

การออกแบบและสร้างบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสำหรับหลอดแสงจันทร์ขนาด 80 วัตต์ Design and Construction of Low Loss Ballast for 80 Watt Mercury Lamp

พุทธพร เสวตสกุลานนท์¹ รุ่งโรจน์ สุริโยภาสไรร²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
51 หมู่ 1 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
โทร. 0-2988-3666 Email: Budhapon@hotmail.com

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตนนทบุรี
7/1 ถนนนนทบุรี 1 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทร 0-2969-1369 Email: rungroj@non.rit.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสำหรับหลอดแสงจันทร์ขนาด 80 วัตต์ ในการออกแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำจะใช้วิธี Area Product และทำการทดสอบเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็กสำหรับหลอดแสงจันทร์ชนิดธรรมดาที่มีเงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน จากการผลการวิจัยพบว่าบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสำหรับหลอดแสงจันทร์ขนาด 80 วัตต์ ที่ออกแบบมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำกว่าบัลลาสต์แกนเหล็กสำหรับหลอดแสงจันทร์ขนาด 80 วัตต์ ที่มีใช้ในประเทศ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 9.42 เปอร์เซ็นต์ที่พิกัดค่าสำคัญ : บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ หลอดแสงจันทร์

Abstract

This paper proposes the design and construction of low loss ballast for 80 watt mercury lamp. The Design of low loss ballast is used area product method. The implemented conventional ballast investigated at the same conditions. It is found that the low loss ballast for 80 watt mercury lamp has been power losses less than conventional ballast about 9.42% at rating.

Keywords : low loss ballast , mercury lamp

1. บทนำ

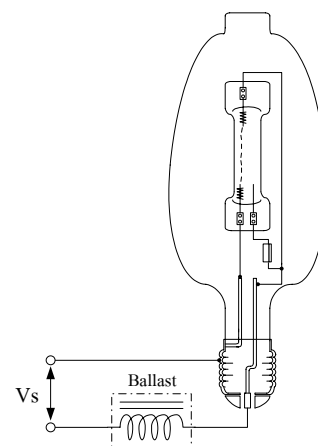
พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากแหล่งพลังงานธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นมนุษย์จึงต้องศึกษาวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและใช้ให้คุ้มค่าที่สุดเพื่อให้สามารถใช้พลังงานธรรมชาติได้นานที่สุดและจำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆเพื่อมาทดแทนก่อนแหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะหมดไป สำหรับประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และพบว่า

ปริมาณน้ำมันและก๊าซธรรมชาติภายในประเทศจะหมดไปในระยะเวลาอันใกล้นี้ ทำให้ต้องเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมาก และต้องหาแหล่งพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ เช่น การสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ การซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น พม่า ลาว มาเลเซีย และจีน เป็นต้น ดังนั้นทางรัฐบาลจึงมีการสนับสนุนและรณรงค์ให้ประหยัดพลังงานและส่งเสริมให้ใช้แหล่งพลังงานด้านอื่นทดแทนเช่นพลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เป็นต้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อนำเสนอทางเลือกหนึ่งที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างภายในประเทศตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีเจตนารมณ์ที่จะส่งเสริมให้ทั้งภาคอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจมีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด[1-4]

2. หลักการ

2.1 หลักการทำงานของบัลลาสต์

วงจรไฟฟ้าของหลอดแสงจันทร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้าของหลอดแสงจันทร์

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าบัลลาสต์เป็นอุปกรณ์จำเป็นที่ต้องใช้งานร่วมกับหลอดแสงจันทร์ มีหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการวิ่งของอิเล็กตรอนจากขั้วหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่งของหลอด รวมทั้งจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดให้สม่ำเสมอภายหลังการจุดไส้หลอดตามแต่ละขนาดและประเภทของหลอด อย่างไรก็ตามการออกแบบบัลลาสต์นั้นจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของหลอด แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการจุดไส้หลอด ทั้งนี้เนื่องจากก่อนที่หลอดแสงจันทร์จะจุดไส้หลอดได้นั้นหลอดจะมีความต้านทานสูงมากในช่วงแรก จึงต้องอาศัยแรงดันไฟฟ้าค่าสูงในการจุดไส้หลอด จากบัลลาสต์ในช่วงแรก ทำให้เกิดการอาร์คระหว่างไส้หลอดจนหลอดติด [1-3]

การพิจารณาจุดการทำงานของหลอดแสงจันทร์และบัลลาสต์ที่เหมาะสมนั้น [1-3] สามารถพิจารณาจากสมการที่ (1)

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

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

2.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์

กำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในบัลลาสต์ประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (copper losses) , กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (core losses) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ (air – gap losses) สำหรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดสามารถลดได้โดยเลือกใช้ขดลวดทองแดงที่มีขนาดใหญ่ซึ่งรวมทั้งออกแบบรูปร่างวงจรมแม่เหล็กของบัลลาสต์ให้เหมาะสม ในส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กนั้น ประกอบด้วยการสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส (hysteresis losses) และการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current losses) สำหรับการสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิสนั้นสามารถลดได้โดยเลือกใช้วัสดุแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ (μ_r) สูง และการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current losses) สามารถลดได้โดยเลือกใช้วัสดุที่มีความบางน้อยๆหรือวัสดุที่มีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า (ρ) สูงมาออกแบบ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากช่องว่างอากาศ (air – gap losses) ช่องว่างอากาศในวงจรแม่เหล็กของบัลลาสต์ที่ออกแบบต้องเหมาะสมโดยคำนึงถึงขนาดพิกัดของหลอดแสงจันทร์ที่ออกแบบ [3]

3. การออกแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ

สำหรับการออกแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำจะออกแบบโดยวิธี Area Product สิ่งที่สำคัญในการออกแบบบัลลาสต์นั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่

เหมาะสมในการจุดไส้หลอด กำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในตัวบัลลาสต์และกำลังไฟฟ้าของหลอดแสงจันทร์ รวมทั้งรูปร่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับการออกแบบโดยวิธี Area Product นั้นมีขั้นตอนคำนวณตัวแปรที่สำคัญ 3 ตัวแปรประกอบด้วย [1-3] Window Area (W_a) Core Cross Section (A_c) และ Area Product (A_p) โดยขนาดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของบัลลาสต์ [3-5] สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2)

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

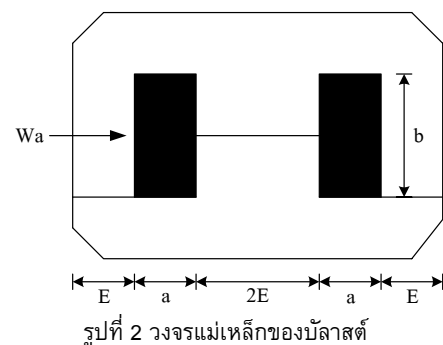
เมื่อ S_b : กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของบัลลาสต์ (VA)

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

วงจรมแม่เหล็กของบัลลาสต์ที่ออกแบบจะมีลักษณะรูป E และ T ดังรูปที่ 2



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)

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

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

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

ในกรณีที่คิดผลกระทบของเส้นแรงแม่เหล็กโกร่งตัว (Fringing flux) และช่องว่างอากาศ (Gap) 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)

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)

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

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

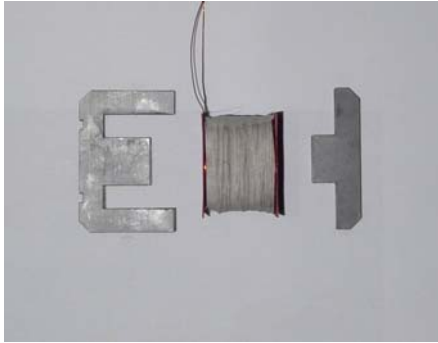
เมื่อ W_c : น้ำหนักรวมของแกนเหล็กที่ใช้สร้างบัลลาสต์ (kg)
Core loss/Kg : ค่าสูญเสียของแกนเหล็กต่อกิโลกรัม (W/kg)
 K_i : สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียในช่องว่างอากาศ
 b : ความสูงแกนกลางของวงจรมแม่เหล็กรูป E (cm)

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ (P_b) ที่ออกแบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15) และรายละเอียดในการออกแบบสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 1

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

ตารางที่ 1 รายละเอียดการออกแบบบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ

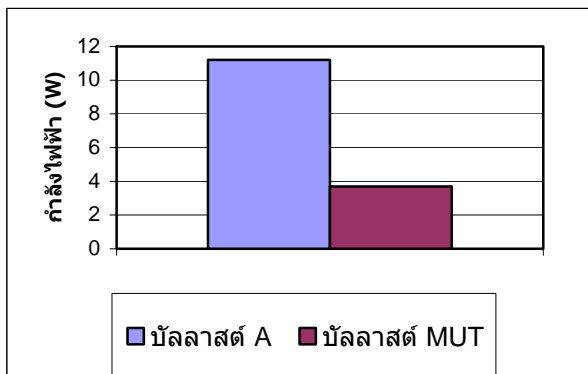
ค่าความเหนี่ยวนำ	0.60 H
แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบัลลาสต์	164.20 V
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบัลลาสต์	0.87 A
ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	0.60 T
พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็ก	11 cm ²
จำนวนรอบของขดลวด	421 Turn



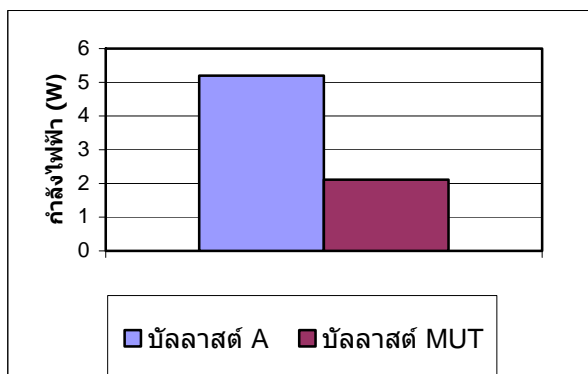
รูปที่ 3 บัลลัสต์ที่ออกแบบ

4. ผลการทดลอง

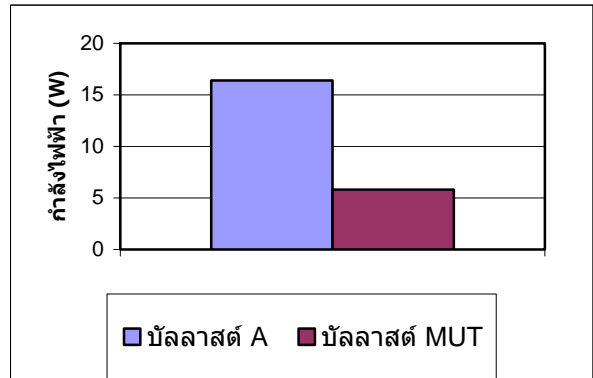
สำหรับการทดสอบบัลลัสต์ที่ใช้ภายในประเทศใช้สัญลักษณ์ A และบัลลัสต์ที่ออกแบบสร้างใช้สัญลักษณ์ MUT แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ใช้ในการทดสอบมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm 0.2\%$ โดยกำลังไฟฟ้าที่โหลดคงที่มีค่าเท่ากับ 80 W รายละเอียดการทดสอบประกอบด้วย การทดสอบกำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ในขดลวด กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ในแกนเหล็กและเนื่องจากช่องว่างอากาศ กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ของบัลลัสต์ อุณหภูมิสูงสุดของบัลลัสต์ขณะทำงาน กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ของบัลลัสต์และโหลดแสงจันทร์ ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-8



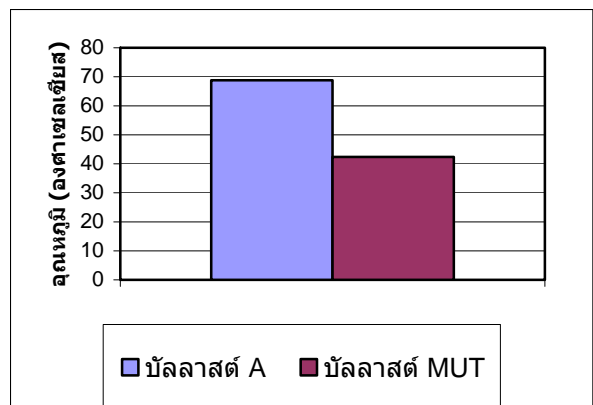
รูปที่ 4 กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ในขดลวด



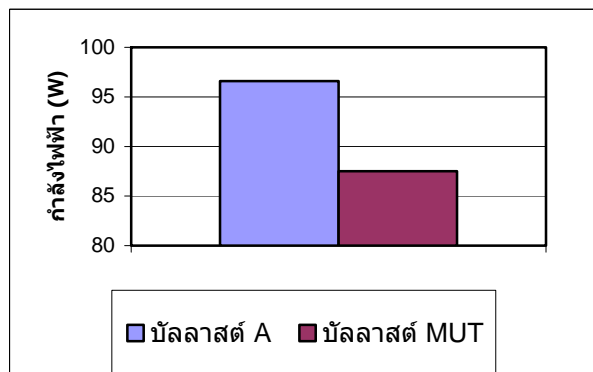
รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ในแกนเหล็กและผลของช่องว่างอากาศ



รูปที่ 6 กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้รวมของบัลลัสต์



รูปที่ 7 อุณหภูมิของบัลลัสต์ขณะทำงาน



รูปที่ 8 กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้รวมของโหลดแสงจันทร์และบัลลัสต์ขณะทำงาน

5. บทสรุป

จากการทดสอบบัลลัสต์กำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ต่ำที่ออกแบบโดยวิธี Area Product เปรียบเทียบกับบัลลัสต์ชนิดธรรมดาที่ใช้ภายในประเทศสามารถสรุปได้ว่า บัลลัสต์ที่ออกแบบมีกำลังไฟฟ้ายูติลิตี้ลดลง 64.63% ทำให้สามารถประหยัดพลังงานกว่าบัลลัสต์ชนิดธรรมดา 9.42% จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าบัลลัสต์ที่ออกแบบนอกจากจะประหยัดพลังงานในส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าแสงสว่างแล้ว ยัง

ทำให้ประเทศลดปัญหาในส่วนของขาดแคลนพลังงาน ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม สำหรับการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้จะนำเสนอต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. พุทธพร เศวตสกุลานนท์, "บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ," การประกวดการอนุรักษ์พลังงานดีเด่นประจำปี 2543 เสนอ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2543, หน้า 46-80.
2. พุทธพร เศวตสกุลานนท์ และ พิเชิต ล้ายอง, "ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรแม่เหล็ก," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540, หน้า 253-256.
3. พุทธพร เศวตสกุลานนท์, "บัลลาสต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 , มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545, หน้า 253-256.
4. ยศ ศรีวงศ์ศิริรัตน์และคณะ, "การออกแบบและพัฒนาบัลลาสต์สำหรับหลอด HID ขนาด 125วัตต์," ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2546, หน้า 24-33.
5. Colonel Wm. and T . Mclyman, "Transformer and Inductor Design Handbook," California institute of Technology Pasadena, California, Second Edition.