

การศึกษาผลกระทบของฮาร์มอนิกและการลดฮาร์มอนิก ในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์

THE EFFECT OF HARMONIC AND HARMONIC REDUCTION ON COMPUTER STUDY CENTER

นิมิต บุญภิรมย์

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail : nimit.bo@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นงานนำเสนอการศึกษาผลกระทบของฮาร์มอนิกและการลดฮาร์มอนิกจากผลของการใช้โหลดคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ วัตถุประสงค์เพื่อจะตรวจวัดและวิเคราะห์รูปแบบของการเกิดฮาร์มอนิกจากคอมพิวเตอร์ของห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวมอาคาร 5 ชั้น 9 และ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เฟซสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาคาร 5 ชั้น 14 เพื่อตรวจวัดหารูปแบบของแรงดัน-ฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิก วิเคราะห์หาค่าอัตราความเพี้ยนรวม ออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีสเพื่อลดฮาร์มอนิกให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล การทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง สามารถลดการเกิดฮาร์มอนิก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับมาตรฐานทุกประการ

คำสำคัญ : ฮาร์มอนิก ตัวกรองพาสซีส

ABSTRACT

The effect of harmonics and the reduction of harmonics are discussed. The research aims to measure and analyze the pattern of harmonics that are generated from computers at Computer Study Center, 5th floor, 9th building, and Computer and Interface Laboratory, electrical department, 14th floor, 5th building, respectively. The harmonic voltage and current and the total harmonic distortion are investigated. Also, passive harmonics filters are designed to reduce harmonics which is to meet the international standard. The improving results confirm the efficiency of harmonics reduction which meets the world class standard.

KEYWORDS : Harmonics, Harmonic filter

บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์และระบบสื่อสาร ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจ่าย กำลังไฟฟ้า ในแหล่งจ่ายประเภทนี้จะประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าสู่ระบบ- ไฟฟ้ากำลังหลัก เกิดผลเสียหายมากมายกับระบบไฟฟ้า เช่น ทำให้ เกิดความร้อนในตัวนำไฟฟ้า ท่อทางเดินไฟฟ้า ทำให้ตัวประกอบ กำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ เกิดความบกพร่องของระบบป้องกันไฟฟ้า (David Chapman, 2001, Hooman E.M and Wilson X., 2009) หรืออาจเกิดความเสียหายจากสถานะรีโซแนนซ์ได้ เป็นต้น คอมพิวเตอร์ถือเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกอีกแหล่งหนึ่ง (Thomas S.Key & Jip-Sheng Lai, 2010) ที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ทั้งในครัวเรือน และในสำนักงาน (EN61000 Standard, 2004) ในสถาบันหรือสถานศึกษาที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการเรียนการสอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในศูนย์ห้องเรียนคอมพิวเตอร์ถือเป็นแหล่ง ของการแพร่ของฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลักของอาคารหรือ ศูนย์การเรียนนั้นๆ มาตรฐานสากลหลายมาตรฐานถูกสร้างขึ้น เพื่อควบคุมระดับของฮาร์มอนิกของผลิตภัณฑ์ หรือคอมพิวเตอร์ เช่น มาตรฐาน IEEE 519-1992 และ IEC 1000-3-2 เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลการเกิดฮาร์มอนิกจาก คอมพิวเตอร์ในห้องเรียนรวมขนาดใหญ่และขนาดกลาง ในกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุง คือ ห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวม อาคาร 5 ชั้น 9 และ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาคาร 5 ชั้น 14 ตรวจวัดหารูปแบบ ของแรงดัน-ฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิก วิเคราะห์ หาค่า อัตราความเพี้ยนรวม (Total Harmonic Distortion: THD) เปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ออกแบบตัวกรอง ฮาร์มอนิกแบบพาสซีส ทดสอบผลหลังติดตั้งตัวกรองกับ คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

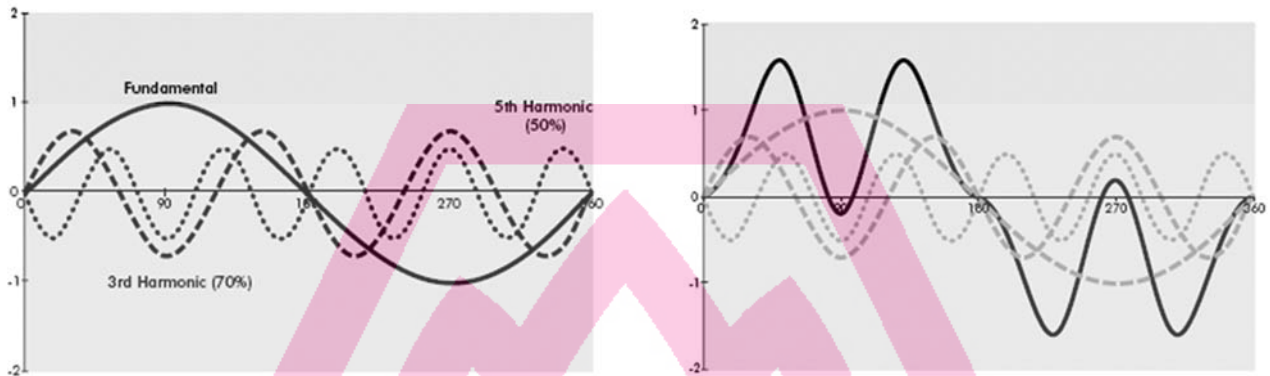
ขอบเขตของงานวิจัย

1. ตรวจวัดแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิก ที่ห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวม 2 แห่ง คือ ห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวม อาคาร 5 ชั้น 9 และห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
2. วิเคราะห์ลำดับรูปแบบของแรงดันฮาร์มอนิกและ กระแสฮาร์มอนิก
3. ออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีส โดยใช้ วิธีการแบบ ดีจูน ทั้งสองแห่ง
4. ติดตั้งตัวกรองในกลุ่มตัวอย่าง ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตจำนวน 5 เครื่อง

หลักการเบื้องต้นของฮาร์มอนิก

การเกิดฮาร์มอนิกเกิดจากการผิดเพี้ยนของแรงดัน และกระแสจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น แกน-เหล็ก และการใช้ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง แรงดันหรือกระแสรูปไซน์จะมีการรวมของ แรงดันหรือกระแสต่าง ภาพที่ 1 ก. แสดงให้เห็นพื้นฐานของ การเกิดแรงดันฮาร์มอนิกลำดับ 3 และลำดับ 5 เข้ามารวมกับ สัญญาณที่ความถี่หลักหรือความถี่มูลฐาน ตามอนุกรมฟูเรียร์ ที่แสดงดังสมการที่ 1 ผลของการรวมของสัญญาณดังกล่าวจะ ทำให้เกิดรูปคลื่นรูปใหม่ดังแสดงในภาพที่ 1 ข. แสดงวงจรมูล การไหลของกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก ได้ดังภาพที่ 2 (Arrillag, J & Watson, 2003) มาตรฐานการกำกับขนาด กระแสฮาร์มอนิก IEC1000-3-2 ในตารางที่ 1 และเวกเตอร์ของ กระแสฮาร์มอนิกจะแสดงดังภาพที่ 3 ตามลำดับ

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

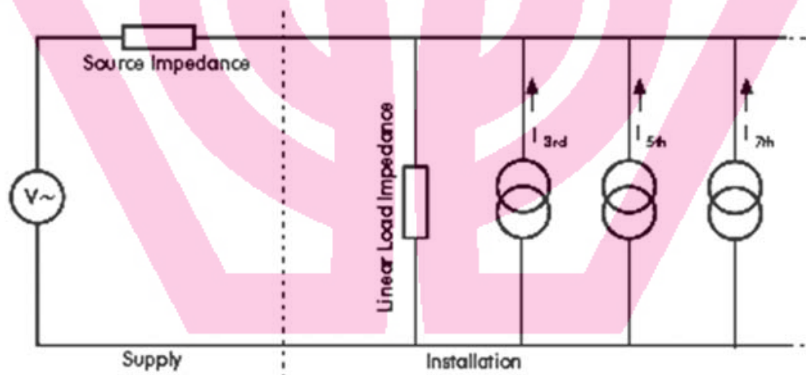


ก.

ข.

ภาพที่ 1 องค์ประกอบของสัญญาณฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ

ก. สัญญาณฮาร์มอนิกความถี่ต่างๆ ข. ผลรวมของสัญญาณมูลฐานและฮาร์มอนิก



ภาพที่ 2 วงจรสมมูลแสดงการไหลของกระแสฮาร์มอนิกจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 1 มาตรฐานกระแสฮาร์มอนิก IEC 1000-3-2

Harmonic Order	Maximum Permissible Current Per Watt	Maximum Permissible Harmonic Current
3	3.4	2.3
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.4
11	0.35	0.33
13 < n < 39	3.85/n	Refer to Class A

กำหนดให้

- THD = ค่าผลรวมของค่าความเพี้ยนจากผลของฮาร์มอนิก (Total Harmonic Distortion)
- PF = ตัวประกอบกำลังจริง (True Power Factor)
- DPF = ตัวประกอบกำลังเฉพาะความถี่หลัก (Displacement Power Factor)
- HPF = ตัวประกอบกำลัง ฮาร์มอนิก (Harmonic Power Factor)

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} \quad (2)$$

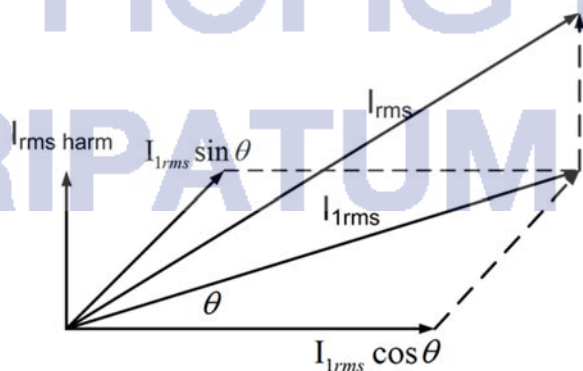
$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2} \quad (3)$$

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + (THD_i)^2} \quad (4)$$

$$PF = \frac{\sum_{n=1}^N V_n I_n \cos \theta_n}{\sqrt{\sum_{n=1}^N V_n^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2}} \quad (5)$$

หรือ $PF = DPF \times HPF =$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (THD_v)^2} \cdot \sqrt{1 + (THD_i)^2}} = \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \quad (6)$$

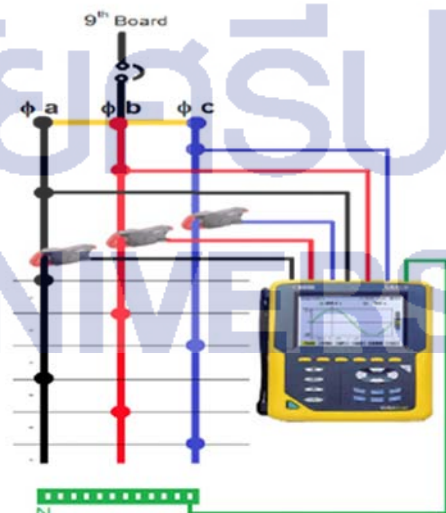


ภาพที่ 3 เวกเตอร์กระแส rms เพิ่มขึ้นจากผลของกระแสฮาร์มอนิก ($I_{rms\ harm}$)

การวัดและการวิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิกที่แพร่จากคอมพิวเตอร์ในห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวมอาคาร 5 ชั้น 9 และห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เฟส

วัดแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิกจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวมอาคาร 5 ชั้น 9 ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ขณะใช้งาน 30 เครื่อง เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของฮาร์มอนิกที่เกิดจากแรงดันและกระแสที่แพร่ออกจากคอมพิวเตอร์จากผลของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง โดยใช้ Power Quality Analyzer ของ Chauvin Arnoux รุ่น C.A 8334

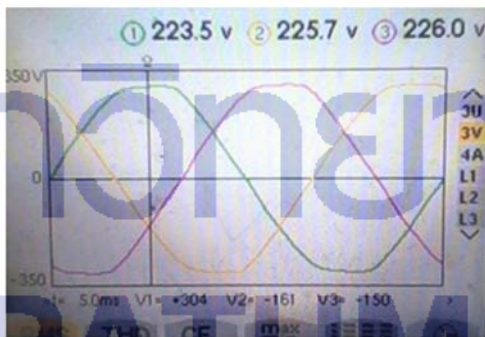
จากภาพที่ 4 ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 5 แสดงการวัดและผลการวัดของแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิก ซึ่งมีจำนวนมากเฉพาะกระแสรายให้กับโหลดคอมพิวเตอร์ สามารถคำนวณค่าความเพี้ยนรวม (THD) ตามสมการที่ (2) เท่ากับ 63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งภาพที่ 6 จะแสดงรูปคลื่นของกระแสในแต่ละเฟสและสเปคตรัมของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นทั้ง 3 เฟสในลำดับที่ 3, 5, 7 ซึ่งไหลเข้าไปสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง



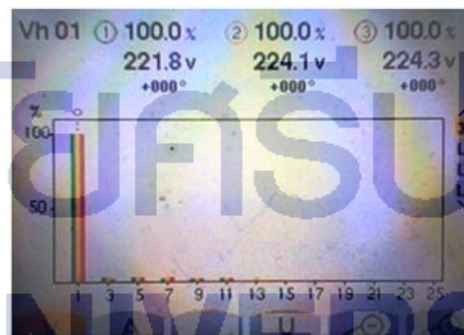
ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวัดแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิก

ตารางที่ 2 กระแสฮาร์มอนิกและแรงดันฮาร์มอนิกที่เฟส

Harmonic Order	Phase A			
	Current (A.)		Voltage (V.)	
	I	%THD	V	%THD
1	20.7	100%	222	100%
3	11.6	56.00%	2.9	1.30%
5	5.8	27.80%	4.2	1.90%
7	2	9.40%	2.4	1.10%
9	0.3	2.00%	1.1	0.50%
11	1	4.70%	1.3	0.60%
13	0.3	1.60%	0	0.00%
15	0.1	0.40%		
17	0.1	0.70%		
19	0.1	0.40%		
21	0.1	0.70%		
23	0.2	1.00%		
25	0.1	0.50%		



ก.

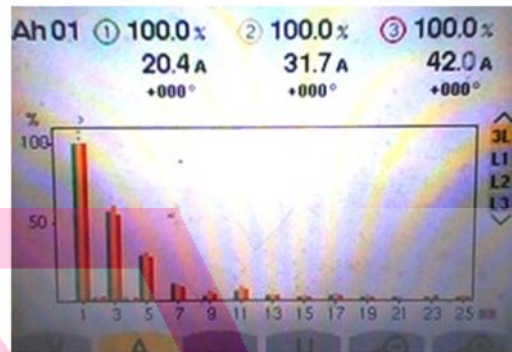


ข.

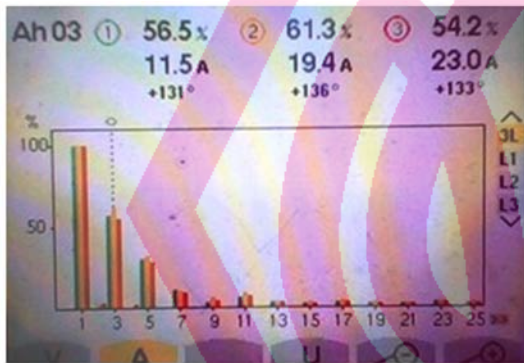
ภาพที่ 5 คลื่นแรงดันที่จ่ายเข้าและสเปคตรัมของแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ



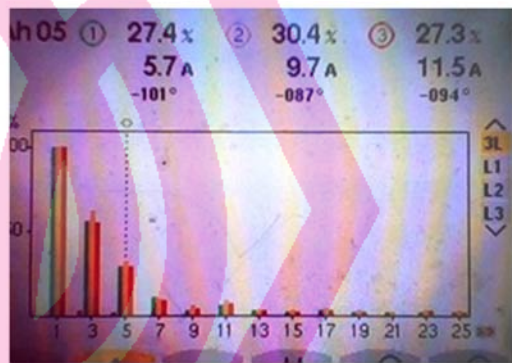
ก.



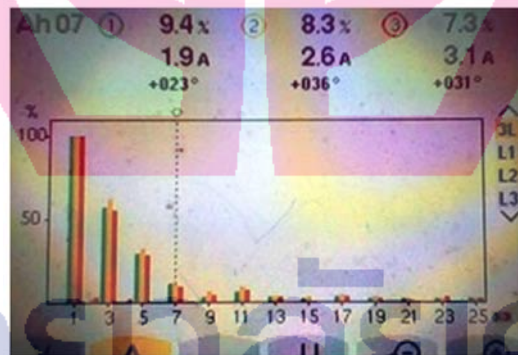
ข.



ค.



ง.



จ.

ภาพที่ 6 สเปคตรัมของกระแสฮาร์มอนิก 3 เฟส ก-จ เป็นค่ากระแสที่ฮาร์มอนิกลำดับ 1, 3, 5 และ 7 ตามลำดับ

การออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิก

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าแรงดันของระบบ และค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟรวมที่จะนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขดตัวกรอง ตามลำดับฮาร์มอนิกที่วัดได้ (ในที่นี้ต้องการถึงลำดับ 19)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดความถี่ที่ต้องการ Cutout ในกรณีของ D-tun จะต่ำกว่าค่าที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าพิกัดของตัวประจุที่ต้องการใช้ และคำนวณหาตัวประจุที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาตัวเหนี่ยวนำ และขนาดแกน และกำหนดค่า Quality Factor เพื่อหาความต้านทานของตัวกรอง

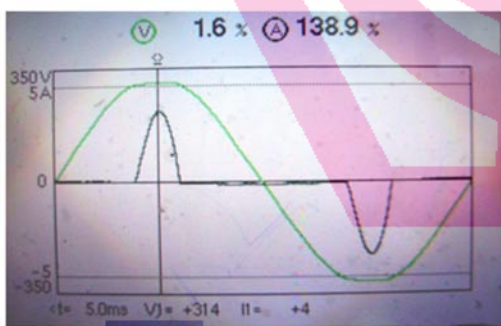
ผลการออกแบบได้ค่าขนาด อาร์ แอล ซี แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ขนาดของตัวกรองที่คำนวณได้ที่อาคาร 5 ชั้น 9

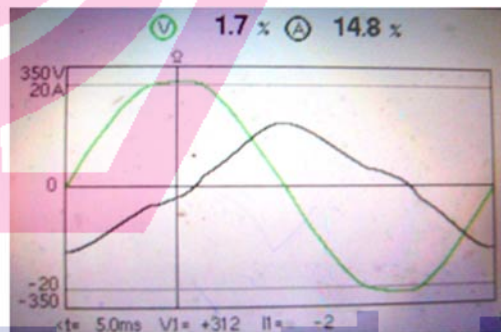
ลำดับกระแสรบกวน	ลำดับ 3	ลำดับ 5	ลำดับ 7
Reactive Power	949 Var	49.3 Var	173 Var
Capacitor (C)	15 μF	7.7 μF	2.73 μF
Inductor (L)	70 mH	54 mH	4.4 mH
Risistor(R)	1.1 Ω	1.3 Ω	2.34 Ω

ตารางที่ 4 ขนาดของตัวกรองที่คำนวณได้ที่ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตเฟส

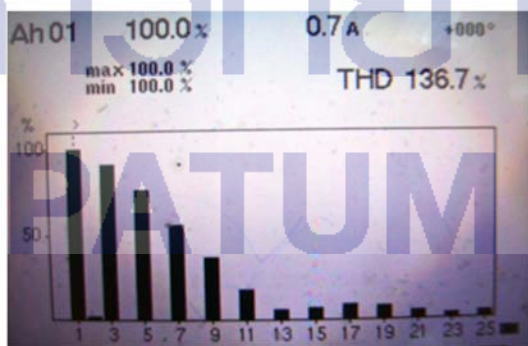
ลำดับกระแสรบกวน	ลำดับ 3	ลำดับ 5	ลำดับ 7
Reactive Power	949 Var	49.3 Var	173 Var
Capacitor (C)	15 μF	7.7 μF	2.73 μF
Inductor (L)	70 mH	54 mH	4.4 mH
Risistor(R)	1.1 Ω	1.3 Ω	2.34 Ω



ก.



ข.



ค.



ง.

ภาพที่ 7 แรงดันและกระแสก่อนและหลังการติดตั้งตัวกรองที่ตัวอย่างห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตเฟส
 ก. คลื่นแรงดันและกระแสก่อนติดตั้งตัวกรอง ข. คลื่นแรงดันและกระแสหลังติดตั้งตัวกรอง
 ค-ง. เป็นภาพสเปคตรัมก่อนและหลังติดตั้งตัวกรอง

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ของแรงดันและกระแสหลังการปรับปรุง

ลำดับฮาร์มอนิกส์	เฟส c			
	กระแส (A)		แรงดัน (V)	
	I	%THD	V	%THD
1	7.8	100%	226.2	100%
3	1	13.10%	1.1	0.50%
5	0.3	3.80%	2.3	0.80%
7	0.3	3.80%	0.8	0.40%
9	0.1	1.0%	0.4	0.2%

การวิเคราะห์และปรับปรุงการเกิดฮาร์มอนิก

จากผลจากการวัดฮาร์มอนิกทั้งสองแห่ง พบว่า ห้องเรียนคอมพิวเตอร์รวมที่ อาคาร 5 ชั้น 9 และห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เฟส มีการกระจายของกระแสฮาร์มอนิกในรูปแบบเดียวกับ และจากการวิเคราะห์และสร้างตัวกรองเพื่อแก้ไขในกลุ่มตัวอย่าง ในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เฟส จำนวน 5 เครื่องเพื่อเป็นตัวอย่างในการปรับปรุงกระแสฮาร์มอนิก ได้รับผลคือ แรงดันฮาร์มอนิกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งมาตรฐาน IEEE 519 กำหนด $\%THD_V$ ไม่เกิน 5% แต่การพิจารณาฮาร์มอนิกของกระแสคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ Type D ในมาตรฐาน IEC1000-3-2 ซึ่งขนาดของกระแสที่แสดงในภาพที่ 7 และตารางที่ 5 จะมีค่ากระแสฮาร์มอนิกลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งขนาดของตัวกรองทั้งสองแห่งได้แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการตรวจวัดรูปแบบของฮาร์มอนิกในห้องเรียนรวมคอมพิวเตอร์ จะเห็นได้ว่าฮาร์มอนิกที่มีผลกระทบต่อระบบ

ไฟฟ้าจะเป็นฮาร์มอนิกลำดับคี่ จากการตรวจวัดทั้งสองห้องพบว่า มีรูปแบบคล้ายกัน จากแก้ไขโดยการใส่ตัวกรองแบบพาสซีสสามารถลดค่าฮาร์มอนิกให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัด แต่การออกแบบแบบดีจูนโดยให้ความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่ต้องการตัวจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานในกรณีเกิดการรีโซแนนซ์ได้ในการลดวิธีอื่นๆ เช่นการใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบซิกแซกก็เป็นวิธีที่สามารถพัฒนาต่อไปได้

รายการอ้างอิง

Arrilgag, J & Watson. 2003. *Power System Harmonics*. USA: John Willey & Sons.

David, Chapman. 2001. *Harmonic Causes and Effect: Power Quality Application Guide*. USA:Copper.

Hooman E. M. & Wilsun X. 2009. "Harmonic cancellation characteristic of specially connected transformers." *Electric Power Systems Research*. 1690-1697.

IEEE 519. 1993. *IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power System*. USA: American National Standard Insitue 11-25.

IEEE Standard. 2003. *IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters*. USA: IEEE Power Engineering Society. 4-22.

Thomas S.Key. & Jih-Sheng Lai. 2010. "IEEE and International Harmonic Standards Impact on Power Electronic Equipment Design." *Proceeding of IEEE*. 430-436.



>> นิमित บุญธิรัมย์

จบการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศน์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประสบการณ์การทำงาน เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ระยะเวลา 21 ปี ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม เป็นเวลา 2 ปี เป็นที่ปรึกษา ออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง บริษัท ออนไทม์เอนจิเนียริ่ง จำกัด เชี่ยวชาญในระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีผลงานวิจัยและบทความด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับนานาชาติ