การสร้างวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง 15 kV เพื่อใช้เป็นชุดทดสอบความบกพร่องของฉนวน

Design and Construction of 15 kV DC High Voltage circuit for used as tester insulation defect

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว[1] นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ[1] พูนศรี วรรณการ[1] และภควัต เกอะประสิทธิ์[2]

Supawud Nedphokaew[1], Nattachote Rugthaicharoencheep[1], Poonsri Wannakarn[1] and Pakawat Kerpasit[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

[2] Department of Machanical Engineering, Faculty of Industrial Education,

[1,2] Rajamangala University of Technology Phra Nakorn, Bangkok THAILAND.

*Corresponding Author E-mail: supawud.n@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการผลิตสายไฟฟ้า ก่อนที่จะมีการจัดจำหน่าย สายไฟฟ้าจะต้องผ่านการตรวจสอบ เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญเพื่อตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานของสายไฟก่อนถึงมือผู้บริโภค งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการสร้างวงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 kV เพื่อใช้ทดสอบความบกพร่องของฉนวน โดยการทำงานของระบบสร้างวงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 kV เพื่อใช้ทดสอบความบกพร่องของฉนวนนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ โดยผู้ใช้งานชุดวงจรทดสอบนี้ สามารถตรวจสอบและตั้งค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้

คำสำคัญ: สายไฟฟ้า,วงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง,ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This research presents cable manufacturing process prior to distribution Electrical cables must be inspected. It is one of the important processes to check the quality and standard of wires before reaching the consumer. This research presents the construction of a 15 kV DC voltage circuit. for testing insulation defects By working of the system generating a 15 kV DC voltage

circuit for testing insulation faults a microcontroller is used as a control device for the system by users of this test circuit can check and set short-circuit current.

Keyword: Electrical wires, DC Voltage Circuits, Microcontrollers

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟได้ขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วตามปริมาณการบริโภคเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ ก่อนที่จะมีการจัดจำหน่าย สายไฟจะต้องผ่านการตรวจสอบ ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญเพื่อตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานของสายไฟก่อนถึงมือผู้บริโภค ทั้งนี้กระบวนการในการตรวจสอบสายไฟจำเป็นต้องใช้เครื่องจักร เพื่อจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านแรงงานและมีความน่าเชื่อถือในด้านคุณภาพของกระบวนการผลิตสายไฟที่ค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากเทคโนโลยีของเครื่องจักรต้องพึ่งพาต่างประเทศ การออกแบบและพัฒนาเครื่องช่วยในกระบวนการตรวจสอบสายไฟแบบอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งจำเป็น

สายไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ภายในโรงงานไม่ว่าจะเป็นของ มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สวิตช์ หม้อแปลงไฟฟ้า ทั้งหมดเหล่านี้จะประกอบด้วยฉนวนไฟฟ้า ทองแดงหรืออะลูมิเนียมซึ่งใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่ฉนวนทางไฟฟ้าจะทำงานตรงกันข้ามกับตัวนำไฟฟ้า ทั้งนี้ฉนวนไฟฟ้าจะเป็นตัวต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า

ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มากที่สุดพลังงานหนึ่ง สังเกตได้จากสิ่งของเครื่องใช้ เครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ล้วนอาศัยพลังงานไฟฟ้าแทบทั้งสิ้น อุปกรณ์ไฟฟ้าจำเป็นต้องมีสายไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบแทบทุกชิ้นเพื่อเป็นสายส่งพลังงานไฟฟ้าให้อุปกรณ์ทำงาน สายไฟฟ้าที่นำมาใช้งานในการติดตั้งภายในหรือภายนอกฉนวนหุ้มสายไฟก็ต้องได้ตามมาตรฐาน ปัจจัยการเลือกสายที่มีคุณภาพ ก็คือ ฉนวนที่หุ้ม รอยรั่วของฉนวน พิกัดทนกระแส

2. ทฤษฎี

2.1 หม้อแปลงฟลายแบต

หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณพัลส์ สร้างไฟแรงดันสูง หลักการของการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นการนำสัญญาณพัลส์ความถี่สูงส่งเข้าที่อินพุตของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดัน จะเหนี่ยวนำแรงดันของสัญญาณพัลส์ให้มีแรงดันสูงขึ้นเป็นหมื่นโวลต์ ส่งผ่านไดโอดทนต่อแรงดันสูงแปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงที่มีแรงดันสูง โดยไดโอดทนแรงดันสูงที่ต่ออยู่ในหม้อแปลงฟลายแบคจะหันด้านแอโนดเข้าหาไฟสลับแรงดันสูงซึ่งเหนี่ยวนำมา โดยยอมให้แรงดันสูงด้านซีกบวกผ่านไปได้ ดังนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าระดับ

หมื่นโวลต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับพิกัดของหม้อแปลงแต่ละตัว และจากคุณสมบัติของหม้อแปลงฟลายแบต จึงได้แรงดันไฟฟ้าสูงไปประยุกต์ใช้กับการส่งจ่ายไฟ

2.2 วงจรฟลายแบตคอนเวอร์เตอร์

เมื่อวงจรการทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{T_{ON}\, x(N_s / N_P)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D$$

โดยที่ T = คาบเวลาการทำงานของ Q_1 เป็นวินาที

T_{ON} = ช่วงเวลาที่ Q_1 นำกระแส เป็นวินาที

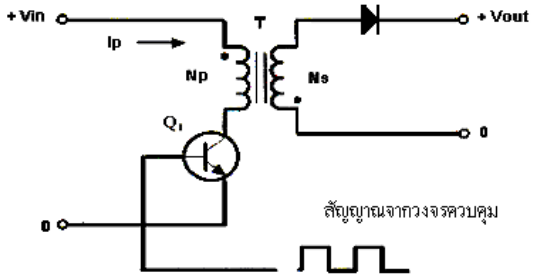
N_P = จำนวนรอบของขดไพรมารี่ เป็นรอบ

N_S = จำนวนรอบของขด Secondary เป็นรอบ

V_{out} = แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นโวลต์

V_{in} = แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นโวลต์

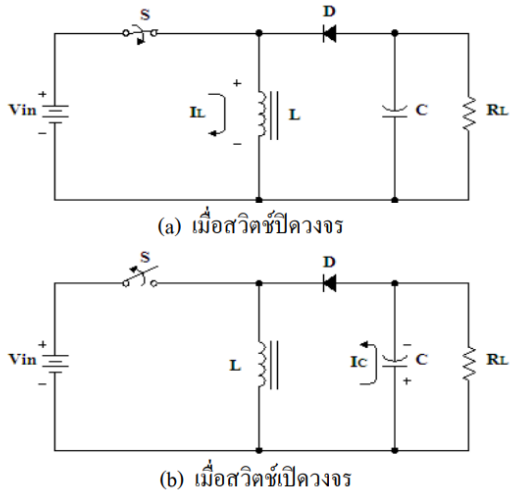
$V_{CE(sat)}$ = แรงดันคร่อม Q_1 ขณะนำกระแส



ภาพที่ 1 ลักษณะวงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

2.3 IC SG3525

IC SG3525 pluse width modurator control circuit เป็นไอซีแบบดิป 16 ขา มีหน้าที่สร้างความถี่หรือพัลส์ออกไปไดรอุปกรณ์ภายนอกเช่น ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟต ไอซีตัวนี้จะเห็นอยู่ใน Power Amp ในรถยนต์ dc to dc อยู่ที่เครื่องเชื่อม Invertor อยู่ในภาคจ่ายไฟของเครื่องเสียงกำลังสูง สเปกของไอซี ดังภาพที่ 2 ได้แก่

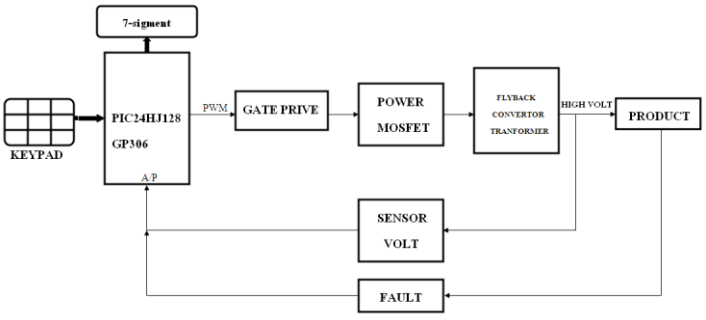


ภาพที่ 2 *FLYBACK CONVERTER* หรือ *BUCK – BOOST CONVERTER*
a) เมื่อสวิตช์ปิดวงจร b) เมื่อสวิตช์เปิดวงจร

ภาพที่ 2 แสดงวงจร *FLYBACK CONVERTER* ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อสวิตช์ *S* ปิดวงจร (ภาพที่ 2a) กระแสจะไหลผ่านขดลวด *L* เพื่อสะสมพลังงาน ในขณะที่ไดโอด *D* ได้รับการไบแอสกลับจึงทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมที่ R_L จนกระทั่งเมื่อสวิตช์ *S* เปิดวงจร (ภาพที่ 2b) ที่ขดลวด *L* เกิดการยุบตัวที่สนามแม่เหล็กรอบขดลวดจ่ายพลังงานที่ถูกสะสมไว้ให้กับไดโอด *D* ซึ่งไดโอด *D* ได้รับไบแอสตรงเกิดกระแสไหลมีทิศทางดังภาพและเป็นผลให้มีแรงดันตกคร่อมที่ R_L ในขณะที่มีขั้วตรงกันข้ามกับขั้วแรงดันอินพุท จากการทำงานของวงจร จะเห็นได้ว่าเกิดกระแสเหนี่ยวนำทั้งที่ด้านอินพุทและด้านเอาท์พุทซึ่งถ้าสวิตช์ *S* ปิด-เปิดวงจรอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้กระแสทั้งสองมีลักษณะเป็นพัลส์ (*PULSATING*) สังเกตได้ว่าขดลวดจะเก็บสะสมพลังงานในช่วงเวลาที่สวิตช์ *S* วงจรนั่นเอง

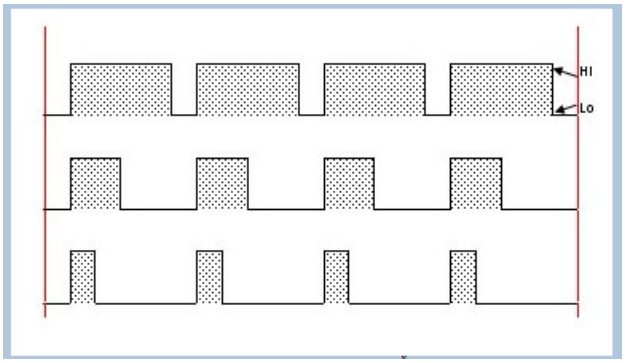
3. ลักษณะการการทำงาน

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแล้ว จึงทำการออกแบบในแต่ละส่วน ซึ่งส่วนต่างๆ ของชุดสปาร์ตเทสเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 kV ดังต่อไปนี้



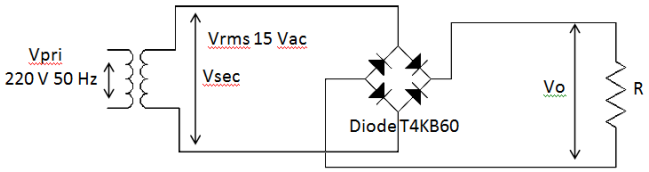
ภาพที่ 3 ไดอะแกรมลักษณะการทำงาน

บอร์ดควบคุม PIC24HJ128GP เมื่อมีทำการตั้งค่าสัญญาณพัลส์ หน่วย % Duty Cycle สามารถตั้งค่ากำหนดสัญญาณได้ และสามารถตั้งค่าการเกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงได้ถึง 1-15 kV ด้วย ทัชแพดควบคุมวงจรผ่านและส่งออกมาในรูปของ PWM รูปคลื่นจะกว้างหรือแคบจะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าผ่านอุปกรณ์ GATE PRIVE เพื่อเพิ่มกระแสให้มากขึ้นเพราะกระแสที่ออกจาก PIC24HJ128GP ค่าแรงดันจะต่ำ ผ่าน IC SG3525 ชุดควบคุม High Volt และผ่านอุปกรณ์ POWER MOSFET เพื่อควบคุมแรงดันก่อนจะจ่ายให้กับ FLYBACK CONVERTOR TRANFORMAR แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงให้สูงอีกที



ภาพที่ 4 Pulse *(ลูกคลื่น)* PWM

3.1 การสร้างวงจรทดสอบสายไฟฟ้า



ภาพที่ 5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ที่ V_{rms} 12 Vac

V_{rms} = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน (Effective Voltage)

V_p = ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Peak Voltage)

V_{av} = ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Voltage)

จาก
$$V_p = \sqrt{2} x V_{rms} \quad (3.1)$$

$$= 1.414 x 12$$

$$= 16.96V$$

$$V_{dc} = \frac{2V_{peak}}{\pi} \quad (3.2)$$

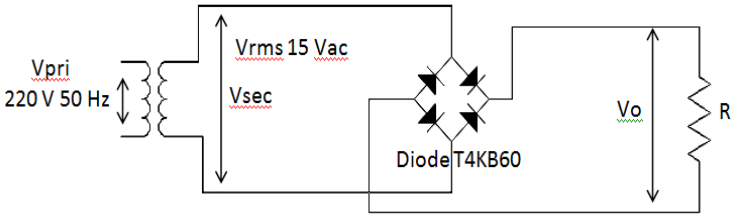
$$= 0.636 x 16.96$$

$$= 10.78V$$

$$V_{av} = 0.9 x V_{rms} \quad (3.3)$$

$$= 0.9x12$$

$$= 10.8V$$



ภาพที่ 6 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ที่

V_{rms} 15 VAC

จาก $V_p = \sqrt{2} x V_{rms}$

$$= 1.414 x 15$$

$$= 21.21V$$

$$V_{dc} = \frac{2V_{peak}}{\pi}$$

$$= 0.636 x 21.21$$

$$= 13.5V$$

$$V_{av} = 0.9 x V_{rms}$$

$$= 0.9x15$$

$$= 13.5\ V$$

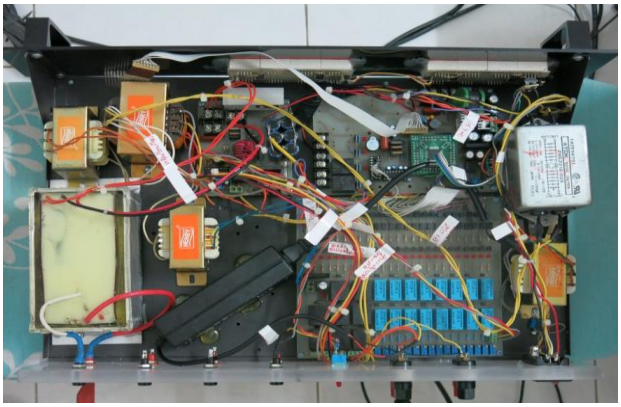
3.2 อุปกรณ์สร้างชุดทดสอบสายไฟฟ้า ชนิด THW

จากเครื่องสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 kVจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งอาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ดังนี้

3.2.1 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

- IC Pic24hj128gp306 1 ตัว
- IC DS1302 1 ตัว
- Diode Bridge 1 ตัว

- ตัวเหนี่ยวนำ (L) ขนาด 100 ไมโครเฮนรี่
- C ขนาด 2.2 ไมโครฟารัด 50 โวล์ต 2 ตัว
- ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก 2 ตัว
- C ขนาด 10 ไมโครฟารัด 6 โวล์ต 6 ตัว
- C ขนาด 1 ฟารัด 25 โวล์ต 2 ตัว
- C ขนาด 1000 ไมโครฟารัด 25 โวล์ต 2 ตัว
- C ขนาด 1000 ไมโครฟารัด 16 โวล์ต 3 ตัว
- Variable Resistor 2 ตัว
- หลอด LED 3 หลอด
- ตัวต้านทานขนาด 1 kΩ 10 ตัว
- Buzzer 12 Vdc 1 ชุด
- REG 7812 จำนวน 3 ตัว
- L (สีเขียวกลม) จำนวน 1 ชุด



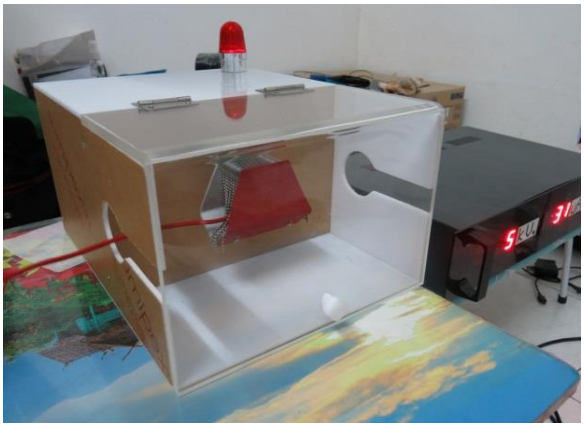
ภาพที่ 7 ภาพเครื่องสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 15 kV

3.2.2 อุปกรณ์สร้างชุดทดสอบ Bead Chain

- โซ่ลูดปัด (Bead Chain)

ภาพที่ 8 โซ่ลูดปัด (Bead Chain)

เมื่อเราได้อุปกรณ์ครบแล้วก็นำมาต่อเป็นชุดทดสอบสายไฟชนิด THW เบอร์ 2.5 , 4 , 6 , 10 , 16 และ 25 SQ.mm.เพื่อที่จะได้ตรวจสอบจุดบกพร่องฉนวนของสายไฟชนิด THW ดังแสดงในภาพที่ 3-16



ภาพที่ 9 ภาพวิธีการทดสอบสายไฟชนิด THW

4. ผลการทดสอบ

การทำการทดสอบผลงานวิจัยนั้นมีความจำเป็นต้องมีการทดสอบตัวชิ้นงานนั้นๆ ว่าเป็นจริงตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามามากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในแก้ไขให้ถูกต้องตามหลักการที่ออกแบบไว้ หรือให้ผู้ที่มีความสนใจรู้แนวทางที่จะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้ทำการทดสอบตามที่ได้ออกแบบไว้และนำมาบันทึกลงในบทนี้

ตารางที่ 4-1 มาตรฐานทดสอบแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำทดสอบกับสายไฟ

ความหนารัศมีตารางของชั้นภายใต้การทดสอบ (mm)		**ทดสอบแรงดันไฟฟ้า (kV)**
From	up to	d.c.
0	0.25	5
0.26	0.50	7
0.51	0.75	9
0.76	1.00	11
1.01	1.25	13
1.26	1.50	15
1.51	1.75	17
1.76	2.00	20
2.01	2.25	22
2.26	2.50	24
2.51	2.75	26
2.76	3.00	28

หมายเหตุ ตารางมาตรฐานการทดสอบอ้างอิงจากตาราง
การทดสอบของ IEC 62330 เป็นการทดสอบทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC.

ตารางที่ 4-2 ขนาดของ Bead chain ที่ความเร็วทดสอบ

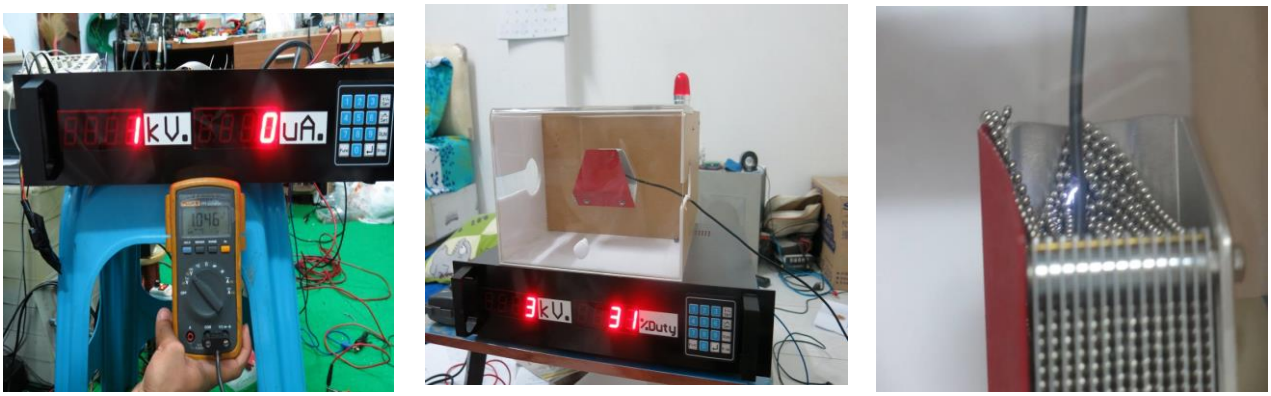
DST		**IEC 62230 วิธี Spark Tester**		
Electrode length	**mm.**	**ln**	**m/min**	**fl/min**
	2.0	0.078	120	393.72
	2.1	0.082	126	413.40
	2.2	0.086	12	433.09
	2.3	0.090	138	452.80
	2.4	0.094	144	472.40

	2.5	0.098	150	492.15
	2.6	0.102	156	511.80
	2.7	0.106	162	531.50
	2.8	0.110	168	551.20
	2.9	0.114	174	570.90
	3.0	0.118	180	590.58

เนื่องจากขนาดของ Bead chain อยู่ที่ 2.4 mm. หรือ 0.24 Cm. จะได้ความเร็วทดสอบอยู่ที่ 144 m/min หรือ 472.4 fl/min

โดย ที่ 2.4 mm = 0.24 Cm
1 Cm = 0.3937 ln
1 m = 3.281 fl
และ 1 ln = 2.54 Cm
คำนวณได้จาก1 Cm = 600 m/min
0.24 x 600 = 144 m/min
หรือ 144 x 3.281 = 472.4 fl/min

4.1 ภาพประกอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพที่ 9 การทดสอบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ภาพที่ 10 การทดสอบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
แรงดันสูงที่แรงดัน 15 kV

4.2.1 การทดสอบสายไฟฟ้า THW ขนาด 2.5 SQ.mm

ตารางที่ 4-3 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

แรงดันไฟฟ้า กระแสตรง (kV)	ค่าแสดงผลจาก Display (kV)	ค่าที่วัดจริงจาก มิเตอร์ (kV)
1	1	1.046
3	3	2.964
5	5	5.270
7	7	7.02
9	9	8.02
11	11	11.16
13	13	13.32
15	15	15.07

4.2 ตัวอย่างสายไฟที่นำมาทดสอบเป็นสายไฟฟ้า THW

4.3.1 สาย THW ขนาด 10 SQ.mm

4.3.2 สาย THW ขนาด 16 SQ.mm

4.3.3 สาย THW ขนาด 25 SQ.mm

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงผลการทดสอบสาย THW ขนาด 10 SQ. mm , ชำรุด 1 ตำแหน่ง , ที่ความหนาของฉนวน = 1 mm.

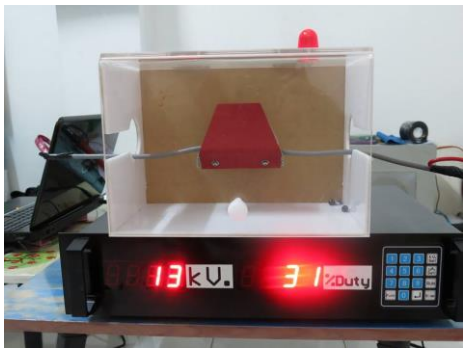
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง (kVDC)	แสดงการทำงานของ Alarm	แสดงการทำงานไฟสัญญาณ	ค่า % Duty Cycle ที่แสดงหน้าจอ	% Duty Cycle ที่ตั้งค่า	% Duty Cycle ครั้งที่ 1	% Duty Cycle ครั้งที่ 2
1 kV	√	√	14-15	20	21	21
3 kV	√	√	22-23	30	31	31
5 kV	√	√	15-16	20	21	21
7 kV	√	√	34-35	40	41	41
9 kV	√	√	42-43	50	51	51
11 kV	√	√	18-19	30	31	31
13 kV	√	√	24-25	30	32	32
15 kV	√	√	36-37	50	51	51

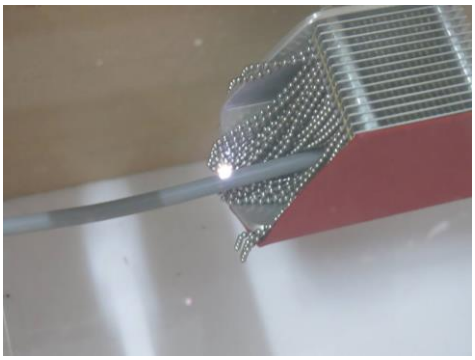
ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงผลการทดสอบสาย THW ขนาด 16 SQ. mm , ชำรุด 1 ตำแหน่ง , ที่ความหนาของฉนวน = 1 mm

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง (kVDC)	แสดงการทำงานของ Alarm	แสดงการทำงานไฟสัญญาณ	ค่า % Duty Cycle ที่แสดงหน้าจอ	% Duty Cycle ที่ตั้งค่า	% Duty Cycle ครั้งที่ 1	% Duty Cycle ครั้งที่ 2
1 kV	-	-	14-15	20	-	-
3 kV	-	-	22-23	30	-	-
5 kV	√	√	15-16	30	31	31
7 kV	√	√	34-35	40	41	41
9 kV	√	√	42-43	50	51	51
11 kV	√	√	18-19	25	27	26
13 kV	√	√	24-25	30	32	31
15 kV	√	√	36-37	45	46	47

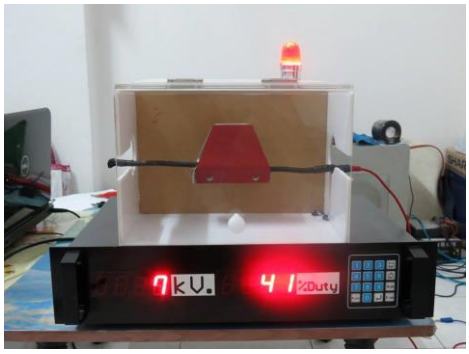
ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงผลการทดสอบสาย THW ขนาด 25 SQ. mm , ชำรุด 1 ตำแหน่ง , ที่ความหนาของฉนวน = 1.2 mm

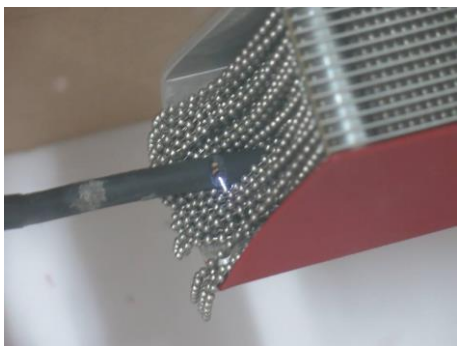
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง (kVDC)	แสดงการทำงานของ Alarm	แสดงการทำงานไฟสัญญาณ	ค่า % Duty Cycle ที่แสดงหน้าจอ	% Duty Cycle ที่ตั้งค่า	% Duty Cycle ครั้งที่ 1	% Duty Cycle ครั้งที่ 2
1 kV	-	-	14-15	20	-	-
3 kV	-	-	22-23	30	-	-
5 kV	√	√	15-16	20	21	21
7 kV	√	√	34-35	40	41	41
9 kV	√	√	42-43	50	51	51
11 kV	√	√	18-19	30	32	31
13 kV	√	√	24-25	30	32	31
15 kV	√	√	36-37	50	51	52



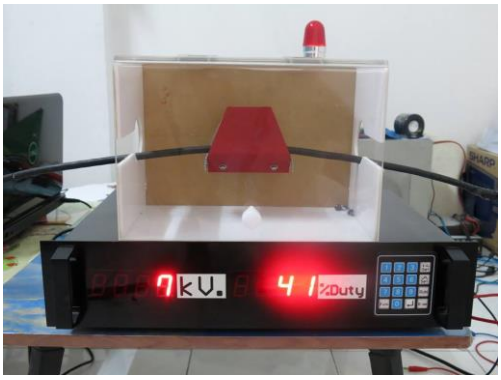


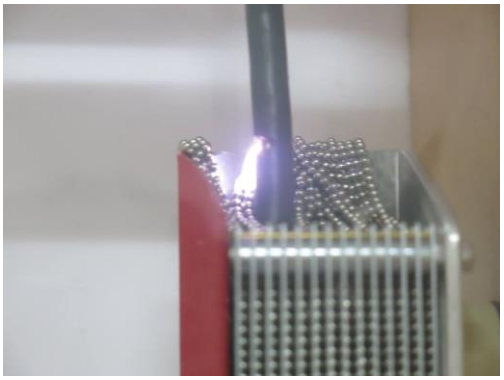
ภาพที่ 11 การทดสอบสายไฟขนาด 10 SQ.mm





ภาพที่ 12 การทดสอบสายไฟขนาด 16 SQ.mm





ภาพที่ 13 การทดสอบสายไฟขนาด 25 SQ.mm

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า การทดสอบหาจุดบกพร่องฉนวนของสายไฟ THW ขนาดของสายมีผลต่อการทดสอบที่การจ่ายแรงดันไฟฟ้า 1 kV และ 3 kV เนื่องจากฉนวนที่หุ้มสายไฟ THW ขนาดไม่เท่ากันโดยที่ขนาดต่างกัน 3 ขนาดคือ 10 Sq.mm สายไฟ THW ขนาด 16 Sq.mm. ความหนาฉนวนเท่ากับ 1 mm เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของแนวนของสายไฟ THW ขนาด 25 Sq.mm ความหนาฉนวนเท่ากับ 1.2 mm. เป็นผลทำให้ไม่สามารถตรวจจับจุดบกพร่องของฉนวนได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนคณะผู้วิจัยทำให้ผลการวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ส่งผลการดำเนินการวิจัยสำเร็จด้วยดีทุกประการ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว :ตำรา วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ,กรุงเทพฯ 2561.

[2] รศ.ดร. สำรวย สังข์สะอาด,"วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง "ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,มีนาคม พ.ศ.2536.

[3] พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ ," อิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม",กรุงเทพฯ : ซีเอ็นยูเคชั่น,2553.

[4] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ขันเงิน,วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง".พิมพ์ครั้งที่ 11.กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง,2554.