



บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์

นายไชยยันต์ ทองสงยอด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

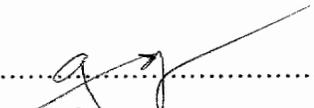
พ.ศ. 2549

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์

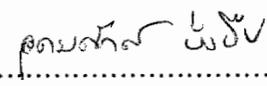
นายไชยยงค์ ทองสองยอด วศ.บ (วิศวกรรมไฟฟ้า)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผศ.ดร.อิชญา ปัญญาอรุณเนตร)

ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์

.....

(ผศ.อุดมศักดิ์ ยิ่งยี่น)

กรรมการ

.....

(ดร.วีระพล โมนยะกุล)

กรรมการ

.....

(ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายไชยยันต์ ทองสองยอด
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิษญา บุญญาอรุณเนตร
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์ ที่มีการทำงานบนพื้นฐานการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นนี้ประกอบไปด้วยวงจรหลักทั้งหมด 3 วงจรที่ทำงานร่วมกันคือ วงจรเรียงกระแส วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง และวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ คลาสดีแบบอนุกรม-ขนาน หลักการทำงานของวงจรคือ วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่แปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรงแล้วส่งผ่านให้วงจรแปลงผันคลาสดีแบบอนุกรม-ขนานทำหน้าที่สร้างแรงดันสูงเพื่อจุดหลอดและลดแรงดันลงเมื่อหลอดติดแล้วเพื่อเป็นไฟเลี้ยงหลอด ซึ่งวงจรนี้จะทำงานร่วมกับวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังซึ่งทำหน้าที่แก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรโดยใช้สวิตช์ร่วมกัน บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนี้ใช้ความถี่ในการสวิตช์ซึ่งเท่ากับ 55 กิโลเฮิร์ต ที่แรงดันขาเข้าวงจร 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต ผลการทดสอบวงจรในขณะจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1.0 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของกระแสด้านเข้าร้อยละ 3.7 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน IEC-61000-3-2 Class C ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไหลคมีค่าเท่ากับ 1.52 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1506-2541) ประสิทธิภาพรวมของวงจรเท่ากับร้อยละ 92.61

คำสำคัญ : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ / วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสดีแบบอนุกรม-ขนาน / การสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์

Thesis Title	A Class D Single-stage Electronic Ballast for a 70 watts Metal Halide Lamp.
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Chaiyan Thongsongyod
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Itsda Boonyaroonate
Program	Master of Engineering
Field of study	Electrical Engineering
Department	Electrical Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2549

Abstract

This thesis describes the design and implement of a single-state electronic ballast for a 70 W metal-halide lamp which is based on the zero voltage switching (ZVS). This ballast consists of 3 circuits : the rectifier, the power factor correction (PFC) and the series-parallel resonant class D inverter which work together. The operation of the rectifier circuit converts the ac voltage from the input source to the dc voltage and supplies it to the series-parallel resonant class D inverter to step up the dc input to a high voltage for lamp ignition. This inverter is operated with the PFC circuit and uses the same switch. The circuit switching frequency is 55 kHz and the input is 220V 50 Hz. The experimental results showed that at maximum power output, the circuit was operating at 1.0 PF, 3.7 % THDi. These measured results are complied with IEC-61000-3-2 Class C Standard. The crest factor was 1.52 which is agree with the TIS 1506-2541 Standard. The total circuit efficiency was 92.61 percents.

Keywords: Electronic Ballast / Class D Series-parallel Resonant Inverter / Zero Voltage Switching

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้เพราะได้รับคำปรึกษาและการแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำงานวิจัยในชั้นนี้จาก ผศ.ดร.อิชญา บุญญาอรุณเนตร ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และเป็นผู้ที่สร้างห้องทดลอง(PEMD LAB) และหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ดีสำหรับการทดลองให้กับผู้วิจัยและนักศึกษาทุกคน ขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.อุดมศักดิ์ ชัยยีน ดร.วีระพล โมนยะกุล ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่คอยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในห้องทดลอง (PEMD LAB) และในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้ข้อเสนอแนะ จึงทำให้ผมสามารถทำงานวิจัยประสบความสำเร็จและมีความรู้เพิ่มขึ้นพอสมควร ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้เพราะความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ทำวิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่านไว้เป็นอย่างสูง

สุดท้ายข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและส่งเสริมข้าพเจ้าตลอดมาทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ขึ้นมาได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
รายการสัญลักษณ์	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ทฤษฎีพื้นฐานของวงจร	6
2.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	6
2.2 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี	11
2.3 หลอดเมทัลฮาไลด์	22
2.4 วงจรควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี	26
3. การออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี	28
3.1 ส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว	28
3.2 หลักการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวคลาสดี	29
3.3 การออกแบบวงจรกำลังและวงจรควบคุม	34

3.4	วงจรควบคุมการทำงานของสวิทช์กำลัง	37
4.	ผลการทดลอง	39
4.1	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสิค	39
4.2	เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	40
4.3	ผลการทดลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่นำเสนอ	40
5.	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	47
5.1	สรุปผลการวิจัย	47
5.2	ข้อเสนอแนะ	47
	เอกสารอ้างอิง	48
	ภาคผนวก	49
ก	ภาพถ่ายวงจรต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว	50
ข	ตารางมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย	52
	ความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	
	ประวัติผู้วิจัย	66

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 อุปกรณ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง	39
ข.1 ค่าจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะ ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class c	53

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
1.1	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สองภาคคลาสดีมีวงจรจุดหลอดช่วยจุดหลอด	2
1.2	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรจุดหลอดช่วยจุดหลอด	3
1.3	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว	3
2.1	กระแสที่ไหลเข้าวงจรเรียงกระแส	6
2.2	รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า $\cos\phi$ ไม่เท่ากับหนึ่ง แต่มีค่าการประกอบ การลดทอนเท่ากับหนึ่ง	10
2.3	รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า $\cos\phi$ เท่ากับหนึ่ง แต่มีค่าประกอบการ ลดทอนไม่เท่ากับหนึ่ง	10
2.4	แสดงเป้าหมายของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง	11
2.5	วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี (SPRI)	12
2.6	วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี (SPRI)	13
2.7	รูปคลื่นการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี (SPRI)	14
2.8	ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของแรงดันของวงจรเรโซแนนซ์ M_{vr} ในฟังก์ชันของ f/f_0 และ Q_L	18
2.9	ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของแรงดันของวงจรเรโซแนนซ์ M_{vr} ในฟังก์ชันของ f/f_0 ที่ค่า Q_L คงที่	19
2.10	นอร์แมลไลซ์ขนาดของกระแสไหลผ่านสวิตช์ $I_m Z_o / V_I$ ในฟังก์ชันของ f/f_0 และ Q_L	19
2.11	นอร์แมลไลซ์กำลังไฟฟ้าด้านออก $P_{RL} Z_o / V_I^2$ ในฟังก์ชันของ f/f_0 และ Q_L โดย $A=2$	22
2.12	โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดเมทัลฮาไลด์	22
2.13	ส่วนต่างๆ ของหลอดเมทัลฮาไลด์	23
2.14	ส่วนประกอบต่างๆ ของหลอดเมทัลฮาไลด์	24
2.15	วงจรการทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์	24
2.16	แสดงพลังงานสเปกตรัมของแสงที่ออกมาจากหลอดเมทัลฮาไลด์	25
2.17	กราฟแสดงค่าการเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์เมื่อใช้ไปเป็นเวลานานๆ	26
2.18	โครงสร้างภายในของวงจรรวม IR2153	27
2.19	กราฟหาค่าความถี่สวิตช์	27

3.1	ส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	28
3.2	วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	29
3.3	ส่วนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	30
3.4	ลักษณะการทำงานของวงจรในส่วนแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	30
3.5	รูปคลื่นการทำงานของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	31
3.6	ลักษณะสัญญาณการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	32
3.7	ลักษณะการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อจุดให้หลอด	33
3.8	วงจรขั้วเกิด IR2153	38
3.9	กราฟคุณลักษณะการกำหนดความถี่ของวงจร IR2153	38
4.1	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี	39
4.2	สัญญาณแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าด้านอินพุต	41
4.3	ค่าตัวประกอบกำลัง รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตโดยเครื่องวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของบริษัท FLUKE รุ่น 43B	41
4.4	รูปสเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกส์ด้านอินพุต โดยเครื่องวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของบริษัท FLUKE รุ่น 43B	41
4.5	รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า L_B ในวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	42
4.6	สัญญาณขั้วขาเกิด-ซอสของสวิตช์ M_1 และ M_2	42
4.7	สัญญาณแรงดันตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ M_1	43
4.8	สัญญาณแรงดันตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ M_2	43
4.9	สัญญาณแรงดัน (CH1) กระแส (CH2) และกำลังไฟฟ้า (M1) ด้านเอาต์พุตที่หลอดไฟ	44
4.10	สัญญาณค่าตัวประกอบยอดคลื่นความถี่สูงของกระแสเอาต์พุต	44
4.11	สัญญาณแรงดันขณะจุดหลอด	45
4.12	สัญญาณกระแสขณะจุดหลอด	46
ก.1	วงจรต้นแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดีในงานวิจัยนี้	51
ข.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุ C_B กับแรงดัน $V_{dc, bus}$	54
ข.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B กับแรงดัน $V_{dc, bus}$	55
ข.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Output power กับแรงดัน $V_{dc, bus}$	56

รายการสัญลักษณ์

A	=	อัตราส่วนตัวเก็บประจุ
C C_{bus} C_S C_F C_p C_B	=	ตัวเก็บประจุ
D_1 D_2 D_3 D_4	=	ไดโอด
D	=	วัฏจักรงาน
dv/dt	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลา
f_0	=	ความถี่เชิงมุม
f_r	=	ความถี่เรโซแนนซ์
f_s	=	ความถี่ในการสวิตช์
I_{in}	=	กระแสด้านเข้า
I_{rp}	=	กระแสที่ไหลผ่านวงจรรเรโซแนนซ์
I_{out}	=	กระแสไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก
$I_{ignition}$	=	กระแสขณะจุดหลอด
K_1	=	สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ได้ของอิเล็กทรอนิกส์
K_2	=	สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ได้ของโซล
L_F L_B L_S	=	ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า
M_{VI} M_{VIa} M_{Vr} M_{Vs}	=	ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของแรงดัน
M_1 M_2	=	มอดเฟดกำลัง
MH $Lamp$	=	หลอดเมทัลฮาไลด์
P_{in}	=	กำลังไฟฟ้าอินพุต
P_{out}	=	กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต
Q_L Q_r	=	ตัวประกอบคุณภาพ
R'_{DE} R'_i	=	ค่าความต้านทานออร์เมทัลไลซ์
R_{DE} R_i R_L R_{SE} R_T	=	ค่าความต้านทานไฟฟ้า
R_O	=	ค่าความต้านทานหลอด
r_{Cc} r_{Cr} r_{DS} r_{Lp} r_{Lr} r_s	=	ค่าความต้านทานแฝงของอุปกรณ์
T	=	อุณหภูมิ (เคลวิน)
T_S	=	คาบเวลาในการสวิตช์
t t_0 t_1 t_2 t_3 t_4	=	คาบเวลา
t_{on}	=	ช่วงเวลาในการสวิตช์

$V_{GS,1}$	$V_{GS,2}$	=	แรงดันพัลส์ที่ขาเกตของมอสเฟต
V_{in}	V_{Line}	=	แรงดันด้านเข้า
V_{out}		=	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก
V_{bus}		=	แรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแส
V_{ripple}		=	แรงดันกระเพื่อมของบัสไฟฟ้ากระแสตรง
$V_{ignition}$		=	แรงดันขณะจุดหลอด
Z'_i		=	อิมพีแดนซ์นอร์แมลไลซ์
Z_i		=	อิมพีแดนซ์ด้านเข้าวงจรเรียงกระแสคลาสดี
Z_0		=	อิมพีแดนซ์คุณลักษณะลักษณะ
ω_L		=	ความถี่ด้านเข้า
ω_0		=	ความถี่เชิงมุม
ω_r		=	ความถี่เรโซแนนซ์
ω_s		=	ความถี่สวิตช์
η		=	ประสิทธิภาพ

ประมวลศัพท์และคำย่อ

A	=	Ampere
D	=	Duty Cycle
kHz	=	Kilo-Hertz
mA	=	Milli-Ampere
mH	=	Milli-Henry
PWM	=	Pulse Width Modulation
V	=	Volt
μ F	=	Micro-Farad

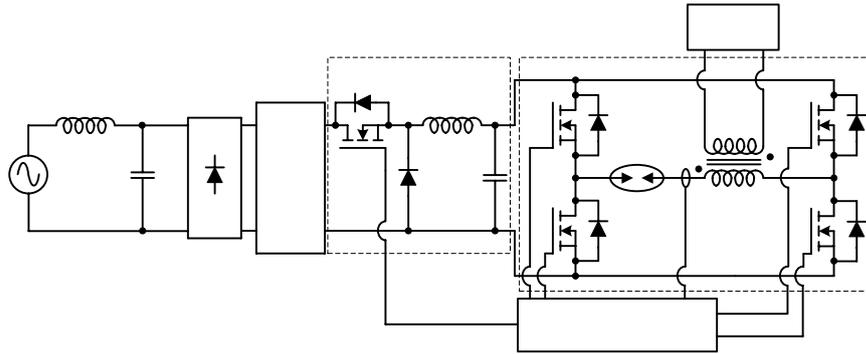
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

แสงสว่างเป็นระบบหนึ่งที่มีความสำคัญและไม่อาจจะมองข้ามได้เพราะเป็นอีกระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่มาก เมื่อเทียบกับภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด หลอดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์หลักในระบบแสงสว่างที่มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ ทั้งในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน รวมไปถึงคุณสมบัติในการให้สีและแสง หลอดเมทัลฮาไลด์ เป็นหลอดไฟฟ้าชนิดหนึ่งในตระกูลหลอดประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge; HID) ที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่นในเรื่องของการให้แสงสว่างที่ราบเรียบ มีสีที่สมดุมากที่สุดเมื่อเทียบกับหลอดไฟในตระกูลเดียวกัน มีประสิทธิภาพสูง และนิยมใช้แทนหลอดเผาไส้ที่มีประสิทธิภาพต่ำ มีอายุการใช้งานสั้นและมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนสูง

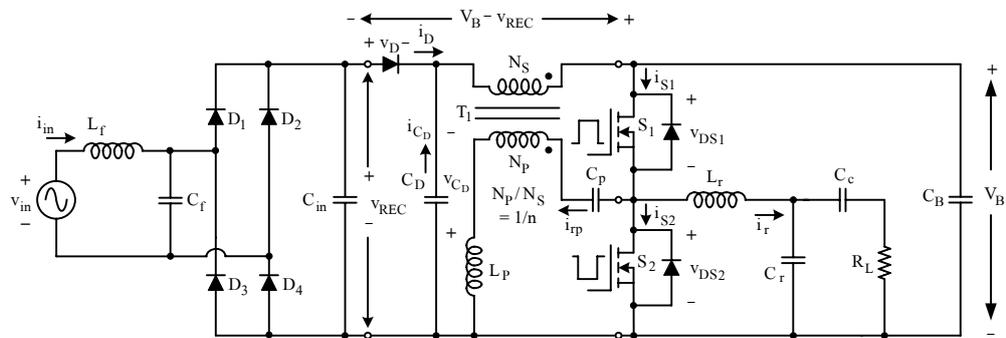
หลอดเมทัลฮาไลด์จำเป็นต้องใช้ควบคู่กับบัลลาสต์และตัวจุดหลอด ซึ่งบัลลาสต์เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไหลผ่านหลอด บัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดเมทัลฮาไลด์ในปัจจุบันนั้นเป็นบัลลาสต์แกนเหล็ก ที่มีการสูญเสียพลังงานในตัวบัลลาสต์สูง เนื่องจากบัลลาสต์แกนเหล็กมีประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลังต่ำ รวมไปถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ต่ำด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้ต้องใช้กระแสเกินความต้องการของหลอด ทำให้ตัวบัลลาสต์เกิดความร้อน อุณหภูมิบนตัวบัลลาสต์สูงและในช่วงของการจุดหลอดจะเกิดการอาร์ค ส่งผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นกว่าที่ควรจะเป็น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการสูญเสียน้อยกว่าและประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก รวมทั้งยังมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังและความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ ในยุคแรกๆ ของงานวิจัย บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า เช่น ไฟตรงประกอบกับวงจรแปลงผัน (dc to ac inverter) ซึ่งมีข้อเสียที่วงจรเรียงกระแสไฟตรงต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ เพื่อลดการกระเพื่อม (ripple) ของแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรเรียงกระแส การต่อใช้งานในลักษณะดังกล่าวจะทำให้กระแสไหลจากสายส่งเข้าสู่วงจรเฉพาะช่วงที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขณะใดๆ ของสายส่งเท่านั้น เป็นผลทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต่ำ จากนั้นจึงมีนักวิจัยพัฒนาและแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้วงจรแปลงผันแบบทระดับแรงดัน เพื่อแก้ค่าตัวประกอบกำลังและวงจรแปลงผันแบบกึ่งบริดจ์กำเนิดความถี่สูงร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์เพื่อขับหลอดและช่วยจุดหลอดในสถานะแรก โดยวงจรดังกล่าวจะเป็นแบบสองภาคการทำงาน (Two-stage) ซึ่งจะง่ายต่อการออกแบบ และเป็นอิสระต่อการทำงาน แต่ยังมีปัญหาในเรื่องจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างมาก จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง ต่อมาจึงได้มีการรวบรวมวงจรเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว (Single-stage) เพื่อลด

ในปี 2003 Ching R. Lee และคณะ [2] นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยเอาวงจรแปลงผันบูสต์มาแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรด้านเข้า ส่วนวงจรแปลงผันบูสต์จะลดแรงดันลงเพื่อช่วยให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นแหล่งจ่ายให้กับหลอดไฟโดยสัญญาณด้านขาออกนั้นจะเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม ข้อดี คือสามารถหรี่แสงสว่างของหลอดไฟได้โดยปรับความถี่การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ ข้อเสีย คือวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้มีการแยกส่วนการทำงานหลายส่วนและวงจรเป็นแบบ Two-Stage Hard Switch จึงต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.2 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรจุดหลอดช่วยจุดหลอด

ในปี 2006 Kamon Jirasereeamornkul และคณะ [3] นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้วงจรเรียงกระแสคลาสอี (Class-E Rectifier) ต่อร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์ขนานอนุกรมคลาสอีซึ่งทำหน้าที่เป็นบัลลาสต์ ในส่วนวงจรเรียงกระแสคลาสอีจะถูกนำไปแทรกกระหว่างวงจรเรียงกระแสและตัวเก็บประจุที่ลดการกระเพื่อมของแรงดันที่ออกมาจากวงจรเรียงกระแส ซึ่งวงจรเรียงกระแสคลาสอีนี้จะช่วยเพิ่มมุมการนำกระแสที่ไหลผ่านวงจรเรียงกระแส ข้อดี คือฮาร์มอนิกของวงจรบัลลาสต์มีค่าต่ำและค่าตัวประกอบกำลังสูง ข้อเสีย คือวงจรใช้ค่า Q ที่สูงเนื่องจากต้องการให้แรงดันที่บัสมีค่าสูงตามต้องการจึงมีผลให้เกิดการสูญเสียในสวิตช์มากกว่า PFC Boost Converter วงจรที่ใช้ค่า Q ต่ำ



รูปที่ 1.3 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว สำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์ ที่มีประสิทธิภาพสูง บนพื้นฐานของวงจรแปลงผันคลาสติ เพื่อการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต พร้อมทั้งศึกษาวงจรแปลงผันคลาสติ
2. ศึกษาและออกแบบวงจรที่ใช้แก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและวงจรแปลงผันคลาสติให้ทำงานเป็นภาคเดียวกัน
3. จำลองการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4. สร้างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวต้นแบบสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรที่ออกแบบรวมไปถึงวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
5. ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นให้ได้ตามข้อกำหนด
6. สรุปและวิจารณ์การทดลองที่ได้ พร้อมทั้งเสนอแนวทางการพัฒนา
7. รวบรวมข้อมูลและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว ที่ใช้วงจร L, C อนุกรมเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง สำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์ แรงดันด้านเข้า 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์
2. ศึกษาวิธีการควบคุมการทำงานของวงจรวงจร L, C อนุกรมและวงจรแปลงผันคลาสติ ให้ทำงานตามคุณสมบัติของวงจรแปลงผันคลาสติ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

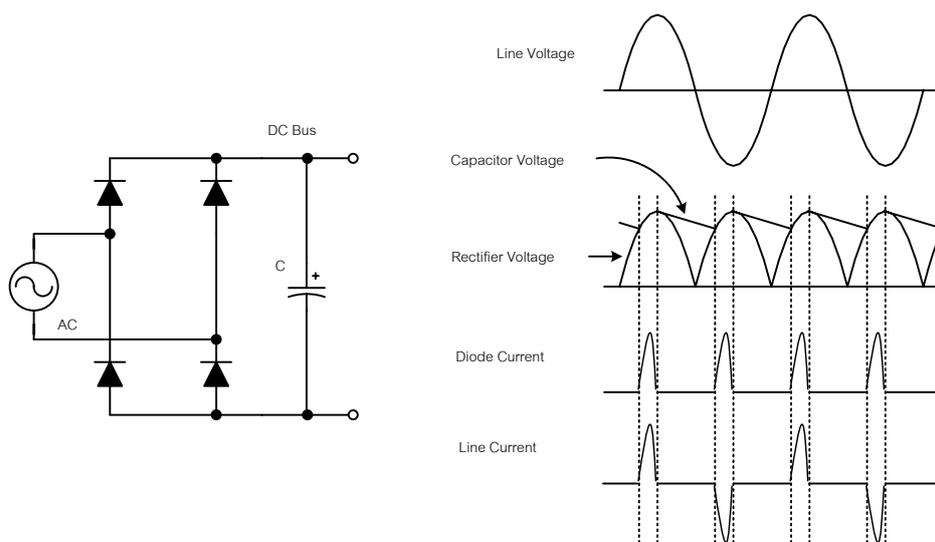
1. เป็นแบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวกันบนพื้นฐานวงจรแปลงผันคลาสดีต้นแบบสำหรับนำไปใช้กับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 70 วัตต์
2. ทำให้เข้าใจหลักการในการออกแบบแบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวกันบนพื้นฐานวงจรแปลงผันคลาสดี
3. เพื่อเป็นแบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวกันบนพื้นฐานวงจรแปลงผันคลาสดีสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ที่เป็นต้นแบบสำหรับงานวิจัยและพัฒนาต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจร

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรกำลังและวงจรควบคุมที่ใช้ประกอบในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคนี้ ทั้งส่วนของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมและส่วนของวงจรแปลงผันคลาสติที่ใช้เป็นวงจรบัลลาสต์ โดยทั้งสองส่วนจะทำงานสัมพันธ์กันเป็นภาคเดียว รวมถึงวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง

2.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในวงจรประเภทต่างๆ เช่น สวิตช์ชิงพาวเวอร์ซัพพลาย UPS (Uninterruptible Power Supply), วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีการดึงกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าจากสายส่ง 220 โวลต์ โดยมากมีการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนจะนำไปแปลงต่อให้อยู่ในรูปที่ใช้งานได้ต่อไป ซึ่งส่วนมากจะอาศัยการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) โดยมีการต่อตัวเก็บประจุค่าสูงๆคร่อมไว้ด้านหลังไดโอดบริดจ์ เพื่อเป็นการลดการกระเพื่อมไหว (Ripple) ของแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากไดโอดบริดจ์ การต่อเชื่อมใช้งานในลักษณะดังกล่าว จะทำให้กระแสไหลจากสายส่งสู่วงจรเฉพาะช่วงที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขณะใดๆของสายส่งเท่านั้น ทำให้กระแสไหลเข้าวงจรเฉพาะช่วงยอดของแรงดันไฟฟ้าของสายส่งเท่านั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระแสที่ไหลเข้าวงจรเรียงกระแส

การที่กระแสไหลเข้าเฉพาะในช่วงดังกล่าวเท่านั้นทำให้รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้างดังกล่าวไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine) และเป็นรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วยสัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐานหรือเรียกว่า ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) ซึ่งส่งผลทำให้ค่าค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของวงจรมีค่าค่อนข้างต่ำ คือมีค่าประมาณ 0.5 ถึง 0.7 เท่านั้น

2.1.1 ผลกระทบจากค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ

- เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่มีพิกัดกำลังเท่าๆกัน จะพบว่าอุปกรณ์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำกว่าต้องการกระแสไหลเข้าตัวอุปกรณ์สูงกว่า หากต้องมีอุปกรณ์ที่มีลักษณะดังกล่าว ต่อพ่วงกับสายส่งเป็นจำนวนมาก จะส่งผลต่อขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้า ที่ต้องการออกแบบให้อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถรองรับกระแสที่สูงกว่านี้ด้วย
- การที่มีกระแสไหลเข้าสู่วงจรสูงกว่า ส่งผลให้กำลังสูญเสียต่างๆของวงจรมีค่าสูงกว่าเช่นกัน นอกจากนั้นการออกแบบตัวกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter) จะต้องมีขนาดใหญ่กว่า เพื่อรองรับกระแสที่มากกว่านี้ด้วย ซึ่งจะส่งผลถึงค่าวัสดุอุปกรณ์ รวมทั้งประสิทธิภาพโดยรวมของวงจร

2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์และค่าตัวประกอบกำลังของวงจร

จากความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นรูปคลื่นไซน์ตามสมการที่ 2.1

$$v_{in}(t) = \sqrt{2}V_{rms} \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

จะพบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรดังกล่าวตามสมการที่ 2.2

$$i_{in}(t) = \sqrt{2}I_{rms} \sin(\omega t + \phi) \quad (2.2)$$

เมื่อ ϕ คือค่าผลต่างของมุมเฟสทางไฟฟ้าระหว่างรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากับรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบขึ้นอยู่กับวงจรที่ดึงกำลังไฟฟ้าจากสายส่งว่าเป็นภาระไฟฟ้าแบบนำ หรือเป็นภาระไฟฟ้าแบบตาม ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ป้อนให้กับกระแสไฟฟ้างดังกล่าวจะมีค่าดังนี้

$$P_I = V_{rms} I_{rms} \cos \phi \quad (2.3)$$

การคำนวณดังกล่าวไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้โดยตรงกับกรณีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เนื่องจากการคำนวณข้างต้น ใช้สมมติฐานที่ว่า รูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรเป็น รูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เดียวกัน (ในกรณีของความถี่ 50 เฮิร์ตซ์) ซึ่งเมื่อพิจารณารูปคลื่นของ กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะไม่ใช่รูปไซน์ ดังนั้นการพิจารณารูปสัญญาณ ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าดังกล่าว จึงต้องทำโดยวิธีใช้นุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series Theory) ซึ่งกล่าวถึงการแทนสัญญาณรายคาบใดๆ ด้วยผลรวมระหว่างค่าคงที่ (ค่าที่เป็นกระแสตรง) และสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของสัญญาณรายคาบนั้นๆ โดยแทนรูปสัญญาณ ของแรงดันและกระแสใดๆ ด้วยผลรวมระหว่างค่าประกอบที่เป็นค่าคงที่ และสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ มีความถี่ เป็นจำนวนเท่า ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$v(t) = V + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t - \phi_n) \quad (2.4)$$

$$i(t) = I + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t - \theta_n) \quad (2.5)$$

จากสมการข้างต้น สามารถคำนวณค่ากำลังงานทางไฟฟ้าจริง ที่ป้อนให้กับวงจรได้ดังนี้

$$P_I = V_o I_o + \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos \phi_n \quad (2.6)$$

สมการที่ 2.6 สามารถนำมาใช้ได้กับทุกกรณี แต่ต้องพิจารณาเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละกรณี ด้วย และเมื่อพิจารณากรณีของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะพบว่าพจน์ที่เป็นค่ากระแสตรงของ แรงดันและกระแสจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และในส่วนของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จะพบว่า ประกอบไปด้วยความถี่มูลฐานเพียงความถี่เดียว (คือ 50 เฮิร์ตซ์) ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากสมการที่ 2.6 สำหรับกรณีของการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงเท่ากับ

$$P_I = V_{in} I_{in} \cos \phi \quad (2.7)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2.7 กับสมการที่ 2.3 จะพบว่าสมการทั้งสองไม่แตกต่างกัน แต่ สมการที่ 2.7 เน้นถึงที่มาของกำลังไฟฟ้าจริงที่วงจรจะนำไปใช้ได้ ว่ามาจากค่าประกอบที่มีความถี่ เท่ากับความถี่มูลฐานเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ค่ากระแสที่วัดได้จริงจากมิเตอร์ต่างๆ ไปจะเป็นค่า RMS ซึ่งเท่ากับรากที่สองของค่า RMS ของทุกค่าประกอบความถี่ ดังแสดงด้วยสมการที่ 2.8 สำหรับการพิสูจน์ว่า ทำไมจึงมีแต่ค่าประกอบความถี่ที่เป็นเลขคู่ สามารถค้นคว้ารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์กำลังทั่วไป

$$I_{rms} = \sqrt{i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 + \dots} \quad (2.8)$$

จากนิยามของค่าตัวประกอบกำลังที่เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงผลคูณระหว่างค่า RMS ของกระแสและค่า RMS ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร สำหรับกรณีของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะถือว่าเป็น

$$PF = \frac{V_{in} I_{in} \cos \phi}{V_{in} I_{rms}} = \frac{I_{in}}{I_{rms}} \cos \phi \quad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 บ่งชี้ถึงปัจจัยที่เพิ่มขึ้นมาซึ่งต่างสมการที่ใช้โดยทั่วไป คือ นอกจากค่ามุมต่างเฟส ϕ แล้ว การที่รูปคลื่นของกระแสมีฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นมาจะส่งผลให้ค่าค่าตัวประกอบกำลังลดลงเช่นกันหรือเมื่อมองอีกมุมหนึ่งพบว่า ในขณะที่เราต้องการดึงกำลังไฟฟ้าเท่าเดิม หากรูปคลื่นของกระแส จะผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ไปมาก จะส่งผลให้ค่าของกระแสอาร์เอ็มเอสมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ในการออกแบบวงจรจะต้องออกแบบให้อุปกรณ์ต่างๆในระบบสามารถทนกับกระแสอาร์เอ็มเอสที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ด้วย

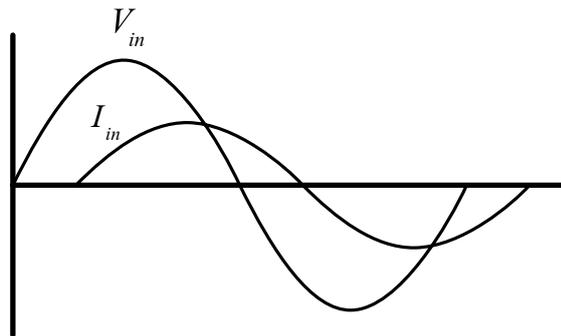
สำหรับอัตราส่วนระหว่าง I_{in} ต่อ I_{rms} ถูกนิยามว่า ค่าประกอบการผิดเพี้ยน (Distortion Factor, DF) มีค่าดังนี้

$$D.F. = \frac{I_{in}}{I_{rms}} \quad (2.10)$$

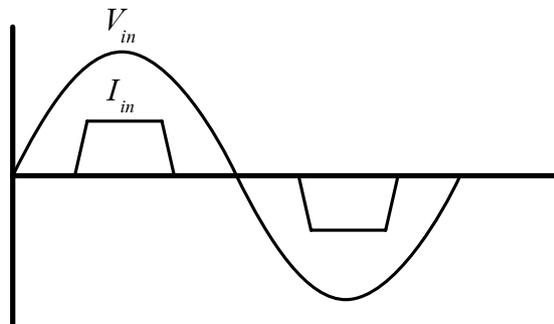
สำหรับค่าบ่งชี้ว่า รูปคลื่นของกระแสผิดเพี้ยนไปมากน้อยเพียงใด จะคำนวณจากค่า THD (Total Harmonics Distortion) ดังนี้

$$THD_i = \frac{\sqrt{i_{rms}^2 - i_{in}^2}}{i_{in}} \quad (2.11)$$

โดยสรุปจากสมการที่ 2.9 จะพบว่าปัจจัยที่ผลต่อค่าประกอบของวงจรประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน คือ มุมเฟสที่แตกต่างกันของรูปคลื่นที่มีความถี่มูลฐาน คือ ค่ามุมต่างเฟสระหว่างรูปแรงดันและรูปคลื่นกระแสที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และปัจจัยที่ 2 คือการบิดเบี้ยวของรูปคลื่นกระแส ยิ่งบิดเบี้ยวไปจากรูปไซน์มากเท่าใดค่าตัวประกอบกำลังก็จะลดลงไปด้วยเท่านั้น เพื่อให้ท่านผู้อ่านมองเห็นภาพปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าตัวประกอบกำลังได้ชัดเจนขึ้น จะขอใช้รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 ประกอบการอธิบายดังนี้



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า $\cos\phi$ ไม่เท่ากับหนึ่ง แต่มีค่าประกอบการบิดเบี้ยวเท่ากับหนึ่ง



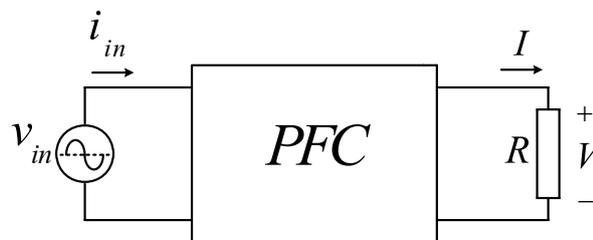
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า $\cos\phi$ เท่ากับหนึ่ง แต่มีค่าประกอบการบิดเบี้ยวไม่เท่ากับหนึ่ง

รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 เป็นรูปคลื่นกระแสและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจร กรณีที่มีค่าตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 1 ในรูปที่ 2.2 เป็นกรณีที่พบอยู่ทั่วไป ที่รูปคลื่นของกระแสจะเป็นรูปคลื่นไซน์ซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร ดังนั้นค่าประกอบการบิดเบี้ยว (Distortion Factor) จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ (ค่าอาร์เอ็มเอสของรูปคลื่นกระแสเท่ากับ ค่าอาร์เอ็มเอสของรูปคลื่นกระแสที่มีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐาน) อย่างไรก็ตามจะพบว่ารูปคลื่นของ

แรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นของกระแสยังมีมุมต่างเฟสกันอยู่เป็นค่าเท่ากับ ϕ ทำให้ค่า $\cos\phi$ มีค่าไม่เท่ากับ 1 ส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังของกรณีนี้น้อยกว่า 1 สำหรับรูปที่ 2.3 จะพบว่ามุมต่างเฟสระหว่างรูปคลื่นทั้ง 2 มีค่าเท่ากับศูนย์อย่างแน่นอน ส่งผลให้ค่า $\cos\phi$ มีค่าเท่ากับ 1 อย่างไรก็ตามรูปคลื่นของกระแสผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์แสดงให้เห็นว่า รูปคลื่นดังกล่าวมีค่าประกอบความถี่อื่นนอกจากความถี่หลักแฝงอยู่ด้วย ทำให้ค่าประกอบการลดทอน (Distortion Factor) มีค่าน้อยกว่า 1 และจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังของกรณีนี้น้อยกว่า 1 ด้วยเช่นกัน

จากตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าเป้าหมายของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction, PFC) คือ การปรับรูปคลื่นของกระแสให้ใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ (ปรับค่าค่าประกอบการลดทอนให้มีค่าใกล้เคียงกับหนึ่งให้มากที่สุด) และปรับรูปคลื่นของกระแสให้มีเฟสใกล้เคียงกับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าให้มากที่สุด (ปรับค่ามุม ϕ ให้มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ มากที่สุด) ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 2.4 จะพบว่าการทำงานของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง คือ การทำให้มองเห็นเสมือนตัวต้านทานต่อพ่วงอยู่ เมื่อมองจากระบบสายส่งโดยไม่ขึ้นกับลักษณะของภาระทางไฟฟ้าทางด้านขาออกว่าเป็นแบบใดและค่าความต้านทานเสมือนดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.12

$$R = \frac{v_{in}}{i_{in}} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.4 แสดงเป้าหมายของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

2.2 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี [6]

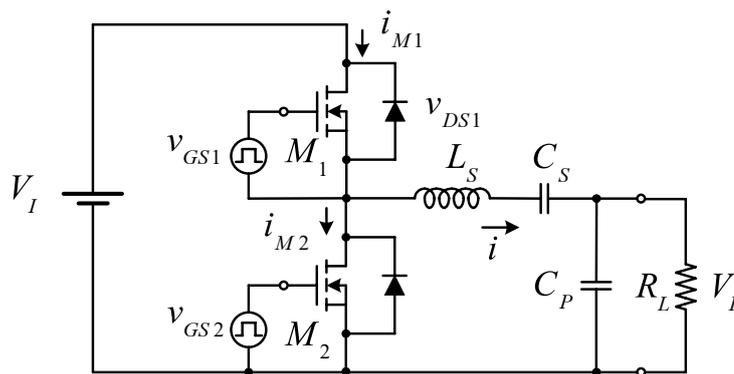
วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสดีมีพื้นฐานวงจรเป็นแปลงผันแบบกึ่งบริดจ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากในการนำไปใช้งานจะมีแรงดันตกคร่อมบนตัวสวิตช์ต่ำ โดยมีค่าสูงสุดไม่เกินแรงดันขาเข้า ด้วยเหตุผลนี้จึงเหมาะกับการนำมาใช้งานที่แรงดันสูง โดยสวิตช์ที่นำมาใช้นั้นสามารถมีพิกัดแรงดันที่ทนได้สูงสุดที่ไม่สูงมากนักได้ โดยทั่วไปสวิตช์ที่นำมาใช้งานจะเป็นมอสเฟตเนื่องจากมอสเฟตมีความต้านทานขณะนำกระแสต่ำหากทำงานอยู่ในพิกัดของอุณหภูมิรอยต่อ หากแต่ว่า

ค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟต R_{ds_on} จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อเพิ่มมากขึ้น อันจะทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการนำกระแสของมอสเฟต $I_{rms}^2 R_{ds_on}$ เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้การที่อุณหภูมิที่รอยต่อของมอสเฟตมีผลต่อความต้านทานขณะนำกระแส R_{ds_on} เป็นเพราะความคล่องตัวของอิเล็กตรอน

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการสูญเสียบนตัวสวิตช์เป็นปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดขีดจำกัดความสามารถของแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสสิก กล่าวคือหากเกิดการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ (Switching Loss) หรือการสูญเสียเนื่องจากการนำกระแสของสวิตช์ (Conduction Loss) จะส่งผลให้อุณหภูมิที่รอยต่อของสวิตช์สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้องกันมิให้อุณหภูมิที่รอยต่อเพิ่มมากขึ้น

ก่อนจะเริ่มต้นเข้าสู่การพิจารณาควรทราบว่า วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์คลาสสิกสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายประเภท เช่น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ วงจรแปลงผันในงานเชื่อม และเป็นส่วนหนึ่งของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง เป็นต้น

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก (SPRI) จะคล้ายกับวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนาน (PRI) ยกเว้นค่าตัวเก็บประจุที่เพิ่มเข้ามาอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ หรือก็จะคล้ายกับวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม (SRI) ยกเว้นตัวเก็บประจุที่เพิ่มเข้ามาขนานกับโหลดความต้านทาน ดังนั้นรูปแบบคุณลักษณะการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิกจะอยู่ระหว่าง รูปแบบคุณลักษณะการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรมและวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนาน



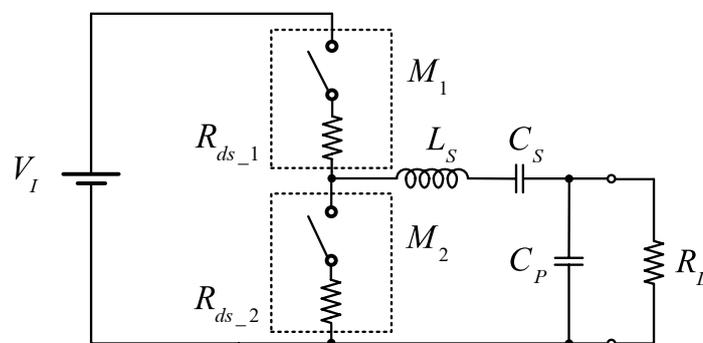
รูปที่ 2.5 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก (SPRI)

2.2.1 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยวงจรดังกล่าวจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟตรง V_I อยู่ทางด้านขาเข้า สวิตช์กำลัง 2 ทิศทางได้แก่สวิตช์ M_1

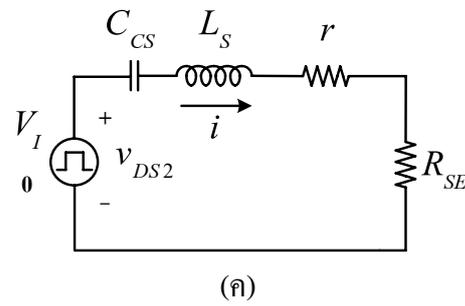
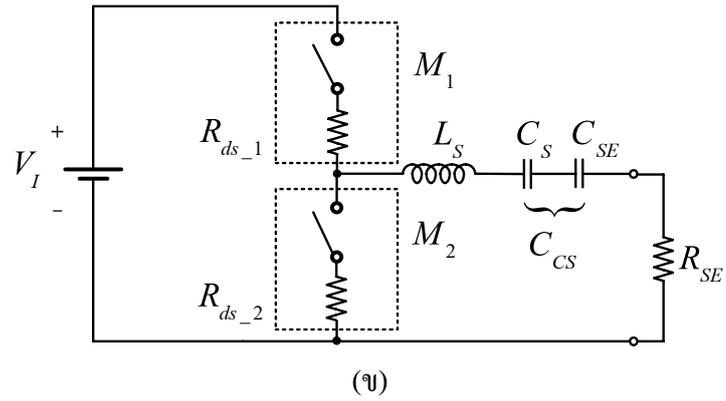
และ M_2 วงจรเรโซแนนซ์ L_S, C_S, C_P, R_L และมีโหลดความต้านทาน R_L เป็นโหลดกระแสสลับ โดยตัวเก็บประจุ C_P ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_S เป็นส่วนของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (SRI) และตัวเก็บประจุ C_S ที่ต่อขนานอยู่กับโหลดความต้านทาน R_L เป็นส่วนของวงจรเรโซแนนซ์ขนาน (PRI) และสวิตช์กำลัง M_1 และ M_2 จะแทนด้วยมอสเฟตซึ่งมีแอนติพาราเลลไดโอดอยู่ภายในตัวอยู่แล้ว โดยช่วงเวลาที่นำกระแส มอสเฟตจะยอมให้กระแสสวิตช์ทั้งบวกและลบผ่านได้ แต่ถ้าเป็นช่วงเวลาที่หยุดนำกระแส มอสเฟตจะยอมให้กระแสไหลกลับไหลผ่านเพียงอย่างเดียว โดยผ่านบอดีไดโอดที่มีอยู่ในตัวมอสเฟต มอสเฟตจะถูกขับด้วยสัญญาณแรงดันรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า v_{GS1} และ v_{GS2} โดยไม่มีการทำงานที่ซ้อนทับกัน และมีความถี่การทำงาน $f = \omega/2\pi$ ซึ่งมอสเฟตทั้งสองจะสลับกันนำกระแสและหยุดนำกระแสด้วยวัฏจักรงาน 50 เปอร์เซ็นต์ และถ้าตัวเก็บประจุ C_P มีขนาดใหญ่หลายๆ เราสามารถแทนตัวเก็บประจุ C_P เป็นตัวเก็บประจุกรองไฟตรงได้ เพราะฉะนั้น วงจรแปลงเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก (SPRI) จะทำงานเป็นแบบวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนาน (PRI) เช่นเดียวกันถ้าตัวเก็บประจุ C_S มีค่าเป็นศูนย์ สามารถตัดเก็บประจุ C_S ออกจากวงจรได้ ดังนั้นวงจรแปลงเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก (SPRI) จะทำงานเป็นวงจรแปลงเรโซแนนซ์อนุกรม (SRI) ได้เช่นเดียวกัน

วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิกแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 โดยมอสเฟตที่ใช้ในการออกแบบจะมีความต้านทานขณะนำกระแสเป็น R_{ds_1}, R_{ds_2} และวงจรขนาน R_L, C_S แสดงดังรูปที่ 2.6(ก) และแทนวงจรเรโซแนนซ์ด้วยวงจรอนุกรม R_{SE}, C_{SE} ดังรูปที่ 2.6(ข) จากนั้นในรูปที่ 2.6(ค) แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง V_I และสวิตช์ M_1 และ M_2 จะแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีค่าแรงดันต่ำสุดคือศูนย์และสูงสุดคือค่ายอดของแรงดันไฟตรง V_I และ r คือค่าความต้านทานอนุกรมแฝง Equivalent Series Resistance, ESR รวมของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก โดยรูปคลื่นสัญญาณของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิกจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.7

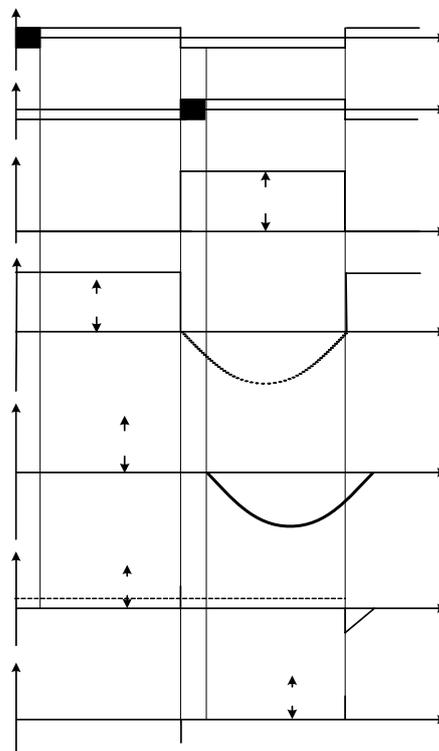


(ก)

รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสสิก (SPRI)



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี (SPRI) (ต่อ)



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นการทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี (SPRI)

2.2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี

สมมติฐานในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี ในรูปที่ 2.5 และมีวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.6(ค) จะคำนึงถึงสมมติฐานดังนี้

1. สวิตช์กำลัง M_1 และ M_2 มีโครงสร้างเป็นความต้านทานขณะนำกระแส R_{ds_on1} และ R_{ds_on2}
2. ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์
3. ตัวประกอบคุณภาพโพลด Q_L ของวงจรเรโซแนนซ์มีขนาดสูงมากพอจนทำให้กระแสที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์มีรูปคลื่นไซน์

2.2.3 วงจรเรโซแนนซ์

ในส่วนของวงจรเรโซแนนซ์ดังรูปที่ 2.9 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในวงจรเรโซแนนซ์ได้ดังนี้

- อัตราส่วนของตัวเก็บประจุ C_p และ C_s

$$A = \frac{C_p}{C_s} \quad (2.15)$$

- ตัวเก็บประจุสมมูล C_p และ C_s ที่ต่อในลักษณะอนุกรมกัน

$$C = \frac{C_p C_s}{C_p + C_s} = \frac{C_s}{1+A} = \frac{C_p}{1+1/A} \quad (2.16)$$

- ความถี่เรโซแนนซ์

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C}} = \sqrt{\frac{C_p + C_s}{L_s C_p C_s}} \quad (2.17)$$

- อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

$$Z_0 = \omega_0 L_S = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L_S}{C}} \quad (2.18)$$

- ตัวประกอบคุณภาพโหลดที่ความถี่เชิงมุม f_0

$$Q_L = \omega_0 C R_L = \frac{R_L}{\omega_0 L_S} = \frac{R_L}{Z_0} \quad (2.19)$$

- ตัวเก็บประจุสมมูลของ C_P และ C_{SE} ที่ต่อในลักษณะอนุกรมกัน

$$C_{CS} = \frac{C_P C_{SE}}{C_P + C_{SE}} \quad (2.20)$$

- ความถี่เรโซแนนซ์

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_S C_{CS}}} = \sqrt{\frac{C_P + C_{SE}}{L_S C_P C_{SE}}} \quad (2.21)$$

- ตัวประกอบคุณภาพโหลดที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_r

$$Q_r = \frac{\omega_r L_S}{R_{SE}} = \frac{C_P + C_{SE}}{\omega_r R_{SE} C_P C_{SE}} \quad (2.22)$$

- อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของวงจรเรโซแนนซ์

$$Z = \frac{R_L \left\{ (1+A) \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right] + j \frac{1}{Q_L} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right) \right\}}{1 + j Q_L \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) (1+A)} = Z e^{j\psi} = R_{SE} + jX_s \quad (2.23)$$

ที่ $f/f_0 = 1$

$$Z = \frac{Z_0}{(1+A)\sqrt{1+Q_L^2(1+A)^2}} \approx \frac{Z_0^2}{R_L(1+A)^2} \quad \text{สำหรับที่ } Q_L^2(1+A)^2 \gg 1$$

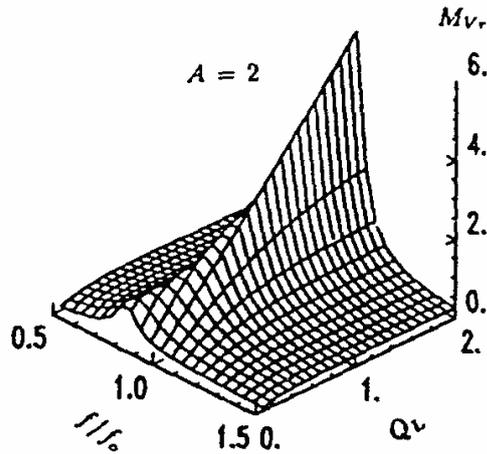
เมื่อ $\psi > 0$ วงจรเรโซแนนซ์จะมีโพลเป็นตัวเหนี่ยวนำตลอดสำหรับการทำงานของสวิตช์ที่ $f = f_0$ ความถี่เรโซแนนซ์ f_r คือความถี่ที่มีการเลื่อนเฟส ψ เท่ากับศูนย์แสดงไว้ดังรูปที่ 2.8(ข) ลักษณะของความถี่ดังกล่าวนี้จะเป็นตัวแบ่งระหว่างโพลตัวเก็บประจุและโพลตัวเหนี่ยวนำ สำหรับ $f < f_r, \psi$ มีค่าน้อยกว่าศูนย์และสามารถแทนวงจรเรโซแนนซ์ด้วยโพลตัวเก็บประจุ เพราะฉะนั้น กระแสที่ไหลเข้าสู่ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ i จะนำหน้าองค์ประกอบมูลฐานของแรงดัน v_{DS2} การทำงานในย่านความถี่นี้จะไม่ขอแนะนำเพราะว่าแอนติพาราเลลไดโอดของมอสเฟตจะหยุดนำกระแสที่ di/dt สูงมากและจะทำให้เกิดสไปก์เนื่องจากการฟื้นตัวย้อนกลับของแอนติพาราเลลไดโอดซึ่งจะสร้างกระแสสไปก์ขนาดใหญ่ในการฟื้นตัวย้อนกลับ กระแสสไปก์ ดังกล่าวจะไม่ผ่านไปทาง วงจรเรโซแนนซ์ เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_S ในวงจรจะไม่ยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลัน กระแสสไปก์จึงพุ่งทะลุไปสร้างความเสียหายให้กับสวิตช์อีกตัวทันที สำหรับ $f > f_r, \psi > 0$ และวงจรเรโซแนนซ์แทนด้วยโพลตัวเหนี่ยวนำ เพราะฉะนั้น กระแสตัวเหนี่ยวนำ i จะล่าหลังองค์ประกอบมูลฐานของแรงดัน v_{DS2} และแอนติพาราเลลไดโอดของมอสเฟต จะหยุดนำกระแสที่ di/dt ซึ่งจะไม่เกิด สไปก์เนื่องจากการฟื้นตัวย้อนกลับของแอนติพาราเลลไดโอด

$$\frac{f_r}{f_0} = \sqrt{\frac{Q_L^2(1+A)^2 - 1 + \sqrt{[Q_L^2(1+A)^2 - 1]^2 + 4Q_L^2 A(1+A)}}{2Q_L^2(1+A)^2}} \quad (2.24)$$

ความถี่เรโซแนนซ์ f_r จะขึ้นอยู่กับ Q_L และ A ดังนั้น $Q_L \rightarrow 0, f_r/f_0 \rightarrow 1/\sqrt{1+1/A}$ เทียบกับ Q_L โดยการเลือกค่า A

แรงดันด้านเข้าของวงจรเรโซแนนซ์ v_{DS2} จะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งสามารถหาขนาดของแรงดันด้านเข้าของวงจรเรโซแนนซ์ V_I ได้โดย

$$v_{DS2} = \begin{cases} V_I, & \text{for } 0 < \omega t \leq \pi \\ 0, & \text{for } \pi < \omega t \leq 2\pi \end{cases} \quad (2.25)$$



รูปที่ 2.8 ทราบเฟอร์ฟังก์ชันของแรงดันของวงจรเรโซแนนซ์ M_{vr} ในฟังก์ชันของ f/f_0 และ Q_L โดย $A=2$

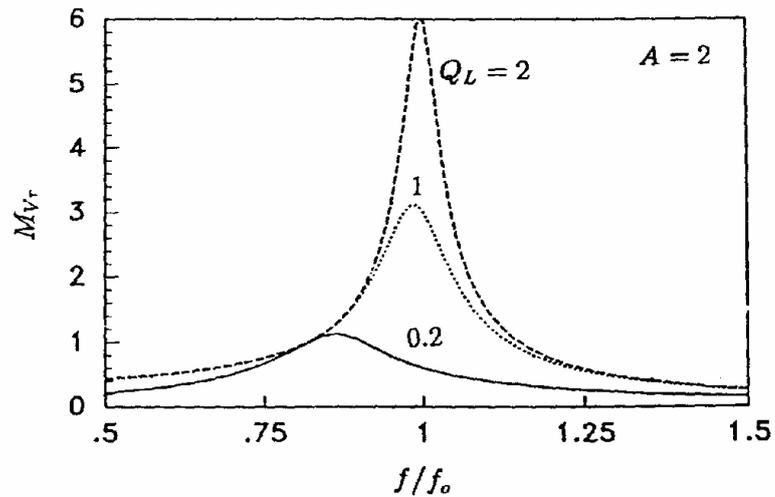
2.2.5 พารามิเตอร์ของพลังงาน

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_s คือ

$$i = I_m \sin(\omega t - \psi), \tag{2.26}$$

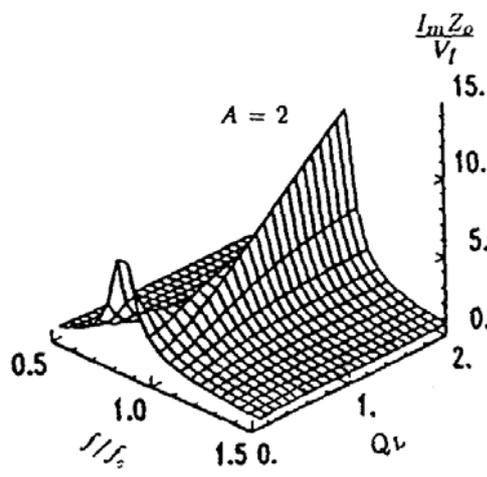
สามารถหาขนาดของกระแส i ได้โดย

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{2V_I}{\pi Z} = \frac{2V_I}{\pi Z_0 Q_L} \sqrt{\frac{1 + \left[Q_L (1 + A) \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]^2}{(1 + A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \frac{1}{Q_L^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right)^2}} \tag{2.27}$$



รูปที่ 2.9 ทราานเฟอ์ฟังกัซันของแรงดันของวงจรรเรโซแนนซ์ M_{vr} ในฟังกัซันของ f/f_0 ที่ค่า Q_L คงที่ โดย $A=2$

จากรูปที่ 2.10 แสดง $I_m Z_0 / V_I$ เทียบกับ f/f_0 และ Q_L ที่ $A=0, 0.5, 1$ และ 2 โดยจะเห็นได้ว่าค่าสูงสุดของกระแส I_m จะเกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_r เพราะฉะนั้น โหลดเต็มพิกัดจะเกิดขึ้นที่ค่าต่ำสุดของ Q_L, I_m เพิ่มขึ้นเมื่อ Q_L เพิ่มขึ้น การสูญเสียเนื่องจากการนำกระแสหาได้โดย $P_r = I_m^2 / 2$ และประสิทธิภาพจะสูงสุดที่โหลดค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นโหลดเต็มพิกัดจะเกิดขึ้นเมื่อ Q_L, I_m มีค่าสูงๆ โดยเกือบจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของโหลด



รูปที่ 2.10 นอร์มัลไลซ์ขนาดของกระแสไหลผ่านสวิตช์ $I_m Z_0 / V_I$ ในฟังกัซันของ f/f_0 และ Q_L โดย $A=2$

ขนาดของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_p คือ

$$V_{C_{cm}} = \frac{I_m}{\omega C_p} = \frac{2V_I A \frac{\omega_0}{\omega}}{\pi Q_L (1+A)} \sqrt{\frac{1 + \left[Q_L (1+A) \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]^2}{(1+A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \frac{1}{Q_L^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right)^2}} \quad (2.28)$$

แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_s จะเท่ากับแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผัน โดยขนาดของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_s คือ

$$V_{C_{cm}} = \sqrt{2}V_{RL} = \sqrt{2}M_{VI}V_I = \frac{2V_I}{\pi \sqrt{(1+A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left[\frac{1}{Q_L} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right) \right]^2}} \quad (2.29)$$

และขนาดของกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันคือ

$$\begin{aligned} -I_{om} &= \frac{\sqrt{2}V_{RL}}{R_L} = \frac{2V_I}{\pi R_L \sqrt{(1+A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left[\frac{1}{Q_L} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right) \right]^2}} \\ &= \frac{2V_I}{\pi Z_o Q_L \sqrt{(1+A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left[\frac{1}{Q_L} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right) \right]^2}} \end{aligned} \quad (2.30)$$

กำลังไฟฟ้าด้านออกสามารถหาได้โดย

$$P_{RL} = \frac{V_{RL}^2}{R_L} = \frac{2V_I^2}{\pi^2 Z_o^2 Q_L^2 \left[(1+A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \frac{1}{Q_L^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right)^2 \right]} \quad (2.31)$$

การสูญเสียเนื่องจากการนำกระแส คือ

$$P_r = \frac{rI_m^2}{2} = \frac{2V_I^2 r}{\pi^2 Z_o^2 Q_L^2} \frac{1 + \left[Q_L (1+A) \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]^2}{(1+A)^2 \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \frac{1}{Q_L^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{A}{A+1} \right)^2} \quad (2.32)$$

$$= \frac{2rV_I^2 M_{Vr}^2 \left\{ 1 + \left[Q_L (1+A) \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]^2 \right\}}{\pi^2 Z_o^2 Q_L^2}$$

ที่ $I_{rms} = I_m / \sqrt{2}$ และค่าความต้านทานอนุกรมแฝง Equivalent Series Resistance, ESR รวมของวงจรแปลงผัน คือ

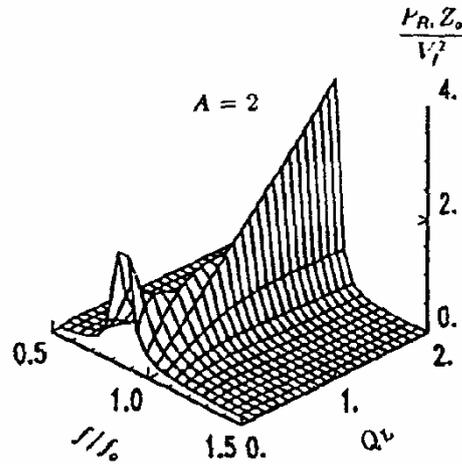
$$r = r_{DS} + r_{Lr} + r_{Cc} + \frac{r_{Cr}}{1 + \left(\frac{1}{\omega C_s R_L} \right)^2}, \quad (2.33)$$

และ $r_{DS} = (r_{DS1} + r_{DS2})/2$ คือค่าความต้านทานขณะนำกระแสเฉลี่ยของมอสเฟต และ r_{Lr} คือค่าความต้านทานแฝงของตัวเหนี่ยวนำ และ r_{Cc} และ r_{Cr} คือค่าความต้านทานแฝง ESR ของตัวเก็บประจุ C_c และ C_r ตามลำดับ ถ้าไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ $P_I = P_{RL} + P_r$ ดังนั้นประสิทธิภาพของวงจรแปลงผันคือ

$$\eta_I = \frac{P_{RL}}{P_I} = \frac{P_{RL}}{P_{RL} + P_r} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R_L} \left\{ 1 + \left[\frac{R_L}{Z_o} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) (1+A)^2 \right] \right\}} \quad (2.34)$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{r}{Z_o Q_L} \left\{ 1 + \left[Q_L \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) (1+A)^2 \right] \right\}}$$

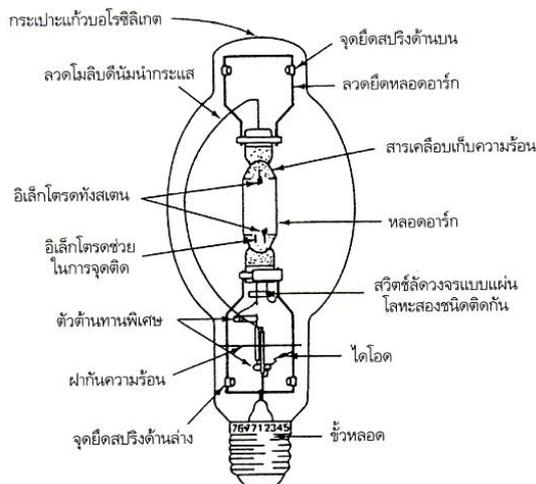
การสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ขณะเริ่มนำกระแสจะเป็นศูนย์สำหรับการทำงานที่สูงกว่าจุดเรโซแนนซ์ ตัวอย่างเช่น เป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำสำหรับที่ $f/f_r > 1$ และการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ขณะหยุดนำกระแสสามารถลดได้โดยต่อตัวเก็บประจุขนานเพิ่มไปที่มอสเฟต



รูปที่ 2.11 นอร์แมลไลซ์กำลังไฟฟ้าด้านออก $P_{RL} Z_o / V_I^2$ ในฟังก์ชันของ f/f_o และ Q_L โดย $A=2$

2.3 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) [7]

หลอดเมทัลฮาไลด์เป็นหลอดประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge; HID) อีกประเภทหนึ่งที่มีแหล่งกำเนิดของสีที่สมมูลมากที่สุดของหลอดไฟตระกูลเดียวกัน (HID) และเป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานยาวนานพอสมควร และมีโครงสร้างภายในและการทำงานคล้ายๆ กับหลอดแสงจันทร์



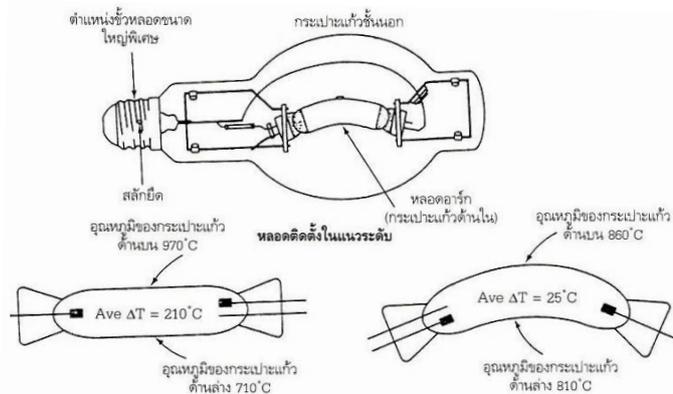
รูปที่ 2.12 โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์มีโครงสร้างที่มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. กระจาปะแก้วด้านนอก กระจาปะแก้วด้านนอกทำจากแก้วบอโรซิลิเกต หรือแก้วหนา และยังทำหน้าที่เป็นตัวกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Filter) ที่เกิดจากหลอดอาร์คไม่ให้ ออกมาสู่ด้านนอกหลอดด้วย และช่วยรักษาให้อุณหภูมิของหลอดอาร์คคงที่ และส่วนใหญ่แล้วหลอด เมทัลฮาไลด์จะให้การกระจายแสงคืออยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องเคลือบสารเรืองแสง เพราะจะทำให้การ กระจายแสงลดน้อยลงไป ยกเว้นหลอดที่ต้องการแสงเป็นพิเศษ จึงจะเคลือบสารเรืองแสงที่กระจาปะ แก้วด้านนอก

2. กระจาปะแก้วด้านใน กระจาปะแก้วด้านในทำจากแก้วควอตซ์ชนิดที่ทนความร้อนได้สูง และภายในหลอดแก้วหรือหลอดอาร์คนี้จะบรรจุสารจำพวกไอโอไดค์ของโลหะเข้าไป สารจำพวกไอ โอไดค์ของโลหะนี้จะประกอบด้วยโซเดียมไอโอไดค์ อีเดียมไอโอไดค์ ทลเลียมไอโอไดค์ และคิสโป รเซียมไอโอไดค์ ในหลอด นอกจากนี้ยังมีพวกปรอทและกำซาร์กอนผสมอยู่ด้วย เมื่อเวลาหลอด ทำงานไปแล้วการแตกตัวของโลหะพวกไอโอไดค์ จะทำให้เกิดแสงสว่างที่มีความยาวคลื่นแตกต่าง กันหลายๆ ความยาวคลื่น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สีของแสงสว่างดูสมดุคมมากขึ้นตามไปด้วย

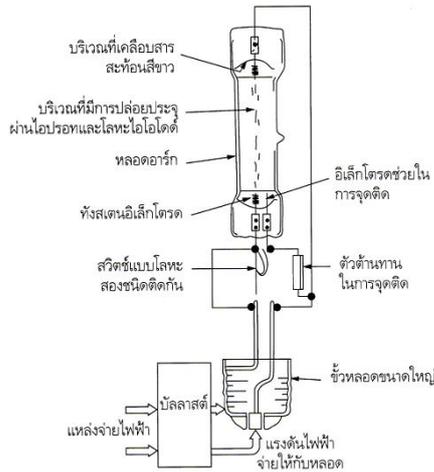
3. ขั้วหลอด (Base) หลอดเมทัลฮาไลด์เป็นหลอดไฟอีกชนิดหนึ่งที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูง พอสมควรแล้วแต่ขนาดของวัตต์ของหลอดที่ต้องการ ใช้ เพราะฉะนั้นขั้วหลอดทุกขนาดจะใช้ขั้ว หลอดเป็นแบบเกลียวขนาดใหญ่ (Mogul Screw) ทั้งสิ้น และหลอดชนิดนี้มักจะติดตั้งอยู่ในแนวระดับ นอกจากนี้ขั้วหลอดยังเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของการจุดหลอดอีกด้วย โดยที่ขั้วหลอดจะมีก้านเล็กๆ (Pin) ยื่นออกมาเป็นตัวบอกตำแหน่งของหลอด ฉะนั้นการติดตั้งหลอดจะต้องใส่ให้ถูกต้องตาม ตำแหน่ง โดยให้ส่วนโค้งของกระจาปะแก้วด้านในอยู่ในลักษณะตั้งขึ้นในแนวตั้งฉากกับพื้นระนาบ ดังรูปที่ 2.13



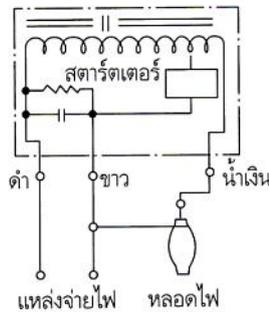
รูปที่ 2.13 ส่วนต่างๆ ของหลอดเมทัลฮาไลด์

2.3.1 การทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์

ในการต่อวงจรของหลอดเมทัลฮาไลด์จะต้องประกอบด้วยบัลลาสต์ และตัวจุดหลอด (Pulse Starter or Ignitor) หลอดเมทัลฮาไลด์มีการต่อวงจรไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.14 และ 2.15



รูปที่ 2.14 วงจรการทำงานและส่วนประกอบต่างๆ ของหลอดเมทัลฮาไลด์



รูปที่ 2.15 วงจรการทำงานและส่วนประกอบต่างๆ ของหลอดเมทัลฮาไลด์

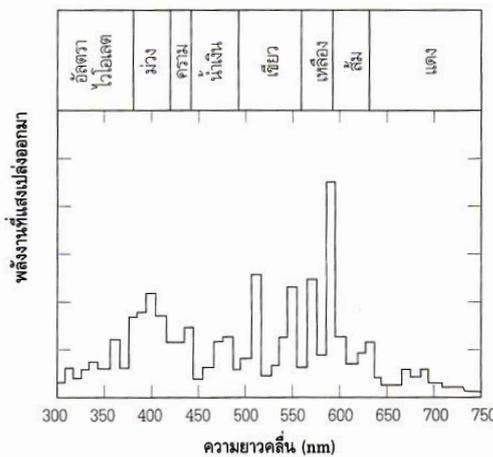
จากรูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของหลอดเมทัลฮาไลด์ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรของหลอดเมทัลฮาไลด์แล้วตัวจุดหลอด (Ignitor) จะเป็นตัวสร้างพัลส์ (Pulse) ที่มีความถี่สูงเพื่อที่จะทำให้บัลลาสต์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อไปจับหลอดและทำให้เกิดการแตกตัวของสาร และก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอด เมื่อหลอดทำงานแล้วตัวช่วยในการจุดติดก็จะหมดหน้าที่ เหลือแต่บัลลาสต์ตัวเดียวที่จะทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟและแรงดันไฟฟ้าที่ไปตกคร่อมที่หลอด

เนื่องจากหลอดเมทัลฮาไลด์ที่มีการเติมสารพวกไอโอไดด์เข้าไปในหลอดจึงทำให้จุดเดือดสูงกว่าอุณหภูมิที่ผนังของกระเปาะแก้วด้านใน จึงทำให้บางส่วนของสารที่เติมเข้าไปนั้นยังคงกลั่นตัวอยู่ในสภาพที่เป็นของแข็ง และปริมาณของสารไอโอไดด์ของธาตุต่างๆ ในสภาวะที่จะกลายเป็นไอจะถูก

ควบคุมด้วยอุณหภูมิของจุดเย็นสุดบนผนังภายในกระเปาะแก้วด้านใน ซึ่งเป็นคุณสมบัติของหลอดเมทัลฮาไลด์ที่ไม่เหมือนหลอดชนิดอื่น เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดเพื่อทำการจุดหลอดมากพอ จะทำให้เกิดไอออนขึ้นระหว่างขั้วของหลอดเมทัลฮาไลด์ทั้ง 2 ข้าง ซึ่งจะเป็นช่วงของการเริ่มต้นของการอุ่นหลอด และขณะเดียวกันสารที่เติมลงไปจำพวกสารไอโอดีนก็จะเริ่มกลายเป็นไอเคลื่อนที่เข้าสู่ลำอาร์คพร้อมกับแผ่รังสีประจำตัวออกมา และเกิดการกระจายพลังงานออกมา จะประกอบไปด้วยความยาวคลื่นของแสงชนิดต่างๆ มากมายทั้งที่เป็นช่วงที่ตาคนเรามองเห็นได้ และช่วงที่ตาไม่สามารถมองเห็นจากการที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันมากมาย หรือมีสีของแสงที่เกิดขึ้นต่างๆ กันมาผสมกันอย่างได้สัดส่วนที่พอเหมาะจึงเป็นเหตุให้สีที่ปรากฏออกมาจากหลอดเมทัลฮาไลด์เป็นสีขาวและให้ความถูกต้องของสีของวัตถุได้สูงกว่าหลอดปล่อยประจุความดันสูง (HID) ชนิดอื่น

2.3.2 คุณลักษณะของแสงที่ออกจากหลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์เป็นหลอดที่สร้างขึ้นมาเพื่อที่จะให้ภายในกระเปาะแก้วด้านในส่งพลังงานที่มีความยาวคลื่นของแสงออกมาทุกๆ ย่านที่ตาคนเรามองเห็นได้และมีการกระจายแสงได้ดี โดยไม่ต้องเคลือบด้วยสารเรืองแสง ซึ่งมีความยาวคลื่นเป็นนาโนเมตร (nm) ของสารชนิดต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.16

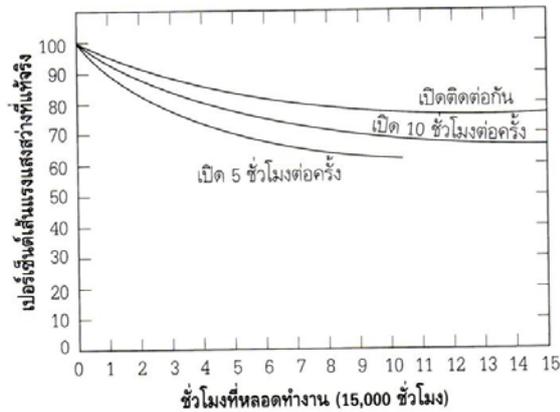


รูปที่ 2.16 แสดงพลังงานสเปกตรัมของแสงที่ออกมาจากหลอดเมทัลฮาไลด์

แสงที่ปรากฏออกมาจากหลอดเมทัลฮาไลด์นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของสารที่ใช้เติมลงไป ในกระเปาะแก้วด้านใน (Arc Tube) และสีของแสงที่ออกจากหลอดไฟอาจจะผิดหรือแตกต่างกันออกไปก็ได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของบัลลาสต์ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร และอายุการใช้งานของหลอดไฟ ในการติดตั้งหลอดไฟประเภทนี้ ถ้าต้องการให้แสงสว่างมีความสม่ำเสมอ ควรจะติดตั้งให้หลอดไฟอยู่รวมกันเป็นกลุ่มๆ ซึ่งจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสีและแสงน้อยกว่าการติดตั้งแยกออกจากกันเป็นหลอดๆ

2.3.4 การเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์นี้เมื่อใช้งานไปเรื่อยๆ สักระยะหนึ่งหลอดไฟจะเริ่มเสื่อม หมายถึง ค่าปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างของหลอดไฟจะเริ่มลดค่าลงจากค่าปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างเริ่มต้นลงไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.17

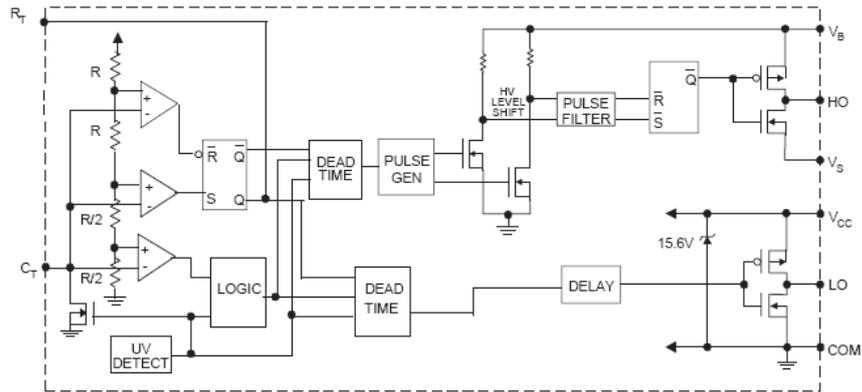


รูปที่ 2.17 กราฟแสดงค่าการเสื่อมของหลอดเมทัลฮาไลด์เมื่อใช้ไปเป็นเวลานานๆ

เมื่อค่าปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์ลดลงถึงค่าหนึ่ง เราจะสังเกตเห็นว่าค่าปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างจะคงที่ ซึ่งค่าคงที่นี้จะมีค่ามากกว่าค่าของหลอดแสงจันทร์และเราจะสังเกตเห็นว่าค่าจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสงที่ออกมา (Lumen Output) ของหลอดไฟที่จะหมดอายุการใช้งาน จะมีค่าประมาณ 75% ของจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสงที่ออกมาเริ่มต้น (Initial Lumen Output) อายุการใช้งานจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอด และระยะเวลาของการใช้งาน อายุการใช้งานของหลอดไฟ บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดมาให้ตามคู่มือของหลอดไฟของบริษัทนั้น

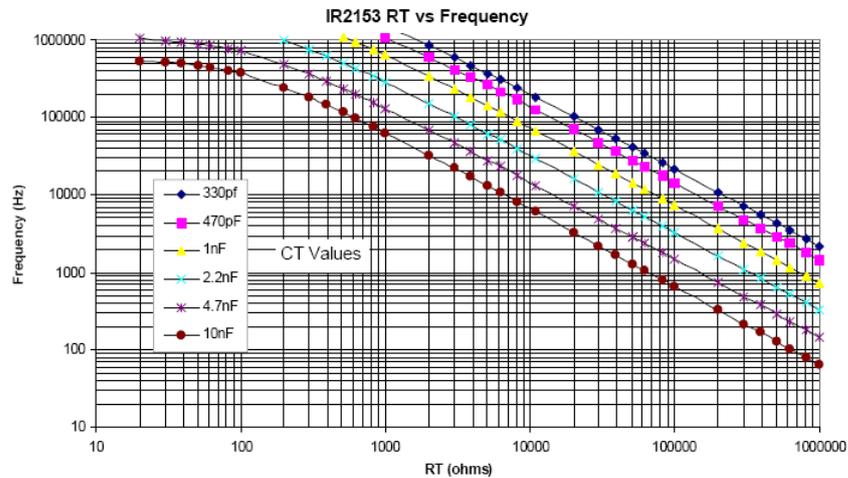
2.4 วงจรควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดีจะเป็นวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น และแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะควบคุมด้วยการควบคุมวัฏจักรงานของสวิตช์กำลัง ซึ่งการควบคุมนี้จะใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM) คงที่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามคุณสมบัติของวงจรแปลงผันคลาสดี ดังนั้นวงจรควบคุม PWM จะเลือกใช้ไอซี เบอร์ IR2153 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณขับสวิตช์กำลังของวงจรกึ่งบริดจ์ ซึ่งจะมีโครงสร้างภายในไอซีดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.18 โครงสร้างภายในของวงจรรวม IR2153

จากกราฟรูปที่ 2.18 ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์สามารถกำหนดได้ด้วยค่าของความต้านทานไฟฟ้า R_T และตัวเก็บประจุ C_T โดยการกำหนดค่าความถี่และเลือกค่าตัวเก็บประจุ C_T ตามเส้นกราฟที่ลากผ่านความถี่ที่ต้องการและเลือกค่าความต้านทาน โดยลากเส้นจากความถี่ที่ต้องการมาชนเส้นตัวเก็บประจุที่เลือกไว้ จากนั้นลากเส้นจากกราฟลงมาชนเส้นแนวนอนจะได้ค่าความต้านทาน R_T



รูปที่ 2.18 กราฟหาค่าความถี่สวิตช์

สามารถหาค่าความถี่ได้จากสมการที่ (2.55)

$$f = \frac{1}{1.4 \times (R_T + 75\Omega) \times C_T} \tag{2.35}$$

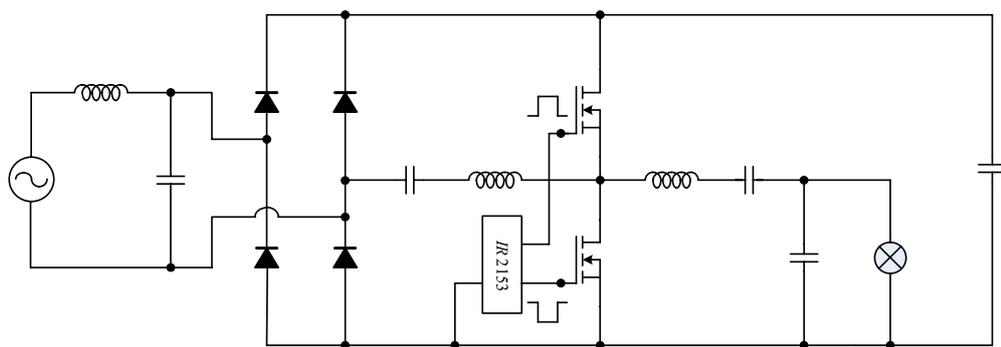
ที่ 75Ω คือ ค่า Effective impedance ของ R_T

บทที่ 3 การออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี ทั้งส่วนของ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ส่วนของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี โดย ใช้เป็นวงจรบัลลาสต์ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มีการทำงานสัมพันธ์กันเป็นภาคเดียว และส่วนของวงจรชุด ควบคุมของวงจรบัลลาสต์

3.1 ส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว

จากรูปที่ 3.1 เป็นวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่นำเสนอประกอบไปด้วย แหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ วงจรกรอง EMI Filter L_F, C_F วงจรเรียง กระแสแบบเต็มคลื่น $D_1 - D_4$ เป็นไดโอดทำงานในย่านความถี่สูงและตัวเก็บประจุ C_{bus} มีหน้าที่ลด การกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ออกจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น วงจรแก้ไขค่าตัว ประกอบกำลังโดยใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมซึ่งประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ L_B และตัวเก็บประจุ C_B ต่อแบบอนุกรมกัน ตัวเก็บประจุ C_B ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและยอมให้ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับผ่านไปได้ และในส่วนวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดีซึ่ง ประกอบไปด้วยสวิตช์ไวงาน M_1 และ M_2 ตัวเหนี่ยวนำ L_S ตัวเก็บประจุ C_S และตัวเก็บประจุ C_P ซึ่งทำ หน้าที่ในการจุคโหลดในสภาวะแรกรวมไปถึงจำกัดกระแสไหลผ่านโหลดและสร้างแรงดันที่ เหมาะสมในสภาวะอยู่ตัว โดยสวิตช์ไวงานทั้งสองตัวทำงานเป็นแบบการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switching : ZVS)



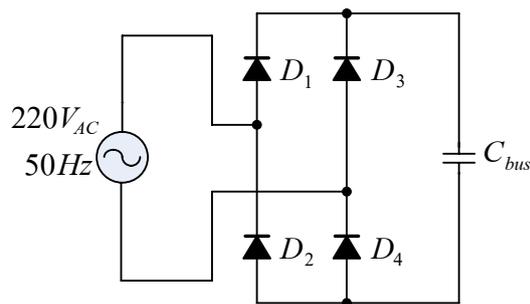
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.2 หลักการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวคลาสดี

หลักการทำงานจะถูกอธิบายในแต่ละส่วนของวงจรการทำงานที่ได้กล่าวแยกไว้แล้วในหัวข้อ 3.1 เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดีนี้

3.2.1 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full bridge rectifier)

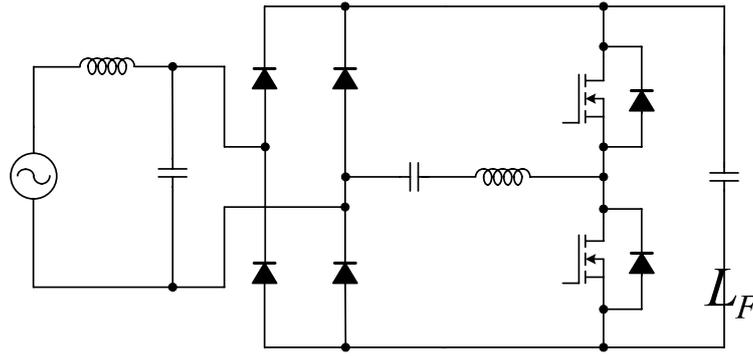
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทำหน้าที่ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งประกอบไปด้วยไดโอด $D_1 - D_4$ ซึ่งเป็นไดโอดชนิดฟื้นตัวเร็ว (Fast-recovery Diode) ซึ่งเป็นไดโอดทำงานในย่านความถี่สูง ดังนั้นในวงจรบัลลาสต์นี้เราจึงเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR4100E มีพิกัดทนแรงดันไฟฟ้า 900-1,000 โวลต์ ทนกระแสได้สูงสุด 4 แอมแปร์ ส่วนตัวเก็บประจุ C_{bus} ทำหน้าที่ลดการกระเพื่อมของแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



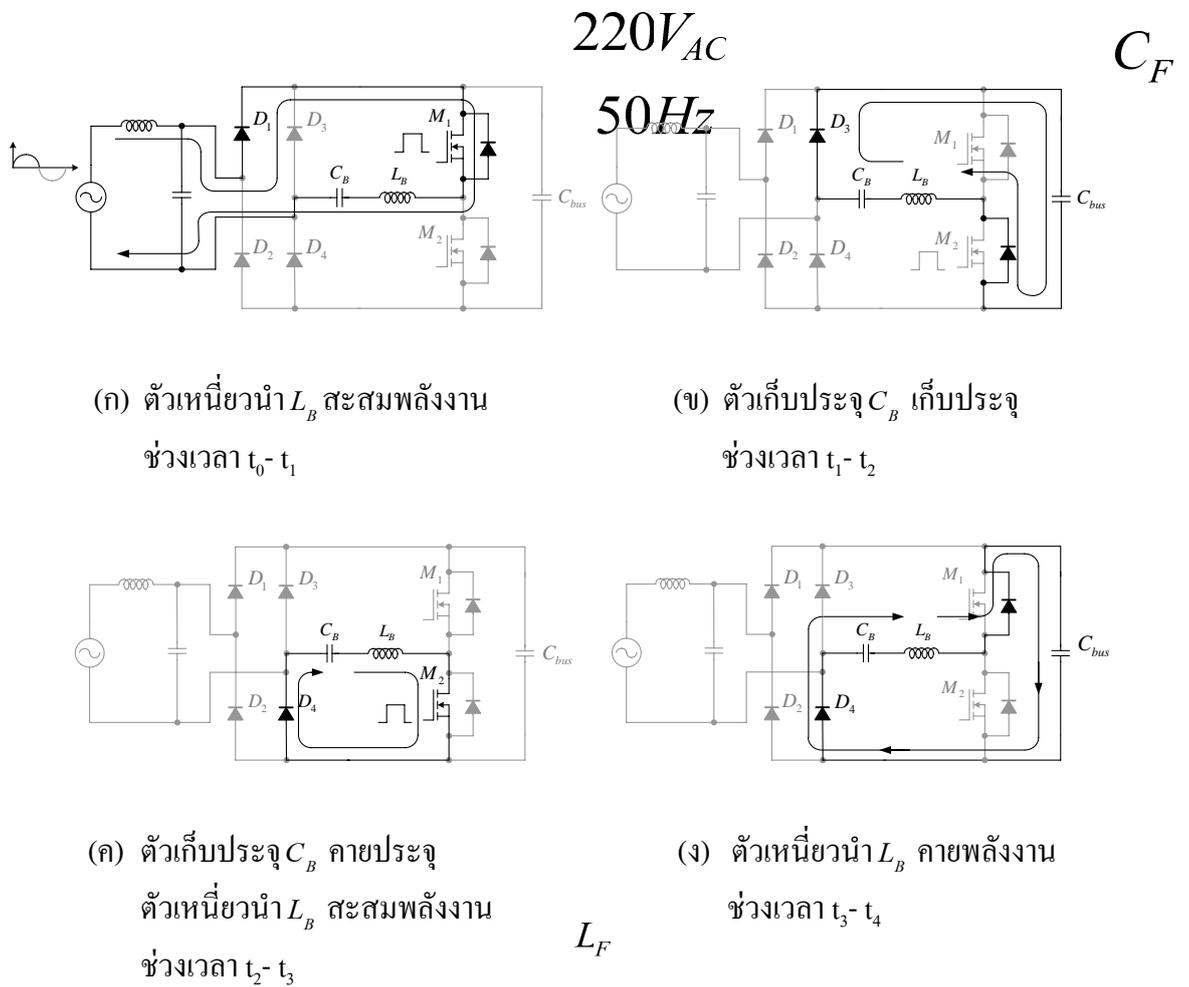
รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

3.2.2 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

จากปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในวงจรบัลลาสต์ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำและค่าความเพี้ยนของฮาร์มอนิกส์มีค่าสูงนั้น จึงได้มีการสร้างวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังขึ้น ซึ่งวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่ได้นำเสนอประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ L_B และตัวเก็บประจุ C_B ต่อแบบอนุกรมกัน การทำงานจะทำงานสัมพันธ์กันกับสวิตช์ไวงาน M_1 และ M_2 สลับการทำงานกันตามความถี่ในการสวิตช์ การทำงานของสวิตช์ที่ความถี่สูง

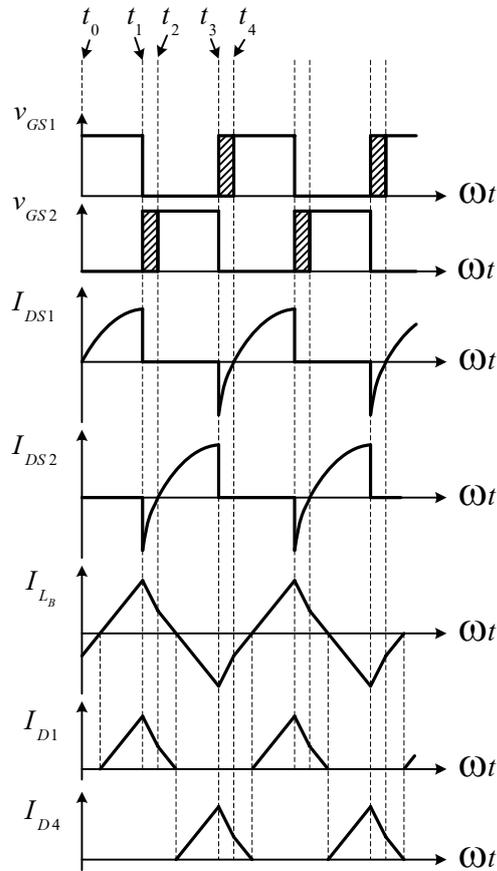


รูปที่ 3.3 ส่วนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



รูปที่ 3.4 ลักษณะการทำงานของวงจรในส่วนแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 สามารถอธิบายลักษณะการทำงานของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง โดยพิจารณาให้สารกึ่งตัวนำทุกตัวเป็นอุปกรณ์ทางอุดมคติ โดยจะแบ่งลักษณะการทำงานเป็นสภาวะการทำงานได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปคลื่นการทำงานของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

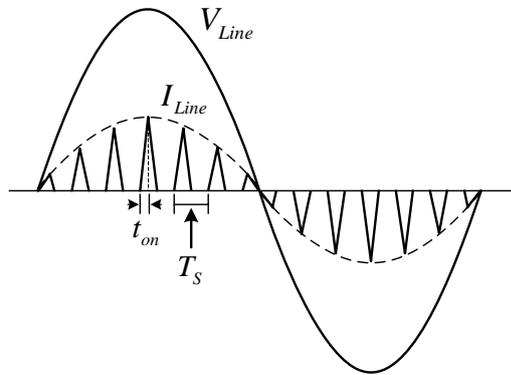
การทำงานของวงจรที่ใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังสามารถวิเคราะห์ได้ตามลักษณะรูปคลื่นการทำงานทางอุดมคติดังรูปที่ 3.5

สถานะที่ 1 : ช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 ; สวิตช์ M_1 ทำงาน และสวิตช์ M_2 หยุดทำงาน จากรูปที่ 3.4(ก) กระแสจะไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านสวิตช์ M_1 ไปยังตัวเหนี่ยวนำ L_B ผ่านตัวเก็บประจุ C_B กลับเข้าสู่แหล่งจ่าย ในช่วงเวลานี้เองจะมีพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำจนมีค่าสูงสุด

สถานะที่ 2 : ช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ; สวิตช์ M_1 หยุดทำงาน จากรูปที่ 3.4(ข) พลังงานที่ถูกสะสมในตัวเหนี่ยวนำจะคายพลังงาน โดยทิศทางกระแสของกระแสจะไหลออกจากตัวเหนี่ยวนำผ่านตัวเก็บประจุ C_B ไดโอด D_3 คาปาซิเตอร์ C_{bus} ไดโอดที่ต่อขนานสวิตช์ M_2 และกลับไปยังตัวเหนี่ยวนำ L_B โดยพลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในตัวเก็บประจุ C_B มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_B มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

สถานะที่ 3 : ช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 ; สวิตช์ M_1 หยุดทำงาน และสวิตช์ M_2 ทำงาน ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_B สวิตช์ M_2 ไดโอด D_4 ดังรูปที่ 3.4(ก) ซึ่งในส่วนนี้เองตัวเหนี่ยวนำ L_B ก็จะสะสมพลังงานจนมีค่าสูงสุด จนถึงเวลา t_3

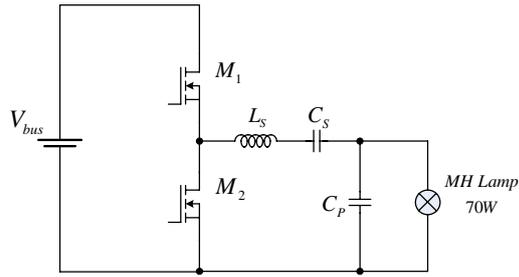
สถานะที่ 4 : ช่วงเวลา t_3 ถึง t_4 ; สวิตช์ M_1 และ M_2 หยุดทำงาน ตัวเหนี่ยวนำ L_B ก็จะคายพลังงานที่สะสมไว้ในช่วงสถานะที่ 3 ผ่านไดโอดที่ขนานกับสวิตช์ M_1 ตัวเก็บประจุ C_{bus} ไดโอด D_4 คาปาซิเตอร์ C_B และเริ่มต้นทำงานสถานะที่ 1 ใหม่อีกครั้งสำหรับรูปคลื่นซีกกลับของแรงดันด้านเข้าจะพิจารณาโดยใช้หลักการเดียวกันกับรูปคลื่นซีกบวกของแรงดันด้านเข้าจึงไม่ขอกล่าวถึงแสดงดังรูปที่ 3.6



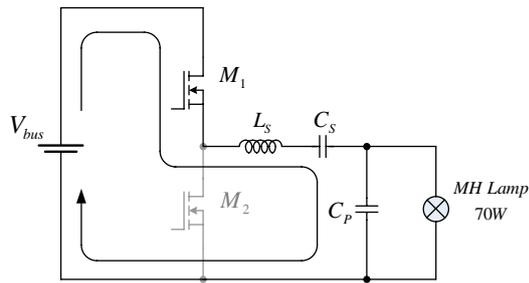
รูปที่ 3.6 ลักษณะสัญญาณการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

3.2.3 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี

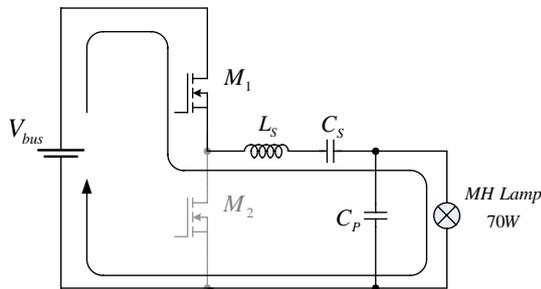
จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดีมีหน้าที่ เป็นตัวจุดหลอดและบัลลาสต์ การจุดติดของหลอดเมทัลฮาไลด์ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้วงจรเรโซแนนซ์ดังรูป 3.7(ก) ในการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อจุดไส้หลอดเหมือนกับบัลลาสต์แกนเหล็กเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นในช่วงจุดไส้หลอด



(ก) วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี



(ข) การไหลของกระแสก่อนจุดไ้หลุด



(ค) การไหลของกระแสผ่านหลอดเมื่อจุดหลุดติด

รูปที่ 3.7 ลักษณะการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อจุดไ้หลุด

ในช่วงแรกหลอดเมทัลฮาไลด์ยังไม่ติดความต้านทานภายในหลอดมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงมาก จากวงจรความถี่สวิตซิ่ง (f_s) มีค่ามากกว่าความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) จากวงจรเรโซแนนซ์ที่ได้นำเสนอนี้ มีสมการค่า Q ของวงจรเรโซแนนซ์คือ $\omega L/R$ ดังสมการที่ 2.22 ดังนั้นจากสมการในช่วงแรกหลอดไฟยังไม่ติดความต้านทานไฟฟ้าสูงกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดได้ ทำให้วงจรของหลอดมีแต่วงจรเรโซแนนซ์ที่มีตัวเหนี่ยวนำ L_s ตัวเก็บประจุ C_s และตัวเก็บประจุ C_p ต่ออนุกรมกันค่าความต้านทาน R ของหลอดจึงมีค่าต่ำ กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านวงจรเรโซแนนซ์ ดังรูปที่ 3.7(ข) ค่า Q ช่วงนี้จึงมีค่าสูง เป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงดันให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและเกิดไอออนขึ้น

ระหว่างขั้วทั้งสองข้างของหลอดเมทัลฮาไลด์ ซึ่งเป็นช่วงของการเริ่มต้นอุ่นไส้หลอด และขณะเดียวกันสารที่เติมลงไปก็จะเริ่มกลายเป็นไอเคลื่อนที่เข้าสู่ลำอาร์คพร้อมกับเปล่งแสงออกมา ซึ่งตัวเก็บประจุ C_p ในสภาวะนี้จะรักษาระดับแรงดันสูงที่หลอดไฟจนกว่าหลอดไฟจะติด เมื่อหลอดเมทัลฮาไลด์ติดแล้วความต้านทานไฟฟ้าของหลอดจะอยู่ในสภาวะปกติ กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าหลอดได้ดังรูปที่ 3.7(ค) ทำให้ค่าความต้านทาน R ของวงจรเรโซแนนซ์มีค่า Q ปกติ แรงดันที่คร่อมหลอดไฟก็จะมีค่าปกติด้วย

3.3 การออกแบบวงจรกำลังและวงจรควบคุม

การออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสสิกที่สร้างขึ้นนี้จะเริ่มจากวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ขนานคลาสสิก และวงจรควบคุมการทำงานของวงจรกำลัง ขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

3.3.1 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้นำมาใช้ในวงจรบัลลาสต์ คือวงจรอนุกรมตัวเหนี่ยวนำ L_B กับตัวเก็บประจุ C_B ซึ่งทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง การออกแบบจะกำหนดให้แรงดัน $V_{bus} = 330$ โวลต์ ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 55 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่า Q_L ของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.2 ค่าตัวเหนี่ยวนำ $L_{B(\min)}$ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.22 ดังนี้

เนื่องจากต้องการแรงดัน $V_{bus} = 330$ โวลต์ เราสามารถหาความต้านทานของวงจรได้ว่า

$$\begin{aligned} R_{bus} &= \frac{V_{bus}^2}{P_o} \\ &= \frac{330^2}{70} = 1,555.71 \text{ โอห์ม} \end{aligned} \quad (3.1)$$

จากสมการที่ 2.22 สามารถนำค่า R_{bus}

$$Q_L = \frac{\omega_o L_{B(\min)}}{R_{bus}}$$

โดยที่

$$L_{B(\min)} = \frac{Q_L R_{bus}}{\omega_o} \quad (3.2)$$

$$L_{B(\min)} = \frac{0.2 \times 1,555.71}{2 \times \pi \times 55 \times 10^3} = 900.36 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

จะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำ $L_{B(\min)}$ เท่ากับ 900.36 ไมโครเฮนรี่ ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_B จะเป็นแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง โดยออกแบบและกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุ $C_B = 0.1$ ไมโครฟารัด

จากค่าการคำนวณตัวเหนี่ยวนำ L_B และตัวเก็บประจุ C_B ค่าที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับค่า V_{DC_bus} จากวงจรรูปที่ 3.3 พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ L_B จะคายพลังงานที่สะสมผ่านทางตัวเก็บประจุ C_B ในส่วนนี้จะทำการเก็บประจุไว้ด้วยส่วนหนึ่ง ซึ่งตัวเก็บประจุ C_B ในที่นี้จะทำหน้าที่กรองไฟฟ้ากระแสตรงออกจากไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นจะไหลผ่านไดโอด D_3 และไปรวมเข้ากับแรงดันจากวงจรเรียงกระแส V_{REC} ทำให้ได้ค่าแรงดัน V_{DC_bus} มีค่าแรงดันตามที่ต้องการ ดังนั้นหากทำการเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ L_B ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากระยะเวลาในการคายพลังงานยังคงมีระยะเวลาเท่าเดิมทำให้พลังงานที่คายออกไปมีค่าเท่าเดิม ประกอบกับมีแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ L_B เพิ่มขึ้น จึงทำให้แรงดัน V_{DC_bus} มีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าเพิ่มค่าตัวเก็บประจุ C_B แทนจากเดิมเป็นตัวเหนี่ยวนำ L_B พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ L_B จะคายพลังงานผ่านตัวเก็บประจุ C_B แต่เนื่องจากค่าตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้น พลังงานที่ถูกส่งมาจากตัวเหนี่ยวนำ L_B ก็จะถูกตัวเก็บประจุเก็บประจุเพิ่มขึ้นทำให้มีพลังงานที่เหลือไปรวมกับแรงดันจากวงจรเรียงกระแส V_{REC} ลดลง ส่งผลให้แรงดัน V_{DC_bus} ลดลง จะมีผลต่อขนาดของตัวเก็บประจุ C_{bus} มีขนาดลดลงตาม ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าค่าของตัวเหนี่ยวนำ L_B จะมีผลต่อแรงดันของ V_{DC_bus} และต่อไปจะมีผลต่อแรงดันด้านออกหรือแรงดันเลี้ยงโหลด คือ เนื่องจากแหล่งจ่ายของวงจรแปลงผันอนุกรม-ขนานเรโซแนนซ์คลาสซีมีแหล่งจ่ายเป็นไฟตรงที่รับแหล่งจ่ายแรงดันจาก V_{DC_bus} ดังนั้นถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นแรงดัน V_{DC_bus} จะลดลงตาม แรงดันที่ไปจ่ายให้โหลดก็จะมีค่าลดลงด้วย ทำให้กำลังงานขาออกมีค่าต่ำลง ส่วนความสัมพันธ์ของค่า Q ด้านเอาต์พุตที่ขับโหลด จากสมการที่ 2.19 เมื่อมีแรงดันที่โหลดลดลงความต้านทานของโหลดก็จะลดลงทำให้ค่า Q ด้านเอาต์พุต มีค่าต่ำลงด้วย

3.3.2 วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสซี

จากบทที่ 2 ได้มีการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของวงจรแปลงผันคลาสซี ซึ่งนำมาใช้เป็นวงจรกำลังของวงจรบัลลาสต์ ซึ่งประกอบต่อจากวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง โดยการออกแบบจะกำหนดให้แรงดัน $V_{bus} = 330$ โวลต์ ความถี่ในการสวิตช์ $f_s = 55$ กิโลเฮิร์ตซ์ ค่า Q_L ของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.2 เนื่องจากมีค่า Q เพียงพอสำหรับสร้างแรงดันจุดโหลด ถ้าใช้ค่า Q มากกว่านี้จะทำให้เกิดการสูญเสีย

ในสวิตช์เพิ่มขึ้น และกำหนดให้วงจรทำงานมีประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้กับโหลดเมทัลฮาไลด์ ขนาด 70 วัตต์ แรงดันเลี้ยงโหลด 80 โวลต์

$$P_{in(max)} = \frac{P_{out(max)}}{\eta} \quad (3.3)$$

$$P_{in(max)} = \frac{70}{0.90}$$

$$P_{in(max)} = 77.78 \text{ วัตต์}$$

คำนวณหาค่าความต้านทานของโหลด ดังนี้

$$R_L = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (3.4)$$

$$R_L = \frac{80^2}{70} = 91.4 \text{ โอห์ม}$$

การออกแบบจะกำหนดให้ตัวเก็บประจุ $C_s = 10$ นาโนฟารัด และตัวเก็บประจุ $C_p = 20$ นาโนฟารัด จากสมการที่ 2.15 จะได้

$$A = \frac{C_p}{C_s}$$

$$A = \frac{20 \times 10^{-9}}{10 \times 10^{-9}}$$

ดังนั้น

$$A = 2$$

โดย ณ จุดที่ อัตราส่วนของ C (A) มีค่าเท่ากับ 2 นั้น เป็นจุดที่มีค่า Q_L สูงเพียงพอที่จะทำให้แรงดันขณะ จุดโหลดมีแรงดันสูงทำให้ไอออนภายในโหลดแตกตัว

จากนั้นสามารถคำนวณหาตัวเก็บประจุสมมูล C_s และ C_p ที่ต่อในลักษณะอนุกรมกัน ดังสมการที่ 2.16

$$C = \frac{C_s C_p}{C_s + C_p} = \frac{C_p}{1 + A} = \frac{C_s}{1 + 1/A}$$

$$C = \frac{(10 \times 10^{-9}) \times (20 \times 10^{-9})}{(10 \times 10^{-9}) + (20 \times 10^{-9})}$$

จะได้

$$C = 6.67 \text{ นาโนฟารัด}$$

ตัวเหนี่ยวนำ L_s สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 ดังนี้

$$Q_L = \omega_s C R_o = \frac{R_L}{\omega_s L_s}$$

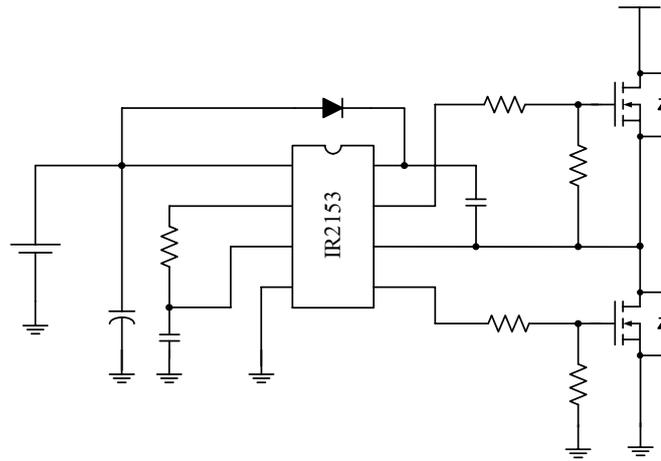
$$0.2 = \frac{91.4}{(2 \times \pi \times 55 \times 10^3) \times (L_s)}$$

จะได้

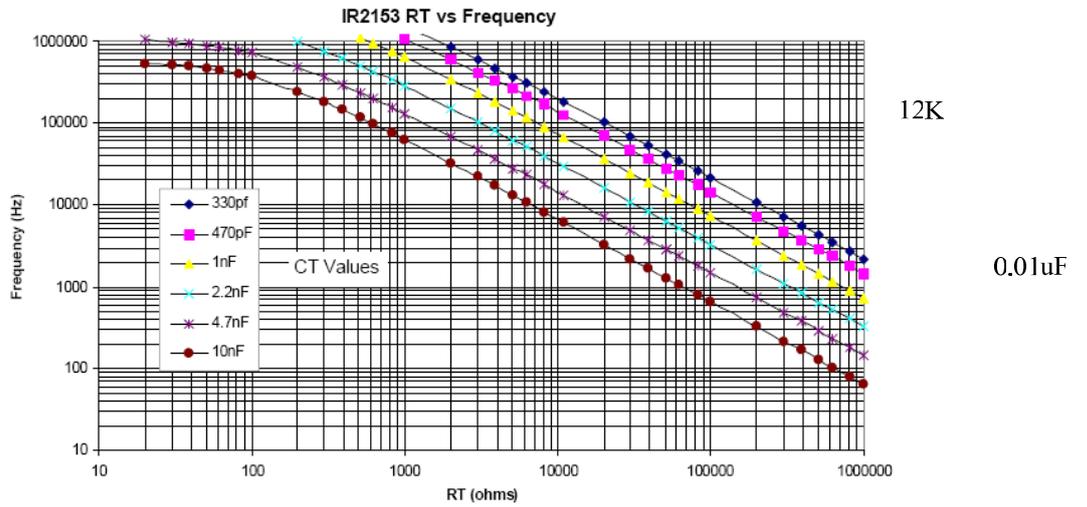
$$L_s = 1.32 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

3.4 วงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังโดยใช้ IR2153

วงจรแปลงผันคลาสิกที่สร้างขึ้นจะใช้การควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังด้วยไอซีสำเร็จรูปเบอร์ IR2153 จะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณขับเกทของมอสเฟต เป็นตัวกำเนิดความถี่ 55 กิโลเฮิร์ตซ์ และค่าวัฏจักรงานที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยจะกำหนดค่าความต้านทาน R_T และตัวเก็บประจุ C_T กราฟรูปที่ 3.9 ของกราฟคุณลักษณะการกำหนดความถี่ของวงจร IR2153 จะได้ค่าต่างๆ คือ C_T เท่ากับ 10 นาโนฟารัด และ R_T เท่ากับ 12 กิโลโอห์ม และสามารถต่อวงจรได้ดังวงจรรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขับเคลื่อน



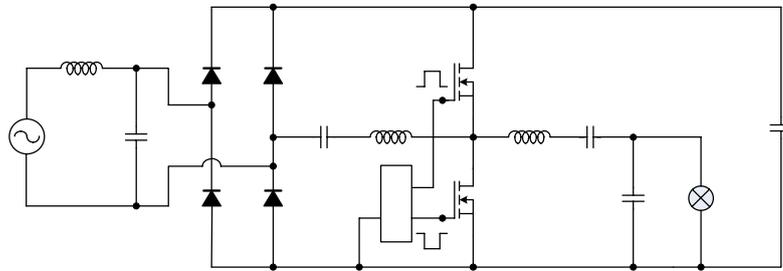
รูปที่ 3.9 กราฟคุณลักษณะการกำหนดความถี่ของวงจร IR2153

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ ที่ได้จากการทดลองวงจรต้นแบบ โดยจะแสดงผลการทดลองด้วยค่าที่วัดได้ในวงจร มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี

จากการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี เมื่อนำมาประกอบกันเป็นวงจรต้นแบบจะได้วงจรดังรูปที่ 4.1 และทำการทดลองเพื่อพิจารณาหาผลที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎี จากการออกแบบคำนวณค่าพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์	รายละเอียด
L_B	850 μ H
L_F	10 mH
L_S	1.3 mH
C_B	100 nF
C_F	0.1 μ F
C_P	10 nF
C_S	20 nF
C_{bus}	220V _{AC} 100 μ F
D_1, D_2, D_3, D_4	50Hz 4UR4100E
M_1, M_2	IRF840

L_F
 C_F
 D_1 D_3
 D_2 D_4

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

อุปกรณ์	รายละเอียด
วงจรขับเคลื่อน	IR2153
วัฏจักรงาน (Duty cycle)	42.62 %
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	220 Volt, 50 Hz

4.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

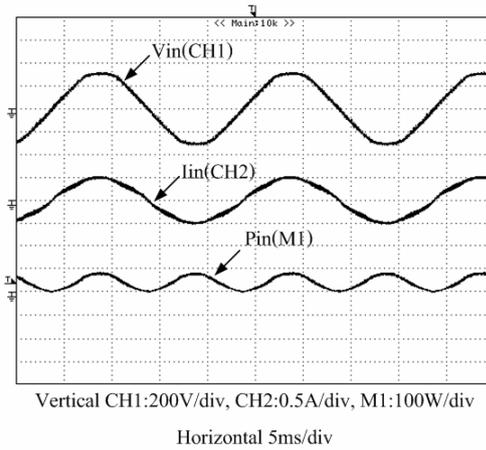
1. หลอดเมทัลฮาไลด์	ยี่ห้อ Philips	รุ่น Mastercolour CDM-T70W/942
2. Current Probe	ยี่ห้อ Yokogawa	รุ่น 701930
3. Differential Probe	ยี่ห้อ LeCroy	รุ่น AP032
4. Digital multimeter	ยี่ห้อ Fluke	รุ่น Fluke-29
5. Oscilloscope	ยี่ห้อ Yokogawa	รุ่น DL1620
6. Power Analyzer	ยี่ห้อ Fluke	รุ่น Fluke-43B
7. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้	ยี่ห้อ GW Instek	รุ่น GPS-2303
8. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับปรับค่าได้	ยี่ห้อ Chuan Hsin	รุ่น SRV-20

4.3 ผลการทดลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวที่นำเสนอ

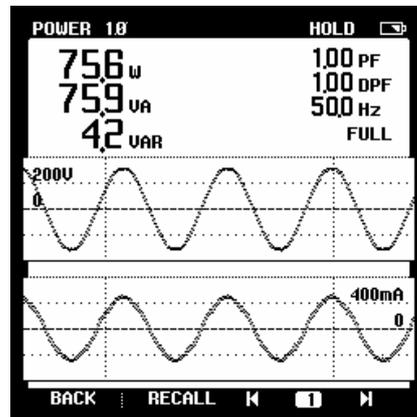
จากการทดสอบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว สามารถนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบวงจรซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้

4.3.1 สัญญาณแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าด้านอินพุต

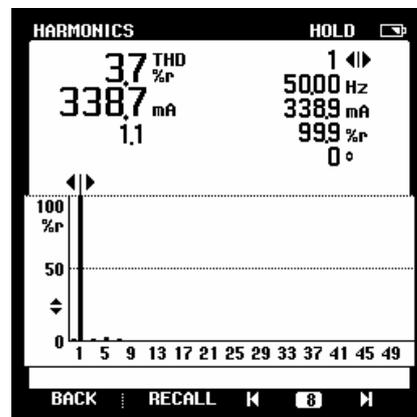
รูปคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต เมื่อผ่านวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังซึ่งเป็นวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมขนาน ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านวงจรจะเป็นโหมดกระแสไหลไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous current mode; DCM) ดังนั้นรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.2 โดยที่ลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าอินพุตเป็นสัญญาณไซน์มีเฟสเดียวกัน (inphase) และความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสด้านเข้าต่ำลง โดยที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) จะมีค่าใกล้เคียง 1.00 ดังรูปที่ 4.3 และความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสด้านเข้า $THD_i = 3.7\%$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 สัญญาณแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าด้านอินพุต

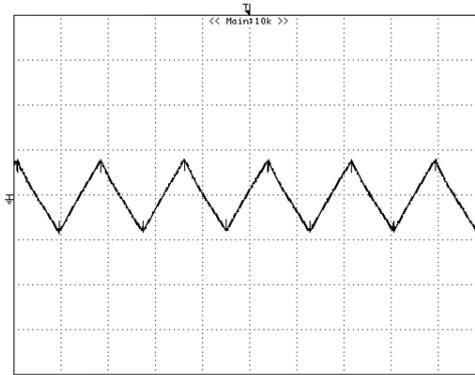


รูปที่ 4.3 ค่าตัวประกอบกำลัง รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต โดยเครื่องวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของบริษัท FLUKE รุ่น 43B



รูปที่ 4.4 รูปสเปกตรัมของกระแสฮาร์โมนิกส์ด้านอินพุต โดยเครื่องวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของบริษัท FLUKE รุ่น 43B

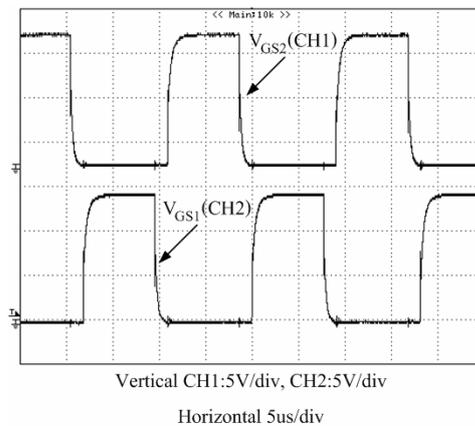
4.3.2 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง
 รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า L_B วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังในสภาวะ
 การทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DCM) ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า L_B
 ในวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

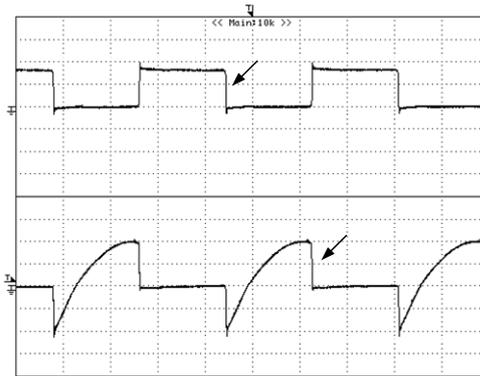
4.3.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอสเฟต

รูปสัญญาณแรงดันขั้วขาเกต-ซอส ที่ตกคร่อมสวิตช์ทั้งสอง โดยสัญญาณที่ได้มาจากไอซีควบคุม
 สวิตช์ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งมีวัฏจักรงาน (Duty Cycle) เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และในส่วน
 สัญญาณขั้วขาเกต-ซอสของสวิตช์ทั้งสอง จะไม่มีการทับซ้อนกัน ดังรูปที่ 4.6

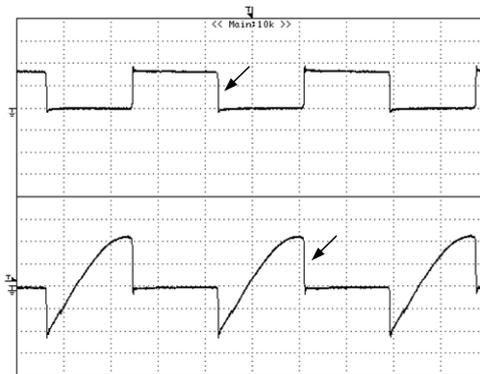


รูปที่ 4.6 สัญญาณขั้วขาเกต-ซอสของสวิตช์ M_1 และ M_2

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันตกรวมมาจากระนา-ซอส และกระแสไหลผ่านสวิตช์ M_1 และ M_2 เทียบกัน จาก รูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดันตกรวมสวิตช์จะลดลงเป็นศูนย์ก่อน กระแสจึงเริ่มไหลผ่าน สวิตช์ ดังนั้นสัญญาณแรงดันและกระแสเกิดไม่พร้อมกัน ทำให้ไม่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ภายในตัวสวิตช์



รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันตกรวมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ M_1



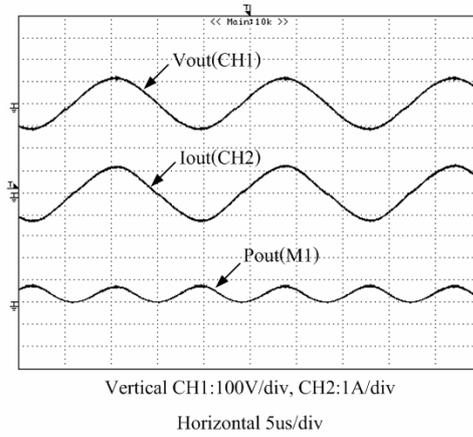
รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดันตกรวมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ M_2

4.3.4 สัญญาณแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่โหลดไฟ

รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน (CH1) กระแส (CH2) และกำลังไฟฟ้า (M1) เอาต์พุตที่โหลดหลอดเมทัล ฮาไลด์ ดังรูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดัน (CH1) และสัญญาณกระแส (CH2) จะมีลักษณะเป็นรูปไซน์ (Sine wave) ที่ความถี่สูงตามสัญญาณการสวิตช์ แสงไฟที่ได้จึงมีความสว่างที่เรียบโดยประสิทธิภาพ

Vertical C

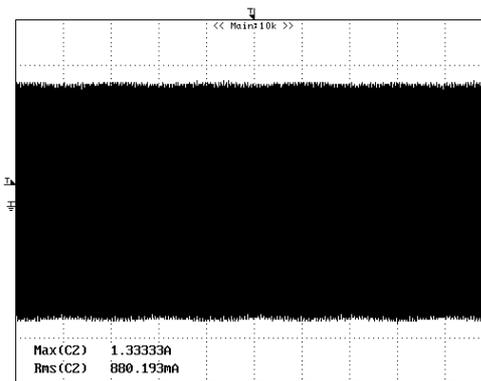
ของเอาต์พุตที่จ่ายโหลดมีค่าเท่ากับ 92.61 เปอร์เซ็นต์ และค่าตัวประกอบยอดคลื่น (Crest factor) หาได้จากสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดัน (CH1) กระแส (CH2) และกำลังไฟฟ้า (M1) ด้านเอาต์พุตที่โหลดไฟ

การคำนวณหาประสิทธิภาพของวงจรบัลลาสต์ที่ได้นำเสนอ โดยการนำกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตเทียบกับกำลังไฟฟ้าอินพุต

$$\eta = \frac{69.97}{75.55} \times 100\% = 92.61\%$$



รูปที่ 4.10 สัญญาณค่าตัวประกอบยอดคลื่นความถี่สูงของกระแสเอาต์พุต

ค่าตัวประกอบยอดคลื่น (Crest factor) ของกระแสไหลผ่านโหลด

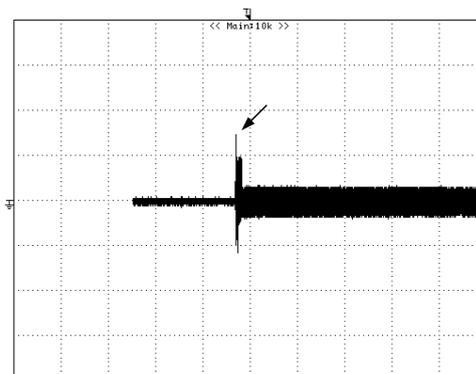
$$\text{Current crest factor} = \frac{I_{\text{Output (Peak)}}}{I_{\text{Output (rms)}}} \quad (4.1)$$

จากผลการทดลองสามารถคำนวณค่าตัวประกอบยอดคลื่นได้จากสมการที่ 4.1 ดังนี้

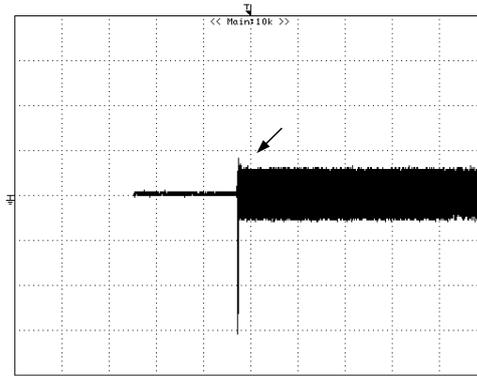
$$\text{Current crest factor} = \frac{1.33}{0.88} = 1.52$$

4.3.5 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มจุดโหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ คลาสดี

สัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่โหลดไฟขณะจุดโหลด โดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้นำเสนอนี้สามารถสร้างแรงดันสูงได้จากวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี และจะลดแรงดันจากแรงดันสูงในช่วงแรกมาเป็นแรงดันเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงที่โหลดต้องการ ดังรูปที่ 4.11 แรงดันจุดโหลดมีค่าประมาณ 300 โวลต์ และสัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะจุดโหลด ดังรูปที่ 4.12 กระแสจะไหลก็ต่อเมื่อความต้านทานภายในโหลดมีค่าต่ำลง



รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันขณะจุดโหลด



รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแสขณะจุดหลุด

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ โดยใช้ วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ส่วนของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนาน คลาสดี จะเป็นทั้งตัวบัลลาสต์และตัวจุดหลอด และสวิตช์จะทำงานแบบสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) บัลลาสต์ที่ได้นำเสนอนี้มีค่าตัวประกอบกำลังสูง ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของกระแสด้านเข้าต่ำ ค่าตัวประกอบยอดคลื่นต่ำ

จากการออกแบบและทดสอบวงจรบัลลาสต์ต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ใช้สำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ ขนาด 70 วัตต์ ทำงานที่ความถี่ 55 กิโลเฮิร์ตซ์ ในขณะที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าตัวประกอบกำลังมีค่า ใกล้เคียง 1.00 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของกระแสด้านเข้า 3.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองค่าที่ได้ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไหลมีค่าเท่ากับ 1.52 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1506-2541) มีประสิทธิภาพรวมของวงจร 92.61 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นแนวทางเบื้องต้นของการสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ที่ ทำงานภาคเดียวบนพื้นฐานวงจรแปลงผันคลาสดีให้มีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถปรับปรุงค่าตัว ประกอบกำลังให้ความเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกส์ด้านเข้าต่ำลง และลดการสูญเสียต่างๆ ของวงจร เพื่อให้วงจรมีประสิทธิภาพสูง จากการทดลองการทำงานของบัลลาสต์ที่ความถี่การสวิตช์ 55 กิโล เฮิร์ตซ์ พบว่าช่วงความถี่การสวิตช์จะอยู่ใกล้ช่วงอะคูสติกรีโซแนนซ์ ซึ่งอาจทำให้หลอดพังเสียหาย ได้ จากการทดลองช่วงอะคูสติกรีโซแนนซ์จะเกิดในช่วงย่านความถี่ 51-52 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นในการ ทำงานวิจัย เพื่อพัฒนาขั้นต่อไปควรกระทำดังนี้

1. สร้างและออกแบบวงจรควบคุมด้วยการใช้ไอซีสำเร็จรูปหรือสร้างวงจรขั้วนำตัวเอง
2. ศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการลดจำนวนอุปกรณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพ
3. ศึกษาและวิเคราะห์วิธีการหรีไฟ โดยไม่กระทบกับประสิทธิภาพของวงจรภายใน
4. ออกแบบความถี่สวิตช์ให้มีความถี่ที่สูงขึ้น เช่น 1MHz เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอะคูสติกรีโซแนนซ์และลดขนาดของวงจรบัลลาสต์

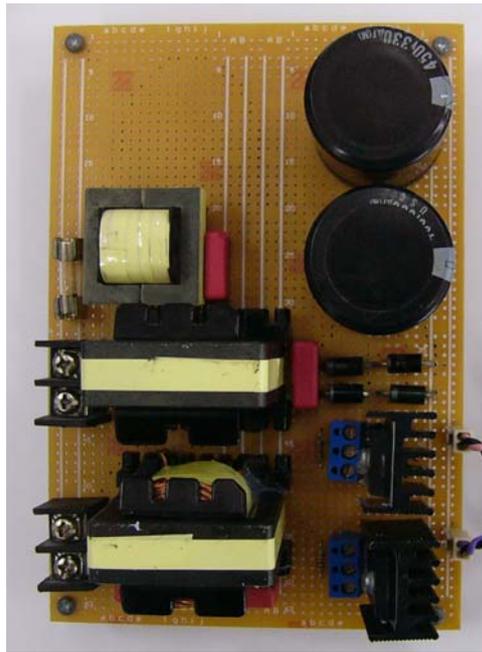
เอกสารอ้างอิง

1. Dongyan, Z., Weiping, Z., Yaunchao, L. and Xuesun, Z., 2004, "Design of LCC Resonant Inverter for Metal Halide Lamp Ballast", **Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC 2004**, Vol. 3, 14-16 August, pp. 1558 - 1562.
2. Wei, W., Weiqiang, Z., Guoan, G., Dianquo, X., 2000, "A Study of an Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamp", **Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC 2000**, Vol. 3, 15-18 August, pp. 1056 - 1060.
3. Wag, J., Xu, D., IEEE Member, Yang, H., 2003, "Practical Design Considerations of LCC Resonant Inverter for Metal Halide Electronic ballasts", **Industrial Technology, 2003 IEEE International Conference**, Vol. 2, 10-12 December, pp. 648 - 651.
4. Jirasereamornkul, K., Kazimierczuk, M.K., Boonyaroonate, I., Chamnongthai, K., 2006, "Single-Stage Electronic Ballast with Class-E Rectifier as Power-factor Corrector", **IEEE Transaction on Circuits and Systems**, Vol. 53, Issue 1, pp. 139 - 148.
5. Chun-An Cheng; Tsorng-Juu Liang; Chia-Ming Chuang; Jiann-Fuh Chen, 2002, "A High Power Factor Electronic Ballast of Projector Lamps with Variable Frequency Control", **Power Electronics Specialists Conference, PESC 2002**, 23-27 June, pp. 213 - 217.
6. Marian K. Kazimierczuk, Dariusz Czarkowski, Resonant Power Converter, John Wiley & Sons, Inc., pp. 241-266.
7. ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, **เทคนิคการออกแบบระบบแสงสว่าง**, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 100-107

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ



รูปที่ ก.1 ภาพถ่ายวงจรต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คลาสดี

ภาคผนวก ข.

มาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

1. มาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยจะทำการอ้างอิงมาตรฐานสากล 2 มาตรฐาน ด้วยกันคือ

1.1 มาตรฐาน International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-3-2

เป็นมาตรฐานที่ว่าด้วยความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility, EMC) :
 ชีดจำกัด – ชีดจำกัดสำหรับสิ่งที่ส่งออกมาซึ่งเป็นกระแสฮาร์โมนิก (กระแสไฟฟ้าเข้า ≤ 16 แอมแปร์ ต่อเฟส) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวนี้ เกี่ยวข้องกับชีดจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะ โดยกำหนดชีดจำกัดของส่วนประกอบฮาร์โมนิกของกระแสไฟฟ้าเข้าซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยบริษัทที่ถูกทดสอบภายใต้ภาวะที่ระบุมาตรฐานนี้ใช้ได้กับบริษัทไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกระแสขาเข้าไม่เกิน 16 แอมแปร์ต่อเฟส และประสงค์ให้ต่อกับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำสาธารณะ

โดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอในงานวิจัย จัดอยู่ใน Class C ของมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ว่าด้วยบริษัทที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงสว่าง ซึ่งกระแสฮาร์โมนิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะ จะต้องไม่เกินค่าสูงสุดตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 ค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสาธารณะตามมาตรฐาน IEC 61000-3-2 Class C

Harmonic order	Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency
n	%
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	

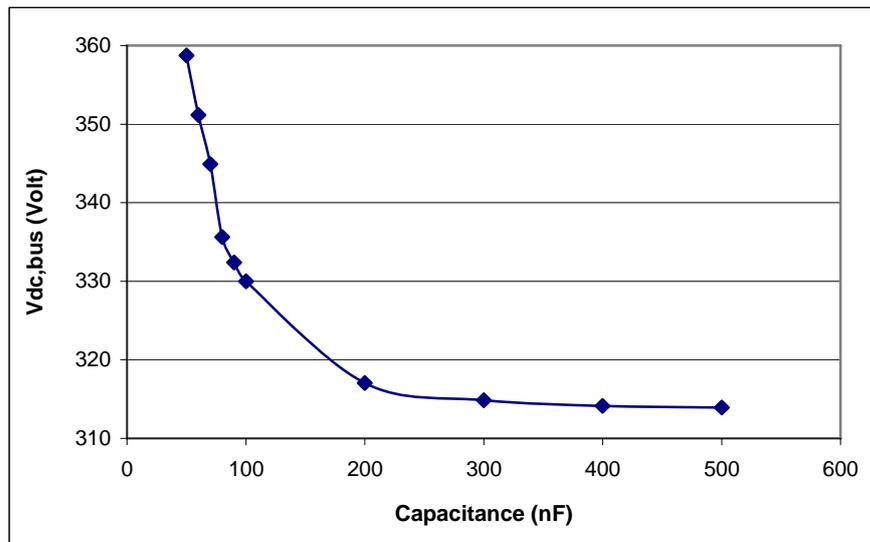
2. ความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับแรงดัน $V_{dc, bus}$ และขนาดของ C_{bus}

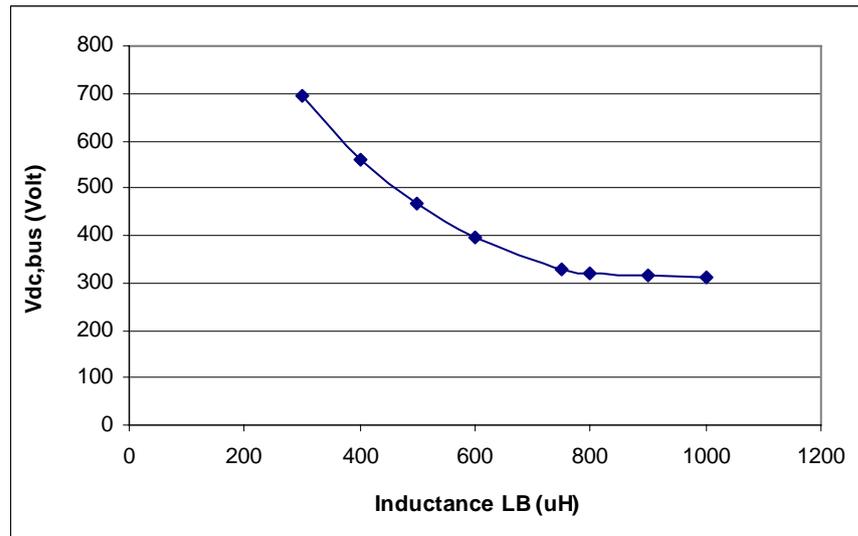
จากรูปวงจรมัลติสแตตออิเล็กทรอนิกส์คลาสสิก เมื่อพิจารณาให้ค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B มีค่าคงที่และกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุ C_B มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุ C_B มีค่า

เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังสมการ $W_{C(t)} = \frac{1}{2} C V_{C(t)}^2$ ดังนั้นพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ L_B จะคาย

พลังงานผ่านตัวเก็บประจุ C_B ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_B มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ L_B ส่วนใหญ่คายพลังงานผ่านตัวเก็บประจุ C_B ซึ่งจะมีพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ L_B ส่วนน้อยเท่านั้น ที่ย้อนคืนกลับไปยังที่บัส ส่งผลให้บัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $V_{dc, bus}$ มีค่าต่ำลง โดยพิจารณาความสัมพันธ์ดังกล่าวดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุ C_B กับแรงดัน $V_{dc, bus}$



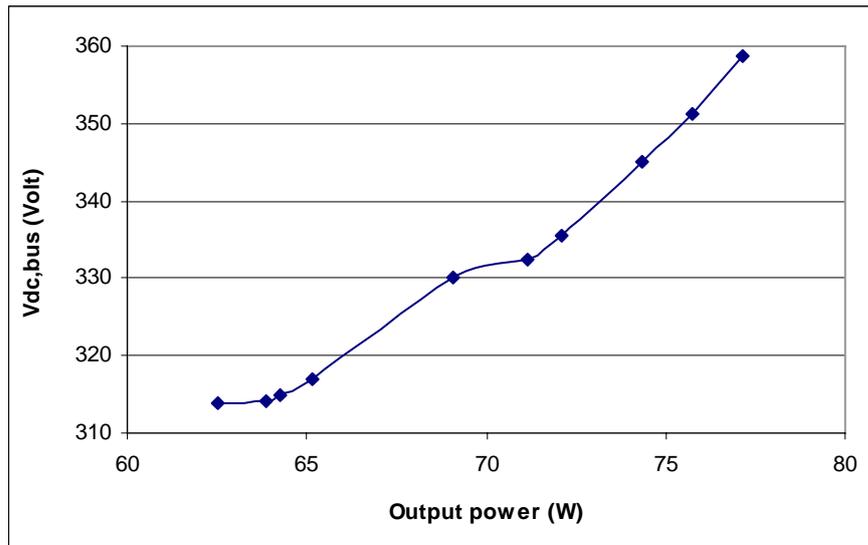
รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B กับแรงดัน $V_{dc, bus}$

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับค่าตัวประกอบยอดคลื่นของโหลด (Crest factor)

โดยค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไหลผ่านโหลด (CF.) จะแปรผันตามการกระเพื่อม (Ripple Voltage) ของบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กล่าวคือถ้าการกระเพื่อมของบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไหลผ่านโหลดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาให้ตัวเก็บประจุ C_{bus} มีค่าคงที่

3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับกำลังงานด้านขาออก (Output power)

โดยค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B และค่าตัวเก็บประจุ C_B จะมีความสัมพันธ์กับบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นเมื่อบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าด้านออกมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากกำลังไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ อนุกรม-ขนานคลาสดี จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยพิจารณาความสัมพันธ์ดังกล่าวดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Output power กับแรงดัน $V_{dc, bus}$

4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B ค่าตัวประกอบกำลัง (PF.) กับค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ (THD_i)

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B และตัวเก็บประจุ C_B จะส่งผลให้บัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $V_{dc, bus}$ มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าพิจารณาให้บัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงถ้าหากแรงดัน $V_{dc, bus}$ มีค่าต่ำลง จะส่งผลให้รูปคลื่นของกระแสด้านเข้ามีค่าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นเมื่อค่ากระแสฮาร์มอนิกส์มีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกส์รวมของ

กระแสด้านเข้ามีค่าสูงขึ้นดังสมการ $THD_i = \frac{\sqrt{i_{rms}^2 - i_{in}^2}}{i_{in}}$ และค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำลง ดัง

สมการ $P.F. = \frac{V_{in} I_{in} \cos \phi}{V_{in} I_{rms}} = \frac{I_{in} \cos \phi}{I_{rms}}$ ในทางตรงกันข้ามถ้าบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $V_{dc, bus}$ มีค่า

สูงขึ้นจะส่งผลให้รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ จะส่งผลให้ค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกส์รวมของกระแสด้านเข้า THD_i มีค่าต่ำลงและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF.) มีค่าสูงขึ้น

5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเหนี่ยวนำ L_B ค่าตัวเก็บประจุ C_B กับตัวประกอบคุณภาพโหลด (Quality factor)

เมื่อพิจารณาให้บัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $V_{dc, bus}$ มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อมและกำลังไฟฟ้าที่โหลดไฟมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนอาจทำให้เกินค่าพิคคของโหลดไฟได้ ดังนั้นการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานคลาสดี ในภาคของบัล

ลาสต์ควร์ค่านึงถึงค่าบัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ค่าตัวประกอบคุณภาพโหลด ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ $Q_L = \frac{R_L}{\omega_o L_S}$ และค่าตัวประกอบคุณภาพโหลดจะส่งผลต่อแรงดันสูงที่ใช้ในการจุคโหลดในสภาวะแรกเช่นกัน

IR2153(D)(S) & (PbF)

SELF-OSCILLATING HALF-BRIDGE DRIVER

Features

- Integrated 600V half-bridge gate driver
- 15.6V zener clamp on V_{CC}
- True micropower start up
- Tighter initial deadtime control
- Low temperature coefficient deadtime
- Shutdown feature (1/6th V_{CC}) on C_T pin
- Increased undervoltage lockout Hysteresis (1V)
- Lower power level-shifting circuit
- Constant LO, HO pulse widths at startup
- Lower di/dt gate driver for better noise immunity
- Low side output in phase with RT
- Internal 50nsec (typ.) bootstrap diode (IR2153D)
- Excellent latch immunity on all inputs and outputs
- ESD protection on all leads
- Also available LEAD-FREE

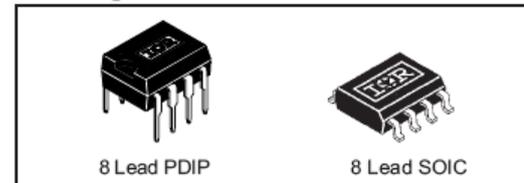
Description

The IR2153D(S) are an improved version of the popular IR2155 and IR2151 gate driver ICs, and incorporates a high voltage half-bridge gate driver with a front end oscillator similar to the industry standard CMOS 555 timer. The IR2153 provides more functionality and is easier to use than previous ICs. A shutdown feature has been designed into the C_T pin, so that both gate driver outputs can be disabled using a low voltage control signal. In addition, the gate driver output pulse widths are the same once the rising undervoltage lockout threshold on V_{CC} has been reached, resulting in a more stable profile of frequency vs time at startup. Noise immunity has been improved significantly, both by lowering the peak di/dt of the gate drivers, and by increasing the undervoltage lockout hysteresis to 1V. Finally, special attention has been paid to maximizing the latch immunity of the device, and providing comprehensive ESD protection on all pins.

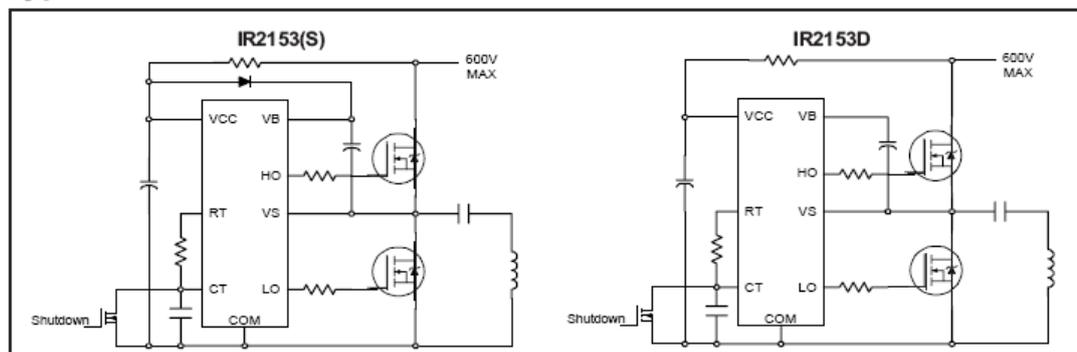
Product Summary

V _{OFFSET}	600V max.
Duty Cycle	50%
T _r /T _p	80/40ns
V _{clamp}	15.6V
Deadtime (typ.)	1.2 μs

Packages



Typical Connections



IR2153(D)(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM, all currents are defined positive into any lead. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage	-0.3	625	V	
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{RT}	R _T pin voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{CT}	C _T pin voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
I _{CC}	Supply current (note 1)	—	25	mA	
I _{RT}	R _T pin current	-5	5		
dV _S /dt	Allowable offset voltage slew rate	-50	50	V/ns	
P _D	Maximum power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(8 Lead DIP)	—	1.0	W
		(8 Lead SOIC)	—	0.625	
R _{thJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(8 Lead DIP)	—	125	°C/W
		(8 Lead SOIC)	—	200	
T _J	Junction temperature	-55	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

For proper operation the device should be used within the recommended conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _{BS}	High side floating supply voltage	V _{CC} - 0.7	V _{CLAMP}	V
V _S	Steady state high side floating supply offset voltage	-3.0 (note 2)	600	
V _{CC}	Supply voltage	10	V _{CLAMP}	
I _{CC}	Supply current	(note 3)	5	mA
T _J	Junction temperature	-40	125	°C

- Note 1: This IC contains a zener clamp structure between the chip V_{CC} and COM which has a nominal breakdown voltage of 15.6V. Please note that this supply pin should not be driven by a DC, low impedance power source greater than the V_{CLAMP} specified in the Electrical Characteristics section.
- Note 2: Care should be taken to avoid output switching conditions where the V_S node flies inductively below ground by more than 5V.
- Note 3: Enough current should be supplied to the V_{CC} pin of the IC to keep the internal 15.6V zener diode clamping the voltage at this pin.

IR2153(D)(S) & (PbF)

International
IR Rectifier

Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS}) = 12V, C_L = 1000 pF, C_T = 1 nF and T_A = 25°C unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to COM. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

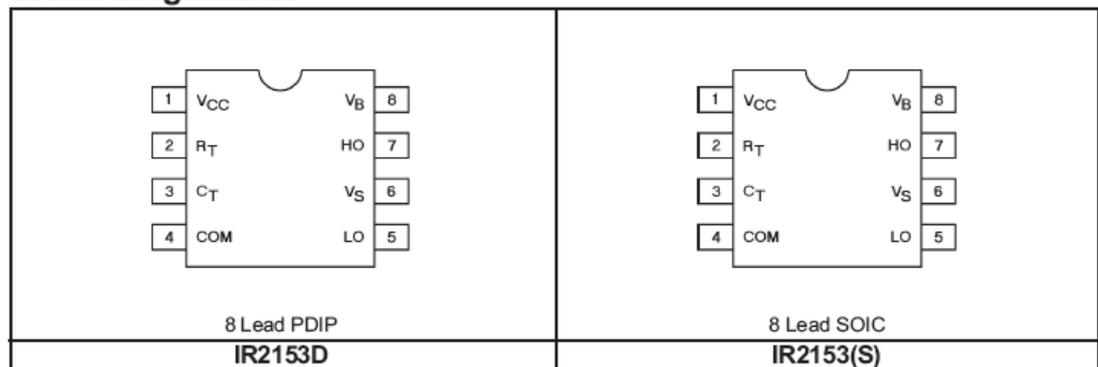
Low Voltage Supply Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{CCUV+}	Rising V_{CC} undervoltage lockout threshold	8.1	9.0	9.9	V	
V_{CCUV-}	Falling V_{CC} undervoltage lockout threshold	7.2	8.0	8.8		
V_{CCUMH}	V_{CC} undervoltage lockout Hysteresis	0.5	1.0	1.5		
I_{QCCUV}	Micropower startup V_{CC} supply current	—	75	150	μ A	$V_{CC} \leq V_{CCUV-}$
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	—	500	950		
V_{CLAMP}	V_{CC} zener clamp voltage	14.4	15.6	16.8	V	$I_{CC} = 5mA$
Floating Supply Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_{QBSUV}	Micropower startup V_{BS} supply current	—	0	10	μ A	$V_{CC} \leq V_{CCUV-}$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	—	30	50		
V_{BSMIN}	Minimum required V_{BS} voltage for proper functionality from R_T to HO	—	4.0	5.0	V	$V_{CC} = V_{CCUV+} + 0.1V$
I_{LK}	Offset supply leakage current	—	—	50	μ A	$V_B = V_S = 600V$
V_F	Bootstrap diode forward voltage (IR2153D)	0.5	—	1.0	V	$I_F = 250mA$
Oscillator I/O Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
f_{osc}	Oscillator frequency	19.4	20	20.6	kHz	$R_T = 36.9k\Omega$
		94	100	106		$R_T = 7.43k\Omega$
d	R_T pin duty cycle	48	50	52	%	$f_o < 100kHz$
I_{CT}	C_T pin current	—	0.001	1.0	μ A	
I_{CTUV}	UV-mode C_T pin pulldown current	0.30	0.70	1.2	mA	$V_{CC} = 7V$
V_{CT+}	Upper C_T ramp voltage threshold	—	8.0	—	V	
V_{CT-}	Lower C_T ramp voltage threshold	—	4.0	—		
V_{CTSD}	C_T voltage shutdown threshold	1.8	2.1	2.4		
V_{RT+}	High-level R_T output voltage, $V_{CC} - V_{RT}$	—	10	50	mV	$I_{RT} = 100\mu A$
		—	100	300		$I_{RT} = 1mA$
V_{RT-}	Low-level R_T output voltage	—	10	50		$I_{RT} = 100\mu A$
		—	100	300		$I_{RT} = 1mA$
V_{RTUV}	UV-mode R_T output voltage	—	0	100		$V_{CC} \leq V_{CCUV-}$
V_{RTSD}	SD-Mode R_T output voltage, $V_{CC} - V_{RT}$	—	10	50		$I_{RT} = 100\mu A$, $V_{CT} = 0V$
		—	10	300		$I_{RT} = 1mA$, $V_{CT} = 0V$

Electrical Characteristics (cont.)

Gate Driver Output Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V _{OH}	High level output voltage, V _{BIAS} -V _O	—	0	100	mV	I _O = 0A
V _{OL}	Low-level output voltage, V _O	—	0	100		I _O = 0A
V _{OL_UV}	UV-mode output voltage, V _O	—	0	100		I _O = 0A V _{CC} ≤ V _{CCUV} -
t _r	Output rise time	—	80	150	nsec	
t _f	Output fall time	—	45	100		
t _{sd}	Shutdown propagation delay	—	660	—		
t _d	Output deadtime (HO or LO)	0.75	1.20	1.65		μsec

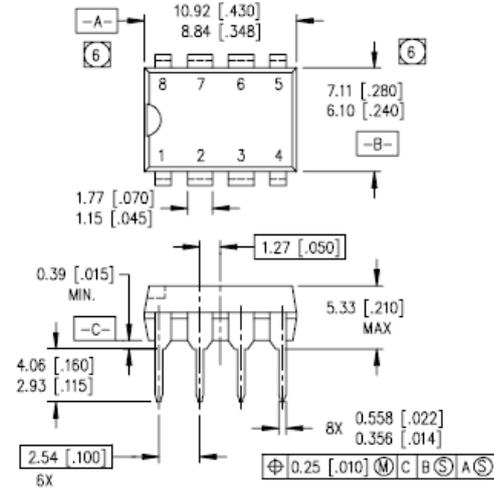
Lead Definitions

Symbol	Description
V _{CC}	Logic and internal gate drive supply voltage
R _T	Oscillator timing resistor input
C _T	Oscillator timing capacitor input
COM	IC power and signal ground
LO	Low side gate driver output
V _S	High voltage floating supply return
HO	High side gate driver output
V _B	High side gate driver floating supply

Lead Assignments

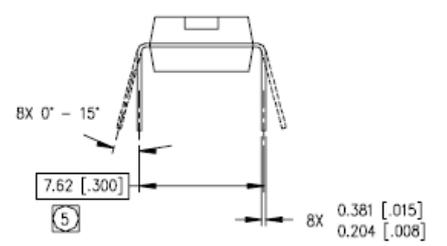
NOTE: The IR2153D is offered in 8 lead PDIP only.

IR2153(D)(S) & (PbF)



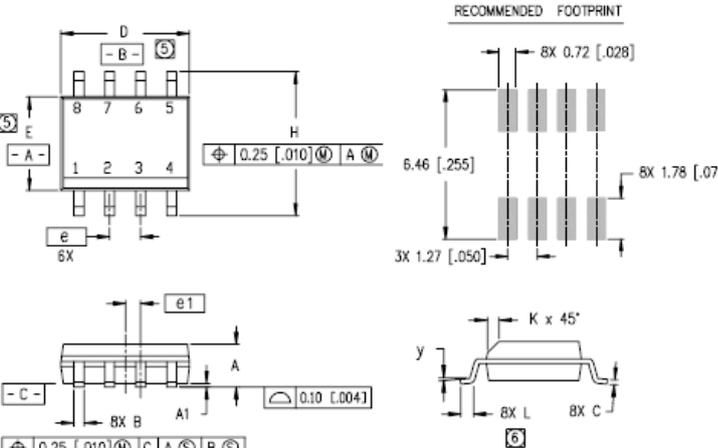
NOTES:

1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].
4. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE MS-001AB.
- 5 MEASURED WITH THE LEADS CONSTRAINED TO BE PERPENDICULAR TO DATUM PLANE C.
- 6 DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD PROTUSIONS. MOLD PROTUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.25 [.010].



8 Lead PDIP

01-3003 01



RECOMMENDED FOOTPRINT

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	.0532	.0688	1.35	1.75
A1	.0040	.0098	0.10	0.25
B	.014	.018	0.36	0.46
C	.0075	.0098	0.19	0.25
D	.189	.196	4.80	4.98
E	.150	.157	3.81	3.99
e	.050 BASIC		1.27 BASIC	
e1	.025 BASIC		0.635 BASIC	
H	.2284	.2440	5.80	6.20
K	.011	.019	0.28	0.48
L	.016	.050	0.41	1.27
y	0"	8"	0"	8"

NOTES:

1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].
4. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE MS-012AA.
- 5 DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD PROTUSIONS. MOLD PROTUSIONS NOT TO EXCEED 0.25 [.006].
- 6 DIMENSION IS THE LENGTH OF LEAD FOR SOLDERING TO A SUBSTRATE.

8 Lead SOIC

01-0021 08

IR2153(D)(S) & (PbF)

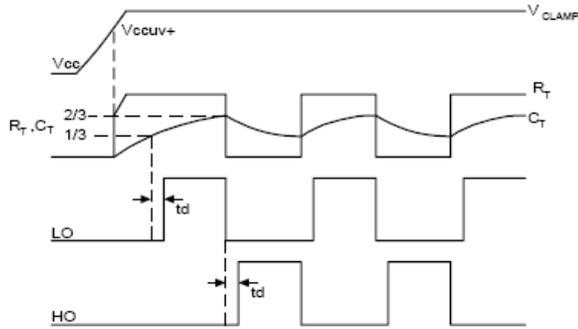


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

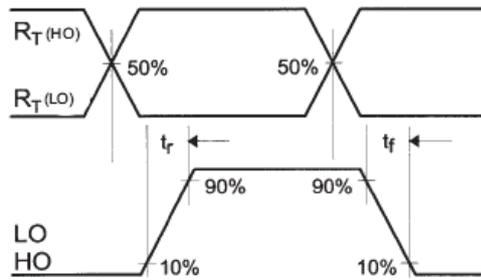


Figure 2. Switching Time Waveform Definitions

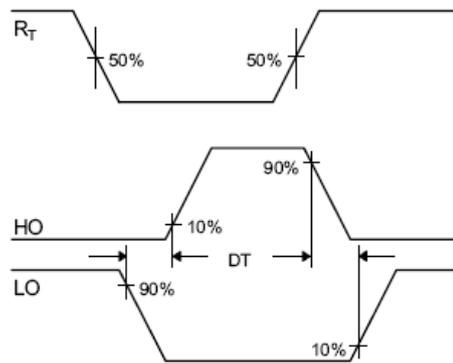


Figure 3. Deadtime Waveform Definitions

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายไชยยันต์ ทองสงยอด
วัน เดือน ปีเกิด	11 สิงหาคม 2524
ประวัติการศึกษา	
ระดับอาชีวศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี พ.ศ.2544
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร พ.ศ. 2546
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	ไชยยันต์ ทองสงยอด และ อธิญา บุญญาอรุณเนตร, 2549, “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ ขนาด 70 วัตต์”, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4, 31 มีนาคม 2549, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 127 Chaiyan, T. and Itsda, B., Class D Single-stage Electronic Ballast for Metal Halide Lamp 70 Watt”, ECTI-CON 2006 , Ubonratchathani, Thailand, 10-13 May, pp. 591-594.

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์

วันที่ 24 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2549

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) ไชยยันต์ ทองสองยอด รหัสประจำตัว 47400205 เป็นนักศึกษาของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาโท หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ อู่ยานเลขที่ 98 ถนน เพชรเกษม ซอย 33 เพชรเกษม ตำบล หาดใหญ่ อำเภอ หาดใหญ่ จังหวัด สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90110 ขอโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์ ตำแหน่ง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นผู้รับ โอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง บัณฑิตอิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียวสำหรับหลอดมัลติโพลไดต์ ขนาด 70 วัตต์ ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร.อิษฎา บุญญาอรุณเนตร ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดจนขอแจ้งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่ง พระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะตั้งระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือ เผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใดตามมาตรา 27, มาตรา 28, มาตรา 29 และ มาตรา 30 แห่ง พระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ.....ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นายไชยยันต์ ทองสองยอด)

ลงชื่อ 101 (เอก).....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์)

ลงชื่อ.....พยาน
(ผศ.ดร.อิษฎา บุญญาอรุณเนตร)

ลงชื่อ.....พยาน
(ผศ.อุดมศักดิ์ ชัยยืน)