การแก้ไขตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล

Power Factor Improvement for Electronic Ballast by Valley Fill Circuit

นาย รังสรรค์ สังข์เสี่ยงเทียน
นาย ธีระ ใจแก้ว
นาย สุริยา บุญเรือง

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2554
54EE110

หัวข้อโครงการ	การแก้ไขตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
นักศึกษา	นาย รังสรรค์ สังข์เสี่ยงเทียน
	นาย ธีระ ใจแก้ว
	นาย สุริยา บุญเรือง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พศวีร์ ศรีโหมด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์)

วันที่.....เดือน..... พ.ศ. .....

54EE110

การแก้ไขตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล

Power Factor Improvement for Electronic Ballast by Valley Fill Circuit

บทคัดย่อ (ABSTRACT)

โครงงานนี้นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดกระตุ้นตัวเอง ที่ใช้สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชุดนี้ มีแนวคิดที่ต้องการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล ซึ่งให้ข้อดีในเรื่องลดความยุ่งยากในการแก้ไขตัวประกอบกำลังและมีราคาถูก บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่เสนอนี้จะมีค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น และลดฮาร์มอนิกส์ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน IEC 61000-3-2

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ อาจารย์ ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ทำให้โครงงานนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือและผู้จัดทำต้องขอขอบคุณผู้ให้ความแนะนำเรื่องต่างๆในโครงงานและเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจตลอดการทำโครงงาน

คุณความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากโครงงานฉบับนี้ผู้จัดทำขออุทิศให้ บิดา มารดา และบูรพคณาจารย์ สืบต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ทบทวนวิจัยที่ผ่านมา	2
1.5 โครงสร้างของโครงงาน	3
1.6 ประโยชน์ของโครงงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์	4
2.2 ตัวประกอบกำลัง	9
2.3 วงจรเรียงกระแส	10
2.4 ฮาร์มอนิกส์	15
2.5 มาตรฐานฮาร์มอนิกส์ IEC 61000-3-2 Ed 3 2005	27
2.6 วงจรวาลเลย์ฟิล	29
2.7 คอนเวอร์เตอร์	31
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์	37
3.1 หลักการทำงานวงจรบัลลาตส์อิลิ็กทรอนิกส์ที่จะนำมาปรับปรุง	37
3.2 รายการอุปกรณ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	38
3. 3 รายการอุปกรณ์ของวงจรวาลเลย์ฟิล	39

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 41

4.1 เงื่อนไขการทดลอง 41

4.2 ผลการทดลองวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ 42

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 48

เอกสารอ้างอิง 50

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกระดับ ฮาร์มอนิกในแต่ละ Class 35

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าของบัลลาตส์ 44

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์ 45

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่1.1 โครงสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของโครงงาน 3

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4

ภาพที่ 2.2 ขดลวดแคโทดร้อน 5

ภาพที่ 2.3 บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก 7

ภาพที่ 2.4 สตาร์ทเตอร์ 7

ภาพที่ 2.5 การต่อบัลลาสต์แบบขดลวดกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 8

ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองภาค 8

ภาพที่ 2.7 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น 10

ภาพที่ 2.8 วงจรพื้นฐานแบบครึ่งคลื่น 11

ภาพที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แทป 11

ภาพที่ 2.10 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกบวก 12

ภาพที่ 2.11 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกลบ 12

ภาพที่ 2.12 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 13

ภาพที่ 2.13 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ 13

ภาพที่ 2.14 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก 14

ภาพที่ 2.15 ฮาร์มอนิกส์ที่ลำดับต่างๆ 16

ภาพที่ 2.16 ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซด์มีรูปร่างผิดเพี้ยน 16

ภาพ**ที่ 2.17** วงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวที่มีตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดัน 21

ภาพ**ที่ 2.18** กระแสและแรงดันด้านเข้าที่มีตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดัน 21

ภาพ**ที่ 2.19** วงจรสมมูลของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแส 22

ภาพ**ที่ 2.20** วงจรสมมูลของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งแรงดัน 21

ภาพ**ที่ 2.21** วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ 23

ภาพ**ที่ 2.22** วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบแอกทีฟ 24

ภาพ**ที่ 2.23** หลักการทำงานของวงจรกรองแบบแอกทีฟ 24

ภาพ**ที่ 2.24** วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดขนาน 25

ภาพ**ที่ 2.25** วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดอนุกรม 25

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพ**ที่ 2.26** การควบคุมวงจรกรองแบบแอกทีฟแบบวงรอบเปิด (Open Loop) 26

ภาพ**ที่ 2.27** การควบคุมวงจรกรองแบบแอกทีฟแบบวงรอบปิด (Closed Loop) 27

ภาพที่ 2.28 สภาวะการทำงานวงจรวาลเลย์ฟิล 30

ภาพที่ 2.29 สัญญาณวงจรวาลเลย์ฟิล 30

ภาพที่ 2.30 วงจรแปรผันกาลังไฟฟ้าเรโซแนนซ์อนุกรมโหลดขนานแบบกึ่งบริดจ์ 32

ภาพที่ 2.31 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 33

ภาพที่ 2.32 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP 34

ภาพที่ 2.33 การจัดอินพุทและเอาท์พุท 35

ภาพที่ 2.34 โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดแอค 35

ภาพที่ 2.35 วงจรสมมูลของไดแอคและการไบอัสไดแอค 36

ภาพที่ 3.1 วงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง 37

ภาพที่ 3.2 สัญญาณวงจรวาลเลย์ฟิล 38

ภาพที่ 3.3 วงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง 39

ภาพที่ 4.1 วงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง 41

ภาพที่ 4.2 วงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง 42

ภาพที่ 4.3 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตทของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์
ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง 42

ภาพที่ 4.4 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์
ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง 43

ภาพที่ 4.5 สัญญาณแรงดันตกคร่อมที่จุด C และจุด D ของภาพที่ 4.1 43

ภาพที่ 4.6 สัญญาณแรงดันที่วงจรวาลเลย์ฟิล 44

ภาพที่ 4.7 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์
ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังกับค่ามาตรฐาน IEC 61000-3-2 46

ภาพที่ 4.8 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์
ที่แก้ไขตัวประกอบกำลังกับค่ามาตรฐาน IEC 61000-3-2 46

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากบัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นและมีความสำคัญในวงจรแสงสว่าง เพราะนอกจากจะช่วยในการทำงานของวงจรให้สมบรูณ์แล้วยังมีผลต่อปริมาณแสงสว่าง อายุการใช้งาน และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในวงจรด้วย ซึ่งบัลลาสต์ที่ใช้กันส่วนมากจะเป็นชนิดแกนเหล็ก (Magnetic Ballast) ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากรวมทั้งมีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ (ประมาณ 0.4~0.6)

จากปัญหาข้างต้นจึงมีแนวทางที่จะลดความสูญเสียต่างๆ โดยการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาพัฒนาใช้งานแทนที่บัลลาสต์แกนเหล็ก แต่ไม่ได้แก้ปัญหาค่าตัวประกอบกำลัง

เพื่อแก้ไขปัญหาค่าตัวประกอบกำลังในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทำได้โดยใช้วงจรวาลเลย์ฟิล จะทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าสูงกว่าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อจัดสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล และปรับปรุงค่าฮาร์มอนิกส์ให้อยู่ในค่าตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1. ออกแบบและสร้างชุดปรับแก้ตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz, 220 V.

1.3.2. ชุดต้นแบบที่พัฒนาสามารถใช้และทดสอบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.3.3. มีผลของฮาร์มอนิกส์ ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2

1.4 ทบทวนวิจัยที่ผ่านมา

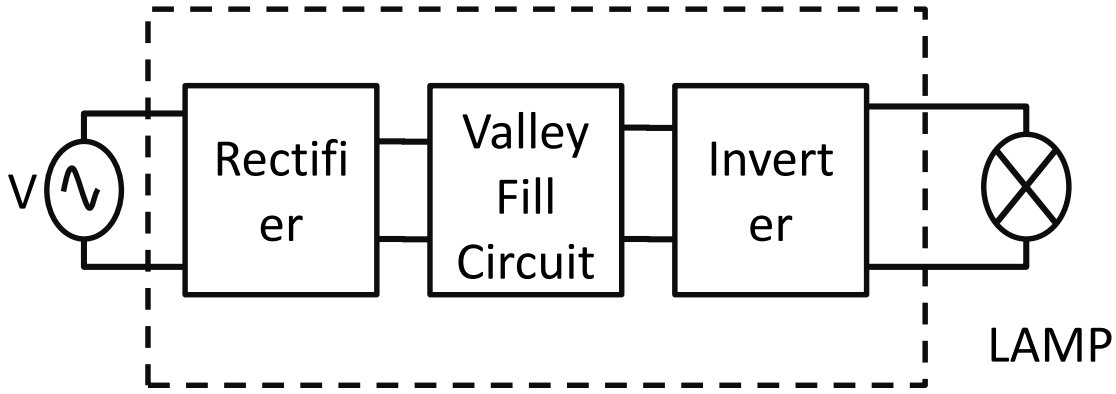
Ricardo N. do Prado, An Analysis About Valley Fill Filters Applied to Electronic Ballasts, 2003 IEEE:

บทความนี้เสนอการออกแบบวิเคราะห์ และทดสอบสมรรถนะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล ซึ่งเป็นวงจรชนิดพาสซีฟ สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งให้ข้อดีในเรื่องราคาถูกและความยุ่งยากในการควบคุมของการแก้ไขตัวประกอบกำลังเมื่อเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรแอคทีฟ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนี้ มีค่าตัวประกอบกำลังสูงอยู่ประมาณ 0.95 เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาตส์แกนเหล็กที่มีข้อด้อยเรื่องประสิทธิภาพ น้ำหนักและความร้อนสะสม

รัฐฑาวุฒิ บริบูรณ์ ,“Design, Analysis and Performance Testing of An Electronic Ballast with Power Factor Improvement Usinga Valley Fill Circuit for a 250 W High Pressure Mercury Vapour lamp with Constant Power Control”,การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่33 (EECON-33),2010.

บทความนี้เสนอการออกแบบ วิเคราะห์ และทดสอบสมรรถนะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล (Valley Fill) ซึ่งเป็นวงจรชนิดพาสซีฟสำหรับหลอดไอปรอทความดันสูง 250 วัตต์ ซึ่งให้ข้อ ดีในเรื่องราคาถูกและลดความยุ่งยากในการควบคุมของการแก้ไขตัวประกอบกำลังเมื่อเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรแบบแอคทีฟ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนี้ มีค่าตัวประกอบกำลังสูงอยู่ประมาณ 0.95 เมื่อเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีข้อด้อยในเรื่องประสิทธิภาพ น้ำหนักและความร้อนสะสม ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ใช้ LCC เรโซแนนท์ช่วยในการให้แรงดันสูงในขณะจุดหลอดและสามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ของการสวิตช์ในช่วงประมาณ30-70kHz ช่วยในการหรี่แสงนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดให้คงที่ได้

1.5 โครงสร้างของโครงงาน



ภาพที่1.1โครงสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของโครงงาน

1.6 ประโยชน์ของโครงงาน

1.6.1 ได้ชุดวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

1.6.2 เข้าใจในเรื่องของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1.6.3 เข้าใจในวงจรวาลเลย์ฟิล

1.6.4 ได้ค่าตัวประกอบกำลังที่สูงขึ้น

1.6.5 ได้ทักษะในการปรับปรุงค่าฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

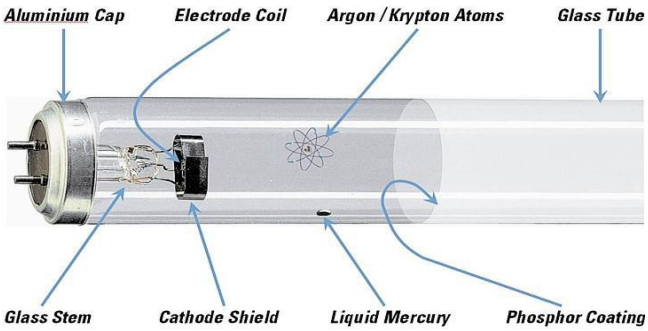
ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและการทำงานที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้ซึ่งจะมีส่วนต่างๆ เกี่ยวข้องดังนี้ โครงสร้างหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตัวประกอบกำลัง วงจรเรียงกระแส ฮาร์มอนิกส์ มาตรฐานฮาร์มอนิกส์ วงจรวาลเลย์ฟิล และ วงจรอินเวอร์เตอร์

2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ [1]

หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดไฟฟ้าเรืองแสงสว่างประเภทก๊าซดิสชาร์จ (gas-discharge lamp) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งในที่พักอาศัย สำนักงาน ร้านค้า ห้างสรรพสินค้า โกดังสินค้า อาคารจอดรถ ฯลฯ เนื่องจากเมื่อเทียบกับหลอดไส้แล้ว หลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพสูงกว่าถึง 4 เท่า และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 7-8 เท่า อีกทั้งยังให้แสงที่ขาวนวลสบายตามีแสงแยงตาน้อยและมีความร้อนจากการทำงานต่ำกว่าหลอดไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทอุ่นไส้ (Preheat Start Lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทติดทันที (Instant Start Lamp) และหลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทติดเร็ว (Rapid Start Lamp) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทอุ่นไส้ เนื่องจากเป็นประเภทที่นิยมใช้กันมากที่สุด ดังนั้นในโครงงานนี้จะขออ้างอิงถึง หลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทอุ่นไส้เท่านั้น

2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีโครงสร้างและส่วนประกอบตามภาพที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วย ตัวหลอด ขั้วหลอด อิเล็กโทรดหรือแคโทด ไอปรอท สารเรืองแสงสว่าง และก๊าซเฉื่อย โดยส่วนประกอบต่างๆมีลักษณะและหน้าที่ดังต่อไปนี้

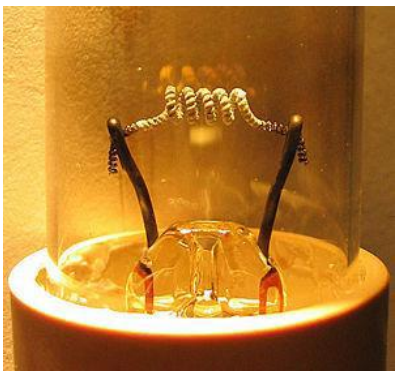


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. ตัวหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดแก้วที่ผิวด้านในเคลือบด้วยสารเรืองแสงสว่าง (Phosphor) มีอยู่หลายลักษณะ เช่น รูปทรงกระบอก รูปวงกลม รูปตัวยู (U) นอกจากนั้นตัว หลอดฟลูออเรสเซนต์ยังมีการกำหนดขนาดตามความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดตั้งแต่ขนาด T5 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว) จนถึง T17 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 17/8 นิ้ว) และความยาวตั้งแต่ 2 ถึง 8 ฟุต หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบันเป็นหลอดทรงกระบอก ขนาด T8 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว) ความยาว 2 – 4 ฟุต

2. ขั้วหลอด คือขั้วโลหะที่อยู่บริเวณปลายหลอดทั้ง 2 ด้าน ทำหน้าที่รับไฟจากภายนอกเข้าสู่แคโทด และตัวหลอด

3. อิเล็กโทรด หรือแคโทด อยู่ภายในตัวหลอดโดยต่อกับขั้วหลอด ทำหน้าที่เป็นตัวปล่อยกระแสไฟฟ้า (Current Emitting) อิเล็กโทรดหรือแคโทดของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีอยู่ 2 ประเภท คือ แคโทดร้อน (Hot Cathode) และ แคโทดเย็น (Cold Cathode) โดยแคโทดร้อนจะมีลักษณะเป็นขดลวดซ้อนขดลวด (Coiled-Coil) หรือเป็นแบบขดลวดซ้อนขดลวดแล้วซ้อนขดลวดอีกชั้นหนึ่ง (Triple-Coil) และแบบที่มีเส้นลวดเสียบอยู่ตรงกลางของขดลวด (Stick-Coil) ขดลวดของแคโทดร้อนนี้เรียกอีกอย่างว่า ฟิลาเม้น (Filament) ซึ่งจะถูกเคลือบด้วยออกไซด์ของโลหะหมู่สอง ซึ่งจะเป็นตัวปล่อยอิเล็กตรอนเมื่อถูกทำให้ร้อน ส่วนแคโทดเย็นนั้นทำจากเหล็กล้วนๆ สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันโดยทั่วไปจะเป็นแบบแคโทดร้อน ส่วนแบบแคโทดเย็นนั้นมักจะพบในหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กมากซึ่งใช้สำหรับงานบางชนิดเช่นระบบไฟ Backlight ของจอภาพต่างๆ



ภาพที่ 2.2 ขดลวดแคโทดร้อน

4. ไอปรอท ภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์จะบรรจุไอปรอทเอาไว้ เมื่อมีอิเล็กตรอนวิ่งมาชนอะตอมของปรอทจะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมปรอทหลุดออกจากวงโคจร หลังจากนั้นเมื่ออิเล็กตรอนที่หลุดออกไปกลับสู่วงโคจรจะเกิดการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในย่านรังสีอัลตราไวโอเลตออกมา และเมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตไปกระทบกับสารเรืองแสงสว่างที่เคลือบอยู่ที่ผิวด้านในของหลอด สารเรืองแสงสว่างจะเกิดการเรืองแสงขึ้น

2.1.2 หลักการทำงานและการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์

จากการที่หลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยหลักการปล่อยประจุไฟฟ้าผ่านก๊าซที่บรรจุไว้ภายในหลอดในการสร้างแสงสว่าง ซึ่งในตอนแรกนั้นก๊าซในหลอดส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซเฉื่อย เนื่องจากปรอทที่บรรจุไว้ยังไม่กลายเป็นไอ ความต้านทานไฟฟ้าของหลอดในขณะนี้จะมีค่าสูงมาก การที่จะทำให้หลอดเริ่มนำกระแสได้นั้นขั้นแรกจะต้องทำการอุ่นขั้วแคโทดให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม (ประมาณ 900 องศาเซลเซียส) เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น จากนั้น เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดให้มีค่าสูงพอ อิเล็กตรอนที่เกิดจากการอุ่นขั้วแคโทดจะเคลื่อนที่ผ่านหลอดจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง กระบวนการเหล่านี้จะทำให้อุณหภูมิของหลอดสูงขึ้นมากพอที่จะทำให้ปรอทกลายเป็นไอได้ และเมื่ออิเล็กตรอนที่วิ่งผ่านหลอดชนเข้ากับอะตอมของปรอท พลังงานจากการชนจะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมปรอทหลุดออกจากวงโคจร อะตอมปรอทจะอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร ดังนั้นเพื่อกลับสู่สถานะที่เสถียรกว่าอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจะกลับสู่วงโคจรเดิม โดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้กับอะตอมของธาตุทุกชนิด แต่จะมีความแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาซึ่งจะขึ้นกับชนิดของธาตุ สาหรับอะตอมปรอทนั้นจะให้ความยาวคลื่นเท่ากับ 253.7 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในย่านรังสีอัลตราไวโอเลต และเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตนี้เป็นรังสีที่ตามองไม่เห็น สารเรืองแสงสว่างจึงเป็นตัวทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรังสีอัลตราไวโอเลตที่มากระทบตัวมันที่ฉาบเคลือบอยู่ที่ผิวด้านในของหลอดให้กลายเป็นแสงที่มองเห็นได้โดยจะให้สีของแสงตามชนิดของสารเรืองแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว กระบวนการในการทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์เริ่มนำกระแสและติดสว่างขึ้นได้นี้เรียกว่า การจุดหลอด (Ignition) หลังจากสามารถจุดหลอดให้ติดสว่างขึ้นได้แล้ว ปรอทจะกลายเป็นไอและแตกตัวจากการถูกอิเล็กตรอนพุ่งชนมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของหลอดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อถึงจุดนี้วงจรขับหลอดจะต้องทำหน้าที่ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพราะถ้ามีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดมากไปจะทำให้หลอดเสียหายได้ และถ้ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดมีน้อยเกินไปหลอดก็จะดับลง กระบวนการในการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล

ผ่านหลอดให้อยู่ในระดับที่ต้องการนี้เรียกว่า การขับหลอด และอุปกรณ์ที่ใช้ในการจุดและขับหลอดนั้นก็คือ บัลลาสต์

2.1.3 บัลลาสต์

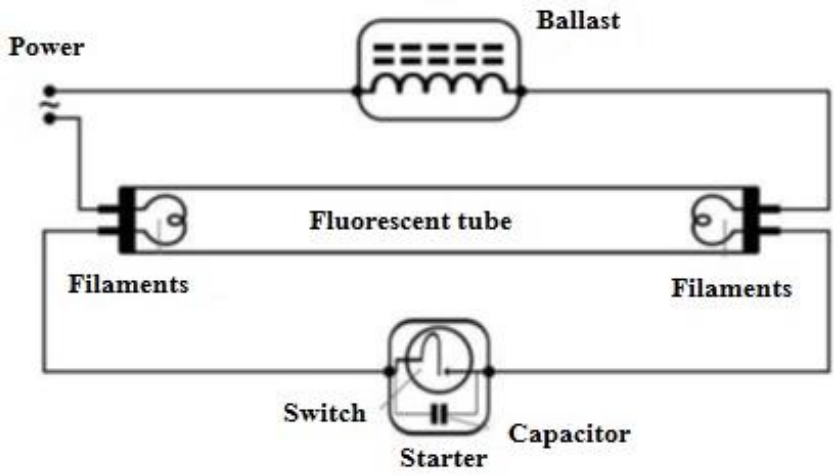
เนื่องด้วยคุณลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นความต้านทานแบบเนกาทีฟทำให้ต้องใช้แรงดันสูงเพื่อจุดหลอดให้เริ่มนำ กระแสในช่วงแรก หลังจากนั้นเมื่อหลอดติดแล้ว ค่าความ ต้านทานของหลอดจะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงต้องควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดให้อยู่ใน ระดับที่เหมาะสมกับพิกัดกำลังของหลอด บัลลาสต์คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้โดยสามารถแบ่ง ประเภทของบัลลาสต์ออกได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก (Magnetic Ballast) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

1.บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก

บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแสดงในภาพที่ 2.3 เป็นบัลลาสต์ชนิดดั้งเดิมที่ใช้ในการ ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีโครงสร้างเป็นขดลวดทองแดงพันรอบแกนเหล็กที่เป็นแผ่นบางๆวาง ซ้อนกันเป็นชั้นๆ (Laminate sheet steel) ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ ทางไฟฟ้า บัลลาสต์ ขดลวดแกนเหล็กจะทำงานร่วมกับสตาร์ทเตอร์ซึ่งแสดงภาพที่ 2.4 โดยสตาร์ทเตอร์ที่นิยมใช้กัน มากในปัจจุบันเป็นสตาร์ทเตอร์แบบมีก๊าซบรรจุอยู่ภายใน (Glow Type) ซึ่งจะมีหน้าสัมผัสที่ทำ จากแผ่นโลหะสองชนิดติดกัน (Bimetals Strip) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยเป็นหน้าสัมผัสแบบ ปกติเปิด และเมื่อได้รับความร้อนมากพอจะทำให้หน้าสัมผัสต่อถึงกัน ในการทำงาน บัลลาสต์ ขดลวดแกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์จะต่อรวมอยู่ในวงจรเดียวกันกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.3 บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก

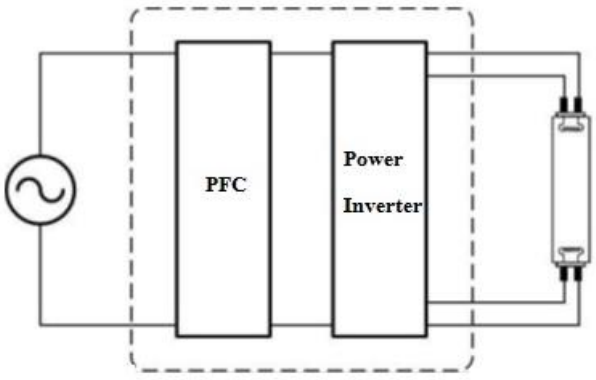
ภาพที่ 2.4 สตาร์ทเตอร์



ภาพที่ 2.5 การต่อบัลลาสต์แบบขดลวดกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขจุดด้อยของบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีคุณสมบัติที่เหนือกว่าหลายประการ เช่น มีประสิทธิภาพสูงกว่า มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง มีน้ำหนักเบา ไม่มีแสงกระเพื่อมเนื่องจากทำงานที่ความถี่สูง (20 kHz ขึ้นไป) นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความสามารถอื่นๆ เช่นการหรี่แสงให้กับบัลลาสต์ได้อีกด้วย บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปประกอบด้วยวงจรไฟฟ้า 2 ส่วนหลักตามภาพที่ 2.6 ส่วนแรกคือวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Corrector) หรือ PFC ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากระบบไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมกับรักษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าสูง



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองภาค

ส่วนที่สองคือวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้า (Power Inverter) ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากส่วน PFC เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อใช้ในการจุดและขับหลอด วงจรส่วนนี้คือหัวใจ

สำคัญของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะต้องสามารถสร้างแรงดันสูงเพื่อจุดหลอดได้ในตอนแรก และรักษาระดับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดให้มีค่าตามที่ต้องการเมื่อหลอดติดแล้วเช่นเดียวกับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก โดยทั่วไปแล้ววงจรแปรผันกำลังไฟฟ้าที่นำมาใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นนิยมใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Resonance Inverter)

2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (วัตต์) กับกำลังไฟฟ้าปรากฏหรือกำลังไฟฟ้าเสมือน (VA) ซึ่งค่าที่ดีที่สุดคือมีอัตราส่วนที่เท่ากันจะมีค่าเป็นหนึ่งแต่ในทางเป็นจริงไม่สามารถทำได้ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังเปลี่ยนแปลง ไปตามการใช้โหลดซึ่งโหลดทางไฟฟ้ามีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

1 โหลดประเภทความต้านทาน (Resistive Load) จะมีค่าตัวประกอบกำลัง เป็นหนึ่ง ได้แก่ หลอดไฟฟ้าแบบไส้ เตารีดไฟฟ้า หม้อหุงข้าวเครื่องทำน้ำอุ่น เป็นต้น ถ้าหน่วยงานหรือองค์กรมีโหลดประเภทนี้เป็นจำนวนมากก็ไม่จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

2 โหลดประเภทความเหนี่ยวนำ (Inductive load) จะมีค่าตัวประกอบกำลังไม่เป็นหนึ่ง ได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ขดลวด เช่น มอเตอร์ บัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดแก๊สดิสชาร์จ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าหน่วยงานหรือองค์กรส่วนใหญ่ จะหลีกเลี่ยงโหลดประเภทนี้ไม่ได้และมีเป็นจำนวนมากซึ่งจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไม่เป็นหนึ่งและโหลดประเภทนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง (Lagging) จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยการนำโหลดประเภทให้ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า (Leading) มาต่อเข้าในวงจรไฟฟ้าของระบบ เช่น การต่อชุดคาปาซิเตอร์ (Capacitor Bank) เข้าไปในชุดควบคุมไฟฟ้า

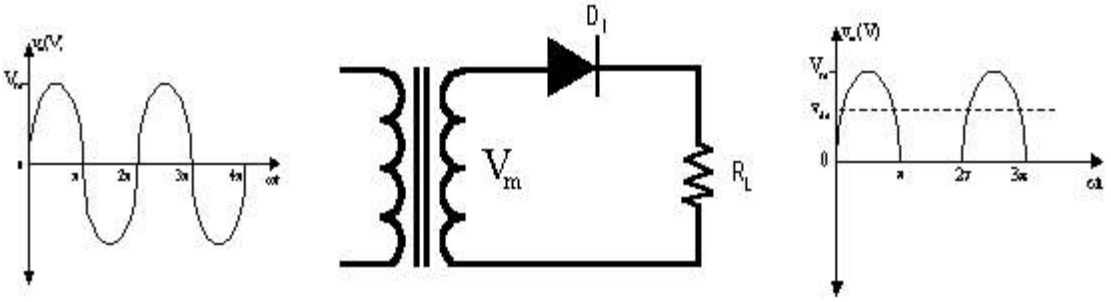
3 โหลดประเภทตัวเก็บประจุ (Capacitive Load) คือโหลดที่มีตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นองค์ประกอบโหลดประเภทนี้จะมีใช้น้อยมาก จะมีค่าไม่เป็นหนึ่ง โหลดประเภทนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า (Leading) คือกระแสจะนำหน้าแรงดัน จึงนิยมนำโหลดประเภทนี้ มาปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบที่มีค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง

ข้อดีของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

- กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้าลดลง
- หม้อแปลง และสายเมนไฟฟ้า สามารถรับโหลดเพิ่มได้มากขึ้น
- ลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟฟ้าลง
- ลดแรงดันไฟฟ้าตก
- เพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าทั้งระบบ

2.3 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เรคติไฟเออร์ คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณได้แก่ไดโอด



ภาพที่ 2.7 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

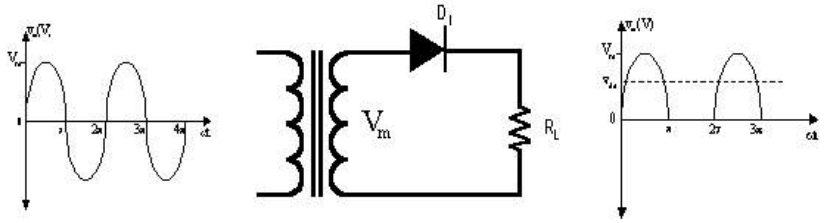
2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Circuit)

จากรูป 2.7 อธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ เมื่อสัญญาณครึ่งบวกเข้ามาไดโอดจะถูก ไบอัสตรง ทำให้กระแสไหลในวงจร เกิดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_L ตามลักษณะของสัญญาณอินพุตแต่เมื่อมีสัญญาณครึ่งลบเข้ามาไดโอดจะถูกไบอัสกลับจึงทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร แรงดันที่ตกคร่อม R_L จึงมีค่าเป็นศูนย์ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่โหลดจึงมีค่าเป็นสัญญาณรูปครึ่งไซเคิล ที่เรียกว่าฮาล์ฟเวฟ (Half wave)

1. ค่าเฉลี่ย (Average value)

สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟของรูป แล้วหารด้วยเวลาของรูปคลื่นโดยคำนวณพื้นที่ใต้รูปคลื่นของสัญญาณที่เรียงกระแสแล้วจะต้องใช้วิธีการ อินทิเกรตสัญญาณซึ่งสมการหาค่าเฉลี่ยแสดงได้ดังนี้

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318v_m$$



ภาพที่ 2.8 วงจรพื้นฐานแบบครึ่งคลื่น

2. ค่าประสิทธิผล (Effective value or Root Mean Square)

นิยามว่าแรงดันไฟสลับที่ก่อให้เกิดผลทางความร้อนเท่ากับค่าแรงดันไฟตรง เช่น ถ้าหากป้อนแรงดันไฟสลับรูปไซน์ ค่า 14.14 โวลต์ คร่อมตัวต้านทานค่า 1 โอห์ม จะทำให้เกิดความร้อนเท่ากับเมื่อป้อนแรงดันไฟตรงค่า 10 โวลต์

สมการการหาค่าแรงดัน อาร์เอ็มเอส คือ

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = 0.5V_m$$

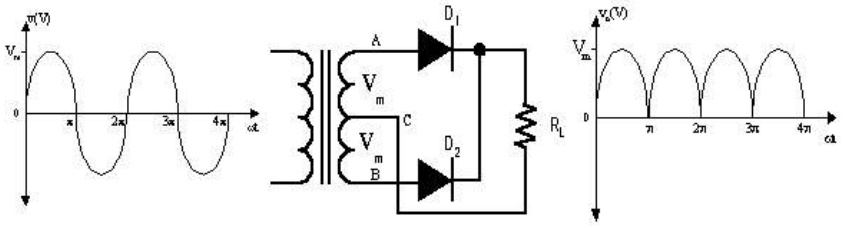
3 ค่ากระแสอาร์เอ็มเอส (I_{rms})

การหาค่ากระแสอาร์เอ็มเอสจะหาเหมือนกับค่า rms V จะได้

$$I_{rms} = \frac{I_m}{2} = 0.5I_m$$

2.3.2. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier Circuit)

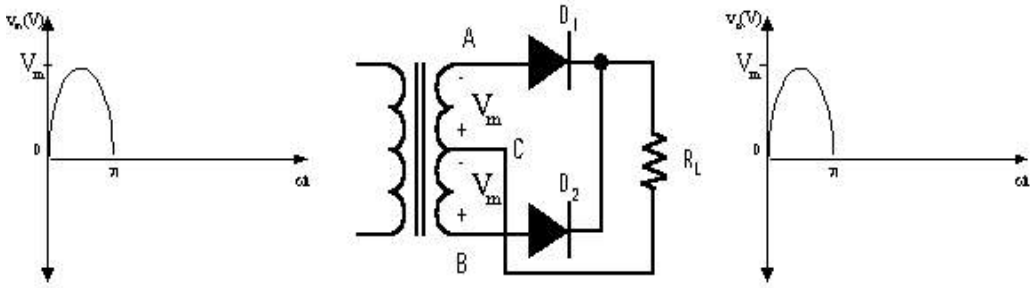
จากข้อเสียของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น สามารถแก้ไขปัญหาโดยการใช้วงจรที่เรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นวงจรเรียงกระแสแบบนี้จะใช้ไดโอดอย่างน้อย 2 ตัวต่ออยู่ในวงจรเพื่อว่าจะทำให้ไดโอดสามารถนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของกระแสสลับ ไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับโหลดความต้านทาน ตัวละครึ่งไซเคิลแต่ต้องจ่ายให้ทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายไฟกระแสตรงได้ตรงกว่าแบบครึ่งคลื่น



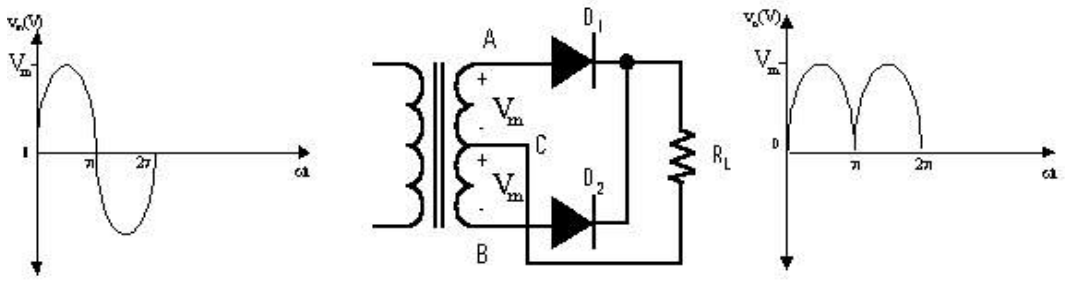
ภาพที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แทป

2.3.3.วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แทป (Center Tap Rectifier Circuit)

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้ามาทางปฐมภูมิของหม้อแปลง จะเกิดแรงดันขึ้นทางทุติยภูมิ คือขั้ว A และ B เนื่องจากจุด C เป็นจุดกึ่งกลางของทุติยภูมิ ดังนั้นแรงดันไฟครึ่งหนึ่งจึงเกิดขึ้นที่ขั้ว ACและอีกครึ่งหนึ่งจะปรากฏที่ขั้ว CB และแรงดันระหว่างปฐมภูมิและทุติยภูมิจะมีเฟส ตรงข้ามกัน คือ 180 องศาเมื่อแรงดันไฟในครึ่งไซเคิลแรก คือครึ่งไฟบวกเข้ามาที่อินพุตทางด้านปฐมภูมิศักดาไฟฟ้าที่จุด B จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับ A หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด A ดังนั้นไดโอด D_1 จะไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_2 จะนำกระแสได้ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ตามภาพที่ 2.10เมื่อแรงดันไฟในครึ่งไซเคิลต่อมา คือครึ่งไฟลบเข้ามาที่อินพุตทางด้านปฐมภูมิศักดา ไฟฟ้าที่จุด A จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับ B หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด Bดังนั้นไดโอด D_2 จะไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_1 จะนำกระแสได้ เกิดการไหลของกระแส ไฟฟ้าขึ้นในวงจร ตามภาพที่ 2.11 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะได้อีกครึ่งไซเกิลกระแสผ่านตัวต้านทาน R_L จะไหล ไปในทิศทางเดียวกับตอนแรก



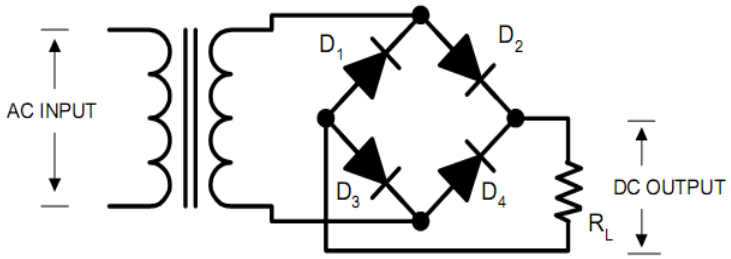
ภาพที่ 2.10 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกบวก



ภาพที่ 2.11 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซนเตอร์แทปเมื่ออินพุตเป็นซีกลบ

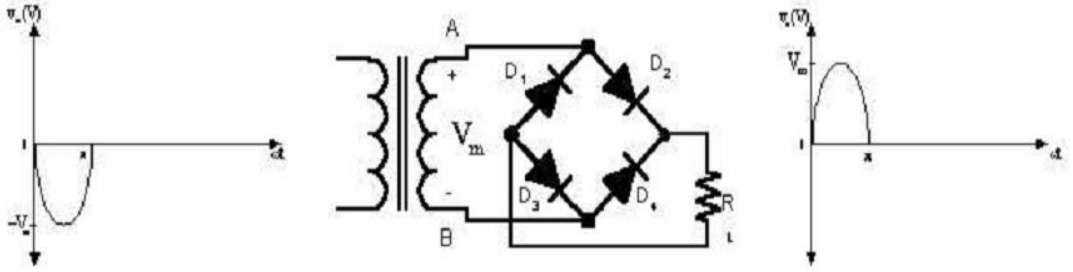
2.3.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave) อีกแบบหนึ่ง คือวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ แรงดันไฟสลับจะต่อเข้าที่ สองมุมของวงจรบริดจ์และเอาต์พุตจะถูกนำออกที่สองมุมที่เหลือ ดังในภาพที่2.12

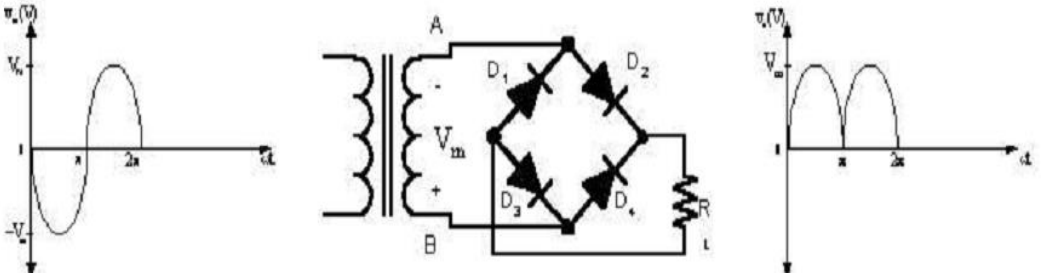


ภาพที่ 2.12 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอินพุตสมมุติว่าเมื่อขั้ว A ของทุติยภูมิมีค่าเป็นบวก และขั้วB มีค่า เป็นลบจึงเหมือนกับครึ่งไซเคิลลบถูกป้อนเข้าทางปฐมภูมิของหม้อแปลง ไดโอด D_2 และ D_3 จะอยู่ในลักษณะไบอัสตรงดังนั้นกระแสจึงไหลครบวงจรจากขั้ว A ผ่านไดโอด D_2 ความต้านทานโหลดและไดโอด D_3 แล้วกลับเข้าสู่ขั้ว B ของหม้อแปลง ดังภาพที่ 2.13 และเมื่อแรงดันไฟสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นขั้วบวก ที่ขั้ว B และเป็นลบที่ขั้ว A การนำกระแสของไดโอดจะเปลี่ยนไปโดยเริ่มจากจุด B ของทุติยภูมิ ผ่าน D_4 ความต้านทานโหลด และ D_1 กลับเข้าขั้ว A ของหม้อแปลง ทิศทางแรงดันตกคร่อมโหลดจะมีทิศทางเดียวกับตอนแรกคือ มีขั้วบวกอยู่ทางด้านบน ดังภาพที่ 2.13 ดังนั้นการนำกระแสไดโอดจะเกิดสลับกันทีละสองตัว D_2 กับ D_3 และ D_1 กับ D_4



ภาพที่ 2.13 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ



ภาพที่ 2.14 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก

2.3.5. ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

ในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะได้สัญญาณเอาต์พุตเพียงครึ่งไซเคิลแต่ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะได้สัญญาณเอาต์พุตทุกรูปคลื่นของสัญญาณอินพุต ดั้งนั้นค่าแรงดันหรือค่ากระแสย่อมได้มากกว่าแบบครึ่งคลื่น ซึ่งการคำนวณหาค่าโดยใช้สมการเดียวกันแต่จะให้ผลลัพธ์ดังนี้

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636V_m$$

$$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi} = 0.636I_m$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

2.3.6. แรงดันย้อนกลับ (Peak Inverse Voltage – PIV)

PIV เป็นค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ได้รับไบอัสกลับ ไดโอดที่ใช้จะต้องมีแรงดันพังทลาย (Breakdown) สูงกว่า PIV

PIV ของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น = V_m

PIV ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีเซนเตอร์แทป = $2V_m$

PIV ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ =V_m

2.3.7. ตัวประกอบค่าระรอก (Ripple Factor)

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสมีทั้งองค์ประกอบไฟตรงและองค์ประกอบไฟสลับ ค่าของไฟตรงหมายถึง ค่าเฉลี่ย ค่าไฟสลับเป็นเสมือนระลอกคลื่นที่แปรขึ้นลงรอบ ๆ ค่าเฉลี่ยนี้อัตราส่วนของค่าไฟสลับต่อไฟตรงเรียกว่า ตัวประกอบค่าระรอก และมีนิยามดังนี้

$$\text{ตัวประกอบค่าระรอก (r)} = \frac{\text{ค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบสลับ}}{\text{ค่าของส่วนประกอบกระแสตรง}}$$

$$= \frac{V_{(r)rms}}{V_{dc}}$$

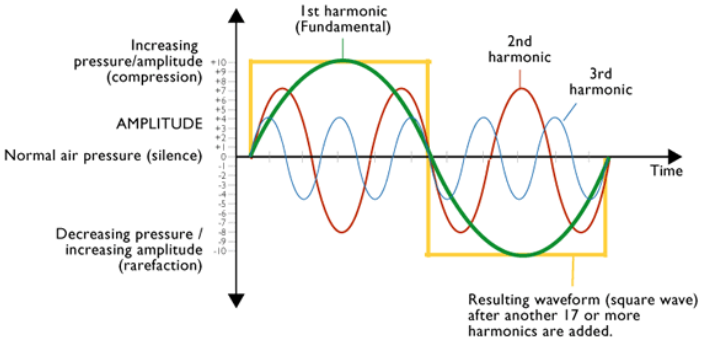
$$= \frac{I_{(r)rms}}{I_{dc}}$$

2.4 ฮาร์มอนิกส์

ในปัจจุบันการไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากในระบบไฟฟ้าและโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม ได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงกว่าเดิมในอดีต ซึ่งคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสและแรงดัน คือถ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยน ไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ อาจจะทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้ ซึ่งเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่ต้องมีการป้องกันและแก้ไขโดยสาเหตุหลักที่ทำให้กระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ มีสาเหตุเกิดจากฮาร์มอนิกส์ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งเนื่องจากปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์ มีการใช้อุปกรณ์สมัยใหม่เทคโนโลยีสูงที่ทำจากอุปกรณ์ทางด้านโซลิดสเตท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพและได้ปริมาณตามที่ต้องการและในอนาคตจะมีแนวโน้มการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-liner load) ซึ่งเป็น

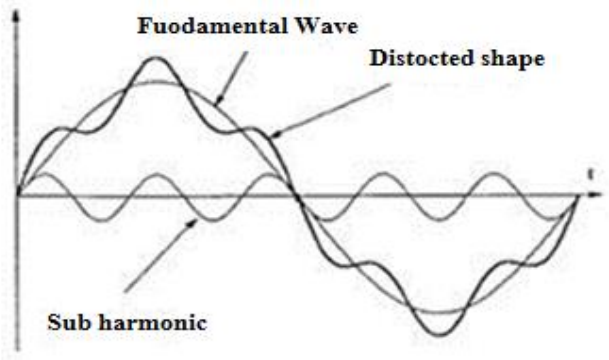
แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ เช่นคอนเวอร์เตอร์ (Convertor) ตัวเรียงกระแสกำลัง (Power Rectifier) และชุดขับเคลื่อนปรับความเร็ว (Adjustable-Speed Drive) เป็นต้นฯ

ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้า เรามีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150Hz และฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250Hz ฯ แสดงดังภาพที่2.15



ภาพที่ 2.15 ฮาร์มอนิกส์ที่ลำดับต่างๆ

และผลของฮาร์มอนิกส์เมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเพี้ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซด์มีรูปร่างผิดเพี้ยน

ในทางคณิตศาสตร์สามารถใช้อนุกรมฟูเรียร์อธิบายคุณลักษณะของฮาร์มอนิกส์ได้ โดยสัญญาณหรือฟังก์ชัน ที่เป็นคาบใดๆ

สามารถกระจายให้อยู่ในรูปผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติที่ความถี่ต่างๆเป็นฟังก์ชันคาบที่เขียนแทนด้วย f (t) ดังสมการ

$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}\left(a_n\cos\frac{n\pi x}{L}+b_n\sin\frac{n\pi x}{L}\right)$$

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

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

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

เมื่อ T คือ 1 คาบของสัญญาณและ n คือเลขจำนวนเต็มบวก n คือจำนวนเต็มบวก

2.4.1ปัญหาฮาร์มอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ปัญหาฮาร์มอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าดังนี้คือ

1. ผลของฮาร์มอนิกส์เรโซแนนซ์เกิดขึ้นในกรณีที่ความถี่เรโซแนนซ์ของระบบไปตรงกับความถี่ฮาร์มอนิกส์ทำให้เกิดการขยายขนาดของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกส์ เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแส และแรงดันเกินพิกัด

2. ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่ง ทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพ การส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกส์ทำให้ค่า rms ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น

3. ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ Triplen (ลำดับที่ 3, 6, 9...) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกส์กลุ่มนี้จะรวมกันกันไหลอยู่ในสายนิวทรัล อาจทำให้สายนิวทรัลหรือหม้อแปลงเสียหายได้หากไม่มีการออกแบบรองรับไว้

4. ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดและกำลังสูญเสียสเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการในรับโหลดของหม้อแปลงลดลงไป (derating) ผลของแรงดันฮาร์มอนิกส์ทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซีส (Hysteresis -Loss) เพิ่มขึ้น

5. ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเลคตริก (Dielectric Stress) กับตัวคาปาซิเตอร์และอาจทำให้ฟิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการใช้งานปกติ ผลของแรงดันฮาร์มอนิกส์ทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์และผลจากภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดขยายกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกส์ขนาดใหญ่ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย

ในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์มอนิกส์ คาปาซิเตอร์ที่ออกแบบสร้างจากผู้ผลิตได้กำหนดตามมาตรฐาน

6. ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ทำให้เกิดความร้อนในตัวฟิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเวลา-กระแส (Time-Current Characteristic) ของฟิวส์เปลี่ยนไป กรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นฟิวส์จะขาดก่อนในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่ฟิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุ จะเป็นเหตุมาจากฮาร์มอนิกส์ในกรณีที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นกัน

7. ผลของฮาร์มอนิกส์ทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงานของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน rms ส่วนการทำงานของรีเลย์ชนิด Digital ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จากการสุ่มตัวอย่าง และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ โดยลักษณะที่ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดดังนี้

- ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่า (Pickup Values) ที่สูง โดยปกติรีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงานด้วยค่าเริ่มต่ำๆ
- กรณีที่มีกระแสฮาร์มอนิกส์ Triplen มากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด
- ทำให้รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ที่ทำให้อิมพิแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าอิมพิแดนซ์ที่ทำการเซทติ้งที่ความถี่หลักมูล
- ทำให้รีเลย์สถิตแบบความถี่ต่ำ (Static Under frequency Relay) มีความไวกว่าปกติอาจทำให้เกิดการทริปผิดพลาด
- ทำให้รีเลย์กระแสและแรงดันเกิน (Over current and Overvoltage Relay) ทำงานผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้
- ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง

8. ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์มีผลกระทบต่อความสามารถใน การตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตซ์เกียร์ คือทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลา di/dt มีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้เมื่อมีฮาร์มอนิกส์ ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน

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

10. ผลของฮาร์มอนิกส์ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสารเช่นในระบบโทรศัพท์

2.4.2 การวัดฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า

การวัดค่า ฮาร์มอนิกส์ในที่นี้ มีจุดประสงค์เพื่อการสำรวจระดับความรุนแรงของ ฮาร์มอนิกส์ ณ จุดวัดว่าอยู่ในระดับใด จะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ หรือไม่ จะพิจารณาความรุนแรงได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้กับค่าจำกัดที่ระบุไว้ในข้อกำหนดหรือมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ ฮาร์มอนิกส์ประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรมที่จัดทำโดยคณะทำงานจากสามการไฟฟ้า (กฟผ. กฟน. และ กฟภ.) หรือ มาตรฐาน IEEE-519 หรือEngineering Recommendation G 5/3 เป็นต้นอย่างไรก็ตามสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ ต้องทราบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นถูกต้อง เพียงพอสำหรับการนำไปประเมินระดับของความรุนแรง

1. หลักการวัดฮาร์มอนิกส์

วงจรสำหรับวัดกระแส ฮาร์มอนิกส์ ทั่วไปแล้วจะใช้ต่อกับ หม้อแปลงกระแส(Current transformer; CT) ในกรณีที่จุดวัดเป็นวงจรที่มีกำลังไฟฟ้าไม่สูงนักจะใช้ CT ที่เป็นชนิด คล้องกับสายไฟได้เลย ส่วนกรณีที่เป็นระดับแรงดันสูง จะต้องทำการวัดผ่าน CT อาจต้องใช้ ตัวแปลงสัญญาณ (transducer) ทำการปรับระดับกระแสให้เหมาะสมกับเครื่องวัด เนื่องจาก CTเป็นหม้อแปลงประเภท ที่ใช้การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic) เช่นเดียวกันจึงต้องพิจารณาเรื่องความแม่นยำของลำดับต่างๆด้วย

ซึ่งจากโครงสร้างของ CT จะสามารถครอบคลุมได้ถึง 2 kHz ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลต่อการตอบสนองทางความถี่มากนัก อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของ CT จะมีผลกระทบต่อมุมเฟส (phase angle) มากกว่าขนาดของกระแส ฮาร์มอนิกส์ ซึ่งบางครั้งก็เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น การตรวจสอบทิศทางการไหลของกระแส ฮาร์มอนิกส์ เป็นต้น

2. หลักการวัดแรงดัน ฮาร์มอนิกส์

โดยทั่วไปแล้วเครื่องวัดจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในระดับแรงดันต่ำเท่านั้น ดังนั้นถ้าเป็นการวัดแรงดัน ฮาร์มอนิกส์ ที่ระดับแรงดันดังกล่าว ก็สามารถที่จะต่อวงจรวัดแรงดัน ระหว่างจุดวัด(bus bar) กับเครื่องวัดได้โดยตรง ในกรณีวัดที่ระดับแรงดันสูงขึ้น จะต้องต่อวงจรผ่านหม้อแปลงแรงดัน (potential transformer ; PT) เพื่อปรับระดับ แรงดัน ให้เหมาะสมกับเครื่องวัด สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือ การตอบสนองทางความถี่ของ PT ต้องดีและครอบคลุมเพียงพอสำหรับย่านความถี่ของแรงดัน ฮาร์มอนิกส์ อันดับต่างๆ ที่ต้องการจะวัด ถ้าหากการตอบสนองทางความถี่ดังกล่าว มีความแม่นยำต่ำเกินไป ก็จะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง โดยทั่วไปแล้ว PT ที่เป็น ชนิดที่ใช้การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic) จะมีอิทธิพลจากโครงสร้างภายในของ PT ต่อการตอบสนอง จึงไม่สามารถสรุปในภาพรวมได้ จึงควรกำหนดลำดับ ที่ไม่สูงมากนัก เช่นที่ลำดับ 1-13 เป็นต้น และทดสอบให้แน่ใจก่อน

ในกรณีที่ระดับแรงดันสูงมากตั้งแต่ 69 kVขึ้นไป หม้อแปลงแรงดันส่วนใหญ่จะเป็นประเภท CVT (capacitor voltage transformer) แต่เนื่องจากคุณลักษณะของ CVT นั้นถูกออกแบบมาให้มีการตอบสนองกับความถี่ได้ดีเฉพาะที่ความถี่หลักของระบบไฟฟ้า (fundamental frequency) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำ CVT มาใช้สำหรับวัดแรงดัน ฮาร์มอนิกส์ นอกจากจะทราบวิธีชดเชยค่าผิดเพี้ยนทางความถี่ดังกล่าว (compensation method)

3. ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion Factor): DF, ตัวประกอบฮาร์มอนิกส์ (Harmonic Factor): HF, ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ทั้งหมด (Total Harmonic Distortion); THD ความหมายทั้งสามตัวนั้น มาตรฐาน IEEได้ให้ความหมายไว้เหมือนกันกล่าวคือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์มอนิกส์ที่มีอยู่โดยทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของส่วนประกอบหลังของความถี่หลักมูล

วงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวที่มีตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดัน วงจรนี้เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเนื่องจากความเรียบง่ายของวงจร, ความทนทานและมีต้นทุนต่ำ มันมักจะถูกใช้เป็นวงจรจ่ายไฟภาคต้นสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าเฟสเดียว เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, เครื่องเชื่อมไฟฟ้า, โทรทัศน์ พรินเตอร์, บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกส์ กับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกออกเป็น ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์รวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกส์รวม

ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกส์รวม(Total Harmonic Distortion; THD_I)

$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I^2_h}}{I_{1(rms)}} \times 100\%$$

ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกส์รวม(Total Harmonic Distortion; THD_V)

$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V^2_h}}{V_{1(rms)}} \times 100\%$$

V_h (rms): ค่า rms ของแรงดันฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ h

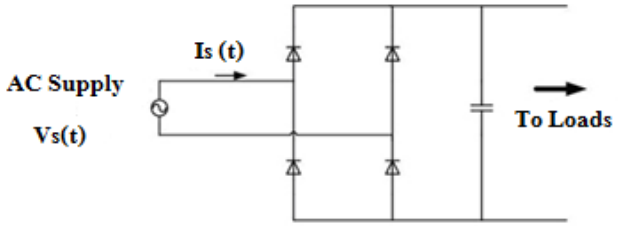
I_h (rms) : ค่า rms ของกระแสฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ h

V_1 (rms) : ค่า rms ของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

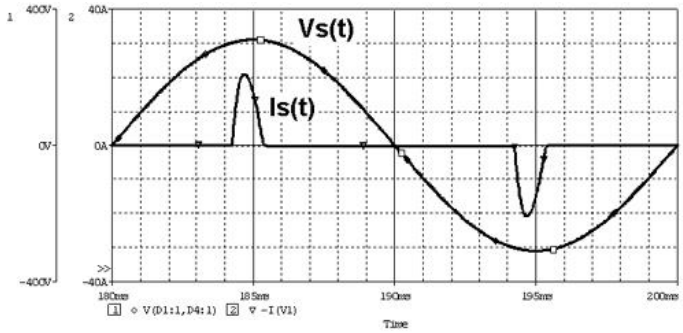
I_1 (rms) : ค่า rms ของกระแสที่ความถี่หลักมูล

2.4.3 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์

เนื่องจากวงจรด้านออกของวงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวที่มีตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดันนี้เป็นโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Loads) ดังนั้นกระแสไฟสลับด้านเข้าของวงจรก็จะไม่ใช่รูปไซน์ดังเช่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า แต่จะกลายเป็นรูปพัลส์แคบ ๆ เนื่องจากการนำกระแสของไดโอดจะมีการนำกระแสเป็นบางช่วงและเป็นเวลาสั้น ๆ เท่านั้น (ช่วงที่แรงดันด้านเข้ามีค่าใกล้ค่ายอดของรูปไซน์) ดังภาพที่ 2.18



ภาพ**ที่ 2.17** วงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวที่มีตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดัน



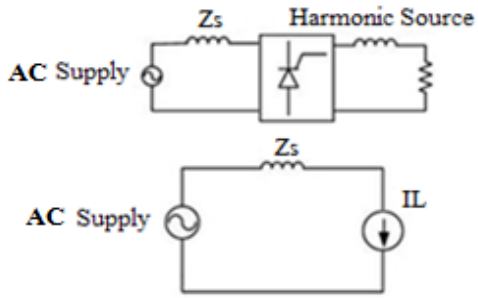
ภาพ**ที่ 2.18** กระแสและแรงดันด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดัน

ฮาร์มอนิกส์อันเนื่องมาจากวงจรเรียงกระแสที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น สามารถจำแนกได้เป็นสองชนิดคือ แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแส (Harmonic Current Sources) และแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งแรงดัน (Harmonic Voltage Sources)

1. แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแส (Harmonic Current Sources)

วงจรที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแสได้แก่วงจรเรียงกระแสที่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นวงจรกรองด้านออกนั่นเอง เนื่องจากวงจรนี้มีกระแสฮาร์มอนิกส์ที่แทบจะไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ดังนั้นเราจึงเรียกว่าเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแส

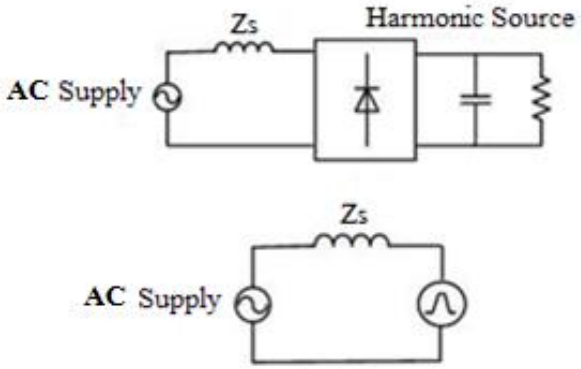
วงจรนี้จะต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงเพียงพอที่จะทำให้กระแสด้านออกมีค่าคงตัวหรือเกือบจะคงตัว ภาพที่ 2.19 แสดงวงจรสมมูลของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแส



ภาพ**ที่ 2.19** วงจรสมมูลของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งกระแส

2. แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งแรงดัน (Harmonic Voltage Sources)

วงจรที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งแรงดันได้แก่วงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรองด้านออก นั่นเอง แอมพลิจูดของกระแสฮาร์มอนิกส์ของวงจรชนิดนี้จะค่อนข้างขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับด้วย ดังนั้นเราจึงพิจารณาให้มันเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งแรงดัน



ภาพ**ที่ 2.20** วงจรสมมูลของแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งแรงดัน

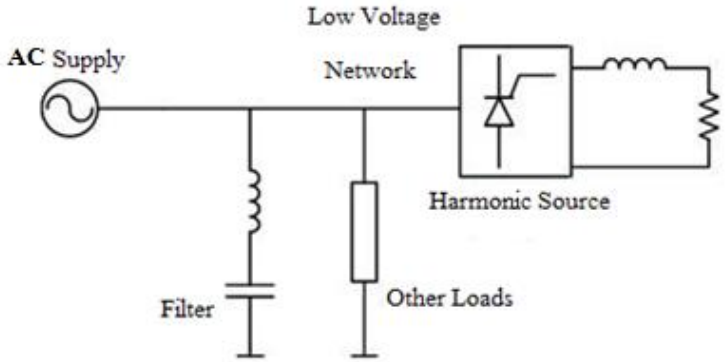
2.4.4 ผลของฮาร์มอนิกส์และการลดผลของฮาร์มอนิกส์

การที่เกิดฮาร์มอนิกส์ขึ้นมาในระบบนี้จะก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นมานี้อาจจะไปเรโซแนนซ์กับตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ตัวประกอบกำลังภายใต้ระบบไฟฟ้าแรงต่ำระบบเดียวกันก็เป็นได้ ผลที่ตามมาก็คือเกิดกระแสค่าสูงไหลผ่านตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ตัวประกอบกำลังนั้น และย่อมทำให้เกิดความร้อนสะสม และเกิดปัญหาการชำรุดเสียหายของตัวเก็บประจุนั้นตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

การแก้ปัญหาหรือการลดผลของฮาร์มอนิกส์แบ่งออกเป็นสองวิธีคือการใช้วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟและ วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบแอกทีฟ

2.4.5 วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ (Passive Filers)

วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ เป็นวิธีการแก้ปัญหาอันเนื่องมาจากฮาร์มอนิกส์ที่นิยมอันเนื่องมาจากความง่ายของวงจรและมีความทนทาน ดังภาพที่ 2.21



ภาพ**ที่ 2.21** วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ

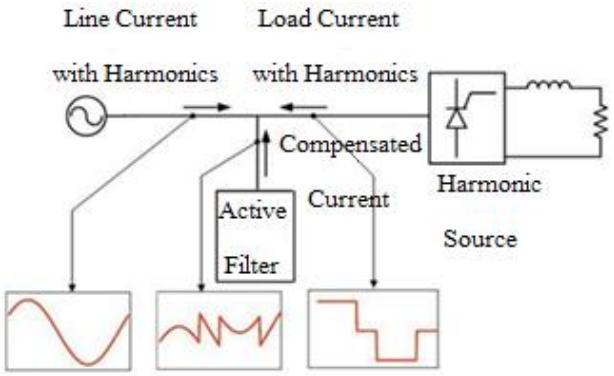
โครงสร้างของวงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ ก็คือวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมนั่นเอง โดยเราจะออกแบบให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับความถี่ของฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นฮาร์มอนิกส์จะมองเห็นวงจรกรองนี้มีอิมพีแดนซ์ต่ำสุดสำหรับมัน และจะทำให้เกิดกระแสที่ความถี่ฮาร์มอนิกส์ไหลผ่านวงจรกรองนี้เป็นจำนวนมาก ซึ่งกระแสนี้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น และนี่ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้มันมีโอกาสเกิดกระแสไหลเกินหรือโอเวอร์โหลดได้สูง เพราะถ้าเกิดมีการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมระบบของโรงงาน (เช่น การเพิ่มระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟสลับ) จะทำให้กระแสฮาร์มอนิกส์ก็จะเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดกระแสไหลผ่านวงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ได้ออกแบบไว้ได้ หรือพูดง่าย ๆ คือเราจำเป็นต้องรู้รายละเอียดของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่จะต้องไปกรองฮาร์มอนิกส์เป็นอย่างดี

วงจรกรองแบบพาสซีฟ จะให้หรือกำเนิดค่ากำลังไฟฟ้า Reactive จำนวนหนึ่งเสมอ ซึ่งนี่เป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา เพราะถ้าหากโหลดที่เราต้องไปชดเชยคือโหลดระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟสลับที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของงานอุตสาหกรรม ที่มีค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าที่ดีอยู่แล้ว ในกรณีนี้จะเสี่ยงต่อสิ่งที่เรียกว่าการชดเชยเกิน (Over Compensation)

นอกจากนี้ความสามารถในการกรองของวงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองกับอิมพีแดนซ์อื่น ๆ ในระบบ (ลักษณะเดียวกับวงจรแบ่งกระแส) ดังนั้นเราไม่สามารถควบคุมระดับการกรองของมันได้ และความถี่ของการกรองฮาร์มอนิกส์ก็อาจจะเปลี่ยนแปลงได้อันเนื่องมาจากการเสื่อมของอุปกรณ์เมื่อเวลาผ่านไป

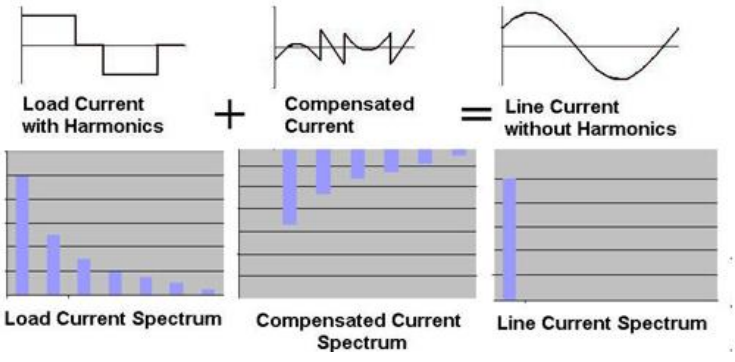
2.4.6 วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบแอกทีฟ

วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบแอกทีฟ ที่แท้จริงแล้วคือวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่แทนวงจรกรองแบบพาสซีฟ โดยที่มันไม่มีข้อเสียทั้งหลายดังเช่นวงจรกรองแบบพาสซีฟ



ภาพ**ที่ 2.22** วงจรกรองฮาร์มอนิกส์แบบแอกทีฟ

โดยโครงสร้างและหลักการทำงานแล้ว มันจะมีความแตกต่างจากวงจรกรองแบบพาสซีฟเป็นอย่างมาก จากภาพที่ 2.22 วงจรกรองแบบแอกทีฟจะทำการวัดกระแสฮาร์มอนิกส์ของระบบ และหลังจากนั้นมันจะกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่และขนาดเท่ากับที่วัดได้แต่ว่ามีทิศทางตรงกันข้าม และฉีดหรือจ่ายเข้าระบบ ดังนั้นกระแสฮาร์มอนิกส์ที่โหลดสร้างขึ้นจะถูกหักล้างด้วยกระแสฮาร์มอนิกส์ที่วงจรกรองแบบแอกทีฟสร้างขึ้นมาทำให้กระแสไลน์จากระบบไฟสลับจะกลายเป็นกระแสที่ปราศจากฮาร์มอนิกส์นั่นเอง ดังภาพที่ 2.23

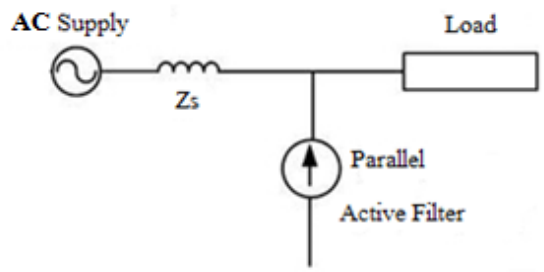


ภาพ**ที่ 2.23** หลักการทำงานของวงจรกรองแบบแอกทีฟ

2.4.7 ชนิดของวงจรกรองแบบแอกทีฟ

1. วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดขนาน (Parallel Active Filters)

วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดขนานจะต่อวงจรในลักษณะที่ขนานกับโหลดที่ต้องการจะกำจัดฮาร์มอนิกส์ โดยมันจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสฮาร์มอนิกส์ที่โหลดสร้างขึ้นมานั่นเอง

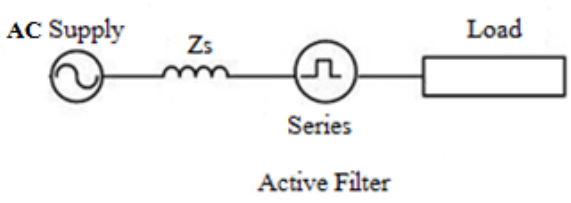


ภาพ**ที่ 2.24** วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดขนาน

วงจรแบบนี้เหมาะกับแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์แบบกระแส หรือวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นวงจรกรองหรือเป็นโหลดนั่นเอง เช่น วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสที่ใช้ไทริสเตอร์ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรง โดยที่ถ้าหากแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์แบบเป็นแหล่งกระแสจะทำให้การทำงานของมันเป็นอิสระจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ถ้าหากใช้วงจรแบบนี้กับโหลดประเภทที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์แบบแหล่งจ่ายแรงดันก็อาจจะมีโอกาสเกิดกรณีกระแสเกินได้

2. วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดอนุกรม **(Series Active Filters)**

วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดอนุกรมจะต่อวงจรในลักษณะอนุกรมกับโหลดที่ต้องการจะกำจัดฮาร์มอนิกส์และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อที่จะบังคับให้กระแสให้เป็นรูปไซน์ โดยมันจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันนั่นเอง



ภาพ**ที่ 2.25** วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดอนุกรม

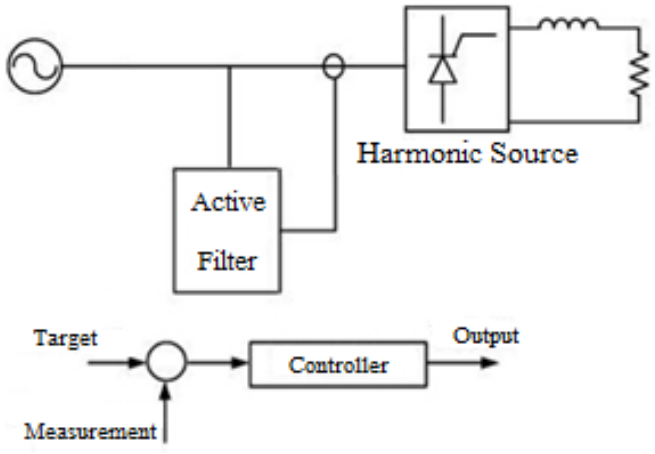
การทำงานของมันจะใช้หลักการแยกฮาร์มอนิกส์ (Harmonics Isolation) โดยการควบคุมแรงดันด้านออกของ วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดอนุกรมหรือพูดง่ายๆว่า วงจรกรองแบบแอกทีฟชนิดอนุกรมจะทำตัวเองให้มีอิมพีแดนซ์สูงสำหรับกระแสฮาร์มอนิกส์ ดังนั้นกระแสฮาร์มอนิกส์ก็ไม่สามารถจะไหลจากโหลด (ซึ่งก็คือแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์) ไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ และในทำนองกลับกันกระแสฮาร์มอนิกส์ก็ไม่สามารถจะไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังโหลด (ซึ่งก็คือแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์) ได้

วงจรแบบนี้เหมาะกับแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์แบบแรงดัน หรือวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรองแรงดันนั่นเอง เช่น วงจรเรียงกระแสแบบที่ใช้ไดโอดในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟสลับ โดยที่ถ้าหากแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์แบบเป็นแหล่งแรงดัน จะทำให้การทำงานของมันเป็นอิสระจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

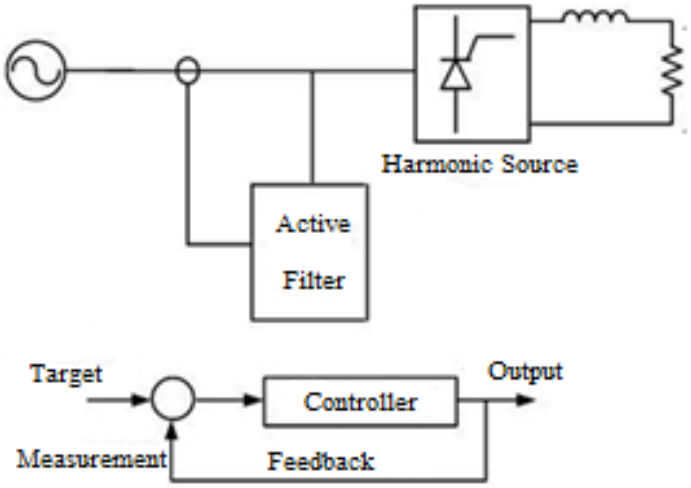
อย่างไรก็ดีในกรณีที่นำวงจรนี้ไปใช้กับแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์แบบเป็นแหล่งกระแส เราจำเป็นที่ต้องเพิ่มกิ่งวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำมาขนานกับมัน เช่นวงจรกรองแบบ พาสซีฟ(Passive) หรือ ตัวเก็บประจุที่ใช้แก้ค่าตัวประกอบกำลัง เพื่อให้มันทำงานได้ดี

3. การควบคุมวงจรกรองแบบแอกทีฟ

การควบคุมวงจรกรองแบบแอกทีฟจะมี 2 แบบ คือการควบคุมแบบวงรอบเปิด (Open Loop Control) และการควบคุมแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) ดังภาพที่ 2.26 และภาพที่ 2.27 ตามลำดับ



ภาพ**ที่ 2.26** การควบคุมวงจรกรองแบบแอกทีฟแบบวงรอบเปิด (Open Loop)



ภาพ**ที่ 2.27** การควบคุมวงจรกรองแบบแอกทีฟแบบวงรอบปิด (Closed Loop)

การควบคุมวงรอบเปิดนั้นจะทำการวัดกระแสฮาร์มอนิกส์ด้านโหลด และทำการคำนวณกระแสที่จะต้องสร้างขึ้นมาชดเชยเพื่อที่จะฉีดหรือจ่ายกระแสเข้าสู่ระบบ ซึ่งจะมีข้อดีที่ระบบควบคุมจะง่ายกว่า ในขณะที่การควบคุมวงรอบปิดนั้นจะทำการวัดกระแสฮาร์มอนิกส์ด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และทำการคำนวณกระแสที่จะต้องสร้างขึ้นมาชดเชยเพื่อที่จะฉีดหรือจ่ายเข้าสู่ระบบ ดังนั้นการควบคุมแบบวงรอบปิดนี้จะควบคุมผลของการกรองฮาร์มอนิกส์โดยตรง ซึ่งมีข้อดีที่การควบคุมจะกระทำได้แม่นยำกว่า แต่อย่างไรก็ตามระบบควบคุมก็จะมีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนมากกว่า

2.5 มาตรฐานฮาร์มอนิกส์ IEC 61000-3-2 Ed 3 2005 [2]

มาตรฐานฮาร์มอนิกส์มีการพัฒนา โดยมาตรฐาน IEEE และ IEC โดยสามารถดึงดูดความสนใจได้มากในระดับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มาตรฐาน IEC 61000-3-2 ที่ได้รับความสนใจมากในหลายประเทศทั่วโลก เพราะปัจจุบันทั่วโลก ได้ตระหนักถึงสาเหตุและผลกระทบฮาร์มอนิกส์มากขึ้น จึงได้มีการกำหนดนี้ขึ้นมา

2.5.1 การจัดประเภทของอุปกรณ์

อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถจัดกลุ่มได้เป็นหนึ่งใน 4 ระดับตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้เป็นประเมินโดยกรรมการ IEC

- จำนวนชิ้นของอุปกรณ์ในการใช้งาน (ความถี่ ระดับเสียง จะถูกใช้โดยผู้บริโภค
- ระยะเวลาที่ใช้ (จำนวนชั่วโมงในการทำงาน)
- การใช้งานพร้อมกัน (เป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกันที่ใช้ในเวลาเดียวกัน)
- การใช้พลังงาน
- คลื่นความถี่ฮาร์โมนิกส์รวมทั้งระยะ

หลังจากที่ทั้งหมดที่อยู่ในเงื่อนไขดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่นำมาประกอบการพิจารณาจัดอยู่ในประเภทดังต่อไปนี้

Class A - อุปกรณ์สามเฟส
- เครื่องใช้ในครัวเรือน, อุปกรณ์ไม่รวมที่ระบุโดย Class D
- อุปกรณ์หรี่แสงของโคมไฟฟ้าที่ใช้หลอดไส้
- อุปกรณ์เครื่องเสียง
- อุปกรณ์อื่น ๆ ทุกอย่างที่ไม่จัดเป็น Class B, C หรือ D

Class B - เครื่องมือแบบพกพา
- อุปกรณ์เชื่อมอาร์ค

Class C - อุปกรณ์ให้แสงสว่าง

Class D - คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและตรวจสอบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- เครื่องรับโทรทัศน์

หมายเหตุ : อุปกรณ์ต้องมี 75W ระดับพลังงานสูงสุดและไม่เกิน 600W

2.5.2 วิธีการวัดและประเมินผล

วิธีการวัดได้ผ่านไปยังกระบวนการวิวัฒนาการ อุปกรณ์การวัดที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างคงที่ได้ง่ายขึ้นเป็นฮาร์มอนิกส์สเปกตรัมปัจจุบันยังคงความไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างและระยะตลอดระยะเวลาการทดสอบ อย่างไรก็ตาม ถ้าระดับพลังงานแตกต่างกันไปตามระยะเวลาการทดสอบ การวัดจะกลายเป็นความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น มาตรฐานนี้จะเข้าสู่รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการหนึ่งที่ดี การทดสอบการปฏิบัติตามมาตรฐานนี้ซึ่งการวัดกระแสฮาร์มอนิกส์ ขึ้นอยู่กับตารางที่กล่าวไว้นี้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกระดับ ฮาร์มอนิกส์ในแต่ละ Class

Harmonics [n]	Class A [A]	Class B [A]	Class C [% of fund]	Class D [mA/W]
		Odd harmonics		
3	2.30	3.45	30 x λ	3.4
5	1.14	1.71	10	1.9
7	0.77	1.155	7	1.0
9	0.40	0.60	5	0.5
11	0.33	0.495	3	0.35
13	0.21	0.315	3	3.85/13
15 ≤n ≤39	0.15 x 15/n	0.225 X 15/n	3	3.85/n
		Even harmonics		
2	1.08	1.62	2	-
4	0.43	0.645	-	-
6	0.30	0.45	-	-
8 ≤n ≤40	0.23 x 8/n	0.345 x 8/n	-	-

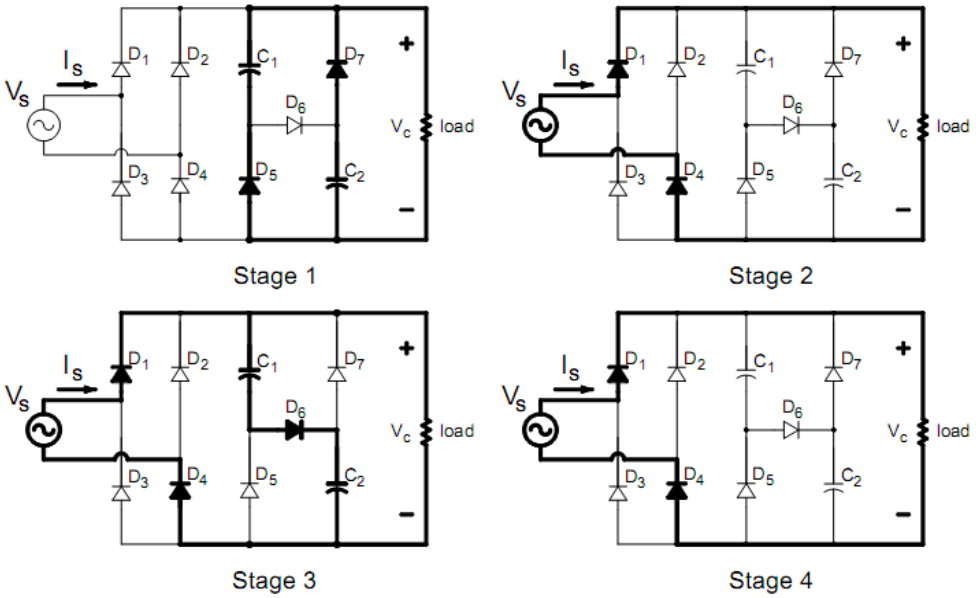
หมายเหตุ λ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor)

2.6 วงจรวาลเลย์ฟิล (Valley Fill) [3]

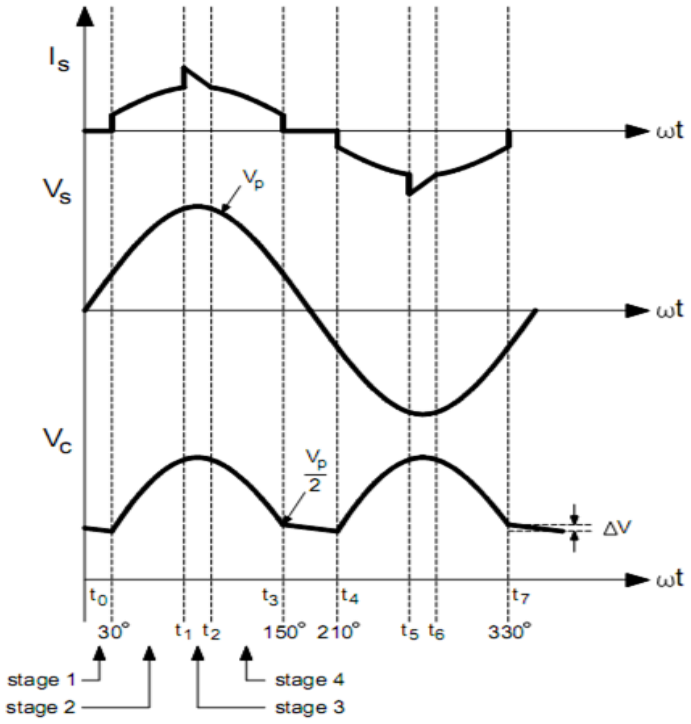
วงจรวาลเลย์ฟิลเป็นวงจรกรองแบบพาสซีฟชนิดหนึ่งเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน โดยประกอบด้วยตัวเก็บประจุสองตัว ไดโอดสามตัว จะทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลังซึ่งสอดคล้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพของฮาร์มอนิกส์ โดยสัญญาณรูปคลื่นที่ออกจากวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (ประมาณ 0.4~0.6) มีฮาร์มอนิกส์และกระแสกระเพื่อมสูง หากต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณทำได้โดยการต่อวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

สภาวะการทำงาน

จะแบ่งเป็น4สภาวะการทำงาน ดังภาพที่ 2.28 เป็นสภาวะการทำงานวงจรวาลเลย์ฟิล



ภาพที่ 2.28 สภาวะการทำงานวงจรวาลเลย์ฟิล



ภาพที่ 2.29 สัญญาณวงจรวาลเลย์ฟิล

สภาวะที่หนึ่ง เมื่อแรงดันไลน์อินพุตต่ำกว่าแรงดันตัวเก็บประจุแต่ละตัว ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะขนานกันผ่านทาง D_5 และ D_7 โดย C_1 เท่ากับ C_2 ผลรวมประจุเท่ากับ C_T หรือ $2C_1$

สภาวะที่สอง เป็นช่วงที่แตกต่างจากวงจรเรียงกระแสทั่วไป เมื่อแรงดันไลน์ อินพุตสูงเกินกว่าแรงดันโหลด D_5 และ D_7 จะถูกไบอัสกลับทำให้กระแสโหลดถูกดึงโดยตรงจากแรงดันไลน์เกิดการลดทอนกระแสหลักที่เป็นกึ่งไซน์ทำให้รูปคลื่นกระแสมีเฟสใกล้เคียงรูปคลื่นแรงดันเป็นผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง

สภาวะที่สาม เมื่อ D_6 เริ่มทำงานแรงดันอินพุตจะเกินผลรวมของแรงดันคร่อม C_1 และ C_2 ทำให้กระแสในสภาวะนี้เกิดเป็นยอดแหลม เหมือนกับวงจรเรียงกระแสทั่วไป และสภาวะที่สี่จะทำงานเหมือนกับสภาวะที่หนึ่ง

สภาวะที่สี่ จะมีการทำงานเหมือนกับสภาวะที่สอง

2.7 คอนเวอร์เตอร์

Converter หรือ chopper เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า DC จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ให้ได้แรงดันเอาท์พุท DC ที่สามารถปรับค่าได้ตามที่ต้องการ โดยใช้หลักการ ON และ OFF อิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์ หรือ chopping DC voltage โดยทั่วไปจะนำไปใช้ในงานต่อไปนี้ รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจาก battery รถ forklift hoist ในเรือสินค้า DC voltage regulator ประสิทธิภาพสูง เป็นต้น

2.7.1 การ ON และ OFF อิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์มีวิธีการ 2 แบบ

1. แบบ Constant – frequency เป็นวงจร chopper ที่ควบคุมให้ time period (T) คงที่ แล้วปรับเวลา ON time (T_{ON}) การควบคุมในลักษณะนี้เรียกว่า pulse–width–modulation (PWM)

2. แบบ Variable - frequency เป็นวงจร chopper ที่ปรับ time period โดยการปรับON time หรือ OFF time ($T - T_{ON}$) การควบคุมแบบนี้เรียกว่า frequency-modulation แต่เนื่องจากการควบคุมในลักษณะนี้ความถี่มีการเปลี่ยนแปลงในย่านกว้างทำให้ยากในการ filter

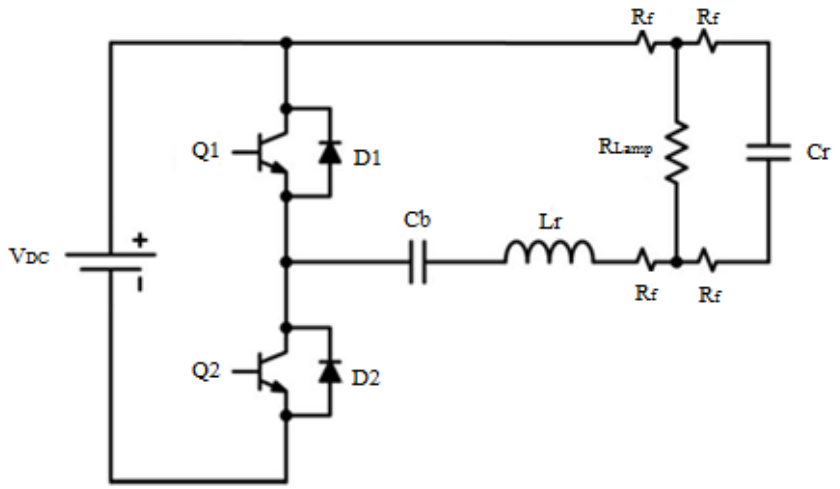
2.7.2 อิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์ที่ใช้ในวงจรมีอยู่ 2 แบบ

1. แบบที่ทำให้กระแสหยุดไหลด้วยการบีบบังคับ (forced commutation) คือ SCR จะนำมาใช้ในงานความถี่ต่ำ

2. แบบที่ทำให้กระแสหยุดไหลได้ด้วยตัวเอง (self-commutation) คือ Power Transistor Power MOSFET GTO และ IGBT จะนำมาใช้ในงานความถี่สูง

2.7.3 วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้าเรโซแนนซ์แบบกึ่งบริดจ์สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เป็นวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมแบบโหลดต่อขนานกับตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่สุด เนื่องจากสามารถสร้างแรงดันสูงเพื่อจุดหลอดในตอนแรกและลดแรงดันลงเพื่อควบคุมกระแสเมื่อหลอดติดแล้วได้



ภาพที่ 2.30 วงจรแปรผันกาลังไฟฟ้าเรโซแนนซ์อนุกรมโหลดขนานแบบกึ่งบริดจ์

หมายเหตุ Rf คือความต้านทานของแคโทด

2.7.4 อุปกรณ์สวิตช์

ในอุปกรสวิตช์ในวงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือ ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต และ IGBT ในวงจรบัลลาตส์ที่ใช้จะเป็นทรานซิสเตอร์ ดังนั้นผู้จัดทำจะขอนำเสนอแต่ทรานซิสเตอร์เพียงอย่างเดียว

1. ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดัคเตอร์ชนิดไบโพล่าร์ ซึ่งความหมายของไบโพล่าร์คือ อุปกรณ์หลายขั้วต่อ ทรานซิสเตอร์ได้จากการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาต่อเรียงกัน

การแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งออกได้หลายวิธีแล้วแต่ผู้ผลิตว่าการแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์จะยึดถือรูปลักษณ์แบบไหน ถ้าแบ่งในรูปของการใช้งานก็จะแบ่งออกเป็น ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่สวิตชิ่ง ทรานซิสเตอร์กำลัง ทรานซิสเตอร์ความถี่สูง ฯลฯ การแบ่งอีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันมากในยุคแรกๆ คือ การแบ่งโดยใช้สารที่นำมาสร้างเป็นเกณฑ์ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

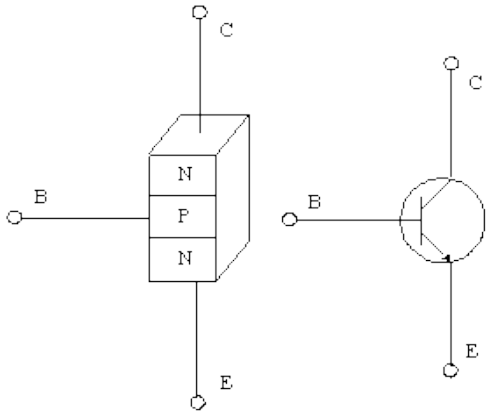
- เยอรมันเนียมทรานซิสเตอร์ (Germanium transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ยุคแรกๆ และเป็นชนิดที่มีกระแสรั่วไหลมากจึงไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้

- ซิลิกอนทรานซิสเตอร์ (Silicon Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีกระแสรั่วไหลน้อย (Leakage Current) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้กันมากในยุคปัจจุบัน

เนื่องจากทรานซิสเตอร์ถูกสร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) และเอ็น (N) ซึ่งนำมาต่อกัน 3 ชิ้น ทำให้เกิดรอยต่อขึ้นระหว่างเนื้อสาร 2 รอยต่อ (Junction) โดยที่สารที่อยู่ตรงกลางจะเป็นคนละชนิดกับสารที่อยู่หัวและท้าย มีขาต่อออกมาสำหรับนำไปใช้งาน 3 ขา ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามโครงสร้างของสารที่นำมาใช้ 2 ชนิดคือ

- ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

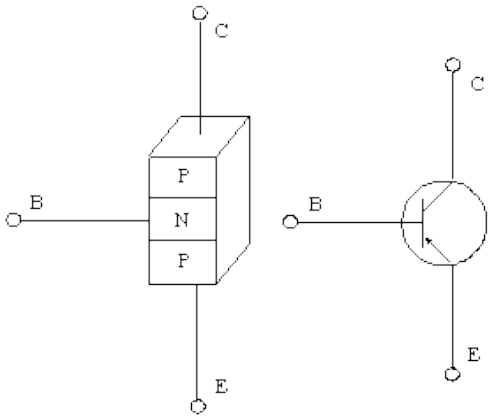
เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด N ชนิด P และชนิด N มาต่อเรียงกันตามลำดับ แล้วต่อสายออกมา 3 สาย เพื่อเป็นขาต่อกับวงจรสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งอยู่ตรงกลางจะเป็นจุดร่วม สารกึ่งตัวนำชนิด N จะทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนซึ่งจะไหลเป็นกระแสในวงจรส่วนนี้เราเรียกว่า อิมิตเตอร์ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งเราเรียกว่าเบสส่วนเบสนี้จะเป็นตัวคอยควบคุมอิเล็กตรอนให้ไหลไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ถัดไปได้มากหรือน้อยอิเล็กตรอนส่วนที่ผ่านเบสมาก็จะเคลื่อนที่มายังสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งเราเรียกว่า คอลเลคเตอร์ และกลายเป็นกระแสไหลในวงจรภายนอกต่อไป



ภาพที่ 2.31 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

- ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

คือทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี ชนิดเอ็น และชนิดพี มาเรียงกันตามลำดับแล้วต่อสายจากแต่ละชิ้นส่วนออกมาเป็น 3 สายเพื่อต่อกับวงจรสารกึ่งตัวนำเอ็นจะเป็นจุดร่วม



ภาพที่ 2.32 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ขาของทรานซิสเตอร์

1. ขาคอลเลคเตอร์ (Collector) เรียกย่อๆ ว่าขา C เป็นขาที่มีโครงสร้างในการโด๊ปสารใหญ่ที่สุด

2. ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) เรียกย่อๆ ว่าขา E เป็นขาที่มีโครงสร้างใหญ่รองลงมาและจะอยู่คนละด้านกับขาคอลเลคเตอร์

3. ขาเบส (Base) เรียกย่อๆ ว่าขา B เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่าง C และ E มีพื้นที่ของโครงสร้างแคบที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ส่วน เมื่อจำแนกลักษณะการต่อตัวทรานซิสเตอร์จึงคล้ายกับการนำเอาไดโอด 2 ตัวมาต่อกัน

การทำงานของทรานซิสเตอร์

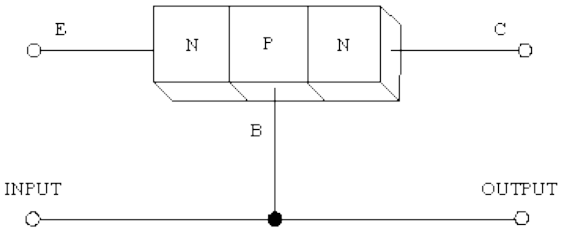
จากการศึกษาเกี่ยวกับการไหลของกระแสภายในวงจรสารกึ่งตัวนำ การที่เราจะทำให้เกิดการไหลของกระแสหรือให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้นั้น จำเป็นจะต้องให้ไบอัสและกระแสที่ปรากฏทางด้านเอาท์พุทเราต้องสามารถควบคุมค่าของกระแสได้ด้วยจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณได้ตามความต้องการ

การอธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์จำเป็นจะต้องเข้าใจการไหลในรูปของโฮลและอิเล็กตรอน รวมถึงการไบอัสด้วยซึ่งการไบอัสเป็นวิธีการที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์พร้อมที่จะทำงานนั่นเอง ในกรณีของทรานซิสเตอร์มี3 ขา การป้องกันแรงเคลื่อนที่เหมาะสมหรือไบอัสที่ถูกต้องจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของทรานซิสเตอร์แล้วจะสามารถจัดรูปแบบการขยายสัญญาณ โดยต้องมีอินพุทและเอาท์พุท เมื่อให้ขาหนึ่งเป็นอินพุทขาหนึ่งเป็นเอาท์พุท ขาที่เหลือก็จะต้องเป็นจุดร่วม (Common) อินพุทกับเอาท์พุท จากหลักการดังกล่าวเรากำหนดให้ระหว่าง B กับ E เป็น

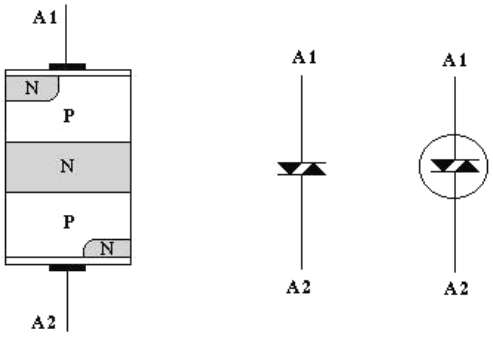
อินพุท (Input) และระหว่าง B กับ C เป็นเอาท์พุท (Out put) ดังนั้นจะสามารถจัดรูปแบบการขยายได้ 3 แบบหรือ 3 คอมมอน

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของทรานซิสเตอร์สร้างมาจากหลักการที่ต้องการให้กระแสทางด้านอินพุทไปควบคุมกระแสเอาท์พุท ดังนั้นจะต้องไบอัสทางด้านเอาท์พุทเป็นไบอัสแบบย้อนกลับ (Reverse Bias) ถ้าให้ไบอัสตรงจะทำให้ทางด้านเอาท์พุทเป็นอิสระไม่ครบวงจรเอาท์พุททางด้านอินพุทจะให้ไบอัสตรง (Forward Bias) และแรงเคลื่อนที่มาไบอัสนี้ไม่จำเป็นจะต้องเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีค่าสูงแต่อย่างไร เพราะถ้าให้กระแสอินพุทสูงเกินไปจะทำให้กระแสเอาท์พุทเกิดการอิ่มตัว



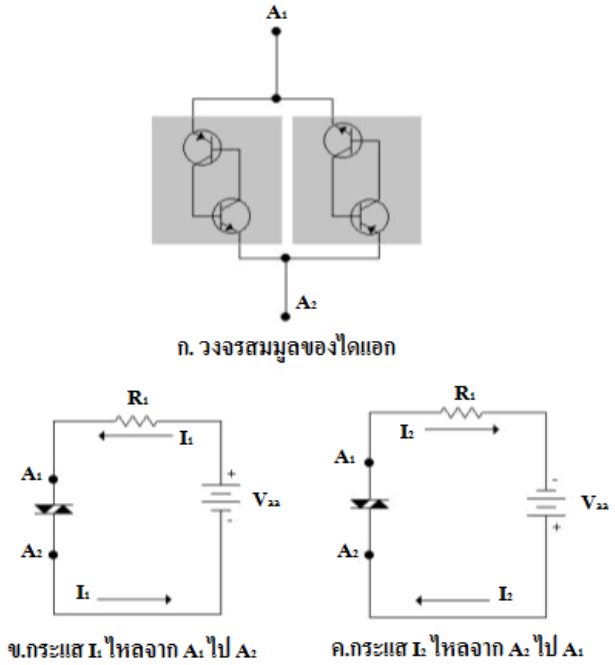
ภาพที่ 2.33 การจัดอินพุทและเอาท์พุท

2. ไดแอค (Diac) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่อยู่ในกลุ่มของของไทริสเตอร์ มี 2 ขั้วคือ ขั้วแอโนด1 (A1) และขั้วแอโนด2 (A2) เพราะไดแอคสามารถนำกระแสได้สองด้าน ไดแอคสามารถนำไปใช้กับแรงดันไฟฟ้าสลับและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้



ภาพที่ 2.34 โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดแอค

การทำงานของไดแอค ไดแอคมี2ขาแต่มีคุณสมบัติสามารถทำงานได้กับแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบคือกระแสได้ 2 ทิศทาง ดังนั้นในการใช้งานจึงไม่จำเพาะเจาะจงในการต่อวงจรใช้ขาด้านใดด้านหนึ่งต่อเข้าวงจรก็จะได้คุณสมบัติเหมือนกัน

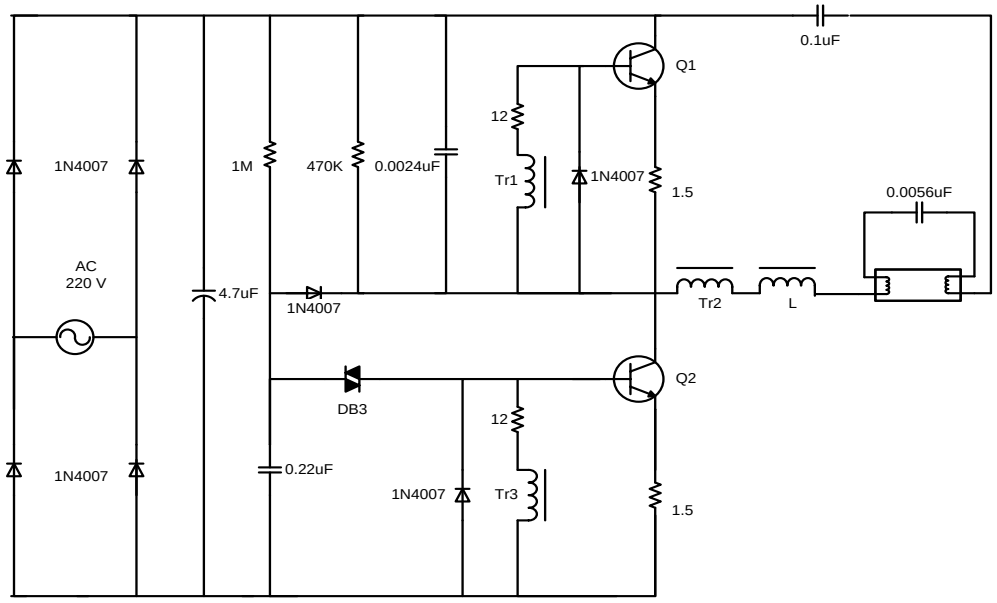


ภาพที่ 2.35 วงจรสมมูลของไดแอคและการไบอัสไดแอค

บทที่ 3

การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

โครงสร้างในการออกแบบจะประกอบไปด้วยสองส่วนหลักๆ ในส่วนแรกจะเป็นวงจรเรียงกระแส และส่วนที่สองจะเป็นวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้า ซึ่งในส่วนของวงจรเรียงกระแส ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง จะเพิ่มวงจรวาลเลย์ฟิลเข้าไปในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



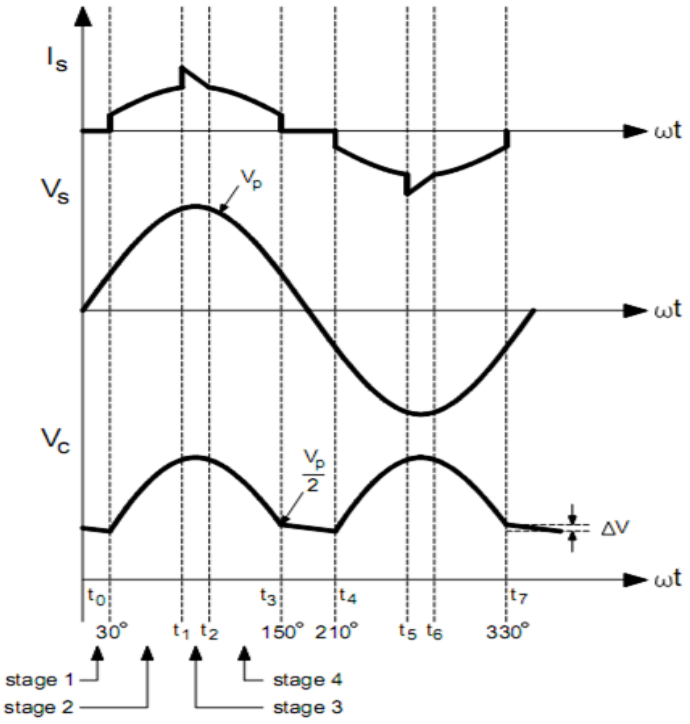
ภาพที่ 3.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง

3.1 การทำงานของวงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นวงจรเรียงกระแสที่ใช้ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ดังภาพที่ 3.1 การทำงานของวงจรเรียงกระแส ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4.3 จากวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ เนื่องจากการนำกระแสในช่วงสั้นๆของตัวเก็บประจุ ทางกลุ่มจึงแก้ปัญหานี้โดยการใส่วงจรวาลเลย์ฟิลเข้าไป

วงจรวาลเลย์ฟิลเป็นวงจรกรองแบบพาสซีฟชนิดหนึ่งเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน โดยประกอบด้วยตัวเก็บประจุสองตัว ไดโอดสามตัว จะทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลังซึ่งสอดคล้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพของฮาร์มอนิกส์ โดยสัญญาณรูปคลื่นที่ออกจากวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ มีฮาร์มอนิกส์สูง หากต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

และลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ทำได้โดยการต่อวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ดังภาพที่ 3.2 ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.6 โดยเบอร์ของไดโอด จะเลือกใช้เบอร์เดียวกับวงจรเรียงกระแส เนื่องจากกระแสและแรงดัน จะเท่ากันกับวงจรเรียงกระแส คือเบอร์ 1N4007 ส่วนขนาดของตัวเก็บประจุ เลือกใช้ขนาด 10µF เนื่องจากสภาวะที่ชาร์จประจุ ตัวเก็บประจุจะต่ออนุกรมกันมีสมการคือ $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ จะได้ค่าตัวเก็บประจุที่ 5 µF จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับ 4.7µF ของบัลลาตส์ที่จะนำมาปรับปรุง

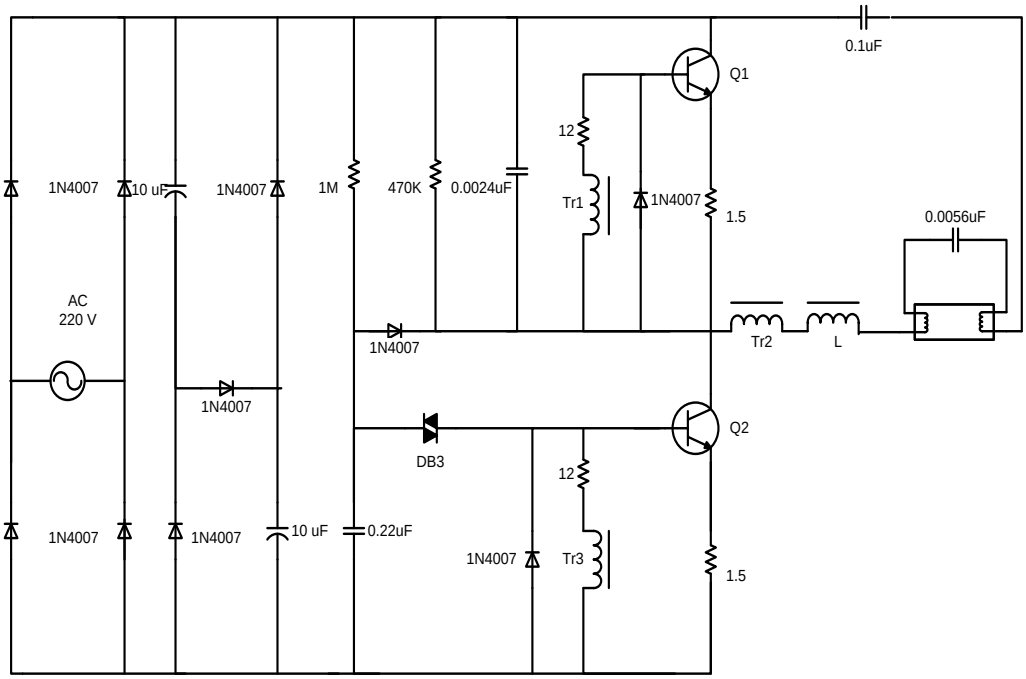


ภาพที่ 3.2 สัญญาณวงจรวาลเลย์ฟิล

3.2 หลักการทำงานวงจรบัลลาตส์อิล็กทรอนิกส์

การทำงานของวงจรนี้เริ่มแรกจากทรานซิสเตอร์ Q2 จะทำงานก่อนและ Q1 จะยังไม่นำกระแส โดยที่กระแสจะไหลผ่าน R 1 MΩ ผ่านไดแอค ซึ่งทำงานหน้าที่ป้องกันแรงดันไม่ให้เกิน 32 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านไปยัง R 12Ω Tr3 ลงไปยังไฟลบทำให้มีแรงดันตกคร่อม R 12 Ω ทำให้ Q2 ได้รับไบอัสตรงจากแรงดันคร่อม R 12Ω Q2 จึงนำกระแสซึ่งในตอนนี้กระแสไฟบวกผ่าน C 0.22 µF ซึ่ง C 0.22 µF ทำหน้าที่คัปปลิ้งได้สัญญาณเป็นไฟสลับที่สวิงในช่วงบวกและลบได้ ซึ่งแรงดันไฟสลับนี้จะไหลผ่าน Tr2 และ R 1MΩ ไปยังไฟลบทำให้ครบวงจรในขณะที่กระแสสลับ

ซึ่งไหลผ่าน Tr2 นั้นจะเกิดกระแสเหนี่ยวนำขดลวด Tr1 และ Tr3 ทำให้ขดลวดที่ Tr1 และ Tr3 นั้นจะไหลป้อนให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวแต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Tr1 และ Tr3 จะไหลคนละทางกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับการต่อโดยต่อให้สลับกัน ดังนั้นทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว จะสลับกันทำงาน ในตอนนี้ทรานซิสเตอร์ Q2 จะได้รับไบอัสกลับจากกระแสที่เหนี่ยวนำขดลวด Tr3 และทรานซิสเตอร์ Q1 จะได้รับไบอัสตรงกระแสที่เหนี่ยวนำจากขดลวด Tr1 ทำให้ Q1 นำกระแสและ Q2 หยุดนำกระแส ทำให้ Q1 ทำงานผ่าน Tr2 และ L ไปยังโหลด ซึ่งกระแสที่ไหลผ่าน Tr2 จะไหลสวนทางกับครั้งแรกทำให้กระแสที่เหนี่ยวนำ จาก Tr1 และ Tr3 นั้นก็จะไหลกลับทิศทางกันด้วย ซึ่งตอนแรกที่ Q1 นำกระแสก็จะหยุดนำกระแสและ Q2 ซึ่งหยุดนำกระแสก็จะนำกระแสอีกครั้ง จะเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยเรื่อย



ภาพที่ 3.3 วงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

3.3 รายการอุปกรณ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาปรับปรุงจะแสดงในภาพที่ 3.2 อุปกรณ์ส่วนที่ไม่ได้แสดงในภาพมีดั้งนี้

Transistor เบอร์ E13002

L 3.15mH 180 รอบ แกนชนิดเฟอร์ไรท์ขนาด 19 ม.ม.แบบ EE ใช้ลวดเบอร์ 30

Tr ใช้พันบนแกนเทอรอยด์ขนาด 10 ม.ม.

Tr1 พัน 2 รอบ ใช้ลวดเบอร์ 29

Tr2 พัน 7 รอบ ใช้ลวดเบอร์ 29

Tr3 พัน 2 รอบ ใช้ลวดเบอร์ 29

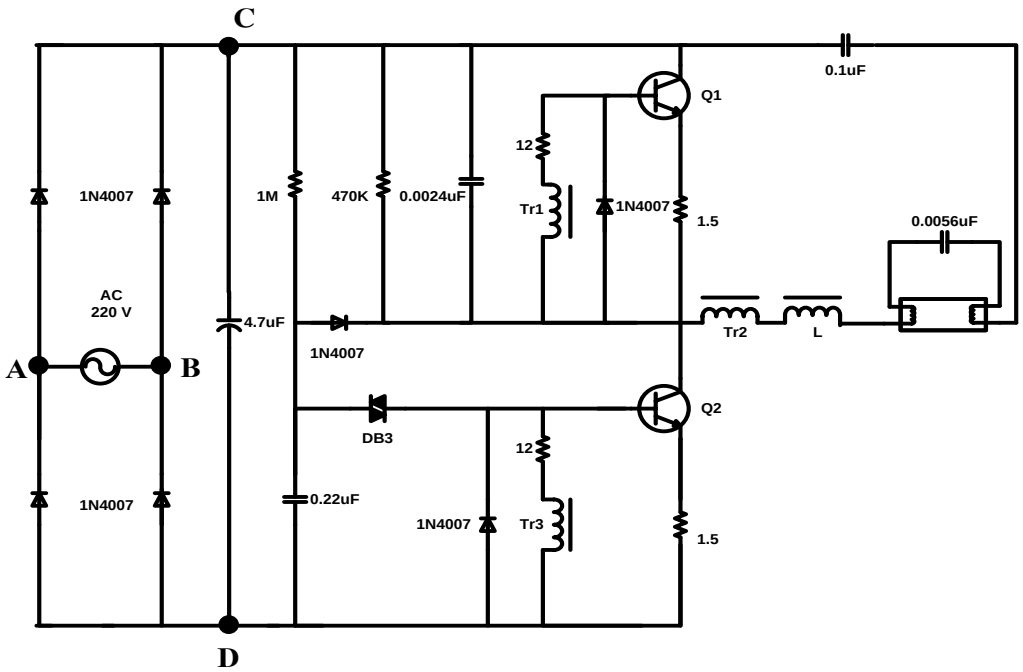
บทที่ 4

ผลการทดลอง

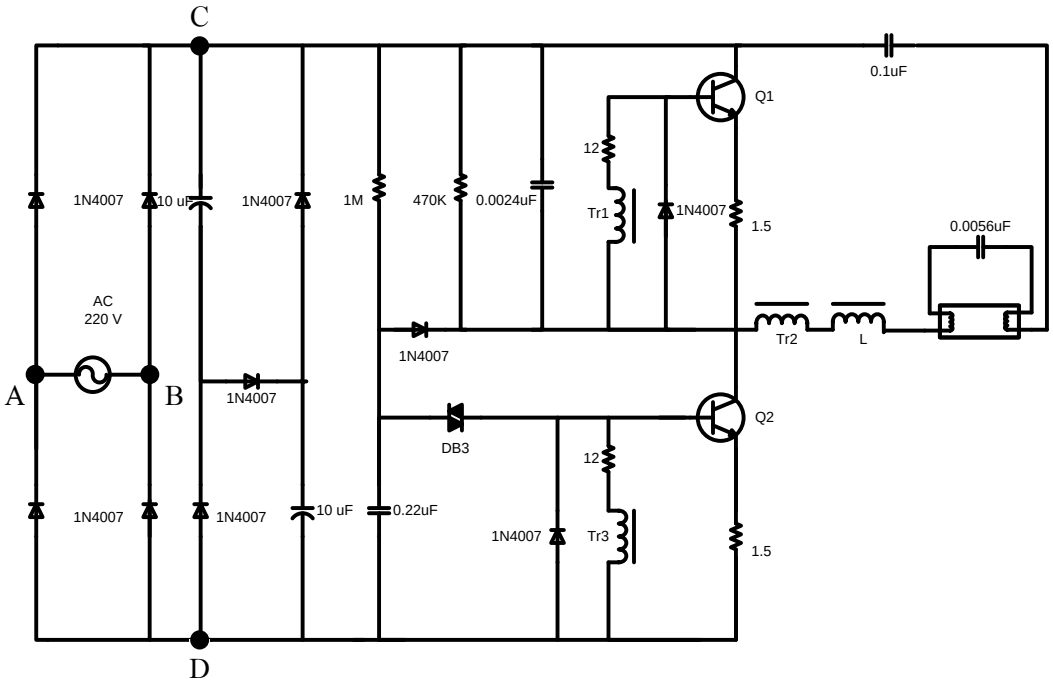
การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ประกอบไปด้วยรูปสัญญาณกระแสและแรงดันที่ทางด้านอินพุต วัดค่าทางไฟฟ้า และวัดค่าของกระแสฮาร์มอนิกส์

4.1 เงื่อนไขการทดลอง

การทดลองได้ทำการวัดขณะต่อร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W การวัดสัญญาณรูปคลื่นกระแสและแรงดันโดยใช้ออสซิลโลสโคป YOKOGAWA DL1520 การวัดแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้เครื่องวัด Lucas-nulle SO5127-1Z เป็นเครื่องวัดแบบ true rms และการวัดขนาดฮาร์มอนิกส์ ซึ่งผลของการวัดสามารถทราบถึงอันดับและสเปกตรัมของฮาร์มอนิกส์ โดยใช้เครื่องวัด Extech 3phase Power Analyzer รุ่น382097 เปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังดังภาพที่ 4.1 และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังดังภาพที่ 4.2



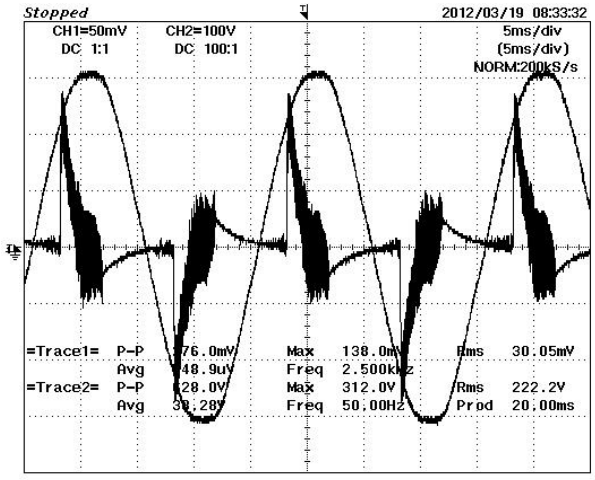
ภาพที่ 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง



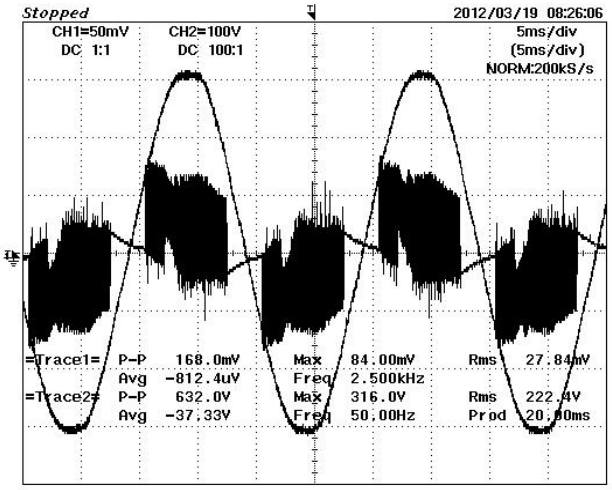
ภาพที่ 4.2 วงจรบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

4.2 ผลการทดลองวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์

เป็นการวัดรูปสัญญาณแรงดันที่ทางด้านอินพุต ที่จุด A และ B เปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสที่จุด A ของอินพุต ในภาพที่ 4.1 และ 4.2

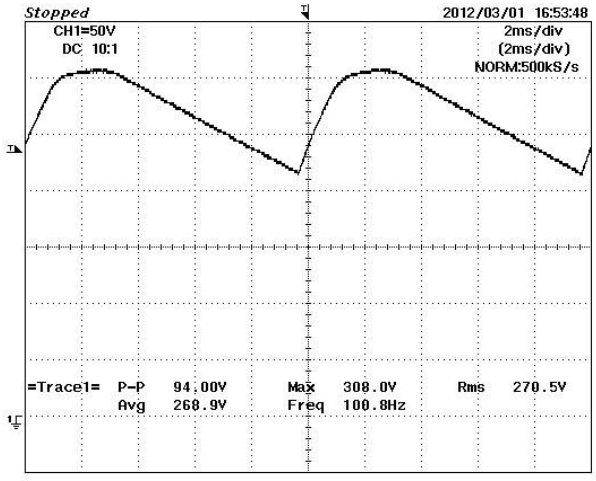


ภาพที่ 4.3 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตทของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง

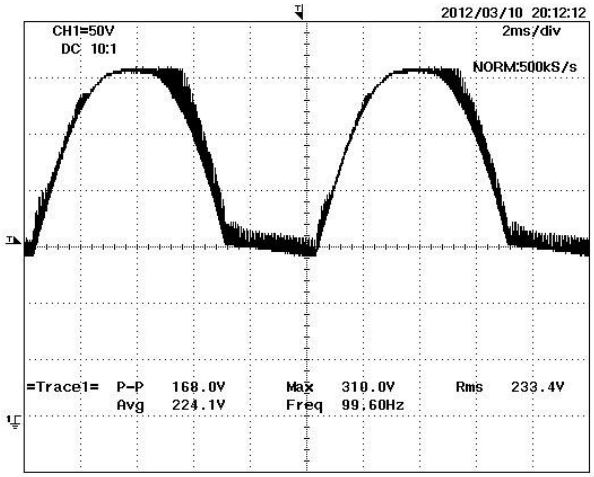


ภาพที่ 4.4 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุต ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ C (4.7 uF) เป็นตัวกรอง ซึ่งวัดที่จุด A และจุด B ในวงจรภาพที่ 4.1 สัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณแรงดันของระบบ จะเห็นได้ว่าจะเป็นสัญญาณไซน์ เปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสมีลักษณะยอดแหลม ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำและทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ขึ้นตามทฤษฎี ดังกล่าวแล้วในหัวข้อที่ 2.4.3 จากภาพที่ 4.4 เมื่อทำการใส่วงจรวาลเลย์ฟิลเข้าไปแก้ไขตัวประกอบกำลัง วัดสัญญาณแรงดันที่จุด A และจุด Bในวงจรภาพที่ 4.2 ซึ่งรูปสัญญาณที่ได้ แรงดันกับกระแสค่อยข้างอินเฟสกัน ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าดีขึ้น



ภาพที่ 4.5 สัญญาณแรงดันตกคร่อมที่จุด C และจุด D ของภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.6 สัญญาณแรงดันที่วงจรวาลเลย์ฟิล

จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อม C (4.7 uF) ที่จุด C และจุด D ในภาพที่ 4.1 เมื่อทำการใส่วงจรวาลเลย์ฟิลเข้าไปทำให้ได้รูปสัญญาณดังภาพที่ 4.6 เป็นสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมวงจรวาลเลย์ฟิล ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ใน หัวข้อที่ 2.6

4.2.1 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์

เป็นการวัดค่าทางด้านอินพุต โดยมีการวัดค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง และค่าความเข้มของแสงของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขกับบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่แก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าของบัลลาตส์

ค่าทดลอง	บัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ ที่จะนำมาแก้ไข	บัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ ที่แก้ไขตัวประกอบกำลัง
V_{in}	220 V	220 V
I_{in}	0.18 A	0.09 A
P_{in}	19.59 W	19 W
p.f	0.511	0.915
ความเข้มของแสง	320 lux	270 lux

จากตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไข แสดงถึงค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำที่ค่า 0.511 และเมื่อทำการเพิ่มวงจรวาลเลย์ฟิลเข้าไป ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น

ที่ค่า 0.915 และมีผลทำให้ค่ากระแสลดลงจาก 0.18A เป็น 0.09A แต่อย่างไรก็ตามในการนำวงจรวาลเลย์ฟิลมาแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังนั้น จะทำให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมวงจรวาลเลย์ฟิลมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ตกคร่อมวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองแรงดัน ซึ่งทำให้มีผลกระทบกับความเข้มของแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ลดลงจาก 320 lux เป็น 270 lux

4.2.2 การทดลองกระแสฮาร์มอนิกส์ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2

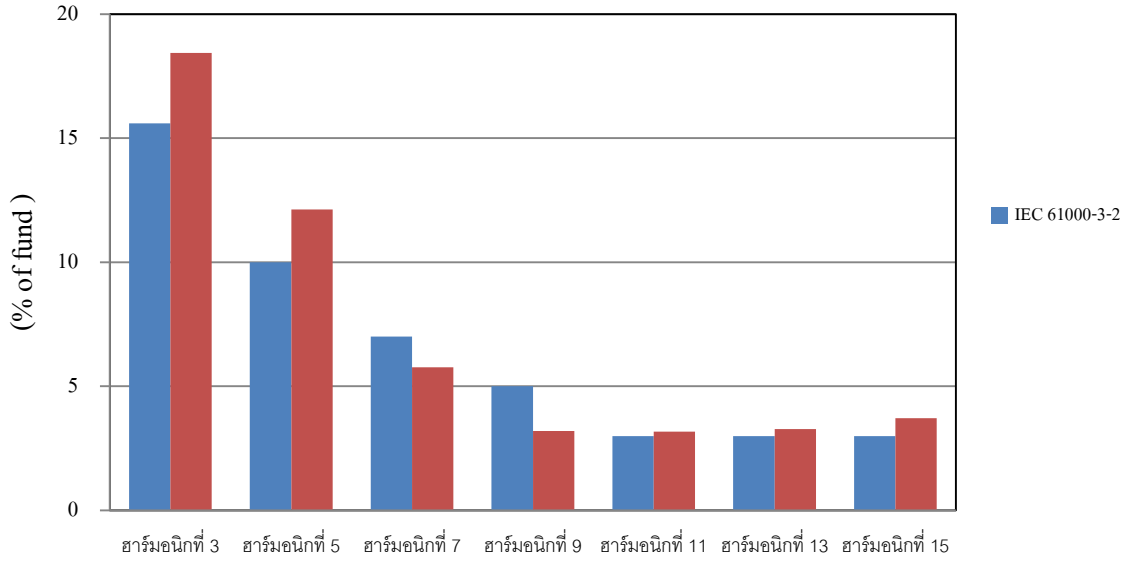
จากการใช้เครื่องวัด Extech 3phase Power Analyzer รุ่น 382097 แสดงผลการทดลองค่าของกระแสฮาร์มอนิกส์ ในอันดับต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

อันดับฮาร์มอนิกส์	มาตรฐาน IEC 61000-3-2 class C (% of fund)	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไข	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แก้ไขตัวประกอบกำลัง
3	30xλ	18.44	4.91
5	10	12.12	3.80
7	7	5.77	0.93
9	5	3.20	1.61
11	3	3.18	0.69
13	3	3.28	0.52
15	3	3.71	0.60

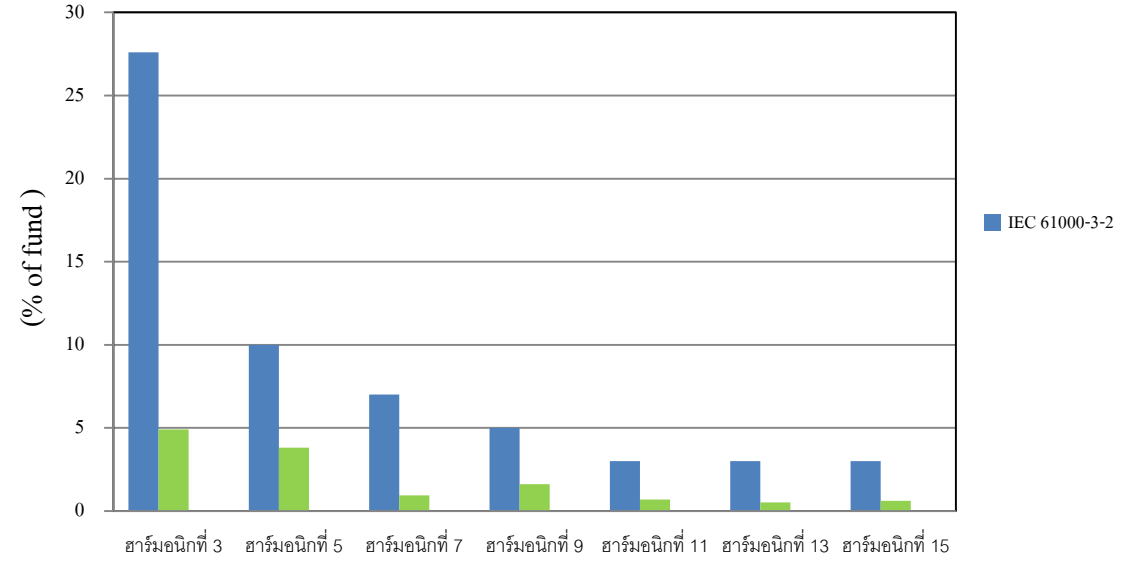
หมายเหตุ λ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor)

จากตารางที่ 4.2 เป็นการวัดที่เปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งจะเปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกส์แต่ละลำดับตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 class C และนำผลมาแสดงการเปรียบเทียบดังภาพที่ 4.7 และ 4.8



ภาพที่ 4.7 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังกับค่ามาตรฐาน IEC 61000-3-2

จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์มีค่ากระแสฮาร์มอนิกส์เกินในอันดับที่ 3, 5, 11, 13, 15 จึงไม่ผ่านตามมาตรฐาน IEC 16000-3-2



ภาพที่ 4.8 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่แก้ไขตัวประกอบกำลังกับค่ามาตรฐาน IEC 61000-3-2

จากภาพที่ 4.8 บัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแล้ว จะมีค่ากระแสฮาร์มอนิกส์น้อยกว่ามาตรฐานทุกอันดับ ดังนั้นการแก้ไขตัวประกอบกำลังของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล ทำให้ผลของกระแสฮาร์มอนิกส์ผ่านมาตรฐาน IEC 16000-3-2

จากผลการทดลองซึ่งจะเปรียบเทียบระหว่างบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังและบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ทำการวัดสัญญาณรูปคลื่น สัญญาณเป็นไปตามทฤษฎี ส่วนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง สามารถแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นจาก 0.511 เป็น 0.915 ซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้ และการวัดค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ ซึ่งค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลังมีกระแสฮาร์มอนิกส์ไม่ผ่านเกณฑ์ของมาตราฐาน IEC 6100-3-2 และเมื่อมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล ทำให้ลดค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ แล้วผ่านมาตรฐาน IEC 6100-3-2

บทที่5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาโครงงานการแก้ไขตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล ที่ใช้สำหรับหลอดกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ 220โวลต์ 50 เฮริตช์ จำนวน 1 หลอด บัลลาสต์ที่ใช้กันส่วนมากจะเป็นชนิดแกนเหล็กซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากรวมทั้งมีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำมีน้ำหนักมาก จึงมีแนวทางที่จะลดความสูญเสียต่างๆ โดยการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาพัฒนาใช้งานแทนที่บัลลาสต์แกนเหล็กแต่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้แก้ปัญหาค่าตัวประกอบกำลังและฮาร์มอนิกส์ เพื่อแก้ไขปัญหาค่าตัวประกอบกำลังในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทำได้โดยใช้วงจรวาลเลย์ฟิล จะทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าสูงกว่าเดิม ปัญหาตัวประกอบกำลังและค่าฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เกิดมาจากวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองแรงดัน ทำให้กระแสมีลักษณะเป็นยอดแหลมและทำให้เกิดมุมต่างเฟสระหว่างกระแสและแรงดัน ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ และฮาร์มอนิกส์สูง จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่สูงกว่าเดิม และทำให้ผลของฮาร์มอนิกส์ผ่านมาตรฐาน IEC 16000-3-2 โดยใช้วงจรวาลเลย์ฟิล โดยที่วงจรวาลเลย์ฟิลเป็นวงจรกรองแบบพาสซีพ แบบง่ายๆไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยประกอบด้วยตัวเก็บประจุ 2ตัว ไดโอด 3ตัว จะทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลัง ซึ่งสอดคล้องกับการปรับปรุงฮาร์มอนิกส์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วยสองส่วน คือส่วนวงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบเต็มบริดจ์ และส่วนคอนเวอร์เตอร์ จากผลการทดลองซึ่งจะเปรียบเทียบระหว่างบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาแก้ไขตัวประกอบกำลัง และ บัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ทำการวัดสัญญาณรูปคลื่น สัญญาณเป็นไปตามทฤษฎี ส่วนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง สามารถแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นจาก 0.511 เป็น 0.915 ซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้ และการวัดค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ ซึ่งค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาปรับปรุงตัวประกอบกำลัง มีกระแสฮาร์มอนิกส์ไม่ผ่านเกณฑ์ของมาตราฐาน IEC 6100-3-2 และเมื่อมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิล ทำให้ลดค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ แล้วผ่านมาตรฐาน IEC 6100-3-2 แสดงให้เห็นว่าวงจรวาลเลย์ฟิลเป็นวงจรพาสซีพฟิลเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นได้จริง และยังช่วยทำให้ผลของกระแสฮามอนิกส์มีค่าที่ยอบรับได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 การนำวงจรวาลเลย์ฟิลมาแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังนั้น จะมีผลทำให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมวงจรวาลเลย์ฟิลมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ตกคร่อมวงจรเรียงกระแส ที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองแรงดัน ซึ่งทำให้มีผลกระทบกับความเข้มของแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ลดลง 15%

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจในโครงงานการแก้ไขตัวประกอบกำลังของบัลลาตส์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิลนี้ ควรมีแนวทางในการแก้ไขประสิทธิภาพของแสงให้มีความเข้มของแสงเท่าเดิม

เอกสารอ้างอิง

[1] ดลวัฒน์ กองแก้ว Digital Dimmable Electronic Ballast, ปริญญานิพนธ์บัณฑิต ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2553.

[2] European Standard EN61000-3-2, “Limit for Harmonic Current Emissions”, 2001.

[3] รัฐฑาวุฒิ บริบูรณ์ Design, Analysis and Performance Testing of An Electronic Ballast with Power Factor Improvement Usinga Valley Fill Circuit for a 250 W High Pressure Mercury Vapour lamp with Constant Power Control การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่33 (EECON-33), 2553.