รายงานการศึกษา

เรื่อง

ยัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เสนอต่อ

กองเศรษฐกิจการพลังงาน
สำนักงานพลังงานแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการพลังงาน

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธุกธนา กุลวิทิต

ห้องปฏิบัติการวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน 2535

TK4386
.A65
no.1

TK4386
ป355
ร1

- 4 ก.ค. 2537

รายงานการศึกษา

เรื่อง

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

COLLEGE OF ENGINEERING
CHULALONGKORN UNIVERSITY
A7061

เสนอต่อ

กองเศรษฐกิจการพลังงาน
สำนักงานพลังงานแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการพลังงาน

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต

ห้องปฏิบัติการวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิถุนายน 2535

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับฟลอดฟลูออเรสเซนต์

COLLEGE OF ENGINEERING
4706
CHULALONGKORN UNIVERSITY

I. บทนำ

การพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ทำให้ความเป็นอยู่ของมนุษย์ในปัจจุบันมีความสะดวกสบายขึ้นเป็นอันมาก แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ทรัพยากรของโลกร่อยหรอลงไป และเกิดปัญหาด้านมลภาวะขึ้นด้วย ทรัพยากรที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งที่เป็นสิ่งอำนวยต่อความสะดวกสบายของเราก็คือ พลังงาน การพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ทำให้การใช้พลังงานของมวลมนุษย์เพิ่มขึ้นเป็นอันมาก จนทำให้เป็นที่เกรงกันว่าจะเกิดการขาดแคลนพลังงานในอนาคต เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการนำวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีมาใช้เพื่อแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่และขณะเดียวกันก็ต้องประหยัดและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานด้วย พลังงานส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในโรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง ตลอดจนเครื่องอำนวยความสะดวกสบายในบ้าน การพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลและเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ นับเป็นสิ่งที่ได้กระทำกันมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ อุปกรณ์ให้แสงสว่างที่มีใช้กันทั่วไปก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นลำดับ การใช้หลอด Fluorescent แทนหลอดแบบไส้ทำให้เราสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้มาก ในขณะที่ได้รับแสงสว่างเท่ากัน อย่างไรก็ตามบัลลาสต์ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้คู่กับหลอด Fluorescent นั้น ยังคงมีกำลังสูญเสียไม่น้อย การลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์อาจจะทำโดยการใช้แกนแม่เหล็กที่มีกำลังสูญเสียต่อปริมาตรน้อยลงหรือใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (1,2) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ช่วยลดกำลังสูญเสียลงได้โดยแสงสว่างที่หลอดยังคงเดิม การลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น อาศัยการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงซึ่งมีผลดี 2 ประการคือ

1. ลดขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับบัลลาสต์ธรรมดา
2. เพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

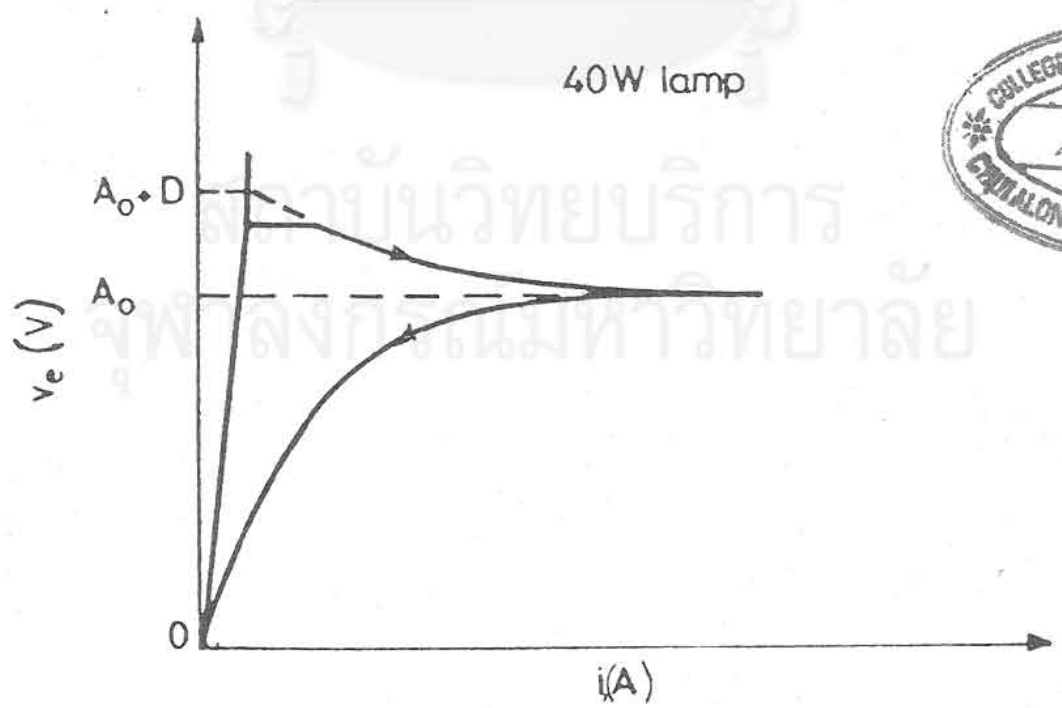
เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีความต้านทานพลวัตเป็นลบ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำในการหน่วงกระแส สำหรับค่า reactance ที่กำหนด ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสูงขึ้น จะทำให้สามารถลดค่าและขนาดความเหนี่ยวนำลงได้ การใช้แกนเฟอร์ไรท์แทนแกนเหล็กจะทำให้กำลังสูญเสียต่อปริมาตรของแกนแม่เหล็กไม่เพิ่มตามความถี่ ดังนั้นกำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเมื่อเทียบกับกำลังสูญเสียของตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เป็นบัลลาสต์ความถี่ต่ำ

การเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทำให้กำลังเข้าหลอดต่ำลงในขณะที่ความสว่างของหลอดเท่าเดิมเป็นผลให้กำลังเข้าของระบบลดลง เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

จากเหตุผลทั้งสองดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ ดังนั้นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงต้องมีวงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียเช่นกัน ดังนั้น เพื่อให้กำลังเข้าของระบบลดลง กำลังสูญเสียในวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะต้องน้อยกว่ากำลังงานเข้าของระบบที่ลดลงเนื่องจากการใช้ความถี่สูง ดังนั้นการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงต้องมีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้สูงเพื่อให้สามารถแข่งขันกับบัลลาสต์ธรรมดาที่ใช้แกนเหล็กและขดลวด

II <u>การศึกษาและวิเคราะห์วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์</u>

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะสมบัติแบบไม่เชิงเส้นและมีค่าความต้านทานพลวัติในภาวะการทำงานปรกติเป็นลบดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงแหล่งจ่ายกระแสเพื่อให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีเสถียรภาพ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำได้โดยใช้อิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูงต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน อันจะเป็นผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายแรงดันสูงขึ้น จึงมี

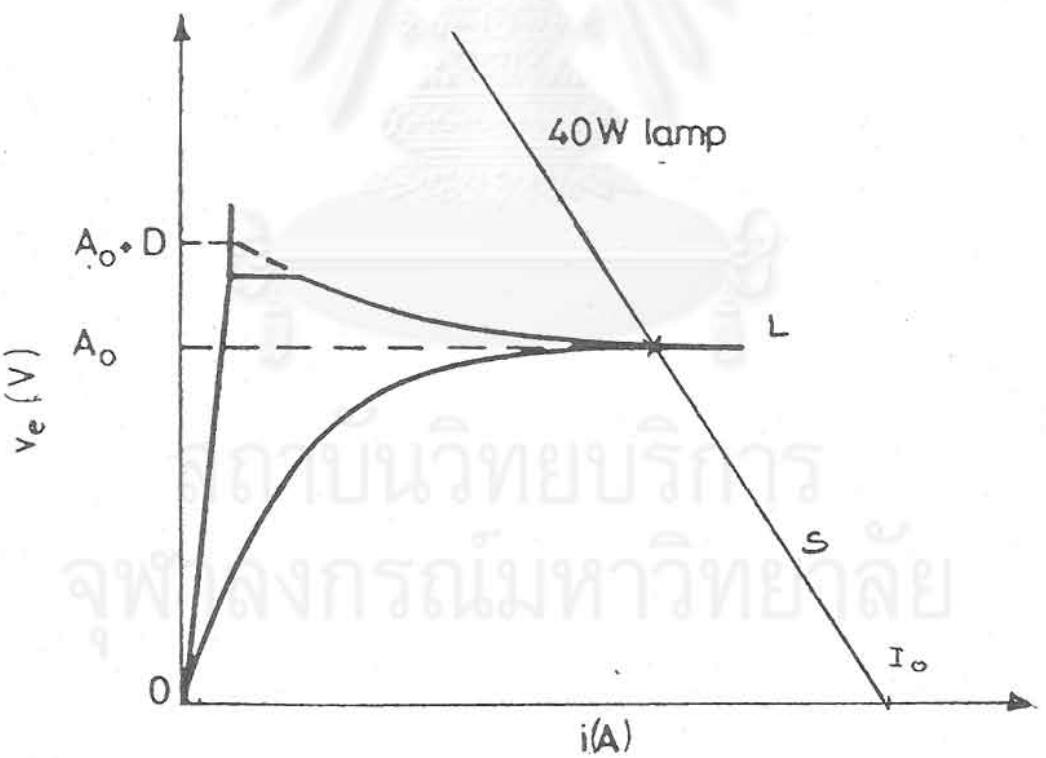


COLLEGE OF ENGINEERING
CHULALONGKORN UNIVERSITY
A7061

รูปที่ 1 ลักษณะสมบัติแรงดัน-กระแสของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (3)

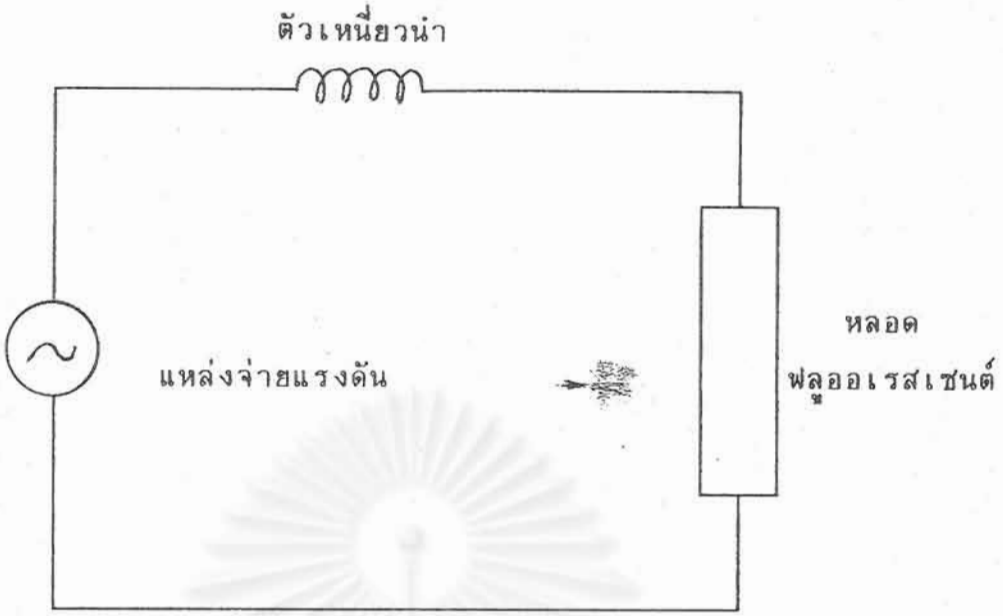
ลักษณะสมบัติค่อนไปทางด้านแหล่งจ่ายกระแส รูปที่ 2 แสดงกราฟลักษณะสมบัติแรงดัน-กระแสของแหล่งจ่ายพลังงานที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายกระแส และกราฟลักษณะสมบัติแรงดัน-กระแสของหลอดฟลูออเรสเซนต์ จุดทำงานของระบบที่มีหลอด fluorescent ต่อกับแหล่งจ่ายกระแสก็คือ จุดตัดระหว่างกราฟลักษณะสมบัติแรงดัน-กระแสของแหล่งจ่ายพลังงาน และหลอดฟลูออเรสเซนต์ จุดทำงานที่มีเสถียรภาพจะต้องเป็นจุดตัดที่ทำให้ความต้านทานพลวัติด้านขาออกของแหล่งจ่ายพลังงานซึ่งมีค่าเป็นบวก มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความต้านทานพลวัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีค่าเป็นลบ อันจะเป็นผลให้ความต้านทานพลวัติรวมมีค่าเป็นบวกหรืออาจจะกล่าวอีกลักษณะหนึ่งว่า อัตราการลดลงของแรงดันออกของแหล่งจ่ายพลังงานกับกระแสมีค่ามากกว่า อัตราการลดลงของแรงดันหลอดฟลูออเรสเซนต์กับกระแส กล่าวคือ

$$-\frac{dv}{di} \text{ ของแหล่งจ่ายพลังงาน} > -\frac{dv}{di} \text{ ของหลอดฟลูออเรสเซนต์}$$



รูปที่ 2 แสดงลักษณะสมบัติแรงดัน-กระแสของแหล่งจ่ายพลังงาน (S) สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีความต้านทานพลวัติที่เป็นลบ (L) ที่ทำให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีเสถียรภาพ

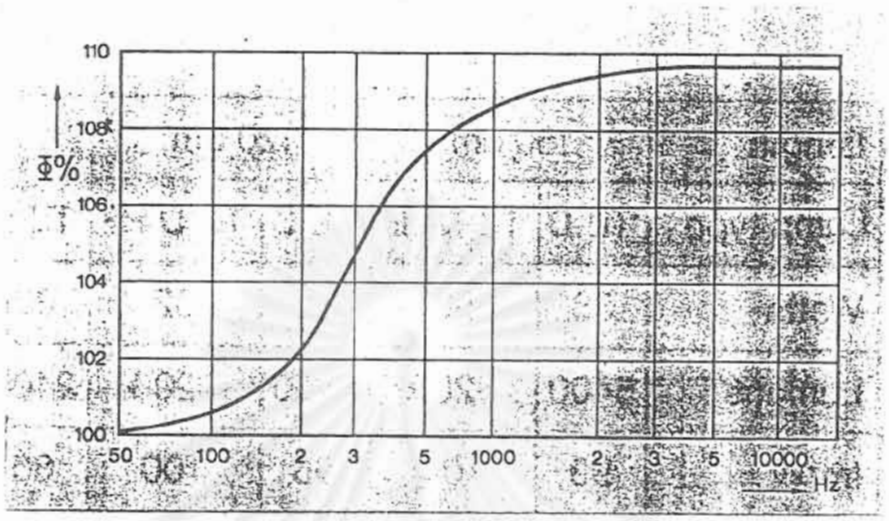
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 ลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน โดยมีตัวเหนี่ยวนำเป็นตัวจำกัดกระแส (Ballast)

โดยทั่วไปจะใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นอิมพีแดนซ์ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อไม่ให้เกิดกำลังสูญเสียในอิมพีแดนซ์มากเกินไป ดังนั้นลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีลักษณะดังในรูปที่ 3

เราอาจจะพิจารณาได้ว่า ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมกับหลอด มีหน้าที่จำกัดหรือหน่วงการเพิ่มขึ้นของกระแส เนื่องจากลักษณะสมบัติของความต้านทานพลวัติที่เป็นลบของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ กรณีที่ใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากสายส่งความถี่ 50/60 เฮอร์ตนั้น ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้จะมีค่าใหญ่กว่าการใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าขึ้นอยู่กับผลคูณของค่าความเหนี่ยวนำ (L) และความถี่ (f) การใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กลง เมื่อใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้กำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำลดลงได้ ถ้ากำลังสูญเสียต่อขนาดของตัวเหนี่ยวนำไม่ได้สูงขึ้นตามความถี่ จากแนวทางดังกล่าวจะเห็นได้ว่า เราสามารถลดกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ลงได้ โดยการใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง การใช้ความถี่สูงนอกจากสามารถลดกำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เป็นบัลลาสต์แล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (luminous efficacy) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์สูงขึ้นกับความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเพิ่มขึ้นของแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ กับความถี่ของกระแสผ่านหลอด (2)

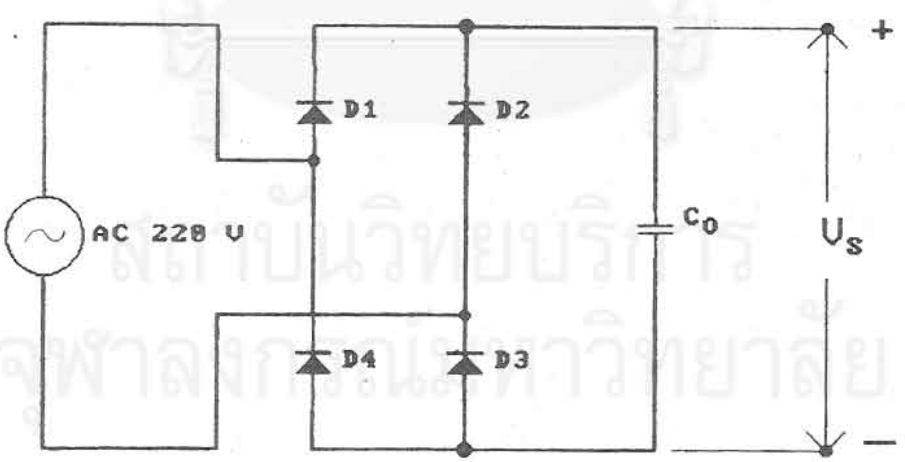
การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการส่องสว่างหลอด ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดลงได้ อันจะเป็นผลทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์กับความถี่สูง ถึงแม้จะช่วยลดกำลังสูญเสียในหลอดก็จริงแต่จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50/60 เฮอร์ต หรือไม่ก็เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้คอนเวอร์เตอร์ (converter) ในการสร้างแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงดังกล่าว การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียขึ้นในตัวคอนเวอร์เตอร์เอง และเพื่อให้สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัวคอนเวอร์เตอร์จะต้องมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยทั่วไปใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50/60 เฮอร์ต ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะต้องประกอบด้วยวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือวงจรเรียงกระแส(rectifier) และวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง หรืออินเวอร์เตอร์ (inverter) วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50/60 Hz เป็นแหล่งจ่ายกระแสความถี่สูงเพื่อจ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์นี้เรียกว่า บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(ac-to-dc converter)

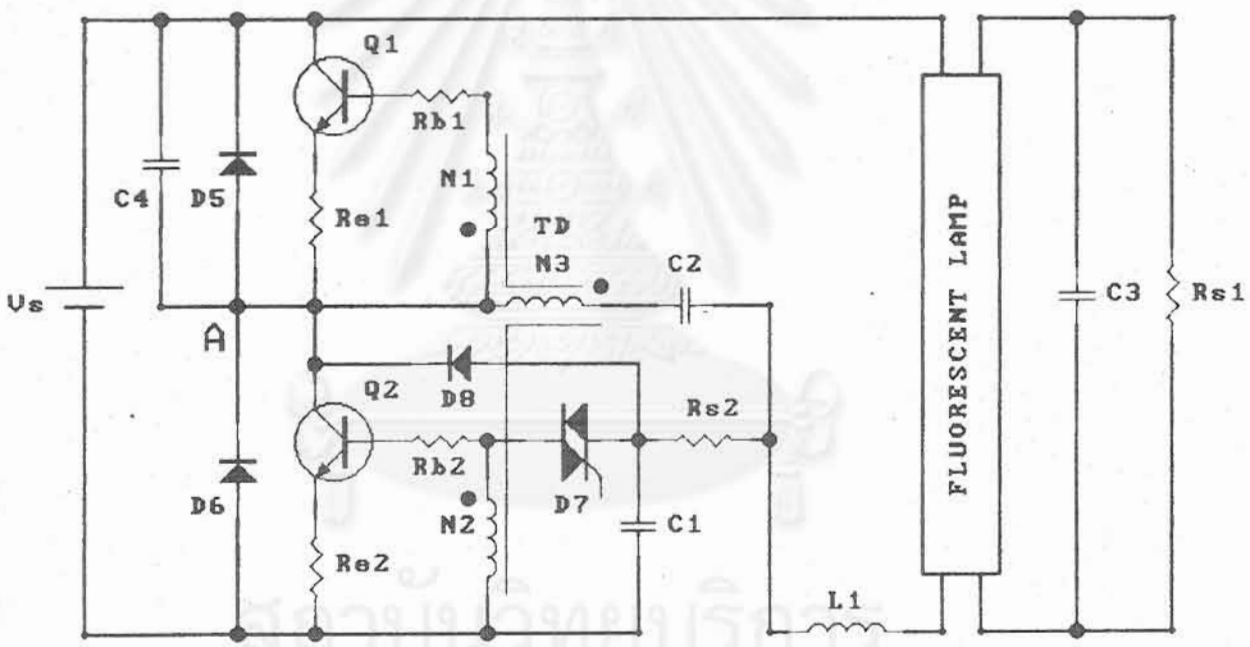
วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(ac-to-dc converter) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50/60 เฮอร์ต ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงหรืออินเวอร์เตอร์ (inverter) การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงอาจจะเป็นวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ประกอบกับตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นวงจรง่าย ๆ และราคาถูกหรืออาจจะเป็นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถควบคุมกระแสด้านขาเข้าให้มีรูปคลื่นใกล้ซายน์ (low harmonic ac-to-dc convertor) [4, 5, 6, 7, 8] ซึ่งมีความยุ่งยากและราคาแพง เมื่อคำนึงถึงผลกระทบของราคาต่อความสามารถในการแข่งขันของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ กับบัลลาสต์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันทำให้จำเป็นต้องเลือกวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบง่าย ๆ และราคาถูก ซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (D1-D4) และตัวเก็บประจุ (C_o) ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรกรอง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

2.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (inverter)

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์ (inverter) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อป้อนให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้แบบที่มีโครงสร้างแบบบริดจ์หรือกึ่งบริดจ์ [9] เนื่องจากกำลังออกของอินเวอร์เตอร์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ 1 หรือ 2 หลอด มีค่าไม่สูงนัก จึงเลือกใช้วงจรที่มีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์ เนื่องจากเป็นการลดความยุ่งยากของวงจรขับน่าสวิตช์ไวงานของวงจรลง สำหรับการขับน่าสวิตช์ไวงานนั้นจะอาศัยการป้อนกลับของกระแสโหลดผ่านหม้อแปลง โดยกระแสที่ใช้ในการขับน่าทรานซีสเตอร์ทั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา วงจรอินเวอร์เตอร์และลักษณะการต่อเข้ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์แสดงอยู่ในรูปที่ 6 โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของวงจรมีหน้าที่ดังนี้คือ



รูปที่ 6 วงจรอินเวอร์เตอร์และลักษณะการต่อกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

- ทรานซีสเตอร์ Q_1 และ Q_2 หน้าที่เป็นสวิตช์ไวงานของอินเวอร์เตอร์ โดยทรานซีสเตอร์ทั้งสองจะผลัดกันนำกระแสทำให้แรงดันที่จุด A มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และแรงดันไฟฟ้าตรง (v_s)

- ไดโอด D5 และ D6 ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแส ที่เกิดจากการคืนพลังงานจากโหลดไปยังแหล่งจ่ายไฟตรง (reactive power) ทั้งนี้เพราะตัวประ

กอบกำลังของโหลดของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ L_1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ และตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 มีค่าไม่เท่ากับ 1

- หม้อแปลงกระแส T_b ทำหน้าที่ขับนำทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 โดยการป้อนกลับกระแสโหลดผ่านขดลวด N3 ขดลวด N1 ใช้ในการขับนำทรานซิสเตอร์ Q_1 ส่วนขดลวด N2 ใช้ในการขับนำทรานซิสเตอร์ Q_2 กระแสที่ใช้ในการขับนำทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะมีขั้วตรงกันข้าม และลักษณะการป้อนกลับจะต้องเป็นการป้อนกลับแบบบวก เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงานได้เองโดยไม่ต้องมีแหล่งกำเนิดสัญญาณแยกต่างหาก ความถี่ในการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะถูกกำหนด โดยขนาดของแกนที่ใช้ และผลคูณระหว่างแรงดันต่อรอบของหม้อแปลงกับเวลาตลอดจนความเร็วในการหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2

- ตัวเก็บประจุ C_2 ทำหน้าที่ปิดกั้นองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงจากอินเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังโหลด ตัวเก็บประจุที่เลือกใช้จะต้องมีค่า reactance ต่ำ สำหรับความถี่ในการทำงานของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงถูกส่งผ่านไปยังโหลดโดยไม่ถูกลดทอนลงมากนัก

- ตัวเก็บประจุ C_3 ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสที่ใช้ในการอุ่นไส้หลอดทั้งในตอนเริ่มต้นและในภาวะปรกติ นอกจากนี้แล้วยังทำหน้าที่ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำ L_1 เป็นวงจรกำธร ทำให้กระแส และ แรงดันของหลอด มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นซายน์ การเกิดการกำธรระหว่างตัวเก็บประจุ C_3 และตัวเหนี่ยวนำ L_1 จะทำให้สวิตช์ไวงานของอินเวอร์เตอร์ ทำงานในภาคกำธรแบบแรงดันศูนย์ (Zero voltage resonant switch) อันเป็นการลดกำลังสูญเสียของสวิตช์ในช่วงเปลี่ยนสถานะ
- ตัวเหนี่ยวนำ L_1 ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดกระแสที่ผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ และทำหน้าที่ร่วมกับตัวเก็บประจุ C_3 เป็นวงจรกำธรดังได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้แล้วจุดทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูกกำหนดด้วยแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ ค่า reactance ของตัวเก็บประจุ C_3 และตัวเหนี่ยวนำ L_1

- ตัวเก็บประจุ C_4 ทำหน้าที่หน่วงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่จุด A เพื่อลดกำลังสูญเสียในสวิตช์ไวงาน ขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน ขนาดของตัวเก็บประจุดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบกำลังและขนาดของกระแสโหลด

- วงจรจุดชนวนทำหน้าที่จุดชนวนการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย ตัวต้าน R_{s1} และ R_{s2} ตัวเก็บประจุ C_1 ไดแอค D7 และ ไดโอด D8 เมื่อมีแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรง V_s และมีหลอดต่ออยู่ในวงจรตัวเก็บประจุ C_1 จะถูกประจุโดยกระแสที่ไหลผ่านไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งสองข้างตัวต้านทาน R_{s1} และ R_{s2} เมื่อแรงดันคล่อมตัวเก็บประจุมีค่าสูงกว่าแรงดันพังทลายของไดแอค D7 ไดแอค D7 จะนำกระแส กระแสจะไหลออกจากตัวเก็บประจุผ่านไดแอค D7 และตัวต้านทาน R_{b2} เข้าเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแส เมื่อ Q_2 นำกระแสจะมีกระแสโหลดไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแส T_D ในทิศทางที่จะทำให้มีกระแสไหลออกจากขดลวดทุติยภูมิ N_2 เพื่อขับนำให้ Q_2 นำกระแสต่อไป ทรานซิสเตอร์ Q_2 จะหยุดนำกระแสเมื่อกระแสขับนำทรานซิสเตอร์จากขดลวดทุติยภูมิ N_2 ลดลงเป็นศูนย์ เนื่องจากหม้อแปลงกระแสอิ่มตัว เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_2 หยุดนำกระแส กระแสโหลดซึ่งล้าหลังแรงดันจะยังไม่เปลี่ยนทิศทาง แต่จะไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_4 จนกว่าศักดาของจุด A จะมีค่าสูงกว่าศักดาที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟตรงเท่ากับแรงดันที่จะทำให้ไดโอด D5 นำกระแส ไดโอด D5 จะนำกระแส จนกว่ากระแสโหลดและกระแสขับนำทรานซิสเตอร์ Q_2 จะเปลี่ยนทิศทางทำให้กระแสโหลดไหลผ่านทรานซิสเตอร Q_1 กระแสโหลดจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 จนกว่ากระแสขับนำทรานซิสเตอร์จากขดลวดทุติยภูมิ N_1 จะลดลงเป็นศูนย์ เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดนำกระแส กระแสโหลดจะโอนย้ายไปไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_4 ไดโอด D6 และทรานซิสเตอร์ Q_2 ตามลำดับ ลักษณะการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นการหมุนวนสลับกันทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และทุกครั้งที่ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแส ไดโอด D8 จะนำกระแสทำให้ตัวเก็บประจุ C_1 คายประจุผ่าน ไดโอด D8 แรงดันของตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันพังทลายของไดแอค D7 ตลอดเวลา ทำให้ไม่มีการจุดชนวนใหม่อีกตราบเท่าที่อินเวอร์เตอร์ยังทำงานตามปรกติทำให้จังหวะการทำงานของทรานซิสเตอร์ ไม่ถูกรบกวน

ในกรณีที่หลอดถูกถอดออกจากวงจร อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานทันทีเนื่องจากวงจรโหลดถูกตัดขาด จึงไม่มีกระแสโหลดไปขับนำทรานซิสเตอร์ นอกจากนี้แล้ววงจรจุดชนวนก็จะไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากกระแสที่ใช้ในการประจุตัวเก็บประจุจะไม่สามารถไหลผ่านไส้หลอดได้ ทำให้แรงดันของตัวเก็บประจุไม่สามารถเพิ่มขึ้นจนทำให้ไดแอคทำงานได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีหลอดหรือไส้หลอดขาดวงจรจะหยุดทำงานทุกส่วน และวงจรจะเริ่มทำงานใหม่ทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนหลอดที่ดีเข้าไปในวงจร

- ตัวต้านทาน R_{E1} และ R_{E2} ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟลบเมื่อไบแอสย้อน ขั้วต่อเบส-อิมิตเตอร์ อันเป็นการช่วยลด storage time ของทรานซิสเตอร์ และมีส่วนในการกำหนดแรงดันต่อรอบของหม้อแปลงขับนำทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะมีส่วนในการกำหนดความถี่การทำงานของอินเวอร์เตอร์

- ตัวต้านทาน R_{B1} และ R_{B2} ทำหน้าที่กำหนดแรงดันต่อรอบของหม้อแปลงขับนำ ซึ่งจะมีส่วนในการกำหนดความถี่การทำงานของอินเวอร์เตอร์

III การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากวงจรต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรอง วงจรอินเวอร์เตอร์รวมทั้งหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์เองต่างก็มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น หรือมีขนาดไม่แน่นอน เช่น อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ หรือค่า storage time ของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ไวงาน ตลอดทั้งภาวะทรานเซียนต่าง ๆ ของวงจร ดังนั้นการออกแบบวงจรต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะเป็นการผสมผสานการออกแบบโดยการใช้กราฟ การประมาณค่า การคำนวณโดยการประมาณ และการวิเคราะห์การทำงานของวงจรโดยใช้คอมพิวเตอร์ ร่วมกับการทดลอง จากนั้นก็จะมีการปรับค่าของตัวแปรเพื่อให้ได้คุณสมบัติของวงจรที่ต้องการ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งออกได้สองส่วนคือ คอนเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่มีรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และโหลด คอนเวอร์เตอร์จะประกอบด้วย วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงหรืออินเวอร์เตอร์ ส่วนโหลดจะประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสของหลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียวประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ และโหลดอย่างละ 1 ชุด ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดคู่ จะประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ 1 ชุด แต่มีโหลด 2 ชุด ที่มีลักษณะเหมือนกัน จากลักษณะโครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดี่ยวและหลอดคู่จะมีความแตกต่างเฉพาะในส่วนของคอนเวอร์เตอร์ กล่าวคือ กำลังเข้าและกำลังออกของคอนเวอร์เตอร์สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดคู่จะสูงกว่าคอนเวอร์เตอร์สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียวประมาณ 1 เท่าตัว และเป็นการเพิ่มขึ้นของพิกัดของกระแสเนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้ามีค่าคงที่ ส่วนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาออก ของวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแส

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สลับความถี่สูง มีขนาดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทำให้โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งแบบหลอดเดียวและหลอดคู่มองเห็นความแตกต่างของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงไม่มากนัก ดังนั้นในโหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งแบบหลอดเดียวและหลอดคู่จะเหมือนกันทุกประการ ในการออกแบบคอนเวอร์เตอร์ที่มีพิกัดกระแสต่างกัน แนวทางในการออกแบบจะเหมือนกันเพียงแต่พิกัดหรือค่าของอุปกรณ์ที่ใช้จะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการออกแบบจะแสดงวิธีการออกแบบสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียวเท่านั้น ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดคู่จะแสดงผลการออกแบบและวงจรที่ใช้เท่านั้น

3.1 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

การออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้วงจรเรียงกระแสเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ร่วมกับตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองนั้น ประกอบด้วยการเลือกชนิดและพิกัดของไดโอดที่เหมาะสม สำหรับวงจรเรียงกระแสชนิดและขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้สำหรับวงจรกรองเพื่อให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออก และเปอร์เซนต์การกระเพื่อมของแรงดันด้านขาออกที่ต้องการ ชนิดและขนาดของไดโอดและตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสออก ขนาดของแรงดัน ความถี่ และอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ รวมทั้งอิมพีแดนซ์ของไดโอดและตัวเก็บประจุที่ใช้ สำหรับความถี่ 50 หรือ 60 เฮอร์ตจะใช้ไดโอดเรียงกระแสธรรมดา (rectifying diode) ส่วนตัวเก็บประจุจะใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติก (electrolytic capacitor) ซึ่งมีขนาดน้ำหนักและราคาต่อปริมาณพลังงานที่เก็บสะสมได้ ($CV^2/2$) ต่ำสุด ขนาดและพิกัดต่าง ๆ ของไดโอดและตัวเก็บประจุที่ต้องจะขึ้นอยู่กับขนาดและเปอร์เซนต์ กาวกระเพื่อมของแรงดันออก ขนาดของกระแสออก ขนาดของแรงดันและความถี่ตลอดจนอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ของไดโอดและตัวเก็บประจุเอง

3.1.1 การคำนวณหากระแสออกของวงจร

กระแสออก (I_o) ของวงจรเรียงกระแส จะคำนวณได้จากกำลังออกของอินเวอร์เตอร์ (P_o) ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ( ) และขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ (V_s) ตามสมการ

$$I_o = \frac{P_o}{V_s} \qquad (1)$$

สำหรับหลอด 36 วัตต์ เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง กำลังงานที่หลอดจะเท่ากับ 32 วัตต์ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จะมีค่าประมาณ 90% เนื่องจาก

อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไปมักจะมีค่าต่ำ ดังนั้นแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าประมาณ 95% ของค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้ามีการออกแบบให้การกระเพื่อมของแรงดันออกไม่สูงนัก (5-10%) ดังนั้นสำหรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้า 220 โวลท์ จากค่าต่าง ๆ ดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่ากระแสออกของวงจรเรียงกระแสได้ โดยมีค่าประมาณ 125 mA ต่อหลอด 36 วัตต์ 1 หลอด

3.1.2 <u>อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ</u>

สำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะมีส่วนสำคัญในการกำหนดค่าสูงสุดของกระแสกระชาก (surge current) ในตอนเริ่มเปิดไฟ และมีผลต่อขนาดและการกระเพื่อมของแรงดันออก อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลงที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ต่ออยู่ ขนาดและความยาวของสายที่ต่อระหว่างหม้อแปลงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งค่าต่าง ๆ ดังกล่าวมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับตำแหน่งและสถานที่ที่ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบจะเลือกออกแบบสำหรับหม้อแปลงขนาด 250 kVA โดยมีสาย feeder ขนาด 35 mm^2 ยาว 20 เมตร และสายขนาด 1.5 mm^2 5 เมตร จากเงื่อนไขดังกล่าว คำนวณค่าความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้

หม้อแปลงขนาด 250 kVA (10)

ความต้านทาน = 8.3 mΩ

ความเหนี่ยวนำ = 77 μH

สาย 35 mm^2 ยาว 10 เมตร (10)

ความต้านทาน 10.3 mΩ

ความเหนี่ยวนำ 5.7 μH

สาย 1.5 mm^2 ยาว 5 เมตร (11)

ความต้านทาน 115 mΩ

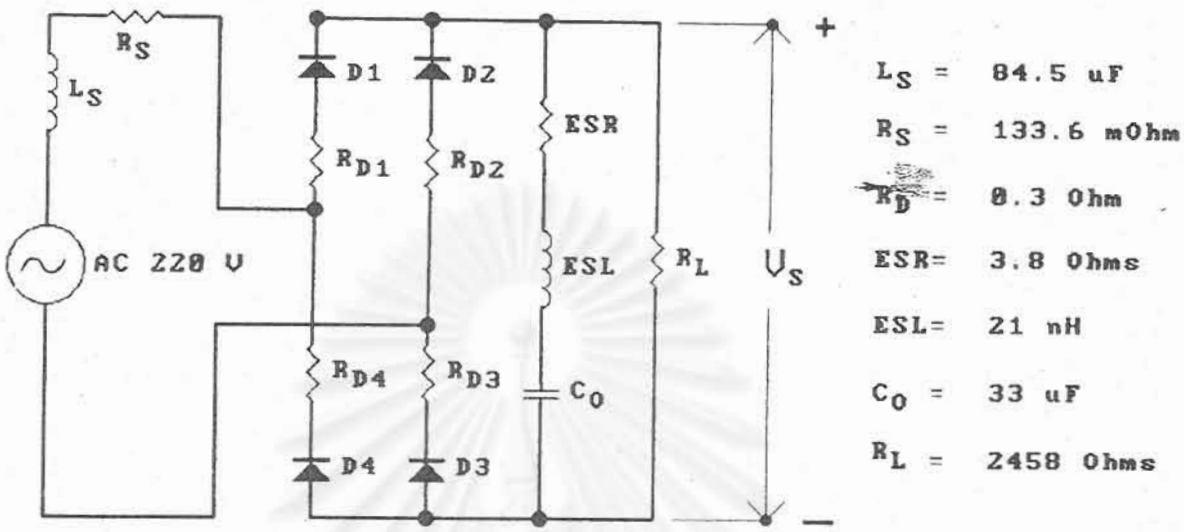
ความเหนี่ยวนำ 1.8 μH

ค่าอิมพีแดนซ์รวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับคือ

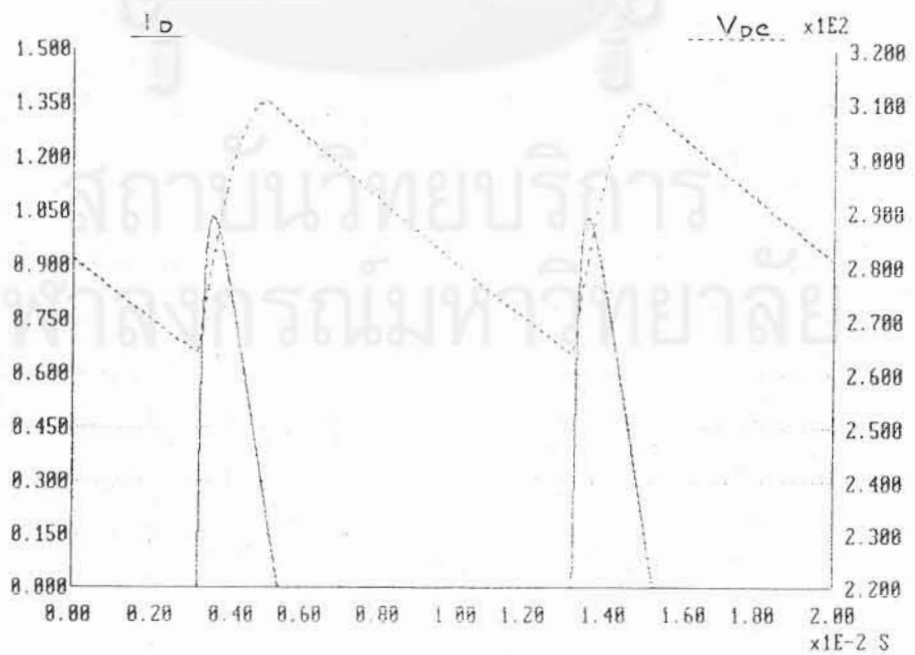
ความต้านทาน 133.6 mΩ

ความเหนี่ยวนำ 84.5 μH

สำหรับกระแสออก 125 mA และอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายซึ่งประกอบด้วยความต้านทาน 133.6 mΩ และตัวเหนี่ยวนำขนาด 84.5 μH ต่ออนุกรมกัน ได้มีการออกแบบเบื้องต้นโดยอาศัยกราฟ (12) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออกมีค่าอยู่ระหว่าง 280 ถึง 300 โวลท์ และค่ายอดของแรงดันกระเพื่อม มีค่าระหว่าง 5 ถึง 10% พบว่าต้องใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติกค่าระหว่าง 17 ถึง 40 μF การใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็ก จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้า การกระเพื่อมของแรงดันออกสูงขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยของแรงดันออกลดลง ขนาดที่เพิ่มขึ้นของการกระเพื่อมของแรงดันออกจะมีผลต่อการทำงานของตัวเก็บประจุ C4 ที่ช่วยในการลดกำลังสูญเสียในสวิตช์ไวงานขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยจะทำให้กำลังสูญเสียในสวิตช์เพิ่มขึ้น หรือจะทำให้ช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแรงดันเข้าแคบลง การใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้า การกระเพื่อมของแรงดันออกต่ำลง กำลังสูญเสียในสวิตช์ไวงานลดลง ตลอดจนทำให้ช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแรงดันเข้ากว้างขึ้น ค่าที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียวคือ 22 μF ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดคู่ควรจะใช้ 47 μF ในตัวอย่างการออกแบบนี้จะเป็นการออกแบบวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดี่ยว บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียวใช้ตัวเก็บประจุอิเล็กโตรไลติดขนาด 22 μF ที่ทนแรงดันได้ 450 โวลท์ ซึ่งตัวเก็บประจุดังกล่าวมีค่าความต้านทานอนุกรม (equivalent-series resistance หรือ ESR) 5.8 Ω และตัวเหนี่ยวนำอนุกรม (equivalent series inductance หรือ ESL) 15-21 nH (13) และสำหรับไดโอดขนาดพิกัด 1 แอมแปร์ 700 โวลท์ จะมีค่าความต้านทานอนุกรม 0.3Ω (14) และแรงดันคัทอิน 0.6 โวลท์ได้ มีการวิเคราะห์วงจรซึ่งมีค่าตัวแปรต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในวงจร ดังแสดงในรูปที่ 7 ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจร LEK 6.0 (15) จะได้รูปคลื่นของแรงดันออก และกระแสที่ผ่านไดโอดแต่ละตัวในภาวะอยู่ตัว ดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่า แรงดันออกมีค่าแรงดันเฉลี่ย 287 โวลท์ และค่ายอดของแรงดันกระเพื่อมประมาณ 23 โวลท์ หรือประมาณ 8 % ของค่าแรงดันออกเฉลี่ย สำหรับกระแสผ่านไดโอด มีลักษณะการนำกระแสเป็นห้วง ๆ ทุก 1 คาบ โดยมีค่ายอดประมาณ 1.03 แอมแปร์ จากรูปคลื่นดังกล่าว ค่านวณค่ายังผล (root-means-square) ได้ประมาณ 0.29 แอมแปร์ ในการเลือกกระแสพิกัดของไดโอดของวงจรเรียงกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรองนั้น นอกจากจะพิจารณาจากค่ากระแสยังผลในภาวะอยู่ตัวแล้ว ยังจะต้องพิจารณาจากกระแสในตอนเริ่มเปิดไฟ เนื่องจากในตอนเปิดไฟนั้น ตัวเก็บประจุจะมีลักษณะเสมือน วงจรลัดซึ่งจะทำให้กระแสผ่านไดโอดมีค่าสูง เนื่องจากอิมพีแดนซ์ในวงจรจะมีค่าเล็ก ขนาดของกระแสในตอนเริ่มเปิดไฟ จะขึ้นอยู่กับเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตอนเริ่มเปิดไฟ กระแส

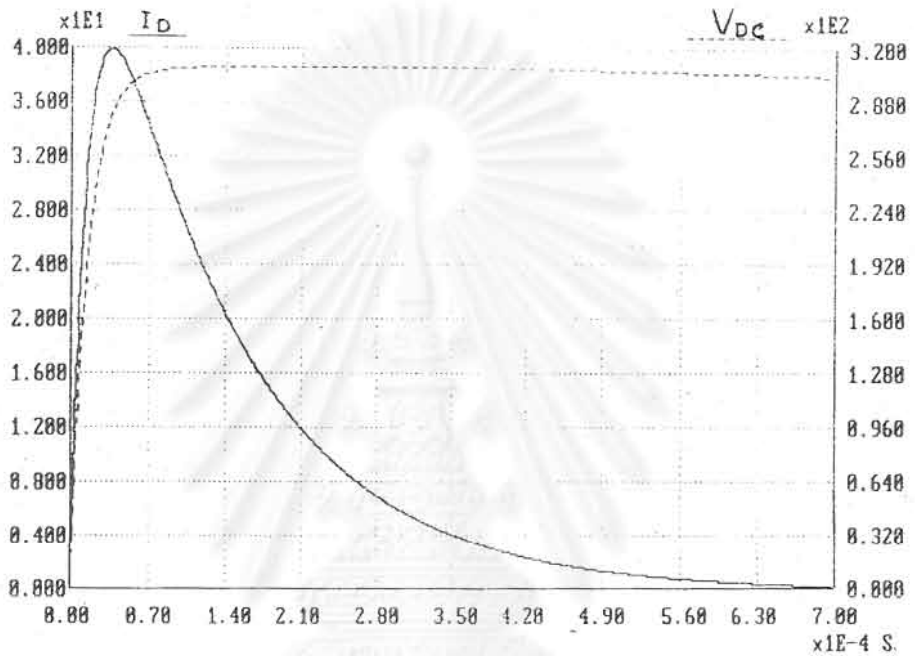


รูปที่ 7 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
ที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของอุปกรณ์ที่ต้องใช้



รูปที่ 8 รูปคลื่นของ กระแสที่ผ่านไดโอด และแรงดันออก
ในภาวะอยู่ตัวของวงจรเรียงกระแสในรูปที่ 7

ผ่านไดโอดจะมีค่าสูงสุด ถ้าเริ่มเปิดไฟเมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีเฟส 90 องศา ซึ่งเป็นกรณีที่แรงดันมีค่าสูงสุด รูปที่ 9 แสดงรูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอด และแรงดันออกในตอนเริ่มเปิดไฟ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีเฟส 90 องศา จะเห็นได้ว่ากระแสผ่านไดโอดจะมีค่ายอดสูงถึง 40 แอมแปร์ และมีค่ากระแสยังผลประมาณ 5 แอมแปร์



รูปที่ 9 รูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอดและแรงดันออกของวงจรเรียงกระแสในรูปที่ 7 ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีมุม 90 องศา ในตอนเปิดไฟ

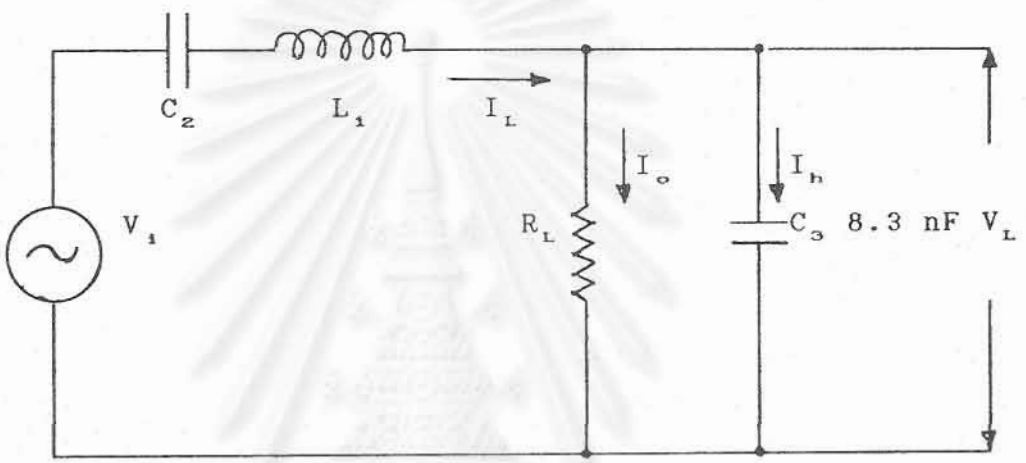
โดยทั่วไปแล้ว ไดโอดจะสามารถทนกระแสกระชากได้ประมาณ 7-10 เท่าของกระแสพิกัดปรกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไดโอดที่มีพิกัดของกระแสยังผล 1 แอมแปร์ ซึ่งจะสามารถทนกระแสกระชากได้ระหว่าง 7-10 แอมแปร์ โดยมีพิกัดของแรงดันย้อนกลับ 700 โวลท์ เนื่องจากแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอดจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟตรงด้านขาออก

สำหรับตัวเก็บประจุจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติกขนาด 22 μF ที่มีแรงดันพิกัด 450 โวลท์

3.2 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์แบบกิ้งบริดจ์ที่เลือกใช้ให้แรงดันออกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ที่มีค่ายอดถึงยอดเท่า

กับแรงดันไฟตรงด้านเข้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 287 โวลท์ หรือมีค่ายอดเท่ากับ 143.5 โวลท์ เนื่องจากโครงสร้างของการต่อหลอดกับอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะเป็นวงจรกรองแบบผ่านต่ำ ทำให้แรงดันที่หลอดมีรูปคลื่นใกล้ชายน์ และมีความถี่เท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นการออกแบบเบื้องต้นของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการจำกัดกระแส (L_1) ตัวเก็บประจุสำหรับปิดกั้นแรงดันไฟตรง (C_2) และตัวเก็บประจุที่เป็นทางผ่านของกระแสเผาไส้หลอด (C_3) จะคำนวณโดยอาศัยผลตอบเชิงความถี่ต่อแรงดันชายน์ของวงจร ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 วงจรสมมูลสำหรับแรงดันชายน์ของวงจรอินเวอร์เตอร์

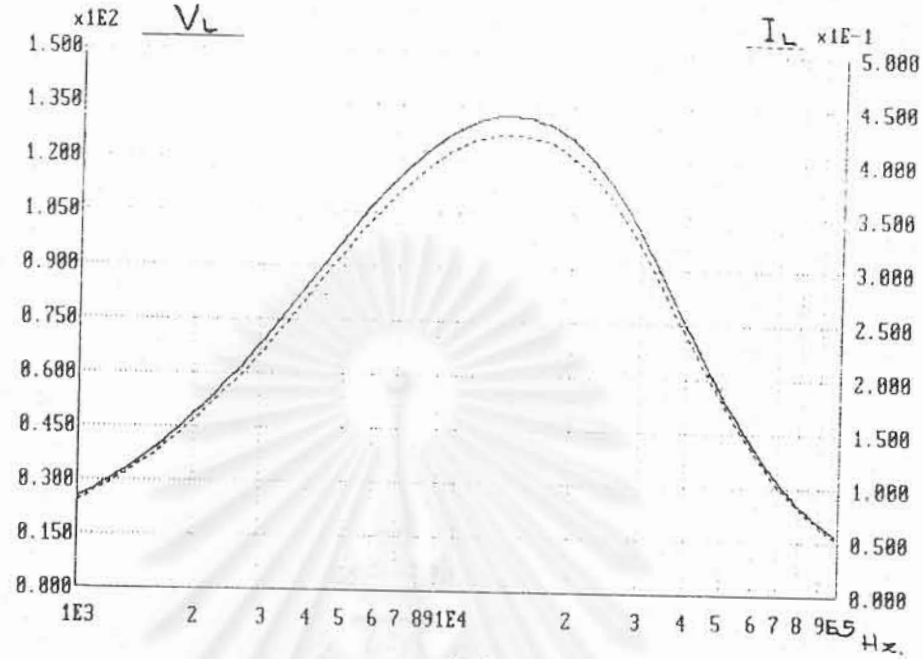
V_1 คือแรงดันของความถี่หลักมูล (fundamental frequency) ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่ายอด 143.5 โวลท์ ซึ่งคำนวณค่ายังผล (V_1) ได้ตามสมการ

$$V_1 = (1/\sqrt{2})(4/\pi) \times 143.5 \text{ โวลท์}$$
$$V_1 = 129 \text{ โวลท์} \qquad (2)$$

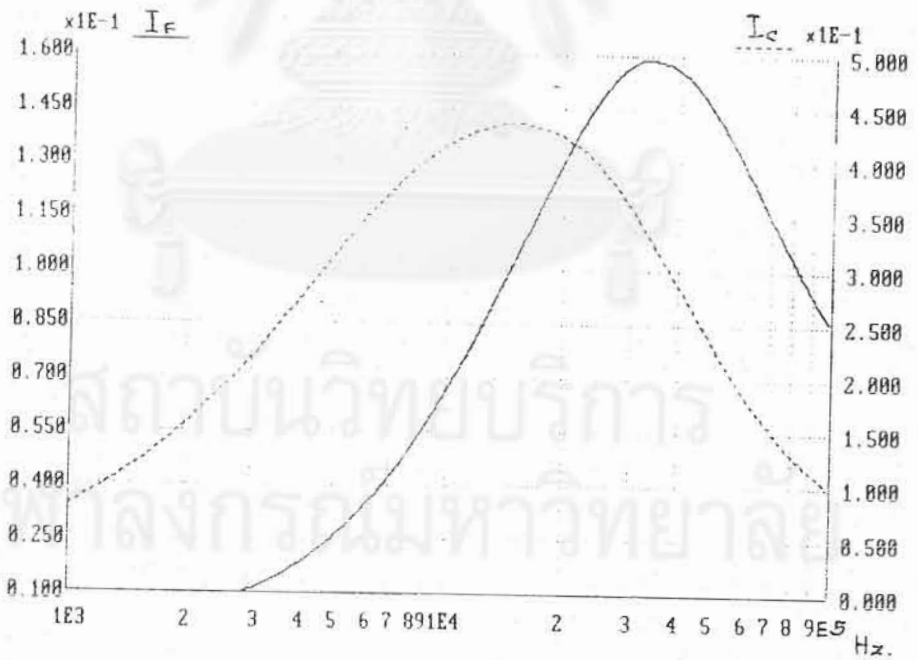
R_L คือ ความต้านทานสมมูลของหลอดฟลูออเรสเซนต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ซึ่งมีกำลังที่หลอด (P) ในกรณีที่ใช้ความถี่สูง 32 วัตต์ และมีแรงดันคร่อมหลอด (V_L) 100 โวลท์ จะแทนด้วยความต้านทาน R_L ซึ่งมีค่าตามสมการ

$$R_L = \frac{V^2}{P} = \frac{(100)^2}{32} = 312.5 \ \Omega \qquad (3)$$

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 11 ผลตอบเชิงความถี่ของแรงดันคร่อมหลอดและกระแสผ่านหลอด (ก) และผลตอบเชิงความถี่ของกระแสเผาไส้หลอดและกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ในช่วงความถี่ 1 ถึง 100 กิโลเฮอร์ตของวงจรในรูปที่ 10

ค่ายังผลของกระแสไหลผ่านหลอด ในกรณีที่มีแรงดันคร่อมหลอดมีค่ายังผล 100 โวลท์ มีค่าเท่ากับ 320 mA

ในกรณีที่อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ 30 กิโลเฮอร์ต จะมีการออกแบบให้กระแสเผาไส้หลอดประมาณ 30% ของกระแสผ่านหลอด ค่ายังผลของแรงดันที่หลอดประมาณ 100 โวลท์ และความถี่กำธร (resonant frequency) ระหว่าง L_1 และ C_2 อยู่ต่ำกว่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ไม่น้อยกว่า 2 เท่า

จากเงื่อนไขดังกล่าว ได้เลือกค่าต่าง ๆ ของวงจรดังนี้

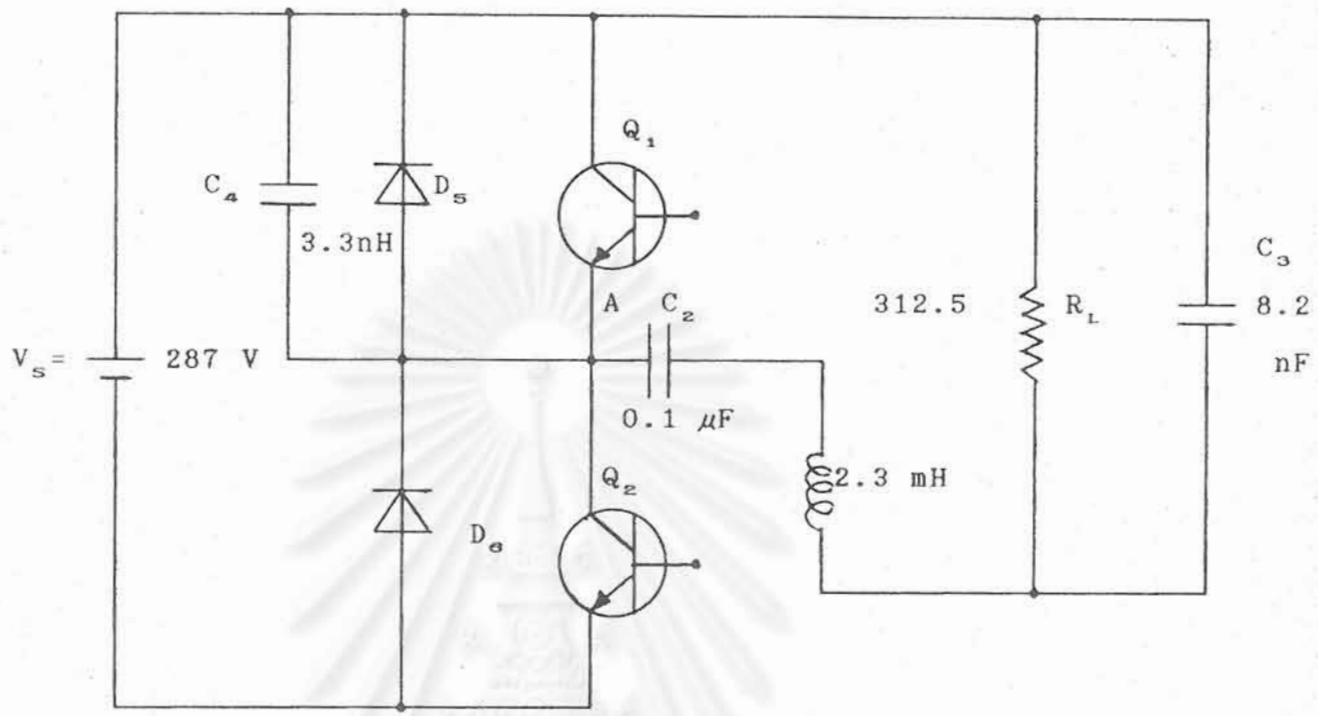
$$\begin{aligned} L_1 &= 2.3 \text{ mH} \\ C_2 &= 0.1 \ \mu\text{F} \\ C_3 &= 8.3 \text{ nF} \end{aligned} \qquad (4)$$

การวิเคราะห์ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรในรูปที่ 10 โดยมีค่าอุปกรณ์ตามสมการ (4) ได้ผลตอบเชิงความถี่ของแรงดันคร่อมหลอด (V_L) และกระแสผ่านหลอด (I_o) ในช่วงความถี่ 1 ถึง 100 กิโลเฮอร์ต แสดงอยู่ในรูปที่ 11 ก และผลตอบเชิงความถี่ของกระแสเผาไส้หลอด (I_h) และกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ (i_L) แสดงอยู่ในรูปที่ 11 ข จะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ 30 กิโลเฮอร์ต ค่ายังผลของแรงดันคร่อมหลอดมีค่า 100 โวลท์ ค่ายังผลของกระแสผ่านหลอดมีค่า 320 มิลลิแอมแปร์ ค่ายอดของกระแสเผาไส้หลอดมีค่า 157 มิลลิแอมแปร์ และค่ายังผลของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์มีค่า 358 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการในเบื้องต้น จะมีการวิเคราะห์ในเชิงเวลาและปรับค่าจากการทดลองจริงเพื่อให้ได้ความสว่างเท่ากับความสว่างของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์แบบขดลวดและแกนเหล็ก

จากค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบเชิงความถี่ ได้มีการวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์ในเชิงเวลา (15) โดยมีวงจรดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 13 แสดงรูปคลื่นของกระแส (I_Q)และแรงดัน (V_Q)ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ตามลำดับ และในรูปที่ 14 แสดงรูปคลื่นของกระแส (I_D) และแรงดัน(V_D) ของไดโอด D5 และ D6 ตามลำดับ จากรูปคลื่นดังกล่าวจะใช้ในการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสวิตช์ อย่างไรก็ตามการเลือกพิกัดของกระแสจะต้องคำนึงถึงค่ากระแสในตอนเริ่มเปิดไฟซึ่งหลอดยังไม่นำกระแสด้วย

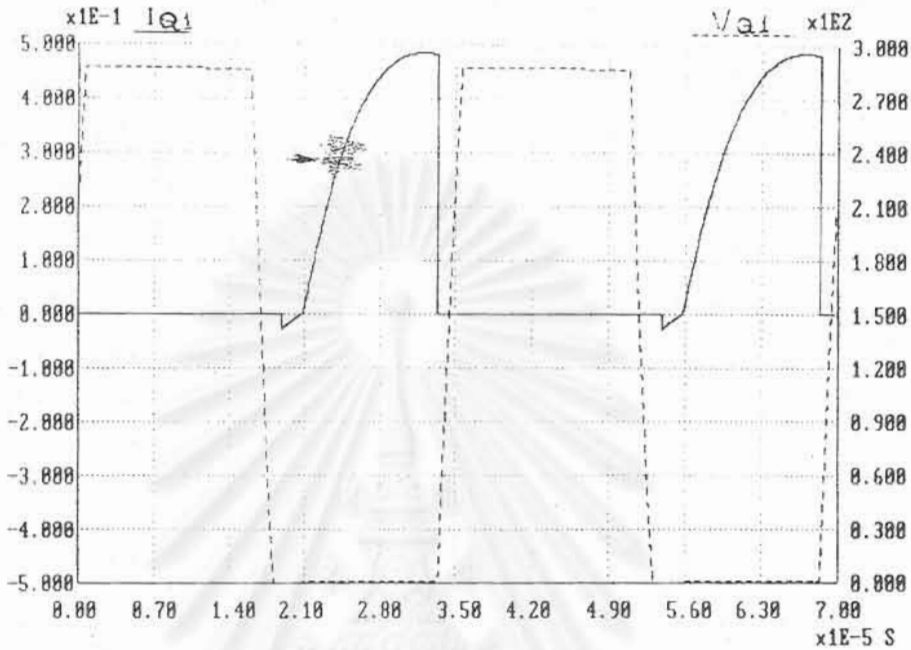
COLLEGE OF ENGINEERING
CHULALONGKORN UNIVERSITY
47061



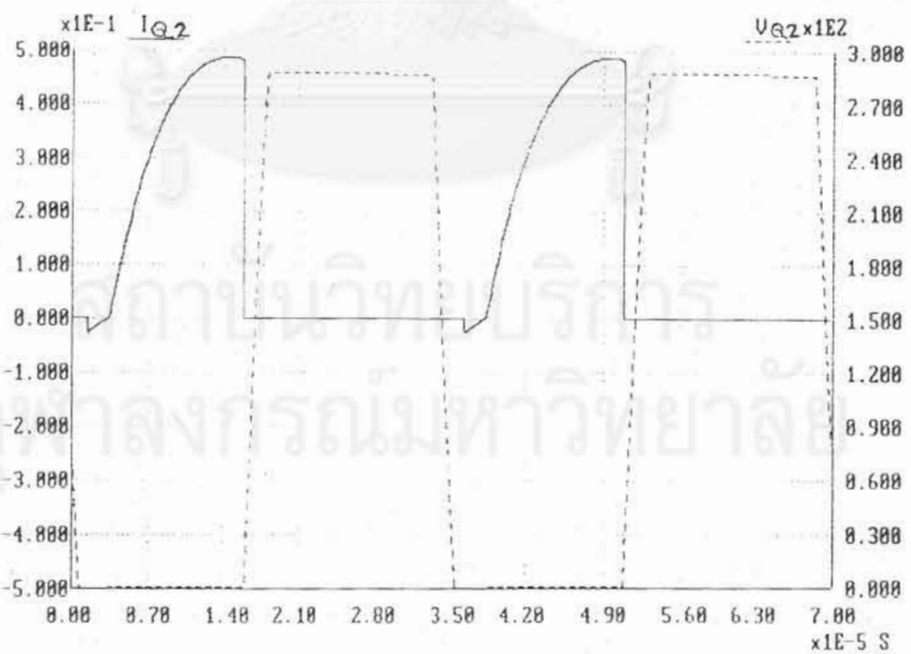
รูปที่ 12 วงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ในเชิงเวลาโดยสัญญาณขับนำทรานซีสเตอร์มีความถี่ 25 กิโลเฮอร์ต

รูปที่ 15 แสดงรูปคลื่นของกระแสผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ (I_o) และแรงดันคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ (V_L) ซึ่งแทนด้วยความต้านทานสมมูล 332 โอห์ม จะเห็นได้ว่ากระแสและแรงดันของหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบโดยอาศัยผลตอบเชิงความถี่ และมีรูปคลื่นใกล้ชายน์

รูปที่ 16 แสดงรูปคลื่นของกระแสเผาไส้หลอด (I_h) ซึ่งไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_3 และกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 (I_L) ซึ่งก็จะมีรูปคลื่นใกล้ชายน์และมีขนาดใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้โดยอาศัยผลตอบเชิงความถี่

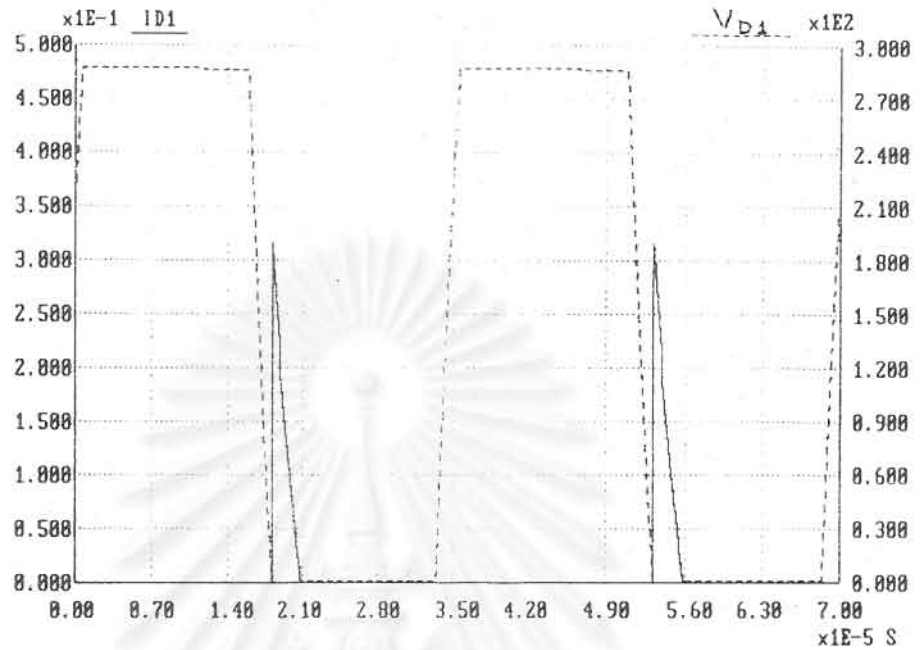


(ก)

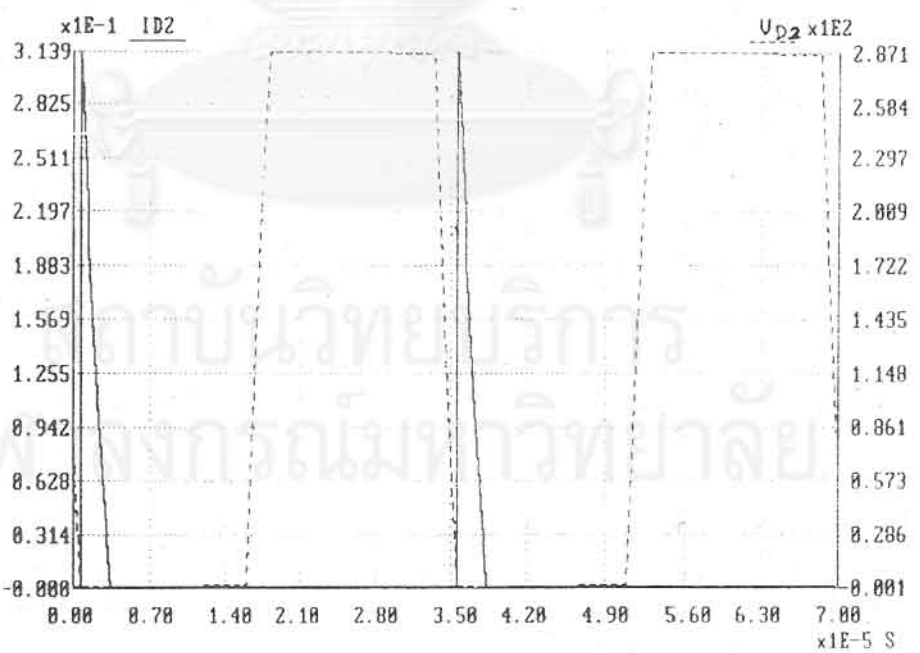


(ข)

รูปที่ 13 กระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ Q_1 (ก) และทรานซิสเตอร์ Q_2 (ข) ที่ใช้เป็นสวิตช์ไวงานของอินเวอร์เตอร์

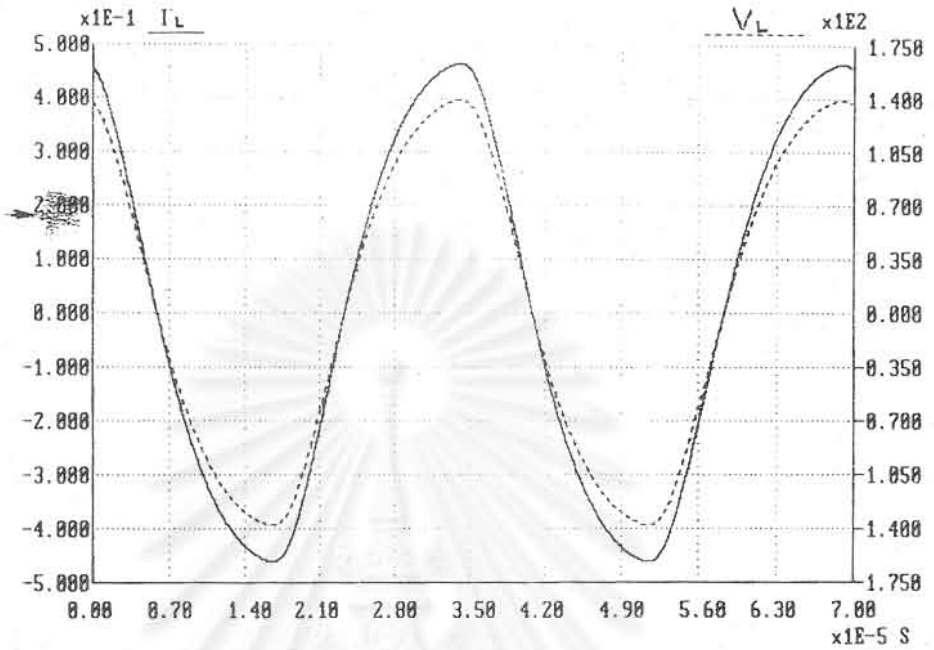


(ก)

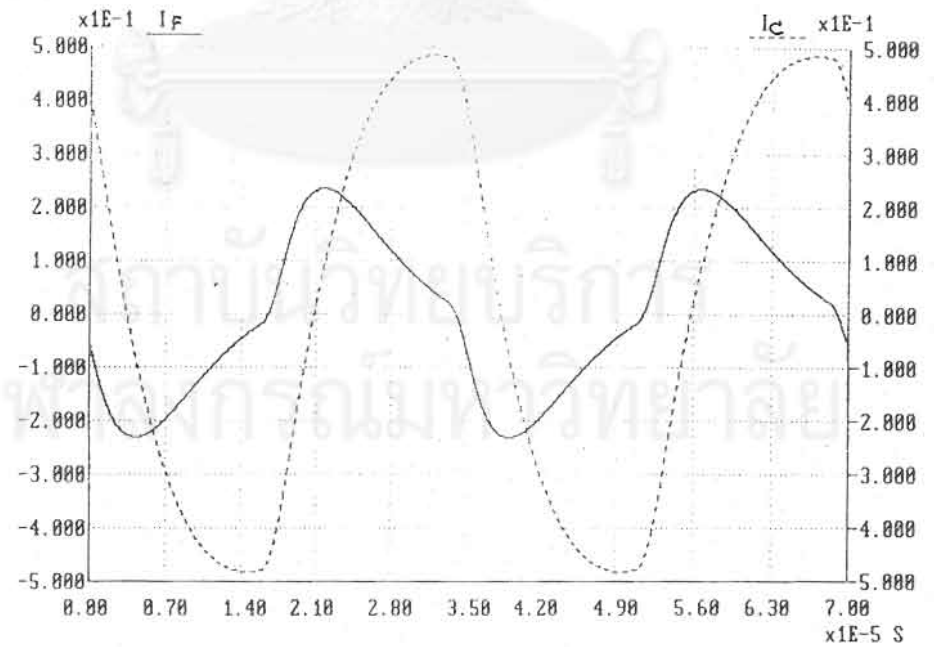


(ข)

รูปที่ 14 กระแสและแรงดันของไดโอด D5 (ก) และไดโอด D6 (ข) ที่ใช้เป็นสวิตช์ที่เป็นทางผ่านของ reactive power



รูปที่ 15 กระแสและแรงดันของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่แทนด้วยความต้านทาน 312 โอมห์



รูปที่ 16 กระแสเผาไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_3 และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการจำกัดกระแส

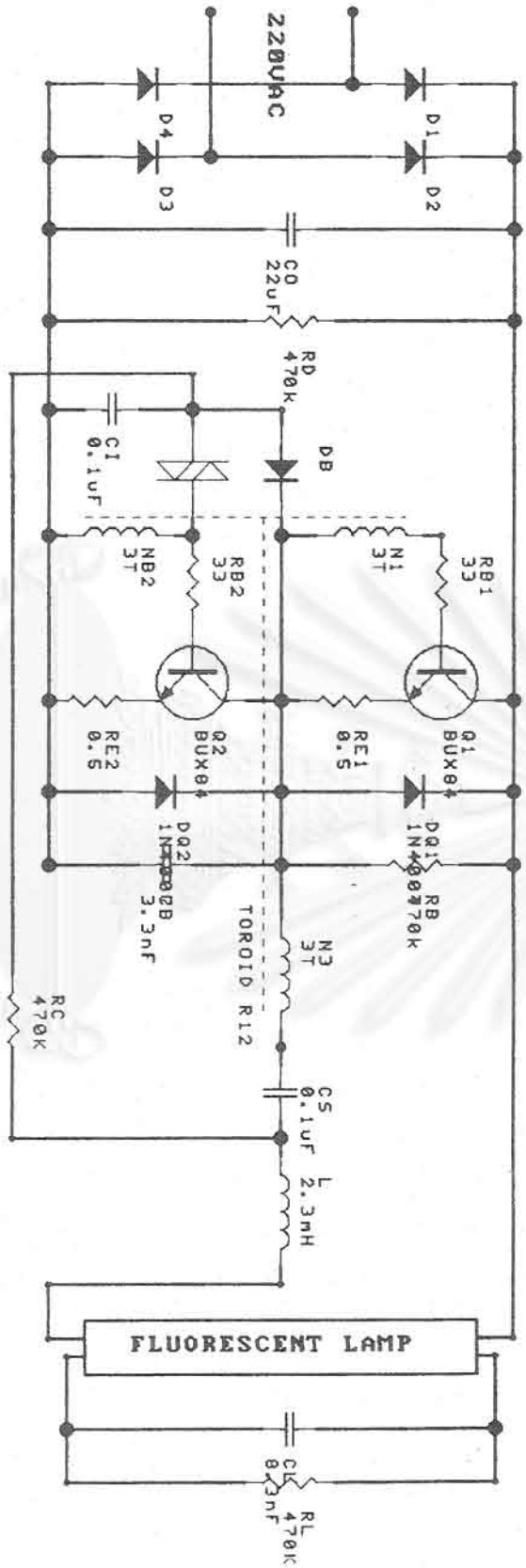
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IV การสร้างและทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

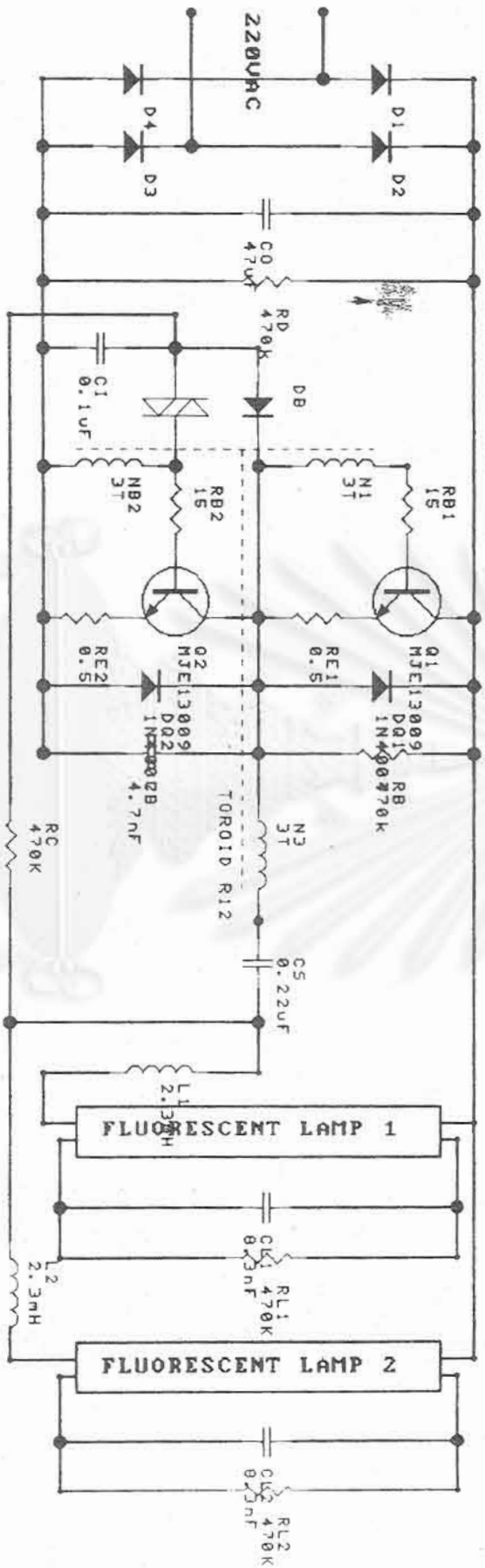
ได้มีการสร้างและทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งแบบหลอดเดี่ยวและหลอดคู่ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการปรับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างเหมาะสม และมีความสว่างเท่ากับหลอด 36 วัตต์ ที่มีกำลังที่หลอดเท่ากับ 36 วัตต์ เมื่อใช้บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz. รูปที่ 17 แสดงวงจรของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดเดียว รูปที่ 18 แสดงวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดคู่ ในการวัดกระแสแรงดันและกำลังที่จุดต่างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับหลอด 36 วัตต์ทั้งแบบหลอดคู่และหลอดเดียว ใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้คือ

1 Digital Oscilloscope PHILIPS Model PM3323
2 Current Amplifier TEKTRONIC Model AM503
3 Current Probe TEKTRONIC Model A6302
4 Volt-Ampere-Watt Meter RFL Industries Model 620
5 Oscilloscope IWATSU Model SS5702 2 MHz.

การวัดกระแสแรงดันและกำลังด้านขาเข้า รวมทั้งกระแสแรงดันและกำลังที่หลอด เมื่อความสว่างของหลอดที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าประมาณเท่ากับความสว่างของหลอดเดียวกัน เมื่อใช้บัลลาสต์แบบขดลวดและแกนเหล็กขนาด 40 วัตต์ โดยการวัดความสว่างนี้ จะใช้ค่าความต้านทานที่มีค่าแปรตามแสง (LDR) สองตัวต่ออนุกรมกันวางห่างกัน 30 cm และห่างจากหลอด 20 cm โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะติดตั้งไว้ในกล่องที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันแสงสว่างจากภายนอก ความต้านทานของ LDR ทั้งสองที่ต่ออนุกรมกันขณะไม่มีแสงมีค่าเท่ากับ 6 เมกะโอห์ม และในการวัดนั้นจะกระทำเมื่อได้จ่ายไฟให้กับวงจรแล้วเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่ภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 17 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 36 วัตต์ ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 18 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับหลอดขนาด 36 วัตต์ แบบหลอดคู่

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดเดี่ยว เปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กโดยมีการเปรียบเทียบกระแส แรงดัน และกำลังทางด้านขาเข้าและที่หลอด ตลอดจนความสว่างของหลอด ในการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น ได้มีการปรับความสว่างให้มีค่าประมาณเท่ากับความสว่างของหลอดเมื่อใช้บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก ซึ่งให้กำลังออกที่หลอดประมาณ 36 วัตต์

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการวัดกระแสแรงดัน และกำลังที่จุดต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดเดียว จำนวน 3 ชุด สำหรับเงื่อนไขเดียวกันกับข้อมูลในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แทนการใช้บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 11 วัตต์ต่อหลอด 36 วัตต์ 1 หลอด การลดลงของกำลังงานด้านขาเข้าส่วนหนึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์เนื่องจากการใช้ความถี่สูง ซึ่งทำให้กำลังที่หลอดลดลงประมาณ 3.5 วัตต์ การลดลงอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการลดลงของกำลังสูญเสียในตัวบัลลาสต์เอง โดยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีกำลังสูญเสียภายในตัวบัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กประมาณ 7.5 วัตต์

ตัวอย่างแบบหลอดเดี่ยว	ค่าความต้านทานของLDR (โอห์ม)	ด้านขาเข้า			ที่หลอด		
		กระแส มิลิแอมแปร์	แรงดัน (โวลท์)	กำลัง (วัตต์)	กระแส มิลิแอมแปร์	แรงดัน (โวลท์)	กำลัง (วัตต์)
บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก	367	438	220	46.2	438	101.7	36.1
NO. 1	365	309	220.4	34.5	319	100.5	32.0
No. 2	364	315	220.7	34.8	322	100.0	32.2
No. 3	362	325	220.5	35.1	328	99.2	32.5

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดและแกนเหล็ก สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดเดี่ยว

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำลังที่หลอด (W_L)	32.2	วัตต์
กระแสยังผลที่หลอด (I_{Lrms})	323	มิลิแอมแปร์
แรงดันยังผล (V_{Lrms})	99.7	โวลท์
กำลังไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า (W_{DC})	34.4	วัตต์
กระแสไฟตรงด้านเข้า (I_{DC})	120	มิลิแอมแปร์
แรงดันไฟตรงด้านเข้า (V_{DC})	287.3	โวลท์
แรงดันกระเพื่อมไฟตรงด้านเข้า (Vpeak-to-peak)	46	โวลท์
กำลังด้านเข้าของบัลลาสต์ (W_{im})	34.8	วัตต์
กระแสยังผลด้านเข้า (I_{inrms})	316	มิลิแอมแปร์
แรงดันยังผลด้านเข้า (V_{inrms})	220.5	โวลท์
ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์	93.6	เปอร์เซนต์
ค่าตัวประกอบกำลังด้านขาเข้า	0.5	

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของผลการวัด กระแส แรงดัน และกำลัง ที่จุดต่าง ๆ ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดเดี่ยว

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดคู่ โดยแสดงผลการทดสอบเฉลี่ยต่อหลอดเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบท่านองเดียวกันกับในตารางที่ 1

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการวัดกระแสแรงดันและกำลังที่จุดต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดคู่ จำนวน 3 ชุด เช่นเดียวกับในตารางที่ 2 การแสดงผลการวัดปริมาณต่าง ๆ ที่หลอดจะเป็นการแสดงค่าเฉลี่ยต่อหลอด ส่วนผลการวัดปริมาณต่าง ๆ ด้านวงจรเรียงกระแสจะเป็นการแสดงผลรวมต่อชุด

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีผลต่อการท่างานของบัลลาสต์และความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และในการใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้าจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้เห็นผลของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้าต่อค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้มีการวัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังเข้า กำลังที่หลอด และความต้าน

ทานของตัวต้านทานที่ใช้วัดแสง เมื่อแรงดันเข้าเปลี่ยนแปลงจาก 180 โวลท์ ถึง 253 โวลท์ หรือ 15%,-18% โดยในการทดลองจะใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดเดี่ยว ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 19

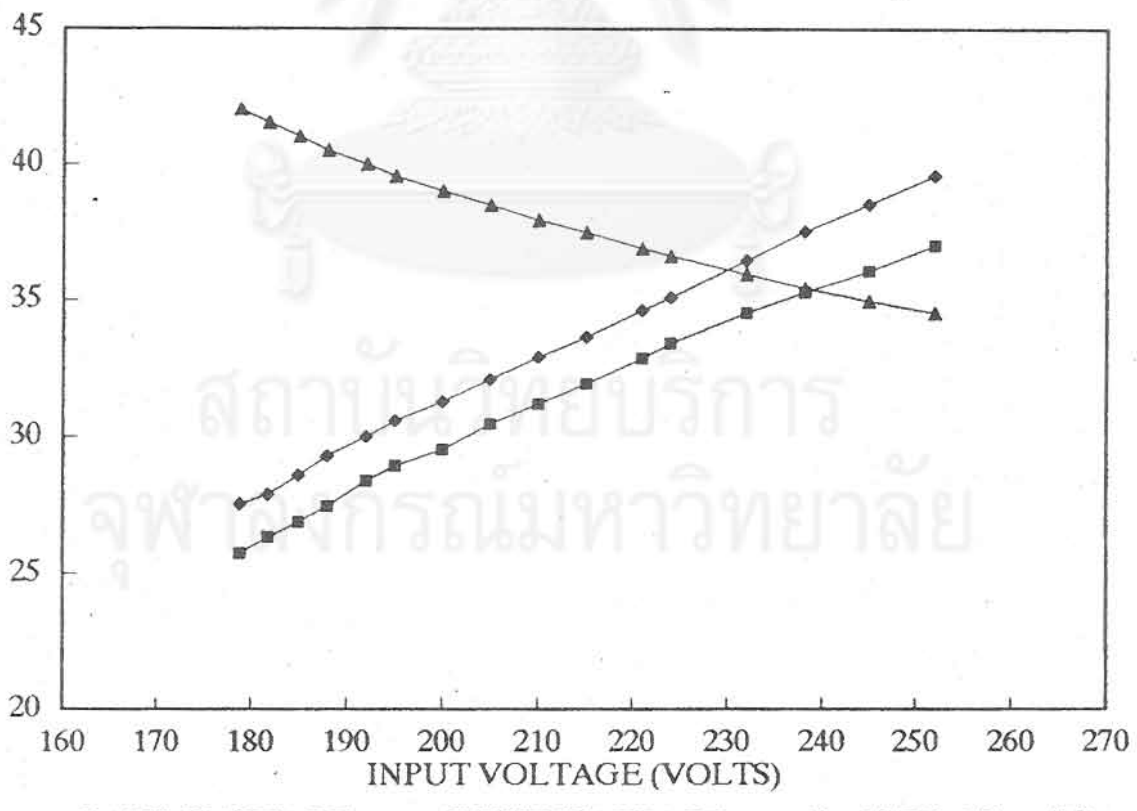
ตัวอย่าง แบบ หลอด เดี่ยว	ค่าความ ต้านทาน ของLDR (โอห์ม)	ด้านขาเข้า (เฉลี่ยต่อหลอด)			ที่หลอด (เฉลี่ยต่อหลอด)		
		กระแส มิลิแอมแปร์	แรงดัน (โวลท์)	กำลัง (วัตต์)	กระแส มิลิแอมแปร์	แรงดัน (โวลท์)	กำลัง (วัตต์)
บัลลาสต์ ขดลวด แกนเหล็ก	367	438	220	46.2	438	101.7	36.1
NO. 1	365	586	220.5	70.6	326	98.7	32.2
No. 2	366	579	220.4	68.2	324	99.0	32.1
No. 3	367	574	220.9	68.0	318	100.0	31.8

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดและแกนเหล็ก สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดคู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำลังที่หลอด (W_L) ต่อหลอด	32	วัตต์
กระแสยังผลที่หลอด (I_{Lrms}) ต่อหลอด	322.6	มิลิแอมแปร์
แรงดันยังผล (V_{Lrms}) ต่อหลอด	99.2	โวลท์
กำลังไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า (W_{DC})	68.1	วัตต์
กระแสไฟตรงด้านเข้า (I_{DC})	237	มิลิแอมแปร์
แรงดันไฟตรงด้านเข้า (V_{DC})	287.5	โวลท์
แรงดันกระเพื่อมไฟตรงด้านเข้า (Vpeak-to-peak)	46	โวลท์
กำลังด้านเข้าของบัลลาสต์ (W_{im})	68.9	วัตต์
กระแสยังผลด้านเข้า (I_{inrms})	579.6	มิลิแอมแปร์
แรงดันยังผลด้านเข้า (V_{inrms})	220.6	โวลท์
ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์	93.9	เปอร์เซนต์
ค่าตัวประกอบกำลัง	0.54	

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของผลการวัด กระแส แรงดัน และกำลัง ที่จุดต่าง ๆ ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์แบบหลอดคู่

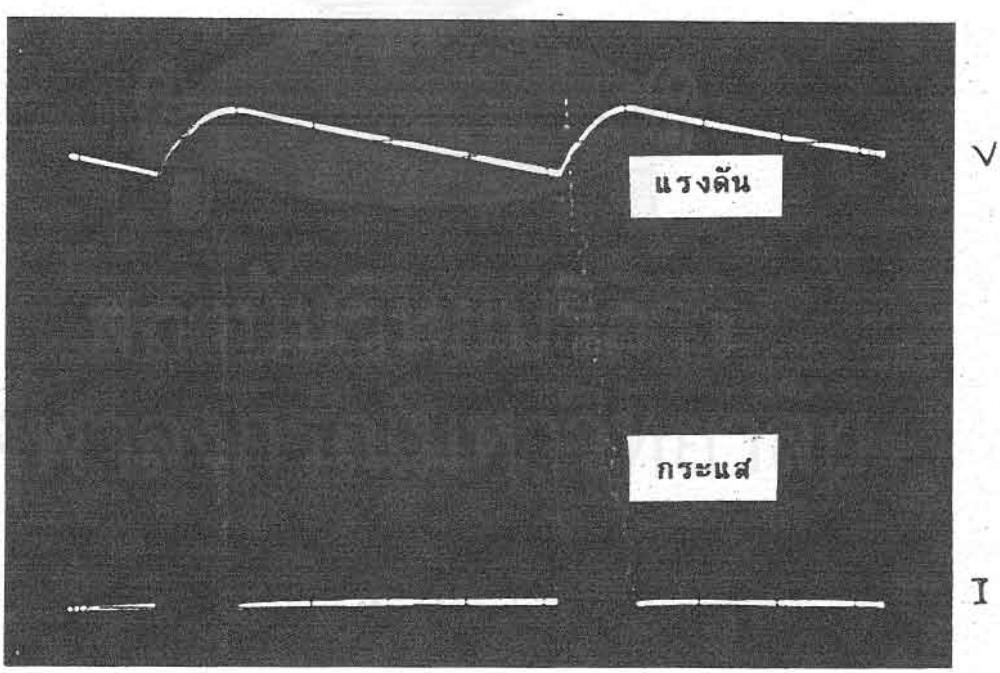


รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของกำลังเข้า กำลังที่หลอดและค่าความต้านทานที่ใช้วัดแสง (LDR) กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้า

จะเห็นได้ว่า ทั้งกำลังเข้าและกำลังที่หลอด เพิ่มตามแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้า ในขณะที่ค่าความต้านทานที่ใช้วัดแสงจะลดลง ซึ่งแสดงว่าแสงสว่างจะเพิ่มตามแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาเข้าเช่นเดียวกัน

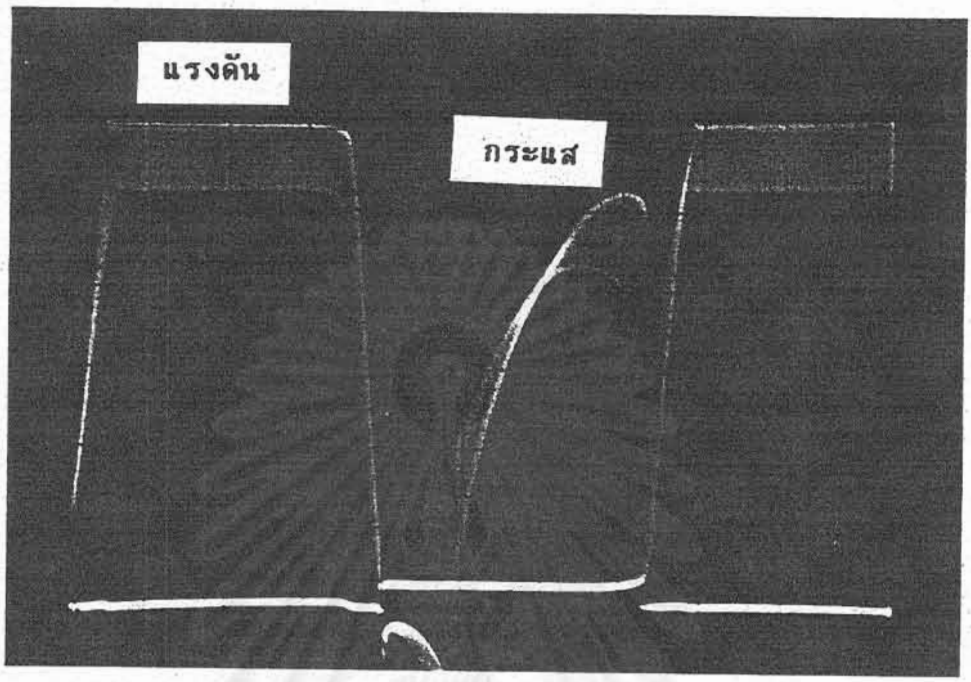
นอกจากค่าของกระแส แรงดัน และกำลังที่จุดต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แล้ว ยังได้มีการบันทึกรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่จุดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การทำงานของวงจรที่ได้มีการปรับค่าอุปกรณ์ตามที่ใช้จริงแล้ว

รูปที่ 20 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสด้วยคอมพิวเตอร์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากระแสด้านเข้าจะไหลเป็นช่วงๆ โดยมีค่ายอดประมาณ 1.3 แอมแปร์ และมีช่วงเวลานำกระแสประมาณ 2 มิลลิวินาที ในขณะผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 8 จะมีค่ายอด 1.04 แอมแปร์ และช่วงเวลานำกระแสเท่ากับ 2.1 มิลลิวินาที แรงดันกระเพื่อมจากการทดลองมีค่ายอดถึงยอดประมาณ 42 โวลท์ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์มีค่ายอดถึงยอด 46 โวลท์ ส่วนค่าเฉลี่ยของแรงดันออกของวงจรเรียงกระแสวัดได้ 287 โวลท์ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 287 โวลท์ จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดลองจะแตกต่างจากผลการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์เล็กน้อย ซึ่งน่าจะมาจากความแตกต่างของค่าตัวแปรของวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์ กับค่าจริงของวงจรที่ใช้ทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ



กระแส 0.2 แอมแปร์ต่อช่อง
แรงดัน 10 โวลท์ต่อช่อง
เวลา 2 มิลลิวินาทีต่อช่อง

รูปที่ 20 ผลการวัด กระแสออก และ แรงดันออก ในภาวะอยู่ตัวของวงจรเรียงกระแส

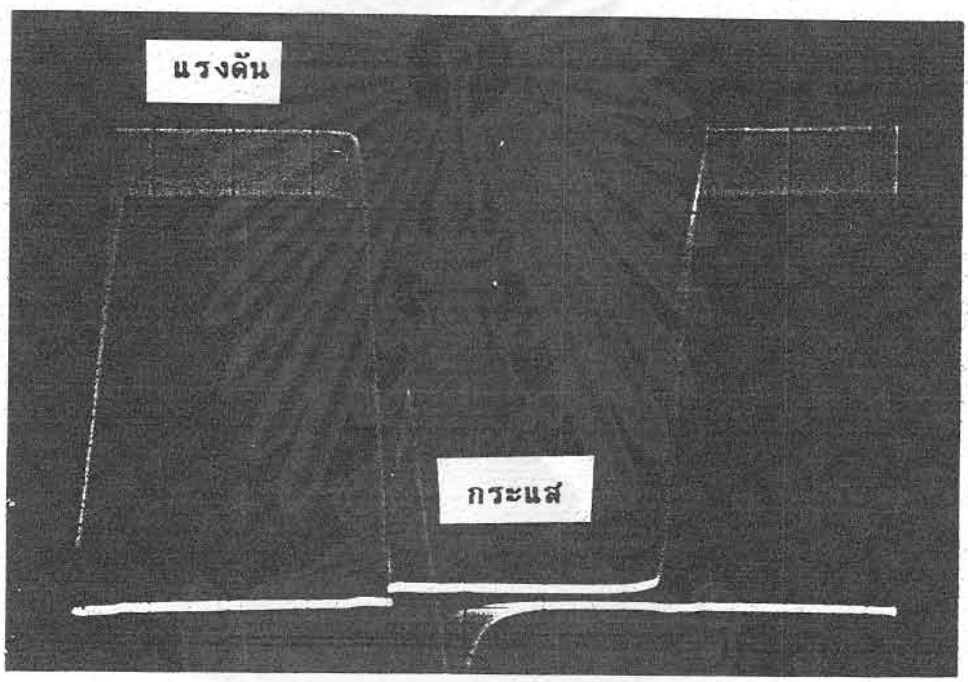


กระแส	0.1	แอมแปร์ต่อช่อง
แรงดัน	50	โวลท์ต่อช่อง
เวลา	5	ไมโครวินาทีต่อช่อง

รูปที่ 21 ผลการวัดกระแส และแรงดัน ของทรานซีสเตอร์ (Q_2) ที่ใช้เป็นสวิตช์ไวงาน

รูปที่ 21 แสดงผลการวัดรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของทรานซีสเตอร์ที่ใช้เป็นสวิตช์ไวงาน จะเห็นได้ว่าทั้งขนาดและรูปร่างของกระแสและแรงดันของทรานซีสเตอร์ซึ่งเป็นผลจากการทดลองจะใกล้เคียงกับผลจากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 13 โดยมีความแตกต่างกันเล็กน้อยในช่วงที่กระแสคอเล็คเตอร์ของทรานซีสเตอร์เป็นลบ กล่าวคือ ผลจากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์นั้น กระแสที่ไหลในตอนที่โหลดคืนพลังงานกลับแหล่งจ่ายไฟตรงจะไหลผ่านไดโอดที่เป็นทางผ่านของ reactive power ทั้งหมด จนกว่าหม้อแปลงขับนำเบสของทรานซีสเตอร์จะออกจากการอิ่มตัว กระแสจึงจะไหลผ่านจากเบสไปยังคอลเล็คเตอร์ แต่ผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่าจะมีกระแสไหลผ่านจากเบสไปยังคอลเล็คเตอร์ทันทีที่แรงดันคล่อมสวิตช์ลดลงเป็นศูนย์ ทั้งนี้เป็นเพราะผลของ forward recovery time ของไดโอดที่ได้รับกระแสแบบขั้น ทำให้มีแรงดันตกคล่อมไดโอดในช่วงเริ่มต้นของการนำกระแสสูงกว่าปกติ ดังนั้นจึงทำให้มีกระแสผ่านเบสไปยังคอลเล็คเตอร์ของทรานซีสเตอร์ด้วย นอกจากนี้แล้วรูปคลื่นของกระแสที่ได้จากการทดลองจะมีลักษณะเป็นแถบ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีแรงดันกระเพื่อมทำให้ขนาดของกระแสและแรงดันในแต่ละคาบมีค่าไม่คงที่

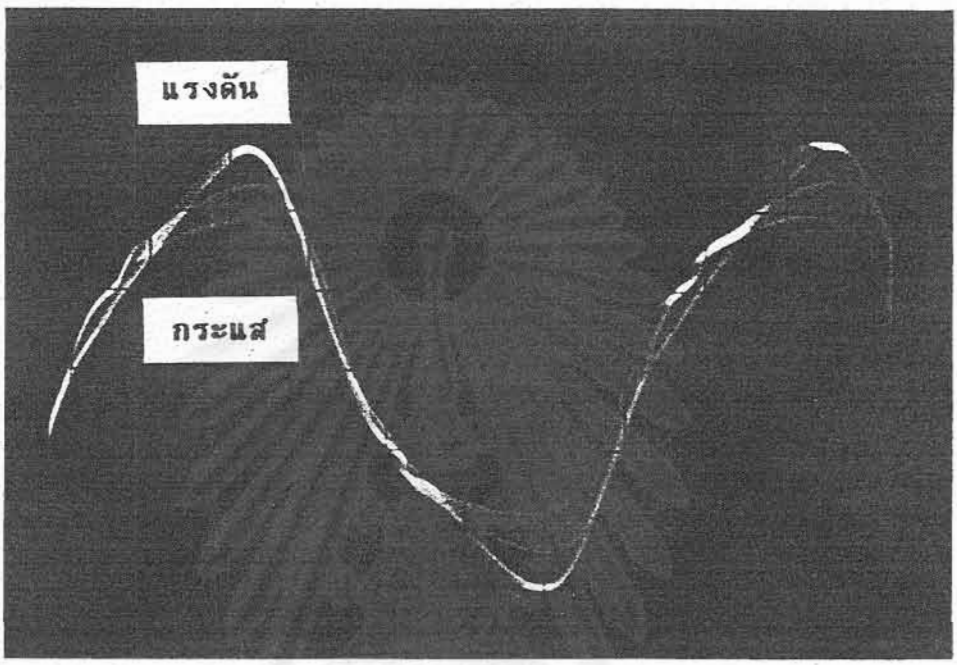
รูปที่ 22 แสดงผลการวัดรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของไดโอดที่ใช้เป็นทางผ่านของ reactive power จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองและผลจากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์ ในรูปที่ 14 มีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ผลการทดลองจะมีกระแสย้อนกลับไหลผ่านไดโอดด้วย ทั้งนี้เพราะไดโอดที่ใช้ในวงจรมีความไม่เป็นอุดมคติ กล่าวคือจะมีกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (reverse recovery current) ไหลผ่านไดโอดในช่วงแรกเมื่อกระแสโหลดเริ่มเปลี่ยนทิศทาง



กระแส 0.1 แอมแปร์ต่อช่อง
แรงดัน 50 โวลท์ต่อช่อง
เวลา 5 ไมโครวินาทีต่อช่อง

รูปที่ 22 ผลการวัดกระแส และแรงดัน ของไดโอด D2 ที่ใช้เป็นทางผ่านของ reactive power

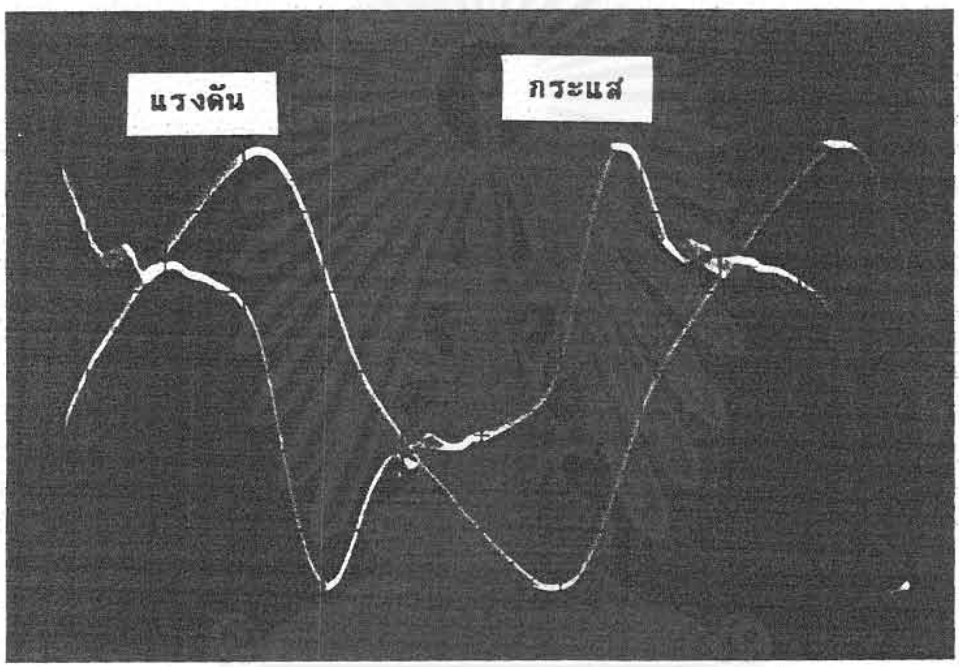
รูปที่ 23 แสดงรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านหลอดและแรงดันคล่อมหลอด จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของกระแสและแรงดันของหลอด ทั้งที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 15 มีลักษณะใกล้เคียงซายน์ โดยรูปคลื่นที่ได้จากการทดลองจะมีความเพี้ยนมากกว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เพราะลักษณะสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีความไม่เป็นเชิงเส้น ในขณะที่การวิเคราะห์วงจรนั้นใช้ความต้านทานแบบเชิงเส้นแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับขนาดของกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองนั้นจะแตกต่างจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์เล็กน้อย



กระแส	0.2	แอมแปร์ต่อช่อง
แรงดัน	50	โวลท์ต่อช่อง
เวลา	5	ไมโครวินาทีต่อช่อง

รูปที่ 23 ผลการวัดกระแสและแรงดันของหลอดฟลูออเรสเซนต์

รูปที่ 24 แสดงรูปคลื่นของกระแสเผาไส้หลอดและแรงดันคล่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะเห็นได้ว่าทั้งขนาดและรูปคลื่นของกระแสเผาไส้หลอดที่ได้จากการทดลองจะแตกต่างจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 16 ค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะกระแสเผาไส้หลอดเป็นกระแสผ่านตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกับหลอด ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันคล่อมหลอด ดังนั้นเมื่อโหลดที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์มีความแตกต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันคล่อมหลอดมาก เป็นผลให้กระแสเผาไส้หลอดที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรด้วยคอมพิวเตอร์แตกต่างจากผลที่ได้จากการทดลองมาก



กระแส	0.1	แอมแปร์ต่อช่อง
แรงดัน	50	โวลท์ต่อช่อง
เวลา	5	ไมโครวินาทีต่อช่อง

รูปที่ 24 กระแสเผาไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C และแรงดันคล่อมหลอด

เนื่องจากโหลดและแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดคู่ จะมีลักษณะใกล้เคียงกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียว ดังนั้น รูปคลื่นของกระแสและแรงดันต่าง ๆ จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับผลการทดลองของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหลอดเดียวดังได้กล่าวมาแล้ว

v สรุป

จากการวัดคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด 36 วัตต์ทั้งแบบหลอดคู่และหลอดเดี่ยว เปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กจะเห็นได้ว่าการการใช้คอนเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงประมาณ 28 kHz เพื่อจ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำให้สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 11 วัตต์ต่อหลอดขนาด 36 วัตต์ 1 หลอด กำลังไฟฟ้าที่ลดลงนี้มีเหตุผลสองประการ ประการแรกเกิดจากการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งจะทำให้กำลังที่หลอดลดลงประมาณ 3.5 วัตต์ต่อหลอด 36 วัตต์ 1 หลอด ประการที่สองเกิดจากการลดลงของกำลังสูญเสียในคอนเวอร์เตอร์และในตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่จำกัดกระแส ซึ่งรวมเรียกว่า บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก กำลังสูญเสียในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต่ำกว่ากำลังสูญเสียในบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กประมาณ 7.5 วัตต์ต่อหลอด 36 วัตต์ 1 หลอด

จะเห็นได้ว่าการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ได้บรรลุวัตถุประสงค์ในแง่ของการประหยัดพลังงานโดยสามารถลดกำลังเข้าลงได้ถึง 11 วัตต์ต่อหลอด 36 วัตต์ 1 หลอด แต่อย่างไรก็ดี บัลลาสต์ที่พัฒนาขึ้นมานี้ยังมีราคาที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก มีคลื่นรบกวนเล็กน้อยและมีค่าตัวประกอบกำลังที่ไม่สูงกว่าบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก การเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์จะมีผลทำให้ราคาของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้น ทำให้เป็นอุปสรรคในการแข่งขันกับบัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็ก การเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อาจจะได้จากคุณสมบัติข้างเคียงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้แก่

- ช่วยประหยัดไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากความร้อนจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ น้อยกว่าความร้อนที่เกิดจากบัลลาสต์ธรรมดา ทำให้ประหยัดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาสได้
- สามารถออกแบบให้ใช้ได้กับแรงดันช่วงกว้าง ตั้งแต่ 110 โวลท์ ถึง 240 โวลท์ ทำให้ใช้ได้ดี ถึงแม้จะมีปัญหาไฟตก หรือไฟเกิน
- หลอดติดง่ายไม่มีการกระพริบหลายหน
- ไม่มีปัญหาไฟกระพริบเนื่องจากสตาร์เตอร์เสีย หรือหลอดเสื่อม และไม่ต้องเปลี่ยนสตาร์ทเตอร์บ่อย ๆ เนื่องจากไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เหมาะที่จะใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์สำหรับการอ่านหนังสือ เพราะแสงนุ่มนวลกว่าการใช้บัลลาสต์ธรรมดา เนื่องจากไม่มี stroboscopic effect อันเป็นผลดีจากการใช้ความถี่สูง
- ใช้ได้กับทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง โดยไม่ต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์

คุณสมบัติข้างเคียงแต่ละอย่างอาจจะทำให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสมเฉพาะงาน เป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางหนึ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. Catalog ของ Electronic ballast "Quicktronic deluxe" ของ OSRAM
2. Philips Technical Manual "High Frequency Electronic Lighting System" 1984.
3. GLUSKIN, E. "On the theory of fluorescent lamp circuit" IEE Proceedings, Vol. 137, Pt. A, No. 4, July 1990.
4. โคทม อารียา "วงจรแปลงผันไฟสลับ-ไฟตรง ที่มีฮาร์มอนิกต่ำ" การประชุมทางวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน 2531.
5. H.J.Kocher, R.L. Steigerward; "An AC to DC Converter with High Quality Input Wave forms"; PESC Record, PP. 63-75 1982.
6. M.F.Schlecht; "Harmonic-Free Utility DC Power Conditioning Interfaces"; IEEE Trans. Power Electronics, Vol 1 No. 4 PP. 231-239 Oct. 1986.
7. E.Deslobbileer, G. Segnier, A.Castelain; "AC-DC Converter Minimizing Induced Harmonics in Industrial Power System"; IEEE Trans. Power Electronics, Vol 2 No. 4, PP. 320-327 Oct. 1987.
8. "TDA 4814-Integrated Circuit for Sinusoidal Line Current Consumption" No. 3, 1986.
9. มงคล เดชนครินทร์ โคทม อารียา ยุทธนา กุลวิทิต เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการเรื่อง "Power Electronics and Applications" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ม.ค. 2532
10. ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช "การออกแบบระบบไฟฟ้า" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ตารางที่ 2, 3 หน้า 60
11. Henry W. OTT. "Noise Reduction Techniques in Electronic System" Wiley-Inter science Publication 1976. PP. 129.
12. O.H. Schade, Proc IRE, Vol 31, 1943 PP. 343-346.
13. RIFA Capacitors 1983/84
14. Motorola " The Semiconductor Data Book" 1968.
15. คู่มือการใช้ LEK 6.0 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2534.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ELECTRONIC BALLAST 1X36W

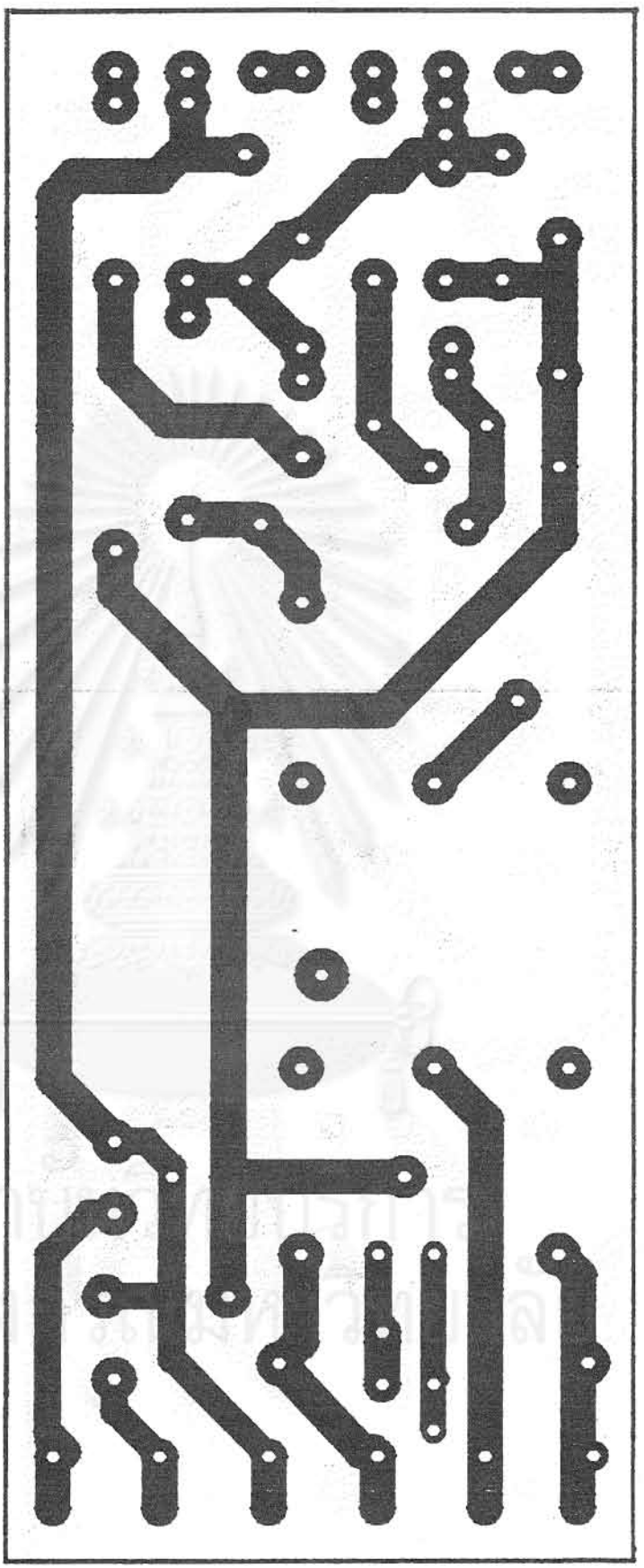
Item	Parts	quantity	unitprice	price/item
1	Transistor BUX48	2	16	32
2	Diac 32V 1W	1	2.5	2.5
3	Bridge Rectifier	1	4	4
4	Diode 1N4007	3	0.8	2.4
5	Cap 22uF 450V Electrolyte	1	20	20
6	Cap 0.1uF 400V MKP	1	5.5	5.5
7	Cap 0.1uF 100V Mylar	1	2.5	2.5
8	Cap 8.3nF 1.5kV MKP	1	15	15
9	Cap 3.3nF 400V MKX	1	5	5
10	Inductor EI28+wire	1	35	35
11	Toroid core + wire	1	8	8
12	Resistor 470k 0.5W	4	0.25	1
13	Resistor 10 Ohms 1W	2	0.25	0.5
14	Resistor 0.47 Ohms 1W	2	0.25	0.5
15	Support	4	0.25	1
16	Wire	6	1	6
17	PCB	1	20	20
18	Casing	1	15	15
	Material cost			175.9

ELECTRONIC BALLAST 2X36W

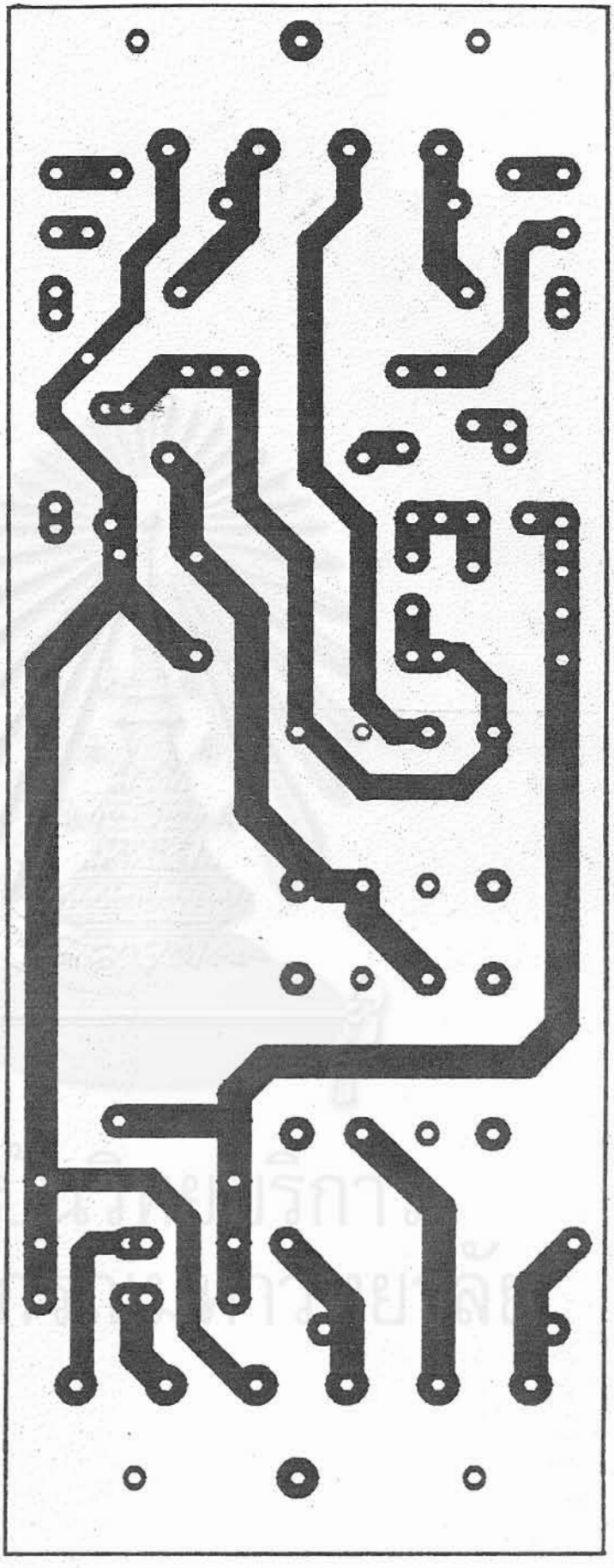
Item	Parts	quantity	unitprice	price/item
1	Transistor MJE13009	2	38	76
2	Diac 32V 1W	1	2.5	2.5
3	Diode 1N4007	9	0.8	7.2
4	Cap 47uF 450V Electrolyte	1	28	28
5	Cap 0.1uF 400V MKP	1	5.5	5.5
6	Cap 0.1uF 100V Mylar	1	2.5	2.5
7	Cap 8.3nF 1.5kV MKP	2	15	30
8	Cap 6.8nF 400V MKX	1	7	7
9	Inductor EI28+wire	2	35	70
10	Toroid core + wire	1	8	8
11	Resistor 470k 0.5W	5	0.25	1.25
12	Resistor 10 Ohms 1W	2	0.25	0.5
13	Resistor 0.22 Ohms 1W	2	0.25	0.5
14	Support	4	0.25	1
15	Wire	10	1	10
16	PCB	1	22	22
17	Casing	1	15	15
	Material cost			286.95

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอุปกรณ์ และ ราคาของอุปกรณ์ในท้องตลาดที่ซื้อเป็นจำนวนน้อย



ลายเส้นแผ่นวงจรพิมพ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
สำหรับหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 36 W แบบหลอดเดี่ยว



ลายเส้นแผ่นวงจรพิมพ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
สำหรับหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 36 W แบบหลอดคู่