

บัลลาสต์ไฟโซอิเล็คทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8

นางสาวมณฑกานต์ พิรศักดิ์โสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2553

**PIEZOELECTRIC BALLAST DESIGN FOR
FLUORESCENT LAMP 36 W, T8**

Monthakarn Phirasaksophon

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.อนันต์ อุ่นศิริไธย)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.ชนัดชัช กุลวรรณิขพงษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สุธรรม ศรีหล่มสัก)

กรรมการ

(อ. ดร.วุฒิ คำนกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มณฑกานต์ พิรศักดิ์โสภณ : บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36

วัตต์ ชนิด T8 (PIEZOELECTRIC BALLAST DESIGN FOR FLUORESCENT LAMP 36

W, T8) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัย กุลรวานิชพงษ์, 175 หน้า

ในงานวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคโนโลยีใหม่สำหรับการออกแบบวงจรบัลลาสต์โดยใช้หม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกที่มีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็ก เข้ามาแทนบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กโดยทำการศึกษาออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีให้มีความเหมาะสมที่สุดและส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสามารถประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย (220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์) สำหรับการออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกภาคเดียวกันนี้ ใช้สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ที่มีใช้ในบ้าน และสำนักงานทั่วไป ปัญญาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึมนำมาช่วยค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบโครงสร้างหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกด้วยโปรแกรม MATLAB และใช้โปรแกรม PSIM ในการวิเคราะห์และจำลองผล แล้วทำการออกแบบสร้างบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก ต้นแบบพร้อมทั้งออกแบบหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น และแบบคอนทัวร์ โดยที่หม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ประกอบไปด้วยชั้นปฐมภูมิและชั้นทุติยภูมิ มีแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออก ตามลำดับ สำหรับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ประกอบด้วยชั้นปฐมภูมิอยู่วงแหวนด้านนอกและชั้นทุติยภูมิอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของวงกลม สำหรับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออก ตามลำดับ การศึกษาสร้างหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกนี้ ได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อคุณสมบัติของวัสดุไฟโซอิเล็กทริก (Q_m) และคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น อัตราการขยายแรงดัน กำลังไฟฟ้า ความถี่ปฏิบัติงานและประสิทธิภาพ ผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบ พบว่าหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกที่มีขนาดโครงสร้างตามผลการค้นหาพารามิเตอร์เหมาะสมที่สุดด้วยปัญญาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึมให้ประสิทธิภาพกำลังสูงสุด และสูงกว่าหม้อแปลงที่สร้างไว้เพื่อเปรียบเทียบโดยมีค่า 97% และ 93% สำหรับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น และแบบคอนทัวร์ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่นและบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็กที่มีขายทั่วไปขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ พบว่าบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดอื่น

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

MONTHAKARN PHIRASAKSOPHON : PIEZOELECTRIC BALLAST

DESIGN FOR FLUORESCENT LAMP 36 W, T8. THESIS ADVISOR :

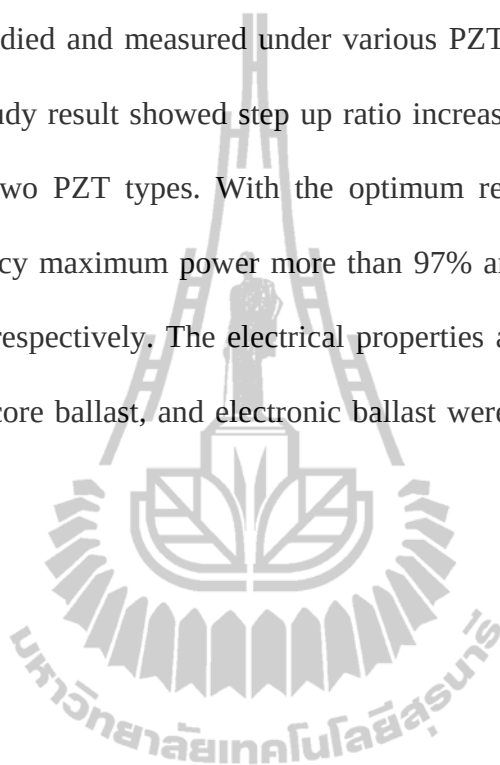
ASSOC. PROF. THANATCHAI KULWORAWANICHPONG, Ph.D.,

175 PP.

Loi em noi cho tinh chung ta, nhu doan cuoi trong cuon phim buon. Nguoi da den nhu la giac mo roi ra di cho anh bat ngo... <http://nhathquanglan1.0catch.com>
BALLAST ELLECTRONICS /PIEZOELECTRIC TRANSFORMER

In this research presented novel technology of ballast circuit. The piezoelectric transformer (PZT) was used to replace the conventional inductor-capacitor resonant tank for the valuable space and cost saving. With this study has been designed to optimize a radial vibration mode piezoelectric transformer to fit a specific application while simultaneously providing highly efficient and the capability in Thailand (220V 50Hz). The design procedure was verified by a custom-designed operating in 36W ballast that value in home and office used. The single-stage circuit type is designed for this piezoelectric ballast driving circuit. The important parameters of PZT structure were designed by artificial genetic algorithm (GA). The GA was selected as the optimization that obtaining their optimally proportional PZT parameters. The validation result of PZT parameters were conducted by using programming code for the MATLAB and cooperated with MATLAB's toolbox. The result of GA will be simulated and analyzed with electrical performance by PSIM program. From the satisfactory results, a well designed PZT parameters were able to fabricate and compensated with piezoelectric ballast prototype to drive fluorescent lamp 36W. Two layers and contour (ring dot) PZT types of radial vibration mode are studied and fabricated. Two layers type of PZT consist of input layer (1st layer) and output layer

(2nd layer) while contour type of PZT consist of input at external electrode ring and the output electrode at the internal center dot with insulation gap isolation. The mechanical quality factor (Q_m) of material properties and electrical properties in terms of voltage step-up ratio, output power, resonance frequency and power efficiency were studied and measured under various PZT structure designs and load resistances. The study result showed step up ratio increased proportionally with load resistance for all two PZT types. With the optimum resistive load, the efficiency showed an efficiency maximum power more than 97% and 93% for two layers type and contour type, respectively. The electrical properties among piezoelectric ballast, conventional iron-core ballast, and electronic ballast were studied during fluorescent lamp 36W driving.



School of Electrical Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัชชัย กุลวรรณิขพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำความรู้ทางวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยได้ศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ศรีหล่มสัก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิกที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความสะดวกเรื่องเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานตลอดจนให้กำลังใจในการทำงานแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล ผู้ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย และให้ความสะดวกเรื่องเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานตลอดจนให้กำลังใจในการทำงานแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ขอขอบคุณ คุณอัญชลี รักด่านกลาง และคุณภัทรวรรณ เคนพะนาน เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ดูแลประสานงานเรื่องเอกสาร

ขอขอบคุณ คุณสุชาติ พันธุ์ไพศาล ผู้ที่ช่วยเหลือ ให้กำลังใจและดูแล และอยู่เคียงข้างผู้วิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวรเชษฐ และคุณแม่อุบล พิรศักดิ์โสภณ ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

มณฑกานต์ พิรศักดิ์โสภณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	น

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์	4
2 ปรัชญ์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของบัลลัสต์	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ปรัชญ์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.3 ชนิดของบัลลัสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	10
2.3.1 บัลลัสต์ชนิดหลอดแก๊ส.....	11
2.3.1.1 บัลลัสต์แบบหลอด.....	12
2.3.1.2 บัลลัสต์แบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า	12
2.3.2 บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	15
2.3.3 บัลลัสต์ไฟโซอิเล็กทริก.....	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 สรุป.....	25
3 หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	26
3.1 บทนำ	26
3.2 ประวัติความเป็นมาของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	28
3.3 การพัฒนาเทคนิคการขับเคลื่อนไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	28
3.4 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	29
3.4.1 การทำงานของไฟโอโซอิเล็กทริกของตัวแปลงความถี่	29
3.4.2 การทำงานของไฟโอโซอิเล็กทริกของตัวแอคชวลเเตอร์	30
3.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและแรงทางกล ของไฟโอโซอิเล็กทริก	32
3.4.4 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของไฟโอโซอิเล็กทริก	33
3.4.4.1 การวิเคราะห์ที่แรงดันไฟฟ้าตรง.....	35
3.4.4.2 การวิเคราะห์ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	36
3.5 ชนิดของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	38
3.5.1 หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดโรเซน (Rosen Type).....	38
3.5.2 หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก โหมดการสั่นตามความหนา	41
3.5.3 หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก โหมดการสั่นตามแนวรัศมี	42
3.5.3.1 หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก โหมดการสั่นตามแนวรัศมี แบบ 2 ชั้น.....	42
3.5.3.2 หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก โหมดการสั่นตามแนวรัศมี แบบคอนทัวร์	44
3.6 สรุป.....	45
4 การออกแบบ และสร้างบัสลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริก.....	46
4.1 บทนำ	46
4.2 การออกแบบ และสร้างชุดอุปกรณ์ต้นแบบ วงจรบัสลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริก	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรัก	
ด้วยวิธีการค้นหาด้วยปัญญาประดิษฐ์	51
4.3.1 วิธีการออกแบบการค้นหาด้วยระเบียบวิธีจินตคณิตอัลกอริทึม	53
4.3.2 วิธีการกำหนดขอบเขตการค้นหาด้วยระเบียบวิธีจินตคณิตอัลกอริทึม.....	53
4.3.3 วิธีการทดสอบค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินตคณิตอัลกอริทึม.....	53
4.3.4 ผลการทดสอบค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินตคณิตอัลกอริทึม	54
4.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรักด้วยวิธีการคำนวณ	59
4.5 ขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรัก	63
4.5.1 การอัดขึ้นรูปแบบเม็ดด้วยเครื่องไฮดรอลิก.....	65
4.5.2 ขั้นตอนการเผาไฟโอโซอิลิกทรัก.....	65
4.5.3 ขั้นตอนการทำความสะอาด และขัดผิวให้เรียบ	66
4.5.4 ขั้นตอนการเคลือบสารตัวนำไฟฟ้าอิลิกทรัก.....	66
4.5.5 ขั้นตอนการทำให้ลวดลายตัวนำไฟฟ้าอิลิกทรัก.....	66
4.5.6 ขั้นตอนการเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วไฟฟ้า	67
4.5.7 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน	69
4.6 สรุป.....	69
5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	71
5.1 บทนำ	71
5.2 ผลการจำลองสถานการณ์ของบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทรัก	72
5.2.1 ผลการจำลองผลของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรัก	
ชนิดโหมดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	73
5.2.2 ผลการจำลองผลของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรัก	
ชนิดโหมดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	84
5.3 ผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทรักกับหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	89
5.3.1 ผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทรักกับหม้อแปลง	
ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1.1	ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการสำหรับ หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	90
5.3.1.2	การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลด และประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	91
5.3.1.3	ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลด ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	92
5.3.2	ผลการทดสอบปลั๊กไฟไฟโอโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลง ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	98
5.3.2.1	ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการสำหรับหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์.....	99
5.3.2.2	การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลด และประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	100
5.3.2.3	ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และกำลังของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามรัศมีแบบคอนทัวร์	102
5.3.2.4	ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลด ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	103
5.4	ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้า.....	104
5.4.1	การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	105
5.4.2	การทดสอบวัดความส่องสว่างในห้องมืด.....	105
5.4.3	การทดสอบวัดตัวประกอบกำลัง และฮาร์มอนิกปลั๊กไฟ ไฟโอโซอิเล็กทริกขณะขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์	107
5.5	สรุป.....	108

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	109
6.1 สรุปผลการวิจัย	109
6.2 ข้อเสนอแนะ	111
รายการอ้างอิง	112
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบเปรียบเทียบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดอื่น.....	115
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์.....	124
ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	171
ประวัติผู้เขียน	175



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ด้วยจิ้นเนติกอัลกอริทึม	55
4.2 ผลการค้นหาคำด้วยปัญญาประดิษฐ์จิ้นเนติกอัลกอริทึมของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารเบอร์APC-844.....	56
4.3 ผลการค้นหาคำด้วยปัญญาประดิษฐ์จิ้นเนติกอัลกอริทึมของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารเบอร์APC-840.....	57
4.4 ผลการค้นหาคำด้วยปัญญาประดิษฐ์จิ้นเนติกอัลกอริทึมของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ สำหรับสารเบอร์APC-844.....	58
4.5 คุณสมบัติของระบบไฟฟ้า.....	60
4.6 การออกแบบโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามรัศมีแบบคอนทัวร์	67
4.7 ขนาดของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	68
5.1 ผลการเปรียบเทียบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกโหมดการสันตามแนว รัศมีแบบ 2 ชั้น	73
5.2 ผลการเปรียบเทียบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	85
5.3 ผลทดสอบความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น.....	90
5.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบบัสลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลง ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ขณะขับโหลด 36 วัตต์	97
5.5 ผลการวัดความถี่ปฏิบัติการของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามรัศมีแบบคอนทัวร์	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่กับกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง ไพโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมีแบบคอนทัวร์.....	102
5.7 ผลการวัดเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าและกระแสของบัลลัสต์ชนิดต่าง ๆ.....	105
5.8 ผลการวัดเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของบัลลัสต์ชนิดต่าง ๆ.....	106
5.9 ผลการวัดเปรียบเทียบตัวประกอบกำลัง และค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิก ที่จุดต่อร่วม.....	107



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	บัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริกในงานวิจัยของ Laoratanakul, P. (2007)..... 8
2.2	โครงสร้างหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกมีขั้วเล็กโทรดหลายชั้น 9
2.3	วงจรบัลลาสต์ชนิดขดลวดเหนี่ยวนำ..... 12
	(ก) มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ..... 12
	(ข) มีค่าตัวประกอบกำลังสูง..... 12
2.4	บัลลาสต์แบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบใช้หม้อแปลงขดเดี่ยว..... 12
2.5	การต่อหลอดไฟกับบัลลาสต์แบบขดลวดแบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ด้วยแม่เหล็ก..... 13
2.6	บล็อกไดอะแกรมบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแบบผสม 14
2.7	ไดอะแกรมวงจรจุดให้หลอดชนิดสารกึ่งตัวนำ..... 15
2.8	บล็อกไดอะแกรมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 16
2.9	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 16
2.10	วงจรกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 3 ภาค..... 17
2.11	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบสร้างสัญญาณด้วยตัวเอง 17
2.12	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเอาต์พุตคงที่..... 18
2.13	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบแรงดันอิสระชนิด 2 ภาค 19
2.14	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลายหลอดชนิดภาคเดี่ยว..... 20
2.15	วงจรบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริกแบบปรับแสงสว่างได้อัตโนมัติ..... 20
2.16	โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกทำหน้าที่แทนบัลลาสต์ 22
2.17	ชุดวงจรบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริก..... 22
2.18	วงจรขับหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริก 3 แบบ..... 23
	(ก) วงจรแบบพุชพูล (push-pull) 23
	(ข) วงจรแบบครึ่งคี่ (half-bridge) 23
	(ค) วงจรแบบคลาส E (Class-E)..... 23
2.19	วงจรบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริกสำหรับอัตราขยายแรงดันต่ำ..... 23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 วงจรบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริกสำหรับอัตราขยายแรงดันสูง	24
2.21 วงจรบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริกแบบมีการเพิ่มแรงดัน	24
2.22 บัลลาสต์อีเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ใช้กับไฟโซอีเล็กทริก.....	25
3.1 ลักษณะการทำงานของไฟโซอีเล็กทริก	30
(ก) การทำงานโหมดตามแนวยาว.....	30
(ข) การทำงานโหมดตามแนวขวาง	30
3.2 การจัดเรียงขั้วสนามไฟฟ้า	30
(ก) ไม่เป็นระเบียบก่อนผ่านสนามไฟฟ้า.....	30
(ข) เป็นระเบียบขณะผ่านสนามไฟฟ้า.....	30
(ค) การจัดเรียงขั้วหลังจ่ายสนามไฟฟ้า.....	30
3.3 การทำงานของไฟโซอีเล็กทริกของตัวขับเร้า.....	31
(ก) การทำงานทางไฟฟ้าและทางกล	31
(ข) วงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น	31
3.4 การวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น กับวงจรสมมูลทางไฟฟ้า	34
(ก) วงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น	34
(ข) การทำงานทางไฟฟ้า.....	34
(ค) การทำงานทางกล	34
3.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของไฟโซอีเล็กทริก	37
(ก) ขณะไม่ต่อกับโหลด	37
(ข) ขณะต่อกับโหลด.....	37
3.6 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกชนิดโรเซน	39
3.7 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกชนิดโรเซน.....	39
3.8 หม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกโหมดการสั่นตามความหนา	40
(ก) โครงสร้าง.....	40
(ข) วงจรสมมูล.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 โครงสร้างหม้อแปลงไฟออโซอิเล็กทริกโหมดการสันตามแนวรัศมี.....	42
(ก) ทิศทางการสันตามแนวรัศมี	42
(ข) โครงสร้างหม้อแปลง	42
3.10 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟออโซอิเล็กทริกโหมดการสันตามแนวรัศมี	43
3.11 หม้อแปลงไฟออโซอิเล็กทริกโหมดการสันตามรัศมีแบบคอนทัวร์	44
(ก) โครงสร้าง.....	44
(ข) วงจรสมมูล	44
4.1 สัญญาณขาออกจากวงจรควบคุมความถี่	48
(ก) สัญญาณพัลส์.....	48
(ข) ช่วงประวิงเวลา.....	48
4.2 วงจรบัลลาสต์ไฟออโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์.....	50
(ก) แสดงวงจรบัลลาสต์ไฟออโซอิเล็กทริก	50
(ข) ภาพถ่ายวงจรต้นแบบบัลลาสต์ไฟออโซอิเล็กทริก	50
4.3 แผนภูมิการออกแบบค้นหาอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยเงินเนติกอัลกอริทึม.....	54
4.4 กราฟผลการค้นหาด้วยวิธีเงินเนติกอัลกอริทึมหม้อแปลงไฟออโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารเบอร์ APC-844	59
4.5 หม้อแปลงไฟออโซอิเล็กทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์	60
(ก) ไฟออโซอิเล็กทริกแบบโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์.....	59
(ข) ไฟออโซอิเล็กทริกแบบโหมดการสันตามรัศมีแบบ 2 ชั้น	60
4.6 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวตัดขวางกับความถี่พื้นฐาน.....	61
4.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างไฟออโซอิเล็กทริก	65
(ก) เครื่องกดอัดเม็ดไฟออโซอิเล็กทริก.....	64
(ข) ผงไฟออโซอิเล็กทริกจากบริษัท APC	64
(ค) เครื่องจัดเรียงขั้วไฟออโซอิเล็กทริก	64
(ง) เครื่องวัดคุณสมบัติไฟออโซอิเล็กทริก	64
(จ) เครื่องวัดคุณสมบัติไฟออโซอิเล็กทริก d_{33}	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
(จ) ออสซิลโลสโคป.....	65
4.8 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	65
4.9 การออกแบบโครงสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	68
5.1 วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	72
5.2 การจำลองผลวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยโปรแกรม PSIM.....	72
5.3 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R212.....	76
(ก) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R212 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	74
(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R212 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	75
(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R212 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที	75
(ง) กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R212 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที	76
(จ) ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R212 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์	76
5.4 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R236.....	79
(ก) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R236 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	77
(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R236 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	77
(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R236 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที	78
(ง) กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R236 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที	78
(จ) ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R236 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์	79
5.5 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R278.....	81
(ก) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R278 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	79
(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R278 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	80
(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R278 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที	80
(ง) กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R278 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที	81
(จ) ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R278 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์	81
5.6 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R213.....	84
(ก) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R213 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	82
(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R213 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	82
(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R213 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

(ง) กระแสไฟฟ้าขึ้นงาน R213 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที	83
(จ) ความถี่ปฏิบัติการของขึ้นงาน R213 ที่ความถี่ 92 กิโลเฮิร์ตซ์	84
5.7 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกขึ้นงานที่ R1	89
(ก) แรงดันไฟฟ้าของขึ้นงาน R1 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที	87
(ข) แรงดันไฟฟ้าของขึ้นงาน R1 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที	87
(ค) กระแสไฟฟ้าของขึ้นงาน R1 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที	88
(ง) กระแสไฟฟ้าขึ้นงาน R1 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที	88
(จ) ความถี่ปฏิบัติการของขึ้นงาน R1 ที่ความถี่ 83.8 กิโลเฮิร์ตซ์	89
5.8 ผลทดสอบความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	90
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลด และอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้า-แรงดันไฟฟ้า ขาออกของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	91
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลด และประสิทธิภาพ ของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	92
5.11 ผลการทดสอบแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกขึ้นงาน R212	93
(ก) แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	93
(ข) กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	93
5.12 ผลการทดสอบแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกขึ้นงาน R236	94
(ก) แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	94
(ข) กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	94
5.13 ผลการทดสอบแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกขึ้นงาน R278	95
(ก) แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	95
(ข) กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก	95

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 ผลการทดสอบแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงาน R213.....	96
(ก) แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	96
(ข) กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	96
5.15 การทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลง ชนิดการสันตามแนวนัศมีแบบ 2 ชั้น ขับโหลด 36 วัตต์	97
5.16 ผลทดสอบความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลง ชนิดการสันตามแนวนัศมีแบบคอนทัวร์.....	99
5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลด และอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้า-ออก ของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวนัศมีแบบคอนทัวร์.....	100
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและประสิทธิภาพ ของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวนัศมีแบบคอนทัวร์	101
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และกำลังไฟฟ้า.....	101
5.20 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง ไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงาน R13.....	104
(ก) แรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	103
(ข) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก.....	104
5.21 การทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวนัศมี แบบคอนทัวร์ขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์	104
5.22 ห้องมืดสำหรับการทดสอบวัดความส่องสว่าง	106
ก.1 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แลมนันไลต์	116
ก.2 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แลมนันไลต์ แบบขยาย	116
ก.3 กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แลมนันไลต์	117
ก.4 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์แกนเหล็กฟิลลิปส์ 36 วัตต์	117
ก.5 กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์แกนเหล็กฟิลลิปส์ 36 วัตต์.....	117
ก.6 ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R212.....	118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ก.7	ผลการวัดแรงดันฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R212	118
ก.8	ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R236	119
ก.9	ผลการวัดแรงดันฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R236	119
ก.10	ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R278	120
ก.11	ผลการวัดแรงดันฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R278	120
ก.12	ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R213	121
ก.13	ผลการวัดแรงดันฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกของชิ้นงานที่ R213	121
ก.14	ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ต่ออิเล็กทรอนิกส์	122
ก.15	ผลการวัดแรงดันฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ต่ออิเล็กทรอนิกส์	122
ก.16	ผลการวัดกระแสฮาร์มอนิกของบัลลาสต์แกนเหล็ก	123
ก.17	ผลการวัดแรงดันฮาร์มอนิกของบัลลาสต์แกนเหล็ก	123
ข.1	ผลจำลองความถี่ปฏิบัติงานหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น	125
ข.2	ผลการจำลองความถี่ปฏิบัติงานหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R212	125
ข.3	ผลการจำลองความถี่ปฏิบัติงานหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R236	126
ข.4	การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R278	126
ข.5	การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R278	127
ข.6	ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของทุกชิ้นงาน	127
ข.7	ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R212	128
ข.8	ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R236	128

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.9 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R278	129
ข.10 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R213	129
ข.11 ความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	130
ข.12 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R1 - 3	130
ข.13 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R4 - 6	131
ข.14 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R7 - 9	131
ข.15 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R10 - 13	132
ข.16 ความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์	132
ข.17 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R1 - 3	133
ข.18 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R4 - 6	133
ข.19 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R7 - 9	134
ข.20 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R10 - 13	134
ข.21 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R2 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที.....	135
ข.22 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R2 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	135
ข.23 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R2 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	136

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ข.24	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R2 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	136
ข.25	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R2 ที่ความถี่ 83.46 กิโลเฮิร์ตซ์	137
ข.26	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R3 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	138
ข.27	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R3 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	138
ข.28	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R3 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	139
ข.29	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R3 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	139
ข.30	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R3 ที่ความถี่ 83.52 กิโลเฮิร์ตซ์	140
ข.31	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R4 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	141
ข.32	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R4 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	141
ข.33	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R4 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	142
ข.34	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R4 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	142
ข.35	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R4 ที่ความถี่ 82.63 กิโลเฮิร์ตซ์	143
ข.36	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R5 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	144
ข.37	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R5 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	144
ข.38	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R5 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	145
ข.39	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R5 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	145
ข.40	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R5 ที่ความถี่ 84.02 กิโลเฮิร์ตซ์	146
ข.41	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R6 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	147
ข.42	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R6 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	147
ข.43	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R6 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	148
ข.44	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R6 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	148
ข.45	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R6 ที่ความถี่ 82.96 กิโลเฮิร์ตซ์	149
ข.46	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R7 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	150
ข.47	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R7 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	150
ข.48	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R7 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	151
ข.49	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R7 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	151
ข.50	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R7 ที่ความถี่ 83.41 กิโลเฮิร์ตซ์	152

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ข.51	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R8 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	153
ข.52	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R8 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	153
ข.53	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R8 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	154
ข.54	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R8 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	154
ข.55	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R8 ที่ความถี่ 83.74 กิโลเฮิร์ตซ์	155
ข.56	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R9 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	156
ข.57	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R9 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	156
ข.58	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R9 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	157
ข.59	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R9 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	157
ข.60	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R9 ที่ความถี่ 83.52 กิโลเฮิร์ตซ์	158
ข.61	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R10 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	159
ข.62	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R10 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	159
ข.63	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R10 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	160
ข.64	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R10 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	160
ข.65	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R10 ที่ความถี่ 82.14 กิโลเฮิร์ตซ์	161
ข.66	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R11 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	162
ข.67	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R11 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	162
ข.68	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R11 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	163
ข.69	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R11 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	163
ข.70	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R11 ที่ความถี่ 83.41 กิโลเฮิร์ตซ์	164
ข.71	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R12 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	165
ข.72	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R12 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	165
ข.73	กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R12 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	166
ข.74	กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R12 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	166
ข.75	ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R212 ที่ความถี่ 82.96 กิโลเฮิร์ตซ์	167
ข.76	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R13 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	168
ข.77	แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R13 ช่วงเวลา 700 - 760 ไมโครวินาที.....	168

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ข.78 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R13 ช่วงเวลา 0 - 1 มิลลิวินาที.....	169
ข.79 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R13 ช่วง 740 - 790 ไมโครวินาที.....	169
ข.80 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R212 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิรตซ์	170



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_{ac}	=	พื้นที่หน้าตัด
C	=	ตัวเก็บประจุภายในของไพโอโซอิเล็กทริก
C_{d1}	=	ตัวเก็บประจุภายในด้านขาเข้าของไพโอโซอิเล็กทริก
C_{d2}	=	ตัวเก็บประจุภายในด้านขาออกของไพโอโซอิเล็กทริก
c_{33}^D	=	ค่าคงที่การยืดหยุ่น
d_{31}	=	สัมประสิทธิ์ของไพโอโซอิเล็กทริก
f	=	ความถี่
g_{33}	=	ค่าคงที่แรงดันของไพโอโซอิเล็กทริก
h	=	ความสูง
k_{31}	=	ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเชิงกลของไพโอโซอิเล็กทริก
k_{33}	=	ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเชิงกลของไพโอโซอิเล็กทริก
L	=	ตัวเหนี่ยวนำภายในไพโอโซอิเล็กทริก
l	=	ความยาว
N_1	=	จำนวนชั้นของชั้นปฐภูมิ
N_2	=	จำนวนชั้นของชั้นทุติยภูมิ
Q_m	=	ส่วนประกอบคุณภาพทางกลของไพโอโซอิเล็กทริก
R	=	ความต้านทานภายในไพโอโซอิเล็กทริก
r	=	ขนาดของรัศมี
S_{11}^E	=	ค่าความยืดหยุ่นของไพโอโซอิเล็กทริก
$\tan \delta$	=	ส่วนประกอบการกระจายตัวของไพโอโซอิเล็กทริก
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

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ρ	=	ความหนาแน่นของไฟอิชอเล็กทริก
ε_{33}^T	=	ค่าความนำของไฟอิชอเล็กทริก
ε_0	=	ค่าความนำของไฟอิชอเล็กทริก
β_{33}^D	=	ค่าความนำของวัสดุไฟอิชอเล็กทริก
ψ	=	อัตราส่วนหม้อแปลงในวงจรสมมูล



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

บัลลาสต์ (ballast) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญต่อการทำงานของวงจรจุดหลอดไฟ ซึ่งใช้งานกันในอาคารสำนักงาน ตลอดจนที่พักอาศัยอย่างแพร่หลาย เพื่อให้การทำงานของหลอดมีเสถียรภาพ หลอดบรรจุก๊าซจะทำงานร่วมกับบัลลาสต์หรือตัวรักษาเสถียรภาพ หน้าที่หลักของบัลลาสต์ คือ ช่วยจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดให้มีค่าเท่ากับค่าพิกัด บัลลาสต์ที่ใช้ควรจะมีประสิทธิภาพที่ดีการสูญเสียต่ำ ไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของหลอด และช่วยรักษาเสถียรภาพในการทำงานของหลอด ในช่วงแรงดันเปลี่ยนแปลงประมาณ $\pm 10\%$ จากพิกัด บัลลาสต์มีหลายชนิด ดังนี้

- บัลลาสต์ชนิดตัวต้านทาน (resistor ballast) ใช้ตัวต้านทานสำหรับจำกัดกระแส เป็นบัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพต่ำ เกิดการสูญเสียในรูปความร้อนสูง
- โฉกหรือบัลลาสต์ชนิดขดลวดเหนี่ยวนำ (choke หรือ inductor ballast) เป็นบัลลาสต์ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย กำลังงานสูญเสียในขดลวดมีค่าต่ำกว่าแบบความต้านทาน อย่างไรก็ตาม กำลังสูญเสียประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของทั้งวงจรเกิดขึ้นที่บัลลาสต์นี้
- บัลลาสต์ชนิดตัวเก็บประจุ (capacitor ballast) ตัวเก็บประจุไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำบัลลาสต์ที่แหล่งจ่ายไฟ 50 เฮิร์ตซ์ เนื่องจากผลของการคายประจุทำให้เกิดกระแสกระชากในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้เกิดการกระพริบของหลอด สำหรับกรณีที่หลอดทำงานที่ความถี่สูง กระแสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ตัวเก็บประจุอาจจะถูกนำมาใช้งานได้
- บัลลาสต์ชนิดโฉกต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ (series choke-capacitor ballast) ถึงแม้ว่าตัวเก็บประจุไม่สามารถจะนำมาใช้เป็นบัลลาสต์ได้ที่แหล่งจ่ายไฟความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แต่วงจรอนุกรมของตัวเก็บประจุ และโฉก โดยที่ค่าความต้านทานกระแสของตัวเก็บประจุมีค่าประมาณ 2 เท่าของค่าความต้านทานกระแสของโฉกจะทำให้รูปคลื่นแรงดันเป็นที่น่าสนใจ และช่วยเพิ่มอายุการทำงานให้กับหลอดไฟฟ้าย่อยๆ ใดก็ตาม ผลจากการใช้บัลลาสต์แบบนี้จะทำให้ตัวประกอบกำลังของวงจรจะมีค่าประมาณ 0.7 นาหน้า
- บัลลาสต์ชนิดหม้อแปลง (transformer ballast) โดยปกติแรงดัน (220 โวลต์) ไม่เพียงพอที่จะใช้ในการจุดหลอด หม้อแปลงสามารถนำมาใช้แปลงแรงดันที่จ่ายให้กับหลอดให้มีค่าสูงขึ้นถึงค่าที่เหมาะสม นอกจากนี้ค่าความต้านทานกระแสรั่วไหล (leakage-reactance) ของหม้อแปลงยัง

ทำหน้าที่เหมือน ไช้กบัลลาสต์อีกด้วย บางครั้งอาจจะเรียกบัลลาสต์นี้ว่า (leakage-reactance transformer ballast)

วัสดุที่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลง หรือ ไช้ก เมื่อทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสสลับจะทำให้เกิดคลื่นรบกวน (noise) อาจจะทำให้เกิดเสียงฮัม (hum) อันเนื่องมาจากการ ทำงานของหลอดไฟสำหรับมาตรฐานอังกฤษ (BS2818) กำหนดไว้ว่าการใช้งานบัลลาสต์ชนิด ขดลวดจะต้องให้เสียงรบกวนไม่เกิน 30 dB นอกจากนี้ หลอดไฟอาจจะใช้องค์ประกอบของบัลลาสต์ ที่แตกต่างออกไป เช่น ใช้โครงสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เรียกว่า บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic ballast) ซึ่งใช้อุปกรณ์โซลิดสเตต (solid-state devices) เพื่อประกอบเป็นวงจรสำหรับ จ่ายไฟให้กับหลอดไฟ การจ่ายไฟถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ทั้งในขณะจุดหลอด และขณะทำงาน ในสภาวะคงตัว ความถี่ในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีความถี่สูงกว่าความถี่กำลัง อาจจะมี สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ประสิทธิภาพในการทำงานที่ความถี่ประมาณ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ มีความถี่สูงกว่า ประสิทธิภาพการทำงานที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ปกติประมาณ 9% นอกจากนี้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มี ขนาดเล็กน้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก การทำงานที่ความถี่สูง ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ สามารถนำตัวเก็บประจุมาใช้เป็นค่า รีแอแกนซ์เพื่อจำกัดกระแสในวงจรได้ การสูญเสียของตัวเก็บประจุมีค่าน้อยกว่าขดลวดเหนี่ยวนำ มากเมื่อพิจารณาที่สภาวะการทำงานเดียวกัน เนื่องจากหลอดไฟทำงานเพื่อให้แสงสว่างในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือที่พักอาศัย ดังนั้นวงจรบัลลาสต์แกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้อง ใช้ไฟกระแสสลับ 50 เฮิร์ตซ์ จึงจำเป็นที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีวงจรคอนเวอร์เตอร์หลายส่วนซึ่ง ส่วนของวงจรเรียงกระแส (rectifier) เป็นองค์ประกอบแรก และเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุม ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือที่เรียกว่าวงจรดิชชีพเปอร์ (DC chopper) อาจจะถูกนำมาใช้ งาน ส่วนสุดท้ายเป็นตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงรูปคลื่นที่ได้ไม่ จำเป็นต้องเป็นรูปคลื่นไซน์ เรียกวงจรนี้ว่า วงจรอินเวอร์เตอร์ อย่างไรก็ตาม วงจรอินเวอร์เตอร์มี หลายรูปแบบ ทั้งอินเวอร์เตอร์ชนิดโหมดการสวิตช์ (switched-mode inverter) และชนิดรีโซแนนซ์ (resonant inverter) ก็ได้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีข้อดีและข้อเสียสรุปโดยสั้น ๆ คือ บัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์สามารถลดความสูญเสียประมาณ 10 - 12 วัตต์ต่อหลอดเมื่อเทียบกับบัลลาสต์ธรรมดา แต่จะมีราคาแพงกว่าสำหรับระยะเวลาการคืนทุน และเห็นผลประหยัดที่จะได้รับนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดไฟ

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของประเทศไทย (220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์) มีความแตกต่างจากของ สหรัฐอเมริกา (120 โวลต์ 60 เฮิร์ตซ์) องค์ประกอบของวงจรบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกย่อมมีความ แตกต่างกัน เพื่อให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และให้มี

ความเหมาะสมกับสภาวะการใช้งานในประเทศไทย การออกแบบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ทำงานที่ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ของประเทศไทยโดยเฉพาะ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาโครงสร้าง การทำงาน และวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก
2. ออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ T8
3. ออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมาทดแทนหม้อแปลงชนิดขดลวด
4. ศึกษาความถี่ปฏิบัติงานสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์
5. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก โดยมุ่งเน้นการลดกำลังสูญเสีย และทำให้เกิดประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูงสุด

1.3 ขอบเขตของเบื้องต้น

การศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าในประเทศไทย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกเพื่อลดกำลังงานสูญเสียที่ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (36 วัตต์ T8)
2. เปรียบเทียบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดขดลวด

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์
2. ศึกษาวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกตามงานวิจัยที่มีก่อนหน้านี้ และนำมาเป็นต้นแบบของการออกแบบพัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้
3. วิเคราะห์แบบจำลองวงจรสมมูลทางไฟฟ้า ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยโปรแกรม PSIM ตามที่ได้ศึกษาเพื่อคาดการณ์ถึงผลการทำงานของวงจรในเบื้องต้น

4. ออกแบบสร้างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ สำหรับการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ T8
5. ทำการทดสอบ และปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์
6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากวงจรการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้กับประเทศไทย
2. องค์ความรู้ด้านการศึกษาออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการทดแทนบัลลาสต์ชนิดหลอด

1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท และ 3 ภาคผนวก มีดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงที่มา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน รวมทั้งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทศวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อธิบายความเป็นมา และการพัฒนาที่ได้นำเสนอจากนักวิจัยที่ผ่านมา รวมทั้งอธิบายชนิดของวงจรบัลลาสต์ที่นำมาใช้ในการขับหลอด ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงวงจรบัลลาสต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปรากฏในงานตีพิมพ์เผยแพร่ส่งผลให้เกิดเป็นองค์ความรู้ในการศึกษาออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์สำหรับงานวิจัยนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ ถัดจากนั้นได้อธิบายหลักการทำงานของแต่ละโหมดการทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งสมการการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าตามทฤษฎีของ Mason ของทั้ง 3 โหมด

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบ และสร้างบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ จากองค์ความรู้ที่ได้จากบทที่ 1 นำมาประยุกต์ออกแบบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ภาคเดี่ยว และหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ การสันตามรัสมิแบบ 2 ชั้น วิธีการค้นหาพารามิเตอร์ที่สำคัญของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ด้วยจินเนติกอัลกอริทึมโดยมีวัตถุประสงค์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับประเทศไทยที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ และนอกจากนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์พื้นที่ขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรคของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราส่วนพื้นที่โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ทางด้านขาเข้า และพื้นที่อิเล็กทรอนิกส์โทรคขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน

บทที่ 5 ทำการทดสอบวงจรบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริกภาคเดียวขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ และวัดเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้ากับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายตามท้องตลาดพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 6 เป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาสร้างหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกให้มีความสามารถในการขับเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้นในอนาคต

ภาคผนวก ก. เป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบทางด้านไฟฟ้าของบัลลาสต์ไฟโซอีเล็กทริก และบัลลาสต์ชนิดอื่น ๆ

ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการของหม้อแปลงไฟโซอีเล็กทริกแต่ละชิ้นงาน

ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการประยุกต์ใช้สารไพโอโซอิเล็กทริกมาสร้างเป็นหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกนั้นได้รับความสนใจมากเนื่องจากมีข้อดีมากกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบดั้งเดิมซึ่งทำมาจากแม่เหล็กไฟฟ้าหลายประการ อาทิเช่น มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานที่สูง มีขนาดเล็ก และเบาจึงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก โดยทั่วไปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบอยู่เสมอ เพื่อใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้า และควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าเหมาะสมต่อการใช้งาน หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่จะทำมาจากขดลวดตัวนำแกนเหล็ก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กส่วนใหญ่มักมีปัญหาเรื่องขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า ความสูญเสียพลังงาน มักเกิดขึ้นได้ง่าย อาทิ จากการสูญเสียอันเนื่องมาจากขดลวด ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจในงานวิจัยหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกเพื่อสามารถลดขนาดให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมได้หลายเท่า และมีน้ำหนักเบา ดังนั้นในบทนี้เสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริก โดยเฉพาะงานวิจัยที่ตีพิมพ์การประยุกต์ใช้ขับเคลื่อนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้เป็นผลสำเร็จ

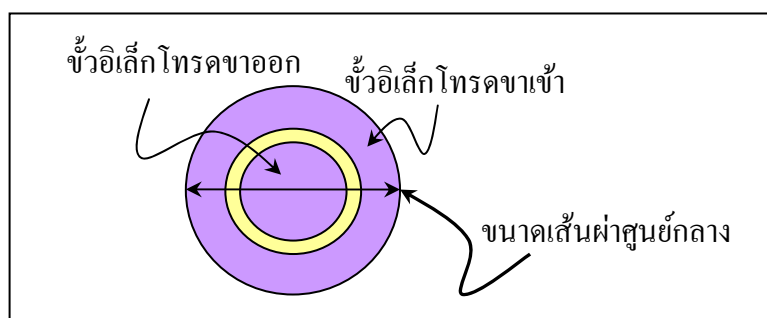
2.2 ปรัทัศนัวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ความตื่นตัวในการพัฒนาหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกมีมากขึ้น การออกแบบประยุกต์ใช้หม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้นมีรายงานการตีพิมพ์ปรากฏของ Choi, Lee, and Cho (1998) เสนอการออกแบบหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ ในงานวิจัยนี้วัตถุประสงค์คือการแก้ไขตัวประกอบกำลัง (power factor correction: PFC) ด้วยการสร้างหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกแทนหม้อแปลงชนิดแกนเหล็กในวงจรบัลลาสต์สำหรับขับเคลื่อนหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยออกแบบวงจรแบบเพิ่มกำลังสถานะเดียว (single-stage charge-pump) ร่วมกับหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริก โดยมุ่งประเด็นของวงจรการแก้ตัวประกอบกำลังเพื่อปรับปรุงข้อด้อยของวงจรชนิด voltage-source ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้จัดสร้างต้นแบบของหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกจากการทดลองจริงซึ่งขึ้นอยู่กับระดับพลังงานกระตุ้น ผลการจำลอง และผลการทดลองจริงเป็นไปตามทฤษฎี ในรายงานการตีพิมพ์

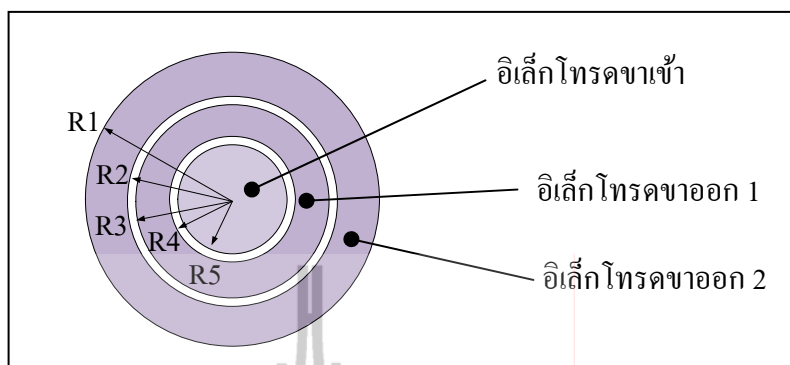
ต่อมา Loaratanakul, P., et al (2002) เสนอการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ (unipolarized disk-type) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การพิจารณาปัจจัยต่อการเลือกสารไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับสร้างเป็นหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกกำลังสูง จากผลการทดสอบพบว่า สารประกอบไฟโอโซอิเล็กทริกที่มีส่วนผสมระหว่างสารเลดแมงกานีสไนโอเบตและเลดเซอร์โคเนตไทตาเนต (Lead Manganese Niobate – Lead Zirconate Titanate: PMnN-PZT) เป็นสารประกอบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเป็นหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานกล และไฟฟ้าที่ดี (Mechanical Quality Factor: Q_m)

ในงานตีพิมพ์ของ Jang et al (2004) เสนอการขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กแบบใหม่ด้วยหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 14 28 และ 35 วัตต์ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม (T5) และได้มีการพัฒนาทดสอบกับโหลดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 32 วัตต์ ชนิดหลอดผอม เนื่องจากความต้องการบัลลาสต์ขนาดเล็ก เพื่อมาเติมเต็มการออกแบบตามแนวโน้มของการทำให้มีขนาดเล็กที่สุด เข้ามาแทนที่บัลลาสต์ชนิดสนามแม่เหล็กที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด มีความถี่ปฏิบัติการที่ 50 – 60 เฮิร์ตซ์ จะเกิดอาการรูปที่สามารถสังเกตได้ มีการสูญเสียสูง เกิดขดคลื่นกว้าง และมีน้ำหนักรมาก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาลำโพงนี้ ด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกสชนิดใหม่ซึ่งมี วงจรแปลงไฟ (rectifier) ทำงานที่แรงดันไฟสูงได้อย่างแม่นยำ (active power corrector) อินเวอร์เตอร์แบบกรองสัญญาณครึ่งคลื่นต่อแบบอนุกรม (series resonant half bridge inverter) และหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก เพื่อใช้ในการขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ 35 วัตต์ (T5) รูปแบบชนิดการสั่นของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างอิเล็กโทรดแบบวงแหวนมีแรงดันไฟฟ้าขาเข้าอยู่ที่วงแหวนด้านนอก และมีอิเล็กโทรดแบบจุด (ring dot) สำหรับแรงดันไฟฟ้าขาออกอยู่ด้านใน การออกแบบโครงสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีขนาด 27x27x2.5 มม. โดยการกดขึ้นรูปด้วยวิธี cold isostatic pressing การทดสอบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดนี้ได้มีการให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า (input region) ที่มีอิเล็กโทรดแบบวงแหวน และบริเวณด้านขาออกที่มีอิเล็กโทรดแบบจุดขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ 35 วัตต์ (T5) ได้เป็นผลสำเร็จ ผลการทดสอบขับโหลดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 25 นาที มีตัวประกอบกำลัง (power factor) เท่ากับ 0.95 มีประสิทธิภาพด้านกำลัง 90.7% และให้ผลกำลังปรากฏ 37.53 วัตต์ และมีประสิทธิภาพ 92% เมื่ออุณหภูมิขึ้นสูงถึง 25 องศาเซลเซียส และในงานวิจัยของ Eric et al. (2005) ได้นำเสนอการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 32 วัตต์ โดยต้องการแรงดันไฟฟ้าในการจุดชนวนไส้หลอดเริ่มต้นสูง (ignition) แต่ใช้แรงดันไฟฟ้าขณะทำงานลดลง ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมี (Radial Vibration Mode) มีประสิทธิภาพ 90% และมีความสามารถในการตอบสนองของสวิตช์ไฟฟ้าตกรวมสวิตช์เป็นศูนย์ (zero voltage switching) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนในงานวิจัยของ Ribas et al. (2006)

นำเสนอการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์คลาสซี ซึ่งเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้มอสเฟต จำนวน 1 ตัว ร่วมกับหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกในการขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อช่วยลดจำนวนอุปกรณ์ในวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกส่งผลให้มีขนาดเล็กลงแต่ยังคงมีประสิทธิภาพการทำงานสวิตช์ไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์เป็นศูนย์ (zero voltage switching) และมีการกระเพื่อมของสัญญาณไฟต่ำ โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิดการล้นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกที่ออกแบบในงานวิจัยนี้สามารถลดค่าฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นกับระบบได้ งานตีพิมพ์ที่น่าสนใจของ Laoratanakul, P. (2007) เสนอการออกแบบไฟโอโซอิลิกทริกที่สร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิดการล้นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ (unipole) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 23.50 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร เป็นหม้อแปลงแบบ step up โดยออกแบบให้ป้อนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ขั้วเล็กโทรดด้านวงนอก และแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ขั้วเล็กโทรดตรงกลางด้านใน ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของความสัมพัทธ์ของพื้นที่ระหว่างอิเล็กโทรดขาเข้า และขาออกต่อคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น การเปรียบเทียบความต่างศักย์ ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นขณะการใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ และค่าของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพทางด้านกำลังไฟฟ้าของด้านขาเข้า และขาออก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกจะให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกสูงสุดจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานโหลดที่มาต่อ และพบว่าสัดส่วนของพื้นที่อิเล็กโทรดระหว่างขาเข้าและขาออก มีผลต่อคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก โดยที่สัดส่วนของพื้นที่อิเล็กโทรดระหว่างขาเข้า และขาออกมีค่า 6.47 สามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชิ้นอื่นที่มีสัดส่วนของพื้นที่อิเล็กโทรดน้อยกว่า และยังพบว่าเมื่อใช้ค่าความต้านทาน 800 โอห์ม มาทดสอบจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดมากกว่า 90% และมีอัตราส่วนขยายแรงดันเท่ากับ 2 เท่า ซึ่งให้ค่าความเข้มข้นด้านกำลังของวัสดุมากกว่าหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกชนิดโรเซนถึง 10 เท่า และประสบผลสำเร็จในการประยุกต์ขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 8 วัตต์ ได้เป็นผลสำเร็จดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกในงานวิจัยของ Laoratanakul, P. (2007)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกมีขั้วอเล็กโทรดหลายชั้น (Guo et al (2007))

รายงานตีพิมพ์เผยแพร่ต่อมาพบว่า Shine (2007) นำเสนอวิธีการจำลองสมการการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกที่มีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นดิสก์ สำหรับวงจรสมมูลได้ใช้แบบทั่วไปมาทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เช่น อัตราส่วนการขยาย อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต และประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริก สามารถหาได้จากการจำลองผลเปรียบเทียบเมื่อใช้ขนาดของโหลดสูงสุด และขนาดของโหลดที่เหมาะสมที่สุด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบสมการเพื่อทำการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริก และเป็นข้อมูลสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบพารามิเตอร์ที่สำคัญให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตในงานวิจัยของ Guo et al (2007) เสนอการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทอร์โดยมีโครงสร้างแบบแผ่นดิสก์ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาดัดแปลงรูปร่างของหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกโดยให้มีขั้วอเล็กโทรดขาเข้าอยู่ตรงกลางสุด และขั้วอเล็กโทรดขาออกอยู่ด้านนอกซึ่งมีอยู่หลายส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกที่มีด้านขาออก 2 ส่วน และ 3 ส่วนที่มีรูปร่างของขั้วอเล็กโทรดต่างกัน ผลการวิเคราะห์ และทดสอบสรุปได้ว่าอัตราขยายแรงดันด้านขาออก 1 และ 2 มีค่า 1.17 และ 0.69 ตามลำดับ และให้กำลังไฟฟ้าด้านขาออก 1 และ 2 มีค่า 12.1 วัตต์ และ 5.1 วัตต์ตามลำดับ ที่แรงดันขาเข้า 300 Vpp ซึ่งจะเห็นได้ว่าหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกชนิดนี้สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งแบบ step up และ step down ในตัวเดียวกัน ในงานวิจัยของ Alonso, Ordiz, and Costa (2008) เสนอวิธีการควบคุมการขับหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกแบบใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างพัฒนาประสิทธิภาพวงจรจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่งให้กับหม้อแปลงไฟโอโซอเล็กทริกเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทำงานที่สีกดาไฟฟ้าตกคร่อมสวิตซ์เป็นศูนย์ โดยเสนอวงจรควบคุมการทำงานของวงจรการสวิตซ์แบบวงปิด ผลการทดสอบวัดเฟสระหว่างกระแสโชนันซ์ของ

หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ และความถี่การสวิตช์ สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนสัญญาณควบคุมแบบอัตโนมัติเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานได้สูงสุด

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยการประยุกต์ใช้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์กับอุปกรณ์ชนิดอื่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงแรงดันของวงจร และมีขนาดเล็กกะทัดรัด ดังรายงานวิจัยของ Toshiyuki et al (1997) เสนอการประยุกต์ใช้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดการสั่นตามแนวยาว (longitudinal vibration mode) ขนาด $5 \times 8 \times 30$ มิลลิเมตร เป็นตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC-adaptor) ขนาด 20 วัตต์ ให้กับคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยการออกแบบให้มีแรงดัน กระแส และความถี่ทางด้านขาออก เท่ากับ 14 โวลต์ 1.4 แอมแปร์ และ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ในงานวิจัยของ Rashed et al (2006) นำเสนอการประยุกต์ใช้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กโดยการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ (contour) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วอาศัยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขาเข้า และออก จากผลการทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และออกมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

2.3 ชนิดของบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

บัลลาสต์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่หลอดไฟควบคุมปริมาณกระแสให้มีค่าคงที่ และจำกัดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด ทำให้หลอดเกิดความสว่างได้ บัลลาสต์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ บัลลาสต์ชนิดหลอดแบบแกนเหล็ก เช่น บัลลาสต์ชนิดหลอดแบบแกนเหล็ก บัลลาสต์ไฮเพาเวอร์แฟลคเตอร์แบบแกนเหล็ก บัลลาสต์สูญญากาศ บัลลาสต์สูญญากาศแบบไฮเพาเวอร์แฟลคเตอร์ บัลลาสต์ติดไว (rapid start) ไฮเพาเวอร์แฟลคเตอร์ และบัลลาสต์อีกชนิดคือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการออกแบบโดยมีการนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ ซึ่งจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากขึ้น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีหน้าที่เช่นเดียวกับบัลลาสต์แบบหลอด แต่จะมีการนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ค่าระหว่าง 25 - 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อป้อนให้แก่หลอดฟลูออเรสเซนต์ ความถี่ระหว่าง 25 - 50 กิโลเฮิร์ตซ์ จะป้องกันการรบกวนต่อความถี่เสียงและความถี่วิทยุ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์บัลลาสต์ที่มีแนวโน้มการใช้งานเพื่อเข้ามาทดแทนบัลลาสต์ชนิดหลอด เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถประหยัดพลังงาน โดยช่วยประหยัดไฟได้ถึง 10 วัตต์ต่อหลอด และการใช้งานยังไม่ต้องพึ่งพาสถาปัตยกรรม จึงทำให้ระบบการทำงานของไฟฟ้าราบรื่นขึ้น และลดการสูญเสียอื่น ๆ รวมทั้งสามารถใช้ได้กับไฟฟ้าทั้งกระแสสลับที่มีการเปลี่ยนแปลงของช่วงแรงดันที่กว้าง

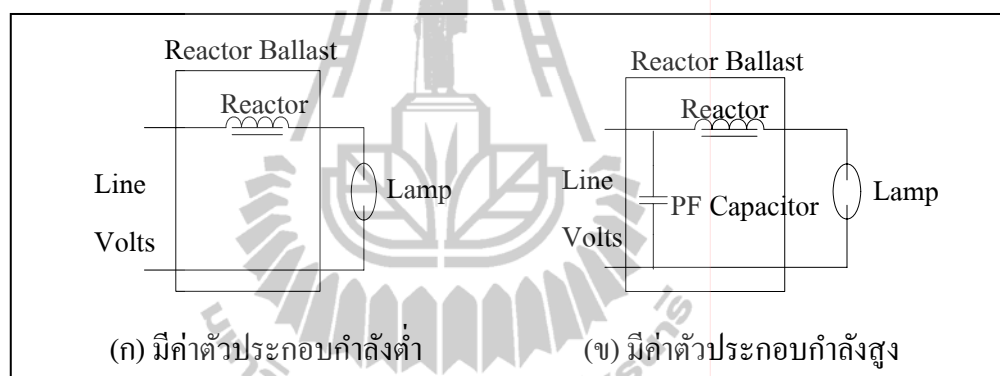
(ตั้งแต่ 210 - 260 โวลต์) และยังสามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันเหมาะสมโดยไม่ต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์อีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติที่ดีเหล่านี้เป็นความแตกต่างที่เด่นชัดจากบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ปัจจุบันบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นพบว่ายังมีราคาค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก โดยอาจสูงกว่าถึง 10 เท่า ในรุ่นที่คุณภาพสูง อย่างไรก็ตามหากมองในระยะยาวนั้นจะมีความคุ้มค่ากับการใช้งานมาก

2.3.1 บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก

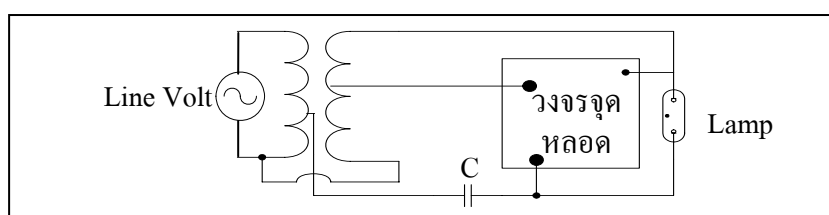
เป็นบัลลาสต์ชนิดมีตัวเหนี่ยวนำซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรสตาร์ทสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป โดยจะมีสตาร์ทเตอร์ที่ทำงานร่วมกับบัลลาสต์เพื่ออุ่นไส้หลอด และจุดหลอดให้ติดสว่างเมื่อเริ่มจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก จะมีกระแสไหลผ่านไม่มากนักเนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ยังไม่สามารถนำกระแส แรงดันแหล่งจ่ายเกือบทั้งหมดจะตกคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ และสตาร์ทเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์ควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิต่ำ (สวิตช์แบบเมทัล) สตาร์ทเตอร์จะต่อวงจรและทำให้กระแสไหลผ่านไส้หลอด ทำให้ไส้หลอดร้อนขึ้น และปล่อยอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะนำกระแสออกมารอบ ๆ ไส้หลอดทั้งสอง เมื่อสวิตช์ควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิต่ำต่อวงจรจะทำให้ก๊าซภายในหลอดไม่นำกระแส และเมื่อสวิตช์ควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิต่ำจะเย็นลง และตัดวงจร ทำให้กระแสที่ไหลผ่านบัลลาสต์และไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ลดลงอย่างรวดเร็ว บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันสูงพอที่จะจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ให้ติดสว่างได้ เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างอิมพีแดนซ์ของหลอดก็จะลดลง ทำให้แรงดันคร่อมหลอดลดลง และกระแสไหลผ่านหลอดเพิ่มขึ้น บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กจะช่วยควบคุมให้กระแสผ่านหลอดมีค่าตามการออกแบบ และเนื่องจากโวลต์ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าในขณะที่มีสถานะเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำมากจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุในการแก้ค่าตัวประกอบกำลัง ในขณะที่หลอดอยู่ในสถานะเสถียรรูปคลื่นสัญญาณที่หลอดและกระแสที่ไหลผ่านหลอด จะมีรูปทรงที่ไม่ลดทอนมากนัก ที่ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ แต่เมื่อต่อตัวเก็บประจุดังกล่าวเข้าไปแล้วอัตราส่วนรูปคลื่นสัญญาณกระแสลดทอนจะมากขึ้น (%THD มากกว่า 25%) โดยมีรายงานวิจัยพัฒนางจรเพื่อลดกำลังสูญเสียของการสวิตช์ที่ตัวมอสเฟตกำลังโดย วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์ (2549) ในงานวิจัยนี้ใช้โครงสร้างวงจร RCD สแน็บเบอร์ ทำหน้าที่ในการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นไปได้สูงขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่มอสเฟตกำลังจะหยุดนำกระแสนั้นกระแสจะลดลงอย่างช้า ๆ ในขณะที่แรงดันที่ตกคร่อมเมสเฟตกำลังเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันอินพุต นอกจากนี้แล้วยังช่วยลดความเครียดในอุปกรณ์สวิตช์ขณะเริ่มนำกระแสจากผลของ di/dt และลดความเครียดในอุปกรณ์สวิตช์ในขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสจากผลของ dv/dt ไดโอดสแน็บเบอร์ในตัวของมอสเฟตกำลัง เมื่อมอสเฟตกำลังเริ่มหยุดนำกระแส

จะทำให้ระดับแรงดันตกคร่อมมอสเฟटकำลังมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ไดโอดไบอัสไปหน้า ขณะเดียวกันตัวเก็บประจุ ทำการชาร์จประจุ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันตกคร่อม มอสเฟटकำลังถูกกำหนดโดยค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ หากค่าความจุไฟฟ้ามีค่าสูงมาก จะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันตกคร่อมมอสเฟटकำลังเป็นไปอย่างเหมาะสม บัลลาสต์ ขดลวดแกนเหล็กที่มีผลิตใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.3.1.1 บัลลาสต์แบบขดลวด (reactor ballast) ซึ่งมีลักษณะเหมือนบัลลาสต์ธรรมดา ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ เป็นการนำขดลวดมาพันรอบแกนเหล็กที่เป็นแผ่นบาง ๆ หลายแผ่นเรียง ซ้อนกันแสดงได้ดังรูปที่ 2.3(ก) และมีการพัฒนางจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นดังรูป ที่ 2.3(ข)



รูปที่ 2.3 วงจรบัลลาสต์ชนิดขดลวดเหนี่ยวนำ (Choi et al., 2005)



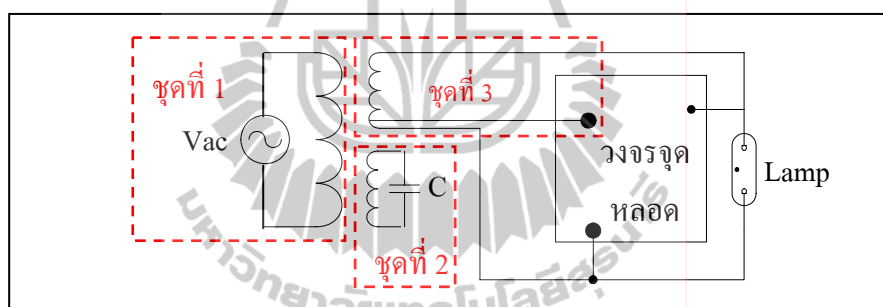
รูปที่ 2.4 บัลลาสต์แบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบใช้หม้อแปลงขดเดียว (ธนบูรณ์ ศศิภาณุเดช, 2533)

2.3.1.2 บัลลาสต์แบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (regulator ballast) มีใช้กันอยู่ 2 ชนิดคือ

1. บัลลาสต์แบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบใช้หม้อแปลงขดเดียว (auto regulator ballast) เป็นบัลลาสต์ที่สร้างขึ้นมาโดยอาศัยหลักการหม้อแปลงขดลวดเดียวเพื่อช่วยให้

บัลลาสต์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดไฟให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสายอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ โดยมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นวงจรจุดหลอดที่ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าสูงลักษณะเป็นพัลส์ เพื่อไปใช้ในการขับหลอด แต่จะเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อให้ก๊าซภายในหลอดเกิดการแตกตัวและสามารถจุดหลอดได้ดังวงจรในรูปที่ 2.4

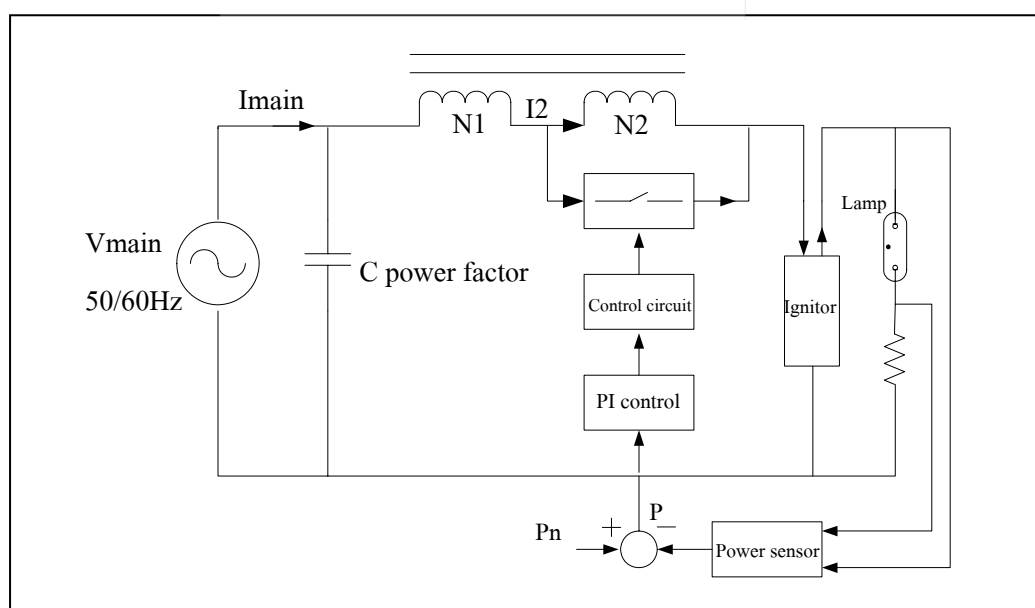
2. บัลลาสต์แบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยแม่เหล็ก เป็นการออกแบบใช้ตัวเก็บประจุเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่หลอด ซึ่งรักษาระดับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าในสายส่งได้ถึง $\pm 10\%$ บัลลาสต์ชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด แยกออกจากกัน ลักษณะการต่อวงจรใช้งานบัลลาสต์ร่วมกับหลอดดังรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยชุดขดลวดปฐมภูมิ 1 ชุด และชุดขดลวดทุติยภูมิ 2 ชุด ขดลวดชุดที่ 1 มีตัวเก็บประจุมารวม เพื่อทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้คงที่ ส่วนชุดที่ 2 จะต่อเข้ากับหลอด และตัวจุดหลอด และขดลวดทางด้านทุติยภูมิซึ่งจะทำงานอยู่ในช่วงแกนเหล็กที่มีสภาพแม่เหล็กอิ่มตัว



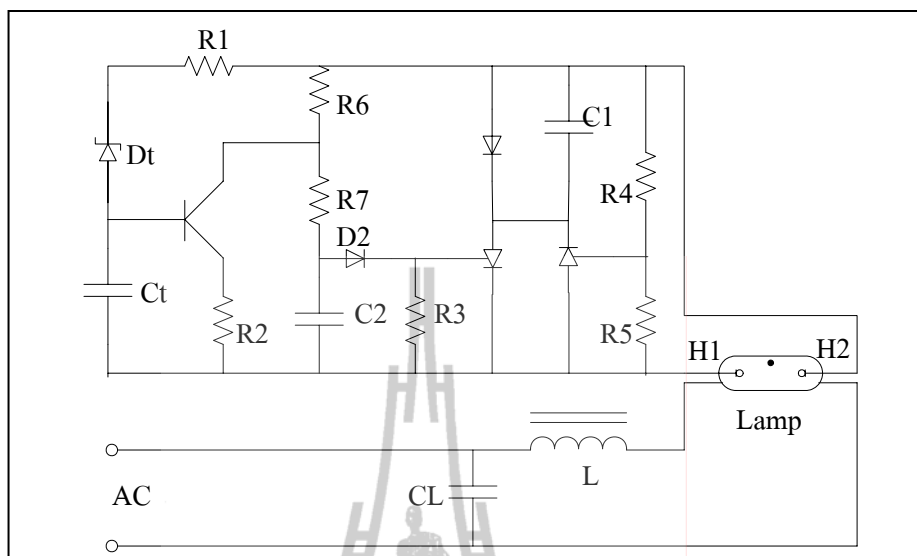
รูปที่ 2.5 การต่อหลอดไฟกับบัลลาสต์แบบขดลวดแบบรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยแม่เหล็ก (ธนบูรณ์ ศศิภาณุเดช, 2533)

นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยพัฒนาบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กเพื่อวัตถุประสงค์ให้มีคุณภาพดีขึ้น Kaiser, Chabu, and Lourenco (1997) นำเสนอออกแบบวงจรบัลลาสต์แบบผสม (hybrid ballast) ด้วยการออกแบบวงจรควบคุมมูฟเฟส เชื่อมต่อกับขดลวดบัลลาสต์ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของหลอด สัญญาณการสวิตช์สถิต (static switch control) จะทำงานได้โดยมีวงจรป้อนกำลังกลับในรูปของกระแสที่ใช้ของหลอดไฟ แล้วมีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร ในระบบนี้จะช่วยลดพลังงาน และช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอดไฟได้ การออกแบบวงจรนี้ประกอบด้วยขดลวดบัลลาสต์จำนวน 2 ชุด และมีชุดสวิตช์แบบสารกึ่งตัวนำเพื่อสวิตช์ให้ขดลวดชุดหนึ่ง (N2) ทำงานส่งผ่านแรงดันขณะหลอดติด ส่วนขดลวดอีกชุด (N1) จะลัดวงจร ดังแสดงแบบบล็อกไดอะแกรมบัลลาสต์แบบผสมดังรูปที่ 2.6 ในปีถัดมามีผู้เสนอออกแบบ

โครงสร้างบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก Kim and Nam (1998) โดยใช้แกนเหล็กชนิด G-9 (มีรูปร่างแกนเหล็กแบบรูปตัว H) และใช้เส้นลวดใหญ่ขึ้น (0.5 มิลลิเมตร) และวงจรการจุดไส้หลอดแบบใหม่โดยการใช้ตัวสตาร์ทเตอร์ชนิดสารกึ่งตัวเพื่อให้มีการประหยัดพลังงานมากขึ้น ดังแสดงในรูป 2.7 โดยที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับบัลลาสต์คั่นนั้นกระแสจะไหลผ่านขดลวด L และขั้วหลอด (H1, H2) และขาร์จประจุเข้าตัวเก็บประจุ C1 ในตัวสตาร์ทเตอร์แบบสารกึ่งตัวนำผ่านซีเนอร์ไดโอด ถ้าแรงดันซีเนอร์ไดโอดถึงแรงดันไฟฟ้าเสถียร กระแสจากตัวเก็บประจุคายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ TR กระแสไฟฟ้านี้จะเกิดแรงดันไฟฟ้าบนตัวความต้านทาน R7 เพื่อกระตุ้นให้ตัวไทรสเตอร์ SR1 ทำงาน วิธีการนี้แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงหลังจากผ่านไดโอด D3 ในขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตกคร่อมไทรสเตอร์ SR2 แล้วผ่านไปยังตัวเก็บประจุ C3 วิธีการนี้จะให้กระแสก่อนจุดไส้หลอด (preheating current) ไปยังหลอดประมาณ 0.85 วินาที เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าแบบพัลส์ไปที่ไทรสเตอร์ SR1 และ SR2 ในวงจรที่นำเสนอนี้จะประกอบไปด้วยวงจรประวิงเวลาด้วย D1 C1 TR1 และ R2 ของวงจรพัลส์นาน 0.85 วินาที โดยถ้าการจุดไส้หลอดมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นวงจรจะหยุดการทำงานเองโดยอัตโนมัติซึ่งถือว่าการป้องกัน และประหยัดพลังงานได้อีกด้วย และในงานวิจัยของ Hui et al (2010) เสนอบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กขนาดเล็กมีความสูญเสียต่ำ สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 28 และ 32 วัตต์ T5 ด้วยการใช้ระบบการสตาร์ทแบบอิเล็กทรอนิกส์สตาร์ทเตอร์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดพลังงานสูญเสียของแกนเหล็ก 40% และ 60% สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 และ 36 วัตต์ ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กแบบผสม (Kaiser, Chabu, and Lourenco, 1997)



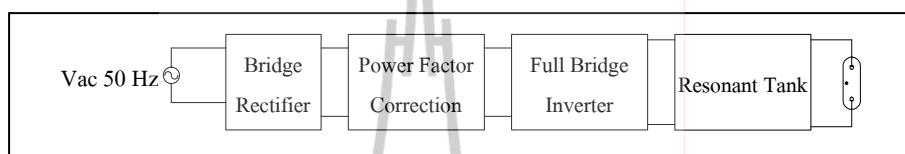
รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมวงจรจุดใส่หลอดชนิดสารกึ่งตัวนำ (Kim and Nam, 1998)

2.3.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

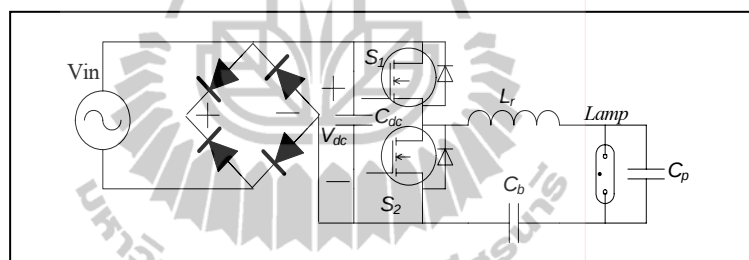
เมื่อมีการอนุรักษ์พลังงานซึ่งหมายถึงการลดต้นทุน ที่สามารถเอาชนะคู่แข่งได้ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ในการเลือกให้เป็นหนึ่งในบรรดาอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน เพราะนอกเหนือจากการประหยัดพลังงานได้สูงแล้วยังคืนกำไรให้กับผู้ลงทุนได้ในอัตราผลตอบแทนที่สูง เพราะหากใช้งานมากเท่าไรก็ยิ่งคืนทุนได้เร็วขึ้นเท่านั้น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่เช่นเดียวกับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก แต่แทนที่จะใช้แผ่นแกนเหล็กพันด้วยขดลวดเพื่อก่อให้เกิดผลทางไฟฟ้า จึงเปลี่ยนมาใช้เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แทน โดยที่หลักการบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำคือ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง 25-50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อป้อนให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นภายในตัวบัลลาสต์จึงบรรจุไปด้วยชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ วงจรเรียงกระแส (bridge rectifier) วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (power factor correction: PFC) วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงเต็มคลื่น (high frequency full bridge inverter) และส่วนสุดท้ายคือ โครงข่ายเรโซแนนซ์ (resonant tank) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.8

วงจรบัลลาสต์จะได้รับไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายจะถูกเรียงกระแส และกรองเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าตรงจ่ายให้กับวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงใกล้เคียงหนึ่งสำหรับวงจรสวิตชิ่งอิเล็กทรอนิกส์ ตัวกำเนิดความถี่จะผลิตสัญญาณความถี่สูง ซึ่งจะขับเคลื่อนตัวทรานซิสเตอร์ให้ทำงานสลับกัน และตัวเก็บประจุพร้อมหลอดทำหน้าที่กำหนดความถี่ และการสตาร์ท บางวงจรอาจใช้หม้อแปลงแรงดันด้านขาออกเป็นตัวควบคุมการสตาร์ท

และการทำงาน บางวงจรอาจจะใช้ได้กับหนึ่งหลอด สามหลอดหรือสี่หลอด เป็นวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปที่มีการต่อเรโซแนนซ์อินเวอร์เตอร์แบบอนุกรม-ขนานครึ่งคลื่น สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีขดลวด L_r เป็นตัวกำหนดกระแส และทำงานสัมพันธ์กับตัวเก็บประจุ C_p ที่ต่อขนานกับวงจรเพื่อกำหนดแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มสำหรับหลอดอย่างไรก็ตามการใช้ขดลวด L_r จะทำให้นาของบัลลาสต์ใหญ่ขึ้น และมีราคาสูงขึ้น (Choi et al., 2005) ดังวงจรรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

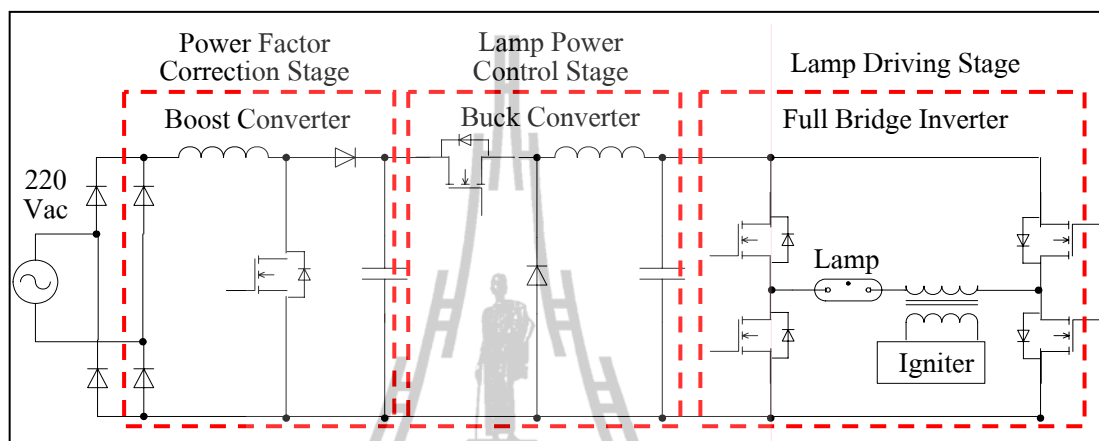


รูปที่ 2.9 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Choi et al., 2005)

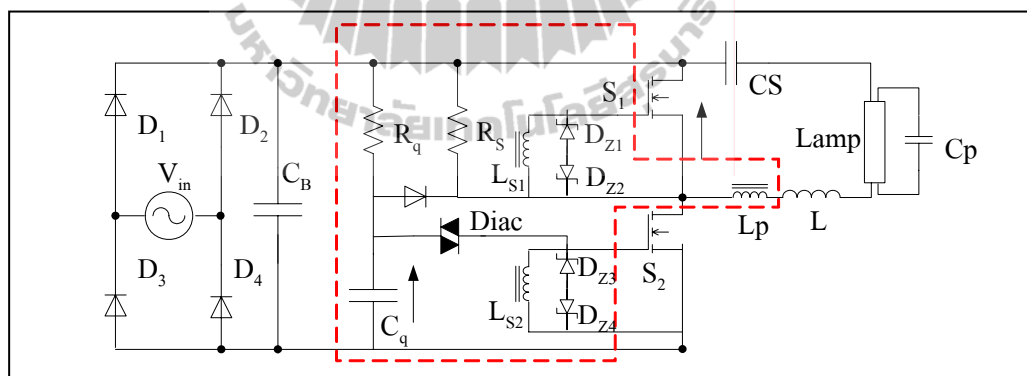
เนื่องจากปัจจุบันมีผู้สนใจพัฒนางจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มากขึ้นจึงมีงานวิจัยการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก และเนื่องจากสิ่งท้าทายให้นักวิจัยพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตอบสนองในช่วงความถี่สูง ซึ่งจะทำให้ลดการใช้พลังงาน และเพิ่มขีดการนำไปใช้กับกำลังไฟฟ้าสูง ในบทนี้จึงนำเสนองานรายงานการวิจัยที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

Huang et al (2007) นำเสนอวงจรควบคุมกำลังสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีการจ่ายความเข้มข้นสูงแบบ 3 ภาค ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนตัวควบคุมแบบบูช (boost pre-regulator) เพื่อชดเชยตัวประกอบกำลัง ตัวแปลงคอนเวอร์เตอร์กระแสตรงแบบ DC/DC buck converter เพื่อควบคุมกระแสของหลอดให้คงที่เป็นผลให้กำลังของหลอดคงที่ และวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่นสำหรับขับหลอดไฟด้วยกระแสความถี่ต่ำแบบพัลส์ การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบ buck มีวงจรควบคุมของกระแสในระบบควบคุมพีไอ (PI-controller) ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้ใช้เทคนิคการตรวจจับการเลื่อนระดับกำลังด้านเอาต์พุต แสดงวงจรดังรูป

ที่ 2.10 ผลการทดสอบพบว่าวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงด้านกำลังเอาต์พุตได้ 0.6% โดยมีประสิทธิภาพทางด้านกำลังสูงกว่า 89.5% ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 220 โวลต์ และมีความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกน้อยกว่า 10%



รูปที่ 2.10 วงจรกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 3 ภาค (Huang et al., 2007)



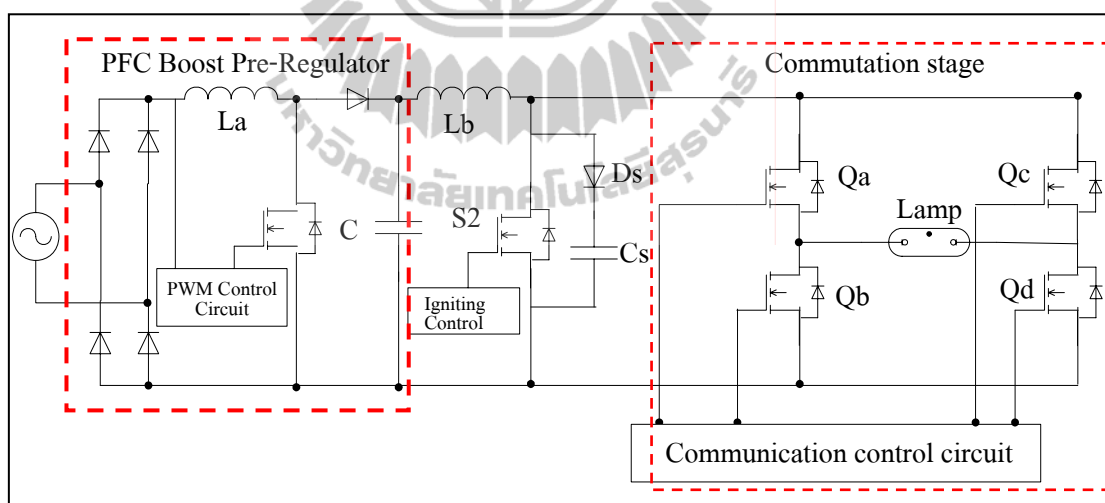
รูปที่ 2.11 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบสร้างสัญญาณด้วยตัวเอง

(Seidel, Bisogno, and Prado, 2007)

Seidel, Bisogno, and Prado (2007) เสนอวงจรการสร้างสัญญาณได้ด้วยตัวเอง (self oscillating command) โดยใช้ระบบควบคุมรีเลย์เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ด้วยวิธีการการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วย Nyquist stability โดยมีวงจรดังในรูปที่ 2.11 ซึ่งมีการทำงานคือ แรงดันไฟฟ้า V_{ab} มีรูปคลื่นแบบพัลส์ ดังนั้นเมื่อวงจรเริ่มทำงานเมื่อป้อนแรงดัน V_{ac} ให้กับวงจรตัวเก็บประจุ C_q จะชาร์จผ่านความต้านทาน R_q ด้วยแรงดันไฟฟ้า V_{bus} อย่างต่อเนื่อง เมื่อแรงดัน V_{cq} เพิ่มสูงขึ้น

มากกว่าแรงดันทำงานของไตรแอก จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้กับมอสเฟต S2 เมื่อกระแสรีโชนั้น ไหลผ่านตัวกรองความถี่ที่ต่ออย่างอนุกรมด้วย CT ทางด้านขดลวดปฐมภูมิ L_p และย้อนกลับผ่านขดลวดทุติยภูมิ ทำให้สวิตช์ S1 และ S2 เกิดการสร้างสัญญาณรูปคลื่นพัลส์จ่ายให้กับหลอดไฟ จากผลการทดสอบขับหลอด 40 วัตต์พบว่าหลอดไฟมีความเสถียรอย่างเป็นที่น่าพอใจ

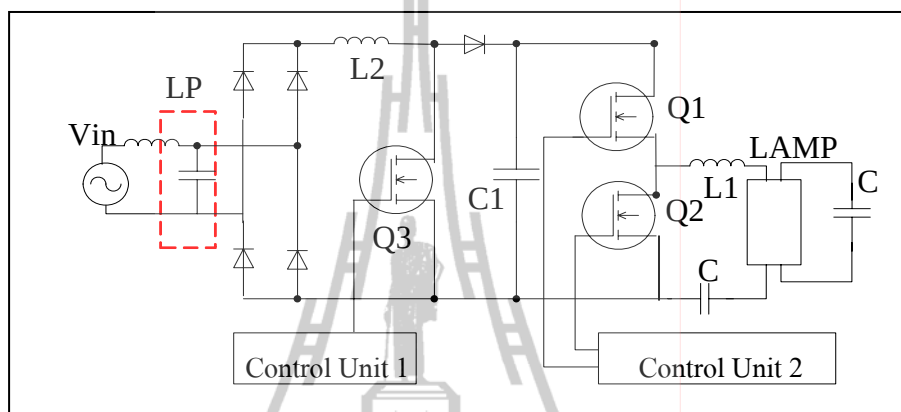
Chang and Hung (2007) นำเสนอวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ 2 ภาค สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสำหรับการจุดไส้หลอดด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงแบบเต็มคลื่นหลังจากที่มีการจุดไส้หลอดแล้วขดลวดเหนี่ยวนำ L_b ในชุดการจุดไส้หลอดจะทำหน้าที่กรองการกระเพื่อมของกระแสซึ่งจะทำให้กระแสจากวงจรชดเชยตัวประกอบกำลังแบบขยายแรงดัน (boost) มีไฟฟ้ากระแสตรงที่ราบเรียบขึ้น สำหรับภาคการเชื่อมต่อบรรบบควบคุม (Communication control circuit) ทำหน้าที่สร้างกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดคองที่ ในวงจรที่ 2.12 มีการทำงานที่สอดคล้องกันของทั้งสองภาควงจร และสามารถปรับคาบการสวิตช์ของมอสเฟตได้ด้วยวงจรควบคุม



รูปที่ 2.12 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเอาต์พุตคองที่ (Chang and Hung, 2007)

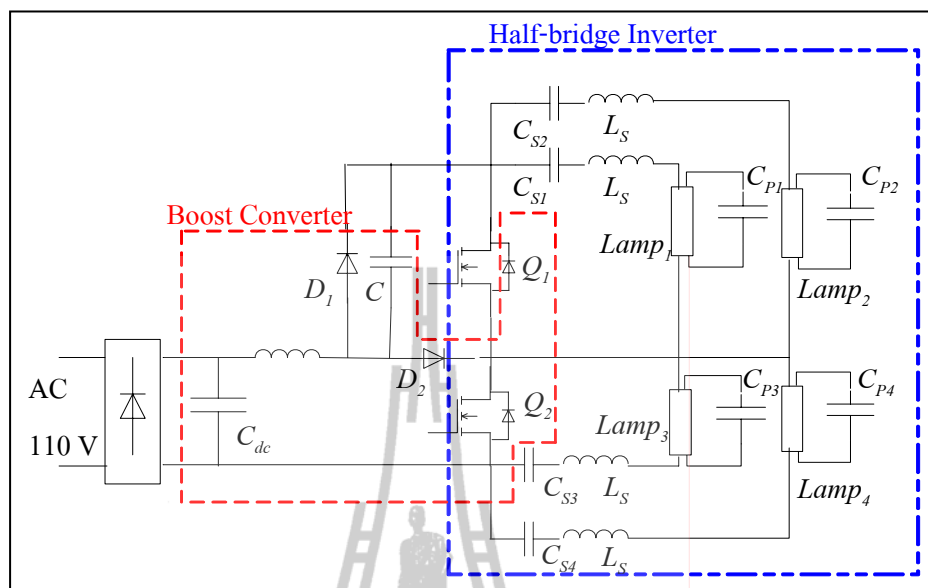
เนื่องจากการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลงเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตแนวโน้มงานวิจัยในระยะ 3 ปีที่ผ่านมาจึงมีการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดเล็กลงดังในรายงานวิจัยเผยแพร่ของ Hidayat et al (2008) เสนอวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ดังในรูปที่ 2.13 เป็นวงจรแรงดันอิสระแบบ 2 ภาค ในวงจรนี้มีการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของเอาต์พุต และมีวงจรส่งสัญญาณป้อนกลับผ่าน C2 เพื่อปรับ

duty cycle ของมอสเฟตเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่เหมาะสมด้วยระบบควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟต Q3 วงจรป้อนกลับจะทำการช่วยปรับปรุงแรงดันของวงจรคอนเวอร์เตอร์ไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์และเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ให้หลอดไฟ

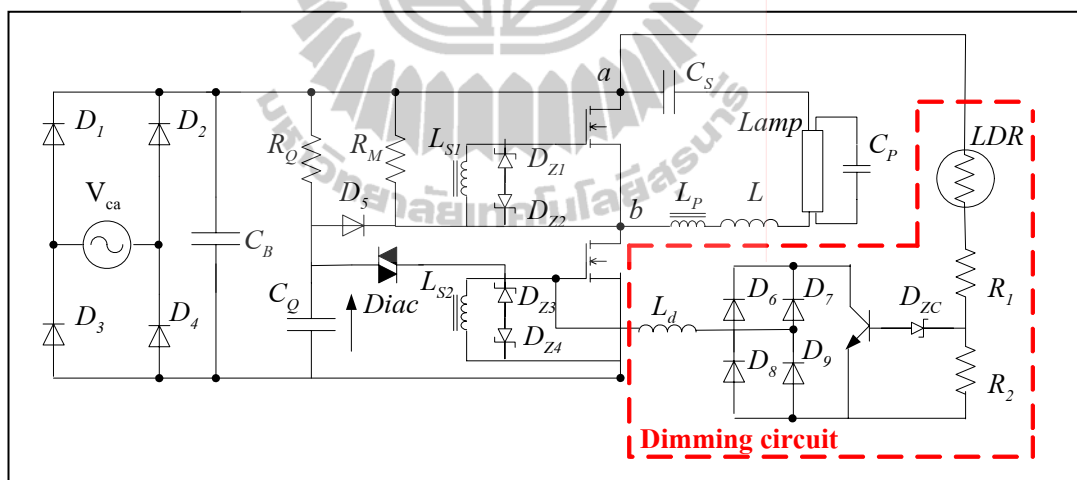


รูปที่ 2.13 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบแรงดันอิสระชนิด 2 ภาค (Hidayat et al., 2008)

ในปีถัดมาพบรายงานวิจัยของ Lu and Shih (2009) เสนอวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลายหลอดชนิดภาคเดียวประกอบด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์แบบโหนดที่ต่อกันอย่างอนุกรม-ขนาน ชนิดการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมครึ่งคลื่นทำหน้าที่ขับหลอด และวงจรขยายแรงดันคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะแบ่งการสวิตช์ของมอสเฟตด้านแรงดันต่ำ และทำหน้าที่ชดเชยตัวประกอบกำลังของวงจร ในวงจรโครงข่ายเรโซแนนซ์มีการออกแบบโดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุเพื่อให้เกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์เป็นศูนย์ และกระแสไฟฟ้าสวิตช์เป็นศูนย์ วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์จะสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงพอในการขับหลอดดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งวงจรขยายแรงดันคอนเวอร์เตอร์จะทำงานทั้งในโหมดต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องด้วยความถี่ที่กำหนดได้ด้วย duty cycle และยังพบรายงานวิจัยวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่น่าสนใจ งานวิจัยของ Lopes et al. (2010) เสนอวงจรบัลลาสต์ไฟฟิโอะอิเล็กทรอนิกส์แบบปรับแสงสว่างได้อัตโนมัติด้วยการติดตั้งเซนเซอร์ตัวต้านทานขึ้นอยู่กับการแสง (lighting dependent resistor: LDR) สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 32 วัตต์ โดยมีวงจรการสร้างความถี่ได้ด้วยตัวเองอีกด้วย ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.15 เมื่อความต้านทาน LDR เปลี่ยนจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของหลอดเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งเกิดจากวงจรป้อนกลับของสัญญาณไฟฟ้าไปยังมอสเฟตในภาคอินเวอร์เตอร์ป้อนแรงดันตามความต้านทานของ LDR ที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.14 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดชนิดภาคเดียว (Lu and Shih, 2009)



รูปที่ 2.15 วงจรบัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์แบบปรับแสงสว่างได้อัตโนมัติ (Lopes et al., 2010)

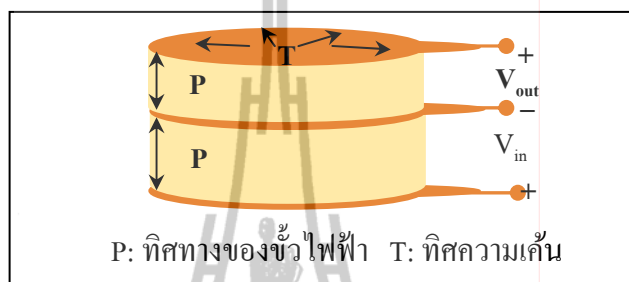
ในมาตรฐาน IEC 60929 แนะนำให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรมีความถี่ด้านออกอยู่ในช่วง 25 - 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อป้องกันการรบกวนต่อความถี่เสียงและความถี่วิทยุ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยสามารถลดกำลังการสูญเสียที่หลอดลดลงมาได้ 10% และยังคงความสว่างเท่ากันเมื่อขับหลอดที่ความถี่ปกติ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับประเทศไทย โดยคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถช่วยประหยัดไฟ และมีข้อดีดังต่อไปนี้

1. ช่วยประหยัดไฟได้ 10 วัตต์ต่อหลอด ไม่ว่าจะใช้กับหลอด 18 32 และ 36 วัตต์ จากเดิมที่กินไฟ 20 35 และ 40 วัตต์ ตามลำดับ (กรณีใช้บัลลาสต์ แกนเหล็กธรรมดา)
2. ประหยัดไฟของเครื่องปรับอากาศได้ประมาณ 3.3 วัตต์ต่อหลอด เนื่องจากอุณหภูมิขณะทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่ำกว่าบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก 40 องศาเซลเซียส เพราะกำลังสูญเสียที่น้อยกว่า
3. ช่วยประหยัดค่าสตาร์ทเตอร์ได้ เพราะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่ใช้สตาร์ทเตอร์
4. ประหยัดหลอดไฟได้เพราะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการควบคุมการจุดหลอดที่แน่นอนกว่า บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กจึงทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีอายุยาวนานกว่าเดิม 20% - 50%
5. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มากกว่า 0.95 ลดการใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่า 80% ทำให้สายไฟและขั้วหลอดมีความร้อนสะสมขณะใช้งานลดลง จึงทำให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น
6. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปิดสวิตช์หลอดไฟจะติดทันทีไม่มีปัญหาของการกระพริบ เนื่องจาก สตาร์ทเตอร์
7. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้แสงที่นุ่มนวล ไม่มีการกระพริบที่ขั้วหลอด ซึ่งจะช่วยถนอมสายตา
8. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถออกแบบให้ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการปรับเปลี่ยนของแรงดันช่วงกว้าง คือ สามารถใช้ได้กับแรงดันที่มีการปรับเปลี่ยน ตั้งแต่ 110 – 230 โวลต์ ทำให้สามารถใช้ได้ดีในพื้นที่ที่มีปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก หรือเกิน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันเหมาะสมโดยไม่ต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์

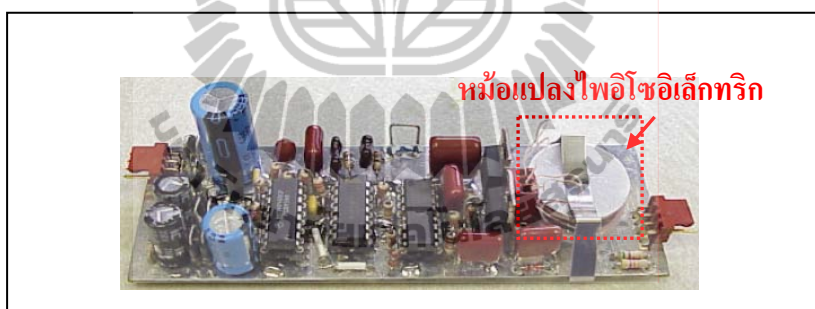
2.3.3 บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก

บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกนี้มีส่วนที่แตกต่างจากบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กคือการเข้าไปแทนที่หม้อแปลงแกนเหล็กด้วยหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก (piezo-transformer: PZT) ซึ่งมีโครงสร้างของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ตามรูปที่ 2.16 โดยมีหน้าที่ขยายแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่สูง มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบาว่าบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กมาก และช่วยลดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของวงจรบัลลาสต์ นำไปใช้ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 35 วัตต์ ใช้ไฟ 120 โวลต์ ความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ ซึ่งพัฒนาโดยนักวิจัยจากอเมริกา (Eric, 2005) มีขนาดประมาณเหรียญ 10 บาท นั้นดังรูปที่ 2.17 การออกแบบวงจรขับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกที่มีการนำเสนอในบทความตีพิมพ์เผยแพร่วงจรอินเวอร์เตอร์มีด้วยกัน 3 ชนิด คือวงจรแบบพุชพูล (push-pull)

ดังรูปที่ 2.18(ก) วงจรแบบครึ่งคลื่น (half-bridge) ดังรูปที่ 2.18 (ข) และวงจรแบบคลาส E (Class-E) ดังรูปที่ 2.18 (ค) จากวงจรทั้ง 3 ชนิดนี้วงจรพื้นฐานที่นำไปประยุกต์ใช้ส่วนมากจะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพหุพลเพื่อให้ได้อัตราส่วนขยายแรงดันมากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่น แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนางจรอินเวอร์เตอร์ทั้งแบบครึ่งคลื่น และแบบคลาส E กันมากขึ้น

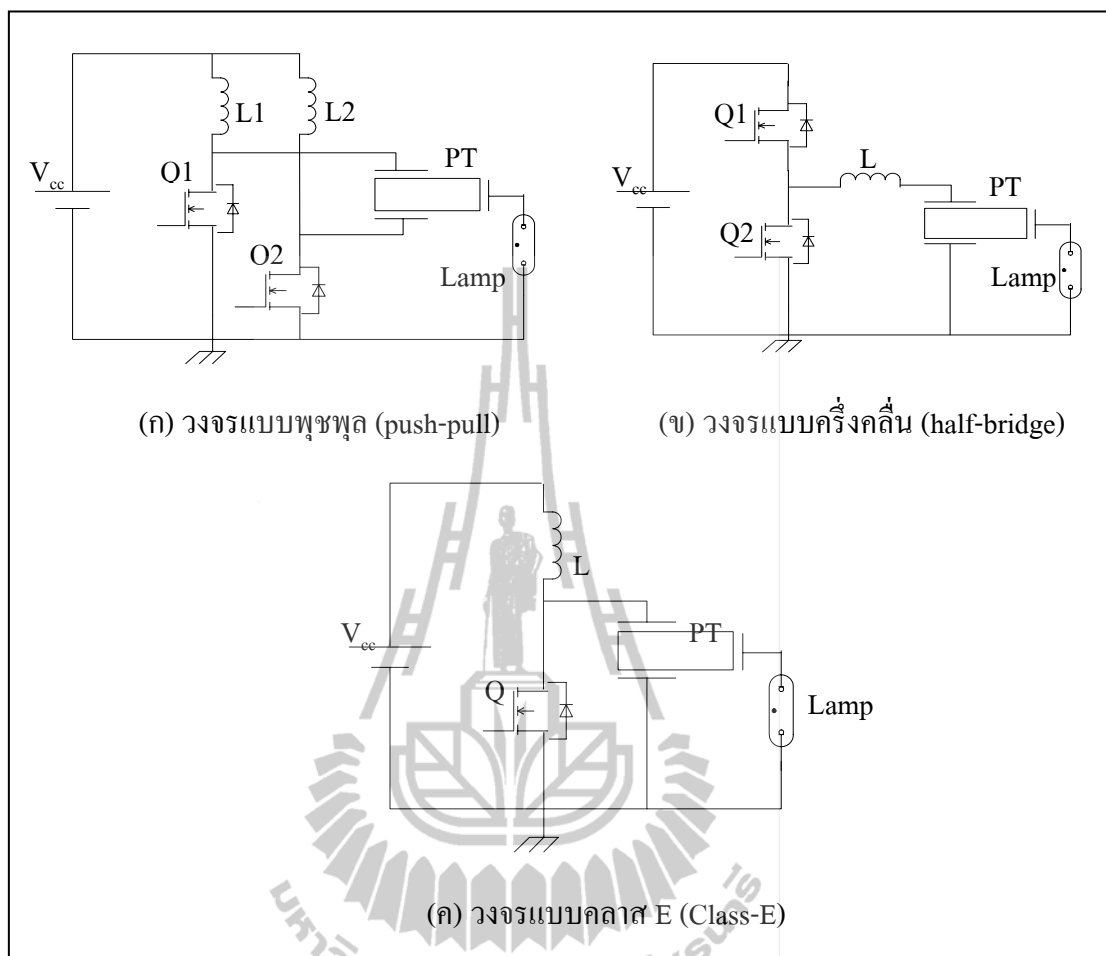


รูปที่ 2.16 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกทำหน้าที่แทนบัลลาสต์

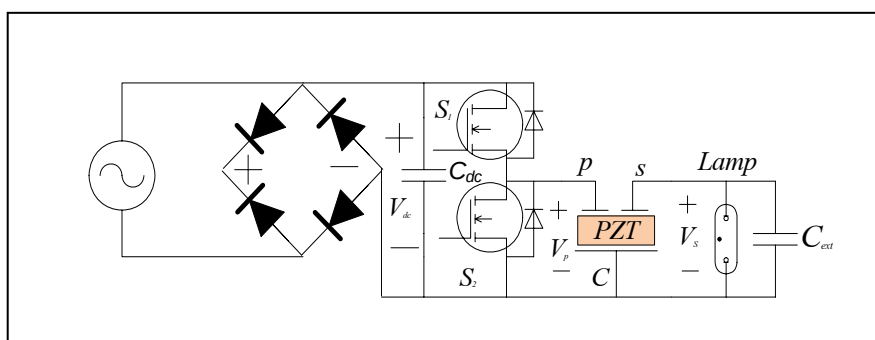


รูปที่ 2.17 ชุดวงจรบัลลาสต์ไฟโซลิตีกริก (Eric, 2005)

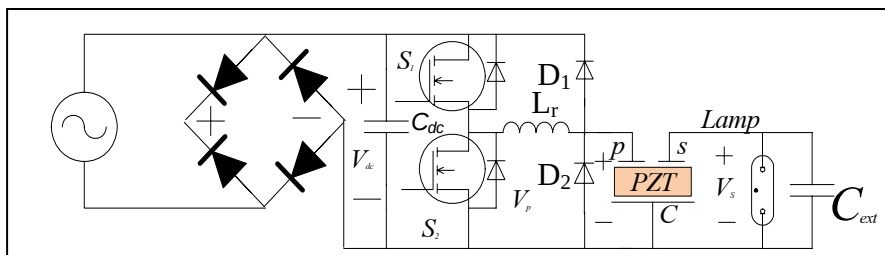
การออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโซลิตีกริกพื้นฐานวงจรอินเวอร์เตอร์แบบพหุพล ดังรูปที่ 2.19 ในงานวิจัยของ Choi et al (2005) ได้ออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบพหุพลสำหรับหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ ๆ มีอัตราการขยายแรงดันน้อยโดยที่ตัวเก็บประจุ C_{ext} ทำหน้าที่อุ่นไส้หลอดก่อนการจุดไส้หลอดเพื่อให้หลอดสามารถติดได้เร็วขึ้นซึ่งใช้ C_{ext} มีค่า 2.2 นาโนฟารัด และยังมีเทคนิคใช้ไดโอด 2 ตัว เพื่อเพิ่มความสามารถของวงจรให้มีอัตราการขยายแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบพหุพลมากขึ้นดังวงจรรูป 2.20 โดยจำช่วยปรับตัวประกอบกำลังและเพิ่มอัตราการขยาย (voltage source charge pump) ได้ในวงจรเดียวซึ่งจะได้ $V_{dc} = 2V_{p,mag}$



รูปที่ 2.18 วงจรขับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก 3 แบบ (Carazo, 2004)

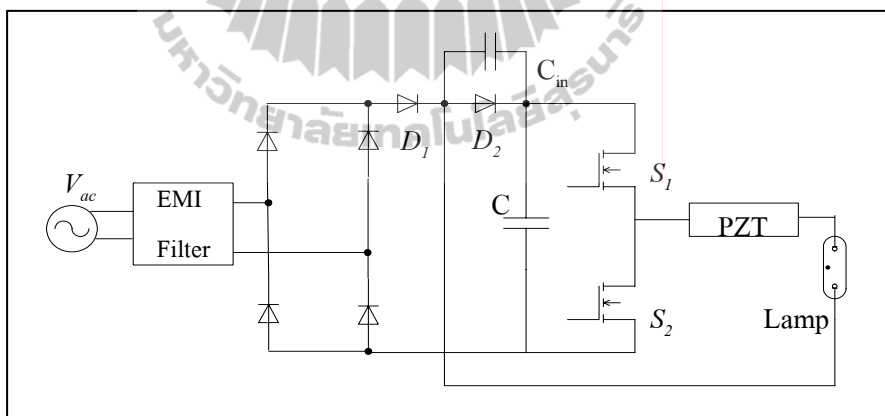


รูปที่ 2.19 วงจรบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกสำหรับอัตราการขยายแรงดันต่ำ (Choi et al., 2005)



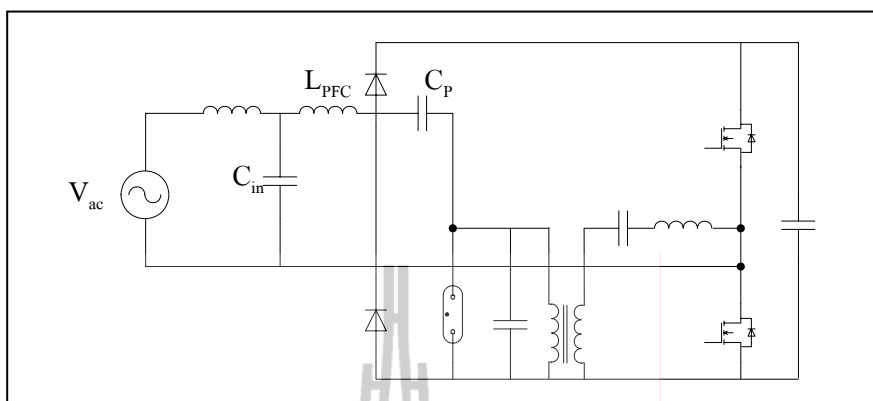
รูปที่ 2.20 วงจรบัลลาสต์ไฟโซโวลติกสำหรับอัตราการขยายแรงดันสูง (Choi et al., 2005)

Huang et al (2005) เสนอการออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโซโวลติกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 32 วัตต์ ด้วยวงจรดังรูปที่ 2.21 เป็นวงจรเพิ่มกระแสโดยด้วยตัวเก็บประจุ C_{in} ซึ่งป้อนแรงดันกลับจากเอาต์พุตของหม้อแปลงไฟโซโวลติก แล้วใช้คุณสมบัติของตัวหม้อแปลงไฟโซโวลติกที่มีตัวเก็บประจุ C_{d2} (คุณสมบัติตัวเก็บประจุในวงจรสมมูลหม้อแปลงไฟโซโวลติกซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดส่วนของบทที่ 3) ทำตัวเสมือนวงจร snubber (snubber circuit) เพื่อช่วยชดเชยตัวประกอบกำลังให้ใกล้เคียงหนึ่ง



รูปที่ 2.21 วงจรบัลลาสต์ไฟโซโวลติกแบบมีการเพิ่มแรงดัน (Huang et al., 2005)

Lin et al (2006) ออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโซโวลติกการทำงานคอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ภาค สามารถนำไปใช้งานที่แรงดันสูง ๆ ได้ และมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง ข้อได้เปรียบที่เด่นชัดของวงจรนี้คือสามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตหลายขนาด ในวงจรนี้มีตัวเก็บประจุ C_{in} ช่วยปรับปรุงตัวประกอบกำลังทางด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตขณะที่หม้อแปลงไฟโซโวลติกทำงาน วงจรบัลลาสต์ไฟโซโวลติกแบบ 2 ภาค แสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ใช้กับไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ (Lin et al., 2006)

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของประเทศไทย (220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์) มีความแตกต่างจากของสหรัฐอเมริกา (120 โวลต์ 60 เฮิร์ตซ์) องค์ประกอบของวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ย่อมมีความแตกต่างกัน เพื่อให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และให้มีความเหมาะสมกับสถานะการใช้งานในประเทศไทย การออกแบบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ทำงานที่ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ของประเทศไทยโดยเฉพาะ

2.4 สรุป

จากองค์ความรู้ที่ได้จากการปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาออกแบบ และสร้างบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภาคเดียว สามารถขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ T8 ให้เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย และอาศัยข้อมูลจากรายงานการวิจัยเบื้องต้นที่ผ่านมาแล้วทำการประยุกต์ออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ต้นแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์จากงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 3

หม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก

3.1 บทนำ

ในปี ค.ศ. 1880 เจริญพรและปีแอร์ ได้มีการค้นพบว่าวัสดุบางกลุ่มมีคุณสมบัติไฟโซอิเล็กทริก ระหว่างการทดลองศึกษาผลของความดันต่อประจุไฟฟ้าของผลึกบางประเภท เช่น ควอตซ์ (quartz) ซิงค์เบลน (zincblende) และทัวร์มาลีน (tourmaline) พบว่าเมื่อให้แรงกดหรือสั่นกับผลึกดังกล่าวจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นและในทางตรงข้ามเมื่อให้สนามไฟฟ้าก็จะเกิดแรงขึ้น ต่อมาในปี 1881 เฮนเกน ได้ให้นิยามของปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์ไฟโซอิเล็กทริก (piezoelectricity or pressure electricity) ปรากฏการณ์ไฟโซอิเล็กทริกหมายถึงการเกิดกระแสไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากการที่วัสดุได้รับแรงกดทำให้เกิดการจัดระเบียบตัวไปในทิศเดียวกันของขั้วไฟฟ้าเรียกว่าการโพลาไรเซชัน (polarization) โดยปริมาณและเครื่องหมายของขั้วไฟฟ้าจะแปรผันตามแรงกดที่ได้รับและในทางตรงข้ามเมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่ผลึกก็จะเกิดการยืดหรือหดตัวของผลึกซึ่งทำให้เกิดแรง สาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เช่นนี้เนื่องจากการไม่มีสมมาตรของประจุในศูนย์กลางผลึกทำให้ผลรวมของการเคลื่อนที่ของประจุบวกและลบสามารถสร้างไดโพลขึ้นมานั่นเอง

แนวทางการคิดค้นก่อนกำเนิดหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดไฟโซอิเล็กทริกได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกโดย Rosen Fish และ Rathenberg และได้ทำการจดสิทธิบัตรพร้อมอธิบายรายละเอียดไว้ในประเทศสหรัฐอเมริกา หมายเลขจดสิทธิบัตร US2,830,274 ในปี ค.ศ. 1954 หลังจากนั้น 50 ปีต่อมาเทคโนโลยีนี้กลายเป็นหนึ่งทางเลือกที่มีการนำมาใช้แทนหม้อแปลงชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กมากที่สุดในการประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังในวงกว้าง หม้อแปลงชนิดไฟโซอิเล็กทริกทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (electrical energy) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้จากการใช้พลังงานเสียง (acoustic energy) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างตัวไฟโซอิเล็กทริกต้องคัดเลือกคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมเป็นพิเศษ โดยนิยมใช้วัสดุไฟโซอิเล็กทริกเซรามิก (piezoelectric ceramic) ที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงได้ก็ต่อเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยถ้ามีการออกแบบที่เหมาะสมแล้วสารไฟโซจะมีคุณสมบัติสามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นชนิด step up หรือ step down ของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก (piezoelectric transformer: PZT) ได้โดยไม่ต้องใช้ขดลวด หรือวัสดุที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

ในการคิดค้นออกแบบหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก โดยการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ จนกระทั่งทศวรรษที่ 90 ในช่วงเวลานั้นมีการผลิตจากหลายบริษัท ซึ่ง

ส่วนใหญ่จะเป็นบริษัทที่อยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยมีการแสดงผลงานการสร้างและการประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดพกพา โดยมีคุณสมบัติที่ให้อัตราการขยายแรงดันสูงและได้รับสัญลักษณ์แสดงถึงอุปกรณ์ที่ไม่สร้างและแพร่กระจายของสนามแม่เหล็ก หรือเกิดสัญญาณรบกวน (electromagnetic interference: EMI) แต่อย่างไรก็ตามการสร้างและพัฒนาในการนำมาประยุกต์ใช้นั้นก็ยังอยู่บนพื้นฐานการออกแบบด้วยโครงสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดโรเซน (Rosen-type PTs)

ในปัจจุบันนี้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น จอแสดงผลแบบ LCD ในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก PDA และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาได้หลายชนิด ในแต่ละปีหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีการซื้อ-ขายเฉลี่ยมากกว่า 20 ล้านชิ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา และมีรายงานจากโรงงานผู้ผลิตไฟโอโซอิเล็กทริกในประเทศญี่ปุ่นว่ามีผลการดำเนินการเติบโตของสายการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทุกปี เนื่องจากหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีความเสถียรภาพจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ LCD ของจอคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ แต่การสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง (วัสดุ วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้า ขนาดและขั้นตอนการผลิต) จึงเป็นสิ่งที่ดึงดูดให้นักวิจัยจำนวนมากสนใจ ต้องการเผยแพร่เทคโนโลยีการสร้างและการนำไปประยุกต์ใช้กับศาสตร์แขนงอื่น ๆ ดังนั้นจึงถือว่าเป็นโอกาสที่ทำให้เกิดการแข่งกันชิงพานิชในการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกกันอย่างมาก ข้อดีของคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คือ มีอิมพีแดนซ์ด้านขาออกต่ำ มีความสามารถทนกำลังสูง ๆ และมีประสิทธิภาพสูงภายใต้สภาวะ step down ซึ่งในการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกนั้นมีการออกแบบเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันตามการใช้งาน แต่ยังอยู่ภายใต้แนวทางความคิดแบบดั้งเดิมของ Rosen ในปัจจุบันนี้มีการออกแบบไฟโอโซอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างหลายชนิดเช่น ระบบการแพร่ในแนวรัศมี (radial type) ชื่อ ทรานโซเนอร์ (Transoner) ซึ่งเคยถูกนำเสนอตีพิมพ์ผลงานถึงด้านเทคโนโลยีการออกแบบเพื่อเพิ่มความสามารถในการทนกำลังไฟฟ้าระดับสูงได้เป็นผลสำเร็จ โดยมีความสามารถทนกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 100 วัตต์ ด้วยความเข้มข้นกำลังขนาด 30-40 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ในปัจจุบันมีการออกแบบพัฒนาหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกให้สามารถทนกำลังได้ 36 วัตต์ และมีอัตราขยายมากกว่า 50 เท่า ซึ่งในอนาคตคาดว่าจะมีการออกแบบให้มีขนาดเล็กลงยิ่งไปกว่านี้อีกจนถึงระดับการประยุกต์ใช้งานในระบบทางกลไฟฟ้าขนาดจิ๋ว (MEMS)

3.2 ประวัติความเป็นมาของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

ตั้งแต่มีการสร้างและพัฒนาหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกเชรามิกตลอดระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมา ในครั้งแรกของการประดิษฐ์คิดค้นหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกจนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีการจดสิทธิบัตรครั้งแรกของ Rosen ในวันที่ 4 มกราคม ค.ศ. 1954 และได้รับการอนุมัติในวันที่ 8 เมษายน ค.ศ. 1958 (Rosen et al., 1958) ตั้งแต่นั้นมาได้มีการนำความคิดนี้ไปสร้างและประยุกต์ใช้ ต่อมา เมื่อวันที่ 17 ตุลาคม ค.ศ. 1959 โดย Jaffe and Dan จากบริษัท Clevite Company มีการจดสิทธิบัตรใบที่สองของการเกิดเทคโนโลยีหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกซึ่งได้รับการอนุมัติในวันที่ 24 มกราคม ค.ศ. 1961 (Jaffe and Don, 1961) ตั้งแต่นั้นมาเทคโนโลยีของการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกก็เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเร็ว ๆ นี้มีรายงานในธุรกิจประเมินการซื้อขายหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก จำนวน 25 - 30 ล้านตัว ในช่วง ค.ศ. 1990 - 2009 ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะเห็นว่าการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีการผลิตหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีความประสบความสำเร็จในการนำไปใช้แทนหม้อแปลงชนิดขดลวดตัวนำ

3.3 การพัฒนาเทคนิคการขับเคลื่อนไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีช่วงการทำงานในความถี่ที่แคบ ดังนั้นการออกแบบวงจรขับจึงขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของโหลด ภายใต้หลักการนี้จึงทำให้การออกแบบต้องมีประสิทธิภาพสูงมาก ในทางปฏิบัติการออกแบบวงจรขับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ต้องออกแบบให้มีความถี่เท่ากับหรือสูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์เล็กน้อย ซึ่งมีหลักการและเหตุผลในการเลือกวงจรการขับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกอยู่ 2 กรณี คือ *กรณีแรก* ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดที่ความถี่ปฏิบัติการ และ*กรณีที่สอง* การออกแบบควบคุมจะขึ้นอยู่กับประเภทของโหลด ซึ่งจะเห็นว่าการออกแบบควบคุมวงจรขับเคลื่อนไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกจึงมีการออกแบบที่ง่ายกว่าการใช้หม้อแปลงชนิดขดลวดตัวนำที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (ต้องออกแบบให้สัมพันธ์กับค่าของความเหนี่ยวนำในหม้อแปลง)

ความสัมพันธ์ของความถี่และโหลดสามารถประเมินได้อย่างง่าย ๆ โดยการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก (output voltage) กับความถี่ (frequency) ในขณะที่มีโหลดด้านขาออกที่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับ 2 ส่วน คือ อัตราส่วนการขยายและความถี่ ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการควบคุม ความไม่เสถียรของโหลดและความไม่เสถียรของแรงดันที่เป็นอินพุตของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก ดังนั้นการสร้างเชื่อมั่นว่าหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกทำงานได้เสถียรขึ้น มีปัจจัยที่สำคัญ คือ วงจรที่ใช้ขับเคลื่อนไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่มีการออกแบบที่ถูกต้องและมีความสามารถปรับเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ในการ

ออกแบบวงจรควบคุมให้มีขนาดเล็กและกะทัดรัดโดยการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้วงจรรวม (IC) เป็นสิ่งที่ซับซ้อนและมีกลุ่มวิจัยหลายแห่งพยายามที่จะออกแบบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการขับเคลื่อนให้หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก

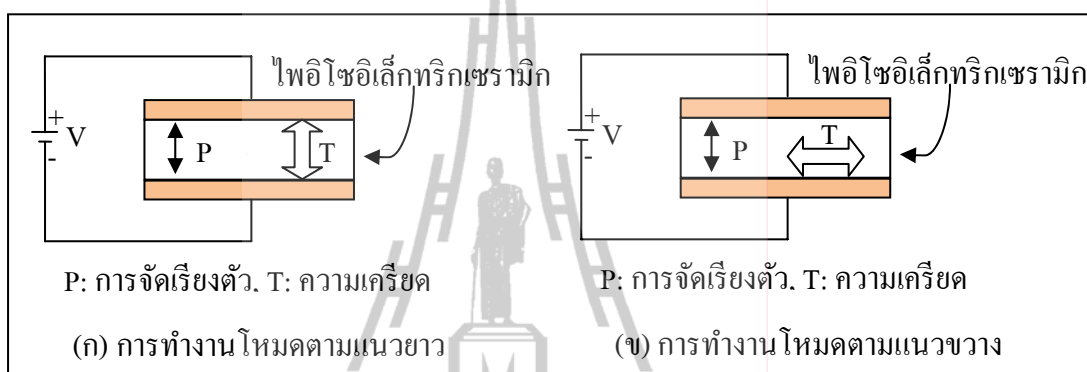
3.4 หลักการทำงานของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก

หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดไพโซอิเล็กทริกสร้างมาจากวัสดุประเภทเซรามิก เช่น ควอตซ์ ลิเทียมไนโอเบต (Lithium Niobate) และ PZT (Lead Zirconate Titanate) มีหลักการทำงานโดยอาศัยการสั่นสะเทือนเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานและพัฒนาขึ้นโดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำงานโดยไม่ใช้การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ประสิทธิภาพสูงและทำงานที่ความถี่สูงพิสัยแคบ ด้วยคุณสมบัติทางวัสดุที่มีข้อได้เปรียบนี้ จึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ใช้งานจำกัดได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาโดยการนำวัสดุประเภทสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกไปใช้ เพราะมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน แต่ให้ประสิทธิภาพการนำไปประยุกต์ใช้ตามสภาพการใช้งานได้อย่างเหมาะสม สามารถลดขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ลงได้อย่างมาก ดังตัวอย่างอุปกรณ์ที่ผลิตจากสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกได้แก่ ตัวรับสัญญาณ (receiver) ตัวขับเคลื่อน (actuator) อัลตราโซนิกมอเตอร์ (ultrasonic motor) ลำโพง (buzzer) และหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric transformer) เป็นต้น

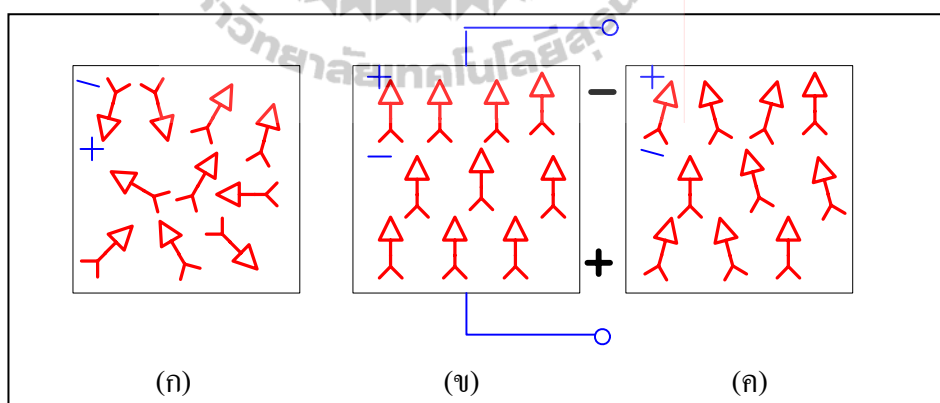
ไพโซอิเล็กทริกเซรามิก คือ เซรามิกที่มีคุณสมบัติพิเศษสองประการ ประการแรก คือ สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานกลเป็นไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัสดุนั้น ประการที่สอง คือ ความสามารถในการเปลี่ยนรูปจากพลังงานทางไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัตถุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริก แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุ ดังนั้นคุณสมบัติในการทำงานของสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกประกอบด้วยคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติทางกลของสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกประกอบด้วย ความเครียด (stress: T) ความเค้น (strain: S) และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิก ประกอบด้วย สนามไฟฟ้า (electric field: E) โพลาไรเซชัน (polarization: P) การทำงานสองลักษณะดังกล่าวสามารถอธิบายได้ คือ

3.4.1 การทำงานของไพโซอิเล็กทริกของตัวแปลงความถี่ (piezoelectric transducers, direct effect) คือ เมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุที่เป็นไพโซอิเล็กทริกเซรามิกในลักษณะของแรงดึงหรือแรงกดแล้วมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัสดุนั้น ซึ่งทิศทางของแรงดันไฟฟ้าแปรตามลักษณะการกดหรือการดึง ตัวอย่างการทำงานลักษณะนี้ได้แก่ อุปกรณ์ที่นำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์วัดค่าปริมาณต่าง ๆ เช่น วัดความดันอากาศ วัดความเครียดภายในชิ้นส่วนของวัสดุ เป็นต้น

3.4.2 การทำงานของไพโซอิเล็กทริกของตัวขับเคลื่อน (piezoelectric actuators, inverse effect) คือ วัสดุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกที่มีลักษณะการยืด หรือหดได้เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ถ้ามีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่แบบสลับขั้วต่อเนื่องก็จะทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นได้ ตัวอย่างการทำงานลักษณะนี้ได้แก่ หัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ชนิดพ่นหมึก (ink jet printer) เป็นต้น



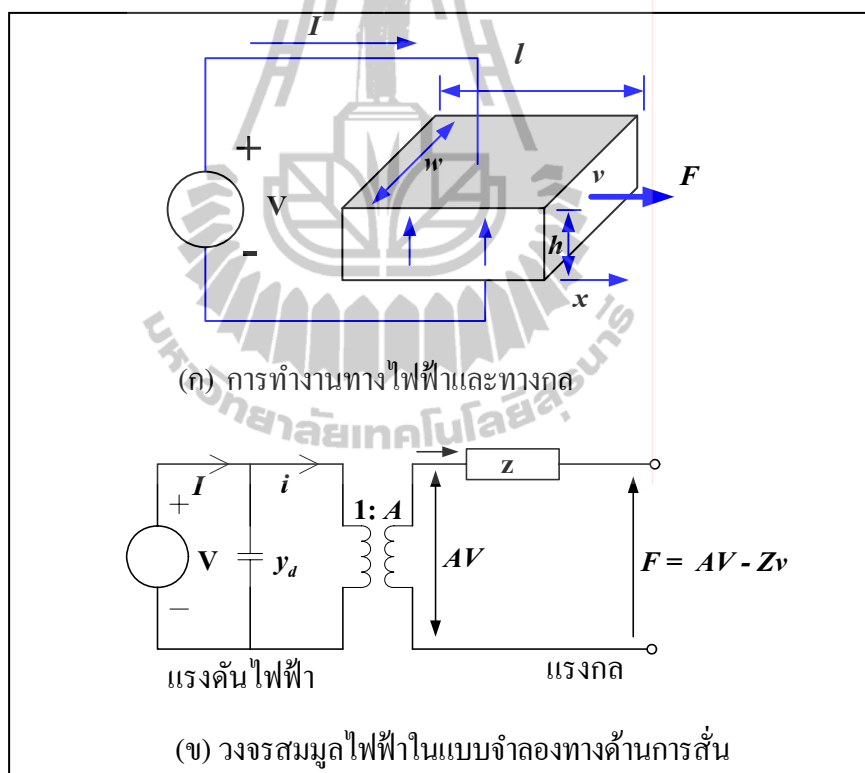
รูปที่ 3.1 ลักษณะการทำงานของไพโซอิเล็กทริก



รูปที่ 3.2 การจัดเรียงขั้วสนามไฟฟ้า (ก) ไม่เป็นระเบียบก่อนผ่านสนามไฟฟ้า (ข) เป็นระเบียบขณะผ่านสนามไฟฟ้า (ค) การจัดเรียงขั้วหลังจ่ายสนามไฟฟ้า (APC International, 2002)

ไพโซอิเล็กทริกมีลักษณะการทำงานอยู่สองลักษณะการทำงานด้วยกัน คือ การทำงานในลักษณะของโหมดตามแนวยาว (longitudinal mode) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัสดุไพโซอิเล็กทริกแล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการยืดหรือหดในแนวทิศทางเดียวกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ดังแสดงใน

รูปที่ 3.1(ก) และโหมดตามขวาง (transverse mode) คือ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัสดุไพโออิเล็กทริกแล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการยืดหรือหดในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของไพโอโซอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 3.1(ข) ก่อนจะนำไพโอโซอิเล็กทริกมาใช้งาน ต้องผ่านกระบวนการสร้างขั้วไฟฟ้า (poling) ด้วยการนำไปผ่านสนามไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันสูง เพื่อให้เหนี่ยวนำทิศทางของขั้วภายในสารไพโอโซอิเล็กทริกเกิดการจัดเรียงตัว (polarization) ในทิศทางของสนามไฟฟ้า (E) เป็นผลให้ไพโอโซอิเล็กทริกมีความสามารถยืดตัว ตามทิศทางของสนามไฟฟ้า เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างขั้วไฟฟ้าแล้ว ไพโอโซอิเล็กทริกจะเกิดการหดตัว แต่ทิศทางของขั้วภายในจะไม่กลับมาที่ตำแหน่งเดิมก่อนการสร้างขั้วไฟฟ้าอย่างถาวร ส่งผลให้วัสดุไพโอโซอิเล็กทริกเกิดขั้วประจุไฟฟ้าขึ้นดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.3 การทำงานของไพโอโซอิเล็กทริกของตัวขับเคลื่อน (Ucha and Tomikava, 1993)

3.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและแรงทางกลของไพโซอิเล็กทริก

การทำงานของไพโซอิเล็กทริกเป็นการทำงานในลักษณะของไพโซอิเล็กทริกตัวขับเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล สามารถแสดงแบบจำลองได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ก) คือ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ขั้วของไพโซอิเล็กทริกก็จะเกิดแรงทางกลในโหมดการทำงานแบบตามแนวยาว แต่เนื่องจากปริมาตรของไพโซอิเล็กทริกมีขนาดคงที่ เมื่อเกิดแรงในโหมดการทำงานแบบตามแนวยาวส่งผลทำให้เกิดแรง (F) ในโหมดตามขวางด้วย การทำงานในลักษณะนี้สามารถแสดงวงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น (electro acoustic model) ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ข) และมีสมการที่เกี่ยวข้องดังสมการที่ (3.1) - (3.23)

$$F = AV - Zv \quad (3.1)$$

$$I = y_d V + Av \quad (3.2)$$

เมื่อ	A	=	พื้นที่ของวัสดุ
	F	=	แรงที่กระทำกับวัตถุทางกล
	I	=	กระแสไฟฟ้าที่ขั้วทางไฟฟ้า
	V	=	แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทางไฟฟ้า
	v	=	ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่ขั้วทางกล
	y_d	=	ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ ของฉนวน (dielectric)
	Z	=	ค่าอิมพีแดนซ์ทางกล (mechanical impedance) ที่ขั้วทางกล

โดยที่ ความเค้น (strain) คือ ระยะที่วัตถุยืด (x) ต่อระยะของวัสดุปกติ (l) ดังสมการที่ (3.3)

$$S = \frac{x}{l} \quad (3.3)$$

ความเครียด (stress) คือ แรงที่กระทำกับวัตถุ (F) ต่อพื้นที่ของวัตถุ (A) ดังสมการที่ (3.4)

$$T = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$

สนามไฟฟ้า (E) คือ แรงดันไฟฟ้า (V) ต่อระยะห่างของขั้วไฟฟ้า (h) ดังสมการที่ (3.5)

$$E = \frac{V}{h} \quad (3.5)$$

ความเร็วของการเคลื่อนที่ ที่ชั่วทางกล (v) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างที่วัสดุเคลื่อนที่ (dx) กับเวลา (dt) ดังสมการที่ (3.6)

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (3.6)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ได้แก่ ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (D) สนามไฟฟ้า (E) กับพารามิเตอร์ทางกล คือ ความเค้น (S) ความเครียด (T) สามารถแสดงได้ด้วยสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.7) และ (3.8)

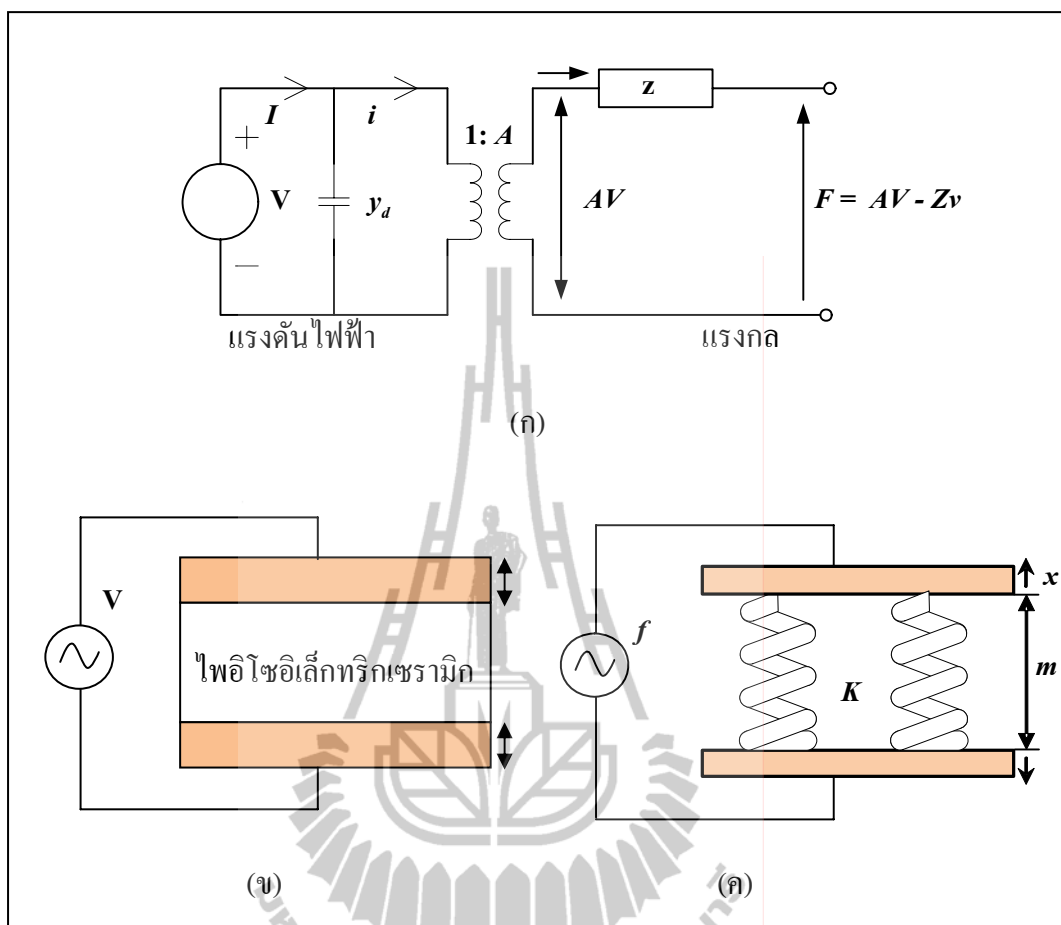
$$S = s^E T + dE \quad (3.7)$$

$$D = dT + \varepsilon^T E \quad (3.8)$$

เมื่อ s^E = ค่าความยืดหยุ่น (elastic compliance) เมื่อสนามไฟฟ้าคงที่
 d = ค่าคงที่ของไพโซอิเล็กทริก
 ε^T = ค่าความนำ (permittivity) ของไพโซอิเล็กทริกเมื่อความเครียดมีค่าคงที่

3.4.4 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของไพโซอิเล็กทริก

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของไพโซอิเล็กทริกเป็นการอธิบายการทำงานทางไฟฟ้าและทางกลของไพโซอิเล็กทริก ด้วยการจำลองการทำงานด้วยวงจรไฟฟ้า จากวงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น ตามรูปที่ 3.4(ก) เริ่มการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลทางไฟฟ้าตามทฤษฎีของ Mason (Katz, 1959) โดยพิจารณาเปรียบเทียบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้าระหว่างทางด้านปฏิกิริยาของวงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น กับวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของรูปที่ 3.4(ข) และเปรียบเทียบความสมมูลทางกลระหว่างทางด้านทฤษฎีของวงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น ตามรูปที่ 3.4(ก) ร่วมกับวงจรสมมูลทางกลของรูปที่ 3.4(ค)



รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น กับวงจรสมมูลทางไฟฟ้า
 (ก) วงจรสมมูลไฟฟ้าในแบบจำลองทางด้านการสั่น (ข) การทำงานทางไฟฟ้า (ค) การทำงานทางกล (Ueha and Tomikawa, 1993)

การวิเคราะห์วงจรสมมูลเริ่มจากการพิจารณาว่าไพโซอิเล็กทริกไม่ได้ต่ออยู่กับโหลดใด ๆ ดังสมการ (3.1) สามารถแสดงดังสมการที่ (3.9) และ (3.10)

$$0 = AV - Zv \quad (3.9)$$

$$AV = Zv = f \quad (3.10)$$

เมื่อ f = แรงที่เกิดขึ้นเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า

3.4.4.1 การวิเคราะห์ที่แรงดันไฟฟ้าตรง

ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของไพโอโซอิเล็กทริกเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงจะเกิดแรงในทางกล (ตามรูปที่ 3.4(ค)) ทำให้ได้สมการของแรงที่เกิดขึ้น คือ

$$f = Kx \quad (3.11)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ของสปริง
 x = ระยะที่ไพโอโซอิเล็กทริกเกิดการยืดตัว

พิจารณากระแสไฟฟ้า i ที่ไหลเข้าไพโอโซอิเล็กทริกได้ดังสมการที่ (3.12)

$$i = Av \quad (3.12)$$

เมื่อ v = ความเร็วของการยืดหรือหดตัวของไพโอโซอิเล็กทริก

จากสมการ (3.12) ถ้าเราทำการอินทิเกรตเปรียบเทียบกับเวลาจะได้ตามสมการ (3.13)

$$q = Ax \quad (3.13)$$

เมื่อ q = ประจุไฟฟ้า

จากสมการ (3.10 - 3.11) และ (3.13) นำมาเขียนใหม่จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทางไฟฟ้าแปรตามประจุไฟฟ้า ดังสมการ (3.14) และ (3.15)

$$AV = K \left(\frac{q}{A} \right) \quad (3.14)$$

$$V = \left(\frac{K}{A^2} \right) q \quad (3.15)$$

3.4.4.2 การวิเคราะห์ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของไพอิโซอิเล็กทริกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามรูปที่ 3.4(ข) เป็นผลให้เกิดแรง f ตามรูปที่ 3.4(ค) ซึ่งสามารถแสดงสมการของการเคลื่อนที่ได้ คือ

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Kx = f \quad (3.16)$$

แล้วนำสมการ (3.16) หาด้วยพื้นที่เพื่อหาแรงต่อพื้นที่ จะได้สมการ (3.17)

$$\frac{m}{A} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{B}{A} \frac{dx}{dt} + \frac{Kx}{A} = \frac{f}{A} \quad (3.17)$$

จากสมการ (3.13) แทนค่า x ในสมการ (3.17) จะได้ว่า

$$\frac{m}{A^2} \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{B}{A^2} \frac{dq}{dt} + \frac{K}{A^2} q = \frac{f}{A} \quad (3.18)$$

จาก $i = \frac{dq}{dt}$ จะได้ $q = \int i dt$ และจาก $V = \frac{f}{A}$ แทนในสมการ (3.18) ทำให้ได้สมการใหม่ คือ

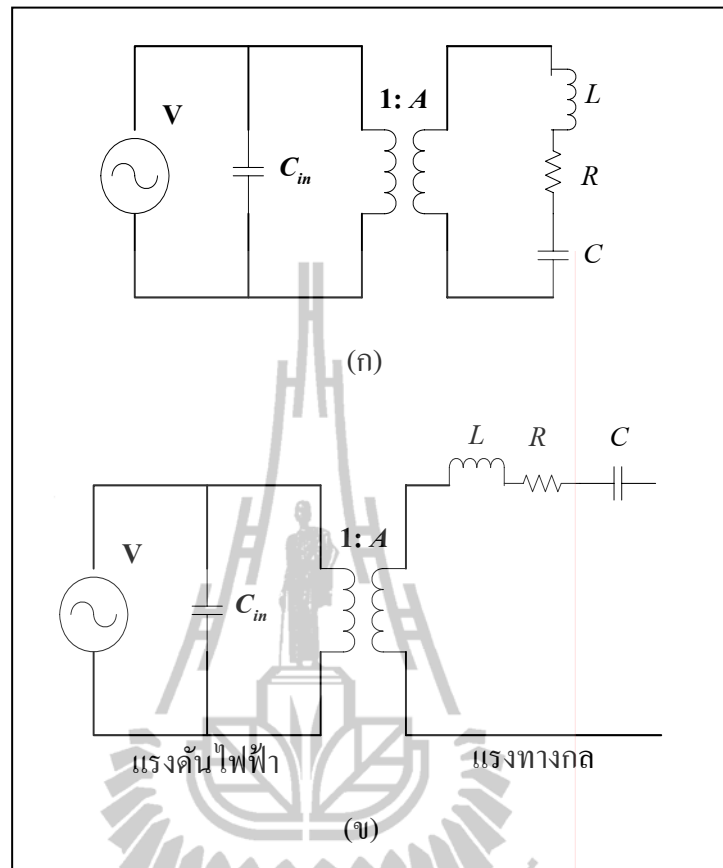
$$\frac{m}{A^2} \frac{di}{dt} + \frac{B}{A^2} i + \frac{K}{A^2} \int i dt = V \quad (3.19)$$

ซึ่งจากสมการ (3.19) แสดงเป็นสมการของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (R L และ C) ที่ต่ออนุกรมได้ คือ

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = V \quad (3.20)$$

เมื่อ ค่าความเหนี่ยวนำ $L = \frac{m}{A^2}$ ค่าความต้านทาน $R = \frac{B}{A^2}$ และค่าตัวเก็บประจุ $C = \frac{A^2}{K}$

ดังนั้นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของไพอิโซอิเล็กทริกขณะไม่ต่อกับโหลดและต่อกับโหลดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5(ก) และ 3.5(ข) ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของไพเอโซอิเล็กทริก (ก) ขณะไม่ต่อกับโหลด (ข) ขณะต่อกับโหลด
(Ueha and Tomikava, 1993)

ค่าของ C_{in} สามารถคำนวณได้จากสมการการหาค่าการเก็บประจุ คือ

$$C_{in} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{t} = \frac{K^T \epsilon_0 A}{t} \quad (3.21)$$

ดังนั้นความถี่ปฏิบัติการของไพเอโซอิเล็กทริกสามารถหาได้จากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าในรูปที่ 3.5 ได้ดังสมการที่ (3.22) และ (3.23)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{K}{m}}} \quad (\text{rad/s}) \quad (3.22)$$

$$v_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (\text{Hz}) \quad (3.23)$$

การทำงานของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก คือ การนำหลักการทำงานของไพโซอิเล็กทริก มาประยุกต์ใช้งานเป็นหม้อแปลงโดยอาศัยการสั่นสะเทือนทางกลศาสตร์เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของไพโซอิเล็กทริกที่มีการสั่นสะเทือนเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าหรือไพโซอิเล็กทริกตัวขับเคลื่อน (piezoelectric actuators) เรียกว่าเป็นส่วนทางด้านขาเข้า ส่วนนี้เปรียบเสมือนได้กับการทำงานของมอเตอร์และส่วนของไพโซอิเล็กทริก ที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการสั่นสะเทือนหรือไพโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (piezoelectric transducers) เรียกว่าส่วนทางด้านขาออก ส่วนนี้เปรียบเสมือนกับการทำงานของแหล่งกำเนิดไฟ

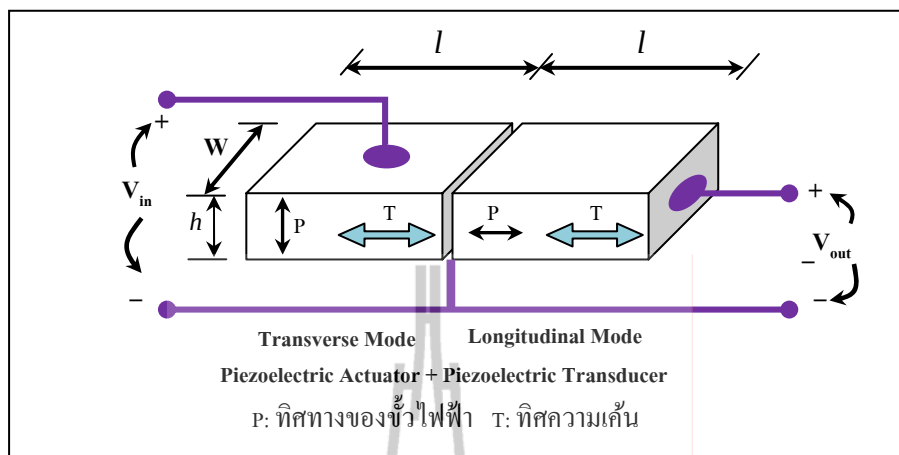
3.5 ชนิดของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก

หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก คือ การประยุกต์ใช้งานของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก ที่มีการทำงานเป็นแบบสองแบบด้วยกัน ทางด้านเข้าทำงานในโหมดของตัวขับเคลื่อน (actuator) และทางด้านขาออกทำงานในโหมดของตัวแปลงความถี่ โดยมีโครงสร้างแบบต่าง ๆ ตามลักษณะการนำไปใช้งาน โดยสามารถแบ่งโครงสร้างหลัก ๆ ออกได้เป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

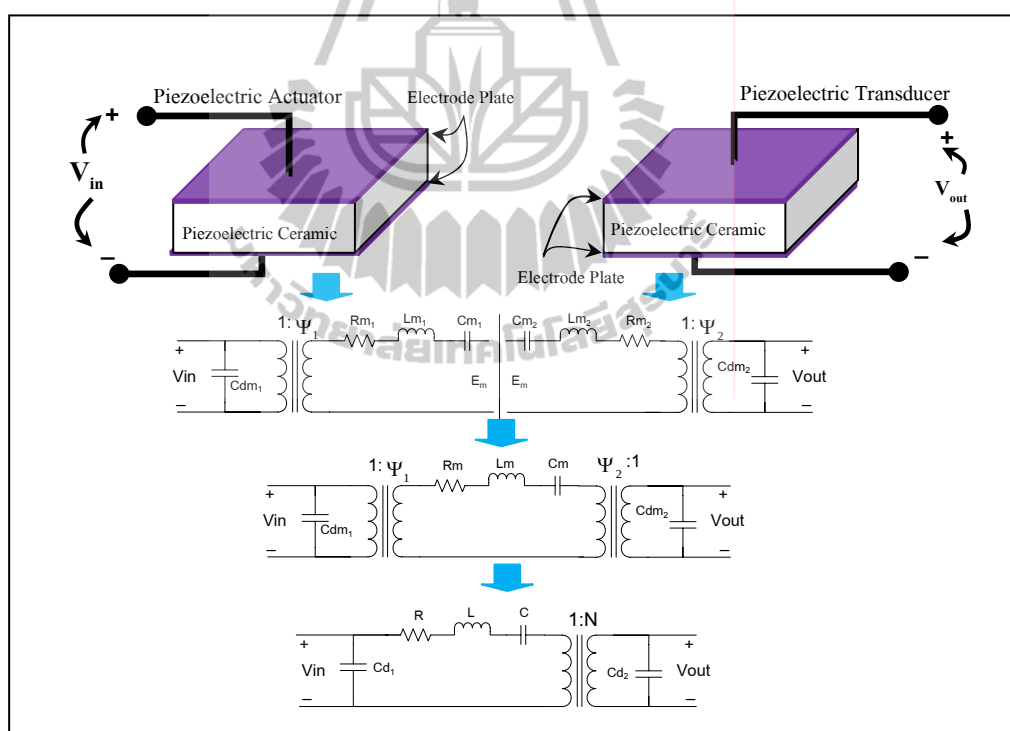
1. หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดโรเซน (Rosen Type)
2. หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามความหนา (Thickness Vibration Mode)
3. หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี (Radial Vibration Mode)

3.5.1 หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดโรเซน (Rosen Type)

มีหลักการทำงานในลักษณะของโหมดการส่งผ่านกำลังตามแนวขวาง (Transverse Mode) โดยทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อน (actuator) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและโหมดการส่งผ่านตามแนวยาว (Longitudinal Mode) โดยทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาออก เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าจะเกิดการสั่นและเปลี่ยนรูปร่างของสารไพโซอิเล็กทริกในทิศทางของความหนา ส่งผลทำให้เกิดการสั่นของสารไพโซอิเล็กทริกในทิศทางของความยาวด้วย จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก การทำงานของหม้อแปลงชนิดนี้มีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าต่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกที่สูงจึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง เช่น เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลซีดี (Liquid Crystal Display: LCD) ที่ใช้งานในหน้าจอโน้ตบุ๊ก ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดโรเซน (Lin et al., 2000)



รูปที่ 3.7 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดโรเซน (Lin et al., 2000)

จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดโรเซนในรูปที่ 3.7 สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (3.24) – (3.30) (Lin et al., 2000)

$$L = \frac{\rho A a c l}{4\psi'^2} + \frac{\psi^2}{\psi'^2} L_0 \quad (3.24)$$

$$C = \psi'^2 \frac{4l}{\pi^2 W h Y_1^E} \quad (3.25)$$

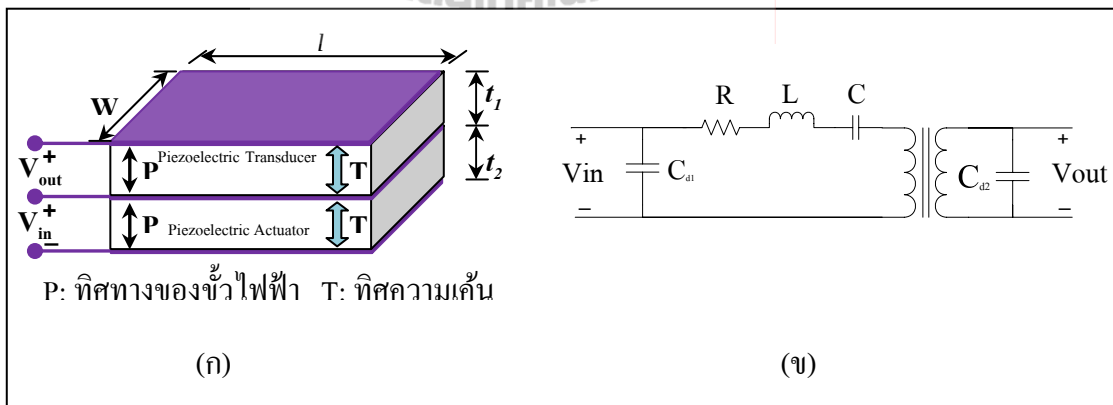
$$R = \frac{\pi Z_0}{4Q_m \psi'^2} \quad (3.26)$$

$$C_{d1} = \frac{W l \varepsilon_{33}^T \varepsilon_0 (1 - k_{31}^2)}{h} \quad (3.27)$$

$$C_{d2} = \frac{W h \varepsilon_{33}^T \varepsilon_0 (1 - k_{33}^2)}{l} \quad (3.28)$$

$$N = \frac{\psi}{\psi'} \quad (3.29)$$

$$\psi' = W d_{31} Y_{11}^E \quad (3.30)$$



รูปที่ 3.8 หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามความหนา (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรสมมูล (Lin et al., 2000)

3.5.2 หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามความหนา

มีหลักการทำงานในลักษณะของโหมดการส่งผ่านกำลังตามแนวยาว (Longitudinal Mode) โดยทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อน (actuator) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและโหมดการส่งผ่านตามแนวยาว (Longitudinal Mode) โดยทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาออก เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าจะเกิดการสั่นและเปลี่ยนรูปร่างของสารไพโซอิเล็กทริกในทิศทางของความหนา ส่งผลทำให้เกิดการสั่นของสารไพโซอิเล็กทริกในทิศทางของความหนาด้วย ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก การทำงานของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดนี้มีแรงดันไฟฟ้าขาออกต่ำ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานกำลังไฟฟ้าต่ำ ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3.8 โดยส่วนใหญ่มีการนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวแปลงแรงดัน (adapter) (Lin et al., 2000)

จากวงจรสมมูลของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามความหนา ในรูปที่ 3.8 สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (3.31) – (3.37) (Lin et al., 2000)

$$L = \frac{\rho \text{Volume of PT}}{8\psi'^2} + 2L_0 \quad (3.31)$$

$$C = \psi'^2 \frac{4l}{\pi^2 W h Y_1^D} \quad (3.32)$$

$$C_{d1} = \frac{W l \varepsilon_{33}^T \varepsilon_0}{h} \quad (3.33)$$

$$C_{d2} = \frac{W h \varepsilon_{33}^T \varepsilon_0}{l} \quad (3.34)$$

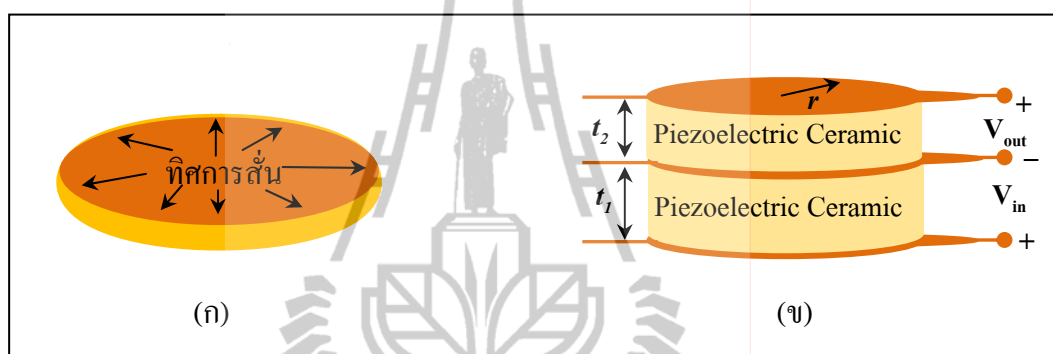
$$\psi' = \frac{h W}{l} \frac{c_{33}^D g_{33}}{\beta_{33}^D} \quad (3.35)$$

$$Z_0 = \sqrt{\rho Y_{33}^D} h W \quad (3.36)$$

$$L_0 = \frac{1}{\omega_0^2 C_{d1}} \quad (3.37)$$

3.5.3 หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี

ในงานวิจัยนี้มีสนใจศึกษาหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีเนื่องจากในการศึกษาพบว่าหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีสามารถทนกำลังวัตต์ที่สูงได้ตามรายงานบทความเผยแพร่ที่นำเสนอมาก่อนแล้วในบทที่ 2 โดยหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีมีการนำเสนอ 2 ชนิดด้วยกัน คือ หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้นและหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



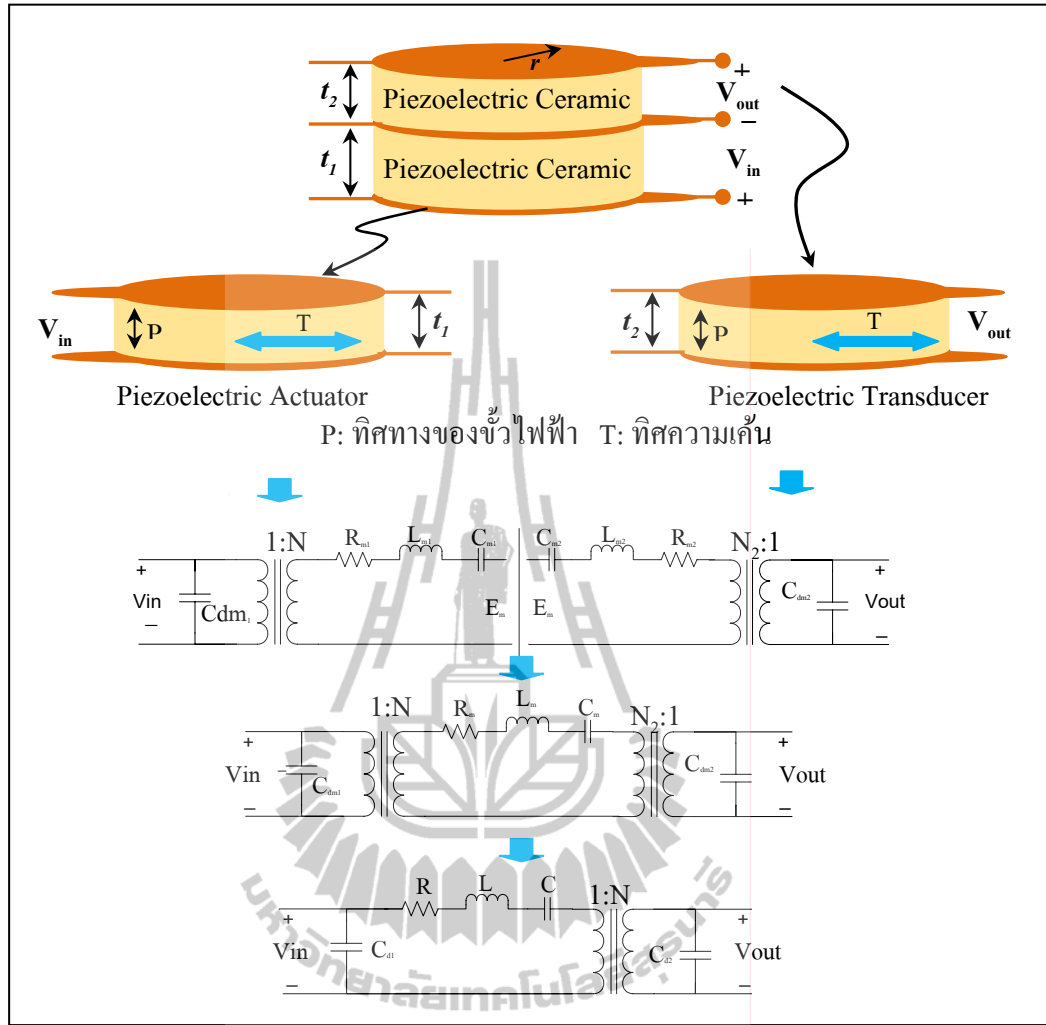
รูปที่ 3.9 โครงสร้างหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี (Ray et al., 2001)

(ก) ทิศทางการสั่นตามแนวรัศมี (ข) โครงสร้างหม้อแปลง

3.5.3.1 หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

มีหลักการทำงานในลักษณะของโหมดการส่งผ่านกำลังตามแนวรัศมี โดยทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อน (actuator) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและโหมดการส่งผ่านตามแนวรัศมี โดยทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาออก เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าจะเกิดการสั่นสะเทือนของสารไพโซอิเล็กทริกในทิศทางของความหนาตรงจุดศูนย์กลางของวงกลมทำให้เกิดการสั่นและเปลี่ยนรูปร่างไปทุกทิศทางตามแนวรัศมี ทำให้ทางด้านขาออกเกิดการสั่นและเปลี่ยนรูปร่างในทิศทางของรัศมีด้วย การทำงานของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดนี้มีการนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสูง เช่น บัลลัสต์กำลังสูงและตัวแปลงแรงดัน (adapter) โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.9 (Ray et al., 2001)

วงจรสมมูลของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 โดยที่ค่าพารามิเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.38) – (3.43) (Ray et al., 2001)



รูปที่ 3.10 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี (Ray et al., 2001)

$$C_{d1} = \frac{N_1 \pi r^2 \epsilon_{33}^T \left[1 - \frac{d_{31}^2}{S_{11}^E \epsilon_{33}^T} \right]}{t_1} \quad (3.38)$$

$$C_{d2} = \frac{N_2 \pi r^2 \epsilon_{33}^T \left[1 - \frac{d_{31}^2}{S_{11}^E \epsilon_{33}^T} \right]}{t_2} \quad (3.39)$$

$$R = \frac{\sqrt{2 \rho S_{11}^E} (N_1 t_1 + N_2 t_2)}{16 r Q_m (N_1 d_{31})^2} \quad (3.40)$$

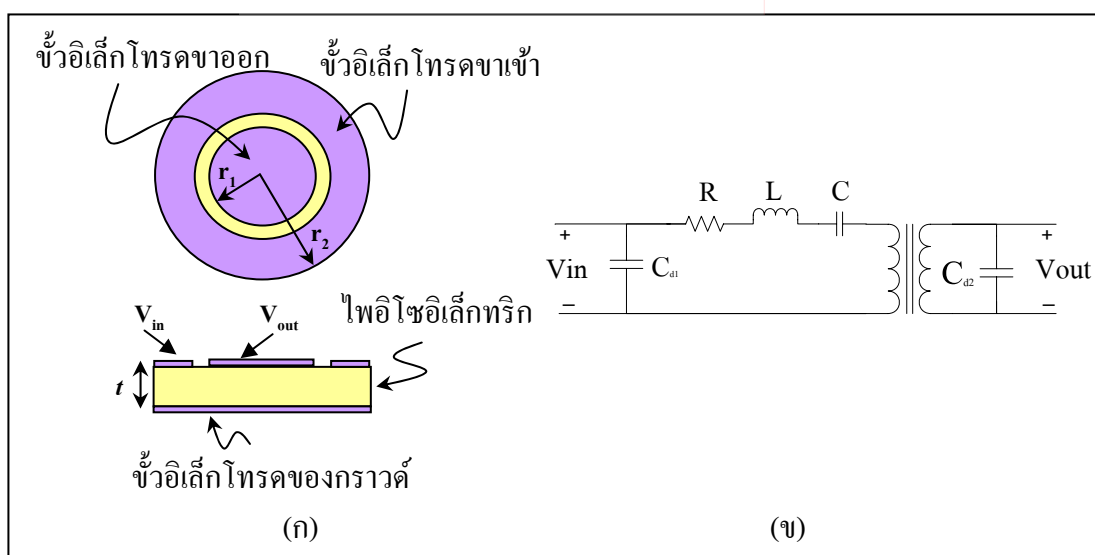
$$L = \frac{\rho S_{11}^E (N_1 t_1 + N_2 t_2)}{8\pi (N_1 d_{31})^2} \quad (3.41)$$

$$C = \frac{16r^2 (N_1 d_{31})^2}{\pi S_{11}^E (N_1 t_1 + N_2 t_2)} \quad (3.42)$$

$$N = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.43)$$

3.5.3.2 หม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

มีหลักการทำงานในลักษณะของโหมดการส่งผ่านกำลังตามแนวรัศมี โดยทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อน (actuator) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและโหมดการส่งผ่านตามแนวรัศมี โดยทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าขาออก เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าจะเกิดการสั่นสะเทือนของสารไพอโซอิเล็กทริกในทิศทางของความหนาตรงวงแหวนรอบนอกของวงกลมทำให้เกิดการสั่นและเปลี่ยนรูปร่างไปทุกทิศทางตามแนวรัศมี ทำให้ทางด้านขาออกเกิดการสั่นและเปลี่ยนรูปร่างในทิศทางของรัศมีตรงจุดศูนย์กลางด้านในของวงกลมด้วย การทำงานของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกชนิดนี้มีการนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสูง เช่น บัลลัสต์กำลังวัตต์ต่ำและตัวแปลงแรงดัน (adapter) ขนาดเล็กโดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.11(ก)



รูปที่ 3.11 หม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามรัศมีแบบคอนทัวร์ (ก) โครงสร้าง (ข) วงจรสมมูล

วงจรมวลของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี แสดงได้ดังรูปที่ 3.11(ข) โดยที่ค่าพารามิเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.44) – (3.49) (Ray et al., 2001)

$$C_{d1} = \frac{N_1 \pi r_1^2 \varepsilon_{33}^T \left[1 - \frac{d_{31}^2}{S_{11}^E \varepsilon_{33}^T} \right]}{t} \quad (3.44)$$

$$C_{d2} = \frac{N_2 \pi r_2^2 \varepsilon_{33}^T \left[1 - \frac{d_{31}^2}{S_{11}^E \varepsilon_{33}^T} \right]}{t} \quad (3.45)$$

$$R = \frac{\sqrt{2 \rho S_{11}^{E3} (N_1 + N_2) t}}{16 r_2 Q_m (N_1 d_{31})^2} \quad (3.46)$$

$$L = \frac{\rho S_{11}^{E3} (N_1 + N_2) t}{8 \pi (N_1 d_{31})^2} \quad (3.47)$$

$$C = \frac{16 r_2^2 (N_1 d_{31})^2}{\pi S_{11}^E (N_1 + N_2) t} \quad (3.48)$$

$$N = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.49)$$

3.6 สรุป

บทที่ 3 นี้ได้นำเสนอประวัติของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริก รวมทั้งหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกทั้ง 3 ชนิด คือ หม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริก ชนิดโรเซน (Rosen Type) หม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามความหนา (Thickness Vibration Mode) และหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกโหมดการสั่นตามแนวรัศมี (Radial Vibration Mode) รวมทั้งการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและแรงทางกลของไฟอโซอิเล็กทริก นอกจากนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของวงจรมวลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกทั้ง 3 ชนิด

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก

4.1 บทนำ

ในอดีตเมื่อครั้งยังไม่มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีใช้แต่หลอดไส้เป็นหลอดไฟฟ้าแสงสว่างกันอย่างกว้างขวางหลอดไส้ประกอบด้วยลวดเส้นเล็ก ซึ่งก็คือไส้หลอดทั้งสแตนท์ที่ถูกล้อมรอบด้วยก๊าซเฉื่อยอยู่ในหลอดแก้ว ไส้หลอดนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทาน ซึ่งถูกต่อโดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟ เมื่อไส้หลอดร้อนก็จะให้แสงออกมา หลอดไส้ถึงแม้จะทำให้ง่ายและราคาไม่แพงแต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของอายุการใช้งานสั้นและไม่ประหยัดพลังงานเนื่องจาก ต้องใช้พลังงานมากเพื่อที่จะได้แสงออกมาและยังเกิดความร้อนสูงอีกด้วย ในยุคของระบบไฟฟ้าแสงสว่างสมัยใหม่หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดโซเดียมและโคมโปรอท ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเอาชนะข้อเสียของหลอดไส้ หลอดที่ได้รับการพัฒนาเหล่านี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและยังมีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่าหลอดไส้ แต่หลอดเหล่านี้ไม่สามารถที่จะนำมาต่อโดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพราะว่าหลอดเหล่านี้ในขณะที่เย็นและยังไม่ทำงาน จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงเมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่เปล่งแสงออกมา ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดจึงจำเป็นต้องควบคุมเพื่อที่จะสามารถทำให้เกิดกระแสจุดหลอดแรงดันสตาร์ทและแรงดันตกคร่อม หลอดในสภาวะปกติได้ บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ที่นำมาใช้ควบคุมแหล่งจ่ายไฟให้แก่หลอดไฟฟ้า ในวงจรสตาร์ทรุ่นเก่า จะมีตัวเหนี่ยวนำที่สะสมพลังงานซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรสตาร์ท ในระบบปัจจุบันมีการพัฒนาบัลลาสต์ด้วยวงจรจับแรงดันไฟฟ้าสมบูรณ์แบบเรียกว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประกอบกันเป็นวงจร เพื่อทำงานในย่านความถี่สูง ดังนั้นชิ้นส่วนมีขนาดเล็กและเบากว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถที่จะลดค่าการสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ 60% โดยการเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ธรรมดาที่มีแสงสว่างเท่ากัน ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการศึกษาและออกแบบวงจรการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก เพื่อให้มีความสามารถในการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ มีความซับซ้อนมากกว่าบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก แต่ลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในตัวบัลลาสต์ได้มากกว่า นอกจากนี้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้า จึงได้ทำการออกแบบหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกให้เกิดประสิทธิภาพทางด้านกำลังสูงสุดด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาค่าตอบของพารามิเตอร์ที่สำคัญด้วยจินตคณิต

อัลกอริทึม สำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกและส่งผลให้วงจรโดยรวมมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ในส่วนของโครงสร้างวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกประกอบด้วยวงจร 4 ส่วนหลัก คือ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น วงจรสร้างความถี่ วงจรควบคุมแรงดันและวงจรอินเวอร์เตอร์ ครึ่งคลื่นความถี่สูง

4.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ต้นแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริก

บัลลาสต์อิลิกทรอนิกส์มีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในขั้วหลอดให้มีความเหมาะสม สม่ำเสมอตามแต่ละประเภทและขนาดของหลอด โดยที่บัลลาสต์อิลิกทรอนิกส์จะสร้างความถี่สูง (10 - 120 กิโลเฮิร์ตซ์) จ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์จะตอบสนองความถี่สูงได้ดีกว่าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ที่ใช้อยู่ตามบ้าน เป็นผลให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 30% และยังยืดอายุการใช้งานของหลอดได้นานกว่า เมื่อเทียบกับการใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวด ในบทความนี้ได้ออกแบบและสร้างวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิลิกทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน ตามหน้าที่การทำงานดังนี้

ส่วนที่ 1 วงจรเรียงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟส ใช้ไดโอดบริดจ์สำเร็จรูปรุ่น KBL407-T0 ซึ่งมีพิกัด 800 โวลต์ 4 แอมแปร์ โดยมีไดโอดประกอบกันเป็นโมดูลทั้งหมด 4 ตัว ไดโอดจะทำหน้าที่นำกระแสเป็นคู่ๆ กัน คือ ไดโอดสองตัวแรกจะทำการเรียงไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านขาเข้าในย่านที่เป็นบวกและในทางตรงกันข้าม ไดโอดอีกสองตัวที่เหลือจะทำการเรียงไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านขาเข้าในย่านที่เป็นลบ เป็นผลให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกเป็นบวกหรือศูนย์และไม่มีโอกาสเป็นลบ ซึ่งมีหลักการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออก (V_{dc}) ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (4.1) - (4.3) โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรบัลลาสต์อิลิกทรอนิกส์ให้ใช้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ 220 โวลต์ (V_{rms})

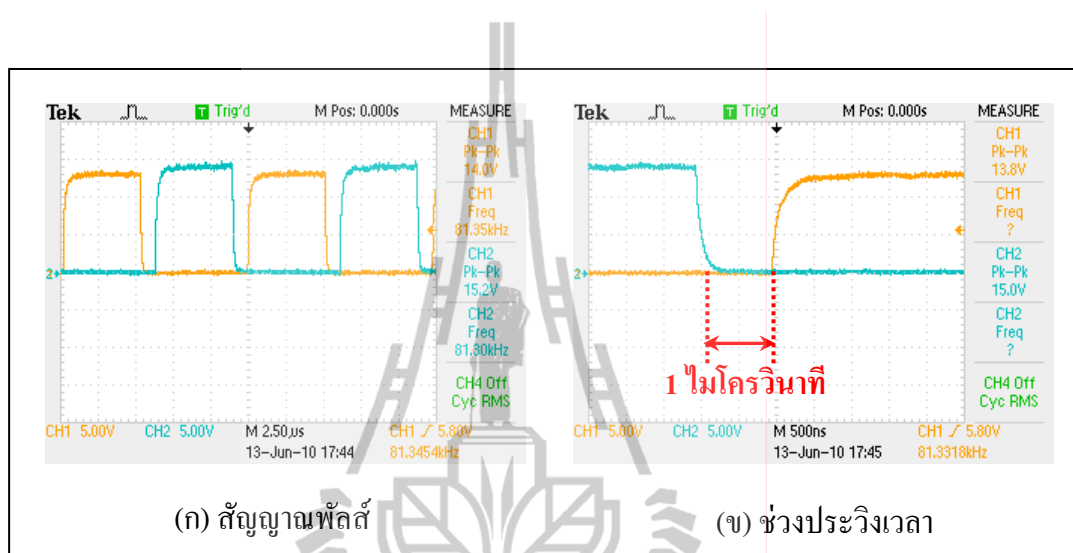
$$V_{dc} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{\pi}{2}} V_{in} \sin(\omega t) d\omega t \quad (4.1)$$

เมื่อ $T = 2\pi$ แล้วในสมการที่ (4.1) จะได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกระแสตรงด้านขาออก คือ

$$V_{dc} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{in} \sin(\omega t) d\omega t \right] = \frac{2V_{in}}{\pi} = 0.637V_{in} \quad (4.2)$$

หรือสามารถคิดเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสได้ว่า

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\left(\frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_{\text{in}} \sin(\omega t))^2 d\omega t \right)} = \frac{V_{\text{in}}}{\sqrt{2}} = 0.707 V_{\text{in}} \quad (4.3)$$

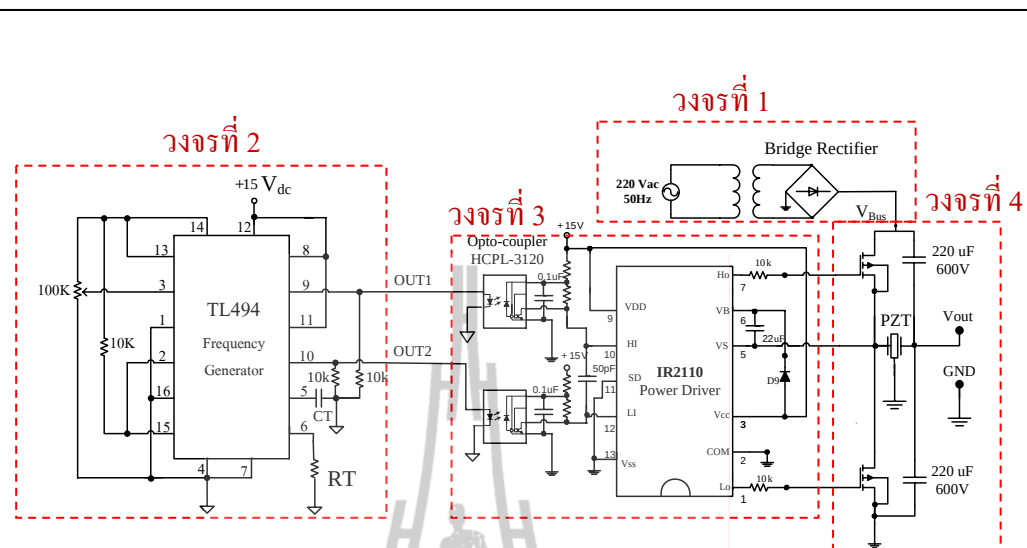


รูปที่ 4.1 สัญญาณขาออกจากวงจรควบคุมความถี่

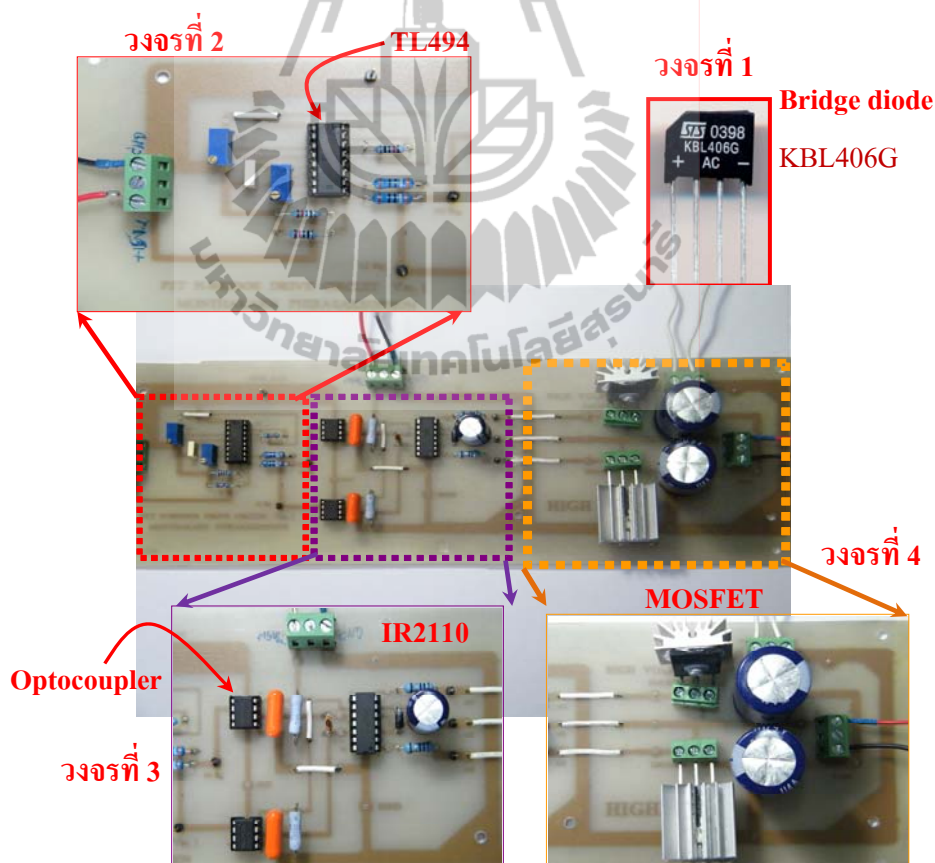
ส่วนที่ 2 วงจรควบคุมความถี่ปฏิบัติการ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นพัลส์ควบคุมการทำงานของมอสเฟตกำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์ครึ่งคลื่น เพื่อให้วงจรอินเวอร์เตอร์สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสลับรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 4.1(ก) มีช่วงประวิงเวลา (death time) เท่ากับ 1 ไมโครวินาที ดังรูปที่ 4.1(ข) เพื่อป้องกันการสวิตช์ของมอสเฟตที่สภาวะสัปดาห์คร่อมเป็นศูนย์ ทำงานพร้อมกันมีวงจรรวมเบอร์ TL494 ทำการสร้างสัญญาณรูปคลื่นพัลส์ ส่งไปที่ขาเกตของมอสเฟตกำลังเบอร์ IXFK20N โดยผ่านวงจรแยกโคด (isolator) ซึ่งทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ ออกจากวงจรแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้เกิดความปลอดภัยและวงจรขับสวิตช์กำลังด้วยวงจรรวมเบอร์ IR2110 ที่ให้สัญญาณควบคุมการทำงานของมอสเฟตในวงจรอินเวอร์เตอร์ ระบบควบคุมความถี่นี้จะสามารถควบคุมกำลังทางด้านขาออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ครึ่งคลื่นด้วยการปรับความถี่การสวิตช์ของมอสเฟตให้อยู่ในค่าที่ปฏิบัติงานของไฟโอโซอิเล็กทริก (สามารถปรับได้ 3 - 300 กิโลเฮิร์ตซ์) ในงานวิจัยนี้ยังสามารถปรับช่วงเวลาการเกิดแรงดัน ต่อช่วงเวลาการเกิดหนึ่งลูกคลื่น (duty cycle) ได้อีกด้วย สำหรับวงจรรวมเบอร์ TL494 เป็นวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อนำไปควบคุมสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ครึ่งคลื่น ซึ่งไอซีเบอร์ TL494 สามารถปรับตั้งความถี่

ในการสวิตช์ โหมดการทำงานของไอซีเบอร์ TL494 ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทำงานตามคู่มือการใช้งาน (data sheet) เป็นโหมด normal push-pull ซึ่งมีหลักการใช้งานดังนี้ ต่อสัญญาณควบคุมขาออก (ขาที่ 13) เข้ากับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (ขา 14) การควบคุมความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ สามารถออกแบบและคำนวณได้ด้วยการระบุค่าของตัวเก็บประจุเลือกเวลา (timing capacitor: CT) ที่ขา 5 และค่าความต้านทานเลือกเวลา (timing resistor, RT) ต่อเข้าที่ขา 6 ตามลำดับ โดยที่ความถี่การสวิตช์สามารถคำนวณได้จาก $(1.1/(2 \cdot RT \cdot CT))$ ในงานวิจัยนี้เลือกค่าตัวเก็บประจุ RT เป็นแบบปรับค่าได้ ขนาด 100 กิโลโอห์ม และค่า CT ขนาด 2.2 นาโนฟารัด ไฟเลี้ยงสำหรับวงจรนี้มีขนาด 15 โวลต์ (Vdc) โดยจ่ายที่ขา 8 11 และ 12 เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ขนาด 15 โวลต์ มีสัญญาณขาออกที่ขาออก (ขา 9 และขา 10) และต่อความต้านทานรักษาระแสขาออกให้คงที่ไม่เกิน 2 มิลลิแอมแปร์ (ตามคุณสมบัติในคู่มือ) โดยใช้ความต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม ที่ขา 9 และ 10 ดังรูปที่ 4.2(ก)

ส่วนที่ 3 ภาคควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ให้คงที่ขณะขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยวงจรรวมเบอร์ IR2110 และได้ออกแบบให้กราวด์ของภาคควบคุมแรงดันซึ่งเป็นส่วนแรงดันไฟฟ้าแยกออกจากวงจรแรงดันสูงเพื่อความปลอดภัยของวงจรด้วยวงจรรวมแยกโคด (opto-coupler) เบอร์ HCPL-3120 จำนวน 2 ตัว โดยได้รับสัญญาณไฟทางด้านขาเข้าที่ขา 2 และขา 3 ต่อลงกราวด์ ส่วนทางด้านขาออกจะส่งสัญญาณที่ขา 7 โดยที่สัญญาณยังคงมีเฟสเหมือนสัญญาณขาเข้าที่ได้จากวงจรรวมเบอร์ TL494 และมีขนาดแรงดันเท่าเดิม 15 โวลต์ ในการออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรรวมเบอร์ TL494 เพียงหนึ่งตัวก็สามารถขับเคลื่อนกำลังที่ต่อกันแบบวงจรการสวิตช์ครั้งละหนึ่ง โดยที่สัญญาณที่ได้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพียงพอในการขับเคลื่อนกำลังในการออกแบบนี้ สัญญาณขาเข้าของวงจรรวมเบอร์ IR2110 ได้มาจากสัญญาณขาออกจากวงจรรวมแยกโคดเบอร์ HCPL-3120 ต่อเข้าที่ขา 10 และ 12 ของวงจรรวมเบอร์ IR2110 โดยมีความต้านทานขนาด 10 โอห์ม มาต่อเพื่อป้องกันกระแส เข้าไม่ให้เป็น 2 แอมป์ ที่ขา 10 และ 12 โดยที่สัญญาณขาออกที่ขา 1 และขา 7 ของวงจรรวมเบอร์ IR2110 มีลักษณะสัญญาณพัลส์เพื่อขับเคลื่อนกำลังทั้งสองตัวโดยทำงานแบบสลับกัน



(ก) แสดงวงจรบัลลาสต์ไฟโซนิคเล็กทรอนิกส์



(ข) ภาพถ่ายวงจรต้นแบบบัลลาสต์ไฟโซนิคเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 4.2 วงจรบัลลาสต์ไฟโซนิคเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

ส่วนที่ 4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่น (half-bridge inverter) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบขนานมีมอสเฟต 2 ตัว เบอร์ IXFK20N สลับกันทำงาน ทำหน้าที่แปลง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งได้สัญญาณพัลส์ความถี่ ประมาณ 80 – 90 กิโลเฮิร์ตซ์ จากวงจรควบคุมแรงดัน ที่ขา 1 และ ขา 7 ของวงจรรวมเบอร์ IR2110 ที่ส่งสัญญาณการทำงานออกมาที่ขาเกตของมอสเฟตด้วยสัญญาณพัลส์ขับแรงดันด้านต่ำและ ด้านสูง ตามลำดับ สัญญาณขาออกของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งคลื่นมีการทำงานสวิตช์ที่ แรงดันศูนย์ (zero voltage switching) สัญญาณขาออกของมอสเฟตทั้งสองตัวเป็นสัญญาณพัลส์ เพื่อขับหม้อแปลง ไอโซอิเล็กทริก สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.3 การออกแบบหม้อแปลงไอโซอิเล็กทริกด้วยวิธีการค้นหาด้วยปัญญาประดิษฐ์

ในหัวข้อนี้นำเสนอเทคนิคการออกแบบพารามิเตอร์ที่สำคัญของหม้อแปลงไอโซอิเล็กทริก ด้วยวิธีการค้นหาคำตอบแบบจินเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm: GA) เพื่อมุ่งหาค่าพารามิเตอร์ (ขนาดรัศมี (r) ความหนาต้านปฐมภูมิ (t_1) และต้านทุติยภูมิ (t_2)) ที่ทำให้เกิดกำลังสูญเสียน้อยที่สุด

จินเนติกอัลกอริทึม (GA) เป็นปัญญาประดิษฐ์จำลองกระบวนการวิวัฒนาการในระดับยีน (Goldberg and Edward, 1989) โดยการสร้างกลุ่มประชากรโครโมโซมแทนผลเฉลย จากนั้น ประชากรในกลุ่มจะแข่งขันกันเพื่อความอยู่รอด โครโมโซมที่ถูกเลือกในแต่ละรุ่นการถ่ายทอด (generation) เท่านั้นที่มีสิทธิ์สร้างลูกหลานหรือตัวแทนในรุ่นถัดไป การสร้างลูกหลานจะใช้การ ดำเนินการทางสายพันธุ์ ซึ่งประกอบไปด้วย คrossover และการผ่าเหล่าลูกหลานหรือทายาทที่ถูก สร้างขึ้นจะแทนที่โครโมโซมต้นแบบที่สมบูรณ์ โดยหลักการคัดเลือกตามธรรมชาติ (Darwin's natural selection) สามารถสร้างผลเฉลยที่ดีได้จากกระบวนการนี้ จินเนติกอัลกอริทึมมีองค์ประกอบ หลัก ๆ ดังนี้

1. การเข้ารหัสโครโมโซม (chromosome encoding) คือ ขั้นตอนการแปลงทางเลือก สำหรับแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซม ในการแปลงวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซมนั้นสามารถที่จะทำได้ในหลายรูปแบบแล้วแต่ความ เหมาะสมของแต่ละปัญหาการเข้ารหัสประชากรเป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะ เป็นการออกแบบให้โครโมโซมเป็นตัวแทนของคำตอบจากระบบ ในการใช้งานจินเนติก อัลกอริทึม รูปแบบที่ง่ายที่สุดคือการกำหนดให้โครโมโซมอยู่ในรูปของตัวแปรแบบสตริง เช่น $S = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_N]$ โดยที่ S คือโครโมโซมหนึ่ง ๆ N คือ จำนวนโครโมโซม และแต่ละ s_i , $i = 1, 2, \dots, N$ คือแต่ละตัวแปรในชุดคำตอบของระบบ (ในแต่ละระบบมีจำนวนตัวแปรไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของปัญหา ความซับซ้อนและการออกแบบการแก้ปัญหาของระบบนั้น ๆ)

2. **การสุ่มเลือกประชากรเริ่มต้น (initial population)** คือ การสุ่มเลือกเพื่อสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกก่อนเริ่มเข้าสู่กระบวนการของจินเนติกอัลกอริทึม โดยประชากรกลุ่มแรกจะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจากกลุ่มประชากรที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่มีอยู่ โดยในการเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนประชากรที่ได้กำหนดไว้เป็นพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม

3. **ฟังก์ชันความแข็งแรง (fitness function)** คือ ฟังก์ชันสำหรับประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนสำหรับคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา โครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่าโครโมโซมตัวนั้นเหมาะที่จะนำมาใช้สืบทอดพันธุกรรมสำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่หรือไม่ โดยวิธีการสำหรับหาค่าความเหมาะสมนั้นจะใช้สมการที่สอดคล้องกับแต่ละปัญหา

4. **การดำเนินการทางสายพันธุ์ (genetic operator)** คือ กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมด้วยวิธีการทางสายพันธุ์ เป็นการดำเนินการตามขั้นตอนของจินเนติกอัลกอริทึม เพื่อให้การเกิดวิวัฒนาการไปสู่คำตอบที่ดีขึ้น ซึ่งได้แก่

4.1 **การเลือกสรร (selection)** คือ ขั้นตอนในการคัดเลือกประชากรที่ดีในระบบ เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้กำเนิดลูกหลาน โดยในขั้นตอนแรกจะต้องหาค่าความแข็งแรง (Fitness) ของประชากรแต่ละตัวในกลุ่มจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากนั้นจึงเลือกประชากรเพื่อนำมาใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป โดยการเลือกสรรแต่ละวิธีจะอยู่ในหลักการที่ว่าประชากรที่มีความแข็งแรงมากกว่าย่อมมีโอกาสได้รับการคัดเลือกเพื่อนำไปให้กำเนิดรุ่นถัดไปมากกว่า โดยมีหลักการคัดเลือกสายพันธุ์คือใช้หลักความน่าจะเป็นมาเป็นตัวช่วย ซึ่งโครโมโซมแต่ละชุดจะมีโอกาสที่จะอยู่รอดสร้างรุ่นถัดไปได้ไม่เท่ากัน โดยจะใช้การวัดค่าความเหมาะสมของการอยู่รอดด้วยค่าความแข็งแรง (fitness value) การคัดเลือกสายพันธุ์ทำได้หลายวิธี เช่น แผนการวงล้อรูเล็ต (roulette-wheel scheme) หรือ แผนภาพทัวร์นาเมนต์ (tournament scheme) เป็นต้น

4.2 **ครอสโอเวอร์ (cross over)** เป็นการนำเอาชิ้นส่วนโครโมโซมแลกเปลี่ยนกันซึ่งมีหลายรูปแบบ

4.3 **การผ่าเหล่า (mutation)** เป็นกระบวนการใช้กับประชากรที่เกิดขึ้นใหม่เท่านั้น โดยทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลของบิตสตริงตำแหน่งใด ๆ หรือหลายตำแหน่งเพื่อให้ข้อมูลมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิม ทำให้ได้สายพันธุ์ที่มีรหัสเป็นเลขฐานสองแตกต่างไปจากเดิม

5. **พารามิเตอร์ (parameter)** เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม เช่น ขนาดของประชากรความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์หรือความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า

4.3.1 วิธีการออกแบบการค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึม

ในงานวิจัยนี้ดำเนินการประยุกต์ใช้จินเนติกอัลกอริทึมเพื่อนำมาช่วยในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัย Toolbox ของ MATLAB ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ เป็นการเปรียบเทียบกำลังทางด้านขาเข้า (Pin) และกำลังทางด้านขาออก (Pout) ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก และมีการจำกัดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่ได้กำลังสูญเสีย (Ploss) น้อยสุด มากำหนดขอบเขตของค่าเริ่มต้น และค่าสิ้นสุด ขอบเขตที่กำหนดเป็นค่าจริง โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มค่าจากขอบเขตที่กำหนดเป็นค่าจริง แล้วแปลงเป็นไบนารีเข้าสู่กระบวนการของจินเนติกอัลกอริทึม ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบอยู่ในรูปของพารามิเตอร์ r, t_1, t_2 และ r_1, r_2, t สำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวนอนแบบ 2 ชั้นและแบบคอนทัวร์ ตามลำดับ ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถแสดงด้วยแผนภูมิดังรูปที่ 4.3

4.3.2 วิธีการกำหนดขอบเขตการค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึม

การกำหนดขอบเขตการค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึม ได้จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ด้วยมือก่อน ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. ทำการคำนวณหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยมือตามสมการที่ 4.4 – 4.7 เพื่อทดสอบประมาณค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่เป็นไปได้สำหรับสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกต้นแบบ

2. ทำการคำนวณหาค่า C_{d2} ด้วยสมการที่ 4.8 เพื่อหาค่าประมาณของความหนาจากสมการที่ 3.38 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3

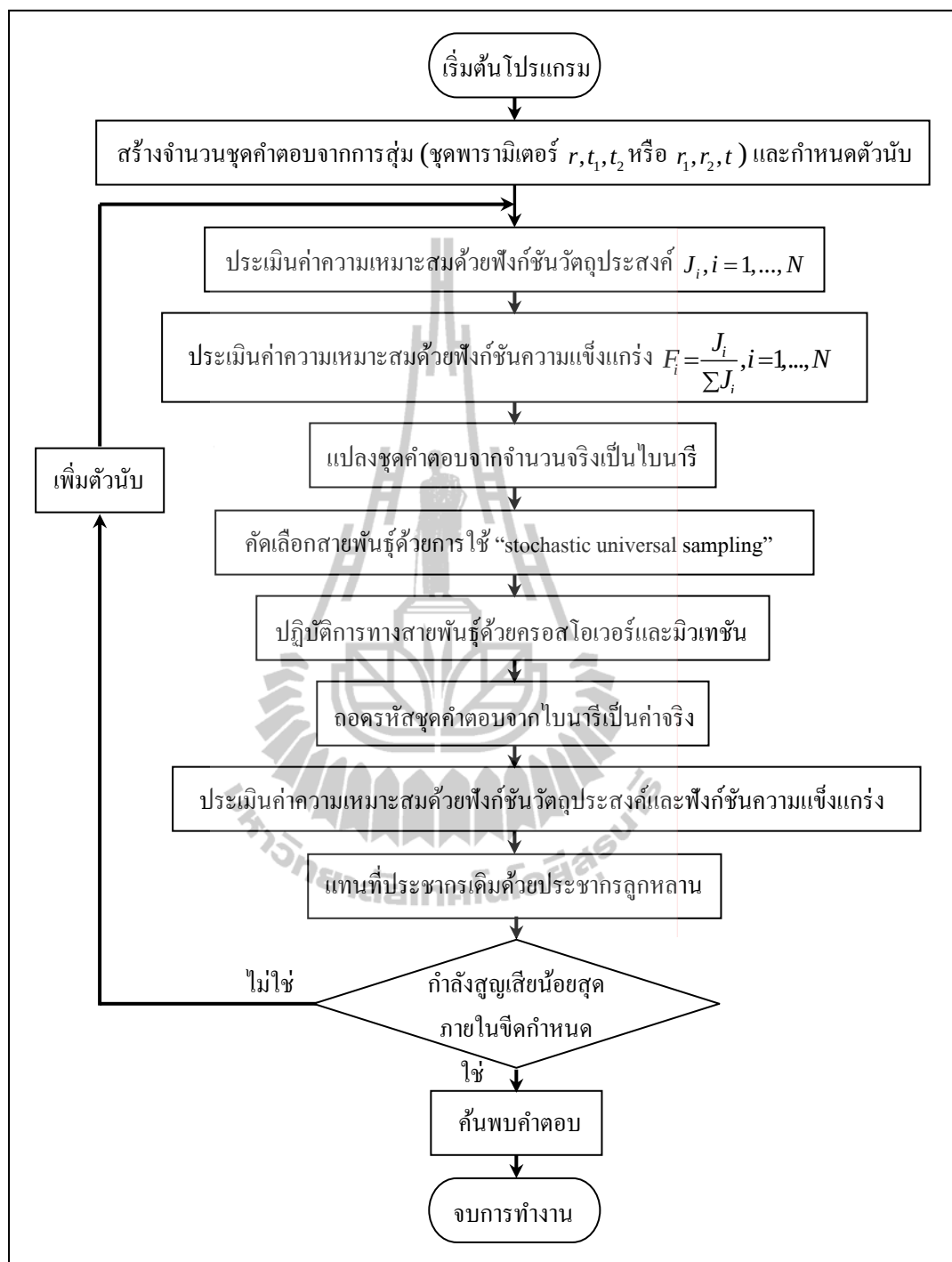
3. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรสมมูล (C_{d1} R L C และ C_{d2}) เพื่อทำการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

4. คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ กำลังอินพุต (P_{in}) เอาท์พุต (P_o) และกำลังสูญเสีย (P_{loss}) ในวงจรสมมูลหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

เมื่อได้คำตอบที่คำนวณด้วยมือแล้วจึงสร้างขอบเขตการค้นหาในจินเนติกอัลกอริทึม

4.3.3 วิธีการทดสอบค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึม

การค้นหาคำตอบค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึมโดยอาศัย Toolbox ของ MATLAB สำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวนอนแบบ 2 ชั้นและแบบคอนทัวร์ ได้ทำการทดสอบค้นหาคำตอบซ้ำเป็นจำนวน 31 ครั้ง ของแต่ละชนิดสารไฟโอโซอิเล็กทริกและนำผลคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบโดยเรียงลำดับค่าความแข็งแรง (best fitness) จากน้อยไปมากแล้วเลือกคำตอบในลำดับตรงกลาง (อันดับที่ 16) จากผลคำตอบที่ได้ ซึ่งให้กำลังสูญเสียน้อยสุด



รูปที่ 4.3 แผนภูมิการออกแบบการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยจินเนติกอัลกอริทึม

4.3.4 ผลการทดสอบค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึม

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยมือนี้นำมาช่วยในการกำหนดขอบเขตการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกโดยใช้

ปัญหาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึม ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงไว้ในหัวข้อถัดไป (หัวข้อ 4.4) จะได้ว่า การกำหนดขอบเขตมีค่าเริ่มของพารามิเตอร์ r, t_1, t_2 ที่ [1 1 1] และค่าสิ้นสุดที่ [20 10 10] พบว่าค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของสารเบอร์ APC-844 มีค่าเท่ากับ 14.98 3.26 และ 3.04 มิลลิเมตร ตามลำดับและสำหรับสารเบอร์ APC-840 มีค่าเท่ากับ 14.46 2.97 และ 2.72 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้กำลังสูญเสียน้อยสุด เท่ากับ 4.29×10^{-9} และ 1.29×10^{-7} วัตต์ สำหรับสารเบอร์ APC-844 และ APC-840 ตามลำดับ เมื่อได้ผลคำตอบจากการค้นหาแล้ว คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในวงจรสมมูลหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกตามสมการที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งแสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.1 และผลการค้นหาแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 - 4.3 และตัวอย่างกราฟผลการค้นหาแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 สำหรับผลการค้นหาพารามิเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ได้กำหนดขอบเขตมีค่าเริ่มของพารามิเตอร์ r_1, r_2, t ที่ [1 1 1] และค่าสิ้นสุดที่ [10 20 10] พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.02 15.07 และ 2.92 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้กำลังสูญเสียน้อยสุด เท่ากับ 1.39×10^{-8} วัตต์ ดังตารางที่ 4.4 เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกแล้ว ได้ทำการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PSIM ก่อน แล้วจึงวิเคราะห์ผลที่ได้จากการค้นหาสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกต้นแบบ ส่วนการจำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 และภาคผนวก จากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยวิธีการค้นหาคำตอบแบบจินเนติกอัลกอริทึมสามารถนำมาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกเพื่อให้เกิดกำลังงานสูญเสียน้อยสุดได้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยจินเนติกอัลกอริทึม

ค่าตัวแปร	ค่าที่ได้จากการค้นหา (#APC-840)	ค่าที่ได้จากการค้นหา (#APC-844)
Cd_1 (nF)	4.57	5.78
Cd_2 (nF)	2.29	2.80
C (pF)	758.71	511.49
R (Ω)	4.54	2.64
L (mH)	3.9	8.00
f (kHz)	92.00	78.53
r (mm)	14.46	14.98
t_1 (mm)	2.97	3.26
t_2 (mm)	2.72	3.04

ตารางที่ 4.2 ผลการค้นหาคำด้วยปัญญาประดิษฐ์จีนเนติกอัลกอริทึมของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก
ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารเบอร์ APC-844

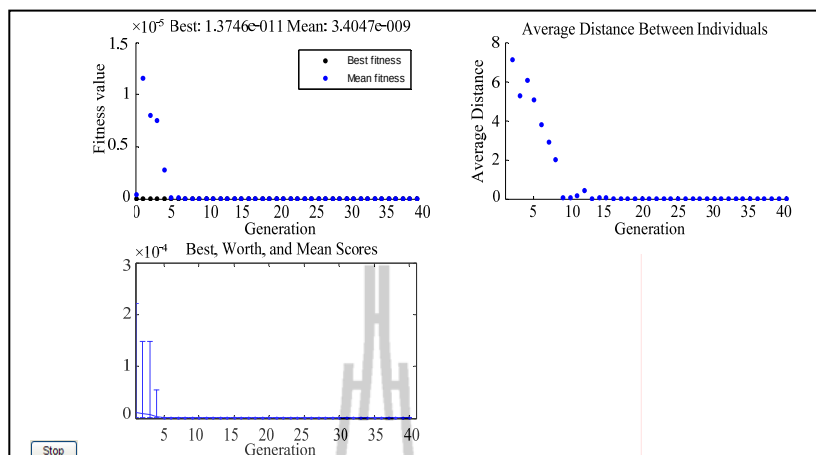
ลำดับที่	r (มม.)	t ₁ (มม.)	t ₂ (มม.)	กำลังสูญเสีย (W)	ค่าความแข็งแรง
1	15.04	3.09	3.03	1.03E-06	1.62E-13
2	13.31	2.44	3.77	3.26E-06	2.55E-13
3	12.59	1.96	1.36	9.67E-08	3.43E-13
4	13.49	1.61	1.77	6.14E-06	1.12E-12
5	14.86	2.42	1.22	8.43E-07	1.30E-12
6	13.97	3.23	1.58	1.73E-06	2.23E-12
7	13.49	3.27	2.56	8.21E-06	3.17E-12
8	12.86	2.74	3.40	2.95E-07	3.98E-12
9	11.18	2.75	1.05	9.48E-06	7.04E-12
10	16.48	3.50	1.42	1.07E-06	7.11E-12
11	12.63	3.87	1.75	1.03E-05	8.56E-12
12	12.90	3.40	3.14	1.31E-05	8.62E-12
13	12.74	2.18	1.87	7.04E-07	8.85E-12
14	14.07	2.44	1.80	7.02E-06	8.70E-11
15	14.81	2.94	2.75	1.58E-06	8.97E-11
16	14.98	3.26	3.04	4.29E-08	1.37E-11
17	14.97	3.73	1.74	8.12E-06	1.74E-11
18	11.95	3.75	2.53	2.35E-05	2.47E-11
19	14.79	2.98	3.53	3.14E-11	3.14E-11
20	14.66	3.35	3.96	1.14E-08	3.29E-11
21	14.07	3.38	1.32	6.02E-06	5.43E-11
22	12.49	3.72	2.69	3.58E-06	6.79E-11
23	13.27	2.77	3.03	2.06E-06	7.81E-11
24	11.70	2.94	3.69	2.17E-05	1.23E-10
25	11.50	2.43	2.98	1.89E-05	1.28E-10
26	11.06	3.32	3.22	2.01E-05	2.15E-10
27	12.21	2.45	2.49	8.41E-07	2.19E-10
28	19.61	3.82	1.23	2.32E-07	4.77E-10
29	15.16	3.69	2.30	3.22E-05	5.03E-10
30	15.63	3.21	3.85	8.37E-06	7.11E-10
31	14.85	3.07	2.62	1.73E-07	8.78E-10

ตารางที่ 4.3 ผลการค้นหาคำด้วยปัญญาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึมของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก
ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารเบอร์ APC-840

ลำดับที่	r (มม.)	t ₁ (มม.)	t ₂ (มม.)	กำลังสูญเสีย (W)	ค่าความแข็งแรง
1	12.40	3.72	3.98	3.40E-06	1.69E-12
2	10.86	1.13	2.43	6.01E-06	5.47E-12
3	13.17	2.36	2.18	2.53E-07	1.85E-11
4	13.59	3.75	3.27	5.24E-06	2.23E-11
5	14.62	1.16	1.49	4.07E-07	3.29E-11
6	14.45	1.53	2.18	5.07E-06	4.72E-11
7	13.92	1.45	2.10	2.60E-08	5.21E-11
8	13.63	3.35	2.19	2.60E-08	5.21E-11
9	13.29	1.16	1.86	1.60E-06	5.96E-11
10	14.82	1.11	1.82	4.52E-06	9.21E-11
11	14.49	2.85	2.44	4.52E-06	9.21E-11
12	13.95	1.56	2.25	1.06E-06	9.26E-11
13	14.67	3.08	1.10	7.05E-06	1.11E-10
14	12.56	2.81	3.83	1.25E-06	1.32E-10
15	13.03	3.59	2.26	8.76E-07	1.33E-10
16	14.46	2.97	2.72	1.29E-07	1.37E-10
17	14.98	3.05	1.84	3.99E-07	2.91E-10
18	13.96	2.66	3.26	3.99E-08	2.96E-10
19	14.84	2.66	2.58	7.51E-05	4.65E-10
20	14.82	1.11	1.82	6.87E-05	5.40E-10
21	14.49	2.85	2.44	9.01E-06	5.78E-10
22	13.95	1.56	2.25	9.01E-06	5.78E-10
23	14.67	3.08	1.10	1.23E-06	6.18E-10
24	13.03	3.59	2.26	9.68E-06	6.68E-10
25	14.46	1.73	2.05	8.51E-08	7.45E-10
26	12.11	1.35	2.01	3.02E-06	9.43E-10
27	14.98	3.05	1.84	1.47E-05	1.18E-09
28	13.96	2.66	3.26	1.10E-06	1.76E-09
29	14.84	2.66	2.58	6.42E-06	4.08E-09
30	14.62	2.19	3.91	6.42E-06	4.08E-09
31	14.54	2.69	1.05	4.89E-05	7.74E-09

ตารางที่ 4.4 ผลการค้นหาคำด้วยปัญญาประดิษฐ์จีนเนติกอัลกอริทึมของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก
ชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์สำหรับสารเบอร์ APC-844

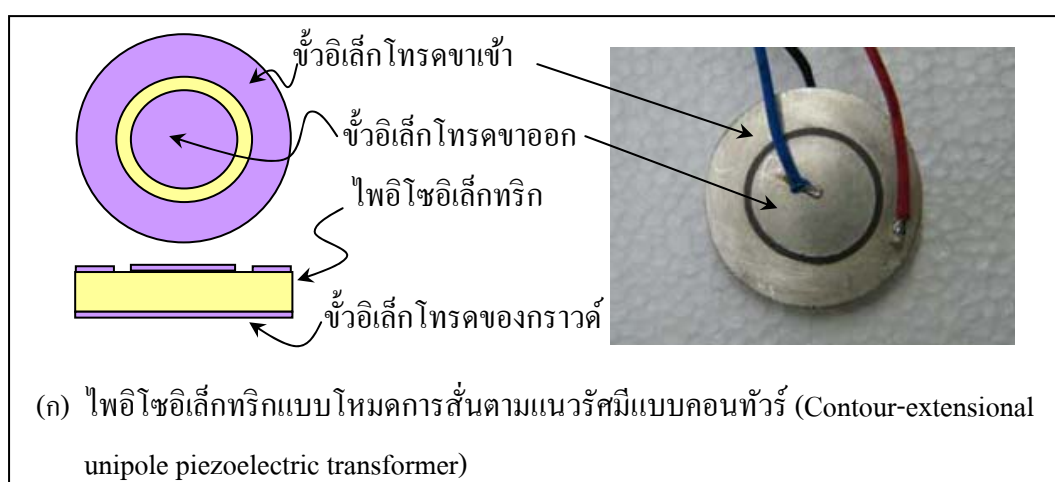
ลำดับที่	r_1 (มม.)	r_2 (มม.)	t (มม.)	กำลังสูญเสีย (W)	ค่าความแข็งแรง
1	4.89	16.05	3.25	9.38E-06	3.55E-13
2	6.08	17.11	2.52	8.24E-10	9.69E-13
3	5.56	14.20	2.57	7.54E-06	2.28E-12
4	7.16	11.77	2.43	1.81E-06	5.39E-12
5	4.87	15.65	2.71	2.89E-08	6.04E-12
6	6.53	16.10	2.25	2.02E-07	6.99E-12
7	4.79	15.68	3.55	2.36E-10	8.89E-12
8	4.74	16.13	2.86	3.23E-10	9.52E-12
9	4.72	16.11	2.55	6.41E-13	1.23E-11
10	4.73	14.38	3.20	2.65E-10	1.82E-11
11	5.57	17.67	3.00	2.02E-08	1.87E-11
12	4.93	15.20	3.99	2.54E-10	2.22E-11
13	4.19	16.25	2.79	1.52E-08	2.32E-11
14	5.28	17.89	2.20	2.20E-09	2.34E-11
15	5.89	15.26	2.28	1.20E-07	2.48E-11
16	5.02	15.07	2.92	1.39E-08	2.71E-11
17	4.85	15.88	3.74	2.23E-07	3.13E-11
18	5.11	15.97	2.99	3.53E-09	4.85E-11
19	6.24	14.42	2.69	3.02E-08	6.27E-11
20	6.54	14.99	2.93	3.97E-07	6.63E-11
21	5.43	15.08	2.76	1.47E-08	6.91E-11
22	5.93	15.27	2.81	1.33E-07	1.26E-10
23	7.60	14.16	2.91	3.54E-10	2.50E-10
24	4.66	16.14	2.20	5.96E-09	2.94E-10
25	5.28	16.26	2.70	1.61E-04	4.17E-10
26	7.90	14.83	3.38	5.84E-14	4.98E-10
27	5.03	15.23	3.13	5.92E-07	7.75E-10
28	5.22	15.88	2.69	6.09E-06	1.11E-09
29	4.39	17.14	2.84	1.81E-13	1.83E-09
30	4.94	15.35	2.11	1.41E-08	6.27E-09
31	5.19	15.38	2.79	3.06E-09	6.99E-09



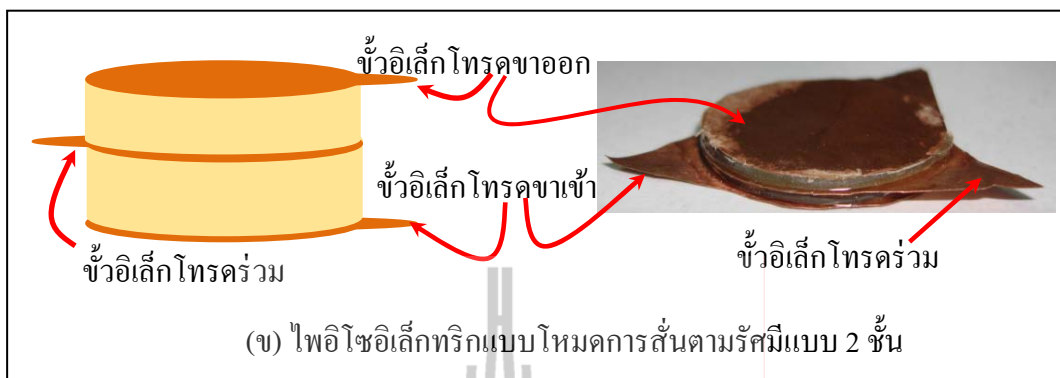
รูปที่ 4.4 กราฟผลการค้นหาด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมหาค่าเหมาะที่สุดของไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารเบอร์ APC-844

4.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกด้วยวิธีการคำนวณ

ในการออกแบบหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก โดยทั่วไปแล้วจะต้องออกแบบตามการนำไปประยุกต์ใช้เฉพาะงานนั้น ๆ สำหรับการประยุกต์สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษารูปแบบหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมี (Radial vibration mode) ซึ่งได้ออกแบบไว้ 2 แบบ คือ แบบคอนทัวร์ (Contour-extensional-unipole-piezoelectric transformer) ดังรูปที่ 4.5(ก) และแบบแผ่นจาน 2 ชั้น ประกอบกันดังแสดงในรูป 4.5(ข)



รูปที่ 4.5 หม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ (ต่อ)



รูปที่ 4.5 หม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนา ของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ แสดงได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาขนาดของโหมค (หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์) ได้จากคุณสมบัติของระบบแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

$$R_{Lamp} = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2 (V)}{36 (W)} = 1.345 k\Omega$$

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของระบบไฟฟ้า

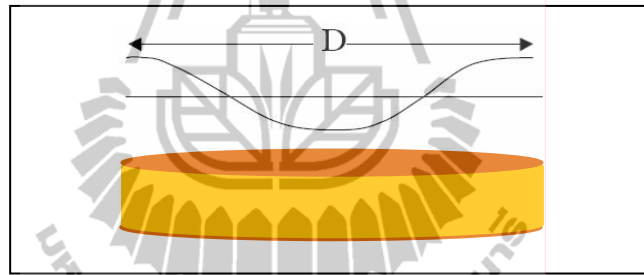
แรงดันไฟฟ้า	220 Vrms 50 Hz
ความต้านทานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	1.345 k Ω
กำลังวัตต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์	36 W

ขั้นตอนที่ 2 หาความถี่การตอบสนองของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก (f_r) ซึ่งจะอยู่ภายใต้ขอบเขตของข้อกำหนดความถี่ตามคุณสมบัติของไฟโซอิเล็กทริก ซึ่งความถี่พื้นฐานอันดับแรกสามารถหาได้จากการลัดวงจรที่ขาออกและอันดับที่สองสามารถหาได้จากการเปิดวงจรของไฟโซอิเล็กทริกทางด้านโหมคซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ ดังสมการที่ (4.4) และ (4.5) ตามลำดับ (Eric, 2005) (สำหรับความถี่ (f_r) มีค่าประมาณ 79 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการเลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้)

$$\omega_{sc} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

$$\omega_{oc} = \frac{1}{\sqrt{L(C^{-1} + (N^2 C d_2)^{-1})^{-1}}} \quad (4.5)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไพโอโซอิเล็กทริกได้จากสมการที่ 4.6 ซึ่งพิจารณาได้จากคุณสมบัติทางกลของไพโอโซอิเล็กทริก โดยที่ความถี่พื้นฐานมีความสัมพันธ์กับรัศมีของไพโอโซอิเล็กทริกโดยตรง ซึ่งจะแปรตามสัมประสิทธิ์ความเร็วในการตอบสนองคลื่นของวัสดุ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวตัดขวางกับความถี่พื้นฐาน

$$f_r \cong \frac{N_p}{D} \quad (4.6)$$

สามารถหาค่ารัศมีได้จากสมการที่ (4.7)

$$r \cong 0.5 \frac{N_p}{f_r} \quad (4.7)$$

ดังนั้นจะได้ $r \cong 13.48$ และ 14.24 มิลลิเมตร สำหรับสารไพโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 และ APC-844 ตามลำดับ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 26.96 และ 28.48 มิลลิเมตร สำหรับสารไพโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 และ APC-844 ตามลำดับ) (แต่ในทางกายภาพแล้วสามารถสร้างไพโอโซอิเล็กทริกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 29 มิลลิเมตร)

เมื่อ N_p = ค่าคงที่ความเร็วในการตอบสนองคลื่นความถี่ตามแนวระนาบ (Frequency Constants Planar) (สำหรับ APC-840 = 2130 และ APC-844 = 2250)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาความหนาของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้านทุติยภูมิ (t_2) โดยที่สามารถหาได้จากความหนาของไฟโอโซอิเล็กทริกซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า C_{d2} สมการที่ 3.39 ในบทที่ 3 เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้สารไฟโอโซอิเล็กทริก 2 ชนิด คือ สารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 และสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 ในวงจรสมมูลไฟโอโซอิเล็กทริกซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.8

$$C_{d2} = \frac{1}{\omega_r R_{Lamp}} \quad (4.8)$$

จะได้ว่า

$$C_{d2} = \frac{1}{2\pi f_r R_{Lamp}} = 1.498nF$$

การคำนวณหาความหนา (t_2) ของไฟโอโซอิเล็กทริก ได้จากสมการที่ (3.39)

ดังนั้นจะได้ว่า

$$t_2 = \frac{N_2 \pi r^2 \epsilon_{33}^T \left[1 - \frac{d_{31}^2}{S_{11}^E \epsilon_{33}^T} \right]}{C_{d2}}$$

จะได้ความหนา (t_2) ของสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 ด้านทุติยภูมิมีขนาดเท่ากับ $t_2 = 2.7211$ มิลลิเมตร และจะได้ความหนา (t_2) ของสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 ด้านทุติยภูมิมีขนาดเท่ากับ $t_2 = 3.0157$ มิลลิเมตร

จากการคำนวณที่แสดงรายละเอียดมาข้างต้นนี้สามารถสรุปผลการคำนวณออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกได้ว่า

1. ไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมีแบบคอนทัวร์

1.1 ความหนาของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก (t) เนื่องจากไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมีแบบคอนทัวร์ต้องมีด้านปฐมภูมิ (t_1) ต้องเท่ากับด้านทุติยภูมิ (t_2) ดังนั้นจะได้ว่า

$t_1 = t_2 = 2.7211$ และ 3.0157 มิลลิเมตร สำหรับความหนาของสาร พอลิไอโซเล็กทริกเบอร์ APC-840 และสารพอลิไอโซเล็กทริกเบอร์ APC-844 ตามลำดับ

1.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริกประมาณ 26.96 และ 28.48 มิลลิเมตร สำหรับสารพอลิไอโซเล็กทริกเบอร์ APC-840 และสารพอลิไอโซเล็กทริกเบอร์ APC-844 ตามลำดับ

2. พอลิไอโซเล็กทริกชนิดการสันตามรัศมีแบบ 2 ชั้น

2.1 ความหนาของหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริก (t) ของหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริกชนิดการสันตามรัศมีแบบ 2 ชั้น มีความหนาด้านทฤษฎี (t_2) เท่ากับ 2.7211 และ 3.0157 มิลลิเมตร สำหรับสารพอลิไอโซเล็กทริกเบอร์ APC-840 และสารเบอร์ APC-844 ตามลำดับ

2.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริกประมาณ 26.96 และ 28.48 มิลลิเมตร สำหรับสารพอลิไอโซเล็กทริกเบอร์ APC-840 และสารเบอร์ APC-844 ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ 2 วิธี คือ การคำนวณตามสมการและวิธีการค้นหาด้วยจินเนติกอัลกอริทึม แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 30 มิลลิเมตร มีเหตุผลอันเนื่องมาจากแท่นหล่อแม่พิมพ์ (mold) สำหรับพอลิไอโซเล็กทริกที่มีอยู่แล้วนั้น มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 33 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อผ่านขบวนการสร้าง (มีขั้นตอนการเผาและการขัดชิ้นงาน) ซึ่งจะทำให้ท้ายที่สุดได้หม้อแปลงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 30 มิลลิเมตร ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยจะทำให้ความถี่ที่ได้จริงมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับในงานวิจัยนี้

4.5 ขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริก

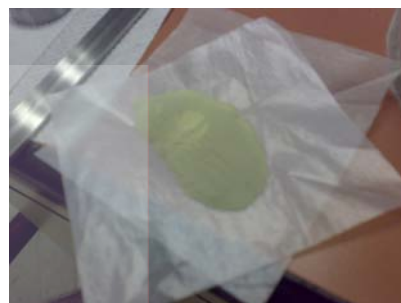
การสร้างหม้อแปลงพอลิไอโซเล็กทริกได้ใช้อุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| - เครื่องกดอัดเม็ด พอลิไอโซเล็กทริก | - เตาอบและเตาเผา |
| - แม่แบบสำหรับอัดเม็ด | - ภาชนะใส่ชิ้นงานสำหรับเผา |
| - เครื่องชั่งน้ำหนัก | - เครื่องมีวัด d_{33} |
| - เครื่องจัดเรียงขั้ว (pole) | - สารพอลิไอโซเล็กทริก |
| - เครื่องวัดคุณสมบัติพอลิไอโซเล็กทริก | - ออสซิลอสโคป |

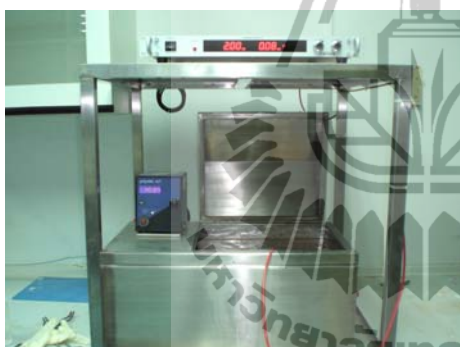
ในที่นี้ขอนำเสนออุปกรณ์สำคัญ ๆ ที่ใช้มาแสดงบางส่วน ดังรูปที่ 4.7



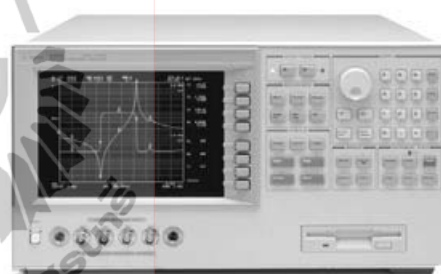
(ก) เครื่องกดอัดเม็ดไพโซอิเล็กทริก



(ข) ผงไพโซอิเล็กทริกจากบริษัท APC



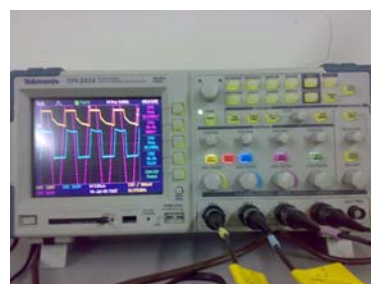
(ค) เครื่องจัดเรียงขั้วไพโซอิเล็กทริก



(ง) เครื่องวัดคุณสมบัติไพโซอิเล็กทริก



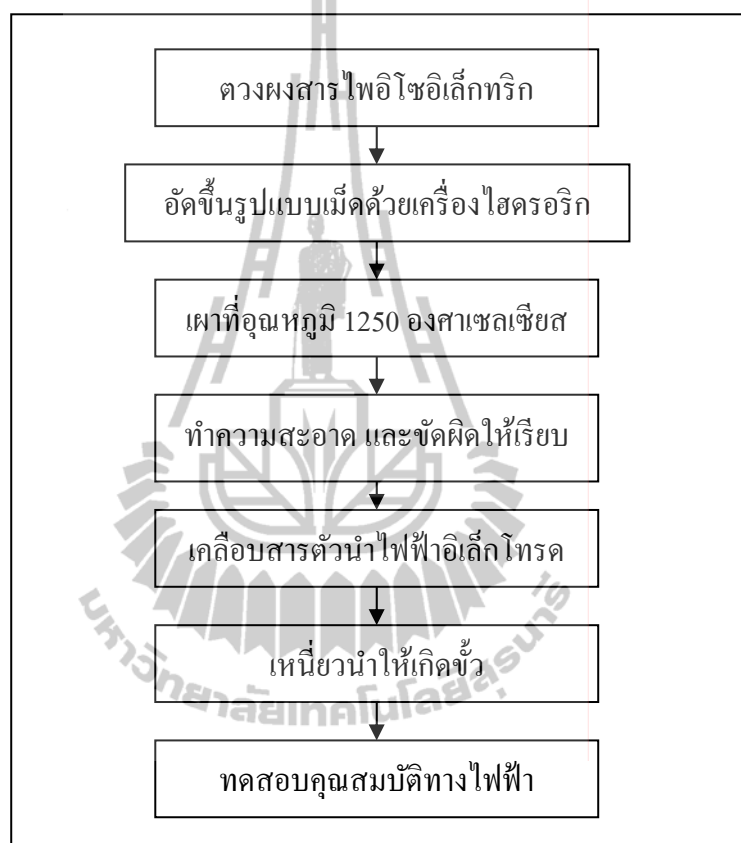
(จ) เครื่องวัดคุณสมบัติไพโซอิเล็กทริก d_{33}



(ฉ) ออสซิลอ스코ป

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก

ขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 4.8 ซึ่งสารไฟโอโซอิเล็กทริกในงานวิจัยได้ใช้ผงสารไฟโอโซอิเล็กทริกจากบริษัท APC International, USA (โดยใช้ผงสารไฟโอโซอิเล็กทริกหมายเลข APC-840 และสารไฟโอโซอิเล็กทริกหมายเลข APC-844)



รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

4.5.1 การอัดขึ้นรูปแบบเม็ดด้วยเครื่องไฮดรอลิก

ใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิกชนิดมือปรับโดยตั้งค่าแรงกดเท่ากับ 6 ตัน

4.5.2 ขั้นตอนการเผาไฟโอโซอิเล็กทริก

4.5.2.1 ตั้งค่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส

4.5.2.2 ยืนไฟที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.5.2.3 อัตราการลดอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที

4.5.3 ขั้นตอนการทำความสะอาดและขัดผิวให้เรียบ (Dimensioning and Finishing)

โดยขัดด้วยกระดาษทรายชนิด SiC เบอร์ 100 220 และ 320 ตามลำดับ ขัดโดยไม่ใช้น้ำ แต่อาจมีการใช้สารละลาย isopropanol โดยให้ชิ้นงานมีความหนาอยู่ในช่วง 2.00 – 3.00 มิลลิเมตร เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างและขนาดตามต้องการ
2. กำจัดสนิม (oxide) ที่ผิวของชิ้นงาน
3. ทำให้ผิวชิ้นงานสามารถทำขั้วอิเล็กโทรด (electrode) ได้เรียบสม่ำเสมอและมีคุณสมบัติที่เท่าเทียมกันทุกส่วนของชิ้นงาน

4.5.4 ขั้นตอนการเคลือบสารตัวนำไฟฟ้าอิเล็กโทรด (electroding)

เพื่อทำขั้วอิเล็กโทรดซึ่งเป็นทางเข้าและออกของกระแสไฟฟ้า โดยมีการออกแบบโครงสร้างของขั้วอิเล็กโทรดที่มีลักษณะรูปร่างดังต่อไปนี้

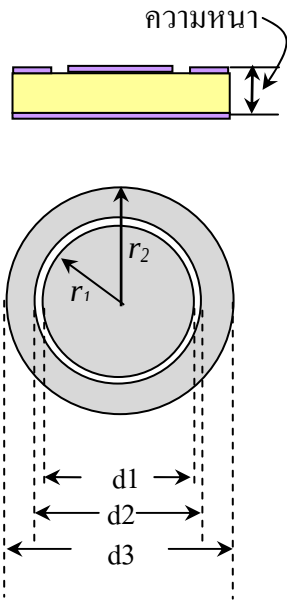
1. สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมีแบบ 2 ชั้น ขั้วอิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นวงกลมและมีการทำขั้วอิเล็กโทรดเต็มหน้าทั้งสองด้าน
2. สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมีแบบคอนทัวร์ ทำการทำขั้วอิเล็กโทรดเต็มหน้าหนึ่งด้าน ส่วนอีกด้านทำตามลายวงแหวน โดยให้มีช่องว่าง 1 มิลลิเมตร ดังรายละเอียดตามตารางที่ 4.6

4.5.5 ขั้นตอนการทำลวดลายขั้วอิเล็กโทรด

เป็นการเคลือบโลหะตัวนำบนผิวของชิ้นงานตัวอย่าง 2 ด้าน โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดรุ่น คูปองท์ซิลเวอร์พาราเดียม หมายเลข 7095 (มีความเข้มข้น Au 40% - 60%) ชนิด fire on electrode มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดชิ้นงานและอุปกรณ์ ด้วยอะซิโตน (acetone)
2. ทำอิเล็กโทรดลงบนผิวชิ้นงาน
3. นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. เช็ดขอบของชิ้นงานด้วยอะซิโตน
5. เผาขั้วอิเล็กโทรด ดังนี้
 - อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ถึง 550 องศาเซลเซียส
 - ยืนไฟที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
 - อัตราการลดอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที
6. ใช้ยางลบขัดผิวชิ้นงานเพื่อกำจัดส่วนที่เป็นสนิม (oxide) บนผิวชิ้นงาน

ตารางที่ 4.6 การออกแบบโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์สำหรับหม้อแปลงไฟโซลิดสเตททรานซิสเตอร์
รัศมีแบบคอนทอร์

ชิ้นงาน	d1 (มม)	d2 (มม)	d3 (มม)	ความหนา (มม)	อัตราส่วน พื้นที่	หมายเหตุ
R1	10.00	12.00	29.70	2.00	7.38	
R2	16.74	18.74	29.82	2.10	1.92	
R3	20.00	22.00	29.80	2.00	1.01	
R4	10.00	12.00	30.12	2.47	7.63	
R5	16.74	18.74	29.62	2.30	1.88	
R6	20.00	22.00	30.00	2.36	1.04	
R7	10.00	12.00	29.84	2.75	7.46	
R8	16.74	18.74	29.72	2.71	1.90	
R9	20.00	22.00	29.80	2.76	1.01	
R10	10.00	12.00	30.30	3.00	7.74	
R11	16.74	18.74	29.84	2.90	1.92	
R12	20.00	22.00	30.00	2.85	1.04	
R13	10.00	12.00	30.30	3.00	7.74	

4.5.6 ขั้นตอนการเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วไฟฟ้า

เป็นการทำให้ dipole ในชิ้นงานจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวโดย apply dc voltage 2500 โวลต์ ต่อความหนา 1 มิลลิเมตร และทำการ pole ในน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตามขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบเครื่องมือและอุณหภูมิให้น้ำมันมีอุณหภูมิถึง 120 องศาเซลเซียส
2. ทำความสะอาดนำตัวยัดชิ้นงาน ด้วยอะซิโตนและนำชิ้นงานใส่ในแท่นยัด
3. วางตัวยัดชิ้นงาน ลงในถังน้ำมันหล่อเย็น
4. เปิดการทำงานของเครื่องปรับแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำให้เกิดขั้ว แล้วเริ่มทำการจับเวลา

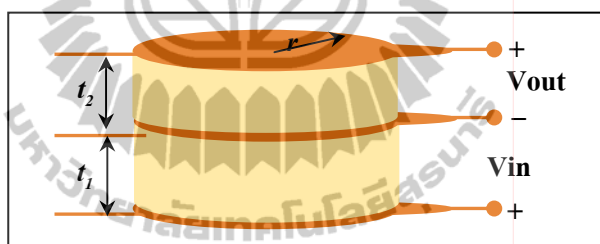
การจับเวลา

5. ปรับลดแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำให้เกิดขั้ว จนมีค่าเป็นศูนย์ นำชิ้นงานออก
6. นำตัวยัดชิ้นงานออกจากเครื่อง นำชิ้นงานออกจากตัวยัดชิ้นงานและทำความสะอาดชิ้นงานด้วยอะซิโตนเพื่อเช็ดน้ำมันออก

หมายเหตุ ก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบคุณสมบัติ ให้รอจนชิ้นงานมีอายุครบ 24 ชั่วโมง
(หลังจากขั้นตอน poling)

ตารางที่ 4.7 ขนาดของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

ชิ้นงานที่	R212	R278	R236	R213
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม)	30.00	30.00	30.00	30.00
ความหนาเข้า (t_1) (มม)	3.00	3.26	3.00	3.00
ความหนาออก (t_2) (มม)	3.00	3.00	2.62	2.72
หมายเหตุ	สาร APC-844 สำหรับ เปรียบเทียบ	สาร APC-844 ได้จากการ ค้นหาด้วย GA	สาร APC-844 สำหรับ เปรียบเทียบ	สาร APC-840 ได้จากการ ค้นหาด้วย GA



รูปที่ 4.9 การออกแบบโครงสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

ในการออกแบบไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสำหรับสาร 2 ชนิด คือ ชนิดแรกใช้สารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 และชนิดที่สองใช้สารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 มีขนาดโครงสร้างตามตารางที่ 4.7 โดยชิ้นงานที่ R278 และ ชิ้นงานที่ R213 เป็นชิ้นงานที่มีขนาดได้จากการค้นหาด้วยจินเนติกอัลกอริทึม ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานที่ R212 และชิ้นงานที่ R236 สร้างขึ้นเพื่อมาศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์เดียวกัน (APC-844) โดย มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุดิภูมิ (t_2) ต่างกัน ส่วนชิ้นงานที่ R236 กับชิ้นงานที่ R213 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเบอร์ของสารไฟโอโซอิเล็กทริกที่ต่างกันกับความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุดิภูมิ (t_2) เดียวกัน โดยที่โครงสร้างของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.9

4.5.7 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน สามารถแบ่งการทดสอบตามคุณสมบัติของชิ้นงานออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ คือ

1. การวัดคุณสมบัติโดยทั่วไปของชิ้นงาน ทำการวัดค่าความหนาของชิ้นงาน หลังจากทำการเผานี้กชิ้นงาน โดยทำการวัดค่าจากสามจุดแล้วหาค่าเฉลี่ยของความหนาของชิ้นงาน พร้อมกับบันทึกผลการทดลอง

2. การวัดคุณสมบัติทางด้าน Piezoelectric Ceramic โดยทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของชิ้นงานดังต่อไปนี้ คือ

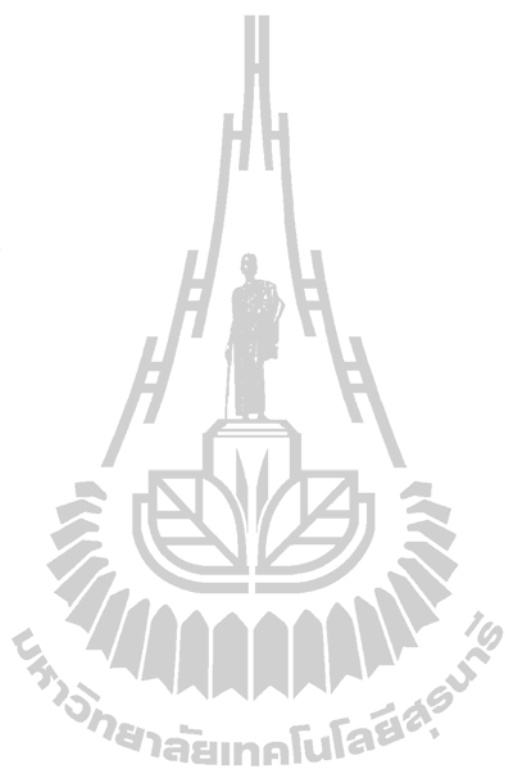
2.1 วัดค่า d_{33} โดยใช้เครื่อง Piezoelectric d_{33} meter (APC 90-2030)

2.2 การวัดคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า ด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติไพโซอิเล็กทริก รุ่น Hewlett Packard 4194A Impedance/gain phase analyzer

4.6 สรุป

ผลการออกแบบวัสดุไพโซอิเล็กทริกที่มีการทำงานแบบภาคเดียวสามารถตอบสนองความถี่การสวิตช์มอสเฟตให้อยู่ในช่วง 70 - 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ตามความเหมาะสมกับความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกและมีช่วงประจุเวลา 1 ไมโครวินาที เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแบบครึ่งคลื่นและผลการศึกษาออกแบบหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกด้วยเงินเนติกอัลกอริทึมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามรัศมีแบบ 2 ชั้น ด้วยเงินเนติกอัลกอริทึม ส่วนสารไพโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.0 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุดิยภูมิ (t_2) มีค่า 3.26 และ 3.01 มิลลิเมตร สำหรับสารไพโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.40 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุดิยภูมิ (t_2) มีค่า 3.10 และ 2.70 มิลลิเมตรและผลการศึกษาออกแบบหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามรัศมีแบบคอนทัวร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยปัญญาประดิษฐ์เงินเนติกอัลกอริทึม สำหรับสารไพโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.30 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุดิยภูมิ (t_2) มีค่า 3.00 และ 3.00 มิลลิเมตร สำหรับสารไพโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 29.62 - 30.30 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุดิยภูมิ (t_2) มีค่า 2.00 - 3.00 มิลลิเมตร ส่วนการหาค่าพารามิเตอร์ ด้วยวิธีการคำนวณตามสมการของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกทั้ง ชนิดการสันตามรัศมีแบบ 2 ชั้นและหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามรัศมีแบบคอนทัวร์สำหรับสารไพโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28.48 มิลลิเมตร มีความหนาชั้นทุดิยภูมิ

(t_2) มีค่า 3.01 มิลลิเมตรและสำหรับสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26.96 มิลลิเมตร มีความหนาชั้นทุดิยภูมิ (t_2) มีค่า 2.72 มิลลิเมตร



บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

จากการออกแบบบัสลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้อธิบายรายละเอียดทางโครงสร้างบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และขนาดรูปร่างของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในบทที่ 4 งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ 2 ชนิด คือ หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์และหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ซึ่งแต่ละชนิดใช้สารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ของบริษัท APC International Ltd. จำนวน 2 เบอร์ คือ เบอร์ APC-840 และเบอร์ APC-844 ซึ่งมีค่าคุณภาพทางกล (Mechanical Quality Factor: Qm) น้อยสุดและมากที่สุดเท่ากับ 500 และ 1500 ตามลำดับเพื่อทำการศึกษาค่า Qm มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์อย่างไร นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ทางด้านขาเข้าและขาออก พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทางด้านขาเข้าและขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์จำนวน 13 ชิ้นงาน ซึ่งเป็นการสร้างจากสารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์รุ่น APC-840 จำนวน 12 ชิ้นงานและจากสารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์รุ่น APC-844 จำนวน 1 ชิ้นงาน โดยมีโครงสร้างและความหนาที่แตกต่างกัน

2. สร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น จำนวน 4 ชิ้นงาน ซึ่งเป็นการสร้างจากสารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์รุ่น APC-840 จำนวน 1 ชิ้นงานและจากสารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์รุ่น APC-844 จำนวน 3 ชิ้นงาน โดยมีความหนาที่แตกต่างกัน

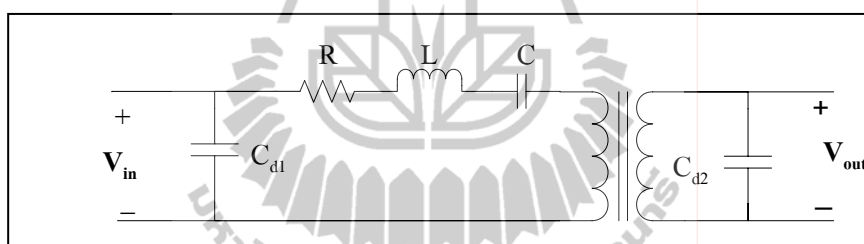
ก่อนดำเนินการสร้างจริงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำงานด้วยการจำลองผลในโปรแกรม PSIM และในส่วนท้ายสุดของบทความได้เสนอการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบทางไฟฟ้าของบัสลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้กับบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัสลาสต์ชนิดขดลวดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด พร้อมทั้งอภิปรายผลไว้ในบทนี้ด้วย

5.2 ผลการจำลองสถานการณ์ของบัลลาสต์ไฟโซโห้เล็กทริก

ในการจำลองสถานการณ์การทำงานบัลลาสต์ไฟโซโห้เล็กทริกกับหม้อแปลงไฟโซโห้เล็กทริก ชนิดโหมคการสั้นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น สำหรับสารไฟโซโห้เล็กทริกเบอร์ APC-840 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

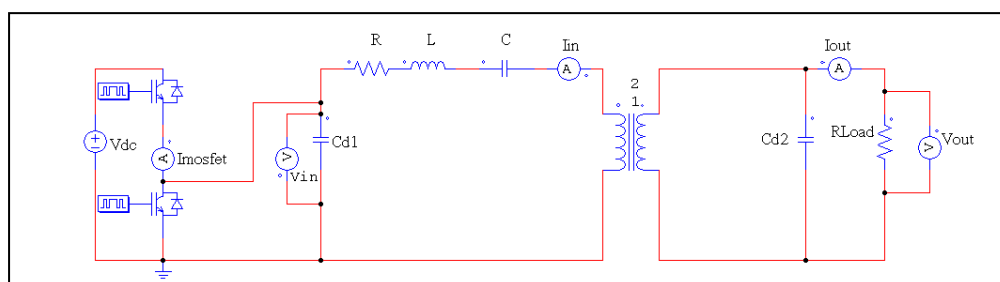
ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นจากการใช้จินเนติกอัลกอริทึมค้นหาผลค่าตอบโดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ให้เกิดกำลังสูญเสีย (Power loss) น้อยสุดซึ่งให้คำตอบของการค้นหาพบว่า ค่าพารามิเตอร์ของไฟโซโห้เล็กทริกมีค่าดังนี้ ขนาดรัศมี 14.70 มิลลิเมตร ความหนาแน่นปฐมภูมิ 3.26 มิลลิเมตร ความหนาแน่นทุติยภูมิ 3.00 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบหม้อแปลงไฟโซโห้เล็กทริกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ R L C C_{d1} และ C_{d2} ในวงจรสมมูลหม้อแปลงไฟโซโห้เล็กทริกดังรูปที่ 5.1 ซึ่งการคำนวณหาพารามิเตอร์นี้ได้จากสมการในบทที่ 3



รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟโซโห้เล็กทริก

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาจำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM ได้ผลของแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออกและกระแสขาเข้าและขาออกของวงจรสมมูลไฟโซโห้เล็กทริก ตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การจำลองผลวงจรบัลลาสต์ไฟโซโห้เล็กทริกด้วยโปรแกรม PSIM

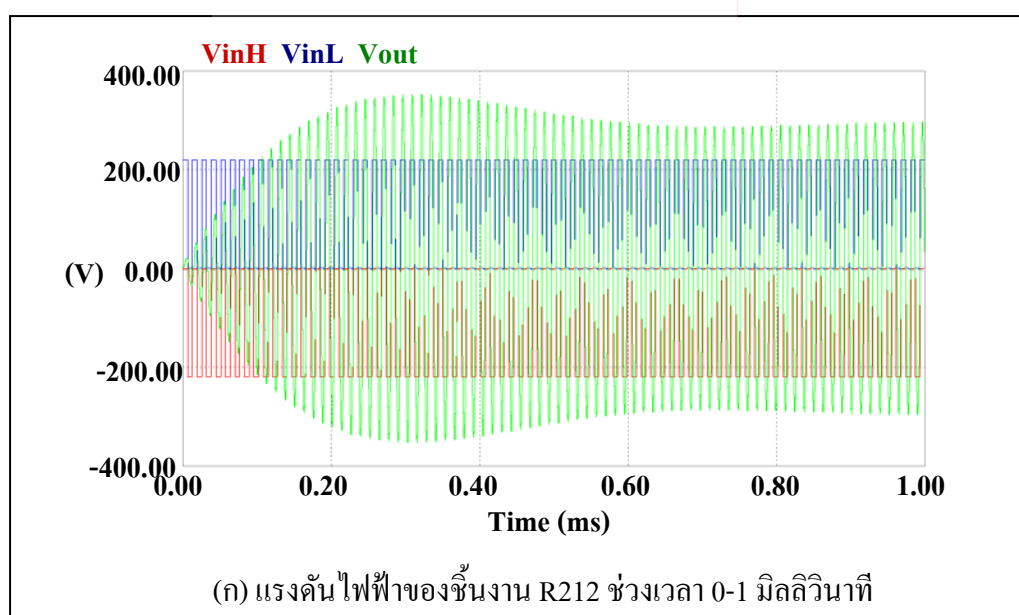
5.2.1 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์รุ่น Hewlett Packard impedance analyzer HP4294A ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดโหมดการสันตามแนวรัศมีทั้ง 4 ชั้นงาน จากสารไฟโอโซอิเล็กทริก รุ่น APC-844 (หมายเลข R212 R236 และ R278) และ 1 ชั้นงานจากสารไฟโอโซอิเล็กทริก รุ่น APC-840 (หมายเลขชั้นงาน R213) แสดงได้ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบผลการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 64% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

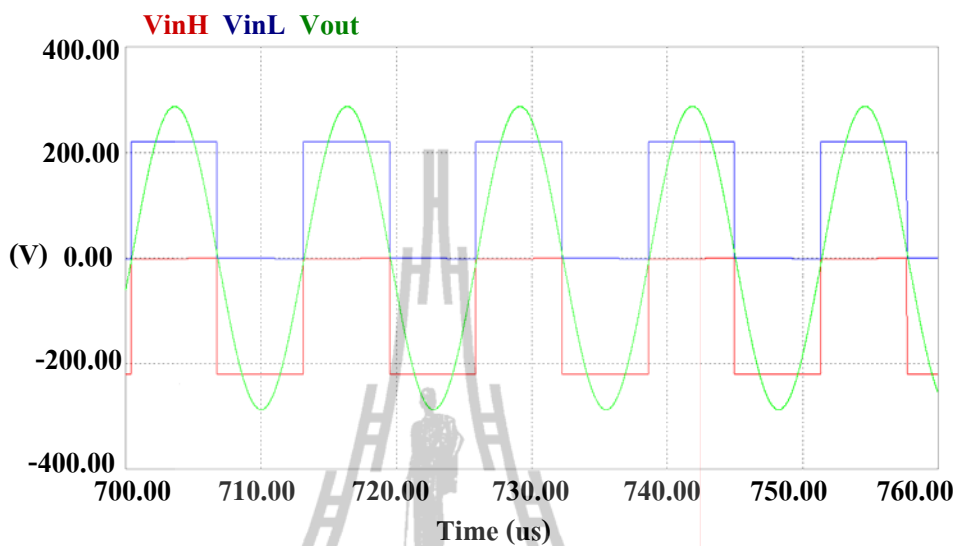
ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกโหมดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

ชั้นงาน		R212	R236	R278	R213
R (Ω)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	2.62	2.79	2.64	4.54
	ค่าที่ได้จากการวัด	6.78	7.71	6.85	6.14
	ค่าผิดพลาด (%)	61.35	63.79	61.45	26.03
L (mH)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	8.00	8.50	8.00	3.90
	ค่าที่ได้จากการวัด	7.00	7.00	7.00	5.60
	ค่าผิดพลาด (%)	23.08	14.86	21.21	30.35
C (pF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	514.89	483.84	511.49	758.71
	ค่าที่ได้จากการวัด	569.80	500.80	563.50	589.03
	ค่าผิดพลาด (%)	9.63	3.38	9.23	28.80
Cd1 (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	5.78	5.70	5.78	4.57
	ค่าที่ได้จากการวัด	5.11	4.23	5.11	3.70
	ค่าผิดพลาด (%)	13.21	34.81	13.21	23.62
Cd2 (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	2.85	2.40	2.80	2.29
	ค่าที่ได้จากการวัด	2.55	2.55	2.47	2.32
	ค่าผิดพลาด (%)	11.72	6.18	13.21	1.39
f (kHz)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	78.53	78.53	78.53	92.00
	ค่าที่ได้จากการวัด	85.27	81.51	82.05	82.16
	ค่าผิดพลาด (%)	7.91	3.65	4.28	10.70

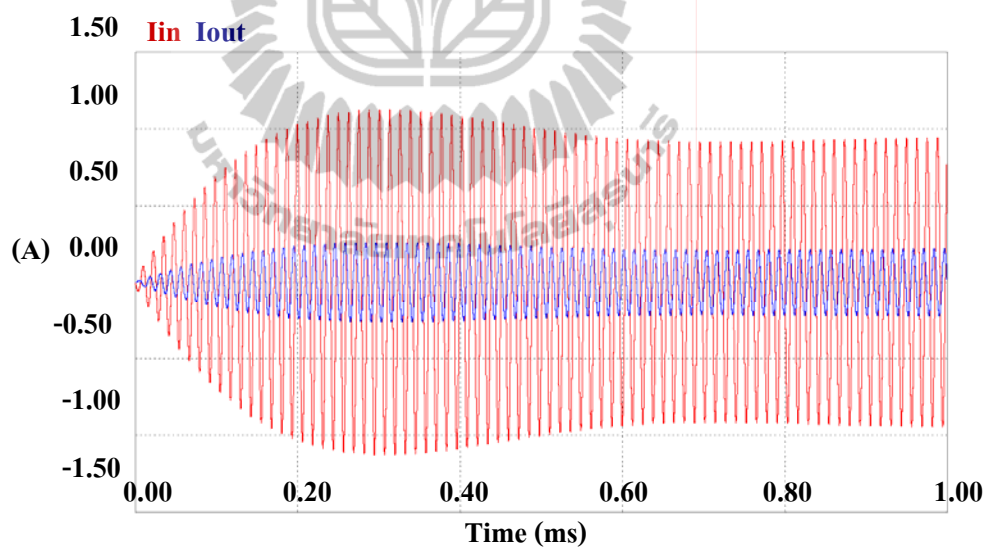
การจำลองผลวงจรบัลลาสต์ไฟโซลิตีกริกด้วยโปรแกรม PSIM โดยสร้างแรงดันรูปคลื่นพัลส์ด้วยความถี่ประมาณ 81 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดันขาเข้า 220 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ส่งผ่านหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกที่มีโหลดความต้านทานแทนความต้านทานหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Rlamp) มีค่าประมาณ 1.345 กิโลโอห์ม และจะได้ว่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่โหลดมีรูปคลื่นไซน์เนื่องจากโครงข่ายเรโซแนนซ์ (resonant tank) ในตัวไฟโซลิตีกริกสามารถทำหน้าที่เป็นวงจรกรองกระแสได้ ถึงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าจะมีสัญญาณรูปคลื่นพัลส์ ส่วนแรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ตามการจำลองผลในโปรแกรม PSIM มีขนาดสูงสุดประมาณ 680 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.35 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงคงที่ประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) และกระแสไฟฟ้าขาเข้ามีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุด 0.95 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.35 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงที่ 740 มิลลิแอมแปร์ ส่วนกระแสขาออกของหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกมีขนาดสูงสุดประมาณ 200 มิลลิแอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.60 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 180 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดผลการวัดได้ดังรูปที่ 5.3 - 5.6 โดยที่ในวงจรแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกด้านบวกแทนด้วยเส้นสีน้ำเงินส่วนด้านลบแทนด้วยเส้นสีแดง สำหรับแรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกแสดงด้วยเส้นสีเขียวและส่วนรูปแสดงกระแสไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกแสดงด้วยเส้นสีแดง ส่วนกระแสไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกแสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน



รูปที่ 5.3 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกชิ้นงานที่ R212 (ต่อ)

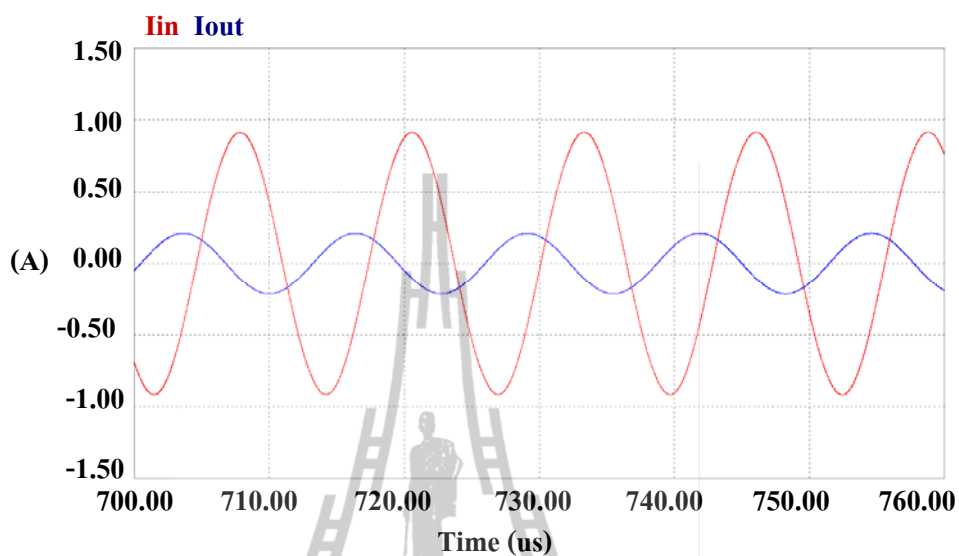


(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R212 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที

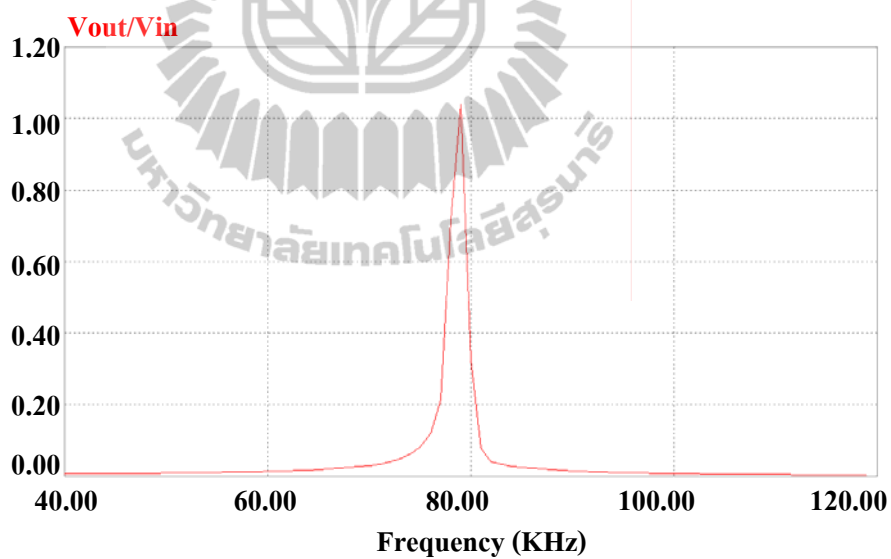


(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R212 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

รูปที่ 5.3 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโซลิดสเตทที่ R212 (ต่อ)

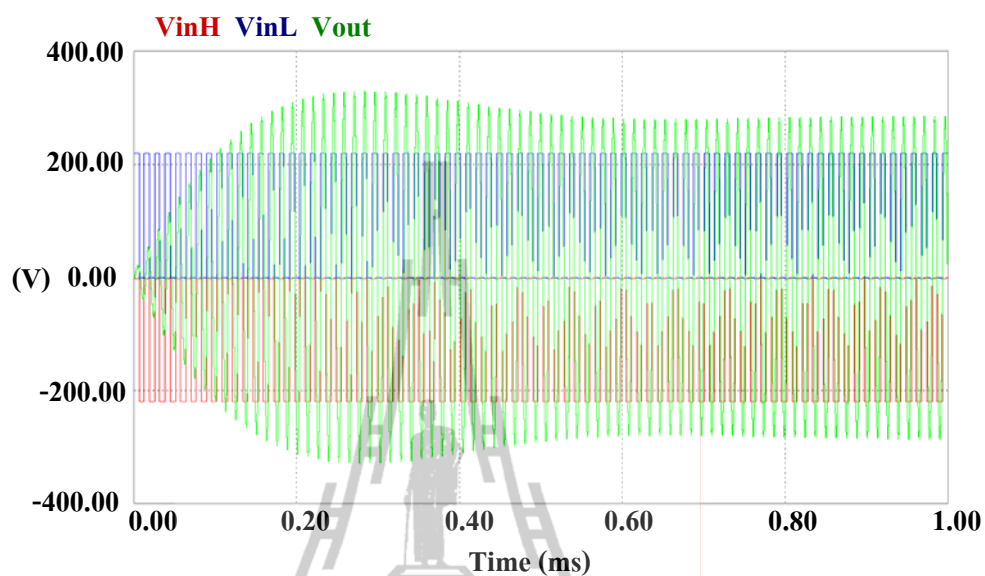


(ง) กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R212 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

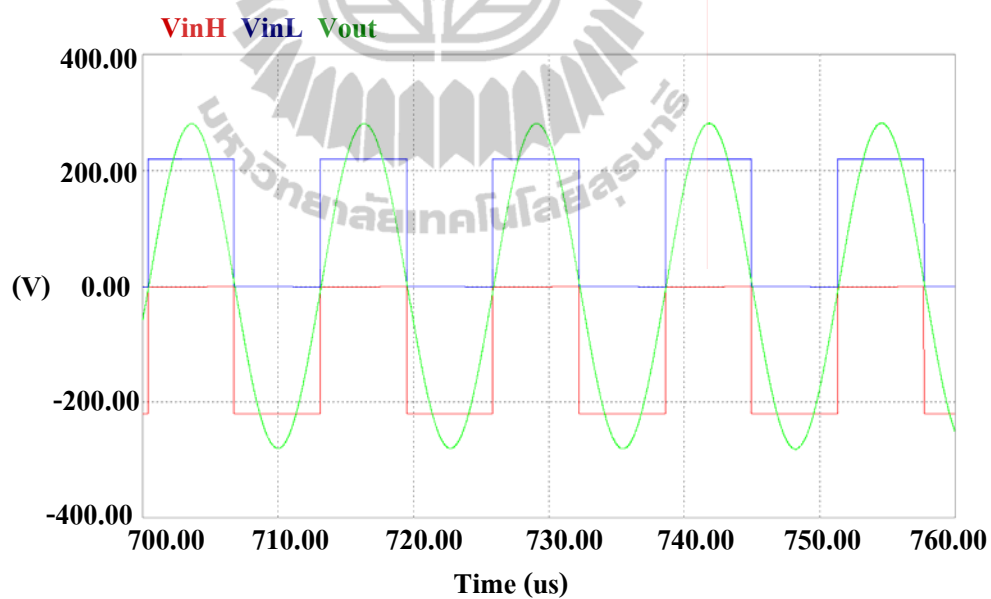


(จ) ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R212 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์

รูปที่ 5.3 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R212

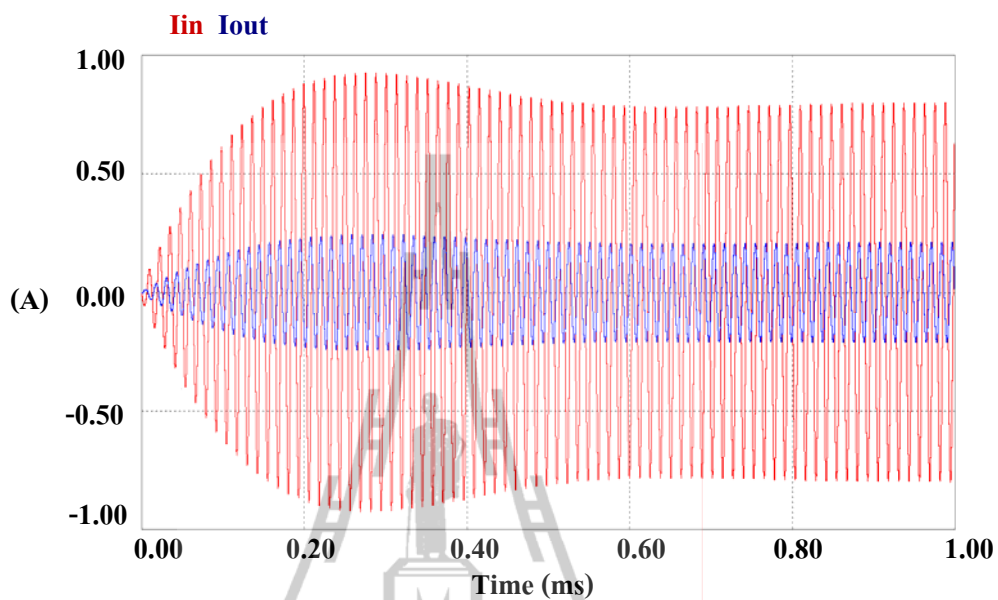


(ก) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R236 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

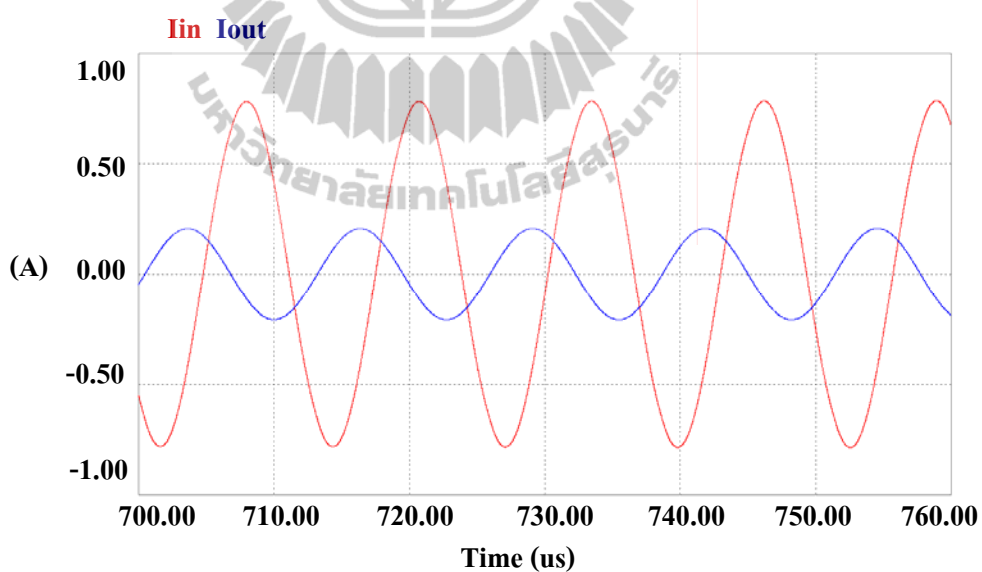


(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R236 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที

รูปที่ 5.4 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโซิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R236 (ต่อ)

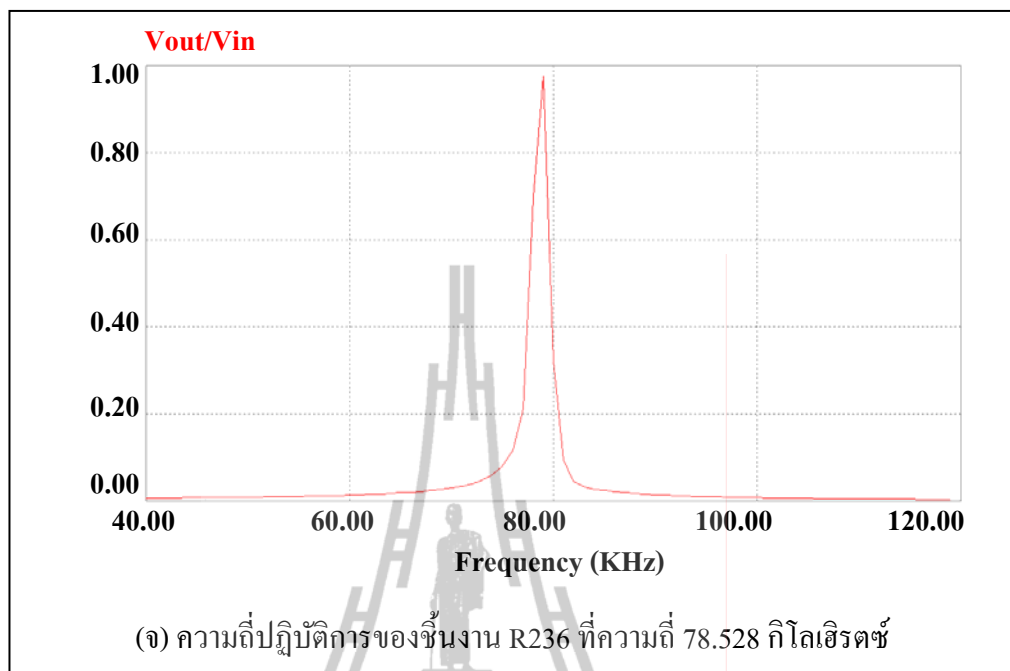


(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R236 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

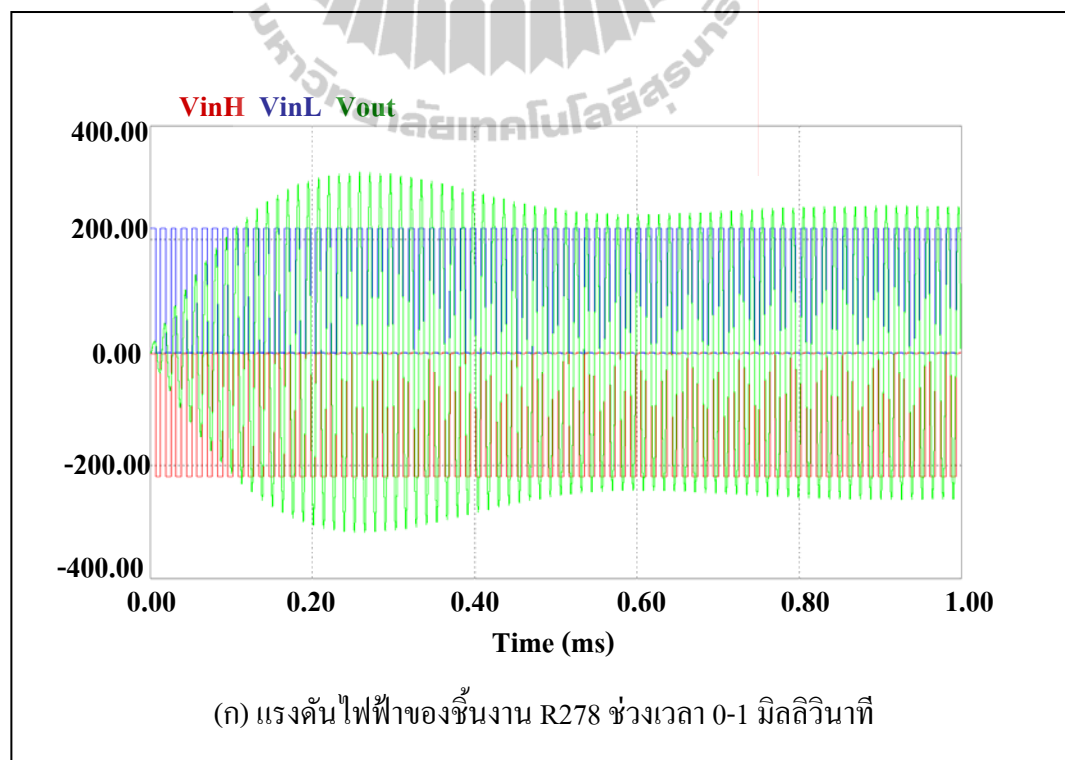


(ง) กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R236 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

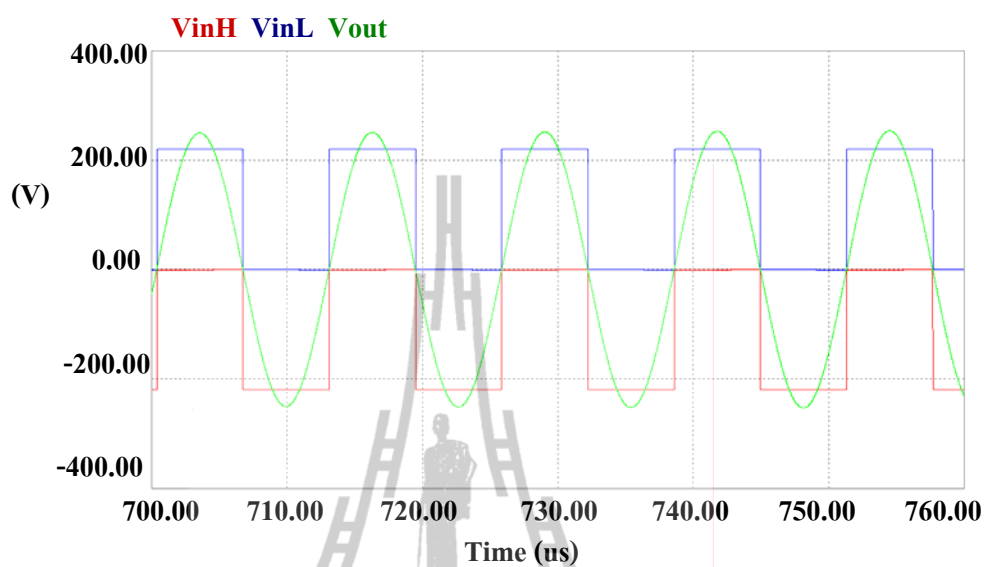
รูปที่ 5.4 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R236 (ต่อ)



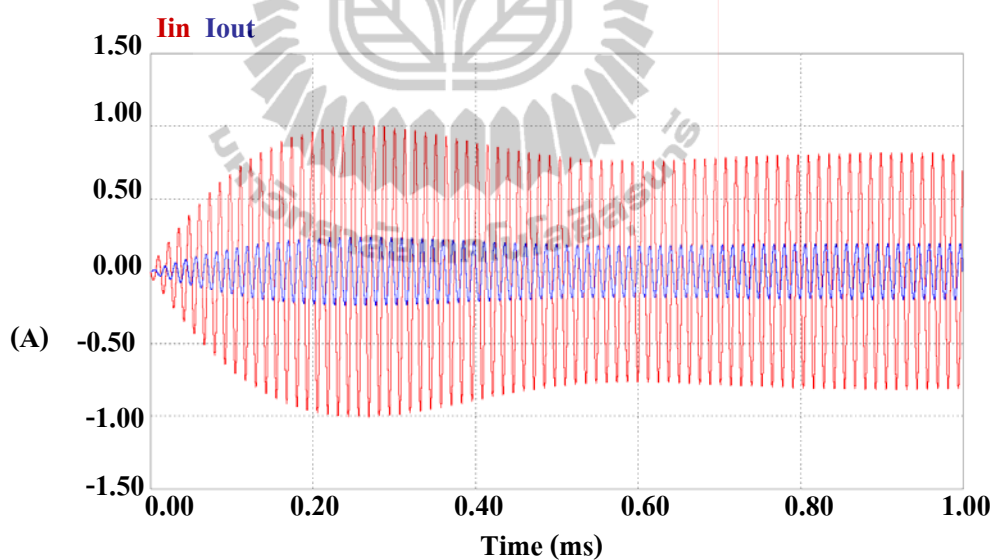
รูปที่ 5.4 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R236



รูปที่ 5.5 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R278 (ต่อ)

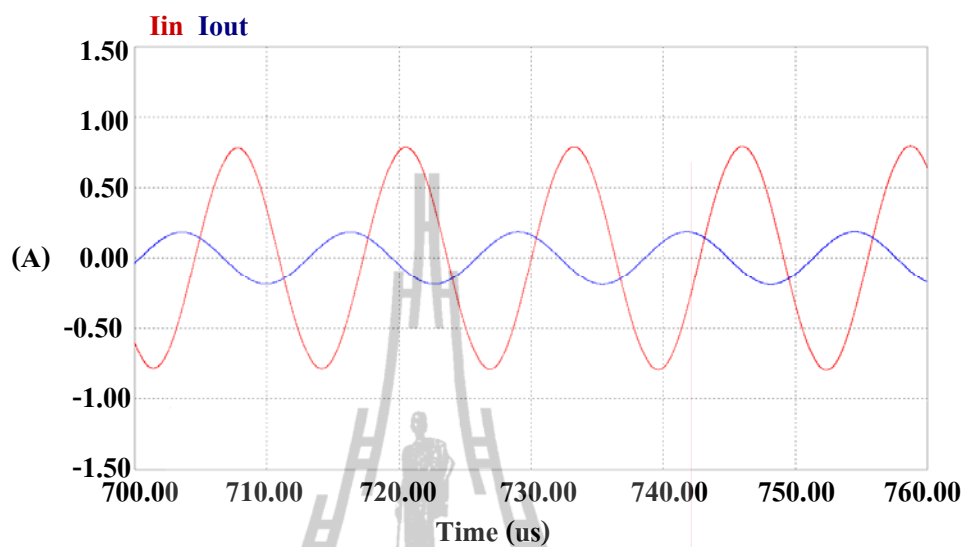


(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R278 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที

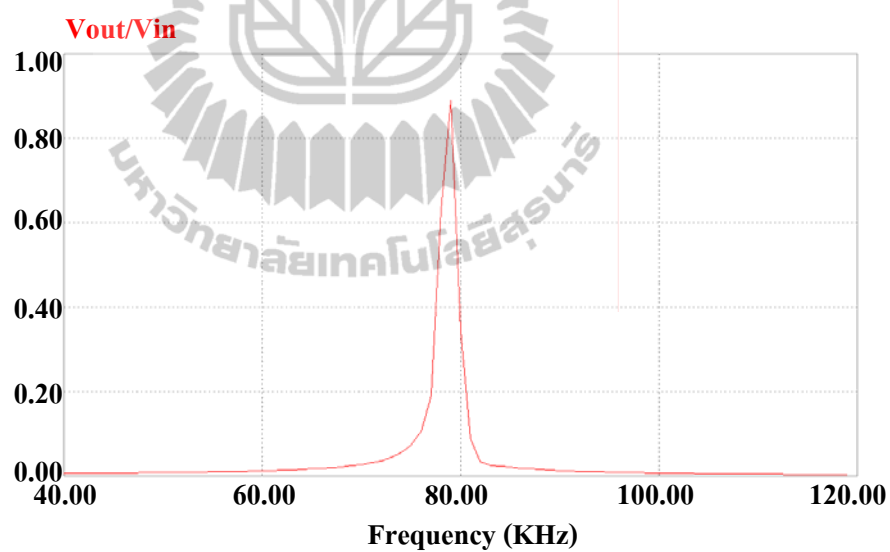


(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R278 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

รูปที่ 5.5 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R278 (ต่อ)

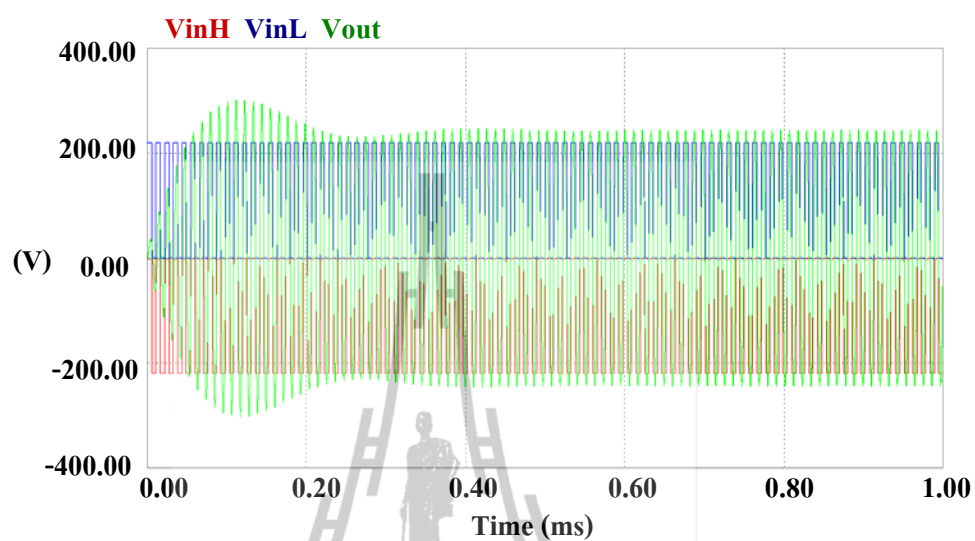


(ง) กระแสไฟฟ้าขึ้นงาน R278 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

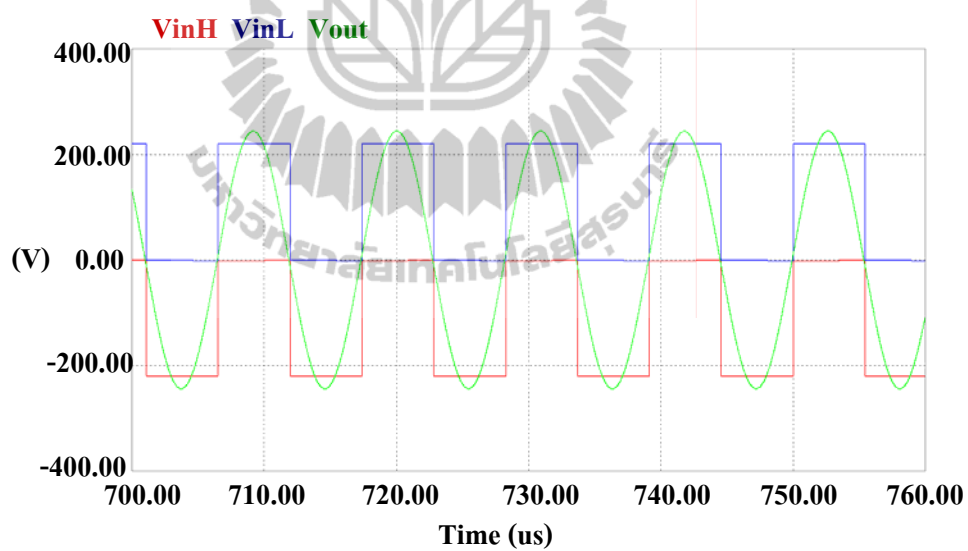


(จ) ความถี่ปฏิบัติการของขึ้นงาน R278 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์

รูปที่ 5.5 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกขึ้นงานที่ R278

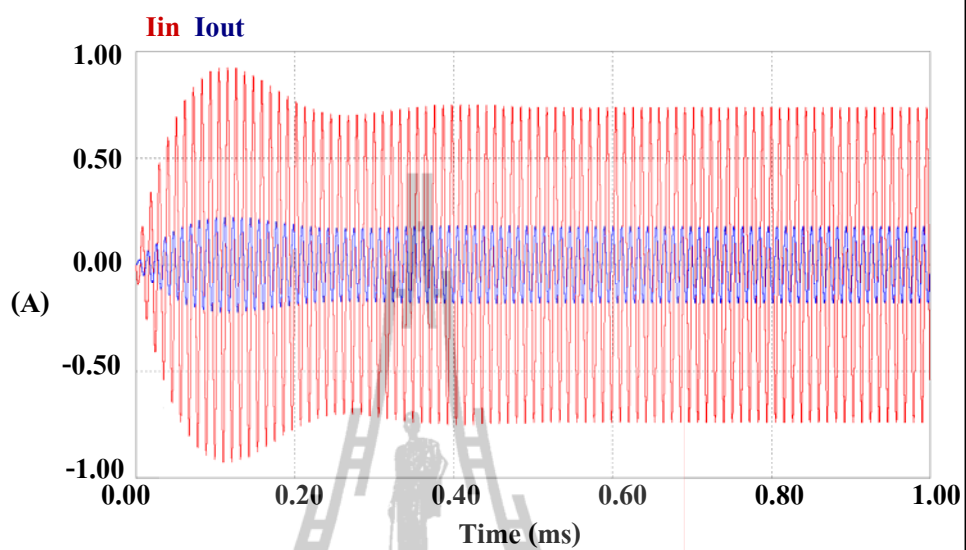


(ก) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R213 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

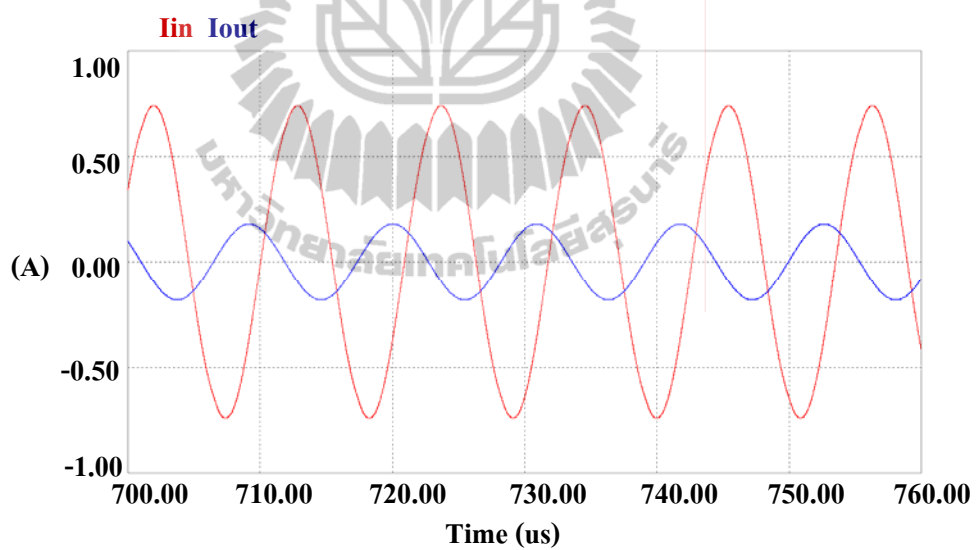


(ข) แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R213 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที

รูปที่ 5.6 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R213 (ต่อ)

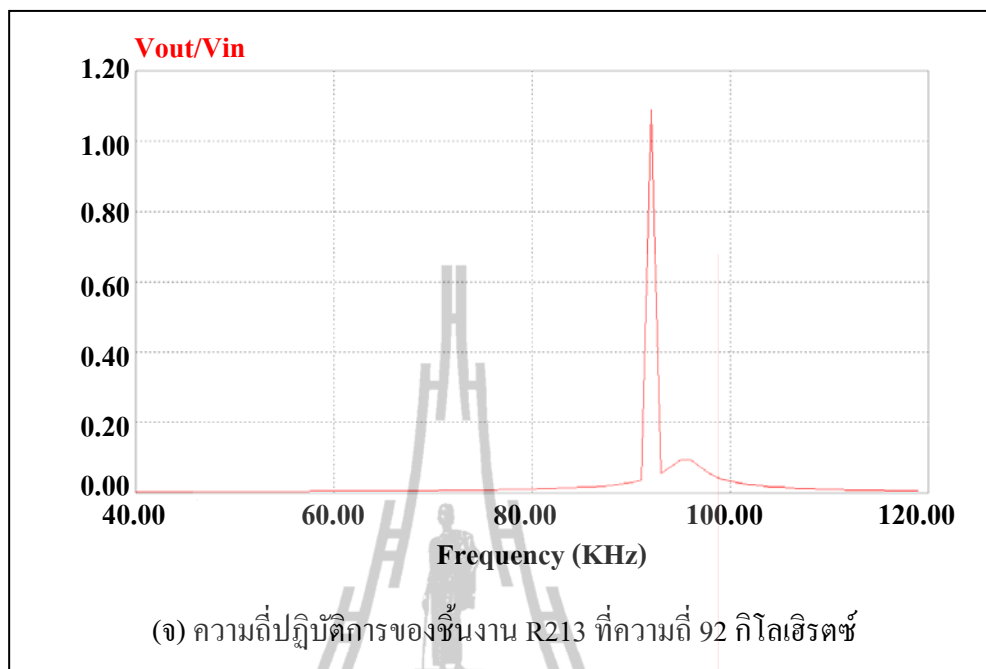


(ค) กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R213 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



(ง) กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R213 ช่วง 700-760 มิลลิวินาที

รูปที่ 5.6 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโซลิตีกริกชิ้นงานที่ R213 (ต่อ)



รูปที่ 5.6 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R213

5.2.2 ผลการจำลองผลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดโหมดการสั้น ตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์รุ่น Hewlett Packard impedance analyzer HP4294A ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดโหมดการสั้นตามแนวรัศมีทั้ง 13 ชิ้นงาน จากสารไฟโอโซอิเล็กทริก รุ่น APC-844 (หมายเลข R13) และ 1 ชิ้นงาน จากสารไฟโอโซอิเล็กทริก รุ่น APC-840 (หมายเลขชิ้นงาน R1 - R12) แสดงได้ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบผลการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ สำหรับการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสำหรับงานวิจัยนี้

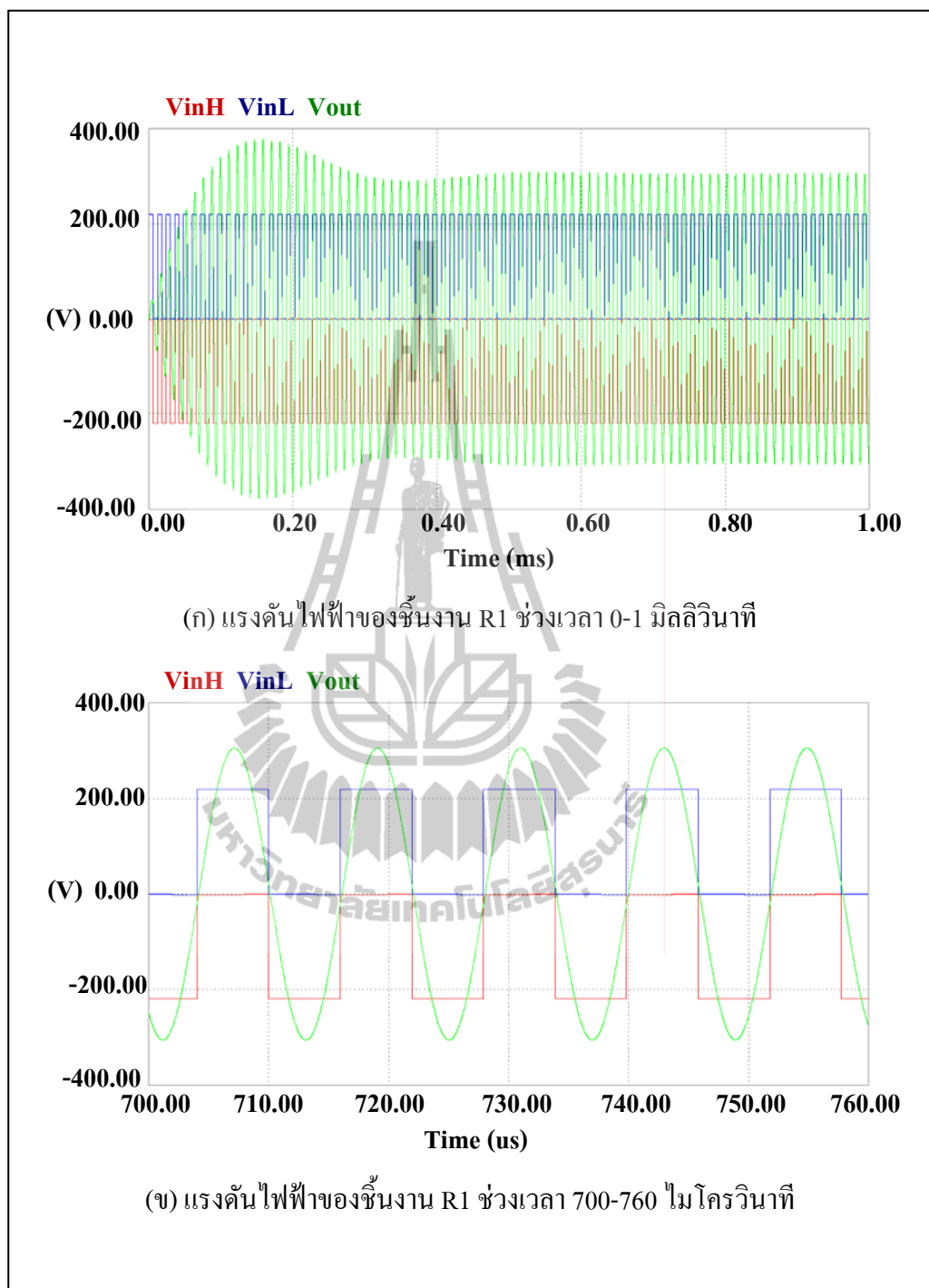
ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบห้แปลงไฟโซิเล็กทริกชนิดโหมดการสัน
ตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

ชั้นงาน		R1	R2	R3	R4	R5	R6
R (Ω)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	3.45	3.61	3.44	4.20	3.98	4.03
	ค่าที่ได้จากการวัด	4.72	5.68	4.81	5.03	4.13	7.14
	ค่าผิดพลาด (%)	26.90	36.40	28.50	16.50	3.60	43.60
L (mH)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	3.30	3.40	3.30	4.00	3.80	3.90
	ค่าที่ได้จากการวัด	3.22	5.64	3.28	4.86	4.14	3.33
	ค่าผิดพลาด (%)	2.50	39.70	0.60	17.70	8.20	17.20
C (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	1.10	1.06	1.11	0.92	0.95	0.95
	ค่าที่ได้จากการวัด	1.22	1.72	1.74	0.82	1.69	0.87
	ค่าผิดพลาด (%)	9.80	38.40	36.20	12.50	43.80	9.30
Cd1 (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	6.65	6.38	6.69	5.54	5.75	5.75
	ค่าที่ได้จากการวัด	6.79	5.17	7.08	7.64	3.46	5.76
	ค่าผิดพลาด (%)	2.10	23.50	5.50	27.50	66.00	0.20
Cd2 (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	3.32	3.19	3.35	2.77	2.88	2.87
	ค่าที่ได้จากการวัด	3.22	4.16	3.68	2.81	3.75	2.98
	ค่าผิดพลาด (%)	3.10	23.30	9.00	1.40	23.20	3.70
f (kHz)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	83.8	83.46	83.52	82.63	84.02	82.96
	ค่าที่ได้จากการวัด	76.1	81.56	84.3	76.46	82.95	82.6
	ค่าผิดพลาด (%)	10.12	2.34	0.92	8.07	1.30	0.44

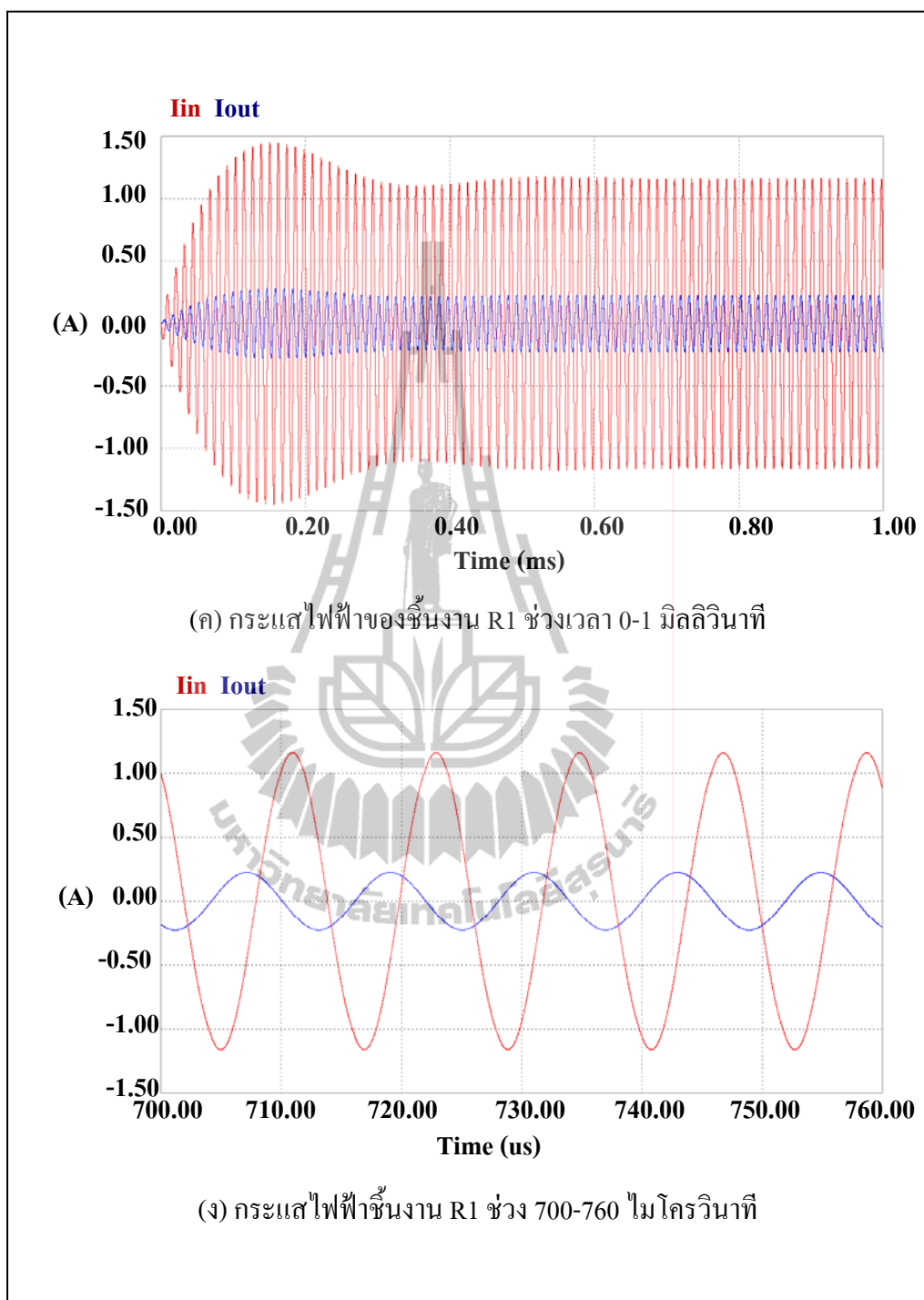
ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบห้อยแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดโหมดการสั้น
ตามแนวนอนแบบคอนทัวร์ (ต่อ)

ชิ้นงาน		R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
R (Ω)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	4.72	4.67	4.74	5.07	4.98	4.86	2.79
	ค่าที่ได้จากการวัด	5.31	6.79	4.52	6.29	7.75	5.32	7.23
	ค่าผิดพลาด (%)	11.10	31.20	4.90	19.40	35.70	8.60	61.46
L (mH)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	4.50	4.40	4.50	4.90	4.70	4.70	8.50
	ค่าที่ได้จากการวัด	3.86	4.39	4.13	4.98	5.92	4.09	7.00
	ค่าผิดพลาด (%)	16.60	0.20	8.90	1.60	20.60	14.90	21.43
C (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	0.81	0.81	0.80	0.76	0.77	0.79	0.48
	ค่าที่ได้จากการวัด	1.04	1.71	0.65	1.09	1.01	0.85	0.53
	ค่าผิดพลาด (%)	21.90	52.70	22.50	30.30	23.80	7.10	9.23
Cd1 (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	4.88	4.91	4.85	4.61	4.63	4.76	5.42
	ค่าที่ได้จากการวัด	5.04	4.94	5.35	4.19	4.99	5.08	4.79
	ค่าผิดพลาด (%)	3.20	0.60	9.30	10.00	7.20	6.30	13.21
Cd2 (nF)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	2.44	2.46	2.43	2.31	2.31	2.38	2.71
	ค่าที่ได้จากการวัด	3.03	3.04	3.93	3.92	2.49	3.63	2.39
	ค่าผิดพลาด (%)	19.50	19.10	38.20	41.10	7.20	34.40	13.21
f (kHz)	ค่าที่ได้จากคำนวณ	83.41	83.74	83.52	82.14	83.41	82.96	78.53
	ค่าที่ได้จากการวัด	77.88	82.80	82.77	75.50	81.04	82.29	81.51
	ค่าผิดพลาด (%)	7.10	1.14	0.91	8.80	2.92	0.82	3.66

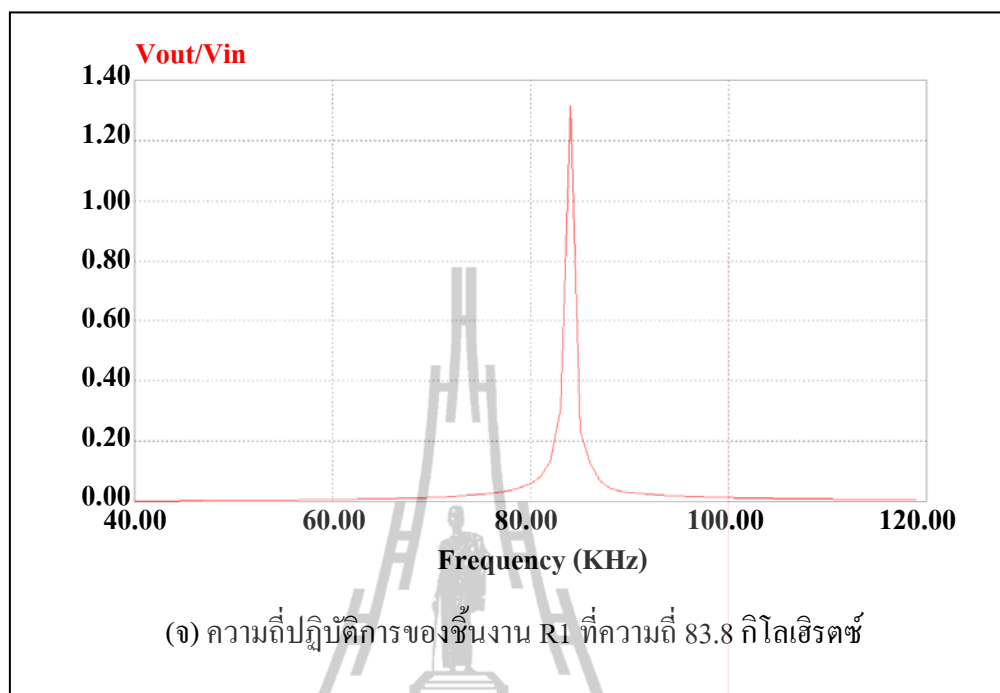
จากผลการคำนวณหาค่าตัวแปรของไฟโอโซอิเล็กทริกตามวงจรสมมูลดังรูปที่ 5.1 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกจะใช้วงจรสมมูลตามทฤษฎีของ Mason (Katz, 1959) โดยการวัดคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสามารถวัดด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติไฟโอโซอิเล็กทริก รุ่น Hewlett Packard 4194A Impedance/gain phase analyzer) ที่ความถี่ปฏิบัติงาน แล้วทำการแทนค่าลงไปในวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยโปรแกรม PSIM โดยวิธีการอ่านค่าจากผลการจำลองได้อธิบายในรายละเอียดมาแล้วข้างต้น ผลการจำลองผลการทดสอบแสดงได้ในรูปที่ 5.7 - 5.19 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.7 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R1 (ต่อ)



รูปที่ 5.7 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R1 (ต่อ)



รูปที่ 5.7 ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R1

ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R1 ดังรูปที่ 5.7 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 770 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.35 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงคงที่ที่ประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.40 และ 0.25 แอมแปร์ เมื่อเวลาผ่านไป 0.35 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 1.15 และ 0.22 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.8 กิโลเฮิร์ตซ์ (ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงาน R2 - R13 ปรากฏในภาคผนวก ข)

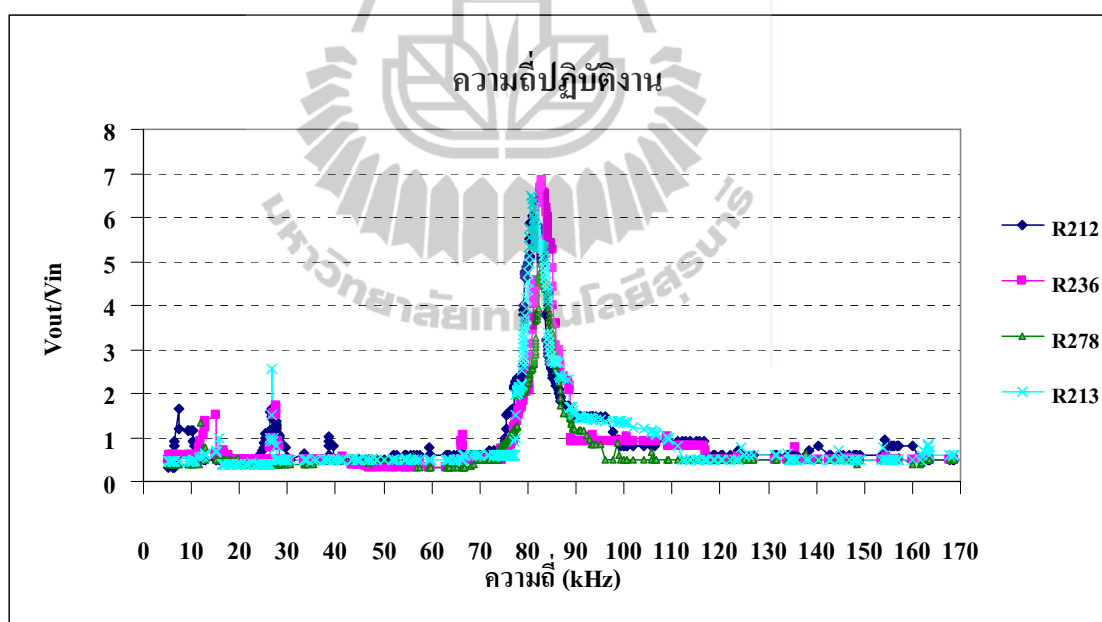
5.3 ผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เมื่อได้ผลการจำลองสถานการณ์วงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม PSIM ตามที่ได้อธิบายมาข้างต้นนั้น จึงได้ทำการสร้างวงจรต้นแบบทดสอบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ รุ่น (TOSHIBA FL36W/T8/D) โดยใช้เครื่องมือทดสอบออสซิลโลสโคป (Tektronix TDS420A) เครื่องวัดความส่องสว่าง (Minolta T-10 Illuminance Meter) และเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า Power Harmonic Analyzer (Fluke-41B) มีรายละเอียดผลการทดสอบดังต่อไปนี้

5.3.1 ผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

5.3.1.1 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการสำหรับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก

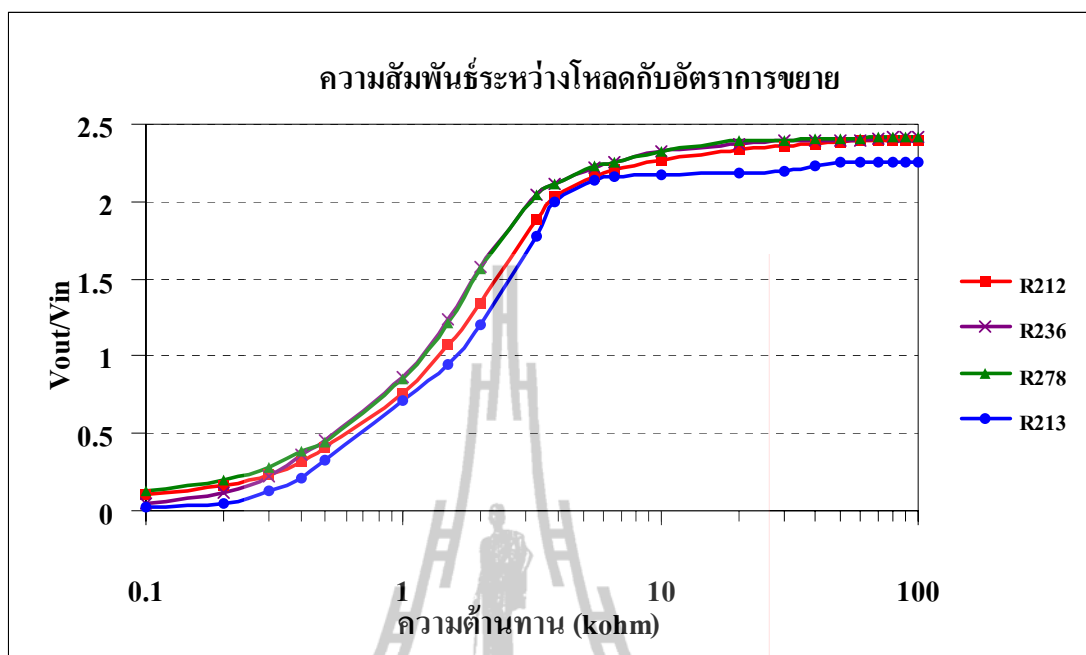
การหาความถี่ปฏิบัติการของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกสามารถหาได้จากการให้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้กับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกคงที่ โดยมีความต้านทานต่อขานานกับหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกทางด้านขาออก แล้วทำการปรับค่าความถี่ที่ป้อนให้ทางขาเข้าของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกระหว่าง 5 - 170 กิโลเฮิร์ตซ์และทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริก แล้วจึงหาอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (แรงดันไฟฟ้า 28 โวลต์ คงที่) ซึ่งแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.8 ซึ่งได้อัตราการขยายสูงสุด 5 - 7 เท่า ที่ความถี่ปฏิบัติงานประมาณ 80 - 82.64 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.8 ผลทดสอบความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

ตารางที่ 5.3 ผลทดสอบความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

ชิ้นงาน	R212	R236	R278	R213
ความถี่ได้จากการคำนวณ (kHz)	78.53	78.53	78.53	92.00
ความถี่ได้จากการวัด (kHz)	85.27	81.51	82.05	82.16
ค่าผิดพลาด (%)	7.91	3.65	4.28	10.70

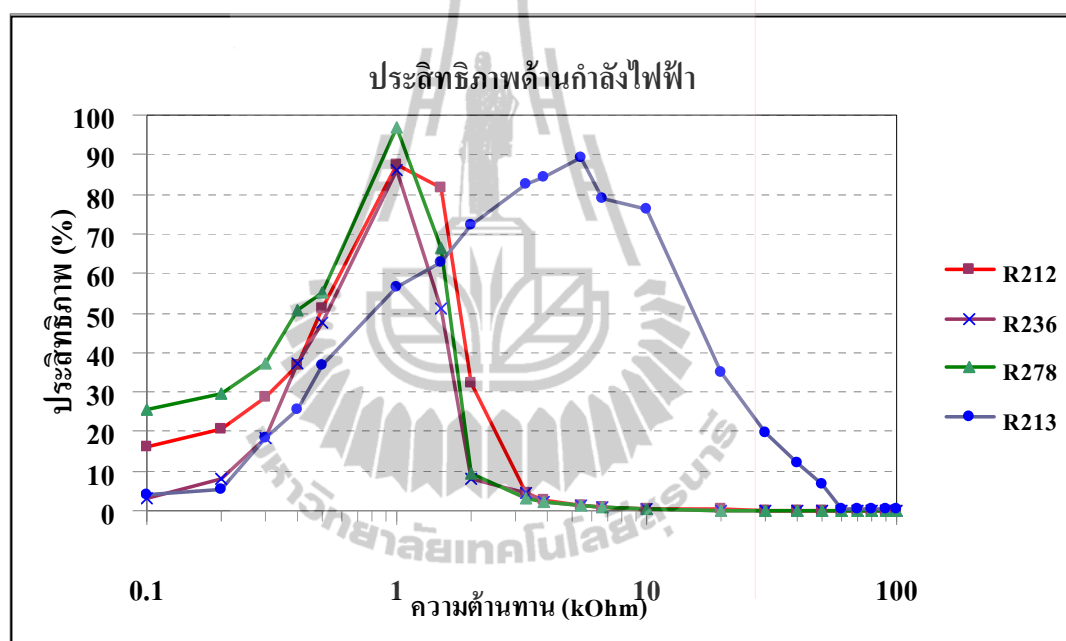


รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้า-แรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

5.3.1.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานโหลดกับอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก (voltage stepup ratio and resistive load) และประสิทธิภาพทางด้านกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกเพื่อหาการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่าเมื่อโหลดมีค่าสูงขึ้นจะทำให้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเข้าและขาออกสูงขึ้นและจะคงที่ที่ความต้านทาน 5 กิโลโอห์ม ดังรูปที่ 5.9 และยังพบว่าประสิทธิภาพทางด้านกำลังของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก (ค่าเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้ทางด้านขาออกต่อกำลังไฟฟ้าที่ให้ทางด้านขาเข้า) ที่สัมพันธ์กับโหลด สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R278 ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึม พบว่ามีประสิทธิภาพทางกำลังมากที่สุดคือ 97% ดังรูปที่ 5.10 จากทฤษฎีการส่งถ่ายกำลังสูงสุดว่าจะเกิดกำลังการส่งถ่ายกำลังสูงสุดได้นั้นค่าความต้านทานของโหลดต้องมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของแหล่งจ่าย ซึ่งเท่ากับ 1.3 กิโลโอห์ม (เป็นช่วงค่าความต้านทานของโหลดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ T8 ขณะหลอดติด) ส่วนหม้อแปลงชิ้นงานที่ R213 สร้างมาจากสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความต้านทาน 6 กิโลโอห์ม (ซึ่งค่าความต้านทานไม่อยู่ในช่วงความ

ด้านทานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ขณะหลอดติด) ดังนั้นจะเห็นว่าสารไพโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 ให้ประสิทธิภาพด้านกำลังน้อยกว่าสารไพโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 ในการสร้างหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริก เพื่อให้เกิดการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ด้วยเงินเนติกอัลกอริทึมได้เป็นผลสำเร็จ ส่วนหม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R312 R236 และ R213 ที่สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ได้มาจากการค้นหาด้วยเงินเนติกอัลกอริทึม นั้นให้ประสิทธิภาพน้อยกว่า กล่าวคือได้ประสิทธิภาพด้านกำลังน้อยกว่า 90%



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและประสิทธิภาพของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

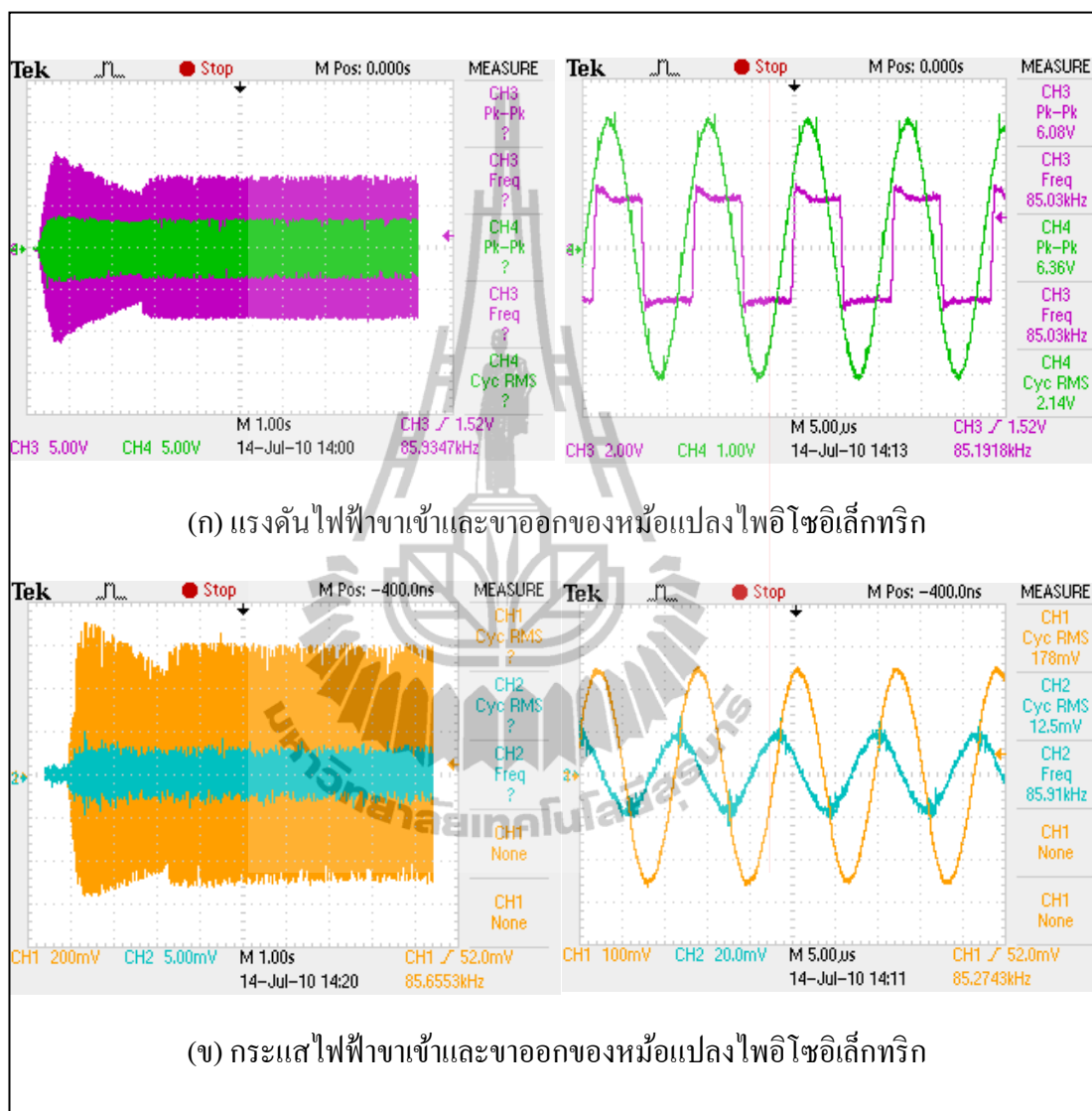
5.3.1.3 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ขณะขับหลอด

ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ หม้อแปลงไพโอโซอิเล็กทริก

ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น

การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะขับหลอดแสดงในรูปที่ 5.11 - 5.13 โดยที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก วัดด้วยเครื่องมือวัดออสซิลโลสโคป ที่ช่อง CH3 และ CH4 ตามลำดับ ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาออก

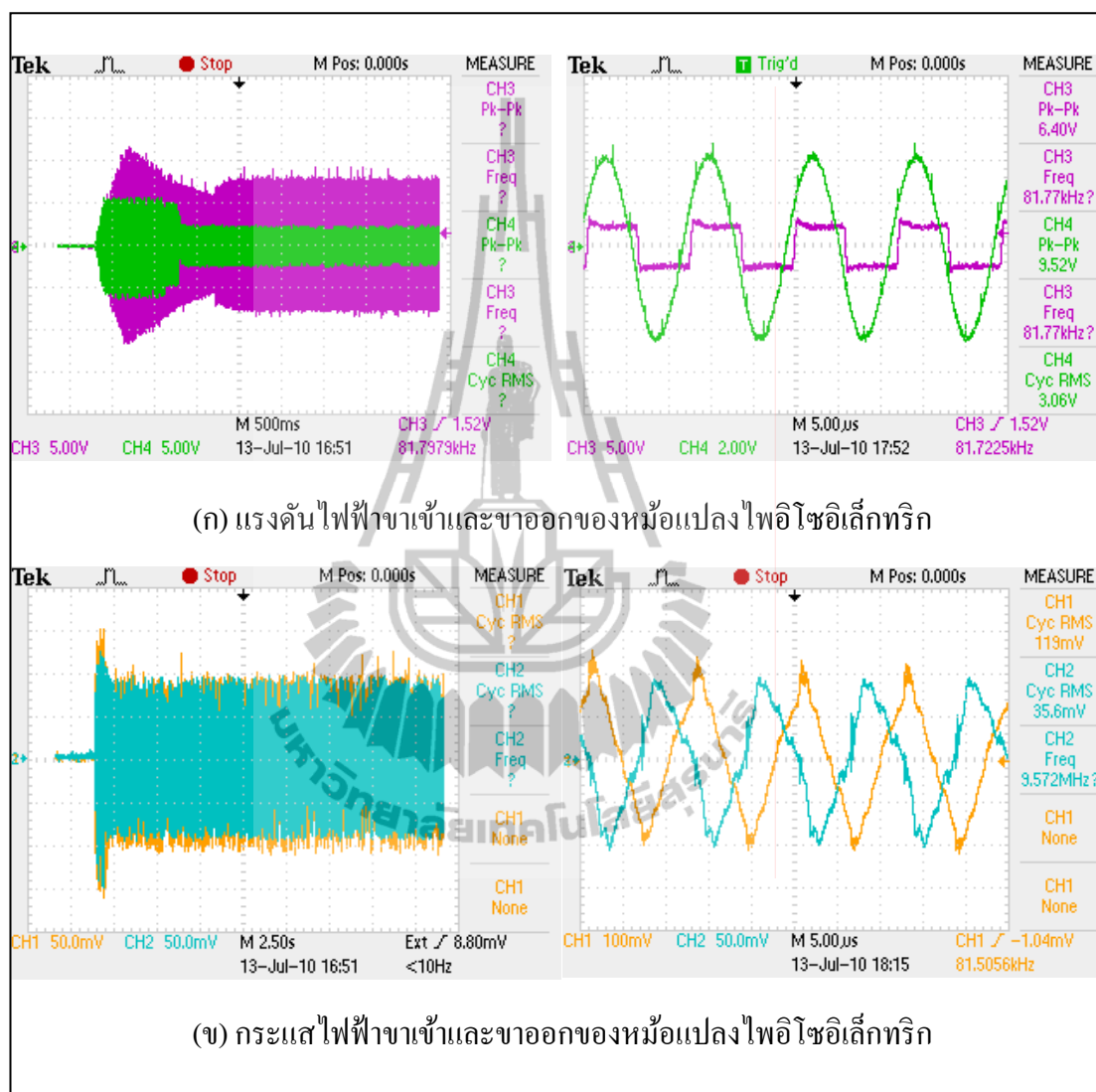
ทำการวัดที่ช่อง CH3 และ CH4 ตามลำดับ โดยขณะทำการวัดได้ใช้ตัวลดทอนแรงดันไฟฟ้าด้วยอัตราส่วน 1:100 โวลต์ และใช้โพรปวัดกระแสในการวัดกระแสซึ่งมีค่าของการวัดที่ 1000 mV/A



รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซเล็กทรอนิกส์งาน R212

ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R212 ผ่านเครื่องลดทอนแรงดันขนาด 1/100 โวลต์ แสดงในรูปที่ 5.11(ก) ได้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 214.928 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 214 โวลต์ (จาก $V_{in} = 0.3535 \times (6.08 \times 100)$ Vpp ดังนั้น $V_{in} = 214.928$ Vrms และ $V_{out} = 2.14 \times 100 = 214$

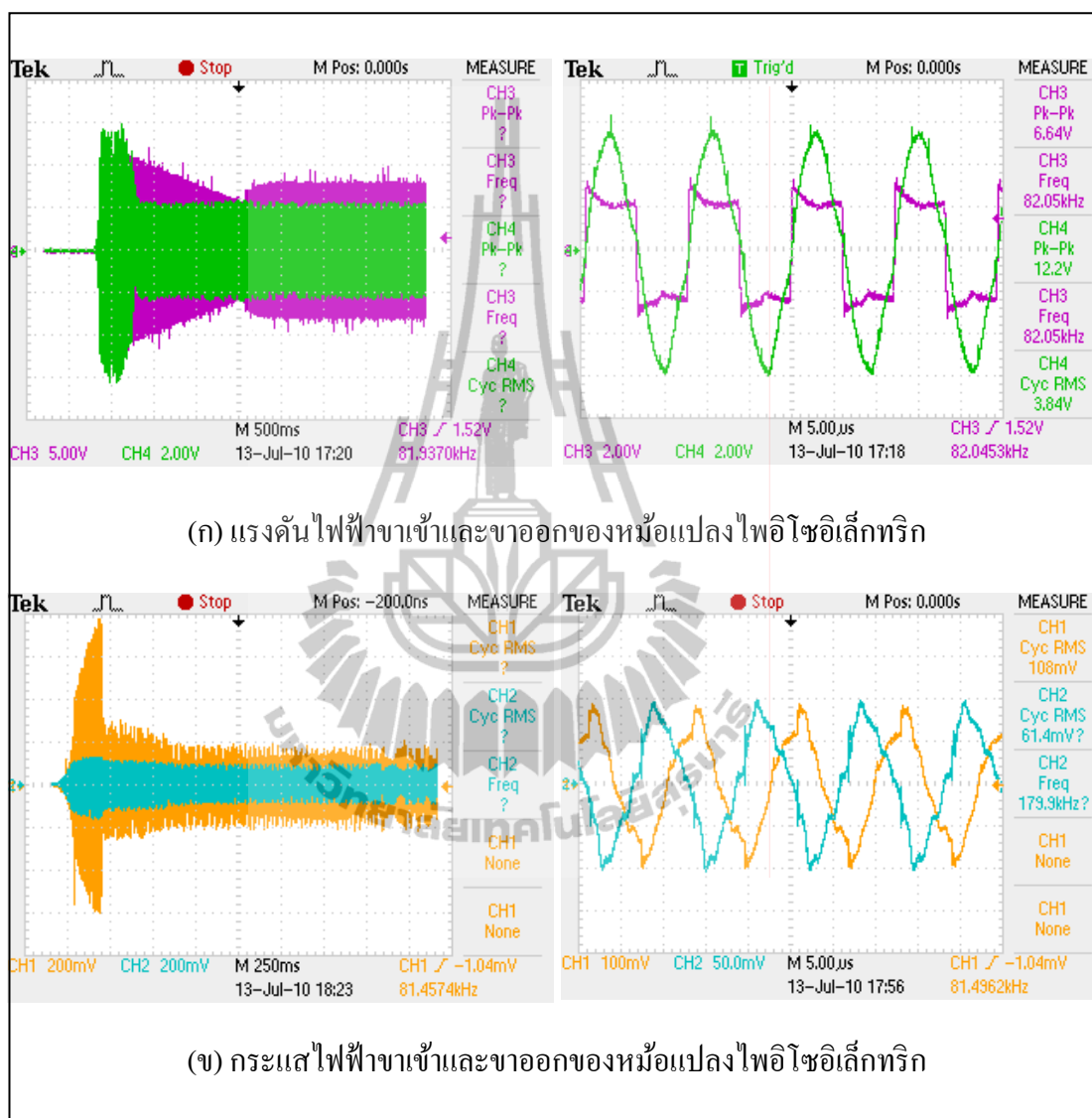
Vrms) ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 178 มิลลิแอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 12.5 มิลลิแอมแปร์ ($I_{in} = 178 \text{ mV} = 0.178 \text{ A}$ และ $I_{out} = 12.5 \text{ mV} = 0.0125 \text{ A}$) ดังรูปที่ 5.11(ข)



รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโซลิตเล็กทริกชิ้นงาน R236

ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R236 ผ่านเครื่องลดทอนแรงดันขนาด 1/100 โวลต์ แสดงได้ดังรูปที่ 5.12(ก) ได้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 229.068 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 306 โวลต์ (จาก $V_{in} = 0.3535 \times (6.40 \times 100) \text{ Vpp}$ ดังนั้น $V_{in} = 229.068 \text{ Vrms}$ และ $V_{out} = 3.06 \times 100 = 306$

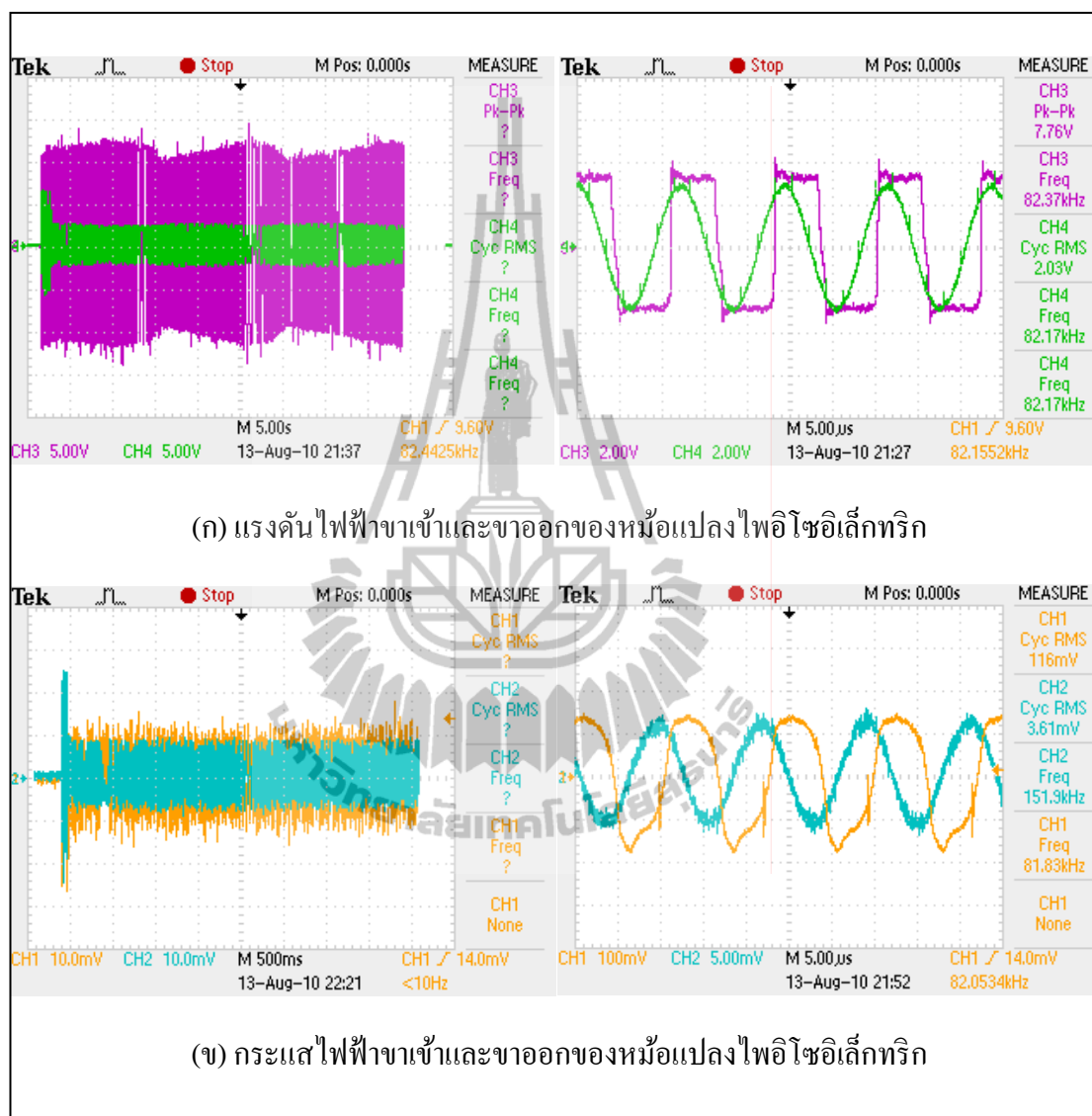
Vrms) ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 119 มิลลิแอมแปร์และกระแสไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 35.6 มิลลิแอมแปร์ ($I_{in} = 119 \text{ mV} = 0.119 \text{ A}$ และ $I_{out} = 35.6 \text{ mV} = 0.0356 \text{ A}$) ดังรูปที่ 5.12(ข)



รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงาน R278

ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R278 ผ่านเครื่องลดทอนแรงดันขนาด 1/100 โวลต์ แสดงได้ดังรูปที่ 5.13(ก) ได้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 234.724 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 384 โวลต์ (จาก $V_{in} = 0.3535 \times (6.64 \times 100) \text{ Vpp}$ ดังนั้น $V_{in} = 234.724 \text{ Vrms}$ และ $V_{out} = 3.84 \times 100 = 384 \text{ Vrms}$)

ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 108 มิลลิแอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 61.4 มิลลิแอมแปร์ ($I_{in} = 108 \text{ mV} = 0.108 \text{ A}$ และ $I_{out} = 61.4 \text{ mV} = 0.0614 \text{ A}$) ดังรูปที่ 5.13(ข)



รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโซลิตริกชิ้นงาน R213

ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชิ้นงานที่ R213 ผ่านเครื่องลดทอนแรงดันขนาด 1/100 โวลต์ แสดงได้ดังรูปที่ 5.14(ก) ได้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 275.023 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 230 โวลต์ (จาก $V_{in} = 0.3535 \times (7.78 \times 100) \text{ Vpp}$ ดังนั้น $V_{in} = 275.023 \text{ Vrms}$ และ $V_{out} = 2.30 \times 100 = 230 \text{ Vrms}$)

ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 116 มิลลิแอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 3.61 มิลลิแอมแปร์ ($I_{in} = 116 \text{ mV} = 0.116 \text{ A}$ และ $I_{out} = 3.61 \text{ mV} = 0.00361 \text{ A}$) ดังรูปที่ 5.14(ข)

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโซลิดสเตทที่ติดกับหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ขณะขับโหลด 36 วัตต์

ชิ้นงานที่	R212	R236	R278	R213
แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V)	214.9	229.1	234.7	275.0
แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)	214.0	306.0	384.0	230.0
กระแสไฟฟ้าขาเข้า (mA)	178	119	108	116
กระแสไฟฟ้าขาออก (mA)	12.5	35.6	61.4	3.61
ความถี่ปฏิบัติงาน (kHz)	85.27	81.51	82.05	82.16
อัตราขยายแรงดัน	1.00	1.34	1.64	0.84
ประสิทธิภาพ (%)	87.55	86.1	97.01	89.0



รูปที่ 5.15 การทดสอบบัลลาสต์ไฟโซลิดสเตทที่ติดกับหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ขับโหลด 36 วัตต์

จากผลการทดสอบการวัดกระแสและแรงดันของบัลลาสต์ไฟโซอิลิกทรกกับหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวมร์สม์แบบ 2 ชั้น ขณะขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ดังรูปที่ 5.15 และตารางที่ 5.4 พบว่าอัตราการขยายแรงดันของไฟโซอิลิกทรกชันงานที่ R278 (เป็นหม้อแปลงไฟโซอิลิกทรกที่ได้จากการออกแบบพารามิเตอร์ด้วยจินเนติกอัลกอริทึม) มีอัตราการขยายแรงดัน (1.64) และมีประสิทธิภาพ (97.01%) สูงที่สุด ในงานวิจัยนี้

5.3.2 ผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟโซอิลิกทรกกับหม้อแปลงชนิดการสัน

ตามแนวมร์สม์แบบคอนทัวร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟโซอิลิกทรกหม้อแปลงชนิดการสันตามแนวมร์สม์แบบคอนทัวร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ทางโครงสร้างระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ขาเข้าและพื้นที่ขาออกกับอัตราขยายแรงดันและความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้ากับกำลังไฟฟ้าขาออก เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างของหม้อแปลงไฟโซอิลิกทรกชนิดการสันตามแนวมร์สม์แบบคอนทัวร์ให้เหมาะกับกำลังไฟฟ้าที่จะนำไปใช้

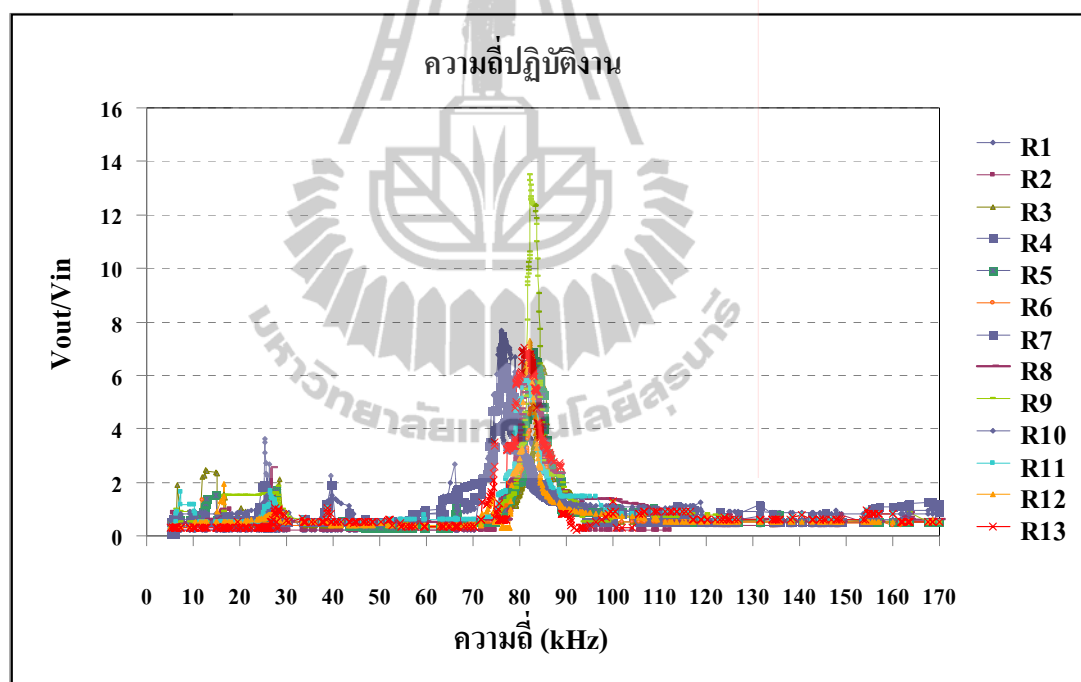
ตารางที่ 5.5 ผลการวัดความถี่ปฏิบัติการของหม้อแปลงไฟโซอิลิกทรกชนิดการสันตามแนวมร์สม์แบบคอนทัวร์

ชันงานที่	ค่าความถี่ (kHz)		ค่าผิดพลาด (%)
	จากการวัด	จากการคำนวณ	
R1	76.10	83.80	10.12
R2	81.56	83.46	2.34
R3	84.30	83.52	0.92
R4	76.46	82.63	8.07
R5	82.95	84.02	1.30
R6	82.60	82.96	0.44
R7	77.88	83.41	7.10
R8	82.80	83.74	1.14
R9	82.77	83.52	0.91
R10	75.50	82.14	8.80
R11	81.04	83.41	2.92
R12	82.29	82.96	0.82
R13	81.51	78.53	3.66

5.3.2.1 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการสำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

วิธีการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 5.3.1 มาแล้วในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์เป็นจำนวน 13 ชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่ R1 - R12 สร้างมาจากสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 ส่วนชิ้นงานที่ R13 สร้างมาจากสารไฟโอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 รายละเอียดการออกแบบโครงสร้างของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 จากการทดสอบพบว่าความถี่ปฏิบัติการที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 76.1 - 84.30 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและผลจากการวัดไว้ในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.16



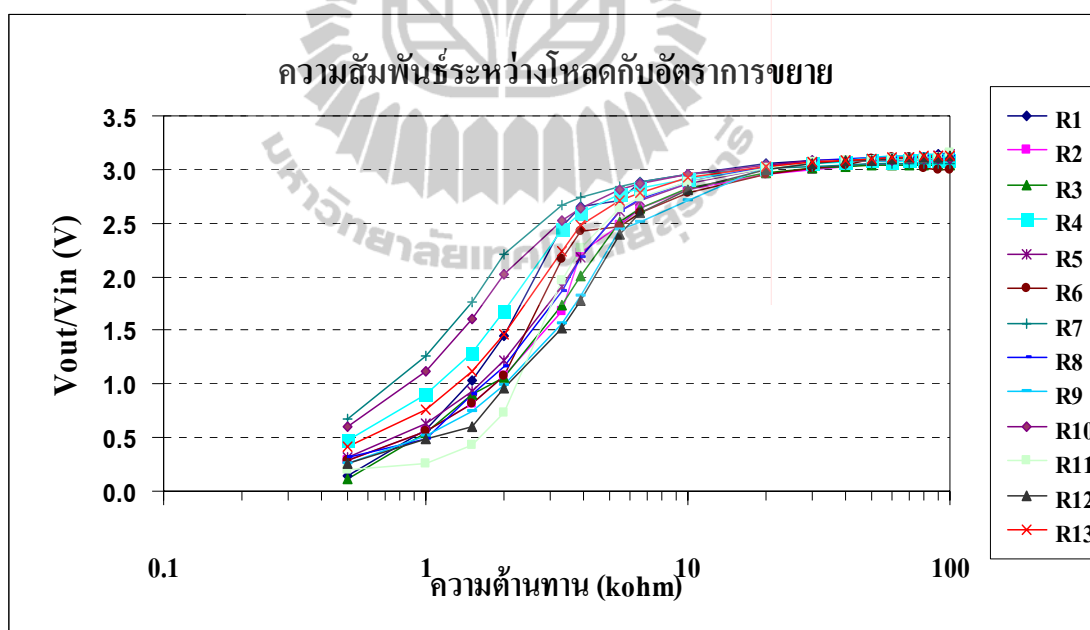
รูปที่ 5.16 ผลทดสอบความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

5.3.2.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและ

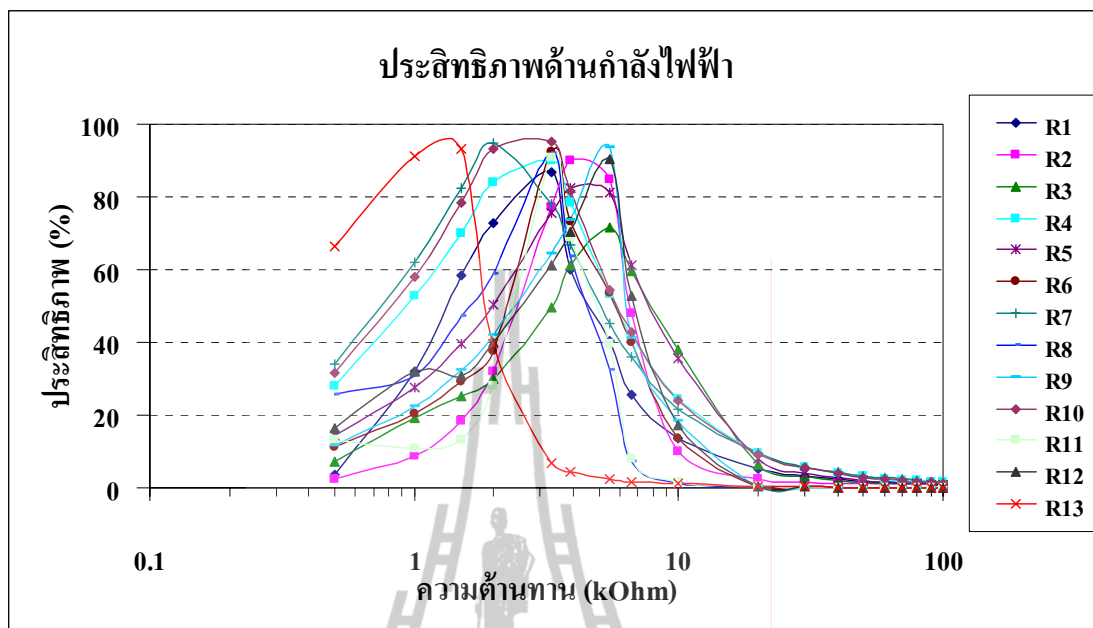
ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก

ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

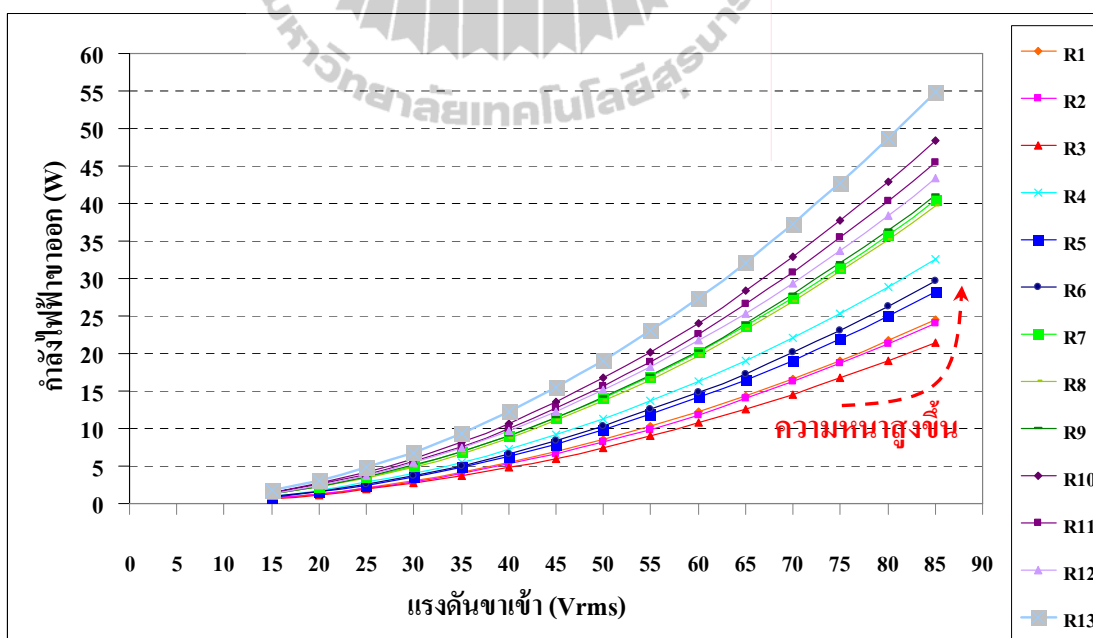
ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานโหลดกับอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและขาออกส่วนประสิทธิภาพทางด้านกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกเพื่อหาการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่าเมื่อโหลดมีค่าสูงขึ้นจะทำให้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเข้าและขาออกสูงขึ้นส่วนประสิทธิภาพจะคงที่ที่ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ดังแสดงได้ในรูปที่ 5.17 และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางด้านกำลังของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกกับความต้านทานโหลด พบว่าชิ้นงานที่ R7 R9 R10 และ R13 มีประสิทธิภาพทางด้านกำลังสูงกว่า 93% ดังรูปที่ 5.18 แต่จะเห็นได้ว่า ชิ้นงานที่ R13 มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ เพราะให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่าความต้านทานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ตามทฤษฎีการส่งถ่ายกำลังสูงสุด



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและอัตราส่วนแรงดันขาเข้า-ออกของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานโหลดและประสิทธิภาพของหม้อแปลงชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและกำลังไฟฟ้า

5.3.2.3 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลัง ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามรัศมี แบบคอนทัวร์

ตารางที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่กับกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก
ชนิดการสั่นตามรัศมีแบบคอนทัวร์

ชิ้นงาน	พื้นที่ขาเข้า (มม ²)	พื้นที่ขาออก (มม ²)	ความหนา (มม)	อัตราส่วน พื้นที่	อัตราขยาย แรงดัน	ประสิทธิภาพ (%)
R1	579.93	78.57	2.00	7.38	7.69	86.80
R2	422.75	220.18	2.10	1.92	6.19	89.94
R3	317.46	314.29	2.00	1.01	6.51	71.41
R4	599.67	78.57	2.47	7.63	7.46	90.05
R5	413.41	220.18	2.30	1.88	6.86	82.29
R6	326.86	314.29	2.36	1.04	4.94	92.47
R7	586.48	78.57	2.75	7.46	5.77	94.82
R8	418.07	220.18	2.71	1.90	6.51	92.01
R9	317.46	314.29	2.76	1.01	7.51	93.50
R10	608.21	78.57	3.00	7.74	7.05	95.30
R11	423.69	220.18	2.90	1.92	6.04	90.95
R12	326.86	314.29	2.85	1.04	7.30	90.57
R13	608.21	78.57	3.00	7.74	7.04	93.27

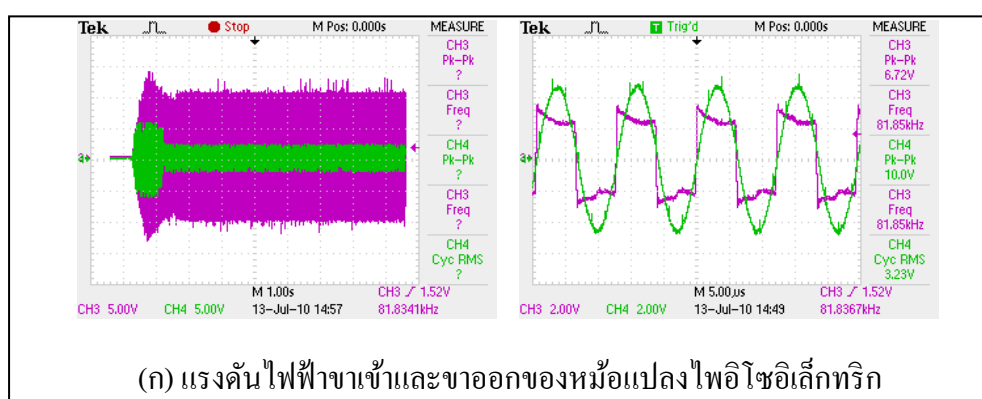
ในการทดสอบนี้ได้ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าในช่วง 0 - 85 โวลต์ (Vrms) ให้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก จากกราฟในรูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้า กับกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริก พบว่าเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นหม้อแปลงจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงขึ้น สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่มีความหนาเดียวกัน พบว่าถ้าอัตราส่วนของพื้นที่ระหว่างขาเข้าและขาออกสูงขึ้น จะได้กำลังไฟฟ้าที่ขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกสูงขึ้นด้วยและยังพบว่าถ้าให้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกเท่ากันและมีความหนาเดียวกัน กำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่ามากที่สุดถ้าอัตราส่วนพื้นที่

ขาเข้าและขาออกมากที่สุด ดังตารางที่ 5.6 และยังพบอีกว่าเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้กับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 85 โวลต์ (Vrms) ชิ้นงานที่มีความหนามากกว่า 2.75 มิลลิเมตร จะให้กำลังไฟมากกว่า 39 วัตต์

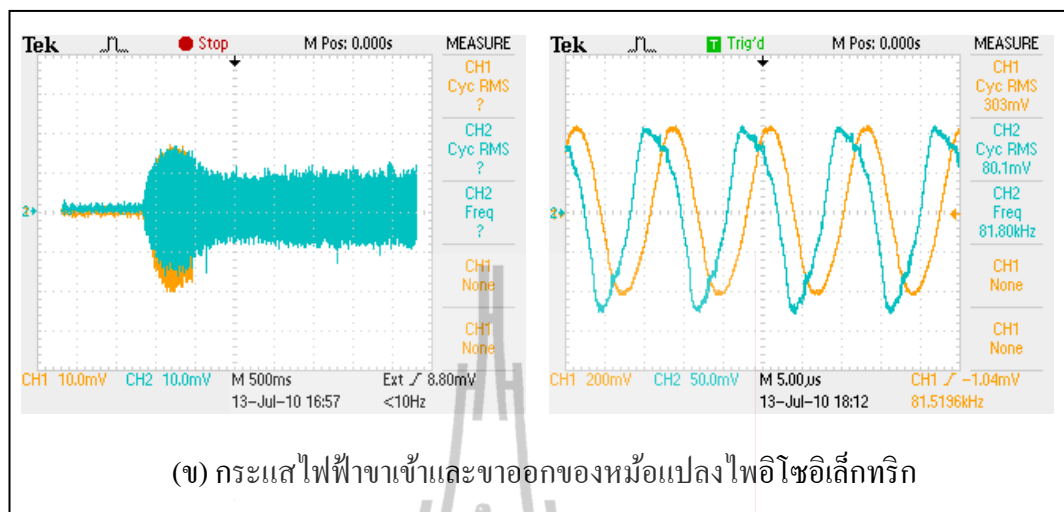
5.3.2.4 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์

ขนาด 36 วัตต์ หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์

ในการทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ นี้ได้ทำการทดสอบกับทุกชิ้นงาน ผลปรากฏว่า ชิ้นงานที่ R1 - R6 ซึ่งมีความหนา 2.00 - 2.30 มิลลิเมตร ขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ไม่ติด (เมื่อจ่ายแรงดันขาเข้าหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ 85 โวลต์ (Vrms)) แต่เมื่อสามารถขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์ ให้ติดได้ สำหรับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R7 - R13 ซึ่งมีความหนา 2.75 - 3.26 มิลลิเมตร ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะขับหลอดสำหรับชิ้นงานที่ R13 แสดงได้ดังรูปที่ 5.20 โดยที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้า แรงดันไฟฟ้าขาออก วัดด้วยเครื่องมือวัดออสซิลอสโคป ที่ช่อง CH3 และ CH4 ตามลำดับ ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้า และกระแสไฟฟ้าขาออก ทำการวัดที่ช่อง CH3 และ CH4 ตามลำดับ โดยขณะทำการวัดได้ใช้ตัวลดทอนแรงดันไฟฟ้าด้วยอัตราส่วน 1:100 โวลต์ และใช้โพรบวัดกระแสในการวัดกระแสซึ่งมีค่าของการวัดที่ 100 mV/A มีค่า 237.552 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 214 โวลต์ (จาก $V_{pp} = 0.3535 \times (6.72 \times 100)$ $V_{in} = 237.552$ Vrms และ $V_{out} = 3.23 \times 100 = 323$ Vrms) ดังรูปที่ 5.20(ก) ส่วนกระแสไฟฟ้าขาเข้าหม้อแปลงมีค่า 178 มิลลิแอมป์ และกระแสไฟฟ้าขาออกหม้อแปลงมีค่า 12.5 มิลลิแอมป์ ($I_{in} = 303$ mV = 0.303 แอมแปร์ และ $I_{out} = 80.10$ mV = 0.0801 แอมแปร์) ดังรูปที่ 5.20(ข) และแสดงผลการทดสอบขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงาน R13 (ต่อ)



รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกชิ้นงาน R13



รูปที่ 5.21 การทดสอบบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวรัลหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

5.4 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้ต้องการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริก (โดยการออกแบบพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกด้วยจินเนติกอัลกอริทึมเพื่อวัตถุประสงค์ให้เกิดการส่งถ่ายกำลังสูงสุด) กับบัลลาสต์อิเล็กทริกนิกซ์ของบริษัท

แลมตันไลท์ รุ่นแลมตันไลท์ 36 วัตต์ และบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กของบริษัทฟิลิปส์ รุ่น BTA-36L04 ที่มีขายตามท้องตลาด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.4.1 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดอื่น ๆ พบว่าบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกใช้กระแสไฟฟ้า 0.108 แอมแปร์ ซึ่งน้อยกว่าคิดเป็น 26% ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการขับหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น และน้อยกว่าคิดเป็น 68% เทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก ความถี่ที่ใช้ในการขับหลอดของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกมีความถี่สูงกว่าบัลลาสต์ชนิดอื่น ซึ่งความถี่สูงมีข้อดี คือ จะทำให้หลอดติดได้เร็วขึ้น หลอดไฟมีความสว่างสูงขึ้นและสามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย ผลการวัดเปรียบเทียบค่าได้ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลการวัดเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าและกระแสของบัลลาสต์ชนิดต่าง ๆ

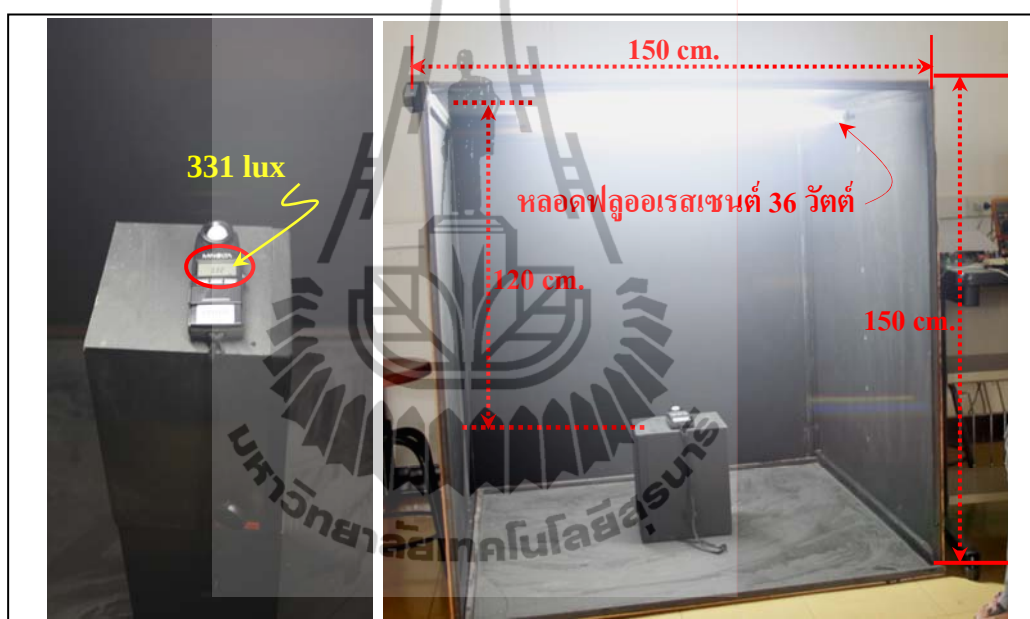
ชนิดบัลลาสต์	ไฟโอโซอิเล็กทริก (ชิ้นงาน R278)	แลมตันไลท์ 36 วัตต์	ขดลวด แกนเหล็ก
แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Vrms)	225	212	220
แรงดันไฟฟ้าขาออก (Vrms)	384	327	102
กระแสไฟฟ้าขาเข้า (A)	0.108	0.146	0.333
กระแสไฟฟ้าขาออก (A)	0.061	0.041	0.042
ความถี่การขับหลอดไฟ (Hz)	81490	24220	50
พลังงานสูญเสีย (VA)	0.86	17.55	68.98

5.4.2 การทดสอบวัดความส่องสว่างในห้องมืด

ในการทดสอบการส่องสว่างได้ทำการทดสอบบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดอื่น ๆ โดยอาศัยเครื่องมือวัดความส่องสว่างรุ่น Illuminance Meter (Minolta T-10) มีรายละเอียดและผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ในการทดสอบการวัดค่าความส่องสว่างของบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ในห้องมืดที่มีขนาดห้อง $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ เมตร ดังแสดงได้ในรูปที่ 5.22 โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดความส่องสว่างให้มีระยะห่างระหว่างเครื่องมือวัดกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ เป็นระยะทาง 1.2 เมตร ในแนวตั้งฉากกับหลอดและทำการบันทึกค่า

หลังจากที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดแล้วเป็นเวลา 10 นาที ผลการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าความสว่างในห้องมีระหว่างบัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด คือ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์รุ่นแลมดันไลท์ และบัลลาสต์แกนเหล็กของบริษัทฟิลลิปส์ สำหรับหลอด 36 วัตต์ ผลการวัดค่าความส่องสว่างแสดงได้ดังตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบวัดค่าความส่องสว่างพบว่าบัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงขึ้นงานที่ R278 (เป็นหม้อแปลงไฟโซิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากการออกแบบด้วยจิ้นเนติกอัลกอริทึม) ให้ความส่องสว่าง 331 ลักซ์ สูงกว่าบัลลาสต์ชนิดอื่น



รูปที่ 5.22 ห้องมืดสำหรับการทดสอบวัดความส่องสว่าง

ตารางที่ 5.8 ผลการวัดเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของบัลลาสต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของบัลลาสต์	ค่าความส่องสว่าง (lux)
บัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงขึ้นงาน R212	300
บัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงขึ้นงาน R236	306
บัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงขึ้นงาน R278	331
บัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงขึ้นงาน R213	300
บัลลาสต์ไฟโซิเล็กทรอนิกส์กับหม้อแปลงขึ้นงาน R13	295
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ รุ่นแลมดันไลท์ 36 วัตต์	310
บัลลาสต์แกนเหล็ก รุ่นฟิลลิปส์	296

5.4.3 การทดสอบวัดตัวประกอบกำลังและฮาร์มอนิกบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก ขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

ในมาตรฐานของแรงดันฮาร์มอนิก IEEE standard 512-1992 ได้กำหนดขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิก Total Harmonic Distortion, (%THD) ของแรงดันไฟฟ้า (%THDv) สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อรวมน้อยกว่า 0.5 กิโลโวลต์ ต้องมีค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (%THDv) น้อยกว่า 5% และค่าขีดจำกัดความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ (%THDi) ต้องมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ในการวัดค่าตัวประกอบกำลังและฮาร์มอนิกของบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ด้วยเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า Power Harmonics Analyzer (FLUKE-41B) และทำการบันทึกค่าหลังจากที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดแล้วเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 5.9 ผลการวัดเปรียบเทียบตัวประกอบกำลังและค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกที่จุดต่อรวม

ชนิดของบัลลาสต์	PF	ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (%THDv)	ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (%THDi)
บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก กับหม้อแปลง R212	0.95	1.6	27.6
บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก กับหม้อแปลง R236	0.95	2.1	29.5
บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก กับหม้อแปลง R278	0.95	1.6	27.0
บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริก กับหม้อแปลง R213	0.95	2.2	27.5
บัลลาสต์อิเล็กทริก รุ่นแลมด้นไลท์ 36 วัตต์	0.98	2.3	18.2
บัลลาสต์แกนเหล็ก รุ่นฟิลลิปส์	0.5	1.7	98.5

ผลการวัดค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกและค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 519-1992 และสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 5.9 ซึ่งจะเห็นว่าบัลลาสต์แกนเหล็กมีค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (%THDi) สูงกว่าบัลลาสต์

ชนิดอื่น สำหรับบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกมีค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (%THDv) และความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิก (%THDi) ในแต่ละอันดับ เป็นไปตามมาตรฐานจี้ดกำหนด IEEE 519-1992

5.5 สรุป

ในบทที่ 5 นี้ได้อธิบายถึงการทดสอบบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกกับหม้อแปลงไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกที่ได้ทำการออกแบบในบทที่แล้ว โดยช่วงแรกของบทนี้ได้อธิบายการจำลองสถานการณ์ของบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกเพื่อตรวจสอบการออกแบบในขั้นแรกและทำการวิเคราะห์สร้างบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกต้นแบบ จากนั้นจึงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกต้นแบบทั้งสองชนิดได้แก่หม้อแปลงไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้นและหม้อแปลงไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกชนิดการสันตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ โดยการออกแบบชิ้นงานมีขนาดตามผลคำตอบจากปัญญาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึมในชิ้นงานที่ R278 และชิ้นงานอื่นที่สร้างขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์การเปรียบเทียบ จากผลการทดสอบบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกทั้งสองชนิดตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกที่ได้จากการออกแบบด้วยปัญญาประดิษฐ์จินเนติกอัลกอริทึมสามารถออกแบบให้เกิดประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้สูงสุด ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าหม้อแปลงไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกชนิดอื่นที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบ ผลความส่องสว่าง 331 ลักซ์ และประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อพิจารณาถึงการกินกระแสขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาทดสอบเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีขายตามท้องตลาด พบว่าบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกที่จี้ดสร้างขึ้นกินกระแสไฟฟ้ 0.108 แอมแปร์ ซึ่งกินกระแสไฟฟ้ น้อยกว่าคิดเป็น 26% ของกระแสไฟฟ้ที่ใช้ในการขับหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น และน้อยกว่าคิดเป็น 68% เทียบกับการกินกระแสของบัลลาสต์แกนเหล็กขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ และการทดสอบท้ายบทนี้ได้ทำการตรวจสอบวัดค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม (%THDi) และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (%THDv) พบว่าบัลลาสต์ไฟฟ้ไอโซอิเล็กทริกมีค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (%THDv) และความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิก (%THDi) ในแต่ละอันดับ เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 519-1992

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการศึกษาความเป็นมาของวงจรบัลลาสต์ขดลวดแม่เหล็ก บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์สำหรับนำมาประยุกต์ดัดแปลงสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ และให้มีความเหมาะสมกับระบบไฟฟ้าในประเทศไทย โดยที่เบื้องต้นได้ทำการศึกษาชนิดของวงจรบัลลาสต์ หลักการทำงาน รวมทั้งวงจรเพื่อให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง จากการศึกษาวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่มีรายงานการตีพิมพ์ปรากฏในอดีต สามารถสรุปโครงสร้างหลักของวงจรบัลลาสต์ได้เป็น 4 ส่วน คือ วงจรเรียงกระแส วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง วงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรเรโซแนนซ์ จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างของวงจรมีรายละเอียดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปประยุกต์ใช้งานและยังพบว่า งานวิจัยในอดีตได้นำเสนอภาคการทำงานของวงจรแบบ 3 ภาค 2 ภาค และแบบภาคเดียว โดยการทำงานของวงจรทั้ง 3 ภาค และ 2 ภาค ได้แยกวงจรการทำงานแบบอิสระต่อกันและในทางตรงกันข้าม วงจรภาคเดียวหมายถึงการที่วงจรหลักทั้งสามภาคมีการทำงานร่วมกันโดยการเอาวงจรแปลงแรงดันคอนเวอร์เตอร์ วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและวงจรอินเวอร์เตอร์ให้สามารถทำงานผลานกันอย่างลงตัว สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่มีการทำงานแบบภาคเดียวสามารถตอบสนองความถี่การสวิตช์มอสเฟตให้อยู่ในช่วง 70 - 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีความเหมาะสมกับความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ มีช่วงประวิงเวลา 1 ไมโครวินาทีเพื่อความปลอดภัยอันเกิดจากการทำงานสวิตช์ของมอสเฟตขณะที่มีศักดาแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเป็นศูนย์ ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแบบครึ่งคลื่น ผลการศึกษาออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ด้วยจินเนติกอัลกอริทึมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดด้วยโปรแกรม MATLAB แล้วทำการจำลองผลศึกษาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ด้วยโปรแกรม PSIM แล้วทำการสร้างหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ตามต้นแบบ 2 ชั้น สำหรับสารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เบอร์ APC-844 ได้ว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุติยภูมิ (t_2) มีค่า 3.26 และ 3.00 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 97% สำหรับสารไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เบอร์ APC-840 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.40 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุติยภูมิ (t_2) มีค่า 3.10 และ 2.70 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 89% ส่วนหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ตามต้นแบบ

คอนทัวร์ สำหรับสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.30 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุติยภูมิ (t_2) มีค่า 3.00 และ 3.00 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 95% สำหรับสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 29.62 - 30.30 มิลลิเมตร มีความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุติยภูมิ (t_2) มีค่า 2.00 - 3.00 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 95% ผลการศึกษาห่อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ในสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์เดียวกัน (APC-844) พบว่าถ้าอัตราส่วนความหนาของชั้นปฐมภูมิ (t_1) และความหนาชั้นทุติยภูมิ (t_2) จะแปรตามอัตราขยายแรงดัน และยังพบว่าที่อัตราส่วนความหนาเดียวกันสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 ให้อัตราการขยายมากกว่า สารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 เนื่องจากสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-844 มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานกลและไฟฟ้า (Mechanical quality factor: Q_m) เป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อคุณสมบัติของวัสดุไฟอโซอิเล็กทริก) สูงกว่าสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์ APC-840 (ค่า Q_m ของ APC-840 และ APC-844 มีค่า 500 และ 1500 ตามลำดับ) และผลการศึกษาห่อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ในสารไฟอโซอิเล็กทริกเบอร์เดียวกัน (APC-840) พบว่าที่ความหนาเดียวกันอัตราส่วนพื้นที่อิเล็กโทรดขาเข้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรดขาออกจะแปรผันตรงกับกำลังวัตต์ทางด้านขาออกกล่าวคือ ถ้าอัตราส่วนพื้นที่สูงจะทำให้ได้กำลังวัตต์ทางด้านขาออกสูงขึ้นและยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนพื้นที่อิเล็กโทรดขาเข้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรดขาออกเท่ากันจะพบว่าความหนาแปรผันตรงกับกำลังไฟฟ้าที่ขาออกของห่อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกอีกด้วย ผลการทดสอบเปรียบเทียบบัลลาสต์ไฟอโซอิเล็กทริกที่ได้จากการออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กพบว่าบัลลาสต์ไฟอโซอิเล็กทริกใช้กระแสไฟฟ้า 0.108 แอมแปร์ ซึ่งน้อยกว่าคิดเป็น 26% ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการขับหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น และน้อยกว่าคิดเป็น 68% เทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก ความถี่ที่ใช้ในการขับหลอดของบัลลาสต์ไฟอโซอิเล็กทริกมีความถี่สูงกว่าบัลลาสต์ชนิดอื่นซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ดีกว่าบัลลาสต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและพบว่าบัลลาสต์ไฟอโซอิเล็กทริกให้ความส่องสว่างกว่าบัลลาสต์ชนิดอื่นที่นำมาเปรียบเทียบกับสภาวะแวดล้อมเดียวกันในห้องมืด ส่วนผลการวัดเปรียบเทียบตัวประกอบกำลังมีค่า 0.95 และผลการวัดค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (%THDv) ที่จุดต่อร่วมมีค่า 2.2% และค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก (%THDi) ในแต่ละอันดับเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดของ IEEE 519-1992

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการออกแบบหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกในงานวิจัยนี้ไม่มีการทดสอบการจับหลุดที่สภาวะแวดล้อมอื่น (Reliability test) ในการพัฒนาและสร้างบัลลาสต์ไฟโอโซอิเล็กทริกเพื่อนำไปใช้ควรมีการศึกษาทดสอบคุณสมบัติเมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปและความทนทานเมื่อใช้เป็นระยะเวลานาน ๆ
2. จากการศึกษาเบื้องต้นในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นได้ว่าถ้าต้องการหม้อแปลงที่ให้กำลังวัตต์สูงขึ้นควรออกแบบให้หม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกมีความหนาสูงขึ้นหรือเพิ่มจำนวนชั้นของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกให้มากขึ้นด้วย



รายการอ้างอิง

- ธนบูรณ์ ศักยานุเดช. (2533). การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน)
- วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. (2549). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี. เจ. พรินติ้ง.
- Alonso, J.M., Ordiz, C., and Costa, M.A.D., 2008, A novel control method for piezoelectric transformer based power supplies assuring zero-voltage-switching operation. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**. 55(3): 1085-1089.
- APC International (2002). **Piezoelectric ceramic: Principles and Applications**. APC International. Ltd.
- Carazo, A.V. (2004). 50 years of piezoelectric transformers: Trends in the technology. **Proceeding on Materials Research Society Symposium**. 1-12.
- Chang, Y.N., and Hung, C.C. (2007). Electronic ballast with constant instantaneous power output for fluorescent lamps without light fluctuation. **IEEE on Power Conversion Conference**. 721-726.
- Choi, S.J., Lee, K.C., and Cho, H., (1998). Design of fluorescent lamp ballast with PFC using a power piezoelectric transformer. **IEEE Conference Proceeding on Applied Power Electronics Conference and Exposition**. 2: 1135-1139.
- Choi, S., Kim T., and Cho, H., (2005). Design of half-bridge piezotransformer converters in the AC adapter applications. **IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**. 1: 244-248.
- Eric, M.B., Weixing, H., Dan, Y.C., and Fred, C.L., 2005, Radial mode piezoelectric transformer design for fluorescent Lamp ballast applications. **IEEE Transactions on Power Electronics**. 20(5): 1213-1220.
- Goldberg, D.E., and Edward, D. (1989). Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Wiley.
- Guo, M., Lam, K.H., Wang, S., Kwok, K.W. Chan, L.W., and Zhao, X.Z. (2007). A study on the disk-shaped piezoelectric transformer with multiple outputs. **Review of Scientific Instruments**. 78: 125103-1-125103-7.

- Hidayat, N.M., Nakamura, M., Kato, Y., Takahashi, N., Yokozeki, I., and Itoh, Y. (2008). One converter type voltage free neutral point type converter and application to electronic ballast. **IEEE International Conference on Industrial Technology**. 1-4.
- Huang, C.M., Liang, T.J., Lin, R.L., and Chen, J.F. (2007). A novel constant power control circuit for HID electronic ballast. **IEEE Transactions on Power Electronics**. 22(5): 1573-1582.
- Huang, W., Chen, D.Y., Baker, E.M., Zhou, J., and Lee, F.C. (2005). Design of piezoelectric transformer for PFC electronic ballast. **IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**. 1: 612-618.
- Hui, S., Lin Y., Ng, M., and Yan, M. (2010). A “Class-A2” ultra –low-loss magnetic ballast for T5 fluorescent lamps. **IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**. 1346-1351.
- Jaffe, H., and Berlincourt, D.A. (1961). **U.S. Patent No. 2,969,512**.
- Jang, E.S., Hwang, L.H., Song, H.S., Lee, C.H., Chung, K.H. Jeong, Y.H., and Jeong, H.S., (2004), Driving of 35W (T5) fluorescent lamp by the electronic ballast using piezoelectric transformer. **IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics**. 233-236.
- Kaiser, W., Chabu, I.E., and Lourenco, E.A.C. (1997). Design of a hybrid ballast with Magnetic shunts: Application to control of HID lamps. **IEEE on Industry Applications Conference**. 3: 2270-2275.
- Katz, H.W., 1959, “Solid State Magnetic and Dielectric Devices”, New York, NY: **Wiley**, 35-197.
- Kim, H.S., and Nam, T.J. (1998). Saving Power by discharge lamps with high efficient magnetic ballast. **IEEE of Proceedings International Conference on Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth**. 2:700-704.
- Lin, R.L, Shih, H.M., Liu, C.Y., and Liu, K.B. (2006). Piezoelectric transformer based continuous Conduction-mode voltage source charge pump power factor correction electronic ballast. **Proceedings of European Particle Accelerator Conference**. 2694-2696.
- Lin, R. L., Lee, F. C., Baker, E. M., and Chen, D. Y. (2000). Inductor-less piezoelectric transformer ballast for linear fluorescent lamps. **Proceeding on CPES Power Electronics System**. 309–314.

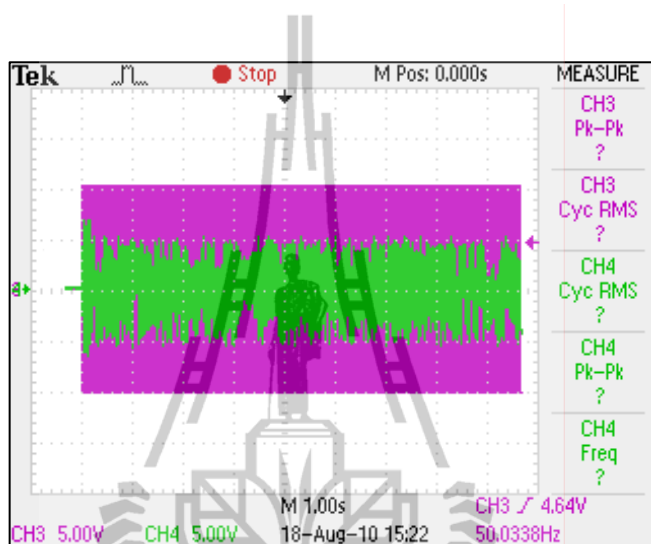
- Lopes, J.P., Silva, M.F., Menke, M.F., Luz, P.C., Borin, V., Bisogno, F.E., and Seidel, A.R. (2010). Self-oscillation electronic ballast with lighting intensity regulation. **IEEE International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion**. 374-378.
- Lu, H. C., and Shih, T.L. (2009). High Efficiency Single-stage multi-fluorescent lamps electronics ballast. **IEEE International Conference on Power Electronics and Motion Control Conference**. 1175-1180.
- Laoratanakul, P., Carazo, A.V., Bouchilloux P., and Uchino K. (2002). Unipolarized disk-type piezoelectric transformers, **Japan Journal on Application of Physics**. 41: 1446-1450.
- Laoratanakul, P. (2007). Characteristics of Radial-Mode Piezoelectric Transformers. Material Forum, **Institute of Material Engineering Australasia Ltd**. 152-155.
- Rashed, A.I., Hyeoungwoo, K., Shashank, P., and Harry, S. (2006). Piezoelectric transformer based ultrahigh sensitivity magnetic field sensor. **Applied Physics Letter**. 89: 152908-1-152908-3.
- Ray, L.L., Fred, C.L., Eric, M.B., and Dan, Y.C., 2001, Inductor-less piezoelectric transformer electronic ballast for linear fluorescent lamp. **APEC Sixteenth Annual IEEE**, 2:664-669.
- Ribas, J., Martin, J.A., Garcia, J., Cardesin, J., Callegia, A.J., and Rico, S.M. (2006). Fluorescent lamp ballast based on a class-E resonant inverter using a piezoelectric transformer. **IEEE Industry Applications Conference**. 1:252-256.
- Rosen, C.A., Fish, K.A., and Rothenberg, (1958). **U.S. Patent No. 2,830,374**.
- Seidel, A.R., Bisogno, F.E., and Prado, R.N. (2007). A design methodology for a self oscillating dimmable electronic ballast with high power factor correction. **IEEE Transactions on Industry Applications**. 43(6): 1524-1533.
- Shine, T.H. (2007). Modeling of a disk-type piezoelectric transformer. **IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control**. 54(10): 2110-2119.
- Toshiyuki, Z., Yoshiaki, F., Yoshiharu, O., Tamotsu, N., Sunao, H., and Masafumi, K. (1997). New piezoelectric transformer converter for AC-adapter. **IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**. 2:568-572.
- Ueha, S., Tomikawa, Y. (1993). "Ultrasonic Motors: Theory and Applications". **Oxford: Clarendon Press**, New York:Oxford University Press.



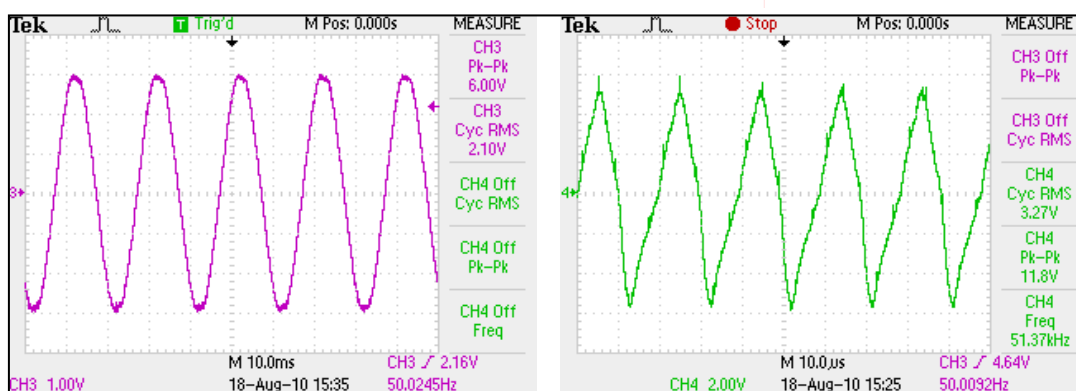
ผลการทดสอบเปรียบเทียบแบตเตอรี่ไฟโซลิดีทริกกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น

ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าขณะขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36วัตต์

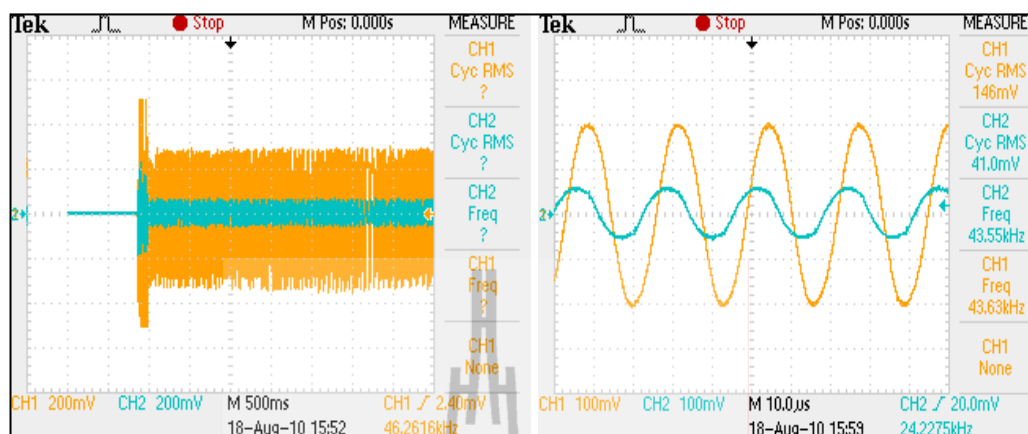
ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าขณะขับหลอดแสดงได้ดังรูปที่ ก.1-ก.5 (โดยที่ CH1 CH2 CH3 และ CH4 คือ กระแสขาเข้า กระแสขาออก แรงดันขาเข้า และ แรงดันขาออก ตามลำดับ)



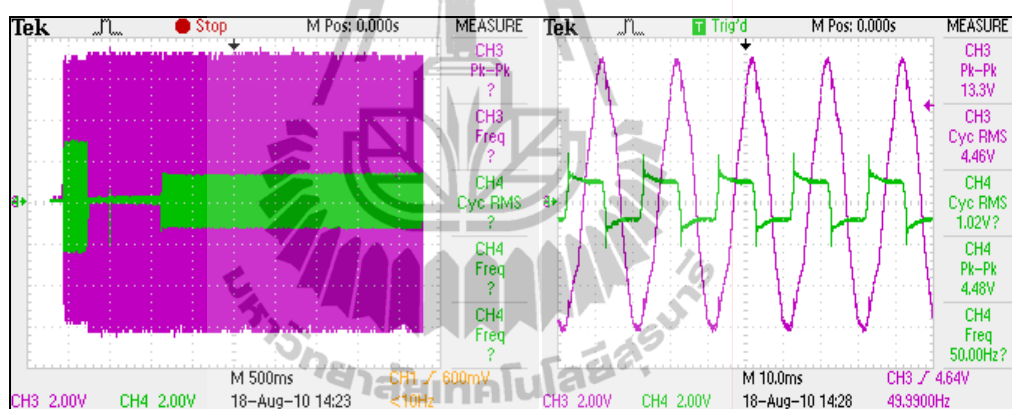
รูปที่ ก.1 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แลมตันไคท์



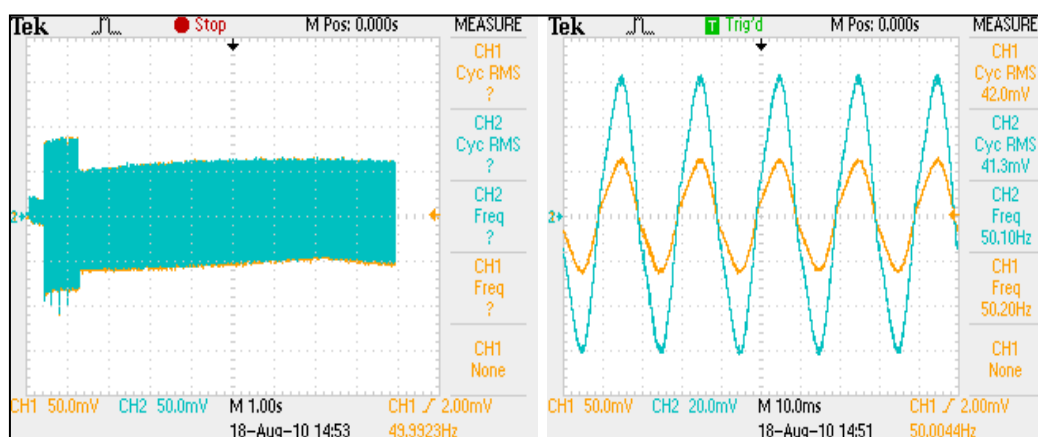
รูปที่ ก.2 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แลมตันเทคโนโลยีแบบขยาย



รูปที่ ก.3 กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แลมันเตนเทรอนิกส์

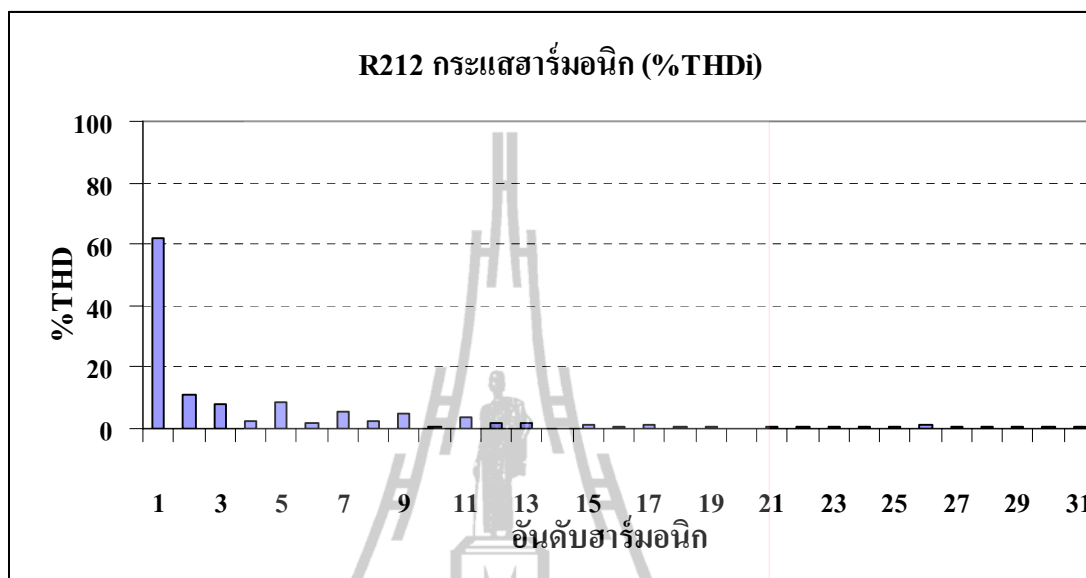


รูปที่ ก.4 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์แกนเหล็กฟิลลิปส์ 36 วัตต์

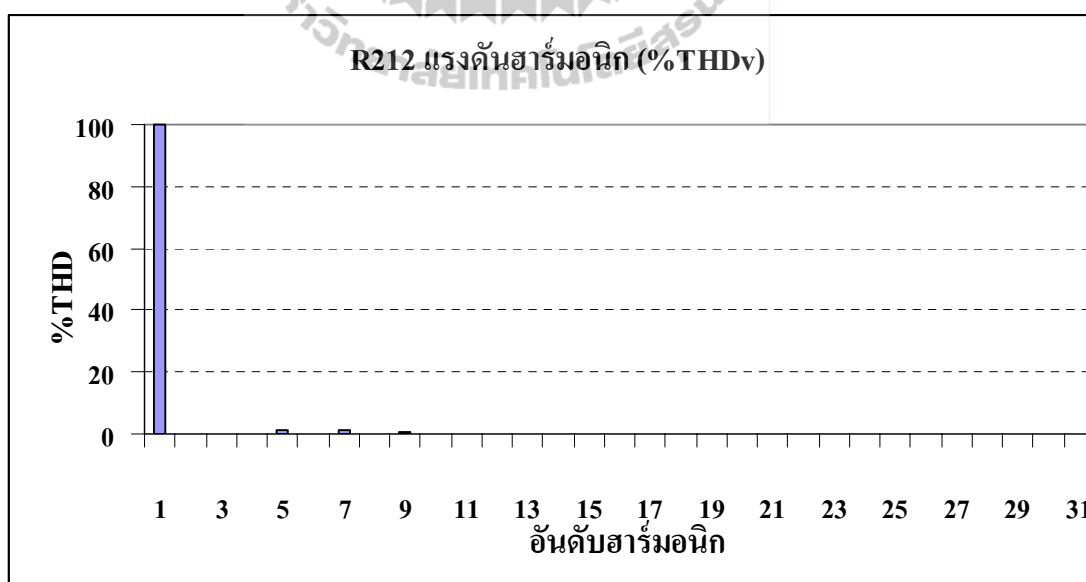


รูปที่ ก.5 กระแสไฟฟ้าขาเข้า และขาออกของบัลลาสต์แกนเหล็กฟิลลิปส์ 36 วัตต์

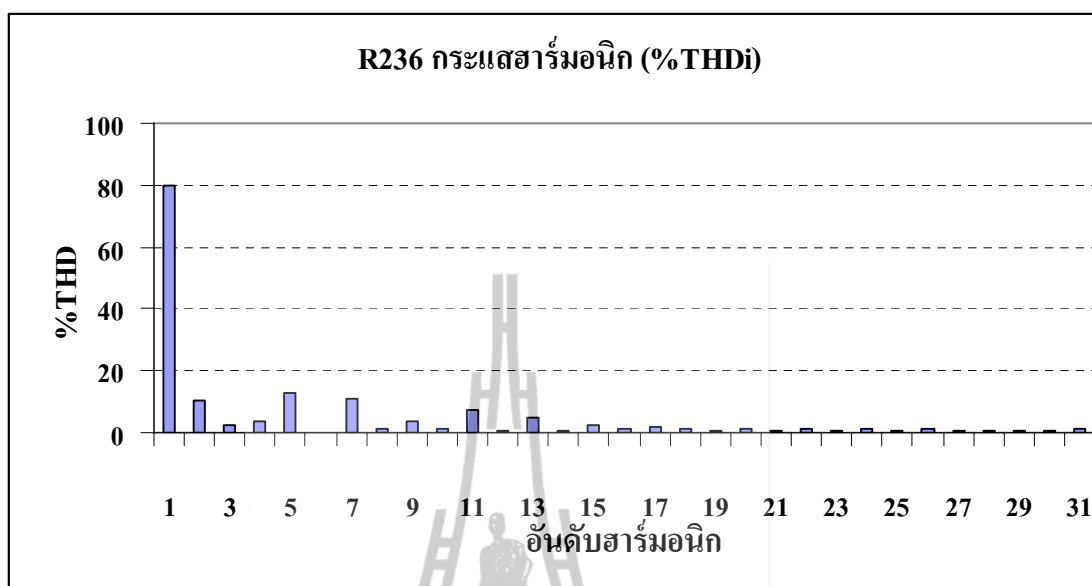
ผลการวัดฮาร์โมนิกของบัลลาสต์ไฟฟิโซอิเล็กทรอนิกส์



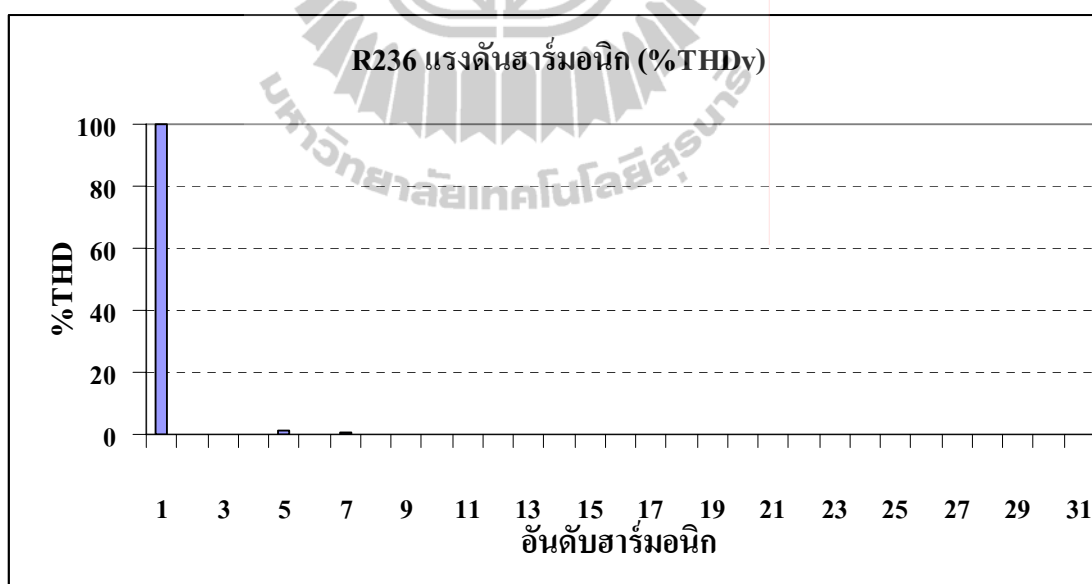
รูปที่ ก.6 ผลการวัดกระแสฮาร์โมนิกของบัลลาสต์ไฟฟิโซอิเล็กทรอนิกส์ของชิ้นงานที่ R212



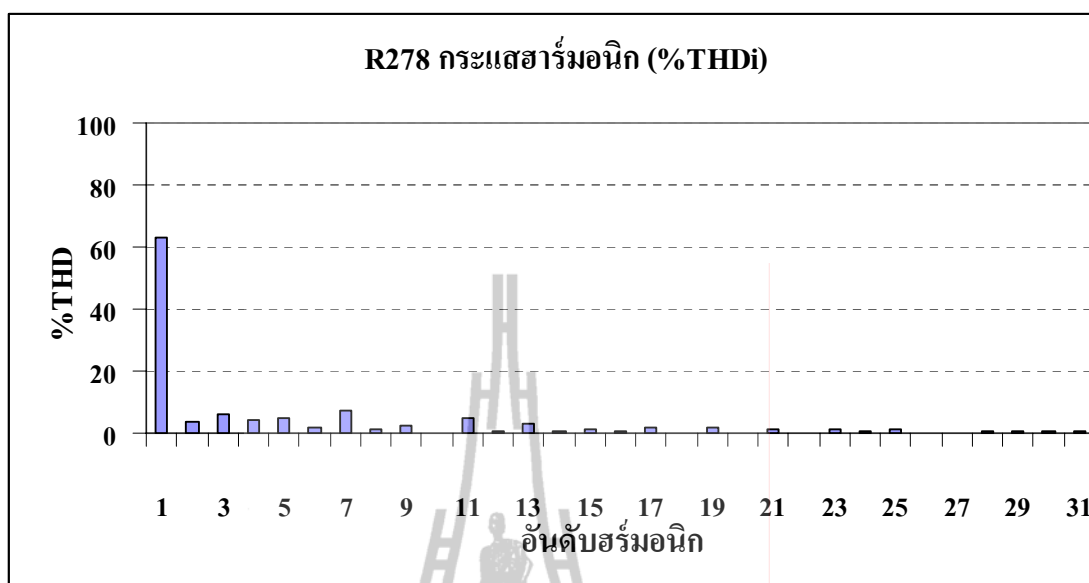
รูปที่ ก.7 ผลการวัดแรงดันฮาร์โมนิกของบัลลาสต์ไฟฟิโซอิเล็กทรอนิกส์ของชิ้นงานที่ R212



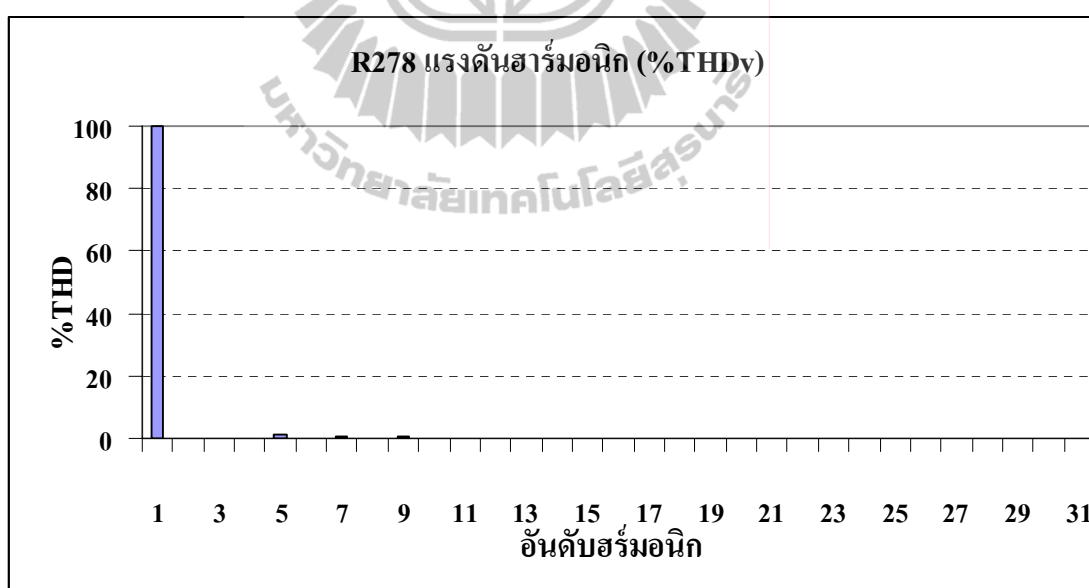
รูปที่ ก.8 ผลการวัดกระแสฮาร์โมนิกของแบตเตอรี่ไฟโวลต์ลิเธียมของชิ้นงานที่ R236



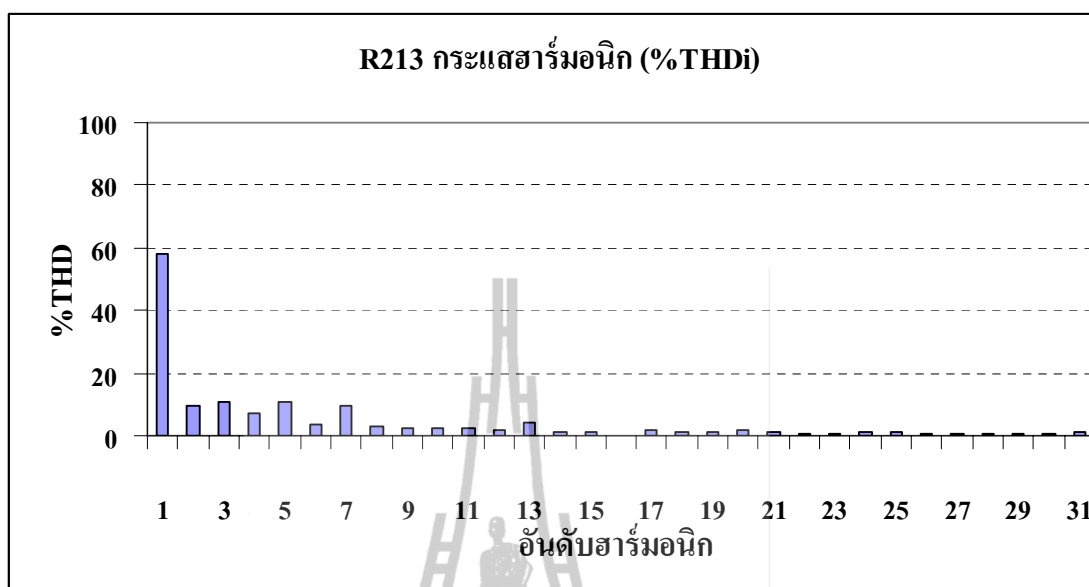
รูปที่ ก.9 ผลการวัดแรงดันฮาร์โมนิกของแบตเตอรี่ไฟโวลต์ลิเธียมของชิ้นงานที่ R236



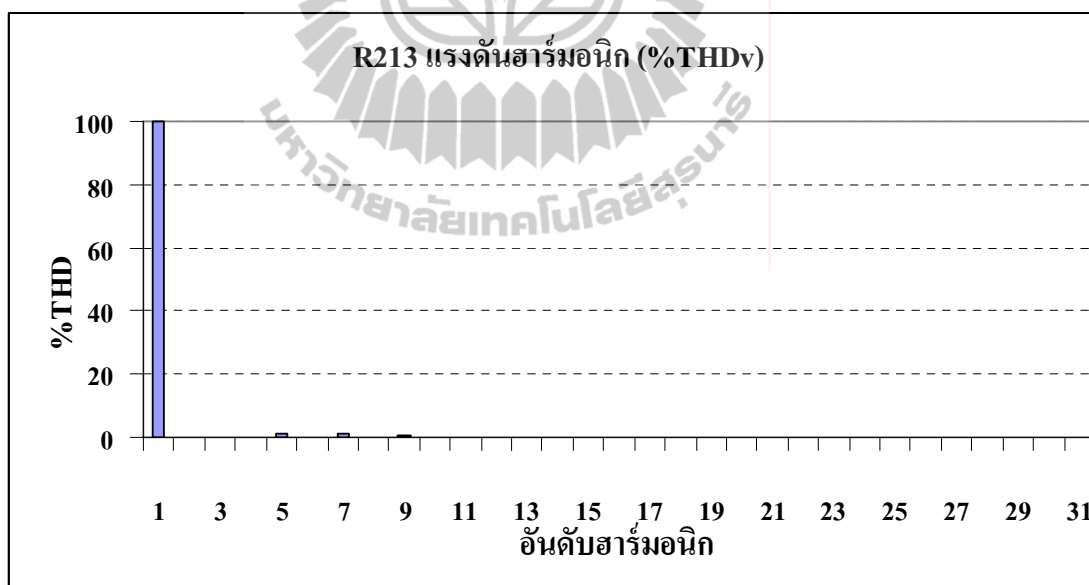
รูปที่ ก.10 ผลการวัดกระแสฮาร์โมนิกของปลั๊กสตัไฟโอโซอิล็กทริกของชิ้นงานที่ R278



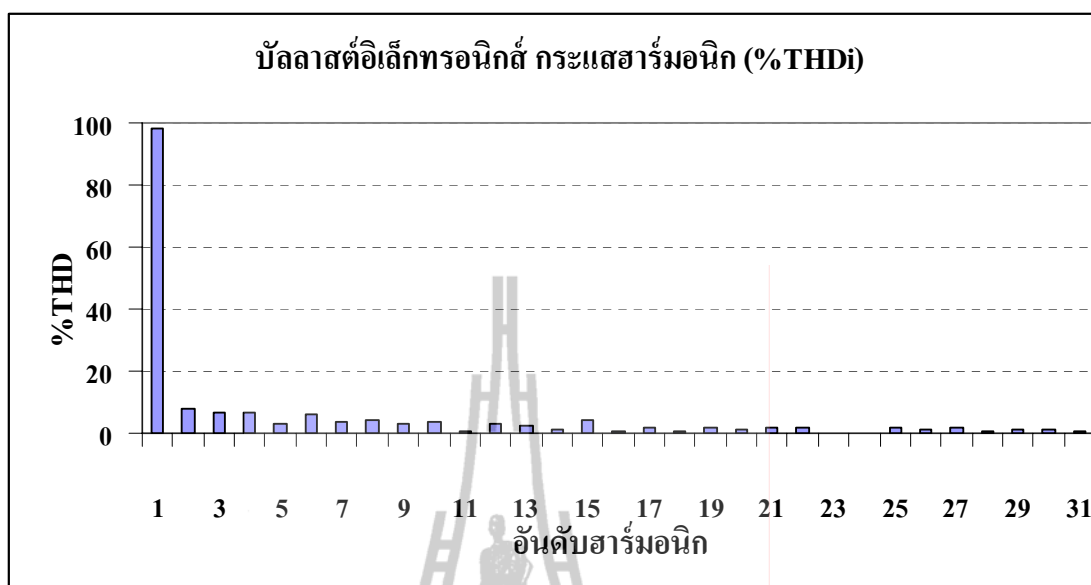
รูปที่ ก.11 ผลการวัดแรงดันฮาร์โมนิกของปลั๊กสตัไฟโอโซอิล็กทริกของชิ้นงานที่ R278



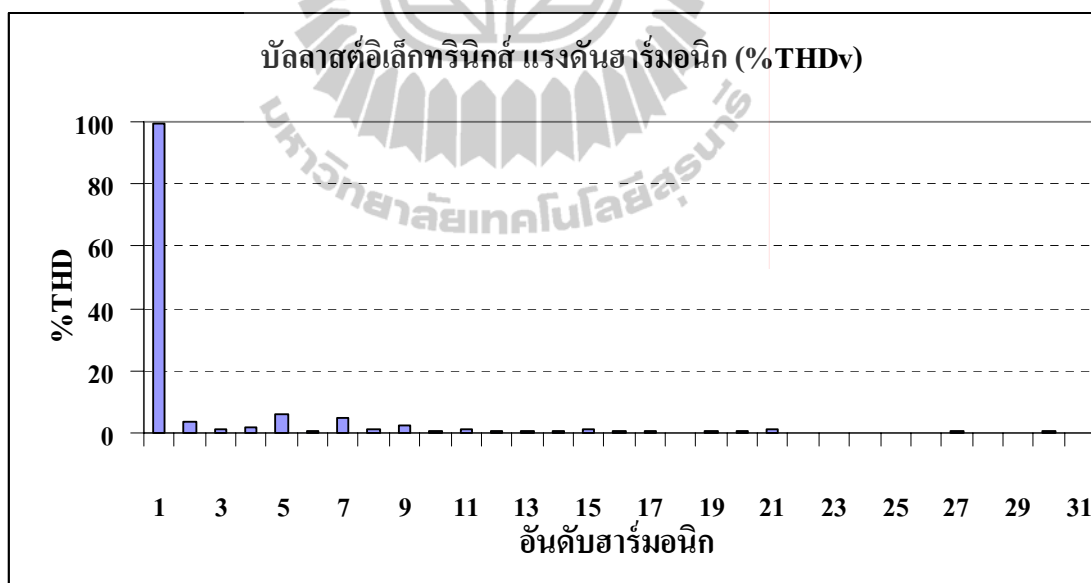
รูปที่ ก.12 ผลการวัดกระแสฮาร์โมนิกของปลั๊กสตัไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ของชิ้นงานที่ R213



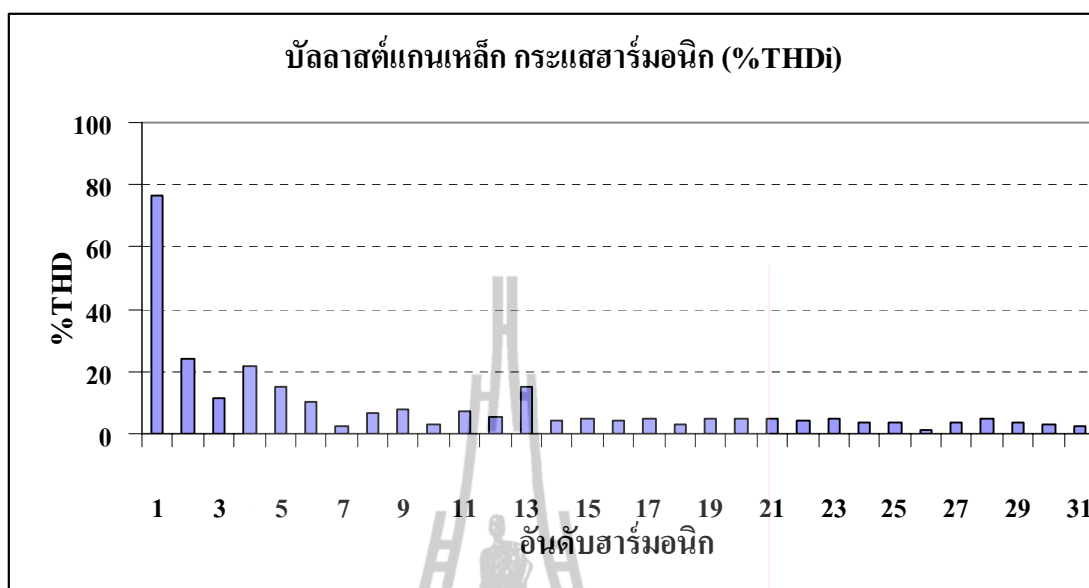
รูปที่ ก.13 ผลการวัดแรงดันฮาร์โมนิกของปลั๊กสตัไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ของชิ้นงานที่ R213



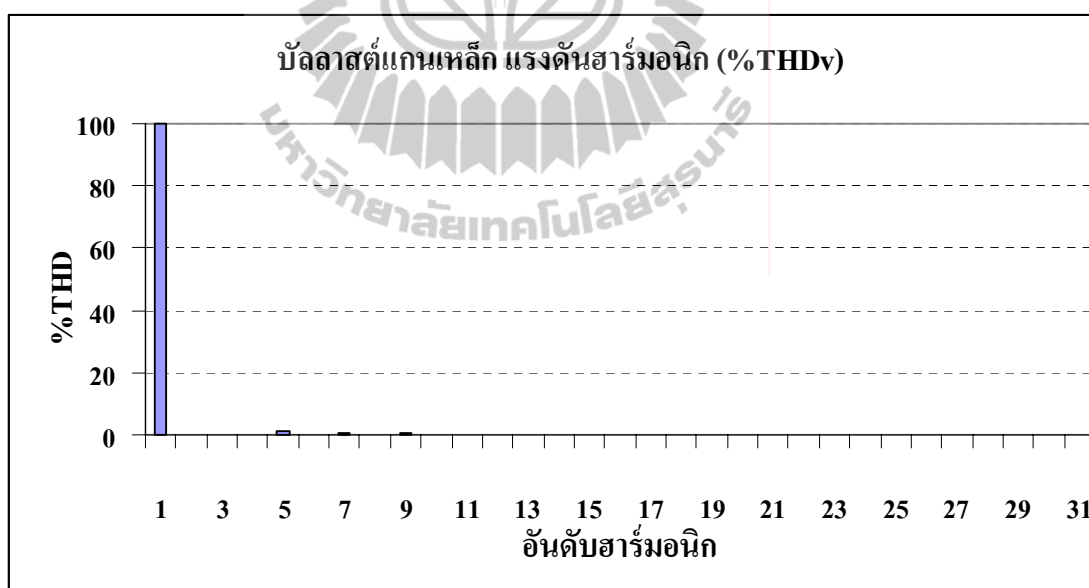
รูปที่ ก.14 ผลการวัดกระแสฮาร์โมนิกของปลาสตอ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ ก.15 ผลการวัดแรงดันฮาร์โมนิกของปลาสตอ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ ก.16 ผลการวัดกระแสฮาร์โมนิกของปลาสต์แกนเหล็ก



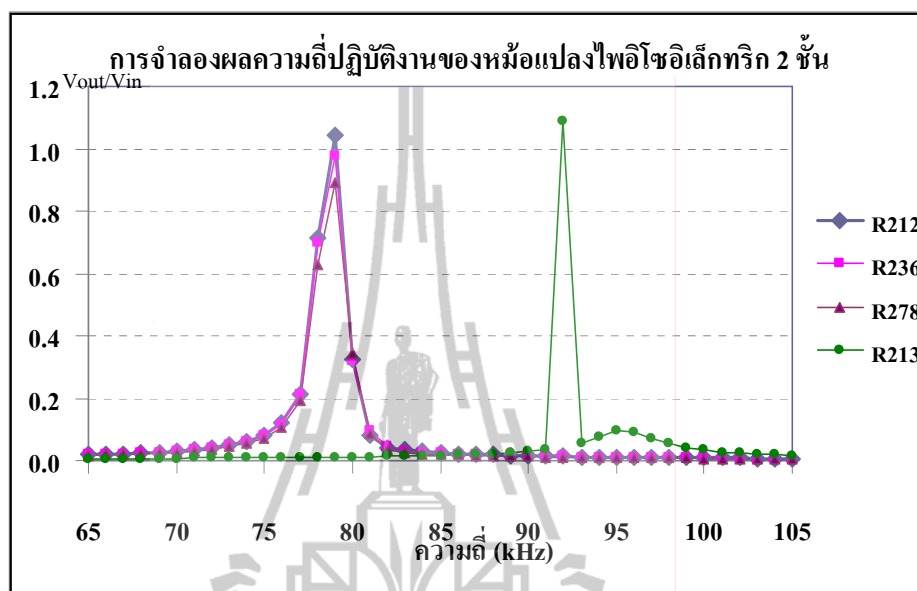
รูปที่ ก.17 ผลการวัดแรงดันฮาร์โมนิกของปลาสต์แกนเหล็ก



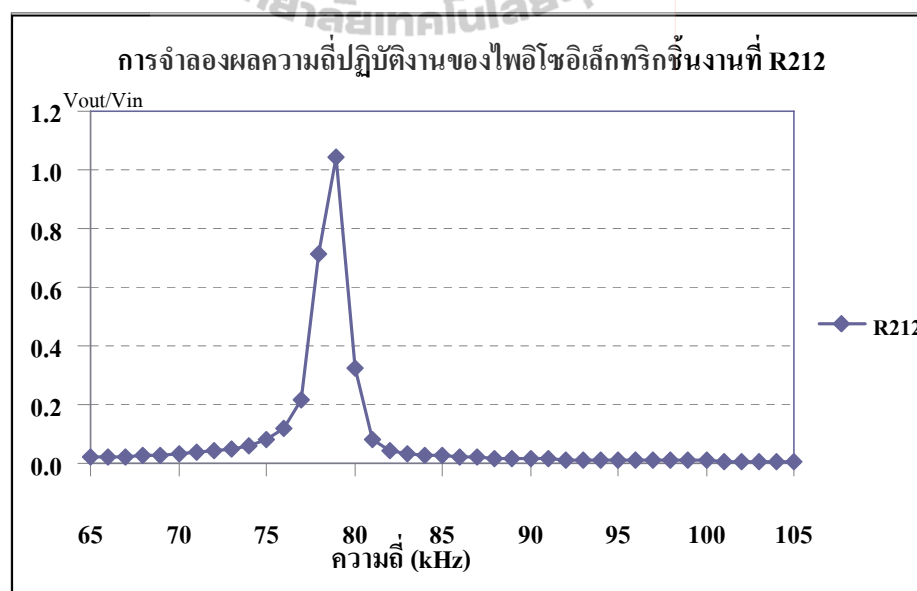
ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติการของหม้อแปลงไฟโโซอิเล็กทริก

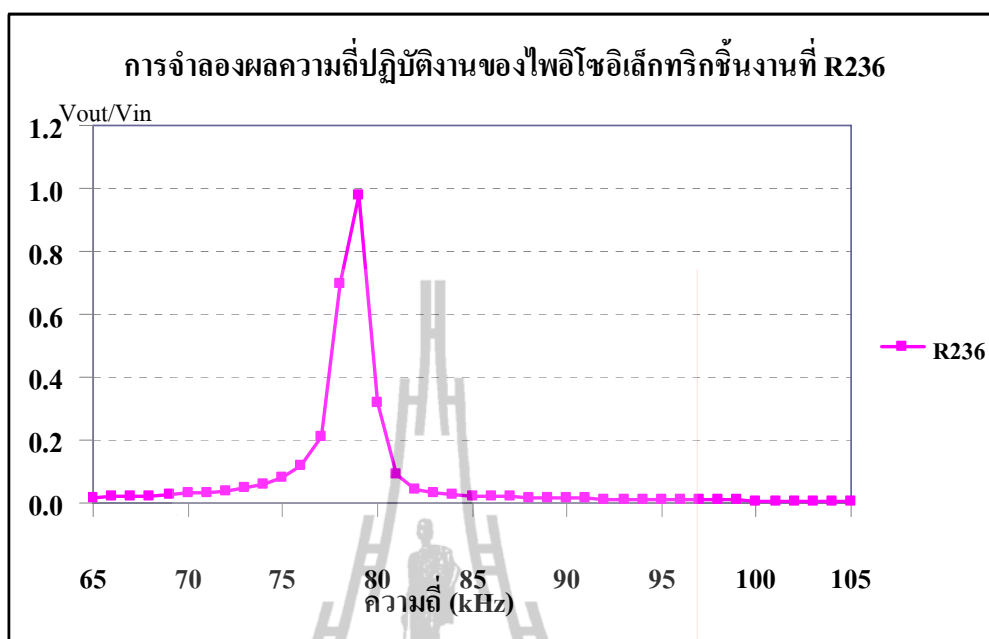
การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมี
แบบ 2 ชั้น ด้วยโปรแกรม PSIM



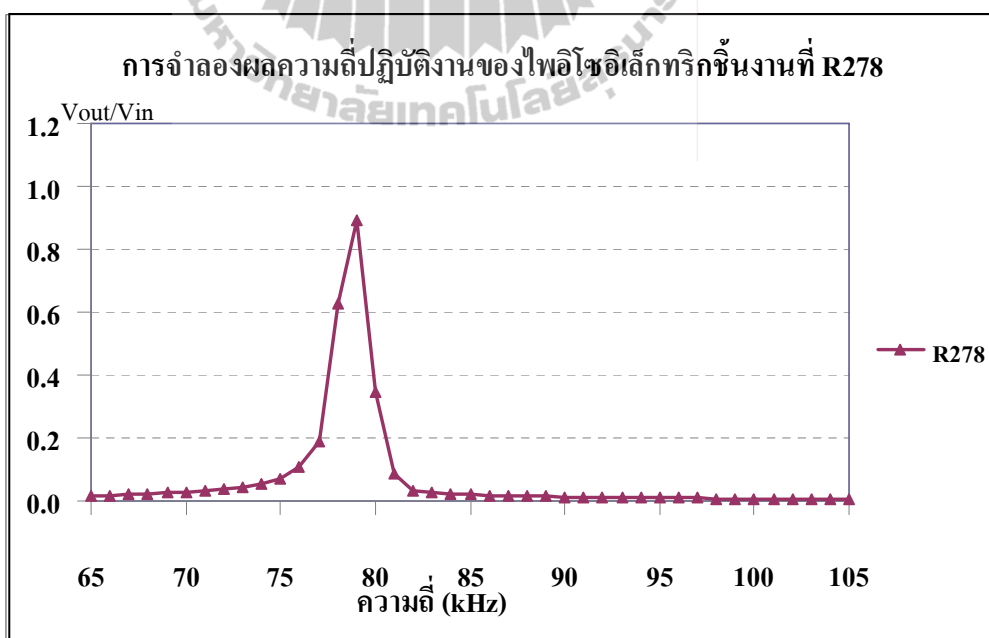
รูปที่ ข.1 ผลจำลองความถี่ปฏิบัติงานหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น



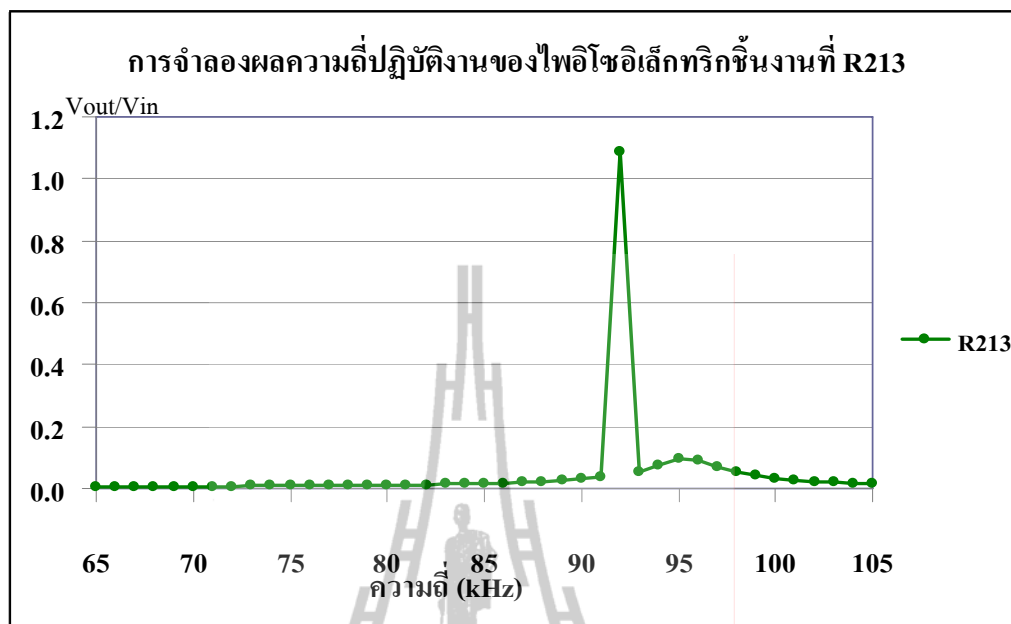
รูปที่ ข.2 ผลการจำลองความถี่ปฏิบัติงานหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชั้นงานที่ R212



รูปที่ ข.3 ผลการจำลองความถี่ปฏิบัติงานหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชั้นงานที่ R236

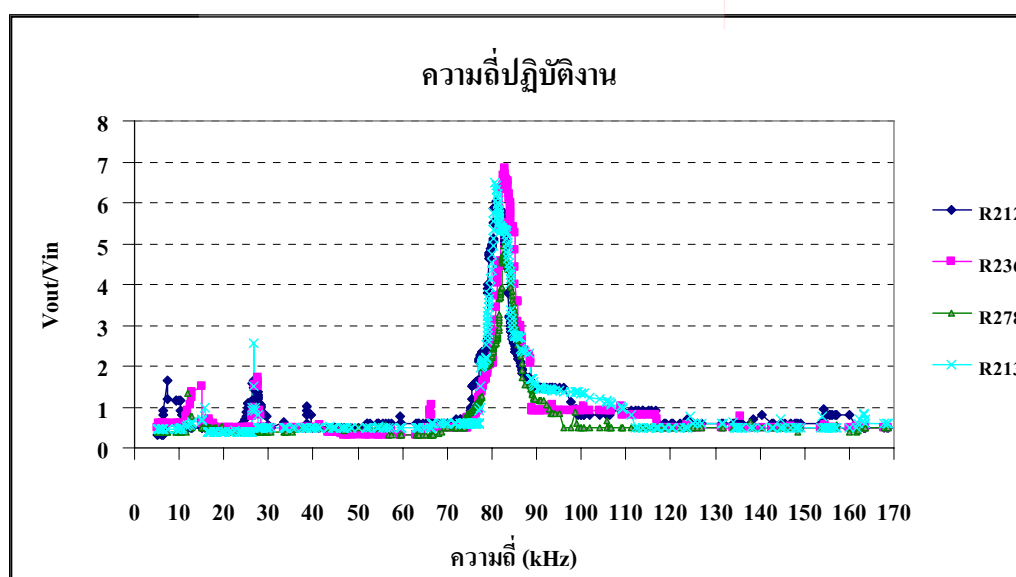


รูปที่ ข.4 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชั้นงานที่ R278

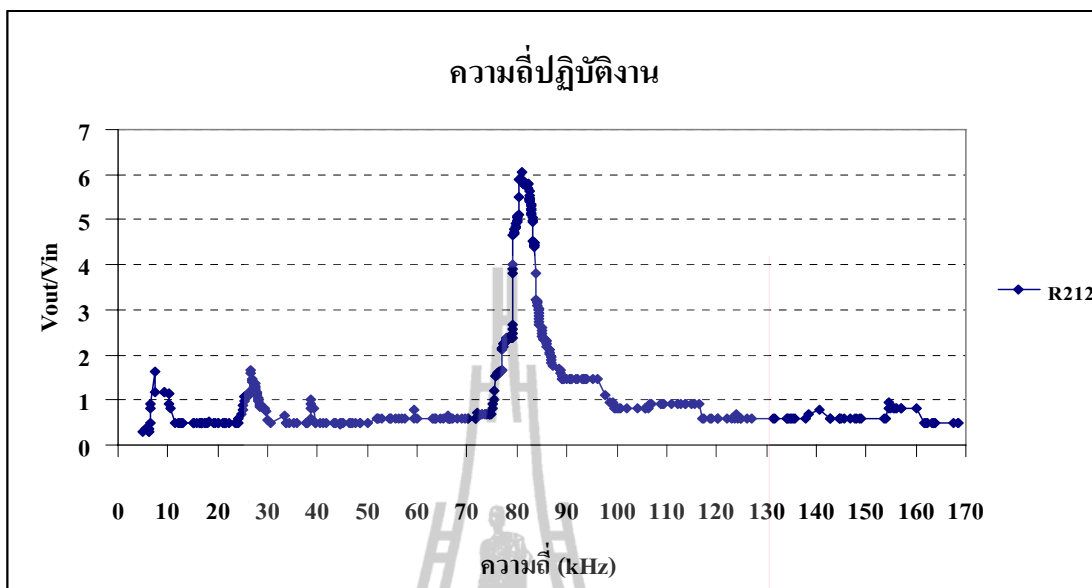


รูปที่ ข.5 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ชั้นงานที่ R278

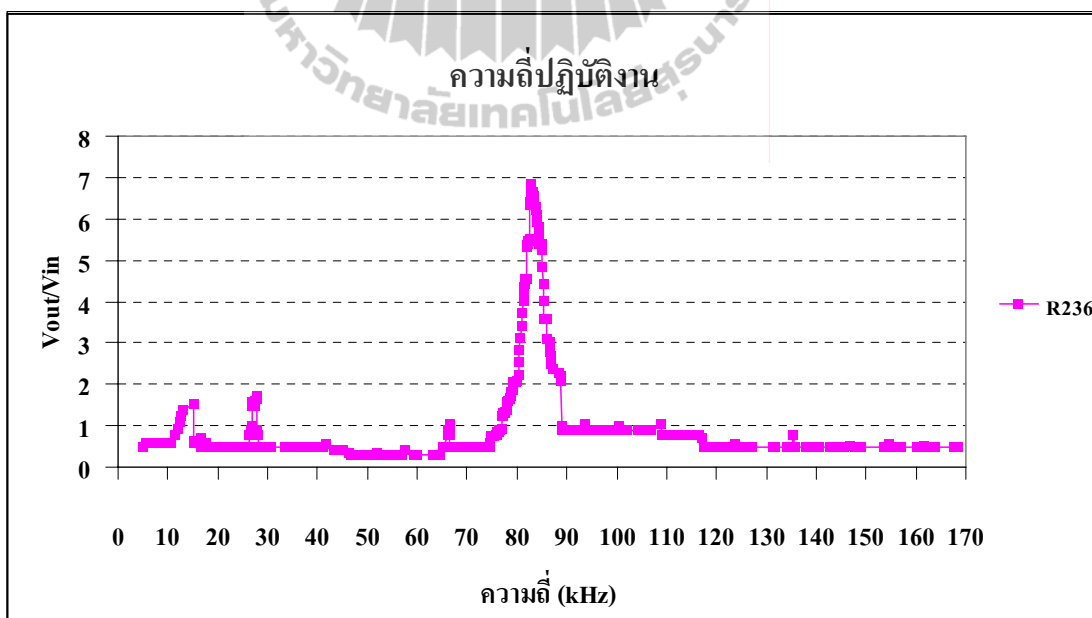
ผลการวัดความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น



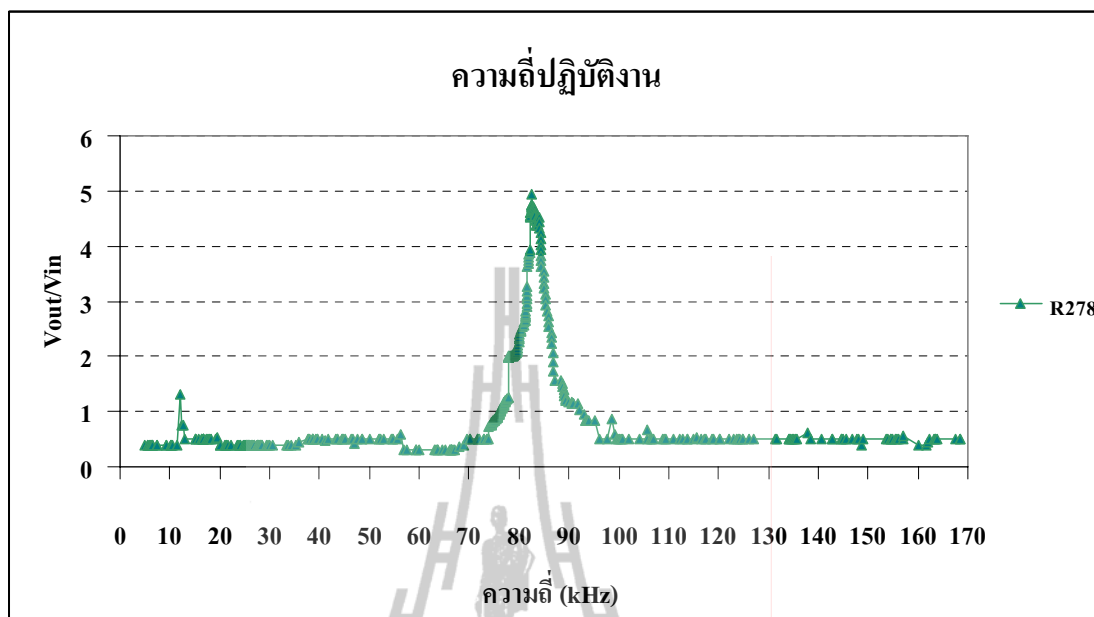
รูปที่ ข.6 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของทุกชั้นงาน



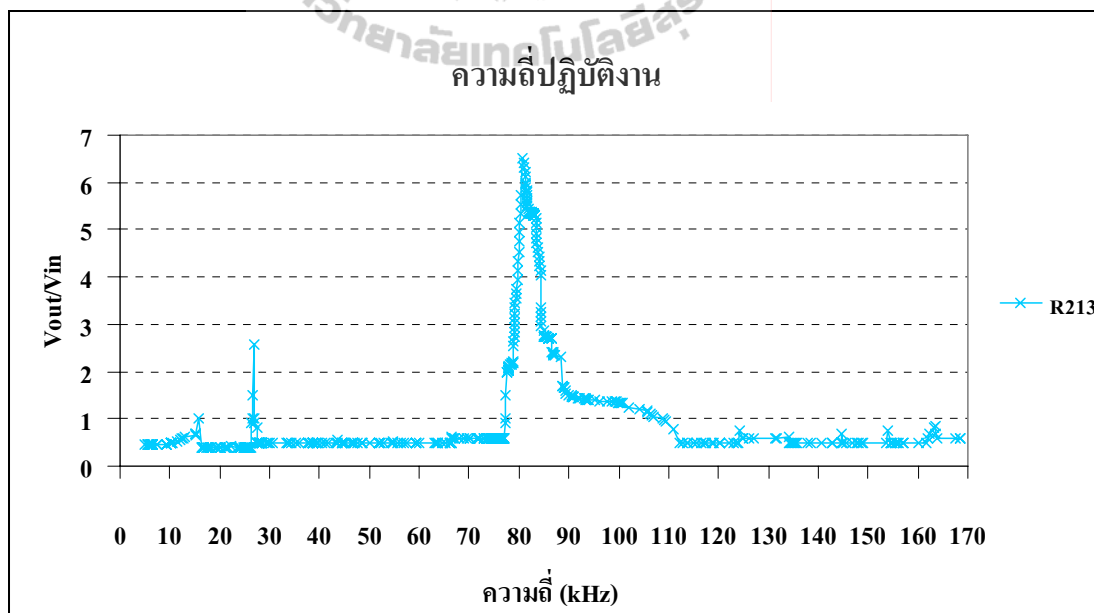
รูปที่ ข.7 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิล็กทริกชนิดการสันตาม
แนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R212



รูปที่ ข.8 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิล็กทริกชนิดการสันตาม
แนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R236

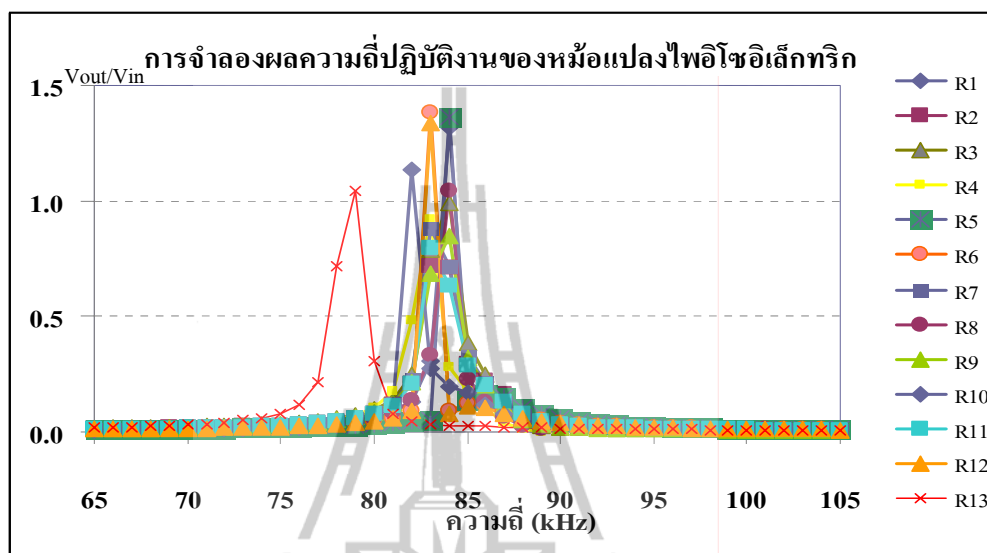


รูปที่ ข.9 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิล็กทริกชนิดการสันตาม
แนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R278

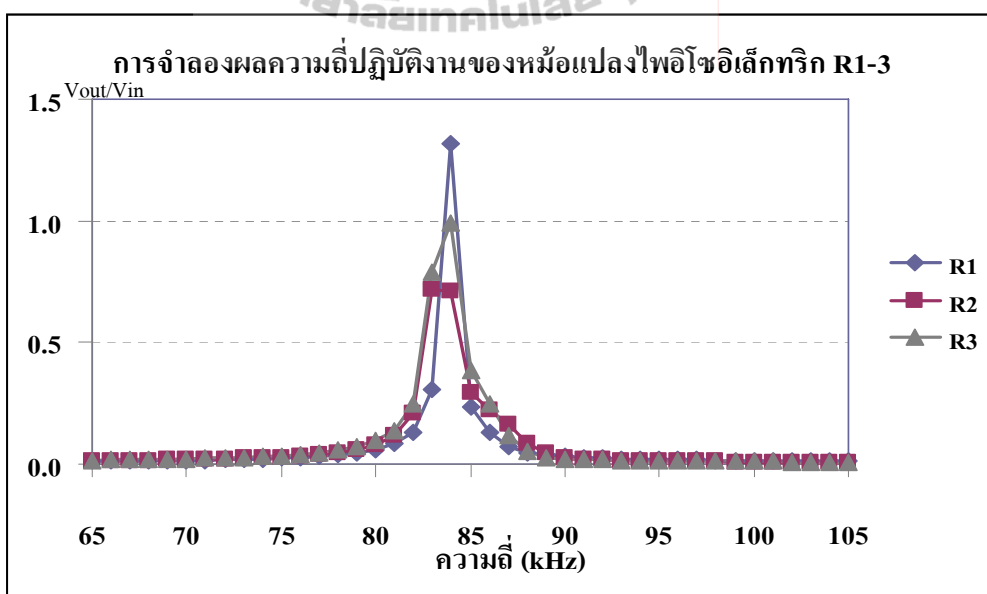


รูปที่ ข.10 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิล็กทริกชนิดการสันตาม
แนวรัศมีแบบ 2 ชั้น ของชิ้นงาน R213

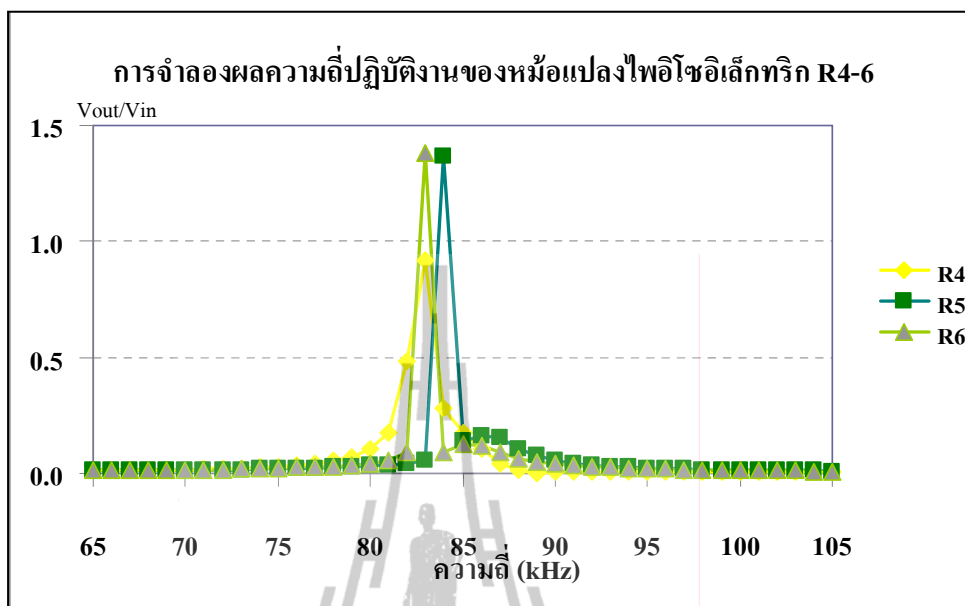
การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชนิดการสั่นตามแนวรัศมีแบบคอน
ทัวร์ด้วยโปรแกรม PSIM



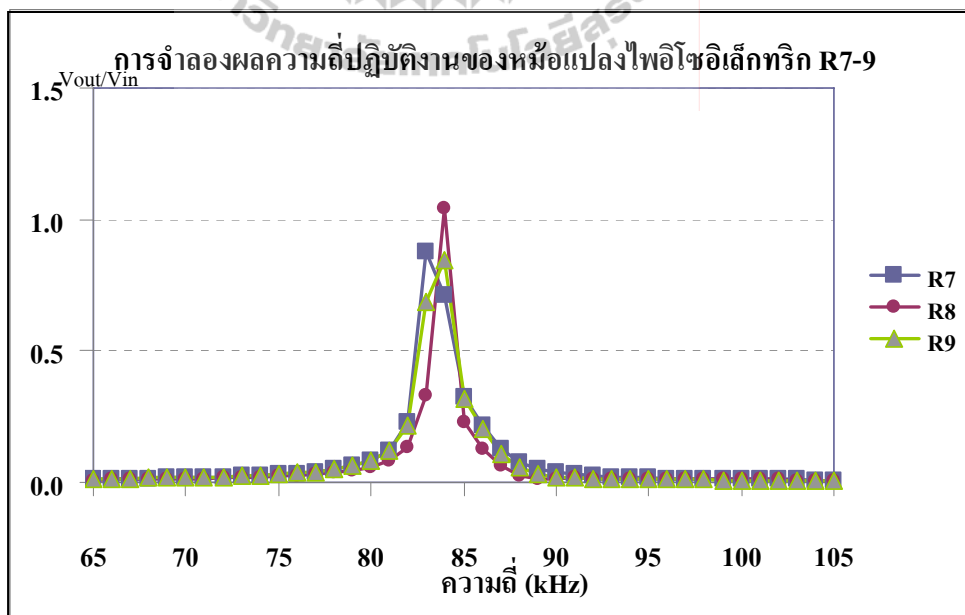
รูปที่ ข.11 ความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์



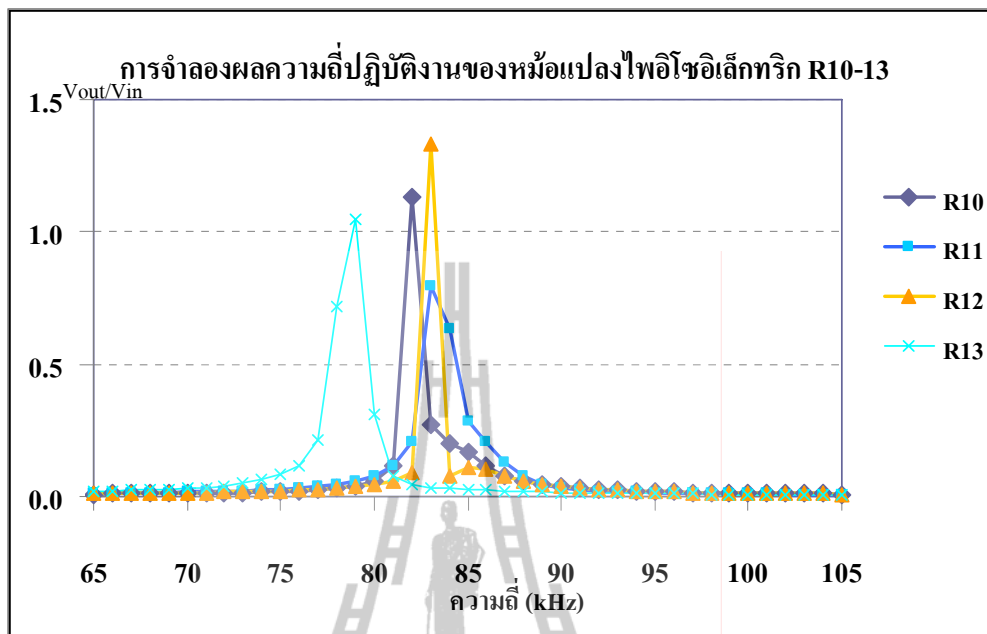
รูปที่ ข.12 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมี
แบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R1-3



รูปที่ ข.13 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมี
แบบคอนทัวร์ ชั้นงาน R4-6

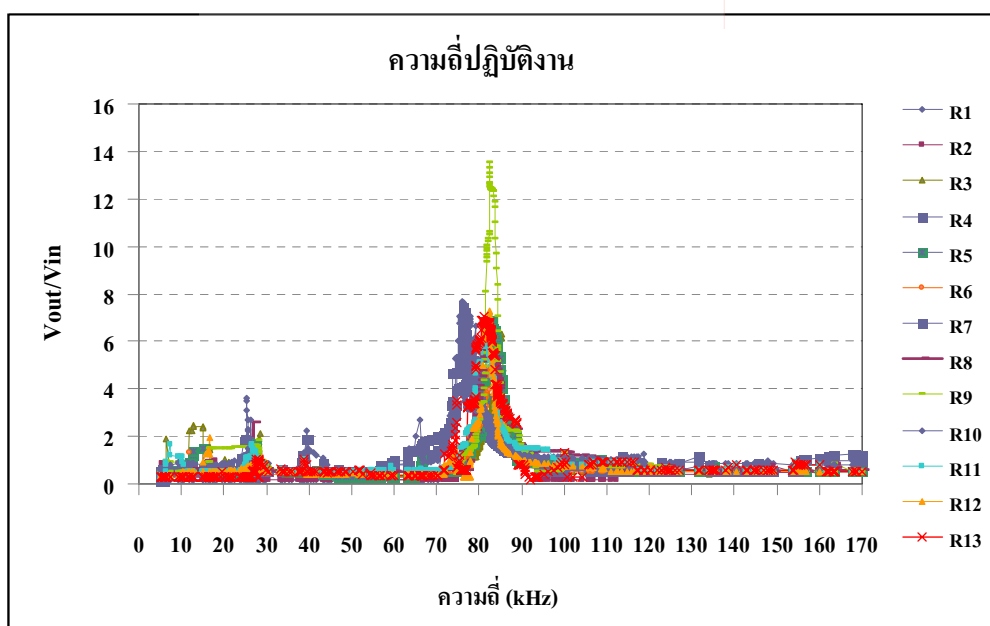


รูปที่ ข.14 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมี
แบบคอนทัวร์ ชั้นงาน R7-9

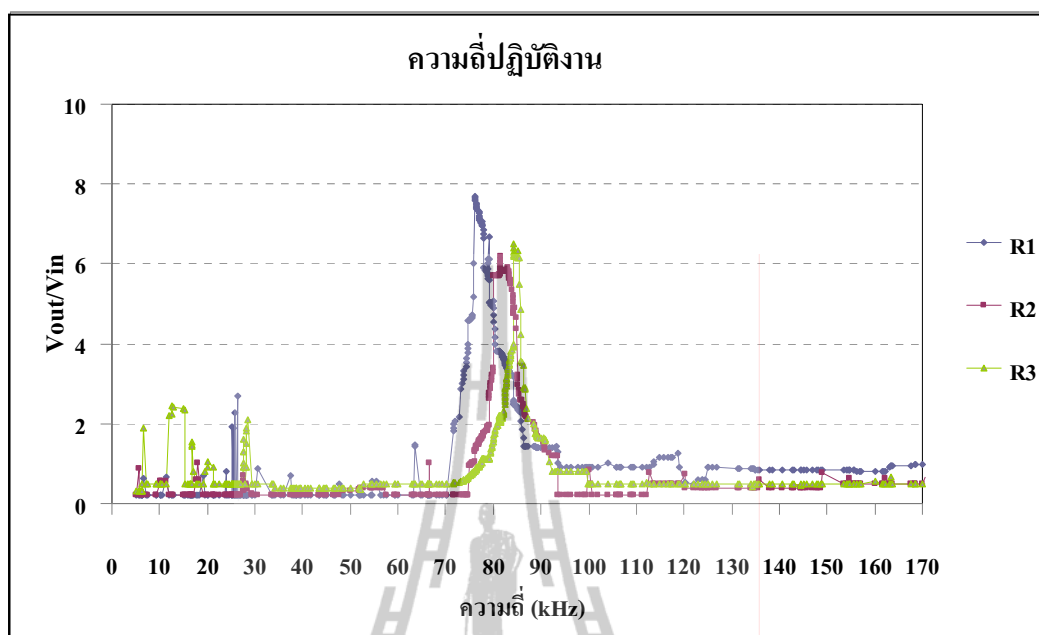


รูปที่ ข.15 การจำลองผลความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์ ชิ้นงาน R10-13

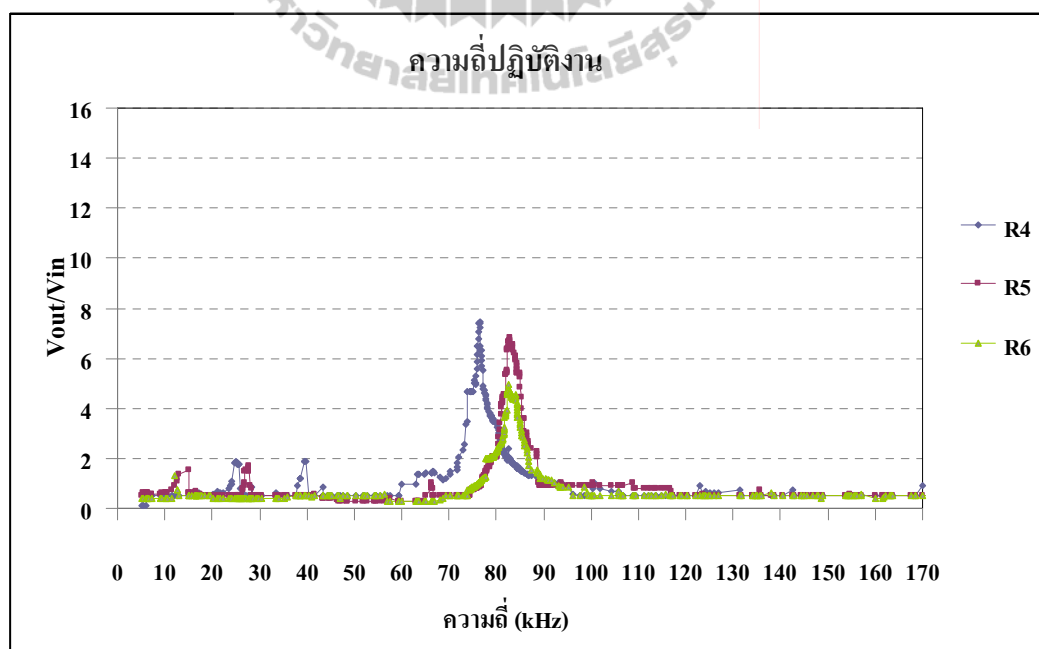
ผลการวัดความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์



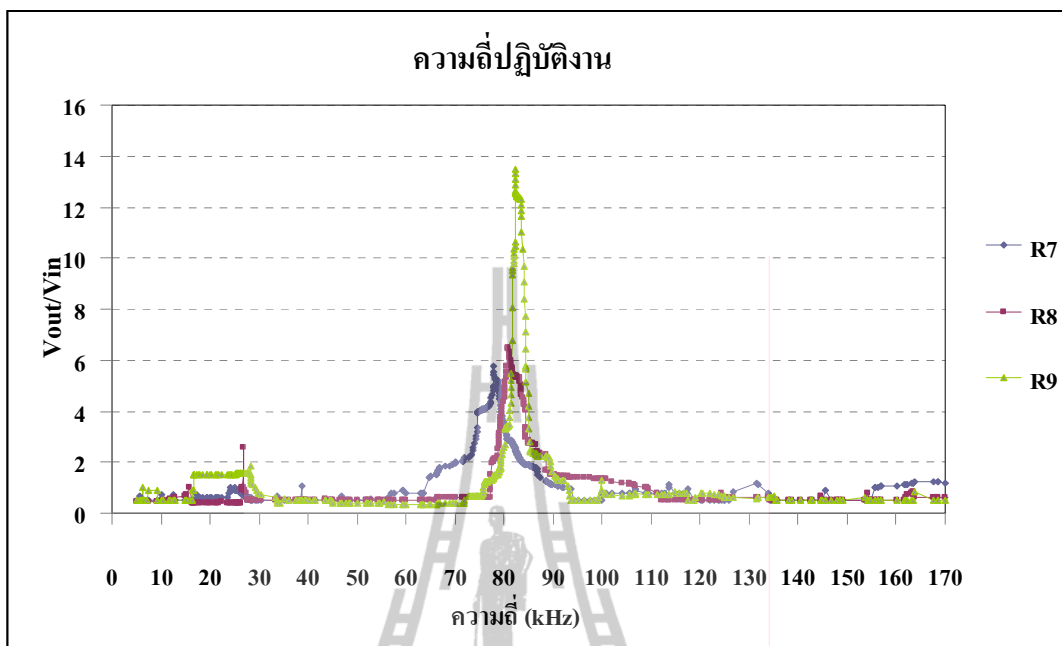
รูปที่ ข.16 ความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์การสั่นตามแนวรัศมีแบบคอนทัวร์



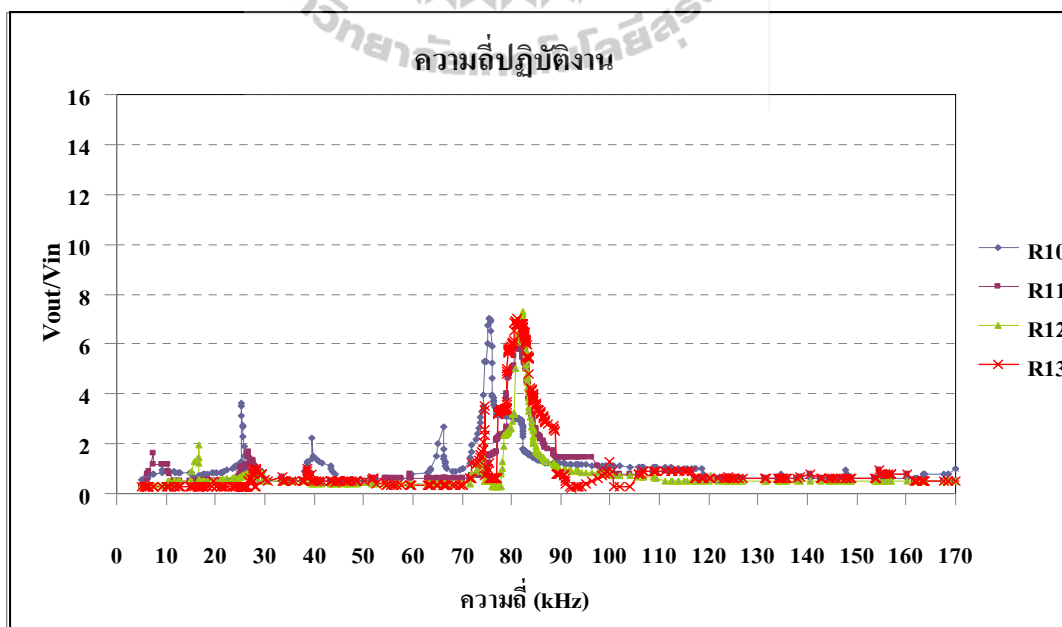
รูปที่ ข.17 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตาม
แนวรัศมีแบบคอนทัวร์ R1-3



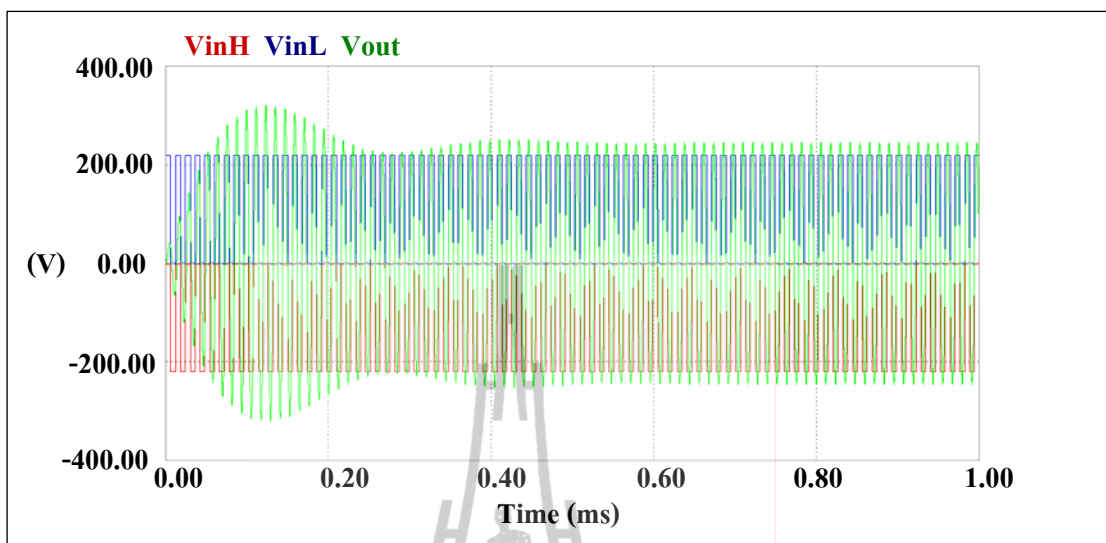
รูปที่ ข.18 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตาม
แนวรัศมีแบบคอนทัวร์ R4-6



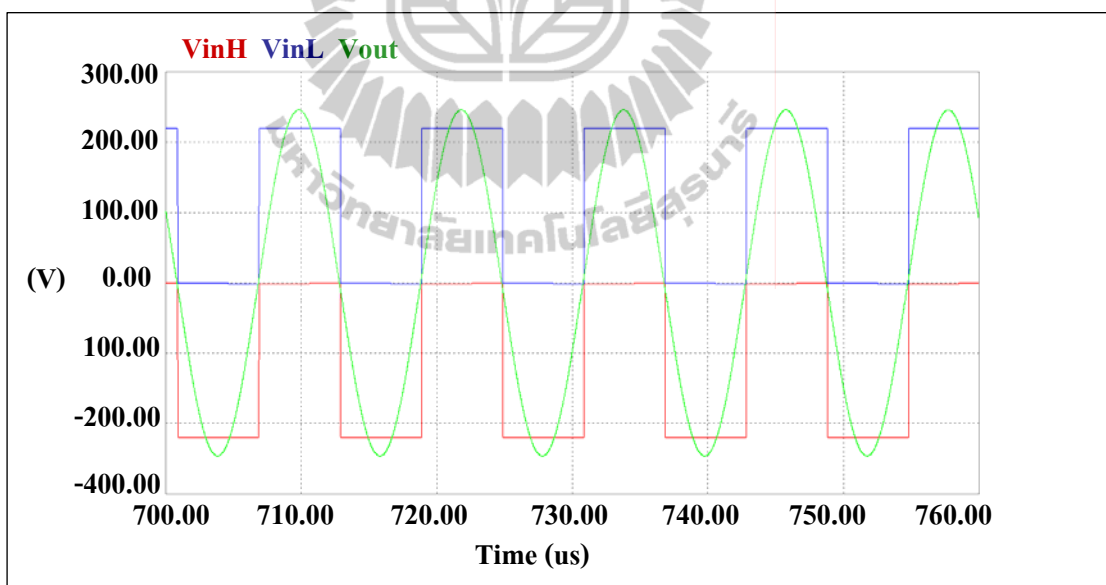
รูปที่ ข.19 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโวลต์เล็กทรานซิสเตอร์ตาม
 แนวรัศมีแบบคอนทัวร์ R7-9



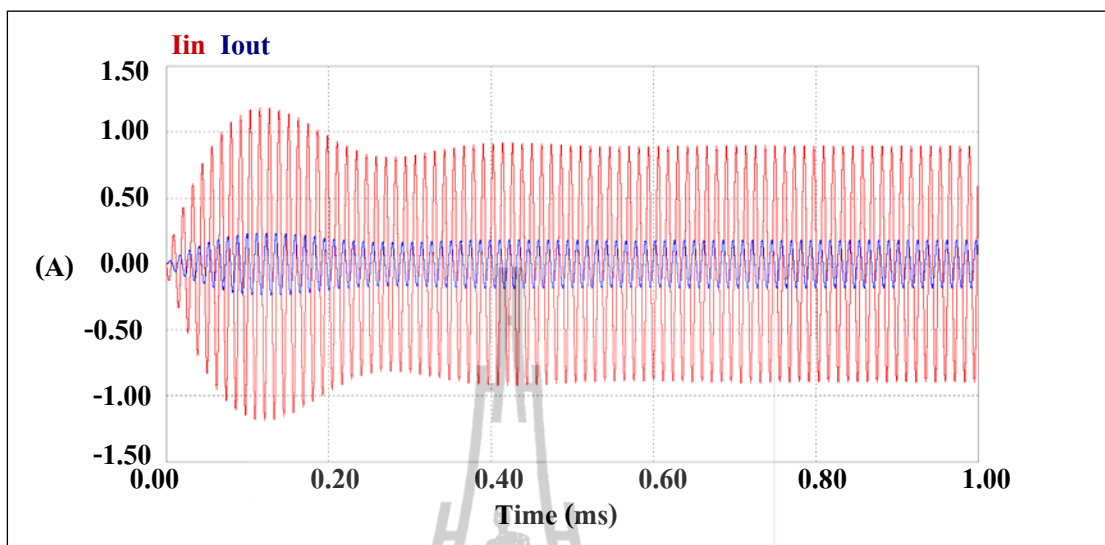
รูปที่ ข.20 ผลการทดสอบหาความถี่ปฏิบัติงานของหม้อแปลงไฟโวลต์เล็กทรานซิสเตอร์ตาม
 แนวรัศมีแบบคอนทัวร์ R10-13



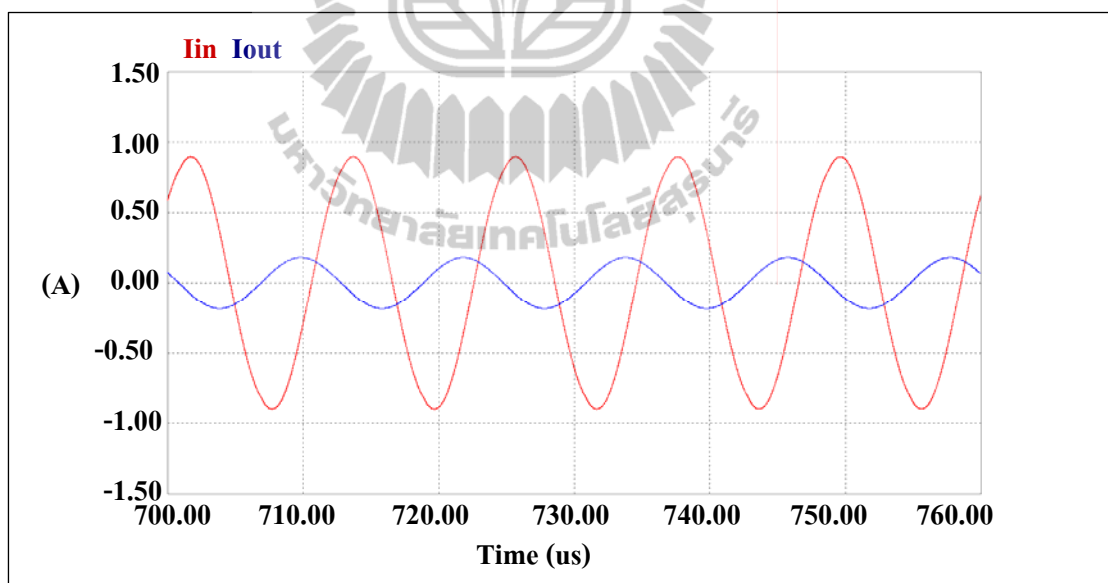
รูปที่ ข.21 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R2 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



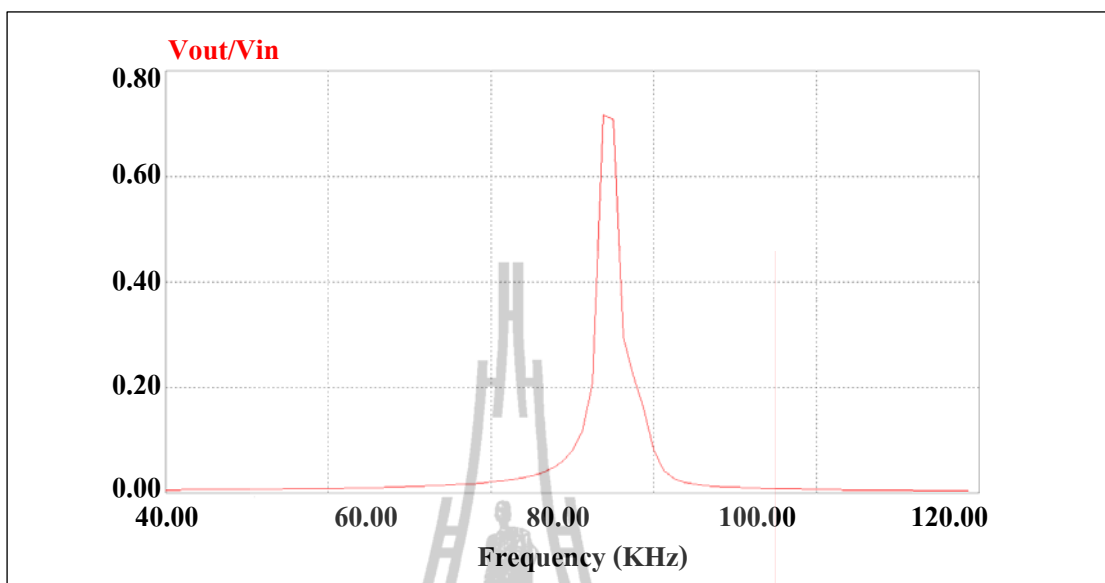
รูปที่ ข.22 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R2 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.23 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R2 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

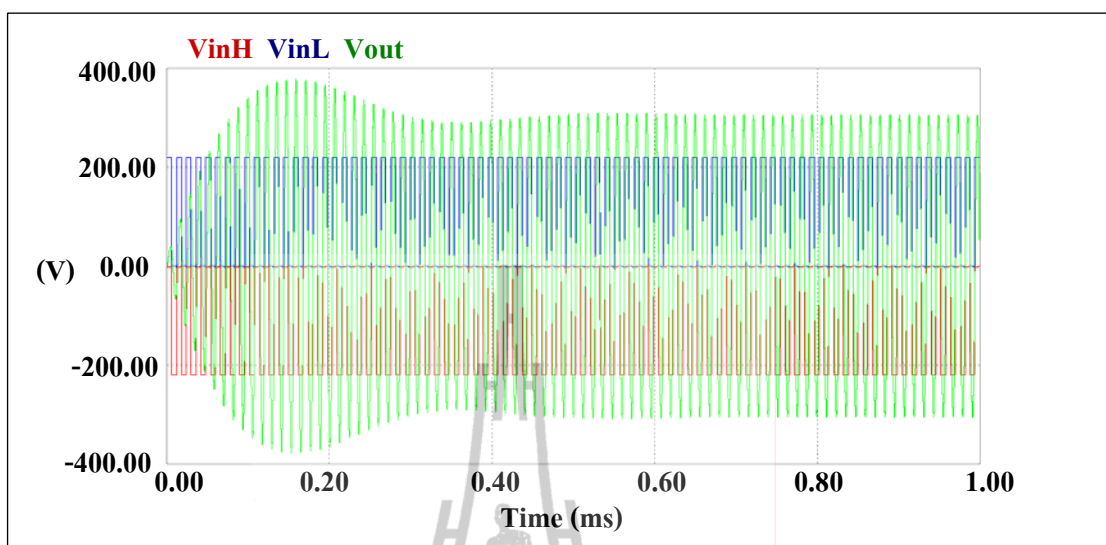


รูปที่ ข.24 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R2 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

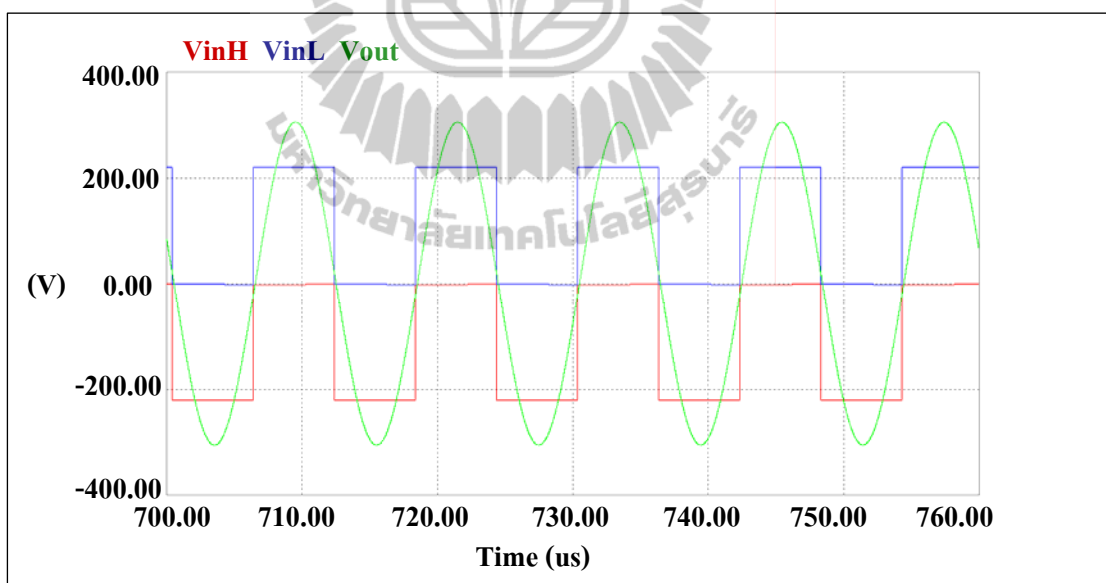


รูปที่ ข.25 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R2 ที่ความถี่ 83.46 กิโลเฮิร์ตซ์

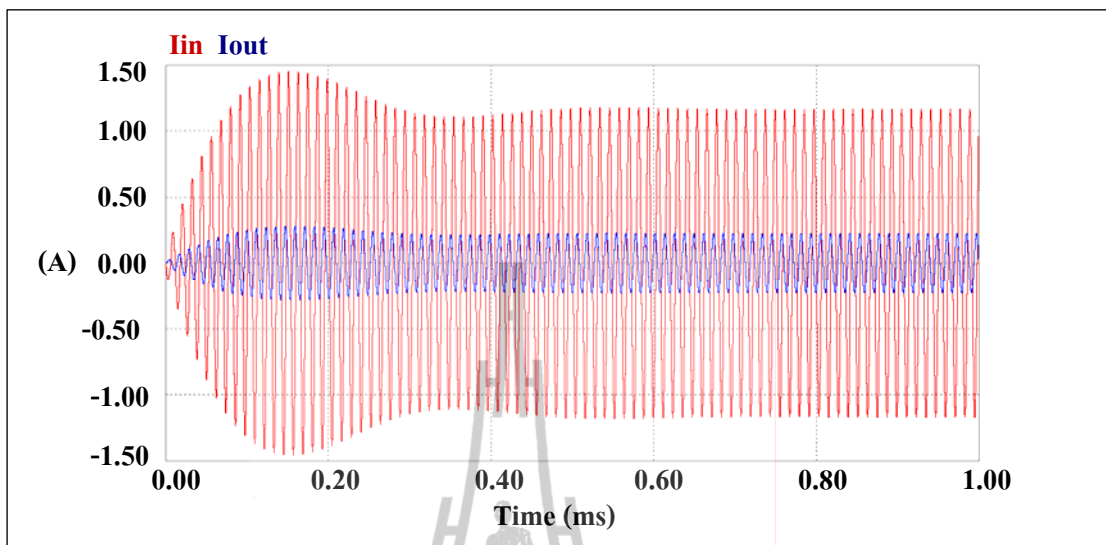
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R2 ดังรูปที่ ข.21-25 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 620 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.31 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงคงที่ที่ประมาณ 440 โวลต์ (Vpp) และกระแสไฟฟ้าขาเข้ามีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.20 และ 0.23 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.31 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.9 และ 0.2 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.46 กิโลเฮิร์ตซ์



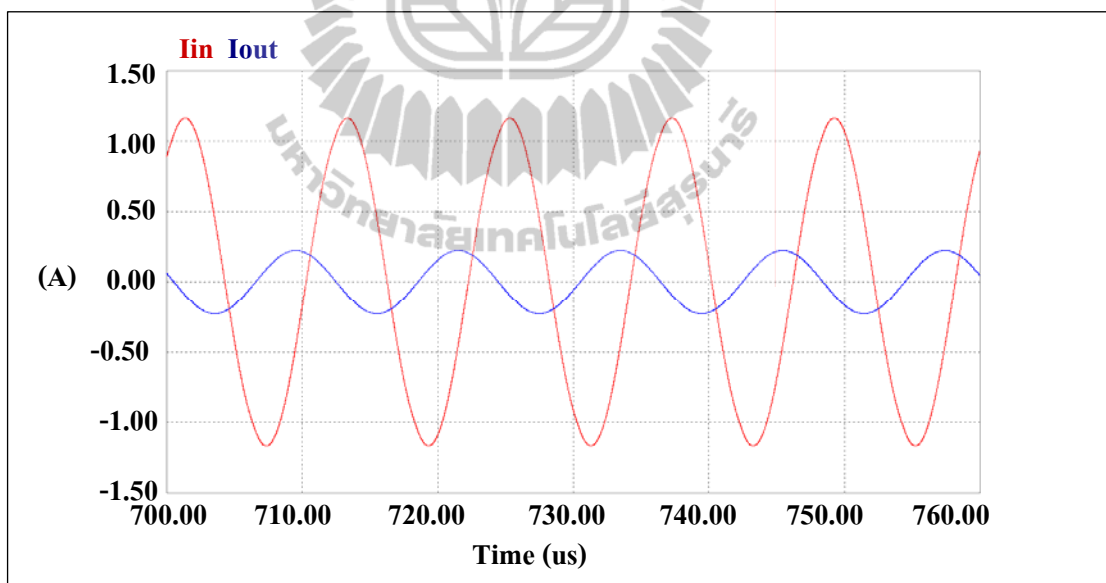
รูปที่ ข.26 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R3 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



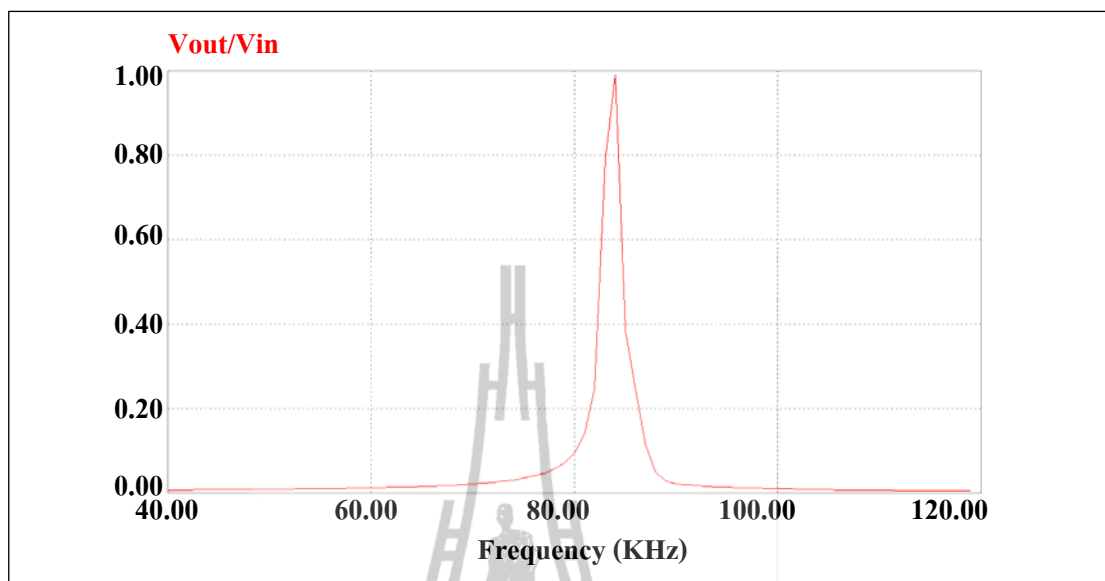
รูปที่ ข.27 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R3 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.28 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R3 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

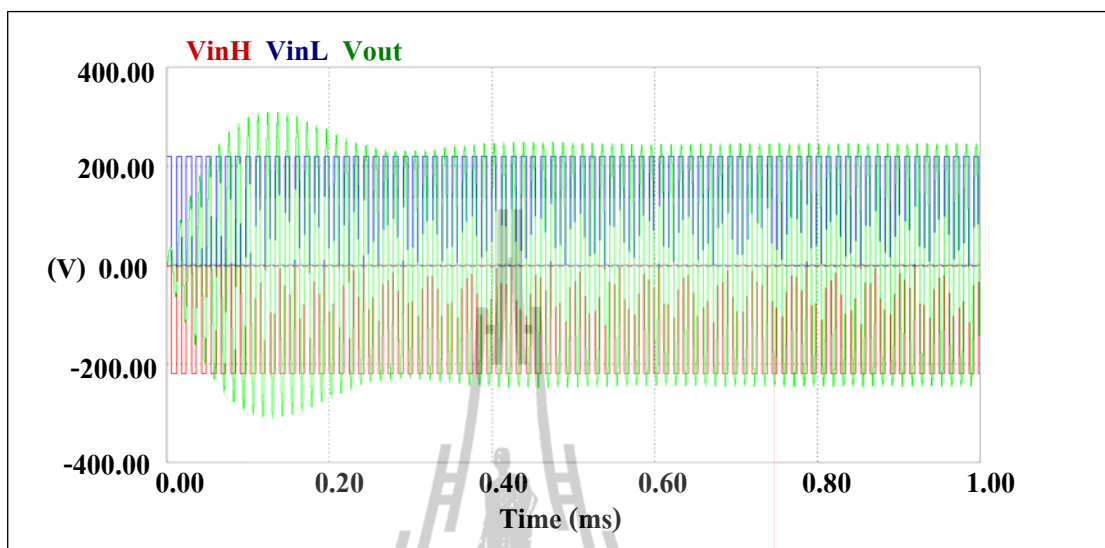


รูปที่ ข.29 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R3 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

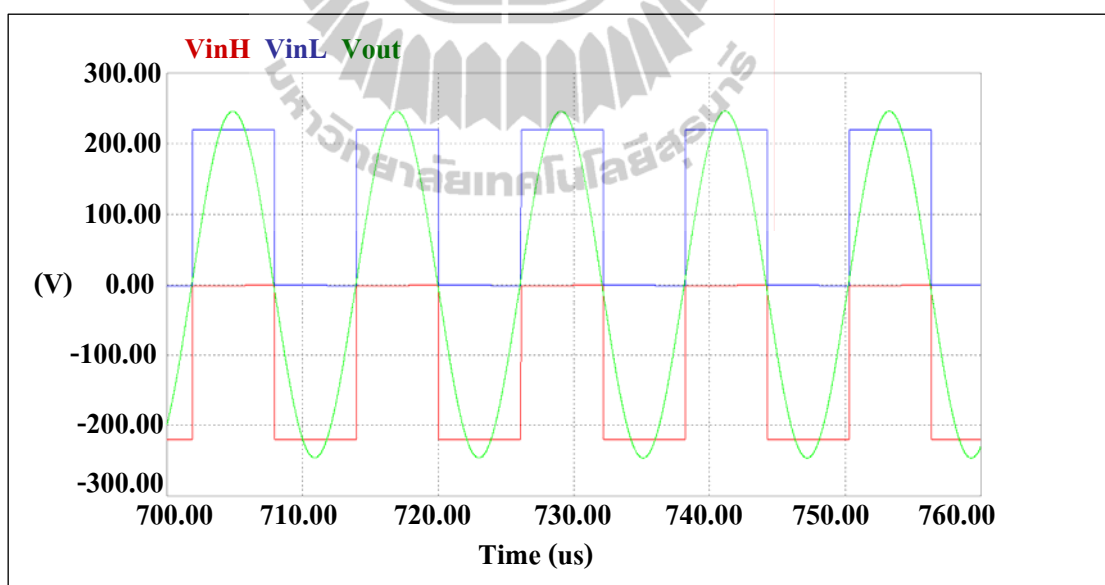


รูปที่ ข.30 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R3 ที่ความถี่ 83.52 กิโลเฮิร์ตซ์

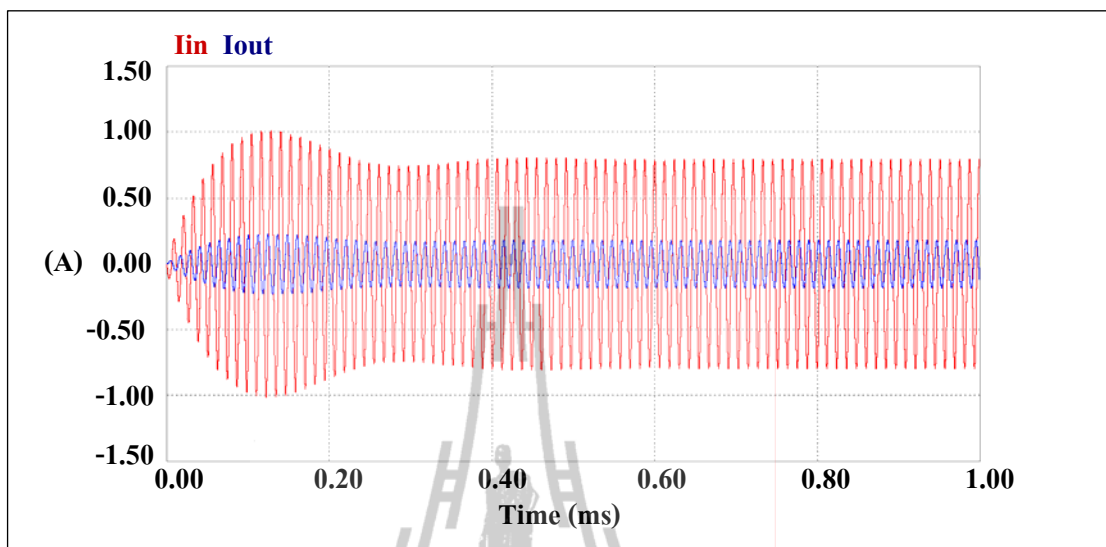
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R3 ดังรูปที่ ข.26-30 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 785 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.35 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงอยู่ที่ประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.53 และ 0.18 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.35 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 1.20 และ 0.13 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.52 กิโลเฮิร์ตซ์



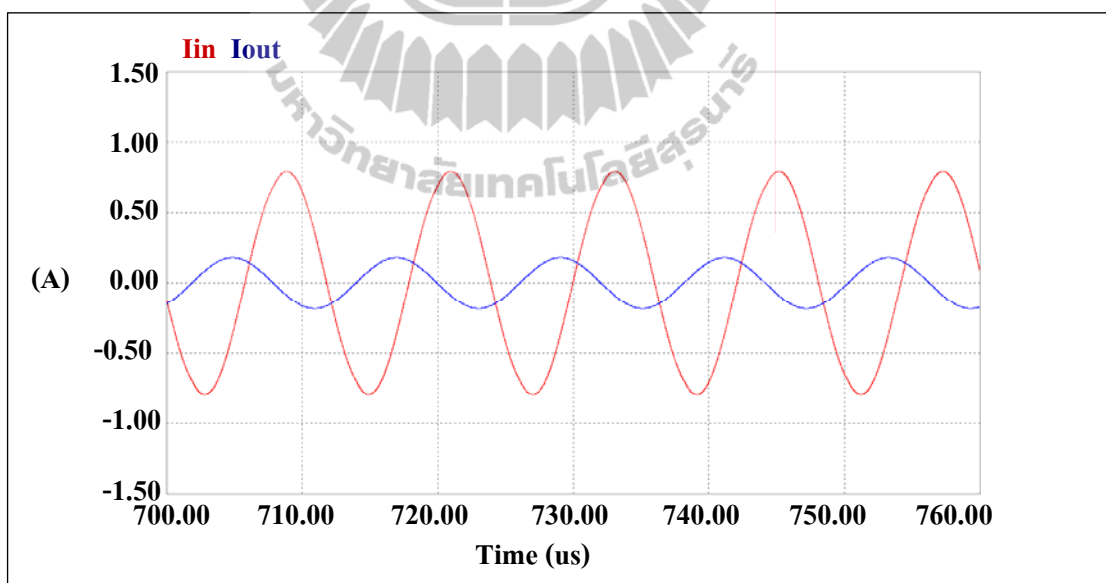
รูปที่ ข.31 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R4 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



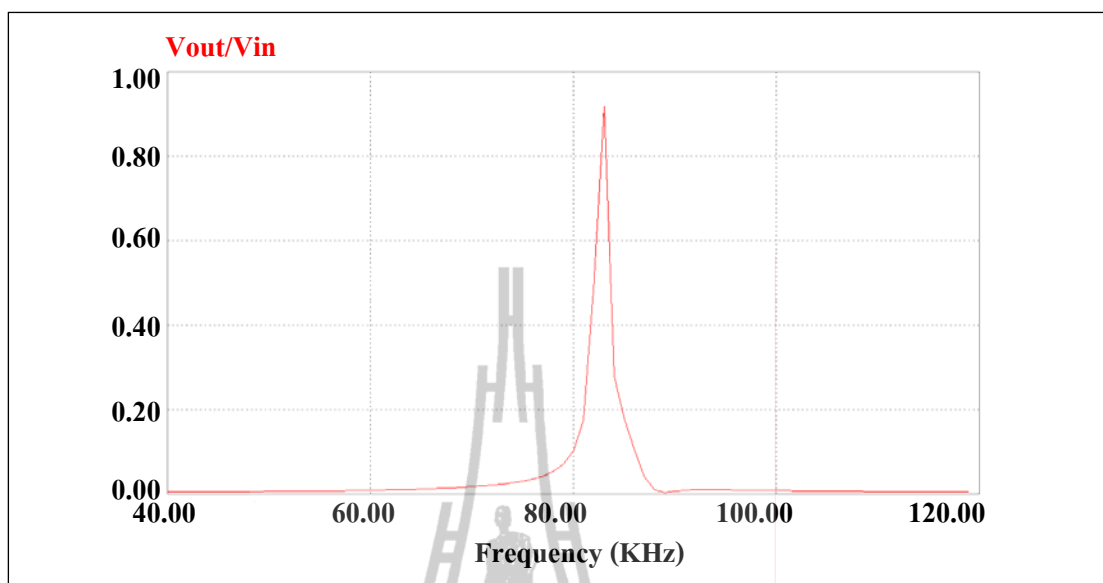
รูปที่ ข.32 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R4 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.33 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R4 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

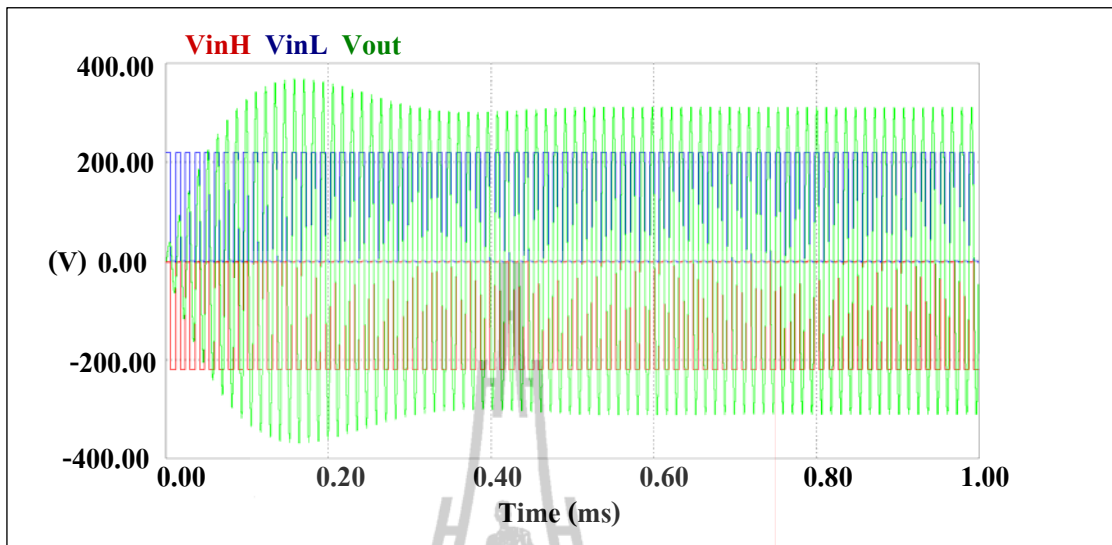


รูปที่ ข.34 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R4 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

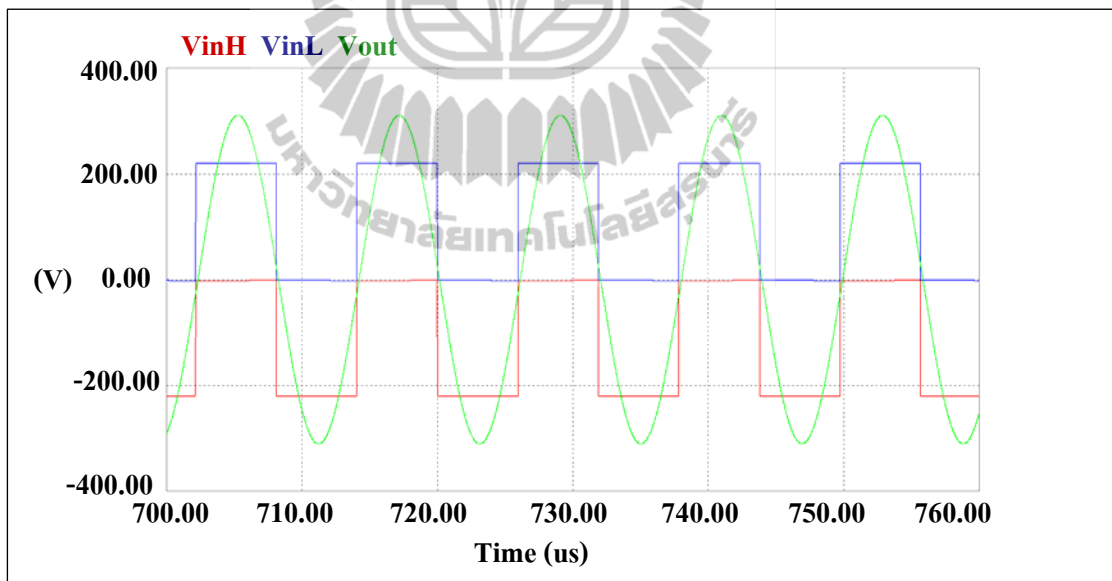


รูปที่ ข.35 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R4 ที่ความถี่ 82.63 กิโลเฮิร์ตซ์

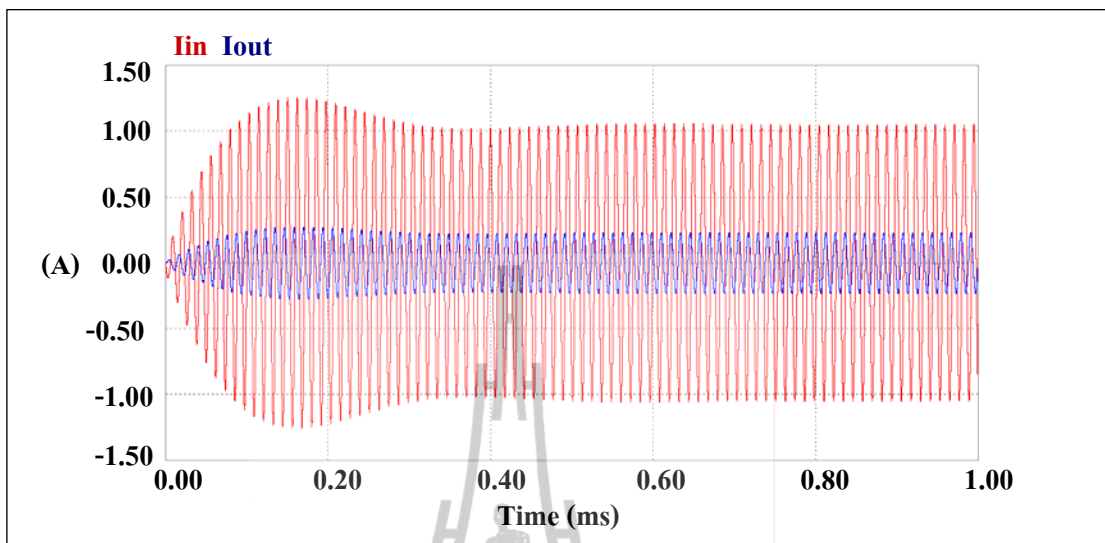
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิดเล็กทรอนิกส์งานที่ R4 ดังรูปที่ ข.31-35 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.29 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 450 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.00 และ 0.23 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.29 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.75 และ 0.20 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 82.63 กิโลเฮิร์ตซ์



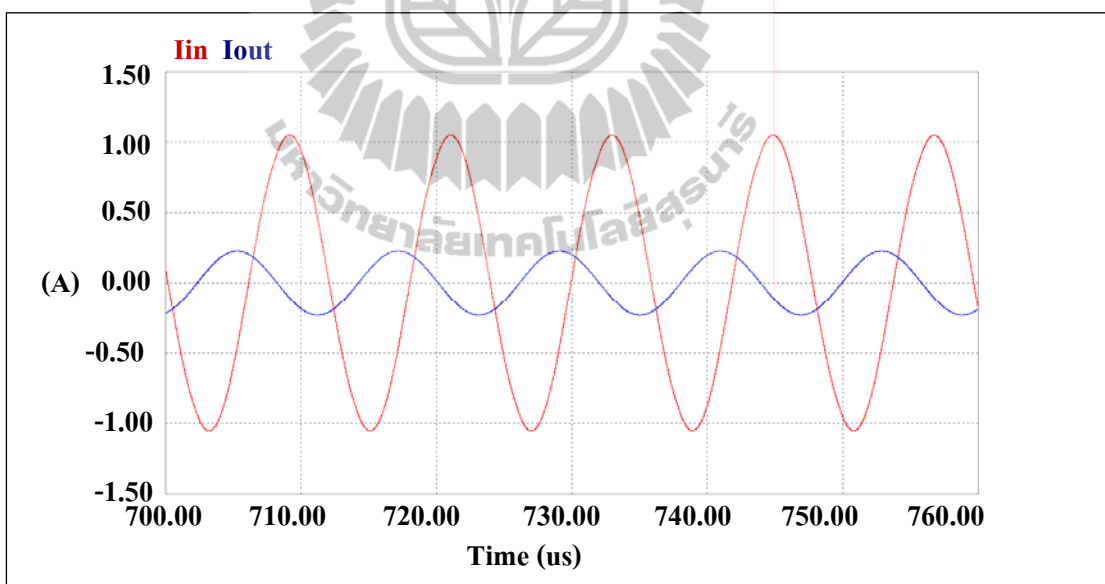
รูปที่ ข.36 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R5 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



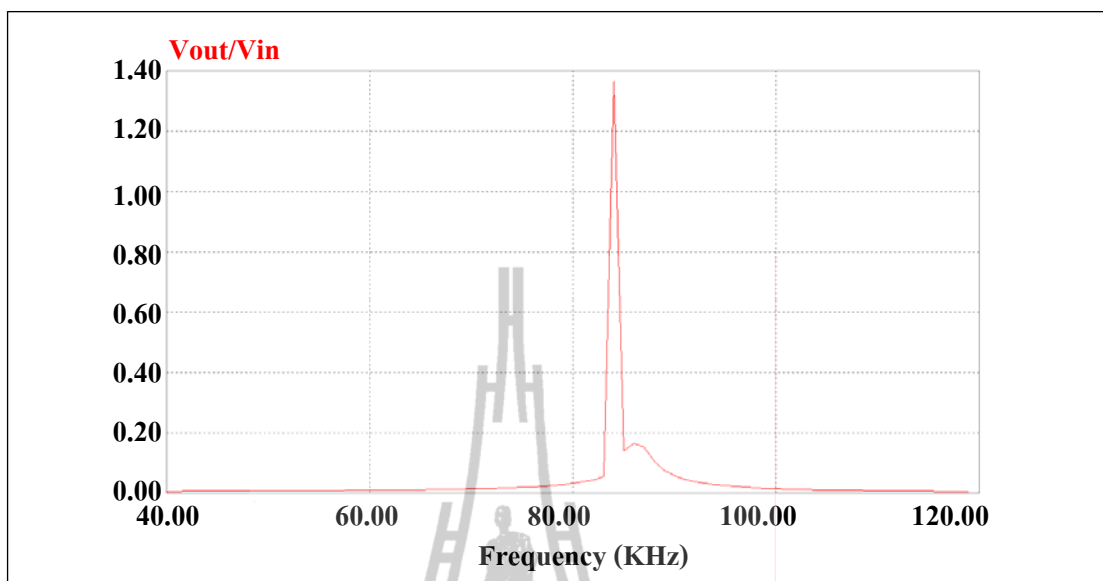
รูปที่ ข.37 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R5 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.38 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R5 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

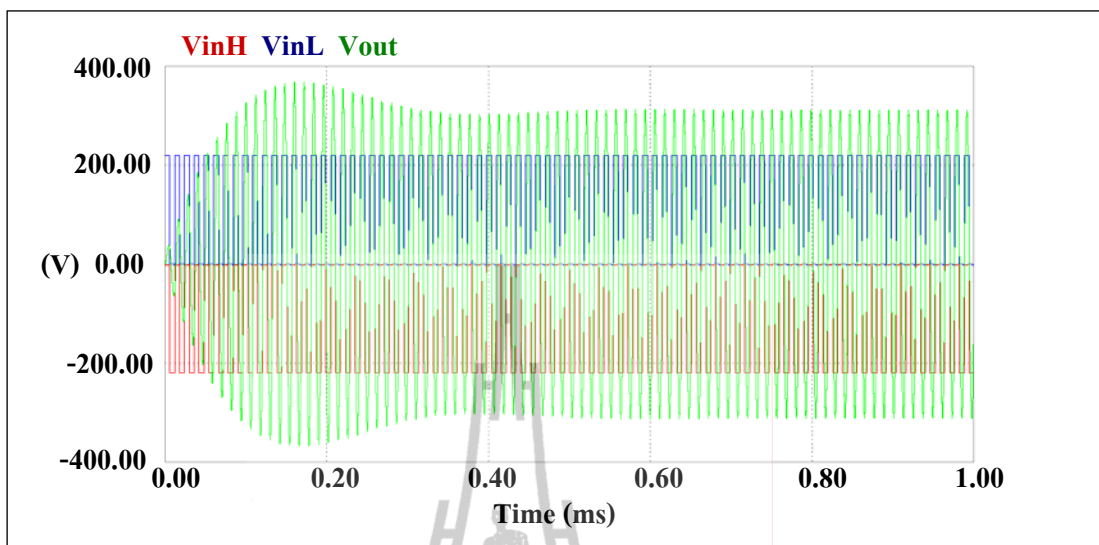


รูปที่ ข.39 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R5 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

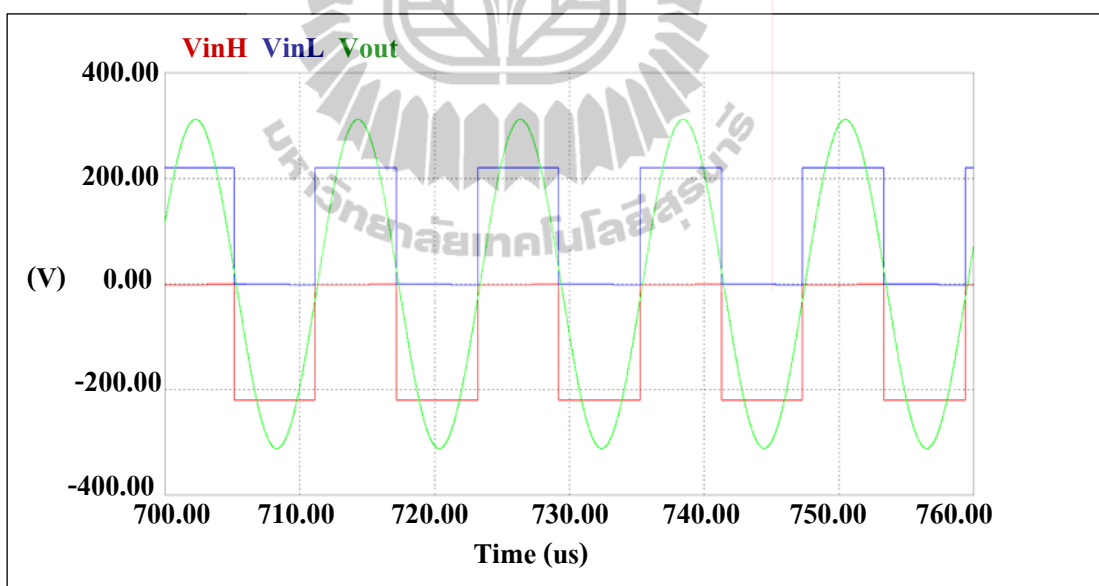


รูปที่ ข.40 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R5 ที่ความถี่ 84.02 กิโลเฮิร์ตซ์

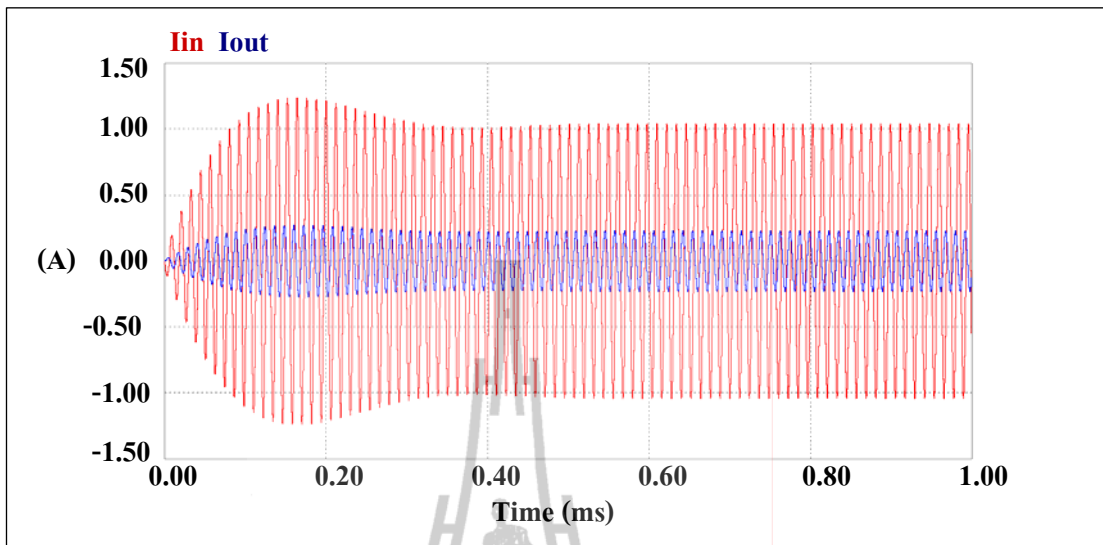
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R5 ดังรูปที่ ข.36-40 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 770 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.38 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.25 และ 0.25 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.38 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 1.08 และ 0.23 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 84.02 กิโลเฮิร์ตซ์



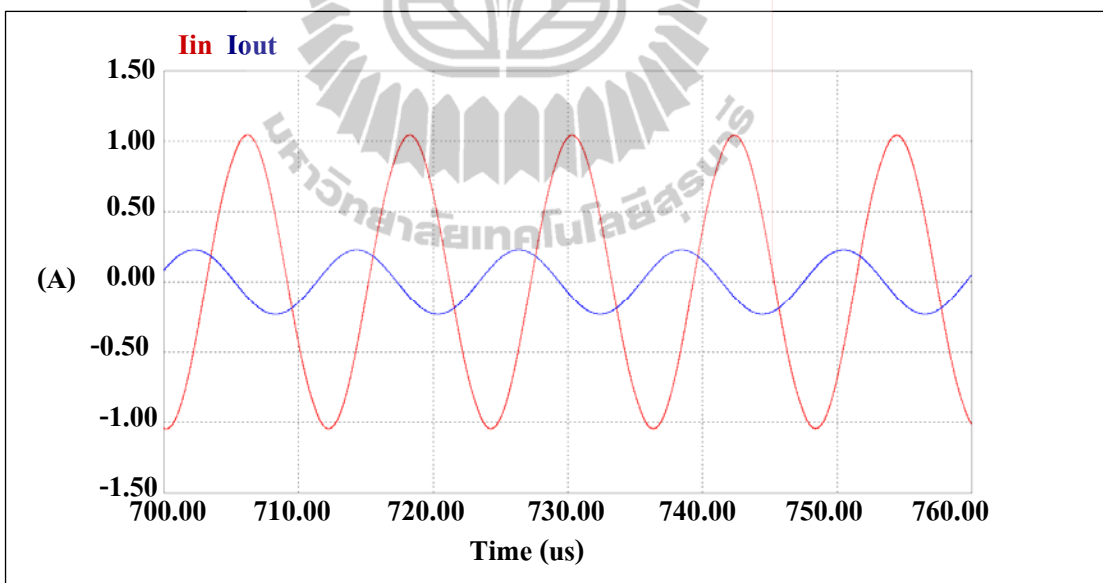
รูปที่ ข.41 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R6 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



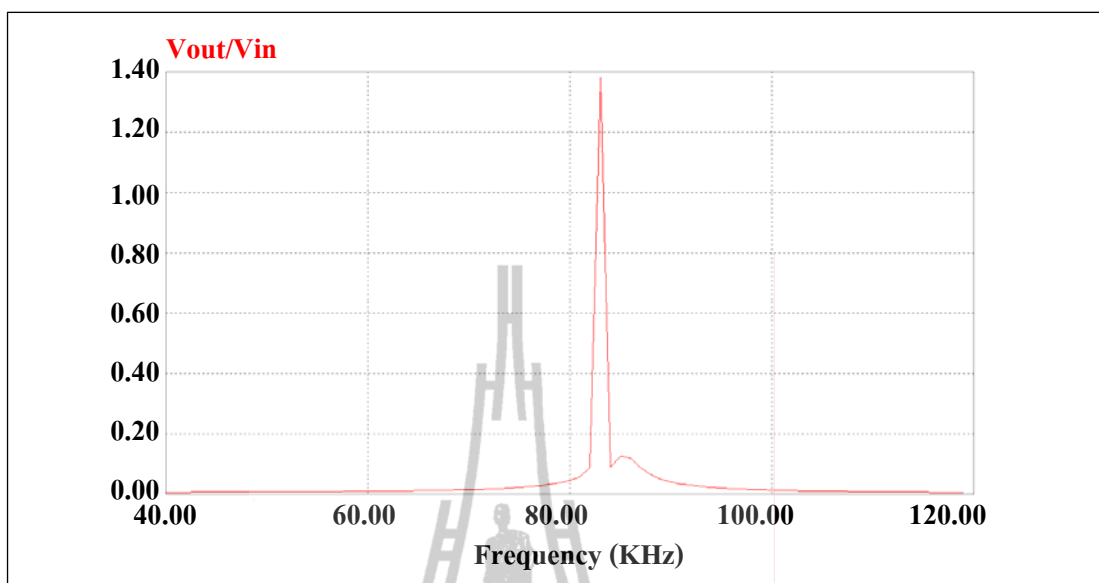
รูปที่ ข.42 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R6 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.43 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R6 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

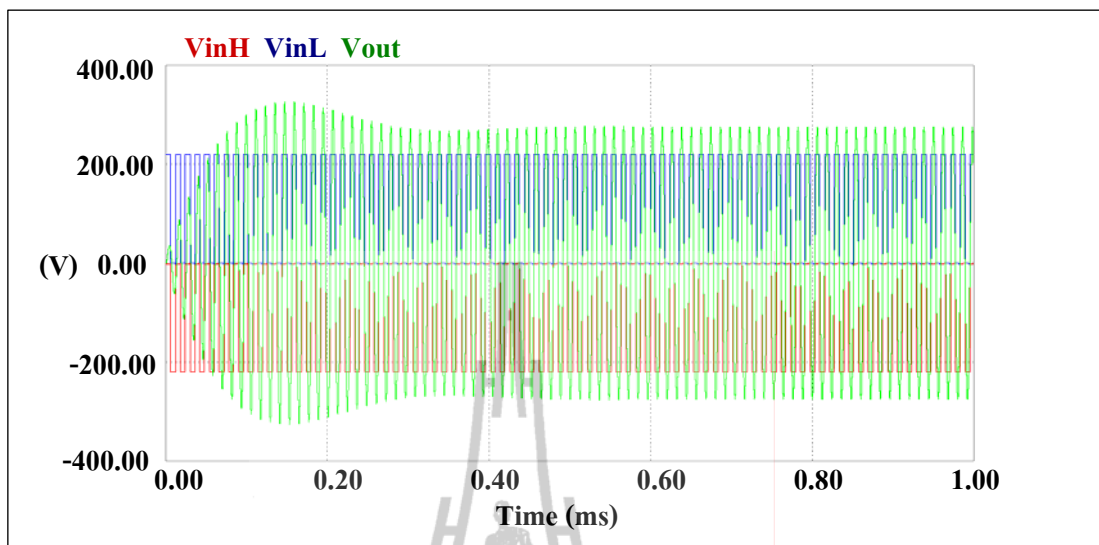


รูปที่ ข.44 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R6 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

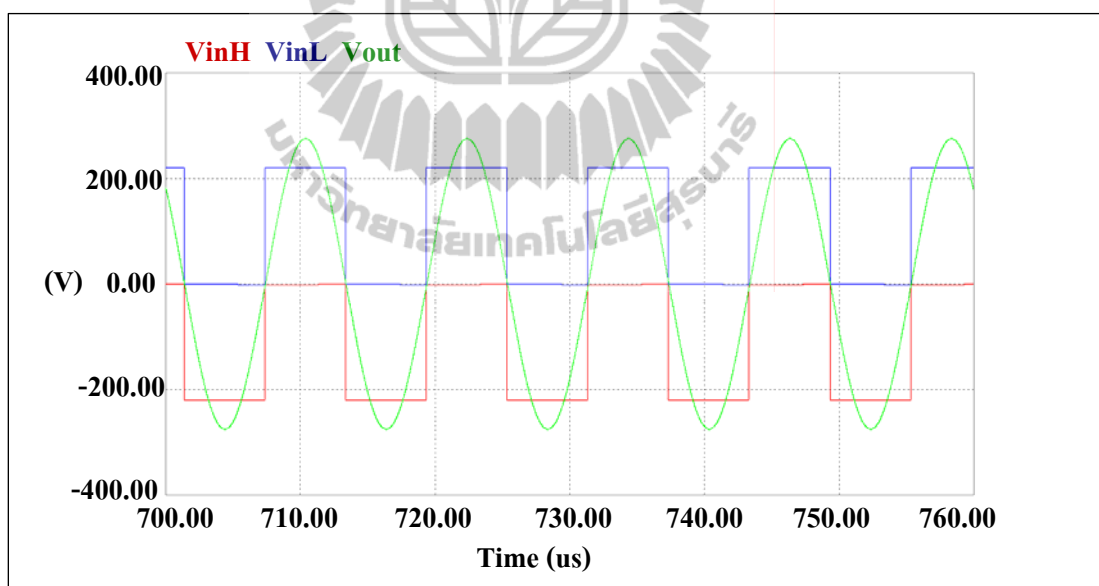


รูปที่ ข.45 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R6 ที่ความถี่ 82.96 กิโลเฮิร์ตซ์

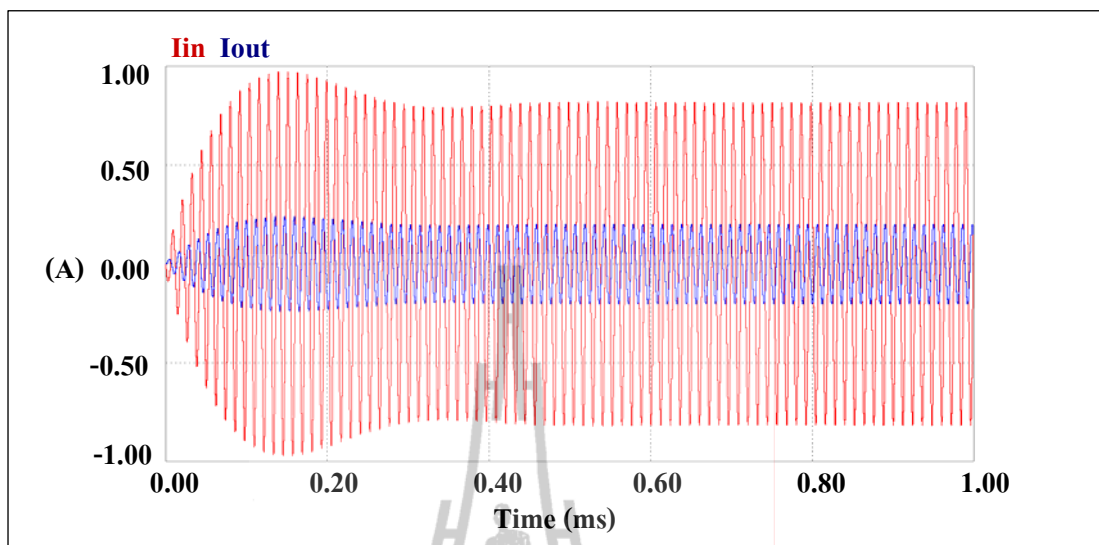
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กที่ชิ้นงานที่ R6 ดังรูปที่ ข.41-45 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 770 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.37 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ที่ประมาณ 620 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.25 และ 0.28 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.38 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 1.03 และ 0.24 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 82.96 กิโลเฮิร์ตซ์



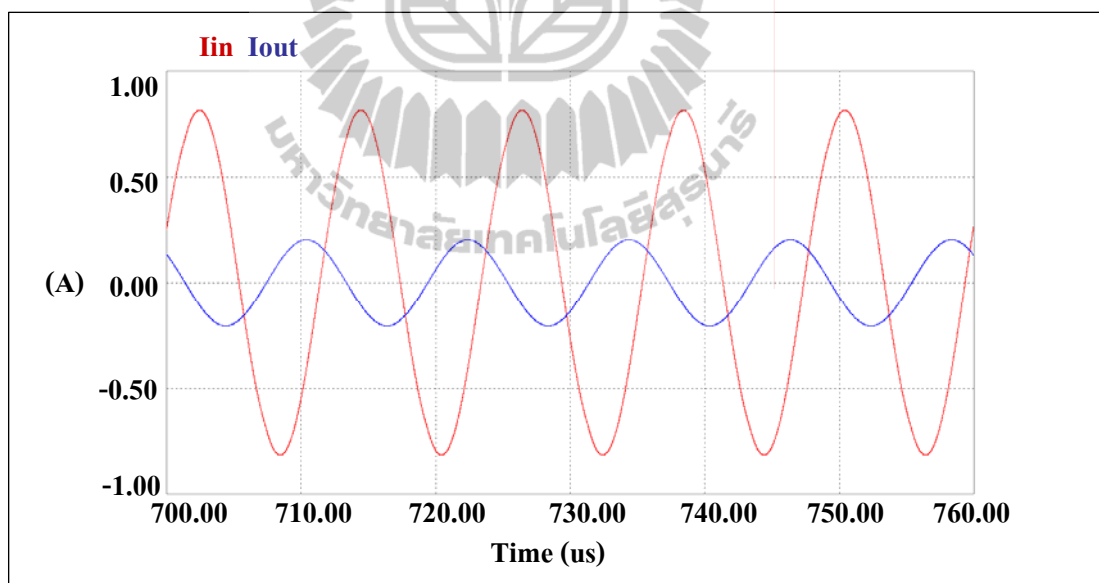
รูปที่ ข.46 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R7 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



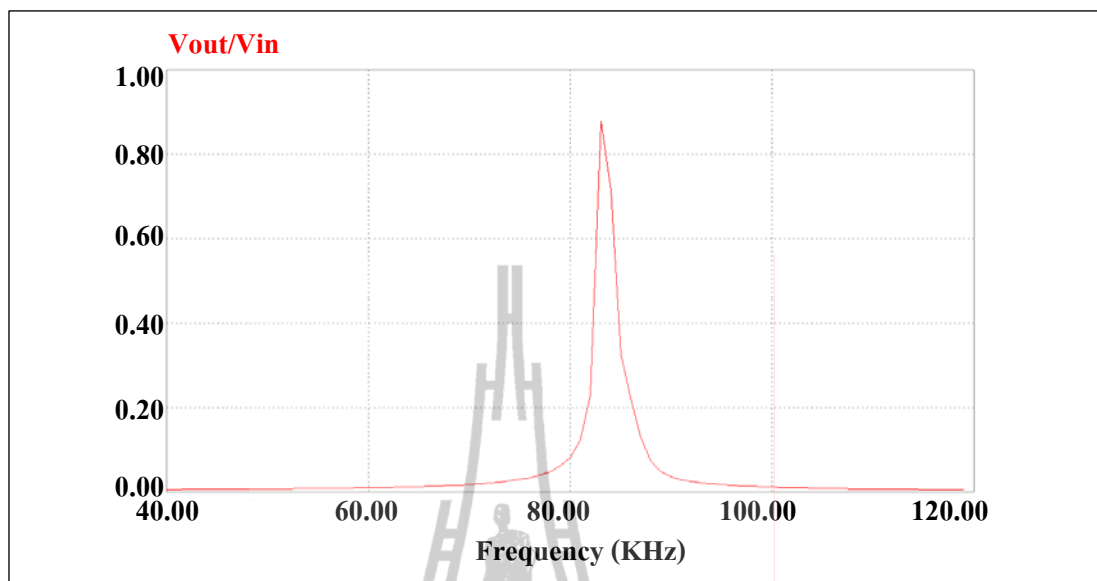
รูปที่ ข.47 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R7 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.48 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R7 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

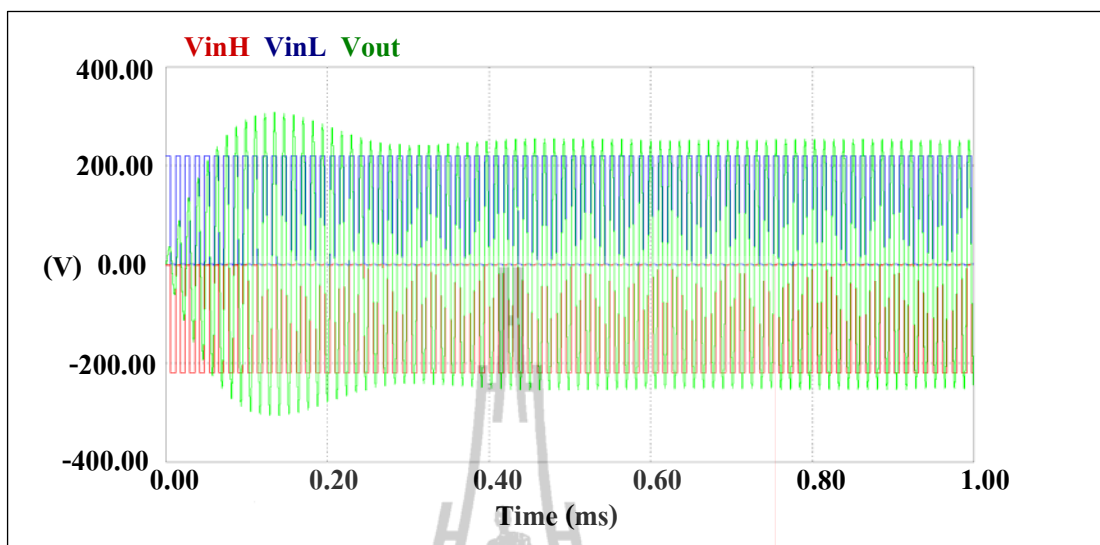


รูปที่ ข.49 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R7 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

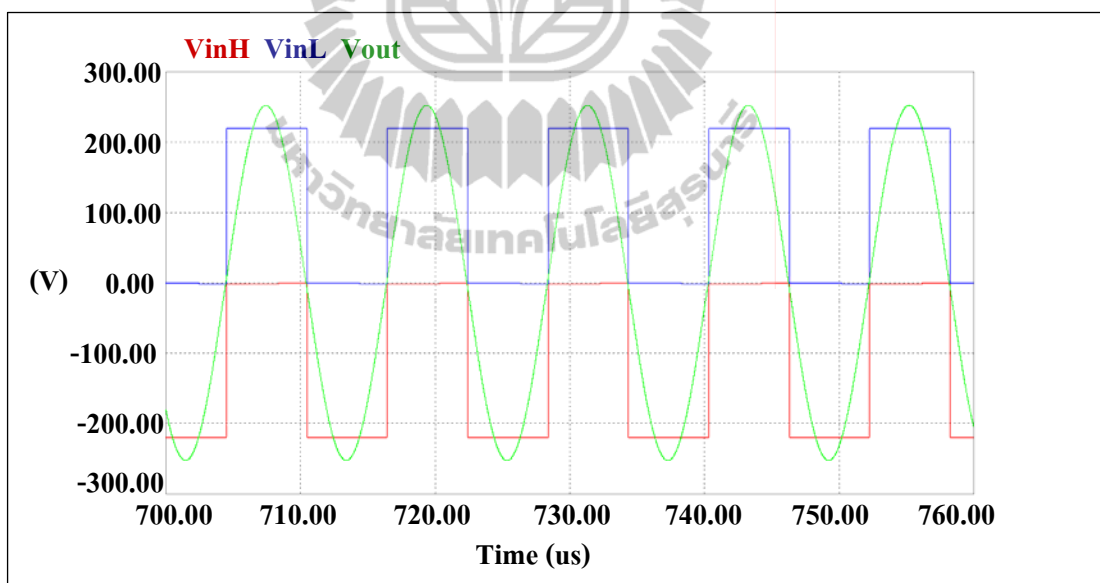


รูปที่ ข.50 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R7 ที่ความถี่ 83.41 กิโลเฮิร์ตซ์

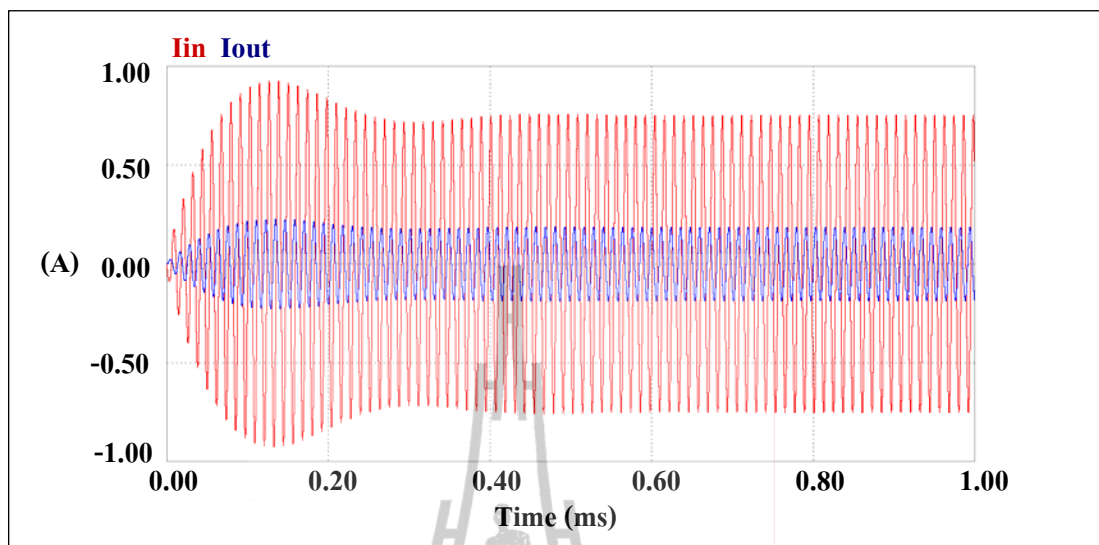
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชิ้นงานที่ R7 ดังรูปที่ ข.46-50 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 610 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.33 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 500 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 0.96 และ 0.24 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.33 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.78 และ 0.22 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.41 กิโลเฮิร์ตซ์



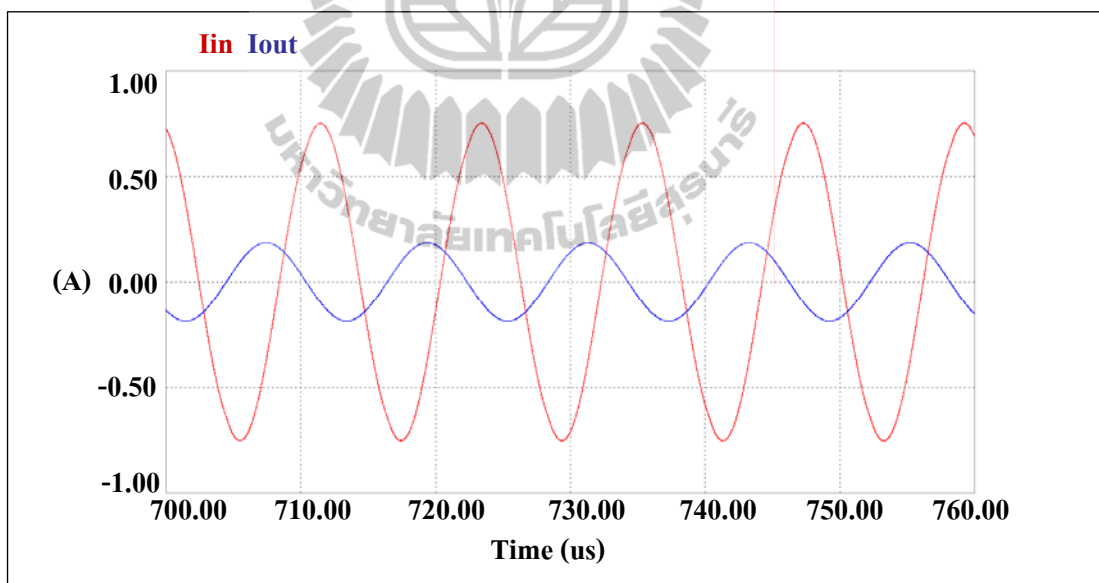
รูปที่ ข.51 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R8 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



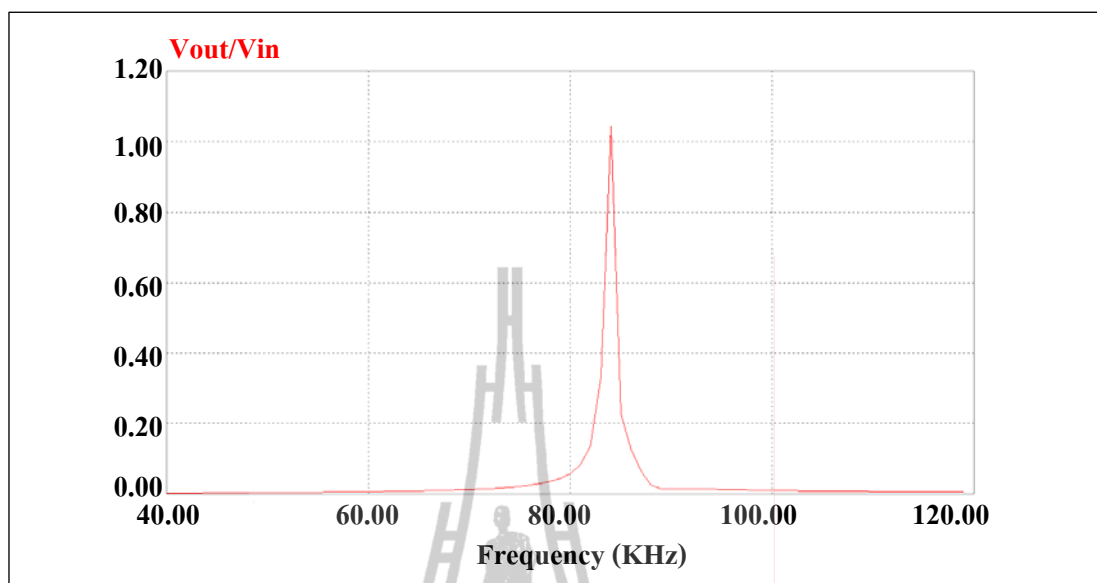
รูปที่ ข.52 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R8 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.53 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R8 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

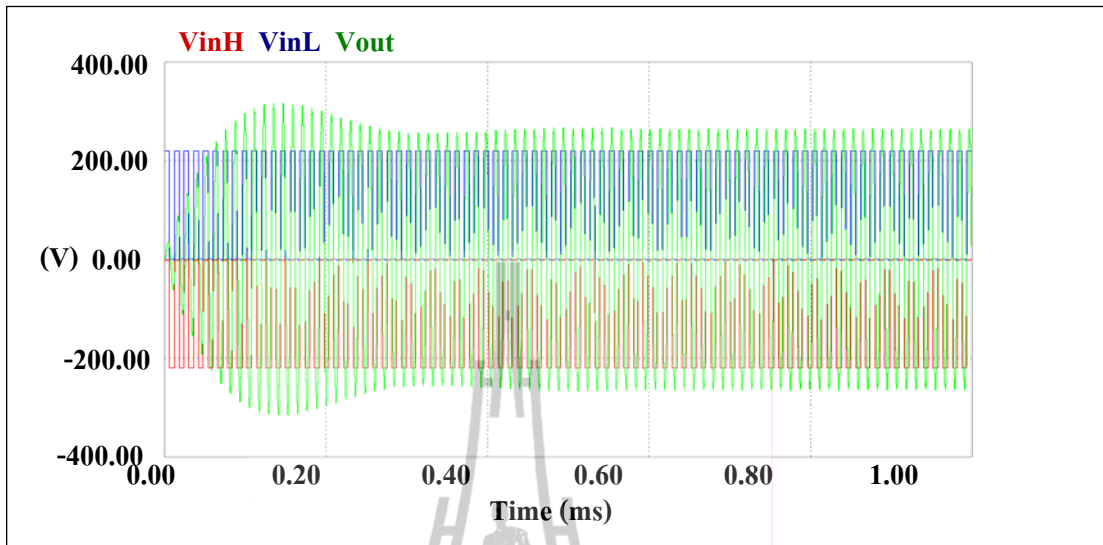


รูปที่ ข.54 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R8 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

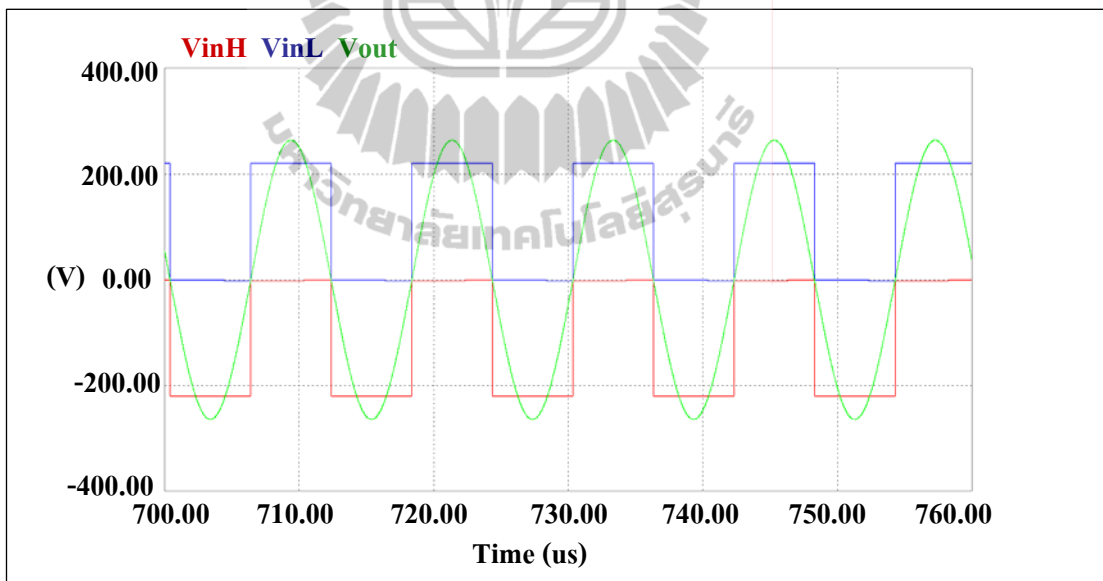


รูปที่ ข.55 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R8 ที่ความถี่ 83.74 กิโลเฮิร์ตซ์

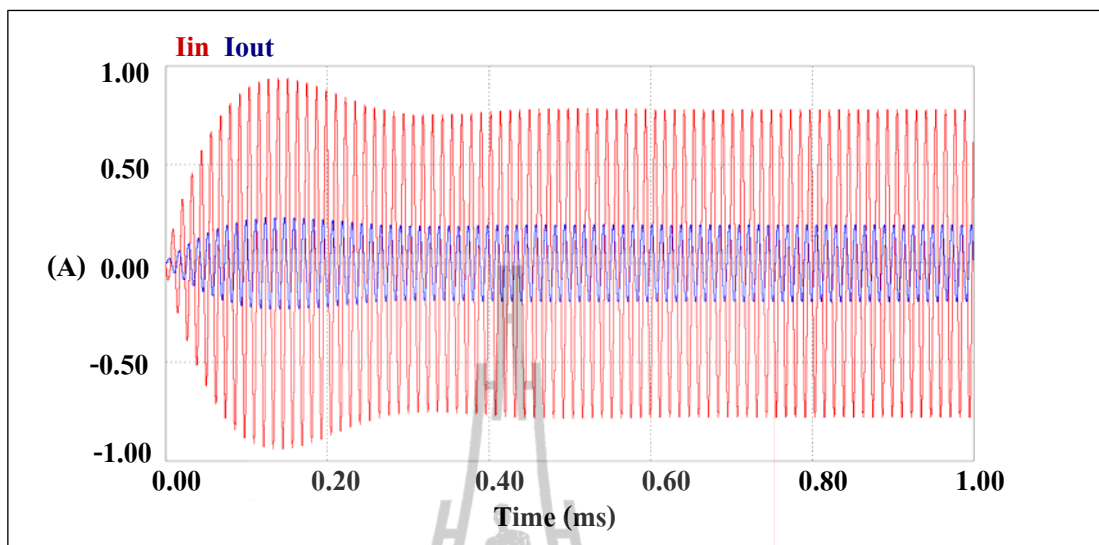
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R8 ดังรูปที่ ข.51-55 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.34 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 455 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 0.83 และ 0.22 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.34 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.72 และ 0.20 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.74 กิโลเฮิร์ตซ์



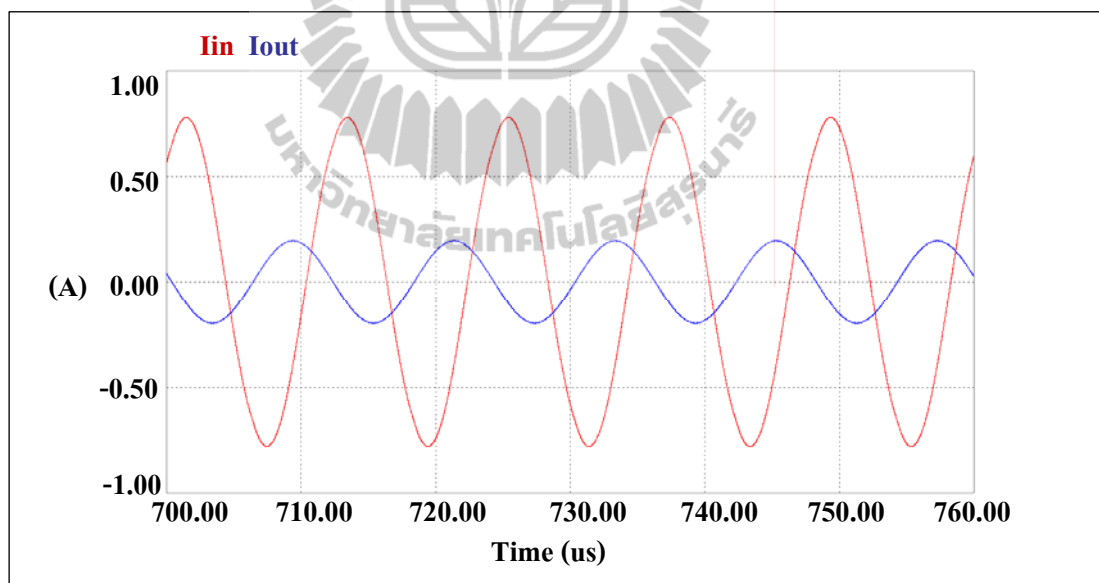
รูปที่ ข.56 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R9 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



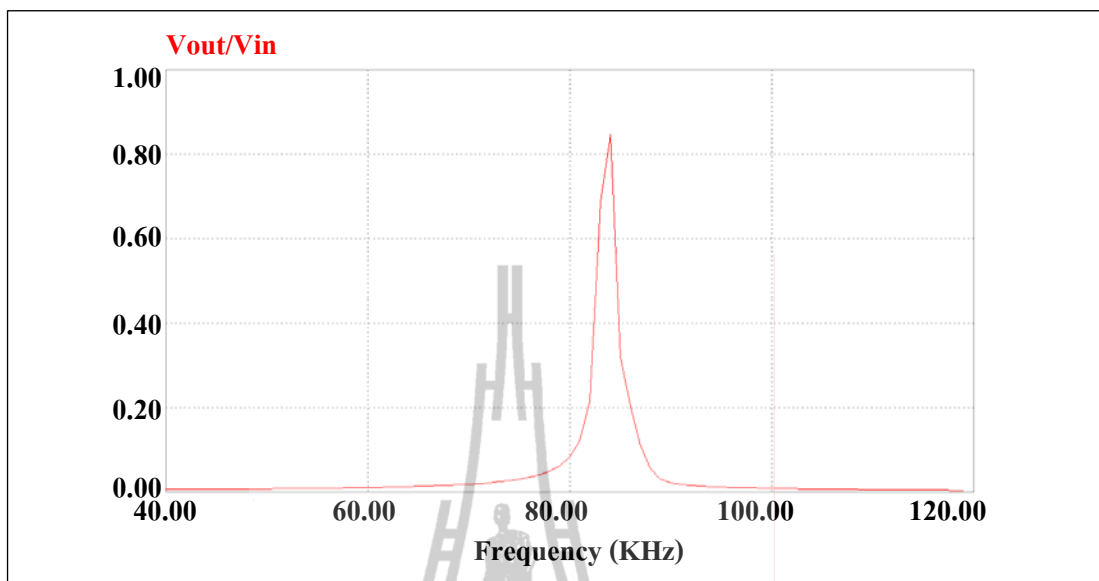
รูปที่ ข.57 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R9 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.58 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R9 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

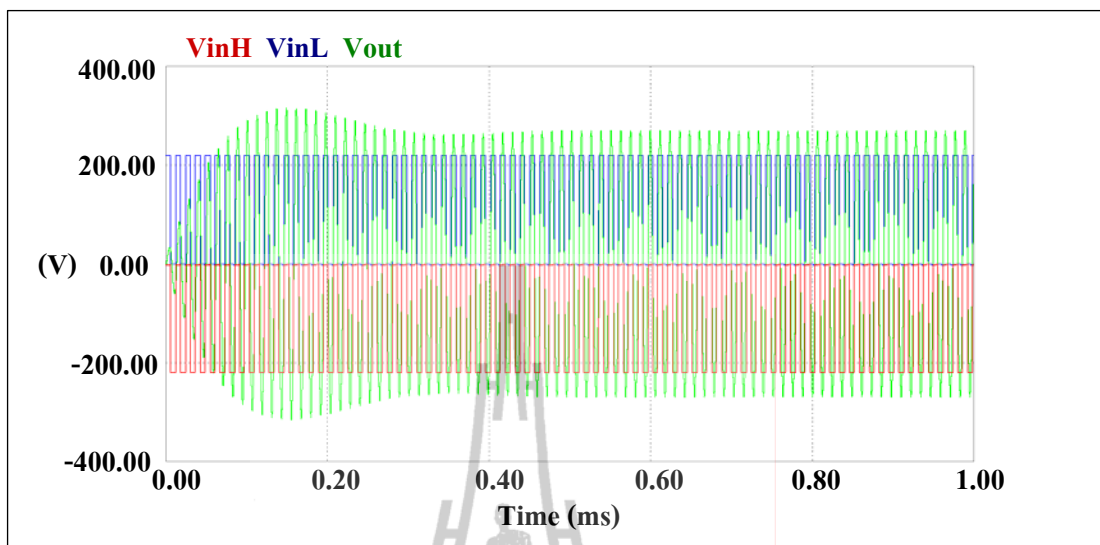


รูปที่ ข.59 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R9 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

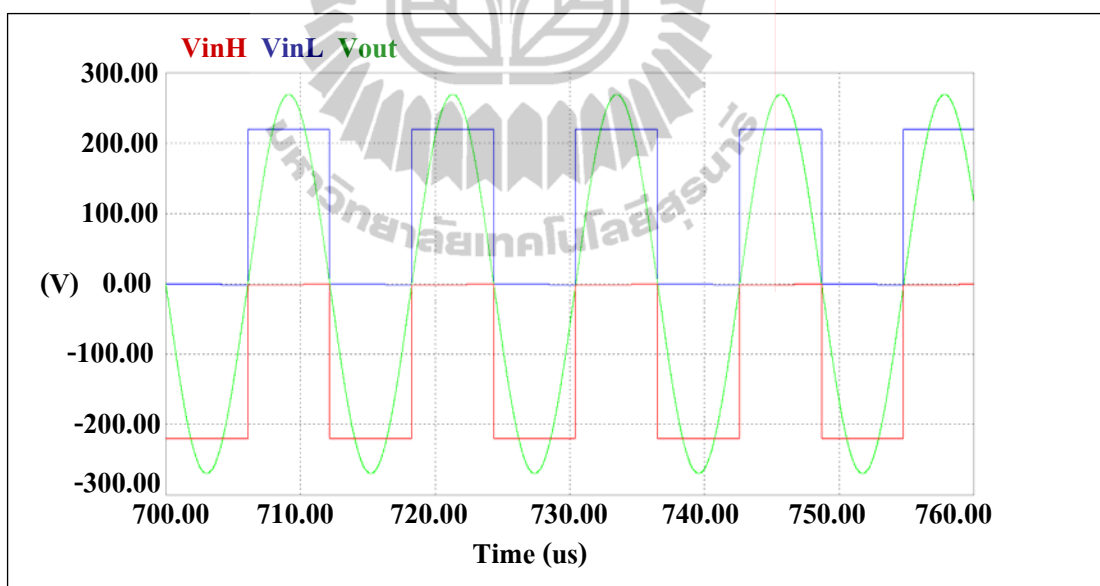


รูปที่ ข.60 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R9 ที่ความถี่ 83.52 กิโลเฮิร์ตซ์

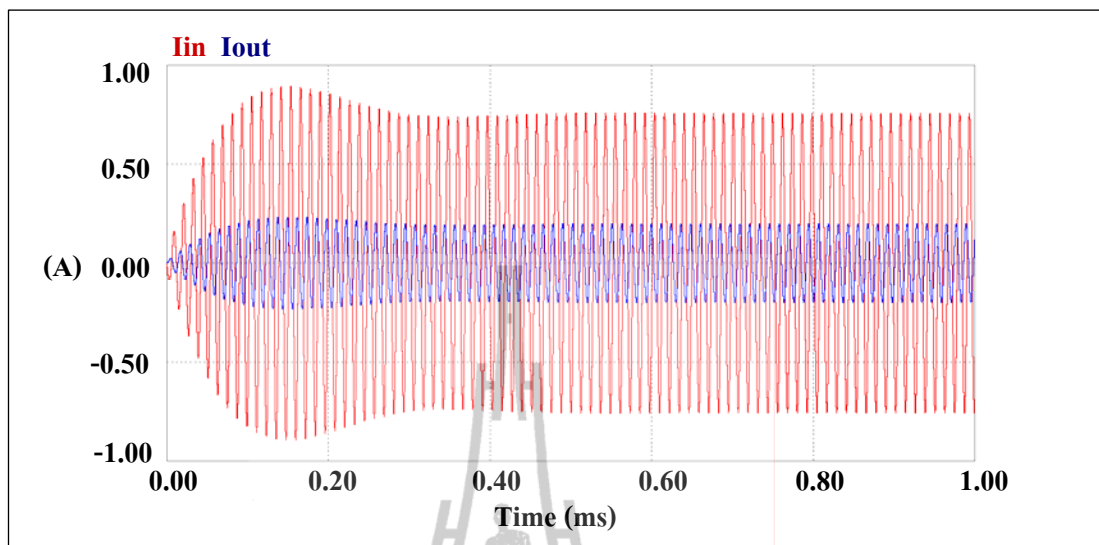
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นงานที่ R9 ดังรูปที่ ข.56-60 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.32 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 490 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 0.9 และ 0.23 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.32 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.78 และ 0.20 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.52 กิโลเฮิร์ตซ์



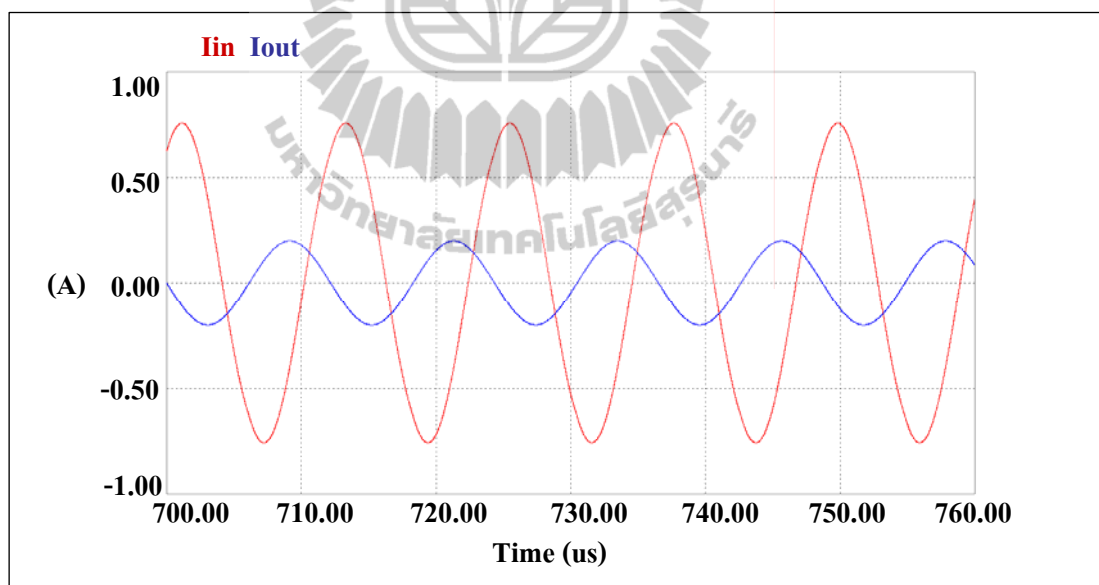
รูปที่ ข.61 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R10 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



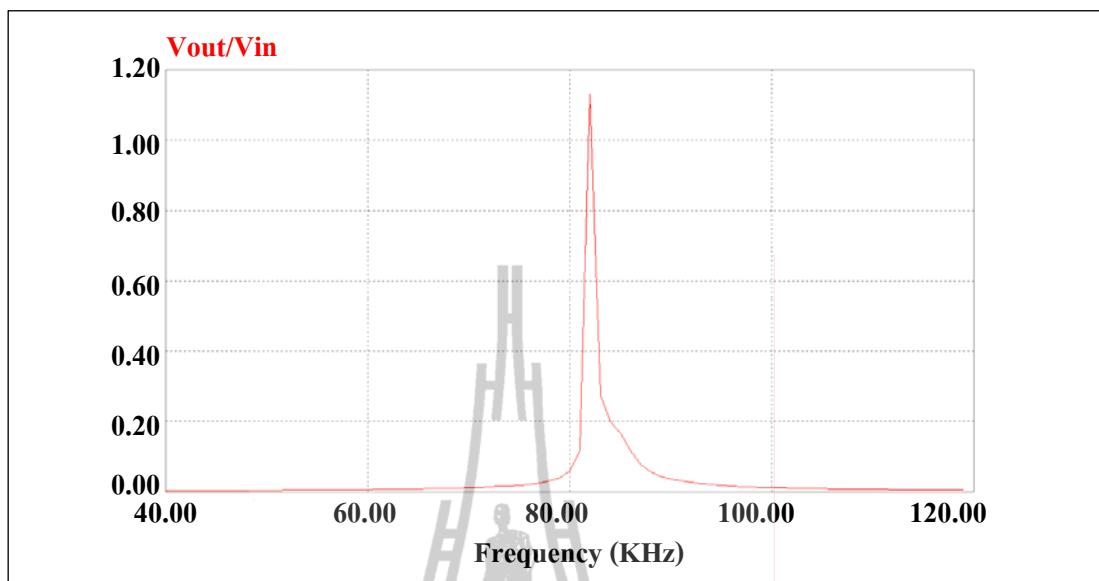
รูปที่ ข.62 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R10 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.63 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R10 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

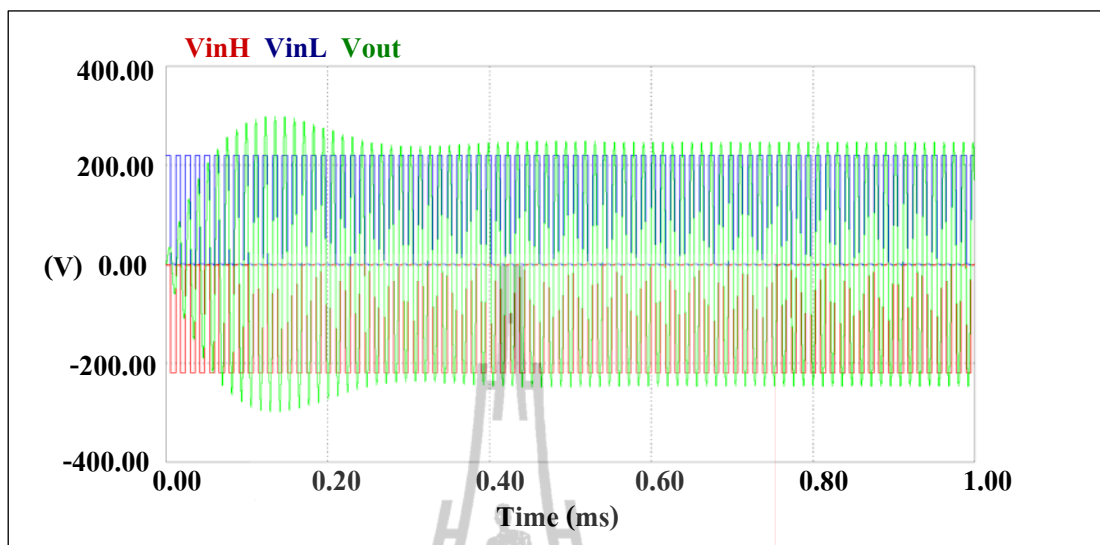


รูปที่ ข.64 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R10 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

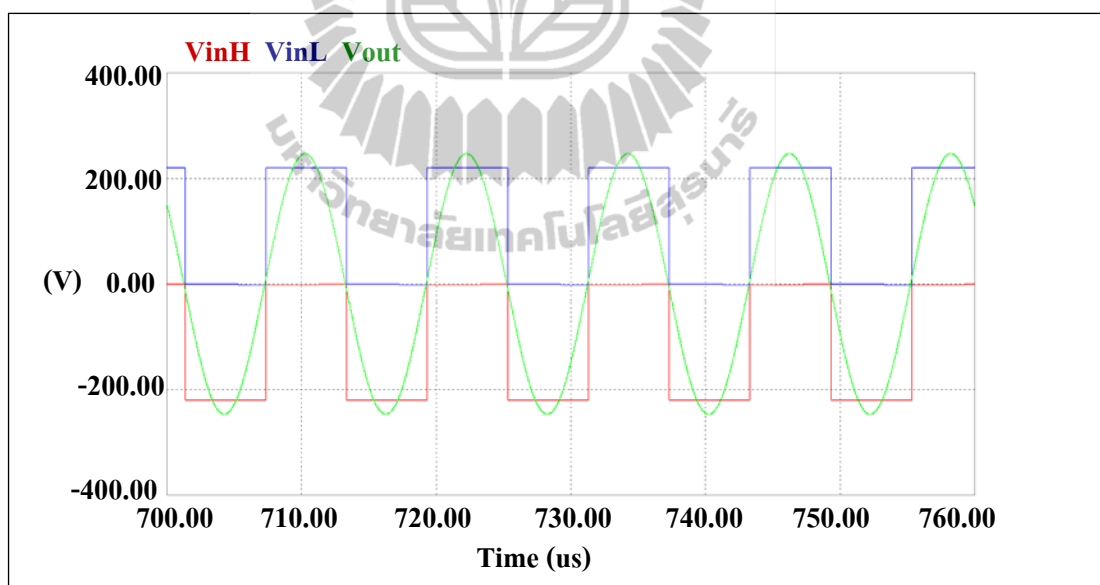


รูปที่ ข.65 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R10 ที่ความถี่ 82.14 กิโลเฮิร์ตซ์

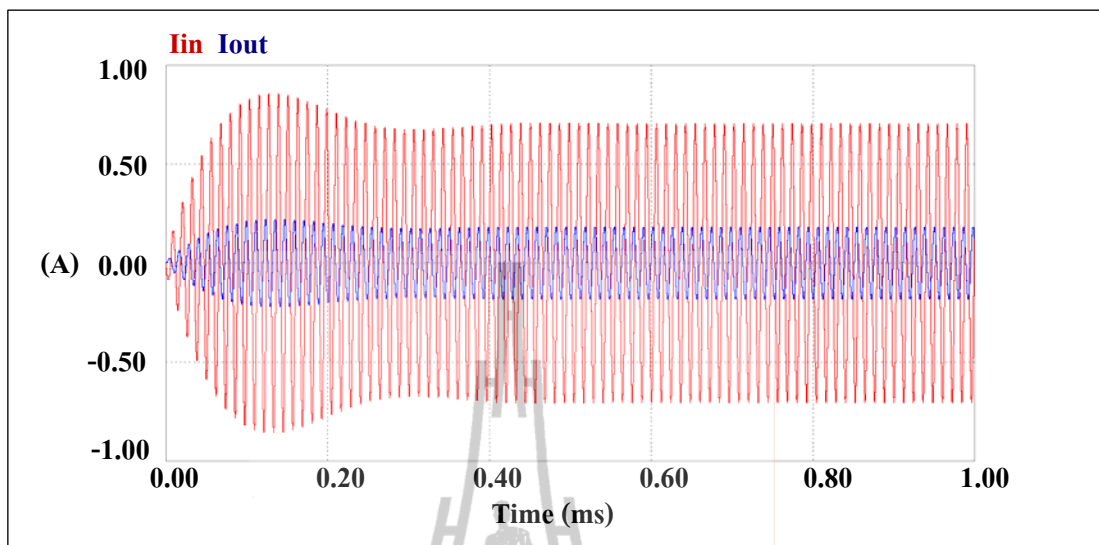
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเลกทริกชิ้นงานที่ R10 ดังรูปที่ ข.61-65 แรงดันที่ใช้จุดโหลดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 600 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.30 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงอยู่ที่ประมาณ 495 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 0.88 และ 0.22 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.30 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.78 และ 0.20 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 82.14 กิโลเฮิร์ตซ์



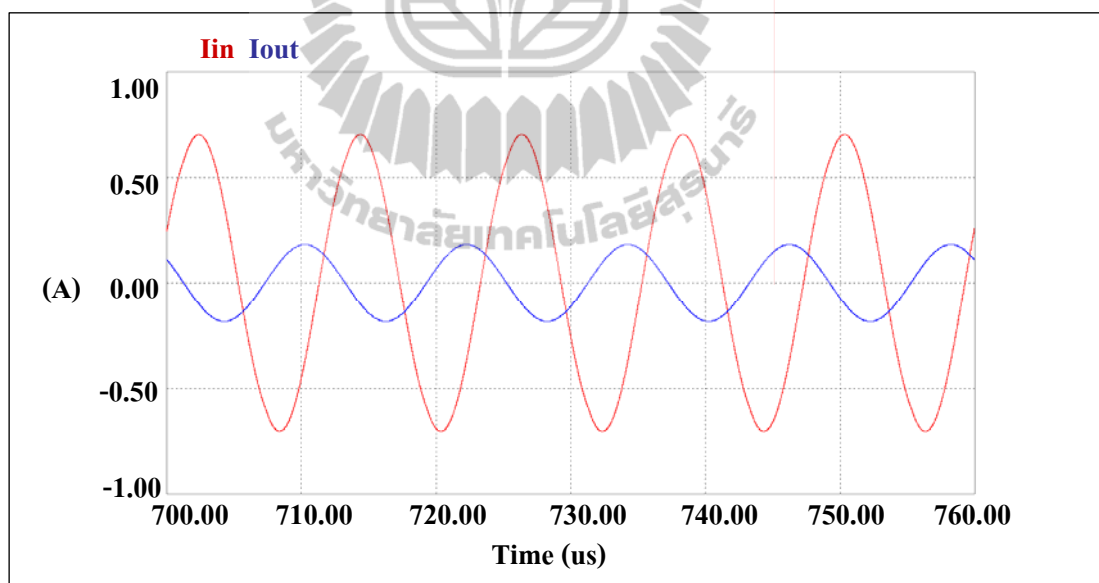
รูปที่ ข.66 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R11 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



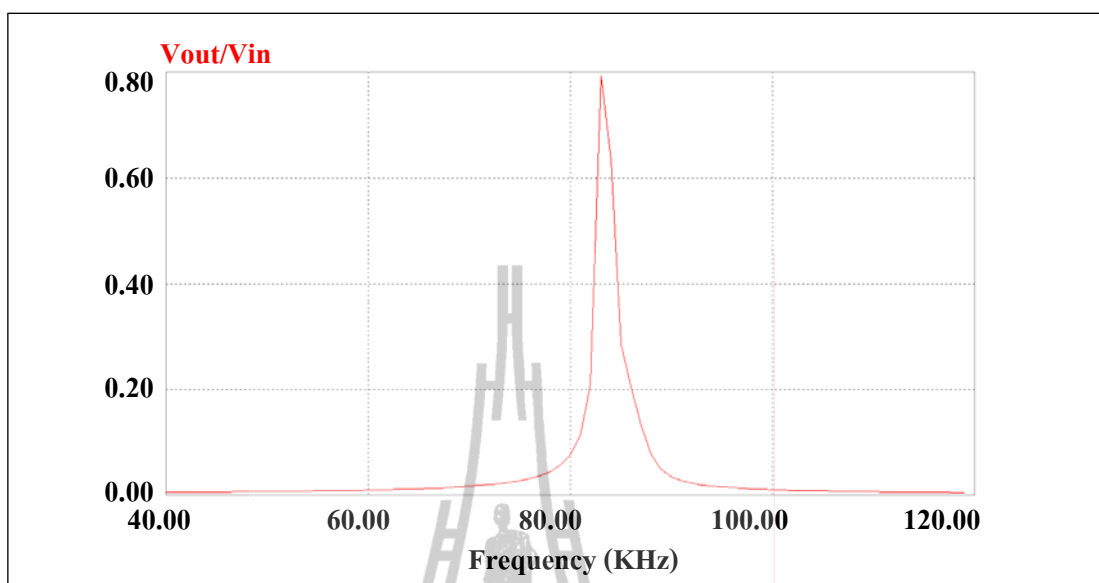
รูปที่ ข.67 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R11 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.68 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R11 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

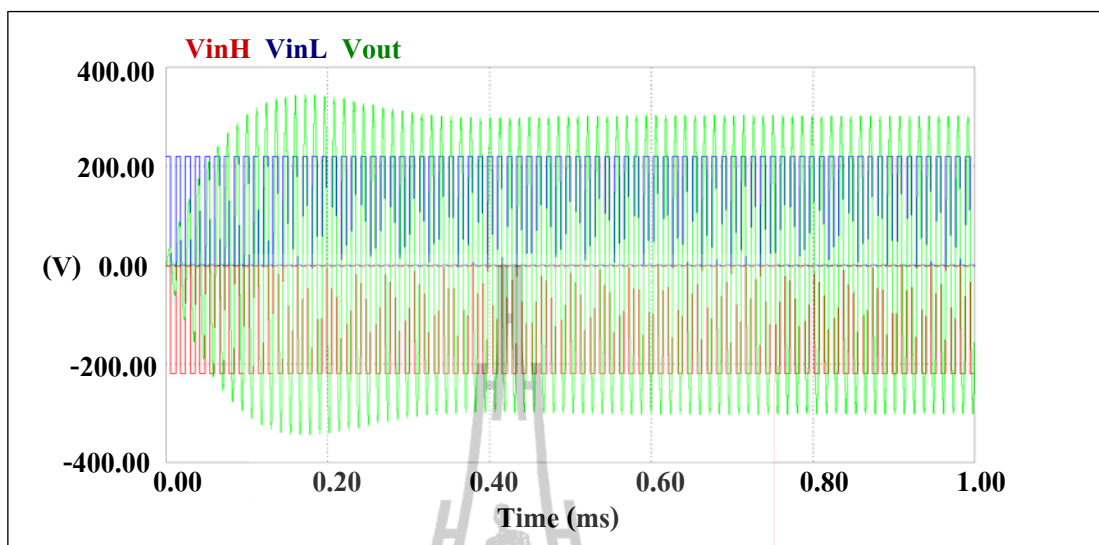


รูปที่ ข.69 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R11 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

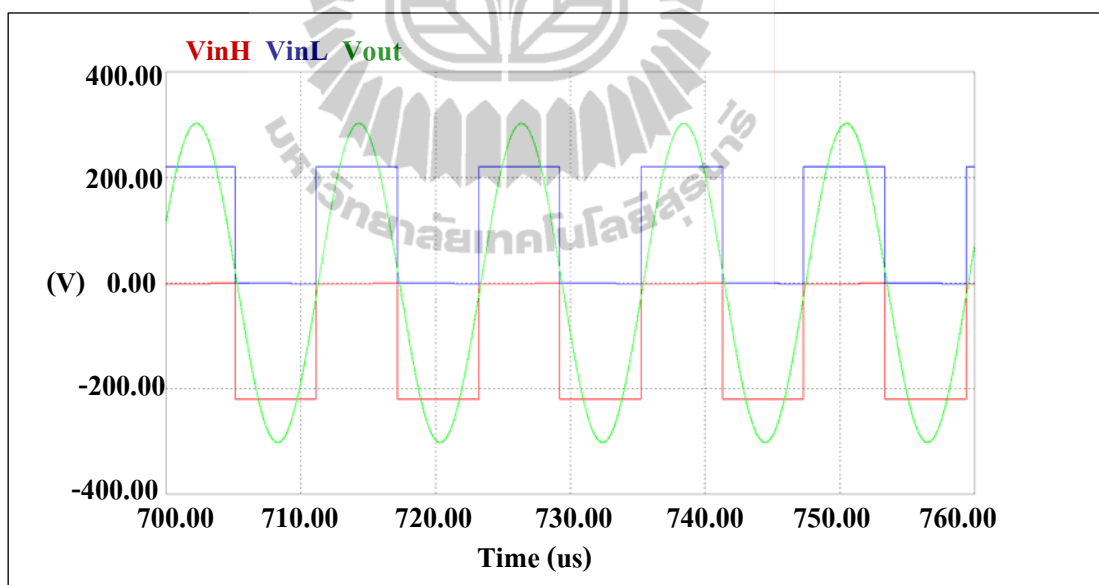


รูปที่ ข.70 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R11 ที่ความถี่ 83.41 กิโลเฮิร์ตซ์

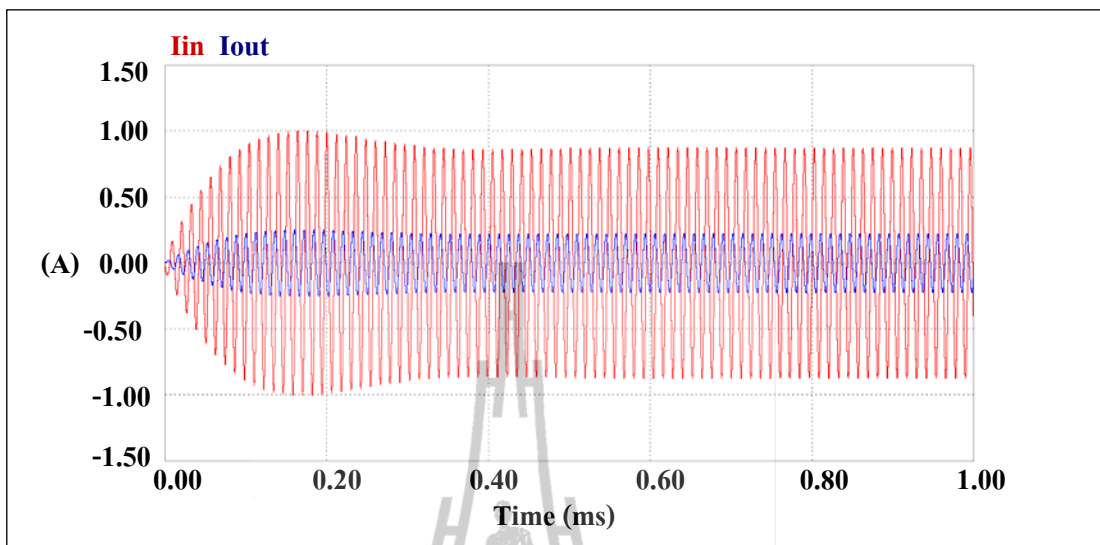
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทรอิกชิ้นงานที่ R11 ดังรูปที่ ข.66-70 แรงดันที่ใช้จุดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 590 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.28 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 465 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 0.83 และ 0.22 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.28 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.71 และ 0.20 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 83.41 กิโลเฮิร์ตซ์



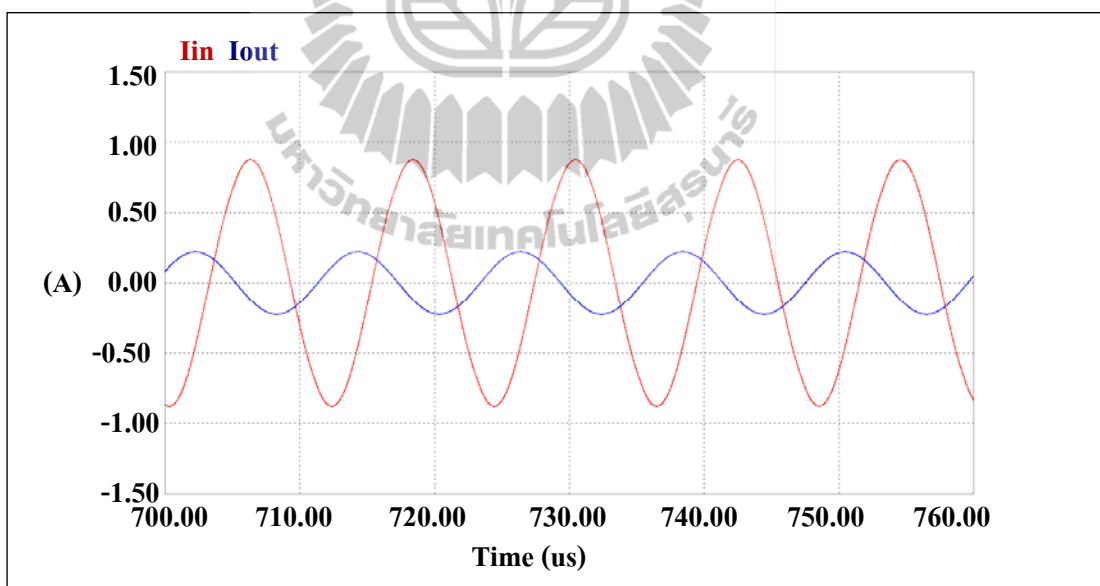
รูปที่ ข.71 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R12 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



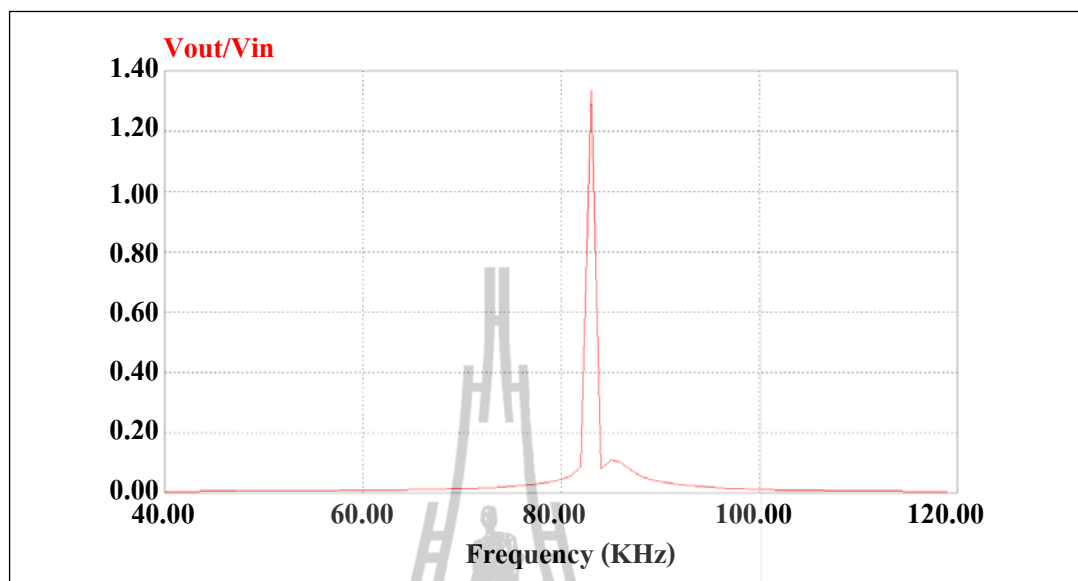
รูปที่ ข.72 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R12 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.73 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R12 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที

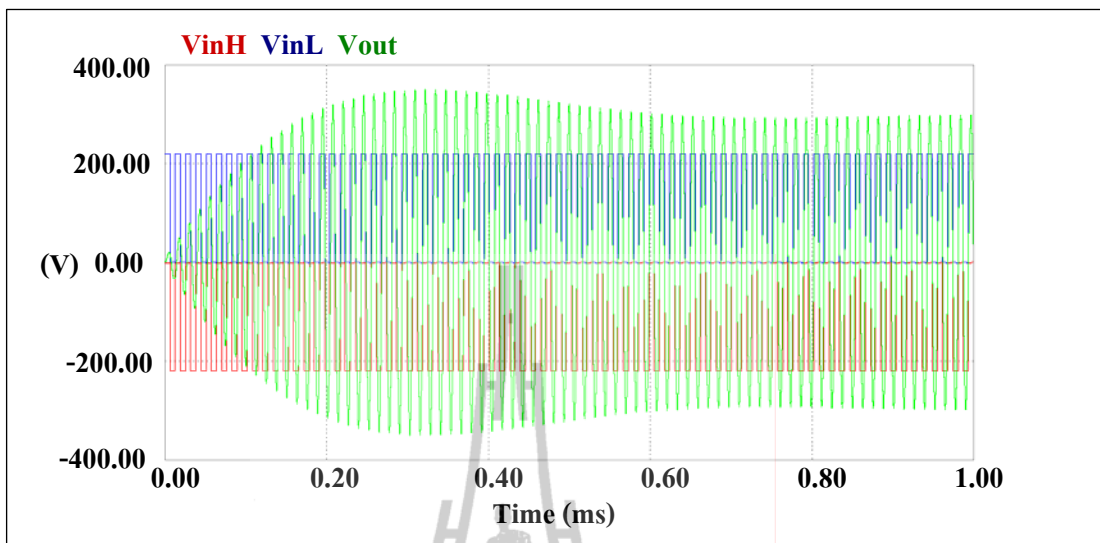


รูปที่ ข.74 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R12 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที

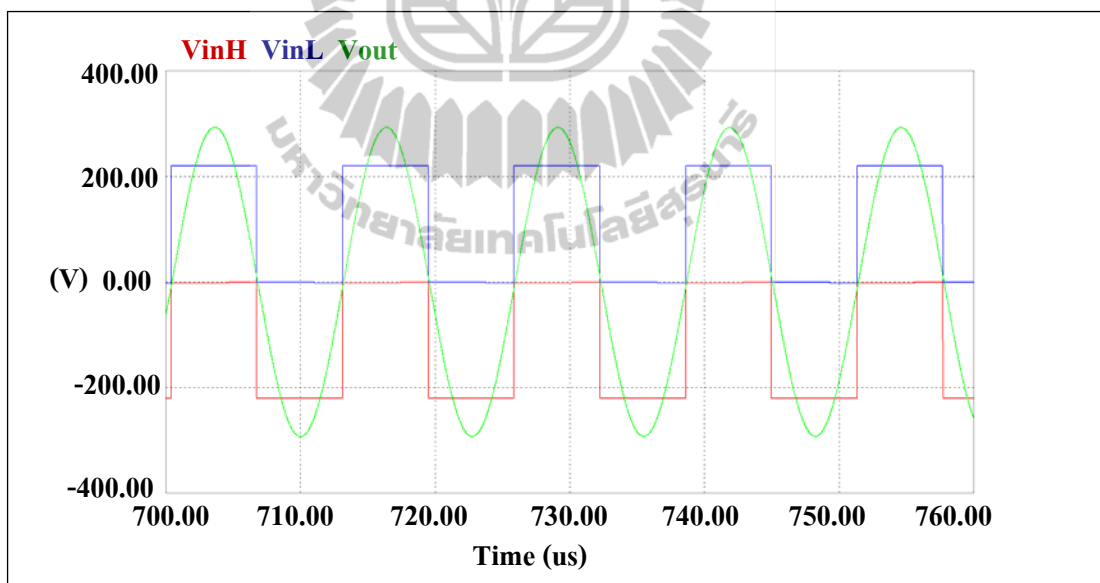


รูปที่ ข.75 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R12 ที่ความถี่ 82.96 กิโลเฮิร์ตซ์

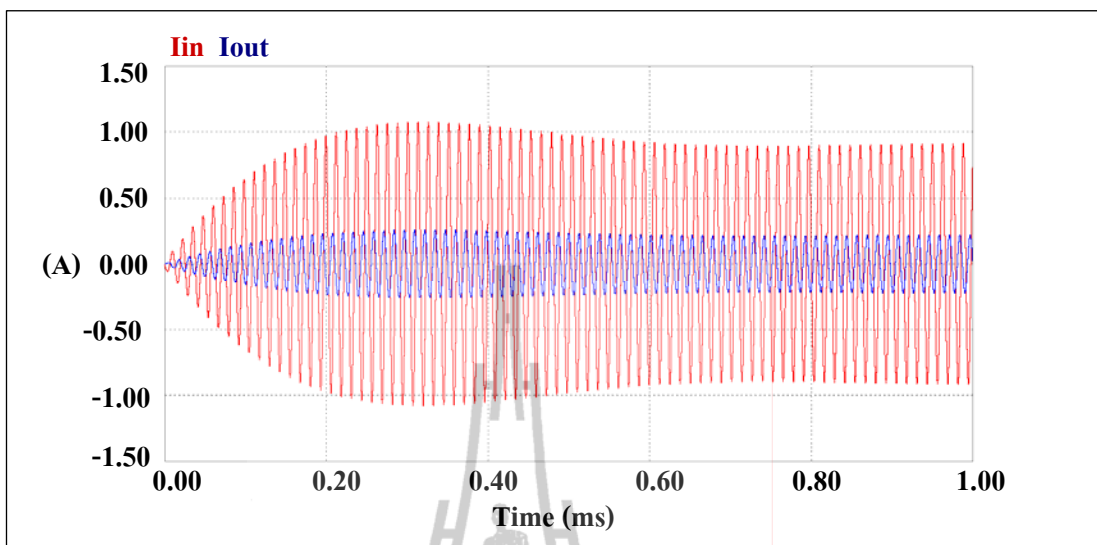
ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอีเล็กทริกชิ้นงานที่ R12 ดังรูปที่ ข.71-75 แรงดันที่ใช้จุดโหลดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 692 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.28 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 605 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.00 และ 0.24 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.28 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.85 และ 0.22 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 82.96 กิโลเฮิร์ตซ์



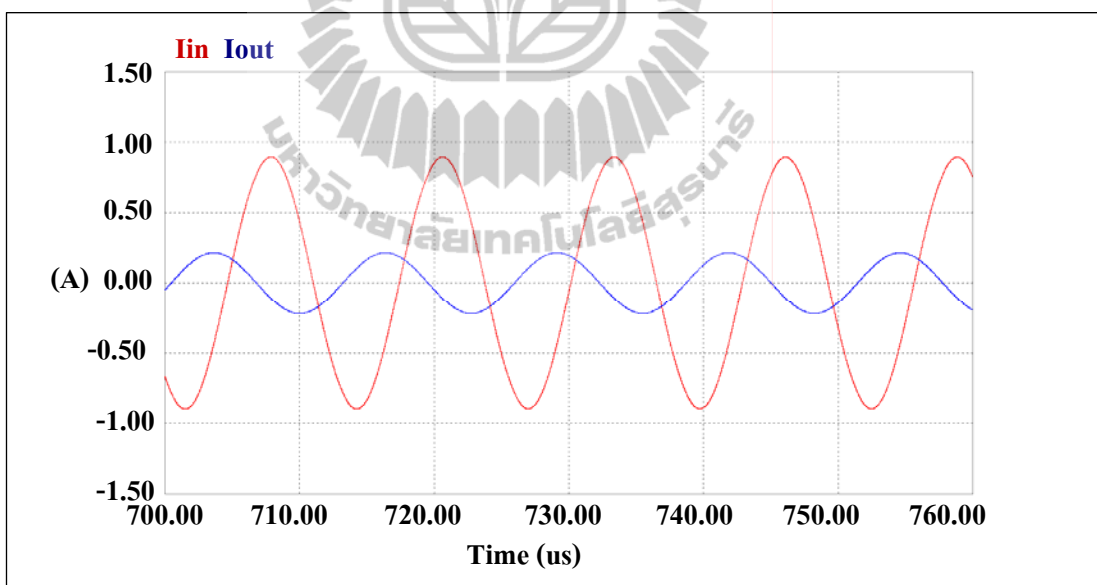
รูปที่ ข.76 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R13 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



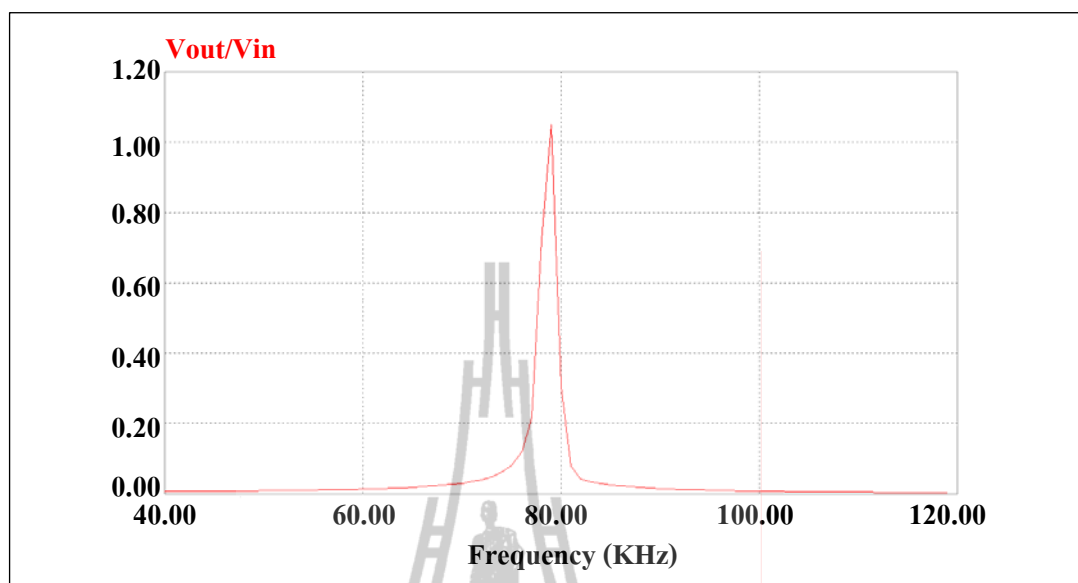
รูปที่ ข.77 แรงดันไฟฟ้าของชิ้นงาน R13 ช่วงเวลา 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.78 กระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน R13 ช่วงเวลา 0-1 มิลลิวินาที



รูปที่ ข.79 กระแสไฟฟ้าชิ้นงาน R13 ช่วง 700-760 ไมโครวินาที



รูปที่ ข.80 ความถี่ปฏิบัติการของชิ้นงาน R13 ที่ความถี่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์

ผลการจำลองของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกชิ้นงานที่ R13 ดังรูปที่ ข.76-80 แรงดันที่ใช้จุดโหลดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดสูงสุดประมาณ 698 โวลต์ (Vpp) เมื่อเวลาผ่านไป 0.58 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าลดลงจนที่ประมาณ 590 โวลต์ (Vpp) กระแสไฟฟ้าขาเข้าและขาออก มีสัญญาณเป็นรูปคลื่นไซน์มีขนาดสูงสุดประมาณ 1.10 และ 0.24 แอมแปร์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 0.58 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.86 และ 0.24 แอมแปร์ ตามลำดับ มีความถี่ปฏิบัติงานที่ 78.528 กิโลเฮิร์ตซ์



ภาคผนวก ค

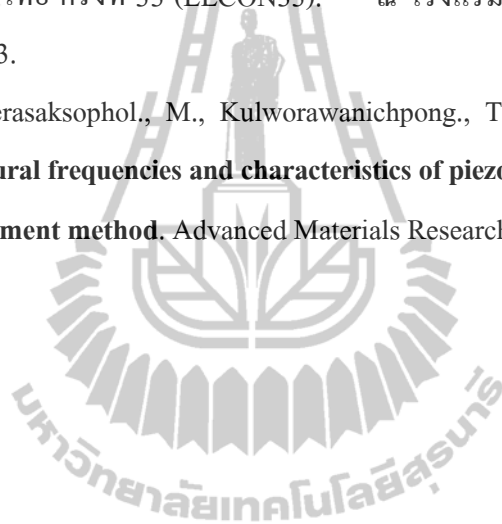
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

มณฑกานต์ พิรศักดิ์โสภณ และธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์. (2553). **บัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8**. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ณ โรงแรมฮอติเคย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี พฤษภาคม 2553.

มณฑกานต์ พิรศักดิ์โสภณ และธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์. (2553). **การศึกษาออกแบบบัลลาสต์ไฟโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์**, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 (EECON33). ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน เชียงใหม่ ธันวาคม 2553.

Vacharakup., S., Peerasaksophol., M., Kulworawanichpong., T., and Pao-La-Or., P., (2011), **Study of natural frequencies and characteristics of piezoelectric transformers by using 3-D finite element method**. Advanced Materials Research Journal. (ตอบรับแล้ว)



การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6
5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ชนิด T8 Piezoelectric Ballast for Fluorescent Lamps 36 W T8

มณฑกานต์ ฟิรศักดิ์โสภณ และ ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทร 044-224400 E-mail: thanatch@sut.ac.th

Monthakam Phirasaksophon and Thanatchai Kulworawanichpong
School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology
111 Muang, Nakhom 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 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกได้ทำการวิเคราะห์ในรายละเอียดของอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเข้า 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

พลังงานการคิดค้นก่อกำเนิดหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดไพโซอิเล็กทริกได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกโดย Rosen Fish และ Rathenberg และได้ทำการจดสิทธิบัตรพร้อมอธิบายรายละเอียดไว้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเลขจดสิทธิบัตร US2,830,274 ในปี ค.ศ. 1954 หลังจากนั้น 50 ปีต่อมาเทคโนโลยีนี้กลายเป็นหนึ่งทางเลือกที่มีการนำมาใช้แทนหม้อแปลง

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

ในการออกแบบหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกจะถูกออกแบบให้สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดแรงดันสูง ในปัจจุบันการออกแบบพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าไพโซอิเล็กทริกที่นิยมสร้างโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิด Rosen-type และชนิดโทมกการทำงาน

การศึกษาออกแบบบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

The Study of Piezoelectric Ballast for 36-W Fluorescent Lamps

มณฑานันท์ ธีรศักดิ์โสภณ และ ธนัชชัย กุลสุวรรณิชพงษ์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: 044-224400 E-mail: thanatch@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาออกแบบบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกชนิดการสั่นตามแนวรัศมี แบบ 2 ชั้น โดยใช้ขั้นตอนวิธีอัลกอริทึมพันธุศาสตร์สำหรับการออกแบบหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มม. ความหนาชั้นปฐมภูมิเท่ากับด้านทุติยภูมิ 3 มม. มีการเปรียบเทียบผลการจำลอง และการทดสอบขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ได้เป็นผลสำเร็จ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพสูงสุด 97% เมื่อความต้านทานมีค่า 0.80 - 1.5 กิโลโอห์ม ที่ความถี่ปฏิบัติการ 81.86 กิโลเฮิรตซ์

คำสำคัญ: บัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริก, หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก

Abstract

This article presents the study of piezoelectric ballast for 36W fluorescent lamps. The piezoelectric transformer is built in radial vibration mode type with 2 layers. Genetic algorithm (GA) is used to search for important parameter design. This piezoelectric transformer has 29 mm. of diameter and 3 mm. of the thickness in each primary and secondary layer. The piezoelectric transformer prototype is fabricated. The simulations and experiments are studied. With this design shows that piezoelectric has successes to drive 36-W fluorescent lamps. It gives 97% efficiency at 0.8-1.5 kΩ and 81.86 kHz resonance frequency.

Keywords: piezoelectric ballast, piezoelectric transformer

1. คำนำ

การสร้างและพัฒนาหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกเขวามักเป็นระยะเวลามากกว่า 50 ปี ในครั้งแรกของการประดิษฐ์คิดค้นหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกจนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายจากการจดสิทธิบัตรของ Rosen และคณะ [1] ในวันที่ 4 มกราคม ค.ศ. 1954 และได้รับการอนุมัติในวันที่ 8 เมษายน ค.ศ. 1958 ตั้งแต่นั้นมามีการนำความคิดนี้ไปสร้างและประยุกต์ใช้หลังจากมีการนำไปประยุกต์ครั้งแรก ต่อมา เมื่อวันที่ 17 ตุลาคม ค.ศ. 1956 โดย Jaffie และ Dan จากบริษัท Clevite

Company มีการจดสิทธิบัตรใบที่สองของการเกิดเทคโนโลยีหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกซึ่งได้รับการอนุมัติในวันที่ 24 มกราคม ค.ศ. 1961 [2] เทคโนโลยีของการสร้างหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกที่เคืบค้นอย่างต่อเนื่อง มีรายงานในธุรกิจประเมินการซื้อ-ขาย หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก จำนวน 25-30 ล้านตัว ในช่วง ค.ศ. 1990-2007 มีการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะเห็นว่าการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีการผลิตหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกมีความประสบความสำเร็จในการนำไปใช้แทนหม้อแปลงชนิดขดลวดตัวนำ จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกนำมาใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ Jang และคณะ [3] เสนอการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 32 วัตต์ ด้วยหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก โหมดการสั่นตามแนวรัศมี ที่มีโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์แบบวงแหวน/จุด ขอบด้านนอกเป็นรูปสี่เหลี่ยม ถูกประกอบด้วยขนาด 27×27×2.5 มม. ได้หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก มีกำลังไฟฟ้าออก เท่ากับ 37.53 วัตต์ มีประสิทธิภาพ 92% อุณหภูมิขณะปฏิบัติการที่ 25 องศาเซลเซียส Shine [4] นำเสนอวิธีการจำลองสมการการวิเคราะห์หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นคู่สำหรับวงจรสมมูลได้ได้แบบทั่วไปมาทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เช่น ศึกษาส่วนการขยาย อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต และประสิทธิภาพของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก โดยการหาได้จากผลการจำลองผลเปรียบเทียบเมื่อใช้ขนาดของโหลดสูงสุด และขนาดของโหลดที่เหมาะสมที่สุด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบสมการเพื่อทำการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อการสร้างหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก และเป็นข้อมูลสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในอนาคต

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของประเทศไทย (220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์)

มีความแตกต่างจากของสหรัฐอเมริกา (120 โวลต์ 60 เฮิรตซ์) องค์ประกอบของวงจรบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกย่อมมีความแตกต่างกัน เพื่อให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และให้มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในประเทศไทย การออกแบบบัลลาสต์ไพโซอิเล็กทริกในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ทำงานที่ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ของประเทศไทยโดยเฉพาะ



ประวัติผู้เขียน

นางสาวมณฑาทันต์ พิรศักดิ์โสภณ เกิดเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2529 ที่อำเภอมนรม จังหวัดชัยนาท สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนตาคี ประชาสรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2551 ในปีเดียวกันนี้ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท โดยได้รับทุนการศึกษาจาก โครงการการให้ทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุน ภายนอก (1 ทุนวิจัย 1 ทุนบัณฑิต, OROG) และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริม การอนุรักษ์พลังงานสำหรับการออกแบบแบตเตอรี่ไฟโพอิโซอิเล็กทริกสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ขณะศึกษาอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้เป็นผู้ช่วยสอนปฏิบัติการของสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 3 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม (2) ปฏิบัติการ ระบบไฟฟ้ากำลัง 1 และ (3) ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 2

สำหรับงานวิจัยที่สนใจคือ ระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าและระบบ พลังงานทดแทน