

การออกแบบและสร้างบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18 วัตต์

Design and Construction of Low Loss Ballast For 18 Watt Fluorescent Lamp

พุทธพร เศวตสกุลานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
51 หมู่ 1 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
โทร. (02) 9883666 ต่อ 151 E-mail: Budhapon@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ ออกแบบและสร้างบัลลาสต์โดยวิธี Area Product ทดสอบเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กชนิดธรรมดาที่ใช้ภายในประเทศ ที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกันอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ มอก.23-2521 จากการทดสอบพบว่าบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำที่ออกแบบมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยกว่าบัลลาสต์ที่ใช้ในประเทศ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 15.06 – 17.52 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ หลอดฟลูออเรสเซนต์

Abstract

This paper proposes the design and construction of low loss ballast for 18 Watt fluorescent using area product method. The implemented low loss ballast and conventional ones were investigated at the same conditions based on TIS 23-2521 standard. From the comparison, the designed ballast possess less power losses than conventional ballast approximately 15.06 – 17.52 %

Keywords : low loss ballast , fluorescent lamp

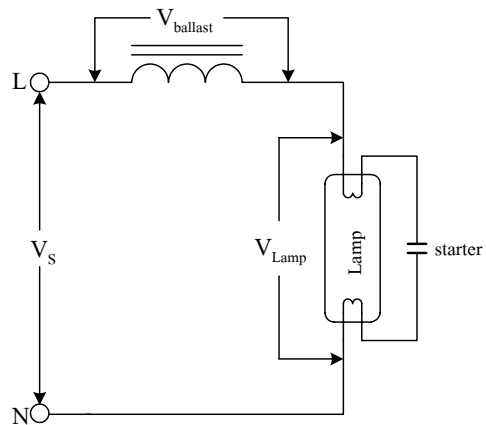
1. บทนำ

สำหรับประเทศไทยเมื่อประเมินจากอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ปริมาณน้ำมันและก๊าซธรรมชาติภายในประเทศจะหมดไปในระยะเวลาอันใกล้นี้ ทำให้ต้องมีการหาแหล่งพลังงานด้านอื่นทดแทน เช่น พลังงานนิวเคลียร์, พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม แต่ยังคงมีปัญหาเรื่องกากรังสี, ความปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม, ปัญหาทางสังคมและการลงทุน ดังนั้นสิ่งที่ทำได้จริงในทางปฏิบัติคือการประหยัดพลังงาน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อเสนอแนวทางในการประหยัดพลังงานของระบบแสงสว่างภายในประเทศที่สามารถปฏิบัติได้จริงตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีเจตนารมณ์ที่ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ [1,3]

2. หลักการ

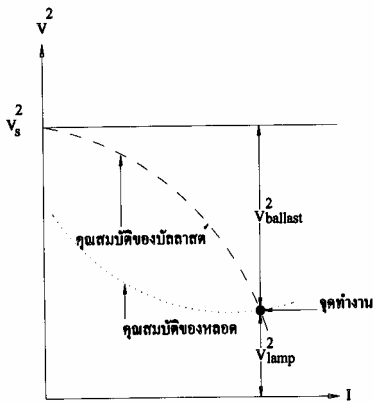
2.1 หลักการทำงานของบัลลาสต์

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องใช้งานร่วมกับหลอดคายประจุ มีหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการวิ่งของอิเล็กตรอนจากขั้วหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่งของหลอด รวมทั้งจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดให้สม่ำเสมอภายหลังการจุดไส้หลอดอย่างไรก็ตามการออกแบบบัลลาสต์นั้นจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของหลอด แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการจุดไส้หลอด ทั้งนี้เนื่องจากก่อนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์จะจุดไส้หลอดได้นั้นหลอดจะมีความต้านทานสูงมากในช่วงแรก จึงต้องอาศัยแรงดันไฟฟ้าค่าสูงในการจุดไส้หลอด สำหรับบัลลาสต์แบบอินดักทีฟที่ผังรูปที่ 1 นั้นจะทำงานร่วมกับสแตร์เตอร์เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าค่าสูงในช่วงแรกทำให้เกิดการอาร์กกระหว่างไส้หลอดจนหลอดติด[1-3]



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์

การพิจารณาจุดการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์ที่เหมาะสมนั้นสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2 จุดการทำงานที่เหมาะสม สามารถหาได้จากจุดตัดกราฟคุณสมบัติของหลอดและกราฟคุณสมบัติของบัลลาสต์ดังสมการที่ (1)



รูปที่ 2 การเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมของโหลดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์

$$V_s^2 = V_{lamp}^2 + V_{ballast}^2 \quad (1)$$

เมื่อ V_s : แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย
 V_{lamp} : แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอด
 $V_{ballast}$: แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบัลลาสต์

2.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์

กำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในบัลลาสต์ประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (copper losses), กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (core losses) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ (air-gap losses) สำหรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดสามารถลดได้โดยเลือกใช้ขดลวดทองแดงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นรวมทั้งออกแบบรูปร่างวงจรแม่เหล็กของบัลลาสต์ให้เหมาะสม ในส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กนั้น กระแสกระตุ้นในวงจรแม่เหล็กเป็นส่วนที่สร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กและเป็นส่วนที่กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าให้กับวงจรแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานที่สะสมในวงจรแม่เหล็ก พลังงานบางส่วนนี้จะสูญเสียไปในแกนเหล็ก (core losses) ซึ่งประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส (hysteresis losses) และการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current losses) สำหรับการสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิสนั้นสามารถลดได้โดยเลือกใช้วัสดุแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ (μ_r) สูง และการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current losses) สามารถลดได้โดยเลือกใช้วัสดุที่มีความบางน้อยๆหรือวัสดุที่มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า (ρ) สูงมาออกแบบ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ (air-gap losses) ช่องว่างอากาศในวงจรแม่เหล็กของบัลลาสต์ที่ออกแบบต้องเหมาะสมโดยคำนึงถึงขนาดฟลักซ์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ออกแบบ [4]

3. การออกแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ

สำหรับการออกแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำจะออกแบบโดยวิธี Area Product สิ่งที่สำคัญในการออกแบบบัลลาสต์นั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในการจุดไส้หลอด กำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในตัวบัลลาสต์และขนาดกำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์รวมทั้งรูปร่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับการออกแบบโดยวิธี Area Product นั้นมีขั้นตอนคำนวณตัวแปรที่สำคัญ 3 ตัวแปรประกอบด้วย [1-3,5]

- Window Area (W_a)
- Core Cross Section (A_c)
- Area Product (A_p)

โดยขนาดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของบัลลาสต์สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2)

$$S_b = VA \quad (2)$$

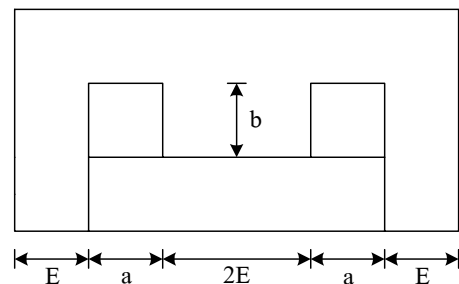
เมื่อ S_b : กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของบัลลาสต์ (VA)

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของบัลลาสต์และค่า Area Product (A_p) สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (3)

$$A_p = \left[\frac{VA \times 10^4}{4.44 B_m f K_u K_j} \right]^{1.14} \quad (3)$$

เมื่อ B_m : ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Tesla)
 f : ความถี่ของระบบไฟฟ้า (Hz)
 K_u : Window Utilization Factor
 K_j : Current Density Coefficient

สำหรับวงจรแม่เหล็กของบัลลาสต์ที่ออกแบบจะมีลักษณะรูป E I ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรแม่เหล็กของบัลลาสต์

จากรูปที่ 3 ในส่วนของ Window Area (W_a) และ Core Cross Section (A_c) สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$W_a = a \times b \quad (4)$$

$$A_c = \frac{A_p}{W_a} \quad (5)$$

สำหรับจำนวนรอบของขดลวดที่ใช้ในการพันสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (6)

$$N = \frac{E \times 10^4}{4.44 B_m f A_c} \quad (6)$$

อิมพีแดนซ์และค่าความเหนี่ยวนำของบัลลาสต์สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (7) - (8)

$$X_L = \frac{E}{I} \quad (7)$$

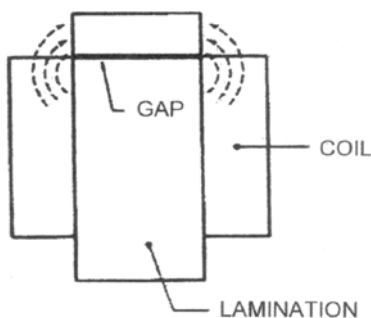
เมื่อ E : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)
 I : กระแสไฟฟ้า (A)

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (8)$$

ในกรณีที่คิดผลกระทบของเส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัว (Fringing flux) และช่องว่างอากาศ (Gap) ดังรูปที่ 4 สามารถคำนวณเส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัวได้จากสมการที่ (9)

$$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{AC}} \ln \left[\frac{2G}{l_g} \right] \quad (9)$$

เมื่อ F : เส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัว
 l_g : ความยาวของช่องว่างอากาศ (cm)
 G : ระยะความสูงของการพันขดลวด (cm)



รูปที่ 4 เส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัวที่เกิดรอบช่องว่างอากาศ

ดังนั้นจำนวนรอบเมื่อคิดผลกระทบของเส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัว และช่องว่างอากาศสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (10)

$$N = \left[\frac{l_g L}{0.4 \pi A_c F \times 10^{-8}} \right]^{1/2} \quad (10)$$

สำหรับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (J) ของขดลวดสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (11)

$$J = K_J A_p^{-0.12} \quad (11)$$

ค่าสูญเสียในขดลวด (P_{cu}) นั้นสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (12)

$$P_{cu} = I^2 R \quad (12)$$

ค่าสูญเสียในแกนเหล็ก (P_c) และค่าสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ (P_g) นั้นสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (13) - (14)

$$P_c = W_C \times \text{Core loss/Kg} \quad (13)$$

เมื่อ W_C : น้ำหนักรวมของแกนเหล็กที่ใช้ในการสร้างบัลลาสต์ (kg)
Core loss/Kg : ค่าสูญเสียของแกนเหล็กต่อกิโลกรัม (W/kg)

$$P_g = K_i \times b \times l_g \times f \times B_m^2 \quad (14)$$

เมื่อ K_i : สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียในช่องว่างอากาศ
 b : ความสูงแกนกลางของวงจรมแม่เหล็กรูป E (cm)

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ (P_b) ที่ออกแบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15)

$$P_b = P_{cu} + P_c + P_g \quad (15)$$

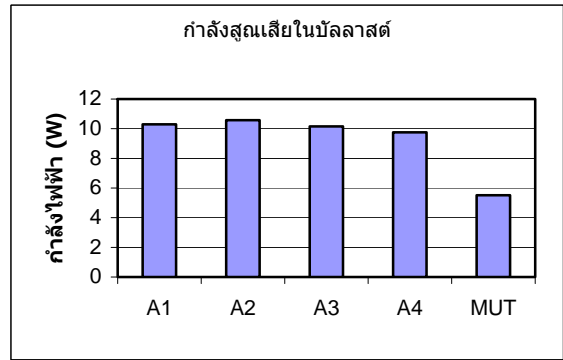
รายละเอียดในการออกแบบสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดการออกแบบแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ

ค่าความเหนี่ยวนำ	1.68 H
แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบัลลาสต์	203 V
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบัลลาสต์	0.35 A
ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	0.6 T
พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็ก	0.00148 ตารางเมตร
จำนวนรอบของขดลวด	543 รอบ



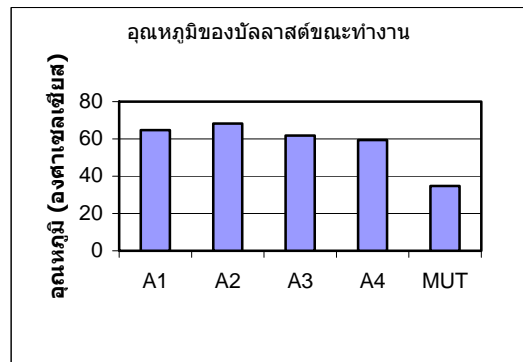
รูปที่ 5 บัลลาสต์ที่ออกแบบ



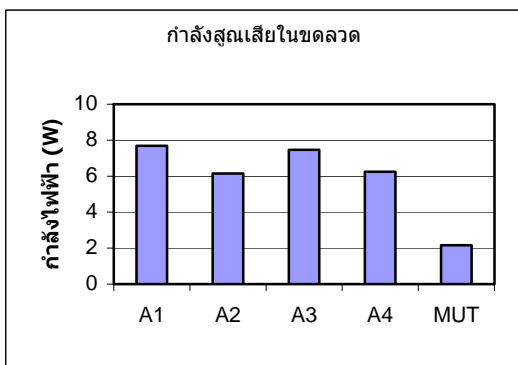
รูปที่ 8 กำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในบัลลาสต์

4. ผลการทดลอง

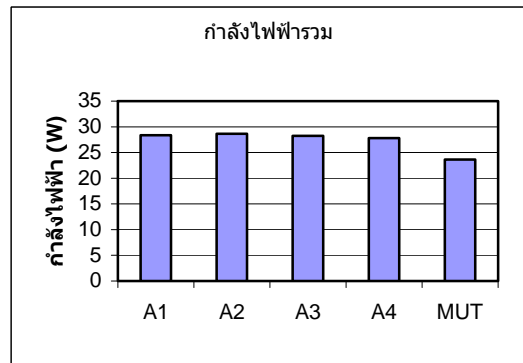
สำหรับการทดสอบบัลลาสต์ที่ออกแบบสร้างนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมบัลลาสต์แกนเหล็กชนิดธรรมดาที่ใช้ภายในประเทศทั้งหมด 4 บริษัท ใช้สัญลักษณ์ A1 A2 A3 และ A4 และบัลลาสต์ที่ออกแบบสร้างใช้สัญลักษณ์ MUT ในการทดสอบแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ใช้ในการทดสอบมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงเกินร้อยละ ± 0.2 ตามมาตรฐาน มอก 23 - 2521 โดยคงที่กำลังไฟฟ้าที่โหลดเท่ากับ 18 W รายละเอียดการทดสอบจะประกอบด้วยการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กและเนื่องจากช่องว่างอากาศ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ อุณหภูมิสูงสุดของบัลลาสต์ขณะทำงาน กำลังไฟฟารวมของบัลลาสต์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังรูปที่ 6-10



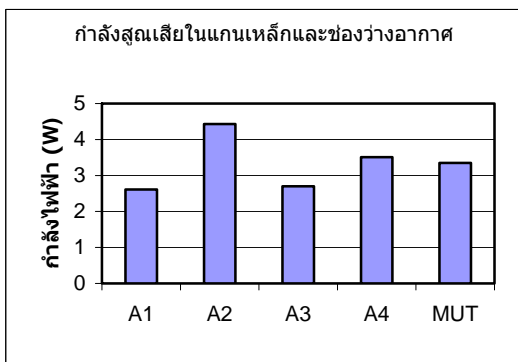
รูปที่ 9 อุณหภูมิของบัลลาสต์ขณะทำงาน



รูปที่ 6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด



รูปที่ 10 กำลังไฟฟารวมของหลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์



รูปที่ 7 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กและเนื่องจากช่องว่างอากาศ

5. บทสรุป

จากการทดสอบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ออกแบบโดยวิธี Area Product เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดธรรมดาที่ใช้ภายในประเทศสามารถสรุปได้ว่า บัลลาสต์ที่ออกแบบประหยัดพลังงานกว่าบัลลาสต์ชนิดธรรมดา 15.06-17.52 % จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าบัลลาสต์ที่ออกแบบนอกจากจะประหยัดพลังงานในส่วนจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างแล้ว ยังประหยัดพลังงานในส่วนจากระบบเครื่องปรับอากาศเนื่องจากมีอุณหภูมิของบัลลาสต์ขณะทำงานต่ำ ทำให้ประเทศลดปัญหาในส่วนของการขาดแคลนพลังงาน, ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม

เอกสารอ้างอิง

1. สุรพงษ์ บังสันเทียะและคณะ, "การออกแบบและพัฒนาบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์," ปรินทิฟิคาชันวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2543, หน้า 56-72
2. กิตติ สุขุมตันติ, "การศึกษาเปรียบเทียบการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สองชนิด," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537, หน้า 5-15
3. พุทธพร เศวตสกุลานนท์, "บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ," การประกวดการอนุรักษ์พลังงานดีเด่นประจำปี 2543 เสนอ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2543, หน้า 46-80
4. พุทธพร เศวตสกุลานนท์ และ พิชิต ล้ายอง, "ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรแม่เหล็ก," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540, หน้า 253-256
5. Colonel Wm. , T . Mcllyman, "Transformer and Inductor Design Handbook," California institute of Technology Pasadena, California, Second Edition