

การตรวจนับการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้า กำลังโดยใช้การตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเล็ต*

อำนาจ สุขศรี¹⁾

¹⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email : amnart@elec.kku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและวิจัยเพื่อสร้างต้นแบบของเครื่องมือ ในการตรวจนับการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในขณะใช้งานได้ โดยอาศัยการตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่เกิดจากประกายไฟ ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้อยู่ในย่าน 200 นาโนเมตร โดยเครื่องตรวจจับรังสีด้วยหลอดยูวีตรอน มีหลักการทำงานคือ นำสัญญาณที่ได้ จากการตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยหลอดยูวีตรอน แล้วนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ส่งผ่านวงจรสวิทชิง เพื่อให้ได้สัญญาณ Square Wave จากนั้น นำสัญญาณที่ได้นี้มาส่งผ่านวงจรนับ เพื่อที่จะแสดงผลให้ทราบว่าเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขึ้นเป็นจำนวนทั้งหมดกี่ครั้ง

คำสำคัญ : รังสีอัลตราไวโอเล็ต, ประกายไฟ, จำนวนหม้อแปลง

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน 2548

Electric Sparks Detection in Power Transformer via Ultraviolet Detector *

Amnart Suksri¹⁾

¹⁾ Assistant Professor Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Email : amnart@elec.kku.ac.th

ABSTRACT

This research is the study and implementation of electric sparks detection in power transformer via the use of Ultraviolet ray detection. The aim of this research is to build a prototype that is fully function so that it can be used to detect the sparks activities that may occurs in power transformer. The response of UV detector is best optimum detected at the wavelength of 200 nanometers, which lies in the region of Ultraviolet spectrum (100-400 nm). In order to display the result, a switching circuit is needed so that it may form a detected square pulse suitable to send to the counter circuit to display the number of events of sparks activities in the transformer.

Keywords : sparks activities , UV, UV detection, Transformer

*

Original manuscript submitted: May 5, 2005 and Final manuscript received: November 2, 2005

บทนำ

การตรวจวัดการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนั้น มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่ออายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า ทั้งนี้การเกิดขึ้นของประกายไฟ อาจมีที่มาจากการเสื่อมสภาพ ของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า ในกรณีที่หม้อแปลงนั้นๆ เป็นชนิดหล่อน้ำมันก็อาจมีสาเหตุมาจากการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันฉนวนผนวกกับความเครียดของสนามไฟฟ้าในขดลวดของหม้อแปลง ทำให้เกิดประกายไฟ และจากการเกิดประกายไฟนี้เองที่ทำให้ฉนวนในหม้อแปลงค่อยๆเสื่อมสภาพลง ทีละน้อยๆ หากเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หรือเป็นประจำ ภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ก็อาจจะส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างถาวรต่อหม้อแปลงไฟฟ้า นั้นๆ และส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในที่สุด

การตรวจวัดการเกิดประกายไฟที่เกิดขึ้นในส่วนของขดลวดและฉนวนหม้อแปลงนั้น มีหลากหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งในอดีตได้มีวิธีวัดโดยการสุมวัตถุรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่งของการทดสอบและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่น ซึ่งจะต้องมีการตัดต่อวงจรไฟฟ้า อีกทั้งเครื่องมือในการตรวจวัดมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ ทำให้ไม่สะดวกต่อการทำงาน การตรวจวัดการเกิดประกายไฟในหม้อแปลง อาจทำได้อีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้เครื่องมือตรวจจับแบบแผ่ฟังเสียง ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อเกิดประกายไฟในส่วนของขดลวดและฉนวนหม้อแปลงแล้ว นอกจากจะมีปรากฏการณ์ทางด้านแสงดังที่ได้กล่าวยังมีปรากฏการณ์ทางด้านเสียงที่ตามมา ทำให้สามารถบ่งบอกได้ว่า มีการเกิดขึ้นของประกายไฟในหม้อแปลงนั้นๆ อย่างไรก็ตามการตรวจแผ่ฟังเสียงนั้น มีความไม่แน่นอนสูง เนื่องมาจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้น มีมาก ยากที่จะแยกแยะความชัดเจนได้

จากปรากฏการณ์ทางด้านแสงนี้เองที่ทำให้โครงการวิจัยนี้ ได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องมือการตรวจวัดการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากช่วงความยาวคลื่นของย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้น ค่อนข้างแคบซึ่งอยู่ในย่าน 100—400 นาโนเมตร ทำให้สามารถออกแบบเครื่องมือให้ตอบสนองเฉพาะย่าน อันจะส่งผลให้เกิดการแยกแยะของสัญญาณต่อการตรวจวัดที่ถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น

ทฤษฎีพื้นฐาน

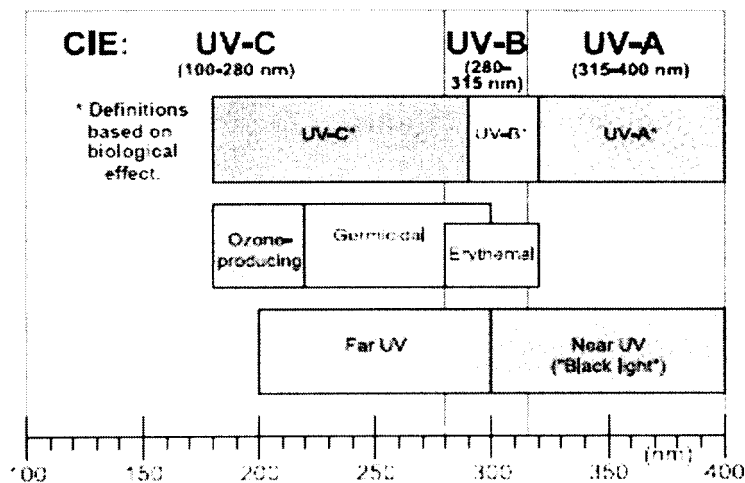
หม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ที่จัด ให้อยู่ใกล้กัน ได้แก่ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทั้งนี้เพื่อให้เส้นแรงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก ขดลวดปฐมภูมิไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิ และ เกิดการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันขึ้น โดยจัดให้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต่อเข้ากับขดลวดปฐมภูมิ และโหลด ต่อเข้ากับด้านทุติยภูมิ โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้งานอยู่ 3 แบบ ได้แก่

1. หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเพิ่ม หรือ ลด ขนาดแรงดันไฟฟ้า
2. หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเพิ่ม หรือ ลด ปริมาณกระแสไฟฟ้า
3. หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อ แมตซ์ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedances)

ซึ่งทั้ง 3 กรณี สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนจำนวนรอบ(Turns Ratio)ของขดลวดปฐมภูมิ เปรียบเทียบกับจำนวนขดลวดทุติยภูมิ โดยที่ อัตราส่วนขดลวด เป็นอัตราส่วนระหว่าง ขดลวดปฐมภูมิ กับ ขดลวดทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ อัตราส่วน ระหว่าง แรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวด ปฐมภูมิ กับทุติยภูมิ ดังที่จะได้กล่าวต่อไปนี้ ขดลวด (Turns ratio) เป็นอัตราส่วนระหว่าง ขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมินั่นเอง ในการใช้งานจริง ขดขดลวดปฐมภูมิ กับ ขดลวดทุติยภูมิ จะถูกคั่นด้วยฉนวนกระดาชเพื่อป้องกันความต่างระดับของแรงดัน หรือ เรียกอีกนัยหนึ่งว่าความต่างศักย์นั่นเอง ในกรณีที่ความต่างศักย์นั้นสูงมาก ๆ การฉนวนกระดาชจะต้องมีความหนามากยิ่งขึ้น ดังนั้นการเสื่อมสภาพ ของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า ผนวกกับความเครียดของสนามไฟฟ้าในขดลวดของหม้อแปลง ทำให้เกิดประกายไฟขึ้นซึ่งจะทำให้ฉนวนในหม้อแปลงค่อยๆเสื่อมสภาพลง ทีละน้อยๆ จนกระทั่งหมดสภาพในที่สุด

แถบรังสียูวี (UV Classifications)

ในย่านความยาวคลื่นแสงในช่วง อุลตราไวโอเลตนั้น เราสามารถ จำแนกชนิดของรังสียูวีได้ ออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน นั่นคือ ยูวี A ยูวี B และ ยูวี C ซึ่งแตกต่างกันในย่านความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 1

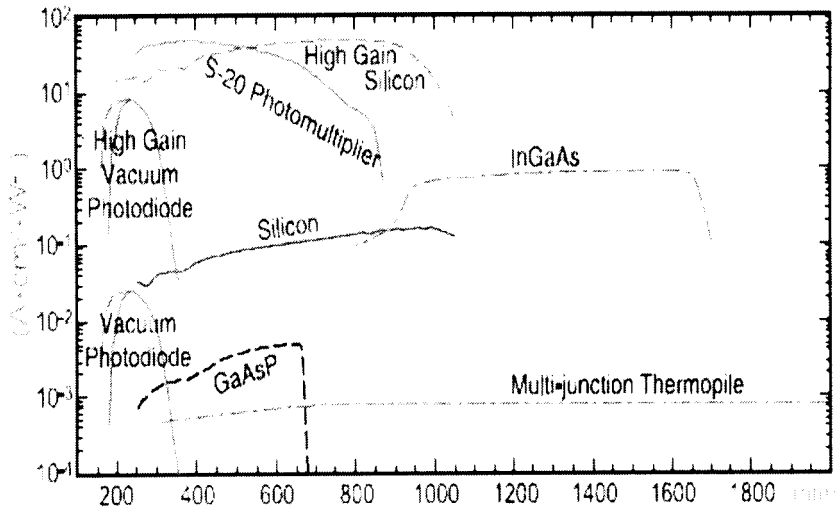


รูปที่ 1 ชนิดของรังสียูวีและความยาวคลื่นแสง

การเลือกอุปกรณ์ตรวจจับรังสี อุลตราไวโอเลต

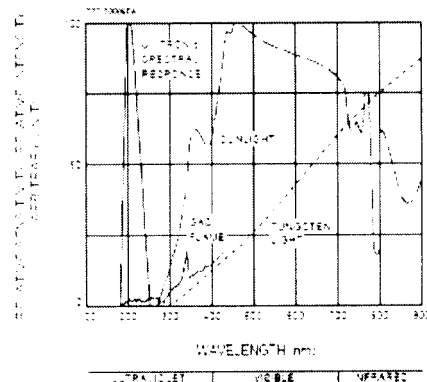
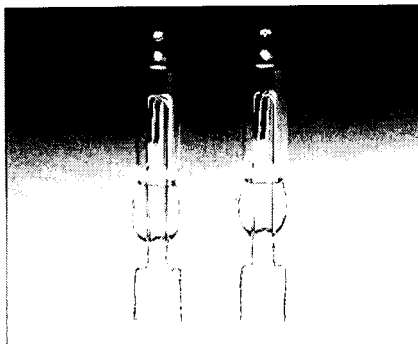
ความยาวคลื่นแสงในช่วง อุลตราไวโอเลต จะอยู่ในช่วง 100 nm – 400 nm ซึ่งเป็นช่วงที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก อุปกรณ์ที่จะนำมาตรวจจับที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ หลอดสูญญากาศโฟโตไดโอด เนื่องจาก หลอดสูญญากาศชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงาน คล้ายๆ กับหลอด Photo multiplier tube คือ

เมื่อมีแสงตกกระทบบที่หลอด ขั้วคาโทดจะปลดปล่อย อิเล็กตรอนอิสระออกมาทำให้มีกระแสไหลครบวงจร ส่งผลให้สามารถรับรู้ได้ว่ามีความยาวคลื่นแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตตกกระทบบหลอดแล้ว สำหรับย่านความยาวคลื่นแสงและชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสมนั้นแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ย่านความยาวคลื่นแสงและชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสม

จากรูปที่ 2 อุปกรณ์ที่จะนำมาตรวจจับที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ หลอดสูญญากาศโฟโตไดโอด หลอดยูวีตรอน R2868 ของบริษัท Hamamatsu ได้ถูกเลือกมาใช้งานในโครงการวิจัยนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของหลอดยูวีตรอนนั้น มีความทนทานและไวต่อความยาวคลื่นแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต (100nm–400 nm.) ซึ่งค่อนข้างแคบ และ จะมีความไวมากที่สุด ที่ความยาวคลื่น 200 nm. ลักษณะของหลอดยูวีตรอน จะมีลักษณะคล้ายๆกับหลอดสูญญากาศทั่วไป เพียงแต่มีขนาดเล็กกว่าหลอดไฟ ดังได้แสดงในรูปที่ 3

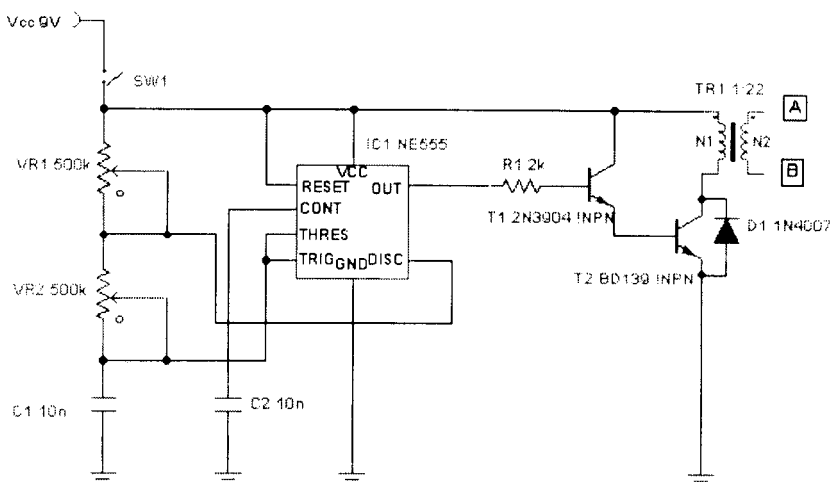


รูปที่ 3 หลอดยูวีตรอนและการตอบสนองของความไวต่อความยาวคลื่นแสง

การออกแบบวงจรและขั้นตอนการทดลอง

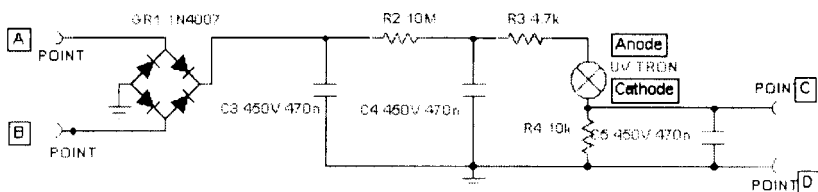
การออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรเพื่อการตรวจนับการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง มีวัตถุประสงค์โดย ออกแบบให้มีอุปกรณ์น้อยชิ้นเพื่อที่จะทำให้นาฬิกาของชิ้นงานมีขนาดเล็กและสะดวกต่อการนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังได้โดยไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวหม้อแปลงเอง วงจรที่แสดงในรูปที่ 4 เป็นวงจร Astable Multivibrator และ Flyback Converter เพื่อที่จะสร้างแรงดันสูงนำไปใช้กับหลอด ยูวิตรอน โดยมีการสวิตที่ ความถี่ 24 KHz และ Duty Cycle 50%



รูปที่ 4 วงจรฟลายแบคคอนเวิตเตอร์

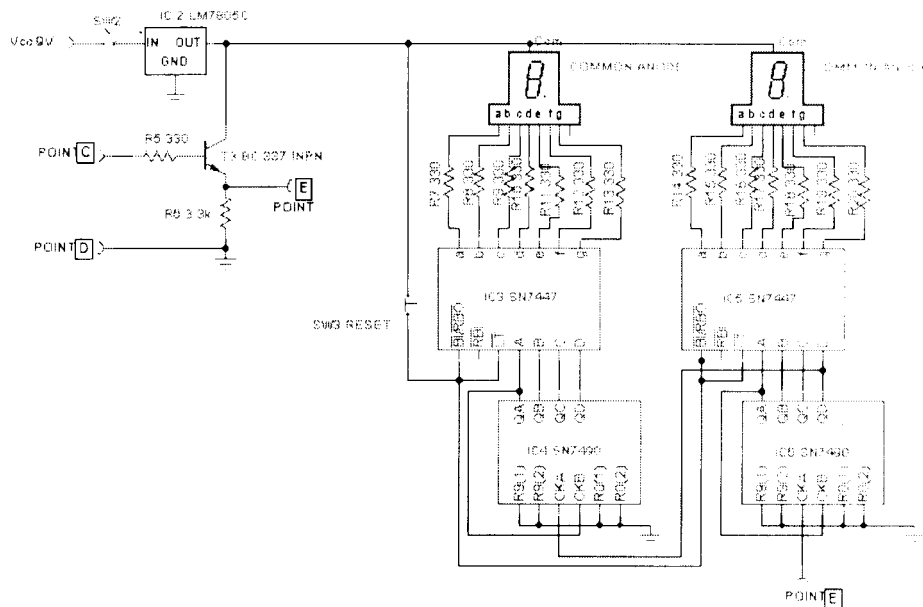
ส่วนของวงจรตรวจจับรังสี UV โดยหลอดยูวิตรอน ได้แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งหลอดยูวิตรอนใช้ไฟแรงดันสูง กระแสตรงในระดับ 325 โวลต์ ซึ่งแรงดันระดับนี้ได้มาจาก วงจรฟลายแบคคอนเวิตเตอร์ ในรูปที่ 4



รูปที่ 5 วงจรตรวจจับรังสียูวี โดยหลอดยูวิตรอน

ในส่วนของวงจรนับจำนวนครั้งที่มีการเกิดประกายไฟ ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 โดยมีการทำงาน ดังนี้ เมื่อหลอดยูวิตรอน ตรวจพบรังสียูวี หลอดยูวิตรอนจะอยู่ในสภาวะนำกระแส ซึ่งจะสร้าง แรงดันตกคร่อม ความต้านทาน R4 ซึ่งแรงดันที่ได้นี้ จะอยู่ในระดับ 40 ถึง 60 โวลต์ ดีซี จากนั้น แรงดันนี้ จะถูกลดทอนลง เพื่อ นำไปเป็นสัญญาณ ทริกเกอร์ สำหรับ ทรานซิสเตอร์ T3 เมื่อ

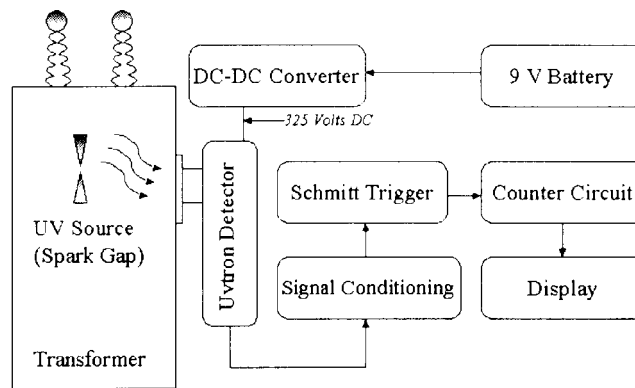
ทรานซิสเตอร์ T3 ทำงาน จะมีแรงดันตกคร่อม ความต้านทาน R6 แรงดันนี้เองที่นำไปเป็น สัญญาณ สำหรับการเริ่มต้นการนับจำนวนครั้งที่มีการเกิดประกายไฟ ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยการนับจะมีทั้งสิ้น 2 หลัก



รูปที่ 6 วงจรการนับจำนวนครั้ง 2 หลัก

ขั้นตอนการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองการตรวจจับรังสียูวี จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติของความไวเชิงมุมที่ใช้ในการตรวจวัดในแนวตั้งและแนวนอน โดยการทดลองจะเป็นการเลื่อนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดรังสียูวีที่ได้สร้างขึ้นเพื่อจำลองการเกิดประกายไฟตำแหน่งละ 10 องศาที่ระยะห่างจากชุดตรวจจับเป็นระยะทาง 2 เมตร เนื่องจากในการใช้งานจริงแล้ว ระยะตรวจสอบจะมีค่าไม่มากไปกว่า 2 เมตร เนื่องจากระยะทางนั้นถูกกำหนดด้วยขนาดของหม้อแปลง และ เพื่อป้องกันมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการกระจายสนามไฟฟ้าภายในหม้อแปลง เครื่องมือต้นแบบที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปติดตั้ง ณ ผนังด้านข้างของหม้อแปลง เพียงด้านเดียวเพื่อการทดสอบเบื้องต้น สำหรับขั้นตอนในการตรวจจับได้แสดงในรูปที่ 7 และผลการทดลองที่ระยะห่าง 2 เมตร ในแนวตั้งและแนวนอนได้แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะเป็นค่าแรงดันที่วัดได้จากความต้านทาน R4 ในวงจรรูปที่ 5

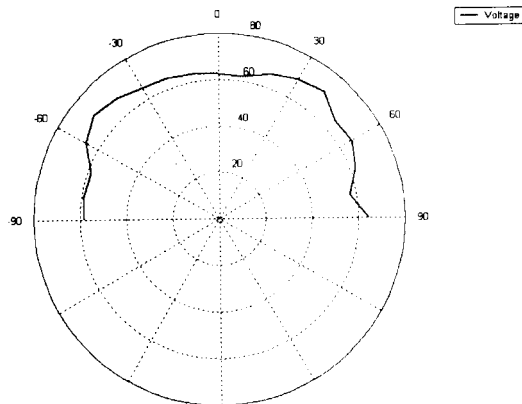


รูปที่ 7 ขั้นตอนในการตรวจจับสนิววีและการแสดงผล

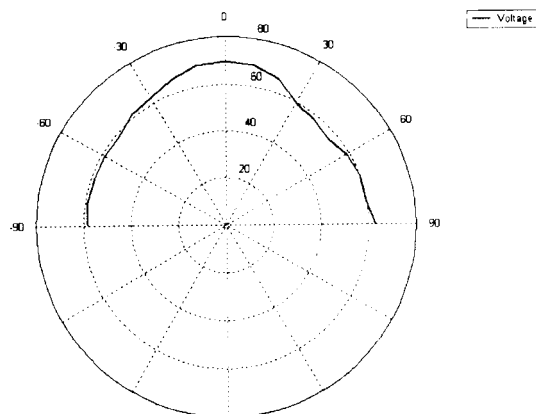
แนวตั้ง		แนวนอน	
มุม(องศา)	แรงดัน(โวลต์)	มุม(องศา)	แรงดัน(โวลต์)
-90	58.6	-90	58.6
-80	59.2	-80	59.2
-70	58.6	-70	58.6
-60	66.1	-60	58.85
-50	70.3	-50	58.6
-40	68	-40	61.4
-30	65.4	-30	62.5
-20	64.7	-20	66.08
-10	63.3	-10	68.95
0	62.6	0	69.6
10	61.9	10	68.95
20	66.08	20	66.08
30	68.9	30	59.67
40	71	40	58
50	65.4	50	56.4
60	66.1	60	58.85
70	62.6	70	60
80	57	80	59.7
90	64.3	90	63

ตารางที่ 1 ค่าแรงดันที่วัดได้จากหลอดยูวีที่ตำแหน่ง 2 เมตร ในแนวตั้งและแนวนอน

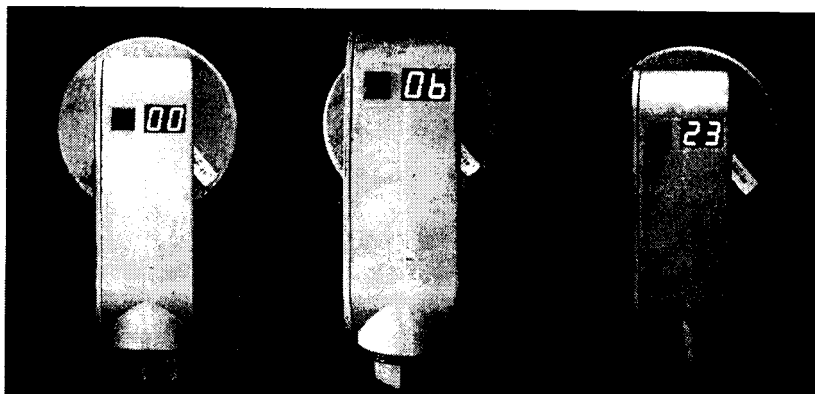
จากการทดลองการตอบสนองของหลอดยูวีตรอน ในแนวนอนในแนวนอนและแนวตั้ง ที่ระยะห่าง 2 เมตรโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 1 สามารถนำไปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตต่อมุมต่างๆในรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 ผลการตอบสนองของหลอดยูวีตรอนในแนวตั้งที่ระยะห่าง 2 เมตร



รูปที่ 9 ผลการตอบสนองของหลอดยูวีตรอนในแนวนอนที่ระยะห่าง 2 เมตร



รูปที่ 10 แสดงเครื่องต้นแบบของการตรวจนับการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ผลการทดสอบและอภิปราย

เนื่องจากการสร้างการตรวจนับการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยใช้การตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเครื่องต้นแบบและวงจรที่ใช้เป็นการออกแบบให้มีอุปกรณ์น้อยชิ้น ซึ่งจะมีปัญหาที่พบ อยู่ 4 ส่วนหลักๆคือ

1. ส่วนแสดงผล มีความไวต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งสัญญาณรบกวนก็คือ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากการเกิดประกายไฟ ซึ่งจะมีความเข้มสนามไฟฟ้ามาก และความเข้มสนามไฟฟ้านั้นเอง ที่เป็นตัวรบกวนส่วนแสดงผล
2. แหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้ไฟจากแบตเตอรี่ 9 โวลต์นั้น เมื่อประจุในตัวลดน้อยลง มีผลทำให้แรงดันที่ออกมาจาก วงจร DC – DC Converter มีการเปลี่ยนแปลงลดลงจากเดิมที่ 325 +/- 25 โวลท์
3. หลอดยูวีตรอนนั้น เมื่อตรวจจับ พบรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้ว จะต้องมีความถี่ตัวกลับคืนสู่สภาวะเดิมประมาณ 2-3 วินาที ดังนั้นเมื่อเกิดประกายไฟอย่างต่อเนื่อง จะตรวจสอบผิดพลาด ถ้าประกายไฟที่เกิดเป็นการเกิดในลักษณะเป็นช่วงๆ หลอดยูวีตรอนจะตรวจจับได้ดี
4. เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้เป็นเพียงต้นแบบ ดังนั้นการตรวจจับจึงถูกกำหนดขอบเขตไว้เพียงแค่การบ่งบอกว่ามีการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเท่านั้น

สรุปผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องตรวจนับการเกิดประกายไฟที่เกิดจากรังสียูวีในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยได้ทำการทดสอบกับเครื่องจำลองการเกิด ประกายไฟ ผลคือ เครื่องต้นแบบสามารถตรวจจับการเกิดประกายไฟได้จริง โดยความสามารถในการตรวจจับการเกิดประกายไฟ นั้นขึ้นอยู่กับองศา ณ จุดเกิดประกายไฟ กับหลอด UVtron ที่ติดตั้งกับหม้อแปลง โดยการทดสอบ การตรวจจับประกายไฟ จาก

Spark Gap กับเครื่องตรวจจับที่ได้สร้างขึ้น โดยทดสอบที่ระยะ 2 เมตร และเครื่องทดสอบสามารถตรวจจับรังสียูวี ได้ที่ระยะทางมากกว่า 2 เมตร โดยมีระยะสูงสุดประมาณ 10 เมตร แต่ในกรณีการใช้งานจริงแล้ว ระยะตรวจสอบจะมีค่าไม่มากไปกว่า 2 เมตร เนื่องจากระยะทางนั้น ถูกกำหนดด้วย ขนาดของหม้อแปลง ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องพัฒนาเรื่องของความไวในการตรวจจับ และการป้องกันสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้อง อีกทั้งนำไปทดลองใช้งานในด้านอื่นๆอีก ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้เงินงบประมาณกองทุนอุดหนุนโครงการการวิจัย ประเภททุนเริ่มต้นวิจัยสำหรับนักวิจัยหน้าใหม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุปกรณ์ ที่ใช้ในการตรวจจับปรากฏการณ์การวาวไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังกระแสสลับ ซึ่งได้มีพัฒนาการอยู่ไม่หยุดยั้งและขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเครื่องใช้ในการทดสอบและเครื่องมือในการปฏิบัติงาน ตลอดจนบุคลากรในภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- Alexander D. Ryer, 1997. **Light Measurements Handbook**, Technical Publications Dept., International Light Inc., 17 Graf Road. Newburyport, MA 01950-4092 USA, ISBN 09658356-9-3.
- C. L. Wadhwa, 2002. **High Voltage Engineering**, New Age International (P) Limited, Publishers, New Delhi.
- G. C. Stone, 1991. **Partial Discharge-Part VII: Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment**, IEEE Electrical Insulation, Vol. 7, No. 4, pp. 9-19.
- G. C. Stone, 1998. **Partial Discharge-Part XXV: Calibration of PD Measurements for Motor and Generator Windings**, IEEE Electrical Insulation, Vol. 14, No. 1, pp. 9-12.
- L. E. Lundgaard, 1992. **Partial Discharge- Part XIII: Acoustic Partial Discharge Detection-Fundamental Considerations**, IEEE Electrical Insulation, Vol. 8, No. 4, pp. 25-30.
- L. E. Lundgaard, 1992. **Partial Discharge- Part XIV: Acoustic Partial Discharge Detection-Practical Application**, IEEE Electrical Insulation, Vol. 8, No. 5, pp. 34-43.
- P. M. Eleftherion, 1995. **Partial Discharge XXI: Acoustic Emission-Based PD Source Location In Transformers**, IEEE Electrical Insulation, Vol. 11, No. 6, pp. 22-26.
- P. Morshuis, M. Jeroense, and J. Beyer, 1997. **Partial Discharge Part XXIV: The Analysis of PD In HVDC Equipment**, IEEE Electrical Insulation, Vol. 13, No. 2, pp. 6-16.
- T. J. Gallagher, A. J. Pearmain, 1983. **High Voltage Measurement, Testing and Design**, John Wiley & Sons Ltd., Great Britain.