

**การวัดโคโรนาดีสชาร์จจากการทดสอบฉนวนแข็ง
ตามมาตรฐาน IEC 60243-1
A Corona Discharge Measurement for Solid Insulator Test
According to IEC 60243-1 Standard**

อติกร เสรีพัฒนานนท์ * พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ* และ ธนากร น้ำหอมจันทร์*

บทคัดย่อ

วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงในปัจจุบันให้ความสำคัญในการตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ก่อให้เกิดดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดกับฉนวนแข็ง จึงได้ทำการออกแบบวงจรตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วน ตัวเก็บประจุคัปเปิล และวงจรป้องกันแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง การวัดดีสชาร์จบางส่วนจะทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบฉนวนแข็ง IEC 60243-1 โดยทดสอบกับฉนวนแข็งชนิดโพลีเอสเตอร์ฟิล์ม จากผลการทดสอบพบว่า ปัจจัยที่ก่อให้เกิดดีสชาร์จบางส่วนเกิดจากค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดดีสชาร์จบางส่วนสูง เมื่อพิจารณาค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (η^*) ของอิเล็กโทรดผลการทดสอบพบว่าอิเล็กโทรดที่มีค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าต่ำจะส่งผลให้เกิดดีสชาร์จบางส่วนสูง และจากการเปรียบเทียบมุมเฟสของรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนพบว่า เป็นดีสชาร์จตามผิวซึ่งจะเกิดที่มุมเฟสระหว่าง $0^\circ - 90^\circ$ และ $180^\circ - 270^\circ$ อุปกรณ์จากงานวิจัยสามารถพัฒนาเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์การทดลองประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงได้ โดยเป็นวงจรที่ง่ายและมีความปลอดภัยแก่การใช้งาน

คำสำคัญ: ความเครียดสนามไฟฟ้า, ค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า

Abstract

High voltage engineering is aimed to currently focused it's interested in partial discharge measure occurring with high voltage equipment. This research study and analysis factors that causing a partial discharge on solid insulation. A partial discharge measure circuit, coupling capacitor and high voltage supply protection circuit was designed according to IEC 60243-1 standard. The results of the tests showed that. High electric field stress was bring about high partial discharge. When considering the field utilization factor (η^*) of the electrodes it was found that electrodes with the low field utilization

* อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

factor will result in high partial discharge. In comparison phase angle of the wave signal from detection circuit it was found that the partial discharge are of surface discharge type which always occur at the phase between 0° - 90° and 180° - 270° . The research equipment shall be developed as experimental equipment for high voltage engineering laboratory. Simple circuit and safe to use.

Keywords: Electric field stress, field utilization factor

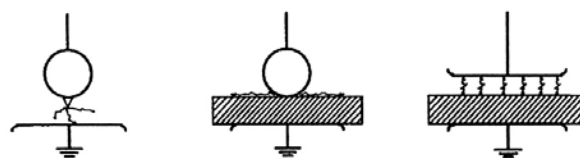
ความนำ

การเกิดดีสชาร์จบางส่วนเป็นจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนสภาพจากฉนวนไปสู่สภาพนำไฟฟ้าในลักษณะสปาร์ก เบรกดาวน์ หรือ อาร์ก ทำให้ฉนวนเสียหาย และมีอายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของฉนวนตามที่มาตรฐานกำหนด ในการเกิด ดีสชาร์จบางส่วนนั้นจะเริ่มเกิดเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต และ ค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (η^*) ที่ต่ำ จะส่งผลให้มีพลังงานสูญเสียตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของวัสดุที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต

ทฤษฎี

การตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน (partial discharge -- PD) สำรวย สังข์สะอาด. (2549) ดีสชาร์จบางส่วน คือ การเบรกดาวน์ที่ไม่สมบูรณ์ พลังงานที่ทำให้เกิดดีสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าได้ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโตรด เพราะฉนวนของอิเล็กโตรดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้าน ยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์มั่นคงอยู่ โดยจะเกิดขึ้นในลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต ดีสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ และ กระแสตรง ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ดีสชาร์จ

จะเกิดขึ้นซ้ำๆ ซ้ำๆ ไซเคิลของแรงดันโดยปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปสู่ค่ายอด



1) โคโรนา

2) ตามผิว

3.1) ภายในรอยต่อ

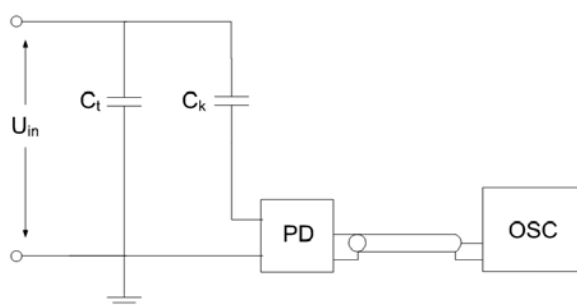


3.2) ภายในโพรงก๊าซ

3.3) ภายในมีสิ่งแปลกปลอม

ภาพ 1 ดีสชาร์จบางส่วน (PD)

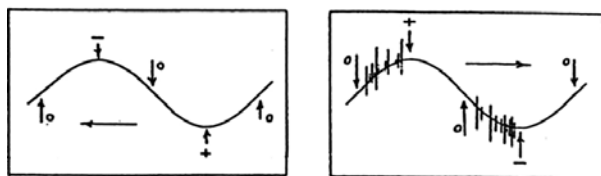
ดีสชาร์จบางส่วนอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดแบบคือ 1) โคโรนาดีสชาร์จ 2) ดีสชาร์จตามผิว และ 3) ดีสชาร์จภายใน โดยแสดงดังภาพ 1



ภาพ 2 วงจรตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนโดยวิธีตรง

การแสดงดิสชาร์จบางส่วนบนฐานเวลารูปคลื่นไซน์มีผลดีที่วัดขนาดได้ถูกต้อง และสังเกตตำแหน่งที่เกิดได้แน่นอน การแสดงบนฐานเวลารูปอิลิปส์มีข้อดีคือแยกได้ว่าดิสชาร์จบางส่วนเกิดจากสาเหตุอะไร

a) ฐานเวลารูปคลื่นไซน์ b) ฐานเวลารูปคลื่นไซน์



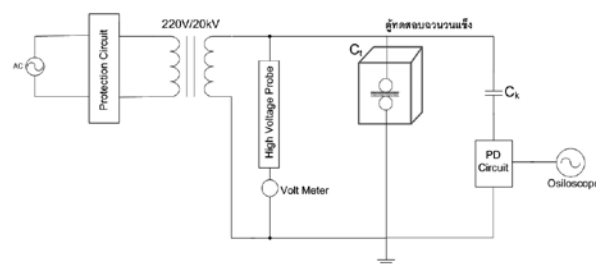
ภาพ 3 ผลของดิสชาร์จบางส่วนบนฐานเวลารูปคลื่นไซน์

ชนิด PD	การแสดงผล PD บนฐานเวลาแบบวงรี	ลักษณะแสดงบนฐานเวลารูปอิลิปส์
โคโรนา		เกิดที่มุมเฟส 270° ที่ U_i เมื่อ U สูงขึ้น ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดในช่วง 90°
ดิสชาร์จภายใน		จะเกิดที่มุมเฟส $0 - 90^\circ$ และ $180 - 270^\circ$
ดิสชาร์จตามผิว		จะเกิดที่มุมเฟสระหว่าง $0 - 90^\circ$ และ $180 - 270^\circ$

ภาพ 4 การแสดงผล PD บนฐานเวลาแบบวงรี

วิธีดำเนินการวิจัย

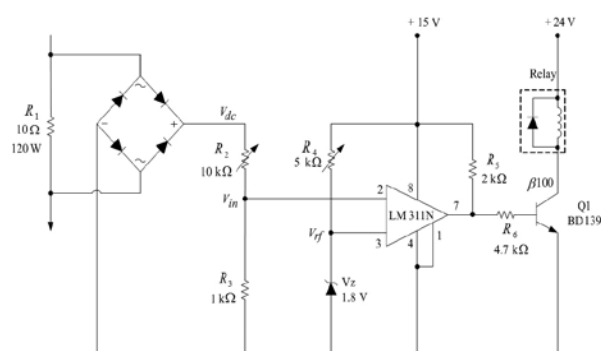
การออกแบบและสร้างชุดการวัดดิสชาร์จจากการทดสอบฉนวนแข็งตามมาตรฐาน IEC 60243-1 ได้ยึดถือหลักเกณฑ์การสร้างและทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60243-1 นำมาเป็นข้อมูลในการจัดทำ นอกจากนี้ก็ได้สร้างวงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนและตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวแบบตัวเก็บประจุในน้ำมัน โดยมีส่วนประกอบของการออกแบบดังนี้



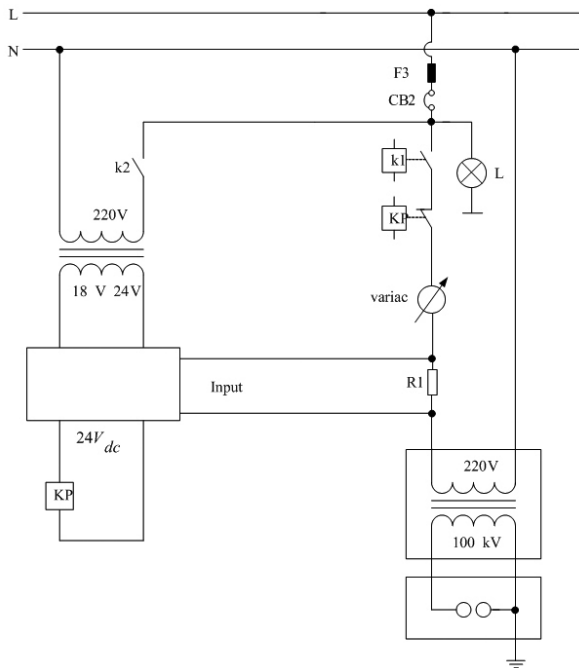
ภาพ 5 ส่วนประกอบของการออกแบบวงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วน

การออกแบบชุดป้องกันแหล่งจ่าย

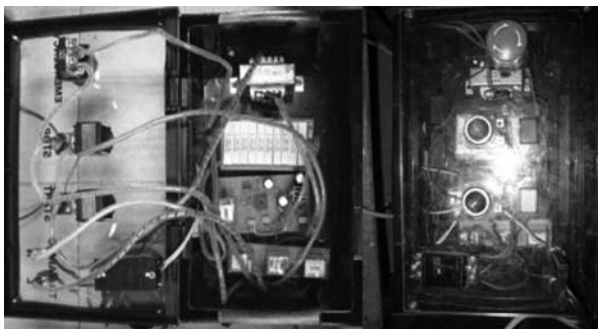
วิทยา ฉายทอง และคณะฯ(2543) หลักการทำงานของชุดป้องกันแหล่งจ่ายไฟฟ้าการทำงานของชุดป้องกันแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะทำงานก็ต่อเมื่อมีการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขา 2 และขา 3 ของออปแอมป์ (LM 311) ซึ่งขา 3 ของออปแอมป์ต่อเข้ากับซีเนอไรไดโอดเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ที่ $1.8 V_{dc}$ เมื่อเกิดการเบรกดาวน์ที่ขั้วอิเล็กโตรดทำให้มีกระแสไหลผ่านความต้านทาน R_1 ที่ต่ออนุกรมกับเอาต์พุตของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ทำให้มีแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_1 แรงดันที่ตกคร่อมนี้จะถูกกรองแรงดันให้เรียบจากวงจร Bridge- Rectifier และถูกแบ่งแรงดันให้ความต้านทาน R_2 , R_3 แรงดันที่ตกคร่อม R_3 เปรียบเทียบกับแรงดันที่คงที่ที่ตกคร่อมซีเนอไรไดโอดเท่ากับ $1.8 V_{dc}$ หากแรงดันตกคร่อม R_3 มากกว่าแรงดันที่ตกคร่อมขา 3 ของออปแอมป์ จะทำให้ออปแอมป์ ทำงานคอยล์ $24 V_{dc}$ สั่งให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ตัดการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดัน



ภาพ 6 วงจรป้องกันแหล่งจ่ายไฟ

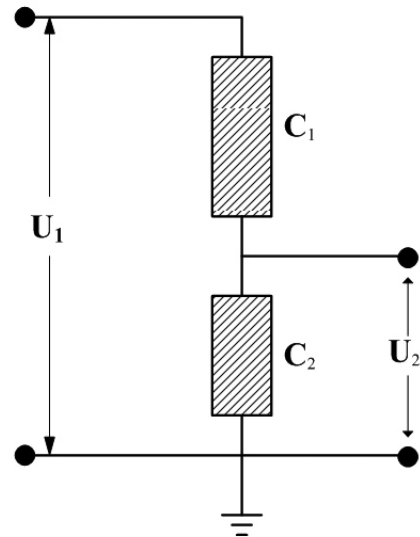


ภาพ 7 วงจรควบคุมการทำงานของวงจรป้องกัน



ภาพ 8 ชุดป้องกันที่ได้จัดสร้างขึ้น

การออกแบบตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว (C coupling, C_k) สำหรับ สังกะสีอะตอม (2549) ในการจัดสร้าง C coupling เพื่อลดทอนแรงดันก่อนที่จะเข้าวงจรภาครับดีสชาร์จบางส่วน โดยออกแบบแรงดันเข้า C_2 หรือ i/p ของ PD detector เท่ากับ $13 V_p$ ใช้หลักการเดียวกับการออกแบบ C divider ในน้ำมันหม้อแปลงดังในภาพ 9



ภาพ 9 องค์ประกอบตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว

เงื่อนไขต้องการ $C_k \geq 1000 pF$

เลือกใช้ตัวเก็บประจุ $47 pF$ พิกัดแรงดัน $630 V_{ac}$

จำนวน 46 ตัว แบบอนุกรม จะได้ $1021.739 pF$

รองรับพิกัดแรงดันสูงสุด $28.284 kV_p$

จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุต

$$U_2 = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) U_1 \quad 1$$

$$= \left(\frac{1021.739 \times 10^{-12}}{1021.739 \times 10^{-12} + 2200 \times 10^{-9}} \right) 28.244 kV_p$$

$$= 13.13 V_p$$

$\therefore C_k$ มีขนาดพิกัด $28.28 kV_p$, $C_1 = 1021.74 pF$,

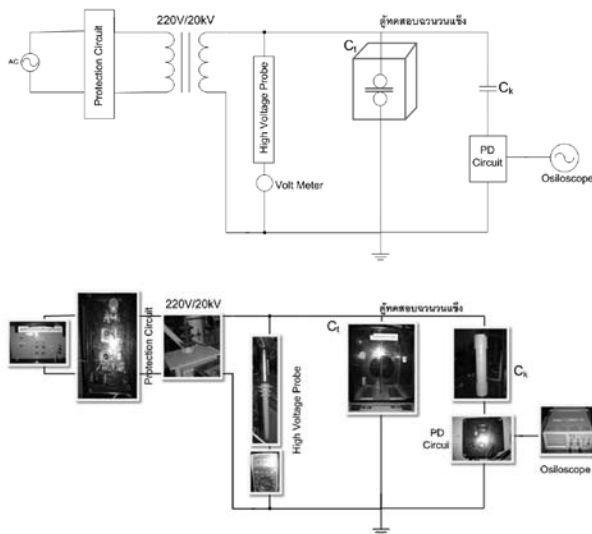
$C_2 = 2200 nF$ มีอัตราส่วน $2,153.19 : 1$



ภาพ 10 ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว (C coupling ; C_k)

ผลการวิจัย

ในการตรวจจับขนาดและรูปสัญญาณของการเกิด ดิสชาร์จบางส่วนบนฉนวนแข็ง โดยวิธีตรงมีการทดสอบ ด้วย ขั้วอิเล็กโทรด 3 แบบ คือ ทรงกลม - กลม (Sphere - Spheres), ทรงกลม - ระนาบ (Sphere - Disk) และ ทรงระนาบ - ระนาบ (Disk - Disk) กับฉนวนโพลีเอสเตอร์ ฟิล์มขนาด 4×4 เซนติเมตร ทำการต่อวงจร ดังภาพ 15 และปรับค่าแรงดันทดสอบ ตั้งแต่ 3 ถึง 7 kV_p ผ่านอุปกรณ์ การทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60243-1



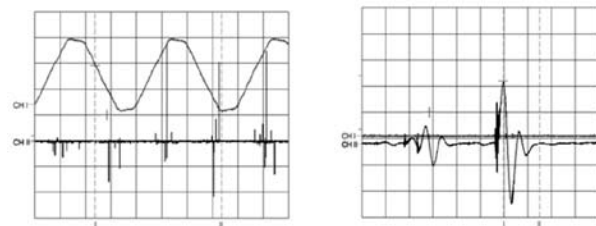
ภาพ 15 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วน

ตาราง 2

ผลการเกิดโคโรนาดีสชาร์จโดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสามแบบ และขนาดของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ได้จากการคำนวณ

แรงดันทดสอบ	ทรงกลม-ทรงกลม		ทรงกลม-ทรงระนาบ		ทรงระนาบ-ทรงระนาบ	
	แรงดัน เอาต์พุต เฉลี่ย (V _{p-p})	ค่า q (pC)	แรงดัน เอาต์พุต เฉลี่ย (V _{p-p})	ค่า q (pC)	แรงดัน เอาต์พุต เฉลี่ย (V _{p-p})	ค่า q (pC)
3kVp	0.045	62.5	0.332	461	0.132	183.33
4kVp	0.9386	944.44	0.624	866.67	0.3	414.82
5kVp	0.68	1,303.7	0.74	963.97	0.584	559.26
6kVp	1	1,388.89	0.693	1,037.04	0.435	603.7
7kVp	1.53	2,125	1.313	1,824.07	0.4	811.11

ตัวอย่างผลการทดสอบวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของ วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดีสชาร์จที่ได้จาก จากออสซิลอสโคปด้วยขั้วอิเล็กโทรดทรงกลม-ทรงกลม (Sphere-Spheres) ที่แรงดัน 7 kV_p โดย CH I คือ แรงดันอินพุต และ CH II คือแรงดันเอาต์พุต นำค่าของ แรงดันมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่า คือ แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย 1.53 (V_{p-p}) และค่า q = 2,125 (pC) ดังภาพ 16

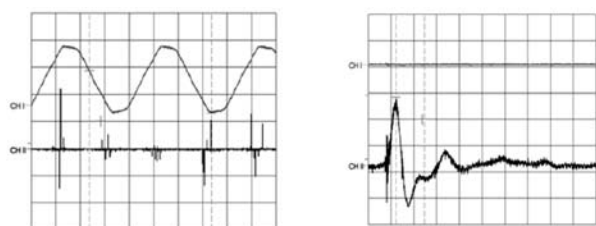


a) ขณะเกิดโคโรนาดีสชาร์จ

b) ภาพขยาย CH II

ภาพ 16 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด ทรงกลม-ทรงกลมที่แรงดัน 7 kV_p

ตัวอย่างผลการทดสอบวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของ วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดีสชาร์จที่ได้จาก ออสซิลอสโคปด้วยขั้วอิเล็กโทรดทรงกลม - ทรงระนาบ (Sphere - Disk) ที่แรงดัน 7 kV_p โดย CH I คือ แรงดันอินพุต และ CH II คือแรงดันเอาต์พุต นำค่าของ แรงดันมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่า คือ แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย 1.313 (V_{p-p}) และ ค่า q = 1,824.07 (pC) ดังภาพ 17



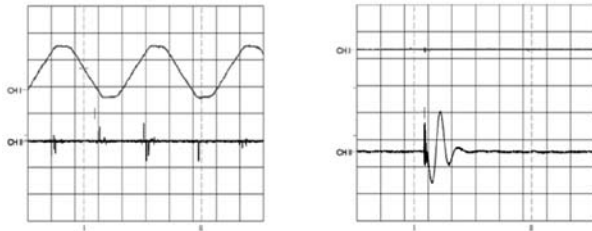
a) ขณะเกิดโคโรนาดีสชาร์จ

b) ภาพขยาย CH II

ภาพ 17 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด ทรงกลม-ทรงระนาบที่แรงดัน 7 kV_p

ตัวอย่างผลการทดสอบวัดค่าแรงดันเอาต์พุต ของวงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดีสชาร์จ ที่ได้จากจากออสซิลอสโคปด้วยขั้วอิเล็กโทรดทรงระนาบ -

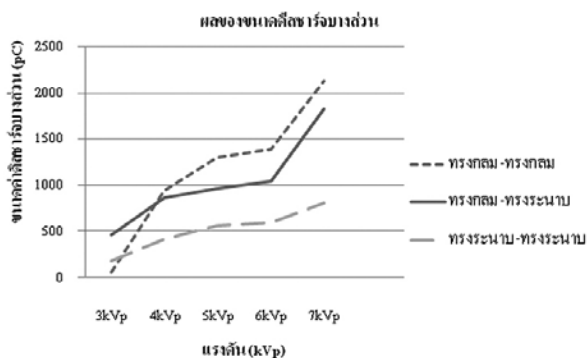
ทรงระนาบ (Disk - Disk) ที่แรงดัน 7 kV_p โดย CH I คือแรงดันอินพุต และ CH II คือแรงดันเอาต์พุต นำค่าของแรงดันมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งมีค่า คือ แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย 0.4 (V_{p-p}) และ ค่า q = 811.11 (pC) ดังภาพ 18



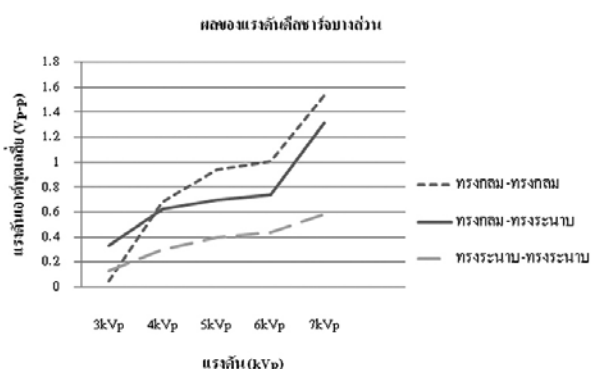
a) ขณะเกิดโคโรนาดีสชาร์จ

b) ภาพขยาย CH II

ภาพ 18 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยข้อวิเคราะห์ทรานซัน-ทรานซันที่แรงดัน 7 kV_p



ภาพ 19 ผลของขนาดดีสชาร์จบางส่วนโดยใช้ข้อวิเคราะห์ทั้งสามแบบ



ภาพ 20 ผลของแรงดันดีสชาร์จบางส่วนโดยใช้ข้อวิเคราะห์ทั้ง 3 แบบ

การคำนวณเป็นการหาขนาดของการเกิดดีสชาร์จบางส่วน (q)

$$q = \frac{V_{3(\text{peak})}}{[C_k/(C_k + C_t)]2BR_m A} \quad 2$$

- เมื่อ $V_{3(\text{peak})}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณเอาต์พุต $V_3(t)$
 C_k คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว
 C_t คือ ตัวเก็บประจุทดสอบกำหนดให้มีค่า 1 นาโนฟารัด
 ϵ คือ แฟกเตอร์สำหรับการตอบสนองแบบอิมพัลส์
 q คือ ขนาดของดีสชาร์จ (pC)
 B คือ แบนด์วิดท์สมมูล
 R_m คือ ความต้านทานสมมูลของอิมพีแดนซ์
 A คือ อัตราขยายรวมวงจรขยายหรือตัวกรอง

สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาและออกแบบวงจรป้องกันแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง วงจรวัดดีสชาร์จบางส่วน และค่าเก็บประจุคาบเกี่ยว (C_k) พบว่าวงจรในภาคส่วนต่างๆ สามารถทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบ การตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนจากการทดสอบจนวนแจ้งมาตรฐานการทดสอบ IEC 60243-1 พบว่าดีสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นจากการทดสอบจนวนแจ้งมีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดบนจนวนแจ้งมีค่าสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤติ แต่ไม่อาจทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้ หากแต่เกิดเพียงบางส่วน โดยภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับดีสชาร์จจะเกิดขึ้นซ้ำๆ ซ้ำๆ ไซเคิลของแรงดัน โดยปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปสู่ค่ายอดซึ่งในตัวอย่างภาพ 18 a) เป็นรูปคลื่นการเปรียบเทียบมุมเฟสสัญญาณจาก CH_1 และ CH_2 ในการเกิดดีสชาร์จบางส่วน พบว่าจากการทดสอบเป็นดีสชาร์จตามผิว (surface discharge) ซึ่งดีสชาร์จตามผิว (surface discharge) นี้จะเกิดที่มุมเฟสระหว่าง 0° - 90° และ 180° - 270° และเมื่อทำการขยายขนาดของสัญญาณใน CH_2 เพื่อวัดค่าขนาดแรงดันที่เกิดจากการทดสอบจนวนแจ้งด้วยข้อวิเคราะห์ทรานซัน-ทรานซัน, ทรานซัน-ทรานซัน และทรานซัน-

ทรงระนาบ มาคำนวณขนาดของดีสชาร์จตามผิว (q) ดังแสดงในตารางที่ 2 จากภาพ 19 เป็นความสัมพันธ์ของ แรงดันทดสอบและขนาดของดีสชาร์จตามผิวที่เกิดจากการทดสอบโดยค่าขนาดของดีสชาร์จตามผิวจะเพิ่มขึ้นตามค่าแรงดันทดสอบที่ป้อนและขนาดของดีสชาร์จตามผิวโดยอิเล็กโทรดทรงกลม-ทรงกลมจะมีขนาดสูงสุด รองลงมาคือทรงกลม-ทรงระนาบและทรงระนาบ-ทรงระนาบ ตามลำดับ จากการศึกษาค่าแฟลคเตอร์สนามไฟฟ้า (η^*) ของอิเล็กโทรดพบว่าขั้วทรงกลม-ทรงกลมมีค่าแฟลคเตอร์สนามไฟฟ้าต่ำ (สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง)

รองลงมาคือทรงกลม-ทรงระนาบ (สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย) และทรงระนาบ-ทรงระนาบ (สนามไฟฟ้าเสมอ) ตามลำดับจึงสรุปได้ว่าค่าขนาดของดีสชาร์จตามผิวจะเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดแรงดันที่ป้อนหรือใช้งานและขั้วอิเล็กโทรดที่ลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงจะส่งผลให้เกิดดีสชาร์จตามผิวสูง จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาจะสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงได้โดยมีวงจรที่ง่ายแก่การประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษาและมีความปลอดภัยต่อนักศึกษาด้วยวงจรป้องกันแหล่งจ่าย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ คิตขันธ์ และนายเอกศักดิ์ โยธารักษ์. (2549). *ชุดทดสอบฉนวนแรงดันสูง ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล*. ปรินธิพนธ์การศึกษาศึกษาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย.
- ณรงค์ ทองฉิม. (2533). *เครื่องตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง*. ปรินธิพนธ์การศึกษาศึกษามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฤทธิเดช เกาะหวาย และเสาวลักษณ์ จันท้าว. (2552). *การศึกษาเปรียบเทียบแฟลคเตอร์สนามไฟฟ้าในฉนวนเหลวและฉนวนอากาศ*. ปรินธิพนธ์การศึกษาศึกษาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย.
- วิทยา ฉายทอง, สมทบ บุญเมือง, อติกร เสรีพัฒนานนท์, และวิชัย เพิ่มเกียรติขจร. (2543). *ชุดทดสอบทางไฟฟ้าของสารฉนวนแข็ง*. ปรินธิพนธ์การศึกษาศึกษาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- สำรวย สังข์สะอาด. (2549). *วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำรวย สังข์สะอาด และณรงค์ ทองฉิม. (2533). *เครื่องตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Lam, H. (1979). *Analog and Digital Filters : Design and Realization*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Rizzoni, G. (1989). *Principles and Applications of Electrical Engineering*. Ohio: Ohio State University