

บัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8

Piezoelectric Ballast for Fluorescent Lamps 36 W T8

มณฑกานต์ ฟีรศักดิ์โสภณ และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย อ.เมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทร 044-224400 E-mail: thanatch@sut.ac.th

Monthakarn Phirasaksophon and Thanatchai Kulworawanichpong

School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology

111 Muang, Nakhorn Ratchasima 30000 Thailand Tel: 044-224400 E-mail: thanatch@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการนำหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกเพื่อใช้เป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8 โดยการสร้างหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ขนาด 30 มิลลิเมตรหนา 2.36 มิลลิเมตร ที่ความถี่ทำงาน 81 kHz ได้เป็นผลสำเร็จ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกได้ทำการวิเคราะห์ในรายละเอียดของอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเข้า และขาออก จากการศึกษาพบว่า ได้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม 97.27% ขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ดังกล่าว

คำสำคัญ: หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก, บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

Abstract

This paper presents the use of piezoelectric transformers as an electronic ballast for a 36-W, T8 fluorescent lamp. In this paper, a piezoelectric transformer of the radial contour-vibration mode was implemented. Its 30-mm diameter and 2.36-mm of the thickness was designed in order to achieve the resonance frequency at 81 kHz. Analysis of electrical properties, e.g. voltage gain, input and output voltages, etc, for the designed piezoelectric ballast was studied. As a result, the overall efficiency of driving the 36-W fluorescent lamp was 97.27%.

1. บทนำ

พลังงานการคิดค้นก่อนกำเนิดหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดไพโซอิเล็กทริกได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกโดย Rosen Fish และ Rathenber และได้ทำการจดสิทธิบัตรพร้อมอธิบายรายละเอียดไว้ในประเทศสหรัฐอเมริกาหมายเลขจดสิทธิบัตร US2,830,274 ในปี ค.ศ. 1954 หลังจากนั้น 50 ปีต่อมาเทคโนโลยีนี้กลายเป็นหนึ่งทางเลือกที่มีการนำมาใช้แทนหม้อแปลง

ชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กมากที่สุดในการประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังในวงกว้าง หม้อแปลงชนิดไพโซอิเล็กทริกทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (electrical energy) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้จากการใช้พลังงานเสียง (acoustic energy) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างตัวไพโซอิเล็กทริกต้องคัดเลือกคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมเป็นพิเศษ โดยนิยมใช้วัสดุไพโซอิเล็กทริกเซรามิก (piezoelectric ceramic) ที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือจะมีการคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยถ้ามีการออกแบบที่เหมาะสม ไพโซจะมีคุณสมบัติสามารถแปลงแรงดันให้เป็นชนิด step up หรือ step down ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric transformer: PT) ได้โดยไม่ใช้ขดลวด หรือวัสดุที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ในปัจจุบันนี้หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น จอแสดงผลแบบหน้าจอสถีกเหลว (Liquid crystal display, LCD) ในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาได้หลายชนิด ในแต่ละปีหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกมีการซื้อ-ขายเฉลี่ยมากกว่า 20 ล้านชิ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา และมีรายงานจากโรงงานผู้ผลิตไพโซอิเล็กทริกในประเทศญี่ปุ่นว่ามีผลการดำเนินการเติบโตของสายการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทุกปี เนื่องจากหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกมีความเสถียรภาพ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน้าจอสถีกเหลว ในคอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นวีดีโอหรือดีวีดีแบบพกพา และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ แต่การสร้างหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง (วัสดุ วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้า ขนาด และขั้นตอนการผลิต) จึงเป็นสิ่งที่กระตุ้นให้นักวิจัยจำนวนมากสนใจ จึงมีงานวิจัยเผยแพร่เทคโนโลยีการสร้าง และการนำไปประยุกต์ใช้กับศาสตร์แขนงอื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง

ในการออกแบบหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกจะถูกออกแบบให้สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดแรงดันสูง ในปัจจุบันการออกแบบพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าไพโซอิเล็กทริกที่นิยมสร้างโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิด Rosen-type และชนิดโหมดการทำงาน

แบบคอนทาร์ [1] โดยมีการออกแบบ สร้าง และขาย ในเชิงพาณิชย์จากบริษัทผู้ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เช่น บริษัท RCA Corporation [2] Motorola [3] Denki Onkyo Limited [4] และ Matsushita [5] โดยออกแบบประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงของจอตอร์ทัศน์ และมีรายงานว่าบริษัท Matsushita ได้ออกแบบเพื่อนำไปใช้เป็นตัวช่วยในอุปกรณ์สำหรับจุดเตาเผาความร้อนสูง [6] บริษัท Briggs & Stratton ประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก [7] บริษัท Nippon Soken ประยุกต์ใช้กับรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ [8] และในบริษัท Siemens และ General Electric มีการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการรักษาเกทของ ไทรแอก ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต และอื่น ๆ ที่ใช้กับกำลังไฟฟ้าแรงสูง ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการนำหม้อแปลงชนิดไฟโอโซอิลิกทริกมาประยุกต์ใช้แทนหม้อแปลงชนิดขดลวดสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

2. วงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริก

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในขั้วหลอดให้มีค่าเหมาะสม สม่ำเสมอตามแต่ละประเภท และขนาดของหลอด โดยที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะสร้างความถี่สูง (10-120 กิโลเฮิรตซ์) จ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์จะตอบสนองความถี่สูงได้ดีกว่าความถี่ 50 เฮิรตซ์ ที่โซ่อยู่ตามบ้าน เป็นผลให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 30% และยังมีอายุการใช้งานของหลอดได้นานกว่า เมื่อเทียบกับการใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวด ในบทความนี้ได้ออกแบบ และสร้างวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ตามการทำงานดังนี้

ส่วนที่ 1 ภาคสร้างความถี่และ duty cycle ทำหน้าที่สร้างการทำงานของการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ ซึ่งสามารถปรับความถี่ (3 – 200 กิโลเฮิรตซ์) ให้ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ส่วนที่ 2 ภาคควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ขับมอสเฟต ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับมอสเฟตให้คงที่ขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ด้วยวงจรรวมรุ่น IR2110 และได้ออกแบบให้กราวด์ของภาคควบคุมแรงดันซึ่งเป็นส่วนแรงดันไฟฟ้าต่ำแยกออกจากภาคแรงดันสูงเพื่อความปลอดภัยของวงจรด้วยวงจรรวม (opto-coupler)

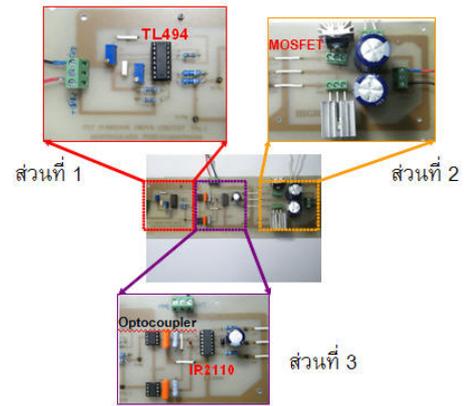
ส่วนที่ 3 ภาคอินเวอร์เตอร์แบบ half-bridge โดยเลือกใช้มอสเฟต 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ให้กับหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

3. ชนิดของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก

หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก คือการประยุกต์ใช้งานของวัสดุชนิดไฟโอโซอิลิกทริกเซรามิก ที่มีการทำงานสองแบบด้วยกัน คือทางด้านขาเข้าทำงานในโหมดของไฟโอโซอิลิกทริกแอคซิวลเอเตอร์ และทางด้านขาออกทำงานในโหมดของไฟโอโซอิลิกทริกทรานส์ดีฟิวเซอร์ โดยมีโครงสร้างแบบต่างๆ ตามลักษณะการนำไปใช้งาน แบ่งโครงสร้างออกได้เป็น 3 แบบ คือ [9]

1. หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิด Rosen Type
2. หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิด Thickness Vibration Mode

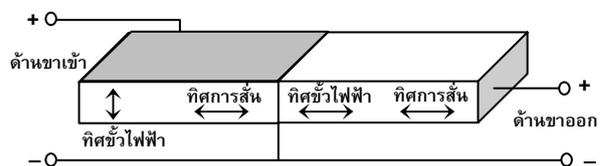
3. หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิด Radial Vibration Mode



รูปที่ 1 วงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

3.1 หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิด Rosen Type

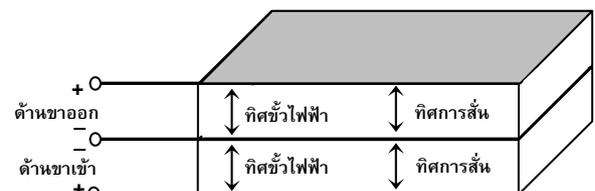
มีการทำงานในลักษณะของ ไฟโอโซอิลิกทริกแอคซิวลเอเตอร์ (transverse mode) และ ไฟโอโซอิลิกทริกทรานส์ดีฟิวเซอร์ (longitudinal mode) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าจะเกิดการสั่นสะเทือนของสารไฟโอโซอิลิกทริกในทิศทางของความหนา ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนของสารไฟโอโซอิลิกทริกในทิศทางของความยาวทางด้านขาออก ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนในทิศทางของความยาวด้วย จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก การทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิดนี้มีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าต่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกที่สูง จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง เช่น เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) ที่ใช้งานในคอมพิวเตอร์แบบพกพา ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิด Rosen type

3.2 หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิด Thickness Vibration Mode

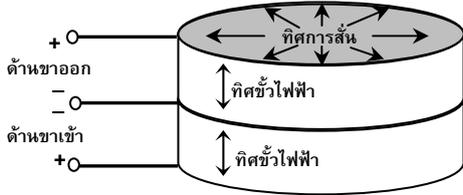
มีการทำงานในลักษณะของ ไฟโอโซอิลิกทริกแอคซิวลเอเตอร์ (transverse mode) และ ไฟโอโซอิลิกทริกทรานส์ดีฟิวเซอร์ (longitudinal mode) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าจะเกิดการสั่นสะเทือนของสารไฟโอโซอิลิกทริกในทิศทางของความหนา ส่งผลให้ทางด้านขาออกเกิดการสั่นสะเทือนของสารไฟโอโซอิลิกทริกในทิศทางของความหนาด้วย และเกิดแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก การทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิดนี้มีแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกต่ำจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าต่ำ ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3



รูปที่ 3 หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิด Thickness Vibration Mode

3.3 หม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิด Radial Vibration Mode

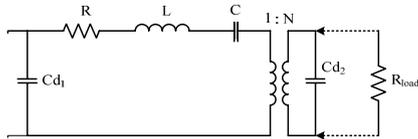
มีการทำงานในลักษณะของไพโซโซลิกทรินกแอดชวลเอเตอร์ (transverse mode) และ ไพโซโซลิกทรินกทรานสเวิร์ช (longitudinal mode) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าจะเกิดการสั่นสะเทือนของสารไพโซโซลิกทรินกในทิศทางของความหนาตรงจุดศูนย์กลางของวงกลม ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนไปในทิศทางของรัศมี ทำให้ในส่วนของทางด้านขาออกเกิดการสั่นสะเทือนไปในทิศทางของรัศมี หลักการทำงานของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิดนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้สร้างบัลลาสต์ และตัวแปลงแรงดัน (adapter) โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิด Radial Vibration Mode

4. การวิเคราะห์วงจรสมมูลของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินก

การวิเคราะห์วงจรสมมูลของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกจะใช้วงจรสมมูลตามทฤษฎีของ Mason [10] ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญมีดังนี้ C คือ ตัวเก็บประจุของวงจรสมมูล L คือ อินดักแตนซ์ของวงจรสมมูล และ R คือ ค่าความต้านทาน และ C_{d1} และ C_{d2} คือตัวเก็บประจุต่อแบบขนานทางด้านขาเข้า และขาออก ตามลำดับ N คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวเล็กโทรดของทางด้านส่วนขาเข้า และขาออก [11] การคำนวณหาพารามิเตอร์ในวงจรสมมูลของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกแต่ละชนิดสามารถหาได้ตามสมการที่ (1) – (19)



รูปที่ 5 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินก

4.1 การคำนวณหาพารามิเตอร์สำหรับหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิด Rosen type [9]

$$R = \frac{\pi Z_0}{4 \cdot Q_m \psi^2} \quad (1)$$

$$L = \frac{\rho \cdot Aac \cdot l}{4 \cdot \psi^2} + \frac{\psi^2}{\rho} \cdot L_0 \quad (2)$$

$$C = \psi^2 \cdot \frac{4l}{\pi^2 \cdot W \cdot h \cdot Y_1^E} \quad (3)$$

$$C_{d1} = \frac{W \cdot l \cdot \epsilon_{33}^T \cdot \epsilon_0 \cdot (1 - k_{31}^2)}{h} \quad (4)$$

$$C_{d2} = \frac{W \cdot h \cdot \epsilon_{33}^T \cdot \epsilon_0 \cdot (1 - k_{33}^2)}{l} \quad (5)$$

$$\psi' = W \cdot d_{31} \cdot Y_{11}^E \quad (6)$$

4.2 การคำนวณหาพารามิเตอร์สำหรับหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิด Thickness Vibration Mode [9]

$$R = \frac{\pi Z_0}{4 \cdot Q_m \psi^2} \quad (7)$$

$$L = \frac{\rho \cdot \text{Volume of PT}}{8 \cdot \psi^2} + 2 \cdot L_0 \quad (8)$$

$$C = \psi^2 \cdot \frac{4l}{\pi^2 \cdot W \cdot h \cdot Y_1^D} \quad (9)$$

$$C_{d1} = \frac{W \cdot l \cdot \epsilon_{33}^T \cdot \epsilon_0}{h} \quad (10)$$

$$C_{d2} = \frac{W \cdot h \cdot \epsilon_{33}^T \cdot \epsilon_0}{l} \quad (11)$$

$$\psi' = \frac{h \cdot W}{l} \cdot \frac{C_{33}^D \cdot g_{33}}{\beta_{33}^D} \quad (12)$$

$$L_0 = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C_{d1}} \quad (13)$$

4.3 การคำนวณหาพารามิเตอร์สำหรับหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิด Radial Vibration Mode [9]

$$R = \frac{\sqrt{2 \cdot \rho \cdot S_{11}^E \cdot (N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2)}}{16 \cdot r \cdot Q_m \cdot (N_1 \cdot d_{31})^2} \quad (14)$$

$$L = \frac{\rho \cdot S_{11}^E \cdot (N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2)}{8 \cdot \pi \cdot (N_1 \cdot d_{31})^2} \quad (15)$$

$$C = \frac{16 \cdot r^2 \cdot (d_{31} \cdot N_1)^2}{\pi \cdot S_{11}^E \cdot (N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2)} \quad (16)$$

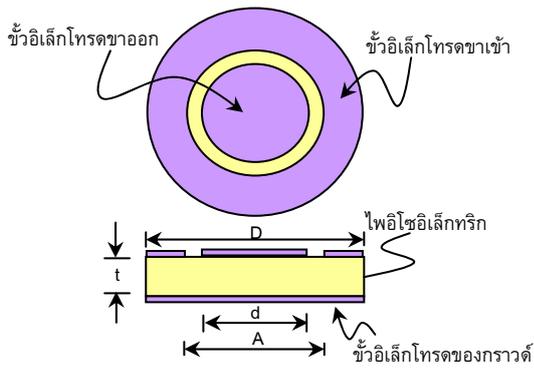
$$Cd1 = \frac{N_1 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_{33}^T \cdot (1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T \cdot S_{11}^E})}{t_1} \quad (17)$$

$$Cd2 = \frac{N_2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_{33}^T \cdot (1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T \cdot S_{11}^E})}{t_2} \quad (18)$$

$$N = \frac{N_1}{N_2} \quad (19)$$

5. โครงสร้างหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินก

โครงสร้างของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกในงานวิจัยนี้ได้เลือกโครงสร้างหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกชนิดการสั่นตามแนวรัศมี ซึ่งใช้วัสดุไพโซโซลิกทรินก จากบริษัท APC International, USA หมายเลข APC840 [12] และทำการสร้างขึ้นรูปเป็นไพโซโซลิกทรินกแบบคอนทัวร์ (contour extensional unipoled-piezoelectric transformer) [13] มีลักษณะคล้ายแผ่นดิสก์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม. หนา 2.36 มม. ดังแสดงได้ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 บริเวณพื้นผิวด้านบนมีขั้วเล็กโทรดตามอัตราส่วนพื้นที่สำหรับแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าและขาออก ส่วนบริเวณด้านล่างจะทำการฉาบขั้วเล็กโทรดซึ่งทำหน้าที่เป็นกราวด์ร่วมแล้วทำการสร้างขั้วไฟฟ้าภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดกระแสตรงขนาด 2.5 กิโลโวลต์ต่อตารางมิลลิเมตร นาน 20 นาที ซึ่งทำให้ได้คุณสมบัติของหม้อแปลงไพโซโซลิกทรินกสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 6 รูปร่างหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกแบบคอนทาร์



รูปที่ 7 ภาพถ่ายหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 1 ขนาดพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้จากการวัด
ความหนา (มม.) (t)	2.36
ปริมาตร (มม. ³)	1812.23
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขั้วอิเล็กโทรดขาเข้า (มม.) (D)	30
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกขั้วอิเล็กโทรดขาออก (มม.) (d)	16.75
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในขั้วอิเล็กโทรดขาออก (มม.) (A)	18.75
ช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดขาเข้า และขาออก (มม.)	1

6. ผลการวิจัย

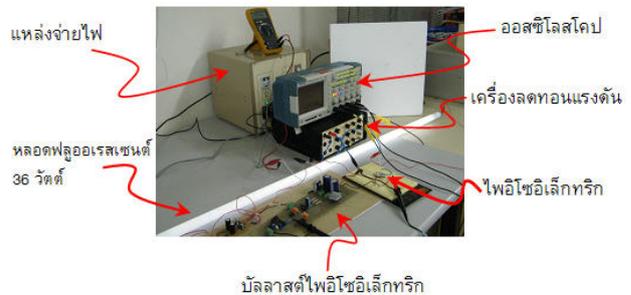
จากผลการวัดคุณสมบัติของไพเอโซอิเล็กทริกด้วยเครื่องมือวัดคุณสมบัติหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกด้วยเครื่อง Agilent รุ่น HP4294A (Precision Impedance Analyzer) ที่ความถี่ปฏิบัติการ (83 กิโลเฮิรท์) ของพารามิเตอร์ในวงจรสมมูลหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก ที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปที่ 5 ผลการวัดคุณสมบัติแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติตัวแปรของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก

ตัวแปร	ค่าที่ได้จากการวัด
C_{d1}	2.054 nF
C_{d2}	978.343 pF
R	16.683 Ω
L	15.617 mH
C	246.306 pF
F	82.579 kHz

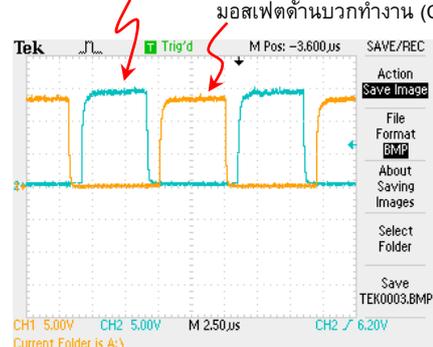
การทดสอบบัลลาสต์ไพเอโซอิเล็กทริกใช้ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ผลปรากฏว่าสามารถขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยมีอุปกรณ์ และเครื่องมือวัด ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เช่น แหล่งจ่ายไฟ ออสซิลโลสโคป เครื่องลดทอนสัญญาณ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ หลอดไฟ บัลลาสต์ไพเอโซอิเล็กทริก และไพเอโซอิเล็กทริก ในการวัดค่าทางไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดหลังจากขับหลอดฟลูออเรสเซนต์แล้วเป็นเวลา 5 นาที ผลการวัดค่าแสดงได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งแสดงการทำงานของมอสเฟตทั้งสองตัวทำงานสลับกัน (half-bridge converter) ซึ่งทำการออกแบบให้มีอัตราส่วนความกว้างภายในลูกคลื่น (duty cycle) ประมาณ 25% ในรูปที่ 10 แสดงกราฟผลการวัดแรงดันและกระแสด้วยโพรบวัดกระแส (Fluke i310s) ทางด้านขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกจากไพเอโซอิเล็กทริก จากรูป 10 (ก) แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขาเข้า และขาออก ซึ่งได้ 38 V_{p-p} (CH1) และ 1210 V_{p-p} (CH4) ตามลำดับ (โดยที่ CH4 ได้ทำการวัดผ่านตัวลดทอนสัญญาณขนาด 1:100 V) ส่วนในรูปที่ 10 (ข) แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าขาเข้า และรูปที่ 10 (ค) แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าขาออกจากไพเอโซอิเล็กทริก ด้วยโพรบวัดกระแส (โดยตั้งค่าการวัดไว้ที่ 200 mV/A) ซึ่งได้กระแสขาเข้า และขาออกเท่ากับ 1.05 A และ 1.2 A ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้ประสิทธิภาพทางด้านกำลังไฟฟ้า (η) หาได้จากการคำนวณตามสมการที่ (20) มีค่าเท่ากับ 97.27%

$$\eta = \frac{(P_{out} - P_{in})}{P_{out}} \times 100 \quad (20)$$

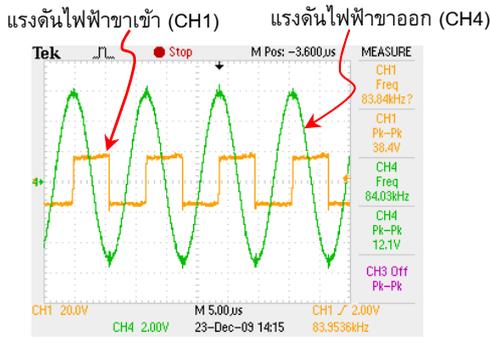


รูปที่ 8 การทดสอบบัลลาสต์ไพเอโซอิเล็กทริกขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

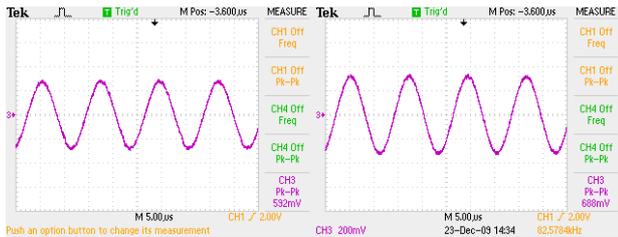
มอสเฟตด้านลบทำงาน (CH2) มอสเฟตด้านบวกทำงาน (CH1)



รูปที่ 9 การทำงานของมอสเฟต



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 10 ผลการวัด (ก) แรงดันขาเข้า และขาออก (ข) กระแสขาเข้า และ (ค) กระแสขาออกของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก

7. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกที่ประกอบไปด้วยวงจรถูกสร้างขึ้นมาที่ วงจรควบคุมแรงดัน วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟ-บริดจ์ และหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก เพื่อใช้ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ โดยการออกแบบหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดใหม่ตามการค้นพบแนวคิด แบบคอนทราสต์ ได้ถูกออกแบบด้วยโครงสร้างของอิเล็กโทรดแบบแผ่นดิสก์ อัดขึ้นรูปที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. มีความหนา 2.36 มม. จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า บัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกสามารถขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ได้เป็นผลสำเร็จ โดยมีประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้า 97.27% ที่ความถี่เรโซแนนซ์ประมาณ 84 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารอ้างอิง

- 1 Laoratanakul, P., Carazo, A.V., Bouchilloux, P., and Uchino, K., "Unipoled Disk-type Piezoelectric Transformers," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 4, pp. 1446-1450, 2002.
- 2 Lim, C.C., U.S. Patent No. 4,459,505 (July 1984).
- 3 Kramer, D.A., U.S. Patent No. 3,657,579 (April 1972).
- 4 Inoue, K., U.S. Patent No. 3,694,674 (September 1972).
- 5 Sasaki, R., Kitani, T., U.S. Patent No. 3,598,909 (July 1971).
- 6 Ansai, Y., Mifune, H., Tani, K., U.S. Patent No. 4,054,936 (July 1971).
- 7 Harkness, J.R., U.S. Patent 3,173,055 (March 1965).
- 8 Tanaka, T., Yorita, H., Tomita, M., Igashira, T., U.S. Patent 4,767,967 (August 1988)
- 9 Eric, M.B., Weixing, H., Dan, Y.C., and Fred, C.L., "Radial mode piezoelectric transformer design for fluorescent Lamp

ballast applications," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 20(5), pp. 1213-1220, 2005.

- 10 Katz, H.W., "Solid state magnetic and dielectric devices", New York, NY: Wiley, pp. 35-197, 1959.
- 11 Jang, E.S., Hwang, L.H., Song, H.S., Lee, C.H., Chung, K.H. Jeong, Y.H., and Jeong, H.S., "Driving of 35W (T5) fluorescent lamp by the electronic ballast using piezoelectric transformer," IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, pp. 233-236, 2004.
- 12 APC 840-Lead Zirconate Titanate, APC International Ltd., 2005, Available: <http://www.americanpiezo.com>.
- 13 Laoratanakul, P., "Charateristics of radial mode piezoelectric transformer," Materials Forum in Institute of Materials Engineering Australasia, pp. 152-155, 2007.

คำอธิบายสัญลักษณ์

- Aac = พื้นที่หน้าตัด
- C = ตัวเก็บประจุภายในของไพโซอิเล็กทริก
- C_{d1} = ตัวเก็บประจุภายในด้านขาเข้าของไพโซอิเล็กทริก
- C_{d2} = ตัวเก็บประจุภายในด้านขาออกของไพโซอิเล็กทริก
- c_{33}^D = ค่าคงที่การยืดหยุ่น
- d_{31} = สัมประสิทธิ์ของไพโซอิเล็กทริก
- F = ความถี่
- g_{33} = ค่าคงที่แรงดันของไพโซอิเล็กทริก
- h = ความสูง
- k_{31} = ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเชิงกลของไพโซอิเล็กทริก
- k_{33} = ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเชิงกลของไพโซอิเล็กทริก
- L = ตัวเหนี่ยวนำภายในไพโซอิเล็กทริก
- l = ความยาว
- N_1 = จำนวนชั้นของชั้นปฐมภูมิ
- N_2 = จำนวนชั้นของชั้นทุติยภูมิ
- Q_m = ส่วนประกอบคุณภาพทางกลของไพโซอิเล็กทริก
- R = ความต้านทานภายในไพโซอิเล็กทริก
- r = ขนาดของรีซีม
- S_{11}^E = ค่าความยืดหยุ่นของไพโซอิเล็กทริก
- $\tan \delta$ = ส่วนประกอบการกระจายตัวของไพโซอิเล็กทริก
- t_1 = ความหนาชั้น 1
- t_2 = ความหนาชั้น 2
- W = ความกว้าง
- Y_{11}^E = ค่าคงที่ Young's Modulus
- Y_{33}^D = ค่าคงที่ Young's Modulus
- Y_1^D = ค่าคงที่ Young's Modulus
- ω_0 = ความถี่มูลฐาน
- ρ = ความหนาแน่นของไพโซอิเล็กทริก
- ϵ_{33}^T = ค่าความนำของไพโซอิเล็กทริก
- ϵ_0 = ค่าความนำของไพโซอิเล็กทริก
- β_{33}^D = ค่าความนำของวัสดุไพโซอิเล็กทริก