

v/vy 122261

M 190731



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การวิเคราะห์และออกแบบค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์
สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประสิทธิภาพสูง
Analysis and Design of Resonant Components
for High Efficiency Electronic Ballast



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHA SARAKHAM UNIVERSITY

เนติวุฒิ บุรี
วีรยุทธ เต็มสวัสดิ์
มลฤดี บุญยะศรี
มูณี จันทะรัง

| |
|---|
| สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม |
| ได้รับ..... |
| วันลงทะเบียน..... 15 พ.ค. 2560 |
| เลขทะเบียน..... 249784 |
| เลขเรียกหนังสือ..... วจ. 621.3 จ262 2558 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ2558)

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้รับความรู้และคำปรึกษาจาก ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล ที่ได้
สละเวลาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจน
จัดหาอุปกรณ์ และเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ไชยรินทร์ อัครวโรตม ที่เอื้อเพื่อให้คำแนะนำและให้
แนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป ผู้วิจัยรู้สึกขอบคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้แนวคิดและคำปรึกษาที่
ใช้กับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้



เนติวุฒิ บุรี
วีรยุทธ เต็มสวัสดิ์
มฤดี บุญยะศรี
มูณี จันทะรัง
2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย การวิเคราะห์และออกแบบค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์สำหรับ
 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประสิทธิภาพสูง

ผู้ดำเนินการวิจัย นายเนติวุฒิ บุรี

หน่วยงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสิคัลที่ขับเคลื่อนด้วยแหล่งจ่ายกระแส เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง โดยเพิ่มวงจรเรียงกระแสคลาสิคัลเข้ามาระหว่างวงจรไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์และตัวเก็บประจุสะสมพลังงาน เพื่อที่จะเพิ่มมุมนำกระแสของไดโอดเรียงกระแส โดยวงจรเรียงกระแสไดโอดแบบบริดจ์และสวิตช์ไวงานทั้งหมดทำงานแบบสวิตช์แรงดันศูนย์ ซึ่งวงจรต้นแบบออกแบบให้ใช้กับโหลดโซเดียมความดันไอต่ำขนาด 35 วัตต์ แรงดันด้านเข้า 220 โวลต์ ที่ความถี่สวิตช์ประมาณ 82 kHz ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบนั้นมีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของกระแสด้านเข้าเท่ากับร้อยละ 4.2 ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าเท่ากับ 0.99 ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสโหลดเท่ากับ 1.42 และประสิทธิภาพร้อยละ 92 ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Research Title Analysis and Design of Resonant Components
 for High Efficiency Electronic Ballast

Researcher Mr. Netiwut Buree

Organization Industrial Electrical Technology Program, Faculty of
 Science and Technology
 Rajabhat Maha Sarakham University

Year 2015

ABSTRACT

This research presents a single-stage electronic ballast using Class-DE current-source driven rectifier for power factor correction. The Class-DE rectifier is connected between the front-end bridge rectifier and the bulk capacitor to increase the conduction angle of the main rectifier diodes. The Class-DE rectifier and all active switches are operated in zero-voltage-switching condition (ZVS). The proposed electronic ballast is designed for 35 W Low Pressure Sodium Lamp and operated at 220 V with the switching frequency fixed at around 82 kHz. The experimental results show that the total harmonic distortion is 4.2 %, the power factor is 0.99, a lamp-current crest factor is 1.42, and 92 % the efficiency at full power.

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญภาพ | ช |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 1 |
| ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| สมมติฐานการวิจัย | 2 |
| คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ) | 4 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| | |
| บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ | 5 |
| 2.1.1 ส่วนประกอบของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ | 5 |
| 2.2 บัลลาสต์ | 7 |
| 2.2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบัลลาสต์ | 8 |
| 2.2.2 โครงสร้างและการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ | 9 |
| 2.3 วงจรเรียงกระแสคลาสิคี่ | 11 |
| 2.3.1 การทำงานของวงจรเรียงกระแสคลาสิคี่ | 11 |
| 2.3.2 การวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสคลาสิคี่ | 13 |
| 2.4 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสิคี่ | 15 |
| 2.4.1 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสิคี่ | 16 |
| 2.4.2 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสิคี่ | 18 |
| | |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 22 |
| 3.1 การออกแบบส่วนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง | 22 |
| 3.2 การออกแบบส่วนบัลลาสต์ | 25 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| บทที่ 4 | ผลการวิจัย | 26 |
| | 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่ได้นำเสนอ | 26 |
| | 4.2 ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ | 27 |
| บทที่ 5 | สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ | 31 |
| | 5.1 สรุปผลการวิจัย | 31 |
| บรรณานุกรม | | 32 |
| | บรรณานุกรมภาษาไทย | 32 |
| | บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ | 32 |
| ภาคผนวก | | 34 |
| | ภาคผนวก ก | 35 |
| | ภาคผนวก ข | 47 |
| ประวัติผู้วิจัย | | 39 |



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 3.1 | ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรเรียงกระแสคลาสิคี่ | 22 |
| 4.1 | ค่าอุปกรณ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง | 26 |
| 4.2 | ผลการเปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกส์ด้านเข้าเทียบกับมาตรฐานการควบคุมกระแสฮาร์มอนิกส์ของอุปกรณ์แสงสว่าง (IEC 61000-3-2 Class C) | 30 |
| ข-1 | ค่าจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกส์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะตาม | 37 |



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ | 5 |
| 2.2 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ | 7 |
| 2.3 บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก | 8 |
| 2.4 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ | 8 |
| 2.5 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ | 10 |
| 2.6 โครงสร้างของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี | 11 |
| 2.7 รูปคลื่นการทำงานของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี | 12 |
| 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ด้านเข้ากับวัฏจักรงานไดโอด D_1 และ D_2 ที่สภาวะ วัฏจักรงานต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี | 14 |
| 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านออก V_o กับโหลดความต้านทาน R_{DE} และที่สภาวะ ต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี | 15 |
| 2.10 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสตี | 16 |
| 2.11 วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสตี | 17 |
| 2.12 รูปคลื่นแสดงการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสตี | 18 |
| 2.13 รูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่ความถี่ต่าง ๆ | 20 |
| 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสตีอีเพื่อการแก้ไข ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า | 26 |
| 4.2 รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และกระแสด้านเข้า | 28 |
| 4.3 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อม และกระแสไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสชนิดบริดจ์ D_2 | 28 |
| 4.4 รูปคลื่นของสัญญาณกระแสขับนำวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี | 28 |
| 4.5 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์ V_{DS} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_D ของมอสเฟต M_2 | 29 |
| 4.6 สัญญาณกระแส และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่โหลดหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ | 29 |
| 4.7 รูปคลื่นแสดงกระแสตกคร่อมหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ R_{LA} | 29 |

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำพลังงานมาใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกๆ ปี โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า เมื่อพิจารณาในส่วนของระบบส่องสว่างจะเห็นว่าการใช้พลังงานในส่วนนี้มีความจำเป็นและมีส่วนสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะจัดการพลังงานไฟฟ้าด้านส่องสว่างให้เป็นไปอย่างเหมาะสมเกิดประโยชน์สูงสุด เมื่อพิจารณาในส่วนของหลอดไฟตระกูลคายประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge Lamp) ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานส่องสว่างอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูงโดยเฉพาะหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp) ทั้งในส่วนของ การให้แสงสว่างภายในและภายนอกอาคารรวมทั้งในแวดวงอุตสาหกรรม องค์ประกอบในการให้แสงสว่างของหลอดไฟชนิดนี้ประกอบไปด้วยหลอดไฟ, บัลลาสต์และอิกเนเตอร์ แต่ว่าบัลลาสต์ที่นิยมใช้คือบัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnatic Ballast) จากการศึกษาการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กพบว่าก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก ประกอบด้วยการสูญเสียในแกนเหล็ก, การสูญเสียในขอลวดรวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จากปัญหาข้างต้นแนวทางที่จะลดการสูญเสียต่างๆ โดยการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาพัฒนาาร่วมใช้งานร่วมกับหลอดไฟแทนบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก รวมทั้งการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้นำไปใช้งานในสภาวะต่างๆ เช่น ไฟฟ้าตก ไฟฟ้าเกิน และการกระชากของแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการสร้างและออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำการวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้หลักการและทฤษฎีของวงจรเรียงกระแสคลาสิคัล เพื่อลดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และยังสามารถลดจำนวนอุปกรณ์ภายในวงจรดังกล่าวลงได้ ซึ่งไดโอดของวงจรเรียงกระแสชนิดบริดจ์ทั้ง 4 ตัว รวมไปถึงสวิตช์ไวงาน ทำงานแบบสวิตช์แรงดันสูง (ZVS) โดยทดลองกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

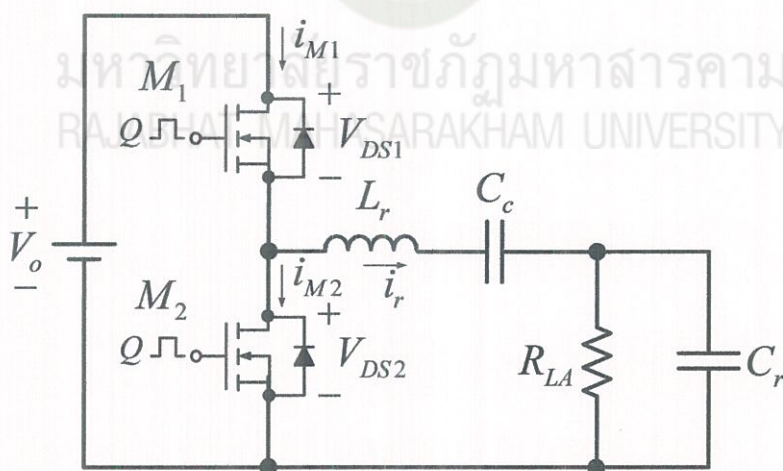
1. ศึกษาเกณฑ์ในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ
2. ศึกษาสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหาเสถียรภาพของการปรับความเข้มแสงสำหรับหลอดโซเดียมความดันต่ำในย่านความเข้มแสงต่ำ
3. ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความไวในการควบคุมความเข้มแสงสำหรับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ
4. เพื่อออกแบบ และทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่า ความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมของกระแสด้านเข้าถึงค่าต่ำสุดที่สามารถผ่านมาตรฐาน IEC 61000-3-2 คลาส C และเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. จำลองการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่ออกแบบด้วยโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้า (PSpice ใน OrCAD เวอร์ชัน 9.2.3)
2. ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องให้ได้ตามมาตรฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1.4 สมมติฐานการวิจัย

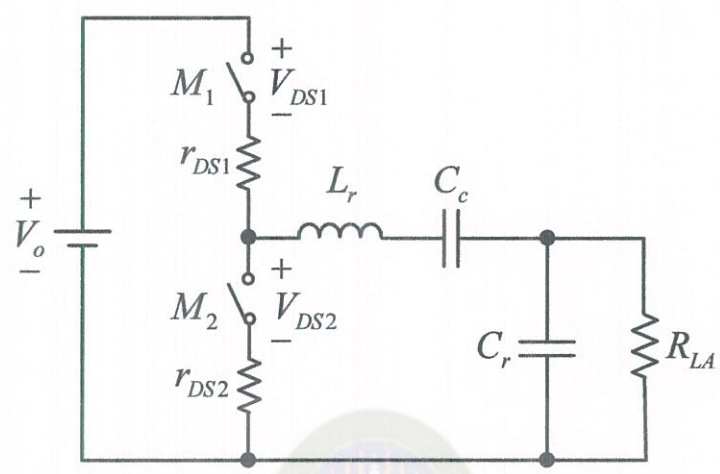
วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดีแสดงในรูปที่ 1.1 ประกอบด้วยตัวต้านทาน R_{LA} แสดงตัวเป็น โหลดกระแสสลับซึ่งมีกำลังไฟฟ้ามาสูญเสียที่ตัวมัน ตัวเก็บประจุ C_c ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่าน R_{LA} โดยตัวเก็บประจุ C_c จะต่ออนุกรมกับ L_r โดยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_c จะมีค่าประมาณ $V_o / 2$ และสวิตช์ M_1, M_2 จะทำหน้าที่ในการขับวงจรเรโซแนนซ์ L_r, C_r, C_c ซึ่งสวิตช์กำลัง M_1 และ M_2 จะแทนด้วยมอสเฟตซึ่งมีแอนติพาราเลลไดโอดอยู่ภายในตัวอยู่แล้ว โดยช่วงเวลาที่นำกระแสจะยอมให้กระแสสวิตช์ทั้งบวกและลบผ่านได้ แต่ถ้าเป็นช่วงเวลาที่หยุดนำกระแส มอสเฟตจะยอมให้กระแสไหลกลับไหลผ่านเพียงอย่างเดียวโดยผ่านไดโอดที่ไดโอดที่มีอยู่ในตัวมอสเฟต มอสเฟตจะถูกขับด้วยสัญญาณแรงดันรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า v_{GS1} และ v_{GS2} โดยไม่มีส่วนการทำงานที่ซ้อนทับกัน และมีความถี่การทำงาน $f = \omega / 2\pi$ ซึ่งมอสเฟตทั้งสองจะสลับกันนำกระแสและหยุดนำกระแสด้วยวัฏจักรงานประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์



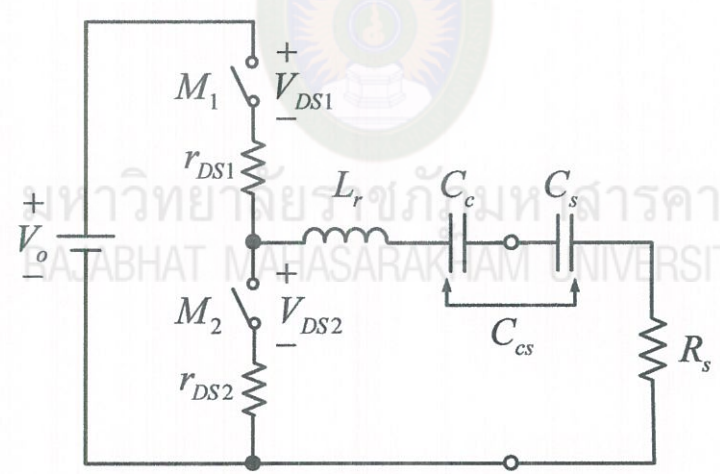
รูปที่ 1.1 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี

วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 โดยมอสเฟตที่ใช้ในการออกแบบจะมีความต้านทานขณะนำกระแสเป็น r_{DS1}, r_{DS2} และวงจรขนาน C_r แสดงดังรูปที่ 1.2(ก) และแทนวงจรเรโซแนนซ์ด้วยวงจรอนุกรม R_s, C_s ดังรูปที่ 1.2(ข) จากนั้นในรูปที่ 1.2(ค) แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง V_o และสวิตช์ M_1 และ M_2 จะแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปคลื่น

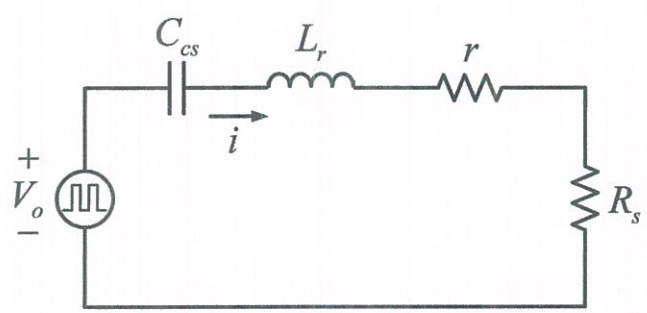
ถี่เหลี่ยมที่มีค่าแรงดันต่ำสุดคือศูนย์และสูงสุดคือค่า ยอดของแรงดันไฟตรง V_o และ $(r_{DS1} + r_{DS2}) / 2$ คือค่าความต้านทานอนุกรมแฝง (Equivalent Series Resistance, ESR) รวมของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสติ โดยรูปคลื่นสัญญาณของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสติจะแสดงไว้ใน รูปที่ 1.2



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1.2 วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสติ

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

| | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|
| Bridge Rectifier | = | วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ |
| Crest Factor | = | ค่าตัวประกอบยอดคลื่น |
| D.F. | = | ค่าตัวประกอบการผิดเพี้ยน |
| EMI Filter | = | ตัวกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า |
| ESR | = | ค่าความต้านทานอนุกรมแฝง |
| Harmonics | = | ฮาร์มอนิกส์ |
| Input Current Shaper | = | ตัวตัดรูปคลื่นกระแสขาเข้า |
| Power Factor | = | ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า |
| PFC | = | การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า |
| Ripple | = | การกระเพื่อม |
| THD | = | ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกส์รวม |
| ZVS | = | การสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ |

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักเกณฑ์ในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ
2. ทำให้เข้าใจถึงหลักการในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่มีการรวมเอาส่วนของ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ทำงานร่วมกันกับส่วนของอินเวอร์เตอร์
3. ได้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประหยัดพลังงาน
4. งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทาง และการพัฒนาใช้งานในด้านแสงสว่าง และอุตสาหกรรมได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ บัลลาสต์ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้านเข้า วงจรเรียงกระแสคลาสิคอี วงจรเรโซแนนซ์

2.1 หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ (Low Pressure Sodium Lamp)

หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดประเภทนี้มีสีเหลืองจัดและประสิทธิภาพมากที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด คือ มีประสิทธิภาพประมาณ 100-180 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ความถูกต้องของสีน้อยที่สุด คือ มีความถูกต้องของสีเป็น 0-20 เพอร์เซ็นต์ ข้อดีของแสงสีเหลืองเป็นสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ดีที่สุด หลอดประเภทนี้จึงเหมาะที่จะใช้เป็นไฟถนนและอายุการใช้งานนานประมาณ 22,000-24,000 ชั่วโมง หลอดมีขนาดวัตต์ 18 35 55 90 135 และ 180 วัตต์



รูปที่ 2.1 หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

2.1.1 ส่วนประกอบของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

1. ขั้วหลอด (Base) เป็นส่วนที่ต่อกับวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปจะเป็นแบบเกลียว และมี 2 ขนาด คือ E27 และ E40
2. กระเปาะแก้วด้านนอก (Outer Bulb) ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มป้องกันหลอดแก้วชั้นในไม่ให้สัมผัสกับอากาศภายนอก หลอดแก้วทั้งสองถูกกั้นด้วย ไนโตรเจนหรือสุญญากาศและยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนและป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เกิดจากหลอดอาร์กภายในหลอด และรักษาอุณหภูมิภายในหลอดให้คงที่ ตลอดจนยังสามารถเคลือบสารเรืองแสง เพื่อให้มีการเปลี่ยนสีของแสงสว่างได้อีกด้วย หรือฉาบด้วยอลูมิเนียมบริสุทธิ์ เพื่อให้หลอดมีการสะท้อนแสงได้ เป็นต้น
3. หลอดอาร์ก (Arc Tube) เป็นหลอดแก้วด้านในของหลอด มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงปิดหัวท้ายและทำมาจากแร่ควอตซ์ ซึ่งเป็นแร่หินที่มีคุณสมบัติทนอุณหภูมิได้สูง

มาก ที่ปลายของกระเปาะแก้วด้านในด้านหนึ่งติดกับ อิเล็กโทรดหลัก (Main Electrode) และอีกด้านหนึ่งจะมีตัวต้านทานจุดติดต่อกันกับอิเล็กโทรดหลัก การต่อเชื่อมวงจรจะเชื่อมต่อกันด้วย ก๊าซที่บรรจุอยู่ในกระเปาะแก้ว ซึ่งก๊าซดังกล่าวได้แก่ ก๊าซอาร์กอน และไอปรอท

4. อิเล็กโทรด (Electrode) ในหลอดแสงจันทร์จะมีอิเล็กโทรด 2 ด้านคือ

- อิเล็กโทรดหลัก (Main Electrode) จะทำงานอยู่ตลอดเวลาและทำมาจากวัสดุพวก ทังสเตน ซึ่งทำเป็นขดลวดเคลือบด้วยสารแบเรียมออกไซด์ หรือแบบอัดเรียบพันด้วยลวดทังสเตน

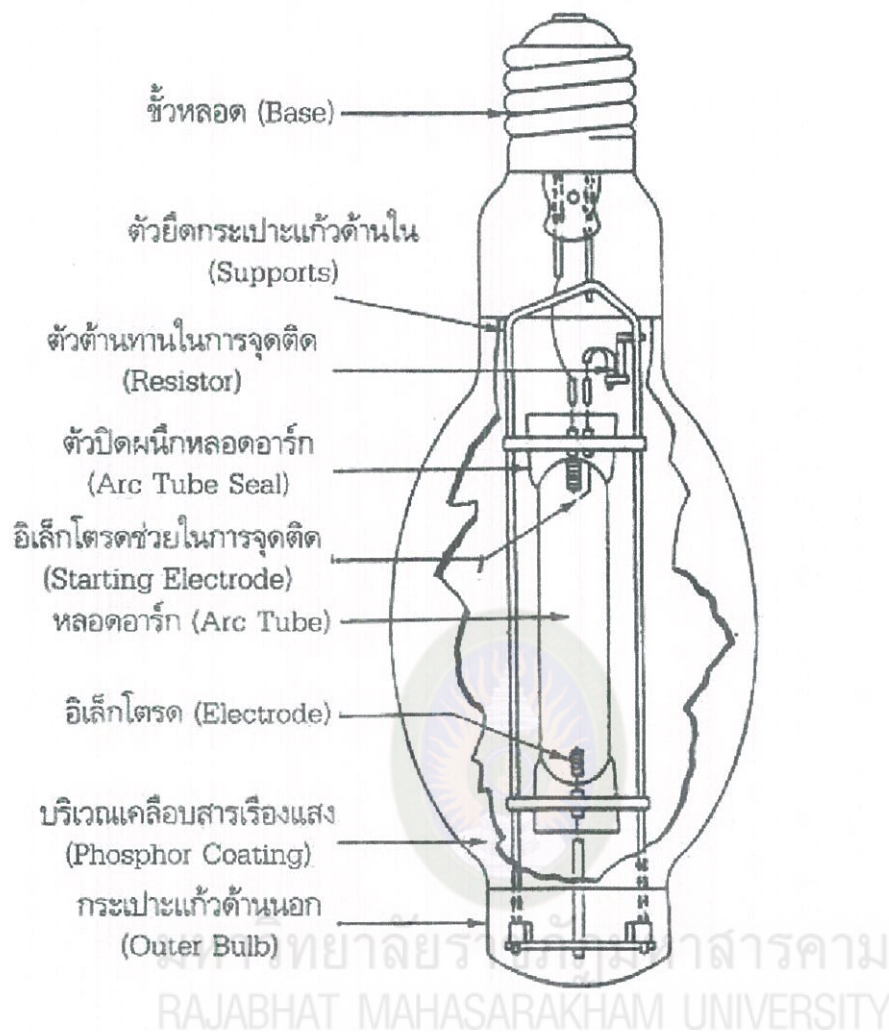
- อิเล็กโทรดช่วยในการจุดติด (Starting Electrode) ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดในช่วง เริ่มต้นของการสตาร์ทหลอด

5. ตัวต้านทานในการจุดติด (Starting Resistor) จะทำงานในช่วงจุดไส้หลอด เพื่อทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าในตอนเริ่มต้นจุดไส้หลอด โดยปกติจะมีความต้านทานประมาณ 50,000-60,000 โอห์ม

6. ตัวยึดโครงสร้างภายในหลอดไฟ (Support) ใช้ยึดตัวกระเปาะแก้วด้านใน (Arc Tube) กับขั้วหลอด ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังขั้วอิเล็กโทรด บางหลอด จะมีสปริงติดอยู่เพื่อให้มีการยืดหยุ่นเมื่อเกิดการกระแทกในสภาวะการใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ของ หลอดตลอดเวลา



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

2.2 บัลลาสต์

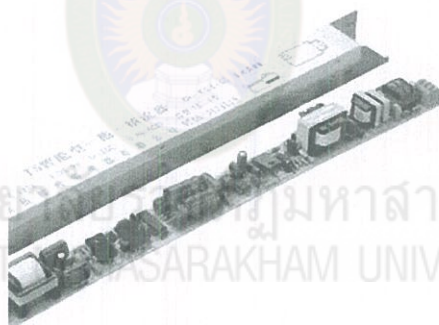
บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นและมีความสำคัญในวงจรแสงสว่าง เพราะนอกจากจะช่วยในการทำงานของวงจรให้สมบูรณ์แล้วยังมีผลต่อปริมาณแสงสว่าง อายุการใช้งาน และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในวงจรด้วย หน้าที่ของบัลลาสต์มีอยู่สองอย่างที่สำคัญ คือ ช่วยสร้างให้เกิดแรงดันเพียงพอในการจุดหลอดก๊าซดีสชาร์จให้ติด ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรขณะสตาร์ท และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอด ให้มีค่าเหมาะสม ชนิดของบัลลาสต์สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดหลักๆ ดังนี้

- บัลลาสต์ชนิดลวดแกนเหล็ก เป็นบัลลาสต์ที่ใช้กันแพร่หลายร่วมกับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านลวดที่พันรอบแกนเหล็ก จะทำให้แกนเหล็กร้อน ทำให้มีพลังงานสูญเสียประมาณ 10 -14 วัตต์



รูปที่ 2.3 บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็ก [2]

- บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นบัลลาสต์ที่ใช้ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีการสูญเสียพลังงานน้อยประมาณ 1-2 วัตต์ เปิดติดทันที ไม่กระพริบ ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ ไม่มีเสียงรบกวน ทำให้อายุการใช้งานของหลอดแสงสว่างนานขึ้น 2 เท่า เมื่อเทียบกับหลอดแสงสว่างที่ใช้ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา



รูปที่ 2.4 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ [2]

2.2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบัลลาสต์

บัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็ก

ข้อดี

- ราคาต่ำ และอายุการใช้งานยาวนานมาก (20ปี)
- ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แรงดันไม่คงที่ อุณหภูมิสูง
- ช่างติดตั้งได้อย่างคุ้นเคย และหาซื้อได้ทั่วไป

ข้อเสีย

- มีการสูญเสียพลังงานสูงประมาณ (10 – 14 วัตต์)
- ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ($PF = 0.27 - 0.52$)
- เกิดความร้อนสู่สภาพแวดล้อม และมีเสียงคราง

- ใช้เวลา 2-3 วินาทีจึงให้แสงสว่าง และมีการกระเพื่อม
- มีการกระพริบที่หลอดไฟฟ้า บัลลัสต์ หรือสตาร์ทเตอร์เสื่อม ซึ่งนอกจากจะเปลืองไฟแล้ว ยังอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้เพราะกระแสสูงผิดปกติ ทำให้ขดลวดร้อนผิดปกติ

บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์

ข้อดี

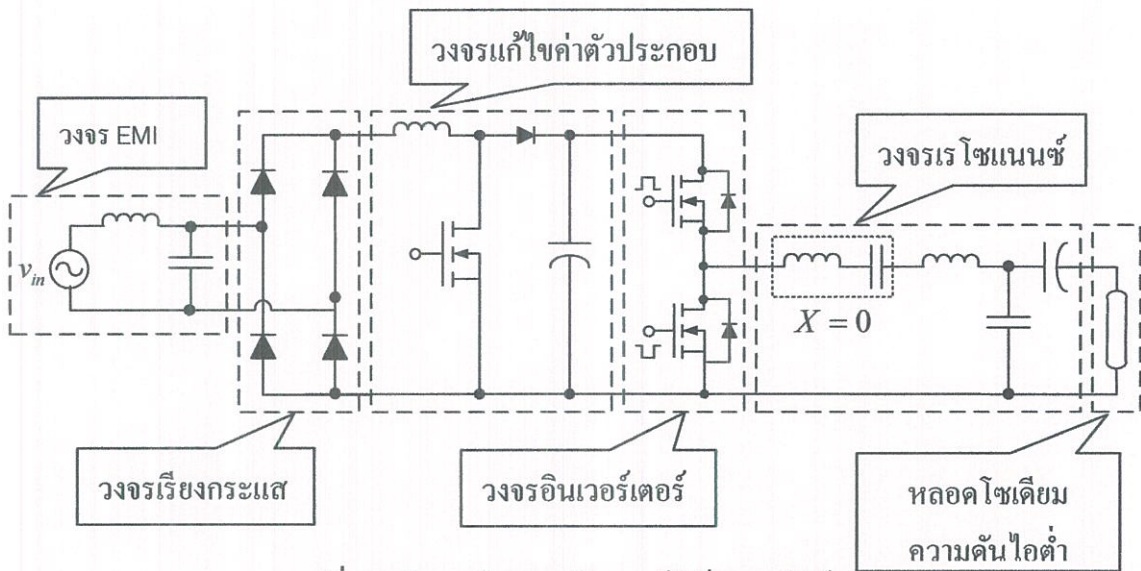
- ลดการสูญเสียพลังงานประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์
- ลดความร้อนสู่สภาพแวดล้อมสูง และลดเสียงคราง
- มีค่าตัวประกอบกำลังสูง ($PF > 0.96$)
- ให้แสงสว่างทันที และไม่มีการกระเพื่อม
- น้ำหนักเบา ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์
- สามารถใช้ร่วมกับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำได้หลายหลอด
- มีวงจรควบคุมตัดกระแสไฟเมื่อผิดปกติ
- บัลลัสต์ที่ออกแบบมาพิเศษสามารถหรี่แสงได้
- สามารถใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้

ข้อเสีย

- ราคาสูง
- มีข้อจำกัดในสถานที่ใช้งาน เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น
- มีอายุการใช้งานสั้น
- ช่างทั่วไปไม่ชำนาญในการติดตั้ง
- มีข้อเสียเรื่องสิ่งแวดล้อม ที่ขยะอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.2.2 โครงสร้างและการทำงานของบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์

บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายให้กับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบ 6 ส่วนเข้าด้วยกัน ส่วนประกอบแต่ละส่วนของบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป เมื่อทำงานร่วมกันจะเป็นวงจรบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์และให้กำลังเอาต์พุตที่หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ โดยทั่วไปของบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.5 ส่วนประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter) มีหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนจากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนบัลลาสต์และจากบัลลาสต์ที่จะออกไปยังสายส่ง และช่วยป้องกันกระแสกระชาก (Surge current) แรงดันเกินชั่วขณะ เมื่อเปิดไฟ

2. วงจรเรียงกระแส มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรส่วนนี้สามารถใช้ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่มีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ (Bulk Capacitor) ต่อท้าย หรือวงจรเรียงกระแสที่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังต่อท้ายซึ่งอาจเป็นได้ทั้งแบบแพสซีฟ (Passive Power Factor Correction, PFC) หรือแบบแอคทีฟ (Active Power Factor Correction, APFC) ซึ่งในแต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน

3. วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction Circuit, PFC) มีหน้าที่ปรับปรุงรูปคลื่นของกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกส์ และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า

4. วงจรอินเวอร์เตอร์ มีหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อจ่ายให้กับวงจรเรโซแนนซ์ ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์

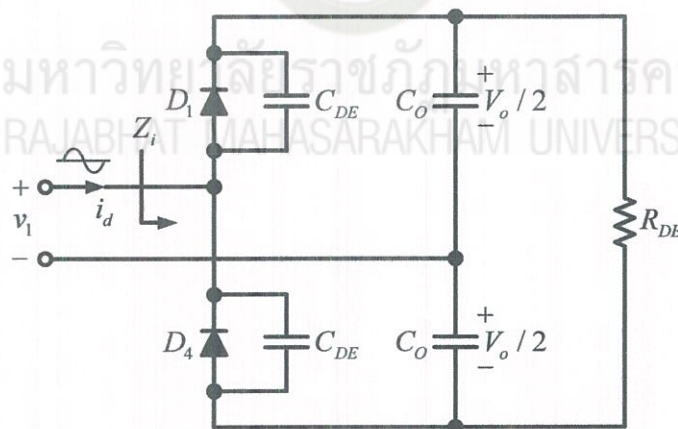
5. วงจรเรโซแนนซ์ มีหน้าที่สร้างแรงดันไฟสูงในการจุดหลอดประเภทก๊าซดิสชาร์จให้ติด และควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดในขณะสตาร์ท และกำหนดพฤติกรรมการทำงานของวงจรให้สอดคล้องกับภาระที่เป็นหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ของวงจรเรโซแนนซ์ยังสามารถมีได้หลายรูปแบบ เช่น วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและขนาน และวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมที่ต่อภาระแบบขนาน เป็นต้น

6. หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นแสงสว่างที่มีคุณสมบัติดังนี้ คือ ต้องใช้แรงดันสูงในการจุดหลอด ต้องการแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะ

เป็นแหล่งจ่ายกระแส มีความต้านทานพลวัตเป็นลบ และปริมาณแสงแปรตามกระแสผ่านหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

2.3 วงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ [1,2]

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการทำงานในส่วนต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์และการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งในส่วนของ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ และส่วนของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสติอี่ ใช้เป็นวงจรบัลลาสต์โดยทั้งสองส่วนจะทำงานสัมพันธ์กันเป็นภาคเดียว รวมถึงวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง ในงานนี้ได้เลือกวงจรเรียงกระแสแบบคลาสติอี่เพื่อแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่สามารถออกแบบให้ทำงานแบบสวิตช์แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switching, ZVS) และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลา dv/dt ของสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ได้ เนื่องจากไดโอดมีตัวเก็บประจุแฝงอันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช่ทำ จะทำให้แรงดันตกคร่อมตัวไดโอดไม่เป็นตามอุดมคติ จะเกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลาในช่วงเวลา t ดังนั้นในช่วงสภาวะนี้จึงสามารถลดค่าการสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการสวิตช์และการนำกระแสของไดโอด รวมไปถึงการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานของสวิตช์ที่สูงลงได้ ลักษณะวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ จะมีพื้นฐานเป็นวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่และต่อขานตัวเก็บประจุขานเข้าไประจุนานกับไดโอดทำให้การสวิตช์ของไดโอดทำงานเป็นแบบวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ ซึ่งเมื่อรวมเอาคุณสมบัติข้อดีทั้งสองเข้าด้วยกัน จะได้เป็นวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ ดังรูปที่ 2.6

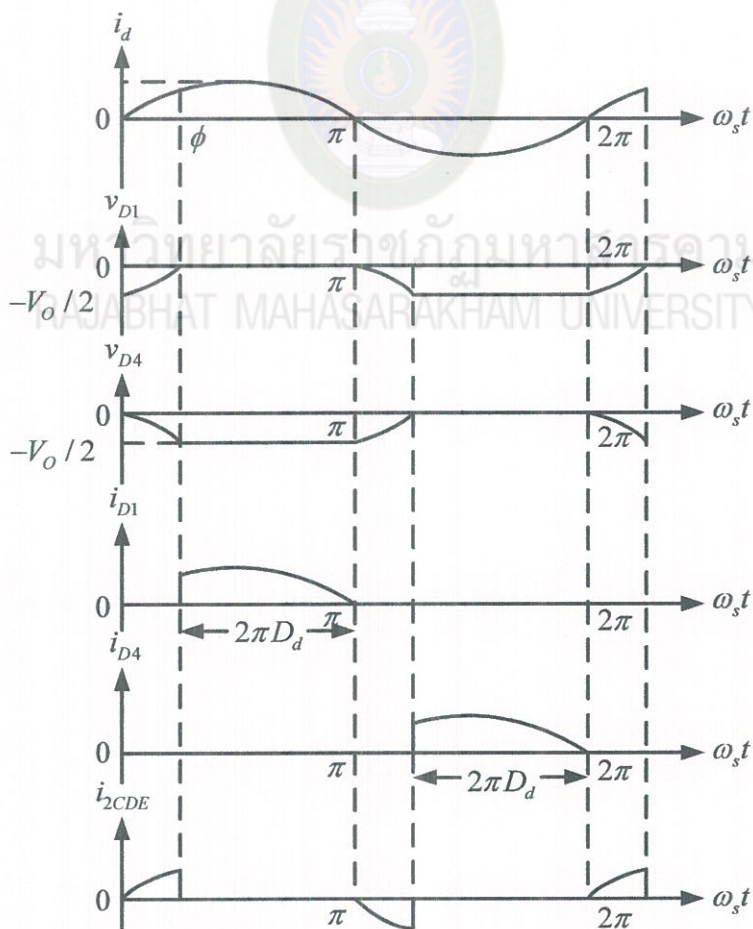


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ [1]

2.3.1 การทำงานของวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ [1,2]

จากวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ดังรูปที่ 2.7 โดยสมมติให้กระแสขั้ววงจรด้านเข้ามีรูปร่างเป็นรูปคลื่นไซน์ และพิจารณาให้ไดโอด D_1 และ D_4 รวมไปถึงตัวเก็บประจุที่ตกคร่อมอยู่กับไดโอดทั้งสองตัว C_d เป็นอุปกรณ์ในอุดมคติ และค่าตัวเก็บประจุด้านออก C_o พิจารณาให้มีขนาดใหญ่มากรๆ จนทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุด้านออกมีค่าเท่ากับ $V_o/2$ และโหลดของวงจรเรียงกระแส

คลาสดีคือค่าความต้านทาน R_{DE} จากนั้นพิจารณารูปคลื่นของวงจรเรียงกระแสคลาสดีอีดังรูปที่ 2.7 โดยที่เวลา $t=0$, กระแสรูปคลื่นไซน์ด้านเข้า i_d จะมีค่าเป็นบวกซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวไดโอด D_4 จะหยุดนำกระแส โดยในสภาวะนี้กระแสจะไหลเข้าไปชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมอยู่กับไดโอดทั้ง 2 ตัว i_{2CDE} ซึ่งช่วงเวลา $t=0$, $d_{v1}/d_t=0$ นี้เองจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน v_1 ต่อเวลา t เท่ากับศูนย์และไดโอดจะทำงานแบบสวิตช์ที่แรงดันศูนย์โดยช่วงเวลาดังกล่าวจะให้ผลสอดคล้องกับวงจรเรียงกระแสคลาสดีอี จากนั้นแรงดันด้านเข้า v_1 จะเพิ่มขึ้นจากแรงดันลบ $-V_o/2$ เป็นแรงดันบวก $V_o/2$ ที่เวลา t_0 ในช่วงเวลาดังกล่าวไดโอด D_1 จะเริ่มนำกระแสจนกระทั่งถึงช่วงเวลา $t=t_1$ หรือที่กระแสด้านเข้า i_d จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวไดโอด D_1 จะหยุดนำกระแสเช่นเดียวกัน ในสภาวะดังกล่าวนี้ กระแสจะไหลเข้าไปชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมอยู่กับไดโอดทั้ง 2 ตัว i_{2CDE} ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน v_1 ต่อเวลา t จะเท่ากับศูนย์และไดโอดทำงานแบบสวิตช์ที่แรงดันศูนย์เช่นกัน ดังนั้นในสภาวะนี้จึงสามารถลดค่าการสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการสวิตช์และการนำกระแสของไดโอดรวมไปถึงการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานของสวิตช์ที่ความถี่สูงลงได้



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นการทำงานของวงจรเรียงกระแสคลาสดีอี [1]

2.3.2 การวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสคลาสตีอี [3,4,7]

โดยกระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอีสามารถหาได้โดย $i_d(t) = i_d$ และแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุด้านออก C_o จะมีค่าเท่ากับ $V_o/2$ จากนั้นทำการอินทิเกรต $dv_1/dt = i_d/2C_{DE}$ และให้ $v_1(0) = -V_o/2$, โดยพิจารณาจากรูปคลื่นการทำงานของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอีที่เวลา $t = 0$ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการแรงดันด้านเข้า v_1 ได้โดย

$$v_1(t) = \frac{i_d}{2\omega C_{DE}}(1 - \cos \omega t) - \frac{V_o}{2} \quad (2.1)$$

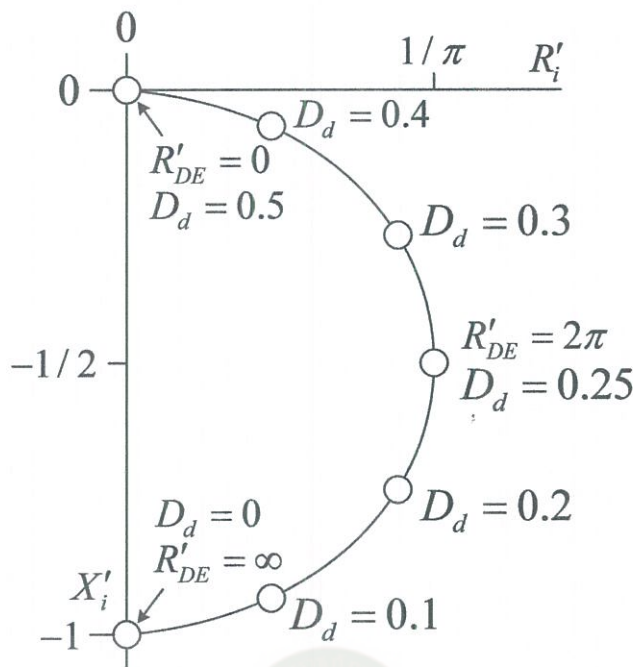
และที่เวลา $t = 0$, $dv_1/dt = i_d/2C_{DE} = 0$ (ความสัมพันธ์ของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี) จากนั้นที่เวลา $t = t_0$ จะได้แรงดันด้านเข้า v_1 ที่เวลาดังกล่าวคือ $v_1(t_0) = V_o/2$ โดยให้มุมการนำกระแสของไดโอดคือ $\phi = \omega t_0$ จากนั้นแทนค่าดังกล่าวลงในสมการที่ 2.1 จะได้สมการที่ 2.2 ดังนี้

$$\cos \phi = 1 - \frac{2\omega C_{DE} V_o}{i_d} \quad (2.2)$$

โดยจากรูปที่ 2.7 สามารถหาวัฏจักรงานของไดโอด D_1 และ D_2 ได้โดย

$$D_d = (\pi - \phi) / 2\pi \quad (2.3)$$

ซึ่งค่าวัฏจักรงานของไดโอดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก 0 เปอร์เซ็นต์จนถึง 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ด้านเข้ากับวงจกรงานไดโอด D_1 และ D_2 ที่สภาวะ
วงจกรงานต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสคลาสติอี [15]

จากนั้นสามารถหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสคลาสติอีที่กระแสความถี่สูงได้โดยใช้
การวิเคราะห์แบบอนุกรมฟูเรียร์ ได้โดยค่าความสัมพันธ์ของแรงดัน $v_1(t)$ และกระแสด้านเข้า $i_d(t)$
ดังนี้

$$V_1 = 2 \cdot \frac{\omega}{\pi} \left(\int_0^{\phi/\omega} v_1(t) e^{-j\omega t} dt + \int_{\phi/\omega}^{\pi/\omega} \frac{V_o}{2} e^{-j\omega t} dt \right)$$

$$= V_o \frac{\sin \phi \cos \phi - \phi - j\phi \sin^2 \phi}{\pi(1 - \cos \phi)} \quad (2.4)$$

$$i_d = 2 \cdot \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\pi/\omega} i_d \sin \omega t e^{-j\omega t} dt$$

$$= -ji_d \quad (2.5)$$

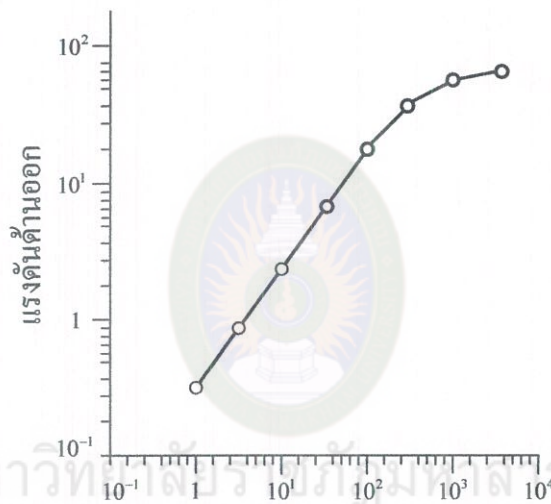
และแทนขนาดของกระแสด้านเข้า i_d จากสมการที่ 2.2 ลงในสมการที่ 2.5 โดยอิมพีแดนซ์ด้าน
เข้าของวงจรเรียงกระแสคลาสติอีสามารถหาได้โดย $Z_i = V_1 / i_d$ จากนั้นทำการนอร์มัลไลซ์โดยใช้
 $2\omega C_{DE}$ จะได้อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสคลาสติอีที่ทำการนอร์มัลไลซ์แล้วดังนี้

$$Z'_i = 2\omega C_{DE} Z_i = \frac{\sin^2 \phi + j(\sin \phi \cos \phi - \phi)}{\pi} \quad (2.6)$$

เพราะฉะนั้นค่ารีซิสแตนซ์และค่ารีแอคแตนซ์ที่ทำการนอร์มัลไลซ์ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$R'_i = \frac{\sin^2 \phi}{\pi} \quad (2.7)$$

$$X'_i = \frac{\sin \phi \cos \phi - \phi}{\pi} \quad (2.8)$$



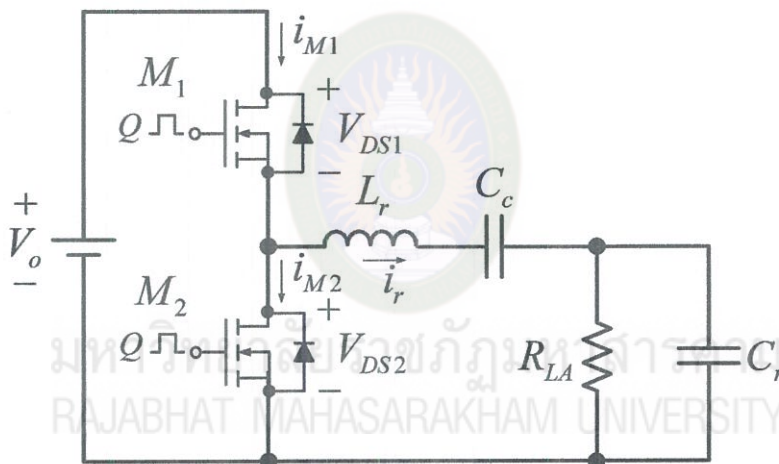
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านออก V_o กับโวลตความต้านทาน R_{DE} และที่สภาวะต่างๆ ของวงจรเรียงกระแสคลาสติอ์ [15]

2.4 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสติอ์ [5,1,2]

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสติอ์มีพื้นฐานวงจรเป็นแบบกึ่งบริดจ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากในการนำไปใช้งานจะมีแรงดันตกคร่อมบนตัวสวิตซ์ต่ำ โดยมีค่าสูงสุดไม่เกินแรงดันขาเข้า ด้วยเหตุผลนี้จึงเหมาะกับการนำมาใช้งานที่แรงดันสูง โดยทั่วไปสวิตซ์ที่นำมาใช้งานจะเป็นมอสเฟต เนื่องจากมอสเฟตมีความต้านทานขณะนำกระแสต่ำกว่าหากทำงานอยู่ในพิกัดของอุณหภูมิที่รอยต่อ หากแต่ค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟต r_{DS} จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังเนื่องจากการนำกระแสของมอสเฟต $I_{rms}^2 \times r_{DS(on)}$ เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

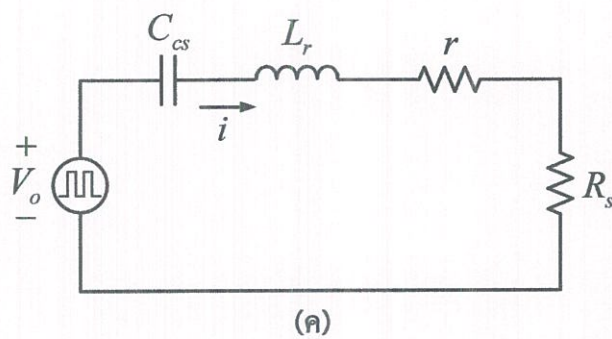
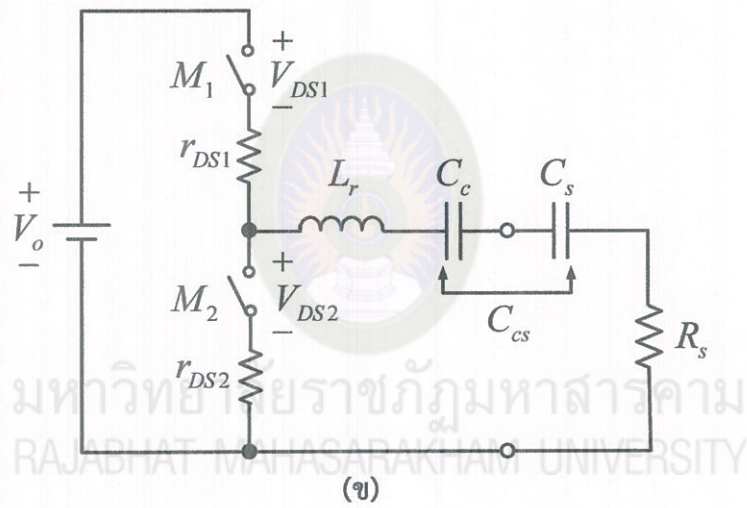
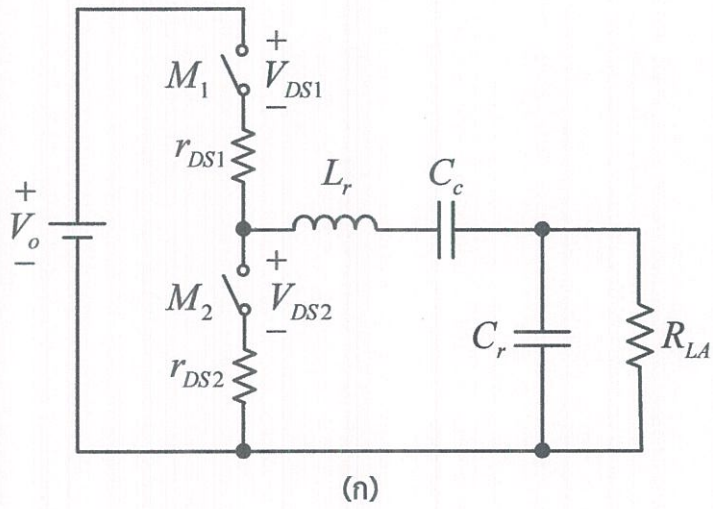
2.4.1 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี [1,2]

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดีแสดงในรูปที่ 2.16 ประกอบด้วยตัวต้านทาน R_{LA} แสดงตัวเป็นโหลดกระแสสลับซึ่งมีกำลังไฟฟ้ามาสูญเสียที่ตัวมัน ตัวเก็บประจุ C_c ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่าน R_{LA} โดยตัวเก็บประจุ C_c จะต่ออนุกรมกับ L_r โดยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_c จะมีค่าประมาณ $V_o / 2$ และสวิตช์ M_1, M_2 จะทำหน้าที่ในการขับวงจรเรโซแนนซ์ L_r, C_r, C_c ซึ่งสวิตช์กำลัง M_1 และ M_2 จะแทนด้วยมอสเฟตซึ่งมีแอนติพาราเลลไดโอดอยู่ในตัวอยู่แล้ว โดยช่วงเวลาที่นำกระแสสลับจะยอมให้กระแสสวิตช์ทั้งบวกและลบผ่านได้ แต่ถ้าเป็นช่วงเวลาที่หยุดนำกระแส มอสเฟตจะยอมให้กระแสไหลกลับไหลผ่านเพียงอย่างเดียวโดยผ่านบอดีไดโอดที่มีอยู่ในตัวมอสเฟต มอสเฟตจะถูกขับด้วยสัญญาณแรงดันรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า v_{GS1} และ v_{GS2} โดยไม่มีส่วนการทำงานที่ซ้อนทับกัน และมีความถี่การทำงาน $f = \omega / 2\pi$ ซึ่งมอสเฟตทั้งสองจะสลับกันนำกระแสและหยุดนำกระแสด้วยวัฏจักรงานประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

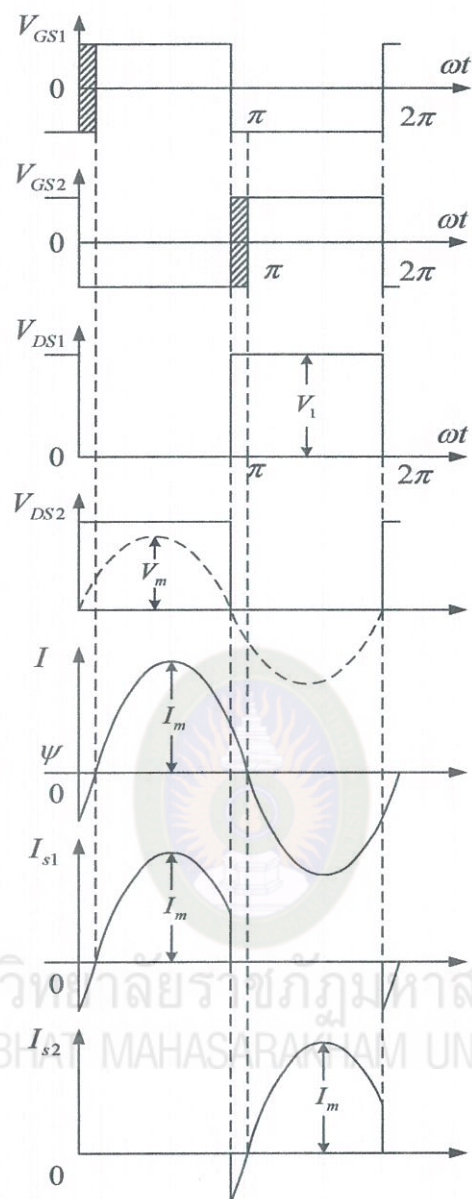


รูปที่ 2.10 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี [3]

วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 โดยมอสเฟตที่ใช้ในการออกแบบจะมีความต้านทานขณะนำกระแสเป็น r_{DS1}, r_{DS2} และวงจรขนาน C_r แสดงดังรูปที่ 2.11 (ก) และแทนวงจรเรโซแนนซ์ด้วยวงจรอนุกรม R_s, C_s ดังรูปที่ 2.11(ข) จากนั้นในรูปที่ 2.11(ค) แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง V_o และสวิตช์ M_1 และ M_2 จะแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าแรงดันต่ำสุดคือศูนย์และสูงสุดคือค่ายอดของแรงดันไฟตรง V_o และ $(r_{DS1} + r_{DS2}) / 2$ คือค่าความต้านทานอนุกรมแฝง (Equivalent Series Resistance, ESR) รวมของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี โดยรูปคลื่นสัญญาณของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดีจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี [3]



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นแสดงการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี [9]

2.4.2 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสดี [1]

ในส่วนของวงจรเรโซแนนซ์ดังรูปที่ 2.12 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรเรโซแนนซ์ได้โดยให้ C_c มากกว่า C_r มาก ๆ จึงสามารถใช้สูตรของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานได้มีดังนี้

1. ความถี่เรโซแนนซ์เชิงมุม

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (2.9)$$

2. อิมพีแดนซ์เชิงคุณลักษณะ

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (2.10)$$

3. ตัวประกอบคุณภาพโหลดที่ความถี่เชิงมุม

$$Q_L = \frac{R_{LA}}{Z_o} \quad (2.11)$$

4. ตัวเก็บประจุสมมูล C_c และ C_s ที่ต่อในลักษณะอนุกรมกัน

$$C_{cs} = \frac{C_c C_s}{C_c + C_s} \quad (2.12)$$

5. ความถี่เรโซแนนซ์

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_{cs}}} \quad (2.13)$$

6. ค่าของตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์

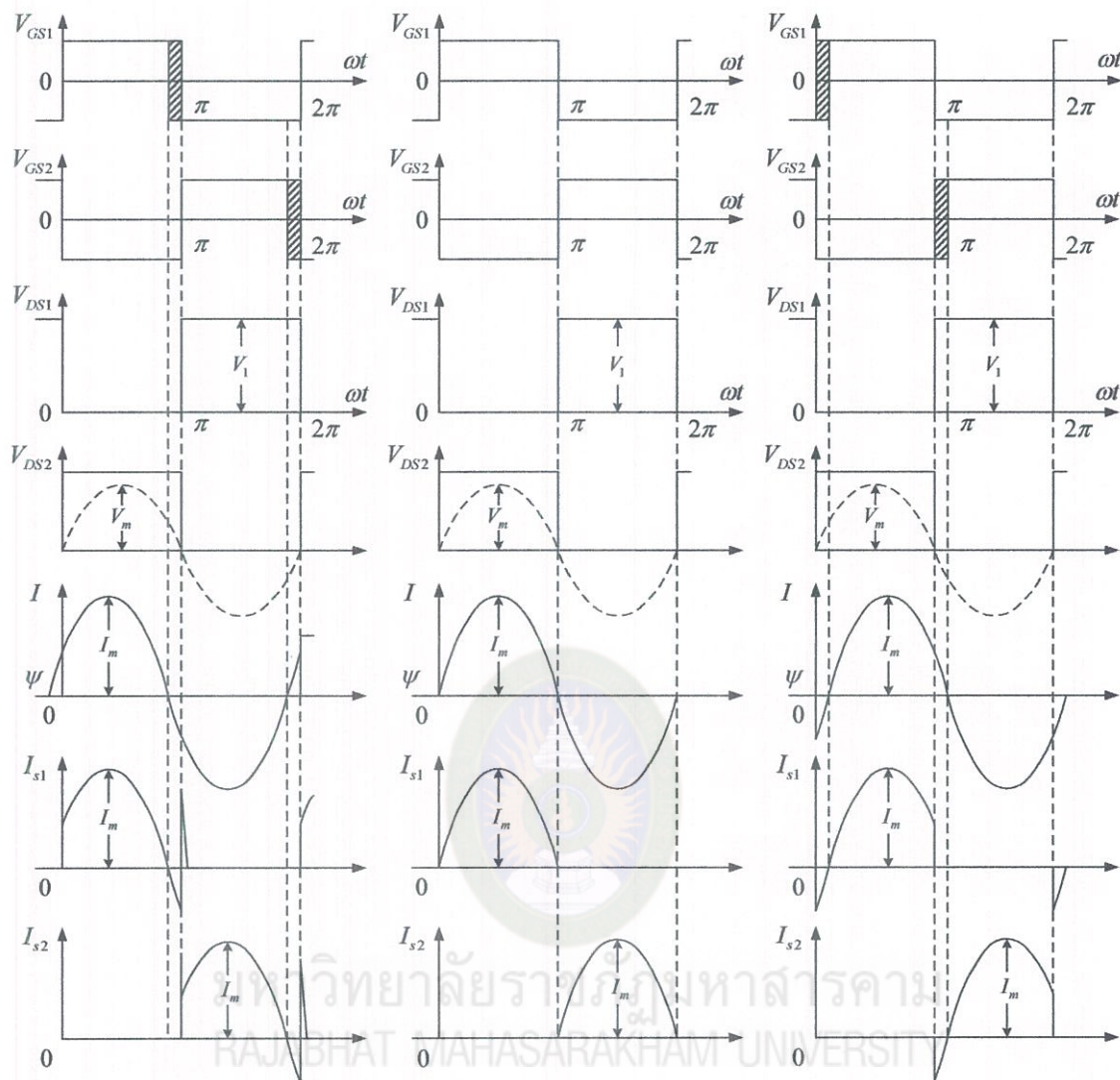
$$L_r = \frac{Z_o}{\omega_o L_r} \quad (2.14)$$

7. ค่าของตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

$$C_r = \frac{L_r}{Z_o^2} \quad (2.15)$$

8. อัตราส่วนความถี่

$$\omega_n = \frac{\omega_s}{\omega_r} \quad (2.16)$$



(ก) ที่ $f_s < f_r$

(ข) ที่ $f_s = f_r$

(ค) ที่ $f_s > f_r$

รูปที่ 2.13 รูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่ความถี่ต่างๆ

การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานวิจัยนี้โดยทั่วไปจะเลือกทำงานที่อัตราส่วนของความถี่ 1.05 เท่าของความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการทำงานได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การทำงานที่ความถี่สวิตซ์ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ และที่ความถี่สวิตซ์สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ดังรูปที่ 2.13

การทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ [1]

การทำงานที่ความถี่สวิตช์ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ โดยมีรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่โหลด และสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ ดังรูปที่ 2.13(ก) สามารถแทนวงจรเรโซแนนซ์ด้วยโหลดตัวเก็บประจุ เพราะฉะนั้นกระแสที่ไหลเข้าสู่ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ กระแสจะนำหน้าองค์ประกอบมูลฐานของแรงดัน v_{DS2} การทำงานในย่านความถี่นี้จะไม่ขอแนะนำ เพราะว่าแอนติพาราเลลไดโอดของมอสเฟตจะหยุดนำกระแสที่ di/dt สูงมากและจะทำให้เกิดกระแสไปก่เนื่องจาก การฟื้นตัวย้อนกลับของแอนติพาราเลลไดโอดซึ่งจะสร้างกระแสไปก่ขนาดใหญ่ในการฟื้นตัวย้อนกลับ กระแสไปก่ดังกล่าวจะไม่ผ่านไปทางวงจรเรโซแนนซ์จึงทำให้เกิดสภาวะการเปิดวงจรออกของตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L , เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำในวงจรจะไม่ยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลัน กระแสไปก่จึงพุ่งทะลุไปสร้างความเสียหายให้กับสวิตช์อีกตัวทันที ดังนั้นการทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์จึงไม่นิยม

การทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ [1]

การทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะทำให้โหลดมีสภาพเป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำ โดยมีรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่โหลด และสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ ดังรูปที่ 2.13(ค) สามารถแทนวงจรเรโซแนนซ์ด้วยโหลดตัวเหนี่ยวนำ เพราะฉะนั้นกระแสที่ไหลเข้าสู่ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ กระแสจะล่าหลังองค์ประกอบมูลฐานของแรงดัน v_{DS2} และแอนติพาราเลลไดโอดของมอสเฟตจะหยุดนำกระแสที่ $di/dt = 0$ ซึ่งจะไม่เกิดกระแสไปก่เนื่องจากการฟื้นตัวย้อนกลับของแอนติพาราเลลไดโอด ดังนั้นการทำงานของสวิตช์จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องกัน ในกรณีการทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะมีการสูญเสียในช่วงการตัดวงจรของมอสเฟตและไดโอด ส่วนการทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ช่วงการตัดวงจรของมอสเฟตและไดโอดเกิดขึ้นที่แรงดันศูนย์จึงไม่มีการสูญเสีย เมื่อพิจารณาจากการทำงานที่ความถี่ทั้งสองแบบจึงเลือกให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์เล็กน้อย เพื่อให้กำลังผ่านไปทีโหลดมีค่าสูง และไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์เนื่องจากแอนติพาราเลลไดโอดของมอสเฟต

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายถึงการวิเคราะห์และออกแบบวงจรกำลัง และวงจรควบคุมที่ใช้ประกอบในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งส่วนของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรเรียงกระแสคลาสติอี และส่วนของวงจรเรโซแนนซ์แปลงผันคลาสติ ใช้เป็นวงจรบัลลาสต์โดยทั้งสองส่วนจะทำงานสัมพันธ์กันเป็นภาคเดียว รวมถึงวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง

3.1 การออกแบบส่วนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

การออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้งานกับโหลดโซเดียมความดันไอต่ำขนาด 35 วัตต์ การออกแบบจะกำหนดให้แรงดันอินพุตไฟฟ้าสลับขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ประสิทธิภาพโดยรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีค่าร้อยละ 90 ดังนั้น กำลังด้านเข้า $P_{in} = P_{out} / \eta_{tot} = 35 \text{ W} / 0.9 = 38.888 \text{ W}$. ขนาดของแรงดันด้านเข้า $V_i = \sqrt{2}V_{i(rms)} = \sqrt{2} \times 220 \approx 311 \text{ V}$. แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุสะสมพลังงาน $V_B = V_i \times V_o / V_B = 311 \text{ V} - 1.051 = 327 \text{ V}$.

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ในวงจรเรียงกระแสคลาสติอีสำหรับแก้ค่าตัวประกอบกำลัง [2]

| $D_{d\max}$ | $2\omega_s C_{D1} R_{D(\min)}$ | V_B / V_i |
|-------------|--------------------------------|-------------|
| 0.10 | 58.929 | 5.617 |
| 0.15 | 24.98 | 2.889 |
| 0.20 | 11.866 | 1.929 |
| 0.25 | 6.283 | 1.492 |
| 0.30 | 3.309 | 1.259 |
| 0.35 | 1.626 | 1.127 |
| 0.40 | 0.661 | 1.051 |
| 0.45 | 0.156 | 1.012 |
| 0.50 | 0.000 | 1.000 |

สำหรับการออกแบบวงจรเรียงกระแสคลาสติอีในสภาวะไม่มีโหลดพิจารณาที่ตำแหน่งใกล้จุดแรงดันต่ำสุด แรงดันของวงจรจะมีค่าสูงและวัฏจักรงาน D_d ของกระแสไหลผ่านไดโอด i_d จะมีค่าต่ำ ดังนั้นในสภาวะไม่มีโหลดวัฏจักรงานเท่ากับ $D_d = D_{d\min} = 0$ และสภาวะโหลดเต็ม พิกัดโหลดวัฏจักรงาน $D_d = D_{d\max} = 0.40$ (ถ้าเลือกใช้ $D_{d\max}$ ค่าต่ำความเครียดบนตัวสวิตช์ จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากแรงดันบัลได้เพิ่มสูงขึ้น) จาก $D_{d\max} = (\pi - \phi) / 2\pi = 0.40$

ดังนั้นมุม นำกระแสของไดโอด $\phi = \pi - 2\pi D_{d_{\max}} = 0.628 \text{ rad/s}$. กระแสขับสูงสุด $I_{in} = I_{o(\max)} = \sqrt{2} P_{in} / V_{i(rms)} = 0.249 \text{ A}$. ที่โหลดเต็มพิกัด $R_{D(\min)}$ คือโหลดของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี

$$R_{DE(\min)} = \frac{V_B - V_{in}}{I_{o(\max)}} = \frac{(327 - 311)}{0.249} = 64.257 \Omega. \quad (3.1)$$

ตัวเก็บประจุของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอีจะเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุมาตรฐาน $C_{DE} = 10 \text{ nF}$ โดยอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอีสามารถหาได้โดย $Z_i = V_1 / i_d$ จากนั้นทำการนอร์มัลไลซ์โดยใช้ $2\omega_s C_{D1}$ ที่โหลดเต็มพิกัด อิมพีแดนซ์ของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี

$$Z'_{i_fl} = \omega_s 2C_{D1} Z_i = R'_{i_fl} + jX'_{i_fl} \quad (3.3)$$

เพราะฉะนั้น ค่ารีซิสแตนซ์และรีแอคแตนซ์ที่ทำการนอร์มัลไลซ์แล้วซึ่งสามารถหาได้โดย

$$R'_{i_fl} = \frac{\sin^2 \phi}{\pi} = 0.109 \quad (3.4)$$

และ

$$X'_{i_fl} = \frac{\sin \phi \cos \phi - \phi}{\pi} = 0.048 \quad (3.5)$$

ดังนั้น อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี

$$Z_i = 10.9 + j4.8 \Omega. \quad (3.6)$$

เพื่อให้การออกแบบง่ายขึ้นได้สมมุติว่าคาปาซิแตนซ์ C_d, C_i ดังนั้นคาปาซิแตนซ์ทั้งหมด $C_{di} = C_i C_d / (C_i + C_d)$ ประมาณเท่ากับ C_i เพราะฉะนั้นสามารถหาขนาดของกระแส i_d ในสภาวะโหลดเต็มพิกัด

$$i_{d_fl} = \sqrt{\frac{2I_{o(\max)} \times (V_B - V_{in})}{R_{i_fl}}} = 8.854 \text{ A}. \quad (3.7)$$

โดยออกแบบให้ปัสแรงดันกระแสตรง $V_B = 327 \text{ V}$. ดังนั้นในสภาวะโหลดเต็มพิกัดจะได้กระแส $i_{d_fl} = 0.854 \text{ A}$. และขนาดของแรงดัน V_1 สามารถหาได้โดย

$$V_1 = i_{d_fl} |Z_{i_fl}| \quad (3.8)$$

และขนาดของวงอิมพีแดนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม คือ

$$|Z_{i_fl}| = \sqrt{R_{i_fl}^2 + \left(\omega_s L_d - \frac{1}{\omega_s C_{i_fl}} \right)^2} \quad (3.9)$$

ที่บริเวณใกล้จุดตัดผ่านศูนย์แรงดันด้านเข้า V_g กระแสด้านออก I_g ของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอี และพิกัดวัฏจักรงานต้องเท่ากับศูนย์ ซึ่งในสถานะไม่มีโหลดของวงจรเรียงกระแสคลาสตีอีค่าอินพุตริซิคแดนซ์ $R_i = 0$ และอินพุตคาปาซิแตนซ์ C_i เท่ากับ C_D ขนาดของแรงดัน C_i ต้องเท่ากับ V_s กระแสด้านเข้าบางช่วงถึงจะไม่ทำงาน ถ้ากระแสอินพุตเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์ แสดงว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุสูงเกินไป ที่สถานะไม่มีโหลดขนาดของกระแสขับ i_d คือ

$$i_{d_nl} = \frac{V_B / 2}{-j / \omega_s 2C_{DE}} = 1.684 \text{ A.} \quad (3.10)$$

ดังนั้นขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันสมมูล V_1 คือ

$$V_1 = i_{d_nl} \left| j\omega_s L_d - \frac{j}{\omega_s 2C_{D1}} \right| \quad (3.11)$$

เพราะฉะนั้นเมื่อทำการแก้สมการ (3.8), (3.9), และ (3.11) จะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำ $L_d = 380.419 \mu\text{H}$. และค่าตัวเก็บประจุ C_d จะมีค่าจำกัดในทางปฏิบัติ ดังนั้นค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุ $C_d = 100 \text{ nF}$. สามารถชดเชยได้โดยการเพิ่มค่าความเหนี่ยวนำ L_e ให้กับตัวเหนี่ยวนำ L_d ซึ่งค่าตัวเหนี่ยวนำ L_e สามารถหาได้โดย

$$L_e = \frac{1}{\omega_s^2 C_d} = 37.671 \mu\text{H.} \quad (3.12)$$

$L_{d(\text{total})} = L_d + L_e = 380.419 + 37.671 = 418.090 \mu\text{H}$. ตัวเก็บประจุ C_o มีหน้าที่เก็บประจุสะสมพลังงานที่มาจากวงจรบูสต์ในส่วนของการแก้ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าสูงสุดของแรงดันริปเปิล V_{ripple} ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_o ได้มาจาก

$$V_{ripple} = \frac{P_{in}}{2V_o \omega_L C_o} \quad (3.13)$$

ดังนั้น ถ้ากำหนดให้แรงดันริบเปิลน้อยกว่า 1% ค่าตัวเก็บประจุสะสมพลังงาน C_o เท่ากับ

$$C_o \geq \frac{P_{in}}{0.02V_o^2 \omega_L} \quad (3.14)$$

3.2 การออกแบบส่วนบัลลาสต์

จากวงจรสมมูลของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ออกแบบให้ใช้สำหรับหลอดโซเดียมความดันไอต่ำขนาด 36 วัตต์ โดยหลอดโซเดียมความดันไอต่ำทำงานคงที่มีแรงดันคร่อมหลอด $V_{LA} = 100$ V. และมีกระแสไหลผ่านหลอด $I_{LA} = 0.35$ A. ดังนั้นค่าความต้านทานหลอด $R_{LA} = V_{LA} / I_{LA} = 285.714 \Omega$. และกำลังด้านออกที่หลอด $P_{out} = 35$ W ที่กำลังสูงสุด ถ้ากำหนดให้ความถี่ $f_o = f_s$ ตัวเก็บประจุคัปปลิง C_c จะมีขนาดใหญ่่มาก ๆ ดังนั้นจึงสามารถหาระดับคุณภาพของโหลด

$$Q_L = \frac{\pi V_{LA}}{\sqrt{2} V_o} = 0.679 \quad (3.15)$$

อิมพีแดนซ์เชิงคุณลักษณะ

$$Z_o = \frac{R_{LA}}{Q_L} = 420.786 \Omega \quad (3.16)$$

ค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์

$$L_r = \frac{Z_o}{\omega_o} = 815.183 \mu\text{H} \quad (3.17)$$

ค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

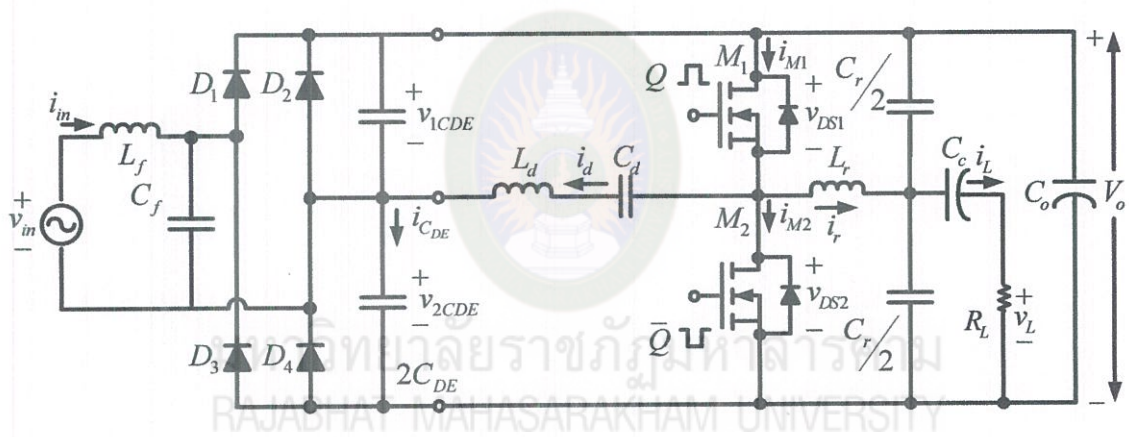
$$C_r = \frac{1}{\omega_o Z_o} = 4.612 \text{ nF} \quad (3.18)$$

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (PSpice ใน OrCAD เวอร์ชัน 9.2.3) และจากผลการวัดวงจรต้นแบบ โดยจะแสดงผลการทดลองด้วยกราฟแสดงผลการทดลองต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่ได้นำเสนอ

จากการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับโหลดโซเดียมความดันไอต่ำที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสิคัลเพื่อการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า เมื่อนำมาประกอบเป็นวงจรต้นแบบจะได้วงจรดังรูปที่ 4.1 และทำการทดลองซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับหลักการวิเคราะห์ทางทฤษฎี โดยจากการออกแบบคำนวณหาค่าพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสิคัล
เพื่อการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า

ตารางที่ 4.1 ค่าอุปกรณ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง

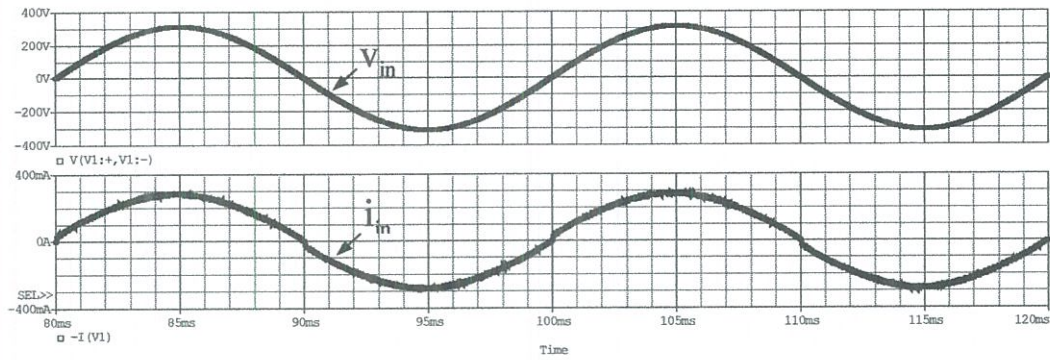
| อุปกรณ์ | รายละเอียด |
|------------|-------------|
| L_f | 5 mH |
| L_d | 420 μ H |
| L_r | 815 μ H |
| C_f, C_d | 100 nF |

ตารางที่ 4.1 ค่าอุปกรณ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

| อุปกรณ์ | รายละเอียด |
|----------------------|------------|
| $2C_{DE}$ | 20 nF |
| C_r | 4.6 nF |
| C_c | 1 μ F |
| C_o | 68 μ F |
| R_{LA} | 35 W |
| D_1, D_2, D_3, D_4 | MUR460 |
| M_1, M_2 | IRF840 |

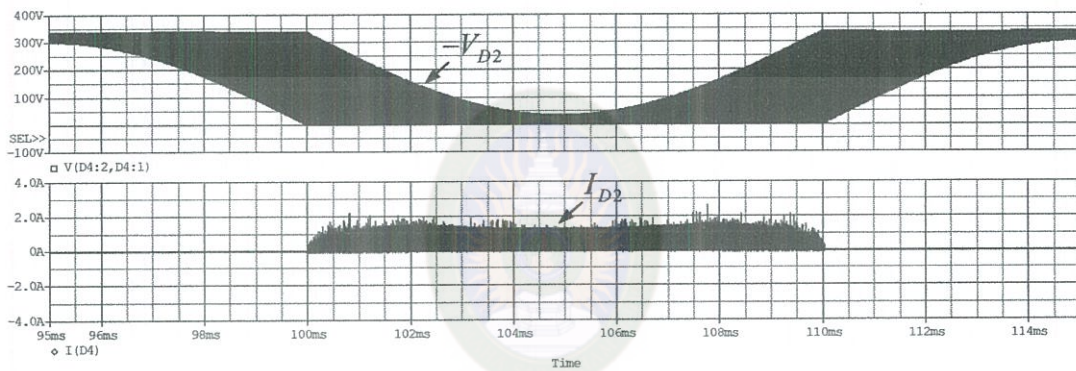
4.2 ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการจำลองผลการทำงานของวงจรได้มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (PSpice ใน OrCAD เวอร์ชัน 9.2.3) โดยจะแสดงผลการทดลองด้วยกราฟแสดงผลการทดลองต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้ รูปที่ 4.2 ได้แสดงรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแสด้านเข้าซึ่งการจัดให้วงจรเรียงกระแสชนิดบริดจ์ทำงานในรูปแบบของวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่เป็นตัวตัดรูปคลื่นกระแสขาเข้า เป็นผลทำให้มุมการนำกระแสของไดโอดเรียงกระแสชนิดบริดจ์เพิ่มมากขึ้น โดยที่ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าจะมีค่าเท่ากับ 0.99 และค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของกระแสด้านเข้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 4.2 รูปที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อม และกระแสไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสชนิดบริดจ์ D_2 รูปที่ 4.4 รูปคลื่นของสัญญาณกระแสขั้วนำวงจรเรียงกระแสคลาสติอี่ รูปที่ 4.5 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์ V_{DS} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_D ของมอสเฟต M_2 แสดงให้เห็นว่ากระแสไหลผ่านเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมมอสเฟต M_2 ที่ขอบขาลงมีค่าเป็นศูนย์แล้วจึงทำการสวิตช์ (ZVS) สัญญาณทั้งสองจึงไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นจึงไม่มีค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสวิตช์ รูปที่ 4.6 รูปคลื่นสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่โหลดตลอดโซ่เต็มความดันโิต่าจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่สูงตามสัญญาณการสวิตช์ และรูปที่ 4.7 รูปคลื่นแสดงลักษณะสัญญาณความถี่สูงของกระแสด้านออกที่มีค่าตัวประกอบยอดคลื่นเท่ากับ 1.42 เท่า



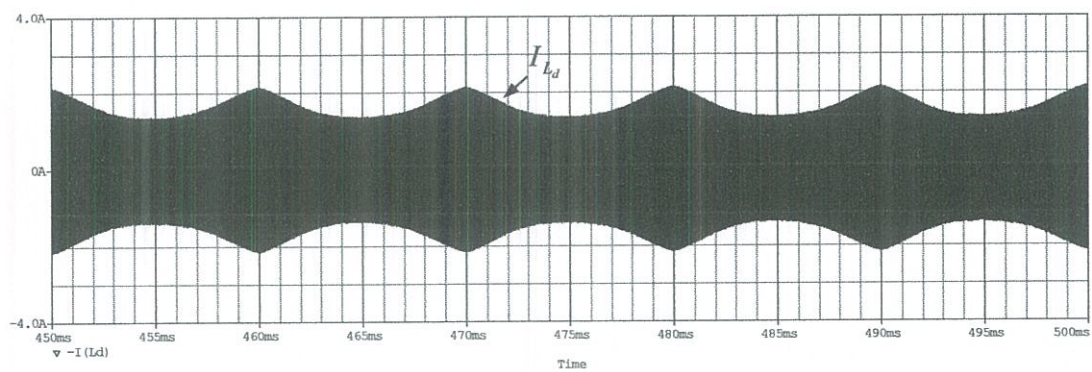
(vertical Ch1:200V/div,Ch2:400mA/div)
(horizontal 5mS/div)

รูปที่ 4.2 รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และกระแสด้านเข้า



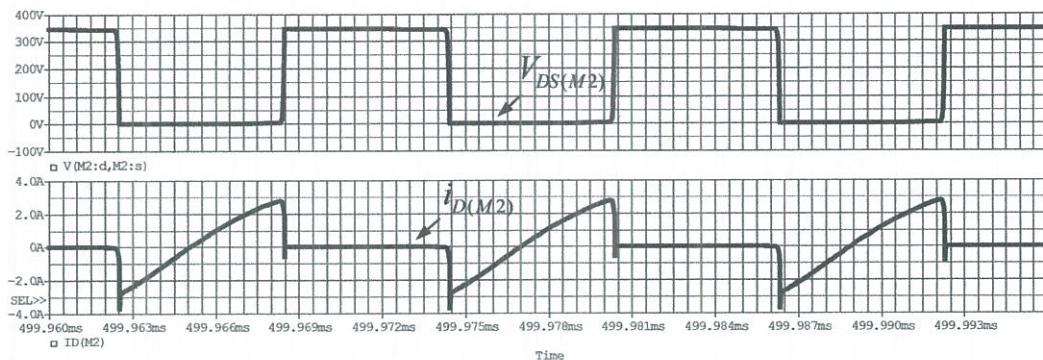
(vertical Ch1:100V/div,Ch2:2A/div)
(horizontal 2mS/div)

รูปที่ 4.3 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อม และกระแสไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสชนิดบริดจ์ D_2



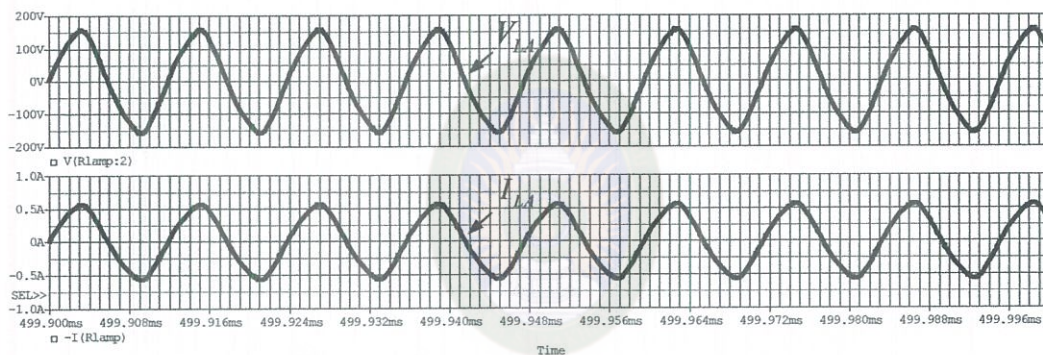
(vertical Ch1:4A/div)
(horizontal 5mS/div)

รูปที่ 4.4 รูปคลื่นของสัญญาณกระแสขั้วนำวงจรเรียงกระแสคลาสิคี่



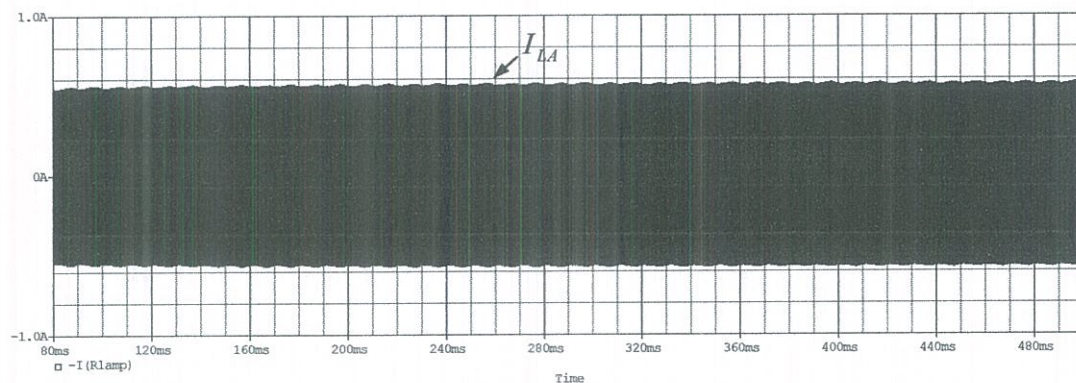
(vertical Ch1:100V/div, Ch2:2A/div)
(horizontal 3μS/div)

รูปที่ 4.5 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์ V_{DS} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_D ของมอสเฟต M_2



(vertical Ch1:100V/div, Ch2:0.5A/div)
(horizontal 8μS/div)

รูปที่ 4.6 สัญญาณกระแส และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่โหลดหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ



(vertical Ch1:1A/div)
(horizontal 40mS/div)

รูปที่ 4.7 รูปคลื่นแสดงกระแสตกคร่อมหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ R_{LA}

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกส์ด้านเข้าเทียบกับมาตรฐานการควบคุมกระแสฮาร์มอนิกส์ของอุปกรณ์แสงสว่าง (IEC 61000-3-2 Class C)

| อันดับกระแสฮาร์มอนิกส์ | ผลการจำลอง (%) | IEC 61000-3-2 คลาส ซี (%) |
|------------------------|----------------|---------------------------|
| 1 | 100 | - |
| 3 | 0.03 | < 28.8 |
| 5 | 0.02 | < 10 |
| 7 | 0.00 | < 7 |
| 9 | 0.00 | < 5 |
| 11 | 0.00 | < 3 |
| 13 | 0.00 | < 3 |
| 15 | 0.00 | < 3 |
| 17 | 0.00 | < 3 |
| 19 | 0.00 | < 3 |

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของวงจร สามารถหาได้จากสมการที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าด้านเข้าสามารถหาได้จากรูปคลื่นสัญญาณแรงดัน และกระแสด้านเข้า

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_{in(rms)} \times I_{in(rms)} = \frac{V_{in(peak)}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{in(peak)}}{\sqrt{2}} \\
 &= \frac{311}{\sqrt{2}} \times \frac{0.248}{\sqrt{2}} \\
 &= 38.5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้าด้านเข้าสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V_{LA(rms)} \times I_{LA(rms)} = \frac{V_{LA(peak)}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{LA(peak)}}{\sqrt{2}} \\
 &= \frac{142}{\sqrt{2}} \times \frac{0.5}{\sqrt{2}} \\
 &= 35.4 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{35.4 \text{ W}}{38.5 \text{ W}} \times 100\% = 92 \text{ เปอร์เซ็นต์} \quad (4.1)$$

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันต่ำภาคเดียว ที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสตี้อีซึบด้วยแหล่งจ่ายกระแสเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า โดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่นำเสนอประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสคลาสตี้อีทีที่มีการสวิตช์แบบแรงดันศูนย์ (ZVS) และวงจรแปลงผันแรงดันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเรโซแนนซ์ขนานคลาสตี้อีใช้เป็นวงจรบัลลาสต์ ซึ่งทั้งสองส่วนจะทำงานสัมพันธ์กันเป็นภาคเดียว

วงจรต้นแบบออกแบบให้ใช้กับหลอดโซเดียมความดันต่ำขนาด 35 วัตต์ แรงดันด้านเข้า 220 โวลต์ ที่ความถี่สวิตช์ประมาณ 82 กิโลเฮิร์ตซ์ ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบนั้นมีค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของกระแสด้านเข้าเท่ากับร้อยละ 4.2 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมกระแสฮาร์มอนิกส์ของอุปกรณ์แสงสว่าง (IEC 61000-3-2 คลาส C) ที่กำหนดให้ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกส์ของกระแสขาเข้าต้องไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าเท่ากับ 0.99 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (IEC 61000-3-2 คลาส C) ที่กำหนดให้ต้องมีค่ามากกว่า 0.90 และค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสหลอดมีค่าเท่ากับ 1.42 เท่า ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1506-2541) ที่กำหนดให้ไม่เกิน 1.7 เท่า ดังนั้นบัลลาสต์ที่ทำวิจัยนี้จึงอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนด และประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าประมาณ 92 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่จ่ายกำลังสูงสุด โดยผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับหลักการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

1. ไชยรินทร์ อัครวโรดม, 2548, “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ภาคเดี่ยวที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสติอเพื่อการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-10
2. ศศิลักษณ์ จันทร์หอม, 2551, “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรเรียงกระแสคลาสติอและตัวเหนี่ยวนำที่มีแท็บเพื่อการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 7-9

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

3. E. E. Hammer and T.K. McGowan., 1985 “Characteristics of Various F40 Fluorescent Systems at 60 Hz and High Frequency.” IEEE Transactions Industry Applications, pp. 11-16.
4. E. Gluskin., 1989 “Discussion of the Voltage/Current Characteristic of a Fluorescent Lamp.” Proc. Inst. Electr. Eng, pp. 229-232.
5. Minoru Maehara., 1993, “Inverter Device for Stable, High Power Factor Input Current Supply”, Japan Patent Number: 5,274,540
6. Kazimierczuk, M.K. and Szaraniec, W., 1993, “Electronic Ballast for Fluorescent Lamp”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 8, No. 4, pp. 386-395.
7. Hamill, D.C., 1996, “ClassDE inverters and rectifiers for DC-DC conversion” IEEE CONFERENCES, Power Electronics Specialists Conference, pp.854-860.
8. Chen, W.; Lee, F.C., 1997, “An improved “charge pump” electronic ballast with low THD and low crest factor”, IEEE Transactions on Power Electronics, No. 1, pp. 867-875.

9. Jinrong, Q. and Lee, F.C., 2000, "Charge Pump Power-Factor-Correction Technologies Part I: Concept and Principle", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 15, No. 1, pp. 121-129.
10. Jinrong, Q. and Lee, F.C., 2000, "Charge Pump Power-Factor-Correction Technologies Part II: Ballast Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 15, No. 1, pp. 130-139.
11. Lin, C.S. and Chen, C.L., 2001, "A Novel Single-Stage Push-Pull Electronic Ballast With High Input Power Factor", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 48, No. 4, pp. 770-776.
12. Calleja, A.J.; Alonso, J.M.; 2003 , "Design and Experimental Results of an Input-Current-Shaper Based Electronic Ballast", IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 18, NO. 2, pp. 547-557.
13. Alonso, J.M.; Calleja, A.J., 2004, "Analysis and design of a novel single-stage high-power-factor electronic ballast based on integrated buck half-bridge resonant inverter", IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 19, NO. 2, pp. 550-559.
14. Ekkaravarodome,C.; Nathakaranakule,A.; Boonyaroonate,I.; 2010, "Single-Stage Electronic Ballast Using Class-DE Low- dv/dt Current-Source Driven Rectifier for Power-Factor Correction" IEEE Transactions on Power Electronics, pp. 3405-3414.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ก.1 การคำนวณประสิทธิภาพของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ประสิทธิภาพของวงจรสามารถหาได้จากกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น ทั้งในส่วนของวงจรเรียงกระแสคลาสติอ์เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง และวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสติอ์ที่นำมาเป็นวงจรบัลลาสต์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจะเกิดขึ้นมาจากการสวิตช์ของมอสเฟต ไดโอด และขดลวดเหนี่ยวนำ ดังนั้น ประสิทธิภาพสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าด้านออกเทียบกับกำลังไฟฟ้าด้านเข้าดังสมการที่ 4.1

ก.1.1 กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สวิตช์มอสเฟต

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของสวิตช์มอสเฟตเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ ขณะที่สวิตช์อยู่ในสถานะนำกระแสและหยุดนำกระแส แต่เนื่องจากวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสติอ์สามารถกำหนดการควบคุมให้มีการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) จึงไม่มีค่าสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ (Switching Loss ≈ 0) หากพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะสวิตช์กำลังนำกระแส (Conduction Loss) ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องนี้คือ ความต้านทาน $R_{DS(on)}$ ระหว่างขาเดรน-ซอร์ส ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ดังสมการที่ ก.2 และ ก.3

$$P_{\text{Switching Loss}} = f_s (W_{\text{on}} + W_{\text{off}}) W \quad (\text{ก.1})$$

$$P_{\text{Conduction Loss}} = I_{DS(rms)}^2 \times R_{DS(on)} W \quad (\text{ก.2})$$

ก.1.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไดโอด

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของสวิตช์ไดโอดเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ ขณะที่สวิตช์อยู่ในสถานะนำกระแสและหยุดนำกระแส แต่เนื่องจากวงจรเรียงกระแสแบบคลาสติอ์สามารถกำหนดการควบคุมให้มีการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ จึงไม่มีค่าสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ (Switching Loss ≈ 0) หากพิจารากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะที่ไดโอดนำกระแส สามารถหาได้จากการวิเคราะห์เส้นโหลด และลักษณะของไดโอดทราบได้จากสเปค ดังนั้นการสูญเสียที่ไดโอด D_1, D_2, D_3 และ D_4 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ก.3)

$$\begin{aligned} P_{\text{Switching Loss}} &= f_s (W_{\text{on}} + W_{\text{off}}) \\ P_{DQ} &= V_F \times I_{av} \end{aligned} \quad (\text{ก.3})$$

ก.1.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดเหนี่ยวนำ

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดเหนี่ยวนำ เนื่องจากค่าความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียได้จากสมการที่ ก.4 และ ก.5

$$P_{Lr} = I_{Lr}^2 \times R_{Lr} \quad (\text{ก.4})$$

$$P_{Ld} = I_{Ld}^2 \times R_{Ld} \quad (\text{ก.5})$$



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ข.2 มาตรฐานต่างๆ ที่ใช้

ข.2.1 มาตรฐาน International Electro technical Commission (IEC) 61000-3-2

เป็นมาตรฐานว่าด้วยความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility, EMC) ชีตจำกัด-ชีตจำกัดสำหรับสิ่งที่ส่งออกมาซึ่งเป็นกระแสฮาร์โมนิกส์ (กระแสไฟฟ้าเข้า ≤ 16 แอมแปร์ต่อเฟส) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับชีตจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะ โดยกำหนดชีตจำกัดของส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ของกระแสไฟฟ้าเข้าซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยบริภัณฑ์ที่ถูกทดสอบภายใต้ภาวะที่ระบุมาตรฐานนี้ใช้ได้กับบริภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกระแสเข้าไม่เกิน 16 แอมแปร์ต่อเฟส และประสงค์ให้ต่อกับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำสาธารณะโดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอในงานวิจัยจัดอยู่ใน คลาสซีของมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ว่าด้วยบริภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงสว่าง ซึ่งกระแส ฮาร์โมนิกส์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะ จะต้องไม่เกินค่าสูงสุดตามตารางที่ ข.1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 ค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะตามมาตรฐาน (IEC 61000-3-2 คลาสซี)

| Harmonic order n | Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency % |
|---------------------|---|
| 2 | 2 |
| 3 | $30 \cdot \lambda^*$ |
| 5 | 10 |
| 7 | 7 |
| 9 | 5 |
| $11 \leq n \leq 39$ | 3 |

(odd harmonics only)

λ^* is the circuit power factor

ข.2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1506-2541

ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทำงานของหลอด (lamp operating current

waveform) ว่าตัวมูลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดโดยต่อกับหลอดอ้างอิง หลังจากหลอดเข้าสู่ภาวะเสถียรแล้ว รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าของหลอดจะต้องเป็นไปตามภาวะต่อไปนี้

ในทุกๆ ครั้งรอบคลื่นของแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย คลื่นขอบ (enveloping wave) ของกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดจะต้องไม่ต่างจากเดิมเกินร้อยละ 4 ที่เวลาเดียวกัน หลังจากทีแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายประธานผ่านเฟสศูนย์หมายเหตุ จุดประสงค์ของข้อกำหนดนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของสัญญาณคลื่นของคลื่นขอบที่เปลี่ยนจากครั้งรอบคลื่นหนึ่งไปยังอีกครั้งรอบคลื่นหนึ่ง

ค่าอัตราส่วนสูงสุดของค่ายอดต่อค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยจะต้องไม่เกิน 1.7 เท่า ของค่าตัวประกอบยอดคลื่น (Crest factor) ของความถี่สูงแต่ละความถี่ในกรณีที่คลื่นความถี่สูงถูกมอดูเลตที่ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าประธาน ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของคลื่นขอบของกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดจะต้องไม่เกิน 1.7 หมายเหตุ ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไฟฟ้าความถี่สูงจะเท่ากับค่ายอดของคลื่นขอบของกระแสไฟฟ้าที่ถูกมอดูเลตหรือไม่ถูกมอดูเลตหารด้วยกระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผล ดังสมการ

$$\text{Crest factor} = \frac{I_{(O)\text{Peak}}}{I_{(O)\text{rms}}} \leq 1.7$$

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายเนติวุฒิ บุรี
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. ที่อยู่ โปรแกรมวิชา เทคโนโลยีไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชา เทคโนโลยีไฟฟ้า
80 ถ.นครสวรรค์ อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44001
โทร 043-722-118 ต่อ 190,401, 01-662-0680

ประวัติการศึกษา

ระดับอาชีวศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์
โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2548

ระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2554

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- An Input Current Shaper using a Class-DE Rectifier to Meet IEC 61000-3-2 Class C Standard Processing a Small Part of the Total Power
- High Efficiency Electronic Ballast using Class-DE Rectifier as Input Current Shaper
- การตัดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าด้านเข้า โดยใช้วงจรเรียงกระแสคลาสดีอี ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประสิทธิภาพสูง