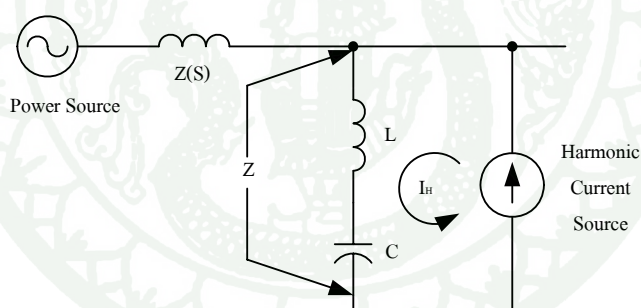
ผลเสียอันเนื่องมาจากปัญหาฮาร์มอนิกส์นั้น นับเมื่อปัญหามีความรุนแรงมากขึ้นตามปริมาณการใช้โหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น ในปัจจุบันอุตสาหกรรมกำลังพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดต่างๆ เข้ามาใช้มากขึ้น เช่น วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (rectifier) วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (inverter) ฯลฯ อุปกรณ์เหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งส่งผลให้เกิดการรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ในระบบด้วย และนับวันก็ยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ กระแสฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นสร้างปัญหาจำนวนมากให้แก่ระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การสั่นของเครื่องจักร การทำงานล้มเหลวของมอเตอร์ การทำงานที่ผิดพลาดของฟิวส์ เกิดความผิดพลาดของเครื่องมือวัด การระเบิดเสียหายของตัวเก็บประจุแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการรีโซแนนซ์ของค่าคาปาซิแตนซ์ของตัวเก็บประจุแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับค่าอินดักแตนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบที่ความถี่ฮาร์มอนิกส์ค่าใดค่าหนึ่ง การทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อันเนื่องมาจากความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจนทำให้ค่าอาร์เอ็มเอส (Root Mean Square; RMS Value) ของแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเสมือนเกิดการกระเพื่อมของระดับแรงดันไฟฟ้า หรือการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันอันเนื่องมาจากนอตชิ่ง (Notching) ทำให้การตัดแกนศูนย์ของรูปคลื่น (Zero Crossing) มีมากกว่าหนึ่งจุดในหนึ่งคาบเวลา (Period) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การทำงานโดยการตรวจจับจุดตัดแกนศูนย์ และเกิดความร้อนสูงกว่าปกติในขดลวดหม้อแปลงอันเนื่องมาจากการไหลของกระแสมากกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ยังจะทำให้ความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าความสูญเสียในขดลวด

6.6 การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกส์

การแก้ไขปัญหาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันหรือปัญหาฮาร์มอนิกส์โดยทั่วไปทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์มอนิกส์ฟิลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ในการกรองกระแสฮาร์มอนิกส์ที่ต้องการกำจัด ซึ่งติดตั้งโดยการขนานเข้าไปในระบบโดยทั่วไปแล้วฮาร์มอนิกส์ฟิลเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

6.6.1 พาสซีฟฟิลเตอร์ (Passive Filter)

พาสซีฟฟิลเตอร์เป็นชุดวงจรที่ใช้อุปกรณ์ชนิดพาสซีฟ อันได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วงจรอนุกรมของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ดังภาพที่ 21 การออกแบบทำได้โดยการออกแบบอุปกรณ์ที่ความถี่ที่ต้องการกรองออก ข้อดีคือมีต้นทุนในการติดตั้งไม่สูงนัก ข้อเสียคือกรองได้เฉพาะฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ต้องการกรอง มีขนาดใหญ่ และมีความยุ่งยากในการใช้งานสำหรับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง

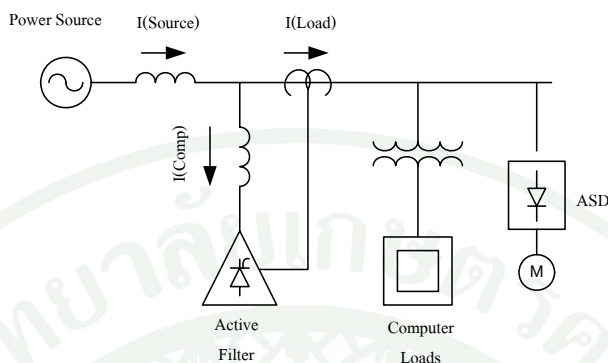


ภาพที่ 21 พาสซีฟฟิลเตอร์

6.6.2 แอคทีฟฟิลเตอร์ (Active Filter)

แอคทีฟฟิลเตอร์เป็นชุดวงจรที่ใช้อุปกรณ์ชนิดแอคทีฟ (เซมิคอนดักเตอร์สวิตช์) ร่วมกับอุปกรณ์ชนิดพาสซีฟอันได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ อาศัยเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยการใช้การตรวจจับกระแสเข้ามาควบคุมแบบลูปปิด ดังภาพที่ 22 การใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ทำให้สามารถกรองความถี่ได้ทุกความถี่ที่ต้องการ รูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ได้จะมีความเป็นสัญญาณไซน์เกือบสมบูรณ์อีกทั้งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง แต่

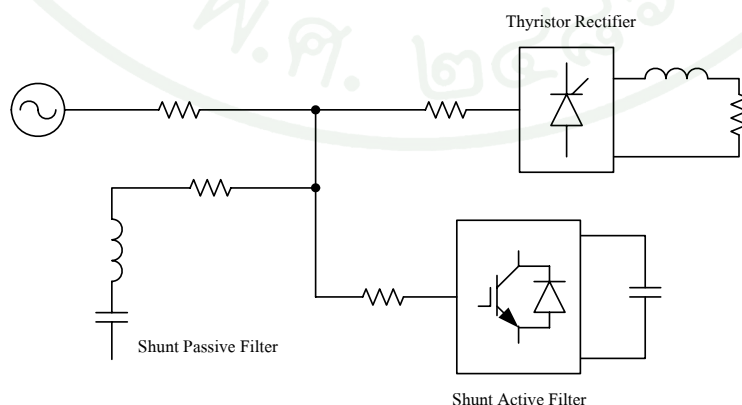
อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ชนิดนี้มีข้อเสียคือยังมีต้นทุนในการติดตั้งที่สูง และอาจจะมีข้อจำกัดสำหรับกรณีที่โหลดสูงมากเนื่องจากข้อจำกัดในการทนกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตช์ เซมิคอนดักเตอร์



ภาพที่ 22 แอคทีฟฟิลเตอร์

6.6.3 ไฮบริดฟิลเตอร์ (Hybrid Filter)

ไฮบริดฟิลเตอร์เป็นชุดวงจรที่ใช้การทำงานร่วมกันของพาสซีฟฟิลเตอร์และแอคทีฟฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันดังแสดงในภาพที่ 23 พาสซีฟฟิลเตอร์จะทำหน้าที่ในการกรองกระแสฮาร์มอนิกส์สูงๆออก โดยมีแอคทีฟฟิลเตอร์กรองความถี่อื่นๆออก ดังนั้นการใช้ฟิลเตอร์ชนิดนี้ก็ให้ผลใกล้เคียงกับแอคทีฟฟิลเตอร์เช่นกัน อีกทั้งเมื่อเทียบต้นทุนในการติดตั้งแล้ว (ที่โหลดเท่ากัน) อาจจะถูกกว่าเนื่องจากแอคทีฟฟิลเตอร์ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ทนกระแสสูงมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบขนาดแล้วอาจจะมีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับพาสซีฟฟิลเตอร์



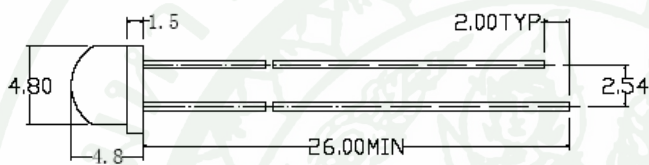
ภาพที่ 23 ไฮบริดฟิลเตอร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุอุปกรณ์

- 1) หลอดแอลอีดีชนิดซูเปอร์ไบรท์แบบ 4.8 mm. straw hat-shaped LED



ภาพที่ 24 แอลอีดีแบบ 4.8 mm. straw hat-shaped LED

- 2) โคมไฟดาวน์ไลท์แบบฝังฝ้า



ภาพที่ 25 โคมไฟดาวน์ไลท์แบบฝังฝ้า (FBS 110/118)

- 3) อุปกรณ์และวัสดุสารกึ่งตัวนำสำหรับออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ

2. เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

1) มัลติมิเตอร์



ภาพที่ 26 มัลติมิเตอร์ FLUKE 177 True RMS multimeter

2) Power Quality Analyzer (Fluke รุ่น 43B)



ภาพที่ 27 Power Quality Analyzer (Fluke รุ่น 43B)

3) กล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20)



ภาพที่ 28 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20)

4) ลิคซ์มิเตอร์ (TES 1332 Digital lux meter)

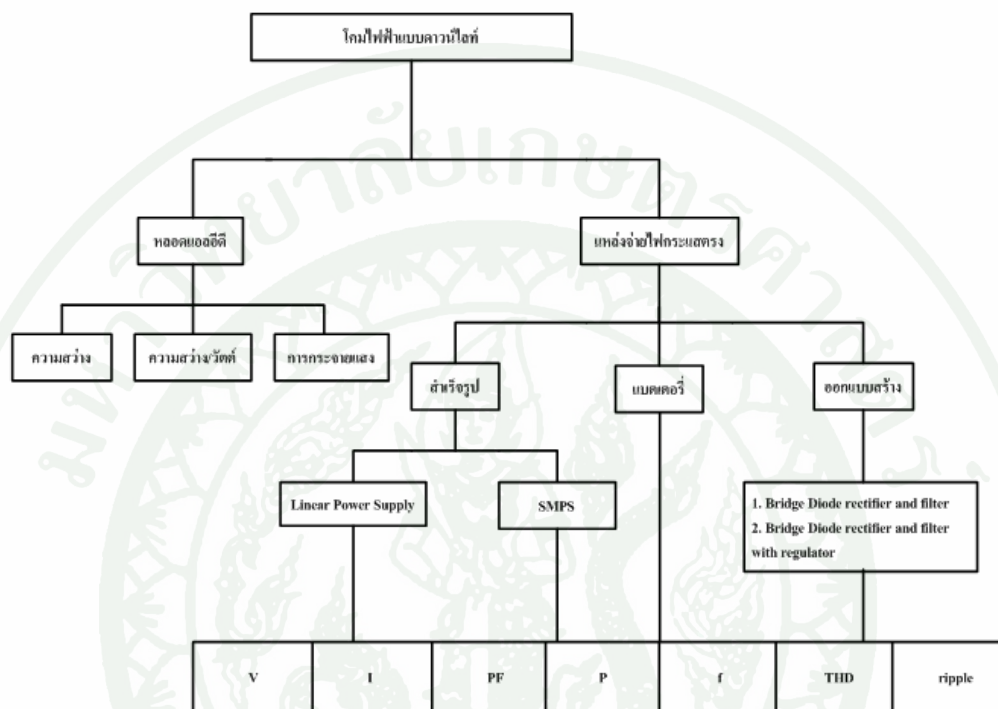


ภาพที่ 29 ลิคซ์มิเตอร์ (TES 1332 Digital lux meter)

5) เครื่องคอมพิวเตอร์

วิธีการ

ขั้นตอนการศึกษาทดลอง



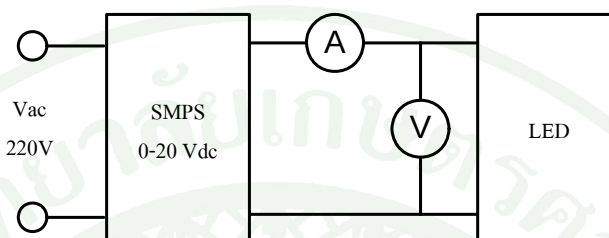
ภาพที่ 30 ไคอะแกรมภาพรวมการศึกษาทดลอง

1. การศึกษาพฤติกรรมเบื้องต้นของหลอดแอลอีดี

1.1 การออกแบบการทดลองแอลอีดีเบื้องต้น

โดยทั่วไปหลอดแอลอีดีจะมีรูปร่างและขนาดต่างๆ กันตามการใช้งาน แอลอีดีแบบห้วนโดยปกติจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร ซึ่งตัวถังทำด้วยพลาสติกโปร่งแสง และถ้าเป็นแบบสี่เหลี่ยมจะมีขนาด (5×2) มิลลิเมตร มุมในการให้แสงของแอลอีดีแบบห้วนนี้จะอยู่ในช่วง 20-40 องศา แต่ถ้าเป็นแอลอีดีแบบสี่เหลี่ยมมุมในการมองเห็นจะเพิ่มขึ้นเป็นถึง 100 องศา ซึ่งมีรูปทรงที่หลากหลายแตกต่างกันไปเพื่อความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

โดยในการทดลองนี้จะใช้หลอดแอลอีดีชนิด แบบ straw hat-shaped ซึ่งเป็นหลอดที่ให้แสงสีขาว ขนาด 4.8 มิลลิเมตร โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบ SMPS พิกัด 0-20 Vdc 500 มิลลิแอมป์ เพื่อปรับค่าแรงดันการทดลอง เพื่อจ่ายให้กับหลอดแอลอีดี ดังแสดงในภาพที่ 31 ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมหลอดแอลอีดี 1 หลอด จะมีค่าอยู่ในช่วง 3-4 โวลต์ เท่านั้น

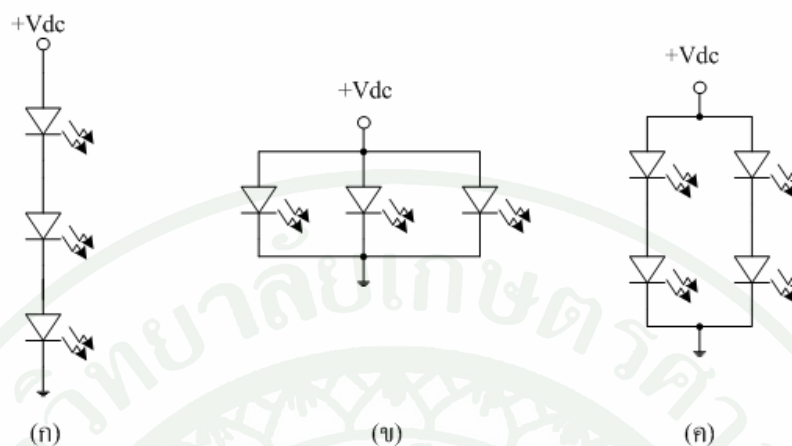


ภาพที่ 31 ไคอะแกรมการทดลองแอลอีดีเบื้องต้น

1.2 การออกแบบวงจรการทดลองแอลอีดีเบื้องต้น

การต่อวงจรการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของหลอดแอลอีดี โดยจะแบ่งลักษณะการต่อวงจรออกเป็น 4 แบบ คือ แบบอนุกรม แบบขนาน แบบผสม A และแบบผสม B จากนั้นจะทำการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า คือ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และความร้อน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น

1.2.1 วงจรอนุกรม ขนาน และผสม



ภาพที่ 32 ตัวอย่างวงจรการทดลองแบบอนุกรมแบบขนานและแบบผสม

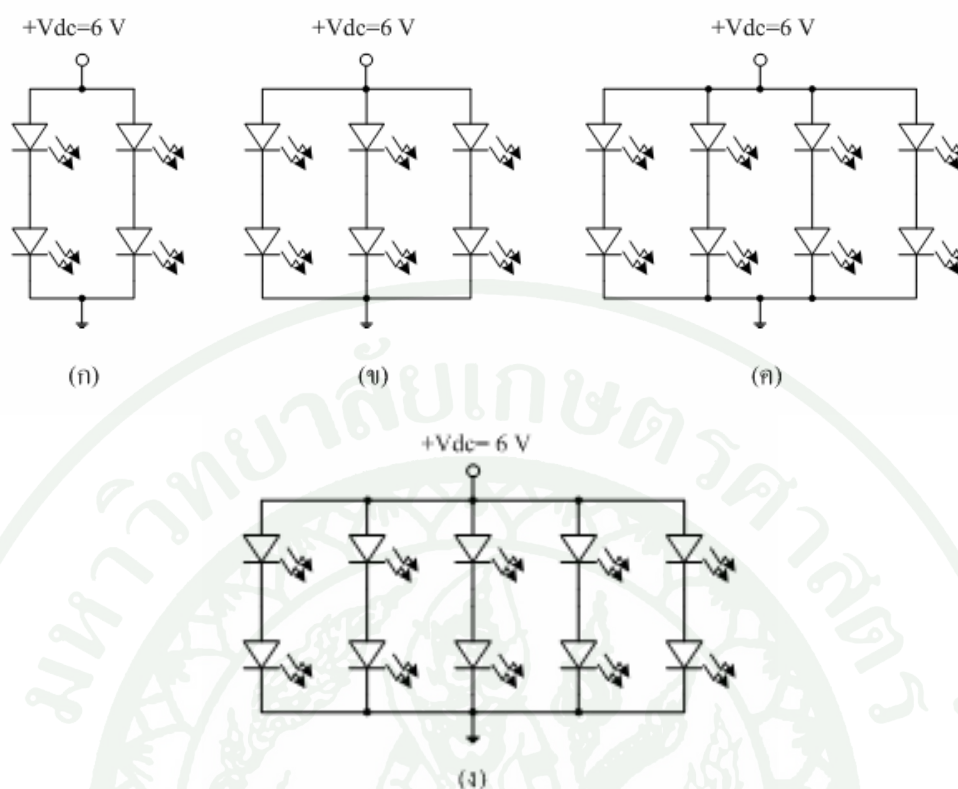
(ก) การต่อหลอดแอลอีดีแบบอนุกรม จำนวน 3 หลอด

(ข) การต่อหลอดแอลอีดีแบบขนาน จำนวน 3 หลอด

(ค) การต่อหลอดแอลอีดีแบบผสม จำนวน 4 หลอด

1.2.2 วงจรการทดลองแบบผสมแบบ A

การต่อวงจรการทดลองแบบผสมสามารถทำได้หลายแบบด้วยกัน โดยในการทดลองนี้จะทำการต่อแบบผสม 2 แบบ โดยแบบ A คือจำนวนหลอดอนุกรมคงที่ 2 หลอดแล้วนำมาขนานกันโดยใช้แรงดันคงที่ 6 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 33

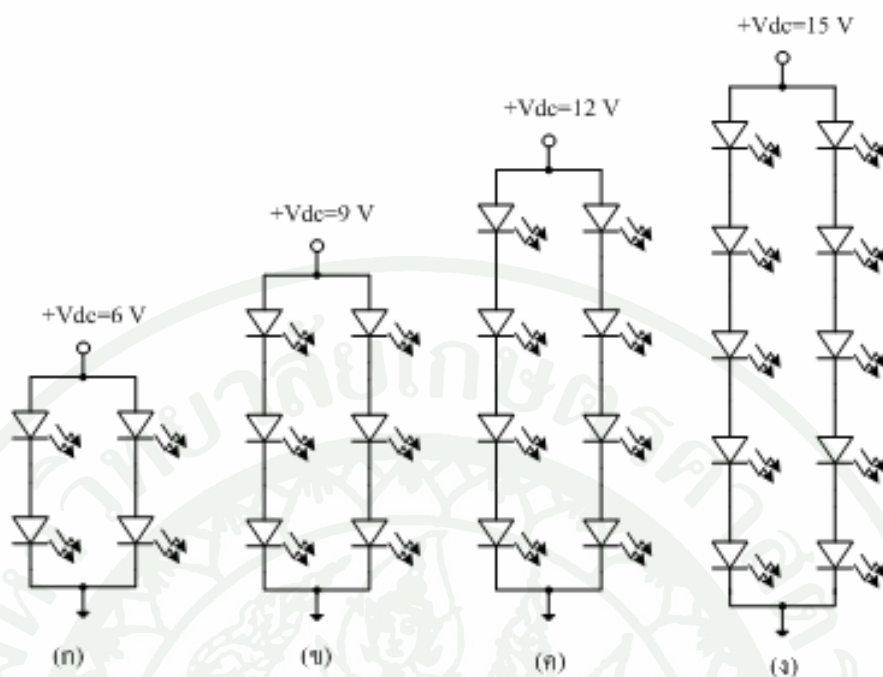


ภาพที่ 33 วงจรที่ใช้ในการทดลองแบบผสมแบบที่ A

- (ก) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 4 หลอด ใช้แรงดัน 6 โวลต์
- (ข) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 6 หลอด ใช้แรงดัน 6 โวลต์
- (ค) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 8 หลอด ใช้แรงดัน 6 โวลต์
- (ง) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 10 หลอด ใช้แรงดัน 6 โวลต์

1.2.3 วงจรการทดลองแบบผสมแบบ B

การต่อวงจรการทดลองแบบผสมแบบที่ 2 คือต่อขนานกัน 2 สาขาแล้วเพิ่มหลอดที่ม่านุกรม ซึ่งจะใช้แรงดันในการทดลองเปลี่ยนไปตามจำนวนหลอดที่นำมาอนุกรมดังแสดงในภาพที่ 34

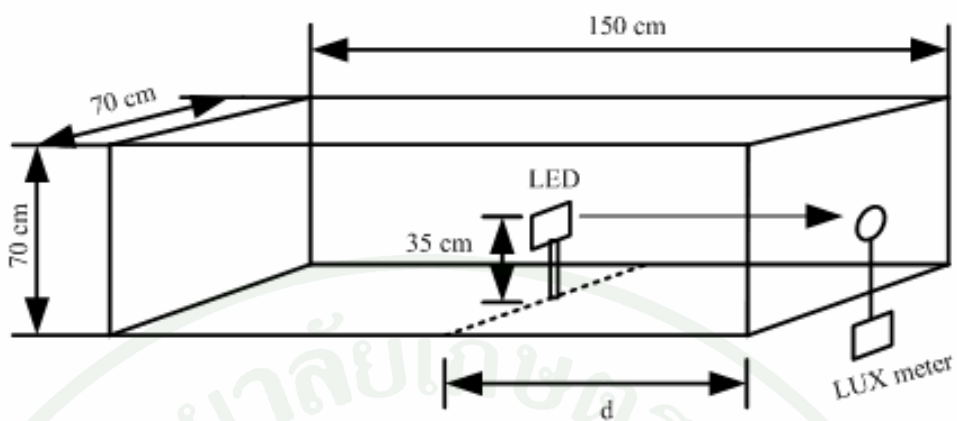


ภาพที่ 34 วงจรที่ใช้ในการทดลองแบบผสมแบบที่ B

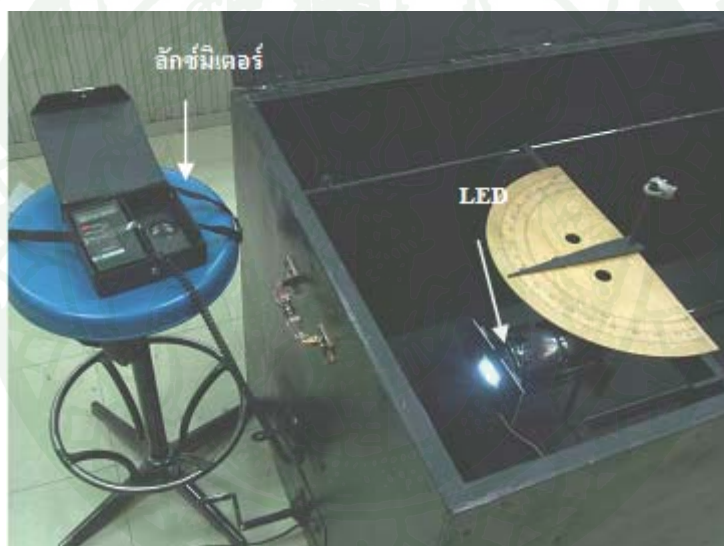
- (ก) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 4 หลอด ใช้แรงดัน 6 โวลต์
- (ข) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 6 หลอด ใช้แรงดัน 9 โวลต์
- (ค) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 8 หลอด ใช้แรงดัน 12 โวลต์
- (ง) การต่อหลอดแอลอีดี แบบผสม 10 หลอด ใช้แรงดัน 15 โวลต์

1.3 การวัดค่าความสว่าง

การวัดค่าความสว่างจะใช้กล่องวัดแสงซึ่งทำขึ้นจากไม้อัด ขนาด $70 \times 70 \times 150$ เซนติเมตร ซึ่งภายในจะทาสีดำด้าน และบรรจุหลอดแอลอีดีที่จะทำการวัดค่าไว้ภายใน ซึ่งตัวกล่อง จะทำการเจาะรูกลมด้านข้างกล่องเพื่อใช้ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความสว่างหรือลักซ์มิเตอร์ เพื่อวัดค่า ความสว่างของหลอดแอลอีดี โดยระยะ d เป็นระยะห่างระหว่างหลอดแอลอีดีกับเครื่องมือวัดแสง ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะ d อ้างอิงที่ 30 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การวัดค่าความสว่างจากกล่องวัดแสง



ภาพที่ 36 การวัดค่าความสว่างจากกล่องวัดแสง (ภาพการทดลองจริง)

1.4 ผลการทดลองการต่อหลอดแอลอีดีแบบต่างๆ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองแรงดันของการต่อแอลอีดีแบบต่างๆ

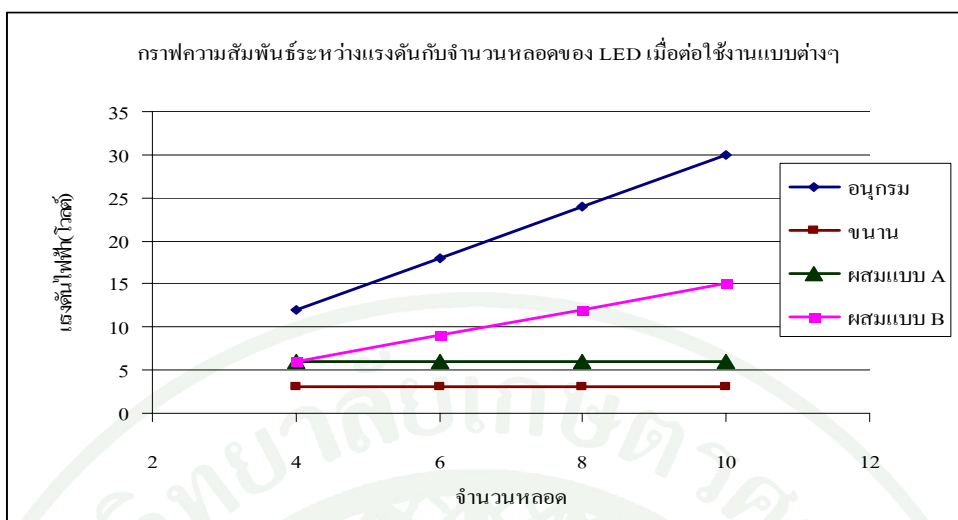
จำนวนหลอด	V (V)			
	อนุกรม	ขนาน	ผสม A	ผสม B
4	12	3	6	6
6	18	3	6	9
8	24	3	6	12
10	30	3	6	15

ตารางที่ 4 ผลการทดลองกระแสของการต่อแอลอีดีแบบต่างๆ

จำนวนหลอด	I (mA)			
	อนุกรม	ขนาน	ผสม A	ผสม B
4	13.5	43.2	19.3	19.3
6	12.4	65.3	32.4	24.2
8	11.7	74.3	38.3	21.6
10	11.5	84.2	51.6	20.7

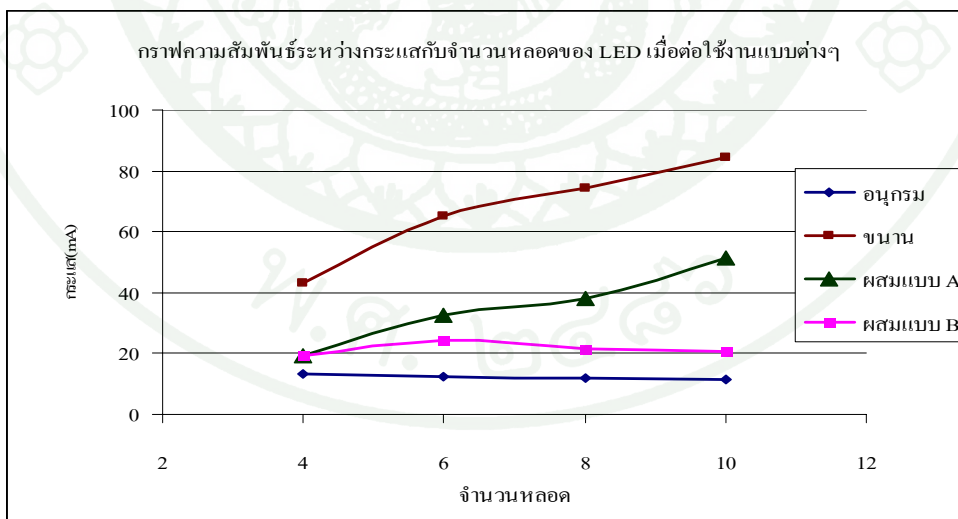
ตารางที่ 5 ผลการทดลองกำลังไฟฟ้าของการต่อแอลอีดีแบบต่างๆ

จำนวนหลอด	P (W)			
	อนุกรม	ขนาน	ผสม A	ผสม B
4	0.162	0.130	0.116	0.116
6	0.223	0.196	0.194	0.218
8	0.281	0.223	0.230	0.259
10	0.345	0.253	0.310	0.311



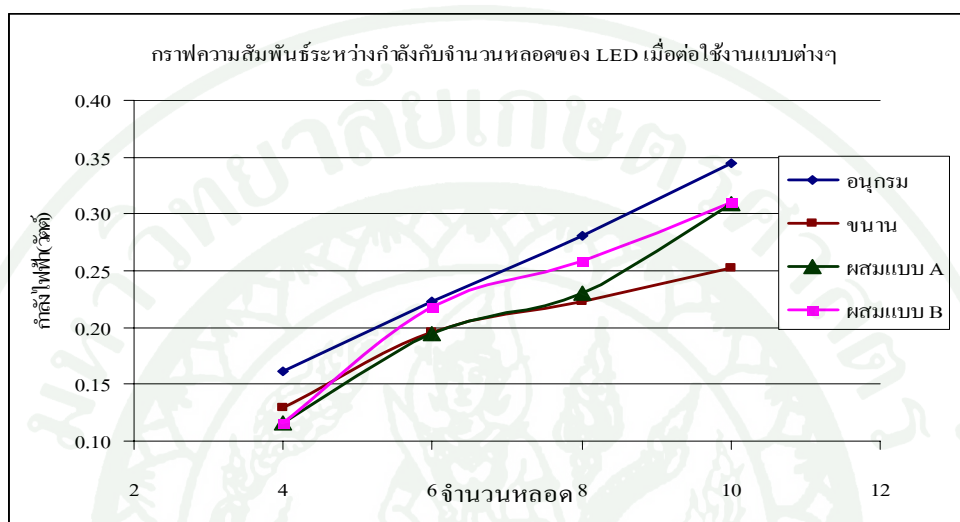
ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับจำนวนหลอด

จากภาพที่ 37 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับจำนวนหลอดจะเห็นว่า การต่อแบบขนานจะใช้แรงดันน้อยที่สุดและการต่อแบบอนุกรมจะใช้แรงดันสูงที่สุด ส่วนการต่อแบบผสมจะใช้แรงดันอยู่ในช่วงระหว่างการต่อแบบอนุกรมและขนาน โดยการต่อแบบผสม A จะใช้แรงดันน้อยกว่าการต่อแบบผสม B ซึ่งแรงดันจะขึ้นอยู่กับจำนวนหลอดที่ต่ออนุกรม



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับจำนวนหลอด

จากภาพที่ 38 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับจำนวนหลอดจะเห็นว่าการต่อแบบอนุกรมจะกินกระแสได้น้อยที่สุดและการต่อแบบขนานจะกินกระแสสูงที่สุด ส่วนการต่อแบบผสมจะกินกระแสอยู่ในช่วงระหว่างการต่อแบบอนุกรมและขนาน โดยการต่อแบบผสม B จะกินกระแสน้อยกว่าการต่อแบบผสม A



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับจำนวนหลอด

จากภาพที่ 38 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับจำนวนหลอดจะเห็นว่าการต่อแบบอนุกรมจะกินกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดและการต่อแบบขนานจะกินกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด ส่วนการต่อแบบผสมจะกินกระแสอยู่ในช่วงระหว่างการต่อแบบอนุกรมและขนาน โดยการต่อแบบผสม B จะกินกำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันกับการต่อแบบผสม A

ตารางที่ 6 ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบอนุกรม

จำนวนหลอด	อนุกรม				
	ความสว่าง (lx)				
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
4	334	100.8	45.1	22.5	18.6
6	511	162.7	66.2	38.2	25.8
8	667	219	92	53.4	33.8
10	879	287	120	70.4	47.3

ตารางที่ 7 ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบขนาน

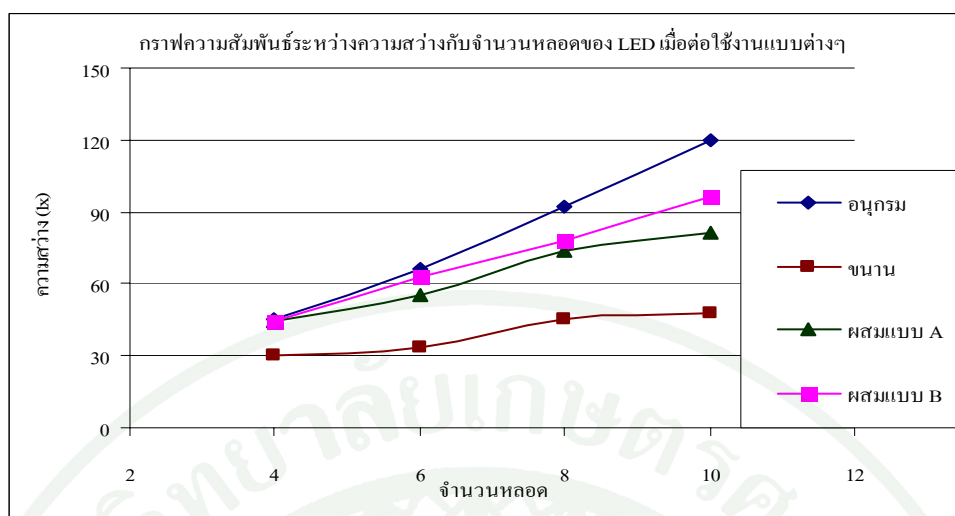
จำนวนหลอด	ขนาน				
	ความสว่าง (lx)				
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
4	238	70.7	30.5	17.4	12.8
6	286	76.3	33.9	19.8	13.1
8	302	90.3	45.3	25.6	16.2
10	319	106.8	47.9	28.5	19.7

ตารางที่ 8 ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบผสม A

จำนวนหลอด	แบบผสม A				
	ความสว่าง (lx)				
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
4	282	98	44	24	17
6	306	114	55	35	20
8	517	158	74	44	27
10	734	178	81	50	36

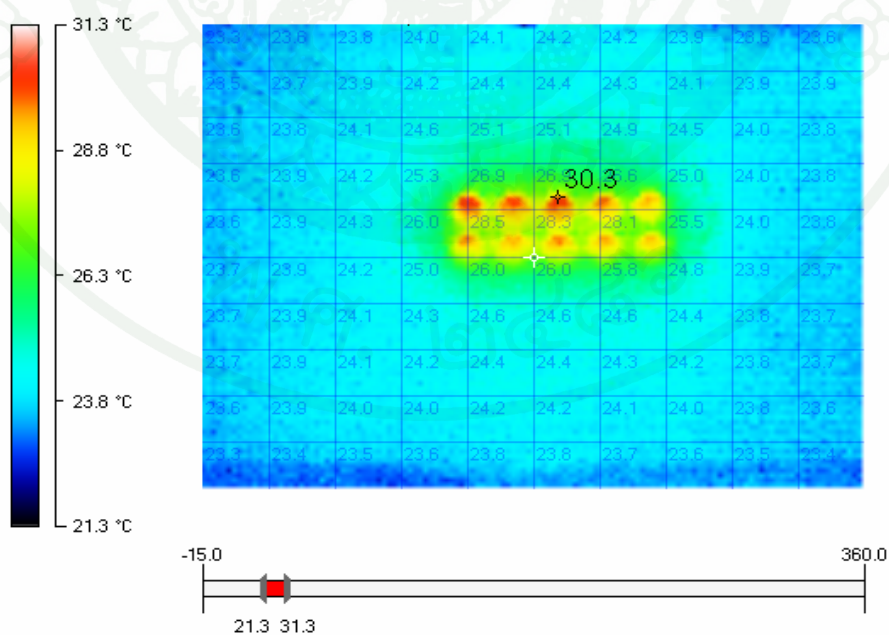
ตารางที่ 9 ผลการทดลองวัดค่าความสว่างของการต่อแอลอีดีแบบผสม B

จำนวนหลอด	แบบผสม B				
	ความสว่าง (lx)				
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
4	282	98	44	24	17
6	525	141	63	33	22
8	727	167	78	42	28
10	944	242	96.6	58.1	39

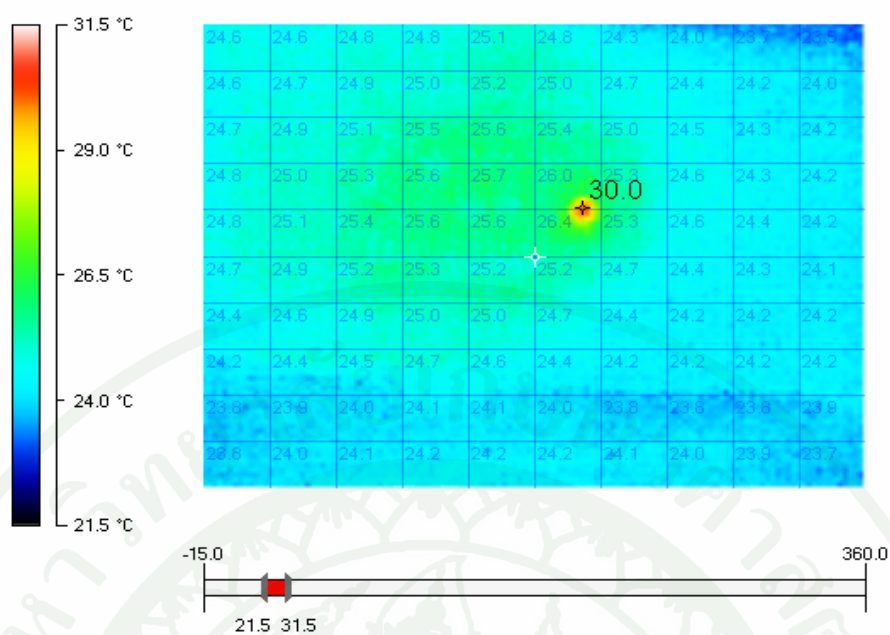


ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับจำนวนหลอดที่ระยะ 30 cm

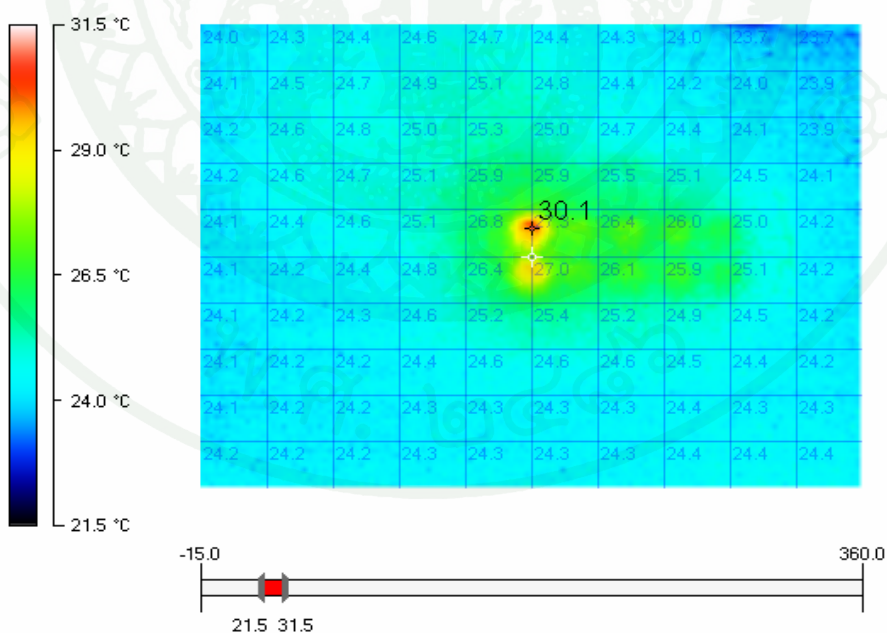
จากภาพที่ 40 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับจำนวนหลอดจะเห็นว่า การต่อแบบอนุกรมจะให้ความสว่างสูงที่สุด และการต่อแบบขนานจะให้ความสว่างน้อยที่สุด ส่วนการต่อแบบผสมจะให้ความสว่างอยู่ในช่วงระหว่าง การต่อแบบอนุกรมและขนาน โดยการต่อแบบผสม B จะให้ความสว่างสูงกว่าการต่อแบบผสม A เล็กน้อย



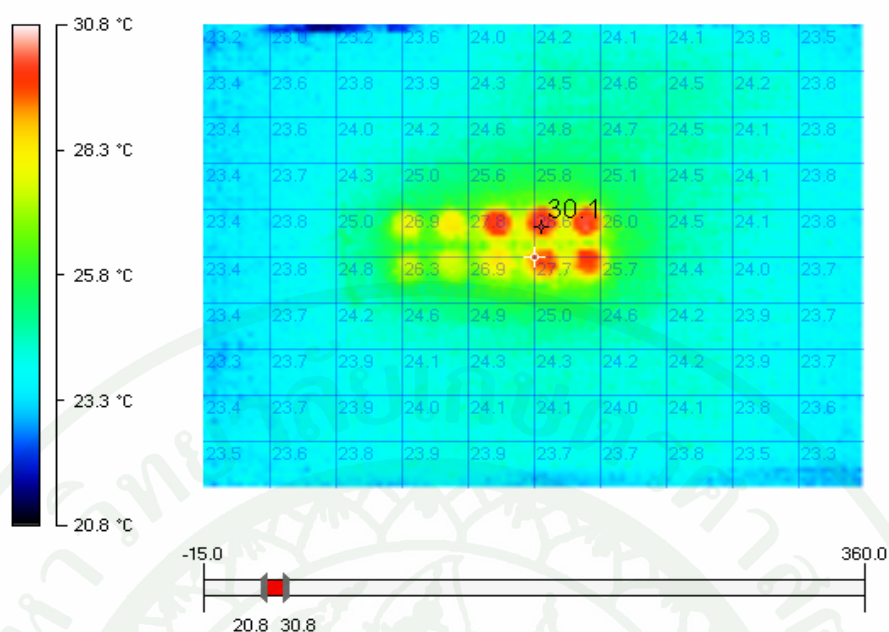
ภาพที่ 41 ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรแบบอนุกรม 10 หลอด (Max Temp=31.3 °C)



ภาพที่ 42 ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรแบบขนาน 10 หลอด (Max Temp=31.5 °C)



ภาพที่ 43 ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน(Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรผสมแบบ A 10 หลอด (Max Temp=31.5 °C)



ภาพที่ 44 ผลการทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีในรูปแบบวงจรผสมแบบ B 10 หลอด (Max Temp=30.8 °C)

ตารางที่ 10 ผลการทดลองการต่อหลอดแอลอีดีในลักษณะวงจรแบบต่างๆ จากมิเตอร์วัด power quality analyzer (Fluke รุ่น 43B)

จำนวน หลอด	1. วงจรแบบอนุกรม				2. วงจรแบบขนาน				3. วงจรแบบผสมแบบที่ A				4. วงจรแบบผสมแบบที่ B			
	V _{in} (V)	I _{in} (mA)	P _{in} (W)	Lux	V _{in} (V)	I _{in} (mA)	P _{in} (W)	Lux	V _{in} (V)	I _{in} (mA)	P _{in} (W)	Lux	V _{in} (V)	I _{in} (mA)	P _{in} (W)	Lux
1	3	12.3	0.037	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6	13.4	0.080	17.0	3	28.8	0.086	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-
3	9	13.4	0.121	26.6	3	35.1	0.105	26.4	-	-	-	-	-	-	-	-
4	12	13.5	0.162	45.1	3	43.2	0.130	30.5	6	19.3	0.12	44.0	6	19.3	0.12	44.0
5	15	13.3	0.200	51.5	3	57.5	0.173	28.9	-	-	-	-	-	-	-	-
6	18	12.4	0.223	66.2	3	65.3	0.196	33.9	6	32.4	0.19	55.0	9	24.2	0.22	63.0
7	21	12.1	0.254	72.9	3	70.2	0.211	39.7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	23	11.7	0.281	92.0	3	74.3	0.223	45.3	6	38.3	0.23	74.0	12	21.6	0.26	78.0
9	27	11.8	0.319	102.0	3	80.5	0.242	46.0	-	-	-	-	-	-	-	-
10	30	11.5	0.345	120.0	3	84.2	0.253	47.9	6	51.6	0.31	81.0	15	20.7	0.31	96.6

จากภาพที่ 37-40 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับจำนวนหลอดโดยสามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 10 ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าและค่าความสว่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนหลอดทุกกรณีของการต่อใช้งาน เมื่อพิจารณาที่จำนวน 10 หลอดเท่ากันจะเห็นว่าการต่อแบบอนุกรมจะกินกำลังไฟฟ้าและให้ความสว่างสูงที่สุด แต่ถ้ามีหลอดใดหลอดหนึ่งในวงจรขาดจะทำให้หลอดอื่นๆ ดับทั้งหมด การต่อแบบขนานจะกินกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดแต่ก็ให้ความสว่างน้อยที่สุดเช่นกัน และมีข้อดีคือถ้ามีหลอดใดหลอดหนึ่งขาดก็ไม่มีผลต่อหลอดอื่นๆ ในวงจร ส่วนการต่อแบบผสมนั้น แบบ B จะให้ความสว่างสูงกว่าแบบ A โดยกินกำลังไฟฟ้าเท่ากันซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าและความสว่างของการต่อผสมทั้งสองแบบจะมีค่ามากกว่าการต่อแบบขนานแต่ก็ไม่เกินค่าจากการต่ออนุกรม มีข้อดีคือสามารถใช้ข้อดีของการต่อแบบขนานและสามารถปรับปรุงข้อด้อยของการต่อแบบอนุกรมได้

จากภาพที่ 41-44 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากการต่อหลอดแอลอีดีจำนวน 10 หลอดในรูปแบบวงจรทั้งสี่แบบพบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นบนผิวหลอดนั้นมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยการต่อแบบผสมแบบ B จะมีความร้อนต่ำที่สุดคือ 30.8°C ขณะที่การต่อแบบขนานและแบบผสมแบบ A มีค่าความร้อนสูงสุดคือ 31.5°C ซึ่งต่างกันเพียง 0.7°C

1.5 สรุปการศึกษาพฤติกรรมเบื้องต้นของหลอดแอลอีดี

จากผลการทดลองการต่อวงจรทั้งสี่แบบคือ แบบอนุกรม แบบขนาน แบบผสมแบบ A และแบบผสมแบบ B พบว่าการต่อแบบผสมแบบ B จะให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดโดยสรุปข้อดีได้ดังต่อไปนี้คือ

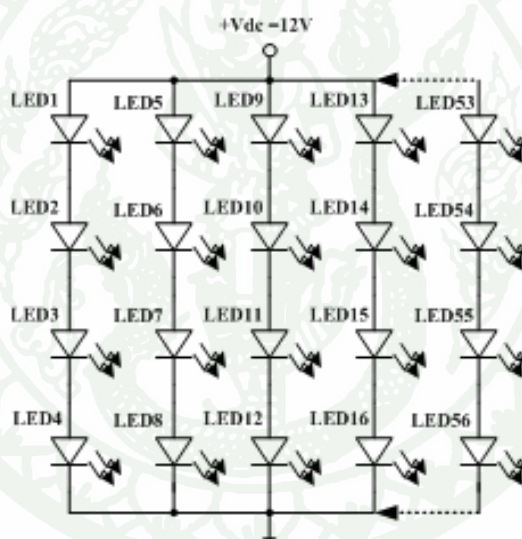
- 1) กรณีกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของแบบผสมแบบ B จะมีค่าน้อยกว่าแบบผสมแบบ A ที่จำนวนหลอดเท่ากัน (10 หลอด)
- 2) กรณีกำลังไฟฟ้าด้านเข้าแบบผสม A และแบบผสม B จะเท่ากันที่จำนวนหลอดเท่ากัน (10 หลอด)
- 3) กรณีแสงสว่างของแบบผสมแบบ B จะให้ความสว่างสูงกว่าแบบผสมแบบ A ที่จำนวนหลอดเท่ากัน (10 หลอด) และกำลังไฟฟ้าเท่ากัน
- 4) กรณีความร้อนของแบบผสมแบบ B จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวหลอดน้อยที่สุดที่จำนวนหลอดเท่ากัน (10 หลอด)

ดังนั้นการต่อแบบผสมจึงเป็นการต่อที่เหมาะสมโดยที่การต่อแบบ B จะเป็นการต่อที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบสร้างเป็นโคมไฟฟ้าชนิดหลอดแอลอีดี

2. การออกแบบโคมไฟฟ้าแบบดาวนั้ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี

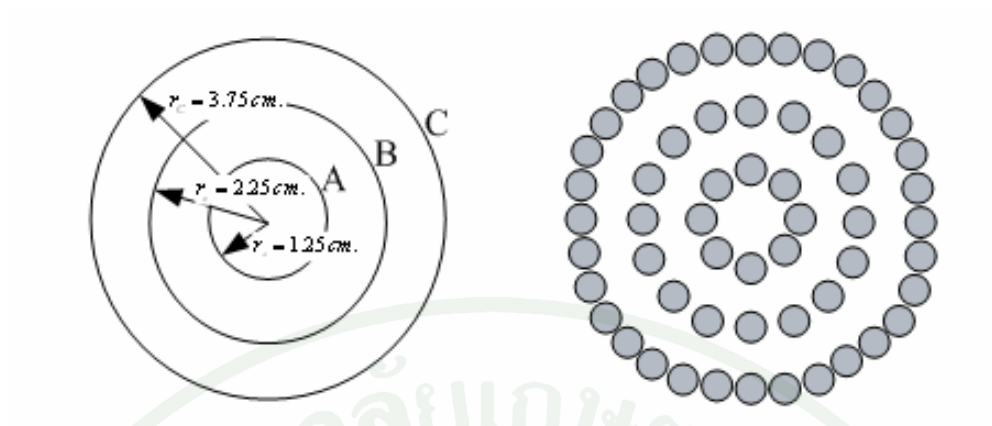
จากการศึกษาพฤติกรรมเบื้องต้นของหลอดแอลอีดีซึ่งพบว่าการต่อแบบผสมเป็นการต่อที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบสร้างเป็นโคมไฟฟ้าชนิดหลอดแอลอีดี

ดังนั้นในการออกแบบสร้างหลอดไฟนี้จะออกแบบให้มีลักษณะการต่อวงจรแบบผสมโดยใช้แรงดัน 12 V ซึ่งใช้หลอดในการอนุกรมกันเป็นชุดๆ ละ 4 หลอด แล้วนำแต่ละชุดมาต่อขนานกันจำนวน 14 ชุด ซึ่งจะใช้หลอดแอลอีดีทั้งหมด 56 หลอด ลักษณะการต่อดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45 ลักษณะการต่อวงจรในการออกแบบสร้างหลอดไฟฟ้าจาก LED

การออกแบบสร้างหลอดไฟจากแอลอีดีจะทำการออกแบบโดยนำแอลอีดีไปบรรจุอยู่ในโคมดาวนั้ไลท์ซึ่งลักษณะการวางหลอดก็จะเป็นแบบจัดวางเป็นวงกลมซ้อนกันเพื่อให้่ายต่อการเชื่อมต่อและการให้แสงที่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 46



ภาพที่ 46 การออกแบบและการวาง LED

กำหนดให้ A = 8 หลอด B = 16 หลอดและ C = 32 หลอด ดังนั้นเมื่อรวมจำนวนหลอดทั้งหมด ในดวงโคมคือ 56 หลอด



ภาพที่ 47 หลอดไฟฟ้าจากแอลอีดีที่บรรจุในโคมดาวน์ไลท์จำนวน 3 แถว รวม 56 หลอด

3. การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ในการทดลองจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่โคมดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

- กรณีแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป
- กรณีแหล่งจ่ายที่แบบออกแบบสร้างเอง

3.1 กรณีแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป

การศึกษาผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่าง ๆ นั้นในลำดับแรกจึงเลือกแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูปมาทำการทดสอบและทำการวิเคราะห์ผลในเบื้องต้นก่อนเนื่องจากเป็นแหล่งจ่ายที่มีใช้กันอยู่ในห้องปฏิบัติการทั่วไป โดยแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูปที่นำมาทำการทดสอบได้แก่

- 1) แบตเตอรี่
- 2) แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
- 3) แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง
- 4) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด



ภาพที่ 48 แบตเตอรี่ ($12V_{dc}$, 26Ah)



ภาพที่ 49 แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น ($0-30 V_{dc}$)



ภาพที่ 50 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ชิ่ง (0-30 V_{dc})



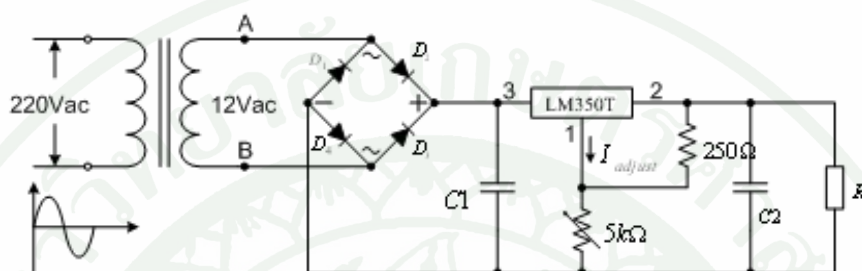
ภาพที่ 51 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด (0-30 V_{dc})

3.2 กรณีแหล่งจ่ายที่แบบออกแบบสร้างเอง

แหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบสร้างเองจะทำการออกแบบสร้างจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดโดยร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดัน เหตุที่ต้องใช้วงจรรักษาระดับแรงดันก็เนื่องจากว่าชุดหลอดไฟฟ้าแอลอีดีนั้นต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่คงที่สูง เพราะถ้าแรงดันเกินขีดจำกัดที่แอลอีดีทนได้ก็จะทำให้ชุดหลอดเสียหายได้

3.2.1 การแหล่งจ่ายไฟสำหรับจ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ 1 โคม

แหล่งจ่ายไฟที่จะทำการออกแบบสร้างเป็นแหล่งจ่ายไฟแบบวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันที่เป็นไอซีเบอร์ LM350T ดังแสดงในภาพที่ 52



ภาพที่ 52 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันที่เป็นไอซีเบอร์ LM350T

เนื่องจากโหลดต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V ที่คงที่ ดังนั้นจึงใช้วงจรเรกูเลเตอร์ที่เป็นไอซีเบอร์ LM350T เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ โดยเลือกใช้หม้อแปลงแบบลดแรงดันที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดพิกัด 220Vac/12Vac ดังนั้นสามารถทำการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดได้ดังนี้

$$V_p = \sqrt{2} \times V_{rms} \quad (16)$$

$$V_p = \sqrt{2} \times 12$$

$$V_p = 16.698V$$

เมื่อคิดค่าแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดจะได้

$$V_p = 16.698 - 1.4$$

$$V_p = 15.298V$$

$$V_{dc} = 0.636 \times 15.298$$

$$V_{dc} = 9.73V$$

จากคุณสมบัติของหลอดแอลอีดีชนิด 4.8 mm straw hat-shaped LED จะมีพิกัดกระแสเมื่อไบอัสไปข้างหน้าเท่ากับ 20 mA ดังนั้นเมื่อนำมาต่อผสมกันตามการออกแบบจะทำให้สามารถคำนวณกระแสรวมได้คือ หลอดแอลอีดี 4 หลอดคิดเป็น 1 ชุดกินกระแสเท่ากับ 20 mA นำมาขนานกัน 14 ชุดจะกินกระแสเท่ากับ 280 mA และคิดเผื่อค่าความปลอดภัย 25% จะได้ค่ากระแสในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟเท่ากับ 350 mA จึงกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟสามารถจ่ายกระแสได้ไม่น้อยกว่า 350mA ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าระลอกคลื่น (ripple : r) ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกไม่เกิน 0.1%

$$r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} = \frac{2.4 \times I_{dc(mA)}}{C_{(\mu F)} \times V_{dc}} \quad (17)$$

$$C = \frac{2.4 \times 350}{0.001 \times 9.73}$$

$$C = 86,330.93 \mu F$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 220Vac/12Vac 800 mA บริดจ์ไดโอดเบอร์ BR32 ใช้ตัวเก็บประจุ C_1 ขนาด 33,000 μF 3 ตัวขนานกันซึ่งได้ค่าความจุเท่ากับ 99,000 μF C_2 ขนาด 100 μF IC Regulator เบอร์ LM350T (ดูภาคผนวก)

3.2.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟสำหรับจ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์จำนวน 5 โคม

ต่อเนื่องจากหัวข้อ 3.2.1 ได้ว่าแต่ละดวงโคมจะกินกระแสเท่ากับ 280 mA จำนวน 5 โคมจะได้

$$I = 280 \times 5$$

$$I = 1,400$$

คิดเพื่อค่าความปลอดภัย 25% จะได้

$$I = 1,400 \times 1.25$$

$$I = 1,750 \text{ mA}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดของตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าระลอกคลื่น (ripple : r) ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกไม่เกิน 0.1%

$$C_1 = \frac{2.4 \times 1,750}{0.001 \times 9.73}$$

$$C_1 = 431,654.67 \text{ } \mu\text{F}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 220Vac/12Vac 5A บริดจ์ไดโอดเบอร์ BR32 ใช้ตัวเก็บประจุ C_1 ขนาด 33,000 μF 14 ตัวขนานกันซึ่งได้ค่าความจุเท่ากับ 462,000 μF C_2 ขนาด 100 μF IC Regulator เบอร์ LM350T (ดูภาคผนวก)



(ก)



(ข)

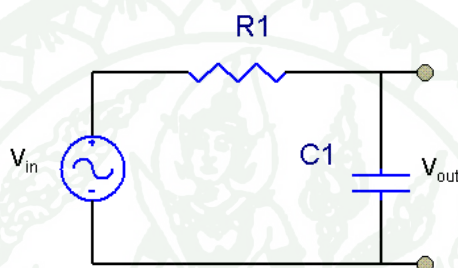
ภาพที่ 53 แหล่งจ่ายไฟจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษา ระดับแรงดัน ($12V_{dc}$)

(ก) สำหรับจ่ายให้โคมแอลอีดีแต่ละโคม

(ค) สำหรับจ่ายให้โคมแอลอีดีจำนวน 5 โคม

4. การออกแบบวงจรกรองความถี่แบบ R-C สำหรับลดสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์

ดังที่ทราบกันว่าสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์เป็นสัญญาณที่มีองค์ประกอบของความถี่ต่างๆ ดังนั้นการลดสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์ก็สามารถทำได้โดยการกรองสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณความถี่หลัก มวลออกไป ซึ่งวงจรพื้นฐานที่สามารถออกแบบง่ายที่สุดนั้นก็คืวงจรกรองความถี่แบบความถี่ต่ำ ผ่านได้แก่ วงจร R-C filter ซึ่งจะใช้ตัวต้านทานมาต่ออนุกรมกับวงจรกำลังและต่อตัวเก็บประจุ ขนานวงจรกำลังดังแสดงในภาพที่ 54



ภาพที่ 54 วงจรกรองความถี่แบบความถี่ต่ำผ่าน R-C filter

ความถี่ที่ต้องการกรองสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 18

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (18)$$

โดยที่ f_c คือความถี่คัทออฟ

สัญญาณความถี่หลักมูลเท่ากับ 50 Hz ดังนั้นจึงต้องการกรองความถี่ฮาร์มอนิกส์ในลำดับที่ 3 ขึ้นไปคือ 150 Hz โดยใช้ตัวต้านทานที่มีค่าน้อยๆ เพื่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวต้านทาน น้อยที่สุดจึงกำหนดให้ตัวต้านทานมีค่า $1\ \Omega$ สามารถคำนวณหาค่าความจุของตัวเก็บประจุได้ดังนี้

$$C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad (19)$$

$$C = 1,061\ \mu F$$

เนื่องจากถ้าต้องการกรองฮาร์มอนิกส์ทั้งหมดจะต้องใช้คาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนสูง ดังนั้นในที่นี้จึงใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $20\ \mu F$ เพื่อเพียงผ่านมาตรฐานที่กำหนด



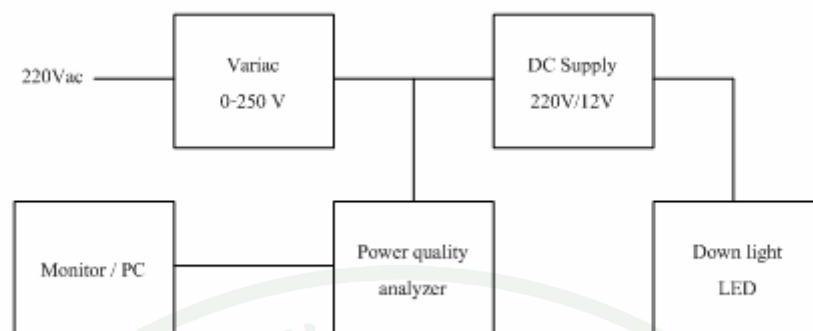
ภาพที่ 55 R-C filter ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน $1\ \Omega$, ตัวเก็บประจุ $20\ \mu F$

5. การวัดและเทคนิคการวัด

ในการทดลองจะทำการทดลองวัดค่าสัญญาณรบกวนย่านฮาร์มอนิกส์ และค่าสมรรถนะต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า การแผ่กระจายความร้อนและความสว่าง การกระจายความสว่าง โดยการทดลองและทดสอบที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้สามารถแบ่งลักษณะการทดลองและทดสอบได้ดังนี้

5.1 การทดสอบวัดค่าสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าซึ่งได้แก่ แรงดัน กระแส ความถี่ กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า และฮาร์มอนิกส์

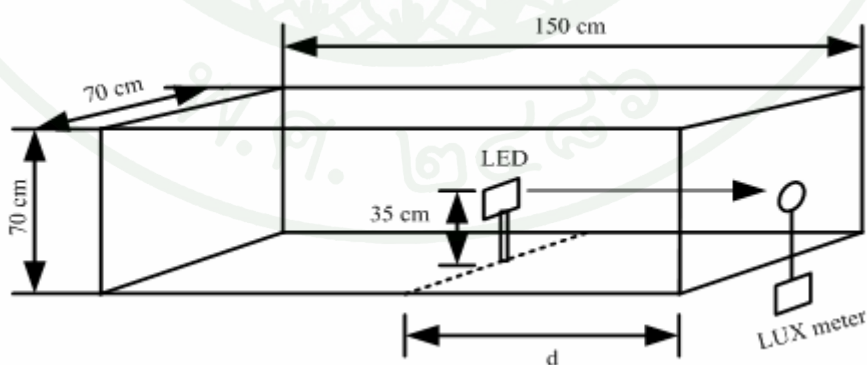
การวัดค่าสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า จะใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณทางไฟฟ้า หรือ power quality analyzer (Fluke รุ่น 43B) ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งรูปคลื่นสัญญาณค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า ความถี่ และค่าตัวประกอบกำลัง และสัญญาณฮาร์มอนิกส์ ซึ่งมีไดอะแกรมการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 56 ไลอะแกรมการทดสอบค่าสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า

5.2 การทดสอบวัดค่าสมรรถนะทางแสง ซึ่งได้แก่ การวัดค่าความสว่าง และการวัดการกระจายแสง

การวัดค่าความสว่างจะใช้ทำการวัดในห้องมืดวัดแสงขนาด 6×4×3 เมตร ส่วนการวัดค่าการกระจายแสงจะทำการวัดในกล่องวัดแสงซึ่งทำขึ้นจากไม้อัด ขนาด 70×70×150 เซนติเมตร ซึ่งภายในจะทาสีดำด้าน และบรรจุหลอดแอลอีดีที่จะทำการวัดค่าไว้ภายใน ซึ่งตัวกล่องจะทำการเจาะรูกลมด้านข้างกล่องเพื่อใช้ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความสว่างหรือลักซ์มิเตอร์ เพื่อวัดค่าความสว่างของหลอดแอลอีดี โดยระยะ d เป็นระยะห่างระหว่างหลอดแอลอีดีกับเครื่องมือวัดแสง ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะ d อ้างอิงที่ 50 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 57



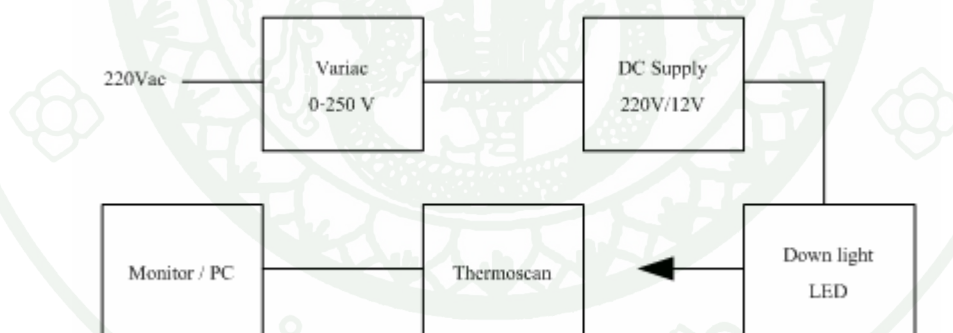
ภาพที่ 57 มิติต่างๆ ของกล่องวัดแสง



ภาพที่ 58 ลักษณะจริงของกล่องวัดแสง

5.3 การทดสอบวัดค่าสมรรถนะทางความร้อน

การทดสอบการวัดค่าการกระจายความร้อนจะทำการทดสอบวัดค่าด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีไดอะแกรมการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 59



ภาพที่ 59 ไดอะแกรมการทดสอบการกระจายความร้อน

ผลและวิจารณ์

ผล

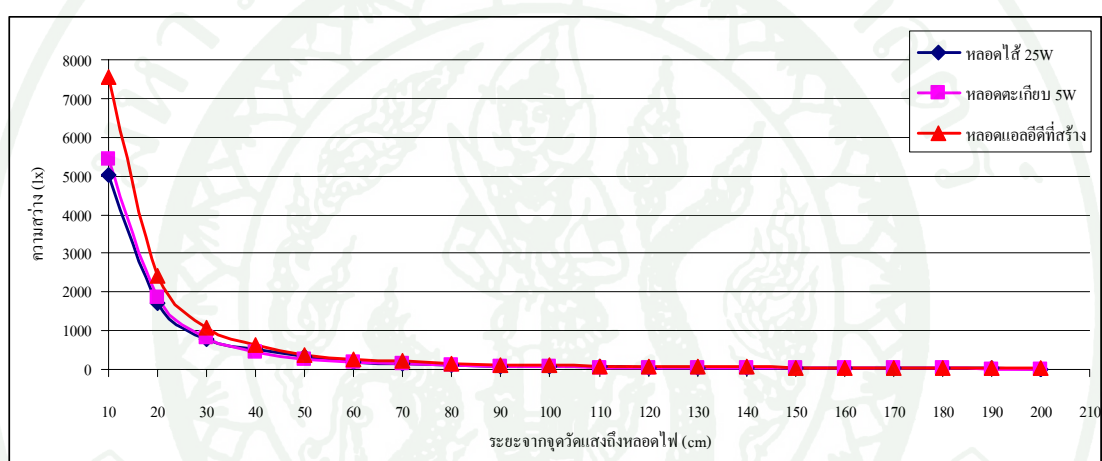
1. ผลการทดสอบวัดค่าความสว่าง

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบวัดค่าความสว่างของโคมหลอดแอลอีดีโดยเทียบกับโคมหลอดไส้ 25W และโคมหลอดตะเกียบ 5W

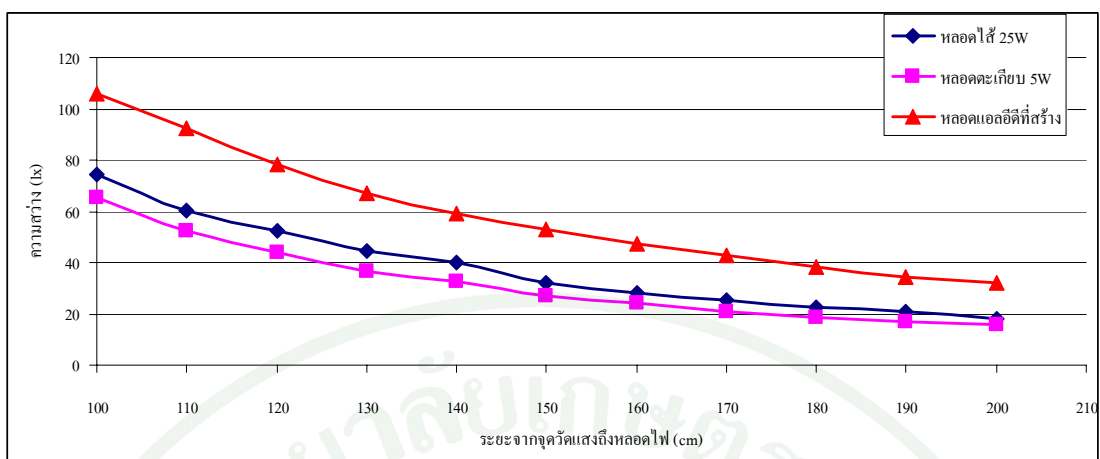
ระยะ (cm)	ความสว่างที่ระยะต่างๆ		
	ความสว่าง (lx)		
	โคมหลอดไส้ 25W	โคมหลอดตะเกียบ 5W	โคมหลอดแอลอีดี
10	5,010	5,450	7,550
20	1,702	1867	2,430
30	787.5	826.7	1,071.5
40	505.2	456.3	621.1
50	331.8	270.2	382.9
60	203.6	178.7	273.6
70	152.9	131.7	210.3
80	112.1	102.5	155.2
90	86.3	77.5	125.7
100	74.3	65.2	105.8
110	60.5	52.6	92.4
120	52.5	43.7	78.3
130	44.5	36.7	67.3
140	40.2	32.4	59.3
150	32.1	27.2	52.8
160	28.1	24.3	47.5
170	25.4	20.8	42.7

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ระยะ (cm)	ความสว่างที่ระยะต่างๆ		
	หลอดไส้ 25W	หลอดตะเกียบ 5W	หลอดแอลอีดี
180	22.6	18.7	38.3
190	20.9	16.8	34.5
200	18.3	15.5	32.1



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับระยะจากจุดวัดแสงถึงหลอดไฟ
ที่ระยะ 10 cm-200 cm



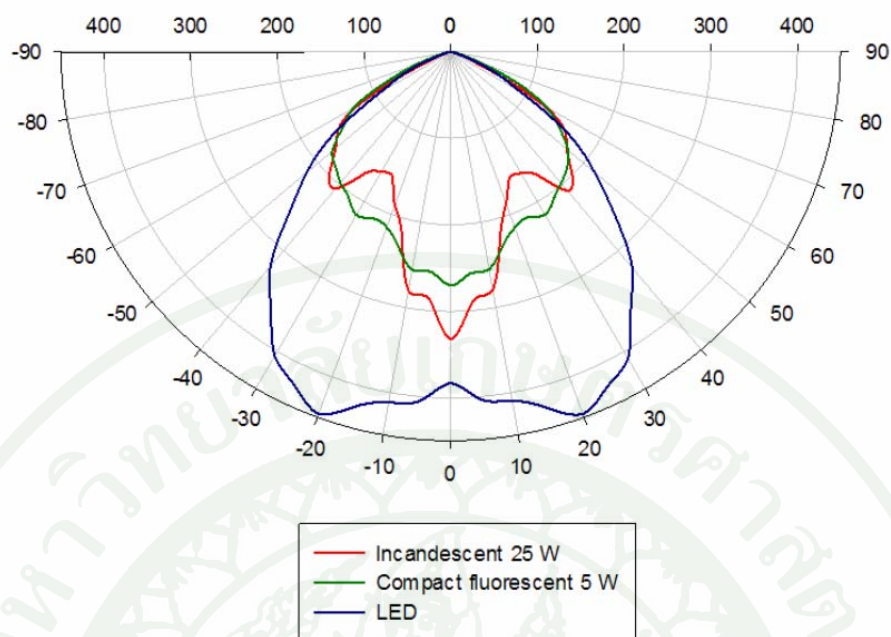
ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับระยะจากจุดวัดแสงถึงหลอดที่ระยะ 100 cm-200 cm

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบวัดค่าการกระจายแสงของโคมหลอดแอลอีดีเทียบกับโคมหลอดไส้ 25W และโคมหลอดตะเกียบ 5W ที่ระยะ 0.5 m

มุม	การทดสอบการกระจายแสงของโคมดาวน์ไลท์		
	ความสว่าง (lx) ที่ระยะ 0.5 m		
	โคมหลอดไส้ 25 W	โคมหลอดตะเกียบ 5 W	โคมหลอดแอลอีดี
-90	0.7	0.3	0.7
-85	1.8	1.9	1.1
-80	2.4	5.9	2.5
-75	4.3	9.7	5.8
-70	13.0	38.3	18.1
-65	45.9	79.5	57.5
-60	122.7	128.4	94.1
-55	158.5	151.5	162.8
-50	173.6	178.3	216.4
-45	197.1	187.7	263.2
-40	206.3	197.7	323.3
-35	171.1	205.4	361.5
-30	160.3	217.6	405.8

ตารางที่ 12 (ต่อ)

มุม	การทดสอบการกระจายแสงของโคมดาวนํ้าไลท์		
	ความสว่าง (lx) ที่ระยะ 0.5 m		
	โคมหลอดไส้ 25 W	โคมหลอดตะเกียบ 5 W	โคมหลอดแอลอีดี
-25	158.7	212.3	425.6
-20	188.4	215.8	445.1
-15	217.4	232.9	424.3
-10	280.2	255.6	411.2
-5	286.5	255.5	404.8
0	331.8	270.2	382.9
5	289.6	257.4	403.5
10	279.3	255.1	409.3
15	220.2	231.9	425.6
20	186.5	216.2	445.4
25	160.6	211.0	427.1
30	162.1	217.4	408.9
35	173.8	207.3	362.1
40	209.3	198.2	325.6
45	197.4	189.7	268.3
50	175.3	176.6	216.5
55	161.1	152.8	165.4
60	123.3	127.3	94.5
65	46.4	82.4	55.8
70	15.2	33.8	20.8
75	4.8	10.2	5.6
80	2.7	6.3	3.3
85	1.7	2.3	1.2
90	0.8	0.5	0.5



ภาพที่ 62 การกระจายแสงของหลอดไส้ หลอดตะเกียบ และแอลอีดีซึ่งบรรจุอยู่ในโคมที่ชนิดเดียวกันที่ระยะ 0.5 m

จากภาพที่ 62 เป็นกราฟการกระจายแสงของโคมหลอดไส้ โคมหลอดตะเกียบ และโคมหลอดแอลอีดีซึ่งบรรจุอยู่ในโคมที่ชนิดเดียวกันจะเห็นว่าโคมแอลอีดีจะมีลักษณะการกระจายแสงที่สมมาตรและสม่ำเสมอกว่าหลอดไส้และหลอดตะเกียบ ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีอีกประการของโคมไฟฟ้าแบบคาวานีไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่จ่ายให้กับโคมหลอดแอลอีดีกับค่าความสว่าง

แรงดัน (V)	ความสว่าง (lx)
10.0	0.6
10.5	16.3
11.0	39.8
11.5	72.4
12.0	105.8
12.5	134.7

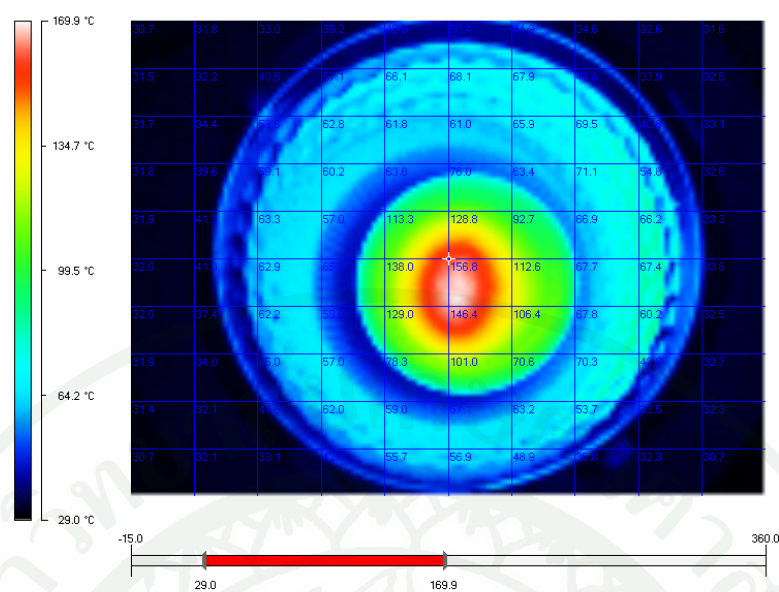
ตารางที่ 13 (ต่อ)

แรงดัน (V)	ความสว่าง (lx)
13.0	149.1
13.5	158.5
14.0	172.6

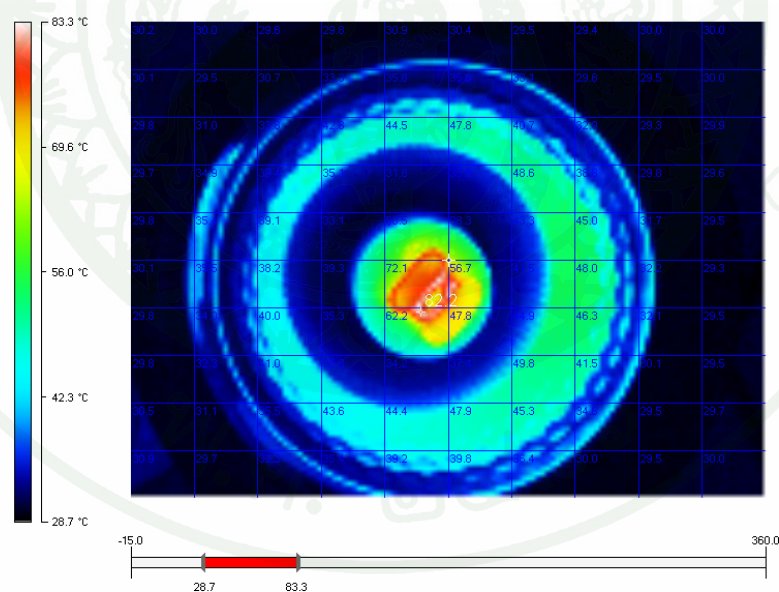
2. ผลการทดสอบการกระจายความร้อน

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบความร้อนสูงสุดที่ผิวของโคมหลอดไส้ โคมหลอดตะเกียบและโคมแอลอีดีเทียบกับระยะเวลาการเปิดใช้งาน

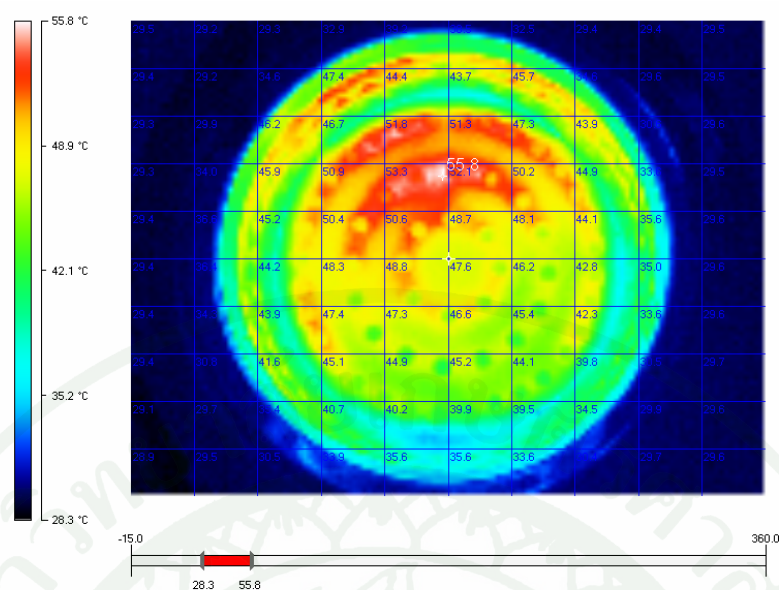
ระยะเวลา (นาที)	ความร้อนสูงสุดบริเวณผิวหลอด (องศาเซลเซียส)		
	โคมหลอดไส้ 25 W	โคมหลอดตะเกียบ 5 W	โคมแอลอีดี
0	101.3	51.9	39.3
10	168.6	84.5	54.9
20	168.6	84.2	55.2
30	169.9	83.3	55.8
40	168.1	85.3	55.7
50	167.9	84.6	53.9
60	168.8	84.8	55.1



ภาพที่ 63 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากหลอดไส้ (25 W) เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Max Temp = 169.9 °C)



ภาพที่ 64 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากหลอดตะเกียบ (5 W) เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Max Temp = 83.3 °C)

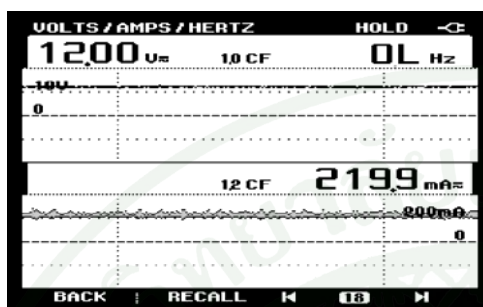


ภาพที่ 65 ผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) จากโคมหลอดแอลอีดี เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Max Temp = 55.8 °C)

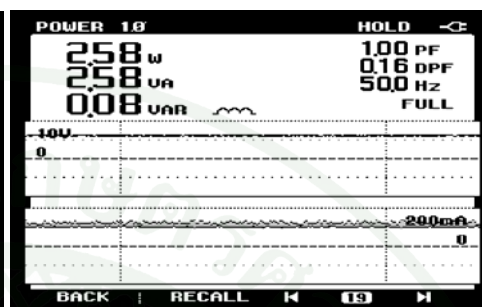
จากภาพที่ 63-65 เป็นผลการทดลองการวัดค่าการกระจายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke รุ่น Ti20) ซึ่งจะเห็นว่าโคมหลอดไฟนั้นจะมีการกระจายความร้อนในลักษณะจุดกำเนิดความร้อนที่ไส้หลอดเพียงจุดเดียว โคมหลอดตะเกียบจะมีการกระจายความร้อนในลักษณะแหล่งกำเนิดความร้อนที่ผิวหลอด ส่วนโคมหลอดแอลอีดีนั้นจะเกิดความร้อนในลักษณะกระจายที่ค่อนข้างสม่ำเสมอเนื่องจากความร้อนเกิดขึ้นจากหลอดแอลอีดีเล็กๆ ที่นำมาจัดวางแบบกระจายทั่วทั้งดวงโคม

3. ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป (จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A)

3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A



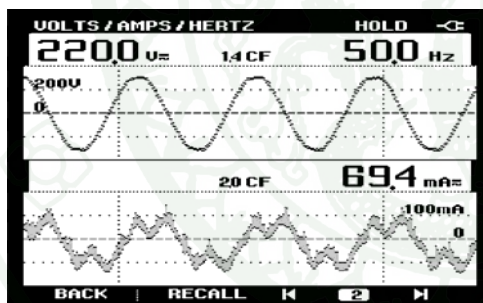
(ก) แรงดันและกระแส



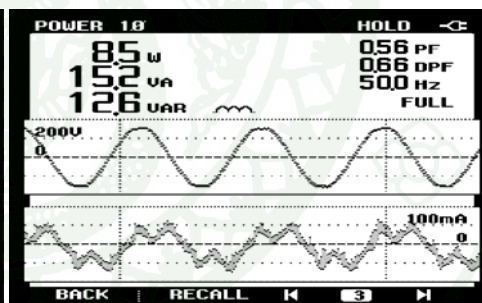
(ข) กำลังไฟฟ้าและค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

ภาพที่ 66 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

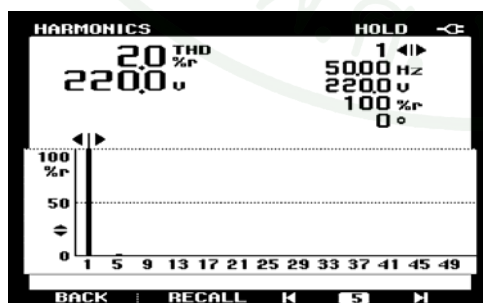
3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น



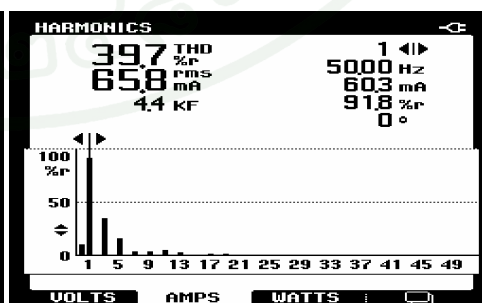
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

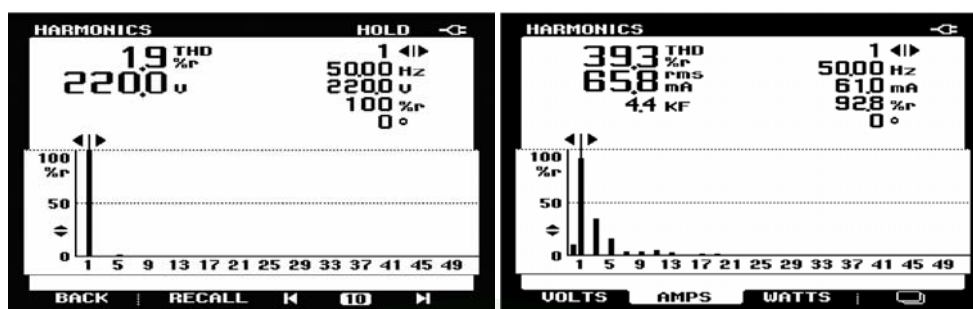


(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี

ภาพที่ 67 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น



(จ) THDv กรณีความต้านทาน

(ข) THDi กรณีความต้านทาน

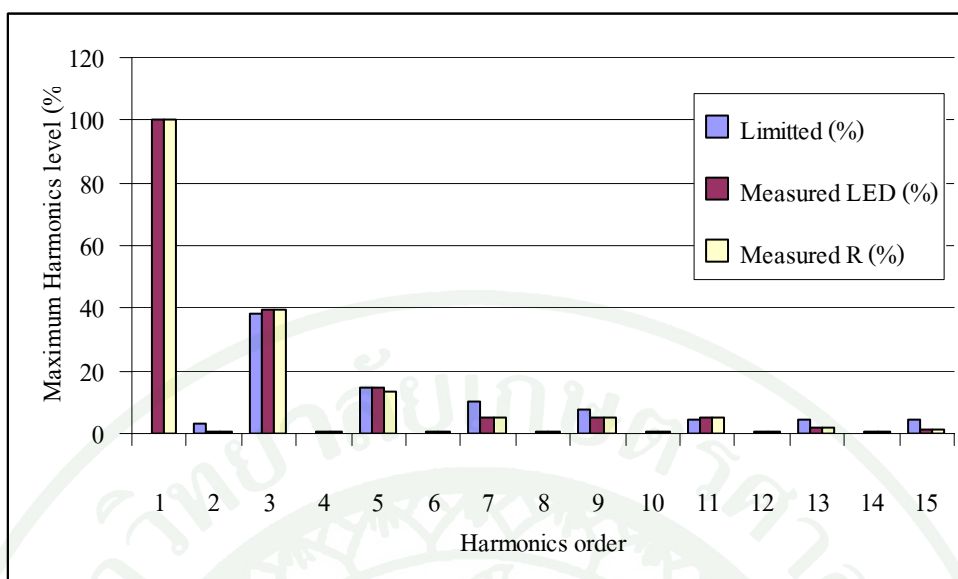
ภาพที่ 67 (ต่อ)

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นเทียบกับ
มาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100.0
2	3	0.7	0.7
3	38.52	39.4	39.3
4	-	0.6	0.6
5	15	14.5	13.7
6	-	0.6	0.6
7	10.5	4.9	4.8
8	-	0.6	0.5
9	7.5	4.8	4.8
10	-	0.5	0.5
11	4.5	5.0	4.8
12	-	0.4	0.4
13	4.5	2.0	2.1
14	-	0.5	0.4
15	4.5	1.1	1.0
16	-	0.4	0.4

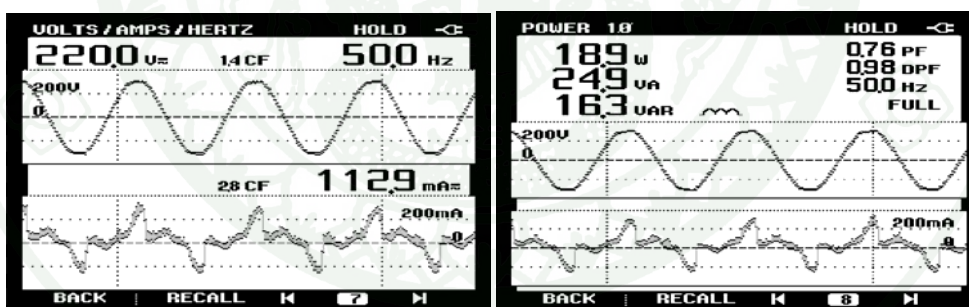
ตารางที่ 15 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
17	4.5	1.5	1.5
18	-	0.6	0.6
19	4.5	1.1	0.6
20	-	0.5	0.6
21	4.5	0.9	0.9
22	-	0.4	0.4
23	4.5	1.4	1.3
24	-	0.4	0.4
25	4.5	0.8	0.9
26	-	0.6	0.4
27	4.5	0.8	0.8
28	-	0.5	0.5
29	4.5	0.9	0.8
30	-	0.7	0.7
31	4.5	0.7	0.7
32	-	0.7	0.7
33	4.5	0.8	0.7
34	-	0.6	0.4
35	4.5	0.7	0.5
36	-	0.6	0.5
37	4.5	0.6	0.5
38	-	0.5	0.5
39	4.5	0.6	0.7
40	-	0.7	0.7



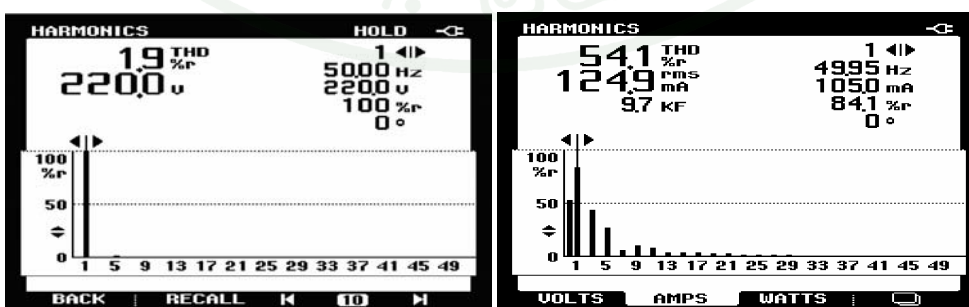
ภาพที่ 68 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายแบบแบบเชิงเส้นเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

3.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง



(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

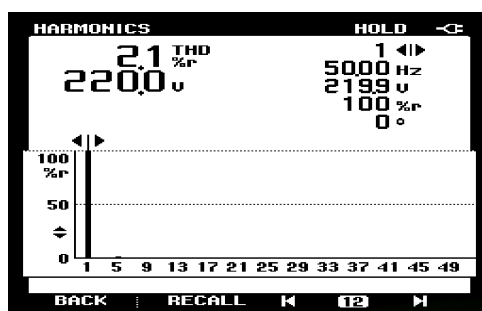
(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



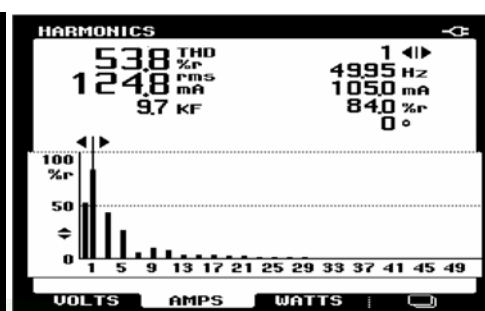
(ค) THDv กรณีแอลอีดี

(ง) THDi กรณีแอลอีดี

ภาพที่ 69 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบสวิตชิง



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

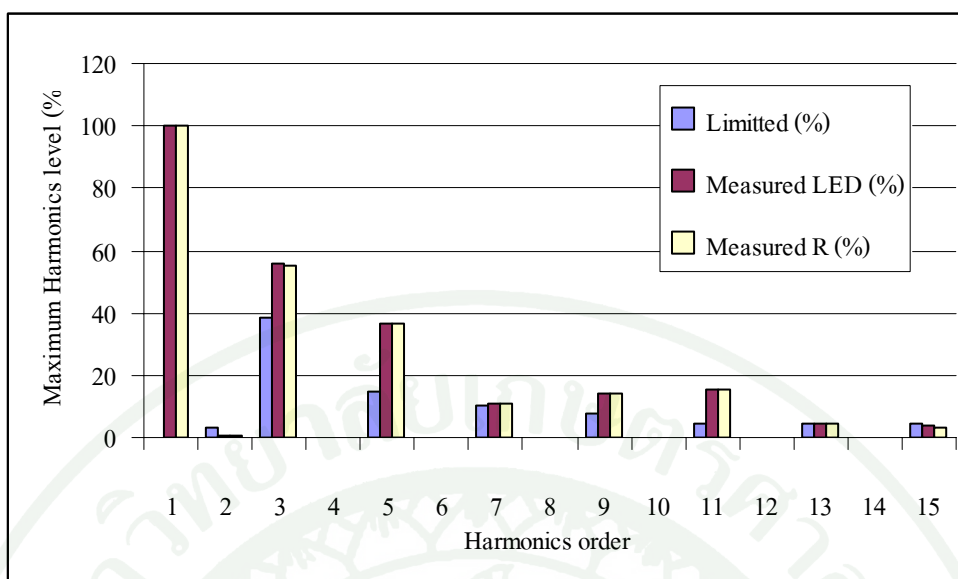
ภาพที่ 69 (ต่อ)

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100.0
2	3	0.4	0.4
3	38.52	56	55.3
4	-	0.1	0.2
5	15	36.7	36.5
6	-	0.2	0.2
7	10.5	11	10.7
8	-	0.1	0.1
9	7.5	14.2	14.1
10	-	0.2	0.2
11	4.5	15.5	15.1
12	-	0.2	0.2
13	4.5	4.4	4.3
14	-	0.2	0.3
15	4.5	3.8	3.5
16	-	0.1	0.1

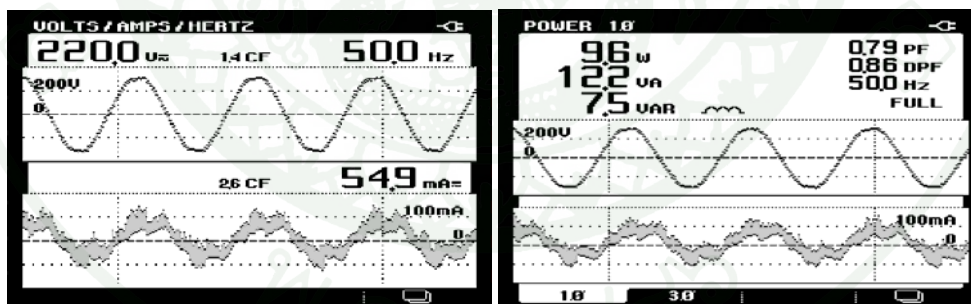
ตารางที่ 16 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
17	4.5	4.4	4.5
18	-	0.1	0.1
19	4.5	3.9	3.7
20	-	0.2	0.2
21	4.5	2.4	2.0
22	-	0.2	0.2
23	4.5	2.3	2.3
24	-	0.3	0.3
25	4.5	2.3	2.3
26	-	0.1	0.1
27	4.5	1.1	1.3
28	-	0.1	0.2
29	4.5	1.3	1.2
30	-	0.1	0.1
31	4.5	1	1.0
32	-	0.1	0.2
33	4.5	0.4	0.3
34	-	0.2	0.2
35	4.5	0.7	0.4
36	-	0.1	0.1
37	4.5	0.5	0.4
38	-	0.1	0.1
39	4.5	0.2	0.2
40	-	0.2	0.2



ภาพที่ 70 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่งเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

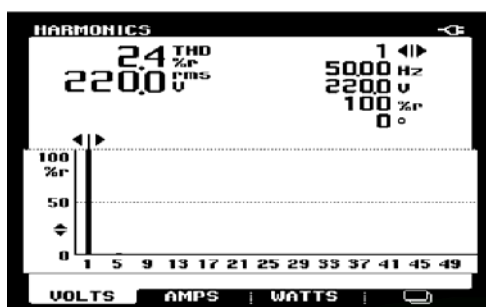
3.4 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด



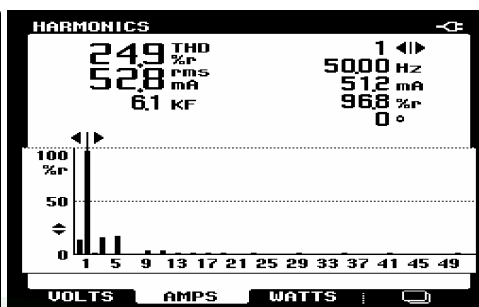
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

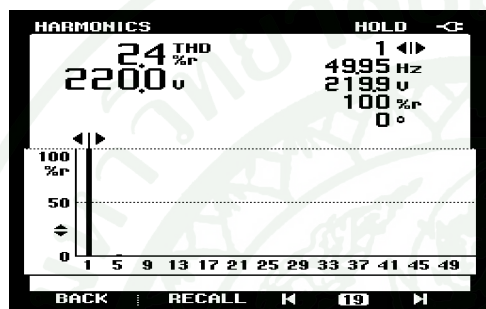
ภาพที่ 71 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด



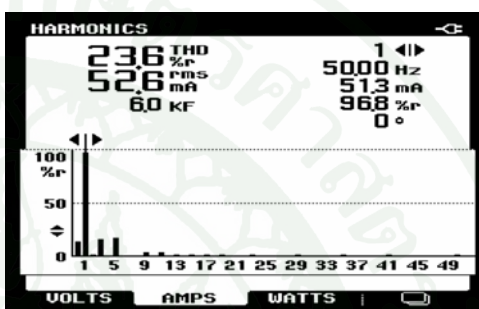
(ก) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 71 (ต่อ)

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายไฟแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

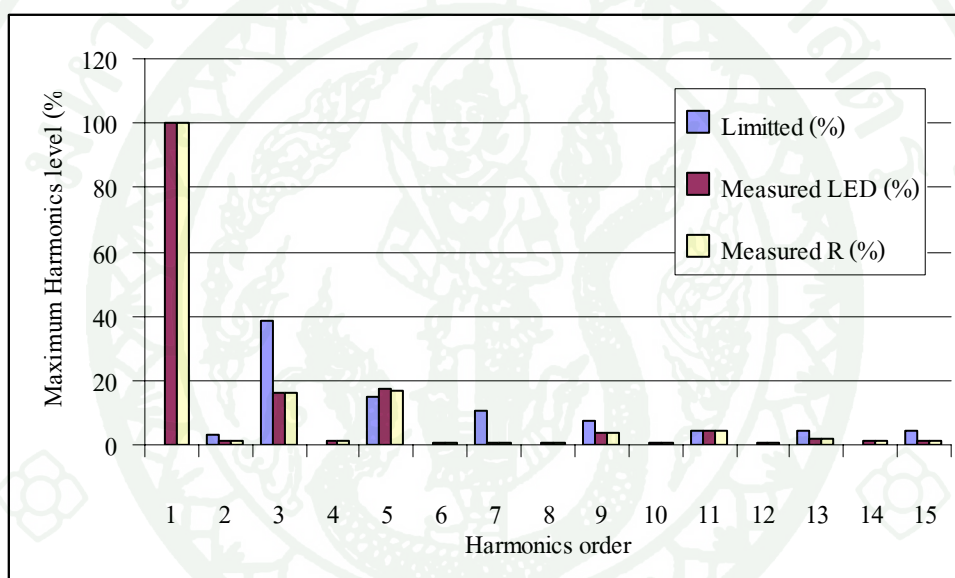
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100.0
2	3	1.1	1.0
3	38.52	16.4	15.9
4	-	1.0	1.0
5	15	17.5	17.0
6	-	0.7	0.7
7	10.5	0.9	0.7
8	-	0.6	0.7
9	7.5	3.9	3.8

ตารางที่ 17 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
10	-	0.5	0.6
11	4.5	4.2	4.2
12	-	0.6	0.6
13	4.5	1.8	1.6
14	-	1.2	1.2
15	4.5	1.5	1.3
16	-	0.7	0.7
17	4.5	1.9	1.7
18	-	1.5	1.5
19	4.5	0.4	0.6
20	-	0.9	0.9
21	4.5	1.1	0.8
22	-	0.7	0.6
23	4.5	1.5	1.5
24	-	0.8	0.8
25	4.5	1.4	1.0
26	-	1.1	1.0
27	4.5	1.1	0.9
28	-	0.7	0.7
29	4.5	0.9	0.7
30	-	1.0	1.0
31	4.5	1.1	1.0
32	-	0.8	0.8
33	4.5	1.0	1.0
34	-	0.7	0.6
35	4.5	0.7	0.6
36	-	0.6	0.6

ตารางที่ 17 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
37	4.5	0.8	0.9
38	-	0.9	0.9
39	4.5	1.3	1.1
40	-	0.9	0.9



ภาพที่ 72 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณีแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบรีดจ์ชนิดไดโอดเทียบกับมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

4. กรณีแหล่งจ่ายที่ออกแบบสร้างเอง (วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบรีดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดัน)

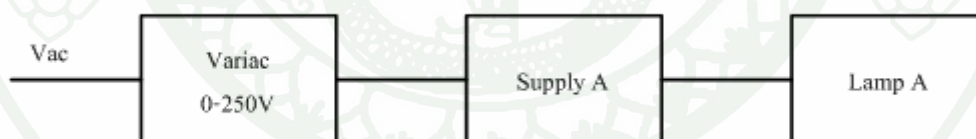
- แหล่งจ่ายที่ออกแบบสร้างสำหรับจ่ายให้กับโคมแอลอีดี 1 โคม จำนวน 5 ชุด ได้แก่ ชุด A , B, C, D และ E
- แหล่งจ่ายที่ออกแบบสร้างสำหรับจ่ายให้กับโคมแอลอีดี 5 โคม จำนวน 1 ชุด ได้แก่ ชุด F

การทดสอบจะกำหนดให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าคงที่ที่ 220V ความถี่ 50 Hz และอัตราการล่อกลืนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกไม่เกิน 0.1% โดยผลการทดสอบอัตราการล่อกลืนของแรงดันไฟฟ้าด้านออก % r ของแหล่งจ่ายแต่ละชุดได้แสดงไว้ในตารางที่ 14

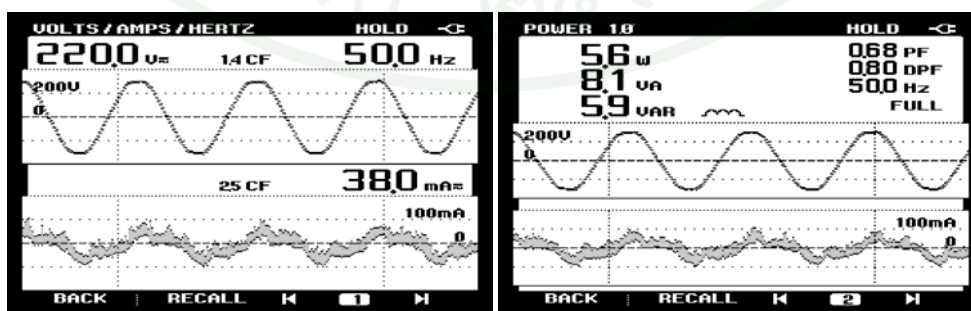
ตารางที่ 18 ผลการทดสอบอัตราการล่อกลืนของแรงดันไฟฟ้าด้านออก % r ของแหล่งจ่ายแต่ละชุด ซึ่งออกแบบไว้ให้มีค่าไม่เกิน 0.1%

ลำดับชุด	Vac,rms (mV)	Vdc(V)	$(V_{ac,rms} / V_{dc}) * 100 = \%r (\%)$
A	5.8	13.38	0.04335
B	5.4	13.55	0.03985
C	5.6	13.43	0.04170
D	5.4	13.59	0.03974
E	5.9	13.29	0.04439
F	5.7	13.21	0.04315

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 แหล่งจ่าย A จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A



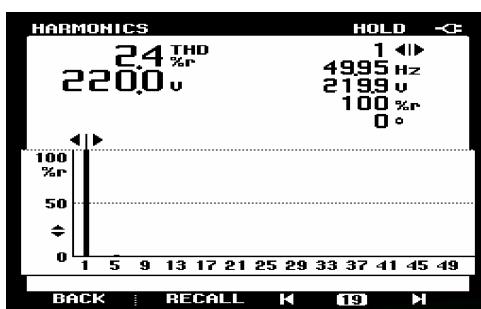
ภาพที่ 73 ไดอะแกรมการทดลองกรณีศึกษาที่ 1



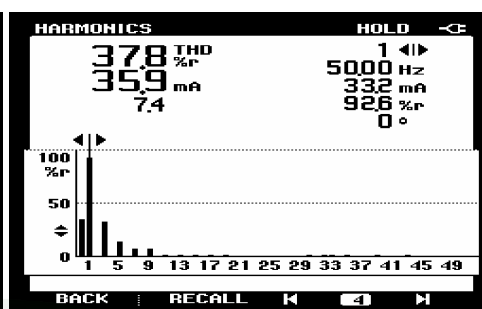
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

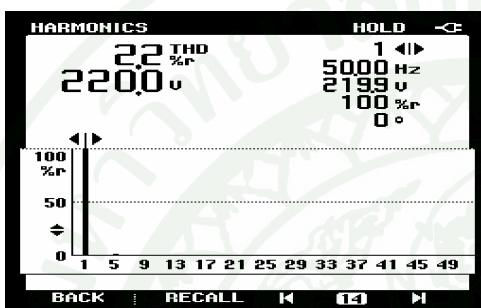
ภาพที่ 74 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันในกรณีศึกษาที่ 1



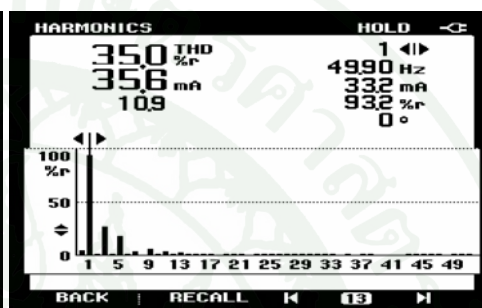
(ค) THDv กรณีแอลอีดีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 74 (ต่อ)

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในการศึกษาที่ 1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

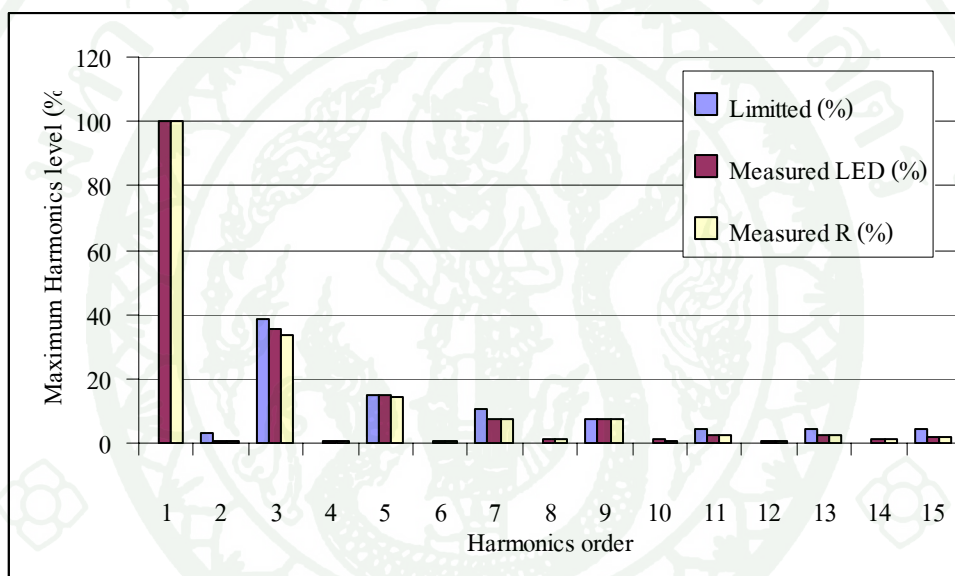
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.9	0.8
3	38.52	35.6	33.8
4	-	0.7	0.7
5	15	14.9	14.2
6	-	0.9	0.8
7	10.5	7.3	7.3
8	-	1.1	1.0
9	7.5	7.5	7.3

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
10	-	1.1	0.9
11	4.5	2.2	2.2
12	-	0.9	0.7
13	4.5	2.2	2.2
14	-	1	1.1
15	4.5	1.7	1.6
16	-	0.8	0.8
17	4.5	1.6	1.7
18	-	0.7	0.7
19	4.5	1.4	1.3
20	-	1	0.8
21	4.5	1	0.9
22	-	1.1	1.0
23	4.5	1.1	1.1
24	-	0.9	0.9
25	4.5	0.9	0.9
26	-	1	0.9
27	4.5	1	1.1
28	-	0.9	0.9
29	4.5	0.9	0.8
30	-	1.2	1.2
31	4.5	0.8	0.8
32	-	1.3	1.2
33	4.5	1.4	1.3
34	-	0.6	0.7
35	4.5	1.7	1.6
36	-	0.7	0.5

ตารางที่ 19 (ต่อ)

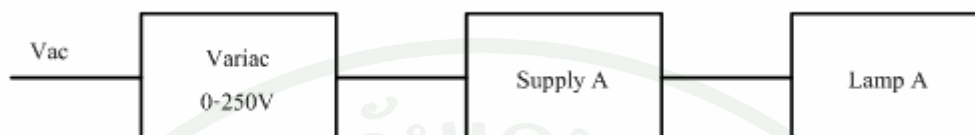
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
37	4.5	1.1	1.1
38	-	0.8	0.8
39	4.5	1.3	1.2
40	-	0.9	0.9



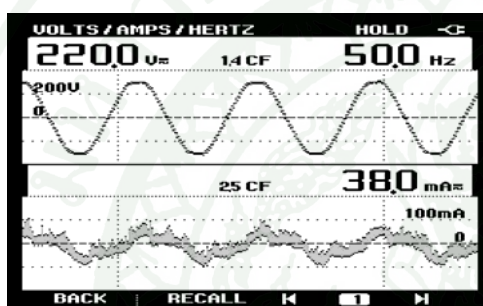
ภาพที่ 75 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณีศึกษาที่ 1 เทียบกับค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 แหล่งจ่าย A-E จ่ายให้กับโคมความถี่ A

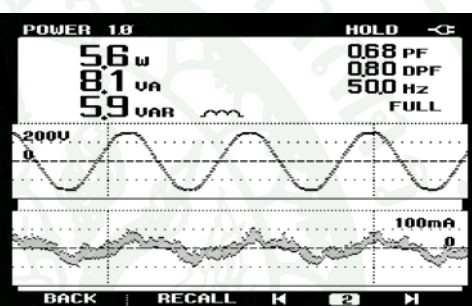
4.2.1 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้กับโคมที่ A



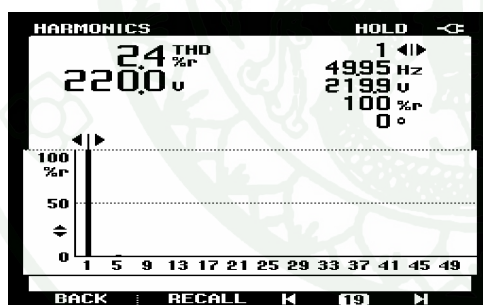
ภาพที่ 76 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.1



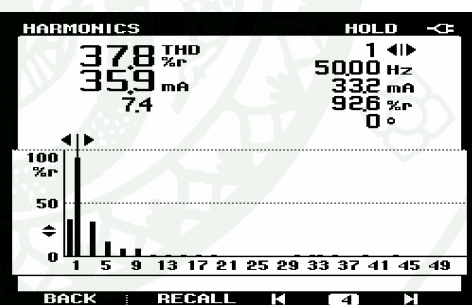
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



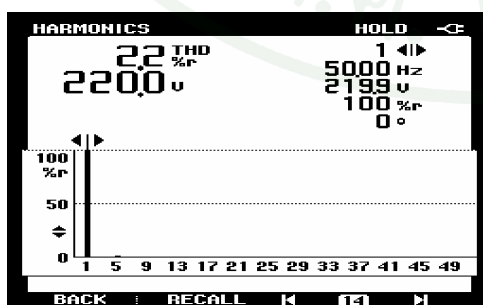
(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



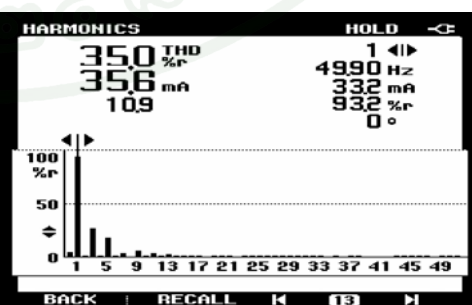
(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

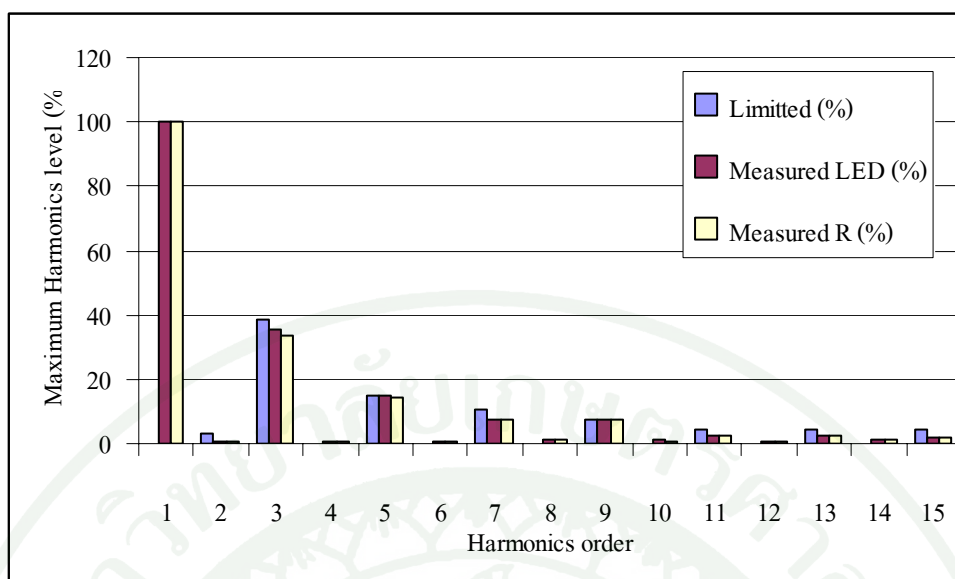
ภาพที่ 77 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.1

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.2.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.9	0.8
3	38.52	35.6	33.8
4	-	0.7	0.7
5	15	14.9	14.2
6	-	0.9	0.8
7	10.5	7.3	7.3
8	-	1.1	1.0
9	7.5	7.5	7.3
10	-	1.1	0.9
11	4.5	2.2	2.2
12	-	0.9	0.7
13	4.5	2.2	2.2
14	-	1	1.1
15	4.5	1.7	1.6
16	-	0.8	0.8
17	4.5	1.6	1.7
18	-	0.7	0.7
19	4.5	1.4	1.3
20	-	1	0.8
21	4.5	1	0.9
22	-	1.1	1.0
23	4.5	1.1	1.1
24	-	0.9	0.9
25	4.5	0.9	0.9
26	-	1	0.9

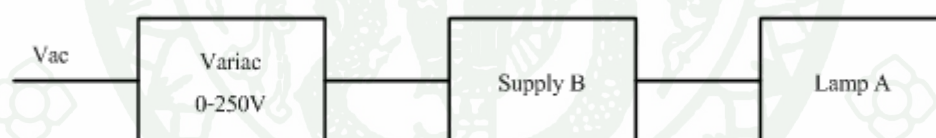
ตารางที่ 20 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
27	4.5	1	1.1
28	-	0.9	0.9
29	4.5	0.9	0.8
30	-	1.2	1.2
31	4.5	0.8	0.8
32	-	1.3	1.2
33	4.5	1.4	1.3
34	-	0.6	0.7
35	4.5	1.7	1.6
36	-	0.7	0.5
37	4.5	1.1	1.1
38	-	0.8	0.8
39	4.5	1.3	1.2
40	-	0.9	0.9

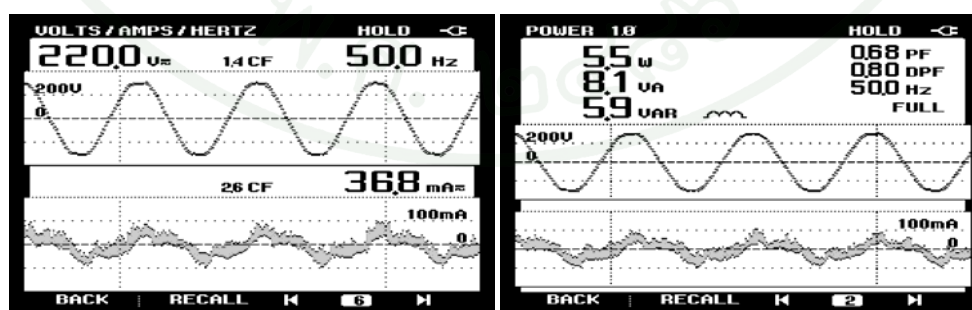


ภาพที่ 78 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

4.2.2 แหล่งจ่ายชุดที่ B จ่ายให้กับโคมที่ A



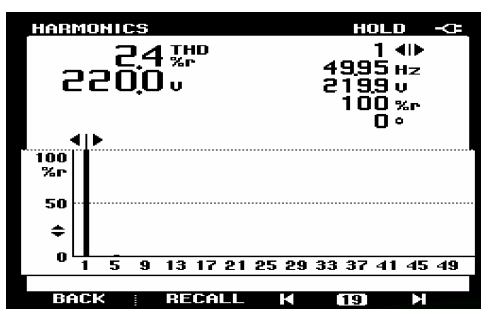
ภาพที่ 79 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.2



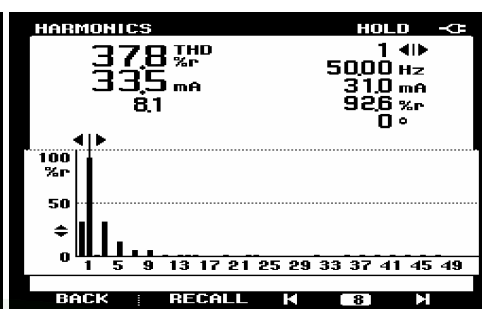
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

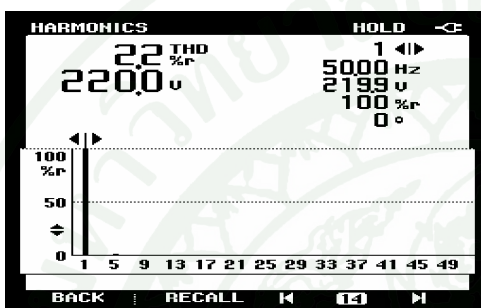
ภาพที่ 80 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.2



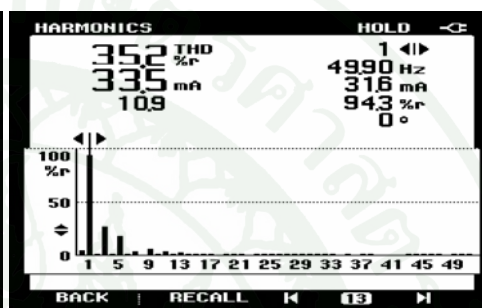
(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 80 (ต่อ)

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.2.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

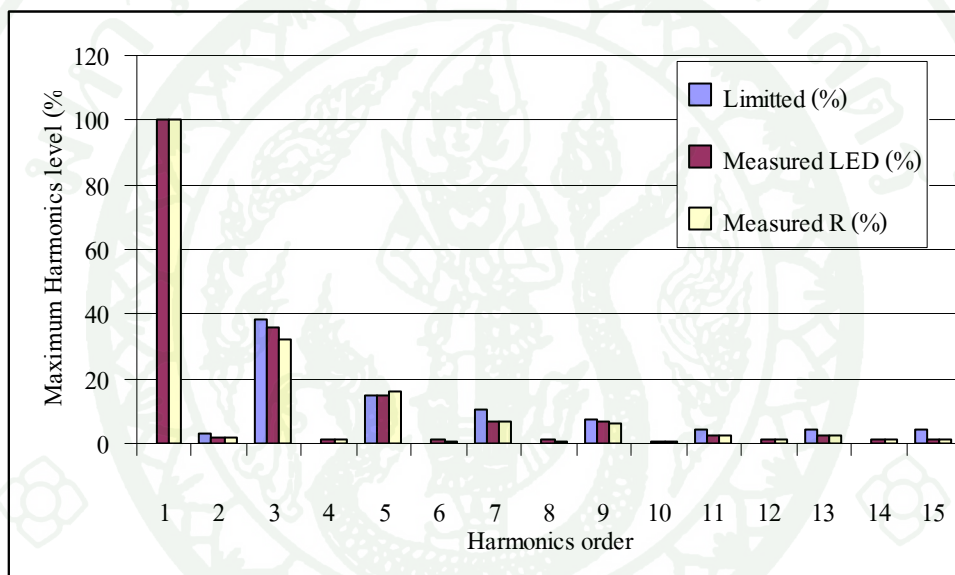
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	2.0	1.8
3	38.52	35.8	31.9
4	-	1.1	1.0
5	15	14.8	15.8
6	-	1.0	0.9
7	10.5	7.1	6.7
8	-	1.0	0.9
9	7.5	6.7	6.0

ตารางที่ 21 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
10	-	0.9	0.9
11	4.5	2.2	2.4
12	-	1.1	1.0
13	4.5	2.2	2.2
14	-	1.3	1.3
15	4.5	1.4	1.3
16	-	1.0	0.9
17	4.5	1.1	1.1
18	-	0.9	0.7
19	4.5	1.2	1.0
20	-	1.1	1.0
21	4.5	0.9	0.7
22	-	1.2	1.1
23	4.5	1.7	1.4
24	-	1.2	1.2
25	4.5	0.9	0.9
26	-	1.0	0.9
27	4.5	1.2	1.1
28	-	0.9	0.9
29	4.5	0.7	0.7
30	-	1.0	1.1
31	4.5	1.2	1.2
32	-	1.2	1.1
33	4.5	1.1	0.9
34	-	1.1	0.9
35	4.5	1.4	1.1
36	-	0.9	1.1

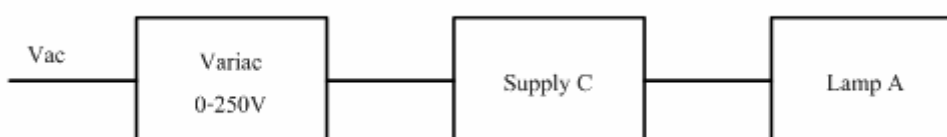
ตารางที่ 21 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
37	4.5	1.6	1.5
38	-	1.1	0.9
39	4.5	1.2	0.9
40	-	1.0	0.9

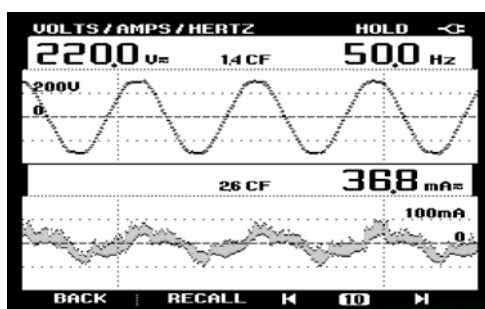


ภาพที่ 81 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

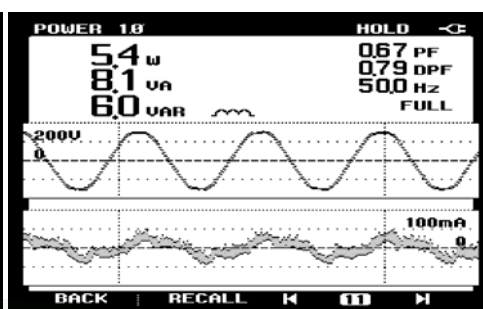
4.2.3 แหล่งจ่ายชุดที่ C จ่ายให้กับ โคมที่ A



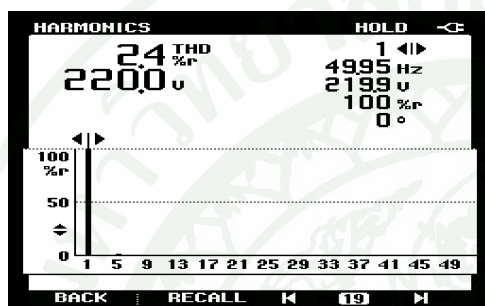
ภาพที่ 82 ำไลอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.3



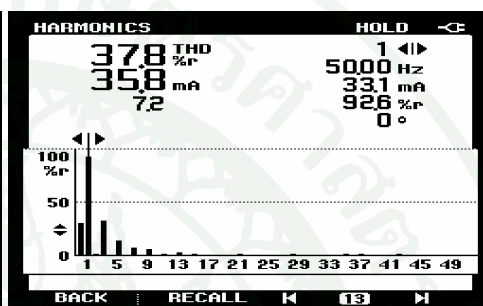
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



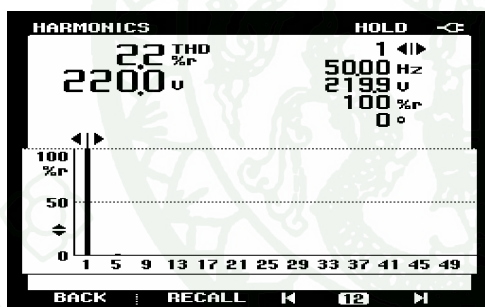
(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



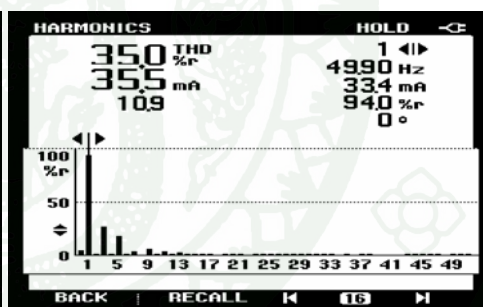
(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 83 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.3

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุด ใน กรณี 4.2.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

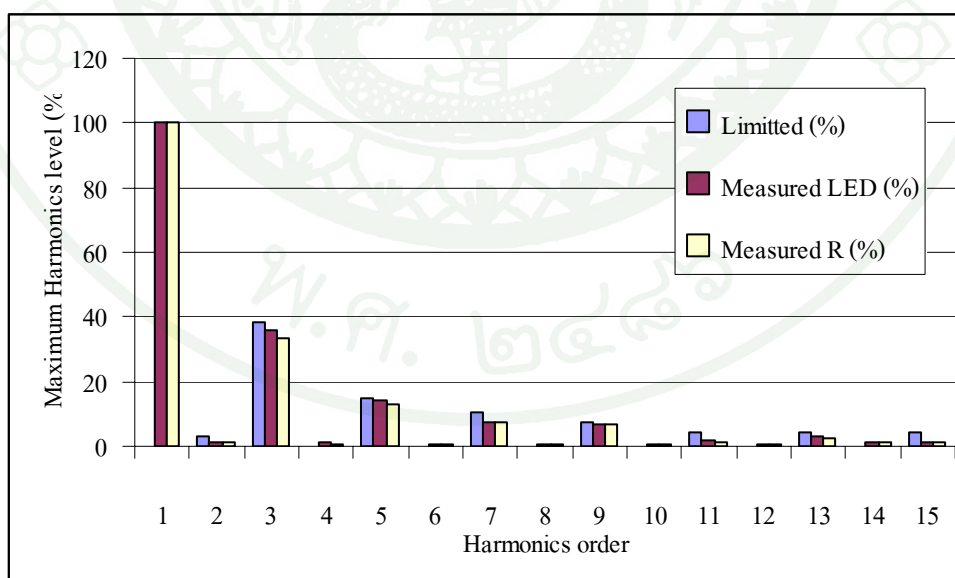
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100

ตารางที่ 22 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
2	3	1.2	1.1
3	38.52	35.9	33.5
4	-	1.1	0.9
5	15	14.5	12.9
6	-	0.9	0.8
7	10.5	7.5	7.4
8	-	0.8	0.9
9	7.5	7.0	6.8
10	-	0.9	0.7
11	4.5	1.7	1.5
12	-	0.7	0.9
13	4.5	2.9	2.6
14	-	1.0	1.2
15	4.5	1.4	1.3
16	-	0.8	0.8
17	4.5	1.1	1.1
18	-	0.8	0.9
19	4.5	1.1	0.9
20	-	0.6	0.5
21	4.5	1.4	1.4
22	-	1.1	1.0
23	4.5	0.9	0.7
24	-	0.9	0.8
25	4.5	0.9	0.7
26	-	0.9	0.7
27	4.5	1.1	1.0
28	-	1.2	1.3

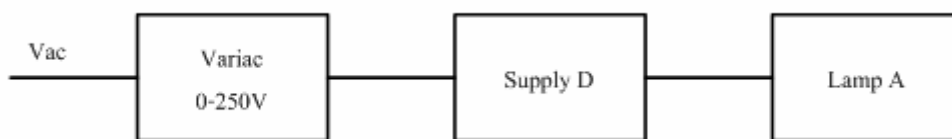
ตารางที่ 22 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
29	4.5	0.8	0.7
30	-	1.1	1.1
31	4.5	0.9	0.9
32	-	0.9	0.9
33	4.5	1.1	0.9
34	-	0.7	0.5
35	4.5	1.7	1.8
36	-	0.9	0.9
37	4.5	1.2	0.9
38	-	1.1	0.9
39	4.5	1.0	0.9
40	-	1.0	0.9

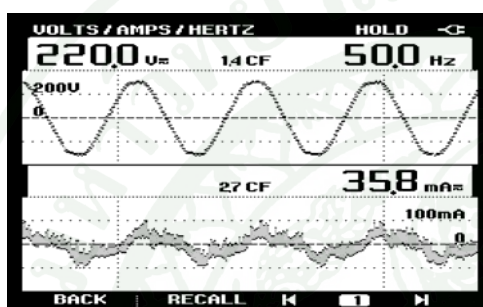


ภาพที่ 84 กระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.2.3 เทียบกับโหลดความต้านทานและค่าขีดจำกัดฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

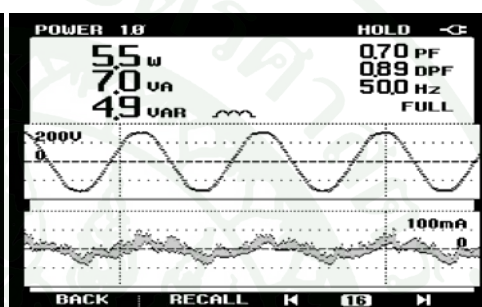
4.2.4 แหล่งจ่ายชุดที่ D จ่ายให้กับโคมที่ A



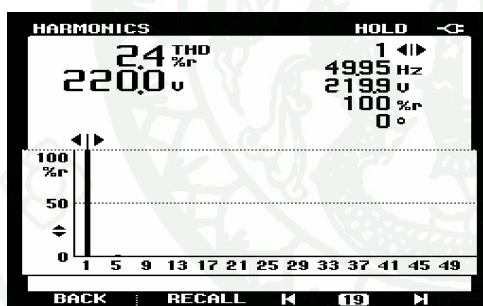
ภาพที่ 85 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.4



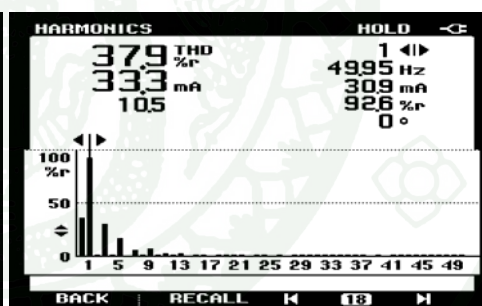
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



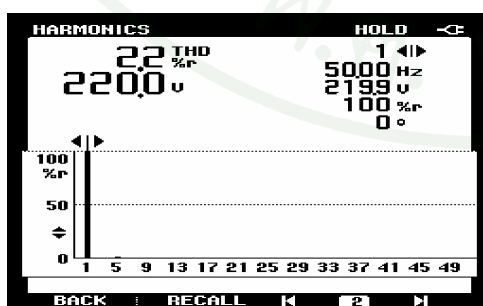
(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



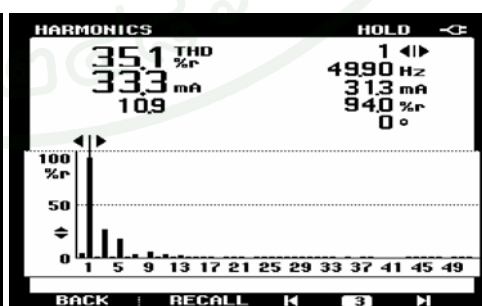
(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

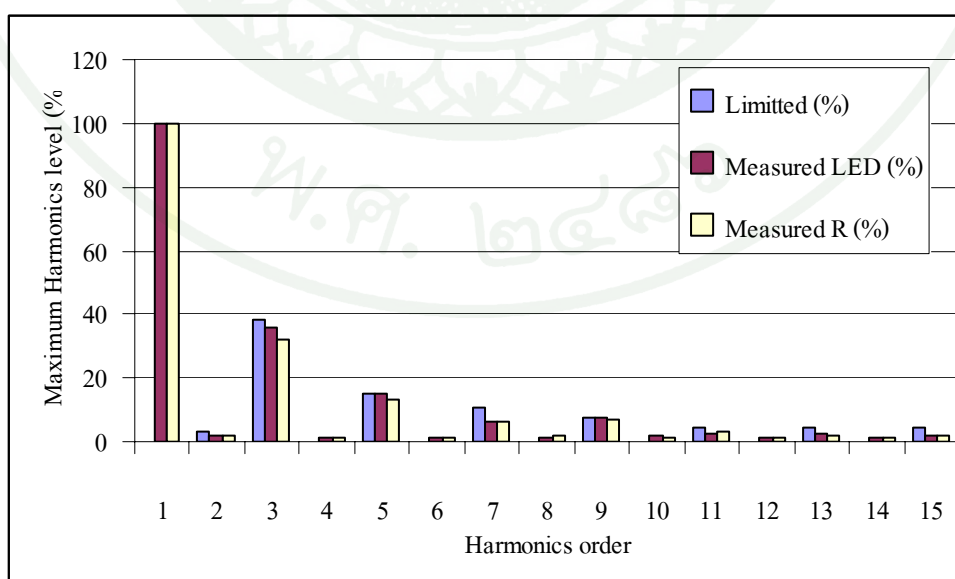
ภาพที่ 86 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.4

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดใน กรณี 4.2.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	1.7	1.6
3	38.52	35.5	31.8
4	-	1.3	1.3
5	15	14.8	13.2
6	-	1.0	1.1
7	10.5	6.4	6.2
8	-	1.4	1.9
9	7.5	7.3	7.2
10	-	1.7	1.5
11	4.5	2.3	2.9
12	-	1.2	1.2
13	4.5	2.8	2.0
14	-	1.0	1.0
15	4.5	1.7	1.8
16	-	1.1	1.3
17	4.5	1.1	1.0
18	-	1.6	1.7
19	4.5	1.5	1.3
20	-	1.4	1.3
21	4.5	1.5	1.2
22	-	1.1	1.2
23	4.5	1.5	1.1
24	-	1.6	1.3
25	4.5	1.1	1.4
26	-	1.2	1.2

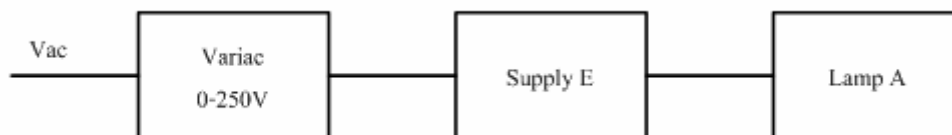
ตารางที่ 23 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
27	4.5	1.0	0.9
28	-	1.2	0.9
29	4.5	1.5	1.1
30	-	1.3	1.3
31	4.5	1.8	1.7
32	-	1.8	1.8
33	4.5	1.2	1.2
34	-	1.4	1.4
35	4.5	1.5	1.4
36	-	1.8	1.1
37	4.5	1.6	1.4
38	-	1.0	0.8
39	4.5	1.4	1.0
40	-	0.9	0.8

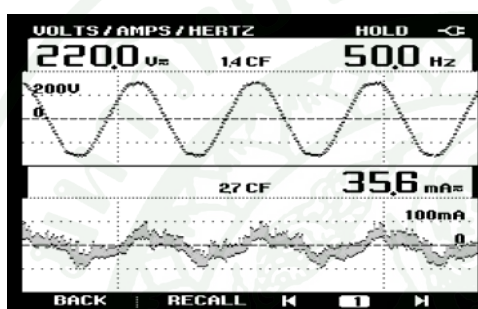


ภาพที่ 87 กระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในการฉี 4.2.4 เทียบกับโหลดความต้านทานและค่าขีดจำกัดฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

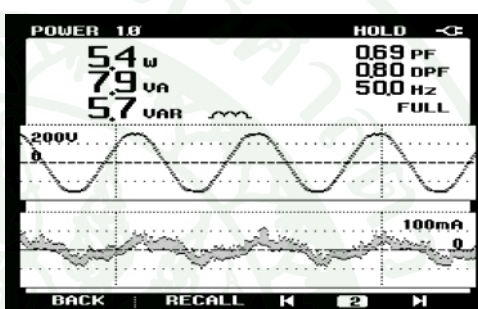
4.2.5 แหล่งจ่ายชุดที่ E จ่ายให้กับโคมที่ A



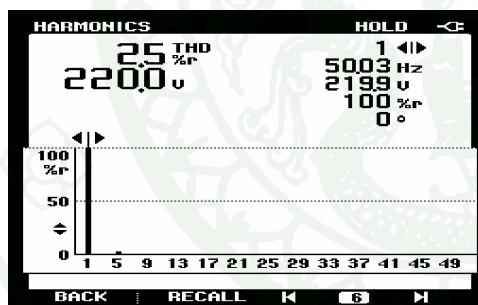
ภาพที่ 88 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.2.5



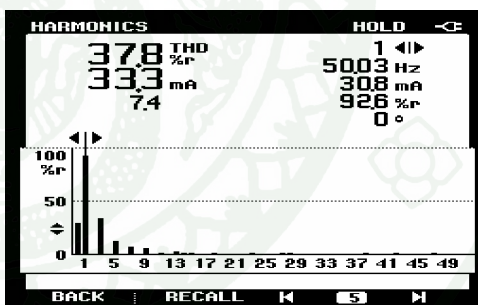
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

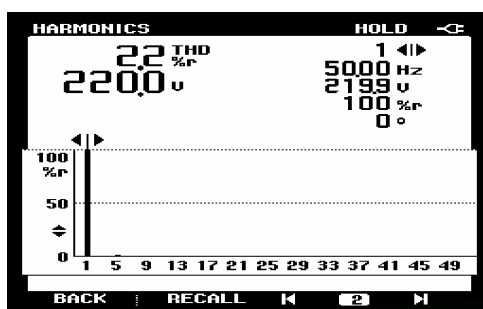


(ค) THDv กรณีแอลอีดี

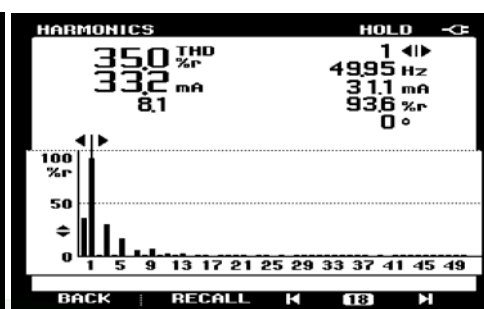


(ง) THDi กรณีแอลอีดี

ภาพที่ 89 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.2.5



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

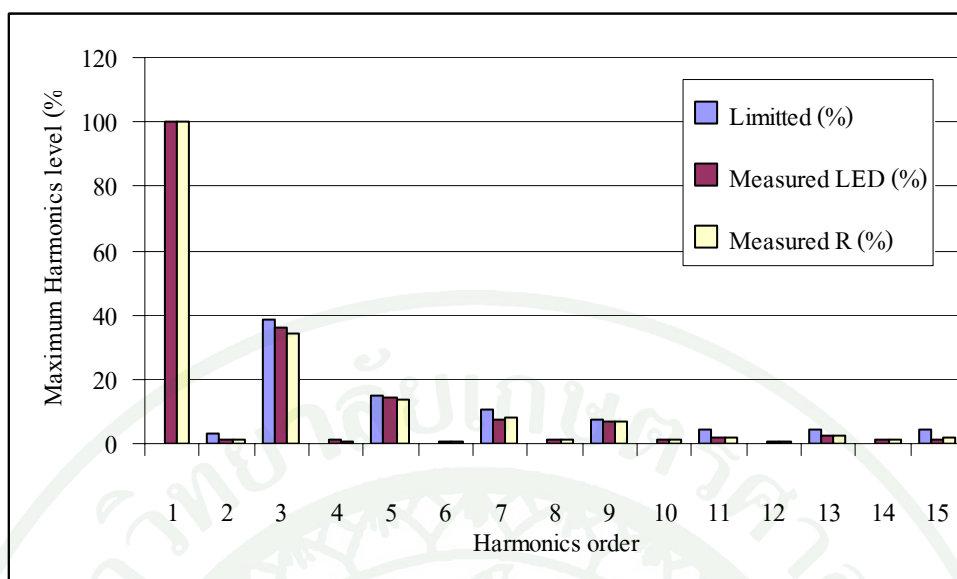
ภาพที่ 89 (ต่อ)

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.2.5 เทียบกับค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	1.1	1.0
3	38.52	36.0	34.1
4	-	1.1	0.9
5	15	14.3	13.8
6	-	0.9	0.8
7	10.5	7.7	7.8
8	-	1.0	1.0
9	7.5	6.8	7.0
10	-	1.2	1.2
11	4.5	2.1	2.0
12	-	0.8	0.8
13	4.5	2.5	2.5
14	-	1.2	1.1
15	4.5	1.5	1.6
16	-	0.9	0.8
17	4.5	1.2	1.1

ตารางที่ 24 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
18	-	1.5	1.5
19	4.5	1.2	1.1
20	-	0.7	0.7
21	4.5	0.9	0.9
22	-	1.0	0.9
23	4.5	1.7	1.8
24	-	1.2	1.1
25	4.5	0.8	0.9
26	-	1.2	1.0
27	4.5	1.2	1.0
28	-	1.2	1.3
29	4.5	1.0	1.1
30	-	0.9	0.8
31	4.5	0.8	0.6
32	-	0.9	0.9
33	4.5	1.0	0.9
34	-	1.0	0.9
35	4.5	0.9	0.8
36	-	1.0	0.9
37	4.5	1.2	1.1
38	-	1.2	1.2
39	4.5	1.2	1.1
40	-	1.0	1.0



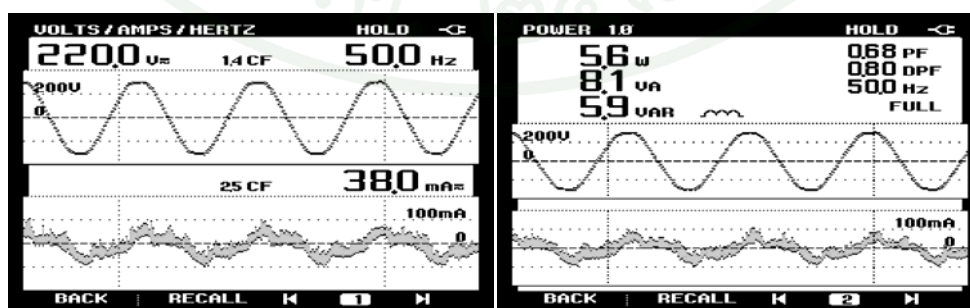
ภาพที่ 90 กระแสฮาร์มอนิกส์สูงสุดในกรณี 4.2.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

4.3 กรณีศึกษาที่ 3 แหล่งจ่าย A-E จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A-E

4.3.1 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้โคมที่ A



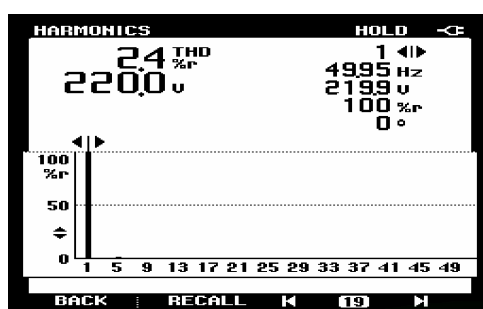
ภาพที่ 91 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.1



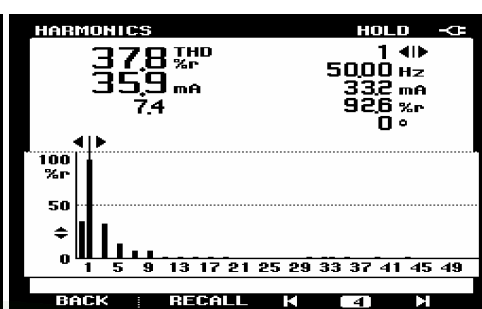
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

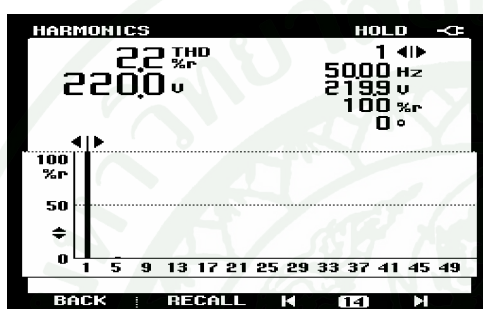
ภาพที่ 92 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.1



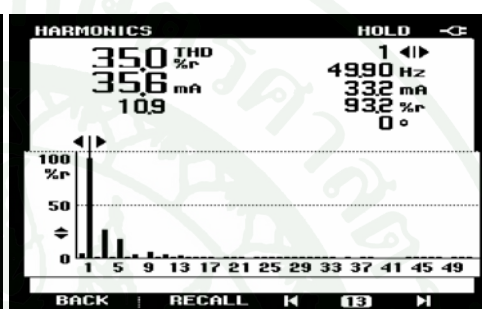
(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 92 (ต่อ)

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.3.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

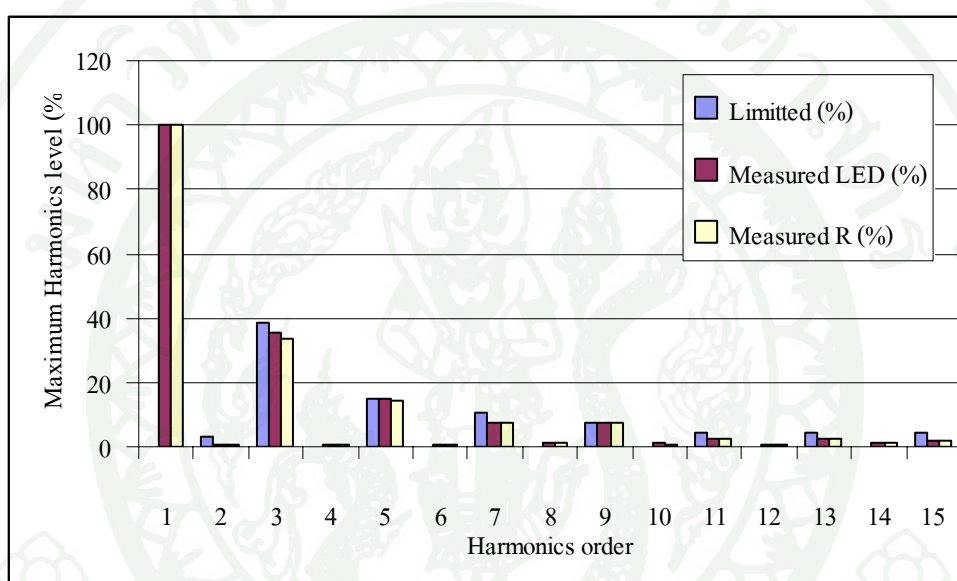
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.9	0.8
3	38.52	35.6	33.8
4	-	0.7	0.7
5	15	14.9	14.2
6	-	0.9	0.8
7	10.5	7.3	7.3
8	-	1.1	1.0
9	7.5	7.5	7.3
10	-	1.1	0.9

ตารางที่ 25 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
11	4.5	2.2	2.2
12	-	0.9	0.7
13	4.5	2.2	2.2
14	-	1	1.1
15	4.5	1.7	1.6
16	-	0.8	0.8
17	4.5	1.6	1.7
18	-	0.7	0.7
19	4.5	1.4	1.3
20	-	1	0.8
21	4.5	1	0.9
22	-	1.1	1.0
23	4.5	1.1	1.1
24	-	0.9	0.9
25	4.5	0.9	0.9
26	-	1	0.9
27	4.5	1	1.1
28	-	0.9	0.9
29	4.5	0.9	0.8
30	-	1.2	1.2
31	4.5	0.8	0.8
32	-	1.3	1.2
33	4.5	1.4	1.3
34	-	0.6	0.7
35	4.5	1.7	1.6
36	-	0.7	0.5
37	4.5	1.1	1.1

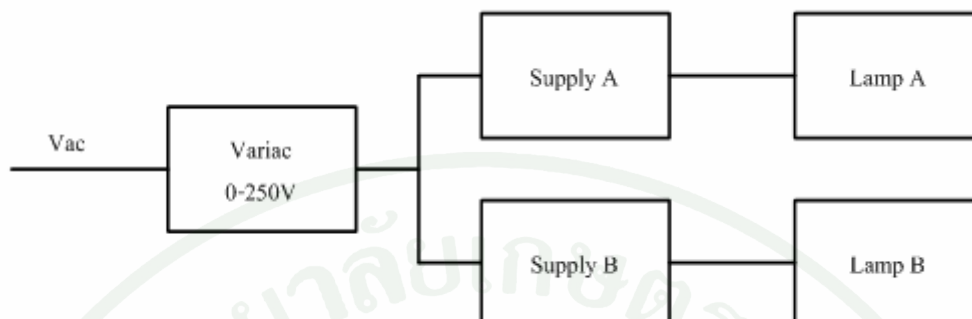
ตารางที่ 25 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
38	-	0.8	0.8
39	4.5	1.3	1.2
40	-	0.9	0.9

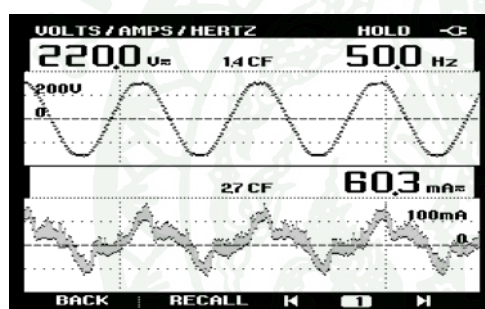


ภาพที่ 93 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

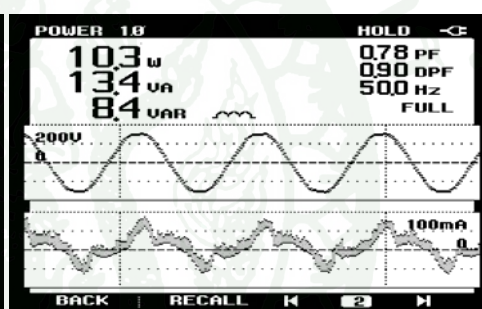
4.3.2 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้โคมที่ A + แหล่งจ่ายชุดที่ B จ่ายให้โคมที่ B



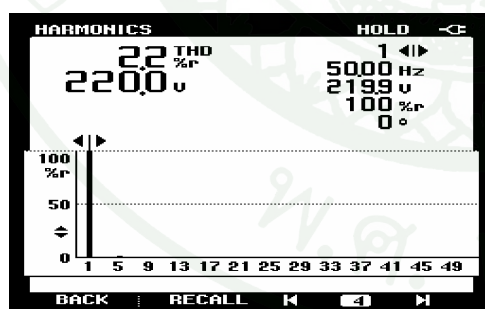
ภาพที่ 94 ไคอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.2



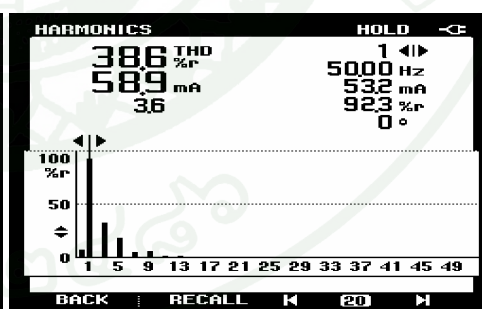
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

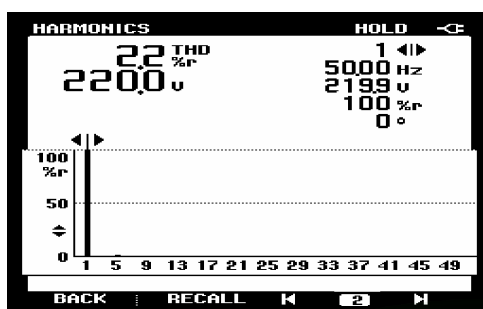


(ค) THDv กรณีแอลอีดี

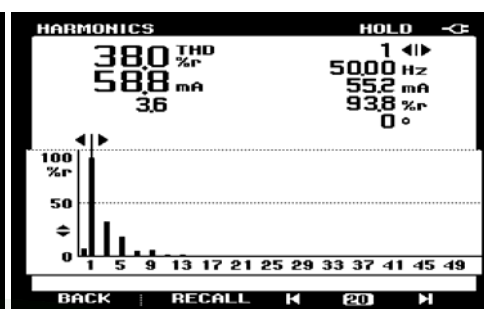


(ง) THDi กรณีแอลอีดี

ภาพที่ 95 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.2



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ข) THDi กรณีความต้านทาน

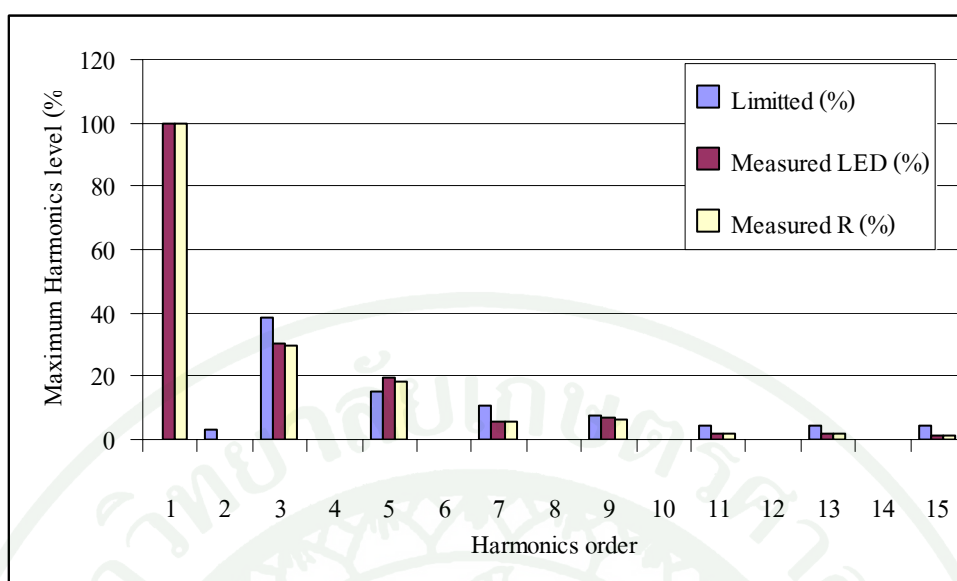
ภาพที่ 95 (ต่อ)

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.3.2 เทียบกับค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured ® [%]
1	-	100	100
2	3	0.3	0.2
3	38.52	30.6	30.0
4	-	0.3	0.3
5	15	19.5	18.4
6	-	0.3	0.2
7	10.5	5.9	5.6
8	-	0.3	0.1
9	7.5	6.8	6.5
10	-	0.2	0.2
11	4.5	2.2	2.0
12	-	0.2	0.2
13	4.5	2.1	2.0
14	-	0.3	0.3
15	4.5	1.1	1.0
16	-	0.2	0.2
17	4.5	0.8	0.8

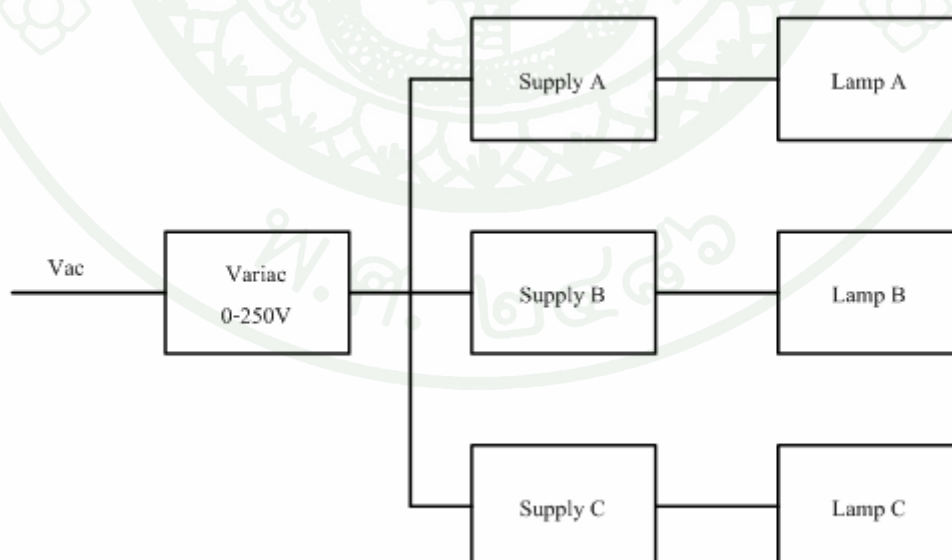
ตารางที่ 26 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
18	-	0.2	0.2
19	4.5	0.9	0.8
20	-	0.2	0.2
21	4.5	0.6	0.6
22	-	0.2	0.2
23	4.5	0.6	0.4
24	-	0.2	0.1
25	4.5	0.4	0.4
26	-	0.3	0.2
27	4.5	0.3	0.3
28	-	0.3	0.2
29	4.5	0.2	0.2
30	-	0.3	0.2
31	4.5	0.2	0.2
32	-	0.2	0.2
33	4.5	0.2	0.2
34	-	0.2	0.2
35	4.5	0.3	0.2
36	-	0.3	0.2
37	4.5	0.2	0.1
38	-	0.2	0.2
39	4.5	0.2	0.2
40	-	0.2	0.1

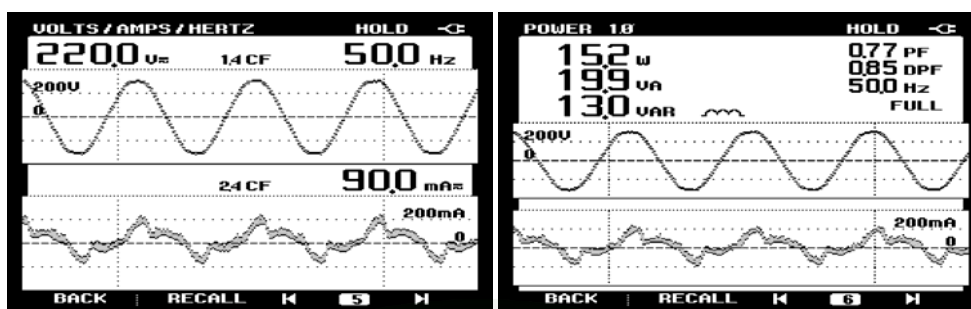


ภาพที่ 96 กระแสฮาร์มอนิกสูงสุดในกรณี 4.3.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

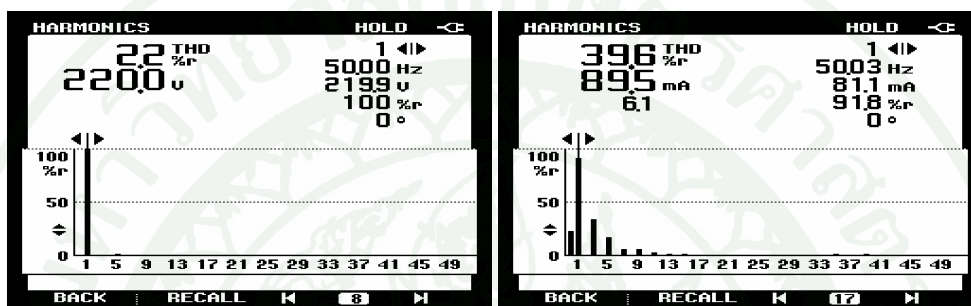
4.3.3 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้โคมที่ A + แหล่งจ่ายชุดที่ B จ่ายให้โคมที่ B + แหล่งจ่ายชุดที่ C จ่ายให้โคมที่ C



ภาพที่ 97 ไลอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.3

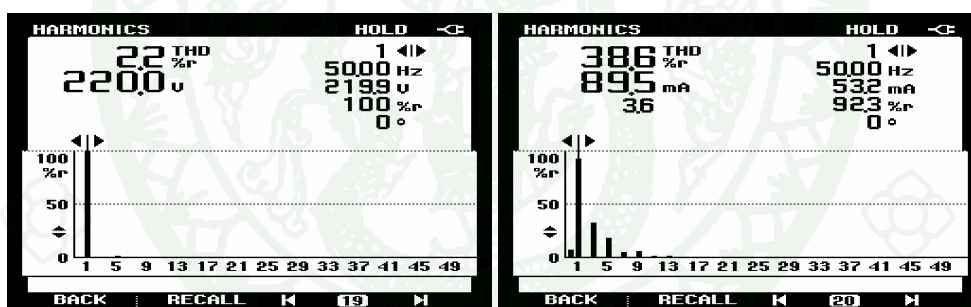


(ก) แรงดัน กระแส และความถี่ (ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



(ค) THDv กรณีแอลอีดี

(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน

(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

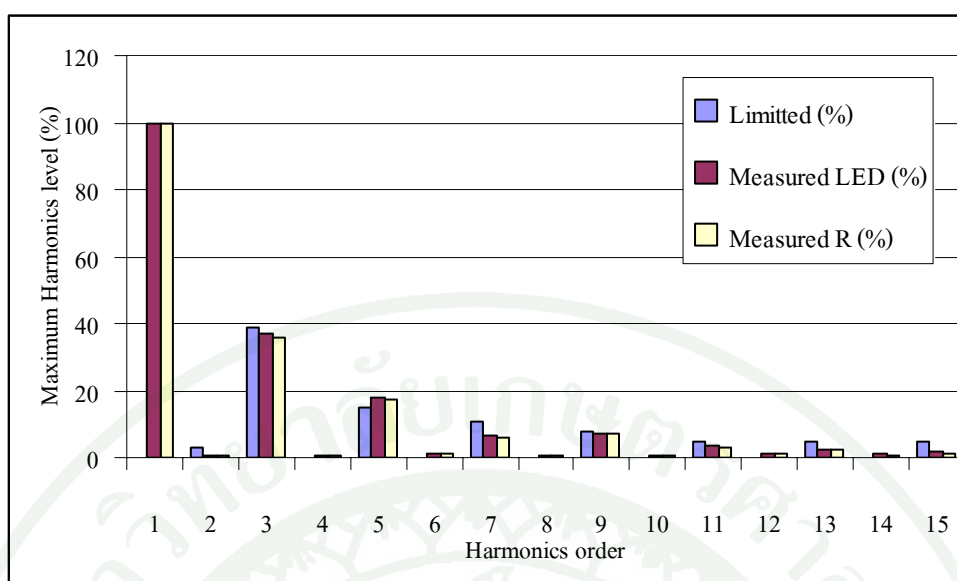
ภาพที่ 98 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.3

ตารางที่ 27 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.3.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.7	0.5
3	38.52	37.3	35.9
4	-	0.7	0.7
5	15	18.2	17.1
6	-	1.0	0.9
7	10.5	6.4	6.2
8	-	0.5	0.5
9	7.5	7.2	7.0
10	-	0.5	0.6
11	4.5	3.3	3.2
12	-	1.0	0.9
13	4.5	2.3	2.1
14	-	0.9	0.7
15	4.5	1.5	1.4
16	-	0.5	0.5
17	4.5	1.1	0.8
18	-	0.8	0.8
19	4.5	1.1	0.9
20	-	0.7	0.7
21	4.5	1.1	1.1
22	-	0.7	0.7
23	4.5	0.9	0.8
24	-	0.4	0.5
25	4.5	0.6	0.5
26	-	1.0	0.8

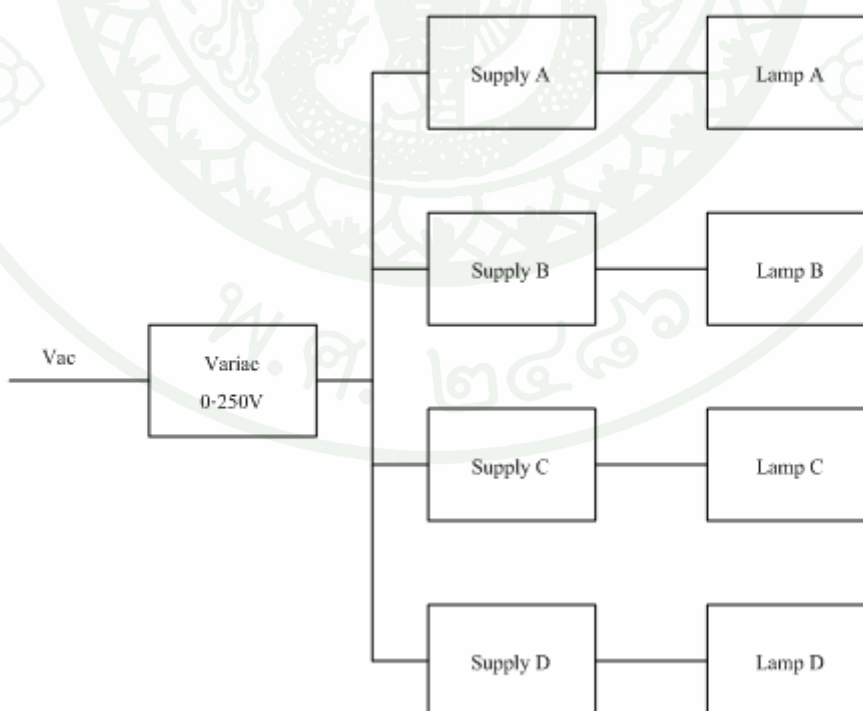
ตารางที่ 27 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
27	4.5	1.0	0.9
28	-	0.5	0.4
29	4.5	0.7	0.7
30	-	0.6	0.7
31	4.5	0.6	0.6
32	-	0.6	0.4
33	4.5	0.8	0.7
34	-	0.7	0.7
35	4.5	1.3	0.4
36	-	1.0	0.8
37	4.5	0.8	0.8
38	-	0.8	0.8
39	4.5	1.2	0.5
40	-	0.7	0.8

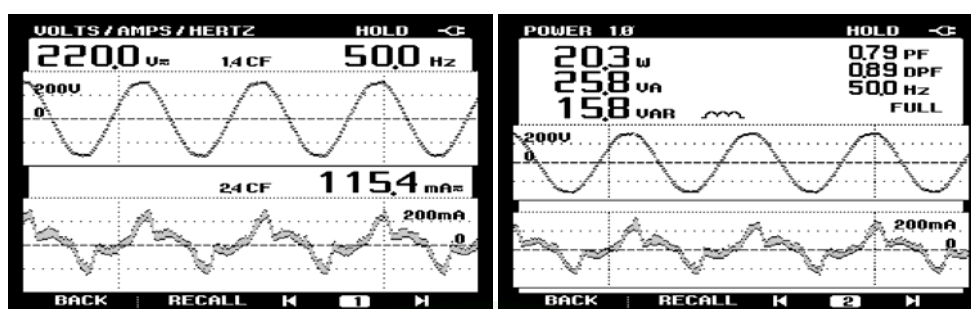


ภาพที่ 99 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

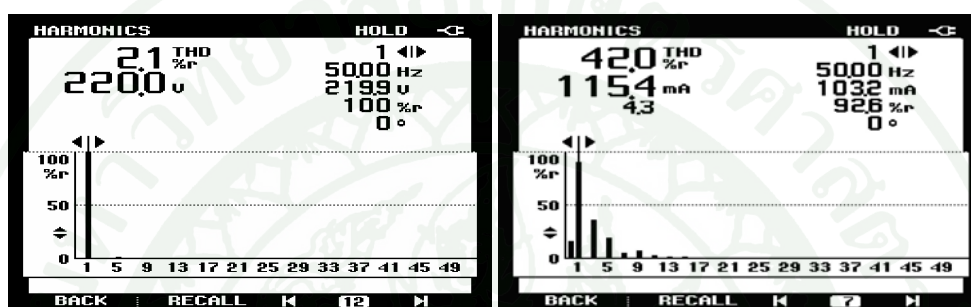
4.3.4 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้โคมที่ A + แหล่งจ่ายชุดที่ B จ่ายให้โคมที่ B + แหล่งจ่ายชุดที่ C จ่ายให้โคมที่ C + แหล่งจ่ายชุดที่ D จ่ายให้โคมที่ D



ภาพที่ 100 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.4

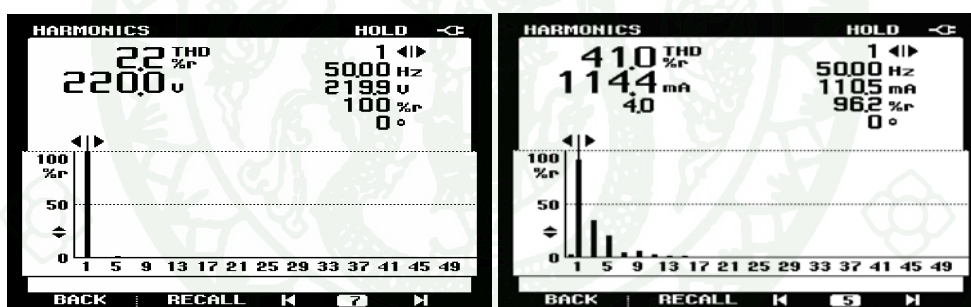


(ก) แรงดัน กระแส และความถี่ (ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



(ค) THDv กรณีแอลอีดี

(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน

(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

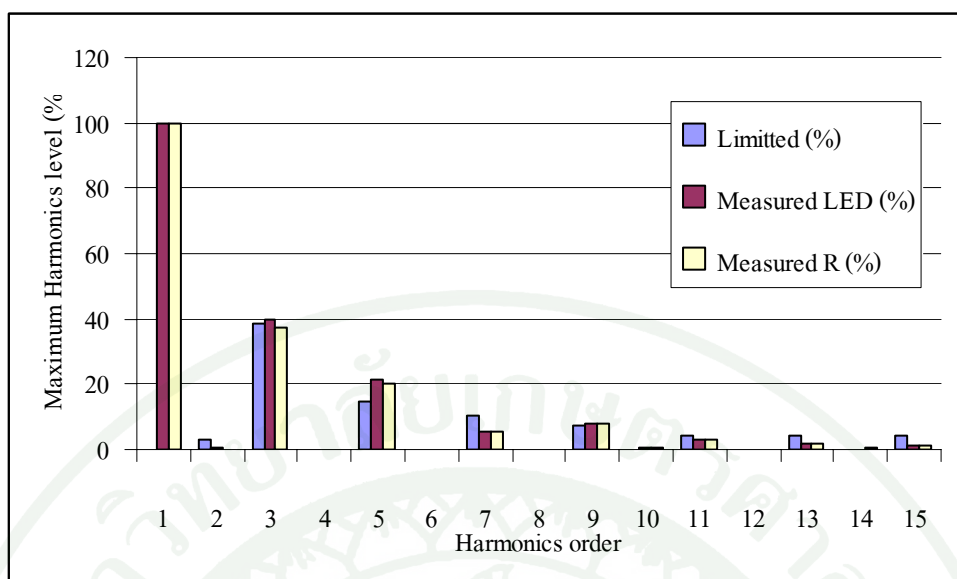
ภาพที่ 101 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.4

ตารางที่ 28 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.3.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.4	0.2
3	38.52	39.5	37.6
4	-	0.2	0.2
5	15	21.6	20.2
6	-	0.3	0.2
7	10.5	5.8	5.5
8	-	0.2	0.2
9	7.5	7.8	7.7
10	-	0.5	0.6
11	4.5	3.3	3.1
12	-	0.2	0.2
13	4.5	2.0	1.9
14	-	0.3	0.4
15	4.5	1.5	1.5
16	-	0.2	0.2
17	4.5	0.6	0.4
18	-	0.4	0.5
19	4.5	1.0	0.6
20	-	0.4	0.3
21	4.5	0.7	0.5
22	-	0.6	0.6
23	4.5	0.7	0.5
24	-	0.4	0.5
25	4.5	0.5	0.5
26	-	0.4	0.3

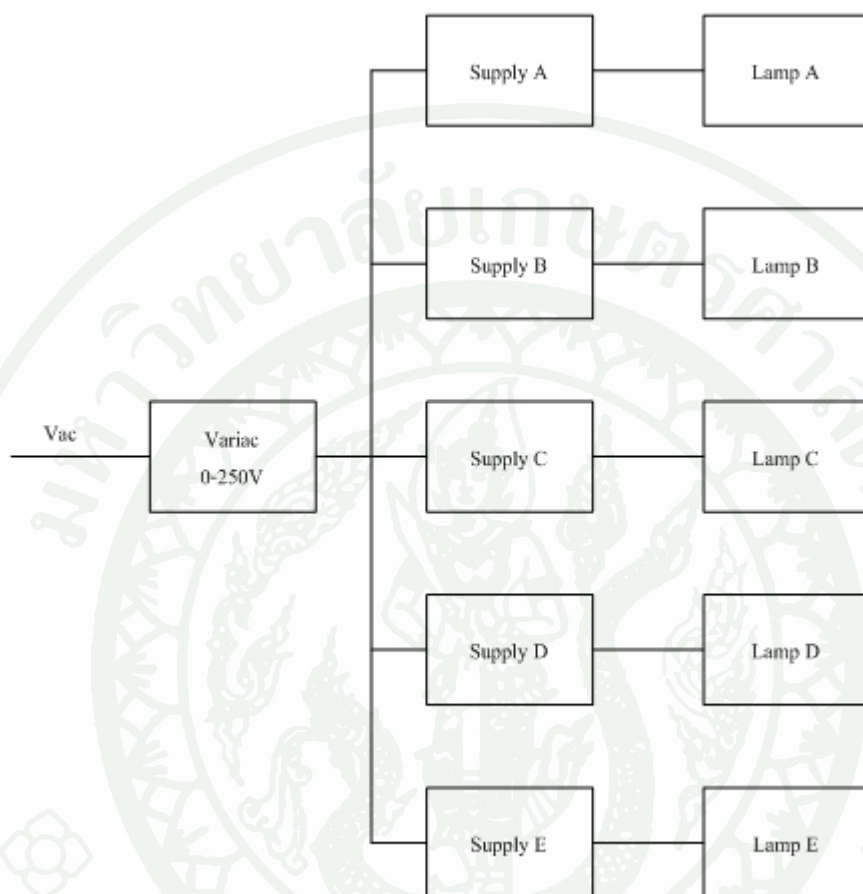
ตารางที่ 28 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
27	4.5	0.5	0.5
28	-	0.2	0.2
29	4.5	0.2	0.2
30	-	0.6	0.4
31	4.5	0.3	0.2
32	-	0.4	0.3
33	4.5	0.2	0.2
34	-	0.2	0.2
35	4.5	0.5	0.4
36	-	0.3	0.3
37	4.5	0.4	0.3
38	-	0.3	0.3
39	4.5	0.3	0.3
40	-	0.3	0.3

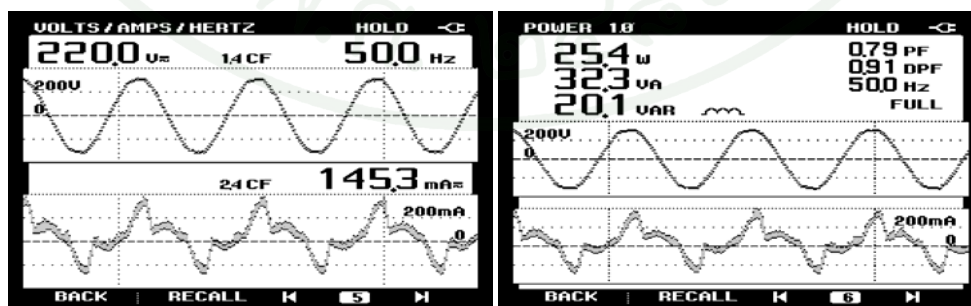


ภาพที่ 102 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตาม
มาตรฐาน EN61000-3-2 class C

4.3.5 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้โคมที่ A + แหล่งจ่ายชุดที่ B จ่ายให้โคมที่ B+ แหล่งจ่ายชุดที่ C จ่ายให้โคมที่ C + แหล่งจ่ายชุดที่ D จ่ายให้โคมที่ D + แหล่งจ่ายชุดที่ E จ่ายให้โคมที่ E



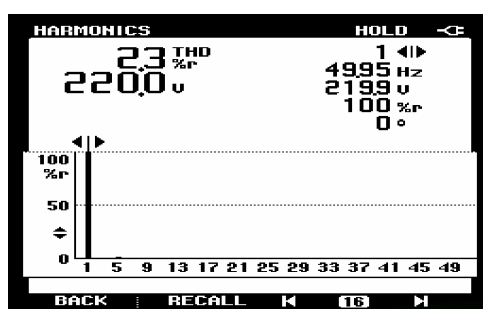
ภาพที่ 103 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.3.5



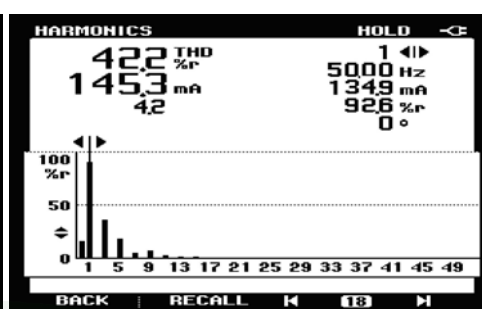
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

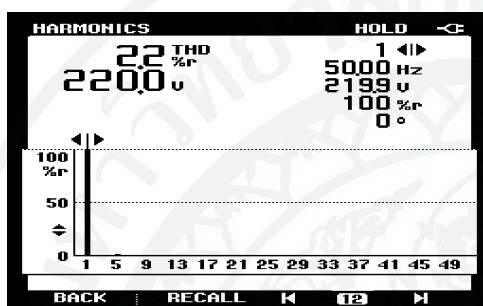
ภาพที่ 104 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.3.5



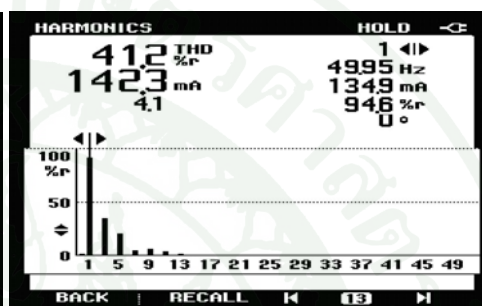
(ก) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 104 (ต่อ)

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.3.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

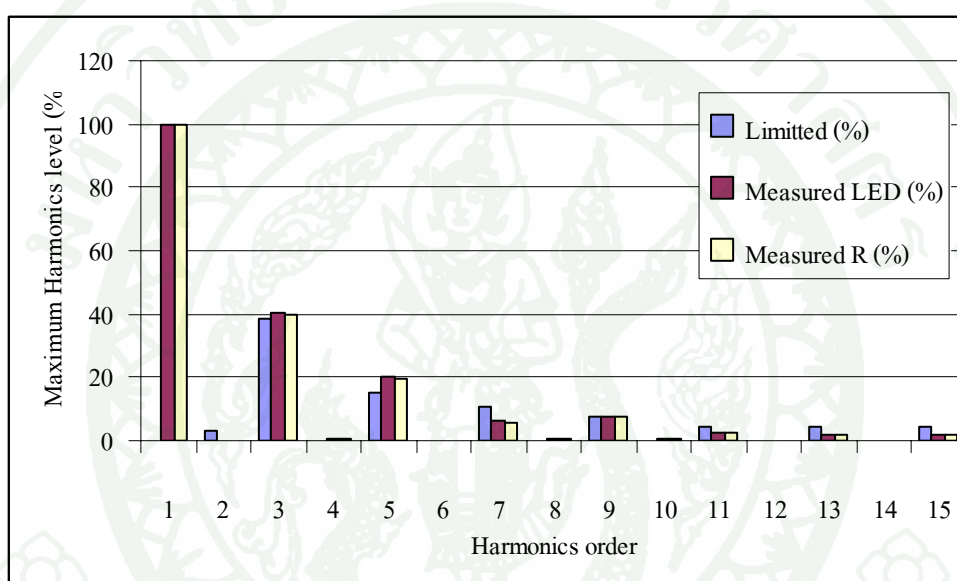
Maximum harmonic current results			
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.3	0.3
3	38.52	40.4	39.6
4	-	0.4	0.4
5	15	20.5	19.8
6	-	0.3	0.3
7	10.5	6.1	6.0
8	-	0.4	0.4
9	7.5	7.5	7.3
10	-	0.5	0.5

ตารางที่ 29 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
11	4.5	2.8	2.8
12	-	0.3	0.3
13	4.5	2.1	2.0
14	-	0.2	0.2
15	4.5	1.6	1.6
16	-	0.3	0.2
17	4.5	0.8	0.7
18	-	0.3	0.7
19	4.5	1.1	0.7
20	-	0.4	0.3
21	4.5	0.5	0.3
22	-	0.3	0.3
23	4.5	0.6	0.5
24	-	0.2	0.2
25	4.5	0.4	0.2
26	-	0.3	0.3
27	4.5	0.6	0.5
28	-	0.3	0.3
29	4.5	0.4	0.4
30	-	0.5	0.4
31	4.5	0.5	0.5
32	-	0.3	0.3
33	4.5	0.4	0.5
34	-	0.4	0.3
35	4.5	0.4	0.4
36	-	0.4	0.3
37	4.5	0.2	0.3

ตารางที่ 29 (ต่อ)

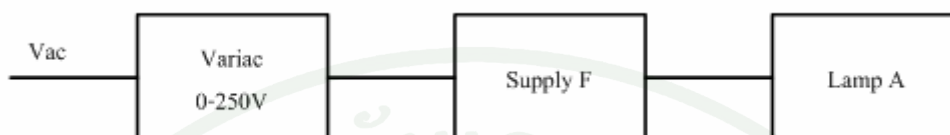
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
38	-	0.2	0.2
39	4.5	0.4	0.3
40	-	0.3	0.3



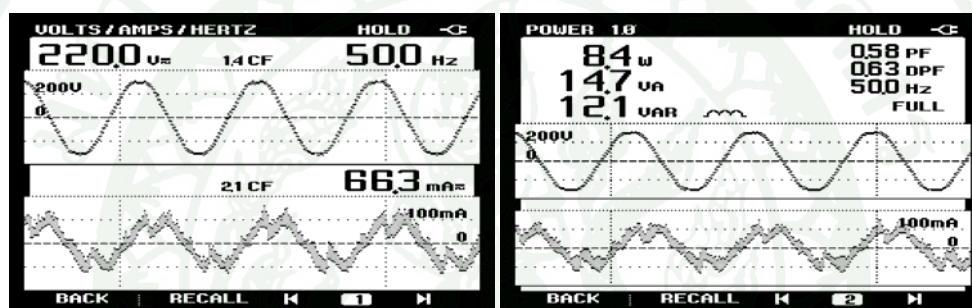
ภาพที่ 105 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.3.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตาม
มาตรฐาน EN61000-3-2 class C

4.4 กรณีศึกษาที่ 4 แหล่งจ่าย F จ่ายให้กับโคมความถี่ A-E

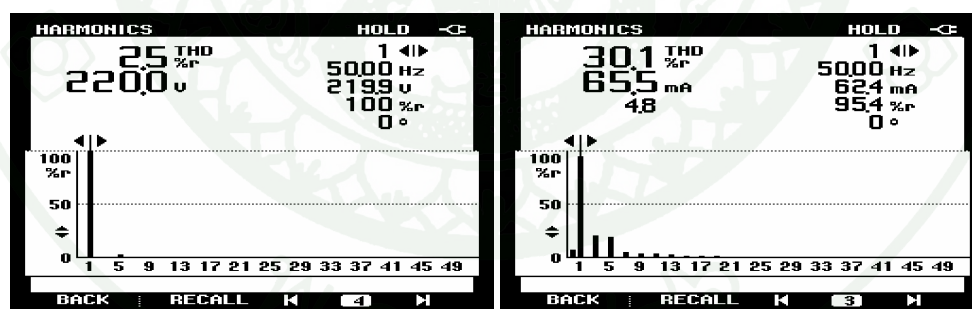
4.4.1 แหล่งจ่าย F จ่ายโคม A



ภาพที่ 106 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.1

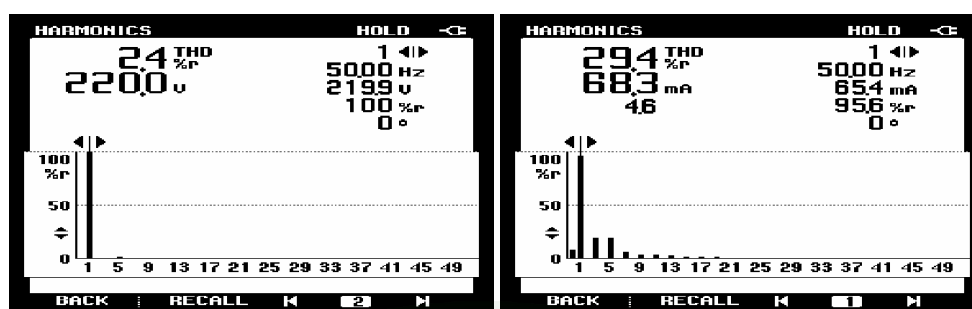


(ก) แรงดัน กระแส และความถี่ (ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



(ค) THDv กรณีแอลอีดี (ง) THDi กรณีแอลอีดี

ภาพที่ 107 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.1



(จ) THDv กรณีความต้านทาน

(ข) THDi กรณีความต้านทาน

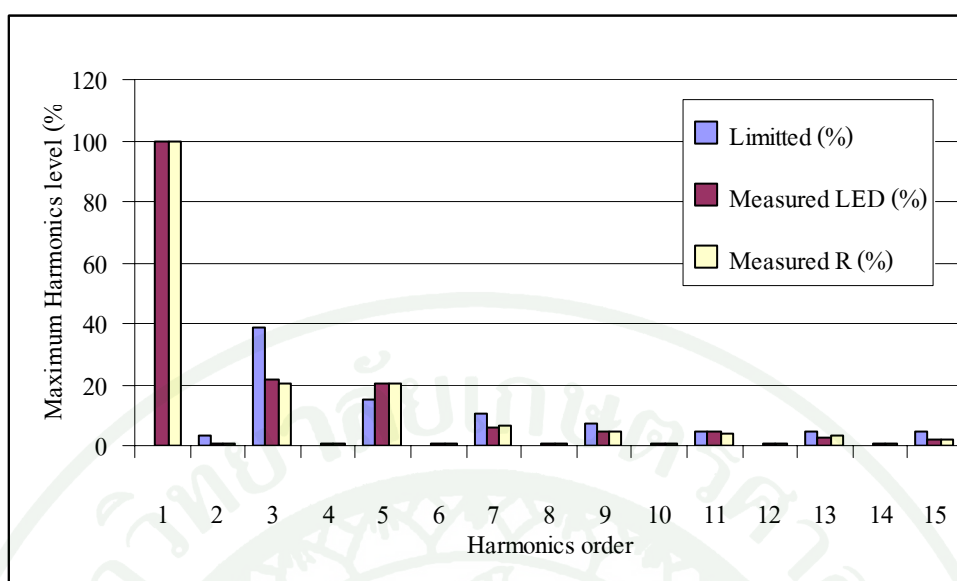
ภาพที่ 107 (ต่อ)

ตารางที่ 30 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.4.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.9	0.9
3	38.52	21.5	20.6
4	-	0.5	0.6
5	15	20.6	20.2
6	-	0.6	0.5
7	10.5	5.8	6.5
8	-	0.4	0.7
9	7.5	4.6	4.3
10	-	0.9	0.4
11	4.5	4.6	3.9
12	-	0.6	0.6
13	4.5	2.6	3.1
14	-	0.4	0.6
15	4.5	1.9	2.0
16	-	0.5	0.8
17	4.5	1.7	1.8

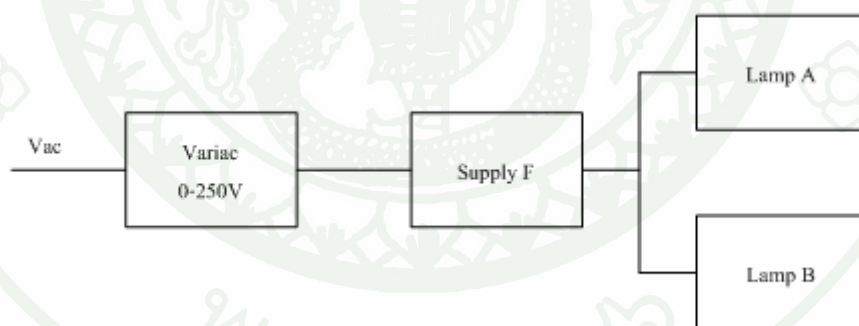
ตารางที่ 30 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
18	-	0.8	0.6
19	4.5	1.4	1.3
20	-	0.7	0.7
21	4.5	0.8	1.1
22	-	0.7	0.5
23	4.5	0.8	0.9
24	-	0.5	0.6
25	4.5	0.8	0.7
26	-	0.6	0.4
27	4.5	0.5	0.7
28	-	0.8	0.5
29	4.5	0.6	0.8
30	-	0.6	0.6
31	4.5	0.7	0.5
32	-	0.7	0.6
33	4.5	0.7	0.7
34	-	0.5	0.7
35	4.5	0.9	0.7
36	-	0.6	0.5
37	4.5	0.6	0.4
38	-	0.5	0.7
39	4.5	0.7	0.5
40	-	0.5	0.6

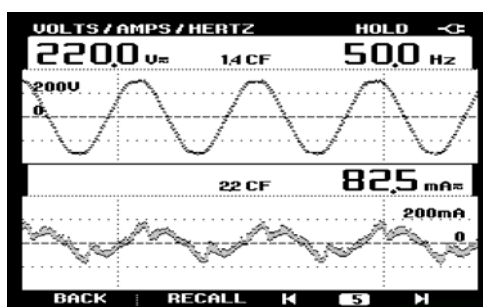


ภาพที่ 108 กระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.4.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

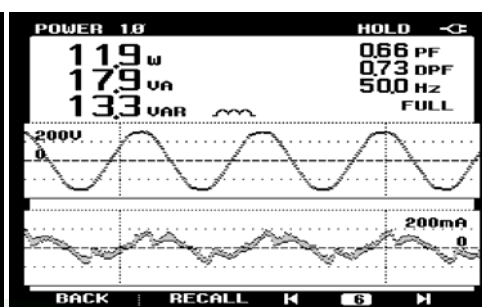
4.4.2 แหล่งจ่าย F จ่ายโคม A+B



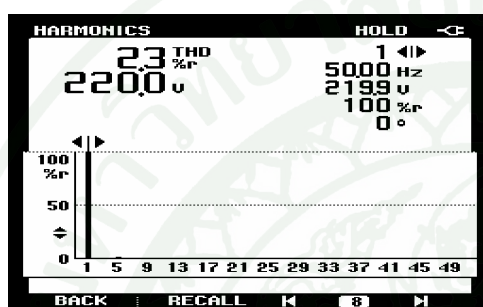
ภาพที่ 109 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.2



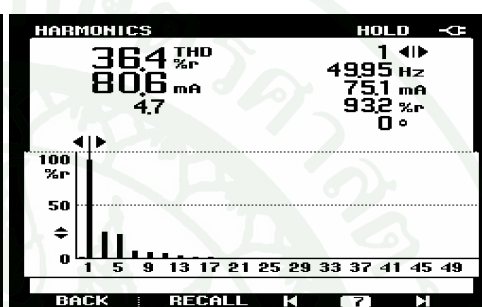
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



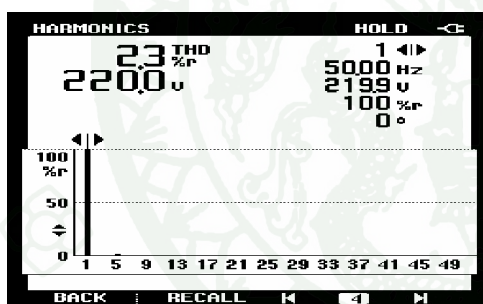
(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



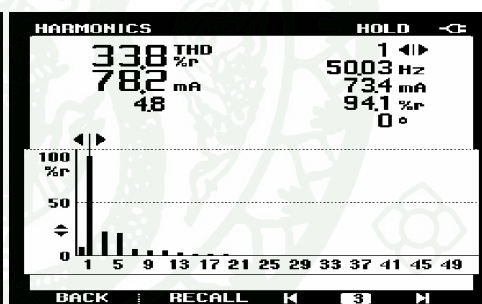
ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 110 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.2

ตารางที่ 31 ผลการทดสอบกระแสฮาร์มอนิกสูงสุดในกรณี 4.4.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

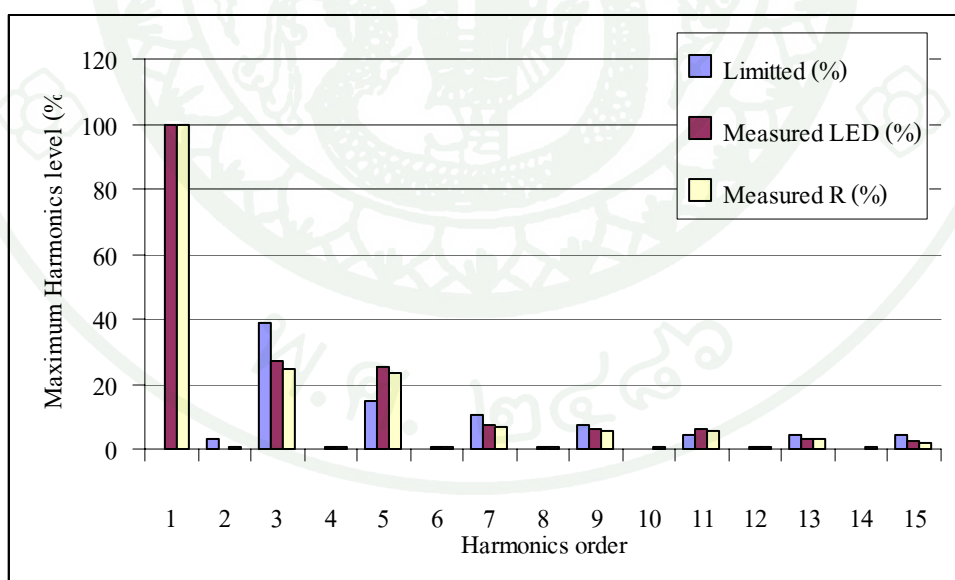
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.3	0.7

ตารางที่ 31 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
3	38.52	27.3	24.4
4	-	0.4	0.5
5	15	25.0	23.6
6	-	0.4	0.6
7	10.5	7.3	7.0
8	-	0.4	0.6
9	7.5	6.0	5.4
10	-	0.2	0.4
11	4.5	5.9	5.4
12	-	0.4	0.6
13	4.5	2.8	3.0
14	-	0.2	0.4
15	4.5	2.3	1.8
16	-	0.2	0.5
17	4.5	2.0	2.0
18	-	0.4	0.5
19	4.5	0.9	1.3
20	-	0.4	0.6
21	4.5	0.7	0.9
22	-	0.4	0.5
23	4.5	0.5	0.8
24	-	0.4	0.5
25	4.5	0.5	0.5
26	-	0.3	0.4
27	4.5	0.7	0.7
28	-	0.4	0.5
29	4.5	0.7	0.5

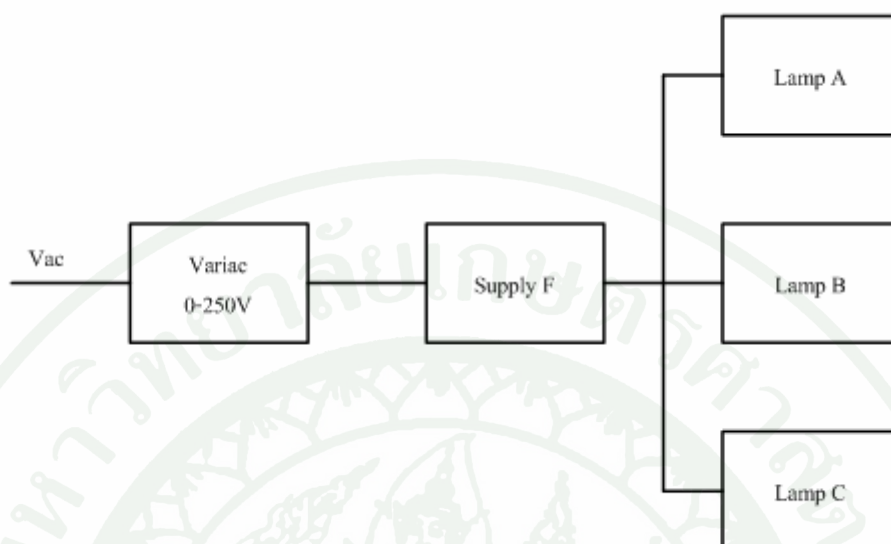
ตารางที่ 31 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
30	-	0.4	0.5
31	4.5	0.4	0.4
32	-	0.4	0.3
33	4.5	0.6	0.7
34	-	0.4	0.5
35	4.5	0.4	0.5
36	-	0.5	0.5
37	4.5	0.5	0.8
38	-	0.3	0.6
39	4.5	0.5	0.6
40	-	0.4	0.8

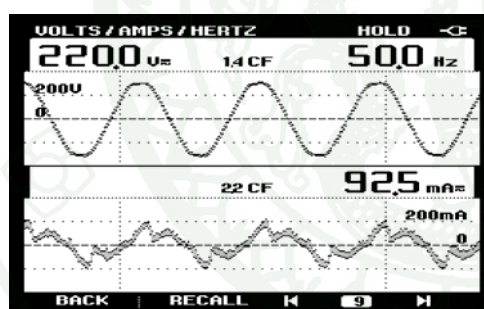


ภาพที่ 111 กระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.4.2 เทียบกับค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตาม
มาตรฐาน EN61000-3-2 class C

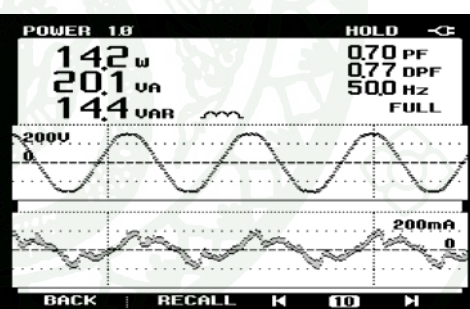
4.4.3 แหล่งจ่าย F จ่ายโคม A+B+C



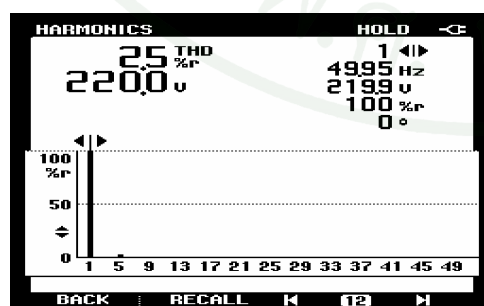
ภาพที่ 112 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.3



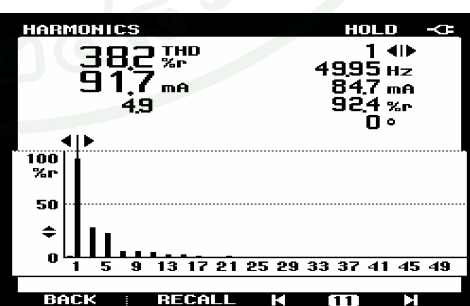
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

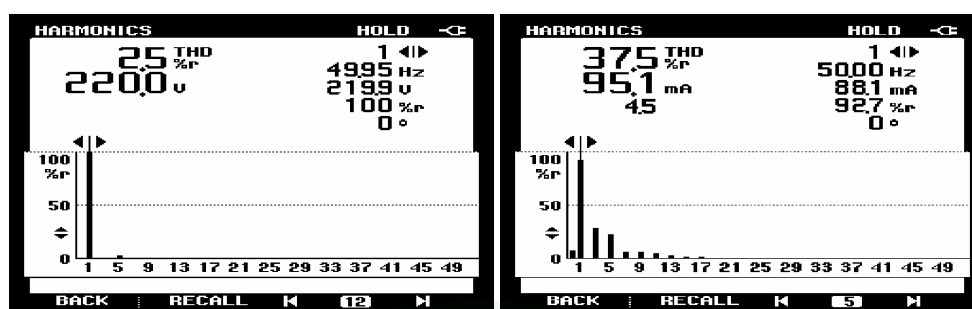


ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี

ภาพที่ 113 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.3



(จ) THDv กรณีความต้านทาน

(ข) THDi กรณีความต้านทาน

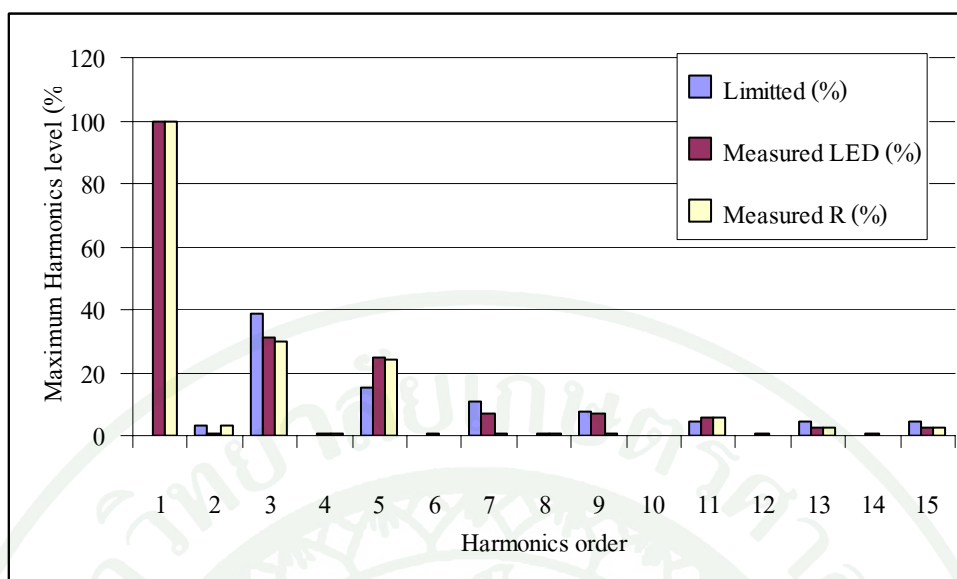
ภาพที่ 113 (ต่อ)

ตารางที่ 32 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.4.3 เทียบกับค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.9	3.0
3	38.52	30.8	30.0
4	-	0.5	0.4
5	15	24.6	24.4
6	-	0.4	0.3
7	10.5	6.9	0.6
8	-	0.5	0.4
9	7.5	6.9	0.7
10	-	0.3	0.3
11	4.5	5.6	5.4
12	-	0.4	0.3
13	4.5	2.5	2.4
14	-	0.4	0.3
15	4.5	2.7	2.3
16	-	0.6	0.3
17	4.5	1.6	1.7

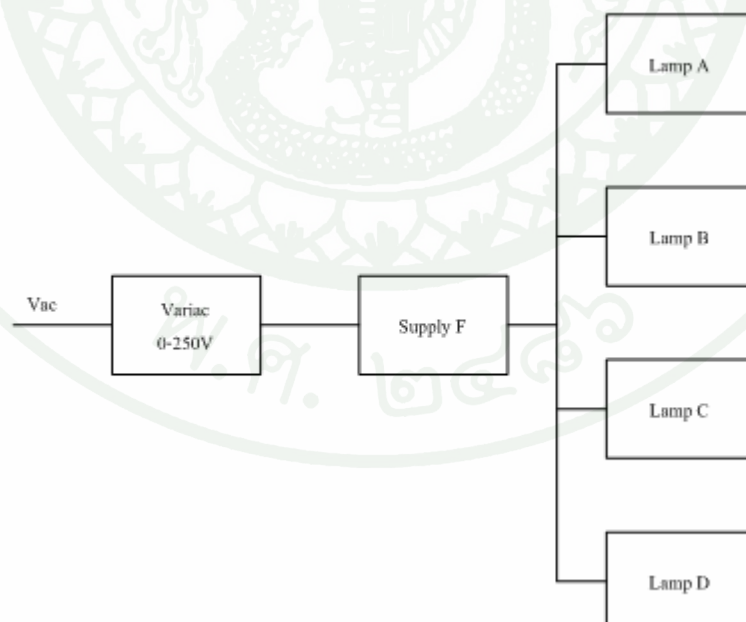
ตารางที่ 32 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
18	-	0.5	0.3
19	4.5	1.0	0.8
20	-	0.5	0.3
21	4.5	1.2	1.0
22	-	0.4	0.4
23	4.5	0.5	0.8
24	-	0.4	0.3
25	4.5	0.8	0.7
33	4.5	0.4	0.5
34	-	0.4	0.4
35	4.5	0.4	0.3
36	-	0.4	0.3
37	4.5	0.4	0.5
38	-	0.5	0.3
39	4.5	0.5	0.5
40	-	0.5	0.3

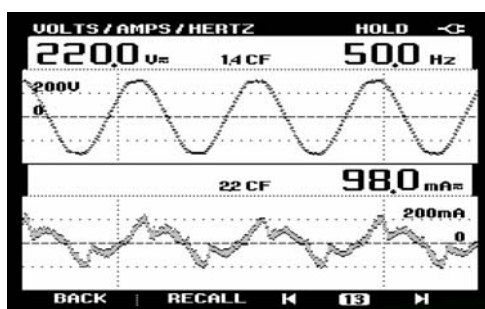


ภาพที่ 114 กระแสฮาร์มอนิกสูงสุดในกรณี 4.4.3 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

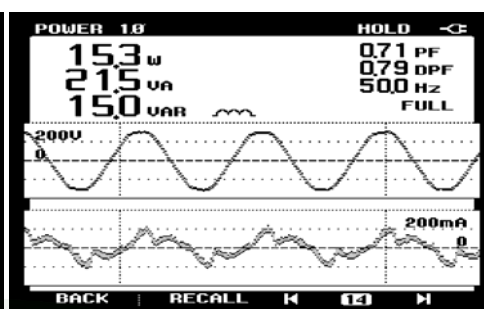
4.4.4 แหล่งจ่าย F จ่ายโคม A+B+C+D



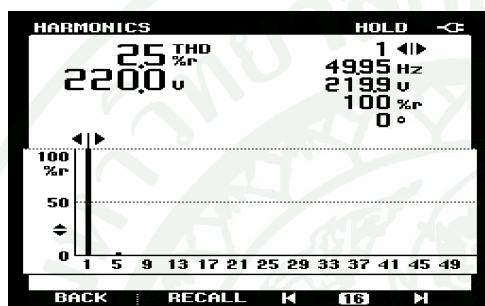
ภาพที่ 115 ไลอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.4



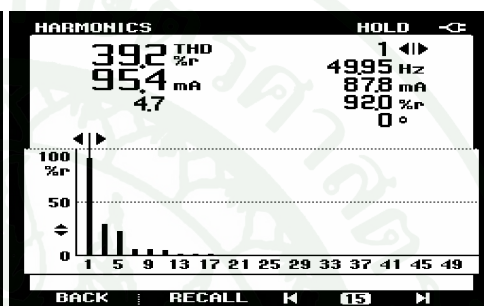
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



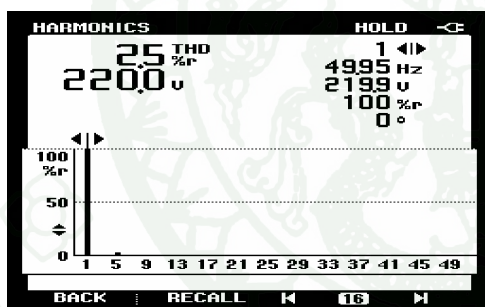
(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



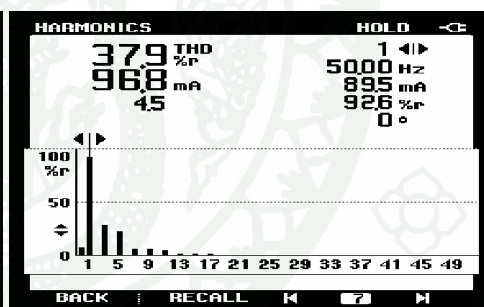
(ค) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

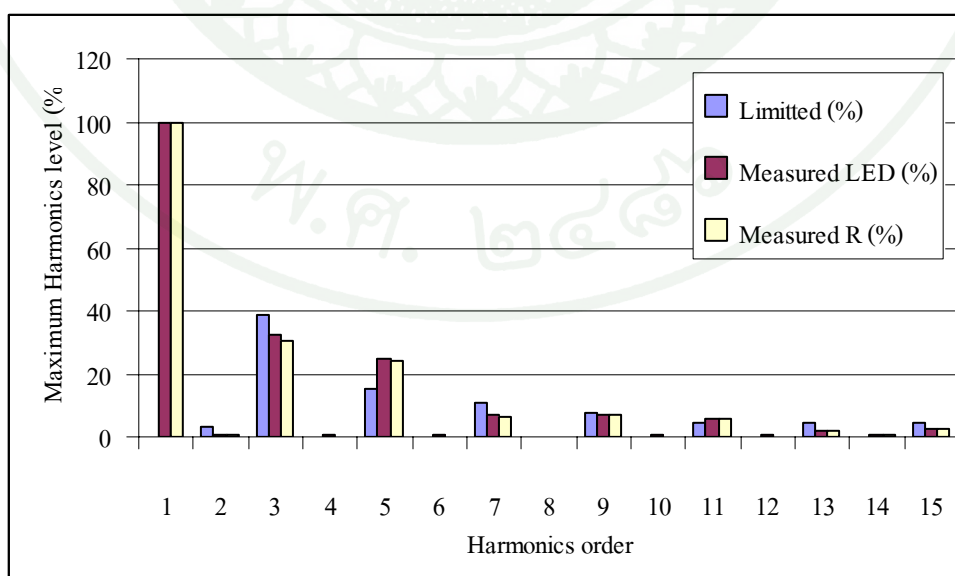
ภาพที่ 116 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิด ไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.4

ตารางที่ 33 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 4.4.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	0.8	0.7
3	38.52	32.4	30.7
4	-	0.4	0.3
5	15	24.8	24.4
6	-	0.4	0.3
7	10.5	6.7	6.4
8	-	0.3	0.3
9	7.5	6.9	6.7
10	-	0.4	0.3
11	4.5	5.6	5.5
12	-	0.4	0.3
13	4.5	2.2	2.1
14	-	0.4	0.4
15	4.5	2.3	2.3
16	-	0.2	0.3
17	4.5	1.6	1.5
18	-	0.4	0.4
19	4.5	0.9	0.7
20	-	0.4	0.3
21	4.5	0.8	1.0
22	-	0.4	0.4
23	4.5	0.6	0.6
24	-	0.4	0.2
25	4.5	0.7	0.6
26	-	0.4	0.2

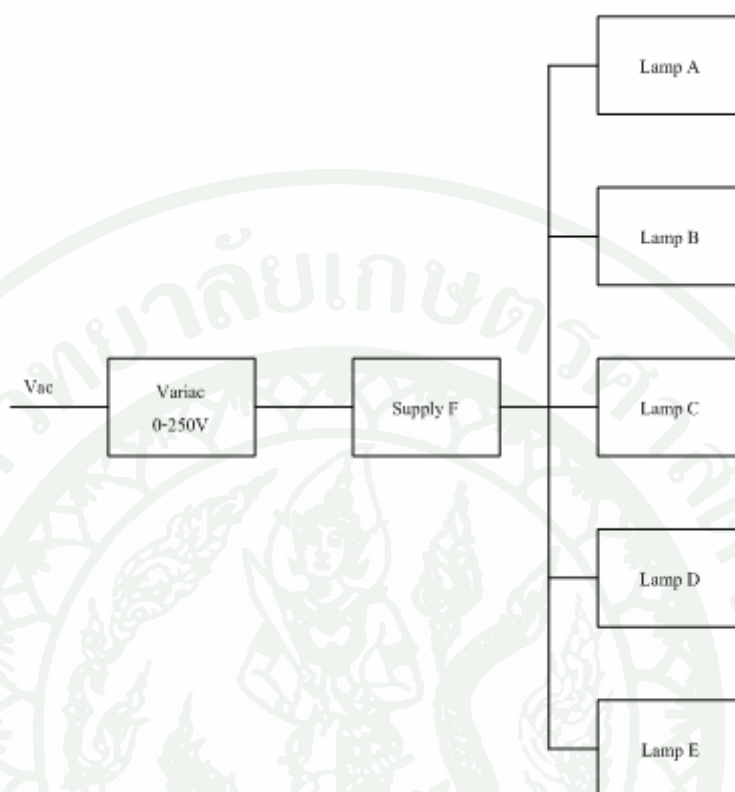
ตารางที่ 33 (ต่อ)

Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
27	4.5	0.7	0.7
28	-	0.4	0.3
29	4.5	0.6	0.6
30	-	0.4	0.3
31	4.5	0.5	0.5
32	-	0.4	0.1
33	4.5	0.4	0.3
34	-	0.3	0.3
35	4.5	0.5	0.5
36	-	0.3	0.3
37	4.5	0.4	0.5
38	-	0.3	0.3
39	4.5	0.4	0.4
40	-	0.4	0.4

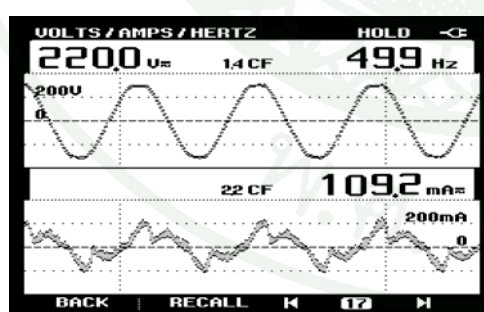


ภาพที่ 117 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.4 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

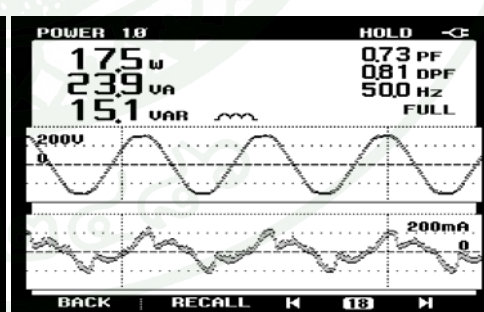
4.4.5 แหล่งจ่าย F จ่ายโคม A+B+C+D+E



ภาพที่ 118 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 4.4.5

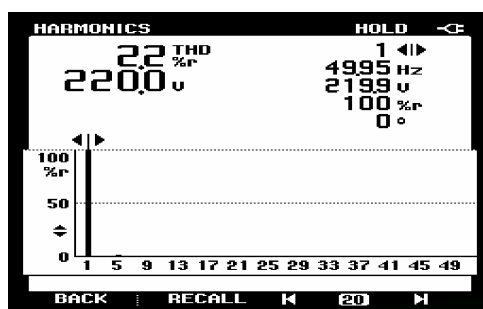


(ก) แรงดัน กระแส และความถี่

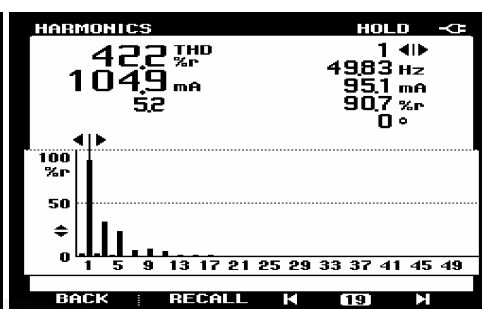


(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

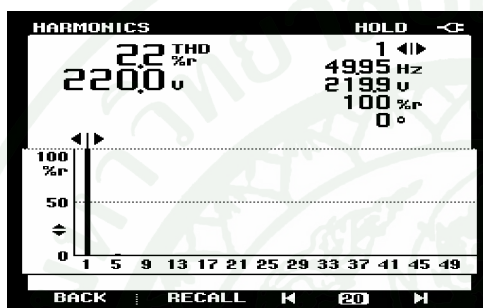
ภาพที่ 119 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 4.4.5



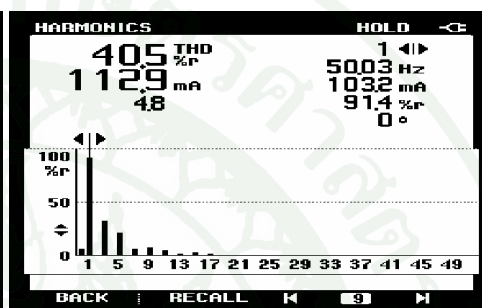
(ก) THDv กรณีแอลอีดี



(ง) THDi กรณีแอลอีดี



(จ) THDv กรณีความต้านทาน



(ฉ) THDi กรณีความต้านทาน

ภาพที่ 119 (ต่อ)

ตารางที่ 34 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

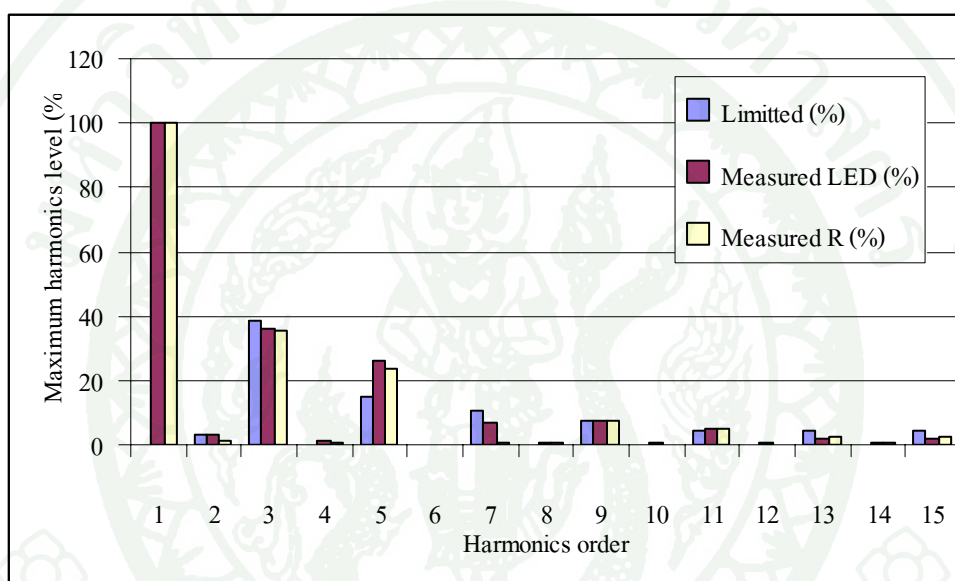
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
1	-	100	100
2	3	3	1.0
3	38.52	36.3	35.3
4	-	1.5	0.5
5	15	26.3	23.7
6	-	0.3	0.3
7	10.5	6.6	0.6
8	-	0.7	0.4
9	7.5	7.4	7.6
10	-	0.5	0.2

ตารางที่ 34 (ต่อ)

Maximum harmonic current results			
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
11	4.5	5.2	4.9
12	-	0.5	0.3
13	4.5	1.8	2.3
14	-	0.5	0.5
15	4.5	1.9	2.5
16	-	0.5	0.3
17	4.5	1.4	1.4
18	-	0.5	0.4
19	4.5	1.1	1.2
20	-	0.4	0.4
21	4.5	1.2	0.9
22	-	0.3	0.5
23	4.5	1	0.9
24	-	0.5	0.3
25	4.5	0.7	0.7
26	-	0.4	0.4
27	4.5	0.3	0.6
28	-	0.3	0.3
29	4.5	0.6	0.5
30	-	0.3	0.3
31	4.5	0.4	0.5
32	-	0.5	0.4
33	4.5	0.3	0.4
34	-	0.5	0.3
35	4.5	0.5	0.3
36	-	0.4	0.5
37	4.5	0.5	0.6

ตารางที่ 34 (ต่อ)

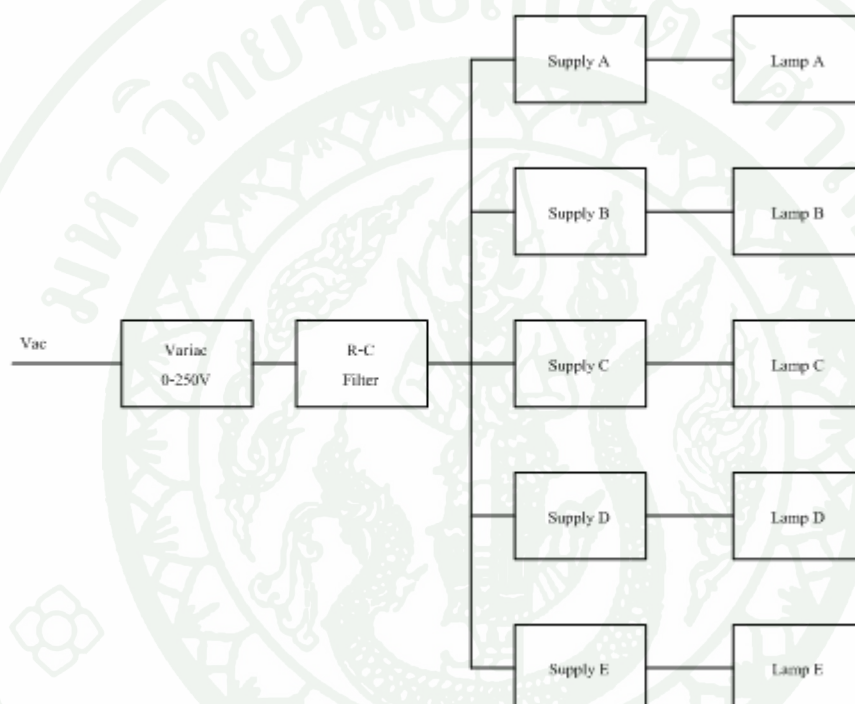
Hn	Maximum harmonic current results		
	Limit [%]	Measured (LED) [%]	Measured (R) [%]
38	-	0.5	0.6
39	4.5	0.6	0.3
40	-	0.7	0.5



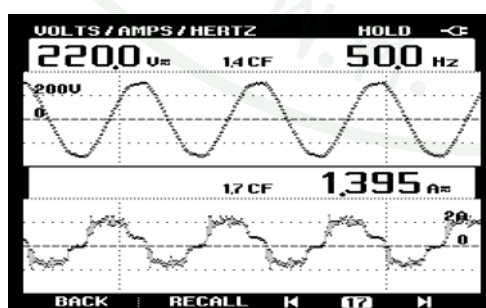
ภาพที่ 120 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 4.4.5 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

5. แหล่งจ่ายที่ออกแบบสร้างเอง (วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดัน) เมื่อติดฟิลเตอร์แบบ R-C

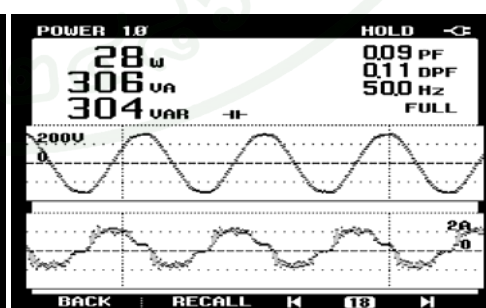
5.1 แหล่งจ่ายชุดที่ A จ่ายให้โคมที่ A + แหล่งจ่ายชุดที่ B จ่ายให้โคมที่ B + แหล่งจ่ายชุดที่ C จ่ายให้โคมที่ C + แหล่งจ่ายชุดที่ D จ่ายให้โคมที่ D + แหล่งจ่ายชุดที่ E จ่ายให้โคมที่ E เมื่อติดฟิลเตอร์แบบ R-C



ภาพที่ 121 ไดอะแกรมการทดลองกรณี 5.1

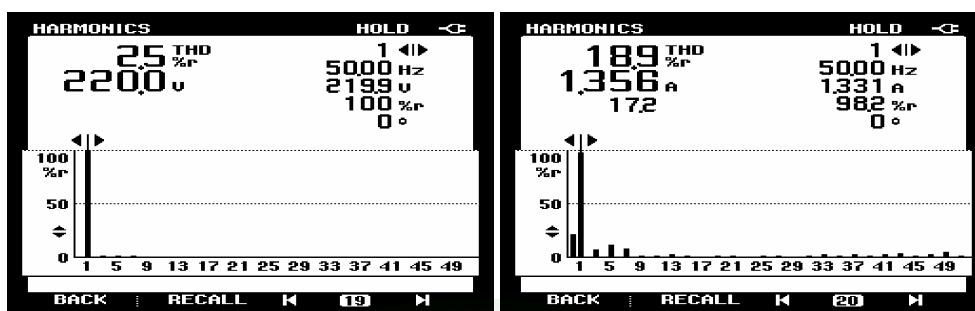


(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

ภาพที่ 122 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 5.1



(ค) THDv

(ง) THDi

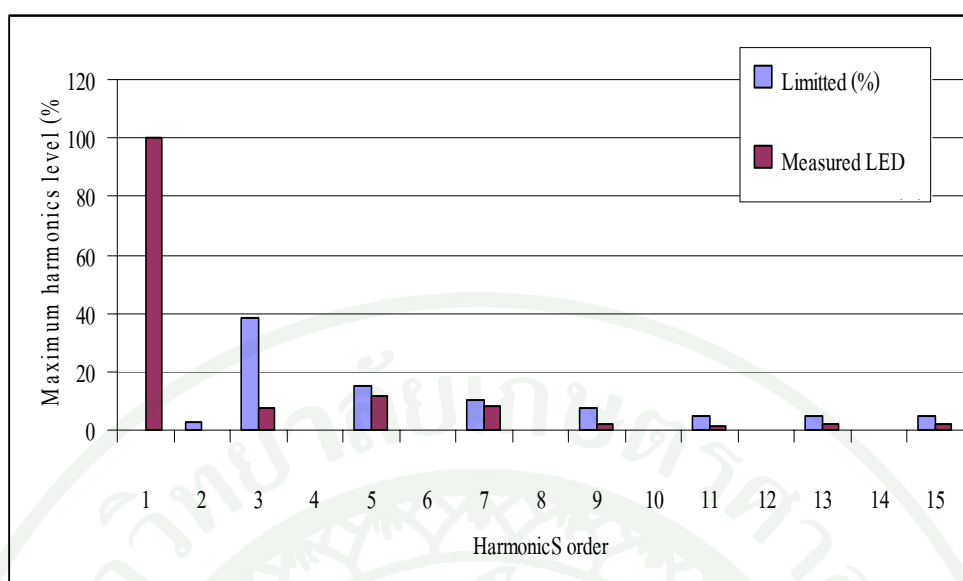
ภาพที่ 122 (ต่อ)

ตารางที่ 35 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 5.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

Maximum harmonic current results		
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]
1	-	100
2	3	0.0
3	38.52	7.3
4	-	0.0
5	15	11.8
6	-	0.1
7	10.5	8.4
8	-	0.0
9	7.5	2.0
10	-	0.1
11	4.5	1.6
12	-	0.1
13	4.5	2.3
14	-	0.1
15	4.5	1.8
16	-	0.1
17	4.5	0.6

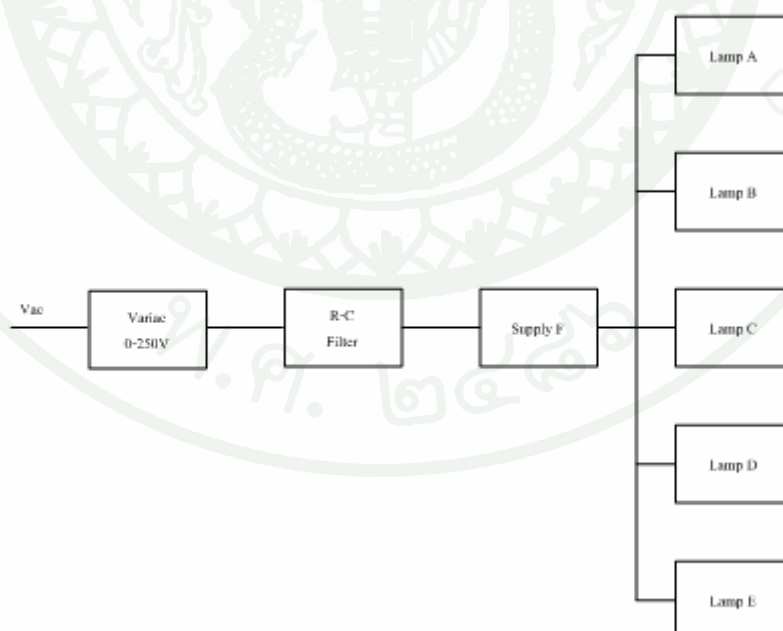
ตารางที่ 35 (ต่อ)

Maximum harmonic current results		
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]
18	-	0.2
19	4.5	2.2
20	-	0.2
21	4.5	1.6
22	-	0.8
23	4.5	0.8
24	-	0.9
25	4.5	1.4
26	-	0.5
27	4.5	1.2
28	-	0.9
29	4.5	0.8
30	-	0.3
31	4.5	1.7
32	-	0.3
33	4.5	2.3
34	-	0.3
35	4.5	1.2
36	-	0.2
37	4.5	2.6
38	-	0.2
39	4.5	1.4
40	-	0.1

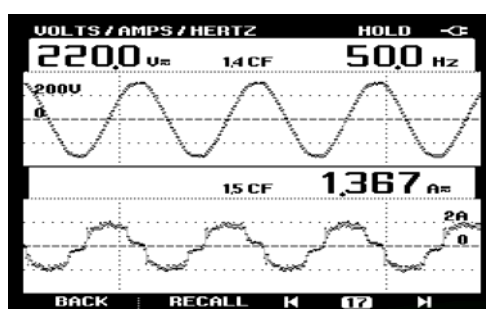


ภาพที่ 123 กระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 5.1 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

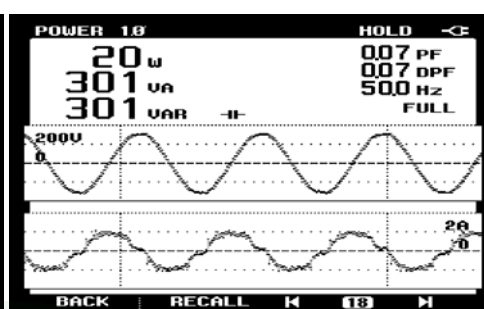
5.2 แหล่งจ่าย F จ่ายโคม A+B+C+D+E เมื่อติดตั้งฟิลเตอร์แบบ R-C



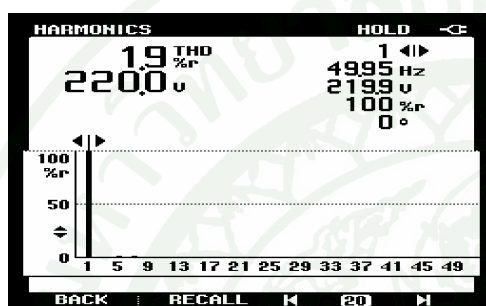
ภาพที่ 124 ไลอะแกรมการทดลองกรณี 5.2



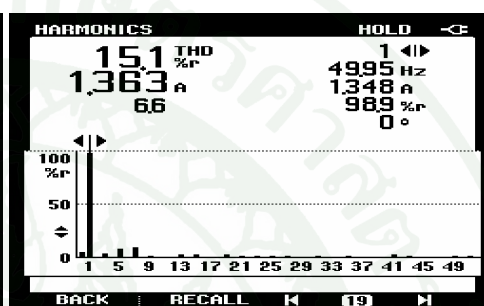
(ก) แรงดัน กระแส และความถี่



(ข) กำลังไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า



(ค) THDv



(ง) THDi

ภาพที่ 125 สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันกรณี 5.2

ตารางที่ 36 ผลการทดสอบกระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดในกรณี 5.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

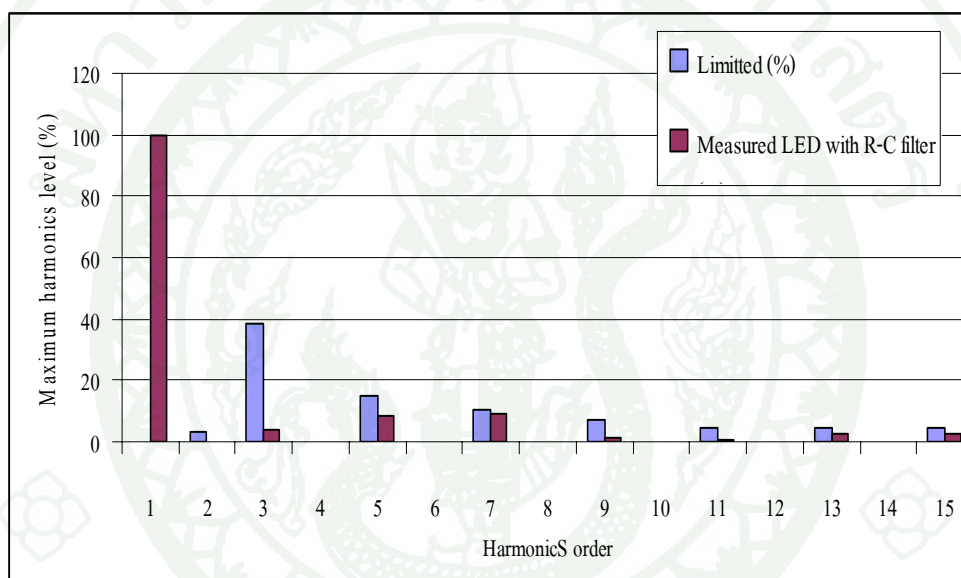
Maximum harmonic current results		
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]
1	-	100
2	3	0.0
3	38.52	3.9
4	-	0.0
5	15	8.8
6	-	0.1
7	10.5	9.3
8	-	0.0
9	7.5	1.2

ตารางที่ 36 (ต่อ)

Maximum harmonic current results		
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]
10	-	0.0
11	4.5	0.5
12	-	0.1
13	4.5	2.3
14	-	0.0
15	4.5	2.4
16	-	0.1
17	4.5	0.3
18	-	0.1
19	4.5	2.3
20	-	0.2
21	4.5	1.5
22	-	0.5
23	4.5	1.2
24	-	0.8
25	4.5	1.9
26	-	0.7
27	4.5	1.6
28	-	1.0
29	4.5	0.4
30	-	0.2
31	4.5	1.9
32	-	0.2
33	4.5	0.9
34	-	0.2
35	4.5	1.6
36	-	0.2

ตารางที่ 36 (ต่อ)

Maximum harmonic current results		
Hn	Limit [%]	Measured (LED) [%]
37	4.5	1.1
38	-	0.1
39	4.5	0.7
40	-	0.2



ภาพที่ 126 กระแสฮาร์โมนิกสูงสุดในกรณี 5.2 เทียบกับค่าขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

วิจารณ์

1. ความสว่าง

ความสว่างของโคมแอลอีดีสามารถพิจารณาได้โดยการเปรียบเทียบกับหลอดไฟฟ้าที่ใช้สำหรับโคมไฟดาวน์ไลท์ทั่วไป นั่นคือหลอดไส้และหลอดตะเกียบ ซึ่งในที่นี้ได้นำหลอดไส้ขนาด 25 W และหลอดตะเกียบขนาด 5 W มาทำการทดสอบโดยใช้โคมไฟชนิดเดียวกัน แต่เนื่องจากหลอดแต่ละชนิดจะให้แสงสว่างที่ไม่เท่ากันและกินกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน ดังนั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างโดยคำนวณได้จากค่าความสว่างต่อกำลังวัตต์ (lx/W)

ตารางที่ 37 ความสว่างต่อกำลังวัตต์ของโคมแอลอีดีเมื่อเทียบกับหลอดไส้และหลอดตะเกียบ

ชนิดหลอด	V(V)	I(mA)	PF	P(W)	lx @0.5m	lx/W
หลอดไส้ 25 W	220	107.6	1.00	23.5	331.8	13.27
หลอดตะเกียบ 5 W	220	45.7	0.49	5	270.2	54.04
แอลอีดี (แหล่งจ่ายชุด A)	220	38.0	0.68	5.6	382.9	68.37
แอลอีดี (แบตเตอรี่ 12Vdc)	12	219.9	-	2.58	382.9	148.41

จากตารางที่ 37 จะสังเกตว่าโคมแอลอีดีจะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดเท่ากับ 68.37 lx/W และถ้าไม่คิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แหล่งจ่ายไฟจะทำให้มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงถึง 148.41 lx/W เมื่อเทียบกับหลอดไส้และหลอดตะเกียบที่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างเพียง 13.27 lx/W และ 54.04 lx/W ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการพิสูจน์ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าโคมแอลอีดีจะให้ความสว่างสูงโดยที่กินกำลังไฟฟ้าน้อยซึ่งเป็นคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงที่ดี

2. ความร้อนที่ผิวหลอด

จากการทดลองพบว่าโคมหลอดใสนั้นจะมีการกระจายความร้อนในลักษณะจุดกำเนิดความร้อนที่ไส้หลอดเพียงจุดเดียว โคมหลอดตะเกียบจะมีการกระจายความร้อนในลักษณะแหล่งกำเนิดความร้อนที่ผิวหลอด ส่วนโคมหลอดแอลอีดีนั้นจะเกิดความร้อนในลักษณะกระจายที่ค่อนข้างสม่ำเสมอเนื่องจากความร้อนเกิดขึ้นจากหลอดแอลอีดีเล็กๆ ที่นำมาจัดวางแบบกระจายทั่วทั้งดวงโคม

เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน เช่น กรณีที่เปิดใช้งานเป็นเวลานานๆ หรือกรณีที่ ต้องสัมผัสที่ผิวหลอดโดยตรงจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตามก็จะสามารถพิจารณาได้จากความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอด แต่หลอดที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับกันนั้นกินกำลังไฟฟ้าต่างกันและให้ความร้อนที่ต่างกัน ดังนั้นจะต้องพิจารณาบนฐานเดียวกันคือพิจารณาจากอัตราความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอดต่อกำลังวัตต์ ($^{\circ}C/W$) ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอดต่อกำลังวัตต์ของโคมแอลอีดีเมื่อเทียบกับโคมหลอดไส้และโคมหลอดตะเกียบ

ชนิดหลอด	V(V)	I(mA)	PF	P(W)	Max.Temp. at 30 min	Max.Temp/W
หลอดไส้ 25 W	220	107.6	1.00	23.5	169.9	7.23
หลอดตะเกียบ 5 W	220	45.7	0.49	5	83.3	16.66
แอลอีดี (แหล่งจ่ายชุด A)	220	38.0	0.68	5.6	55.8	9.96
แอลอีดี (แบตเตอรี่ 12Vdc)	12	219.9	-	2.58	55.8	21.62

จากตารางที่ 38 จะเห็นว่าความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอดต่อกำลังวัตต์ของโคมหลอดไส้และโคมหลอดตะเกียบที่มีค่าเท่ากับ $7.32^{\circ}C/W$ และ $16.66^{\circ}C/W$ ตามลำดับ แต่โคมหลอดแอลอีดีจะมีความร้อนสูงสุดที่ผิวหลอดต่อกำลังวัตต์สูงกว่าโคมหลอดไส้และโคมหลอดตะเกียบโดยมีค่าเท่ากับ $21.62^{\circ}C/W$ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกระจายความร้อนก็จะพบว่าโคมหลอดแอลอีดีนั้นจะมีความร้อนในลักษณะกระจายตามการกระจายของหลอด ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวหลอดของโคมหลอดแอลอีดีจะเกิดจากหลอดแอลอีดีเล็กๆแต่ละหลอดแม้จะมีกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากการต่อจำนวนหลอดที่เพิ่มขึ้นก็จะไม่ทำให้ความร้อนที่ผิวหลอดนั้นเพิ่มขึ้นตาม ไม่เหมือนเช่นโคมหลอดไส้และโคมหลอดตะเกียบ ซึ่งก็นับได้ว่าเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งของแหล่งกำเนิดแสงที่ดี

3. แหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป

แหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูปที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้จะนำมาทดสอบเพื่อพิจารณาดูแนวโน้มของสัญญาณรบกวนในย่านฮาร์มอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วย แบตเตอรี่ แหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น แหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่ง และแหล่งจ่ายจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอด

เมื่อพิจารณาถึงมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมซึ่งกำหนดให้ใช้มาตรฐาน EN61000-3-2 class C ในการกำหนดค่าขีดจำกัดฮาร์มอนิกส์ของบริภัณฑ์ส่องสว่างในลำดับที่ 2 - 40 พบว่าแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นจะเกิดฮาร์มอนิกส์สูงสุดที่ลำดับที่ 3 และมีลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เกินค่าขีดจำกัดคือลำดับที่ 3 และ 11 แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งเกิดฮาร์มอนิกส์สูงสุดเกิดที่ลำดับที่ 3 และมีลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เกินค่าขีดจำกัดคือลำดับที่ 3, 5, 7, 9 และ 11 และแหล่งจ่ายไฟจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดเกิดฮาร์มอนิกส์สูงสุดเกิดที่ลำดับที่ 5 และมีลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เกินค่าขีดจำกัดคือลำดับที่ 5 ซึ่งทั้งหมดถือว่าไม่ผ่านมาตรฐาน EN61000-3-2 class C

ตารางที่ 39 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป

แหล่งจ่ายแบบสำเร็จรูป	IN (AC)						OUT (DC)		
	V(V)	I(mA)	PF	P(W)	THDv(%)	THDi(%)	V(V)	I(mA)	P(W)
แบตเตอรี่	-	-	-	-	-	-	12.00	219.9	2.58
แหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น	220	69.4	0.56	8.5	2.0	39.7	12.00	219.9	2.58
แหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่ง	220	112.9	0.76	18.9	1.9	54.1	12.00	219.9	2.58
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น									
แบบบริดจ์ชนิดไดโอด	220	54.9	0.79	9.6	2.4	24.9	12.00	219.9	2.58

จากตารางที่ 39 เป็นสรุปผลการทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟแบบสำเร็จรูป พบว่าแหล่งจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ชนิดไดโอดจะมีกระแสฮาร์มอนิกส์รวมที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 24.9% ซึ่งน้อยกว่าแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น แหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่งที่มีค่ากระแสฮาร์มอนิกส์รวมเท่ากับ 39.7% และ 54.1% ตามลำดับ ส่วนแบตเตอรี่นั้นจะไม่เกิดสัญญาณฮาร์มอนิกส์เนื่องจากเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงอย่างแท้จริงที่ไม่มีองค์ประกอบของความถี่ใดๆ ปน

4. แหล่งจ่ายที่แบบออกแบบสร้างเอง

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 แหล่งจ่าย A จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A

จากการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 โดยแหล่งจ่าย A จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A และกำหนดให้ แรงดันด้านเข้าคงที่เท่ากับ 220V ความถี่ 50 Hz และอัตราะลอกคลื่นทางด้าน DC ไม่เกิน 0.1% พบว่ากรณีนี้จะกินกระแสเท่ากับ 38 mA ค่าประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.68 กิน

กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.6W เกิด THDv เท่ากับ 2.4% และ THDi เท่ากับ 37.8% โดยส่วนใหญ่จะเกิดในลำดับที่ 3 และลำดับที่ 5 และเมื่อเทียบกับค่าตามมาตรฐานพบว่าไม่มีลำดับฮาร์มอนิกส์ใดเกินค่าขีดจำกัด

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 แหล่งจ่าย A-E จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A

ตารางที่ 40 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 2

กรณี	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 2					
	V(V)	I(mA)	PF	P(W)	THDv (%)	THDi (%)
4.2.1	220	38.0	0.68	5.6	2.4	37.8
4.2.2	220	36.8	0.68	5.5	2.4	37.8
4.2.3	220	36.8	0.67	5.4	2.4	37.8
4.2.4	220	35.8	0.70	5.5	2.4	37.9
4.2.5	220	35.6	0.69	5.4	2.5	37.8

จากตารางที่ 40 เป็นสรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 2 โดยแหล่งจ่าย A-E จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A ซึ่งพบว่าแหล่งจ่ายทั้ง 5 ชุดคือ A-E เมื่อจ่ายไฟให้กับโคมหลอดแอลอีดี A จะมีคุณลักษณะทางสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกันน้อยมากจึงสามารถสรุปได้ว่าแหล่งจ่าย A-E มีคุณสมบัติทางสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์ที่เหมือนกัน

4.3 กรณีศึกษาที่ 3 แหล่งจ่าย A-E จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A-E

ตารางที่ 41 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 3

กรณี	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 3						
	V(V)	I(mA)	PF	P(W)	THDv (%)	THDi (%)	Out of limit
4.3.1	220	38.0	0.68	5.6	2.4	37.8	-
4.3.2	220	60.3	0.78	10.3	2.2	38.6	5
4.3.3	220	90.0	0.77	15.2	2.2	39.6	5
4.3.4	220	96.7	0.76	16.1	2.1	42.0	3, 5, 9
4.3.5	220	129.0	0.77	21.8	2.3	42.2	3, 5

จากตารางที่ 41 เป็นการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของฮาร์มอนิกส์เมื่อใช้แหล่งจ่ายแยกชุดกับโคมดาวน์ไลท์ แล้วมาต่อรวมกันจำนวน 5 ชุด พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชุดแหล่งจ่ายกับโคมดาวน์ไลท์จะทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกส์รวมที่เพิ่มขึ้นตามเล็กน้อย ส่วนค่าฮาร์มอนิกส์ในแต่ละลำดับนั้นก็เกิดในลักษณะการสุมไม่สามารถคาดเดาเพื่อการออกแบบวงจรกรองล่งหน้าได้

4.4 กรณีศึกษาที่ 4 แหล่งจ่าย F จ่ายให้กับโคมดาวน์ไลท์ A-E

ตารางที่ 42 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 4

กรณี	สมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 4						
	V(V)	I(mA)	PF	P(W)	THDv (%)	THDi (%)	Out of limit
4.4.1	220	66.3	0.58	8.4	2.5	30.1	5 , 11
4.4.2	220	82.5	0.66	11.9	2.3	36.4	5 , 11
4.4.3	220	92.5	0.70	14.2	2.5	38.2	5 , 11
4.4.4	220	98.0	0.71	15.3	2.5	39.2	5 , 11
4.4.5	220	109.2	0.73	17.5	2.2	42.2	5 , 11

จากตารางที่ 42 เป็นสรุปผลการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของฮาร์มอนิกส์เมื่อใช้แหล่งจ่ายชุดใหญ่กับโคมดาวน์ไลท์จำนวน 5 โคม พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนโคมดาวน์ไลท์จะทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกส์รวมเพิ่มขึ้นตามเล็กน้อย ส่วนค่าฮาร์มอนิกส์แต่ละลำดับก็จะเป็นลักษณะคงที่ซึ่งสามารถคาดเดาเพื่อการออกแบบวงจรกรองล่งหน้าได้

ตารางที่ 43 การเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4

ตัวแปร/ แหล่งจ่าย	1 โคม		2 โคม		3 โคม		4 โคม		5 โคม	
	A-E	F	A-E	F	A-E	F	A-E	F	A-E	F
V(V)	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
I(mA)	38.0	66.3	60.3	82.5	90.0	92.5	96.7	98.0	129.0	109.2
PF	0.68	0.58	0.78	0.66	0.77	0.70	0.76	0.71	0.77	0.73
P(W)	5.6	8.4	10.3	11.9	15.2	14.2	20.3	15.3	25.4	17.5

ตารางที่ 43 (ต่อ)

ตัวแปร/ แหล่งจ่าย	1 โคม		2 โคม		3 โคม		4 โคม		5 โคม	
	A-E	F	A-E	F	A-E	F	A-E	F	A-E	F
THDv(%)	2.4	2.5	2.2	2.3	2.2	2.5	2.1	2.5	2.3	2.2
THDi(%)	37.8	30.1	38.6	36.4	39.6	38.2	42.0	39.2	42.2	42.2

จากตารางที่ 43 เป็นผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าคงที่เท่ากับ 220V และอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกไม่เกิน 0.1% เมื่อพิจารณาที่การกินกระแสด้านเข้าของทั้งสองกรณีพบว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับโคมเดียวจะกินกระแสน้อยกว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับหลายโคมและจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่จ่ายให้กับดวงโคมจำนวนน้อยๆ ค่าประกอบกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นและแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับโคมเดียวจะมีค่าประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับหลายโคมเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างหม้อแปลงที่นำมาใช้งานกล่าวคือมีค่าพิกัดใช้งานที่ต่างกันนั่นเอง ส่วนการกินกำลังงานไฟฟ้าก็พบว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับโคมเดียวจะกินกำลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับหลายโคมในกรณีที่จ่ายไม่เกิน 2 โคม แต่เมื่อจ่ายตั้งแต่ 3 โคมขึ้นไปจะพบว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับหลายโคมจะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าซึ่งเกิดจากขนาดของหม้อแปลงที่ใหญ่กว่าก็จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงกว่า (กำลังไฟฟ้าสูญเสียของวงจรส่วนใหญ่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า) แต่เนื่องจากใช้หม้อแปลงตัวเดียวเมื่อเพิ่มจำนวนโคมไฟฟ้าก็จะไม่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้นตามซึ่งต่างกับแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับโคมเดียวที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้นตามจำนวนหม้อแปลงที่นำมาต่อรวม ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงการออกแบบสำหรับติดตั้งใช้งานจริงจะพบว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับโคมเดียวจะเหมาะกับการต่อใช้งานกับดวงโคมแอลอีดีจำนวนน้อยๆ เนื่องจากแหล่งจ่ายแบบนี้จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยกว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับหลายโคม ในทำนองเดียวกันถ้านำแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับหลายโคมไปจ่ายให้กับดวงโคมแอลอีดีจำนวนน้อยๆ ก็จะไม่เหมาะสมกันเนื่องจากเนื่องจากแหล่งจ่ายแบบนี้จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สูงกว่าแต่จะเหมาะสำหรับการจ่ายให้กับดวงโคมแอลอีดีจำนวนหลายโคมหรือตามพิกัดที่ออกแบบ

เมื่อพิจารณาทางด้านสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์พบว่าแหล่งจ่ายขนาดเล็กที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับโคมเดียวจะมี THDi สูงกว่าแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับจ่ายหลายโคมเนื่องจากกระแสที่ความถี่หลักมูลมีค่าน้อย แต่เมื่อต่อกันจำนวนหลายๆ ชุด ทำให้กระแสที่ความถี่หลักมูลมีค่าสูงขึ้น และเมื่อกระแสที่ความถี่หลักมูลของแหล่งจ่ายทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกันก็จะมี THDi ที่ใกล้เคียงกัน

5. แหล่งจ่ายที่ออกแบบสร้างเองเมื่อติดฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่านแบบ R-C (R-C Low pass filter)

ตารางที่ 44 การเปรียบเทียบสมรรถนะทางไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 เมื่อไม่ติดฟิลเตอร์กับเมื่อติดฟิลเตอร์

ตัวแปร/แหล่งจ่าย	กรณีศึกษาที่ 3 (5 โคม)		กรณีศึกษาที่ 4 (5 โคม)	
	ไม่ติดฟิลเตอร์	ติดฟิลเตอร์	ไม่ติดฟิลเตอร์	ติดฟิลเตอร์
V(V)	220	220	220	220
I(mA)	129.0	1,395	109.2	1,367
PF	0.77 lag.	0.09 lead.	0.73 lag.	0.07 lead.
P(W)	25.4	28 (เพิ่มขึ้น 10.2%)	17.5	20 (เพิ่มขึ้น 14.3%)
THDv(%)	2.3	2.5	2.2	1.9
THDi(%)	42.2	18.9	42.2	15.1

จากตารางที่ 44 เป็นการเปรียบเทียบทางไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 เมื่อไม่ติดฟิลเตอร์กับเมื่อติดฟิลเตอร์จะพบว่าเมื่อติดฟิลเตอร์จะทำให้กินกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นคือเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรรองความถี่ โดยในกรณีศึกษาที่ 3 จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรรองความถี่คิดเป็น 10.2% และในกรณีศึกษาที่ 4 จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรรองความถี่คิดเป็น 14.3% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อติดฟิลเตอร์แล้วสามารถทำให้สัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์ลดลงและผ่านมาตรฐานที่กำหนดได้ โดยที่แหล่งจ่ายชุดใหญ่ในกรณีศึกษาที่ 4 สามารถกรองฮาร์มอนิกส์ได้มากกว่าแหล่งจ่ายชุดเล็กในกรณีศึกษาที่ 3

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในปัจจุบันการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งที่วิศวกรไฟฟ้าและทุกๆ องค์กรกำลังให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าประมาณ 30% ถูกใช้ไปในระบบแสงสว่าง ดังนั้นการประหยัดพลังงานในระบบส่องสว่างจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับทุกๆ คน และทุกๆ องค์กร เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่าย และลดต้นทุนผลิต หรือการดำเนินกิจการต่างๆ ซึ่งหลอดแอลอีดีก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีข้อดีคือมีอัตราการให้แสงสว่างต่อกำลังวัตต์สูง และการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหลอดต่ำและไม่เพิ่มสูงตามกำลังไฟฟ้า โดยสิ่งที่ผู้ออกแบบหรือผู้ใช้งานต้องพิจารณาสำหรับการนำหลอดแอลอีดีมาใช้ในระบบส่องสว่างภายในอาคารนั้น ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสมเช่น ขนาด น้ำหนัก การกินกำลังไฟฟ้า และการเกิดสัญญาณรบกวนต่างๆ เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟบางประเภทอาจมีสัญญาณรบกวนสูงซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ให้เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า และแหล่งจ่ายไฟแต่ละประเภทก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสดร่งนั้นมีหลายชนิดด้วยกันซึ่งโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แหล่งจ่ายแบบเชิงเส้นและแหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่งซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการพิจารณาเลือกแหล่งจ่ายไฟเพื่อนำมาใช้ร่วมกับคอมโพไฟฟ้แบบควาน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดีจึงสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. การพิจารณาชนิดของแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายแบบเชิงเส้นมีข้อดีคือมีฮาร์โมนิกส์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่ง แต่มีข้อจำกัดคือทำการออกแบบให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาได้ยากเนื่องจากต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการแปลงผันกำลังงานไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการเกิดสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์แล้วแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้นจะมีความเหมาะสมใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับคอมโพไฟฟ้แบบควาน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดีมากกว่าแหล่งจ่ายแบบสวิตชิ่ง

2. การพิจารณาขนาดของแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้น

แหล่งจ่ายชุดใหญ่ที่ออกแบบสำหรับจ่ายให้กับ โคมหลอดแอลอีดีจำนวนมากหลายโคมก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เหมาะกับการใช้เป็นแหล่งจ่ายสำหรับจ่ายให้กับโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดีจำนวนหลายๆ โคม ซึ่งมีข้อดีคือถ้าเทียบที่จำนวนโคมเท่ากันจะส่งผลกระทบต่อสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ใกล้เคียงกันกับแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับโคมเดียวโดยที่กินกำลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า และการเกิดฮาร์โมนิกส์ก็จะเป็นลักษณะที่แน่นอนซึ่งสามารถคาดเดาเพื่อทำการออกแบบวงจรกรองล่วงหน้าได้ อีกทั้งการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณฮาร์โมนิกส์ก็สามารถออกแบบติดตั้งเพียงชุดเดียวซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการออกแบบสร้างต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็ยังมีข้อเสียในเรื่องของความน่าเชื่อถือของระบบกล่าวคือหากแหล่งจ่ายแบบนี้เกิดมีการขัดข้องหรือเสียหายก็จะทำให้โคมไฟทั้งหมดที่รับไฟจากแหล่งจ่ายนี้ดับทั้งหมด

3. การพิจารณาขนาดของแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้นเมื่อทำการติดตั้งวงจรกรอง

วงจรกรองความถี่ความถี่ต่ำผ่านแบบ R-C เป็นวงจรกรองอย่างง่ายสุดในการกรองสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ ซึ่งเมื่อติดตั้งแล้วจะทำให้สามารถกรองสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ให้ลดลงจนผ่านมาตรฐานที่กำหนดได้ โดยแหล่งจ่ายสำหรับจ่ายให้กับโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดีจำนวนหลายๆ โคม จะสามารถกรองสัญญาณรบกวนได้มากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายที่ออกแบบสำหรับโคมเดียว แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งวงจรกรองดังกล่าวก็จะทำให้กำลังไฟรวมของระบบสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการสูญเสียในตัวต้านทานและตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่นั่นเอง

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ยังมีประเด็นที่ต้องปรับปรุงหรือศึกษาเพิ่มเติมคือการจัดวางหลอดให้เต็มพอดีกับดวงโคมควาน์ไลท์ที่จะทำให้ได้ความสว่างที่สูงขึ้นรวมถึงการจัดเรียงหลอดที่เหมาะสมที่สุดหรือพัฒนาประยุกต์ใช้แอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงในรูปแบบอื่นๆ ตามลักษณะการใช้งาน อีกทั้งประเด็นที่น่าสนใจคือการวิเคราะห์ผลกระทบของแสงจากแอลอีดีที่มีต่อสายตามนุษย์ ส่วนแหล่งจ่ายไฟนั้นจะต้องศึกษาการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแหล่งจ่ายไฟ รวมถึงการออกแบบวงจรกรองสัญญาณเพื่อลดสัญญาณรบกวน ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมกับการใช้งานเช่นกัน อีกประเด็นที่น่าศึกษาคือสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟทั้งในย่านฮาร์มอนิกส์และย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำ เนื่องจากการออกแบบบริษัทที่ส่งสว่างในเชิงพาณิชย์จะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานฮาร์มอนิกส์และมาตรฐานอีเอ็มไอ มิฉะนั้นจะไม่สามารถจำหน่ายให้กับผู้บริโภคได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสัญญาณรบกวนย่านอีเอ็มไอในกรณีของแหล่งจ่ายแบบสำเร็จรูปเบื้องต้นซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จารินี ม้าแก้ว. 2546. การศึกษาและวัดฮาร์มอนิกในระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชุติพนธ์ อุทัยโสม. 2551. ผลกระทบของสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า การประหยัดพลังงาน การส่องสว่างและสัญญาณรบกวนย่านฮาร์มอนิกส์ต่อบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย. หน้า 431-434. PW 107, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรจน์.

โบนัส ทรงวิจิตรและชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. 2551. โปรแกรมออกแบบการติดตั้งหลอด LED บนดวงโคมไฟฟ้า, หน้า 387-390. PW 96, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรจน์.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2530. การออกแบบระบบแสงสว่าง. กลุ่มบริษัทแสงมิตรกรุ๊ป. กรุงเทพฯ

ภคณิต ไชยดำ. 2548. วงจรกรองกำลังแอกทีฟอเนกประสงค์สำหรับลดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระเชษฐ์ ชันเงินและวุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. 2549. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรินติ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4.

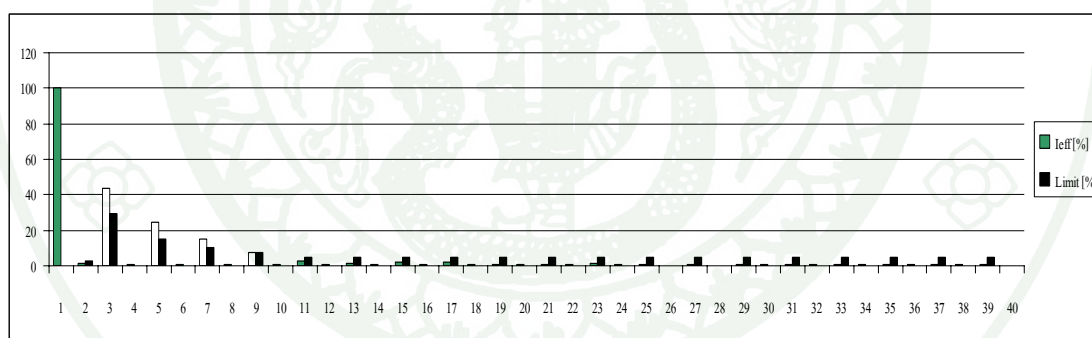
ศุติ บรรจงจิตร. 2538. วิศวกรรมส่องสว่าง. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ

Robert L. Boylestad and Louis Nashelsky. 2002. **Electronic Devices and Circuit Theory**. 8th ed. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, New Jersey 07458.

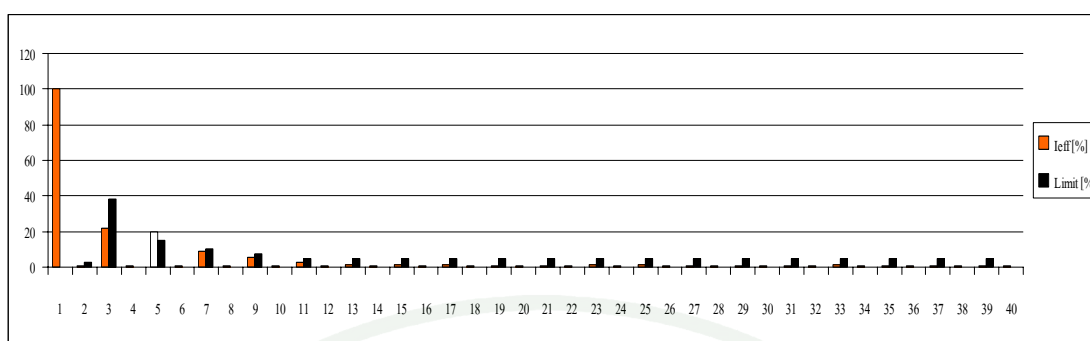




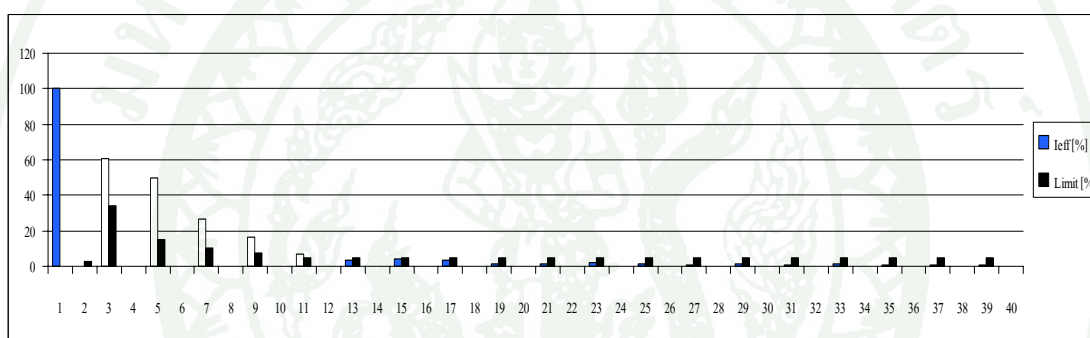
ภาพผนวกที่ 1 ความต้านทานโหลดที่ใช้ในการทดลองเทียบกับแอลอีดี



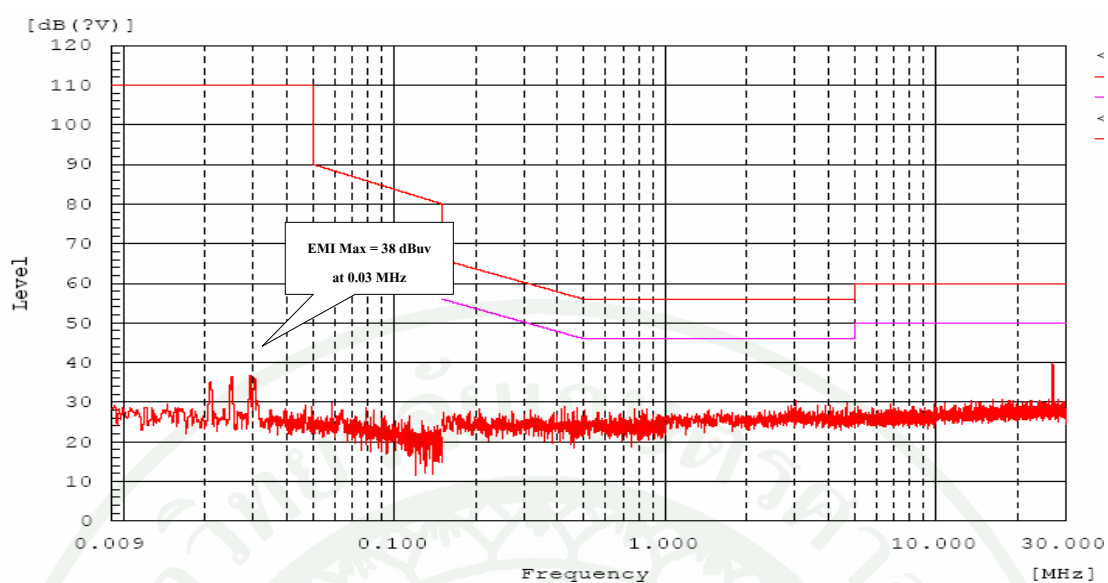
ภาพผนวกที่ 2 Maximum harmonics ลำดับที่ 1-40 จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Linear Power Supply เมื่อเทียบกับค่าขีดจำกัดตามมาตรฐาน EN/IEC 61000-3-2 A14 (2000) Quasi-stationary Equipment class C ที่ทดสอบโดย PTEC



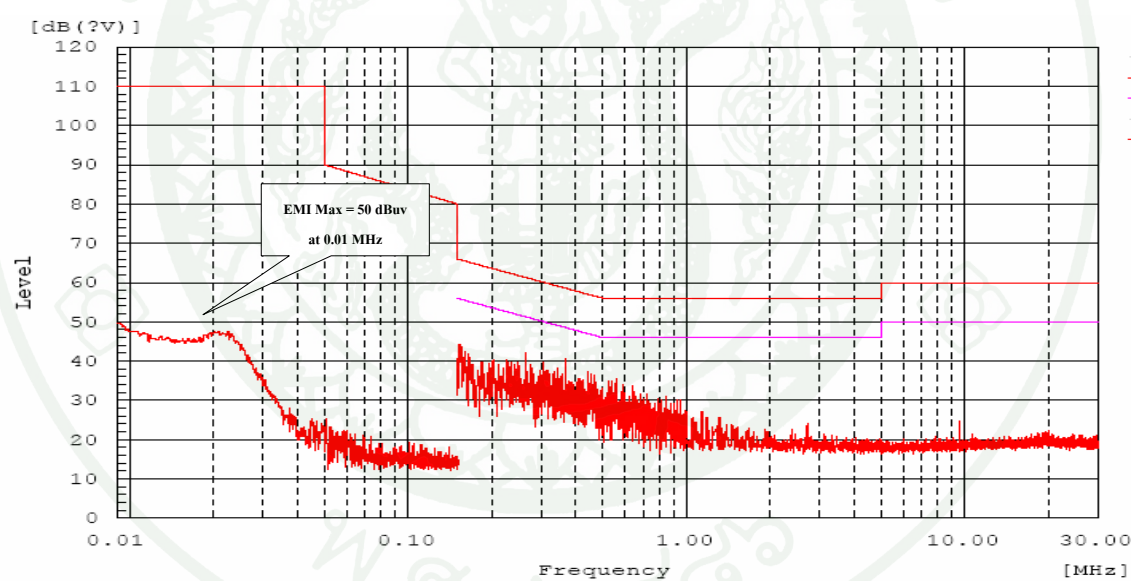
ภาพผนวกที่ 3 Maximum harmonics ลำดับที่ 1-40 จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Full Bridge Rectifier เมื่อเทียบกับค่าขีดจำกัดตามมาตรฐาน EN/IEC 61000-3-2 A14 (2000) Quasi-stationary Equipment class C ที่ทดสอบโดย PTEC



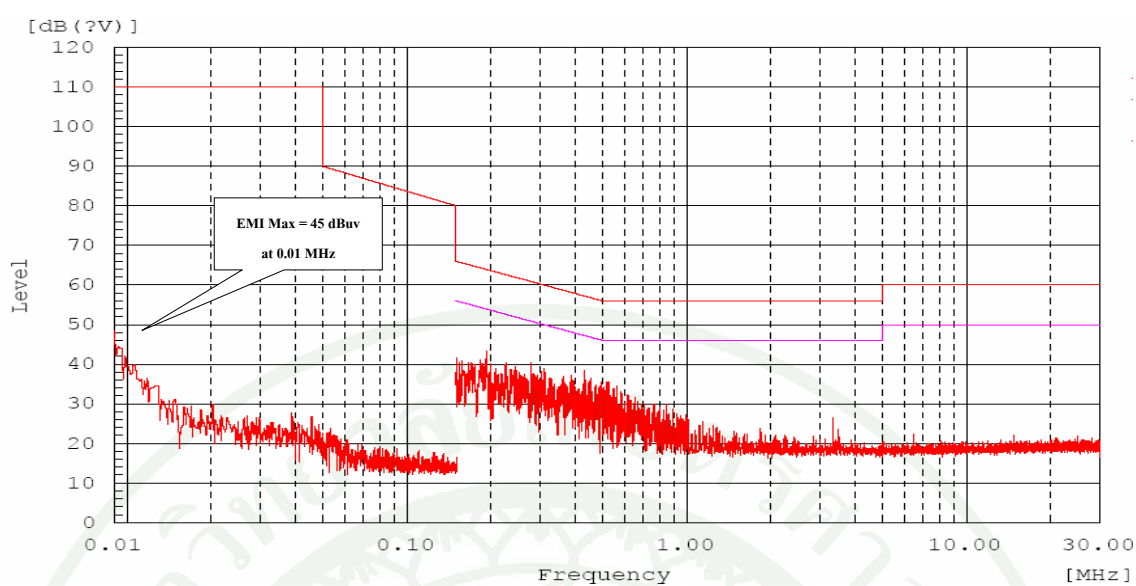
ภาพผนวกที่ 4 Maximum harmonics ลำดับที่ 1-40 จากแหล่งจ่ายไฟแบบ SMPS เมื่อเทียบกับค่าขีดจำกัดตามมาตรฐาน EN/IEC 61000-3-2 A14 (2000) Quasi-stationary Equipment class C ที่ทดสอบโดย PTEC



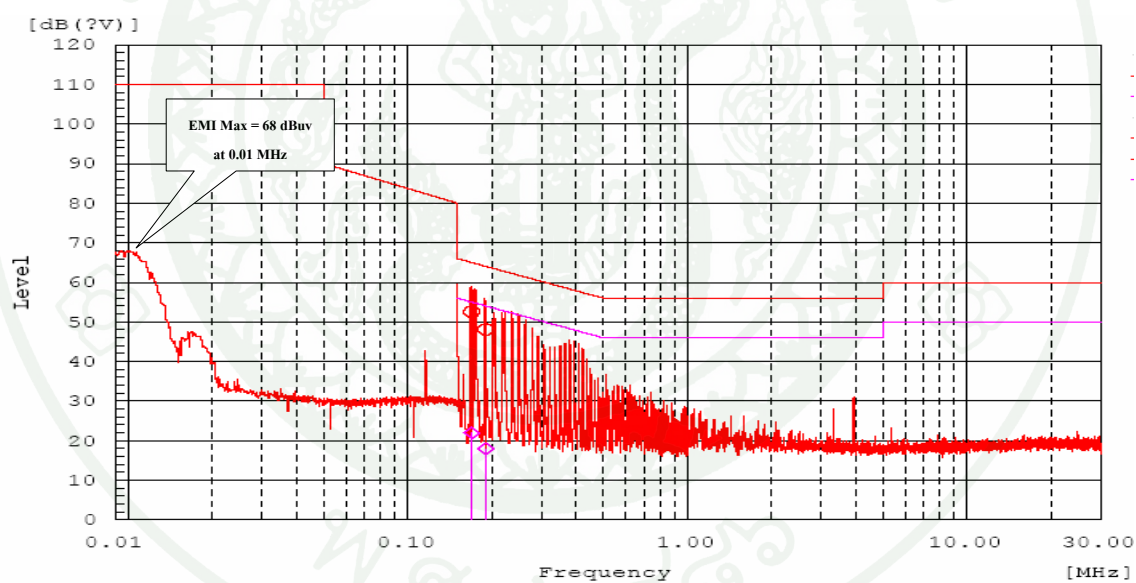
ภาพผนวกที่ 5 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Battery 12 VDC ที่ทดสอบโดย PTEC



ภาพผนวกที่ 6 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Linear Power Supply ที่ทดสอบโดย PTEC



ภาพผนวกที่ 7 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Full Bridge Rectifier ที่ทดสอบโดย PTEC



ภาพผนวกที่ 8 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก SMPS ที่ทดสอบโดย PTEC

DREAMLAND

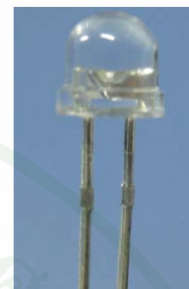
Technical data sheet
4.8mm straw hat-shaped LED

<http://www.yuanlei-led.com>

YL-P4813W-CW-AC-02

Features:

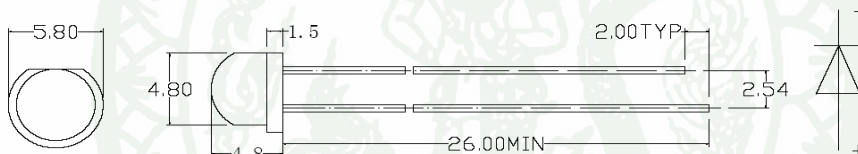
- Popular T-1 colorless 5mm package;
- High luminous power;
- The product itself will remain within ROHS compliant version;
- Industrial standard footprint;
- Choice of various viewing angles and color;



Discription:

- LED lamp type:4.8mm strawhat shaped;
- Color:white;
- View angle:various degree;
- Applications:fluorescent lamp,
- UV resistang,no infrare,long life and save energy;

Dimensional drawing:

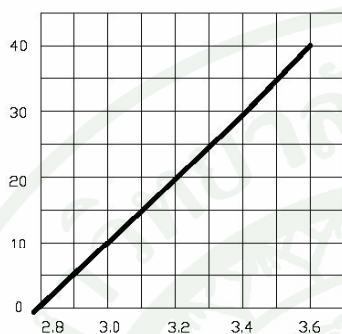


All dimensions are in millimeter
 Tolerance is $\pm 0.25\text{mm}$ (0.10") unless otherwise noted

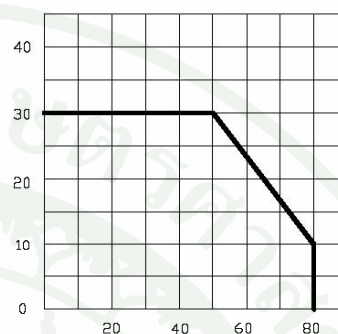
Shape Specification:

No.	ITEM	SPEC OR DESCRIPTION
1	Lens	◆ No change color ◆ No Disrepair ◆ Scratch (length $\leq 2.0\text{mm}$, Width $\leq 0.25\text{mm}$) ◆ macula ($\leq 0.25\text{mm}$ and $\leq 2\text{EA}$ in Encapsulation reverse) ◆ bubble ($\leq 0.3\text{mm}$ and $\leq 2\text{EA}$ Encapsulation reverse)
2	PIN	◆ No bottom crook ◆ No oxidation ◆ No electropolar reverse)
3	Configuration	◆ No Encapsulation reverse ◆ No PIN loosen
4	Lens color	◆ Water Clear

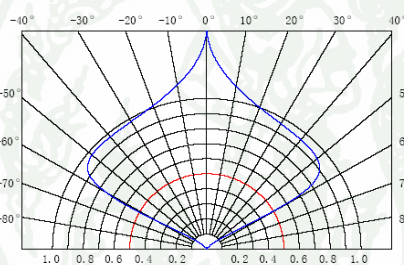
ภาพผนวกที่ 9 ข้อมูลจำเพาะของแอลอีดีชนิด 4.8 mm straw hat – shaped LED

DREAMLAND
Technical data sheet
4.8mm straw hat-shaped LED
<http://www.yuanlei-led.com>
Opto-Electrical Characteristics:


Forward Current vs. Forward Voltage



Maximum Forward Current vs. Ambient Temperature



Lighting Angle

Absolute maximum ratings:

Parameter	Symbol	Value	Unit
Forward Current	I_f	20	mA
Reverse Voltage	V_r	5	V
Operating Temperature	T_{opr}	-25~+85	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-35~+85	°C
Soldering temperature	T_{sol}	260±5°C (for 4sec)	°C
Power Dissipation	P_d	60	mW
Pulse Current	I_{FP}	100	mA

ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ)


Technical data sheet
4.8mm straw hat-shaped LED
<http://www.yuanlei-led.com>
Opto-Electrical Specification:

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Tolerance	Test Conditions
Forward Voltage	V _f	2.80	--	3.60	V	± 0.05V	If forward current =20mA Test Temperature =25°C
Luminous Intensity	IV	1000	--	--	mcd	± 60 mcd	
Color Temperature	TC	5500	--	7000	k	±100k	
Chromatic current	X	--	--	--	/	±0.005	
	Y	--	--	--	/	±0.005	
Luminous Flux	Φ	5.0	--	--	Lm	±0.1 Lm	
Lighting Angle	θ	115	120	125	deg	±2	
Reverse Current	IR	--	--	10	μA	±0.1μA	V _r =5V

Opto-Electrical Grading Specification:

Forward Voltage	Luminous Intensity	Color Temperature	Chromatic current		Test Conditions
			X	Y	
2.8-3.0 v	/	5500-6000 k	/	/	IF forward current=20mA Test Temperature=25°C
3.0-3.2 v		6000-6500 k			
3.2-3.4 v		6500-7000 k			
3.4-3.6 v					

Reliability Test Items:

No.	Item	Condition	Time/Cycle	Number of
1.	Soldering Heat Test	260±5 °C	10 sec	0/60
2	Thermal Shock	0 °C (15sec) ~ 100 °C(15sec)	20 cycle	0/60
3	High Temp. Storage	100 °C	1000Hrs	0/60
4	Low Temp. Storage	-40 °C	1000Hrs	0/60
5	Temperature Cycle Test	-40 °C ~ 80 °C	100 Cycles, 200 Hrs	0/60
6	High Temp. High Humidity Test	60 °C, 90 % RH	1000 Hrs	0/60

ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ)

DREAMLAND**Technical data sheet
4.8mm straw hat-shaped LED**<http://www.yuanlei-led.com>

7	Operation Life Test 1	Room Temp., 20mA	1000 Hrs	0/60
8	Operation Life Test 2	Room Temp., 30mA	500 Hrs	0/60
9	High Temp. Operation Life Test	85 °C , 5mA	1000 Hrs	0/60
10	Low Temp. Operation Life Test	-30 °C , 20mA	1000 Hrs	0/60

Judgment Criteria:

Item	Symbol	Test Conditions	Judgment Criteria
Forward Voltage	V _f	I _F = 20 mA	Δ% < 10 %
Leakage Current	I _r	V _r = 5V	< 10 uA
Luminous Intensity	I _v	I _F = 20 mA	Δ% < 20 %
Luminous Flux	lm	I _F = 20 mA	Δ% < 20 %

Caution:

- 1 · After open the package, the LED should be kept at 25°C, 65 % RH environment or less.
- 2 · The LED should be soldered within 48 hours (2 days) after opening the package.
- 3 · The LAMP LED is an ESD sensitive device. All the equipment and machine must be properly grounded.
- 4 · when make use of it, please use static-free container, operator should wear antistatic clothes and rope-satic-ring also should make effective ground.
- 5 · Damaged device will appear some symptoms, lower forward voltage, higher leak current, or even short circuit.
- 6 · It's unsuitable for circumfluence soldering
- 7 · ferrochromium soldering : power keep no more than 40W, tip temperature should not pass 280 °C, soldering time within 3 second, welding position and lens should keep 1.6mm distance at least
- 8 · wave-soldering: temperature should not pass 265 °C, soldering time within 5 second, welding position and lens should keep 1.6mm distance at least
- 9 · After soldering the LED should keep out off any shake or outer force before it come to normal temperature.
- 10 · when shaped pin should used tong or by professional staff , keep 2mm at least between lens and bend pin, the pin should been shaped before soldering..
- 11 · the pin can't not be press in high temperature, cut pin in room temperature because in high temperature LED may fail

ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ)



Technical data sheet

4.8mm straw hat-shaped LED

<http://www.yuanlei-led.com>

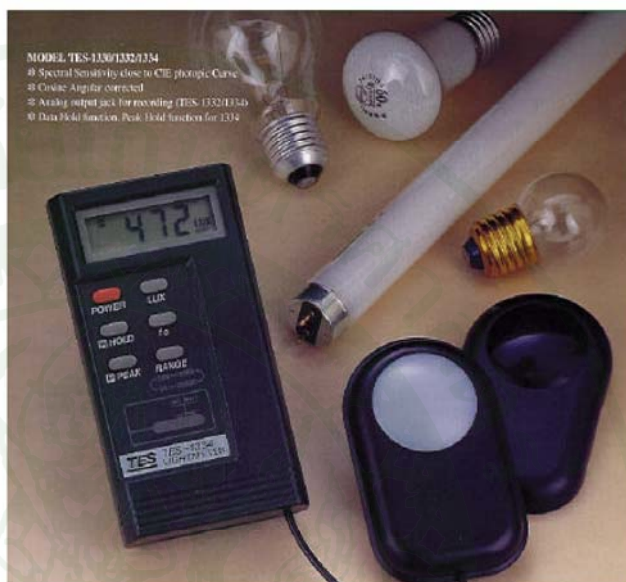
- 12 、 after shape ,pin space should keep in line with the PCB board space
- 13 、 LED is one-way continuity, please check electrode before mount, if amount wrong ,the LED chip will damage or fail when LED applied voltage
- 14 、 ordinary our LED the long pin is anode ,short pin is cathode, lens without gap is anode ,with gap is cathode.unless other special require and note
- 15 、 please design the PCB board to keep a distance between LED and other emit heat component
- 16 、 strongly recommend design the board according setting current other than setting voltage .if you are really need setting voltage type please consider there may cause influence arise by difference voltage of difference LED.
- 17 、 the outer voltage change will bring the current index change ,unsuitable design and current control,easy cause LED fail .for example excess current will cause LED life short or even burn down , too little electricity will cause lacking light.
- 18 、 If you need make difference BIN LED in the one module .please confirm whether it can meet the electric and optics characteristic require such as the current balance, emitting and brightness consistency.

ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ)

TES-1330 / 1332 / 1334 Light Meters

Features

- Spectral Sensitivity close to CIE photo pic Curve
- Cosine Angular corrected
- Analog output jack for recording (TES-1332A/1334A)
- Data Hold function,
- Peak Hold function for 1334



Specification

Display	3 1/2 digit LCD
Range	20/200/2000/20000 Lux (1330, 1334) 200/2000/20000/200000 Lux (1332) Footcandle (1334)
Resolution	0.01 Lux (1330, 1334), 0.1 Lux (1332)
Accuracy	± 3%rdg ± 5% f.s. (<10,000 Lux) ± 4%rdg ± 10% f.s. (>10,000 Lux)
Repeatability	±2%
Temperature Characteristics	±0.1%
Sampling rate	2 times / sec
Analog output	DC / 2V / full scale (1332)
Operation	0°C - 40°C <70% R.H.
Power source	9V battery
Accessories	Battery, carrying case
Dimensions / weight	135 x 72 x 33 mm / 250g



GLOBAL FOCUS Ltd.

1119 Budapest, Etele str. 59-61.

Hungary

Tel: +36 1 481-1233, +36 1 481-1231, +36 1 481-1161, +36 1 481-1162

Fax: +36 1 203-4355

E-mail: gmark@mta.mmsz.hu

ภาพผนวกที่ 10 ข้อมูลจำเพาะของลักซ์มิเตอร์



EUROPEAN POWER SUPPLY MANUFACTURERS ASSOCIATION
(Visit the EPSMA website at www.epsma.org)

Harmonic Current Emissions

Guidelines to the standard EN 61000-3-2

Revision Date: 2004-09-06

	page
1. Introduction	2
2. Summary	2
3. Scope	2
3.1 Application	2
3.2 Transitional periods	2
3.3 Differences between the standards EN 60555-2 and EN 61000-3-2.	3
4. Application guidelines	3
Flow chart (Figure 1)	4
5. Classification	5
6. Amendments / New Editions	5
7. Harmonic line current reduction techniques	5
7.1 Comparison without / with harmonic line current reduction	6
7.2 Advantages / disadvantages	6

The European Power Supply Manufacturers Association was established in 1995, to represent the European power supply industry.

Page1

Edition September 2004

Disclaimer: No responsibility or liability can be accepted by the EPSMA or any of its officers or members for the content of this guidance document, which does not necessarily guarantee compliance with the requirements of the legislation. Parties will need to satisfy themselves as to the steps to be taken to ensure compliance with legislative requirements and the advice contained herein should not be used as a substitute for taking appropriate advice.

ภาพผนวกที่ 11 Guidelines to the standard EN61000-3-2

1. Introduction

Increasing use of electronic devices in daily life has greatly increased the stress caused by harmonic currents on low-voltage alternating-current public mains networks. To maintain the quality of these networks, European Standard EN 60555-2 was created to set levels for harmonic currents injected by loads back on to the network. There has, however, been much discussion about equipment classes and limits to apply to electronic equipment in general and equipment power supplies in particular. EN 60555-2 has recently been superseded by EN 61000-3-2 which sets some more practical rules and provides a clearer definition of equipment classes.

This document is issued by the European Power Supply Manufacturers Association (EPSMA) and aims to improve the understanding of harmonic line current reduction and the requirements and implication of the standard EN 61000-3-2.

2. Summary

As of 2001-01-01 all electrical and electronic equipment that is connected to the public mains up to and including 16A max. rated input current must comply with EN 61000-3-2. Passive and active harmonic line current reduction solutions can be used to fulfil the limits of the standard which greatly influences the design of all power supplies.

EN 61000-3-2 is part of the European 'EMC-directive', which must be complied with for the purpose of CE marking as of 2001-01-01.

3. Scope

3.1 Application

EN 61000-3-2 applies to all electrical and electronic equipment that has an input current of up to 16A per phase, suitable for connection to the low-voltage AC public mains distribution network.

A public mains low-voltage distribution network exists if more than one independent consumer can draw power from it.

This standard does not apply to (and has no limits for):

- Non-public networks.
- Medical equipment (see also 6.)
- Class A and D equipment <75W effective input power.
- Equipment for rated voltages less than 230 VAC (limit not yet been considered).
- Component power supplies (see also 'EPSMA CE marking guidance for power supplies').
- Professional equipment (not intended for sale to the general public) with a total input power greater than 1 kW.

Refer to chapter 7 (Amendments) for more information and future requirements

3.2 Transitional periods

EN 61000-3-2 came into effect on 1995-09-16 (published in The Official Journal of the European Communities) and has replaced EN 60555-2 as of 2001-02-10. The old standard EN 60555-2 shall not be used any longer.

3.3 Differences between the standards EN 60555-2 and EN 61000-3-2.

- Whereas the scope of the old standard EN 60555-2 was limited to specific types of equipment and their uses, EN 61000-3-2 applies to all electrical and electronic equipment that is connected to the public low-voltage alternating-current distribution network.
- EN 61000-3-2 has lower maximum levels of the harmonic currents and some levels are also dependant on the equipment input power rating. EN 60555-2, prescribes absolute limits in respect of the harmonic currents.

4. Application guidelines

The flow chart on page 5 is intended as a guideline for the application of EN 61000-3-2: 2000. Based on the application specific conditions it will determine if the standard is applicable or not.

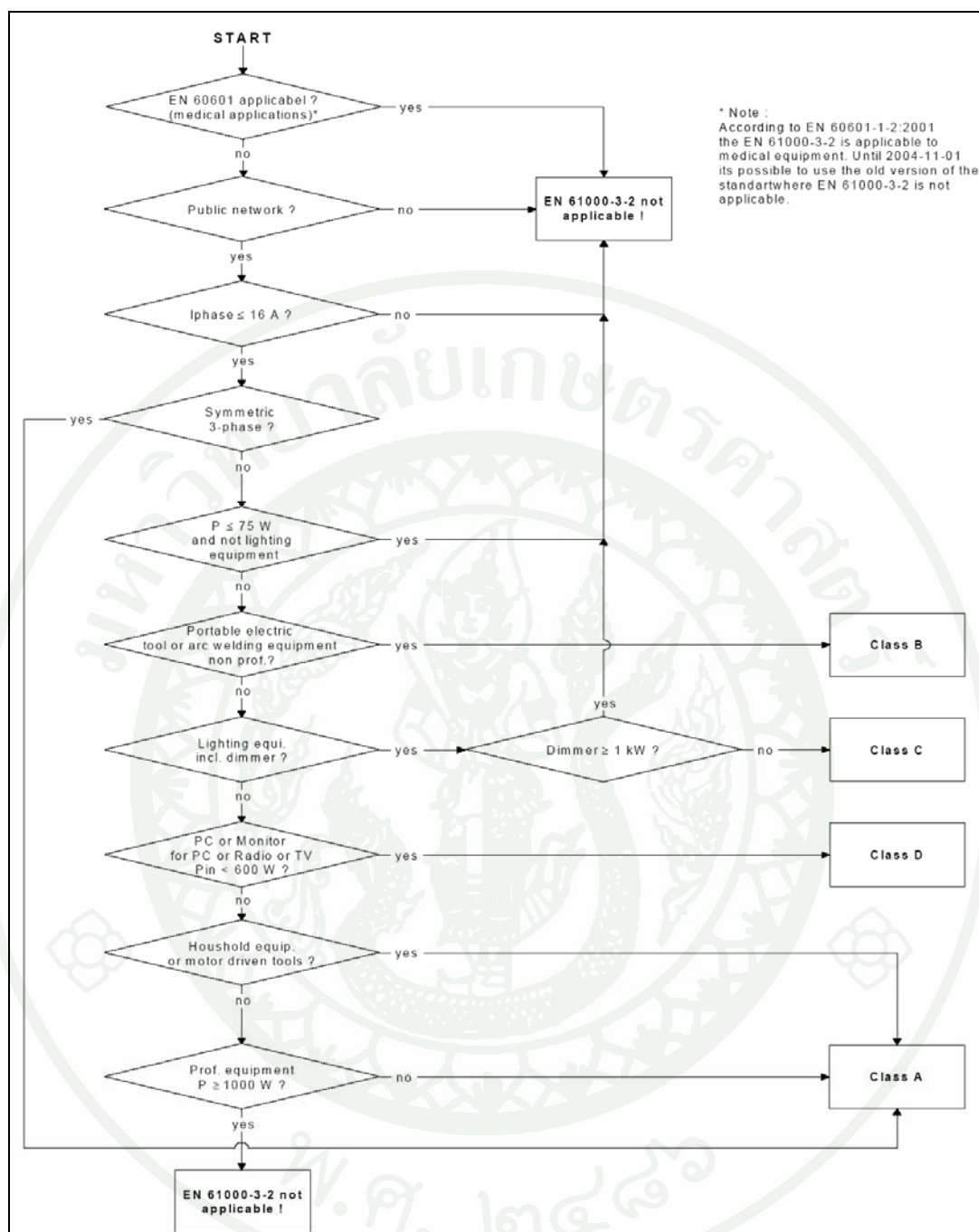


Figure 1: Flow chart

5. Classification

There are 4 different classes in the EN 61000-3-2 that have different limit values:

- | | |
|----------|--|
| Class A: | Balanced 3-phase equipment, and all other equipment, except that stated in one of the following classes. |
| Class B: | Portable tools, arc welding equipment which is not professional equipment |
| Class C: | Lighting equipment. |
| Class D: | PC, PC monitors, radio or TV receivers. Input power $P \leq 600$ W. |

There are no limits for:

- Equipment with input power $P \leq 75$ W.
- Professional equipment with input power $P > 1$ kW. *
- Symmetrical controlled heating elements with input power $P \leq 200$ W.
- Independent dimming devices for light bulb

* Note: Professional equipment for use in trades, professions or industries and which is not intended for sale to the general public. The designation shall be specified by the manufacturer.

6. Amendments / New Editions (Only changes related to power supplies)

■ EN 61000-3-2:2000:

Since 2004-01-01 (after a three-year transition period) EN 61000-3-2:2000 supersedes EN 61000-3-2:1995 with its amendments. Now the amendment A14 is completely in force.

The following changes are introduced by A14:2000:

- No limits for equipment using 75 W or less.
- New definition of class D: only applicable for PCs, PC-monitors and television receivers.
- Test configuration with expected maximum THC (Total Harmonic Current, no worst-case search).
- Limits apply only to the power lines, not to the neutral.
- New average power measurement method for fluctuating loads.

■ EN 60601-1-2 Medical technology: Since 2001-11-01 a new version of the EN 60601-1-2 is adopted. In this new version EN 61000-3-2 / -3-3 has to be fulfilled. The transition period will end on 2004-11-01 (DOW).

7. Harmonic line current reduction techniques

Harmonic line current reduction can be achieved by using different techniques. The most common used techniques for harmonic current reduction are line filters, using passive components, and active electronic circuitry. Harmonic line current reduction using passive components (inductors and capacitors) introduces a high impedance for the harmonics thus smoothing the input current to an electronic equipment as shown in the figure below.

Harmonic line current reduction using active electronic circuitry is shaping the input current of an electronic equipment proportional to the applied line voltage thus giving a sinusoidal input current in phase with the line voltage. The corresponding electronic circuitry is often called Power Factor Correction (PFC) circuitry, although

power factor correction is not the correct wording but has become synonymous for harmonic line current reduction.

Harmonic line current reduction using passive components are sometimes called passive PFC.

7.1 Comparison without / with harmonic line current reduction

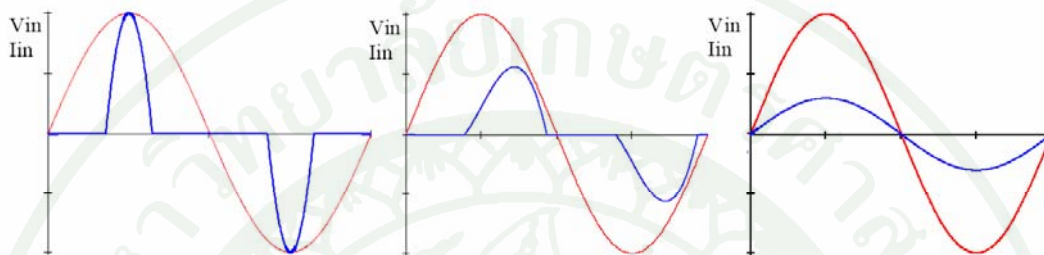
Figure 2: Typical input current without harmonic line current reduction

Figure 3: Typical input current

with passive harmonic line current reduction

Figure 4: Typical input current with active harmonic line

current reduction



7.2 Advantages / disadvantages

Passive harmonic line current reduction

- Simple and robust circuitry
- Less costly than active PFC (Especially in 3 phase applications)
- Large and heavy low frequency magnetics needed
- Not applicable for wide input range and higher power
- No sinusoidal input current

Active harmonic line current reduction

Advantages

- Extensive elimination of line current harmonics
- Power factor near 1 (typically 0.6 uncorrected) and increased available power from the wall socket (public mains)
- Wide input voltage range possible.

Disadvantages

- Additional expense of circuitry
- Increased number of parts
- Negative impact on efficiency

Passive harmonic line current reduction (e.g. for 3 phase applications and applications up to approximately 400W) is sometimes a more economic and effective solution. Yet wide input range and meeting the EN 61000-3-2 standard under all load conditions are often not possible.

This publication shall not be reproduced or repeated, in whole or in part, nor stored in any information or retrieval system without the prior written consent of the EPSMA.

Published by EPSMA © 2002

EPSMA - Secretariat Address

6 Regent Business Park, Booth Drive, Wellingborough, Northants, NN8 6GR

Tel: +44-(0)-1933-402255; Fax: +44-(0)-1933-402266

Page7

Edition September 2004

Disclaimer: No responsibility or liability can be accepted by the EPSMA or any of its officers or members for the content of this guidance document, which does not necessarily guarantee compliance with the requirements of the legislation. Parties will need to satisfy themselves as to the steps to be taken to ensure compliance with legislative requirements and the advice contained herein should not be used as a substitute for taking appropriate advice.

ภาพผนวกที่ 11 (ต่อ)

LM350

3-Terminal 3A Positive Adjustable Voltage Regulator

Features

- Output adjustable between 1.2V and 33V
- Guaranteed 3A output current
- Internal thermal overload protection
- Load regulation (Typ: 0.1%)
- Line regulation (Typ: 0.015%/V)
- Internal short-circuit current limit
- Output transistor safe-area compensation

Description

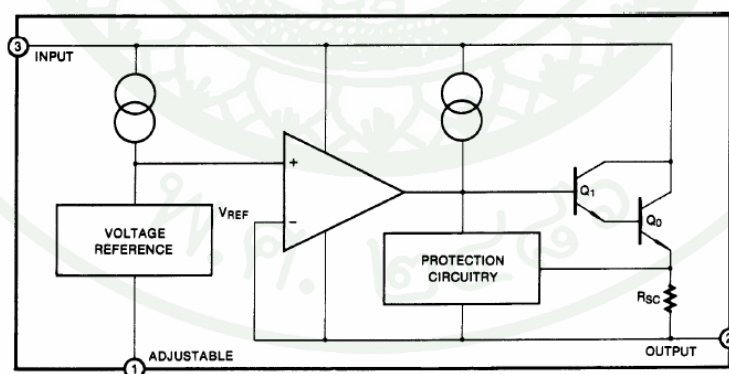
The LM350 is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 3.0 A over an output voltage range of 1.2V to 33 V

TO-220



1. Adj 2. Output 3. Input

Internal Block Diagram



Rev. 1.0.0

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

ภาพผนวกที่ 12 ข้อมูลจำเพาะของ IC regulator เบอร์ LM350

LM350

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	35	V _{DC}
Lead Temperature (Soldering, 10sec)	T _{LEAD}	300	°C
Power Dissipation	P _D	Internally limited	-
Operating Temperature Range	T _{OPR}	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_I - V_O = 5V$, $I_O = 1.5A$, $T_J = 0^\circ C$ to $+125^\circ C$; $P_D \leq P_{DMAX}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Line Regulation (Note1)	R _{line}	$T_A = +25^\circ C$, $3V \leq V_I - V_O \leq 35V$	-	0.015	0.03	%/V
Load Regulation (Note1)	R _{load}	$T_A = +25^\circ C$, $3V \leq V_I - V_O \leq 35V$ $V_O \leq 5V$ $V_O \geq 5V$	-	5 0.1	25 0.5	mV %
Adjustment Pin Current	I _{ADJ}	-	-	50	100	μA
Adjustment Pin Current Change	ΔI _{ADJ}	$3V \leq V_I - V_O \leq 35V$, $10mA \leq I_O \leq 3A$, $P_D \leq P_{MAX}$	-	0.2	5.0	μA
Thermal Regulation	REG _T	Pulse = 20ms, $T_A = +25^\circ C$	-	0.002	-	%/W
Reference Voltage	V _{REF}	$3V \leq V_I - V_O \leq 35V$, $10mA \leq I_O \leq 3A$, $P_D \leq 30W$	1.2	1.25	1.30	V
Line Regulation	R _{line}	$3.0V \leq V_I - V_O \leq 35V$	-	0.02	0.07	%/V
Load Regulation	R _{load}	$10mA \leq I_O \leq 3.0A$ $V_O \leq 5.0V$ $V_O \geq 5.0V$	-	20 0.3	70 1.5	mV %
Temperature Stability	ST _T	$T_J = 0^\circ C$ to $+125^\circ C$	-	1.0	-	%
Maximum Output Current	I _{O(MAX)}	$V_I - V_O \leq 10V$, $P_D \leq P_{MAX}$ $V_I - V_O = 30V$, $P_D \leq P_{MAX}$, $T_A = +25^\circ C$	3.0 0.25	4.5 1.0	- -	A A
Minimum Load Current	I _{L(MIN)}	$V_I - V_O = 35V$	-	3.5	10	mA
RMS Noise, %of V _{OUT}	V _N	$10Hz \leq f \leq 10KHz$, $T_A = +25^\circ C$	-	0.003	-	%/V _O
Ripple Rejection	RR	$V_O = 10V$, $f = 120Hz$, C _{ADJ} = 0 C _{ADJ} = 10μF	66	65 80	-	dB dB
Long-Term Stability	ST	$T_J = +125^\circ C$	-	0.3	1	%/ 1000HR

Note:

1. Regulation is measured at constant junction temperature. Changes in output voltage due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Typical Performance Characteristics

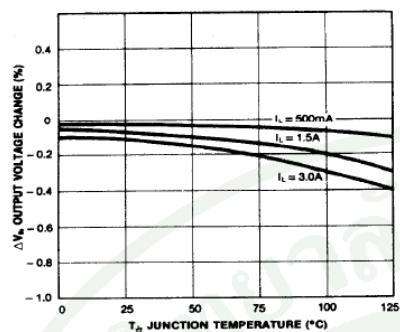


Figure 1. Load Regulation

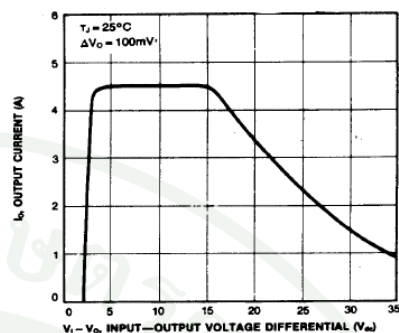


Figure 2. Current Limit

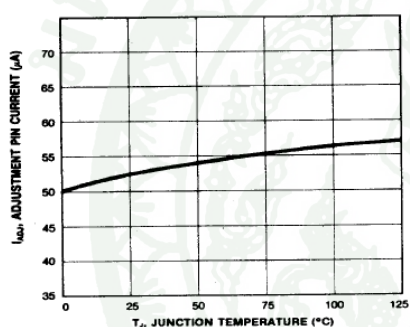


Figure 3. Adjustment Pin Current

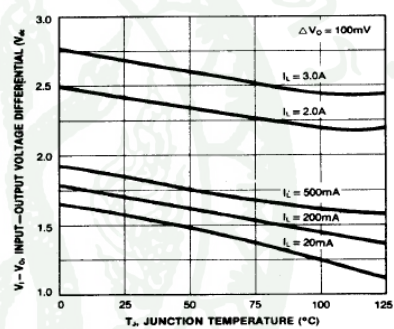


Figure 4. Dropout Voltage

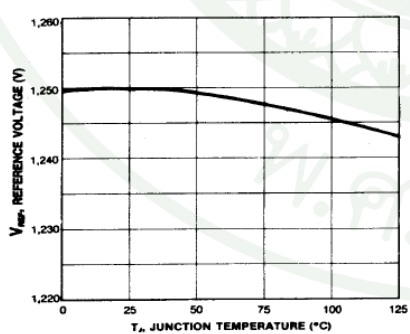


Figure 5. Temperature Stability

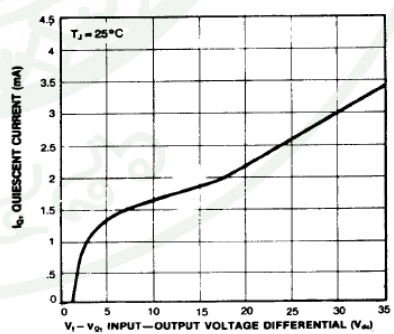


Figure 6. Minimum Load Current

LM350

Typical Performance Characteristics (continued)

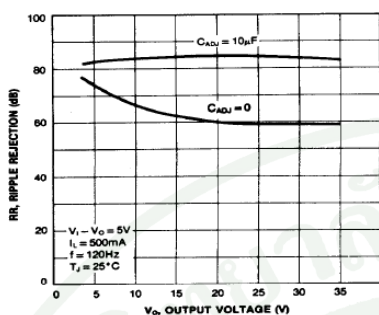
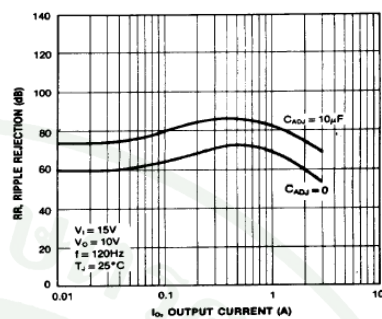
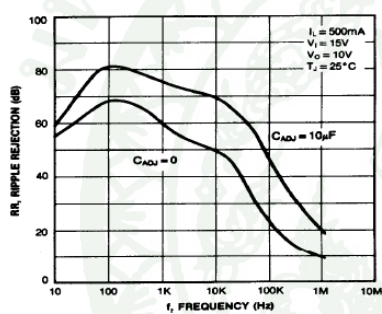
Figure 7. Ripple Rejection vs V_o Figure 8. Ripple Rejection vs I_o 

Figure 9. Ripple Rejection vs Frequency

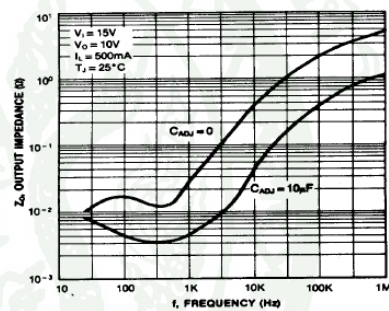


Figure 10. Output Impedance

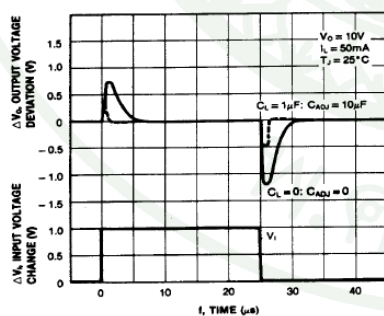


Figure 11. Line Transient Response

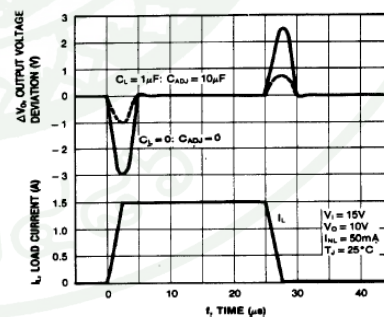


Figure 12. Load Transient Response

Typical Application

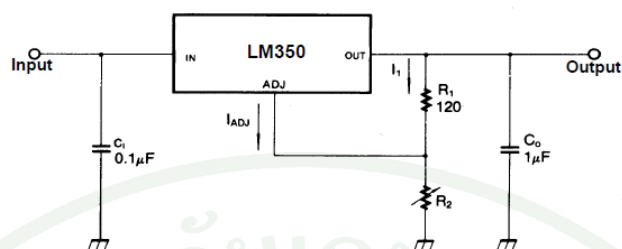


Figure 13.

C_I : C_I is required if the regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

C_O : Output capacitors in the range of $1\mu\text{F}$ to $100\mu\text{F}$ of aluminum or tantalum electronic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

In operation, the LM350 develops a nominal 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R_1 and, since the voltage is constant, a constant current I_1 then flows through the output set resistor R_2 , giving an output voltage of

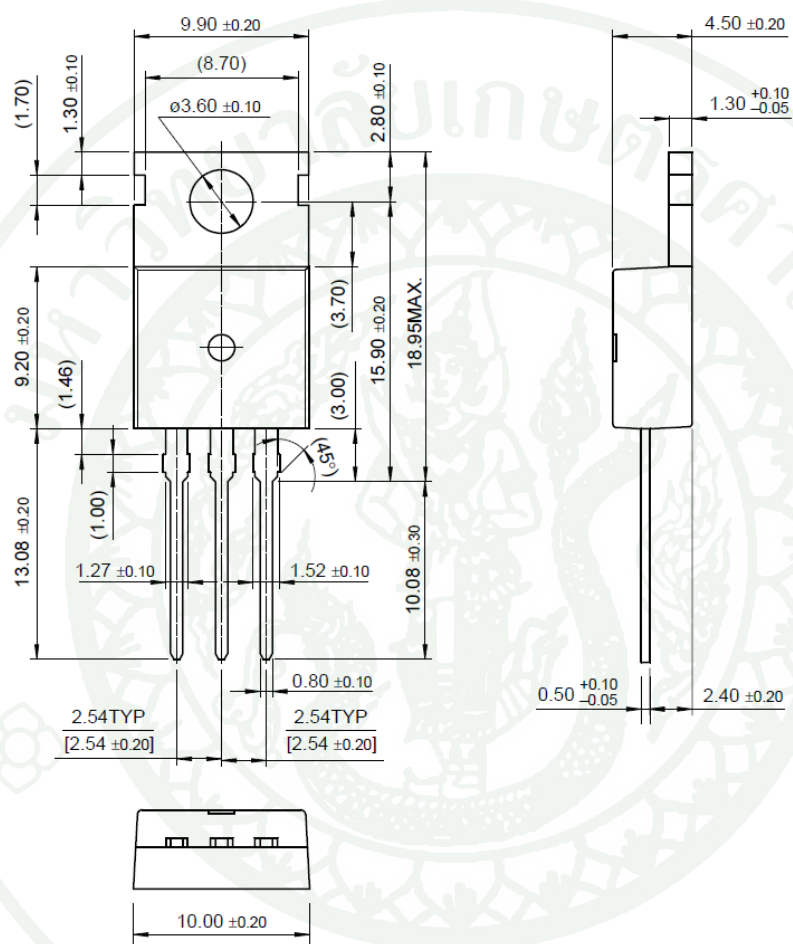
$$V_O = 1.25V(1 + R_2/R_1) + I_{ADJ} R_2$$

Since I_{ADJ} current (less than $100\mu\text{A}$) from the adjustment terminal represents an error term, the LM350 was designed to minimize I_{ADJ} and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output voltage will rise.

Since the LM350 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltage with respect to ground is possible.

Since I_{ADJ} is controlled to less than $100\mu\text{A}$, the error associated with this term is negligible in most applications.

LM350

Mechanical Dimensions (Continued)**Package****TO-220**

LM350

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM350T	TO-220	0°C to + 125°C



7

ภาพผนวกที่ 12 (ต่อ)

LM350

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

6/1/01 0.0m 001
Stock#DSxxxxxx
© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

ภาพผนวกที่ 12 (ต่อ)



DC COMPONENTS CO., LTD.

RECTIFIER SPECIALISTS

KBPC / BR
1005 / 305

THRU

KBPC / BR
110 / 310

TECHNICAL SPECIFICATIONS OF SINGLE-PHASE SILICON BRIDGE RECTIFIER

VOLTAGE RANGE - 50 to 1000 Volts

CURRENT - 3.0 Amperes

FEATURES

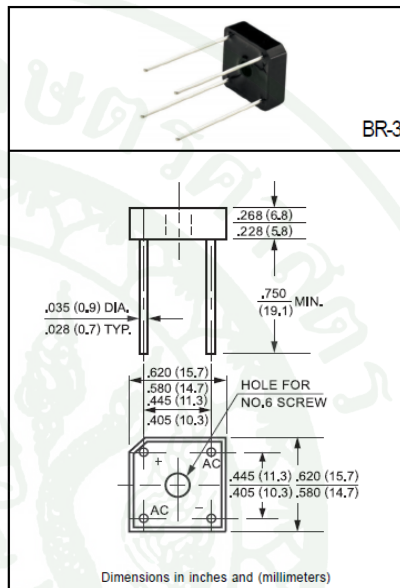
- * Surge overload rating: 50 Amperes peak
- * Low forward voltage drop
- * Small size: simple installation

MECHANICAL DATA

- * Case: Molded plastic
- * Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- * Lead: MIL-STD-202E, Method 208 guaranteed
- Symbols molded or marked on body
- * Mounting position: Any
- * Weight: 3.36 grams

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.



Dimensions in inches and (millimeters)

		KBPC 1005	KBPC 101	KBPC 102	KBPC 104	KBPC 106	KBPC 108	KBPC 110		
		SYMBOL	BR305	BR31	BR32	BR34	BR36	BR38	BR310	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage		V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Bridge Input Voltage		V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage		V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Rectified Output Current at T _c = 50°C		I _O	3.0							Amps
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)		I _{FSM}	50							Amps
Maximum Forward Voltage Drop per element at 1.5A DC		V _F	1.0							Volts
Maximum CD Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage per element	@ T _A = 25°C	I _R	10							uAmps
	@ T _C = 100°C		500							
I ² t Rating for Fusing (t<8.3ms)		I ² _t	10							A ² Sec
Typical Junction Capacitance (Note1)		C _J	21							pF
Operating Temperature Range		T _J	-55 to + 125							°C
Storage Temperature Range		T _{STG}	-55 to + 150							°C

NOTES : 1. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts

2. Thermal Resistance from Junction to Ambient and from junction to lead mounted on P.C.B. with 0.47 x 0.47" (12x12mm) copper pads.

232



NEXT



EXIT

ภาพผนวกที่ 13 ข้อมูลจำเพาะของบริดจ์ไดโอด

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (KBPC1005 THRU KBPC110 BR305 BR310)

FIG. 1 - MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

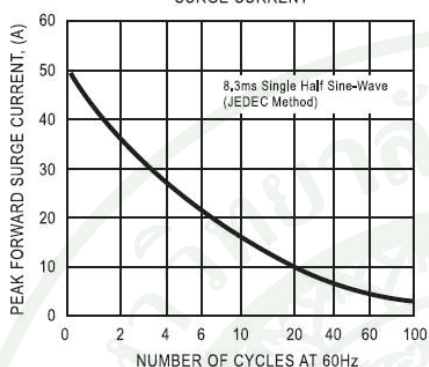


FIG. 2 - TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

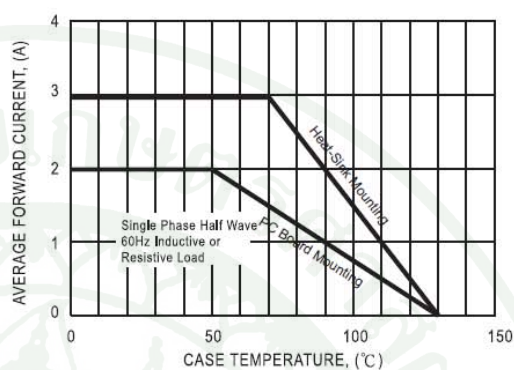


FIG. 3 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

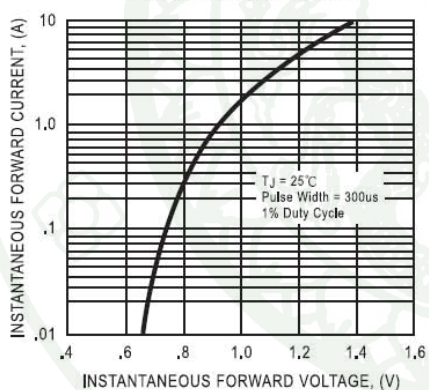
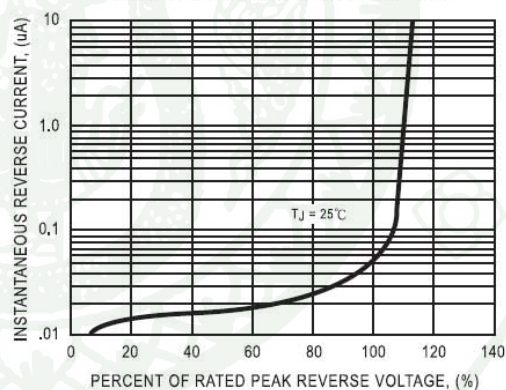


FIG. 4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS



DC COMPONENTS CO., LTD.



EECON XXXII

**PROCEEDINGS
VOL. 1**

PW - Electrical Power System
PE - Power Electronics
CT - Control System and Instrument Technology
CP - Computer and Information Technology

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๒
๒๘-๓๐ ตุลาคม ๒๕๕๒ โรงแรมทวารวดี รีสอร์ท จ.ปราจีนบุรี

32nd Electrical Engineering Conference
28-30 October 2009 Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand

WD Western Digital

NECTEC
a member of NSTDA

TRIDI
Telecommunications Research and Industrial Development Institute

ptt Group

40 ปี กฟผ.
เพื่อคนไทย

จัดการประชุมโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
เทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ
และภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ภาพผนวกที่ 14 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

ผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์และย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ของโคมไฟไฟแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี

The Effect of Harmonics and Conducted EMI Noise on the Power Supply of Down-Light Lamp with LED

สุพิศ บุญรัตน์ และ เกียรติคุณ กรวิบูลย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-0113 โทรสาร 0-2942-8988 E-mail: sorn.supit@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ และย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ของโคมไฟไฟแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดี โดยแหล่งจ่ายไฟที่ใช้มีทั้งหมด 4 แบบ คือ แหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น แหล่งจ่ายไฟจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มลูกคลื่นชนิดไดโอด และแหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ โดยผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า สัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C standard หรือ TIS. 1506-2541 และสัญญาณรบกวนย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CISPR-15 และ CISPR-16

คำสำคัญ: หลอดแอลอีดี, สัญญาณรบกวนฮาร์โมนิกส์, สัญญาณรบกวนอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำ, ความสว่าง

Abstract

This paper presents the effect of Harmonics and conducted EMI noise on the power supply of down-light lamp with LED. The power supply consists of 4 types such as, battery 12 VDC, linear power supply, full bridge diode rectifier circuit, and switching mode power supply. The experiment results are compared on the electrical performance, harmonics noise (referred to the EN61000-3-2 class C standard or TIS. 1506-2541 standard) and conducted EMI noise (referred to the CISPR-15-16 standard).

Keywords: LED lamp, harmonics noise, conducted EMI noise, illumination

1. คำนำ

ในปัจจุบันการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งทีวิศวกรรมไฟฟ้าและหลายๆ หน่วยงาน กำลังให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงภาวะโหลด ในกิจกรรมต่างๆ ทางธุรกิจ อุตสาหกรรม หรืออาคารสถานที่ต่างๆ จะมีการใช้งานโหลดประเภทแสงสว่างอยู่ประมาณ 30 % ดังนั้นการประหยัดพลังงานแสงสว่างจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับทุกๆ คน และทุกๆ องค์กร เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุน การผลิต หรือการดำเนินการ ซึ่งในการประหยัดพลังงานจากแสงสว่างดังกล่าว จึงมีการพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่ขึ้นมา นั่นคือ หลอดแบบโซลิตสเคด หรือ Light Emitting Diode (LED) ไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดีนั่นเอง

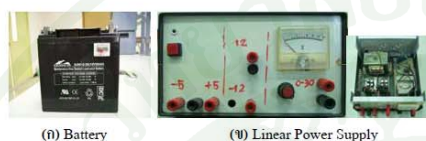
หลอดแอลอีดีมีหลักการทำงานเหมือนกับไดโอดทั่วไป และจะเปล่งแสงสว่างออกมาเมื่อเกิดกระแส และเมื่อมีหลอดแอลอีดีเหล่านี้มาต่อรวมกันจำนวนหลายๆ หลอด เพื่อเพิ่มความสว่างให้มากขึ้น สิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับผู้ออกแบบและผู้ใช้งานคือ แหล่งจ่ายไฟสำหรับหลอดแอลอีดี โดยหลอดแอลอีดีจะต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดัน 3-4 โวลต์ ซึ่งในบทความนี้จะนำโคมไฟดาวน์ไลท์ที่ใช้หลอดแอลอีดีหลายๆ หลอด มาต่อรวมกันแบบผสม จำนวนทั้งสิ้น 56 หลอด ซึ่งต้องการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดัน 12 โวลต์

จากนั้นจะนำแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ รวมทั้งหมด 4 แบบด้วยกัน คือแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น แหล่งจ่ายไฟจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มลูกคลื่นชนิดไดโอด และแหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟแบบสวิทซ์ มาทำการวัดค่าต่างๆ และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ต่อสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า สัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C standard หรือ TIS. 1506-2541 และสัญญาณรบกวนย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน CISPR-15 และ CISPR-16 และค่าความสว่างทางแสงของโคมไฟที่ใช้หลอดแอลอีดี

ภาพผนวกที่ 14 (ต่อ)

2. การทดลอง

ในการทดลองจะทำการเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่คอมพิวเตอร์ที่ใช้หลอดแอลอีดีเป็นส่วนประกอบ จำนวน 4 แหล่งจ่าย ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (12VDC) แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น : Linear Power Supply (0-30 VDC) แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากวงจร AC to DC : Full Bridge Diode Rectifier (0-30 VDC) และแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง : Switching Mode Power Supply (0-30 VDC) ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก) วงจร Full Bridge Diode Rectifier (ข) Switching Mode Power Supply

รูปที่ 1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่คอมพิวเตอร์ที่ใช้หลอดแอลอีดีชนิดต่างๆ

ในการทดลองจะทำการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า สัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์ สัญญาณรบกวนย่านเอเอ็มไอผ่านทางตัวนำ และความสว่าง โดยมีไดอะแกรมการทดลองต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ไดอะแกรมการทดลอง

ลำดับ	ชนิดแหล่งจ่ายไฟที่ระบแสดง
1	Battery : 12 VDC
2	Linear Power Supply : 0-30 VDC
3	Full Bridge Diode Rectifier : 0-30 VDC
4	Switching Mode Power Supply : 0-30 VDC

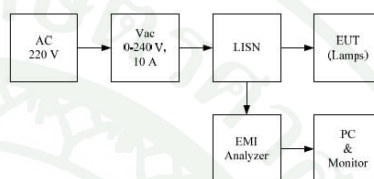
3. การวัด และเทคนิคการวัด

3.1 การวัดค่าสมรรถนะทางไฟฟ้า และสัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์

ในการวัดค่าสมรรถนะต่างๆ ทางไฟฟ้า และสัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์จะใช้เครื่องมือวัดคุณภาพสัญญาณทางไฟฟ้า หรือ power quality analyzer (Fluke รุ่น 43B) ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งรูปคลื่นสัญญาณค่าแรงดันค่านำเข้า กระแสค่านำเข้า กำลังไฟฟ้าค่านำเข้า ค่าตัวประกอบกำลัง และสัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์ ซึ่งค่ามาตรฐานขีดจำกัดของสัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์ของกระแสจะอ้างอิงตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C standard หรือ IIS. 1506-2541 [2]

3.2 การวัดสัญญาณรบกวนผ่านทางตัวนำ conducted EMI

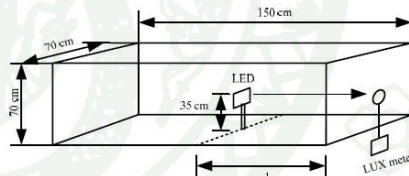
ในการวัดสัญญาณรบกวน conducted EMI จะมีรูปแบบการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยในการทดลองจะดำเนินการอ้างอิงตามมาตรฐานของนานาชาติ CISPR-16 (มาตรฐานวิธีการวัดและเครื่องมืออุปกรณ์การวัด) ซึ่งมีเครื่องแยกสัญญาณระหว่างแหล่งจ่าย กับวงจรที่ใช้ทดสอบออกจากกัน หรือ Line Impedance Stabilization Network (LISN) ย่านความถี่ที่ทำการวัด 9 kHz to 30 MHz ตามมาตรฐาน CISPR-15 (มาตรฐานการวัดปริมาณที่ส่องสว่างและปริมาณที่คล้ายกัน)



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

3.3 การวัดค่าความสว่าง (Illuminance)

การวัดค่าความสว่างจะใช้กล้องวัดแสงซึ่งทำขึ้นจากไม้อัดขนาด 70×70×150 เซนติเมตร ซึ่งภายในจะทาสีดำด้าน และบรรจุหลอดแอลอีดีที่จะทำการวัดค่าไว้ภายใน ซึ่งตัวกล้องจะทำการเจาะรูกลมด้านข้างกล้องเพื่อใช้ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความสว่างหรือลักซ์มิเตอร์ เพื่อวัดค่าความสว่างของหลอดแอลอีดี โดยระยะ d เป็นระยะห่างระหว่างหลอดแอลอีดีกับเครื่องมือวัดแสง ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะ d อ้างอิงที่ 30 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-4



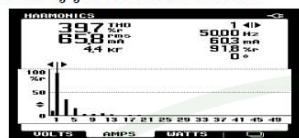
รูปที่ 3 การวัดค่าความสว่างจากกล่องวัดแสง



รูปที่ 4 การวัดค่าความสว่างจากกล่องวัดแสง (ภาพการทดลองจริง)

4. ผลการทดลอง

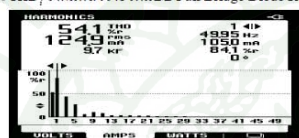
4.1 ผลการวัดสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์



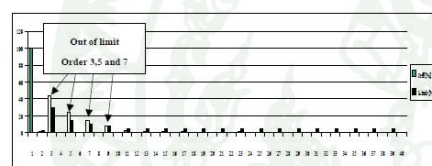
รูปที่ 5.1 % THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Linear Power Supply



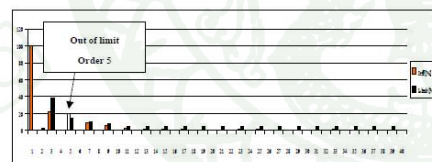
รูปที่ 5.2 % THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Full Bridge Diode Rectifier



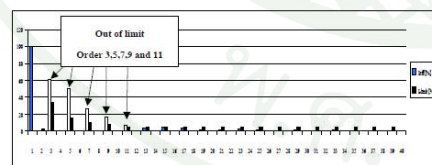
รูปที่ 5.3 % THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบ SMPS



รูปที่ 5.4 ลำดับ % THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Linear Power Supply

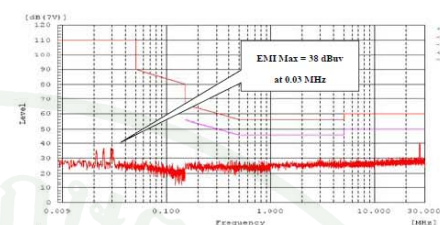


รูปที่ 5.5 ลำดับ % THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบ Full Bridge Rectifier

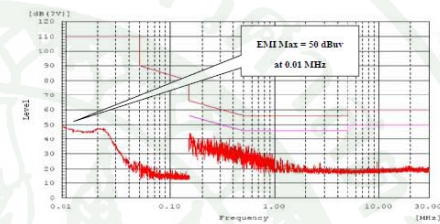


รูปที่ 5.6 ลำดับ % THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบ SMPS

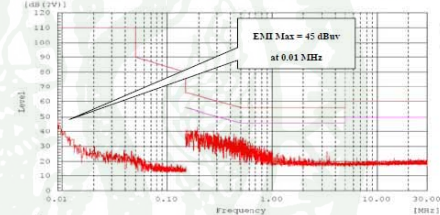
4.2 ผลการวัดสัญญาณรบกวน Conducted EMI



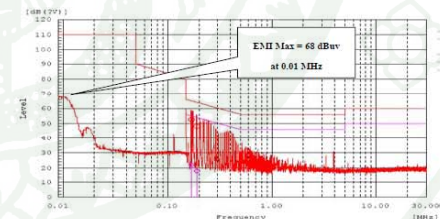
รูปที่ 6.1 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Battery 12 VDC



รูปที่ 6.2 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Linear Power Supply



รูปที่ 6.3 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก Full Bridge Rectifier



รูปที่ 6.4 สัญญาณรบกวน Conducted EMI จาก SMPS

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า สัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์ สัญญาณรบกวนย่าน Conducted EMI และความสว่าง

ลำดับ	ชนิดแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	วัดด้าน AC				วัดด้าน DC			%	EMI	Ar	ความสว่าง
		V_{ACM} (V)	I_{ACM} (A)	PF	P_m (W)	V_{DC1amp} (V)	I_{DC1amp} (A)	P_{DC1amp} (W)				
1	Battery : 12 VDC					12.21	0.1204	1.47		38	0.30	482
2	Liner Power Supply : 0-30 VDC	220	0.0663	0.60	8.7	12.00	0.1123	1.26	39.7	50	0.01	425
3	Full Bridge Diode Rectifier : 0-30 VDC	220	0.0549	0.79	9.6	12.04	0.1104	1.32	24.9	45	0.01	501
4	Switching Mode Power Supply : 0-30 VDC	220	0.1400	0.72	22.0	12.00	0.1279	1.62	54.1	68	0.01	420

จากรูปที่ 5.1-5.3 แสดงรูปสเปกตรัมของ %THD, จากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ที่จ่ายให้กับโคมไฟแอลอีดี ซึ่งค่า %THD, ที่มากที่สุดเกิดจากแหล่งจ่ายไฟแบบ SMPS โดยมีค่า %THD, เท่ากับ 54.1% รองลงมาคือ Linear Power Supply โดยมีค่า %THD, เท่ากับ 39.7% และที่น้อยที่สุดคือ แหล่งจ่ายไฟแบบ Full Bridge Diode Rectifier โดยมีค่า %THD, เท่ากับ 24.9%

จากรูปที่ 5.4-5.6 แสดงผลการวัดสัญญาณรบกวนย่านสาร์โมนิกส์ของกระแสโดยอิงตามมาตรฐาน EN61000-3-2 class C standard หรือ TIS. 1506-2541 โดยเริ่มจากสาร์โมนิกส์ลำดับที่ 1-40 โดยพบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ คือไม่ผ่านมาตรฐานนี้ โดยแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นมีค่า %THD, เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดในลำดับสาร์โมนิกส์ที่ 3 5 7 และ 9 (กราฟแท่งสีขาว เปรียบเทียบกับสีดำ ซึ่งเป็นค่าขีดจำกัดของสาร์โมนิกส์) และแหล่งจ่ายไฟแบบบริดจ์ชนิดไดโอดมีค่า %THD, เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดในลำดับสาร์โมนิกส์ที่ 5 และสุดท้ายคือแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งมีค่า %THD, เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดในลำดับสาร์โมนิกส์ที่ 3 5 7 9 และ 11

จากรูปที่ 6.1-6.4 แสดงสัญญาณรบกวนย่าน Conducted EMI จากแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ พบว่าแบบเคอรัจจะมีค่าระดับสัญญาณรบกวน EMI ค่ำที่สุด รองลงมาคือแหล่งจ่ายไฟแบบบริดจ์ชนิดไดโอด และแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นตามลำดับ โดยจะมีค่าระดับ Conducted EMI สูงกว่าแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่แต่ยังคงมีระดับที่ต่ำกว่าขีดจำกัด ส่วนแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งมีค่า Conducted EMI สูงที่สุดคือ 68 dB μ V ที่ความถี่ 0.01 MHz และมีแนวโน้มที่จะมีค่าเกินกว่าขีดจำกัดที่ความถี่ 0.2-0.3 MHz ส่วนค่าความสว่างที่ได้จากการทดสอบโดยแหล่งจ่ายแต่ละแบบพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยแหล่งจ่ายไฟแบบบริดจ์ชนิดไดโอดจะทำให้หลอดแอลอีดีมีความสว่างสูงที่สุดดังสรุปไว้ในตารางที่ 2

5. สรุป

หลอดแอลอีดีมีข้อดีคือกินกำลังไฟฟ้าต่ำและให้ความสว่างสูงในการออกแบบหรือใช้งานโคมไฟที่ใช้หลอดแอลอีดีนั้น ผู้ออกแบบหรือผู้ใช้งานจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพทางไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหลอดแอลอีดีอย่างรอบคอบ เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟบางประเภท จะมีอุปกรณ์ที่สร้างสัญญาณ

รบกวนทั้งย่านสาร์โมนิกส์และย่านไอเอ็มโอผ่านทางตัวนำที่สูง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าแหล่งจ่ายแบบบริดจ์ชนิดไดโอดจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนทั้งย่านสาร์โมนิกส์และไอเอ็มโอที่น้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงขนาดและน้ำหนักของแหล่งจ่ายไฟของหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมที่สุดคือแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง เนื่องจากสามารถที่จะออกแบบให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่าแบบอื่นๆ ได้ แม้ว่าจะสร้างสัญญาณรบกวนและมีราคาสูงกว่าแบบอื่นๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ปฏิภาณ เกิดลาภ อ.สุดิษฐ์ อู่ยอโสม อ.พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ รศ.ดร. สมบัติ พึ่งทรัพย์ (ม.อีสเทิร์นเอเซีย) รศ.ดร. วีระเชษฐ ชื่นเงิน (ห้อง EMC Lab KMITL) และ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) เป็นอย่างสูงที่ได้คำแนะนำช่วยเหลือ และให้โอกาสที่ดีเสมอ มา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, “การออกแบบระบบแสงสว่าง”, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 61-122.
- [2] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชื่นเงิน, วุฒิพล ธาราวิชเชษฐ, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, พิมพ์ครั้งที่ 5 สจล. พ.ศ. 2547, หน้า 787-808.
- [3] N. Wiwatcharagoses, V. Chunkag and S. Yoosuksawatdee, “A Comparative Study of Power Pollution Effect from Ballasts: A Practical Study”, ICEMC Thailand proceeding, 2005, pp.1C-5.



ดร. พงษ์พัฒน์ จง วนศ.(ไฟฟ้า) ม.อีสเทิร์นเอเซีย กำลังศึกษา วศ.ม.(ไฟฟ้า) ม.เกษตรศาสตร์(บางเขน)



เกียรติยศ วิทยาน การศึกษา Ph.D. (Electrical Eng.) จาก Conservatoire National des Arts et Metiers Paris ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ม.เกษตรศาสตร์ (บางเขน) ทำงานวิจัยทางด้าน Power system และ Harmonics

ภาพผนวกที่ 14 (ต่อ)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสุพิศ บุญรัตน์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	อำเภอย่านตาขาว จังหวัดตรัง
ประวัติการศึกษา	ปี 2542-ปี 2544 ปวช. แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคตรัง ปี 2546-ปี 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	1. บทความวิจัยเรื่องรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ราคาประหยัดสำหรับคนพิการและงาน 2. บทความวิจัยเรื่องผลกระทบของสัญญาณรบกวนย่าน ฮาร์โมนิกส์และย่านอีเอ็มไอผ่านทางตัวนำจาก แหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ของโคมไฟฟ้าแบบดาวน์ไลท์ที่ ใช้หลอดแอลอีดี
ทุนที่เคยได้รับ	เคยได้รับทุนจ้างเพื่อกมัธยมสู่มหำบัณฑิต 50% พ.ศ. 2547-2549 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย