

แหล่งจ่ายกระแสสูงเพื่อการวิเคราะห์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ Hot Line Bail Clamp Connector,

P.G. Clamp, Sleeve, Stain Clamp, Overhead Line Hard Wear และ สายเคเบิลใต้ดิน

(High Current Source for Analysis and Development The Hot Line Bail Clamp Connector,

P.G. Clamp, Sleeve, Stain Clamp, Overhead Line Hard Wear and Underground Cable)

อรรถกร คุ่มทรัพย์ เอกราช วรกิจจานุวัฒน์ รัชนี จงไพจิตรสกุล และ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล *

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02-3271199, 02-7373000-9 ต่อ 3518, โทรสาร 02-32673333, E-mail: kpsiriwa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและจัดสร้างแหล่งจ่ายกระแสสูง ขนาดพิกัด 2000 A, 50 Hz โดยใช้หลักการหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถเลือกปรับจำนวนรอบของขดลวดได้ สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสเพื่อการทดสอบคุณภาพการฉนวนของสายเคเบิลใต้ดินด้วยวิธีการทดสอบแบบ Heating Cycle Test ในกระบวนการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ภายในเนื้อวัสดุการฉนวน อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60502-2 (1998) และยังสามารถใช้สำหรับการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Hot Line Bail Clamp Connector) ที่ใช้งานในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ANSI C119-4 (1991) โดยออกแบบให้มีการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยแมคเนติกคอนแทคเตอร์ และมีวงจรภาควัดสำหรับเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของชิ้นงานขณะทำการทดสอบ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งผ่านข้อมูลไปยังโปรแกรม Lab View เพื่อบันทึกและแสดงผลการทดสอบทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ทำให้สะดวกต่อการใช้งานในการทดสอบ จากการทดสอบและประเมินผลแสดงให้เห็นว่าแหล่งจ่ายกระแสสูงที่ออกแบบสร้างขึ้นมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สามารถใช้งานในการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำหรับภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : แหล่งจ่ายกระแสสูง, เคเบิลใต้ดิน, การทดสอบแบบวัฏจักรความร้อน

Keywords : High Current Source, Underground Cable, Heating Cycle Test

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ สำหรับเชื่อมต่อทางไฟฟ้าแรงสูง เช่น Hot Line Bail Clamp Connector รวมทั้งอุตสาหกรรมผลิตสายเคเบิลใต้ดิน จำเป็นต้องมีการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากล ซึ่งทางโรงงานผู้ผลิตจะต้องมีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพขั้นต้น เพื่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาคุณภาพของสินค้าให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับ เทคนิควิธีการทดสอบด้วยการจ่ายกระแสเป็นวิธีหนึ่งในกระบวนการ การทดสอบตามมาตรฐาน โดยเฉพาะกรณีอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์

เชื่อมต่อทางไฟฟ้า เป็นการทดสอบพิกัดความคงทนของอุปกรณ์เมื่อได้รับกระแสขนาดสูงๆ เลียนแบบสภาพการใช้งานจริงซึ่งถือว่าสำคัญมาก ในกรณีของอุตสาหกรรมผลิตสายเคเบิลใต้ดิน การทดสอบด้วยการจ่ายกระแสเป็นการทดสอบเพื่อเร่งอายุการใช้งานของ วัสดุการฉนวนจากผลอุณหภูมิความร้อนที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำภายในสายเคเบิล นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ภายในเนื้อวัสดุฉนวนที่หุ้มสายเคเบิล ตามมาตรฐานกำหนด

ดังนั้น โรงงานของผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายกระแส ขนาดพิกัดสูงๆ ที่ได้มาตรฐานไว้ใช้งานในห้องปฏิบัติการ ทดสอบ ซึ่งโดยทั่วไปจะนำเข้าจากต่างประเทศด้วยราคาที่แพงมาก

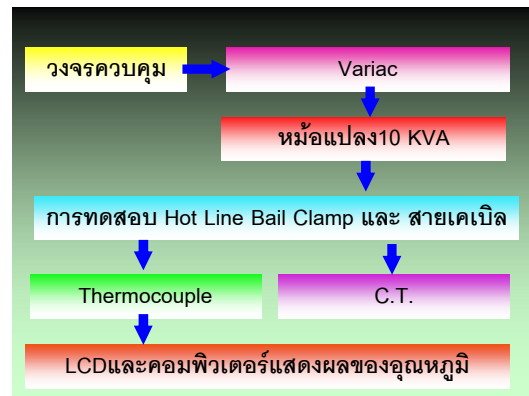
โรงงานนี้จึงสนใจศึกษาออกแบบ สร้างแหล่งจ่าย กระแสสูงที่สามารถจ่ายไฟ กระแสสลับความถี่พลังงานที่ ขนาดพิกัดกระแส 2000 A สำหรับใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้าแรงสูง และสายเคเบิลใต้ดิน ให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ทดแทนการนำเข้าจาก ต่างประเทศ โดยเน้นการเลือกใช้วัสดุที่สามารถจัดหาได้ ภายในประเทศจึงทำให้มีราคาถูก เป็นการช่วยลดต้นทุน และการแข่งขันเชิงธุรกิจของภาคอุตสาหกรรม

แหล่งจ่ายกระแสที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ เป็นแบบ ควบคุมการทำงานกึ่งอัตโนมัติใช้งานง่าย มีวงจรภาควัด สำหรับเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของชิ้นงาน ขณะทำการ ทดสอบ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งผ่านข้อมูลไปยังโปรแกรม Lab View เพื่อบันทึกและ แสดงผลการทดสอบทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เป็นการช่วย อำนวยความสะดวกให้กับผู้ปฏิบัติงานทดสอบในโรงงาน

2. ทฤษฎีและหลักการ

ใช้หลักการของหม้อแปลงซึ่งทำการรัตรอบ (short turn) ขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (เหมือนให้ผลิตภัณฑ์ ทดสอบเป็นขดลวดทางทุติยภูมิแล้วใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสขึ้น) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูง นำไปให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ จนเกิดความร้อนขึ้นตามสมการ I^2R

โดยจัดทำชุดควบคุมการทดสอบ และแสดงผลการ ทดสอบประกอบกับหม้อแปลงกระแส เพื่อให้การทดสอบ นั้นเป็นไปตามมาตรฐานอ้างอิง ตามรูปที่1 ดังนี้



รูปที่ 1 การทำงานประกอบกันของเครื่องทดสอบ

3. การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายกระแสสูง

การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายกระแสสูง ในที่นี้จะ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การออกแบบแหล่งจ่ายกระแสสูง โดยการประยุกต์ใช้หลักการหม้อแปลงจ่ายกระแส, การ ออกแบบชุดควบคุมแหล่งจ่ายกระแสสูง, การออกแบบ วงจรชุดตรวจวัด และแสดงผลอุณหภูมิในการทดสอบ ชิ้นงาน โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

3.1 คุณสมบัติของแหล่งจ่ายกระแสที่ต้องการ

เนื่องจากการทดสอบจำเป็นต้องใช้ขนาดพิกัดของ กระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง โดยสายเคเบิลใต้ดินขนาด 35 ถึง 400 mm.² กระแสที่นำไปจ่ายสูงสุดเพื่อให้เกิดความ ร้อนตามมาตรฐานอยู่ประมาณ 1200 ถึง 1600 แอมป์

และ Hot Line Bail Clamp Connector ใช้กระแส จ่ายประมาณ 250 ถึง 500 แอมป์

โดยมีข้อกำหนดของพิกัดของหม้อแปลงดังนี้

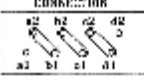
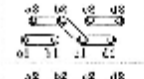
- Frequency :50 Hz.
- Input :1Ø, 0-260V, 10 KVA
- ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก: 1.75 Tesla
- Output :0-2000 A

3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายกระแสสูง

ใช้ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

$$\frac{E}{N} = 4.44 f \cdot A_c B_{\max} \quad (1)$$

โดยคำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก จากข้อมูลที่กำหนด และใช้ค่าแรงดันต่อรอบทางด้านทุติยภูมิ เป็น 3 แบบ เพื่อความเหมาะสมต่อค่าความต้านทานของทดสอบอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 2 และจัดสร้างดังรูปที่ 3

TAPPING DETAILS	
RPT 200 V 70 at - 12	
CONNECTION	SOLE VOLTAGE
	1.3 V/T
	22.5 V/T
	5.2 V/T

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการ TAPPING กับ แรงดันต่อรอบ (Volt per Turn)



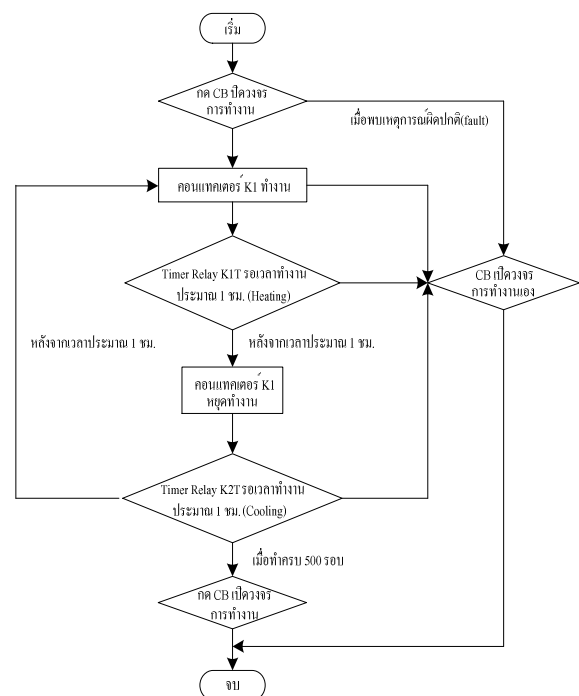
รูปที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสูง

โดยมีข้อมูลที่ได้จากการออกแบบหม้อแปลง

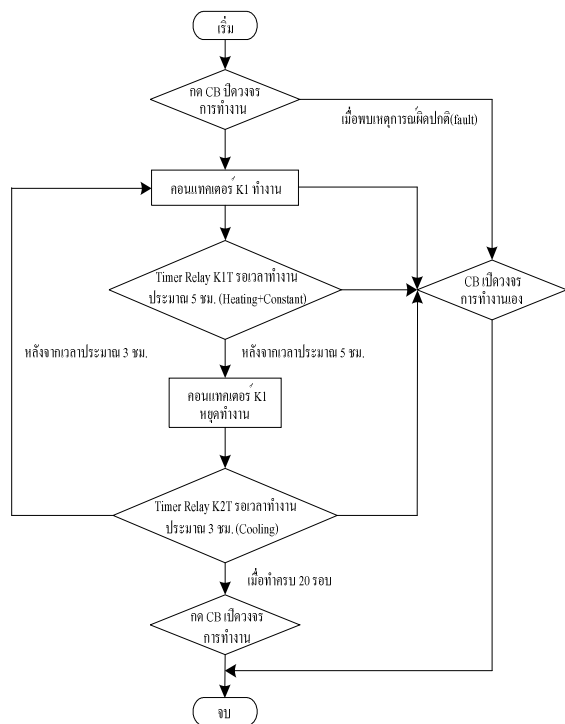
- แกนเหล็ก : ชนิด C core ใช้เหล็ก M4
- พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก: 135 mm.²
- พื้นที่หน้าตัดขดลวด : 2.6 × 8 mm.²
- แรงดันต่อรอบ (E/N) : 5.2 V/turn
- ขดลวดมี 4 ชุด ชุดละ 50 รอบ

3.3 การออกแบบชุดควบคุมแหล่งจ่ายกระแสสูง

ชุดควบคุมการทำงานของแหล่งกระแสสูงทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการตัดต่อวงจรเพื่อจ่ายไฟให้กับ หม้อแปลงจ่ายกระแส ชุดควบคุมจะสั่งตัดวงจรเมื่อเกิดสภาวะกระแสเกินหรือเกิดลัดวงจรในขณะที่ทำการทดสอบ เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังออกแบบให้สามารถตั้งเวลาการทำงานได้ ด้วยการใช้ Timer สั่งให้ Magnetic Contactor ตัดต่อวงจรจ่ายกระแสทดสอบ ในกรณีที่ต้องการทดสอบชิ้นงานแบบเป็นคาบเวลา ตามมาตรฐานกำหนด โดยหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การตั้งเวลาเพื่อทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้า ตามมาตรฐาน ANSI C119-4 (1991) ซึ่ง Flowchart การทำงานแสดงดังรูปที่ 4 และ กรณีการตั้งเวลาเพื่อทำการทดสอบ Heating Cycle Test ของสายเคเบิลใต้ดิน ตามมาตรฐาน IEC 60502-2 (1998) ซึ่ง Flowchart การทำงานแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 Flowchart วงจรควบคุมการทำงานของ ANSI C119 -4-1991 ในหัวข้อ Current Cycle Test



รูปที่ 5 Flowchart วงจรควบคุมการทำงานของวงจร Partial Discharge ด้วยวิธีการ Heating Cycle Test ตามมาตรฐาน IEC 60502-2

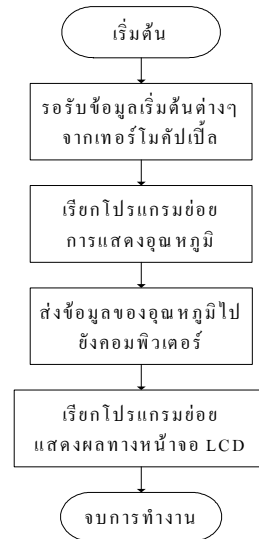
3.4 การออกแบบวงจรตรวจวัดอุณหภูมิและแสดงผล

โดยทำการรับค่าแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิล เพื่อเปลี่ยนเป็นอุณหภูมิ (สัญญาณอะนาล็อก)

จากนั้นจึงนำสัญญาณอะนาล็อกที่ได้ เข้าสู่วงจร เปลี่ยนสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D ใช้ IC เบอร์ CS 5525 เนื่องจากมีส่วนขยายในตัวเพื่อขยายค่าแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิลที่มีค่าน้อยมาก แล้วส่งไปประมวลผลได้) เพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ 89c51rd2 เนื่องจากประมวลผลได้เร็วกว่า MCS-51 ทั่วไป 2 เท่า ทำให้การส่งข้อมูลไม่ผิดพลาด) จะทำการรับค่าและประมวลผลส่งข้อมูล แสดงผลเป็นกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และยังส่งข้อมูลเป็นอุณหภูมิกับแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลที่ส่งค่าเข้ามาที่จอ LCD

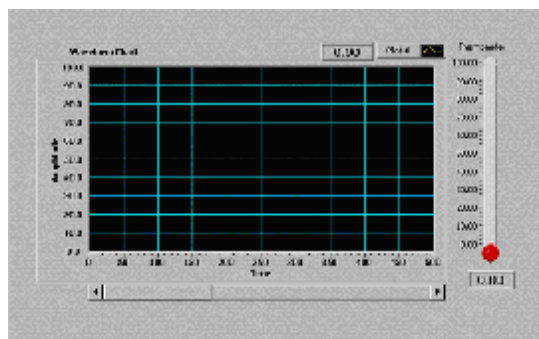
โดยมีไดอะแกรมการทำงานของวงจรแสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 6 และวงจรที่จัดทำดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำค่าอุณหภูมิไปแสดงผลยังจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 8 โปรแกรม Lab View แขนตั้งแสดงอุณหภูมิ (°C)
แกนนอนแสดงเวลา (นาที)

4. การทดสอบและประเมินผล

หลังจากประกอบสร้าง ชุดแหล่งจ่ายกระแสเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบและประเมินผลขีดความสามารถของอุปกรณ์ ที่ออกแบบสร้างขึ้น ซึ่งในที่นี้ได้นำไปใช้จ่ายกระแสในการทดสอบ Current Cycle Test ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้าอ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI C119-4 (1991) และการทดสอบ Heating Cycle Test ของสายเคเบิลใต้ดินแบบ XLPE อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60502-2 (1998) ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ใช้งานแหล่งจ่ายกระแสสูง โดยมีรายละเอียดผลการทดสอบเป็นดังนี้

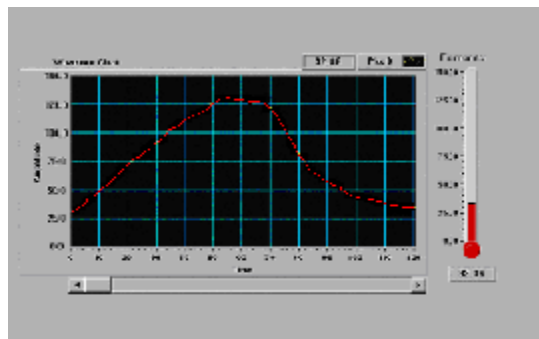
4.1 การทดสอบ Current Cycle Test ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้า

โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานดังนี้ การทดสอบจะประกอบด้วย 500 รอบ ใน 1 รอบจะประกอบไปด้วยช่วงที่ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และหยุดการผ่านกระแสไฟฟ้าเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง โดยในช่วงการจ่ายกระแสให้ตัวนำสูงกว่าอุณหภูมิรอบข้างประมาณ 100 - 105 °C และรักษาอุณหภูมินั้นให้คงที่และทำการควบคุมอุณหภูมิรอบข้างประมาณ 25°C

ในส่วนการทดสอบผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ สำหรับเชื่อมต่อไฟฟ้าแรงสูง (Hot Line Bail Clamp Connector) นี้ สามารถทดสอบได้ตามหัวข้อ Current Cycle Test ได้ แต่ควรระวังในเรื่องเทคนิคในการจับอุณหภูมิ ในแต่ละจุดให้เท่ากันและค่ากระแสที่สูงเกินไปจะทำให้ สายอะลูมิเนียมละลายได้ แสดงรูปการทดสอบจริงดังรูปที่ 9 และผลการทดสอบดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 การทดสอบ Hot Line Bail Clamp Connector



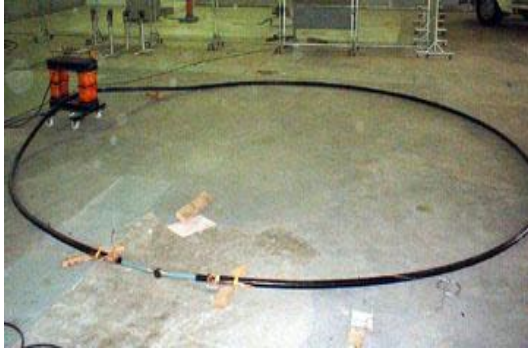
รูปที่ 10 กราฟจากที่บันทึกจากคอมพิวเตอร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิโดยทำการทดสอบ Clamp 1 รอบ

4.2 การทดสอบ Heating Cycle Test ของตัวอย่างสายเคเบิลใต้ดินแบบ XLPE

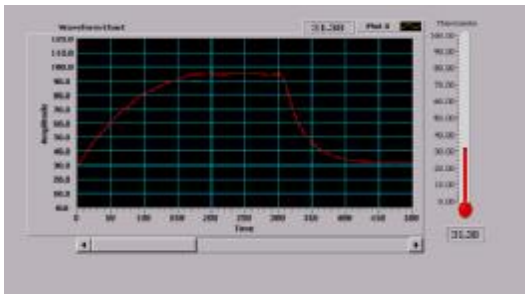
ให้ความร้อนโดยการผ่านกระแสเข้าไปในตัวนำ มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดของตัวนำ ในสภาวะการใช้งานปกติอยู่ 5-10 องศา โดย 1 รอบของการทดสอบต้องใช้เวลาน้อยที่สุด 8 ชั่วโมง โดยให้ความร้อน 3 ชั่วโมงรักษาอุณหภูมิของตัวนำในสภาวะคงที่ 2 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 3 ชั่วโมง

ในส่วนการทดสอบสายเคเบิล สามารถทดสอบได้ในขนาดสายขนาด 35-185 mm.² โดยสามารถควบคุมตามหัวข้อ Heating Cycle Test ที่ยังไม่สามารถทดสอบ

ขนาดสายที่ใหญ่กว่านี้ได้เนื่องจากยังไม่สามารถหาชุดควบคุมได้ตามพิกัด



รูปที่ 11 การทดสอบ Under Ground Cable



รูปที่ 12 กราฟจากที่บันทึกจากคอมพิวเตอร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิ โดยทำการทดสอบสายเคเบิล 1 รอบ

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบนั้นพบว่า สามารถทดสอบได้ถึงค่ากระแสและอุณหภูมิตามมาตรฐานโดยเฉพาะ Hot Line Bail Clamp Connector สามารถทดสอบได้กับทุกขนาด แต่สายเคเบิลสามารถทดสอบกับสายได้เพียงขนาด 185 mm.² เนื่องจากยังไม่สามารถหาชุดควบคุมแรงดันได้ตามพิกัดขาเข้าหม้อแปลงกระแส (ขนาดพิกัดขาเข้า 36 แอมแปร์) โดยสามารถหาได้ขนาดพิกัดขาเข้า 23 แอมแปร์ จ่ายกระแสขาออกได้สูงสุด 830 แอมแปร์

โดยขณะนี้สามารถนำไปใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ Hot Line Bail Clamp Connector กับภาคอุตสาหกรรมได้

ส่วนสายเคเบิลถ้าจะนำไปทดสอบสายขนาด 240 mm.² ขึ้นไป ควรจะจัดหาชุดจ่ายแรงดันให้ได้ตามพิกัดดังกล่าว
เนื่องในการทำการทดสอบควรจัดหาห้องควบคุม ที่ทำการป้องกันสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากหม้อแปลงกระแสได้เป็นอย่างดีเนื่องจาก สนามแม่เหล็กนั้นจะส่งผลให้คอมพิวเตอร์ และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลผิดพลาดได้ ดังนั้นควรจัดให้ตัวหม้อแปลงที่ทำการทดสอบแยกจากชุดแสดงผลดังที่ได้กล่าวมา

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จได้เป็นอย่างดี โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง อันดับแรกจาก รศ. ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่อบรมสั่งสอนความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์การทดสอบจาก บริษัท ส.กมล เทรตดิ้ง จำกัด และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 ที่ให้การสนับสนุนเรื่องงบประมาณการจัดสร้างชุดทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิชิต ล้ายอง, "Electrical Machines I", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
- [2] สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์ และ อุเทน คำน่าน, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, กรุงเทพฯ, 2000
- [3] อรรถกร คุ่มทรัพย์, เอกราช วรกิจจานุวัฒน์ และ ธัชนี้ จองไพจิตรสกุล, "แหล่งจ่ายกระแสสูงเพื่อการวิเคราะห์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ Hot Line Bail Clamp Connector และ สายเคเบิลใต้ดิน", วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีการศึกษา 2546.
- [4] ANSI C119-4-1991, New Yoke, USA
- [5] IEC 60502-2 (1998), Geneva, Switzerland