

เครื่องมือวัดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและตรวจสอบการกระจัดเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า INSTRUMENT OF VOLTAGE RATIO AND CHECK OF PHASE DISPLACEMENT

บุญเลิศ สือเฉย¹ ปัญญา มาลีวัตร^{2*} วิชัย แซ่ลี¹

Boonlert Suechoey¹, Panya Maleewat^{2*}, Vichai Saelee¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University.

²สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

²Department of Electronics Engineering and Telecommunication, Faculty of Engineering, Southeast Asia University.

*Corresponding author, e-mail: panyam@sau.ac.th

Received: 2 April 2020; Revised: 22 July 2020; Accepted: 14 September 2020

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการสร้างเครื่องมือวัดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและตรวจสอบการกระจัดเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส การตรวจสอบมี 2 แบบ คือ การตรวจสอบอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิและการตรวจสอบเวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายแบบ 3 เฟส ที่มีการต่อวงจรตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (เวกเตอร์กรุป Dyn11) ในการตรวจสอบแบบแรกเป็นการวัดโดยใช้ระดับของแรงดันไฟฟ้าของด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิที่มีการแปลงจากสัญญาณกระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วปรับระดับให้อยู่ในระดับที่ต้องการผ่านเข้าทำการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลอัตราส่วนระดับแรงดันระหว่างด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ในการตรวจสอบแบบที่สองเป็นการแปลงเฟสของสัญญาณไฟฟ้าทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ส่งสัญญาณเฟสของแต่ละเฟสเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลความต่างเฟสของสัญญาณตามเวกเตอร์กรุป ในการตรวจสอบทั้งสองแบบมีการแสดงผลของการตรวจสอบที่จอ LCD ซึ่งคุณสมบัติที่ตรวจสอบเป็นไปตามที่บริษัทผลิตขึ้นและผลการทดสอบกับเครื่องมาตรฐานสามารถใช้งานได้

คำสำคัญ: อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า เวกเตอร์กรุป หม้อแปลงจำหน่าย 3 เฟส

Abstract

This paper presents an instrument for measuring voltage ratios and testing of phase displacement of 1-phase and 3-phase distribution transformers. Two tests of the measurement included the voltage ratio between the primary to the secondary windings and the connections of phase displacement (vector group) of the 3-phase distribution transformer, according to the PEA standard (vector group Dyn11). The first testing was conducted by measuring the voltage levels at the primary and secondary sides which were

converted into AC/DC voltage signals and adjusted to maintain a desired level for a digital conversion. The obtained digital signal was sent to a microcontroller to process the voltage ratio levels between the primary and secondary sides. The second testing was carried out by converting the electrical phase signals between the primary and secondary sides into the digital signals. The output signals of each phase were sent to a microcontroller to process the phase difference of vector group signals. The results from the tests were shown on an LCD monitor, which were accurate in compliance with the manufacturing company and testing standards.

Keywords: Voltage ratio, Vector group, 3 - Phase distribution transformer

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าแปลงไฟฟ้าจำหน่าย 1 เฟส และ 3 เฟส ที่ใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือเพื่อการส่งออกต่างประเทศ จะต้องมิตันทุนการผลิตต่ำ และจะต้องผลิตให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดเพื่อเพิ่มโอกาสในทางการค้า และจะต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตและพัฒนาในการผลิตให้ได้ตามมาตรฐาน เช่น กระบวนการออกแบบหม้อแปลงจำหน่าย [1] การทดสอบและตรวจสอบ [2-3] และคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐานของการไฟฟ้า หรือมาตรฐานสากล การกำหนดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า 5 ระดับ คือ อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า ด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิแต่ละเฟสของหม้อแปลง ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ การกำหนดการต่อวงจรขดลวดภายในด้านปฐมภูมิและการกำหนดวงจรขดลวดภายในด้านทุติยภูมิ การกำหนดกลุ่มการต่อขดลวดภายใน (เวกเตอร์กรุป) ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติของหม้อแปลงทั้งสองกรณีนี้ให้มีอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า และการต่อขดลวดภายในให้ได้เวกเตอร์กรุปตรงตามมาตรฐานที่ต้องการ เพื่อเป็นการพัฒนาในการผลิต ลดเวลาในการทดสอบและตรวจสอบ ซึ่งการทดสอบและตรวจสอบแบบเดิมมีค่าใช้จ่ายที่สูงซึ่งใช้เครื่องมือวัดโดยเฉพาะอย่างและเทคนิคการวัด เมื่อได้ผลการทดสอบและตรวจสอบที่วัดปริมาณต่าง ๆ มาทำการคำนวณหาค่าที่ต้องการรวมไปถึงการเกิดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากการใช้เครื่องมือวัดหรือการอ่านค่าข้อมูลของเครื่องมือวัดนั้น ๆ เพื่อความสะดวก ลดความยุ่งยากในการใช้ และลดต้นทุนในการผลิตจึงเป็นเหตุให้มีการทำวิจัยและพัฒนาเครื่องมือวัด และตรวจสอบหม้อแปลงจำหน่ายที่มีราคาถูก และสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการวัดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและตรวจสอบการกระจัดเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่าย
2. นำเสนอวิธีการสร้างเครื่องมือวัด การทดสอบและแสดงผลการทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง
3. นำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ ไปใช้งานจริง และเพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาการสร้างเครื่องมือวัดให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

หลักการที่เกี่ยวข้อง

อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าหรืออัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าแรงดันและกระแส จากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง โดยอาศัยวงจรแม่เหล็กที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก จากขดลวดภายในพันรอบแกนเหล็กอย่างน้อย 2 ขดขดลวด พันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกัน โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ขดลวดด้านปฐมภูมิ มีจำนวนรอบ N_p รอบ และต่อโหลดที่ขดลวดด้านทุติยภูมิ มีจำนวนรอบ N_s รอบ ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน (Ratio) แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิ และด้านทุติยภูมิ ในเทอมจำนวนรอบ ตามสมการที่ 1

$$V_{DC(P)}/V_{DC(S)} = N_p/N_s \text{ หรือ } E_p/E_s = N_p/N_s \quad (1)$$

เมื่อ

$V_{DC(P)}$ = แรงดันไฟตรงด้านปฐมภูมิ (V)

$V_{DC(S)}$ = แรงดันไฟตรงด้านทุติยภูมิ (V)

N_p = จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)

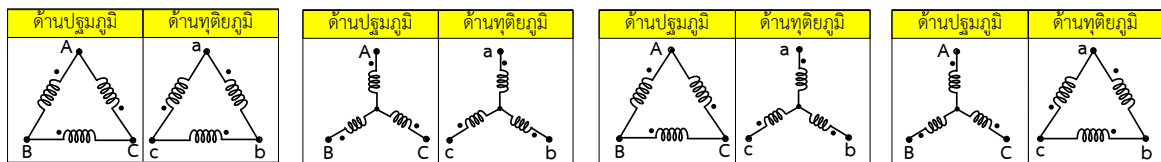
N_s = จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ (รอบ)

E_p = แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดด้านปฐมภูมิ (V)

E_s = แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดด้านทุติยภูมิ (V)

เวกเตอร์กรุป (Vector Group)

การต่อขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (3 phase-transformer connection) แบ่งการต่อได้ 4 แบบ ดังนี้ การต่อขดลวดแบบเดลต้า-เดลต้า (Delta-Delta connection ; Δ - Δ) ตามภาพที่ 1(ก), สตาร์-สตาร์ (Star-Star connection ; Y- Y) ตามภาพที่ 1(ข), เดลต้า-สตาร์ (Delta-Star connection ; Δ -Y) ตามภาพที่ 1(ค) และ สตาร์-เดลต้า (Star-Delta connection ; Y- Δ) ตามภาพที่ 1(ง)



(ก) ต่อแบบเดลต้า-เดลต้า

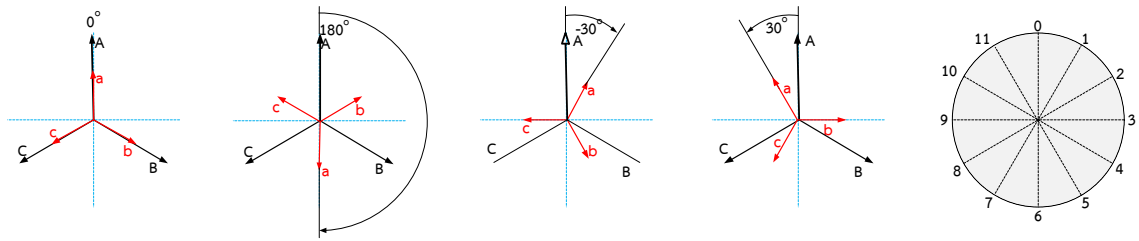
(ข) ต่อแบบสตาร์-สตาร์

(ค) ต่อแบบเดลต้า-สตาร์

(ง) ต่อแบบสตาร์-เดลต้า

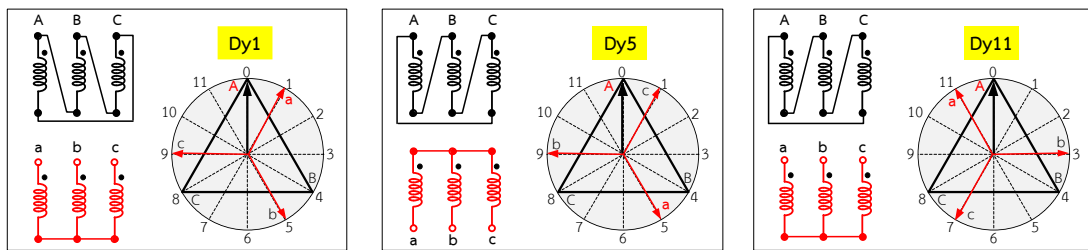
ภาพที่ 1 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เชิงขั้ว (Polarity) แบบต่าง ๆ

การต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟส มีลักษณะเฉพาะของมุมต่างเฟส (Phase Angle Different) ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งการต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟส สามารถต่อขดลวดหม้อแปลงลักษณะเชิงขั้ว (Polarity) มีมุมต่างเฟสแตกต่างกันไป เพื่อบ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยการกระจัดเฟส (Phase Displacement) [4] เช่น จัดมุมเฟสเป็น 0° Phase Displacement ตามภาพที่ 2(ก), จัดมุมเฟสเป็น 180° Phase Displacement ตามภาพที่ 2 (ข), จัดมุมเฟสเป็น 30° Lag Phase Displacement ตามภาพที่ 2 (ค), จัดมุมเฟสเป็น 30° Lead Phase Displacement ตามภาพที่ 2 (ง) และ ฯลฯ ดังนั้นค่ามุมต่างเฟสที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วง 0° - 360° และแสดงเป็นเลขกลุ่ม (Group Number) โดยนำ 30° ไปหารมุมต่างเฟสของแรงเคลื่อนที่ได้ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะได้ตัวเลขกลุ่ม 0 – 11 ตามภาพที่ 2(จ) ดังนั้นเวกเตอร์กรุปเป็นการบ่งบอกถึงการต่อขดลวดภายในหม้อแปลงว่าเป็นแบบใดและมีตัวเลขกลุ่ม เช่น Dy1, Dy5, Dy11 ตามภาพที่ 3 (ก) (ข) (ค) ตามลำดับ ฯลฯ



(ก) มุมเฟส 0° (ข) มุมเฟส 180° (ค) มุมเฟสล่าหลัง 30° (ง) มุมเฟสนำหน้า 30° (จ) เลขกลุ่ม 0 – 11

ภาพที่ 2 การกระจัดเฟส (Phase Displacement) ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และตัวเลขกลุ่ม



(ก) เดลต้า-สตาร์ กลุ่ม 1 (Dy1) (ข) เดลต้า-สตาร์ กลุ่ม 5 (Dy5) (ค) เดลต้า-สตาร์ กลุ่ม 11 (Dy11)

ภาพที่ 3 การต่อขดลวดภายในหม้อแปลง 3 เฟส แบบเชิงขั้ว (Polarity), มุมต่างเฟส เบื้องต้น กลุ่มการต่อหม้อแปลง

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย [5-6]

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย มีหน่วยงานที่ดูแล 2 หน่วยงาน มีการใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสเป็นแบบเดลต้า-สตาร์ (Delta-Star connection ; Δ -Y) ของการไฟฟ้านครหลวง (MEA) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ตามภาพที่ 4 (ก), (ข) และการจัดกลุ่มเวกเตอร์ได้ กลุ่ม 0 – กลุ่ม 11 มีมุมที่ต่างเฟสกัน $0^\circ - 330^\circ$ ที่เป็นไปได้ดังภาพที่ 5

1. การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity; MEA)

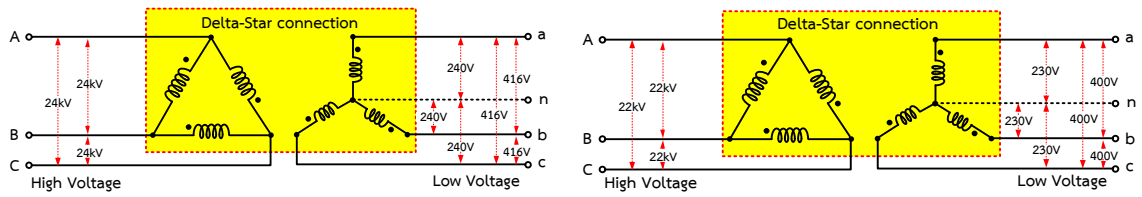
- แรงดันระบบจำหน่าย 24 kV หรือ 12/24 kV และแรงดันใช้งาน 416/240 V, ระบบ 3 เฟส และ 480/240 V ในระบบ 1 เฟส

- Tapping Range: $-4 \times 2.5\%$ (Off-Load Tap-Changer on HV Side)

2. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority; PEA)

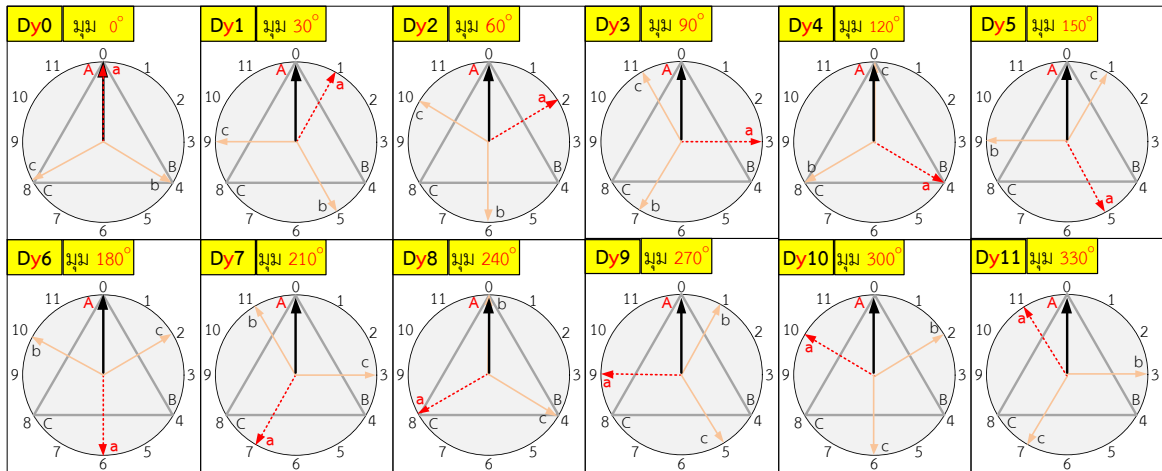
- แรงดันระบบจำหน่าย 22 kV หรือ 33 kV และแรงดันใช้งาน 400/230 V, ระบบ 3 เฟส และ 460/230 V ในระบบ 1 เฟส

- Tapping Range: $\pm 2 \times 2.5\%$ (Off-Load Tap-Changer on HV Side)



(ก) ระบบจำหน่ายหม้อแปลง 3 เฟส การไฟฟ้านครหลวง (ข) ระบบจำหน่ายหม้อแปลง 3 เฟส การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

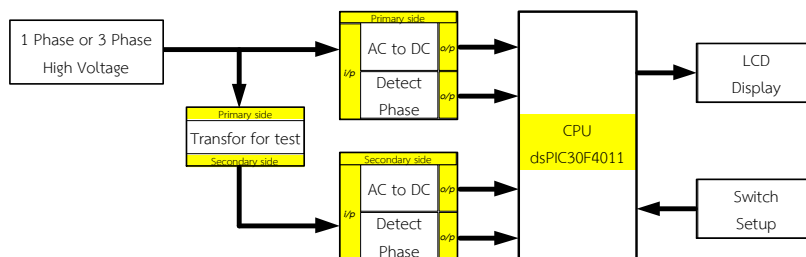
ภาพที่ 4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส



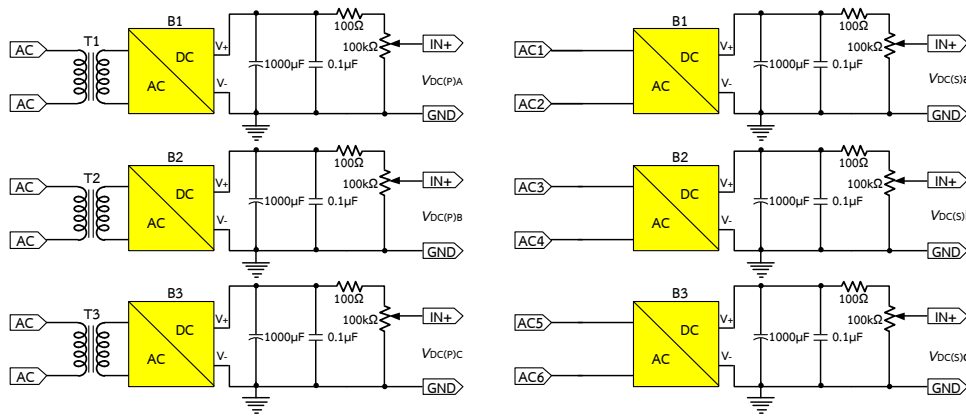
ภาพที่ 5 การต่อขดลวดภายในหม้อแปลง 3 เฟสแบบเดลต้า-สตาร์ ที่มีผลต่อกลุ่มเวกเตอร์และค่ามมมที่แตกต่างกัน

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

1. เครื่องมือวัดและตรวจสอบหม้อแปลงจำหน่ายที่สร้างขึ้นมีหลักการทำงาน ตามภาพที่ 6 เมื่อต้องจรเครื่องมือวัดเข้ากับหม้อแปลงแล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงที่ต้องการทดสอบแล้ว เครื่องมือวัดจะทำการตรวจจับสัญญาณและทำการประมวลผลแล้วจะแสดงผลการวัดออกมาทางจอ LCD
2. การวัดอัตราส่วนที่ประกอบด้วยตรวจสอบระดับของแรงดันด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ จึงต้องมีการประกอบวงจรของทั้งสองส่วน คือ การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านปฐมภูมิ มีแรงดันสูงที่ต้องมีการลดระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลงขนาดเล็ก ก่อนที่จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในระดับที่เหมาะสมของแต่ละเฟสตามภาพที่ 7 (ก) ส่งแรงดันที่ปรับระดับเข้าสู่วงจรการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

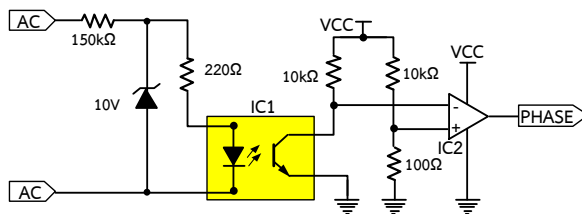


ภาพที่ 6 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

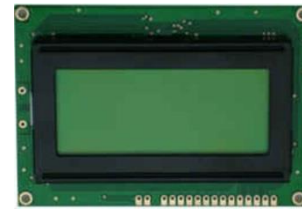


(ก) วงจรแปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรงด้านปฐมภูมิ (ข) วงจรแปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรงด้านทุติยภูมิ

ภาพที่ 7 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ



ภาพที่ 8 วงจรการตรวจสอบเฟสของแรงดันไฟฟ้า



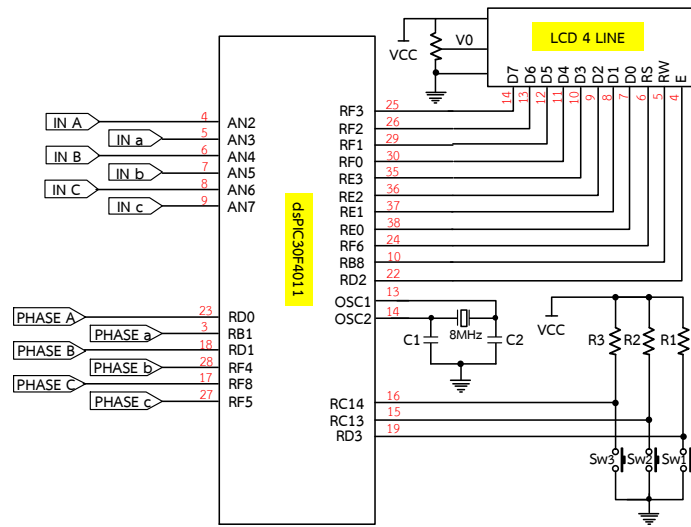
ภาพที่ 9 LCD แบบ 4 บรรทัด 16 ตัวอักษร

3. การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านทุติยภูมิที่มีแรงดันต่ำได้ถูกส่งผ่านเข้าทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมของแต่ละเฟส ตามภาพที่ 7 (ข) แล้วส่งแรงดันที่ปรับระดับแล้วนั้นเข้าสู่วงจรการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เช่นกัน

4. การวัดเฟสของแรงไฟฟ้ากระแสสลับทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ มีลักษณะการประกอบวงจรตามภาพที่ 8 เนื่องจากแรงดันอินพุตของวงจรที่มีระดับแรงดันไม่เท่ากันของด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าความต้านทานอินพุตให้เหมาะกับแรงดันอินพุต สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากการผ่านออปโตไอโซเลเตอร์ จะมีเฟสตรงข้ามกับแรงดันอินพุต ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณนี้ผ่านไอซีออปแอมป์เพื่อปรับเฟสให้ตรงกับเฟสของแรงดันอินพุต ส่งสัญญาณเฟสแต่ละเฟสให้มีลักษณะเดิมเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

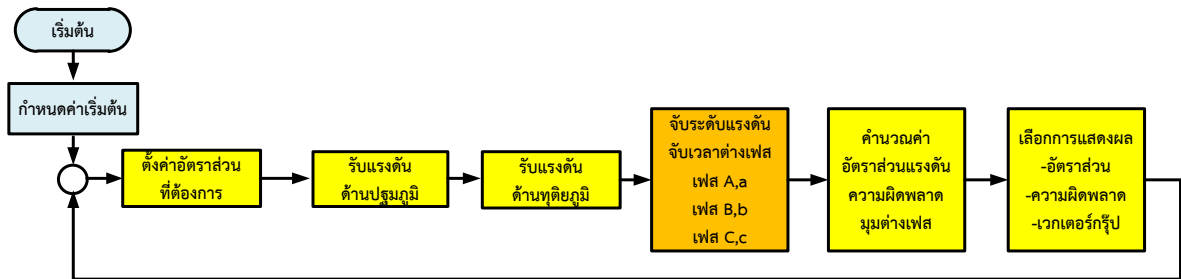
5. การแสดงผลการคำนวณอัตราส่วนของหม้อแปลง เวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงและข้อมูลอื่น ๆ จะถูกแสดงผลที่ จอ LCD แบบตัวอักษร ขนาด 16 ตัวอักษร จำนวน 4 บรรทัด ที่มีรูปแบบดังภาพที่ 9

6. การต่อวงจรส่วนต่าง ๆ เข้ากับหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ใช้เบอร์ dsPIC30F4011 ของบริษัทไมโครชิพที่มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล จำนวน 9 แชนแนล โมดูลจับเวลา 5 แชนแนล อยู่ภายใน และขาอินพุตเอาท์พุตอีกหลายขา ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งาน ดังแสดงการต่อตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การต่อวงจรส่วนต่าง ๆ เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

7. การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นไปตามผังการทำงานดังภาพที่ 11 เมื่อต่อวงจรเครื่องวัดเข้ากับหม้อแปลงแล้วจะทำการตั้งค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงที่ต้องการทดสอบแล้ว เครื่องมือวัดจะทำการตรวจจับระดับแรงดันไฟฟ้า จับเวลาที่ต่างเฟสและทำการประมวลผลแล้วจะแสดงผลการวัดออกมาทางจอ LCD



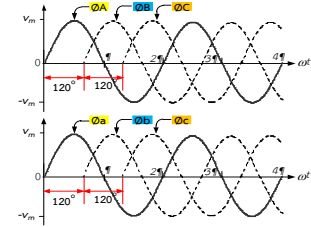
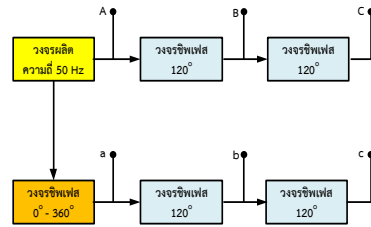
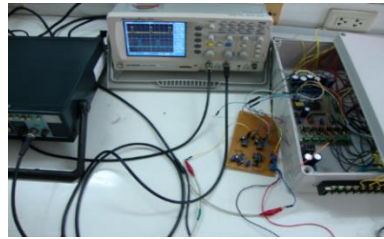
ภาพที่ 11 ผังการทำงานของเครื่องทดสอบ

ผลการวิจัย

1. ทดสอบมุมต่างเฟสของเครื่องทดสอบ

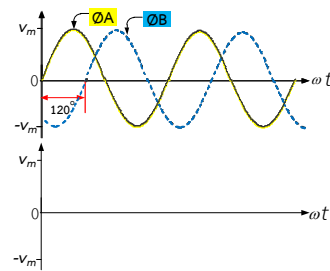
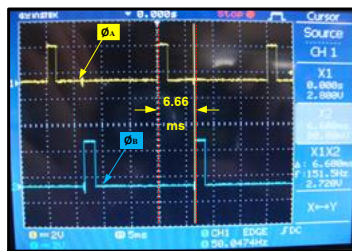
การทดสอบมุมต่างเฟสเพื่อให้เครื่องทดสอบอยู่ในขอบเขตมาตรฐานของการทดสอบหม้อแปลง โดยการสร้างวงจรสร้างความต่างเฟสที่มีความถี่ 50 Hz ของสองสัญญาณด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังภาพที่ 12(ก) ปรับค่ามุมต่างเฟสให้มีค่าตรงตามค่ากรุปต่าง ๆ ตั้งแต่ 0° - 360° ดังภาพที่ 12 (ข) และ (ค) โดยการป้อนสัญญาณที่มีมุมต่างเฟส 90° ทางด้านเข้าแรงดันสูง (A,B,C) และด้านออกแรงดันต่ำ (a, b, c) การแสดงผลค่ามุมต่างเฟสและผลของเวลาของสัญญาณ ตัวอย่างระหว่าง เฟส A และ เฟส B ดังภาพที่ 13 ตัวอย่างระหว่าง เฟส A และ เฟส a ดังภาพที่ 14 ตัวอย่างระหว่าง เฟส a และ เฟส b ดังภาพที่ 15 และส่วนการแสดงผลดังภาพที่ 16 ไม่เป็นไปตามองศามุมเฟส และ Phase Displacement Group ซึ่งแสดงค่าองศาอยู่ที่ 83° ทำการปรับมุมเฟสเป็น 90° Phase

Displacement Group 3 ตามภาพที่ 17 และทำการปรับค่ามุมต่าง ๆ ให้เป็นไปตาม Phase Displacement Group ที่เป็นไปได้ในภาพที่ 6 และให้มีค่าผิดพลาดอยู่ในช่วง $\pm 1^\circ$ ได้ดังตารางที่ 1



(ก) การทดสอบเฟสของสัญญาณ 3 เฟส (ข) บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ (ค) สัญญาณแรงดันสูง, แรงดันต่ำ

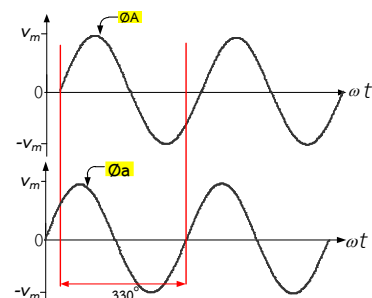
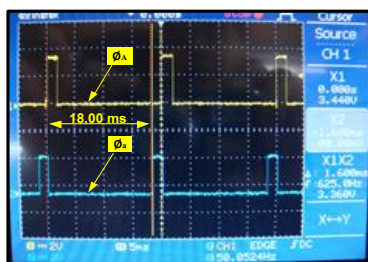
ภาพที่ 12 การสร้างสัญญาณความต่างเฟสของสัญญาณเข้าและออกไฟ 3 เฟส



(ก) ค่าเวลาที่ได้จากความต่างเฟสระหว่าง A กับ B

(ข) ความต่างเฟสสัญญาณปฐมภูมิเฟส A กับ B

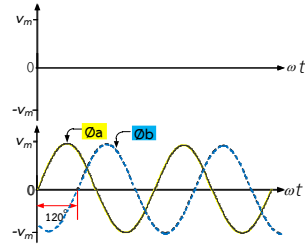
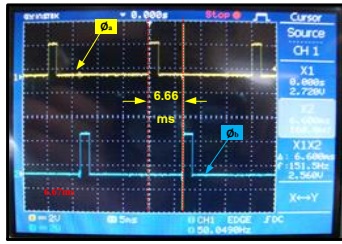
ภาพที่ 13 สัญญาณความต่างเฟสของสัญญาณระหว่าง A กับ B



(ก) ค่าเวลาที่ได้จากความต่างเฟสระหว่าง A กับ a

(ข) ความต่างเฟสสัญญาณปฐมภูมิเฟส A กับ a

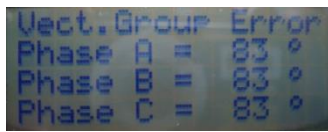
ภาพที่ 14 ความต่างเฟสของสัญญาณระหว่าง A กับ a



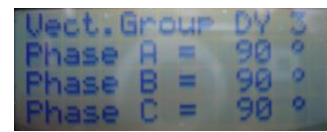
(ก) ค่าเวลาที่ได้จากความต่างเฟสระหว่าง a กับ b

(ข) ความต่างเฟสสัญญาณเหตุสัญญาณ a กับ b

ภาพที่ 15 ความต่างเฟสของสัญญาณระหว่าง a กับ b



ภาพที่ 16 ค่าองศาไม่เป็นไปตาม Phase Displacement Group



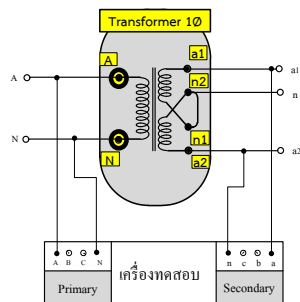
ภาพที่ 17 ค่าองศาเป็นไปตาม Phase Displacement Group

ตารางที่ 1 การทดสอบเวกเตอร์กรุปตามภาพที่ 6 ผลขององศาของมุมต่างเฟส และเวลาในแต่ละกรุป

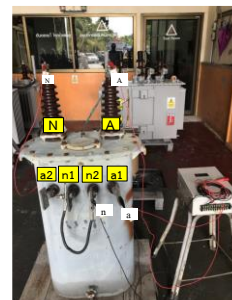
เวกเตอร์กรุป	จำนวนองศา	เวลา (mSec)	เวกเตอร์กรุป	จำนวนองศา	เวลา (mSec)
Dy0 หรือ Dyn0	0 ±1	0±0.05	Dy6 หรือ Dyn6	180 ±1	10.00±0.05
Dy1 หรือ Dyn1	30 ±1	1.66±0.05	Dy7 หรือ Dyn7	210 ±1	11.66±0.05
Dy2 หรือ Dyn2	60 ±1	3.33±0.05	Dy8 หรือ Dyn8	240 ±1	13.33±0.05
Dy3 หรือ Dyn-	90 ±1	5.00±0.05	Dy9 หรือ Dyn9	270 ±1	15.00±0.05
Dy4 หรือ Dyn4	120 ±1	6.66±0.05	Dy10 หรือ Dyn10	300 ±1	16.66±0.05
Dy5 หรือ Dyn5	150 ±1	8.33±0.05	Dy11 หรือ Dyn11	330 ±1	18.00±0.05

2. การทดสอบหาอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าหรืออัตราส่วนจำนวนรอบ (Ratio) หม้อแปลง 1 เฟส [6-9]

การทดสอบวัดอัตราส่วนจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 30 kVA 22000-460/230 V ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(PEA) ทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน โดยใช้วงจรทดสอบดังภาพที่ 18 การทดสอบจริงดังภาพที่ 19 และมีผลการทดสอบดังตารางที่ 2 และ 3



ภาพที่ 18 วงจรการทดสอบหม้อแปลง 1 เฟส



ภาพที่ 19 การทดสอบหม้อแปลง 1 เฟส

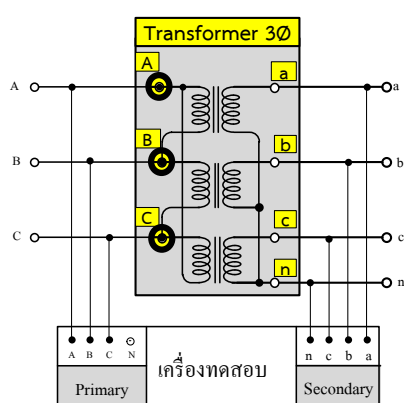
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอัตราส่วนหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จากเครื่องวัดมาตรฐาน (std.) กับเครื่องวัดที่สร้างขึ้น (new)

พิกัดแรงดัน (โวลต์)	A-N/a1-a2		A-N/a1-n		A-N/a2-n	
	Std.	new	Std.	new	Std.	new
23100-460/230	50.32	50.34	100.64	100.68	100.64	100.68
22550-460/230	49.12	49.15	98.44	98.30	98.44	98.30
22000-460/230	47.93	47.96	95.86	95.92	95.86	95.92
21450-460/230	46.68	46.70	93.36	93.40	93.36	93.40
20900-460/230	45.49	45.52	90.98	91.04	90.98	91.04

ตารางที่ 3 ความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบเครื่องวัดมาตรฐานกับที่สร้างขึ้น (เปอร์เซ็นต์)

พิกัดแรงดัน (โวลต์)	A-N/a1-a2	A-N/a1-n	A-N/a2-n
23100-460/230	0.04	0.04	0.04
22550-460/230	0.06	0.04	0.04
22000-460/230	0.06	0.04	0.04
21450-460/230	0.04	0.04	0.04
20900-460/230	0.06	0.06	0.06

3. การทดสอบหาเวกเตอร์กรุปและอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Ratio) หม้อแปลง 3 เฟส [6-9]

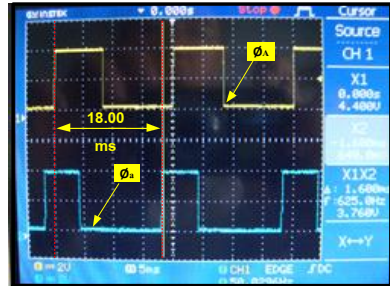


ภาพที่ 20 วงจรการทดสอบหม้อแปลง 3 เฟส

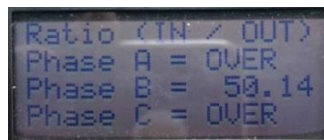
ภาพที่ 21 การทดสอบหม้อแปลง 3 เฟส

การทดสอบได้นำหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 250 kVA 22000-400/230 V ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(PEA) การต่อขดลวดภายในเป็นเวกเตอร์กรุป Dyn11 โดยใช้วงจรการทดสอบดังภาพที่ 20 การทดสอบจริงดังภาพที่ 21 ทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน เป็นการวัดความต่างเฟสของแรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านปฐมภูมิกับขดลวดด้านทุติยภูมิ รูปสัญญาณความต่างเฟสเป็น 18 ms ของสัญญาณ

A กับ a ดังภาพที่ 22 กำหนดค่าอัตราส่วนและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดดังภาพที่ 23 แสดงผลความผิดพลาดของอัตราส่วนในแต่ละเฟสดังภาพที่ 24 แสดงเวกเตอร์กรุปและองศา Phase Displacement ดังภาพที่ 25 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 และ 5



ภาพที่ 22 เวลาของสัญญาณระหว่าง A กับ a



ภาพที่ 23 เปอร์เซนต์ค่าผิดพลาดแต่ละเฟส ภาพที่ 24 อัตราส่วนแต่ละเฟส ภาพที่ 25 องศาและเวกเตอร์กรุป ตารางที่ 4 ผลการทดสอบอัตราส่วนหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จากเครื่องวัดมาตรฐาน (std.) กับเครื่องวัดที่สร้างขึ้น (new)

พิกัดแรงดัน (โวลต์)	A-N/a1-a2		A-N/a1-n		A-N/a2-n	
	Std.	new	Std.	new	Std.	new
23100/231	100.64	100.85	100.55	100.77	100.23	100.40
22550/231	98.20	98.35	98.10	98.30	98.25	98.40
22000/231	95.77	95.97	95.64	95.48	95.83	95.63
21450/231	93.38	93.58	93.25	93.40	93.30	93.44
20900/231	90.99	91.20	90.85	90.74	91.10	91.20

ตารางที่ 5 ความผิดพลาดหม้อแปลง 3 เฟส เมื่อเปรียบเทียบเครื่องวัดมาตรฐานกับที่สร้างขึ้น (เปอร์เซนต์)

พิกัดแรงดัน (โวลต์)	A-B/a-n	B-C/b-n	C-A/c-n
23100/231	0.21	0.21	0.17
22550/231	0.15	0.20	0.15
22000/231	0.20	0.16	0.21
21450/231	0.21	0.16	0.15
20900/231	0.23	0.12	0.11

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบเครื่องมื่อวัดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สร้างขึ้นผลทดสอบตารางที่ 1-4 จะพบว่ามีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับมิเตอร์มาตรฐานซึ่งจะพบว่าเครื่องมื่อวัดที่สร้างขึ้นสามารถทำการทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จริง ในส่วนของการทดสอบความต่างเฟสของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจากความต่างเฟสระหว่างขดลวดด้านแรงดันสูงกับขดลวดด้านแรงดันต่ำที่เฟสเดียวกันได้อย่างถูกต้องตามกลุ่มของเวกเตอร์กรุปต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ทำให้ผู้ผลิตสามารถทราบผลการทดสอบได้อย่างรวดเร็ว ลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น เพราะเครื่องมื่อที่พัฒนาขึ้นสามารถทำการทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า และสามารถแสดงผลของการวัดได้พร้อมกันทุกเฟสเป็นแบบดิจิทัลในการทดสอบอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงจะมีวิธีการทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นจึงสามารถนำเครื่องมื่อวัดที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวัดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแรงดันตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงหรือมีแรงดันที่แตกต่างกันออกไปได้ โดยสามารถตั้งค่าอัตราส่วนที่จะทำการวัดได้สำหรับแนวทางในการพัฒนาในลำดับต่อไปจะทำให้เครื่องมื่อวัดสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ใช้ต่าง ๆ ได้เพื่อความสะดวกและการใช้งาน ในรูปแบบการต่อวงจรในรูปแบบอื่นในลำดับต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chawarat Kengthamkij. (2003). *Optimal Cost Design of Distribution Transformers Using Genetic Algorithms*. M.Eng. (Electrical Engineering). Graduate School King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang.
- [2] Vichai Saelee. (2009). *Losses Prediction in the Three Phase Distribution Transformer Using Neural Networks*. M.Eng. (Electrical Engineering). Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- [3] Vichai Saelee, Chirasak Sinsukudomchai and Prapapan Khluabwannarat. (2012). Losses Prediction in the Distribution Transformer Using Hierarchy Neural Networks. *Journal of International Council on Electrical Engineering*, 2(3), 384-390.
- [4] Sawai Thanipanichkul. (2005). *Transformer*. Bangkok: Funny Publishing.
- [5] Thai Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage. (2013). *Electrical Installation Standards for Thailand*. Bangkok.
- [6] Boonlert Suechoey. (2015). *Design and Usability of Distribution Transformer*. 5th ed. Bangkok: Saroj Printing.
- [7] Thai Industrial Standards Institute. (2000). *TIS 384-2543 Transformer*. Bangkok: Ministry of Industry.
- [8] International Electrotechnical Commission. (2006). *IEC 60076-1 Power Transformer Part 1 : General*. Geneva.
- [9] Provincial Electricity Authority Thailand (PEA). (2015). *Three-Phase Transformer for 22 kV and 33 kV Distribution Systems with Ability to Withstand Short Circuit*. Specification No. RTRN-035/2558.