

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูงและฮาร์มอนิกส์ต่ำ
ELECTRONIC BALLAST WITH HIGH PF AND LOW HARMONICS



ปริญญานิพนธ์ นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน... 37022
วัน, เดือน, ปี... 30 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูงและฮาร์มอนิกส์ต่ำ
ELECTRONIC BALLAST WITH HIGH PF AND LOW HARMONICS



รศ.ดร.วิริยะ พิเศษฐ์จำเริญ

ดร.วิจิตร กิณเรศ

อ.สุรินทร์ คำฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

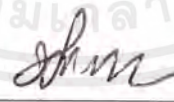
เรื่อง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูงและฮาร์มอนิกส์ต่ำ


ELECTRONIC BALLAST WITH HIGH PF AND LOW HARMONICS

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีรพจน์ จันทรสุมแสง
2. นาย นรินทร์ วังชัยศรี
3. นาย นันทพงศ์ ตันตียวุฒิ


อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐ์จำเริญ)


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.วิจิตร กิณเรศ)


อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.สุรินทร์ คำฝอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูงและฮาร์มอนิกส์ต่ำ

นาย ธีรพงษ์	จันทรสุกแสง	
นาย นรินทร์	วังชัยศรี	
นาย นันทพงศ์	ตันติวุฒิ	
รศ.ดร.วิริยะ	พิเชษฐจำเริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. วิจิตร	กิณเรศ	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังส่วนใหญ่ เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้การสวิตชิง แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง และอุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์ ต้องใช้วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และโดยทั่วไปแล้วจะใช้วงจรไดโอดบริดจ์เรียงกระแส ซึ่งจะก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ขึ้นในระบบ และส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว และได้มีการศึกษาและคิดวิธีการที่จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้นหลากหลายรูปแบบ วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมและได้เลือกนำมาใช้ในปริญาานิพนธ์ฉบับนี้คือการใช้วงจรบูสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงหลักการพื้นฐานในการออกแบบวงจร บูสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์ และการนำไอซีสำเร็จรูปมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ELECTRONIC BALLAST WITH HIGH PF AND LOW HARMONICS

Tirapot	Chandarasupsang	
Narin	Wangchaisri	
Nantapong	Tantiyavut	
Assoc.Prof.Dr.Viriya	Pichetjumrean	Advisor
Dr. Vijit	Kinnares	Advisor
Surin	Khomfoi	Advisor

1999

ABSTRACT

In most power electronic equipment such as switching power supply , uninterruptible power supplies (UPS) and motor drive , the line frequency diode bridge is used to convert ac to dc that cause of harmonic current in system and reduction in power factor

Electronic ballast is one of device that cause of this problem. So many ways are presented to improve power factor. Boost pre-regulator is one which is widely used and is emphasized in this thesis.

This thesis presents a basic principle to design the boost pre-regulator circuit and the way to use the boost pre-regulator IC to improve a power factor of electronic ballast

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 โครงการในปีการศึกษาก่อน	1
1.2 ปัญหาและที่มา	2
1.3 ขอบเขตและวัตถุประสงค์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 วงจรเรียงกระแสและการผิดเพี้ยนของกระแส	4
2.2 การคำนวณค่า THD และ PF	5
บทที่ 3 หลักการทำงานของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	7
3.1 การศึกษาและการวิเคราะห์วงจรบัลลาสต์ของหลอดฟลูออโรเรสเซนซ์	7
3.2 หน้าที่ของบัลลาสต์	8
3.3 ข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติก	8
3.4 การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	9
3.5 ข้อดีของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	10
3.6 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและอิเล็กทรอนิกส์	11
3.7 คุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Parameter)	11
บทที่ 4 หลักการของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปที่ไม่มีบูสท์พรีเรกกูเลเตอร์	15
4.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter)	16
4.1.1 AC-DC Converter (Rectifier)	16
4.1.2 DC-AC Converter (Inverter)	18
4.2 วงจร Resonant	20
4.2.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-Loaded-Resonant :SLR)	21
4.2.2 วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด (Parallel-Loaded-Resonant : PLR)	22
4.2.3 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด (SPLR)	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3	ค่าเวลาเพื่อ t_D (Delay Time) สำหรับการสวิตชิ่งในคอนเวอร์เตอร์	25
4.4	หลักการในการเลือกตัวสวิตชิ่งในตัวอินเวอร์เตอร์	27
4.4.1	ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (BJT)	27
4.4.2	เพาเวอร์มอสเฟต	29
4.5	วงจรกรองแบบพาสซีฟใช้ LC (Passive Filter)	31
4.6	การใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันทรานเซียนท์	32
4.7	ไดโอดคอมมิวเตติง (Commutating Diode)	35
4.8	การกำจัดทรานเซียนท์ของโหลดประเภทตัวเหนี่ยวนำ	36
บทที่ 5	วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์และหลักการทำงาน	40
5.1	วงจรกำลังของบูสต์คอนเวอร์เตอร์	40
5.2	วงจรควบคุม	41
บทที่ 6	วงจรที่ใช้ในการทดลอง	49
6.1	วงจรบูสต์ฟรีเร็กูเลเตอร์	49
6.2	วงจรของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ Half Bridge Converter โดยใช้ วงจรขับสวิตช์แบบ Saturable Reactor	
บทที่ 7	ผลการทดลอง	51
บทที่ 8	บทวิจารณ์และสรุป	60
บทที่ 9	ประสบการณ์การทำงาน	61
ภาคผนวก		62
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	วงจรมอเตอร์ไดโอด	4
2.2	รูปคลื่นกระแสและแรงดันของมอเตอร์ไดโอด	5
3.1	V-I Characteristic ของหลอดฟลูออโรสเซนส์	7
3.2	ลักษณะแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมขั้วหลอดที่ 50 เฮิร์ตซ์	7
3.3	วงจรมัลติสแตตแบบแมกเนติก	8
4.1	Block Diagram การทำงานของมัลติสแตตอิเล็กทรอนิกส์	9
4.2	วงจร Rectifier	16
4.3	วงจร Half-Bridge Converter	19
4.4	วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด	21
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย เทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมกับโหลด(SLR)	21
4.6	วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด	22
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย เทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดขนานกับโหลด(PLR)	22
4.8	วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด	23
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย เทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม-ขนานกับโหลด(SPLR)	24
4.10	การหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากประจุสะสมเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสพร้อมกัน	26
4.11	การกำหนดค่าเวลาเพื่อให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	26
4.12	ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส	28
4.13	ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ MOSFET เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส	31
4.14	ตัวอย่างวงจรกรอง L-C แบบต่อวาริสเตอร์ก่อนหน้าไดโอดบริดจ์	31
4.15	รูปแบบของวงจรกรองหน้าสัมผัสแบบต่างๆ	32
4.16	วงจรป้องกันหน้าสัมผัส แบบคร่อมหน้าสัมผัสที่ควบคุมโหลด	36
4.17	แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสกับแรงดันเบรกคาวน์	38

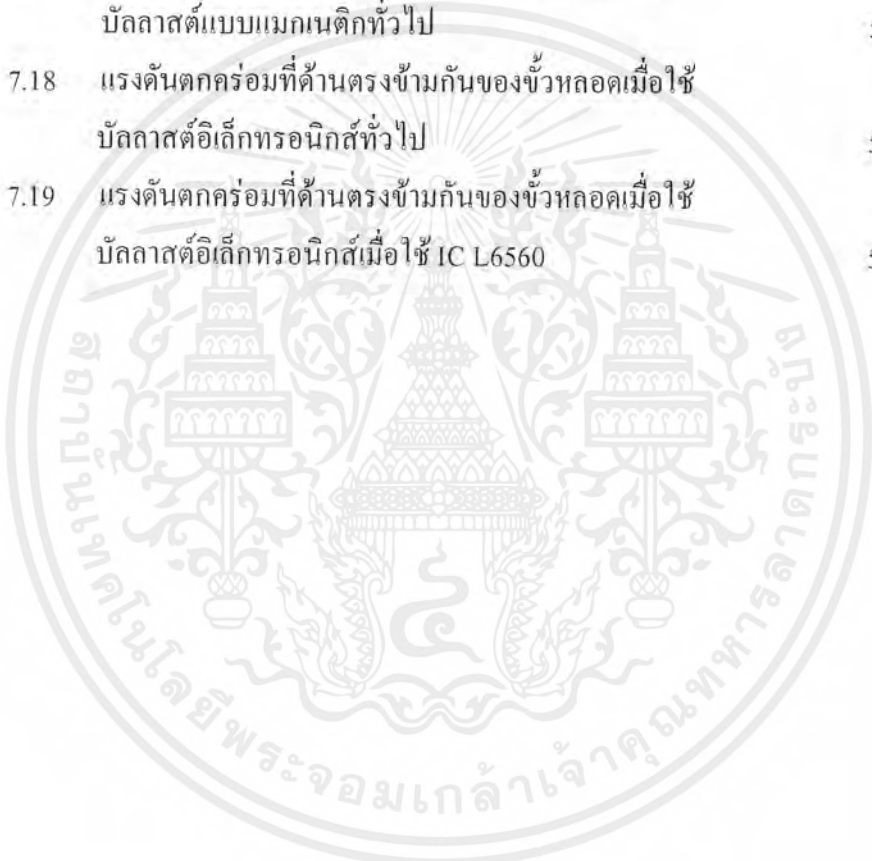
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.18	วงจรป้องกันทรานเซียนท์ที่เกิดขึ้นจากตัวเหนี่ยวนำ	39
5.1	วงจรกำลังของบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	40
5.2	รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	40
5.3	บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม	41
5.4	แสดงลักษณะกระแส i_L ของการควบคุมแบบความถี่คงที่	42
5.5	รูปคลื่นกระแสแบบต่อเนื่อง	44
5.6	รูปคลื่นกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง	44
5.7	ชุด PI Regulator	45
5.8	บล็อกไดอะแกรมและวงจรคุณ	46
5.9	บล็อกไดอะแกรมและวงจรของส่วนควบคุมกระแส	47
5.10	ฮิสเตอร์รีซิสทีฟ	48
6.1	วงจรบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ IC L6560	49
6.2	วงจร Self Half Bridge Series Resonant Parallel load Inverter	50
7.1	แรงดันและกระแสเมื่อไม่มีขดบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	51
7.2	ฮาร์มอนิกส์ของกระแสเมื่อไม่มีขดบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	51
7.3	แรงดันและกระแสเมื่อมีขดบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการใช้ออปแอมป์สร้างสัญญาณควบคุม	52
7.4	ฮาร์มอนิกส์ของกระแสเมื่อมีขดบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการใช้ออปแอมป์สร้างสัญญาณควบคุม	52
7.5	แรงดันและกระแสเมื่อมีขดบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ IC เบอร์ L6560 สร้างสัญญาณควบคุม	53
7.6	ฮาร์มอนิกส์ของกระแสเมื่อมีขดบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ IC เบอร์ L6560 สร้างสัญญาณควบคุม	53
7.7	แรงดัน DC Link ขณะไม่มีบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	54
7.8	แรงดัน DC Link ขณะมีบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	54
7.9	สัญญาณเกทของบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการใช้ออปแอมป์	55
7.10	สัญญาณเกทของบรูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการใช้ออปแอมป์ IC L6560	55
7.11	แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลังของบรูสท์คอนเวอร์เตอร์	56
7.12	แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลังของบรูสท์คอนเวอร์เตอร์ขณะขยายภาพสัญญาณ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

7.13	แรงดันตกคร่อมขั้วหลอดที่อยู่ด้านต่างกัน	57
7.14	แรงดันตกคร่อมขั้วหลอดที่อยู่ด้านเดียวกัน	57
7.15	แรงดันตกคร่อมที่ด้านเดียวกันของขั้วหลอดเมื่อใช้ บัลลาสต์แบบแมกเนติกทั่วไป	58
7.16	แรงดันตกคร่อมที่ด้านเดียวกันของขั้วหลอดเมื่อใช้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป	58
7.17	แรงดันตกคร่อมที่ด้านตรงข้ามกันของขั้วหลอดเมื่อใช้ บัลลาสต์แบบแมกเนติกทั่วไป	59
7.18	แรงดันตกคร่อมที่ด้านตรงข้ามกันของขั้วหลอดเมื่อใช้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป	59
7.19	แรงดันตกคร่อมที่ด้านตรงข้ามกันของขั้วหลอดเมื่อใช้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้ IC L6560	59



VIII

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	11



บทที่ 1

บทนำ

1.1 โครงการในปีการศึกษา ก่อน (PREVIOUS WORK)

จากโครงการที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงวงจรพรีเรกูเลเตอร์ (Pre-Regulator) เพื่อแก้ปัญหาค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) ต่ำ และปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) ต่างๆ โดยใช้ PWM ในการควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ (Switch) ซึ่งผลจากการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE ได้รูปสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต (Input) ที่เป็นลักษณะคล้ายไซน์ (Sinusoidal) มาก แต่เมื่อนำมาใช้เป็นวงจรต้นแบบในการสร้าง และเก็บผลจากการทดลอง จะพบว่า สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตมีลักษณะที่มีการบิดเบี้ยวมาก ไม่อินเฟส (Inphase) และผลที่ได้ไม่เหมือนกับผลที่ได้จากการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE

เนื่องจากโครงการชิ้นนี้ ได้มีการนำวงจรพรีเรกูเลเตอร์มาใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) จึงได้มีการนำโครงการเกี่ยวกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาศึกษาด้วย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า มีการนำวงจรกรองสัญญาณแบบพาสซีฟ (Passive Filter) มาใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลจากการศึกษาได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร รวมทั้งยังไม่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่เมื่อระดับแรงดันการไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาโครงการเหล่านี้จึงมีการประยุกต์นำข้อดี ของวงจรแบบต่างๆ มาใช้เพื่อให้เหมาะสม และง่ายต่อการศึกษา ในโครงการนี้จึงได้ศึกษา วงจรแอกทีฟบูสเตอร์แบบบูสท์พรีเรกูเลเตอร์ (Active Boost Pre-Regulator) ซึ่งวงจรควบคุมสวิตช์ จะมีทั้งวงจร PI , วงจรคูณ (Multiplier), วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Voltage Comparator) และวงจรควบคุมกระแส (Current Controller) มีการส่งสัญญาณกลับมาเพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์ตลอดเวลา เพื่อเป็นการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ซึ่งผลจากการทดลองเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง ซึ่งคาดว่าถ้าได้มีการปรับแต่งค่าตัวอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสมแล้ว ผลที่ได้จะดีขึ้น

1.2 ปัญหาและที่มา

ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมาก และมีแนวโน้มว่าจะมากขึ้นเรื่อยๆ โดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่นี้จะก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ไม่ต้องการมากขึ้น หนึ่งในอุปกรณ์เหล่านี้คือ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และเนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับบัลลาสต์แบบแมกเนติก ทำให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งานแพร่หลายไปอย่างรวดเร็ว และได้มีการคิดหาวิธีที่จะแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นนี้ด้วยวิธีต่างๆหลายวิธี โดยวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือการใช้วงจรบัสท์คอนเวอร์เตอร์(Boost Converter) ซึ่งไม่เพียงแต่แก้ปัญหาในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น ยังสามารถนำมาใช้ได้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่มีการใช้วงจรบริดจ์เรียงกระแส แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

บัสท์พรีเรกกูเลเตอร์ คือ วงจรแอคทีฟไฟลเตอร์ที่นำหลักการของวงจรบัสท์คอนเวอร์เตอร์ มาใช้ สาเหตุที่นำวงจรบัสท์คอนเวอร์เตอร์มาใช้เนื่องจาก

1. สามารถควบคุมให้แรงดันขาออกคงที่ได้ ถึงแม้ว่าแรงดันขาเข้ามีการเปลี่ยนแปลง
2. อาศัยการควบคุมกระแสในตัวเหนี่ยวนำให้อินเฟส(Inphase) และมีลักษณะรูปคลื่นเหมือนแรงดันที่ขาเข้าของวงจรบัสท์คอนเวอร์เตอร์ โดยอาศัยอุปกรณ์สวิตซิ่งกำลังเพียงตัวเดียว
3. ลักษณะวงจรไม่ยุ่งยาก มีอุปกรณ์หลักในวงจรกำลังเพียง 3 ตัว ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ ไดโอด และอุปกรณ์สวิตซิ่งกำลัง

1.3 ขอบเขตและวัตถุประสงค์

ขอบเขต

ขอบเขตของโครงการนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โครงการ 1 และ 2 ในภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 ตามลำดับดังนี้

โครงการ 1

1. ศึกษาและค้นคว้าถึงข้อดีและข้อเสียระหว่างบัลลาสต์แมกเนติก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
2. ศึกษาถึงวิธีการในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้วงจรบุสต์ฟรีเร็กกูเลเตอร์
3. ออกแบบและสร้างวงจรมุสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์จากทฤษฎีที่ได้ศึกษามา
4. ทดลองและเก็บผลการใช้วงจรมุสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์กับวงจรมอเตอร์รีจิงกระแส ที่มีโหลดเผาไส้เป็นโหลด

โครงการ 2

1. ศึกษารายละเอียดของวงจรมุสท์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ยังไม่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
2. ออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้วงจรมุสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
3. ทดลองและเก็บผล

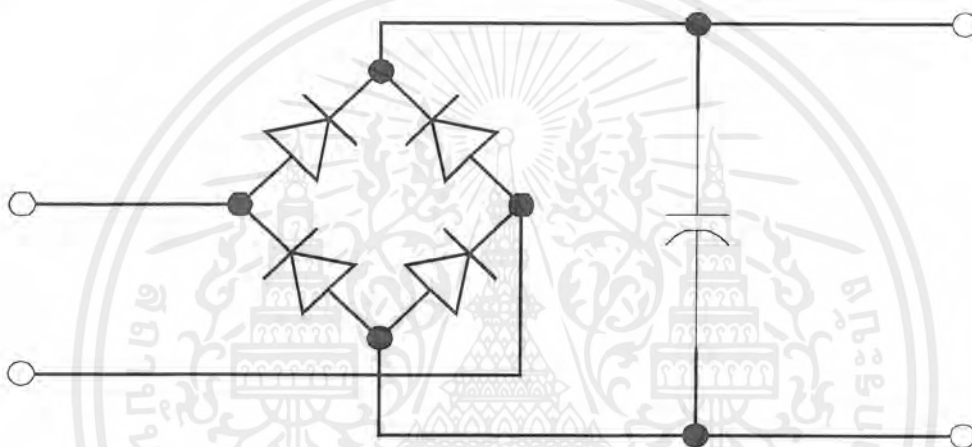
วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจถึงข้อดี ข้อเสียของบัลลาสต์แมกเนติก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
2. เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุในการเกิดฮาร์มอนิกส์ของกระแสขึ้นในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยอาศัยวงจรมุสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์
4. เพื่อให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสียในการนำวงจรมุสท์ฟรีเร็กกูเลเตอร์มาใช้เปรียบเทียบกับ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ
5. เพื่อให้ได้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม(มอก.1506-2541)

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

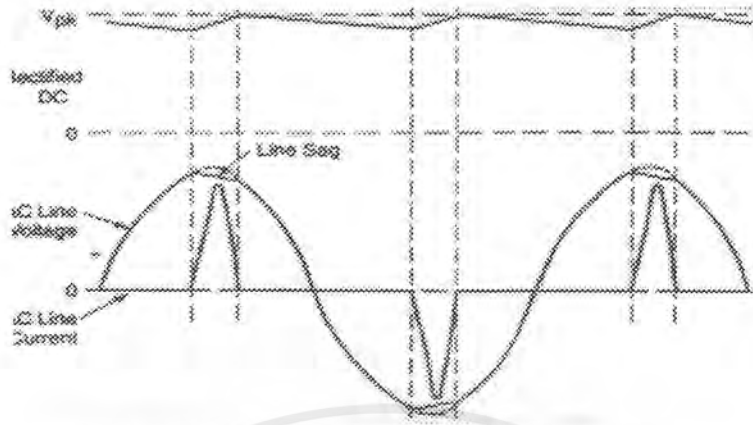
2.1 วงจรเรียงกระแสและการผิดเพี้ยนของกระแส

ในการนำมาใช้งานส่วนใหญ่ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะมีการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง วงจรที่นิยมใช้และมีราคาถูกรวมหนึ่งคือวงจรบริดจ์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรบริดจ์ไดโอด

แรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสจะต้องเรียบ ดังนั้นจึงมีการต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ไว้กรองแรงดันในด้านขาออก ในขณะที่วงจรทำงานเมื่อแรงดันกระแสสลับทางด้านขาเข้าสูงกว่าแรงดันด้านกระแสตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุอยู่ จะทำให้มีกระแสไหลผ่านวงจรไดโอดบริดจ์และเข้าไปเก็บประจุที่ตัวเก็บประจุ และเมื่อแรงดันกระแสสลับที่มีค่าต่ำลง ก็จะทำให้กระแสไหลน้อยลงจนหยุด จนกระทั่งหยุดนำกระแส ดังนั้นลักษณะของกระแสที่ไหลจึงผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์ซึ่งมีกระแสไหลสูงมากในช่วงเวลาต่างๆ และทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของอุปกรณ์ที่มีการใช้วงจรบริดจ์ไดโอดมีค่าประมาณ 0.5-0.7 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันและกระแสทางด้านขาเข้าของวงจรบริดจ์ไดโอดแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรบริดจ์

2.2 การคำนวณค่า THD (Total Harmonic Distortion) และ PF (Power Factor)

จากรูปที่ 2.2 จะพบว่าทั้งแรงดันและกระแสจะเกิดการบิดเบี้ยวขึ้น แต่แรงดันจะมีน้อย ในการคำนวณหาค่าความบิดเบี้ยวจึงคิดถึงแต่เฉพาะกระแส โดยค่าที่ใช้วัดความบิดเบี้ยวคือค่า THD โดยพิจารณาดังสมการ

$$i_{dis}(t) = i_x(t) - i_{s1}(t) = \sum_{h \neq 1} i_{sh}(t)$$

เมื่อ

$i_{dis}(t)$ คือ องค์ประกอบของกระแสที่บิดเบี้ยวที่เวลาใดๆ

$i_x(t)$ คือ กระแสรวมจากแหล่งจ่ายที่เวลาใดๆ

$i_{s1}(t)$ คือ องค์ประกอบของกระแสที่ความถี่มูลฐานที่เวลาใดๆ

$i_{sh}(t)$ คือ กระแสในแต่ละฮาร์โมนิกที่จ่ายที่เวลาใดๆ

h คือ ลำดับของฮาร์โมนิก

เมื่อพิจารณากระแสเป็นค่า rms.(root mean square) จะได้ดังสมการ

$$I_{dis} = [I_x^2 - I_{s1}^2]^{1/2} = \left[\sum_{h \neq 1} I_{sh}^2 \right]^{1/2}$$

เมื่อ

I_{dis} คือ ค่า rms ของ $i_{dis}(t)$

I_x คือ ค่า rms ของ $i_x(t)$

I_{s1} คือ ค่า rms ของ $i_{s1}(t)$

I_{sh} คือ ค่า rms ของ $i_{sh}(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า THD หาได้จาก

$$\begin{aligned} \% THD &= 100 \times \frac{I_{dis}}{I_{s1}} \\ &= 100 \times \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}} \\ &= 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} I_{sh}^2}}{I_{s1}} \end{aligned}$$

และค่า PF หาได้จาก

$$\begin{aligned} PF &= \frac{P}{S} \\ &= \frac{V_s I_{s1} \cos \phi_1}{V_s I_s} \\ &= \frac{I_{s1} \cos \phi_1}{I_s} \end{aligned}$$

เมื่อ

- P คือ กำลังงานจริง
- S คือ กำลังงานปรากฏ
- V_s คือ แรงดันที่แหล่งจ่าย

ϕ_1 คือ มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแสที่ความถี่มูลฐาน

และเมื่อ DPF (Displacement Power Factor) มีค่าเท่ากับ $\cos \phi_1$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} PF &= \frac{I_{s1}}{I_s} DPF \\ &= \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}} DPF \end{aligned}$$

โดยตามข้อกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม(มอก. 1506-2541 แสดงอยู่ในภาคผนวก) นั้น PF ต้องไม่ต่ำกว่า 0.95 และค่า %THD, จะต้องไม่เกิน 15 %

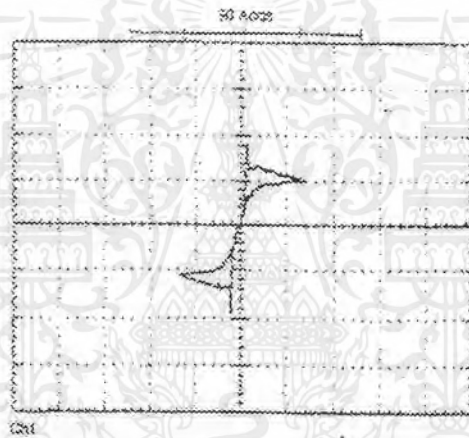
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

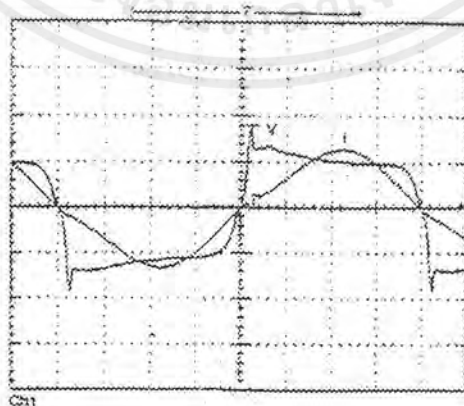
หลักการทํางานของบัลลาสต์แบบแมกเนติก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.1 การศึกษาและการวิเคราะห์ห้วงจรบัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์

จากเหตุผลที่ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์มีสมบัติแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) และมีค่าความต้านทานพลวัตเป็นลบ (Dynamic Resistance) คือขณะจุดหลอด ความต้านทานของหลอดจะมีค่ามาก และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดที่แรงดันคงที่ ความต้านทานของหลอดจะคงที่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เมื่อเพิ่มกระแสให้กับหลอด ทำให้หลอดมีแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขั้วหลอดลดลง ดังรูป



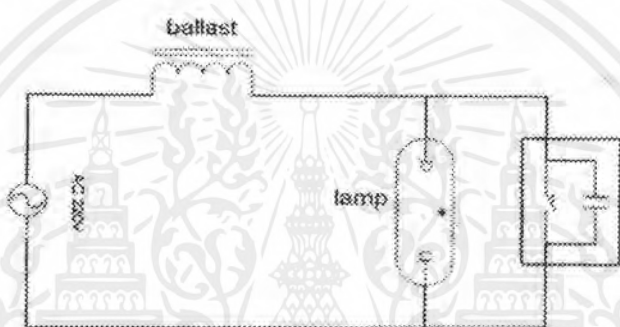
รูปที่ 3.1 V-I Characteristic ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ความถี่ 50 Hz, 100 V/div, 0.5 A/div



รูปที่ 3.2 ลักษณะแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมขั้วหลอดที่ 50 Hz, 100 V/div, 0.5 A/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการจ่ายพลังงานให้กับหลอด แหล่งจ่ายพลังงานจะต้องให้มีลักษณะใกล้เคียงแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) เพื่อให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีเสถียรภาพ ลักษณะดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยใช้อิมพีแดนซ์ (Impedance : Z) ที่มีค่าสูงมาต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source) ซึ่งจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์รวมของแหล่งจ่ายแรงดันมีค่าสูงขึ้นจึงมีลักษณะและสมบัติค่อนข้างไปทางแหล่งจ่ายกระแส อุปกรณ์ที่ง่ายที่สุดที่สามารถนำมาต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายคือ ความต้านทานแบบบริซีสแดนซ์ (Resistance) แต่จะเกิดพลังงานสูญเสียมากจากการใช้ความต้านทาน โดยทั่วไปแล้วในปัจจุบันจึงได้ใช้ บัลลาสต์แบบแมกเนติก (Magnetic Ballast) ทำหน้าที่เป็นความต้านทานแบบรีแอกทีฟ (Reactive) ให้กับแหล่งจ่ายแรงดัน



รูปที่ 3.3 วงจรการทำงานของบัลลาสต์แบบแมกเนติก

3.2 หน้าที่ของบัลลาสต์

1. กำหนดค่ากระแสที่เหมาะสมให้ไหลผ่านหลอดทำให้หลอดทำงานอย่างมีเสถียรภาพ
2. ต้องสามารถให้แรงดันที่สูงมากพอในขณะที่จุดหลอด
3. ต้องจ่ายกระแสที่คงที่ให้กับหลอด ไม่ว่าจะแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟตก หรือเพิ่มขึ้นในช่วงที่กำหนด
4. ต้องมีการอุ่นไส้หลอดตลอดเวลา สำหรับหลอดที่เป็นชนิดพรีฮีท (Preheat) หรือแรปปิดสตาร์ท (Rapidstart)
5. กระแสที่ไหลผ่านหลอดต้องสมมาตรมีการไหลกลับไปมาระหว่างทั้ง 2 ขั้วหลอด

3.3 ข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติก

ในปัจจุบันบัลลาสต์ที่ใช้กันส่วนใหญ่จะเป็นบัลลาสต์แบบแมกเนติก โดยใช้ทำงานร่วมกับ สตาร์ทเตอร์ซึ่งเราจะพบข้อเสียหลายประการ ในการทำงานของวงจรบัลลาสต์แบบแมกเนติกนี้สามารถจำแนกออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. ทำให้หลอดเกิดการกระพริบ ส่งผลให้สารเคลือบขั้วหลอด ที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอน หลุดหายไปมากขึ้น (ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการกระพริบ) ซึ่งจะทำให้อายุการใช้ งานของหลอดสั้นลง
2. ประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวบัลลาสต์แบบแมกเนติกสูง
3. ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ เป็นผลให้ค่ากระแสที่ใช้ สูงเกินกว่าความต้องการที่แท้จริงของ หลอด
4. เกิดเสียงรบกวน ในกรณีที่แกนเหล็กของบัลลาสต์แมกเนติกเริ่มเสื่อมสภาพ
5. เกิดผลของสโตรโบสโคปิก (Stroboscopic Effect) ความสว่างที่ได้ ไม่นิ่งทำให้เห็น ภาพวัตถุเคลื่อนที่เบลอ และทำให้สายด้ายได้อย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากการทำงานที่ ความถี่ต่ำ

จากข้อเสียที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติกมีข้อเสียมากอีกทั้งยังไม่ ประหยัดพลังงาน ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของบัลลาสต์ซึ่งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของบัลลาสต์ที่เราสามารถนำมาใช้งานได้ในปัจจุบัน

3.4 การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อลดการสูญเสียของบัล ลาสต์แบบแมกเนติก และเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะพบว่าในบัลลาสต์แบบแมกเนติกนั้นพลัง งานสูญเสียไป จะเกิดจากค่าตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในบัลลาสต์ เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในบัลลาสต์ ควรจะมีค่าสูง จึงทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากด้วยเพราะว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติกทำงานที่ ความถี่ต่ำ (50 Hz) ค่าตัวเหนี่ยวนำจึงจำเป็นต้องมีค่าสูง แต่ในขณะที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง จึงทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กลงได้ (ค่าอิมพีแดนซ์ ของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$) ดังนั้นเมื่อใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ค่าความ เหนี่ยวนำลดลงได้ ส่งผลให้ความสูญเสียลดลงด้วย นอกจากนี้การทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้ประ สสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดสูงขึ้นอีกด้วย

ในการใช้งานหลอดฟลูออโรสเซนส์ที่ความถี่สูง ถึงแม้ว่าจะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้ จริงแต่ก็จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง เนื่องจากว่าแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่ว ไปจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz จึงจำเป็นต้องใช้คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างแหล่งจ่าย ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งในการทำงานจะเกิดกำลังสูญเสียของคอนเวอร์เตอร์เอง และเพื่อใ้

สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัวคอนเวอร์เตอร์นี้ต้องมีประสิทธิภาพสูง (กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำของบัลลาสต์แบบแมกเนติก)

3.5 ข้อดีของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. ใช้กระแสไฟน้อยกว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติก ทำให้ประหยัดพลังงาน
2. หลอดติดง่ายไม่มีการกระพริบหลายหน
3. แสงที่ได้จะมีความนุ่มนวลกว่าการใช้บัลลาสต์แบบแมกเนติกเนื่องจากไม่มีการกระพริบของแสงจากผลของสโตรโบสโคปิกส์ (Stroboscopic Effect) เหมาะที่จะใช้ในการอ่านหนังสือและการทำงานที่ใช้สายตามาก
4. ไม่มีปัญหาเรื่องหลอดกระพริบ จากสตาร์ทเตอร์ (Starter) เสีย หรือหลอดเสื่อม เนื่องจากไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ และเมื่อหลอดเสื่อมวงจรจะหยุดทำงานเองอัตโนมัติ
5. เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีกำลังสูญเสียน้อยจึงเกิดความร้อนน้อยกว่า บัลลาสต์แบบแมกเนติก จึงเหมาะที่จะติดตั้งในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ เพราะจะช่วยลดกำลังขาเข้าของเครื่องปรับอากาศได้
6. ไม่เกิดเสียงรบกวนเหมือนบัลลาสต์แบบแมกเนติก
7. หลอดที่ใช้งานกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะเกิดความร้อนน้อยกว่าหลอด ที่ใช้กับบัลลาสต์แมกเนติก ทำให้ยืดอายุการใช้งานของหลอด
8. ถ้าเกิดการตัดวงจรที่ขั้วออก (Output) จะไม่ทำให้เกิดความร้อนสูงผิดปกติที่ตัวบัลลาสต์และทำให้เกิดไฟไหม้

3.6 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและแบบอิเล็กทรอนิกส์
 ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและแบบอิเล็กทรอนิกส์

คุณสมบัติ	Magnetic	Electronic
1. ค่าตัวประกอบกำลัง	ต่ำ	สูง
2. กำลังงานสูญเสียในบัลลาสต์	มาก	น้อย
3. ความร้อนที่เกิด	มาก	น้อย
4. การกินกระแส	มาก	น้อย
5. เกิดเสียงรบกวน	มาก	ไม่เกิด
6. อุปกรณ์ร่วม	ใช้ starter	ไม่ใช้
7. อายุการใช้งานของหลอด	สั้น	ยาว
8. การกระพริบของหลอด	มาก	น้อยมาก
9. ความสามารถในการทนแรงดันตก และแรงดันเกิน	ทนได้น้อย	ทนได้มาก
10. ผลที่เกิดขึ้นเมื่อลัดวงจรที่ขั้วออก	เกิดความร้อนสูง	ไม่เกิดความร้อน
11. มีผลรบกวนที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	ไม่เกิดการรบกวน	เกิดการรบกวนมาก
12. ราคา	ถูก	แพง
13. ความทนทาน	สูง	ต่ำ

3.7 คุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Parameter)

การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ต้องคำนึงถึงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1) ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจร (System Efficiency)

การวัดประสิทธิภาพการทำงานของวงจร สามารถวัดได้จากการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าด้านเข้าเป็นแสงสว่างที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งมีหน่วยเป็นความสว่างต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้า (Lumens/Watt) โดยปกติค่าประสิทธิภาพของวงจรจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผนังหลอดขณะทำงาน (The Lamp Wall Temperature) ในทางปฏิบัติแล้วอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 35 ถึง 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านหลอด (Lamp Input Current Wave Shapes)

ทั้งนี้การวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอด เพื่อต้องการหาค่า The Lamp Current Crest Factor ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของกระแส (Peak Current) เทียบกับค่ากระแสอาร์เอ็มเอส (Rms Current) ที่ไหลผ่านหลอด จากมาตรฐานของ American Nation Standards Institute (ANSI) ค่า Current Crest Factor (CCF) ต้องไม่เกิน 1.7 โดยที่ค่ากระแสไหลผ่านหลอดหากเป็นรูปคลื่น Sine แล้ว ค่า Current Crest Factor จะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{2}$ ทั้งนี้หากค่า Current Crest Factor สูงจะเป็นผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง

3) ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่คร่อมหลอด (Lamp Input Voltage Wave Shapes)

หน่วยวัดคุณสมบัติที่ดีของบัลลาสต์อีกอย่างคือ Voltage Crest Factor (VCF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของแรงดันหารด้วยค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดัน ตามสูตรนี้

$$VCF = \frac{V_{pk}}{V_{rms}}$$

ทั้งนี้โดยปกติสำหรับรูปคลื่นแรงดันที่เป็น Sine โดยสมมุติจะได้ค่า VCF เป็น $\sqrt{2}$ สำหรับบัลลาสต์โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 2.0 ซึ่งจะประกอบไปด้วยฮาร์โมนิกส์ที่สาม ซึ่งเป็นผลมาจากการที่แกนเหล็กเข้าสู่ช่วงการอิ่มตัว (Saturation Region) เนื่องจากได้รับการจ่ายค่าแรงดันด้านเข้า (Input) ขณะหลอดทำงาน

4) ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Current)

การที่รูปคลื่นไม่เป็น Sine โดยแท้จริงนั้น จะต้องประกอบไปด้วยฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าฮาร์โมนิกส์ พื้นฐาน 50 Hz ในกรณีที่รูปคลื่นกระแสเป็น Sine โดยแท้จริง ค่ากระแสในนิวทรอน (Neutral Line) ในวงจรสามเฟสจะเป็นศูนย์ และทั้งนี้ถ้าค่าฮาร์โมนิกส์ที่สามไม่ได้ถูกหักกลับกันพอดีในทั้งสามเฟสก็จะมีค่ากระแสไหลผ่านในนิวทรอน นอกจากนี้ยังจะทำให้เกิดสัญญาณไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆได้ด้วย เพราะฉะนั้นในการออกแบบบัลลาสต์ควรจะทำให้เกิดผลของฮาร์โมนิกส์น้อยที่สุด

5) การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Conducted Radiated Tromagnetic Energy)

การที่วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz เป็นกระแสไฟฟ้าตรงแล้วใช้การสวิตช์ ความถี่สูงไปจุดหลอดนั้น ค่าพลังงานความถี่สูง และความถี่ฮาร์โมนิกส์อาจย้อนกลับเข้าแหล่งจ่ายค่ากระแสได้ และไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆที่ต่ออยู่กับสายไฟเส้นนี้รวมไปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงจะเกิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ไปในอากาศ ซึ่งอาจนำไปสู่การรบกวนอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายได้

6) ค่าความแสงสว่าง (Light Output)

การที่จะวัดประสิทธิภาพของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่สามารถวัดได้จากค่าพลังงานด้านเข้าเพียงอย่างเดียว ต้องมีการตรวจประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ได้จากวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เทียบกับค่าความสว่าง ที่โรงงานผู้ผลิตหลอดกำหนด หรือที่เรียกว่าบัลลาสต์แฟคเตอร์ (Ballast Factor) โดยปกติบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการรับรอง และได้ Certificate Ballast Manufacturers (CBM) นั้นต้องมีค่าบัลลาสต์แฟคเตอร์อย่างน้อย $95 \pm 2.5\%$ ที่วัดได้จากหลอดที่อยู่ในมาตรฐานของ ANSI

7) Regulation

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งนั้น ต้องสามารถที่จะทำงานได้ในกรณีที่ค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือลดลงในช่วง 10%

8) คุณสมบัติการจุดหลอด (Starting Characteristic)

ค่าแรงดันสูงสุดในการจุดหลอดของหลอดชนิด 40 W F 40 ที่กำหนดโดย ANSI นั้นต้องไม่เกิน $360 V_{rms}$ ทั้งนี้หากมากกว่านี้จะมีผลโดยตรงให้อายุการใช้งานหลอดสั้นลง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการออกแบบที่ดี จะมีการอุ่นไส้หลอดคาโทด (Cathode) และควบคุมแรงดันในการจุดหลอดไม่ให้เกินข้อกำหนดของ ANSI

9) เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)

ลักษณะรูปร่างและเฟสของค่ากระแสสลับและแรงดัน จะเป็นตัวกำหนดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) โดยที่มี The Inductance Chokes ที่ทำหน้าที่ในการจำกัดค่ากระแสไหลผ่านหลอด นอกจากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้อุปกรณ์ไม่เป็น Sine จะเป็นผลให้ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ลดลง

10) ค่าพลังงานอุ่นไส้หลอด (Filament Power)

การอุ่นไส้ที่ขั้วคาโทด (Filaments) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยปกติตามข้อกำหนดของ ANSI นั้นระบุควรมีการอุ่นไส้หลอดเวลา โดยการให้มีแรงดันตกคร่อมที่ไส้หลอดประมาณ 2.5-4.1 โวลต์ ทั้งนี้วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่มีการตัดการอุ่นไส้หลอดภายหลังที่หลอดได้ทำงานแล้ว ซึ่งก็สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 4 วัตต์ สำหรับวงจรที่มีการตัดหลอด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไฟใช้งานพร้อมกัน แต่จะเป็นผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง เมื่อเทียบกับหลอดที่ทำงานที่ความถี่ 50 Hz โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรที่สามารถปรับลดแสงสว่างได้จำเป็นต้องมีการอุ่นไส้ตลอดเวลา

11) การกระพริบ (Flicker)

จะกระพริบมากเมื่อทำงานที่ความถี่ 50 Hz แต่เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ทำงานที่ความถี่สูงมาก ดังนั้นปัญหาของกระพริบจะหมดไปโดยอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

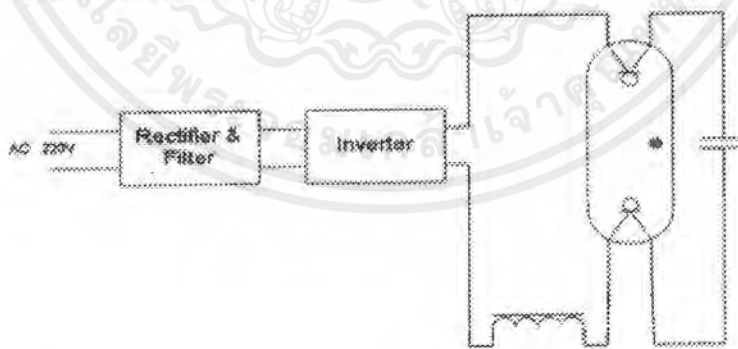
บทที่ 4

หลักการพื้นฐานสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปที่ไม่มีบูสท์พรีเร็กกูเลเตอร์

ในการที่จะทำการวิเคราะห์การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นจำเป็นต้องทราบหลักการ โดยพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เสียก่อน ซึ่งหลักการที่สำคัญจะถูกกล่าวถึงในบทนี้ อันได้แก่ ส่วนประกอบหลักของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การเลือกใช้งานตัวสวิตซ์ ระยะเวลาการสลับกันทำงานของตัวสวิตซ์ หรือ หน้าทีของตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง (Blocking Capacitor) เป็นต้น โดยจะเน้นในการทำงานของวงจร บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานคอนเวอร์เตอร์แบบ Half Bridge

ส่วนประกอบที่สำคัญของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. AC-DC Converter (Rectifier) เป็นส่วนที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz มาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
2. DC-AC Converter (Inverter) เป็นส่วนที่ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง
3. วงจร Resonant เป็นวงจรที่ทำให้โหลดที่ต่ออยู่ ได้รับกำลังงานมากที่สุด ซึ่งเป็นจุดการทำงานที่เหมาะสม โดยเป็นวงจรแปลงกระแสสลับที่การทำงานขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่ (Load Dependent)



รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

4.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter)

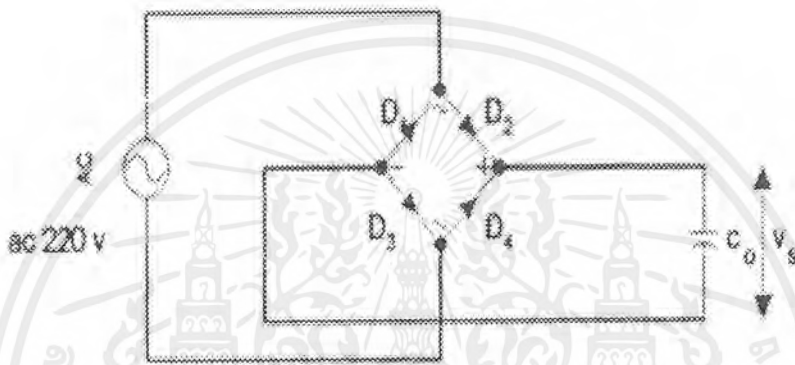
วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมี 2 แบบคือ

AC-DC Converter และ DC-AC Converter มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 AC-DC Converter (Rectifier)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับส่วนของ Inverter อีกที่ซึ่งในที่นี้เราใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) และใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นวงจรกรองกระแสเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สาเหตุที่เลือกใช้วงจรนี้ก็เพราะง่ายและราคาถูก



รูปที่ 4.2 วงจร Rectifier

1) การเลือกใช้ไดโอดในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ไดโอดที่เลือกใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 5 ประการคือ

1. ต้องสามารถทนกระแสกระชากได้ (Inrush Current : I_{FSM}) จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มเปิดสวิตช์จ่ายไฟให้แก่วงจร ซึ่งในขณะนั้นตัวเก็บประจุยังไม่มีประจุอยู่เลยค่าความต้านทานของวงจรจะต่ำมากคือมีแค่ความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุ (ESR) กับ R_S เท่านั้น

$$\text{กระแสกระชาก } I_{FSM} = \frac{V_{out(DC)}}{R_S + ESR}$$

อัตราทนกระแสกระชาก I_{FSM} ของไดโอด จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า I_{FSM} ที่คำนวณได้

2. ต้องสามารถทนกระแสสูงสุดชั่วขณะได้ (I_{FRM}) เป็นกระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นชั่วขณะ ตัวเก็บประจุฟิลาเตอร์ซึ่งก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดจะเกิดในระยะเวลาสั้นๆ โดยทั่วไปจะกำหนดจากวงจรการทำงานของไฟกระแสสลับ (1/50 วินาที หรือ 20 มิลลิวินาที) กระแสจำนวนนี้มีค่าสูงมากและไม่ใช้กระแสในตอนปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการทนกระแสไปแอสตรง (Forward Bias : I_{FM}) เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดทนได้โดยไม่พังเสียก่อนโดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 1.5-2 เท่าของกระแสปกติ

4. อัตราการทนแรงดันไปแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Bias : PRB) หรืออัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage : PIV) เมื่อเราต่อไดโอดแบบบริดจ์จะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อ ไปแอสกลับเท่ากับแรงดันที่เอาท์พุท (Output) ของวงจร แต่เมื่อต่อแบบเรกติไฟร์จะพบว่าแรงดันไปแอสกลับจะเป็น 2 เท่าของแรงดันค่าขอดตามปกติ และเป็น 2.83 เท่าของแรงดัน RMS

5. กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับ ไปแอสกลับ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปแล้วมีค่าน้อยมากเท่าใดก็จะดีมากกว่านั้น

จากข้อกำหนดที่กล่าวมาเราจะพบว่า ไดโอดที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์นี้คือ ไดโอดชนิด Rectifying Diode เบอร์ 1N4007 ซึ่งสามารถทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดได้ 1000 โวลต์ ที่กระแส 1 แอมป์ ซึ่งไดโอดชนิดนี้เป็นเบอร์ที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย

2) การเลือกใช้ตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส

ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นวงจรกรองกระแสนั้น เราเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor) ซึ่งหลักการในการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับ

1. อัตราทนกระแสกระเพื่อม (Ripple Current) RMS กระแสกระเพื่อมขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ โหลดและแรงดันอินพุท
2. แรงดันกระเพื่อม ข้อกำหนดนี้ใช้กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอย่างต่ำในวงจรโดยทั่วไปในการออกแบบวงจรเรกติไฟร์และวงจรกรองกระแสจะกำหนดให้แรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10% ของแรงดันไฟตรงที่ด้านออก (Out Put) แรงดันกระเพื่อมนี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อโหลดใช้กระแสมาก
3. อัตราทนแรงดัน ตัวเก็บประจุที่ใช้ควรทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของแรงดันไฟตรงเอาท์พุท เช่นที่แรงดันไฟตรง 300 โวลต์ ตัวเก็บประจุของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะต้องทนได้ 450 โวลต์ เป็นอย่างต่ำ
4. ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ (Hold Up Time) เป็นระยะเวลาอย่างต่ำ ที่แหล่งจ่ายจะยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันด้านออก ให้อยู่ในขีดจำกัด ของการรักษาระดับคงที่ด้านออก (Output Regulation) ได้ โดยที่เมื่อแหล่งจ่ายทางด้านเข้า (Input) หยุดจ่ายหรือลดลงต่ำกว่าค่าการรักษาระดับแรงดันด้านเข้า (Input Regulation) ที่กำหนด ช่วงเวลา

โพลต์อ็อปนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ, โหลด, แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุใน ขณะที่แรงดันด้านเข้าตกหรือหยุดจ่ายไป

4.1.2 DC-AC Converter (Inverter)

คอนเวอร์เตอร์ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจับวงจรภายใน โดยแต่ละแบบจะมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป โดยเราพอจะแยกคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ทำงานที่พบบ่อยๆได้แก่

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
2. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
3. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)
4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)
5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

1. Flyback Converter

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่า สัมประสิทธิ์การรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง และใช้อุปกรณ์จำนวนน้อย และมีราคาถูก

2. Forward Converter

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูง ตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือ มัก เกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสจะทำให้ลด ปัญหานี้ลงได้

3. Push-Pull

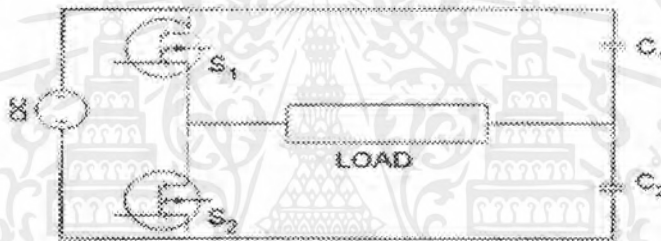
เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่มีข้อดีคือ ปริมาตรของแกนเหล็กเล็กลง กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุดที่ ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต่ำ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองถูกขับด้วยกราวด์เดียวกัน ทำให้วงจรขับเคลื่อนไม่ยุ่ง ยาก มีข้อเสียคือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้จะต้องสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่า ของแรงดันอินพุ ทบวกกับแรงดันสไปค์ซึ่งเกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง เป็นปัญหาในการนำไป ใช้กับ โหลดที่ต้องการกำลังสูงๆ เพราะทรานซิสเตอร์ที่ทนกระแสและแรงดันสูงๆ หายาก และ ราคาแพงมาก

4. Half-Bridge Converter

จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียว กับพุก-พุลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสต่ำกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบที่กล่าวมา และลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ได้ โดยกำลังงานสูงสุดที่สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

5. Full-Bridge Converter

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูง ตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1000 วัตต์ คอนเวอร์เตอร์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีหลายวงจรด้วยกัน เช่น วงจรแบบ Push-Pull , วงจรแบบ Full-Bridge แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะคอนเวอร์เตอร์แบบ Half-Bridge เนื่องจากเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์ ที่นิยมใช้กันในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.3 แสดงวงจร Half-Bridge Converter

ข้อได้เปรียบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Half-Bridge

1. ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวสวิตซ์ซึ่งขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่ด้านอินพุต ซึ่งน้อยกว่าการใช้งานแบบอื่นๆ เช่น Push-Pull, Forward Converter
2. ลดการเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ไม่สมมาตรในขดลวดพราวด์ได้ (กรณีที่ใช้หม้อแปลงเป็นตัวเหนี่ยวนำ)
3. กระแสที่ได้ทางด้านเอาต์พุตค่อนข้างเรียบ
4. วงจรแบบ Half Bridge เป็นวงจรที่ใช้สวิตซ์ทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัว จึงประหยัดกว่าวงจรแบบ Full Bridge ที่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัว และสามารถให้กระแสผ่านโหลดมีรูปคลื่นเป็นรูปไซน์ได้
5. กำลังออกของวงจรไม่สูงนัก เมื่อเทียบกับ full-Bridge Converter (สำหรับการใช้งานเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์) ดังนั้นการใช้สวิตซ์เพียง 2 ตัว จะทำให้การขับนำสวิตซ์ไม่ยุ่งยากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียเปรียบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Half-Bridge

เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดไพรมารี (กรณีที่ใช้หม้อแปลงเป็นตัวเหนี่ยวนำ) มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่ด้านอินพุต ทำให้มีกระแสไหลผ่านค่อนข้างสูง (มีค่าประมาณ 2 เท่าของ Push-Pull)

ในการศึกษาวงจรของ Half-Bridge ส่วนประกอบที่สำคัญก็คือส่วนที่ใช้ในการขับ (Drive) Switch วงจร Half Bridge ในรายงานเล่มนี้เสนอวงจรที่ใช้ในการ drive switch โดยหลักการ 2 วิธีคือ

1. ใช้หลักการของ Saturable Reactor
2. ใช้หลักการของวงจร อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ IC

ซึ่งกล่าวถึงในลำดับต่อไป

4.2 วงจร Resonant

ในสภาวะที่วงจรถูกกระตุ้น R, L, C ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ $Z = R + X_L + X_C$ โดยค่าจะแปรเปลี่ยนตามความถี่ของวงจร

ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ คือ ปรากฏการณ์ที่ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเรโซแนนซ์แบบอนุกรม) มีค่าต่ำที่สุดที่ $Z = R$ เมื่อเราป้อนความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรที่ความถี่ค่าหนึ่งที่ทำให้ค่า $X_L = X_C$ ณ จุดนี้จะให้ค่ากระแสไหลผ่านวงจรมากที่สุด และให้กำลังงานกับวงจรมากที่สุด

ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ได้มีการนำวงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจุดหลอดในสภาวะเริ่มต้น โดยวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonant) สามารถจัดแบ่งออกเป็น 3 วงจรหลักคือ

1. วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-loaded-Resonant : SLR)
2. วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด (Parallel-loaded-Resonant : PLR)
3. วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด (Series-Parallel-loaded-Resonant: SPLR)

ในการพิจารณา เลือกชนิดของวงจรเรโซแนนซ์มาประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น เราจะทำการพิจารณาที่ อัตราขยาย (Gain) ของวงจร โดยเปรียบเทียบระหว่างแรงดันเข้ากับแรงดันออก ซึ่งในการวิเคราะห์ห้วงจรนี้ เราจะทำการสมมุติอุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้มีคุณสมบัติในอุดมคติและพิจารณาว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงมากพอ

4.2.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-Loaded-Resonant : SLR)



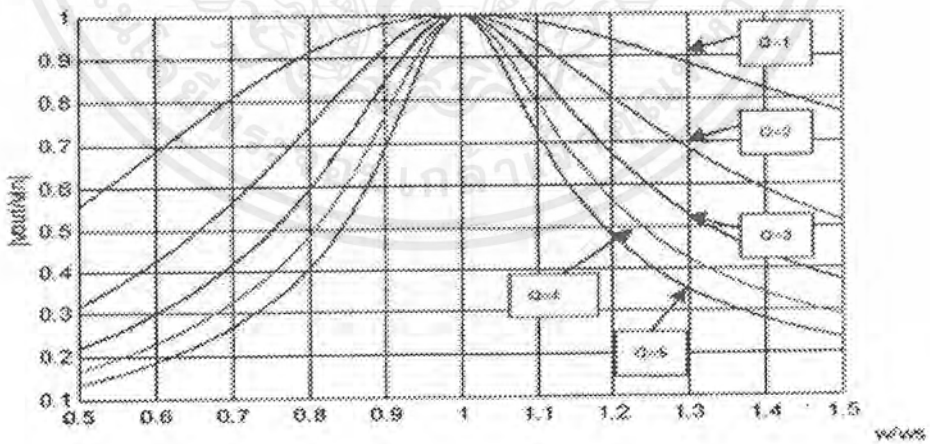
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด

จากรูปจะเป็นวงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-Loaded-Resonant : SLR) ซึ่งลักษณะของวงจรจะเป็นโหลดความต้านทานต่อลักษณะอนุกรมอยู่กับตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งเราสามารถหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน(Transfer Function) ได้ดังนี้

$$\frac{|V_o(j\omega)|}{|V_i(j\omega)|} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_s^2 \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]^2}}$$

โดยที่ $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC_s}}$ และ $Q_s = \frac{\omega_s L}{R} = \frac{1}{\omega_s C_s R}$

จากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมกับโหลด(SLR) สามารถนำมาพลอต (Plot)กราฟได้ดังรูปข้างล่าง

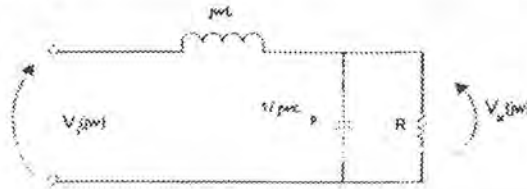


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของ วงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมกับโหลด(SLR) โดยมีค่า Q = 1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด (Parallel-Loaded-Resonant : PLR)

สำหรับวงจรพื้นฐานแบบนี้ ตัวความต้านทานที่จะเป็นโหลดจะต่อขนานกับตัวเก็บประจุแล้วไปอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ดังรูป



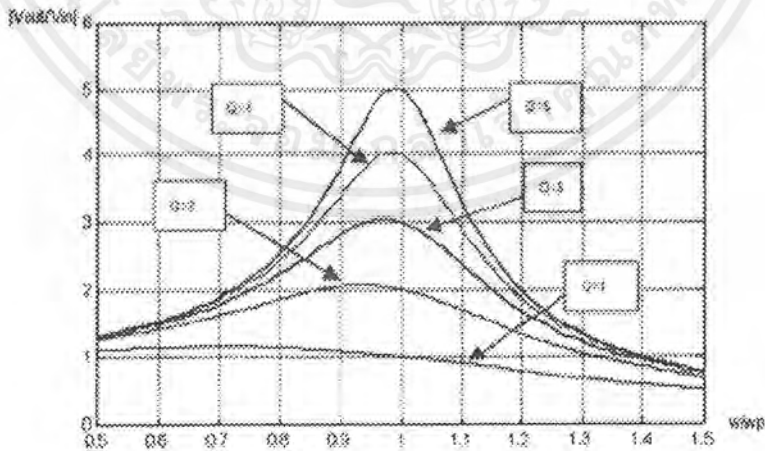
รูปที่ 4.6 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด

จากรูปสามารถหาทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันได้ดังนี้

$$\frac{|V_o(j\omega)|}{|V_i(j\omega)|} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left[\frac{\omega}{\omega_p}\right]^2\right]^2 + \left[\frac{\omega}{\omega_p Q_p}\right]^2}}$$

โดย $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ และ $Q_p = \frac{R}{\omega_p L} = \omega_p C R$

จากทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของ Parallel Resonant เราสามารถนำมาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.7

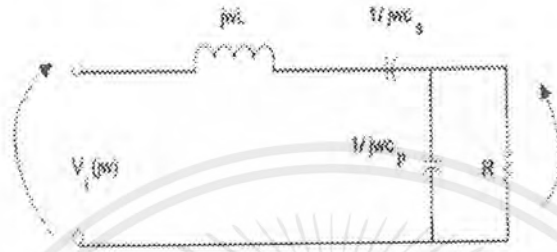


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด(PLR) โดยมีค่า Q=1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด (Series-Parallel –Loaded-Resonant : SPLR)

ส่วนวงจรสุดท้ายเป็นวงจรที่มีการต่อทั้งอนุกรม และขนานอยู่ในวงจรเดียวกันโดยสามารถเห็นลักษณะในการต่อวงจรดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด

จากรูปสามารถเขียนเป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันได้ดังนี้

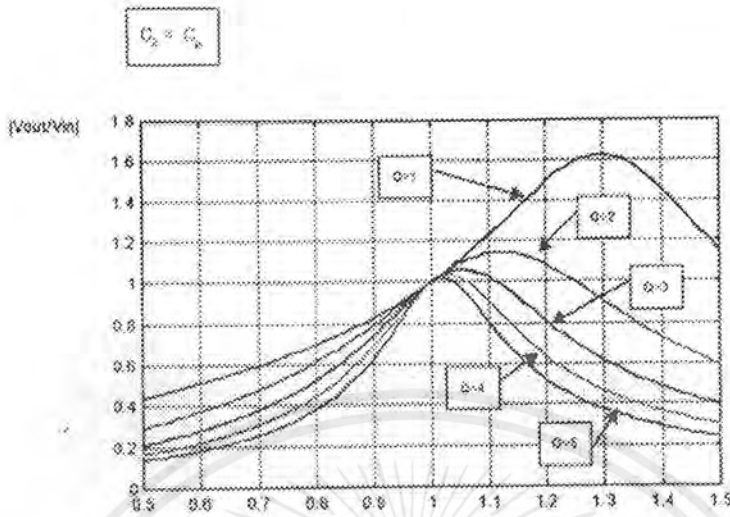
$$\frac{|V_o(j\omega)|}{|V_i(j\omega)|} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \frac{C_p}{C_s} - \left[\frac{\omega}{\omega_p}\right]^2\right]^2 + Q_s^2 \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right]^2}}$$

ทั้งนี้หาก $C_p = C_s$ จะได้สมการใหม่เป็น

$$\frac{|V_o(j\omega)|}{|V_i(j\omega)|} = \frac{1}{\sqrt{\left[2 - \left[\frac{\omega}{\omega_p}\right]^2\right]^2 + Q_s^2 \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right]^2}}$$

จากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ Series-Parallel Loaded –Resonant เราสามารถนำมาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของ วงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม-ขนานกับโหลด (SLPR) โดยมีค่า Q= 1-5

จาก กราฟทั้ง 3 แบบเราจะพบว่าวงจรเรโซแนนซ์ทุกแบบจะทำงานเป็นแบบวงจรกรองความถี่โดยที่ SLR และ SLPR จะเป็นวงจรกรองความถี่แบบ Band Pass Filter ในขณะที่ PLR จะเป็นวงจรกรองความถี่แบบ Low Pass Filter ถึงอย่างไรก็ตาม จากการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะมีค่าความต้านทานที่สูงมากขณะที่จุดหลอด และจะมีค่าความต้านทานที่ลดลงเมื่อหลอดทำงานอยู่ในสภาวะที่เสถียรภาพ ดังนั้น วงจรที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการจุดหลอด และทำงานแทนบัลลาสต์แบบแมกเนติก จึงต้องเป็นวงจรแปลงกระแสสลับที่การทำงานขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่ (Load Dependent) ซึ่งก็คือจะต้องสามารถให้แรงดันด้านออกที่สูงมากพอในขณะที่จุดหลอดและลดลงเมื่อหลอดทำงานในสภาวะปกติ ทั้งนี้เมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงนั้นจะเสมือนว่าเป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว ซึ่งต่างจากการทำงานที่ความถี่ต่ำซึ่งจะพบว่า ค่าความต้านทานของโหลดจะประกอบไปด้วย ค่าอิมพีแดนซ์ในหลายรูปแบบต่อรวมกันอยู่ทั้งตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุ และความต้านทาน

จากรูปที่ 4.5 เราจะพบว่าวงจร SLR นั้นจะให้ค่า อัตราขยาย (Gain) ได้มากที่สุดจะไม่เกิน 1 ซึ่งหมายความว่า การนำวงจร SLR มาประยุกต์ใช้กับ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น แรงดันด้านเข้าต้องมีค่ามากกว่าแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือเราอาจจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงปรับแรงดันสูงขึ้นมาเพื่อช่วยในการจุดหลอด ดังนั้นเราจึงไม่นำวงจรนี้มาใช้

จากรูปที่ 4.7 เราจะพบว่าค่า Q (Quality Factor) นั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต้านทานของโหลด ดังนั้นจากคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้แรงดันด้านออกมีค่าสูงมากพอในการจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด และค่า gain ที่ได้จะมีค่ามากทำให้เหมาะสมที่จะใช้งาน โดยที่แรงดันด้านเข้ามีค่าแรงดันต่ำได้

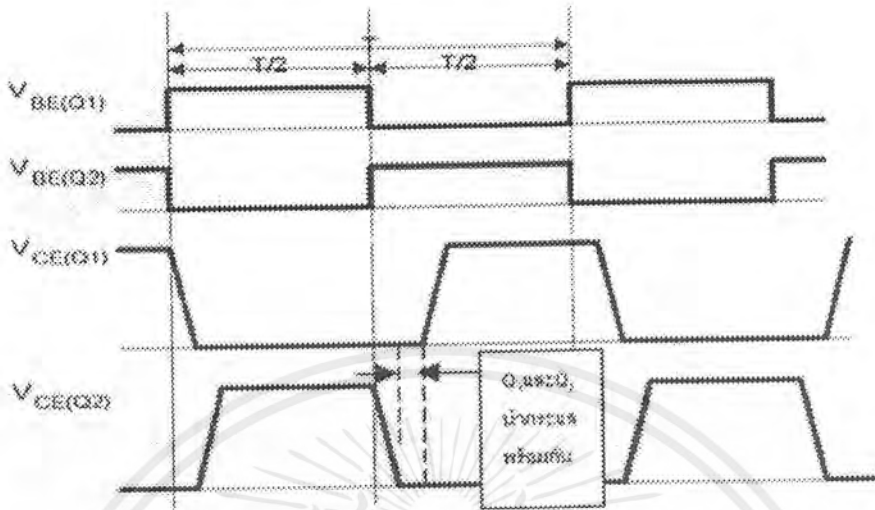
จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่า gain ที่วงจรสามารถให้ได้มีค่ามากกว่า 1 แต่ถึงอย่างไรก็ตามหากแรงดันด้านเข้ามีค่าแรงดันต่ำ ก็อาจทำให้แรงดันด้านออกมีไม่มากพอที่จะจุดหลอด จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงปรับแรงดันสูงขึ้นมาเพื่อช่วยในการจุดหลอด

โดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่าหากมีการนำวงจรพื้นฐานเรโซแนนท์มาประยุกต์เป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีแรงดันด้านเข้าต่ำแล้ว วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรมชนิดขนานกับโหลด (PLR) จะเหมาะสมมากที่สุด

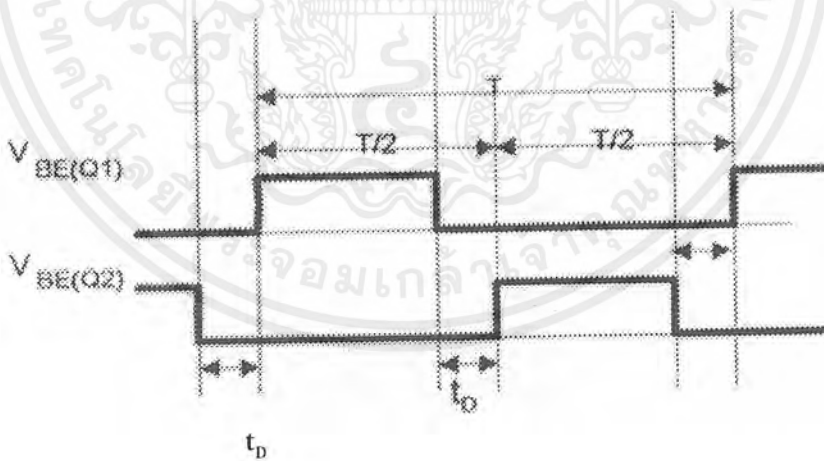
4.3 ค่าเวลาเมื่อ t_D (Dead Time) สำหรับการสวิตชิงในคอนเวอร์เตอร์

การกำหนดเวลาเมื่อไว้เพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์มีช่วงนำกระแสมากเกินไปมีเหตุผลหลักสองประการ คือ

1. ถ้าไม่มี การจำกัดช่วงเวลานำกระแสเอาไว้เมื่อเกิดกรณีโหลดดึงกระแสมากขึ้นวงจรควบคุมจะสั่งงานให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ มีค่าช่วงเวลานำกระแสเพิ่มขึ้นทำให้ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือมีค่าลดลง และเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลง แกนเฟอร์ไรต์จะเข้าสู่จุดอิ่มตัวอย่างรวดเร็วทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เสียหายได้
2. ถึงแม้ว่าจะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งงานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ครึ่งหนึ่งของคาบเวลาเท่ากันแล้วก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็ยังไม่ปลอดภัยเพียงพอเพราะการตอบสนองของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อาจเป็นไปได้ช้า เนื่องจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส เมื่อหยุดจ่ายกระแสไปแอสให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เวลา $t = T/2$ ประจุสะสมจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสต่อไปอีกชั่วขณะหนึ่งก่อนที่กระแสจะมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่เดียวกันกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือเริ่มได้รับกระแสไปแอสที่เวลา $t = T/2$ เช่นเดียวกันทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเกิดนำกระแสพร้อมกัน ในกรณีที่แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะทำกับค่าของแรงดันอินพุต และทำให้เกิดการเสียหายอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.10 แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากประจุสะสมเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสพร้อมกัน



รูปที่ 4.11 แสดงการกำหนดค่าเวลาเพื่อให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

4.4 หลักการในการเลือกตัวสวิตซ์ิ่งในอินเวอร์เตอร์

ตัวสวิตซ์ิ่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 2 ตัวคือ ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor) และเพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor) ซึ่งก็มีลักษณะการทำงานแตกต่างกันออกไป

4.4.1 ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor)

ในการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์สำหรับการออกแบบในตัวอินเวอร์เตอร์นั้นเราต้องคำนึงถึง

1. ความสามารถในการทนกระแสขณะเปิดวงจร
2. ความสามารถในการทนแรงดันขณะเปิดวงจร
3. ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ
4. อัตราทนกำลังสูญเสีย

ความสามารถในการทนกระแสขณะเปิดวงจรและความสามารถในการทนแรงดันขณะเปิดวงจรมันเราจะพิจารณาว่าเราใช้ตัวทรานซิสเตอร์ร่วมกับวงจรถอนเวอร์เตอร์แบบใด ส่วนความเร็วในการเปลี่ยนสถานะนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ที่จะใช้งาน

ส่วนอัตราทนกำลังสูญเสียนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 2 ประการคือ

1. อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อ (Average Junction Temperature)
2. เซคันด์ารีเบรคดาวน์ (Secondary Breakdown)

โดยทั่วไปผู้ผลิตมักจะให้กราฟแสดงพิกัดปลอดภัย SOA (Safe Operating Area) มาพร้อมกับข้อมูล (Data Sheet) ที่ให้มากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์ กราฟ SOA จะแสดงพิกัดค่าต่างๆของกระแสและแรงดัน ขณะทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ที่จะไม่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อสูงเกินกว่าที่มันจะทนได้ และไม่ทำให้เกิดเซคันด์ารีเบรคดาวน์ (Secondary Breakdown) ขึ้น

นอกจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่กล่าวมาแล้ว เรายังพบว่าในการทำงานเป็นสวิตซ์ิ่งของทรานซิสเตอร์จะเกิดกำลังสูญเสียในรูปความร้อนในตัวไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกข้อหนึ่งในการใช้งานทรานซิสเตอร์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ แบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

1. กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching Loss)
2. กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (Saturation Loss)

จากการเกิดกำลังสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะจะส่งผลต่อกำลังงานโดยรวมของวงจรถอนเวอร์เตอร์ แต่กำลังงานสูญเสียที่สำคัญที่เราต้องนำมาพิจารณา คือกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะ

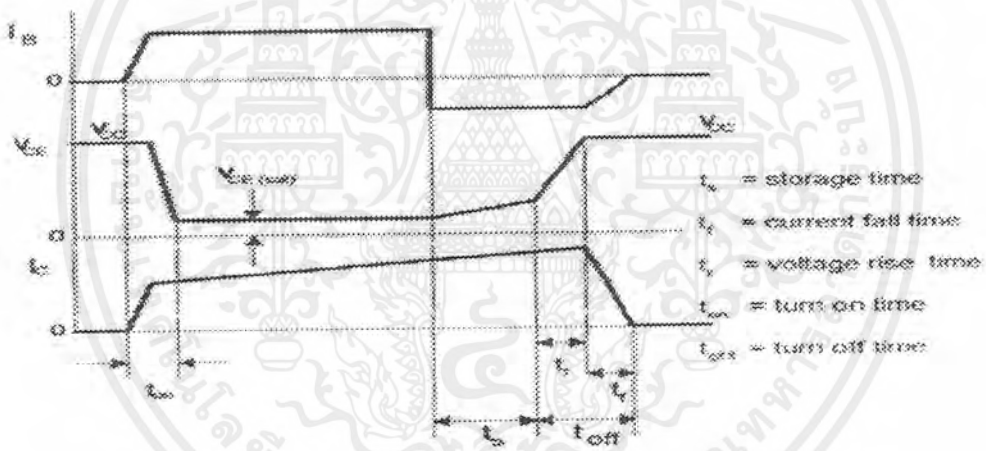
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน(Switching Loss) โดยกำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะเริ่มนำกระแส และขณะเริ่มหยุดนำกระแส

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching Loss)

1. กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแส

เมื่อเริ่มให้กระแสไบแอส ที่ขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเลกเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเลกเตอร์และ อิมิตเตอร์(V_{CE}) จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{CC} และจะใช้เวลาช่วงหนึ่ง คือ t_{on} เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น $V_{CE(sat)}$ ดังรูปข้างล่าง กำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลา t_{on} นี้เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตามช่วงเวลา t_{on} นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมันก็มีค่าต่ำกำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ



รูปที่ 4.12 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

2. กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เมื่อหยุดป้อนกระแสไบแอสจ่ายให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดการนำกระแส เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา t_s ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา t_s นี้เรียกว่า ช่วงเวลาสะสม(Storage Time) และขณะช่วงเวลา t_s นี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบแอสอยู่

จากนั้นแรงดันที่ขาคอลเลกเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา t_r (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในตัว เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเลกเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ t_f (Current Fall Time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา t_r และ t_f จะมีค่าสูง และเป็นช่วงที่ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะทำงาน ช่วงเวลา $t_r + t_f$ จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time)

จากข้างต้นเราจะเห็นว่าการทำงานที่ทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าน้อยที่สุด จะทำให้การใช้งาน เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงานด้วย

วงจรรีบกระแสไบแอส

ไบโพลาร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแสไบแอสที่ขาเบส เพื่อให้ นำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรรีบกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังงานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

วงจรรีบกระแสไบแอสโดยทั่วไปจะทำได้ใน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. วงจรรีบกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive)

สำหรับวงจรรีบกระแสไบแอสโดยทั่วไปที่ค่าตั้งไม่สูงนักจะนิยมใช้ วงจรรีบกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่(Fixed Base Drive) ด้วยค่ากระแสที่มากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสที่จุดอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา แต่วิธีนี้จะทำให้ค่าประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ค่อนข้างสูงและใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส

2. วงจรรีบกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์ (Proportion Base Drive)

วงจรรีบกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์ (Proportion Base Drive) นี้ค่ากระแสที่ขาเบสจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านคอลเลกเตอร์ ประจุสะสมจะเกิดขึ้นน้อย การหยุดนำกระแสจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่วงจรรีบกระแสจะยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า จึงมักนิยมใช้กับคอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังงานสูงๆเท่านั้น

4.4.2 เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor)

เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor) สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 Hz ไปจนถึงประมาณ 200-400 kHz เนื่องจากตัวมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบัน มีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไปได้ อีกทั้งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

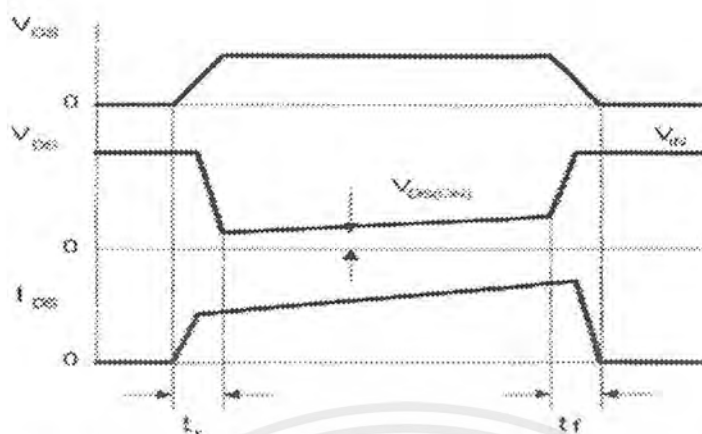
สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต จะไม่เกิดเซคันดารีเบรคดาวน์เหมือนกับ ไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์ เพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรน(Drain) และซอร์ส(Source) ขณะนำกระแส จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากกรณีไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์ซึ่งเกิดเซคันดารีเบรคดาวน์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลมากขึ้นซึ่งจะเกิดการพังทลายได้อย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิสัยความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์ และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดเซคันดารีเบรคดาวน์อัตราทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในรอยต่อที่ตัวมันเท่านั้น เช่นเดียวกับไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์ในการทำงานเป็นสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟต จะเกิดกำลังงานสูญเสียเกิดขึ้นซึ่งเราสามารถพิจารณาได้ดังนี้

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกับ ไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์คือ

1. กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ
2. กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส

แต่สำหรับมอสเฟตแล้วจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสสั้นกว่า ไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น จึงไม่มีปัญหาในลักษณะเดียวกับไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของขณะนำกระแสจึงสูงกว่า ไลโปลาร์ทรานซิสเตอร์

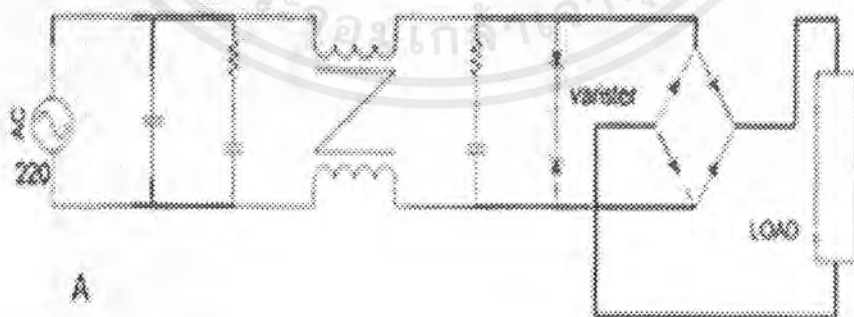


รูปที่ 4.13 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส

4.5 วงจรกรองแบบพาสซีฟใช้ LC (Passive Filter)

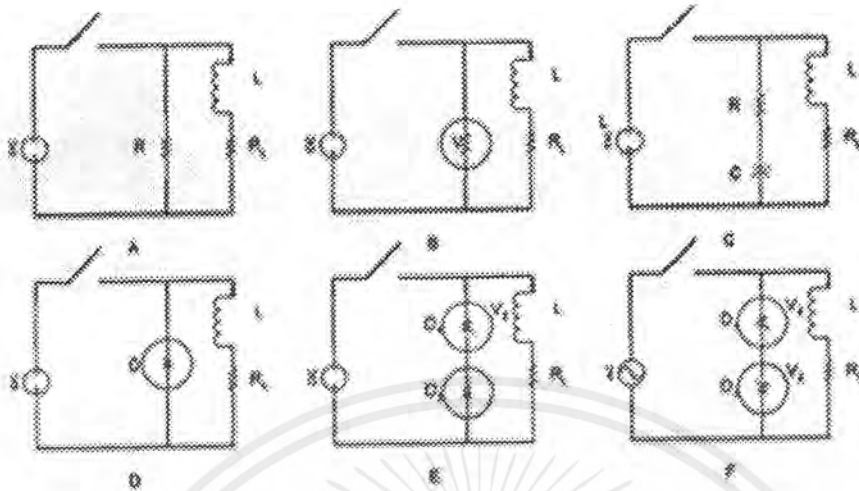
วงจรกรองด้านเข้า(Input Line Filter) มีความสำคัญเพราะจะช่วยลดการรบกวนคลื่นวิทยุ (Radio-Frequency Interference:RFI) ที่ความถี่สูง และการรบกวน EMI ที่เกิดจากวงจรแปลงผัน (Converter) อีกทั้งยังช่วยลดผลของทรานเซียนต์จากสายส่งไม่ให้ไปทำความเสียหายให้วงจร โดยความถี่ที่เป็น lowpass cut off ของ filter นี้จะไม่สูงเกิน 2-3 เท่าของความถี่ในการทำงานของวงจร

วงจรกรองด้านเข้าแบบพาสซีฟมีได้หลายแบบ ซึ่งจะประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน (วาริสเตอร์)



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างวงจรกรอง L-C แบบต่อวาริสเตอร์ก่อนหน้าไดโอดบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปแบบของวงจรกรองหน้าสัมผัสแบบต่างๆ

4.6 การใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันทรานเซียนต์

ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรต่ออุปกรณ์ป้องกันแรงดันทรานเซียนต์ (Transient Voltage Suppressor) เพราะอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีจุดอ่อนประการหนึ่งคือ ไม่สามารถทนแรงดันเกินได้ ดังนั้นในวงจรจึงควรมีการป้องกันแรงดันเกิน ซึ่งสามารถทำได้ 3 แนวทาง คือ

1. การชิลด์ และ การต่อกราวด์ (Shielding And Grounding) (หมายเหตุ วิธีนี้ไม่สามารถป้องกันแรงดันเกินจาก ไฟฟ้า, สนามแม่เหล็ก หรือ ผลจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ เช่น หากมีกระแสปริมาณมากไหลลงดิน ก็จะทำให้แรงดันในสายกราวด์เปลี่ยนแปลงได้)

2. การใช้วงจรกรอง (Filter)

3. การใช้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติไม่เชิงเส้น (Nonlinear Device) มาป้องกันแรงดันเกินจำพวก อุปกรณ์ป้องกันแรงดันทรานเซียนต์ (Surge Protection Device:SPD) ซึ่งมี 4 ประเภทได้แก่

1.1 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode: ZD)

1.2 ซับเพรสเซอร์ไดโอด (Suppressor Diode:SD)

1.3 วาริสเตอร์ (Varistor:MOV,VAR,SIOV)

1.4 แก๊สอาร์เรสเตอร์ (Gas Arrester: GA) (นิยมใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง)

ในที่นี้ได้เลือกใช้วงจรกรอง ผสมกับการใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันทรานเซียนต์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ต่อเพื่อให้วงจรทนแรงดันสไปค์ จากแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้ นิยมใช้ซีเนอร์ไดโอด หรือ ใช้วาริสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดยเกณฑ์การเลือกใช้คือ

1. หากต่อก่อนไดโอดบริดจ์ก็ต้องใช้อุปกรณ์ เช่น วงจร RC และใช้อุปกรณ์ที่ทนแรงดันทรานเซียนต์ ได้ทั้ง 2 ทิศทาง หรือ การต่อวาริสเตอร์คร่อมระหว่างสายไลน์กับนิวทรัล ก็จะช่วยป้องกันแรงดันเกินให้แก่วงจรซึ่งรวมถึงไดโอดบริดจ์ด้วย

2. หากต่อไว้หลังไดโอดบริดจ์ก็สามารถใช้ซีเนอร์ไดโอด 1 ตัวได้ (อาจใช้หลายตัวต่ออนุกรมกันเพื่อการทนแรงดันได้สูงขึ้น) หรือใช้ซีพเพรสเซอร์ไดโอด หรือ จะใช้วาริสเตอร์ก็ได้ (หรือจะใช้ไอซีป้องกันทรานเซียนต์)ซึ่งก็จะช่วยป้องกันสวิตช์จากแรงดันเลิฟก็ได้

การเลือกใช้ ซีเนอร์ไดโอด หรือ วาริสเตอร์ มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันคือ

ก. ซีเนอร์ไดโอด มีขีดจำกัดว่าอุปกรณ์รับพลังงานได้จำกัด หากว่าแรงดันสูงขึ้นพิกการทนกระแสก็จะต่ำลงตามความสัมพันธ์ $I_{max} = P_{max} / V_{operation}$ แต่วาริสเตอร์มีขีดจำกัดไม่ได้ขึ้นกับกำลังแต่เป็นความหนาแน่นกระแส เพราะวาริสเตอร์มีโครงสร้างที่มีขีดจำกัดที่ความหนาแน่นกระแสสูงสุด(Maximum current Density) ด้วยเหตุนี้เองหากว่าแรงดันใช้งานจะเพิ่มสูงขึ้นหรือลดลงก็ตาม พิกัดกระแสที่ทนได้ก็ยังคงเท่าเดิม วาริสเตอร์จึงจัดเป็นอุปกรณ์ตัวต้านทานแบบหนึ่งที่มีลักษณะค่ากระแสไม่ขึ้นกับแรงดัน โดยมีคุณสมบัติค่าความต้านทานลดลงเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น

ข. การต่อซีเนอร์ไดโอดขนานกัน ไม่ได้ทำให้พิกการทนกระแสรวมเพิ่มสูงขึ้นเพราะพิกการทนกระแสรวมมีค่าเท่ากับพิกการทนกระแสของซีเนอร์ไดโอดตัวที่มีพิกแรงดันสูงที่สุดเพียง 1 ตัว แต่การต่อวาริสเตอร์ขนานกัน สามารถทำให้พิกการทนกระแสเพิ่มขึ้นได้(เพิ่มขึ้นได้บ้าง แต่ไม่ได้เพิ่มมากเป็นสัดส่วนเชิงเส้น ตามจำนวนวาริสเตอร์ที่ต้องขนานกัน) โดยการต่อวาริสเตอร์ขนานกัน ทำได้ก็ต่อเมื่อวาริสเตอร์ที่ต้องขนานกันจะต้องมีพิกการทนกระแสเท่ากัน และต้องเป็นวาริสเตอร์แบบดิสก์(Disk) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เท่านั้น

ค. การต่อวาริสเตอร์อนุกรมกันได้ เพื่อให้มีค่าระดับป้องกันแรงดันเพิ่มสูงขึ้นตามต้องการแต่การต่อจะต้องเป็นวาริสเตอร์แบบเดียวกัน (เช่น เป็นแบบดิสก์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน) โดยพิกแรงดันกระแสตรง หรือ แรงดันกระแสสลับรวมที่ได้ จะเป็นผลรวมแบบอนุกรมของแต่ละวาริสเตอร์ย่อยที่นำมาต่ออนุกรมกัน โดย การต่ออนุกรมนี้มีข้อดีคือ ทำให้กระแ่วไหลมีค่าลดต่ำลงได้มาก ส่วนการใช้งานซีเนอร์ไดโอดต่ออนุกรมกันนั้น ก็จะมีลักษณะการใช้เหมือนวาริสเตอร์ ซึ่งสามารถตัดแปลงอีกเป็นการต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน หรือ ตัวเหนี่ยวนำก็สามารถทำได้

วาริสเตอร์ยังมีข้อดีอีกประการคือ มีเวลาตอบสนอง (Response Time) ที่เร็วมาก (ต่ำกว่า 25 ns)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 เกณฑ์การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน

1. เลือกพิกัดการทนแรงดัน (Maximum Operating Voltage) ให้เหมาะสมกับการป้องกันแรงดันเกินในการใช้งาน โดยควรเพื่อแรงดันเกินของแหล่งจ่ายที่อาจเป็นไปได้ไว้ด้วย เช่น เพื่อแรงดันแหล่งจ่ายเกิน 10% เป็นอย่างน้อย เช่น กรณีแรงดันแหล่งจ่าย 220 โวลต์ ก็ต้องเพื่อแรงดันแหล่งจ่ายเป็น 242 โวลต์จึงเลือกวาริสเตอร์พิกัดแรงดันสูงกว่า เช่น ในที่นี้เลือก 275 โวลต์เพื่อไว้ หากยิ่งเลือกวาริสเตอร์ทนแรงดันสูงมากขึ้น จึงมีผลดีคือกระแสรั่วไหลมีค่าลดลง แต่ก็ผลเสียคือแรงดันเกินค่าต่ำๆ เช่น 265 โวลต์สามารถผ่านเข้าวงจรได้ จึงทำให้การเลือกอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจรต้องสามารถทนแรงดัน $275 V_{ac}$ หรือ $390 V_{dc}$ ได้

2. พิจารณาถึง

- ก) กระแสกระชาก (Inrush Current)
- ข) การดูดซับกำลังเกิน(Energy Absorption)
- ค) การทนกำลังเฉลี่ย โดยคิดจากจำนวนครั้งของค่ากระแส เสรีจ และ/หรือ กำลังเกิน ซึ่งก็หมายความว่า ค่ากระแสชั่วขณะ (I) แรงดันชั่วขณะ (E) และกำลังชั่วขณะ (P) สูงสุดจากการทำงานจริงของวงจรต้องมีค่าไม่เกินขีดจำกัดสูงสุดของ I E P ของวาริสเตอร์ทนได้คือ

$$I' \leq I_{max}$$

$$E' \leq E_{max}$$

$$P' \leq P_{max}$$

ก) เลือกพิกัดการทนกระแสกระชาก (Maximum Inrush current) ขึ้นกับจำนวนพัลส์กระแส และความกว้างของพัลส์กระแสด้วย โดยปกติค่าที่แสดงในสเปกของวาริสเตอร์จะเป็นค่าที่ประมาณความกว้างพัลส์ เป็นสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง (t_R) เป็น 20 μF หรือ 2 ms ดังนั้นหากเป็นพัลส์ต่างๆก็ต้องแปลงเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างพัลส์เป็นค่ามาตรฐาน เพื่อหาค่ายอดของกระแสเสรีจแล้วใช้ กราฟการเสื่อมพิกัด (Derating Curve) ช่วย (หมายเหตุ เลือกพิกัดจากกระแสเสรีจ ไม่ใช่แรงดันเสรีจ)

ข) เลือกพิกัดการทนกำลัง (Maximum Energy Absorption) ซึ่งคำนวณได้ง่ายๆ โดยการแปลงรูปคลื่นตรวจวัดได้จากออสซิลโคป ให้ประมาณเป็นรูปสี่เหลี่ยม เพื่อหาค่าพลังงาน หรือพื้นที่ใต้กราฟ จากสมการ

$$E_{max} = V_{max} I_{max} I_R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

E_{\max} = การดูดซับกำลังเกินสูงสุด (Maximum Energy Absorption)

V_{\max} = แรงดันคร่อมวาริสเตอร์ขณะที่กระแสชั่วคราวมีค่าสูงสุด (Voltage Across The Varistor at i_{\max})

I_R = ความกว้างพัลส์ (Pulse Width) (หน่วยเป็นวินาที)

ในการคิดโหลดที่วาริสเตอร์จะต้องทนได้นั้น ควรพิจารณากรณีที่เลวที่สุด (Worst Case Condition) เช่น หากวาริสเตอร์ต่ออยู่ในวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำค่า L อยู่ในวงจร วาริสเตอร์จะต้องทนพลังงานทั้งหมด $0.5 LI^2$ ของการคายพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำในวงจรซึ่งเป็นการคิดเผื่อไว้เพื่อความปลอดภัย

ค) เลือกพิจารณาการกระจายกำลังเฉลี่ย (Maximum Average Power Dissipation) จากขั้นตอน ในข้อ 2.1-2.2 ก็เพียงพอในการเลือกเบอร์วาริสเตอร์ได้ แต่ในการเลือกใช้วาริสเตอร์ควรตรวจสอบดูด้วยว่า วาริสเตอร์ค่าที่เลือกมานั้นยังคงมีผลการกระจายกำลังเฉลี่ยสูงกว่าพิกัดกำลังใช้งาน เช่น คำนวณจากสมการ

$$T_{\min} = E / P_{\max}$$

โดยที่ T_{\min} = คาบเวลาของกระแสเล็ง (วินาที)

E = ค่ากำลังเกินที่ดูดซับในแต่ละคาบ

P_{\max} = ค่ากำลังสูงสุด (Maximum Power Dissipation) (หน่วยเป็นวัตต์)

จากเกณฑ์ข้างต้นก็จะสามารถเลือกเบอร์ของวาริสเตอร์ได้จากแคตตาล็อก

- พิจารณาตรวจสอบว่า แรงดันเกินที่อาจเกิดขึ้นได้ ในการทำงานของวาริสเตอร์เบอร์ที่เลือกมีค่าไม่มากกว่าความคงทนทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ในวงจรที่ป้องกัน

4.7 ไดโอดคอมมิวเตตติ้ง (Commutating Diode)

ซึ่งต่อคร่อม Q_1 และ Q_2 มีหน้าที่อยู่ 2 อย่าง คือ

4.7.1 ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ (Spike) ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้ จะถูกถ่ายเทออกไปยังตัวคอมมิวเตตติ้งไดโอด จึงเป็นการป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

4.7.2 ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดนำกระแส ขดไพรมารี (Primary) จะมีการกลับขั้วแรงดันเกิดขึ้น ถ้าไม่มีคอมมิวเตตติ้งไดโอด Q_2 จะได้รับแรงดัน ที่ตกคร่อมที่คอลลเลกเตอร์

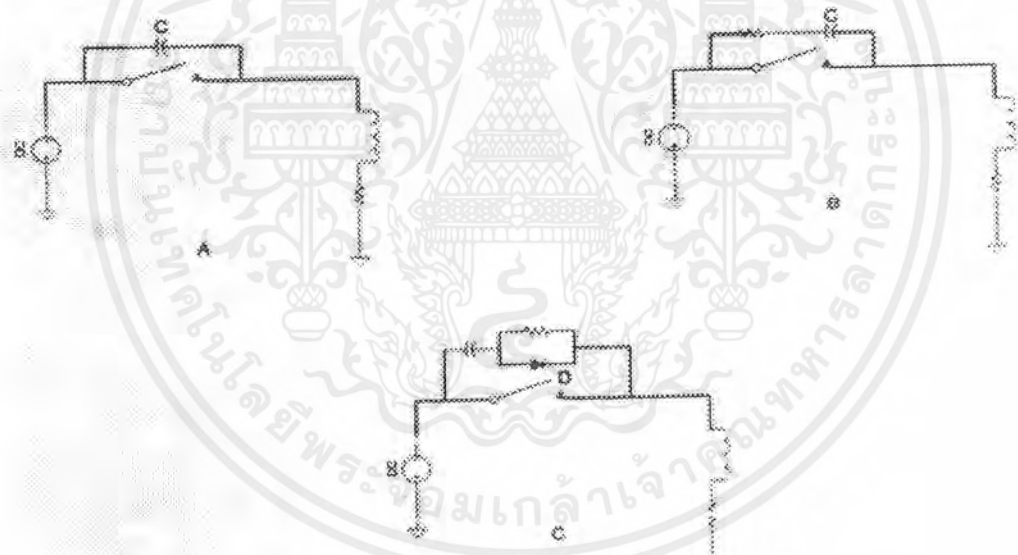
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Collector) เป็นลบ ในขณะที่ Q_1 จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่า $V_m / 2$ ในกรณีนี้ D_{Q1} จะอยู่ในลักษณะไบแอสตรงจากแรงดันขดลวดไพรมารี และ จะทำการลดค่าแรงดันนี้ลงไป ในทำนองเดียวกันเมื่อ เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอด D_{Q1} จะทำหน้าที่เช่นเดียวกันเป็นการป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะพบว่าไดโอดที่นำมาใช้เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดนั้น จะต้องเป็นชนิด Fast Recovery หรือ Ultrafast Recovery และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ขณะหยุดนำกระแส

4.8 การกำจัดทรานเซียนท์ของโหลดประเภทตัวเหนี่ยวนำ

- มีไว้เพื่อ
1. ป้องกันสวิตช์ที่ควบคุมโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ
 2. ลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ

4.8.1 วงจรป้องกันหน้าสัมผัสสำหรับโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ (Snubber)



รูปที่ 4.16 วงจรป้องกันหน้าสัมผัส แบบคร่อมหน้าสัมผัสที่ควบคุมโหลด

วงจรแบบ C network

รูปที่ 4.16 A เป็นการกำจัดอาร์ค จากการหยุดไหลของกระแส ขณะหน้าสัมผัสเปิดออก(Off) ถ้าตัวเก็บประจุมีค่ามากพอ ขณะที่สวิตช์เปิดออก จะมีกระแสตกค้างซึ่งเป็นผลมาจากตัวเหนี่ยวนำจะทำให้กระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุ เก็บไว้ จึงไม่ผ่านสวิตช์ หรือผ่านน้อยจึงไม่มีการอาร์คเกิดขึ้น โดยตัวเก็บประจุจะถูก charge จนมีแรงดัน $= V_{dc}$ เมื่อสวิตช์ปิดลง(On)จะทำให้ตัวเก็บประจุ discharge กระแสโดยผ่านทางสวิตช์ ยิ่งค่าตัวเก็บประจุมีมาก และแหล่งจ่ายไฟมีแรงดันสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเท่าไร ก็จะทำให้สวิตช์เสียหายอันเนื่องจากการอาร์คมากขึ้น เพราะจะมีพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุมาก

วงจรแบบ R-C network

เป็นการแก้ไขของวงจรแบบ รูป 4.16 A เมื่อสวิตช์ปิดลงตัวต้านทานจะเป็นตัวช่วยจำกัดกระแส discharge ของตัวเก็บประจุ โดยมีข้อควรคำนึงถึง 2 คือ

- 1) ขณะสวิตช์ปิด(On) ควรเลือกค่าความต้านทานต่ำที่สุดที่ทำหน้าที่จำกัดกระแส ไม่ให้กระแส discharge ของตัวเก็บประจุไหลผ่านสวิตช์สูงกว่าค่ากระแสที่ทำให้เกิดการอาร์ค
- 2) ขณะสวิตช์เปิด(Off) ควรเลือกค่าความต้านทานที่สูงสุด เพราะเมื่อหน้าสัมผัสเริ่มเปิดออก กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทาน ทำให้มีแรงดันตกคร่อมสวิตช์ $=IR$ แล้วจะทำให้แรงดันคร่อมสวิตช์ $= V_{SOURCE}$ ดังนั้นโดยทั่วไปควรเลือกค่าตัวต้านทานที่ไม่ทำให้แรงดันคร่อมสวิตช์มากกว่า V_{SOURCE} เลือกได้ดังนี้

$$\frac{V_{dc}}{I_A} < R < R_L$$

โดยที่ R_L คือ ค่าความต้านทานของโหลด

สำหรับค่าของตัวเก็บประจุที่จะเลือกใช้มีข้อกำหนด 2 อย่าง คือ แรงดันยอดที่คร่อมหน้าสัมผัสต้องไม่เกิน 300 โวลต์เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซดิสชาร์จ และอัตราการเพิ่มแรงดันเริ่มแรกต้องน้อยกว่า 1 โวลต์/ไมโครวินาที เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอาร์คดิสชาร์จ สำหรับในกรณีหลังจะเป็นได้เมื่อตัวเก็บประจุมีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครฟารัดต่อกระแสไหล 1 แอมป์

แรงดันยอดของตัวเก็บประจุจะคำนวณได้โดยสมมติว่า ค่าความต้านทานในวงจรมีค่าน้อยมาก และพลังงานจากขดลวดจะถ่ายเทให้แก่ตัวเก็บประจุแต่เพียงอย่างเดียว ภายใต้งี้อินพุตนี้

$$V_{C(peak)} = I_o \sqrt{\frac{L}{C}}$$

โดยที่ I_o คือ กระแสไหลผ่านโหลดขณะที่หน้าสัมผัสเริ่มเปิดออก ซึ่งจะหาค่า C ได้โดยแทนค่า $V_{C(peak)} = 300$ โวลต์ ดังนั้น

$$C \geq \left[\frac{I_o}{300} \right]^2 L$$

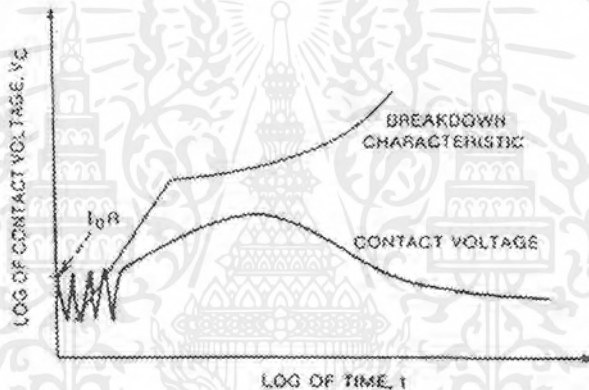
และเพื่อป้องกันอัตราการเพิ่มแรงดันให้น้อยกว่า 1 โวลต์/ไมโครวินาที

ในบางกรณีอาจเกิดรีโซแนนซ์ระหว่าง L กับ C ทำให้เกิดการอสซิลเลตได้ เพื่อป้องกันการอสซิลเลต วงจรจะต้อง overdamp ค่าของตัวเก็บประจุ

$$C \geq \frac{4L}{R_1^2}$$

โดยที่ R_1 คือ ความต้านทานรวมทั้งหมดที่ต้องอนุกรมอยู่กับ L และ C เช่นในรูปที่ 4.16 B $R_1 = R_L + R$ บางครั้งอาจไม่คำนึงถึงการเกิดรีโซแนนซ์ เพราะค่าของตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไป

การใช้วงจร R-C เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางเพราะมีราคาถูก แต่ทำให้ผลไม่เต็มที่เพราะเมื่อขณะที่หน้าสัมผัสเริ่มเปิด แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสชั่วคราวมีค่าเท่ากับ $I_0 R$ ซึ่งทำให้เกิดการอาร์คขึ้นได้ในช่วงสั้นๆ ดังในรูปที่ 4.17 ซึ่งแสดงถึงแรงดันคร่อมหน้าสัมผัสกับแรงดันเบรคดาวน์ ลักษณะการเกิดอาร์คที่หน้าสัมผัสได้อธิบายไว้ในตอนต้นแล้ว



รูปที่ 4.17 แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสกับแรงดันเบรคดาวน์

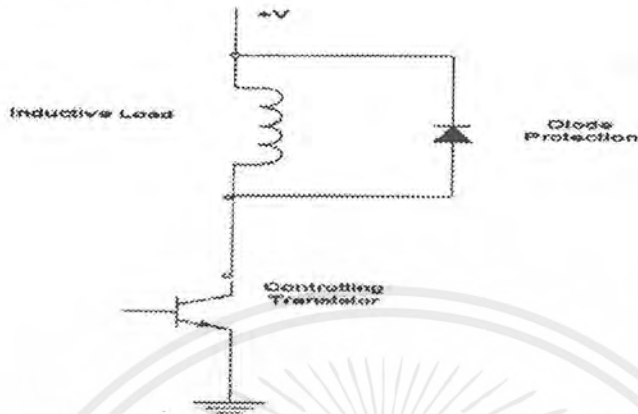
วงจรแบบ R-C-D network

รูปที่ 4.16 C แสดงถึงวงจรที่แก้ไขข้อเสียของรูป 4.16A , 4.16B แต่มีราคาแพงกว่าเมื่อหน้าสัมผัสเปิด ตัวเก็บประจุจะถูกชาร์จโดยมีขั้วตามที่แสดงไว้ในรูป เมื่อหน้าสัมผัสปิดลง ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่าน R ซึ่งเป็นตัวจำกัดกระแส ในขณะที่หน้าสัมผัสเปิด ไดโอดจะลัดวงจร ส่วนของ R เปรียบเทียบเหมือนไม่มีความต้านทานอยู่ในวงจร เป็นการแก้ปัญหาของการเกิดอาร์คเริ่มต้น ดังที่กล่าวแล้ว ไดโอดจะต้องมีแรงดันเบรคดาวน์ (ของไดโอด) มากกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ และมีอัตราทนกระแสที่จุดยอดมากเพียงพอ การคำนวณค่าของตัวเก็บประจุคิดเหมือนในกรณีวงจรแบบ R-C network ส่วนค่าความต้านทาน R นั้น เนื่องจากขณะที่หน้าสัมผัสเปิด ไดโอดลัดวงจร ดังนั้น

$$R \geq \frac{10V_{dc}}{I_A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรป้องกันแบบ R-C-D network นี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันสัมผัส แต่มีราคาแพง และใช้ในวงจรกระแสสลับไม่ได้



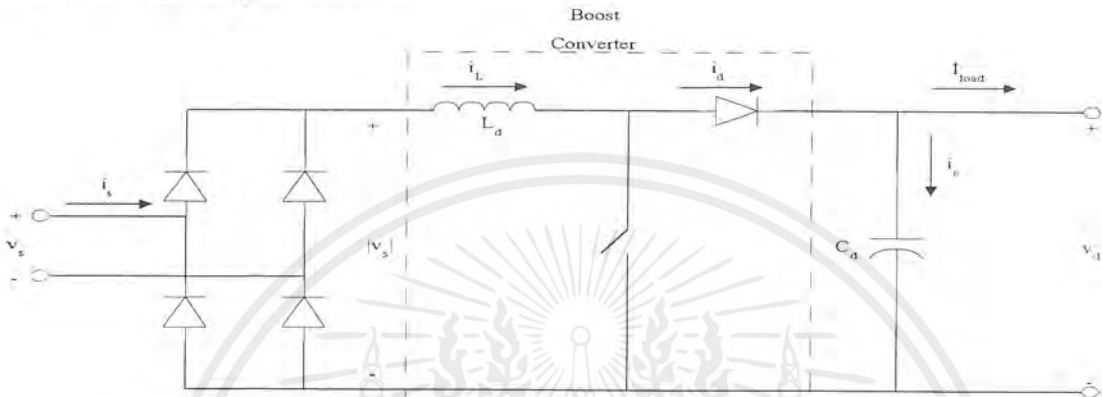
รูปที่ 4.18 วงจรป้องกันทรานเซียนท์ที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์และหลักการทำงาน

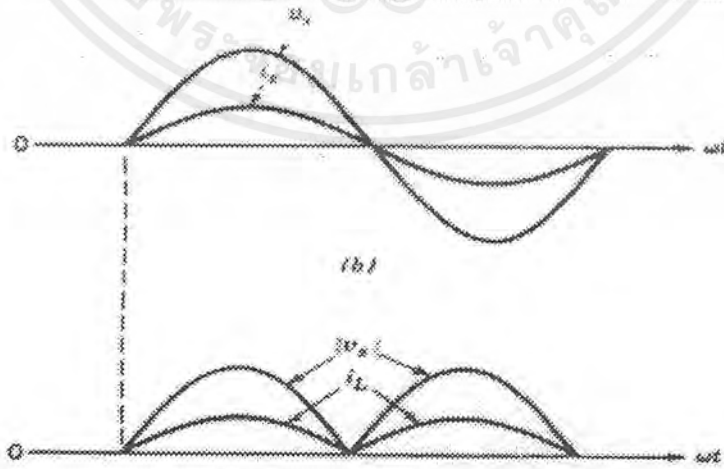
5.1 วงจรกำลังของบูสท์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.1 วงจรกำลังของบูสท์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงาน

จะนำสัญญาณควบคุมที่ได้มาจากวงจรควบคุม มาควบคุมการทำงานเปิด-ปิดของสวิตช์ จุดประสงค์เพื่อควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้มีค่าเพิ่มขึ้น หรือ ลดลงตามที่ต้องการ โดยในที่นี้จะควบคุมให้มีลักษณะเหมือนแรงดัน $|V_s|$ ซึ่งจะทำให้การรักษาระดับแรงดันขาออกให้มีขนาดคงที่



รูปที่ 5.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์

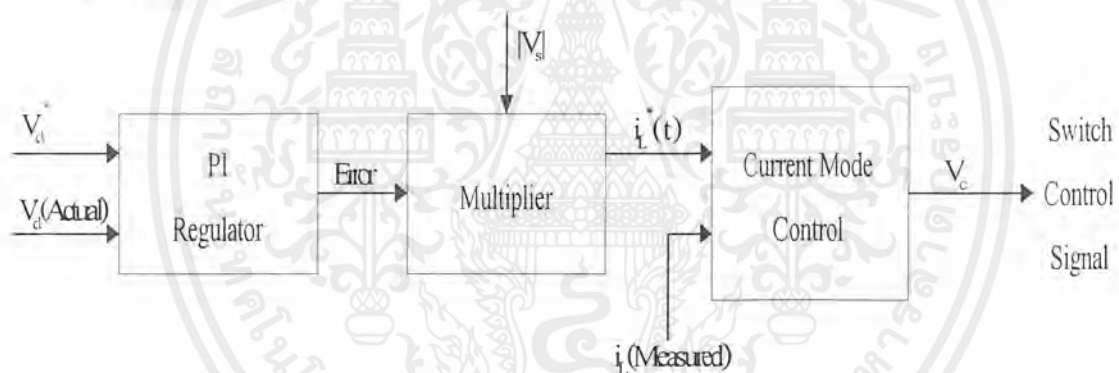
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วงจรควบคุม

ตามที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ว่า วงจรบุสท์คอนเวอร์เตอร์มีไว้เพื่อแก้ปัญหาค่าตัวประกอบกำลังต่ำ และยังช่วยรักษาระดับแรงดันกระแสตรงที่ขาออกของวงจรให้มีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าแรงดันทางด้านขาเข้ามีค่าเปลี่ยนแปลง

การควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งให้เปิด-ปิด เพื่อที่จะให้วงจรทำงานตามที่ต้องการได้นั้นจะต้องอาศัยวงจรควบคุม โดยวงจรควบคุมมีด้วยกันหลายแบบ การเลือกใช้งานจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆหลายอย่าง เช่น ความถี่ในการสวิตซ์ซึ่งต้องการให้คงที่หรือไม่ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลังของบุสท์คอนเวอร์เตอร์ต้องการให้มีริบเป็ลมากน้อยแค่ไหน และยังมียังองค์ประกอบอื่นๆอีกหลายอย่าง

การควบคุมรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันคือ ระบบควบคุมที่อาศัยการควบคุมแบบ PI ในการควบคุมแรงดันขาออกของบุสท์คอนเวอร์เตอร์ให้คงที่ รูปแบบการควบคุมเป็นดังบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม

เมื่อ	V_d^*	คือ แรงดันอ้างอิงขาออกของวงจรบุสท์คอนเวอร์เตอร์
	$V_d(\text{Actual})$	คือ แรงดันจริงขาออกของวงจรบุสท์คอนเวอร์เตอร์
	Error	คือ สัญญาณที่ได้จาก PI Regulator
	$ V_s $	คือ แรงดันที่ด้านขาเข้าของวงจรกำลังของบุสท์คอนเวอร์เตอร์
	$i_L^*(t)$	คือ กระแสอ้างอิงที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลัง
	$i_L(\text{Measured})$	คือ ค่าที่วัดได้ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลัง
	V_c	คือ สัญญาณควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์สวิตซ์ในวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

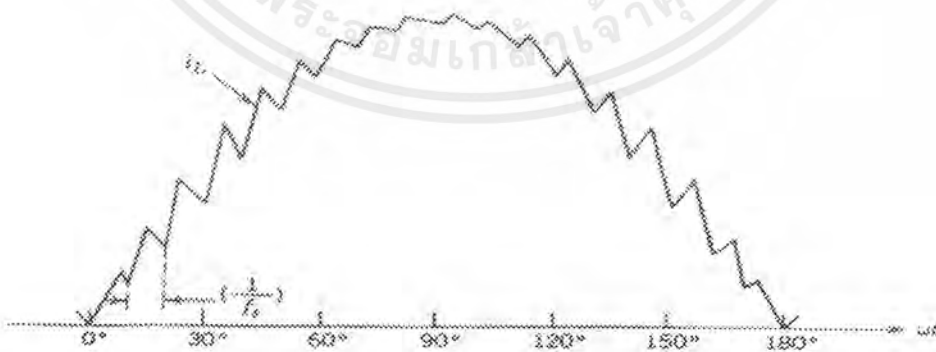
หลักการทํางาน

ตามรูปที่ 5.3 แรงดัน V_d (Control) จะถูกส่งมาจากวงจรกำลังเพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_d^* โดยสัญญาณที่ออกจาก PI Regulator คือ Error จะมีค่ามากขึ้นถ้า V_d^* มากกว่า V_d (Actual) และจะมีค่าลดลงถ้า V_d^* น้อยกว่า V_d (Actual) สัญญาณ Error จะถูกนำมาคูณกับ $|V_s|$ ได้เป็นกระแสอ้างอิง $i_L^*(t)$ นั่นคือลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณ $i_L^*(t)$ จะเหมือนกับ $|V_s|$ แต่ขนาดของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับสัญญาณ Error

หลังจากนั้นสัญญาณ $i_L^*(t)$ และ i_L (Measured) จะถูกนำมาเข้าสู่ชุดควบคุมกระแส เพื่อที่จะควบคุมให้สัญญาณ i_L (Measured) มีลักษณะรูปคลื่นและขนาดเหมือนกับ $i_L^*(t)$ โดยสัญญาณที่จะนำไปควบคุมคือ V_c จะถูกนำไปขับสวิตช์ที่วงจรกำลังให้เปิด-ปิดอย่างอัตโนมัติ

ชุดควบคุมกระแสสำหรับควบคุมวงจรมอเตอร์มีด้วยกันหลายแบบดังนี้

1. แบบความถี่คงที่ (Constant-Frequency Control) การควบคุมแบบนี้ ความถี่สวิตซ์ f_s จะมีค่าคงที่ถ้าในช่วงแรก i_L น้อยกว่า i_L^* สวิตช์จะถูกสั่งให้ปิดเพื่อให้กระแส i_L มีค่ามากขึ้น เมื่อ i_L มีค่ามากขึ้นจนเท่ากับ $i_L^*(t)$ สวิตช์ในวงจรมอเตอร์จะเปิดออก และจะถูกสั่งให้ปิดโดยสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ f_s ซึ่งการควบคุมแบบนี้ ระยะเวลาระหว่างการสั่งให้สวิตช์ปิดแต่ละครั้งจะคงที่เท่ากับ $1/f_s$ และจะได้ลักษณะของกระแส i_L ดังรูป



รูปที่ 5.4 ลักษณะกระแส i_L ของการควบคุมแบบความถี่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสวิตช์ ความถี่สวิตช์จะมีค่าสูงกว่าความถี่มูลฐานมาก ถือได้ว่าในระหว่างหนึ่งคาบเวลาของการสวิตช์ แรงดันขาออก V_d และแรงดันขาเข้า $|V_s|$ จะมีค่าคงที่ที่เวลานั้น เมื่อให้ I_{ripple} คือ กระแสรีปเปิลในหนึ่งคาบเวลาการสวิตช์ จะได้สมการของช่วงเวลาที่สวิตช์ปิด t_{off} และเปิด t_{on} ดังนี้

$$t_{on} = \frac{L_d I_{rip}}{|v_s|}$$

$$t_{off} = \frac{L_d I_{rip}}{V_d - |v_s|}$$

โดยความถี่สวิตช์ f_s หาได้จาก

$$f_s = \frac{1}{t_{on} + t_{off}} = \frac{(V_d - |v_s|)|v_s|}{L_d \times I_{ripple} \times V_d}$$

$$I_{ripple} = \frac{(V_d - |v_s|)|v_s|}{f_s \times L_d \times V_d}$$

ในกรณีที่ความถี่สวิตช์ f_s คงที่ ข้อดีของวิธีนี้คือความถี่มีค่ามีค่าคงที่ทำให้สามารถกรองกระแสได้ง่ายเมื่อเทียบกับแบบอื่น

2. แบบฮิสเตอรีซิส (Hysteresis Control) เป็นการควบคุมรีปเปิลของกระแส i_L ให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการ จากสมการของ I_{ripple} สามารถแบ่งการควบคุมได้ 2 แบบดังนี้

2.1 แบบขอบเขตคงที่ (Constant-tolerance-band control)

การควบคุมโดยมีขอบเขต I_{ripple} = ค่าคงที่ รีปเปิลที่รีปเปิลที่กระแส i_L (Measured) จะถูกควบคุมให้มีกระแสรีปเปิล I_{ripple} คงที่ โดยค่า I_{ripple} จะถูกกำหนดโดยการออกแบบค่าอุปกรณ์ในวงจร และ i_L (Measured) จะถูกบังคับให้ไหลอยู่ในช่วงระหว่างค่า $i_L^* + I_{ripple}/2$ และ $i_L^* - I_{ripple}/2$

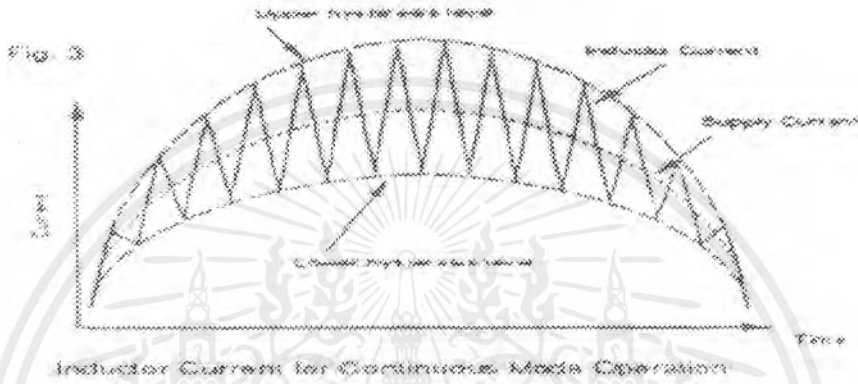
การควบคุมแบบนี้จะมีลักษณะวงจรถ่าย แต่จะพบว่าในขณะที่แรงดันขาเข้ามีค่าเป็นศูนย์ ความถี่ ก็จะเท่ากับศูนย์เช่นกัน นั่นคือ f_s จะไม่คงที่ซึ่งยากต่อการกรองความถี่ที่ไม่ต้องการออก และยังส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนการได้ยินอันเนื่องจากความถี่อยู่ในย่านที่ได้ยินได้

2.2 แบบขอบเขตมีการเปลี่ยนแปลง (Variable-tolerance-band control)

การควบคุมแบบนี้ I_{ripple} จะไม่คงที่โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบ่งได้ดังนี้

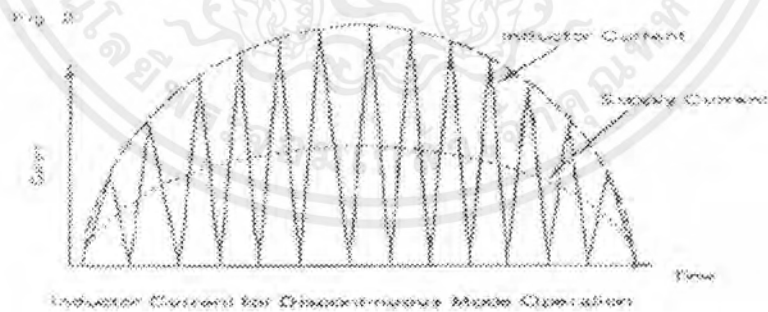
2.2.1 $I_{ripple} \propto |v_s|$ ลักษณะกระแสที่ได้จะมีความถี่ที่คงที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับแบบ I_{ripple} คงที่ แต่ดวงจรจะซับซ้อนมากขึ้น และยังคงมีปัญหาสัญญาณรบกวนที่ความถี่ที่ได้ยินได้ เพราะที่ $|v_s|$ มีค่าสูงๆ ค่า $V_d - |v_s|$ จะต่ำทำให้ f_r มีค่าต่ำในระดัที่ได้ยินได้ มี 2 แบบ คือ

- แบบกระแสต่อเนื่อง (Continuous current control)



รูปที่ 5.5 รูปคลื่นกระแสแบบต่อเนื่อง

- แบบกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous current control)



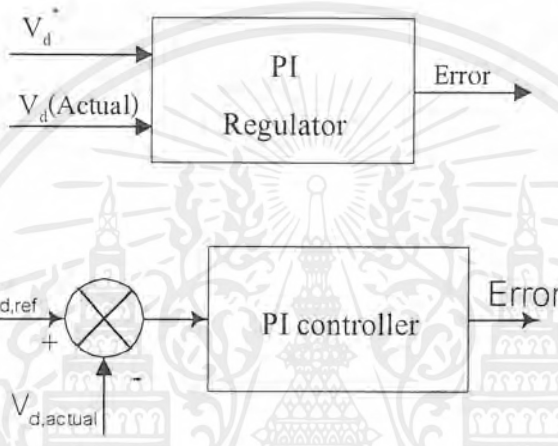
รูปที่ 5.6 รูปคลื่นกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 $I_{ripple} \propto (V_d - |v_s|)v_s$ ลักษณะกระแสจะมีความถี่ที่คงที่มากที่สุด เทียบกับวิธีอื่นในการควบคุมแบบฮิสเทอรีซิส แต่วงจรก็ซับซ้อนที่สุดเช่นกัน วิธีนี้จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนต่อการได้ยีน

3. วงจรที่ใช้ควบคุม

3.1 วงจร PI Regulator



(a) บล็อกไดอะแกรมของชุด PI Regulator



$R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 1k\Omega$, $R_3 = 10k\Omega$, op-amp TL072 , $C = 0.47\mu F$

(b) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Voltage Comparator) (c) วงจรชุดควบคุมแบบ PI

รูปที่ 5.7 ชุด PI Regulator

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะทำหน้าที่หาผลต่างของสัญญาณแรงดันโดยจากรูปที่ 5.7 (b) สัญญาณ $v_{error} = \frac{R_2}{R_1}(V_{O,ref} - V_{O,actual})$

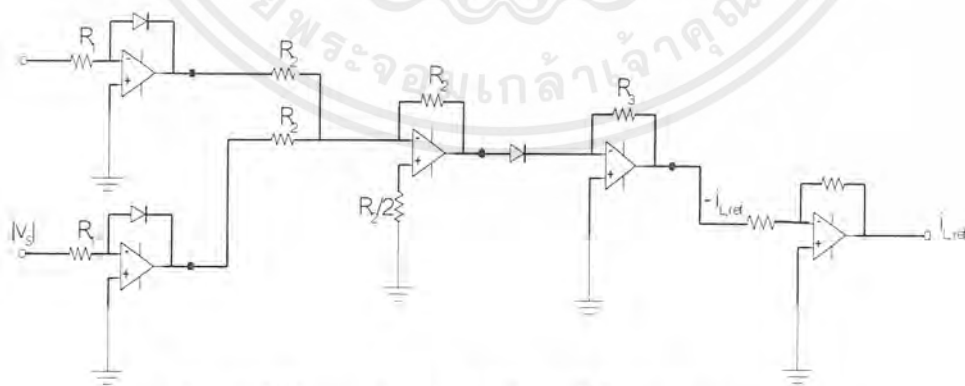
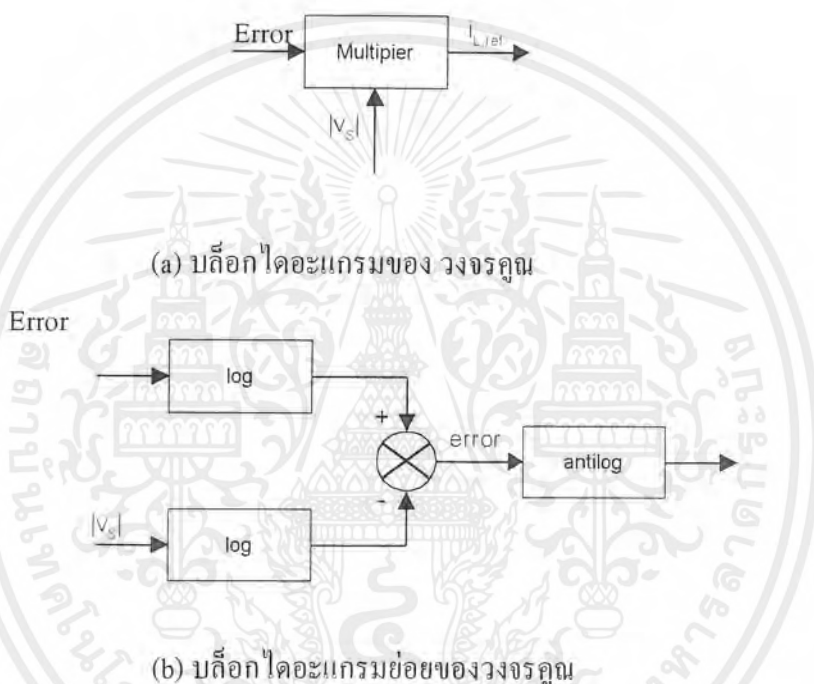
ชุดควบคุมแบบ PI ประกอบด้วยออปแอมป์(Op-Amp) 2 ตัว โดยตัวแรกจะทำให้เกิดสัญญาณ -Error ตัวที่สองจะทำหน้าที่กลับสัญญาณให้เป็น +Error โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_C = \frac{R_4}{R_3} + \frac{1}{R_3 C_1} \int v_{error} dt$$

3.2 วงจรคูณ

วงจรมูคูณนำมาใช้คูณสัญญาณ $|v_s|$ กับ Error เพื่อให้ได้กระแส $i_{L,ref}$ เป็นลักษณะรูปคลื่นเดียวกับ $|v_s|$ และขนาดของ $|i_L|$ ที่ขึ้นกับ Error เพื่อควบคุมให้แรงดันเอาต์พุตคงที่



$R_1 = R_2 = 1K\Omega$, R_3 ปรับค่าได้ $20K\Omega$, DIODE 1N4148

(c) วงจรมูคูณโดยใช้โอปแอมป์

รูปที่ 5.8 บล็อกไดอะแกรมและวงจรมูคูณ

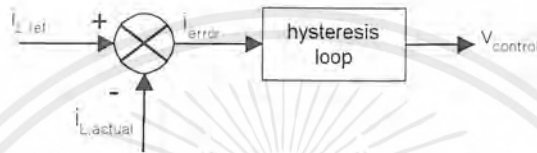
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของวงจรถูกนี้ จะอาศัยหลักการกระแสของไดโอด ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันเป็นเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยถ้าเลือกค่าตัวต้านทานที่เหมาะสมจะได้

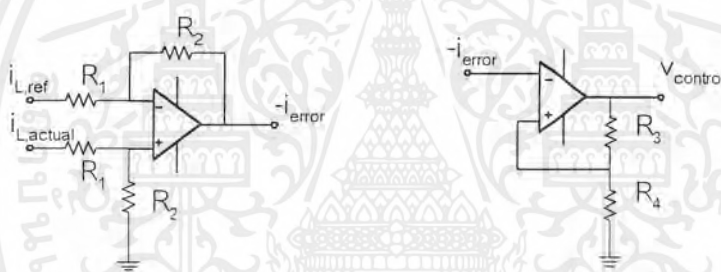
$$i_{L,ref} = Error \times |v_s|$$

3.3 ส่วนควบคุมกระแส

ลักษณะการควบคุมกระแส มีหลายวิธีด้วยกัน สำหรับวิธีที่จะนำมาใช้คือ tolerance-band control โดยกระแส i_L จะถูกควบคุมให้มีค่ากระแสเพิ่ม (i_{np}) คงที่เทียบกับ $I_{L,ref}$ โดยมีลักษณะการต่อวงจรดังรูป



(a) บล็อกไดอะแกรมของ ส่วนควบคุมกระแส



$$R_1 = R_2 = 1k\Omega, R_3 \text{ ปรับค่าได้}, R_4 = 20\Omega$$

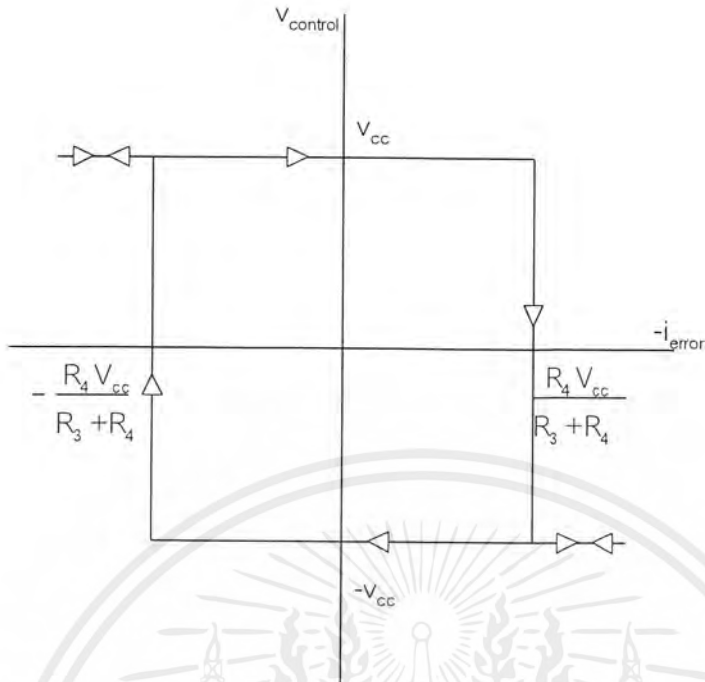
(b) วงจรเปรียบเทียบกระแส

(c) วงจรฮิสเตอร์รีซิส ลูป

รูปที่ 5.9 บล็อกไดอะแกรมและ วงจรของส่วนควบคุมกระแส

ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบกระแส จะมีลักษณะเดียวกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดย

$$i_{error} = \frac{R_2}{R_1} (i_{L,ref} - i_{L,actual}) \text{ สำหรับวงจรฮิสเตอร์รีซิส (hysteresis) นั้นสัญญาณควบคุมที่ได้ (} v_{control} \text{) จะมีลักษณะตาม } -i_{error} \text{ ดังรูป 5.10}$$



รูปที่ 5.10 วงจรฮีสเตอร์รีซิส ดูป

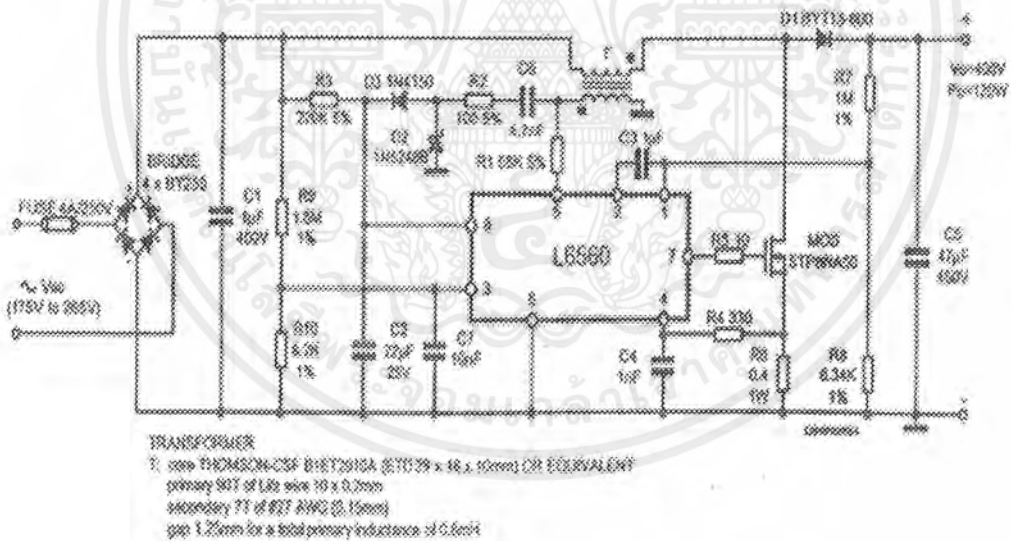
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

6.1 วงจรบูสต์พรีเรกกูเลเตอร์

ในบทที่ 5 ที่ผ่านมาได้มีการอธิบายถึงรายละเอียดของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ โดยการสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตช์โดยนำออปแอมป์หลายๆตัวมาต่อเข้าด้วยกัน ซึ่งได้มีการออกแบบและสร้างวงจรขึ้นแล้วในโครงการ 1 ในภาคการศึกษาแรกที่ผ่านมา และได้มีการทดลอง และ เก็บผลสำหรับการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของวงจรไดโอดบริดจ์เรียงกระแส ที่โหลดเอาต์เป็นโหลดคิงรูปผลการทดลองในบทต่อไป

สำหรับในโครงการ 2 นั้นได้มีการนำ IC เบอร์ L6560 มาใช้แทนการต่อออปแอมป์ ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะช่วยลดขนาด และน้ำหนักของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ให้เบาและกะทัดรัดขึ้นสำหรับวงจรการทดลอง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 6.1

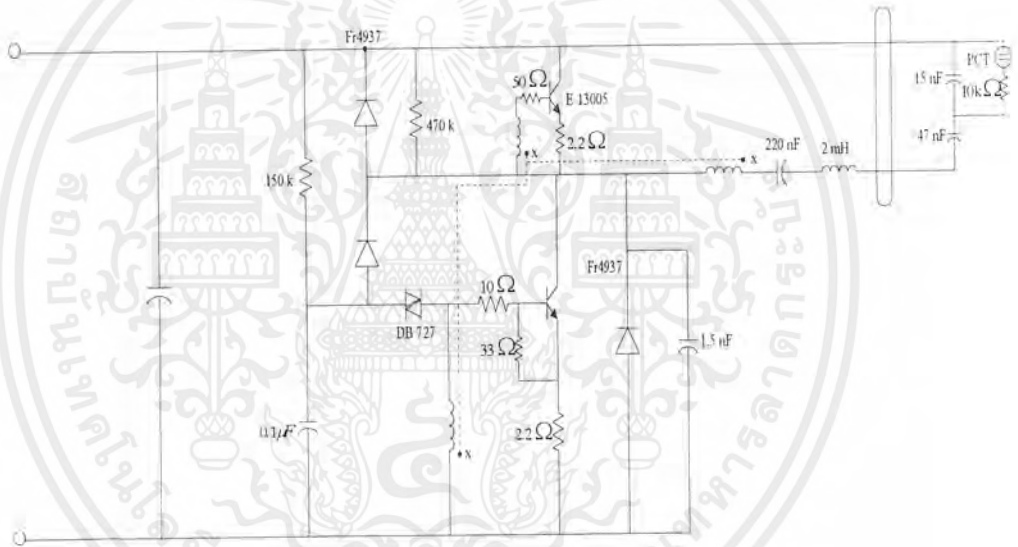


รูปที่ 6.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ IC L6560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 หลักการทำงานของ Self Half Bridge Series Resonant Parallel Loaded Inverter (Saturable Reactor) หลักการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ Half Bridge Converter โดยใช้วงจรขับสวิตช์แบบ Saturable Reactor

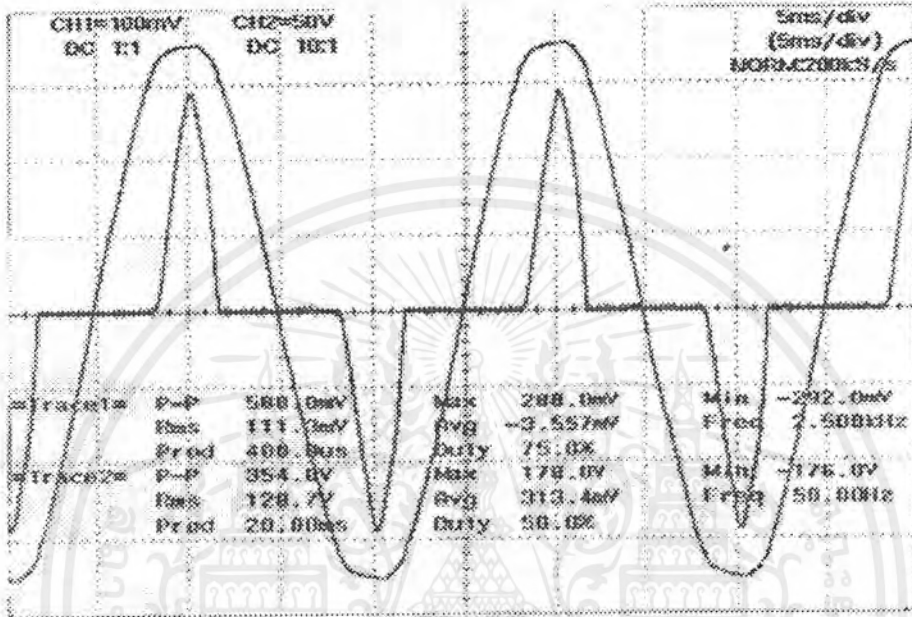
หลักการทำงานนี้จะใช้ขดลวดเป็นหัวใจสำคัญของวงจร โดยจะให้ขดลวดด้านหนึ่งเป็นตั้งหนึ่งขดนำให้อีก 2 ด้านทำงานสลับกัน เมื่อเกิดการอิ่มตัวของขดลวดไพโรมารี โดยข้อดีของหลักการนี้คือ ใช้แกน terroide ซึ่งทำจากสาร ferrite จึงทำให้มีคุณสมบัติที่สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ โดยมีค่าการสูญเสียต่ำ และมีข้อเสียคือ อิ่มตัวได้ง่าย ซึ่งสามารถประยุกต์ข้อเสียนี้มาใช้ในการขับ switch ให้ทำงานได้ดี อีกทั้งแกน terroide ยังมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ซึ่งทำให้ขนาดของ Ballast ไม่ใหญ่มาก และราคาไม่แพงจนเกินไป



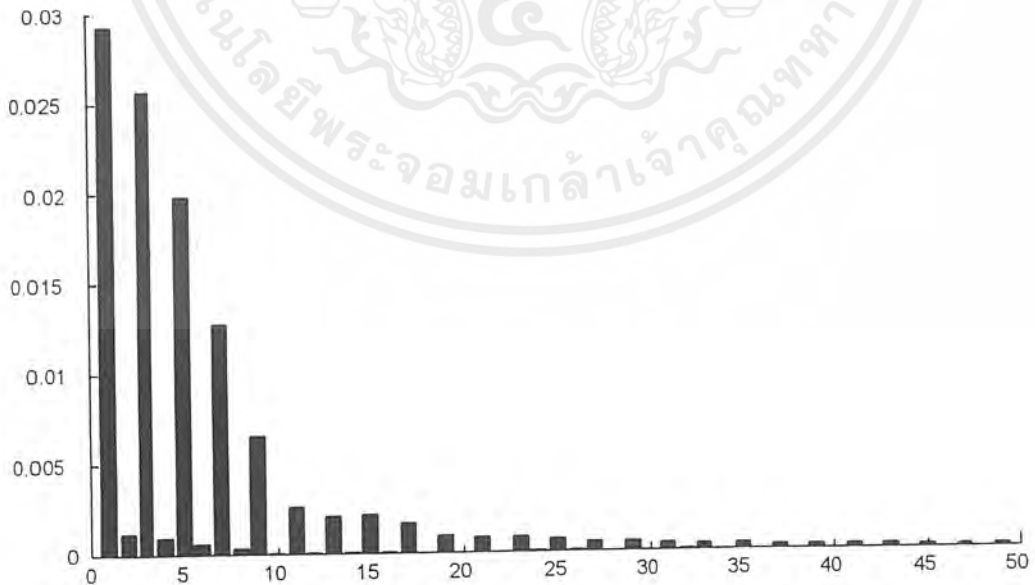
รูปที่ 6.2 วงจร Self Half Bridge Series Resonant Parrallel load Inverter

บทที่ 7

ผลการทดลอง



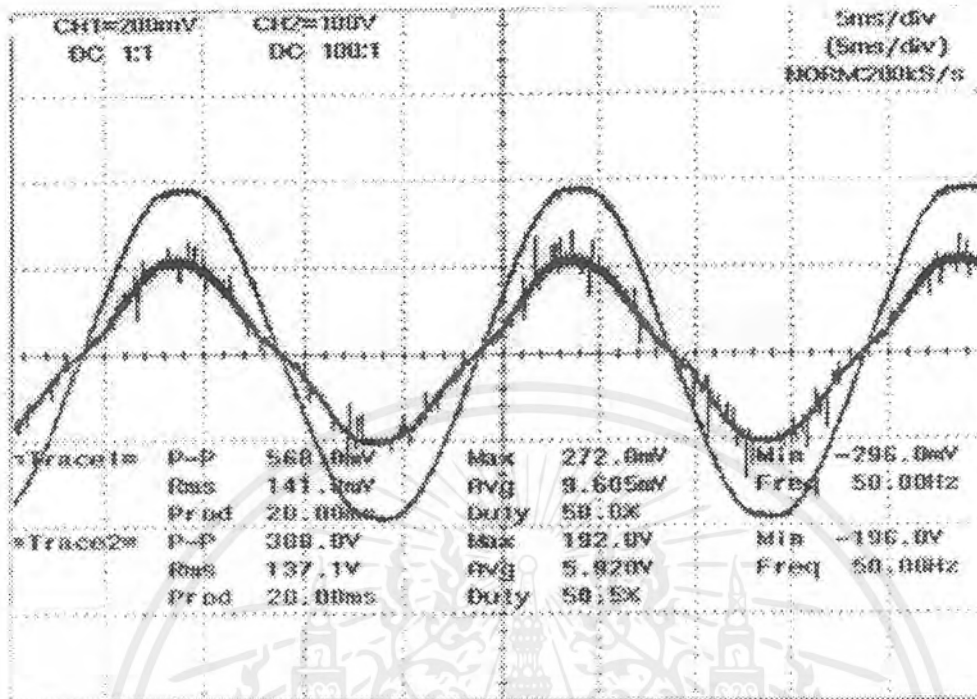
รูปที่ 7.1 แรงดันและกระแสเมื่อไม่มีชุดบูสท์คอนเวอร์เตอร์



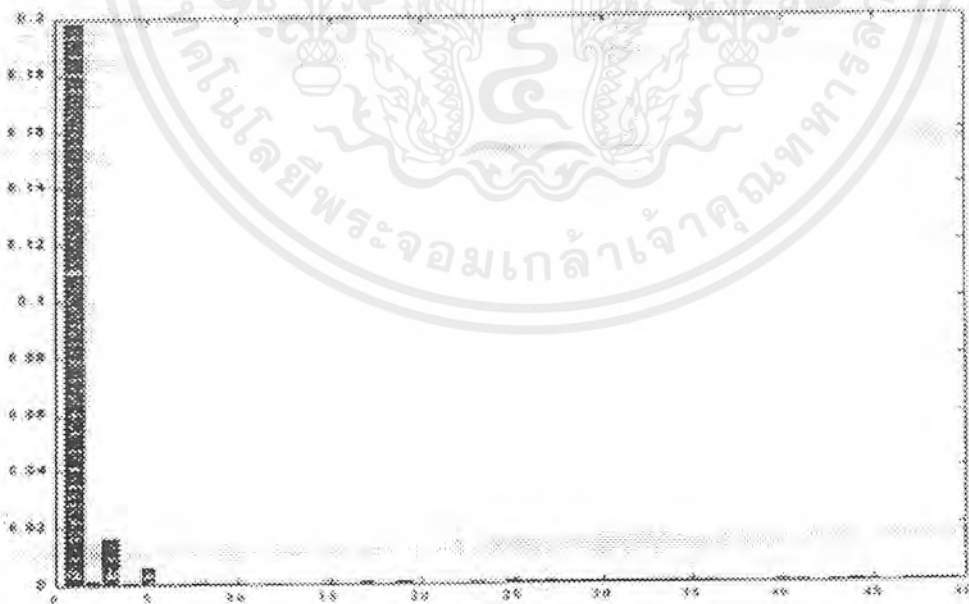
รูปที่ 7.2 ฮาร์โมนิกส์ของกระแสเมื่อไม่มีชุดบูสท์คอนเวอร์เตอร์

THD = 122.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



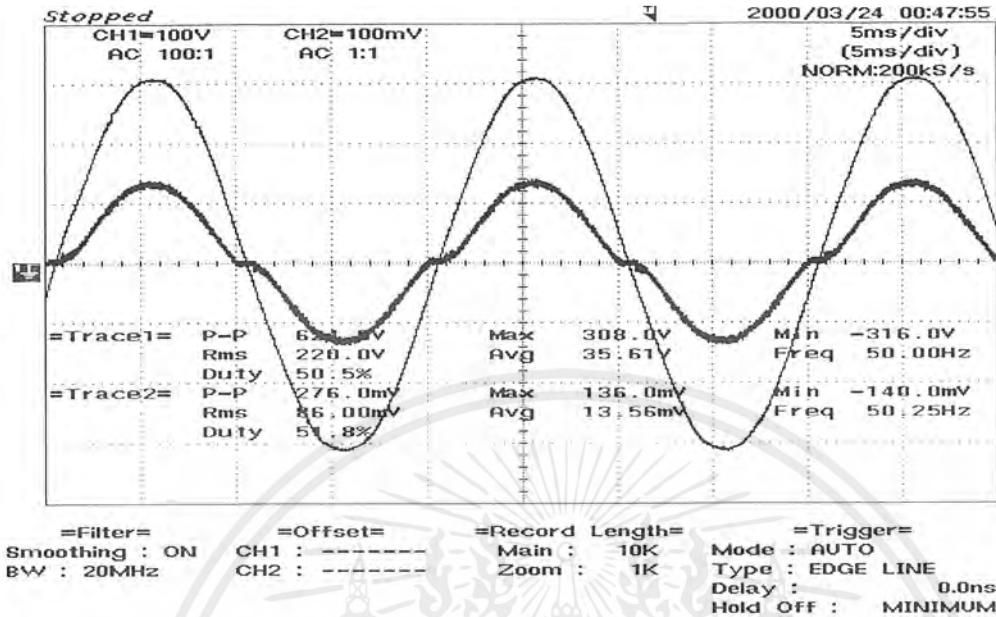
รูปที่ 7.3 แรงดันและกระแสเมื่อมีชุดบูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการ
ใช้อุปกรณ์สร้างสัญญาณควบคุม



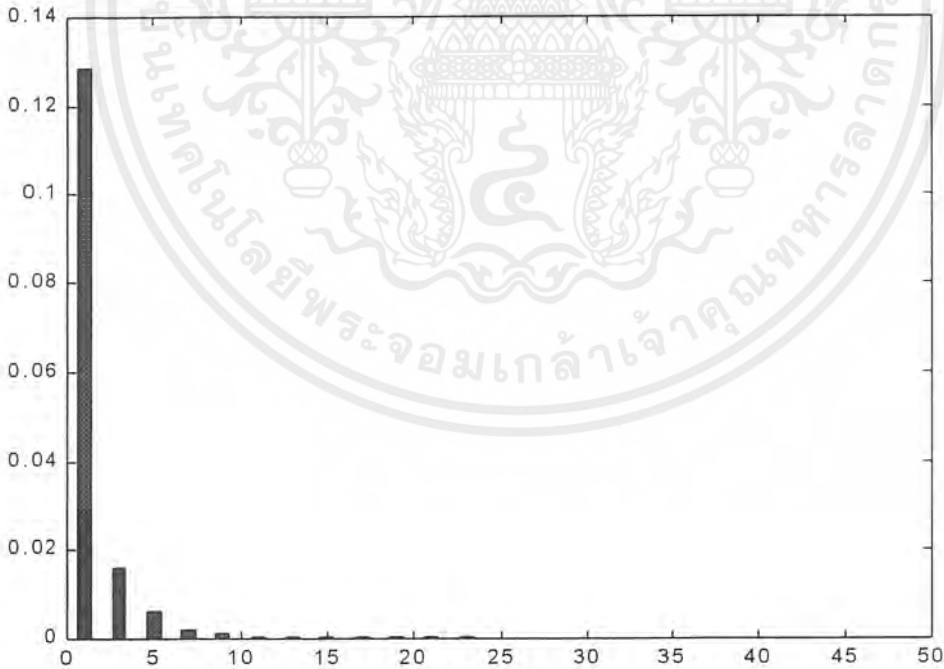
รูปที่ 7.4 ฮาร์มอนิกส์ของกระแสเมื่อมีชุดบูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการ
ใช้อุปกรณ์สร้างสัญญาณควบคุม

$$\text{THD} = 10.5\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



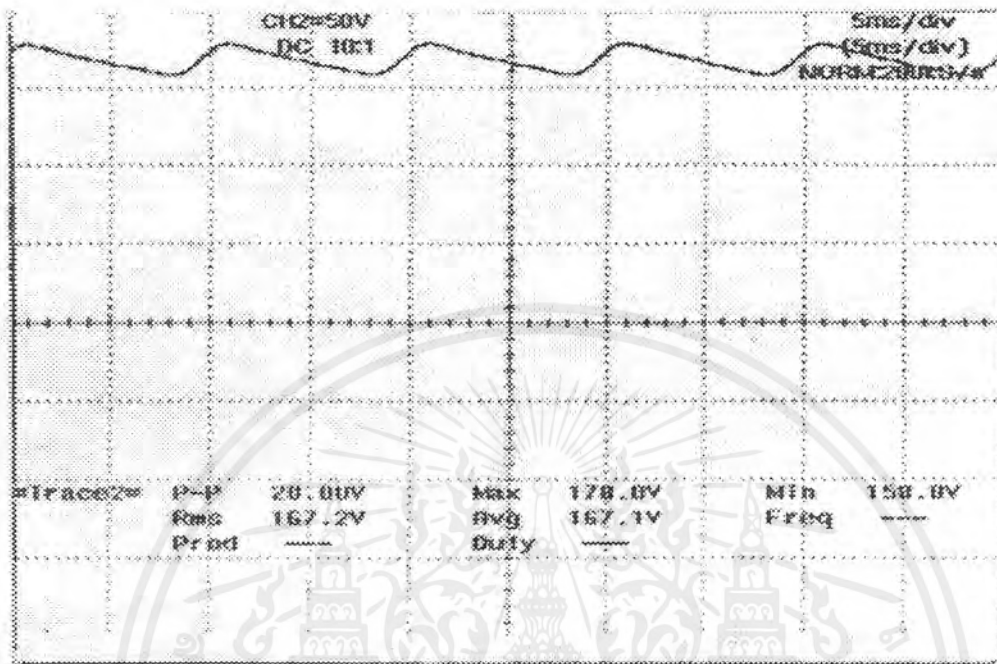
รูปที่ 7.5 แรงดันและกระแสเมื่อมีชุดบูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการ
ใช้ IC เบอร์ L6560 สร้างสัญญาณควบคุม



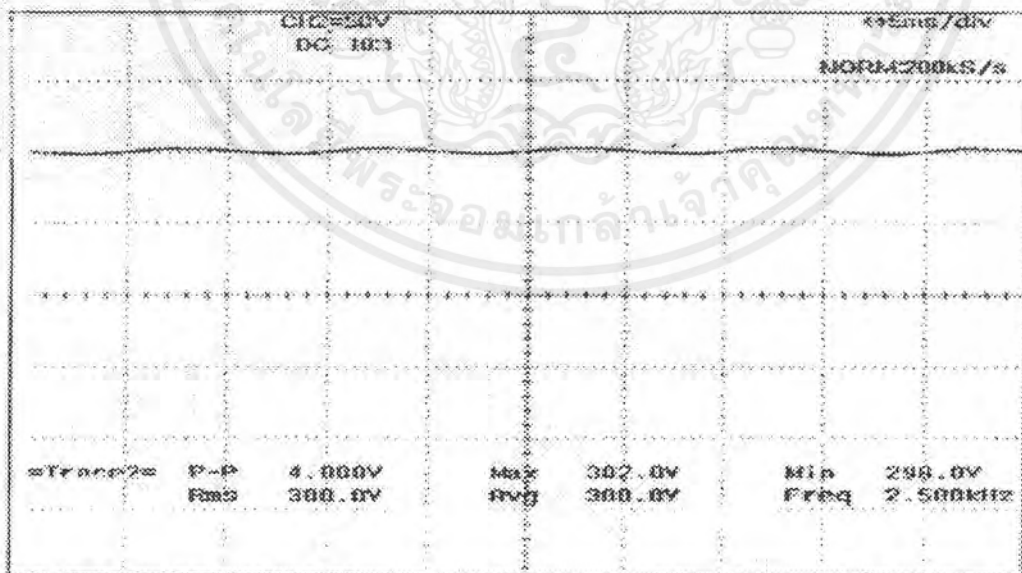
รูปที่ 7.6 ฮาร์มอนิกส์ของกระแสเมื่อมีชุดบูสท์คอนเวอร์เตอร์โดยการ
ใช้ IC เบอร์ L6560 สร้างสัญญาณควบคุม

THD = 13.66 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

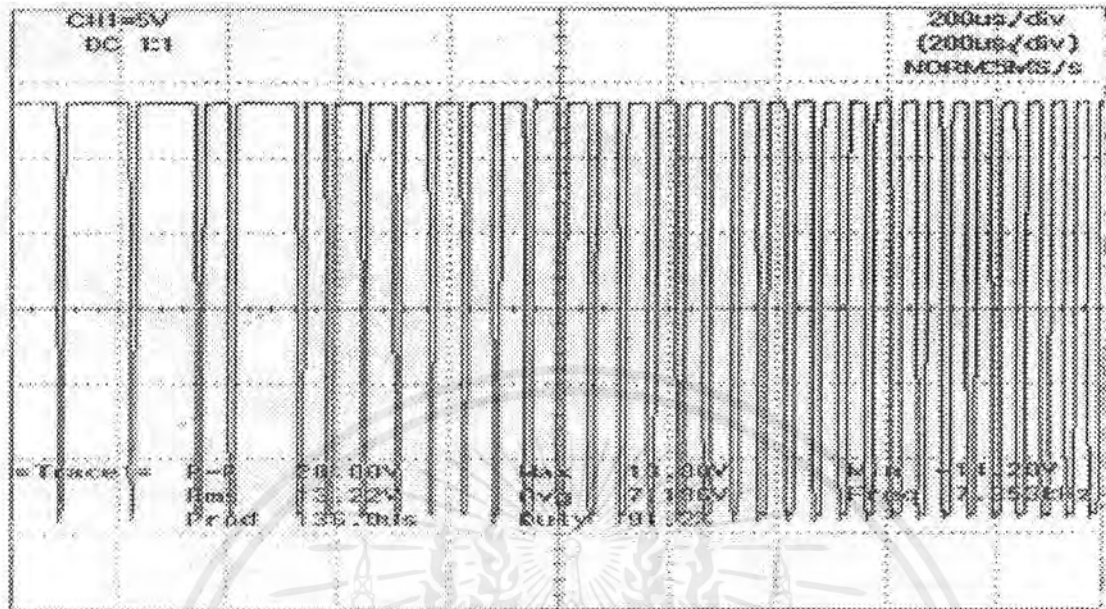


รูปที่ 7.7 แรงดัน DC Link ขณะไม่มีบูสท์คอนเวอร์เตอร์

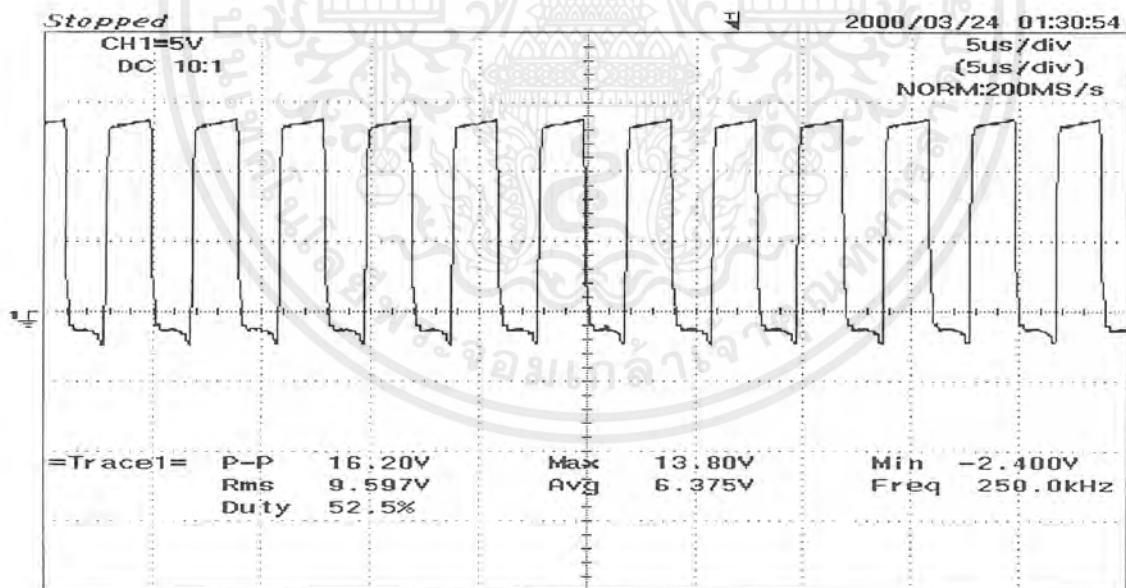


รูปที่ 7.8 แรงดัน DC Link ขณะมีบูสท์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



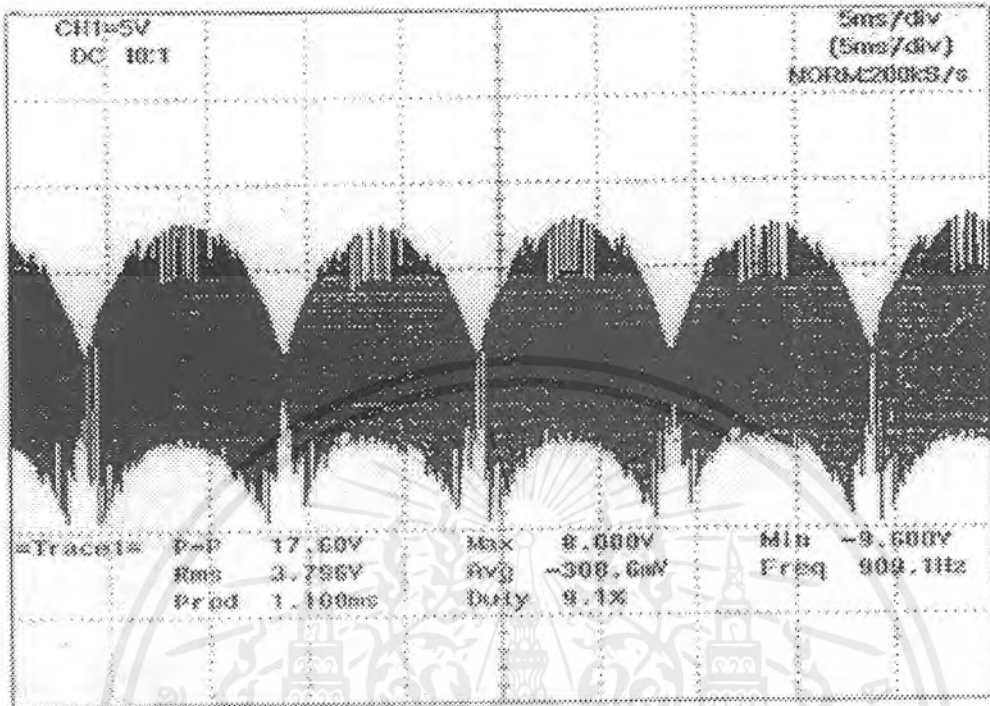
รูปที่ 7.9 สัญญาณเกทของบัสท์คอนเวอร์เตอร์เตอร์โดยการใช้อปแอมป์



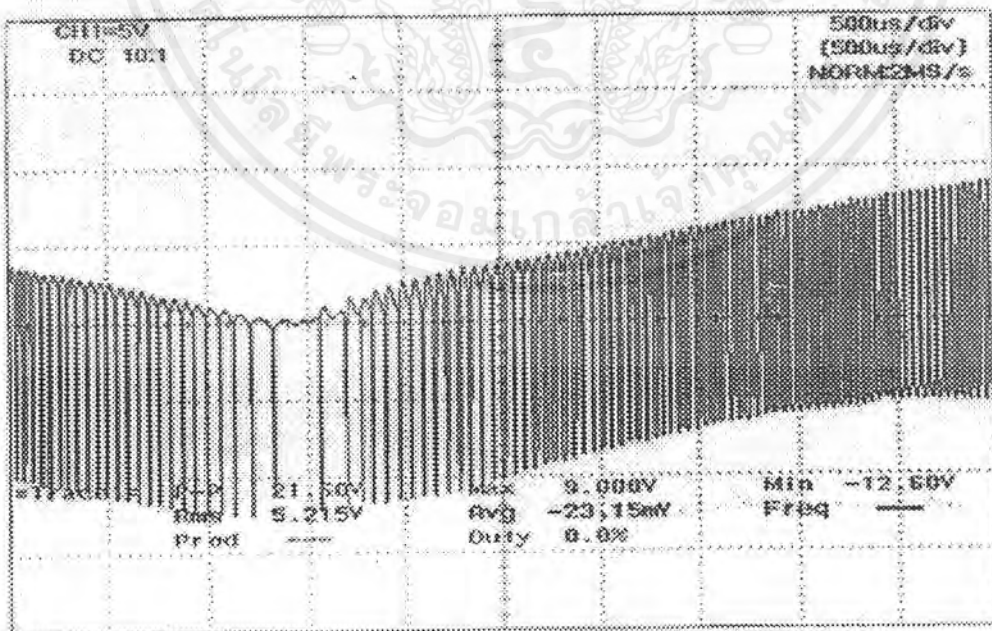
=Filter=	=Offset=	=Record Length=	=Trigger=
Smoothing : ON	CH1 : 0.00V	Main : 10K	Mode : AUTO
BW : 20MHz	CH2 : -----	Zoom : 1K	Type : EDGE LINE
			Delay : 0.0ns
			Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ 7.10 สัญญาณเกทของบัสท์คอนเวอร์เตอร์เตอร์โดยการใช้ IC L6560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



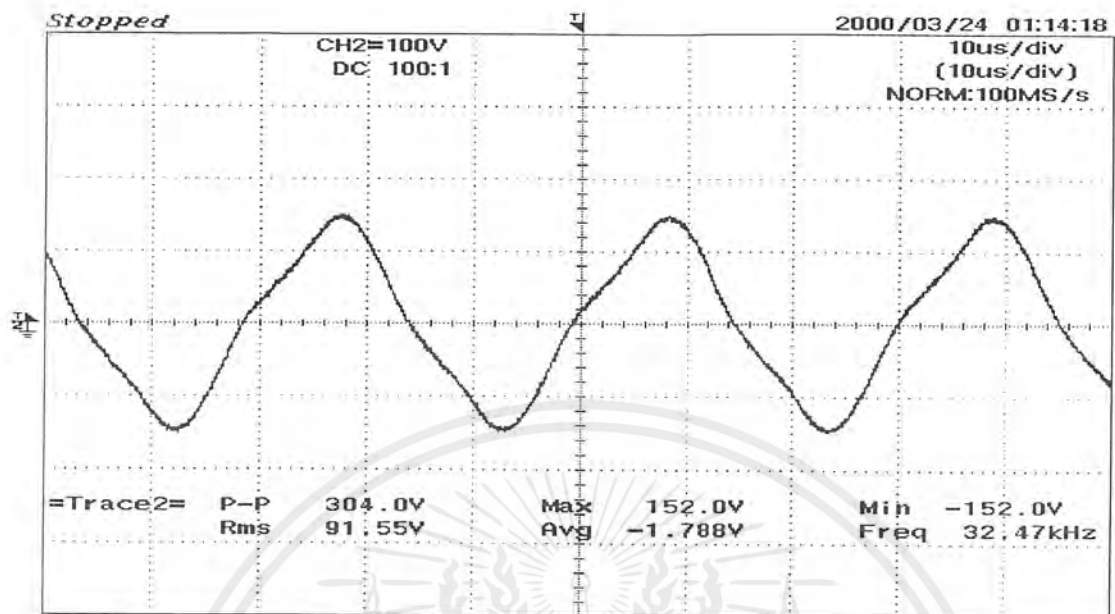
รูปที่ 7.11 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลังของบูสท์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 7.12 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรกำลังของ

บูสท์คอนเวอร์เตอร์ขณะขยายภาพสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



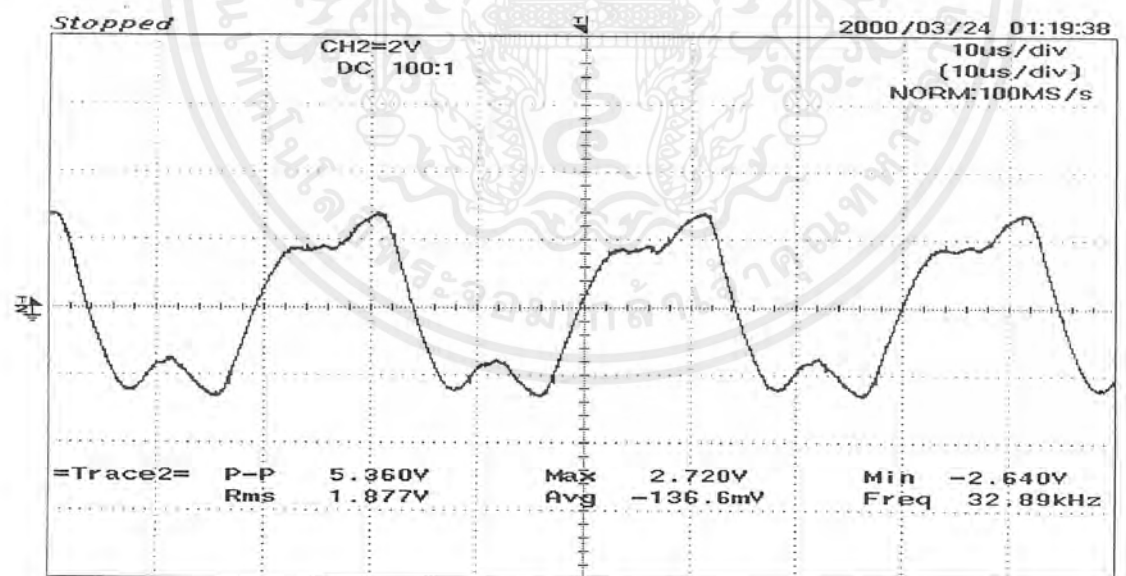
=Filter= Smoothing : ON
BW : FULL

=Offset= CH1 : 0.00V
CH2 : 0V

=Record Length= Main : 10K
Zoom : 500

=Trigger= Mode : AUTO
Type : EDGE CH2 \uparrow
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 7.13 แรงดันตกคร่อมขั้วหลอดที่อยู่ด้านต่างกัน



=Filter= Smoothing : ON
BW : FULL

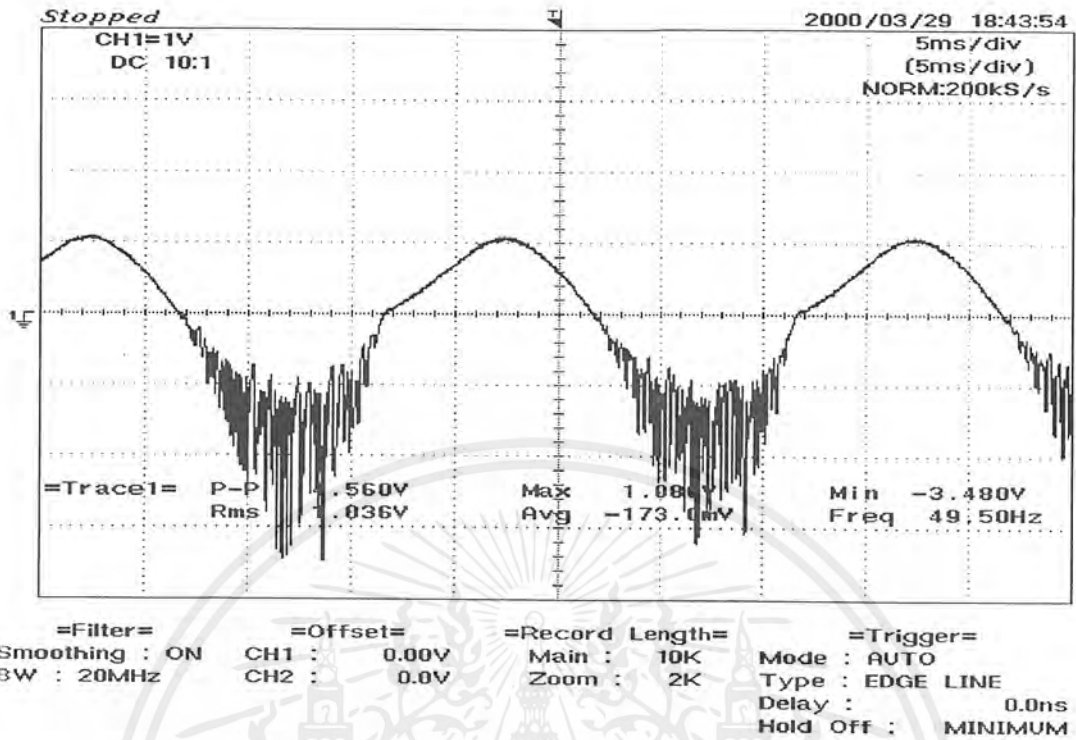
=Offset= CH1 : 0.00V
CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K
Zoom : 500

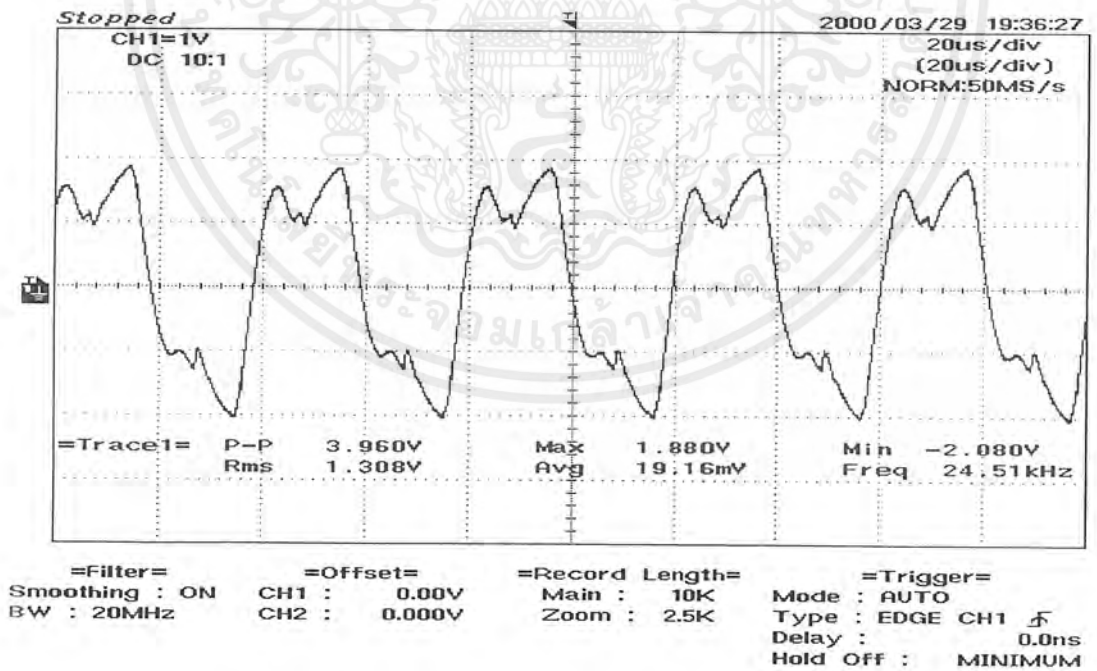
=Trigger= Mode : AUTO
Type : EDGE CH2 \uparrow
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 7.14 แรงดันตกคร่อมขั้วหลอดที่อยู่ด้านเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

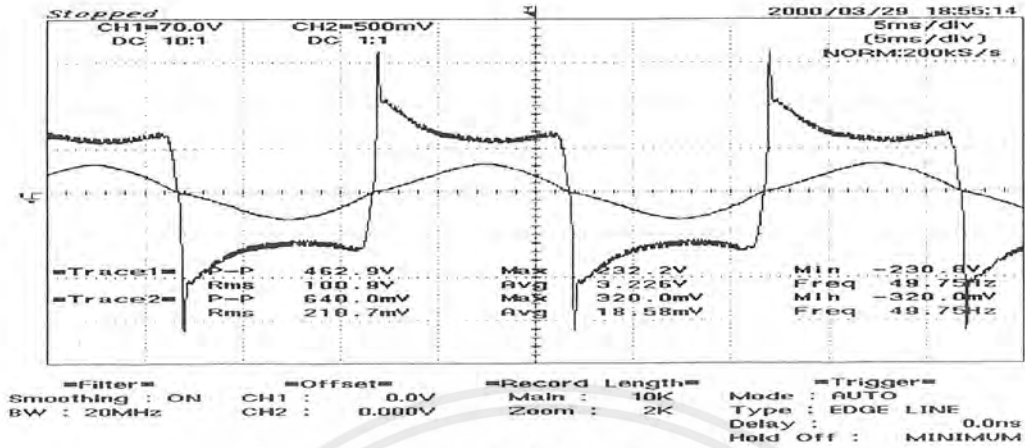


รูปที่ 7.15 แรงดันตกคร่อมที่ต้านเดียวกันของขั้วหลอด
เมื่อใช้บัลลาสต์แบบแมกเนติกทั่วไป

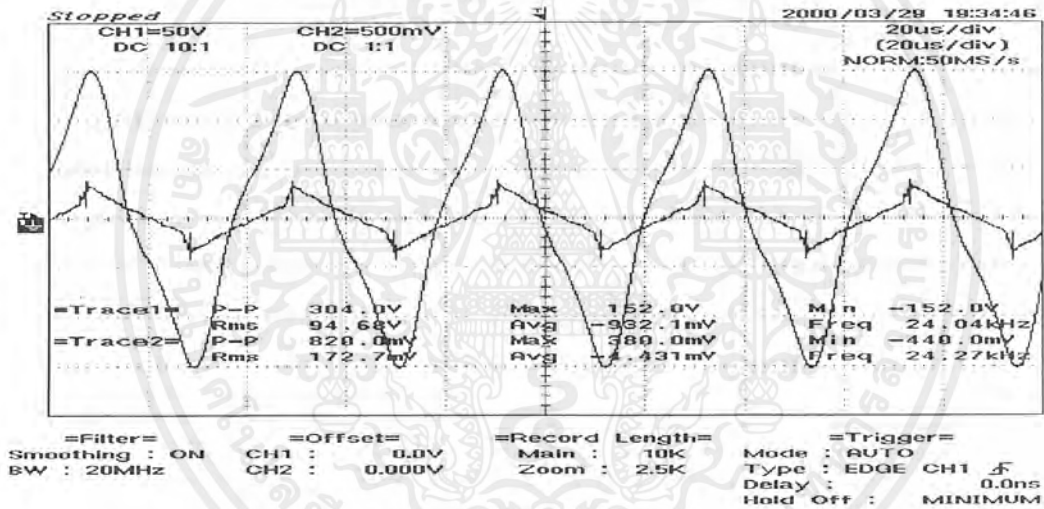


รูปที่ 7.16 แรงดันตกคร่อมที่ต้านเดียวกันของขั้วหลอด
เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

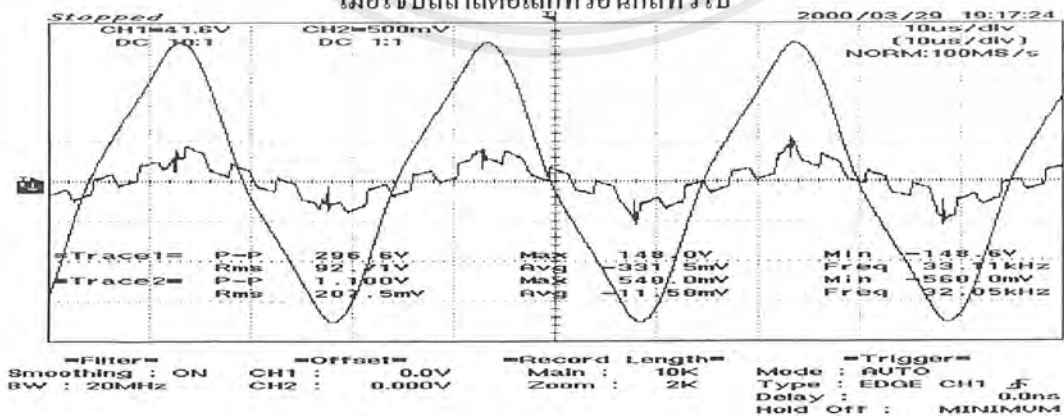
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.17 แรงดันตกคร่อมที่ด้านตรงข้ามกันของขั้วหลอด
เมื่อใช้บัลลาสต์แบบแมกเนติกทั่วไป



รูปที่ 7.18 แรงดันตกคร่อมที่ด้านตรงข้ามกันของขั้วหลอด
เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป



รูปที่ 7.17 แรงดันตกคร่อมที่ด้านตรงข้ามกันของขั้วหลอด
เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้ IC L6560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทวิจารณ์และสรุป

ปัจจุบันบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เริ่มเป็นที่นิยมใช้งานกันมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากคุณสมบัติในการทำงานของตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น สามารถประหยัดพลังงาน , มีกำลังงานสูญเสีย น้อย , ให้ประสิทธิภาพ และ ความสว่างดีขึ้น เป็นต้น จากเหตุผลที่กล่าวมา จึงได้มีการค้นคว้า และ พัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบบต่างๆ มากขึ้น แต่ที่นิยมนำมาใช้ใช้งานกันมากในปัจจุบัน คือแบบ Half-Bridge Converter ที่ใช้วงจร Saturable Reactor ควบคุมการทำงานของสวิตช์ และในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนานำ IC มาใช้ควบคุมการทำงานของสวิตช์มากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการควบคุมวงจรไม่ยุ่งยาก ขนาดเล็ก และ ราคาไม่แพงมากนัก ทั้งยังสามารถทำให้ขนาดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เล็ก และน้ำหนักเบาไปด้วย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิจัยส่วนประกอบสำคัญภายในวงจร, หลักการทำงาน, การออกแบบ, การปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อทำให้ได้ค่า Power Factor ดีขึ้น ทั้งแบบที่ใช้โอปแอมป์มา ต่อกันเป็นวงจรควบคุม ในส่วนโครงงานที่ 1 และ แบบที่ใช้ IC สำเร็จรูปมาเป็นวงจรควบคุม และ ทำการทดลองตาม มาตรฐาน มอก. 1506-2541

จากการที่นำวงจร IC เบอร์ L6560 มาเป็นวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์ ผลการทดลองที่ได้กลับพบว่า วงจรควบคุมในโครงงานที่ 1 ให้ผลการทดลองที่ดีกว่า แบบ IC เบอร์ LC 6560 เหตุผลน่าจะมาจากการปรับแต่งค่าในส่วนต่างๆของวงจรไม่เหมาะสมทำให้ผลการทดลองไม่ อยู่บนเงื่อนไขเดียวกัน

บทที่ 9

ปัญหาและประสบการณ์ในการทำงาน

1. ในการใช้อุปกรณ์ในการสร้างสัญญาณควบคุมของบูสท์คอนเวอเตอร์ ควรเลือกใช้เบอร์ออปแอมป์ที่มีความไวในการตอบสนองที่เพียงพอไม่เช่นนั้นจะทำให้แบนด์ของวงจรถือสแตอ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ตั้งไว้หรืออาจทำให้กระแสที่ได้ผิดเพี้ยนไปมาก ออปแอมป์เบอร์ TL072 เป็นเบอร์หนึ่งที่มีความไวค่อนข้างสูงและเหมาะในการทำงาน
2. ในการใช้ IC สำเร็จเพื่อสร้างสัญญาณควบคุม ควรมีการทำความเข้าใจหลักการทำงานของ IC ตัวนั้นก่อน เพื่อที่หากสัญญาณที่ได้ไม่เหมาะสม จะได้สามารถเพิ่มหรือลดค่าอุปกรณ์ที่เหมาะสมได้
3. ในการทดลองการทำงานของวงจรถือสแตอ์โดยการต่อวงจรลงบนแผ่นไฟโตบอร์ดนั้น ผลการทดลองที่ได้อาจจะไม่ดีนัก เนื่องจากสายไฟที่ใช้ในการต่อยาว และมีจำนวนมาก ทำให้เกิดการรบกวนขึ้นในวงจรได้ เมื่อนำมาต่อลงบนแผ่นปริ้นท์ ผลที่ได้จึงอาจจะดีกว่า
4. ในการต่อชุดอินเวอร์เตอร์ของแบตเตอรี่ จะเกิดการเสียหายของอุปกรณ์บ่อยครั้ง โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์ และตัวต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาของทรานซิสเตอร์ เนื่องมาจากค่าต่างๆของอุปกรณ์ยังไม่เหมาะสม จึงจำเป็นในการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุด



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1506-2541)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดประเภท คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่าง และเกณฑ์การตัดสิน และการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์”
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 50 หรือ 60 เฮิรตซ์ แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 1000 โวลต์ และใช้ร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีลักษณะสมบัติที่กำหนดใน มอก. 236
- 1.3 ข้อกำหนดต่างๆที่เกี่ยวกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีจุดประสงค์เพื่อแสดงสมรรถนะที่ต้องการ โดยไม่รวมถึงการติดตั้งใช้งาน ซึ่งต้องเป็นไปตามความต้องการทางเทคนิคของงานแต่ละประเภท
- 1.4 การทดสอบตามมาตรฐานนี้คือการทดสอบเฉพาะแบบ ตามข้อกำหนดและค่าความผิดพลาดในมาตรฐานนี้

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic ballast) หมายถึง อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยตัวแปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กับอุปกรณ์ทำให้เสถียร เพื่อจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์หลอดเดี่ยวหรือหลายหลอด ซึ่งปกติทำงานที่ความถี่สูง
- 2.2 อุปกรณ์ช่วยจุดหลอด (starting aid) หมายถึง แก๊สตัวนำที่ติดด้านนอกของหลอดหรือแผ่นตัวนำที่วางอยู่ข้างๆหลอดในระยะที่เหมาะสมค่าหนึ่ง
อุปกรณ์ช่วยจุดหลอดนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อมีความต่างศักย์กับปลายหลอดข้างหนึ่งอย่างเพียงพอ
- 2.3 ตัวประกอบการส่องสว่างของบัลลาสต์ (ballast lumen factor) หมายถึง อัตราส่วนของแสงสว่างจากหลอด เมื่อให้บัลลาสต์ที่ทดสอบทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด กับแสงสว่างที่ได้จากหลอดเดียวกัน เมื่อต่อกับบัลลาสต์อ้างอิงที่เหมาะสมซึ่งได้รับการป้อนพลังงานที่แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.4 บัลลาสต์อ้างอิง (reference ballast) หมายถึง บัลลาสต์พิเศษที่ออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ให้ มีมาตรฐานเปรียบเทียบสำหรับการทดสอบบัลลาสต์และเพื่อเลือกหลอดอ้างอิง บัลลาสต์อ้างอิงจะต้องมีลักษณะสมบัติจนเป็นที่ประจักษ์ว่า ที่ความถี่ที่กำหนดบัลลาสต์มีอัตราส่วนแรงดันต่อกระแสคงที่โดยจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง เมื่อถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงของ กระแส อุณหภูมิ และสนามแม่เหล็กโดยรอบ ตามที่ให้รายละเอียดไว้ในมาตรฐานนี้
- 2.5 หลอดอ้างอิง (reference lamp) หมายถึง หลอดซึ่งเลือกมาเพื่อการทดสอบบัลลาสต์ โดยเมื่อ ต่อกับบัลลาสต์อ้างอิงตามภาวะที่กำหนด จะมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าใกล้เคียงกับค่าที่ระบุ ในมาตรฐานของหลอดแต่ละชนิด
- 2.6 กระแสสอบเทียบของบัลลาสต์อ้างอิง (calibration current of a reference ballast) หมายถึง ค่าของกระแสซึ่งเป็นพื้นฐานของการสอบเทียบและการควบคุมของบัลลาสต์
- 2.7 กำลังวงจรทั้งหมด (total circuit power) หมายถึง ค่ากำลังทั้งหมดที่ถูกใช้งานโดยบัลลาสต์ และหลอดรวมกันที่แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนดของบัลลาสต์
- 2.8 ตัวประกอบกำลังของวงจร (circuit power factor, λ) หมายถึง ตัวประกอบกำลังของการ ต่อรวมระหว่างบัลลาสต์และหลอด
- 2.9 บัลลาสต์ตัวประกอบกำลังสูง (high power factor ballast) หมายถึง บัลลาสต์ที่มีตัวประกอบ กำลังของวงจรอย่างน้อย 0.85
- หมายเหตุ ค่าตัวประกอบกำลัง คิดรวมผลของความถี่ของรูปคลื่น
- 2.10 บัลลาสต์อิมพีแดนซ์ความถี่เสียงสูง (high audio-frequency impedance ballast) หมายถึง บัล ลลาสต์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ในพิสัยความถี่ 250 เฮิรตซ์ ถึง 2000 เฮิรตซ์ มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ใน ข้อ 4.9
- 2.11 บัลลาสต์ความเพี้ยนต่ำ (low distortion type ballast) หมายถึง บัลลาสต์ที่มีส่วนประกอบฮาร์ มอนิกน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในข้อ 4.7.1
- 2.12 การจุดแบบเผาไส้ก่อน (preheat starting) หมายถึง ชนิดของวงจรซึ่งไส้หลอดจะถูกทำให้ ร้อนจนถึงอุณหภูมิปล่อยอิเล็กตรอนจากไส้หลอด
- 2.13 การจุดแบบไม่เผาไส้ก่อน (non-preheat starting) หมายถึง ชนิดของวงจรซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดสูงเพื่อสร้างสนามการปล่อยอิเล็กตรอนจากไส้หลอด
- 2.14 เวลาจุด (pre-start time) หมายถึง คาบหลังจากเปิดสวิตช์ป้อนแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย ซึ่งกระแสหลอดน้อยกว่า หรือเท่ากับ 10 มิลลิแอมแปร์

3. ประเภท

- 3.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ประเภทธรรมดา

3.1.2 ประเภทตัวประกอบกำลังของวงจรน้อยกว่า 0.95 กระแสนำหน้า (leading) (มีสัญลักษณ์ C ตามหลังค่าตัวประกอบกำลัง)

3.1.3 ประเภทผ่านเกณฑ์อิมพีแดนซ์ความถี่เสียง (มีสัญลักษณ์ Z)

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 ข้อกำหนดทั่วไป

บัลลาสต์ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานนี้ เมื่อใช้กับหลอดตาม มอก. 236 และ มอก. 956 หรือหลอดอื่นๆที่ใช้งานในพิสัยความถี่สูงต้องสามารถจุดหลอดได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่อุณหภูมิโดยรอบตั้งแต่ 10 ถึง 35 องศาเซลเซียส และใช้งานได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่อุณหภูมิ 10 ถึง 50 องศาเซลเซียสเมื่อแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 92 กับ 106 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด หมายเหตุ ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่แสดงไว้ในตารางข้อมูลของหลอดใน มอก. 236 และ IEC 901 ซึ่งให้ทำงานกับบัลลาสต์อ้างอิงที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดที่ความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์อาจเบี่ยงเบนไปเมื่อให้ทำงานกับบัลลาสต์ความถี่สูงและภาวะตามข้อ 5.3 (2)

4.2 ภาวะการจุดหลอด

บัลลาสต์ต้องจุดหลอดได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของหลอดเมื่อใช้งานตรงตามวัตถุประสงค์

คำอธิบายเรื่องภาวะการจุดหลอด ให้ไว้ในภาคผนวก ก.

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 7.3.1 ถึงข้อ 7.3.4 ตามความเหมาะสมโดยให้บัลลาสต์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าอยู่ในระหว่างร้อยละ 92 กับ 106 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

หมายเหตุ ข้อกำหนดเกี่ยวกับกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าสั๊กก่อน ใช้กับบัลลาสต์ที่เห็นได้ในตำแหน่งหรือใดๆได้ด้วย

4.3 ภาวะการใช้งาน

4.3.1 ที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ตัวประกอบการส่องสว่างของบัลลาสต์ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของค่าที่ผู้ทำแจ้งไว้

ถ้าตัวประกอบการส่องสว่างของบัลลาสต์ที่แจ้งไว้มีค่าต่ำกว่า 0.9 จะต้องให้หลักฐานที่แสดงว่าสมรรถนะของหลอดที่ใช้กับบัลลาสต์ดังกล่าวไม่ได้เสื่อมทอลง

4.3.2 ที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ค่ากำลังวงจรทั้งหมดจะต้องไม่เกินร้อยละ 110 ของค่าที่ผู้ทำแจ้งไว้เมื่อให้บัลลาสต์ทำงานร่วมกับหลอดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 กรณีที่มีการหรั้แสง

4.3.3.1 การเผาไส้หลอด

เมื่อให้หลอดทำงานที่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดที่เหมาะสมที่ออกแบบไว้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องให้กระแสเผาไส้หลอดอย่างต่อเนื่องเพื่อไม่ให้อายุหลอดสั้นลง

4.3.3.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอด

ให้เป็นไปตามภาคผนวก ง.

ปัจจุบันมีตัวเชื่อมต่อที่ไม่ได้มาตรฐานอื่นๆซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาการสับเปลี่ยนทดแทนกันไม่ได้ สิ่งเหล่านี้ต้องมีการทดสอบตามข้อกำหนดคุณลักษณะของผู้ทำแบบของตัวเชื่อมต่อต้องได้รับการทำเครื่องหมายไว้บนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

4.3.4 ถ้าไม่ระบุไว้เป็นอย่างอื่นในตารางข้อมูลของหลอด บัลลาสต์ต้องจำกัดกระแสที่ส่งในหลอดอ้างอิงไว้ที่ค่าซึ่งไม่เกินร้อยละ 115 ของกระแสที่ส่งให้หลอดเดียวกันเมื่อใช้กับบัลลาสต์อ้างอิง

การวัดให้ทำโดยต่อวงจรตามรูปที่ 1



อุปกรณ์วัดต่อกับด้านนอกที่มีศักย์ใกล้เคียงกับศักย์ของดินมากที่สุด

รูปที่ 1 การวัดรูปคลื่นกระแส

(ข้อ 4.3.4)

4.4 ตัวประกอบกำลังของวงจร

ตัวประกอบกำลังของวงจรที่วัดได้ต้องไม่ต่างเกิน ± 0.5 จากค่าที่แสดงไว้บนตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทำงานร่วมกับหลอดอ้างอิงตั้งแต่ 1 หลอดขึ้นไป ที่แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนด สำหรับบัลลาสต์หรือแสงได้ ให้วัดตัวประกอบกำลังที่ค่ากำลังไฟฟ้าเต็มที่

การทดสอบให้ปฏิบัติโดยการวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม

4.5 กระแสแหล่งจ่าย (supply current)

ที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด กระแสจากแหล่งจ่ายจะต้องไม่แตกต่างกัน \pm ร้อยละ 10 จากค่าที่แสดงไว้ที่ตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือที่ระบุในเอกสารของผู้ผลิต เมื่อบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้ต่ออยู่กับหลอดอ้างอิง สำหรับบัลลาสต์หรือแสงได้ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนต้องไม่เกินค่าที่ทำเครื่องหมายไว้บนบัลลาสต์ไปมากกว่าร้อยละ 10 ในตำแหน่งหรือใดๆ

การทดสอบให้ปฏิบัติโดยการวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม

4.6 กระแสไฟฟ้าสูงสุดในสายนำที่ต่อกับไส้หลอด

ในการใช้งานตามปกติในพิสัยแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายระหว่างร้อยละ 92 กับ 106 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแต่ละขั้วของไส้หลอดจะต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบให้ปฏิบัติโดยวัดด้วยออสซิลโลสโคปหรือเครื่องมืออื่นที่เหมาะสม โดยบัลลาสต์จะถูกต่อไว้กับหลอดอ้างอิง และให้วัดที่สายทุกเส้นที่ต่อไปยังขั้วหลอด

4.7 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้า (current waveform)

4.7.1 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่าย

ฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าสำหรับดวงโคมต้องไม่เกินค่าสูงสุดตามตารางที่ 1 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7.5 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดโดยต่อกับหลอดอ้างอิง หลังจากหลอดเข้าสู่ภาวะเสถียรแล้ว ฮาร์มอนิกในรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายจะต้องไม่เกินค่าสูงสุด ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าด้านเข้า
(ข้อ 4.7.1)

ฮาร์มอนิก อันดับที่	ค่าสูงสุด (แสดงเป็นร้อยละของกระแสหลักมูลของดวงโคม)
n	%
2	2
3	30
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

4.7.2 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทำงานของหลอด (lamp operating current waveform)

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7.5

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดโดยต่อกับหลอดอ้างอิง หลังจากหลอดเข้าสู่ภาวะเสถียรแล้ว รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าของหลอดจะต้องเป็นไปตามภาวะต่อไปนี้

- 1) ในทุกๆรอบคลื่นของแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย คลื่นขอบ (enveloping wave) ของกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดจะต้องไม่ต่างจากเดิมเกินร้อยละ 4 ที่เวลาเดียวกัน หลังจากที่มีแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายประธานผ่านเฟสศูนย์

หมายเหตุ จุดประสงค์ของข้อกำหนดนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของลักษณะคลื่นของคลื่นขอบที่เปลี่ยนจากครึ่งรอบคลื่นหนึ่งไปยังอีกครึ่งรอบคลื่นหนึ่ง

2) ค่าอัตราส่วนสูงสุดของค่ายอดต่อค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยจะต้องไม่เกิน 1.7 เท่าของค่าตัวประกอบยอดคลื่น (crest factor) ของความถี่สูงแต่ละความถี่

ในกรณีที่คลื่นความถี่สูงถูกมอดูเลตที่ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าประธานค่าตัวประกอบยอดคลื่นของคลื่นขอบของกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดจะต้องไม่เกิน 1.7

หมายเหตุ ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไฟฟ้าความถี่สูงจะเท่ากับค่ายอดของคลื่นขอบของกระแสไฟฟ้าที่ถูกมอดูเลตหรือไม่ถูกมอดูเลต หากด้วยกระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผล

4.8 การกันแม่เหล็ก (magnetic screening)

บัลลาสต์ต้องได้รับการกันให้พ้นจากอิทธิพลของสนามแม่เหล็กของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic) ที่อยู่ใกล้กันอย่างมีประสิทธิภาพ

การทดสอบให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้

ให้บัลลาสต์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดโดยมีหลอดที่เหมาะสมต่ออยู่ หลังจากเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้ว ให้วางบัลลาสต์บนแผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กต้องมีขนาดพื้นที่ใหญ่พอที่จะรองรับบัลลาสต์ ได้ทั้งตัว จากนั้นให้วางแผ่นเหล็กห่างจากด้านที่เหนือของตัวบัลลาสต์แต่ละด้าน 1 มิลลิเมตรสลับกันไป ในระหว่างที่ทำการทดสอบกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงโดยอิทธิพลของแผ่นเหล็กเกินร้อยละ 2

4.9 อิมพีแดนซ์ความถี่เสียง

บัลลาสต์ที่มีสัญลักษณ์ Z (ดูข้อ 3.1.3) จะถูกทดสอบตามข้อ 7.6

สำหรับความถี่ของสัญญาณทุกๆค่าระหว่าง 400 ถึง 2000 เฮิรตซ์ อิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์เมื่อทำงานร่วมกับหลอดอ้างอิงและป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดและความถี่ที่กำหนดต้องมีลักษณะสมบัติเชิงเหนี่ยวนำอิมพีแดนซ์ในหน่วยโอห์มอย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่จะใช้กำลังไฟฟ้า เท่ากับหลอดกับบัลลาสต์รวมกันที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดและความถี่ที่กำหนด อิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์จะถูกวัดด้วยแรงดันของสัญญาณเท่ากับร้อยละ 3.5 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของแหล่งจ่ายสำหรับบัลลาสต์ที่ความถี่ระหว่าง 250 ถึง 400 เฮิรตซ์ อิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์จะต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุดเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าต่ำสุดที่ต้องการระหว่างความถี่ 400 ถึง 2000 เฮิรตซ์

หมายเหตุ สำหรับการทดสอบนี้วงจรระบบการแทรกสอดของคลื่นวิทยุที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาดต่ำกว่า 0.2 ไมโครฟารัด (ค่าทั้งหมด) ซึ่งอาจถูกต่อรวมกันไว้ในบัลลาสต์ อาจจะถูกปลดออกก็ได้

4.10 แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราวของแหล่งจ่ายประธาน

แรงดันไฟฟ้าชั่วคราวของแหล่งจ่ายประธานซึ่งไม่ว่าจะมีสภาพชั่วขณะใด มีเฟสแบบสุ่มและถูกซ้อนทับอยู่บนแรงดันไฟฟ้าประธานตามที่ระบุไว้ในข้อ 7.7 จะต้องไม่รบกวนการทำงานที่มุ่งหมายของบริภัณฑ์หรือสร้างความเสียหายใดๆทั้งสิ้น อิทธิพลโดยตรงของฟ้าผ่าที่มีต่อแหล่งจ่ายประธานไม่รวมอยู่ในข้อกำหนดนี้

4.11 การทำงานในภาวะผิดปกติ

4.11.1 การถอดหลอดออก

เมื่อทดสอบตามข้อ 7.10.1 หลอดจะต้องจุดติดและทำงานได้เป็นปกติ อย่างน้อยที่สุดหลังจากจ่ายไฟให้อีกครั้ง

4.11.2 หลอดจุดไม่ติด

เมื่อทดสอบตามข้อ 7.10.2 หลอดจะต้องจุดติดและทำงานได้เป็นปกติ อย่างน้อยที่สุดหลังจากจ่ายไฟให้อีกครั้ง

4.12 ความทนทาน (endurance)

เมื่อทดสอบตามข้อ 7.11 บัลลาสต์ต้องสามารถจุดหลอดที่เหมาะสมและทำให้หลอดติดสว่างได้อย่างถูกต้องเป็นเวลา 15 นาที

4.13 สัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ

4.13.1 สัญญาณรบกวนที่นำมาตามสาย

4.13.1.1 สัญญาณรบกวนที่ขั้วต่อสายประธานในช่วงความถี่ 9 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7.9.1

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดแรงดันรบกวนที่ขั้วต่อสายประธาน
(ข้อ 4.13.1.1)

พิสัยความถี่	ขีดจำกัด ¹⁾ dB (μV)	
	ค่ายอดเสมือน	ค่าเฉลี่ย
9 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 50 กิโลเฮิรตซ์ ²⁾	110	-
50 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 150 กิโลเฮิรตซ์ ²⁾	90 ถึง 80 ³⁾	-
150 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 0.5 เมกะเฮิรตซ์	66 ถึง 56 ³⁾	56 ถึง 46 ³⁾
0.5 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 5 เมกะเฮิรตซ์	56	46
5 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์	60	50

หมายเหตุ 1) ที่ความถี่ตรงรอยต่อพิสัย ให้ใช้ค่าที่ขีดจำกัดล่าง
 2) ขีดจำกัดในพิสัยความถี่ 9 ถึง 150 กิโลเฮิรตซ์ ถือว่าเป็น “ ขีดจำกัดยอมให้ใช้ไปก่อน ”
 ซึ่งอาจปรับปรุงแก้ไขหลังจากได้ทดลองใช้ค่าเหล่านี้หลายปีแล้ว
 3) ขีดจำกัดลดลงเป็นเชิงเส้นตามลอการิทึมของความถี่ในพิสัย 50 ถึง 150 กิโลเฮิรตซ์ และ 150 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 0.5 เมกะเฮิรตซ์

4.13.1.2 สัญญาณรบกวนที่ขั้วต่อด้านออกและขั้วต่อควบคุม

ขีดจำกัดแรงดันรบกวนที่ขั้วต่อด้านออกและขั้วต่อควบคุมในช่วงความถี่ 0.15 ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์ ให้เป็นไปตามตารางที่ 3
 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7.91

ตารางที่ 3 ขีดจำกัดแรงดันรบกวนที่ขั้วต่อด้านออกและขั้วต่อควบคุม
(ข้อ 4.13.1.2)

พิสัยความถี่ (เมกะเฮิร์ตซ์)	ขีดจำกัด dB (μV)*	
	ค่ายอดเสมือน	ค่าเฉลี่ย
0.15 ถึง 0.50	80	70
0.50 ถึง 30	74	64
หมายเหตุ * ที่ความถี่ตรงรอยต่อพิสัย ให้ใช้ค่าที่ขีดจำกัดล่าง		

4.13.2 สัญญาณรบกวนที่แผ่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ขีดจำกัดค่ายอดเสมือนของสัญญาณรบกวนที่แผ่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ 9 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ให้เป็นไปตามตารางที่ 4 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7.9.2

ตารางที่ 4 ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนที่แผ่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
(ข้อ 4.13.2)

พิสัยความถี่	ขีดจำกัด dB (A) ¹⁾		
	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของสายอากาศบ่วง ²⁾		
	2 เมตร	3 เมตร	4 เมตร
9 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์	88	81	75
70 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 150 กิโลเฮิร์ตซ์	88 ถึง 58 ³⁾	81 ถึง 51 ³⁾	75 ถึง 45 ³⁾
150 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 2.2 เมกะเฮิร์ตซ์	58 ถึง 26 ³⁾	51 ถึง 22 ³⁾	45 ถึง 16 ³⁾

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 3.0 เมกะเฮิรตซ์	58	51	45
3.0 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์	22	15 ถึง 16 ⁴⁾	9 ถึง 12 ⁴⁾

หมายเหตุ 1) ที่ความถี่ตรงรอยต่อพิสัย ให้ใช้ค่าที่ขีดจำกัดล่าง

- 2) ขีดจำกัดสำหรับสายอากาศบ่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร ใช้กับตัวอย่างที่มีความยาวไม่เกิน 1.6 เมตร
ขีดจำกัดสำหรับสายอากาศบ่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร ใช้กับตัวอย่างที่มีความยาวไม่เกิน 1.6 เมตร กับ 2.6 เมตร
- ขีดจำกัดสำหรับสายอากาศบ่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร ใช้กับตัวอย่างที่มีความยาวไม่เกิน 2.6 เมตร กับ 3.6 เมตร
- 3) ลดลงเป็นเชิงเส้นตามลอการิทึมของความถี่
- 4) เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตามลอการิทึมของความถี่

4.14 คุณลักษณะที่ต้องการด้านความปลอดภัย

ให้เป็นไปตาม มอก. 885

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก. 885

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 ที่แบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ทุกตัว อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

(1) ตัวประกอบกำลังของวงจรเช่น 0.85

ถ้าตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 0.95 กระแสหน้า ให้เติมตัวอักษร C ต่อท้ายตัวเลข เช่น 0.85 C

(2) สัญลักษณ์ Z (เฉพาะประเภทผ่านอิมพีแดนซ์ความถี่เสียง)

(3) เครื่องหมายและฉลากตามข้อ 5.1 ของ มอก. 885

5.2 ที่แบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ทุกตัว หรือที่แคตาลีอทุกชุด อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายและชัดเจน

(1) แบบของการจุดหลอด (เผาไส้ก่อน หรือ ไม่เผาไส้ก่อน)

(2) สิ่งที่แสดงว่าแบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ต้องการอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผู้ทำอาจจะแสดงข้อมูลต่อไปนี้เพิ่มเติม

- (1) ความถี่ด้านออกที่กำหนดที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดเมื่อมีโหลดและไม่มีโหลดทำงาน
รวมอยู่ด้วย
- (2) ชีตจำกัดของพิสัยอุณหภูมิโดยรอบซึ่งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำงานได้ใน
พิสัยแรงดันไฟฟ้าที่แจ้งไว้
- (3) ตัวประกอบการส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และกำลังทั้งหมดของวงจร

5.4 ในการที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินใจ

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึงบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทเดียวกัน ที่ทำขึ้นในภาวะเดียวกัน ช่วงเวลา
เดียวกัน และจากโรงงานเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินใจ ให้เป็นไปตามการชักตัวอย่างต่อไปนี้หรืออาจใช้แผนการ
ชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

6.2.1 การชักตัวอย่าง

ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวนตามที่กำหนดในตารางที่ 6

6.2.2 เกณฑ์ตัดสินใจ

จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4 ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตาราง
ที่ 6 จึงจะถือว่าบัลลาสต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมนี้

ตารางที่ 6 แผนการชักตัวอย่าง

(ข้อ 6.2.1 และข้อ 6.2.2)

ขนาดรุ่น (ตัว)	ขนาดตัวอย่าง (ตัว)	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 25	2	0
26 ถึง 150	3	0
151 ถึง 1200	5	0
1201 ถึง 35000	8	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การทดสอบ

7.1 ข้อสังเกตทั่วไปในการทดสอบ

7.1.1 การทดสอบตามมาตรฐานนี้เป็นการทดสอบแบบเฉพาะ

7.1.2 การทดสอบจะดำเนินเรียงตามลำดับข้อที่กำหนดในมาตรฐานนี้ นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

7.1.3 ตัวอย่างจะถูกทดสอบทุกรายการทดสอบ

7.1.4 โดยทั่วไปการทดสอบทั้งหมดจะทำกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละแบบ หรือในกรณีที่เกี่ยวข้องกับพิสัยของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่คล้ายกันก็จะทำที่กำลังไฟฟ้าแต่ละค่าที่กำหนดในพิสัยหรือทำกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละตัวที่เลือกจากพิสัยตามที่ตกลงกับผู้ผลิต

7.1.5 การทดสอบจะทำในภาวะที่ระบุในข้อ 7.2 ส่วนหลอดซึ่งไม่อยู่ในรายการมาตรฐานของ มอก. หรือ IEC ผู้ทำจะต้องจัดเตรียมข้อมูลไว้ให้

7.1.6 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบตามมาตรฐานนี้จะต้องเป็นไปตาม มอก. 885

7.2 ข้อกำหนดทั่วไป

7.2.4 อุณหภูมิโดยรอบ

การทดสอบจะกระทำในห้องที่ปราศจากกระแสลม และมีอุณหภูมิโดยรอบอยู่ในพิสัย 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบที่ต้องการสมรรถนะของหลอดที่คงที่ อุณหภูมิโดยรอบหลอดจะต้องอยู่ในพิสัย 23 ถึง 27 องศาเซลเซียส และต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกิน 1 องศาเซลเซียสในระหว่างการทดสอบ

7.2.5 แรงดันไฟฟ้าและความถี่แหล่งจ่าย

(1) แรงดันไฟฟ้าและความถี่ทดสอบ

ถ้าไม่ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ต้องให้บัลลาสต์ที่จะทดสอบทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด และให้บัลลาสต์อ้างอิงทำงานที่แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนด

สำหรับบัลลาสต์ที่แสดงเครื่องหมายให้ใช้ในพิสัยแรงดันไฟฟ้าหรือมีแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดแตกต่างจากแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดทั่วไป ให้เลือกแรงดันไฟฟ้าใดๆ ในช่วงนั้นค่าหนึ่งขึ้นมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

(2) เสถียรภาพของแหล่งจ่ายและความถี่

ในการทดสอบส่วนใหญ่ แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย (และความถี่ด้วยสำหรับบัลลาสต์อ้างอิง) จะต้องอยู่ในพิสัย $\pm 0.5\%$ ใดๆก็ตามระหว่างการวัดจริง ค่าแรงดันไฟฟ้าจะถูกปรับได้ไม่เกิน $\pm 0.2\%$ ของค่าทดสอบที่ระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย

ส่วนฮาร์โมนิกทั้งหมด(total harmonic content)ของแหล่งจ่ายต้องน้อยกว่าร้อยละ 3 ส่วนฮาร์โมนิกทั้งหมด หมายถึง ผลรวมของค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบแต่ละส่วน โดยใช้ส่วนประกอบหลักมูลเป็นร้อยละ 100

7.2.3 ผลทางแม่เหล็ก

ถ้าไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ไม่อนุญาตให้ใช้วัตถุแม่เหล็กเข้าใกล้บัลลาสต์อ้างอิงหรือบัลลาสต์ที่จะทดสอบภายในระยะ 25 มิลลิเมตร

7.2.4 การติดตั้งและการต่อหลอดอ้างอิง

เพื่อจะทำให้มั่นใจถึงความสม่ำเสมอของลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของหลอดอ้างอิง หลอดจะถูกติดตั้งตามตารางข้อมูลของหลอดที่กำหนดไว้ในกรณีที่ไม่มีการกำหนดวิธีการติดตั้งหลอดไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง หลอดจะถูกติดตั้งในแนวระดับ

7.2.5 เสถียรภาพของหลอดอ้างอิง

(1) หลอดจะต้องทำงานอยู่ในภาวะเสถียรก่อนการวัด โดยไม่มีการคองของลำแสง (swirling) เกิดขึ้น

(2) ต้องตรวจสอบลักษณะของหลอดทันทีทั้งก่อนและหลังชุดรายการทดสอบแต่ละชุด ตามภาคผนวก ข.

7.2.6 บัลลาสต์อ้างอิง

บัลลาสต์อ้างอิงที่ใช้จะต้องเป็นไปตามที่แสดงไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง

7.2.7 ลักษณะสมบัติของเครื่องมือ

(1) วงจรแรงดัน

วงจรแรงดันของเครื่องมือที่ต่อคร่อมหลอดจะต้องไม่ทำให้กระแสผ่านเกินร้อยละ 3 ของกระแสไฟฟ้าทำงานที่ระบุ

(2) วงจรกระแส

เครื่องมือที่ต่ออนุกรมอยู่กับหลอดจะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเกินร้อยละ 2 ของแรงดันไฟฟ้าที่ประสงค์ของหลอดเมื่อเครื่องมือวัดถูกต่อแทรกเข้ากับวงจรเดาใส่แบบขนาน ค่าอิมพีแดนซ์ทั้งหมดของเครื่องมือจะต้องไม่เกิน 0.5 โอห์ม

(3) การวัดค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย

เครื่องมือวัดจำเป็นต้องไม่เกิดค่าผิดพลาด (errors) เนื่องจากความเพี้ยนของรูปคลื่น และจะต้องเหมาะสมกับความถี่ใช้งาน

ในการใช้เครื่องมือวัด ต้องใช้ความระมัดระวังเพื่อให้เป็นที่แน่ใจว่าความจุไฟฟ้าต่อลงดิน (earth capacitance) ของเครื่องมือจะไม่รบกวนการทำงานของบัลลาสต์ในขณะที่ทดสอบและอาจจำเป็นต้องแน่ใจว่าจุดวัดของวงจรทดสอบมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน

7.3 ภาวะการจุดหลอด

7.3.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการจุดหลอดโดยการเผาไส้ก่อนควบคุมด้วยกระแส

สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทนี้ให้ทดสอบตามข้อ 7.7

7.3.1.1 ให้ต่อตัวต้านทานที่ปราศจากการเหนี่ยวนำ (non-inductive) ตามค่าที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องแทนไส้หลอด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องสามารถจ่ายกระแสเผาไส้หลอดได้อย่างน้อยตามเวลาและกระแสตามที่ระบุในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง

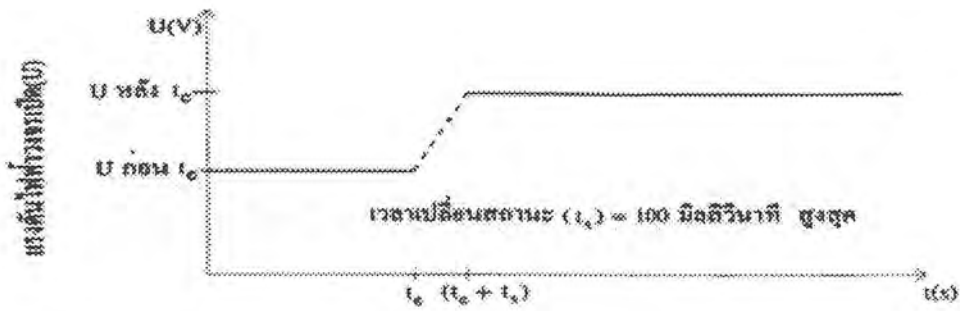
เวลาเผาไส้หลอดต่ำสุดสัมบูรณ์ต้องเป็น 0.4 วินาทีเป็นอย่างน้อย นอกจากระบุไว้เป็นค่าอื่นในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง

กระแสเผาไส้ประสิทธิภาพสูงสุดต้องไม่เกินขีดจำกัดที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องที่เวลาใด ๆ

7.3.1.2 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (open-circuit voltage) ระหว่างคู่ของตัวต้านทานใดๆที่ใช้แทนหลอดจะต้องไม่เกินค่าสูงสุด ที่ระบุในตารางข้อมูลของหลอดระหว่างที่ทำการเผาไส้หลอด หลังจากระยะเวลาเผาไส้หลอดผ่านไปแล้วค่าแรงดันนี้จะมีค่าไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดของแรงดันจุดหลอด (starting voltage) ตามที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอด

ถ้ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสมมูลในข้อ 7.3.1.1 ถูกตัดไปก่อนที่แรงดันจุดหลอดถึงค่าต่ำสุดตามที่ระบุไว้ เวลาที่ใช้ในการเพิ่มขึ้นของแรงดันจุดหลอดถึงค่าต่ำสุดต้องไม่เกิน 0.1 วินาที (ดูรูปที่ 2.1) ถ้าการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าใช้เวลาเกิน 0.1 วินาที กระแสไหลผ่านตัวต้านทานสมมูลจะต้องไม่ตกลงต่ำกว่าค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ (ดูรูปที่ 2.2)

ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดต้องไม่เกิน 1.8 แม้แต่ค่าแรงดันยอดแคบมาๆซึ่งไม่กระทบต่อค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยก็จะต้องไม่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาเผาไส้ก่อนน้อยที่สุด (minimum preheat period)



รูปที่ 2.1 บัลลาสต์ที่หยุดป้อนกระแสเผาไหม้ก่อน เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเพิ่มขึ้น (ข้อ 7.3.1.2)



รูปที่ 2.2 บัลลาสต์ที่มีเวลาเปลี่ยนสถานะของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมากกว่า 100 มิลลิวินาที (ข้อ 7.3.1.2)

รูปที่ 2 ความต้องการด้านแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสำหรับบัลลาสต์ชนิดจุดหลอดโดยมีการเผาไหม้ควบคุมด้วยกระแส

(ข้อ 7.3.1.2 และข้อ ค.5.1.1(2))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการจุดหลอดโดยการเผาไส้ก่อนควบคุมด้วยแรงดัน บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้จะต้องจ่ายแรงดันเผาไส้หลอดแรงดันไฟฟ้าจุดหลอด และแรงดันไฟฟ้าใช้งานของไส้หลอดที่เหมาะสมให้แก่หลอด ค่าขีดจำกัดต่างๆและค่า ความต้านทานที่ใช้แทนหลอดได้ระบุอยู่ในตารางข้อมูลของหลอดตาม มอก. 236 มอก.956 IEC 81 และ IEC 901

หลอดไม่ว่าจะมีความต้านทานไส้หลอดสูงหรือต่ำก็สามารถจะทำงานได้ด้วยวิธีนี้

7.3.2.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าเผาไส้หลอดที่มีค่ารากของกำลัง สองเฉลี่ยภายในขีดจำกัดที่ระบุในตารางข้อมูลของหลอดให้แก่ตัวต้านทานที่นำมาแทนหลอดเมื่อบัลลาสต์ได้รับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

แรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดของไส้หลอด (maximum cathode voltage) อาจจะเป็นจากค่าที่กำหนดได้หากกระแสผ่านไส้หลอดสูงสุดเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเผาไส้ก่อนควบคุมด้วยกระแส

ช่วงเวลาที่จะให้แรงดันเผาไส้หลอดจะต้องไม่น้อยกว่า 0.4 วินาที

แรงดันไฟฟ้าเผาไส้หลอดหลังจาก 0.4 วินาทีให้เป็นไปตามตารางข้อมูลของหลอด ซึ่งอาจเป็นดังนี้

- 1) ป้อนตลอดเวลาในระหว่างการทำงาน
- 2) ลดลงสู่ระดับที่ต่ำกว่า
- 3) ลดลงเป็นศูนย์

7.3.2.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องให้แรงดันไฟฟ้าจุดหลอดตามที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดดังนี้

- 1) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอด
- 2) ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ช่วยจุดหลอด (ถ้าต้องมี)

คุณลักษณะที่ต้องการด้านการจุดหลอดสำหรับวงจรอนุกรมแบบต่างๆ อาจได้รับการระบุไว้สำหรับการทำงานของหลอดในวงจรขนาน บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องทำให้เกิดเงื่อนไขการจุดหลอดแต่ละหลอดตรงตามลักษณะของหลอดที่เกี่ยวข้อง

แรงดันไฟฟ้าจุดหลอดอาจถูกป้อนให้แก่หลอดพร้อมกับแรงดันไฟฟ้าเผาไส้ หรืออาจจะถูกเพิ่มค่าให้สูงขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้เกิดการจุดหลอดหลังจากเวลาผ่านไป 0.4 วินาทีแล้ว แรงดันไฟฟ้าใดๆที่ป้อนก่อน 0.4 วินาที ต้องต่ำกว่าระดับ

ที่จะทำให้เกิดการจุดหลอด หรือต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้สำหรับการเผาไส้ก่อนควบคุมด้วยกระแส

7.3.3 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการจุดแบบไม่เผาไส้ก่อน
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบนี้จะต้องออกแบบให้มีช่วงการปล่อยประจุรังแสงสะสม (cumulative glow discharge period) ระหว่างการจุดไม่เกิน 100 มิลลิวินาที เมื่อวัดด้วยหลอดอ้างอิง โดยไม่มีส่วนที่เป็นโลหะต่อลงดินอยู่ใกล้กับหลอดเพื่อช่วยการจุด ช่วงเวลาการปล่อยประจุรังแสงจะถือได้ว่าจบลงเมื่อกระแสผ่านหลอดมีค่าอย่างน้อยร้อยละ 80 ของกระแสที่ระบุของหลอด
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7.4

7.3.4 อุปกรณ์ช่วยจุดหลอด และระยะห่าง
หลอดที่ถูกจุดด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตามมาตรฐานนี้อาจต้องการอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดตามที่ระบุไว้ใน มอก.236 หรือ IEC 81 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและแรงดันไฟฟ้าที่ให้แก่อุปกรณ์ช่วยจุดหลอด (ถ้าต้องมี) ระหว่างการเผาไส้และการเริ่มจุดหลอด จะต้องอยู่ภายในขีดจำกัดที่ระบุในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องที่ใช้สำหรับการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

7.4 การจุดแบบไม่เผาไส้ก่อน

จะถือว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีคุณสมบัติตามข้อ 7.3.3 เมื่อเป็นไปตามภาวะต่อไปนี้

7.4.1 แรงดันไฟฟ้าวงจรปิด

การวัดสามารถทำได้ด้วยออสซิลโลสโคปโดยการแทนที่ไส้หลอดด้วยตัวต้านทานปราศจากความเหนี่ยวนำ R_c ซึ่งมีค่าตามที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอด (ดูรูปที่ 3 ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง เมื่อใช้หลอด 2 หลอด ต่ออนุกรมกัน ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ป้อนให้แก่หลอดแต่ละหลอดจะถูกวัดทีละครั้ง โดยการใส่หลอดอ้างอิงในตำแหน่งของหลอดใดหลอดหนึ่ง และใส่ตัวต้านทานสมมูลซึ่งมีค่าตามที่ระบุในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องแทนไส้หลอดของอีกหลอดหนึ่ง แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะต้องวัดระหว่างตัวต้านทานที่ใส่แทนไส้หลอดจะต้องเป็นไปตามค่าที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องสำหรับหลอดเดี่ยว

หมายเหตุ กรณีที่มีการเผาไหม้หลอดระหว่างที่ทำการจุดหลอด แรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดอาจจะมีค่าต่ำกว่าที่ระบุไว้ได้ แต่ทั้งนี้ช่วงเวลาการปล่อยประจุรังแสงจะต้องไม่เกิน 100 มิลลิวินาที

7.4.2 การทดสอบอิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

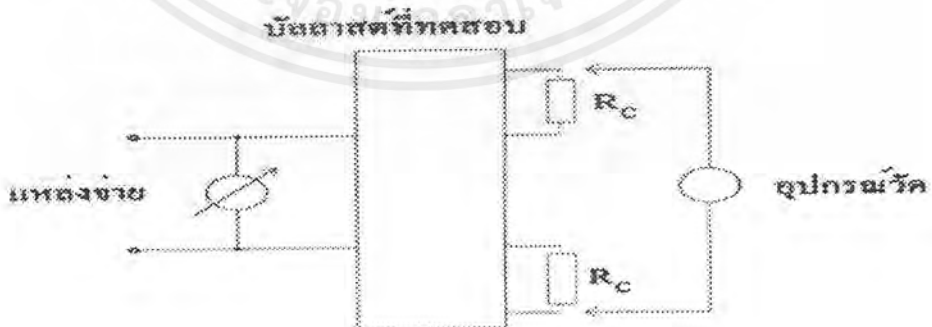
โดยการแทนหลอดที่แทนด้วยตัวต้านทานที่ปราศจากความเหนี่ยวนำ R_c และแทนไส้หลอดด้วยตัวต้านทานที่ปราศจากความเหนี่ยวนำ R_c ตามค่าที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอด (ดูรูปที่ 3ก) และใช้แรงดันร้อยละ 92 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องจ่ายกระแสไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลหลอด

7.4.3 กระแสไส้หลอด

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการจุดแบบไม่เผาไหม้อาจให้ความร้อนแก่ไส้หลอดระหว่างกระบวนการจุดหลอด กระแสไส้หลอด (ถ้ามี) ต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลหลอดที่เกี่ยวข้อง การวัดโดยใช้ตัวต้านทานแทนไส้หลอด R_f (ดูรูปที่ 3ค) ซึ่งคำนวณค่าจากสูตรต่อไปนี้

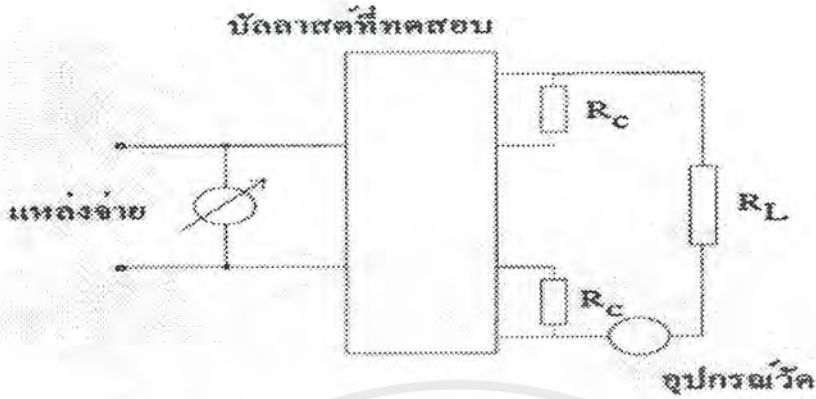
$$R_f = 11(2.1I_n)^{-1}$$

เมื่อ I_n คือ ค่าที่ระบุของกระแสทำงานของหลอด

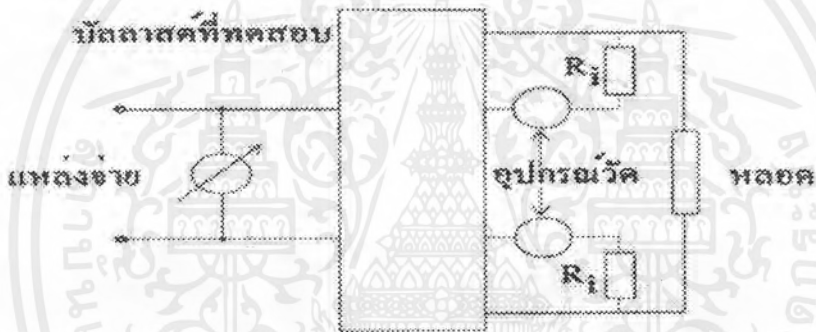


รูปที่ 3ก วงจรทดสอบแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

(ข้อ 7.4.1)



รูปที่ 3ข วงจรทดสอบอิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์
(ข้อ 7.4.2)



รูปที่ 3ค วงจรทดสอบกระแสได้ลวด
(ข้อ 7.4.3)

รูปที่ 3 วงจรทดสอบบัลลาสต์ชนิดจุดลวดโดยไม่มีการเผาไส้ก่อน
(ข้อ 7.4)

7.5 การวัดรูปคลื่นกระแส

ส่วนประกอบฮาร์มอนิกในกระแสของแหล่งจ่ายไฟฟ้าประธานจะต้องวัดโดยใช้โวลท์มิเตอร์แบบเลือกความถี่ (selective voltmeter) หรือเครื่องวิเคราะห์คลื่น (wave analyzer) และตัวต้านทาน R ที่นำไปต่อในวงจรจะต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.7 (ดูรูปที่ 1) หรือโดยใช้เครื่องมืออื่นที่ให้ผลเท่าเทียมกัน

โวลต์มิเตอร์แบบเลือกความถี่หรือเครื่องวิเคราะห์คลื่นควรรับประกันว่าการวัดที่กระทำกับฮาร์มอนิกใดๆจะต้องไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากฮาร์มอนิกอื่นๆ ความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายซึ่งกำหนดไว้สูงสุดร้อยละ 3 (ดูข้อ 7.2.2(3))

จะต้องนำมาพิจารณาในการประเมินผลการทดสอบ ในกรณีที่เกิดข้อสงสัยจะต้องใช้แหล่งจ่ายที่ปราศจากความเพี้ยน

7.6 การวัดอิมพีแดนซ์ที่ความถี่เสียง

วงจรตามรูปที่ 4 แสดงถึงบริดจ์ที่ใช้ในการหาอิมพีแดนซ์ Z ที่ความถี่เสียงของชุดประกอบของหลอดกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ให้ R' และ R'' แทนค่าความต้านทานของตัว R_1 R_2 ในแผนภาพวงจร ซึ่งมีค่า 5 โอห์ม และ 200000 โอห์ม ตามลำดับ (ค่าหลังไม่ใช่ค่าที่มีความสำคัญมากนัก) เมื่อปรับค่า R และ C จนถึงจุดได้จุด สำหรับค่าความถี่เสียงที่เลือกใช้กับเครื่องวิเคราะห์คลื่น (หรือ เครื่องมือแบบเลือกความถี่ที่เหมาะสมอื่นใด) โดยทั่วไปจะได้ว่า

$$Z = R' R'' (1/R + j\omega C)$$

ถ้าตัวต้านทาน R_1 และ R_2 มีค่าตรงตามที่ระบุมาพอดี สมการข้างต้นจะกลายเป็น

$$Z = 10^6 (1/R + j\omega C)$$

เมื่อ A คือ หม้อแปลงแหล่งจ่าย 50 เฮิร์ตซ์ หรือ 60 เฮิร์ตซ์

B คือ ชุดประกอบของหลอดกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกทดสอบ

Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูงพอที่ความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ และมีค่าต่ำพอที่ความถี่ 250 ถึง 2000 เฮิร์ตซ์ (เช่น ค่าความต้านทาน 15 โอห์ม + ค่าความจุไฟฟ้า 15 ไมโครฟารัด)

Z_2 คือ อิมพีแดนซ์ที่มีค่าต่ำพอที่ความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ และมีค่าสูงพอที่ความถี่ 250 ถึง 2000 เฮิร์ตซ์ (เช่น ค่าความเหนี่ยวนำ 20 มิลลิเฮนรี่)

หมายเหตุ ไม่จำเป็นต้องต่ออิมพีแดนซ์ Z_1 และ/หรือ Z_2 ถ้าแหล่งจ่ายที่ Z_1 หรือ Z_2 ต่อคร่อมอยู่กับอิมพีแดนซ์ภายในตัวสำหรับกระแสจากแหล่งจ่ายอีกแหล่งหนึ่ง

7.7 การวัดค่าต่างๆในกรณีจุดหลอดโดยการเอาใส่หลอดก่อนควบคุมด้วยกระแส

7.7.1 บริกัณฑ์ทดสอบ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกต่อดังรูปที่ 5 ค่า R_c ซึ่งแทนได้หลอดจะถูกระบุอยู่ในตารางข้อมูลของหลอด เครื่องมือวัดอาจจะเป็นออสซิลโลสโคป ซึ่งมีโพรบแรงดันไฟฟ้า และ/หรือ โพรบกระแสไฟฟ้า ถ้าเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้มากกว่า 1 หลอดต่อขานกัน ตัวต้านทานสมมูลของใส่หลอดจะต้องถูกต่อเข้ากับจุดต่อที่เกี่ยวข้องทุกจุด และการวัดจะต้องทำ

กับตัวต้านทานทุกตัวตามลำดับ ทีละคู่ของตัวต้านทาน ที่แทนตำแหน่งของหลอดแต่ละหลอด

ถ้าเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอด 2 หลอดต่ออนุกรมกัน ให้อัดโดยใช้ตัวต้านทานสมมูลแทนใส่หลอดทั้งสองของทั้งสองหลอด

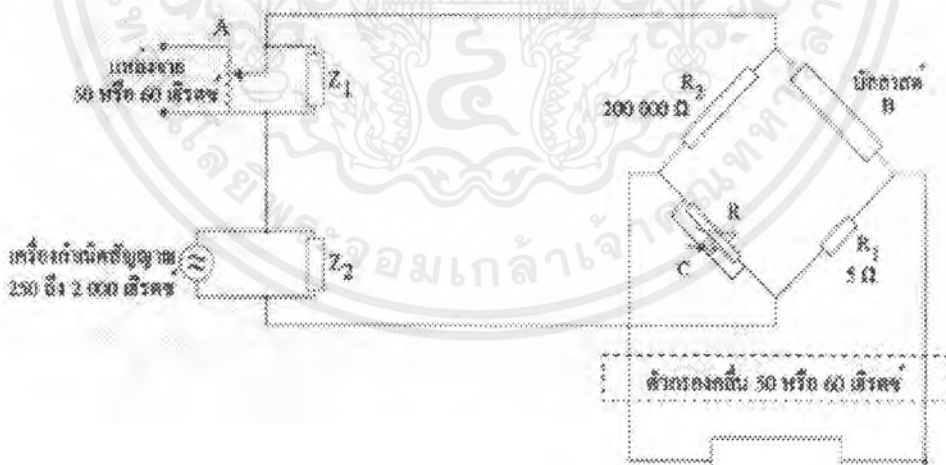
ถ้าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยหม้อแปลงขดลวดแยก ให้ต่อปลายด้านหนึ่งของขดลวดทุติยภูมิลงดิน ถ้าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่มีหม้อแปลงขดลวดแยก ให้ใส่หม้อแปลงขดลวดแยกที่ด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดรวมจะถูกวัดคร่อมหลอดทั้งสอง

ระหว่างการเผาไส้หลอด แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะต้องมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าที่ระบุไว้สำหรับหลอดเดี่ยว

ระหว่างการจุดหลอด (ignition) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะต้องมากกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดสำหรับหลอด 2 หลอดที่ต่ออนุกรมกัน

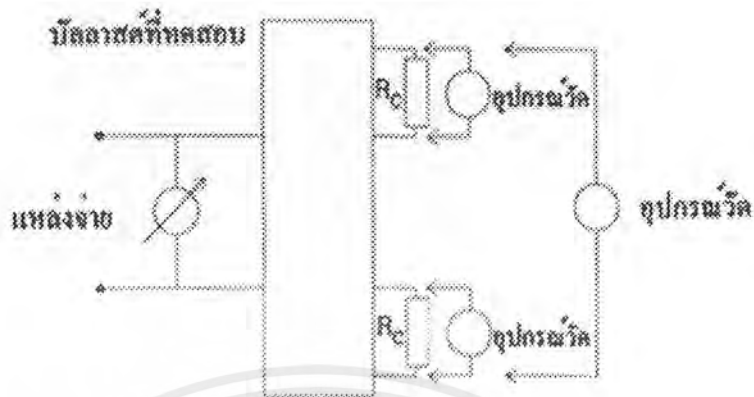
แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่อุปกรณ์ช่วยจุดหลอด (ถ้ามี) จะต้องมีค่าตามที่ระบุไว้



หมายเหตุ ค่าความต้านทาน 200000 โอห์ม สำหรับแขนงหนึ่งของบริดจ์ที่อาจคลาดเคลื่อนได้บ้าง

รูปที่ 4 การวัดอิมพีแดนซ์ที่ความถี่เสียง

(ข้อ 7.6)



รูปที่ 5 วงจรทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดจุดหลอดโดยมีการเผาไส้ก่อนควบคุมด้วย
กระแส

(ข้อ 7.7.1)

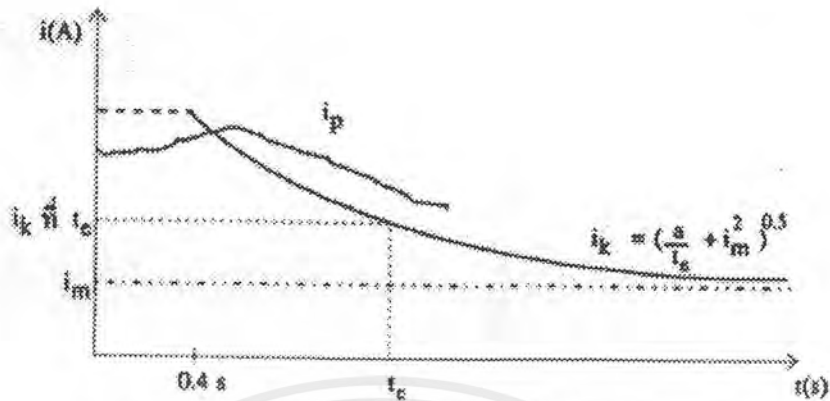
7.7.2 การวัด

กระแสเผาไส้และแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะวัดเทียบกับเวลา สำหรับกระแสไฟฟ้าค่าราคาของกำลังสองเฉลี่ยสถานะอยู่ตัว ค่าประสิทธิผลของกระแสเผาไส้จะวัดโดยการสังเกตในช่วงหนึ่งคาบของคลื่นความถี่สูงที่วัดค่าประสิทธิผลและตัวประกอบยอดคลื่น การวัดค่าประสิทธิผลโดยตรงอาจจะสามารถกระทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม

สำหรับกระแสที่เปลี่ยนแปลง ค่าประสิทธิผลของกระแสเผาไส้จะถูกนิยามให้เป็นค่าที่สมมูลกับกระแสไฟฟ้าค่าราคากำลังสองเฉลี่ยสถานะอยู่ตัวที่ให้ความร้อนได้เท่ากับ (ดูรูปที่ 6)

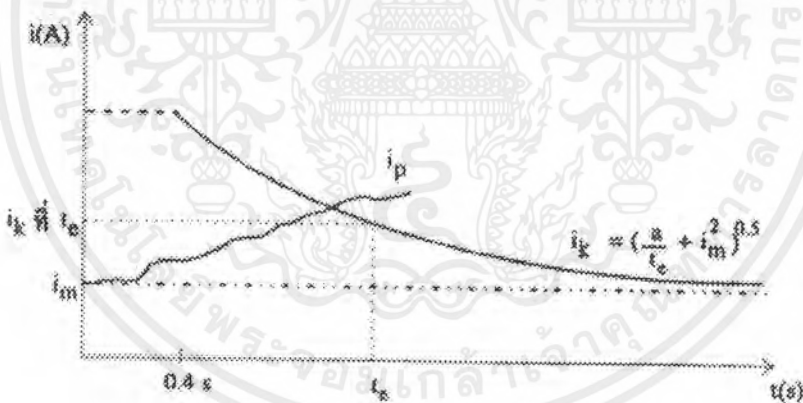
ให้คำนวณเวลาเผาไส้ก่อนปล่อยอิเล็กทรอนิกส์ (time to emission) จากสูตรที่มีอยู่ในตารางข้อมูลของหลอด (ดูข้อ ค.5.1.1(1))

การหาค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะทำในทำนองเดียวกันกับการหาค่าประสิทธิผลของกระแส



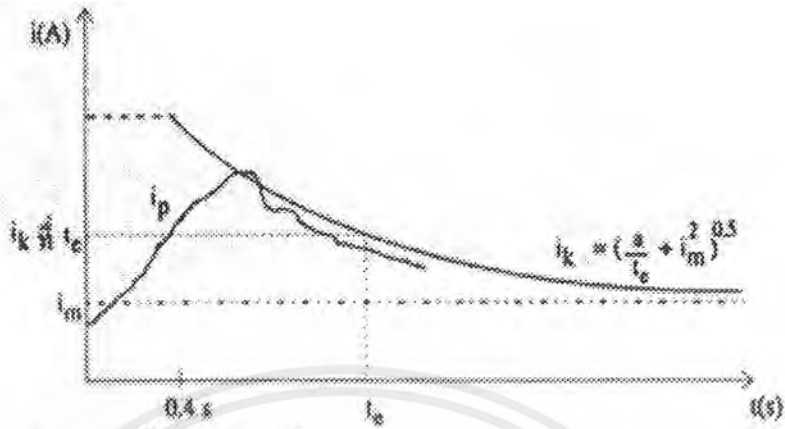
ตัวอย่างที่ 1 บัลลาสต์ที่เป็นไปตามข้อ 4.2.1.1 กระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (i_p) จะไม่ตกลงต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยที่สถานะอยู่ตัว (i_k) (ที่เวลา t_c) เลย ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของขอบของกระแส (r.m.s. envelop of current) เพื่อแสดงว่า

$$\int_0^{t_c} i_p^2 dt > \int_0^{t_c} i_k^2 dt$$



ตัวอย่างที่ 2 บัลลาสต์ไม่เป็นไปตามข้อ 4.2.1.1 กระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (i_p) จะขึ้นถึงระดับกระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยที่สถานะอยู่ตัว (i_k) (ที่เวลา t_c) ก่อนเวลา t_c เล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของขอบกระแส เพื่อแสดงว่า

$$\int_0^{t_c} i_p^2 dt < \int_0^{t_c} i_k^2 dt$$



ตัวอย่างที่ 3 บัลดิสต์อาจจะเป็นหรือไม่เป็นไปตามข้อ 4.2.1.1 กระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (i_p) จะสูงกว่ากระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยที่สถานะอยู่ตัว (i_k) (ที่เวลา t_c) ในบางช่วงเวลาก่อน t_c เท่านั้น จึงจำเป็นต้องวัดหรือคำนวณค่าพลังงานเพื่อพิจารณาว่าอสมการต่อไปนี้เป็นจริงหรือไม่

$$\int_0^{t_c} i_p^2 dt \geq \int_0^{t_c} i_k^2 dt$$

ผลทางความร้อนทั้งหมดของกระแสเผาไส้ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังแต่เริ่มแรกจนถึงเวลา t_c จะต้องไม่น้อยกว่าค่าสมมูลทางความร้อนที่ได้จากกระแสไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยสถานะอยู่ตัว (i_k) (ที่เวลา t_c) เหตุการณ์ที่อาจเป็นไปได้มีแสดงไว้ในตัวอย่าง 3 ตัวอย่างข้างต้น

รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงกระแสเผาไส้หลอด

(ข้อ 7.7.2 และข้อ ค.6)

7.8 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว

7.8.1 ตัวอย่างของบริภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบนี้คือ Schaffner NSG 233

สำหรับพัลส์พลังงานสูงแบบช้า (slow high energy pulse), NSG 222A สำหรับพัลส์พลังงานต่ำแบบเร็ว (fast low energy pulse), NSG 200C สำหรับแรงดันไฟฟ้า 220 ถึง 240 โวลต์ และความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ หรือ NSG 200D สำหรับแรงดันไฟฟ้า 110 ถึง 120 โวลต์ และความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ (ปีที่ระบุ 1983) หรือ บริภัณฑ์อื่นที่ทัดเทียมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์จะถูกป้อนใน โมดคิฟเฟอเรนเชียล (หรือที่เรียกอีก 2 ชื่อว่า โมดสมมาตร และ โมดอนุกรม ซึ่งเป็นการป้อนระหว่างเฟสกับสายกลางหรือระหว่างเฟสกับเฟส) และในโมดคอมมอน (หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโมดสมมาตร ซึ่งเป็นการป้อนระหว่างเฟสกับกราวด์ของระบบหรือสายดินป้องกัน หรือระหว่างสายกลางกับกราวด์ของระบบหรือสายดินป้องกัน)

ตารางที่ 6 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดพัลส์ที่ไม่มีโหลด

(ข้อ 7.8.1)

แอมพลิจูด โวลต์	เวลา ขึ้น µs	ความกว้าง พัลส์ µs	อิมพีแดนซ์แหล่ง จ่าย โอห์ม	การซ้ำพัลส์ (สูงสุด)	พลังงานที่ได้ (สูงสุด) จูล
พลังงานสูงแบบซ้ำ					
คอมมอน 2500	300	50	45	1/8 ของ ความถี่แหล่ง จ่ายประจํา*	1
ดิฟเฟอเรน เชียล 1000	300	50	5	1/8 ของ ความถี่แหล่ง จ่ายประจํา*	1
*อัตราการซ้ำพัลส์ต่ำสุด 1/10 เฮิร์ตซ์ พลังงานต่ำแบบเร็ว					
คอมมอน 2500	5	0.10	50	1/5 ของ ความถี่แหล่ง จ่ายประจํา	0.002

7.8.2 การทดสอบพัลส์พลังงานสูงแบบซ้ำ

ทดสอบพัลส์ตามลักษณะสมบัติที่เกี่ยวข้องที่ระบุไว้ในข้อ 7.8.1 ดังนี้

- ตำแหน่งเฟสของพัลส์ : เฟสของพัลส์จะถูกเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องจาก 80° ถึง 460° โดยการค่อยๆ หมุนปุ่มอย่างช้าๆ จากสุดตำแหน่งเฟสข้างหนึ่งไปยังสุดตำแหน่งเฟสอีกข้างหนึ่ง และกลับสู่ตำแหน่งเดิมอย่างช้าๆ ภายใน 1 นาที
- สภาพขั้วพัลส์ : + และ -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บริษัทจะถูกทดสอบโดยตั้งค่าควบคุมค่าต่างๆไว้ที่ตำแหน่งที่ให้ผลที่ดีที่สุด

- ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกใช้โปรแกรมอัตโนมัติ

ให้ตรวจสอบการทำงานที่เหมาะสมและความถูกต้องสมบูรณ์ของส่วนประกอบด้านแหล่งจ่ายประจําของบริษัท เช่น ชุดกรองคลื่น และหม้อแปลง

หมายเหตุ 1. เนื่องจากพัลส์พลังงานสูงที่เกิดขึ้นติดต่อกันอย่างรวดเร็วอาจทำให้เกิดการเกินกำลังในส่วนประกอบแหล่งจ่ายประจําของบริษัทได้ ดังนั้นในบางครั้งจึงควรขยายเวลาการเข้าพัลส์ออกไปให้ถึงค่าสูงสุดไม่เกิน 10 วินาที

2. เนื่องจากการทดสอบนี้สามารถทำให้ชิ้นส่วนเสื่อมคุณภาพได้ เช่น ตัวต้านทานขึ้นกับแรงดัน (VDR) ซึ่งใช้เป็นตัวระงับภาวะชั่วครู่ของแหล่งจ่ายประจําและไทรแอก ดังนั้น รายงานการทดสอบจะต้องบอกเวลาการเข้าพัลส์ที่ใช้และจำนวนพัลส์ที่ป้อนจริง

7.8.3 การทดสอบพัลส์พลังงานต่ำแบบเร็ว

ทดสอบพัลส์ตามลักษณะสมบัติที่เกี่ยวข้องที่ระบุไว้ในข้อ 7.8.1 ดังนี้

- ตำแหน่งเฟสของพัลส์ : เฟสของพัลส์จะถูกเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องจาก 80° ถึง 460° โดยการค่อยๆ หมุนปุ่มอย่างช้าๆ จากสุดตำแหน่งเฟสข้างหนึ่งไปยังสุดตำแหน่งเฟสอีกข้างหนึ่ง และกลับสู่ตำแหน่งเดิมอย่างช้าๆ ภายใน 1 นาที
- สภาพขั้วพัลส์ : + และ -

ให้ตรวจสอบการทำงานที่เหมาะสมและความถูกต้องสมบูรณ์ของส่วนประกอบด้านแหล่งจ่ายประจําของบริษัท เช่น ชุดกรองคลื่น และหม้อแปลง

7.9 การทดสอบสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ

7.9.1 การทดสอบสัญญาณรบกวนที่นำมาตามสาย

ให้เป็นไปตาม CISPR 15

7.9.2 การทดสอบสัญญาณรบกวนที่แผ่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ให้เป็นไปตาม CISPR 15

7.10 การทดสอบการทำงานในภาวะผิดปกติ

7.10.1 การทดสอบการถอดหลอดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทำงานอยู่โดยที่แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับร้อยละ 110 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด และต่ออยู่กับโหลดที่เหมาะสม ให้ถอดหลอดออกโดยไม่ต้องตัดแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย 1 ชั่วโมง แล้วให้ใส่หลอดกลับเข้าไปในวงจรตามเดิม

7.10.2 การทดสอบหลอดจุดไม่ติด

ต่อตัวต้านทานสมมูลแทนใส่หลอดแต่ละไส้โดยให้มีความตามที่ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง แล้วให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่อกับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 110 ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากครบกำหนดเวลานี้แล้วให้ถอดตัวต้านทานสมมูลออก และต่อหลอดที่เหมาะสมเข้าไป

7.11 การทดสอบความทนทาน

7.11.1 ก่อนที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกนำไปทดสอบตามข้อ 7.10.2 บัลลาสต์จะต้องถูกทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิและวัฏจักรการสวิตช์วงจรเปิด ดังนี้

ก) การทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ (temperature cycle test)

เริ่มแรกบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิขีดจำกัดล่างของอุณหภูมิโดยรอบ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิ t_c (นิยามตาม มอก.885) เป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง ทำเช่นนี้ 5 วัฏจักร

ถ้าไม่ได้กำหนดขีดจำกัดล่างของอุณหภูมิโดยรอบไว้ ให้ใช้ค่า +10 องศาเซลเซียส

ข) การทดสอบวัฏจักรการสวิตช์ (switching cycle test)

ที่แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายที่กำหนด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกต่อกับแหล่งจ่าย 30 วินาที และถูกตัดออกจากแหล่งจ่าย 30 วินาที สลับกันไป ทำเช่นนี้ 1000 วัฏจักร โดยที่ขั้วต่อด้านนอกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ถูกเปิดวงจร

7.11.2 หลังจากทดสอบตามข้อ 7.10.1 แล้ว ให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับหลอดที่เหมาะสมที่แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายที่กำหนดและอุณหภูมิโดยรอบซึ่งทำให้เกิดอุณหภูมิ t_c ของบัลลาสต์ จนกระทั่งระยะเวลาผ่านไปถึงชั่วโมงที่ 200 จึงนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ออกมาปล่อยให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องสามารถจุดหลอดที่เหมาะสมและทำให้หลอดติดสว่างได้อย่างถูกต้องเป็นเวลา 15 นาที ระหว่างการทดสอบนี้หลอดจะวางอยู่ภายนอกเตาอบที่อุณหภูมิโดยรอบ 25 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ก.

บัลลาสต์อ้างอิง

(ข้อ 2.3)

ก.1 การทำเครื่องหมาย

ที่บัลลาสต์อ้างอิงอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร สัญลักษณ์ หรือข้อความต่อไปนี้ แสดงให้เห็นชัดเจน และถาวร

- (1) คำว่า “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์” หรือ “บัลลาสต์อ้างอิงที่ความถี่สูง”
- (2) ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- (3) หมายเลขลำดับ
- (4) กำลังไฟฟ้าที่กำหนดของบัลลาสต์และกระแสไฟฟ้าสอบเทียบ
- (5) แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนดของแหล่งจ่าย

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ก.2 ลักษณะสมบัติในการออกแบบ

ก.2.1 การออกแบบทั่วไปสำหรับความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์

บัลลาสต์ หมายถึง ขดลวดเหนี่ยวนำตนเอง ที่อาจมีตัวต้านทานประกอบด้วยหรือไม่ก็ได้ และออกแบบเพื่อให้ลักษณะสมบัติการทำงานตามข้อ ก.3

อาจใช้บัลลาสต์อ้างอิงในวงจรที่ใช้สตาร์ทเตอร์หรือในวงจรที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แยกต่างหากเพื่อเผาไส้หลอด

ก.2.2 บัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงสำหรับความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์

บัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูง หมายถึง ตัวต้านทานหรือขดลวดโช้ก (Choke Coil) ที่ออกแบบเพื่อให้ มีลักษณะสมบัติการทำงานตามข้อ ก.4

เนื่องจากบัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงชนิดนี้ประสงค์จะให้ใช้เป็นบรรทัด, านถาวร จึงจำเป็นต้องทำใ้บัลลาสต์นี้มีอิมพีแดนซ์คงที่ในภาวะใช้งานปกติ

สำหรับจุดประสงค์นี้ อาจจะต้องมีวิธีการที่เหมาะสมในการทำให้ความต้านทานอ้างอิงกลับสู่ค่าเดิม บัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงจะต้องถูกปิดหุ้มอยู่ในกล่องที่ป้องกันทั้งทางกลและทางไฟฟ้า และให้ระมัดระวังเรื่องการระบายความร้อนเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Watage Loss) ในตัวบัลลาสต์ด้วย

ก.2.3 การป้องกัน

บัลลาสต์อ้างอิงต้องมีสิ่งป้องกันอิทธิพของสารแม่เหล็ก เช่น ใช้กล่องหุ้มทำด้วยเหล็กกล้าที่เหมาะสม โดยที่อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ค่ากระแส

7.11.3 e_c ที่กล่าวถึง หมายถึง e_c ซึ่งวัดตำแหน่งหรือซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิมากที่สุด
ตำแหน่งหรือนี้อาจทราบได้โดยการหารอกับผู้ทำ
หมายเหตุ เมื่อทดสอบอุณหภูมิ e_c ภายในดวงโคม ให้ใช้ตำแหน่งหรือซึ่งมี
ผลต่ออุณหภูมิมากที่สุดตำแหน่งเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าสอบเทียบเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 เมื่อใช้แผ่นเหล็กกล้าอะนุ
ธรรมดา (Ordinary Mild Steel) หนา 12.5 มิลลิเมตร วางห่าง 25 มิลลิเมตรจากด้าน
ใดๆ ของกล่องหุ้มบัลลาสต์อ้างอิง

นอกจากนั้นต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกลด้วย

ก.3 ลักษณะสมบัติการทำงานสำหรับความถี่ 50 ถึง 60 เฮิร์ตซ์

ก.3.1 แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่กำหนดที่จ่ายให้กับบัลลาสต์อ้างอิงต้องเป็นไปตามค่าที่ให้
ไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง

ก.3.2 อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้า

อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าของบัลลาสต์อ้างอิงให้เป็นไปตามที่
กำหนดในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง โดยยอมให้คลาดเคลื่อนได้ดังนี้

- 1) \pm ร้อยละ 0.5 ที่ค่ากระแสไฟฟ้าสอบเทียบ
- 2) \pm ร้อยละ 3 ที่ค่ากระแสไฟฟ้าอื่นๆ ตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 115 ของกระแส
ไฟฟ้าสอบเทียบ

ก.3.3 ตัวประกอบกำลัง

ตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อ้างอิงเมื่อวัดที่กระแสไฟฟ้าสอบเทียบต้องเป็นไปตาม
ค่าที่กำหนดในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง โดยยอมให้คลาดเคลื่อนได้

± 0.005

ก.3.4 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

เมื่อบัลลาสต์อ้างอิงถูกใช้งานในที่ซึ่งมีอุณหภูมิโดยรอบระหว่าง 20 ถึง 27 องศาเซลเซียส
และใช้ค่ากระแสไฟฟ้าสอบเทียบที่ความถี่ที่กำหนด อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของขดลวดบัล
ลาสต์หลังจากเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพทางความร้อนแล้ว ต้องไม่เกิน 25 เคลวิน ทั้งนี้
เมื่อวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยการใช้การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทาน

ก.4 ลักษณะสมบัติการทำงานสำหรับความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์

ก.4.1 หัวไป

ข้อกำหนดรายละเอียดต่างๆ ต่อไปนี้ใช้กับการวัดค่าที่แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและความถี่ที่
กำหนดของบัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 25 ± 5 องศาเซลเซียส
หลังจากอุณหภูมิของบัลลาสต์อ้างอิงเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้ว

ก.4.2 อิมพีแดนซ์

อิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงจะต้องมีค่าตามที่ให้ไว้ในตารางข้อมูลของ
หลอดที่เกี่ยวข้อง โดยยอมให้คลาดเคลื่อนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) \pm ร้อยละ 0.5 ที่ค่ากระแสไฟฟ้าสอบเทียบ
- 2) \pm ร้อยละ 1 ที่ค่ากระแสไฟฟ้าค่าอื่นๆ ตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 115 ของกระแสไฟฟ้า สอบเทียบ

ก.4.3 ความเหนี่ยวนำอนุกรมและความจุไฟฟ้าขนาน

ความเหนี่ยวนำอนุกรมของตัวต้านทานอ้างอิงต้องน้อยกว่า 0.1 มิลลิเฮนรี และความจุไฟฟ้าขนานต้องน้อยกว่า 1 นาโนฟารัด

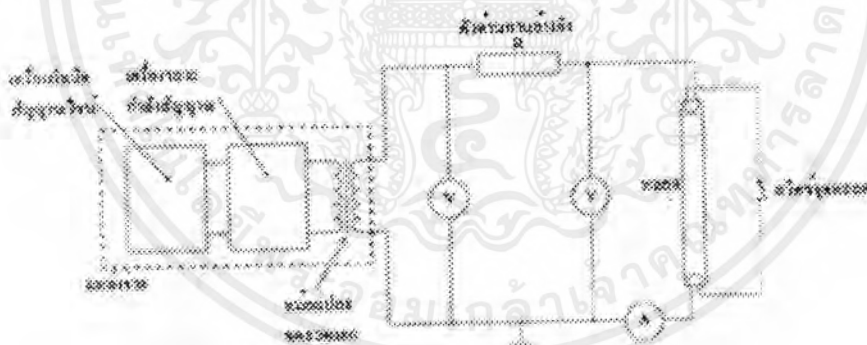
ก.5 วงจรสำหรับความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ (ดูรูปที่ ก.1) ก

ก.5.1 การเผาไส้หลอด

อาจใช้บัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงในวงจรที่ใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแยกต่างหากเพื่อเผาไส้หลอดสำหรับช่วยในการจุดหลอดอย่างเหมาะสม แต่ต้องปลดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหล่านี้เมื่อจะวัดที่หลอด

ก.5.2 แหล่งจ่ายกำลัง

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงซึ่งใช้ในการปรับแต่ง หรือใช้ทดสอบกับบัลลาสต์อ้างอิงความถี่สูงต้องอยู่ในลักษณะที่ เมื่อรับโหลดเต็มที่ ผลรวมค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของส่วนฮาร์มอนิกต้องไม่เกินร้อยละ 3 ของส่วนประกอบหลักมูล



รูปที่ ก.1 วงจรอ้างอิงความถี่สูง
(ข้อ ก.5)

แหล่งจ่ายนี้ต้องคงที่และไม่มี การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ได้ผลดีที่สุดแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายจะต้องถูกควบคุมค่าอยู่ภายในร้อยละ 0.2

สำหรับบัลลาสต์อ้างอิงแบบตัวต้านทาน ความถี่จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกินร้อยละ 2 สำหรับบัลลาสต์อ้างอิงแบบขดลวดโซ่ ความถี่จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกินร้อยละ 0.5

ก.5.3 อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้กับแบตเตอรี่อ้างอิงความถี่สูงจะต้องเหมาะสมกับการทำงานที่
ความถี่สูง

ก.5.4 การเดินสาย

สายเคเบิลที่ใส่ต่อต้องให้สั้นและตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อหลีกเลี่ยงความจุไฟฟ้า
ปรสิติก

ความจุไฟฟ้าปรสิติกที่ขนานอยู่กับโหลดต้องน้อยกว่า 1 นาโนฟารัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

หลอดอ้างอิง

(ข้อ 2.4)

หลอดที่ผ่านการบ่มอย่างน้อย 100 ชั่วโมง จะถือว่าเป็นหลอดอ้างอิงถ้า เมื่อใช้ร่วมกับบัลลาสต์
ในภาวะต่างๆ ที่นิยามไว้ในภาคผนวก ก. และทำงานที่อุณหภูมิโดยรอบ 25 องศาเซลเซียสแล้ว
กำลังไฟฟ้าของหลอด แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วหลอด หรือ กระแสไฟฟ้าผ่านหลอดในภาวะ
เสถียร ไม่เบี่ยงเบนเกินร้อยละ 2.5 จากค่าที่ประสงค์หรือค่าที่ระบุที่สมนัยกันตามความเหมาะสม
ตามที่กำหนดในตารางข้อมูลของหลอด มอก. 236 IEC 81 และ IEC 901

สำหรับหลอดที่ทำงานโดยไม่ใช้สตาร์ทเตอร์ ค่าความต้านทานของไส้หลอดจะต้องไม่เบี่ยงเบน
เกินร้อยละ 10 จากค่าที่ประสงค์สำหรับชนิดของหลอดที่ใช้ ถ้าค่าความต้านทานสูงกว่านี้ อาจ
ลดค่าลงได้โดยใช้ตัวต้านทานขนาน

หลอดอ้างอิงต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้กับบัลลาสต์ที่นำมาทดสอบโดยเฉพาะ

รูปคลื่นของกระแสที่ผ่านหลอดอ้างอิงในภาวะเสถียรขณะทำงานร่วมกับบัลลาสต์อ้างอิงจะต้อง
เป็นอย่างเดียวกันทุกๆ ครึ่งวัฏจักรที่ต่อเนื่องกัน

หมายเหตุ ข้อกำหนดนี้เป็นตัวจำกัดการก่อกำเนิดฮาร์โมนิกคู่ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการ
เรียงกระแสใดๆ

ภาคผนวก ก.

คำอธิบายเรื่องภาวะการจุดหลอด

(ข้อ 4.2)

ก.1 บทนำ

ภาคผนวกนี้ระบุคุณลักษณะต่างๆ ที่ต้องการเกี่ยวกับภาวะการจุดหลอดที่กำหนดไว้ในข้อ 4.2 และข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ให้ไว้ในตารางข้อมูลของหลอดตาม มอก.236 และ IEC เพื่อรวบรวมวิธีการจุดหลอดที่แตกต่างซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการจุดหลอดได้ โดยที่วิธีการจุดหลอดเหล่านี้อาจจะซับซ้อนกว่าวิธีการจุดหลอดของวงจร 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์แบบดั้งเดิม ภาคผนวกนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อช่วยตีความคุณลักษณะที่ต้องการของมาตรฐานนี้และข้อมูลที่ได้ระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอด

ก.2 ลักษณะสมบัติที่ส่งผลกระทบต่อการจุดหลอด

มีลักษณะสมบัติทางกายภาพหลักอยู่ 5 ลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์

เช่น

ก.2.1 การเผาไส้หลอด : กระแสเผาไส้หลอด และระยะเวลาที่ใช้

ก.2.2 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด : แรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดและแรงดันไฟฟ้าที่ให้แก่อุปกรณ์ช่วยจุดหลอดทั้งในระหว่างการเผาไส้ก่อน และขณะที่หลอดเริ่มจุดติด

ก.2.3 ภาวะแวดล้อม : อุณหภูมิโดยรอบและความชื้นสัมพัทธ์

ก.2.4 ภาวะทางกายภาพของหลอด : ชนิดของก๊าซและความดันที่บรรจุไว้ในภายในหลอด มิติของหลอด และการมีฟิล์มตัวนำภายใน

ก.2.5 ภาวะของแหล่งจ่ายและดวงโคม : ความถี่การใช้งาน มิติและระยะห่างของอุปกรณ์ช่วยจุดหลอด

ลักษณะสมบัติเหล่านี้ทั้งหมดจะมีผลต่อกันในลักษณะที่ซับซ้อน และสำหรับวิธีการจุดหลอดอย่างใดอย่างหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ ถ้าลักษณะสมบัติทั้งห้ารวมกันอย่างไม่ถูกต้อง สมรรถนะของหลอดอาจจะเลวลง (เช่น อายุหลอดสั้นลง จำนวนครั้งของการจุดหลอดลดลงสำหรับอายุการใช้งานของหลอดที่กำหนดให้ ปลายหลอดดำมากเกินปกติ)

ก.3 วิธีการหลักของการจุดหลอด

วิธีการหลักของการจุดหลอดที่ใช้กับหลอดที่มีความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ เท่าที่ใช้กันแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

ก.3.1 การจุดแบบเผาไส้ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3.2 การจุดแบบไม่เผาไส้ก่อน

ทั้ง 2 วิธีนี้สามารถนำมาใช้ได้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แต่เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างให้มีลักษณะทางเทคโนโลยีที่สูงกว่าได้ จึงมักจะต้องปรับปรุงวิธีการระบุ การวัด และการประเมินลักษณะการจุดหลอดเสียใหม่

ถึงแม้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อาจจะทำให้เกิดภาวะการจุดหลอดที่ซับซ้อนกว่าบัลลาสต์ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ แบบดั้งเดิมก็ตาม ก็สามารถใช้หลักการเดียวกันได้ถ้าต้องการให้หลอดมีสมรรถนะดี

ค.4 วิธีการเฉพาะของการจุดหลอด

ค.4.1 การจุดแบบเผาไส้ก่อน

วิธีการพื้นฐาน 2 วิธีที่ทำให้สามารถจุดหลอดแบบเผาไส้ก่อนได้ก็คือ

- การเผาไส้ก่อนแบบควบคุมด้วยกระแส หรือ
- การเผาไส้ก่อนแบบควบคุมด้วยแรงดัน

เพื่อให้หลอดมีสมรรถนะเป็นที่น่าพอใจ วิธีการทั้งสองจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดในระหว่างการจุดหลอด ดังนี้

- (1) ก่อนที่ไส้หลอดจะปล่อยอิเล็กตรอน แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคร่อมหลอด และ/หรือ แรงดันไฟฟ้าจากหลอดไปยังอุปกรณ์ช่วยจุดหลอด จะต้องถูกรักษาไว้ให้ต่ำกว่าระดับที่จะทำให้เกิดกระแสรั่วแสงของหลอดอันจะเป็นอันตรายต่อไส้หลอด
- (2) หลังจากที่ไส้หลอดปล่อยอิเล็กตรอนแล้ว แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดต้องเพียงพอที่จะทำให้หลอดจุดติดได้อย่างรวดเร็ว โดยปราศจากการจุดซ้ำอีก
- (3) ถ้าจำเป็นจะต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเพื่อจุดหลอดให้ติด หลังจากที่ไส้หลอดถึงจุดปล่อยอิเล็กตรอนแล้ว การเปลี่ยนแปลงจากแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดค่าต่ำไปเป็นค่าสูงจะต้องเกิดขึ้นในขณะที่ไส้หลอดยังคงอยู่ที่อุณหภูมิปล่อยอิเล็กตรอน

- (4) ในระหว่างการเผาไส้ก่อน กระแสเผาไส้หรือแรงดันไฟฟ้าเผาไส้จะต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้สารปล่อยอิเล็กตรอนที่ไส้หลอดถูกทำลายเพราะร้อนมากเกินไป เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ต้องการสำหรับการจุดแบบเผาไส้ก่อนนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้น วงจรที่ต่อหลอดหลายหลอดอนุกรมกันจึงสามารถใช้ได้เฉพาะกับหลอดบางชนิดเท่านั้น

ในกรณีเช่นนี้บางครั้งอาจใช้ตัวเก็บประจุช่วยจุดโดยต่อขนานเข้ากับกลุ่มหลอดบางกลุ่มในขณะที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเต็มที่คร่อมหลอดที่ไม่มีตัวเก็บประจุต่อ

ขนานอยู่ ขนาดของตัวเก็บประจุช่วยจุดขึ้นอยู่กับกระแสตรงที่อาจก่อปัญหาในระหว่างช่วงเริ่มต้นของการจุด ในกรณีนี้ต้องระมัดระวังเรื่องการเลือกใช้ขนาดของตัวเก็บประจุช่วยจุด โดยจะต้องให้สอดคล้องกับการจุดติดตั้งและลักษณะเชิงสมรรถนะอื่นๆของหลอดและบัลลาสต์

ค.4.2 การจุดหลอดแบบไม่เผาไส้ก่อน

การจุดหลอดแบบนี้อาศัยข้อดีของการปล่อยอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้าจากไส้หลอด โดยไม่ต้องมีการเผาในขณะที่ย้อนแรงดันไฟฟ้าวงจรสูงคร่อมหลอดอย่างทันทีทันใด ระดับของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและอิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาที่หลอดจะใช้ในการเปลี่ยนจากขั้นตอนกระแสตรงของการปล่อยประจุไปสู่สถานะอาร์กเต็มที เหตุผลหลักอย่างหนึ่งของการที่ปลายขั้วหลอดดำมากเกินปกติ และหลอดเสียก่อนเวลาอันควรก็คือกระแสปล่อยประจุสูงมีค่าสูง และ/หรือ ใช้เวลานานเกินไปในช่วงกระบวนการจุด เพื่อที่จะลดผลเสียหายเนื่องจากกระแสปล่อยประจุสูงดังกล่าวนี้ให้ต่ำที่สุดจึงจำเป็นต้องทำให้แน่ใจว่ามีการป้อนแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดต่ำที่สุดและบัลลาสต์มีความสามารถที่จะจุดหลอดได้อย่างรวดเร็วในช่วงเวลานี้ โดยไม่มีการจุดซ้ำหลังจาก 100 มิลลิวินาที

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดจะใช้กระแสที่ไหลผ่านไส้หลอดเพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ นอกเหนือจากการเผาไส้หลอดที่เพียงพอ (เช่น เพื่อสนับสนุนการจุดที่แรงดันไฟฟ้าจุดหลอดลดต่ำลงได้) กรณีเช่นนี้จะต้องเคร่งครัดเรื่องขีดจำกัดของกระแสผ่านไส้หลอดสูงสุดเพื่อหลีกเลี่ยงมิให้ไส้หลอดร้อนจัดเกินไป

ค.5 การตีความตามข้อ 4.2 และข้อมูลจากตารางข้อมูลของหลอด

ค.5.1 การจุดแบบเผาไส้ก่อน

ค.5.1.1 บัลลาสต์ที่ใช้การเผาไส้ก่อนแบบควบคุมด้วยกระแส

(1) กระแสเผาไส้ประสิทธิภาพและเวลาการปล่อยอิเล็กตรอน (t_e)

ค่าต่ำสุดของกระแสเผาไส้ประสิทธิภาพ

ปริมาณความร้อนที่จำเป็นสำหรับทำให้ไส้หลอดชนิดที่กำหนดให้สามารถร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิปล่อยอิเล็กตรอนต่ำสุดนั้นสามารถบอกได้ในเทอมของเวลา กระแส และค่าคงตัว ซึ่งหาได้จากสมบัติทางกายภาพของไส้หลอดชนิดที่กำหนดให้

ความสัมพันธ์นี้สามารถแสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$t_e = a(j_k^2 - i_m^2)^{-1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ t_c คือ เวลาเผาไส้ก่อนปล่อยอิเล็กตรอน * เป็นวินาที
- a คือ ค่าคงตัวสำหรับชนิดของไส้หลอด
- i_{kc} คือ กระแสเผาไส้ประสิทธิผลต่ำสุดที่จำเป็นถึงเวลา t_c เป็นแอมแปร์
- i_m คือ ค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ของกระแสเผาไส้ประสิทธิผล เป็นแอมแปร์ เพื่อให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอนถ้ากระแสนี้ไหลเป็นระยะเวลาอนพอด (เช่น ≥ 30 จากตอนที่ไส้หลอดเย็น)

หมายเหตุ* เวลาที่เผาไส้ก่อนปล่อยอิเล็กตรอนที่น้อยกว่า 0.4 วินาที ตามปกติจะไม่เป็นที่ ยอมรับ เพราะจากประสบการณ์ แสดงให้เห็นว่าการเผาไส้หลอดก่อนที่นำพ้อใจนั้นจะไม่สามารถทำได้เสมอไปในทางปฏิบัติ

ค่าคงตัว (a) และค่ากระแสต่ำสุดสัมบูรณ์ (i_m) จะดูได้จากตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าความต้านทานของตัวต้านทานของตัวต้านทานที่ใช้ต่อแทนไส้หลอด

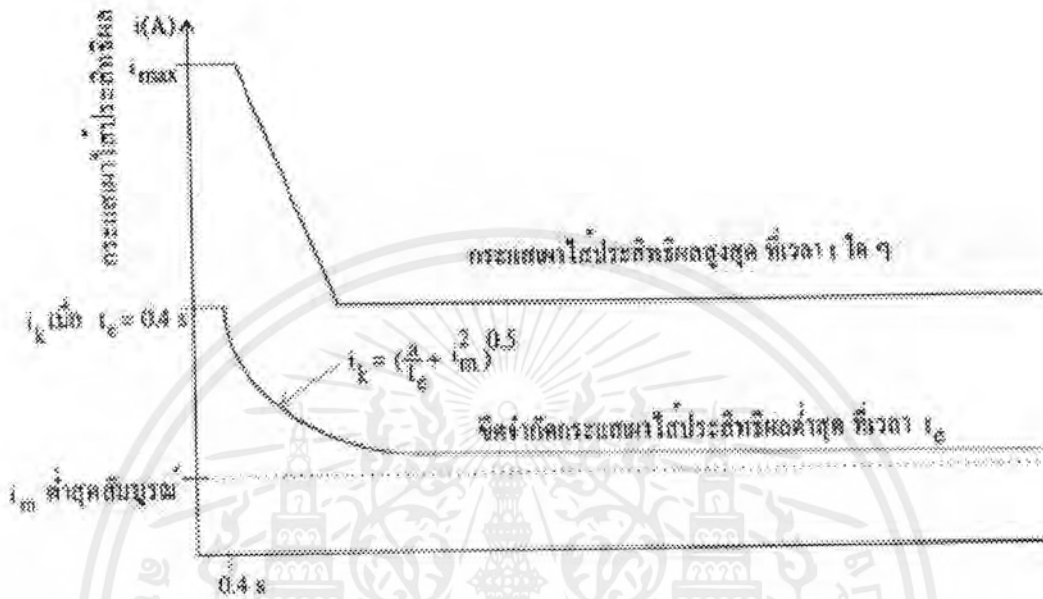
กระแสเผาไส้ประสิทธิผลต่ำสุด (i_{kc}) สามารถคำนวณได้โดยการแทนค่าที่วัดได้ของ t_c ลงในสมการที่ให้มาในตารางข้อมูลของหลอดแต่ละตาราง

ค่าสูงสุดของกระแสเผาไส้ประสิทธิผล

ผลการทดลองในทางปฏิบัติได้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถป้อนกระแสเผาไส้ประสิทธิผลที่ค่อนข้างสูงให้แก่ไส้หลอดได้ในช่วงเวลานั้น (≤ 0.4 วินาที) โดยไม่ทำให้ไส้หลอดเสียหาย แต่เราจะต้องลดกระแสลงเรื่อยๆ หลังจาก 0.4 วินาที และที่เวลาตั้งแต่ 2 วินาทีเป็นต้นไปค่ากระแสไม่ควรเกินค่าหนึ่งซึ่งแตกต่างกันมีนัยสำคัญจากค่าที่ได้กำหนดไว้สำหรับ โกลด์สตาร์เตอร์ ที่ใช้กับความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์

ระดับสูงสุดของกระแสเผาไส้ประสิทธิผลให้ไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ใช้ต่อแทนไส้หลอดซึ่งจำเป็นสำหรับการทดสอบ

กราฟแสดงข้อกำหนดต่างๆ เหล่านี้ให้ไว้ในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 ความต้องการด้านกระแสไฟฟ้าโหลดสำหรับบัลลาสต์ชนิดจุดโหลดโดยมี
การเผาไหม้ควบคุมด้วยกระแส

(ข้อ ค.5.1.1)

- (2) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและเวลาเปลี่ยนสถานะ (t_s)
ข้อมูลในตารางข้อมูลของโหลดที่เกี่ยวข้องมีให้ไว้สำหรับระบบที่ต้องการอุปกรณ์
ช่วย จุดโหลดและระบบที่ไม่ต้องการอุปกรณ์ช่วยจุดโหลด
ก่อนที่จะเริ่มการทดสอบ จำเป็นจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าระบบถูกต้อง
เมื่อแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดถูกทำให้เพิ่มขึ้นที่เวลา t_s เวลาเปลี่ยนสถานะ (t_s) จะ
ต้องน้อยกว่า 100 มิลลิวินาทีถ้าหยุดการเผาไหม้ที่เวลา t_s
เวลาเปลี่ยนสถานะที่มากกว่า 100 มิลลิวินาทีเป็นที่ยอมรับได้ถ้าได้โหลดยังคงถูก
ทำให้ปล่อยอิเล็กตรอนอยู่ในช่วงเวลาเปลี่ยนสถานะ
เนื่องจากได้โหลดจะต้องถูกทำให้ปล่อยอิเล็กตรอนในช่วงเวลา t_s จึงจำเป็นที่จะ
ต้องแน่ใจว่าค่ากระแสไฟฟ้าประสิทธิผลจะไม่ลดลงต่ำกว่าค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ (i_m)
ในช่วงเวลาการเปลี่ยนสถานะ / การจุดติดของโหลด

ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดก่อนถึงเวลา t_c และค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดหลังจากเวลา t_c ถูกระบุไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง สำหรับหลอดบางประเภท ตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องจะระบุค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสูงสุดก่อนถึงเวลา t_c ซึ่งมากกว่าหรือเท่ากับค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดหลังจากเวลา t_c บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับหลอดชนิดต่างๆ เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเพื่อการจุดหลอดอย่างถูกต้อง

กราฟแสดงข้อกำหนดต่างๆ เหล่านี้ให้ไว้ในรูปที่ 2

ค.5.1.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการเผาไส้ก่อนแบบควบคุมด้วยแรงดัน

(1) แรงดันไฟฟ้าค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยและเวลาที่ใช้

ถึงแม้ว่าการควบคุมกระแสเป็นวิธีการพื้นฐานในการควบคุมภาวะการเผาไส้ก่อนก็ตาม การควบคุมแรงดันก็ง่ายต่อการระบุและวัดค่า

สำหรับวิธีที่ควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าไส้หลอดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อุณหภูมิปล้อยอิเล็กตรอนและหลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่สูงเกินไปนั้นสามารถหาได้จากตารางทดลองในทางปฏิบัติ

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิการปล้อยอิเล็กตรอนของไส้หลอดเกิดขึ้นเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าคร่อมไส้หลอดสูงเกินค่าต่อไปนี้ และถูกป้อนในช่วงเวลาอย่างน้อย 0.4 วินาที

- สำหรับไส้หลอดความต้านทานต่ำ : 3.0 โวลต์ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย
- สำหรับไส้หลอดความต้านทานสูง : 6.0 โวลต์ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย

เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้อุณหภูมิที่ไส้หลอดสูงเกินไป ชีตจำกัดอย่างอื่นๆ จะถูกกำหนดไว้

การเกิดอาร์กตามขวาง (transverse arcing) จะปรากฏคร่อมไส้หลอดทั้งหมดเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้สูงเกิน 10 โวลต์ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย และสำหรับไส้หลอดความต้านทานต่ำ ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มันได้ถูกหาไว้จากการทดลองที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์อื่นๆ ของสมรรถนะของหลอด ค่าขีดจำกัดนี้โดยปกติจะตั้งไว้ต่ำกว่าระดับการเกิดอาร์กตามขวาง แต่ก็ยอมให้เกิดอาร์กตามขวางได้ถ้าระมัดระวังมิให้กระแสไหลในวงจรเผาไส้สูงเกินไปจนทำลายไส้หลอดหรือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

หลอดชนิดไส้หลอดความต้านทานต่ำมีแบบการทำงานอยู่หลายแบบต่างๆ กัน ในที่นี้ขอมาให้ใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าเผาไส้ก่อนที่คงค่าอยู่ตลอดการทำงาน อย่างไรก็ตามในระบบอื่นๆ อาจจะลดแรงดันไฟฟ้านี้ลงหลังจากจุดหลอด

(2) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

ก่อนถึงเวลาปล่อยอิเล็กตรอนด้วยความร้อนของไส้หลอด ถ้าค่าของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของหลอดต่ำกว่าค่าที่สามารถจุดติดได้ขณะเย็น แล้วก็สามารถทำการเผาไส้ก่อนและป้อนแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดพร้อมกันได้ ถึงแม้ว่าวงจรบัลลาสต์อิเล็กตรอนิกส์จะมีวิธีควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้หลายวิธี

หลักการที่ยังคงใช้ได้ก็คือให้รักษาแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดต่ำกว่าระดับจุดติดได้ขณะเย็น เอาไว้จนกระทั่งมีการปล่อยอิเล็กตรอนด้วยความร้อน

สำหรับบัลลาสต์อิเล็กตรอนิกส์เหล่านี้ จะต้องใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ค่าเหล่านี้มีแสดงไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องภายใต้หัวข้อ “ภาวะก่อนจุด-การเผาไส้หลอดด้วยแรงดัน”

สำหรับบัลลาสต์อิเล็กตรอนิกส์ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดถูกเพิ่มค่าขึ้นหลังจากปล่อยอิเล็กตรอนของไส้หลอด จะต้องใช้ค่าของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่แสดงไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้องภายใต้หัวข้อ “ภาวะก่อนจุด-การเผาไส้หลอดด้วยกระแส” ในกรณีนี้ให้เท่ากับ 0.4 วินาที

การจุดหลอดด้วยวิธีนี้โดยปกติจำเป็นต้องใช้ระนาบที่มีการต่อลงดินเป็นอุปกรณ์ช่วยจุดหลอด สำหรับหลอดทุกชนิดยกเว้นที่มีอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดอยู่ภายใน จะต้องทำให้แรงดันไฟฟ้าคายอด (V_p) ค่าต่ำสุดค่าหนึ่งขึ้นระหว่างไส้หลอดกับอุปกรณ์ช่วยจุดหลอด และมีแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอด (V_u) ตามที่จำเป็น ความถี่ใช้งานของวงจรจะมีผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้ กล่าวคือ ส่วนมากการเพิ่มความถี่จะทำให้ใช้ค่า V_p ที่ต่ำลงได้แต่ต้องใช้ V_u ที่สูงขึ้น การใช้สวิตช์เปลี่ยนนำไฟฟ้าภายในหลอดอาจเพิ่มค่า V_u ที่ความถี่สูงได้อย่างมีนัยสำคัญ ความถี่ของอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดภายนอกกับหลอดจะมีผลกระทบทั้ง V_p และ V_u โดยทั่วไปการเพิ่มระยะห่างของอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดจะทำให้ต้องใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าจุดหลอดสูงขึ้น จะต้องใช้ระยะห่างต่ำสุดของอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดจะทำให้ต้องใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าจุดหลอดสูงขึ้น จะต้องใช้ระยะห่างต่ำสุดของอุปกรณ์ช่วยจุดหลอดเพื่อหลีกเลี่ยงกระแสค่าสูงสุดของอุปกรณ์ช่วยจุดหลอด

ค.5.2 การจุดแบบไม่เผาไส้ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดอย่างเดียวยังไม่รับประกันว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะ
จุดหลอดได้ราบรื่น โดยใช้ช่วงเวลาการเกิดกระแสรุ่งแสงที่ต้องการสั้นที่สุด บัลลาสต์
อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดไม่สามารถป้องกันกระแสที่จำเป็นสำหรับการขับหลอดอย่าง
รวดเร็วผ่านสถานะรุ่งแสงไปสู่สถานะอาร์ก

เพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์นี้ การทดสอบอิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงทำ
กับตัวต้านทานที่ใช้ต่อแทนหลอด

ค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ใช้ต่อแทนหลอดและระดับกระแสต่ำสุดซึ่งจะต้อง
ปรับให้ได้ในตัวต้านทานนี้มีแสดงไว้ในตารางข้อมูลของหลอดที่เกี่ยวข้อง

ค.6 ข้อกำหนดการวัด

เนื่องจากลักษณะสมบัติก่อนจุดและระหว่างจุดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่จำเป็นที่จะ
ทำให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสถานะอยู่ตัว จึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์และเทคนิค
การวัดที่เหมาะสมกับภาวะเหล่านี้ คำว่า “กระแสประสิทธิผล” ในการกล่าวถึงผลของความ
ร้อนถึงเวลา t ที่จะเกิดขึ้นจากกระแสที่แปรตามเวลาและที่สมมูลกับกระแสไฟฟ้าค่าราก
ของกำลังสองเฉลี่ยในสถานะอยู่ตัวที่ให้ผลทางความร้อนเท่ากัน (ดูรูปที่ 6)

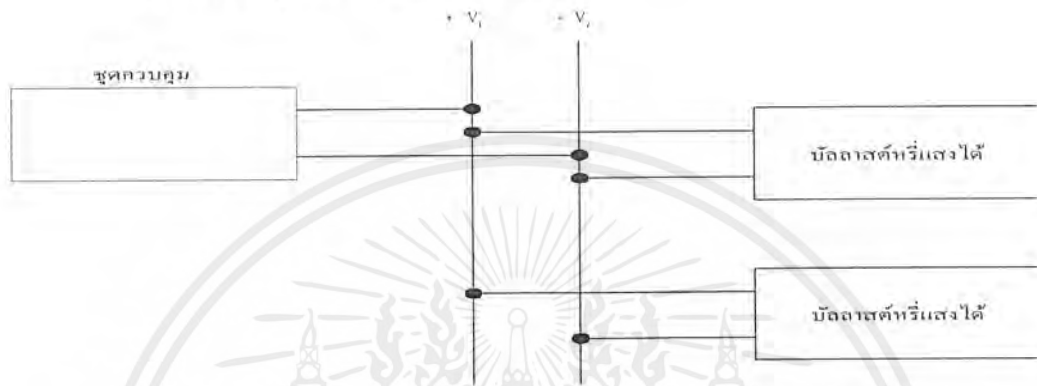
ปัจจุบันนี้ อุปกรณ์การวัดแบบเฉพาะสามารถหาซื้อได้แล้ว ซึ่งก็จะแสดงค่าสำหรับข้อมูลที่
ต้องการได้ในทันที หรือมีละนั้นก็อาจใช้อุปกรณ์แบบดั้งเดิมร่วมกับการคำนวณข้อมูลด้วย
มือ

$V_{1,2}$ อยู่ระหว่าง 0 กับ 11 โวลต์ : กำลังของหลอดเสถียร

$V_{1,2}$ อยู่ระหว่าง 0 กับ 1 โวลต์ : แสงออกมาต่ำที่สุด

ง.2.2 แผนภาพการต่อ

สามารถต่อบัลลาสต์หรือแสงได้หลายตัวเข้ากับชุดควบคุมชุดหนึ่งได้โดยวิธีตามรูปที่
ง.2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีสามารถนำกระแส

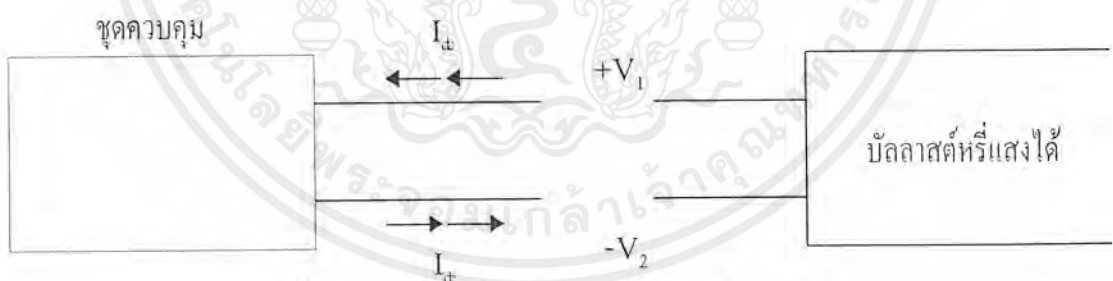


รูปที่ ง.2 การต่อบัลลาสต์หรือแสงได้หลายตัวเข้ากับชุดควบคุมชุดหนึ่ง
(ข้อ ง.2.2)

ง.2.3 ข้อกำหนดคุณลักษณะทางไฟฟ้า

ง.2.3.1 บัลลาสต์หรือแสงได้เป็นแหล่งกำเนิดแสง

ดังแสดงในรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.3 บัลลาสต์หรือแสงได้เป็นแหล่งกำเนิดกระแส

(ข้อ ง.2.3.1)

ง.2.3.2 ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าเข้าควบคุม

บัลลาสต์ต้องไม่ชำรุดเมื่อแรงดันไฟฟ้าเข้าควบคุม $V_{1,2}$ อยู่ระหว่าง -20 กับ +20 โวลต์

บัลลาสต์ต้องไม่สร้างแรงดันไฟฟ้าที่เกินขีดจำกัดสำหรับชุดควบคุมและไม่ว่ากรณีใดๆ ต้องไม่เกินต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{1,2}$ อยู่ระหว่าง -20 ถึง $+20$ โวลต์

ขั้วต่อควบคุมต้องได้รับการป้องกันการกลับขั้ว ในกรณีนั้นบัลลาสต์ต้องทำงาน โดยมีแสงที่ออกมาน้อยที่สุดหรือไม่ทำงาน

ที่แรงดันไฟฟ้าเข้าควบคุมระหว่าง 0 ถึง 11 โวลต์แสงที่ออกมาต้องมีเสถียรภาพ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

ง.2.3.3 ขีดจำกัดกระแสเข้าควบคุม

ขีดจำกัดสำหรับกระแสเข้าควบคุมซึ่งป้อนให้ชุดควบคุม คือ ต่ำสุด 10 ไมโครแอมแปร์ และสูงสุด 2 มิลลิแอมแปร์

ต้องระบุหรือบอกค่ากระแสเข้าควบคุมไว้บนบัลลาสต์

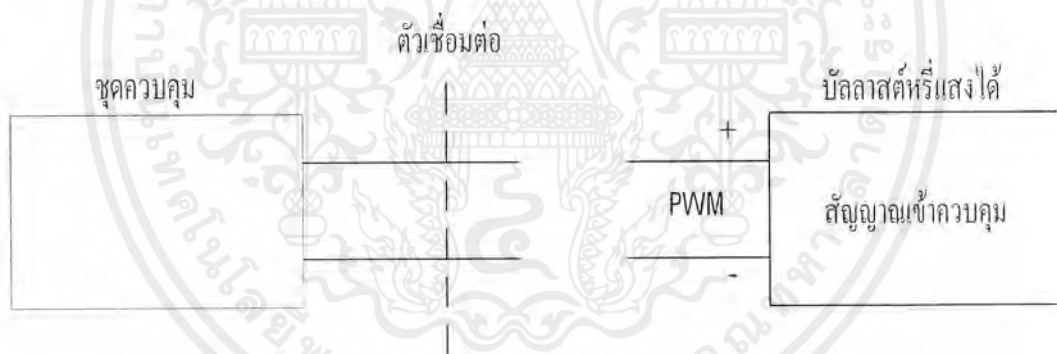
ง.2.3.4 การเปิดสวิตช์ (switch-on)

อนุญาตให้มีการเปิดสวิตช์ที่ตำแหน่งหรือแสงใดๆ ได้

ง.3 การควบคุมด้วยการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (pulse width modulation : PWM)

ง.3.1 แผนภาพวงจร ; ข้อกำหนดคุณลักษณะเชิงหน้าที่สำหรับการควบคุม PWM

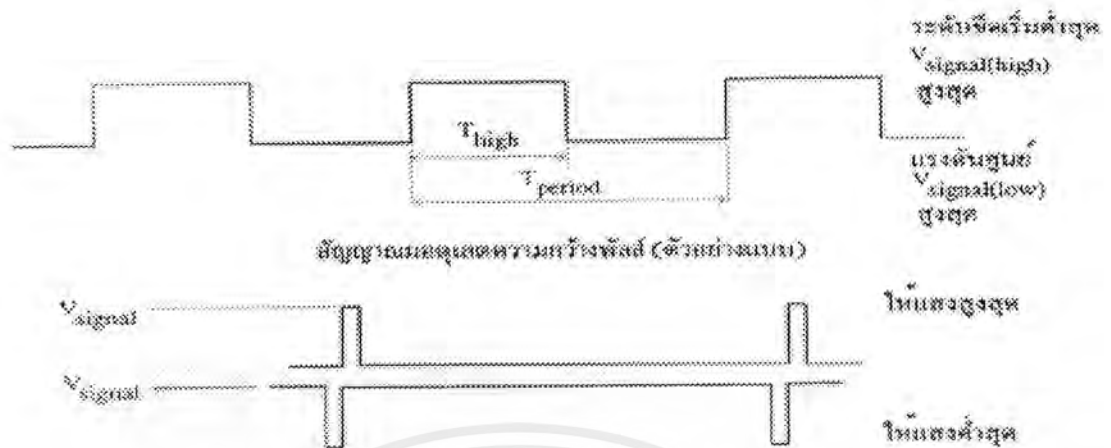
แผนภาพวงจรดังแสดงในรูปที่ ง.4



รูปที่ ง.4 การควบคุมด้วยการมอดูเลตความกว้างพัลส์

(ข้อ ง.3.1)

กำลังของหลอด (แสงที่ออกมา) ของบัลลาสต์หรือแสงได้ถูกควบคุมด้วยสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์บนสัญญาณเข้าควบคุมของบัลลาสต์หรือแสงได้ กำลังของหลอดถูกเปลี่ยนโดยการเปลี่ยนค่าร้อยละของเวลาซึ่งสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์อยู่ที่ V_{signal} สัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์มีลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ ง.5 ประกอบ)



สัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์สำหรับแสงที่ออกมาสูงสุดและต่ำสุด

รูปที่ ๓.5 สัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

(ข้อ ๓.3.1)

แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณอยู่ระหว่าง $V_{\text{signal}}(\text{low})$ กับ โดยที่ $V_{\text{signal}}(\text{high})$ โดยที่

$V_{\text{signal}}(\text{low})$ ต่ำสุดคือ 0 โวลต์

$V_{\text{signal}}(\text{low})$ สูงสุดคือ 1.5 โวลต์

$V_{\text{signal}}(\text{high})$ ต่ำสุดคือ 10 โวลต์

$V_{\text{signal}}(\text{high})$ สูงสุดคือ 25 โวลต์

$V_{\text{period}}(\text{cycle time})$ คือ 1 มิลลิวินาทีต่ำสุด และ 10 มิลลิวินาทีต่ำสุด

แสงที่ออกมาเต็มที่เมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - เป็นร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 5 + ร้อยละ 1

ร้อยละ 1 หรือแสงที่ออกมาน้อยที่สุดเมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - เป็นร้อยละ 95 + ร้อยละ 1

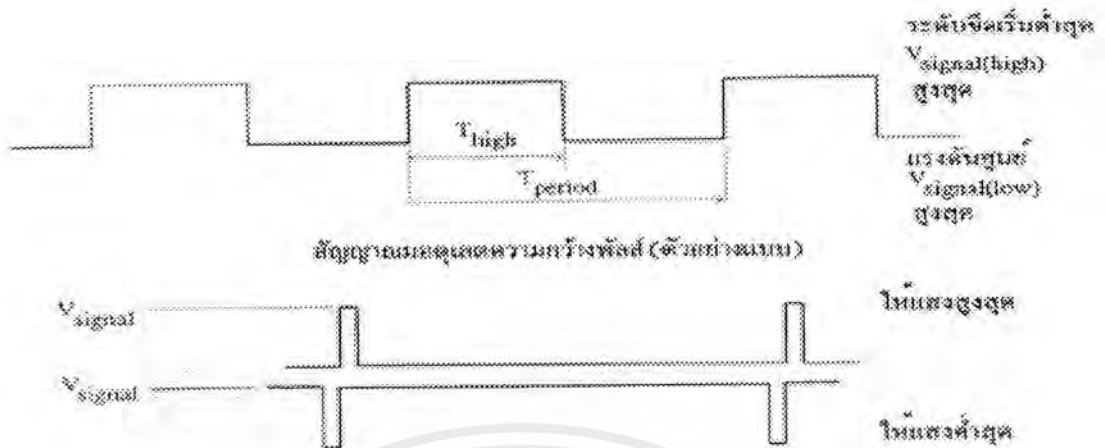
ปิดสวิทช์เมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - มากกว่าร้อยละ 95

หมายเหตุ ส่วนของสัญญาณนี้ถูกกลับขั้วเพื่อปิดสวิทช์ อย่างไรก็ตามถ้าบัลลาสต์ไม่มีลักษณะเช่นนี้ ควรคงด้านออก ของบัลลาสต์ไว้ที่ค่าต่ำสุด

ไม่มีการปิดสวิทช์เมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - น้อยกว่าร้อยละ 95

๓.3.2 แผนภาพการต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์สำหรับแสงที่ออกมาสูงสุดและต่ำสุด

รูปที่ ๓.5 สัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

(ข้อ ๓.3.1)

แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณอยู่ระหว่าง $V_{\text{signal}}(\text{low})$ กับ โดยที่ $V_{\text{signal}}(\text{high})$ โดยที่

$V_{\text{signal}}(\text{low})$ ต่ำสุดคือ 0 โวลต์

$V_{\text{signal}}(\text{low})$ สูงสุดคือ 1.5 โวลต์

$V_{\text{signal}}(\text{high})$ ต่ำสุดคือ 10 โวลต์

$V_{\text{signal}}(\text{high})$ สูงสุดคือ 25 โวลต์

V_{period} (cycle time) คือ 1 มิลลิวินาทีต่ำสุด และ 10 มิลลิวินาทีต่ำสุด

แสงที่ออกมาเต็มที่เมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - เป็นร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 5 + ร้อยละ 1

ร้อยละ 1 หรือแสงที่ออกมาน้อยที่สุดเมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - เป็นร้อยละ 95 + ร้อยละ 1

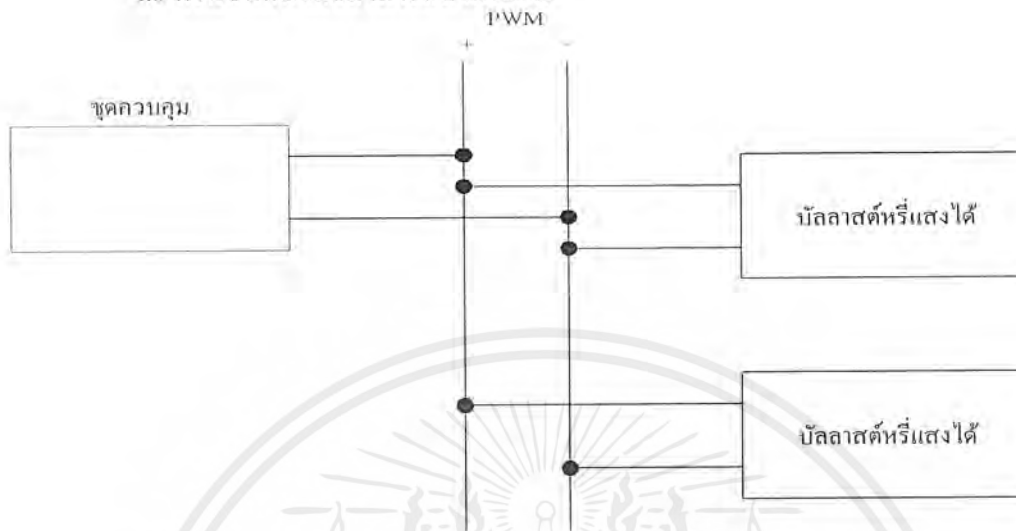
ปิดสวิตช์เมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - มากกว่าร้อยละ 95

หมายเหตุ ส่วนของสัญญาณนี้ถูกกลับขั้วเพื่อปิดสวิตช์ อย่างไรก็ตามถ้าบัลลาสต์ไม่มีลักษณะเช่นนี้ ควรคงด้านออกของบัลลาสต์ไว้ที่ค่าต่ำสุด

ไม่มีการปิดสวิตช์เมื่อความกว้างสัญญาณ - $T(\text{high})$ - น้อยกว่าร้อยละ 95

๓.3.2 แผนภาพการต่อ

สามารถต่อบัลลาสต์หรือแสงได้หลายตัวเข้ากับชุดควบคุมชุดหนึ่งได้โดยวิธีตามรูปที่ ๖.6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีสามารถนำกระแส



รูปที่ ๖.6 การต่อบัลลาสต์หรือแสงได้หลายตัวเข้ากับชุดควบคุมชุดหนึ่ง (ข้อ ๖.3.2)

๖.3.3 ข้อกำหนดลักษณะทางไฟฟ้า

ชุดควบคุมเป็นแหล่งกำเนิดกระแสและบัลลาสต์เป็นแหล่งรับกระแส

๖.3.3.1 ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าสัญญาณ

บัลลาสต์ต้องไม่ชำรุดเมื่อแรงดันไฟฟ้าสัญญาณ V_{signal} ต่ำกว่า 25 โวลต์

ขั้วต่อควบคุมต้องได้รับการป้องกันการกลับขั้ว ในกรณีนั้นบัลลาสต์ต้องไม่ทำงาน

๖.3.3.2 อิมพีแดนซ์ของขั้วต่อควบคุม

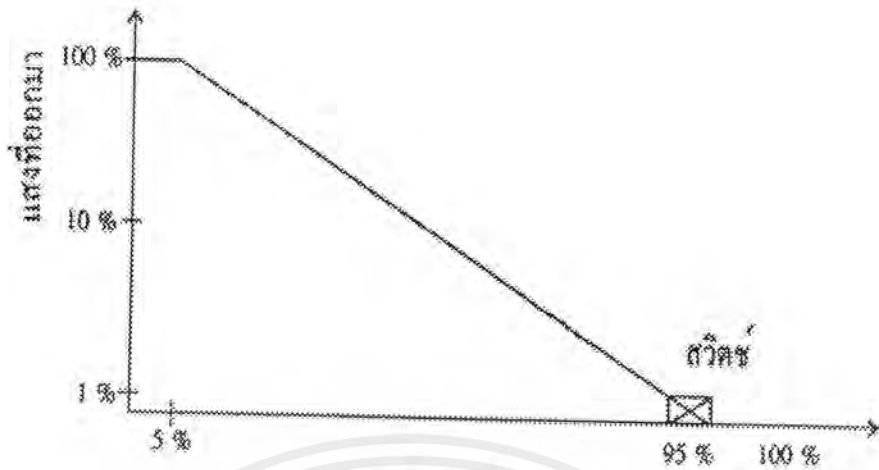
อิมพีแดนซ์ของขั้วต่อควบคุมต้องอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 กิโลโอห์ม

๖.3.3.3 กระแสเข้า

ต้องระบุหรือบอกค่ากระแสเข้าเสถียรแล้วที่ 12 โวลต์

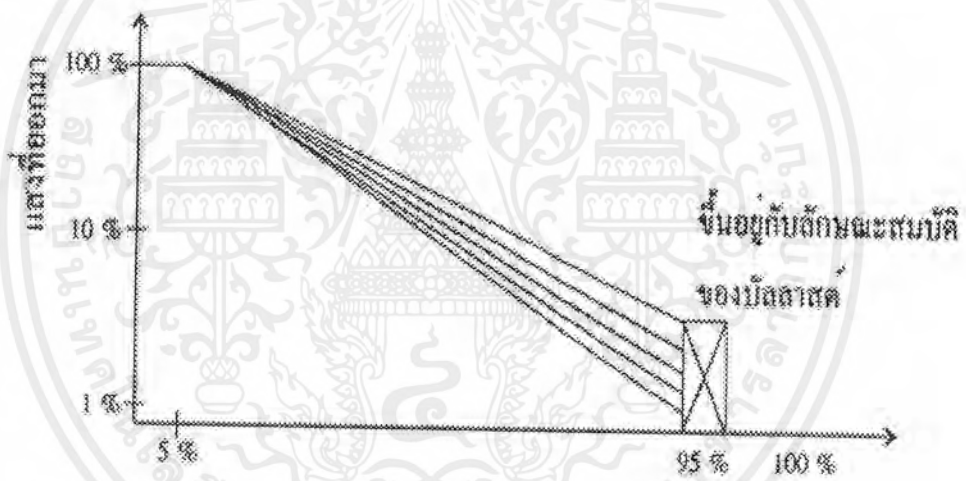
๖.3.4 ตัวอย่างลักษณะสมบัติควบคุม

เป็นไปตามรูปที่ ๖.7



ความกว้างพัลส์

เส้นการหนีสำหรับบัลลาสต์ที่มีการหนีแสงที่ออกมาต่ำสุดร้อยละ 1



ความกว้างพัลส์

เส้นการหนีสำหรับบัลลาสต์ที่มีแสงที่ออกมาต่ำสุดมากกว่าร้อยละ 1

รูปที่ ง.7 ตัวอย่างของลักษณะสมบัติควบคุม

(ข้อ ง.3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ข้อเสนอแนะในการอ้างอิงถึงอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์และอัตราการล้มเหลว

(ข้อ 5.3)

- จ.1 เพื่อให้อายุการใช้งานและอัตราการล้มเหลวของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของผู้ผลิตรายต่างๆเปรียบเทียบอย่างมีเหตุผล จึงแนะนำว่าผู้ผลิตจะต้องจัดเตรียมข้อมูลที่กำหนดในข้อจ.2 และข้อ จ.3 ไว้ในแคตตาล็อก
- จ.2 อุณหภูมิพื้นผิวสูงสุด สัญลักษณ์ t_f (t - lifetime) ของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ หรืออุณหภูมิสูงสุดของชิ้นส่วนซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งาน วัตต์ในภาวะการใช้งานปกติและที่แรงดันไฟฟ้าระบุหรือที่ค่าสูงสุดของพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ซึ่งทำให้ได้อายุการใช้งาน 50000 ชั่วโมง
- จ.3 อัตราการล้มเหลว (ถ้าผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ t_f สูงสุด) ควรอ้างอัตราการล้มเหลวในหน่วย การล้มเหลวเป็นเวลา (พอดี)
- จ.4 สำหรับวิธีที่ค้นหาข้อมูลที่ให้ไว้ในข้อ จ.2 และ จ.3 (การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ การทดสอบความเชื่อถือได้ ฯลฯ) ผู้ผลิตควรจัดเตรียมข้อมูลเพิ่มเติมอย่างละเอียดที่ประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆของวิธีการ หากมีการร้องขอ+

POWER FACTOR CORRECTOR

- VERY PRECISE ADJUSTABLE INTERNAL OUTPUT OVERVOLTAGE PROTECTION
- HYSTERETIC START-UP ($I_{START-UP} < 0.5mA$)
- VERY LOW QUIESCENT CURRENT ($< 3.5mA$)
- INTERNAL START-UP TIMER
- TRANSITION MODE OPERATING
- TOTEM POLE OUTPUT CURRENT: $\pm 400mA$
- DIP8/SO8 PACKAGES

DESCRIPTION

The L6560/A is a monolithic integrated circuit in Minidip and SO8 packages, designed as a controller and driver of a discrete power MOS transistor for the implementation of active power factor correction, for sinusoidal line current consumption.

Realized in mixed BCD technology, the chip integrates:

- An undervoltage lockout with micropower start-up and hysteresis.
- An internal temperature compensated precise band gap reference.
- A stable error amplifier.

MULTIPOWER BCD TECHNOLOGY



Minidip



SO8

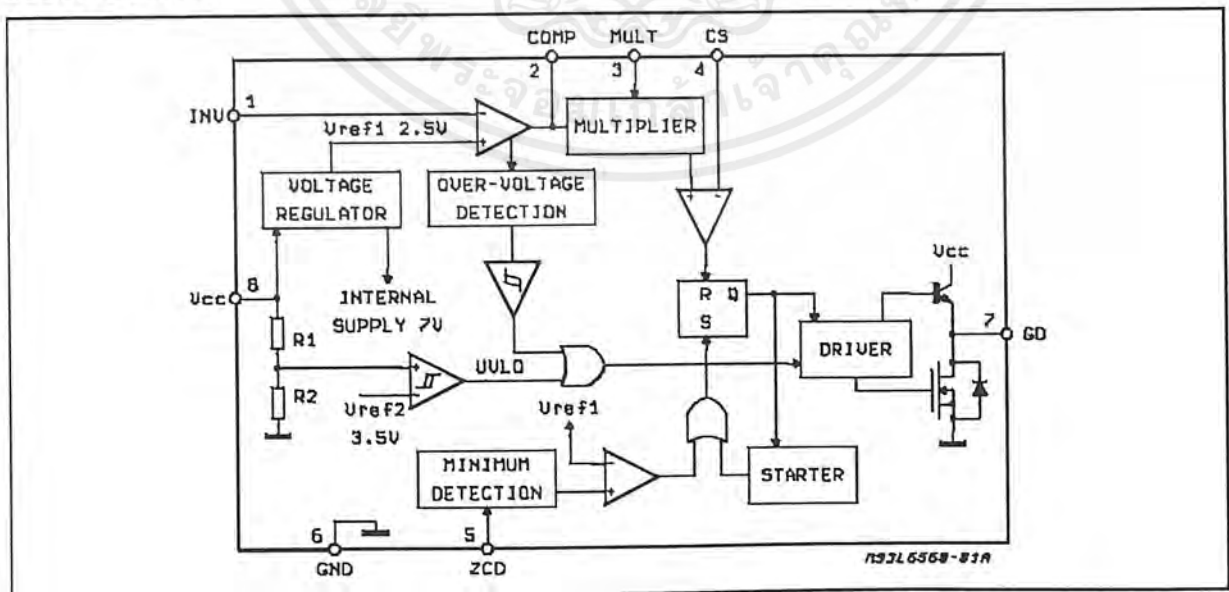
ORDERING NUMBERS:

L6560
L6560A

L6560D
L6560AD

- One quadrant multiplier.
- Current sense comparator.
- An output overvoltage protection circuit.
- A totem-pole output stage able to drive a POWER MOS or IGBT devices with source and sink current of 400mA. The chip works in transition mode and is particularly intended for lamp ballast applications and for low power SMPS.

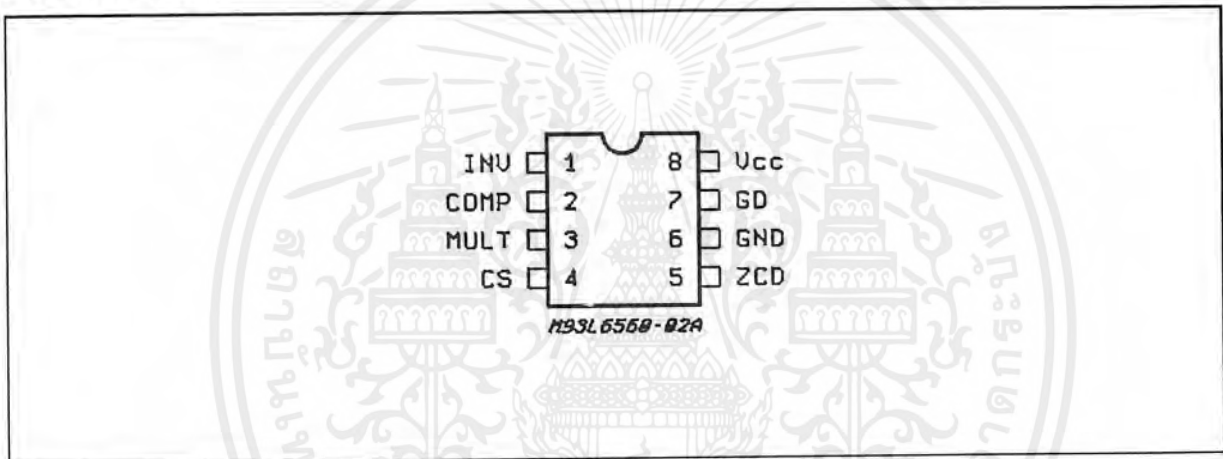
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Pin	Parameter	Value	Unit
I_{CC}	8	$I_{CC} + I_Z$	30	mA
I_{GD}	7	Output Totem Pole Peak Current (2 μ s)	± 700	mA
INV, COMP MULT	1, 2, 3	Analog Inputs & Outputs	-0.3 to 7	V
CS	4	Current Sense Input	-0.3 to 7	V
ZCD	5	Zero Current Detector	5 (source) 10 (sink)	mA mA
P_{tot}		Power Dissipation @ $T_{amb} = 50^\circ\text{C}$	(Minidip) 1 (SO8) 0.65	W
T_J		Junction Temperature Operating Range	-25 to 150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}		Storage Temperature	-55 to 150	$^\circ\text{C}$

PIN CONNECTION



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	SO 8	MINIDIP	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	150	100	$^\circ\text{C/W}$

PIN FUNCTIONS

N.	Name	Function
1	INV	Inverting input of the error amplifier. A resistive divider is connected between output regulated voltage and this point, to provide the voltage feedback.
2	COMP	Output of error amplifier. A feedback compensation network is placed between this pin and the INV pin.
3	MULT	Input of the multiplier stage. A resistive divider connects to this pin the rectified mains. A voltage signal, proportional to the rectified mains, appears on this pin.
4	CS	Input to the comparator of the control loop. The current is sensed by a resistor and the resulting voltage is applied to this pin.
5	ZCD	Zero current detection input.
6	GND	Ground of the control section.
7	GD	Gate driver output. A push pull output stage is able to drive the Power MOS with peak current of 400mA (source and sink).
8	VCC	Supply voltage of driver and control circuits.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 14.5V$; $T_j = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

SUPPLY VOLTAGE SECTION

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{CC}	8	Operating Range	after turn-on	11		18	V
$V_{CC\ ON}$	8	Turn-on Threshold		L6560 13.5 L6560A 11	14.5 12	15.5 13	V v
$V_{CC\ OFF}$	8	Turn-off Threshold		L6560 9 L6560A 8.7	10 9.6	11 10.5	V V
Hys	8	Hysteresis		L6560 4.3 L6560A 2.5	4.7 2.8	5.1 3.1	V V

SUPPLY CURRENT SECTION

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{START-U}$	8	Start-up Current	before turn-on at: $V_{CC} = 13V$ (L6560) $V_{CC} = 10.5V$ (L6560A)		0.3	0.5	mA
I_{CC}	8	Operating Supply Current	$C_L = 0nF @ 70KHz$ $C_L = 1nF @ 70KHz$ in OVP condition $V_{pin1} = 2.7V$		2.5 3.2	3.5 4	mA mA
V_Z	8	Zener Voltage	$I_{CC} = 25mA$	18	20	22	V

ERROR AMPLIFIER SECTION

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{INV}	1	Voltage Feedback Input Threshold		2.46	2.5	2.54	V
			$-25 \leq T_j \leq 85^\circ C$; $12V < V_{CC} < 18V$	2.43		2.56	
T_S		Temperature Stability	$T_{amb} = -25$ to $85^\circ C$		0.5		%
R_L		Line Regulation	$V_{CC} = 11$ to $18V$		1	4	mV
I_{INV}	1	Input Bias Current			0.1	1	μA
G_V		Voltage Gain	Open loop	60	80		dB
I_{COMP}	2	Source Current ($V_1 < V_{ref}$)	$V_{COMP} = 5V$	0.14	0.2		mA
		Sink Current ($V_1 > V_{ref}$)		0.5	1		mA

MULTIPLIER SECTION

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{MULT}	3	Operating Voltage		0 to 2.5	0 to 4.2		V
$\frac{\Delta V_{CS}}{\Delta V_{mult}}$		Output Max. Slope	$V_{MULT} =$ from $0V$ to $1V$ $V_{COMP} = 6V$	0.9	1.25	1.6	
K		Gain	$V_{MULT} = 1V$ $V_{COMP} = 5V$	0.45	0.65	0.85	1/V

CURRENT SENSE COMPARATOR

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{CS}	4	Voltage Threshold	$V_{MULT} = 2.5V$ $V_{COMP} = 6V$	1.6		1.9	V
I_{CS}	4	Input Bias Current				5	μA
t_d (HL)	4	Delay to Output			200	400	ns

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)
ZERO CURRENT DETECTOR

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{ZCD}	5	Input Threshold Voltage Rising Edge		1.8		2.3	V
		Hysteresis		0.3	0.5	0.7	V
V _{ZCD}	5	Clamp Voltage	I _{ZCD} = 3mA	5	5.7	6.4	V
V _{ZCD}	5	Clamp Voltage	I _{ZCD} = -3mA	0.4	0.7	1	V

OUTPUT SECTION

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{GD}	7	Dropout Voltage	I _{GDsource} = 200mA		1.2	2	V
			I _{GDsource} = 20mA		0.7	1	V
			I _{GDsink} = 200mA			1.5	V
			I _{GDsink} = 20mA			0.3	V
t _r	7	Output Voltage Rise Time	CL = 1nF		50	120	ns
t _f	7	Output Voltage Fall Time	CL = 1nF		40	100	ns

OUTPUT OVERVOLTAGE SECTION

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
I _{OVP}	2	OVP Triggering Current		36	40	44	μA

RESTART TIMER

Symbol	Pin	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
t _{START}		Start Timer		45	60		μs

OVER VOLTAGE PROTECTION OVP

The output voltage is expected to be kept by the operation of the PFC circuits close to its reference value that is set by the ratio of the two external resistors R₁ and R₂ (see fig. 2), taking into consideration that the non inverting input of the error amplifier is biased inside the L6560 at 2.5V.

In steady state conditions, the current through R₁ and R₂ is:

$$I_{sc} = \frac{\Delta V_{outsc} - 2.5}{R_1}$$

$$\text{or } I_{sc} = \frac{2.5}{R_2}$$

and, if the external compensation network is made only with a capacitor C, the current through C is equal zero.

When the output voltage increases abruptly the current through R₁ becomes:

$$I_{R1} = \frac{V_{out} - 2.5}{R_1}$$

$$I_{R1} = \frac{V_{outsc} + \Delta V_{OUT} - 2.5}{R_1} = I_{sc} + \Delta I.$$

Since the current through R₂ doesn't change, the ΔI current must flow through the capacitor C and enter in the error amplifier.

This current is mirrored inside the L6560, and compared with a precise internal reference of 40μA. Whenever such 40μA limit is exceeded, the OVP protection is triggered (Dynamic OVP), and the external power transistor is switched off, until the overvoltage situation disappears. However if the overvoltage persists, before that the transient condition of dynamic circuit exhausts, an internal comparator (Static OVP) latches the OVP condition keeping the external power switch turned off (see fig. 1).

The OVP value is therefore set by the equation OVP = ΔV_{out} = R₁ · 40μA.

Typical values for R₁, R₂ and C are reported in the application circuit. The overvoltage can be set independently from the average output voltage. The precision in setting the overvoltage threshold is 7% of the overvoltage value (for instance ΔV = 60V ± 4.2V).

Figure 1.

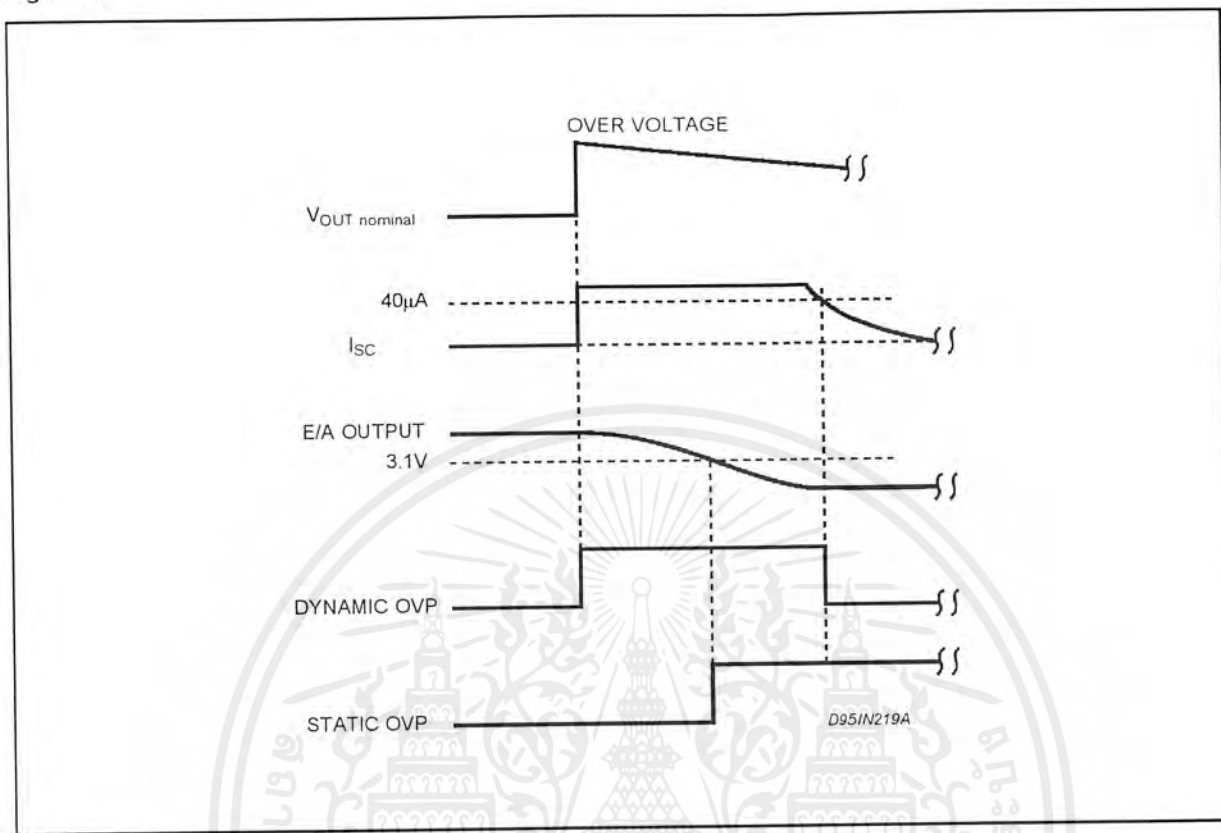


Figure 2: Overvoltage Protection Circuit

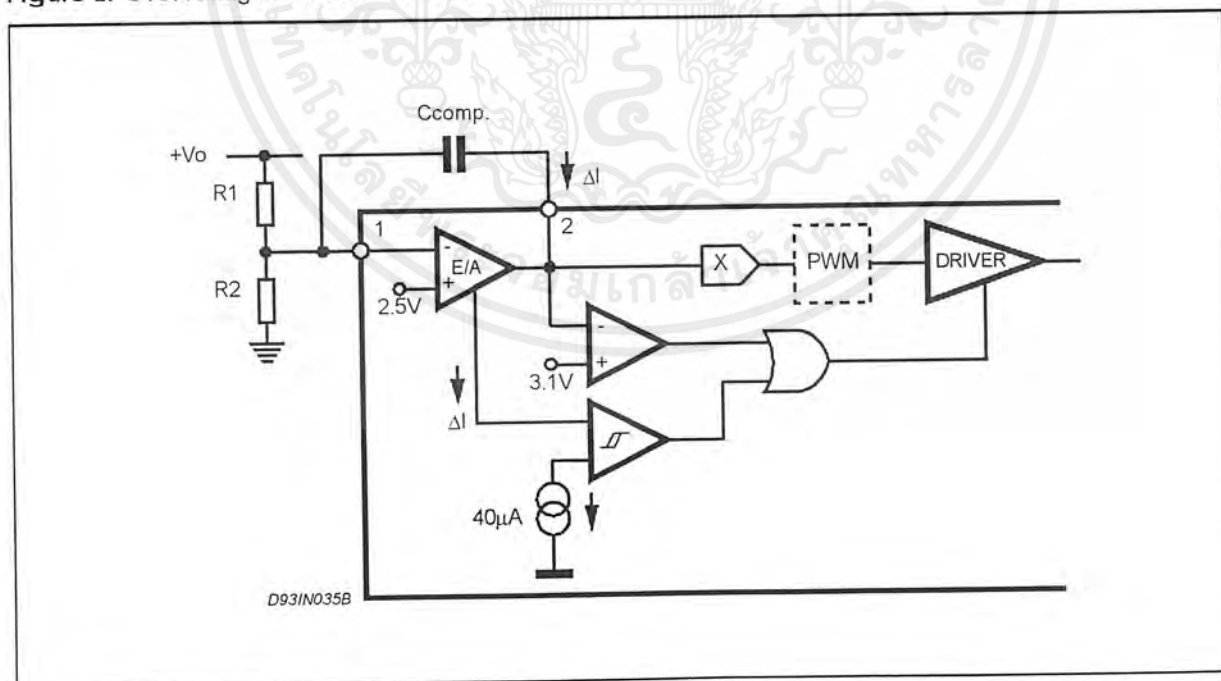


Figure 3: Typical Application Circuit (100W)

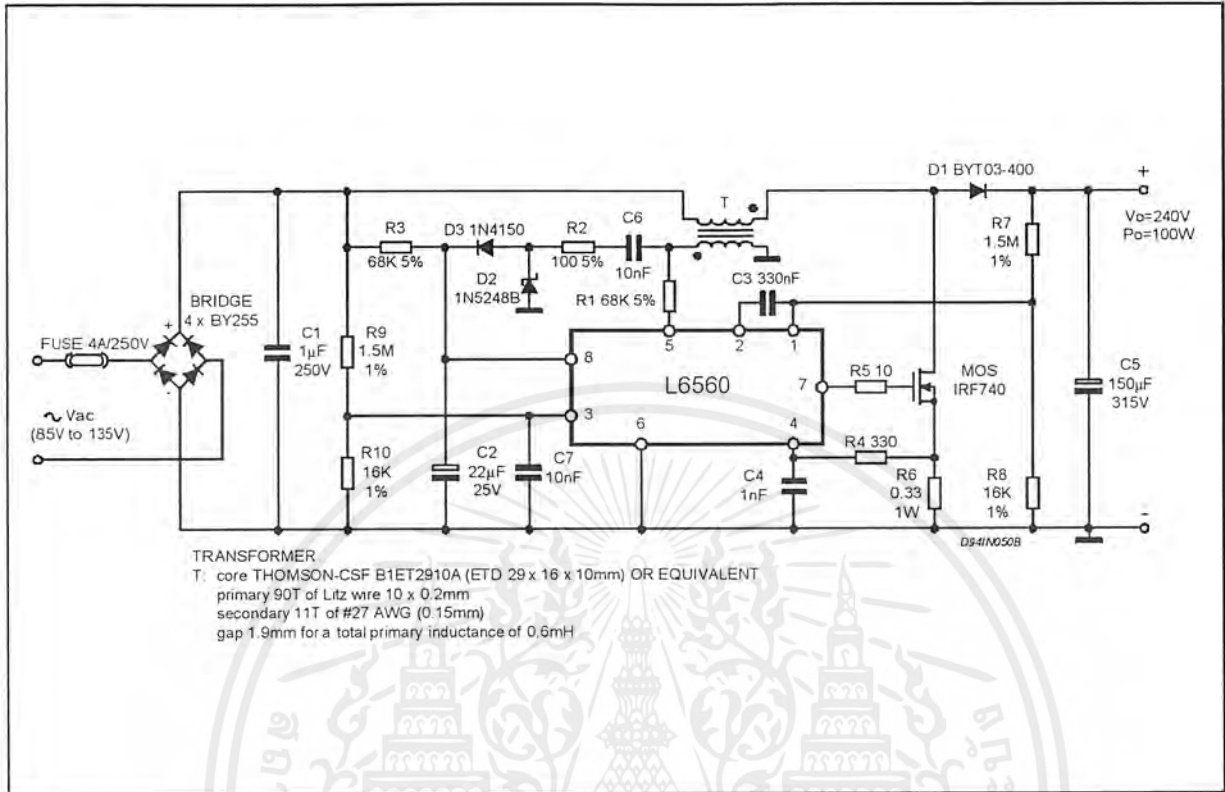


Figure 4: Typical Application Circuit (120W)

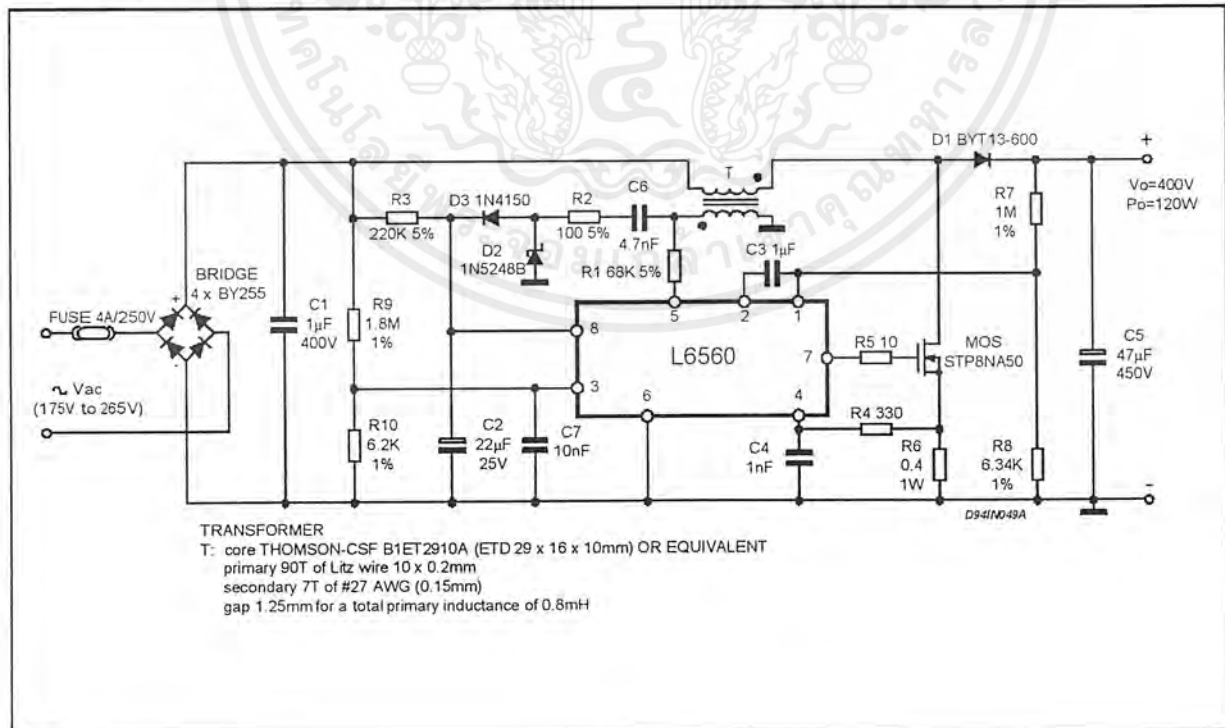


Figure 5: P.C. Board and Component Layout of the Figg. 3 and 4 (1:1.25 scale)

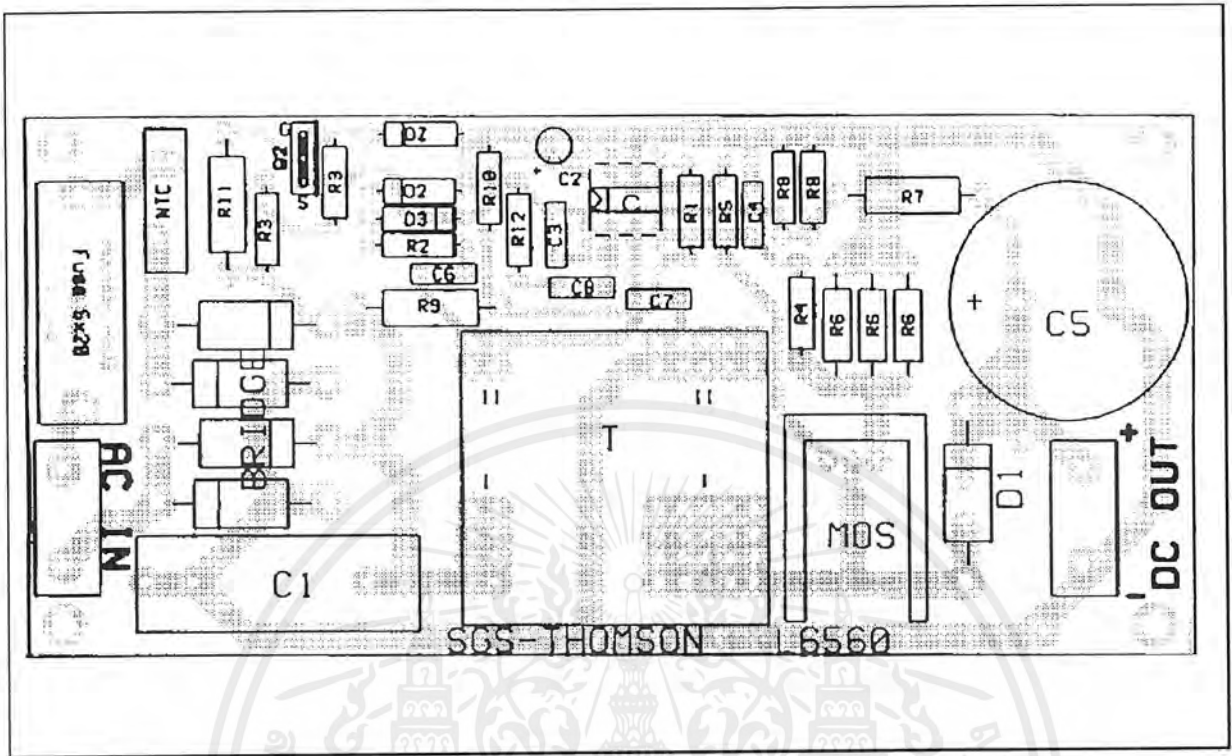


Figure 6: OVP Current Threshold vs. Temperature

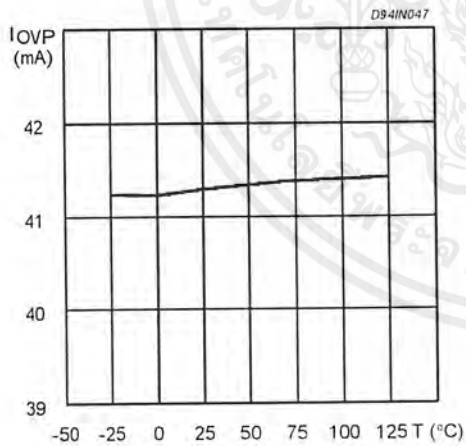


Figure 7: Undervoltage Lockout Threshold vs. Temperature

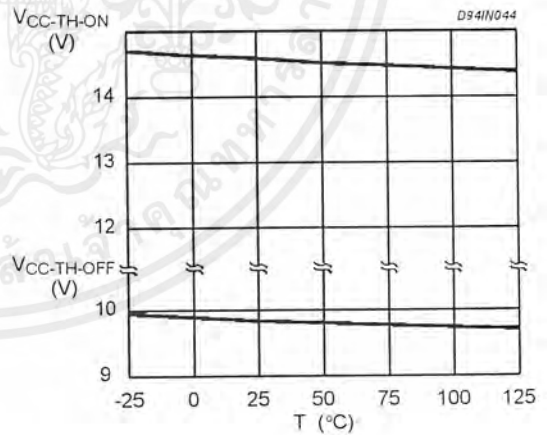


Figure 8: Supply Current vs. Supply Voltage

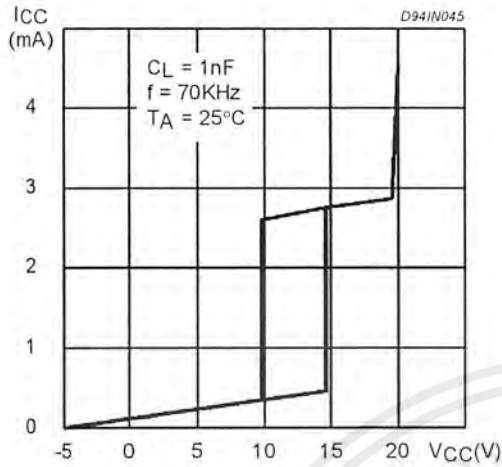


Figure 9: Voltage Feedback Input Threshold vs. Temperature

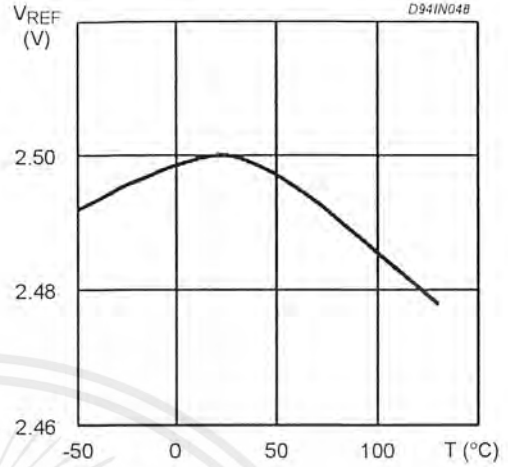


Figure 10: Output Saturation Voltage vs. Sink Current

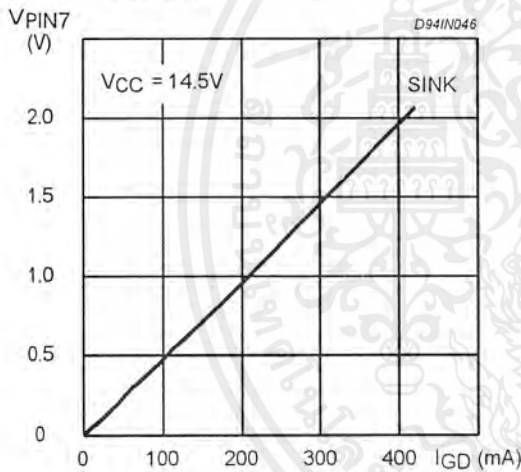


Figure 11: Output Saturation Voltage vs. Source Current

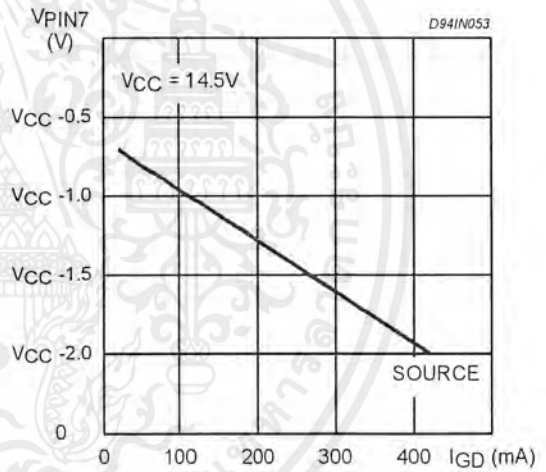


Figure 12: Multiplier Characteristics Family

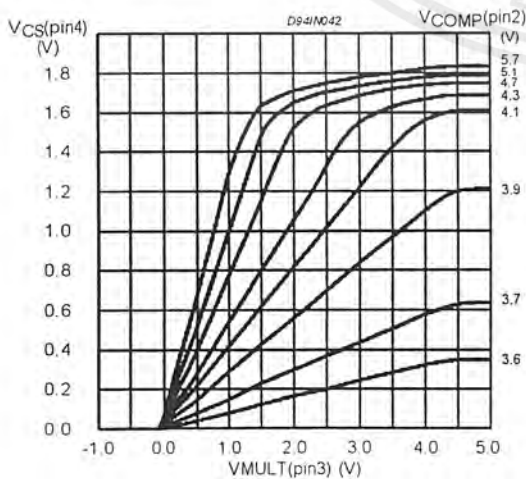
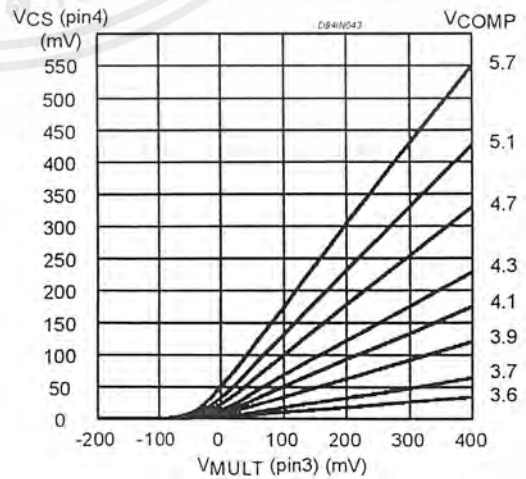
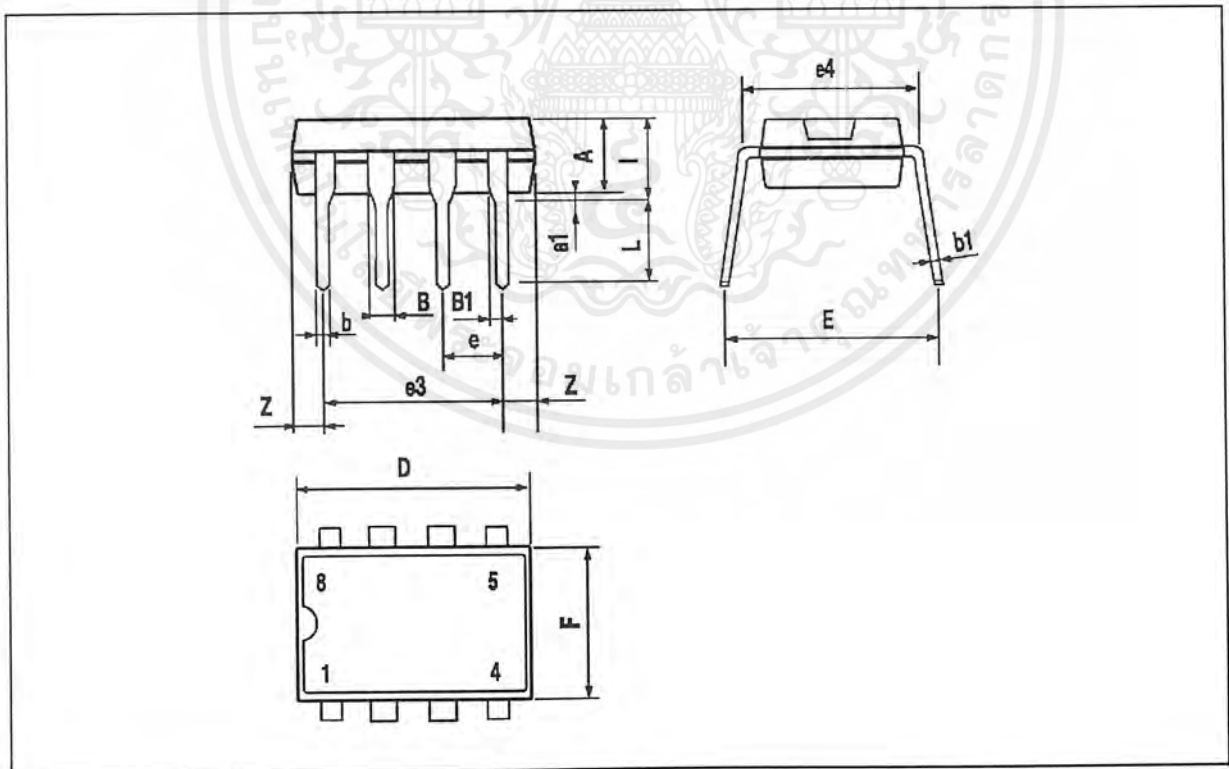


Figure 13: Multiplier Characteristics Family



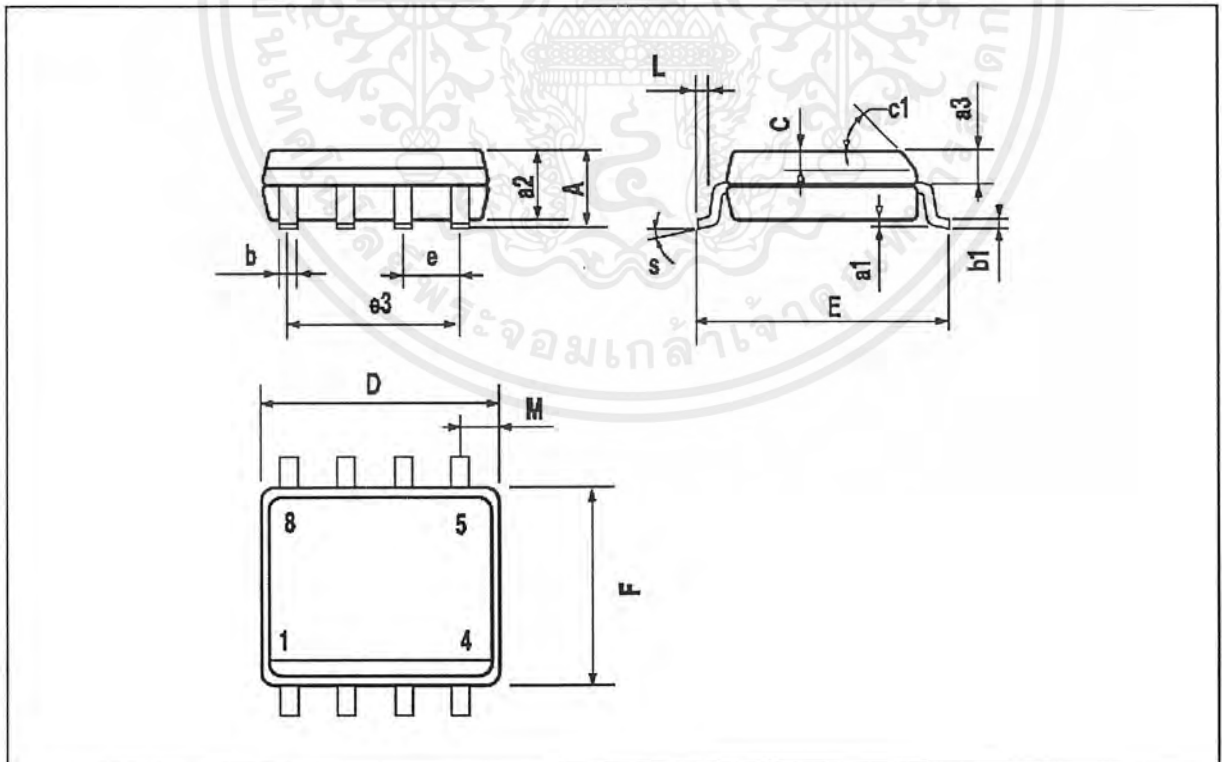
MINIDIP PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM	mm			inch		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060



SO8 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM	mm			inch		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1997 SGS-THOMSON Microelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

MJE13005*

*Motorola Preferred Device

4 AMPERE
NPN SILICON
POWER TRANSISTOR
400 VOLTS
75 WATTS

Designer's™ Data Sheet
SWITCHMODE Series
NPN Silicon Power Transistors

These devices are designed for high-voltage, high-speed power switching inductive circuits where fall time is critical. They are particularly suited for 115 and 220 V SWITCHMODE applications such as Switching Regulator's, Inverters, Motor Controls, Solenoid/Relay drivers and Deflection circuits.
SPECIFICATION FEATURES:

- $V_{CEO(sus)}$ 400 V
- Reverse Bias SOA with Inductive Loads @ $T_C = 100^\circ\text{C}$
- Inductive Switching Matrix 2 to 4 Amp, 25 and 100°C
... t_c @ 3A, 100°C is 180 ns (Typ)
- 700 V Blocking Capability
- SOA and Switching Applications Information.



CASE 221A-06
TO-220AB

MAXIMUM RATINGS

	Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage		$V_{CEO(sus)}$	400	Vdc
Collector-Emitter Voltage		V_{CEV}	700	Vdc
Emitter Base Voltage		V_{EBO}	9	Vdc
Collector Current — Continuous		I_C	4	Adc
— Peak (1)		I_{CM}	8	
Base Current — Continuous		I_B	2	Adc
— Peak (1)		I_{BM}	4	
Emitter Current — Continuous		I_E	6	Adc
— Peak (1)		I_{EM}	12	
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$		P_D	2	Watts
Derate above 25°C			16	mW/°C
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$		P_D	75	Watts
Derate above 25°C			600	mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range		T_J, T_{stg}	-65 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.67	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes: 1/8" from Case for 5 Seconds	T_L	275	°C

(1) Pulse Test: Pulse Width = 5 ms, Duty Cycle $\leq 10\%$.

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. SOA Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Designer's and SWITCHMODE are trademarks of Motorola, Inc.

REV 3



MOTOROLA

MJE13005

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
*OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0$)	$V_{CEO(sus)}$	400	—	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CEV} = \text{Rated Value}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$) ($V_{CEV} = \text{Rated Value}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	I_{CEV}	—	—	1 5	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 9\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	—	—	1	mAdc

SECOND BREAKDOWN

Second Breakdown Collector Current with base forward biased	$I_{S/b}$				See Figure 11
Clamped Inductive SOA with Base Reverse Biased	RBSOA				See Figure 12

*ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 1\text{ Adc}$, $V_{CE} = 5\text{ Vdc}$) ($I_C = 2\text{ Adc}$, $V_{CE} = 5\text{ Vdc}$)	h_{FE}	10 8	— —	60 40	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 1\text{ Adc}$, $I_B = 0.2\text{ Adc}$) ($I_C = 2\text{ Adc}$, $I_B = 0.5\text{ Adc}$) ($I_C = 4\text{ Adc}$, $I_B = 1\text{ Adc}$) ($I_C = 2\text{ Adc}$, $I_B = 0.5\text{ Adc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	$V_{CE(sat)}$	— — — —	— — — —	0.5 0.6 1 1	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 1\text{ Adc}$, $I_B = 0.2\text{ Adc}$) ($I_C = 2\text{ Adc}$, $I_B = 0.5\text{ Adc}$) ($I_C = 2\text{ Adc}$, $I_B = 0.5\text{ Adc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	$V_{BE(sat)}$	— — —	— — —	1.2 1.6 1.5	Vdc

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1\text{ MHz}$)	f_T	4	—	—	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 0.1\text{ MHz}$)	C_{ob}	—	65	—	pF

SWITCHING CHARACTERISTICS

Resistive Load (Table 2)						
Delay Time	$(V_{CC} = 125\text{ Vdc}$, $I_C = 2\text{ A}$, $I_{B1} = I_{B2} = 0.4\text{ A}$, $t_p = 25\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 1\%$)	t_d	—	0.025	0.1	μs
Rise Time		t_r	—	0.3	0.7	μs
Storage Time		t_s	—	1.7	4	μs
Fall Time		t_f	—	0.4	0.9	μs
Inductive Load, Clamped (Table 2, Figure 13)						
Voltage Storage Time	$(I_C = 2\text{ A}$, $V_{clamp} = 300\text{ Vdc}$, $I_{B1} = 0.4\text{ A}$, $V_{BE(off)} = 5\text{ Vdc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	t_{sv}	—	0.9	4	μs
Crossover Time		t_c	—	0.32	0.9	μs
Fall Time		t_{fi}	—	0.16	—	μs

*Pulse Test: Pulse Width = $300\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle = 2%.

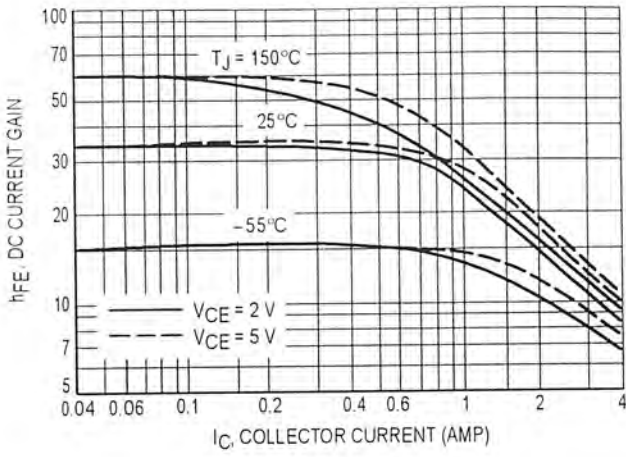


Figure 1. DC Current Gain

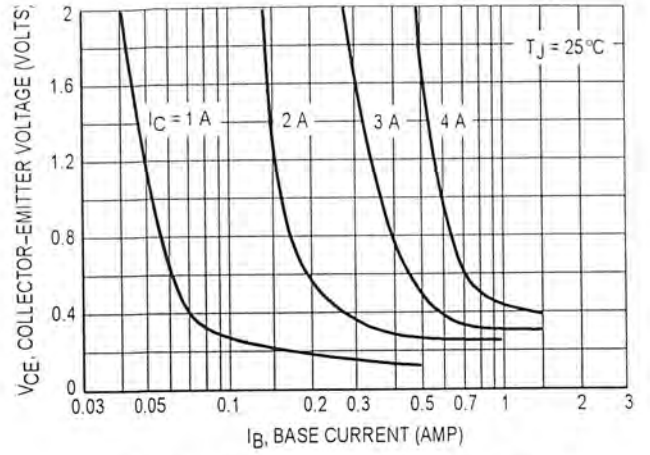


Figure 2. Collector Saturation Region

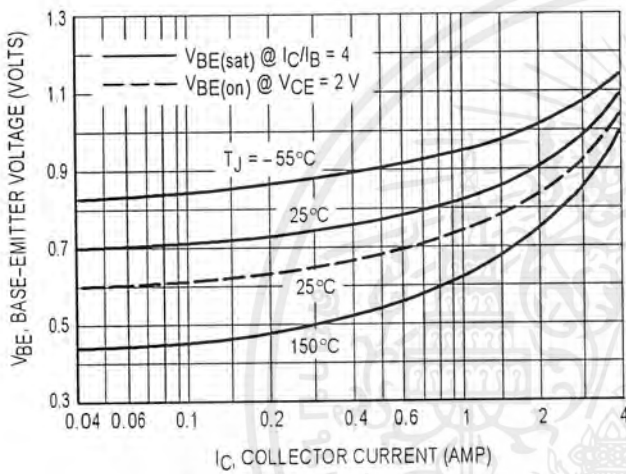


Figure 3. Base-Emitter Voltage

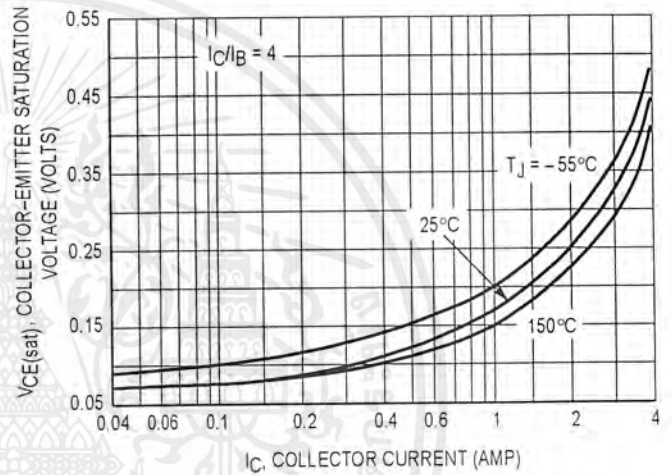


Figure 4. Collector-Emitter Saturation Voltage

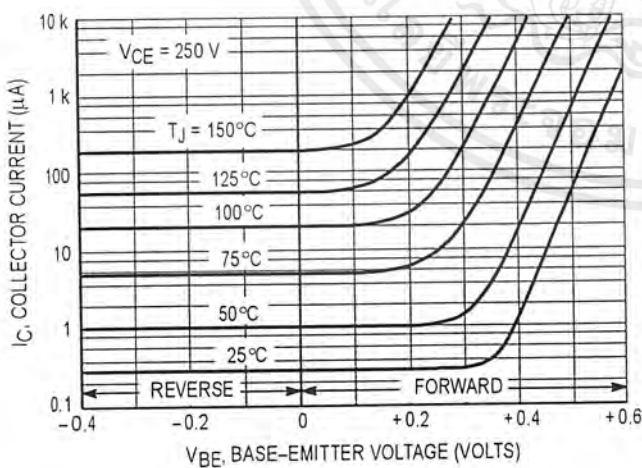


Figure 5. Collector Cutoff Region

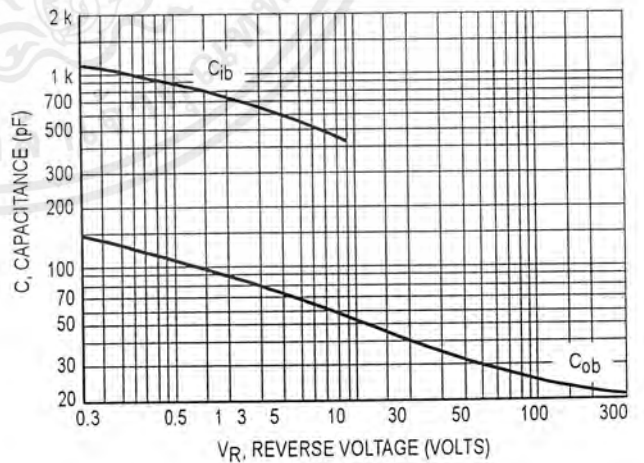


Figure 6. Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

SWITCHING TIMES NOTE

In resistive switching circuits, rise, fall, and storage times have been defined and apply to both current and voltage waveforms since they are in phase. However, for inductive loads which are common to SWITCHMODE power supplies and hammer drivers, current and voltage waveforms are not in phase. Therefore, separate measurements must be made on each waveform to determine the total switching time. For this reason, the following new terms have been defined.

- t_{sv} = Voltage Storage Time, 90% I_{B1} to 10% V_{clamp}
- t_{rv} = Voltage Rise Time, 10–90% V_{clamp}
- t_{fi} = Current Fall Time, 90–10% I_C
- t_{ti} = Current Tail, 10–2% I_C
- t_c = Crossover Time, 10% V_{clamp} to 10% I_C

An enlarged portion of the inductive switching waveforms is shown in Figure 7 to aid in the visual identity of these terms.

For the designer, there is minimal switching loss during storage time and the predominant switching power losses occur during the crossover interval and can be obtained using the standard equation from AN-222:

$$P_{SWT} = 1/2 V_{CC} I_C (t_c) f$$

In general, $t_{rv} + t_{fi} = t_c$. However, at lower test currents this relationship may not be valid.

As is common with most switching transistors, resistive switching is specified at 25°C and has become a benchmark for designers. However, for designers of high frequency converter circuits, the user oriented specifications which make this a "SWITCHMODE" transistor are the inductive switching speeds (t_c and t_{sv}) which are guaranteed at 100°C.

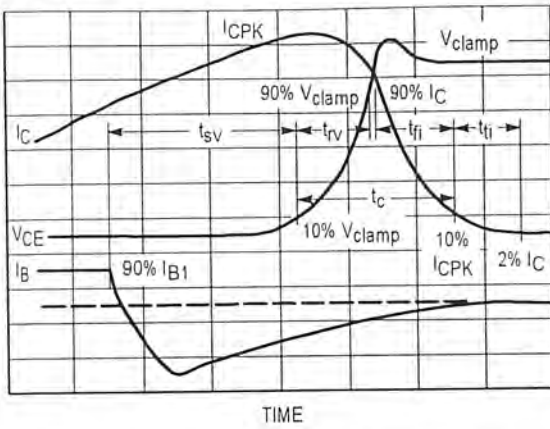


Figure 7. Inductive Switching Measurements

Table 1. Typical Inductive Switching Performance

I_C AMP	T_C °C	t_{sv} ns	t_{rv} ns	t_{fi} ns	t_{ti} ns	t_c ns
2	25	600	70	100	80	180
	100	900	110	240	130	320
3	25	650	60	140	60	200
	100	950	100	330	100	350
4	25	550	70	160	100	220
	100	850	110	350	160	390

NOTE: All Data recorded in the inductive Switching Circuit In Table 2.

RESISTIVE SWITCHING PERFORMANCE

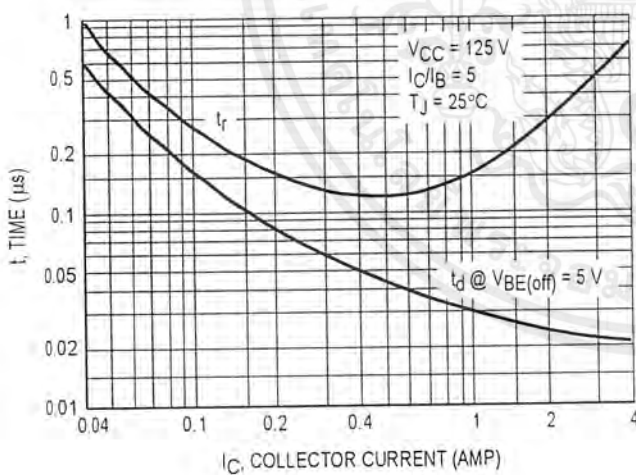


Figure 8. Turn-On Time

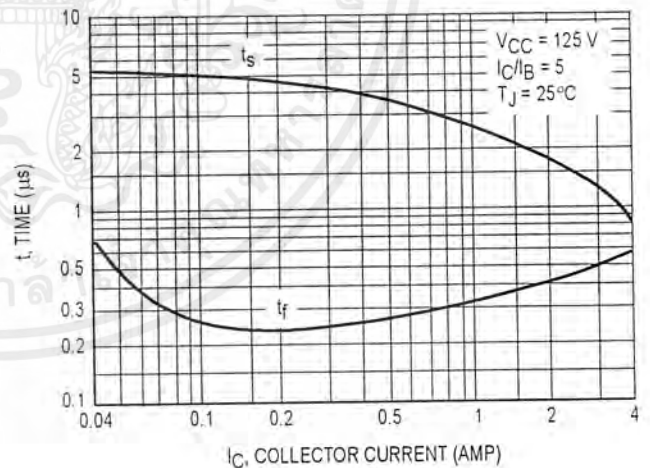
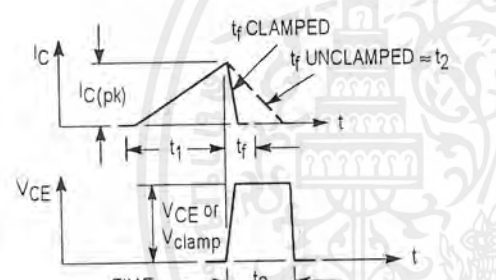
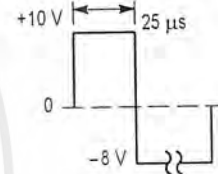


Figure 9. Turn-Off Time

Table 2. Test Conditions for Dynamic Performance

TEST CIRCUITS	REVERSE BIAS SAFE OPERATING AREA AND INDUCTIVE SWITCHING	RESISTIVE SWITCHING
CIRCUIT VALUES	<p>Coil Data: Ferroxcube Core #6656 Full Bobbin (~16 Turns) #16</p> <p>GAP for 200 μH/20 A $L_{coil} = 200 \mu$H</p> <p>$V_{CC} = 20$ V $V_{clamp} = 300$ Vdc</p>	<p>$V_{CC} = 125$ V $R_C = 62 \Omega$ D1 = 1N5820 or Equiv. $R_B = 22 \Omega$</p>
TEST WAVEFORMS	<p>OUTPUT WAVEFORMS</p>  <p>t_1 ADJUSTED TO OBTAIN I_C</p> $t_1 = \frac{L_{coil} (I_{Cpk})}{V_{CC}}$ $t_2 = \frac{L_{coil} (I_{Cpk})}{V_{clamp}}$ <p>Test Equipment Scope—Tektronics 475 or Equivalent</p>	 <p>$t_r, t_f < 10$ ns Duty Cycle = 1.0% R_B and R_C adjusted for desired I_B and I_C</p>

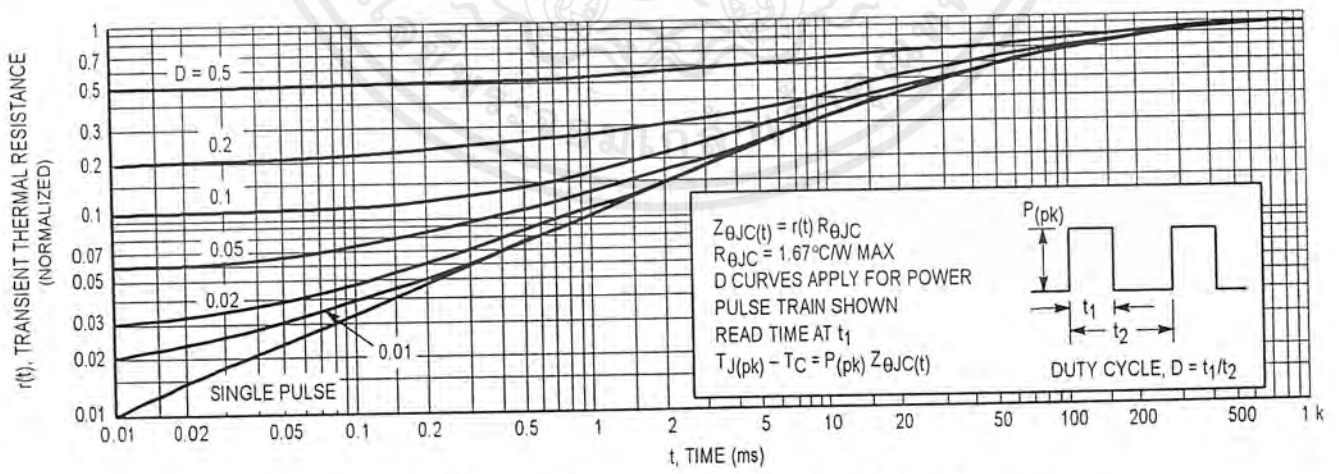


Figure 10. Typical Thermal Response [$Z_{\theta JC}(t)$]

MJE13005

The Safe Operating Area Figures 11 and 12 are specified ratings for these devices under the test conditions shown.

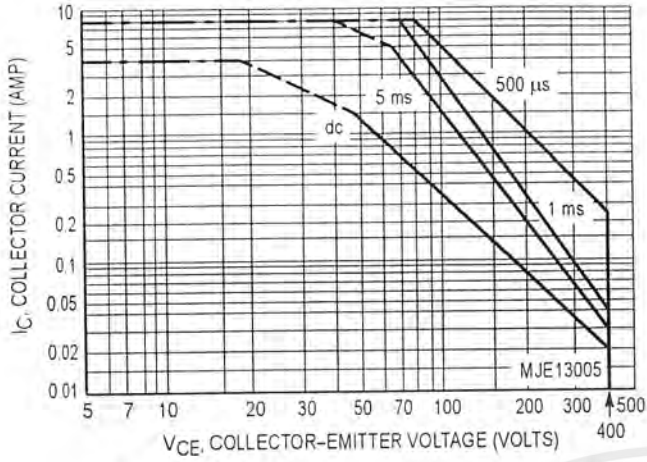


Figure 11. Forward Bias Safe Operating Area

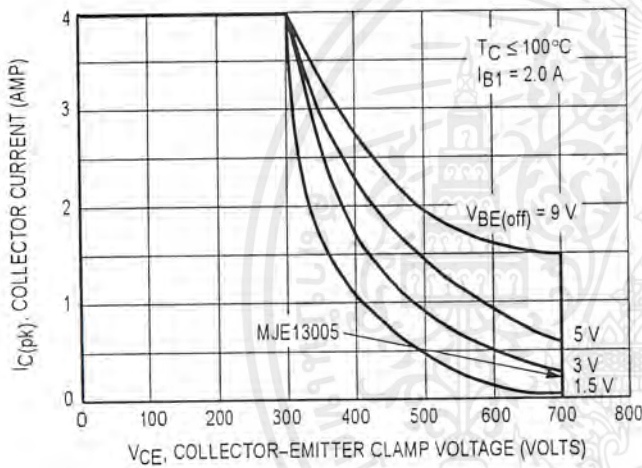


Figure 12. Reverse Bias Switching Safe Operating Area

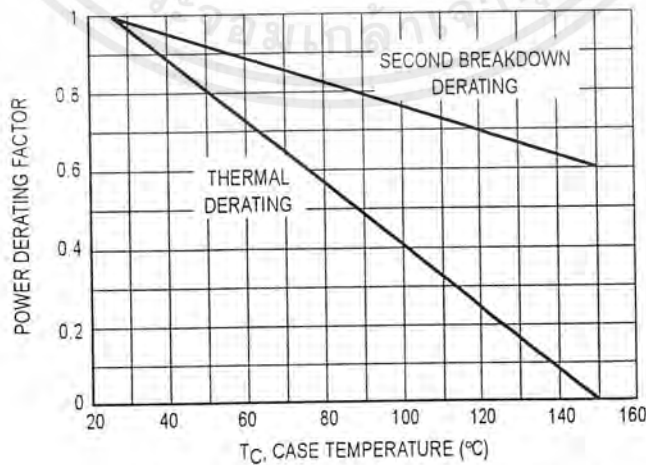


Figure 13. Forward Bias Power Derating

SAFE OPERATING AREA INFORMATION

FORWARD BIAS

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

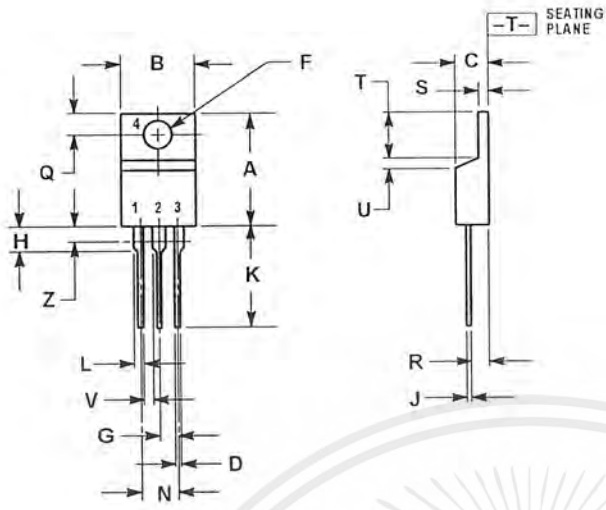
The data of Figure 11 is based on $T_C = 25^\circ\text{C}$; $T_{J(pk)}$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated when $T_C \geq 25^\circ\text{C}$. Second breakdown limitations do not derate the same as thermal limitations. Allowable current at the voltages shown on Figure 11 may be found at any case temperature by using the appropriate curve on Figure 13.

$T_{J(pk)}$ may be calculated from the data in Figure 10. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

REVERSE BIAS

For inductive loads, high voltage and high current must be sustained simultaneously during turn-off, in most cases, with the base to emitter junction reverse biased. Under these conditions the collector voltage must be held to a safe level at or below a specific value of collector current. This can be accomplished by several means such as active clamping, RC snubbing, load line shaping, etc. The safe level for these devices is specified as Reverse Bias Safe Operating Area and represents the voltage-current conditions during reverse biased turn-off. This rating is verified under clamped conditions so that the device is never subjected to an avalanche mode. Figure 12 gives the complete RBSOA characteristics.

PACKAGE DIMENSIONS

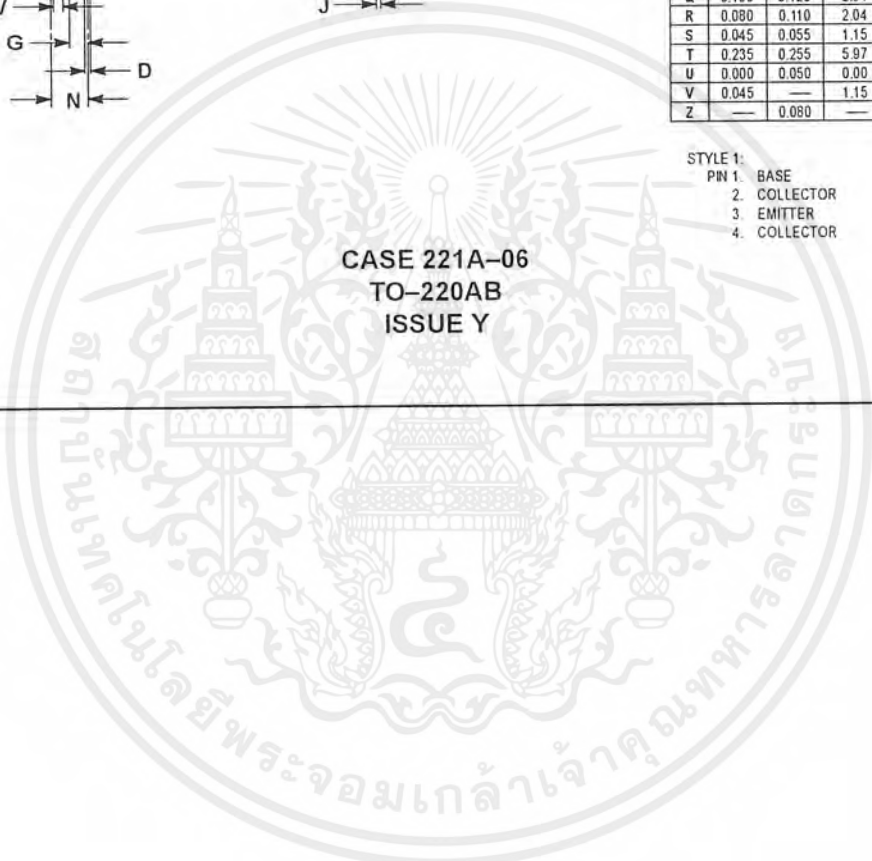


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH
 3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	—	1.15	—
Z	—	0.080	—	2.04

- STYLE 1:
 PIN 1: BASE
 2. COLLECTOR
 3. EMITTER
 4. COLLECTOR

CASE 221A-06
 TO-220AB
 ISSUE Y



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFA00@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

Motorola Bipolar Power Transistor Device Data
MJE13005/D

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ เป็นเพราะความช่วยเหลือ ให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจจากบุคคลหลายท่าน ดังรายนามต่อไปนี้ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

อาจารย์ รศ.ดร.วิริยะ พิเศษฐ์จำเริญ ดร. วิจิตร กิณเรศ และ อาจารย์ สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่คอยให้ความเอาใจใส่ คอยติดตามการทดลอง ให้คำแนะนำทางด้าน ทฤษฎีและการปฏิบัติ ทั้งยังให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่ตัง พี่ทัศน พี่ซอน และพี่ๆปริญญาโท ที่ห้องโปรเจค ตึก L (อาคารเรียนรวม) หลายๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ ให้คำแนะนำ และคอยเป็นกำลังใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอบคุณ พี่ออร์ค พี่อีด และพี่ๆภาคต่อเนื่องที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอบคุณ พี่อู๋ ที่ช่วยสแกนรูปให้ ทำให้สามารถทำปริญญาบัตรได้อย่างเป็นรูปเป็นร่าง ขอขอบคุณเพื่อนๆปี 4 ทุกคนที่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ สุดท้ายนี้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดาของคณะผู้จัดทำ ที่ให้กำลังใจเอาใจใส่ในทุกๆด้านอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง
คณะผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ned Mohan, "Power Electronic", Second Edition, John Wiley&Sons, INC., New York, 1995
- [2] IEEE, "A New Approach Of Boost Current Control Applied In Power Factor Correction", 1999, PP. 1136-1142
- [3] IEEE, "Hysteresis Control Of A Continuous Boost Regulator", E.J.P. Mascarenhas, PP. 7/1-7/4
- [4] ปริชญานีพนธ์, "บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- [5] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์", มอก. 1506-2541