

ระบบตรวจจับตำแหน่งที่เกิดดีสชาร์จบางส่วนสำหรับสายเคเบิลแรงสูง

นาย วิชัย วรรณะโสภณ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-730-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A PARTIAL DISCHARGE LOCATING SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE CABLE

MR. WICHAI WATTANASOPON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

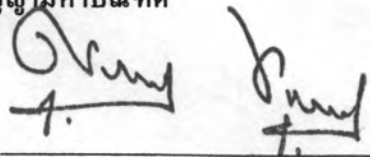
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-730-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบตรวจจับหาค่าแอมป์ที่เกิดคัสซาร์จบางส่วนสำหรับสายเคเบิลแรงสูง
โดย นาย วิชัย วรรณะโสภณ
ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ตำรวย สังข์สะอาด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์

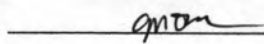
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

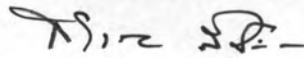
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



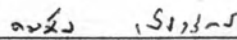
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ตำรวย สังข์สะอาด)



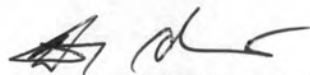
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

วิจัย วรรณะ โสภณ : ระบบตรวจจับหาดำแหน่งที่เกิดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับสายเคเบิลแรงสูง (A PARTIAL DISCHARGE LOCATING SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE CABLE)
อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สාරวย สังข์สะอาด, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. กมสัน เพ็ชรรักษ์ , 81 หน้า.
ISBN 974-636-730-7.

ในส่วนของ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาออกแบบ และสร้างเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD) แบบแถบกว้าง (Wide-band) เพื่อใช้สำหรับการตรวจหาดำแหน่งดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลแรงสูง ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC ที่สภาวะแวดล้อมปกติ โดยเป็นการพัฒนาต่อจากเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ระบบการวัดที่ใช้เป็นแบบวิธีตรง เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงออกแบบให้เครื่องตรวจจับว่ามีขนาดของ PD เกินมาตรฐานหรือไม่ ก่อนที่จะหาดำแหน่งที่เกิด PD ช่วงความถี่ที่ใช้วัดขนาดของ PD มีค่า 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 400 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่วนช่วงความถี่ที่ใช้ตรวจหาดำแหน่งของ PD จะอยู่ในช่วง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ความไวของเครื่องจะดีกว่า 5 พิโคคูลอมปี เมื่อใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิงที่มีขนาดมากกว่า 10 นาโนฟารัด ระบบตรวจจับหาดำแหน่ง PD นี้ได้รับการออกแบบให้มีลักษณะพิเศษเป็นตัวกรองความถี่อันดับสูง เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนย่านความถี่วิทยุและฮาร์โมนิกสูงๆ จึงสามารถใช้ตรวจจับ PD ของสายเคเบิลที่มีคาแบริเตอร์รีสติคิมพีแดนซ์ต่ำเพียง 10 โอห์มได้ การกำจัดสัญญาณที่ซิงโครไนซ์กับความถี่ของแหล่งจ่าย ซึ่งเกิดจากการทำงานของรีริสเตอร์ ทำได้โดยใช้วิธี "หน้าต่างเวลา" เครื่องตรวจจับ PD นี้ สะดวกต่อการใช้งาน และสามารถทดสอบในห้องที่ไม่มีชิลด์ได้ถ้าหากสัญญาณรบกวนมีขนาดไม่มากนัก

ชื่อผู้พิมพ์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C615813 : MAJOR

KEY WORD:

PARTIAL DISCHARGE / LOCATING SYSTEM / HIGH VOLTAGE / CABLE

WICHAI WATTANASOPON : A PARTIAL DISCHARGE LOCATING SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE CABLE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SAMRUAY SANGKASAAD, Ph.D. THESIS COADVISOR KOMSON PETCHARAKS, Ph.D. 81 pp. ISBN 974-636-730-7.


This Thesis presents the development, design and construction of a wide band partial discharge locating system, for detecting the location of partial discharge (PD) in a high voltage cable in accordance with IEC standard. This partial discharge locating system was developed on the basis of the partial discharge detector for high voltage equipment. The measuring system was a straight method and was basically designed to detect magnitude of PD. If the PD magnitude is higher than a specified value, the locating function will be operated. The detector has frequency band of 30 to 400 kHz for PD magnitude detection and 30 kHz to 5 MHz for PD locating system. To detect the location of PD in an extremely low characteristic impedance cable, e.g. 10 ohms, this detector still has a sensitivity of better than 5 pC when using a coupling capacitor of 10 nF or higher. The detector was designed to have a special performance as a high order band pass filter for suppressing noise at radio frequency range and high order harmonics. Therefore the detector can be used to measure PD at low characteristic impedance. The "Time Window" method is applied for eliminating the pulse interference by masking out main-synchronized interference signals. The PD locating detector is easily to operate. Measurement can be performed in a room without shielding when the environmental interference is not too high.

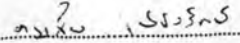
ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา..... 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 



กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของ รศ. ดร. สාරวย สังข์สะอาด ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ ทองฉิม ผู้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างสูงในด้านความรู้ และประสบการณ์ เพื่อให้ผลงานวิจัยดำเนินไปด้วยดีเสมอมา รวมทั้งการสนับสนุนช่วยเหลือทั้งร่างกาย และความคิดจากมิตรสหาย นิสิตรุ่นน้อง และท่านอื่นที่มีได้กล่าวไว้ในที่นี้

ฉ โอกาสนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจศึกษา และนิสิตรุ่นต่อไป หากมีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญภาพ | ณ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำทั่วไป | 1 |
| 1.1 บทนำ | 1 |
| 1.2 ที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.3 ประวัติการศึกษาวิจัยการวัดคิศจารังบางส่วน | 2 |
| 1.4 วัตถุประสงค์ และขอบข่ายของงานวิจัย | 3 |
| 2 ทฤษฎี และหลักการการตรวจจับหาดำแหน่งคิศจารังบางส่วนในสายเคเบิล | 4 |
| 2.1 วงจรสมมูลคิศจารังภายใน | 4 |
| 2.2 วงจรสมมูลของคิศจารังบางส่วนในสายเคเบิล | 5 |
| 2.3 รูปคลื่นแรงดัน และกระแสเมื่อเกิดคิศจารังบางส่วน | 6 |
| 2.4 หลักการหาดำแหน่งของ PD | 7 |
| 2.5 วงจรทดสอบ PD | 12 |
| 2.6 หลักการหาดำแหน่ง PD ในสายเคเบิล | 13 |
| 2.7 การวัด PD ในสายเคเบิล | 17 |
| 2.8 ความไวของเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งของ PD | 18 |
| 3 การออกแบบ และประกอบสร้าง | 22 |
| 3.1 ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งคิศจารังบางส่วน | 22 |
| 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งคิศจารังบางส่วน | 22 |
| 3.3 การออกแบบวงจรเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งคิศจารังบางส่วน | 23 |
| 3.4 การออกแบบ และการคำนวณ INPUT UNIT | 27 |
| 3.5 การคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำ | 30 |
| 3.6 การออกแบบหม้อแปลงแบบแถบกว้าง | 32 |
| 3.7 หม้อแปลงสายส่งชนิด Unbalance to Unbalance | 34 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

| | |
|---|----|
| 3.8 การคำนวณสัญญาณรบกวน | 36 |
| 4 การทดสอบ และประเมินผล | 43 |
| 4.1 การทดสอบคุณสมบัติของเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งศิษย์บางส่วน | 43 |
| 4.2 การทดสอบรูปร่างพัลส์ | 48 |
| 4.3 การทดสอบรูปคลื่นพัลส์คู่ | 52 |
| 4.4 การทดสอบการสะท้อนกลับแบบปลายปิด | 52 |
| 4.5 การทดสอบผลการทดลองด้วยการป้อนแรงดันจริง | 52 |
| 4.6 การทดสอบเครื่องกำเนิดพัลส์มาตรฐาน | 59 |
| 5 สรุป และข้อเสนอแนะ | 60 |
| 5.1 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับหาดำแหน่งศิษย์บางส่วน | 60 |
| 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ | 61 |
| รายการอ้างอิง | 63 |
| ภาคผนวก | 65 |
| ภาคผนวก ก | 66 |
| ภาคผนวก ข | 79 |
| ภาคผนวก ค | 80 |
| ประวัติผู้วิจัย | 81 |

สารบัญภาพ

| | | |
|--------|--|----|
| ภาพที่ | | |
| 2.1 | วงจรสมมูล PD ทั่วไป | 4 |
| 2.2 | แบบจำลองการเกิด PD ในเคเบิลยาว และวงจรสมมูล | 5 |
| 2.3 | แรงดันคร่อมโพรงอากาศและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ขณะเกิด PD | 6 |
| 2.4 | ลักษณะของกระแส PD ในทางทฤษฎีสำหรับโพรงอากาศเล็กๆ | 7 |
| 2.5 | วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับ PD | 8 |
| 2.6 | แทน PD ด้วยวงจรสมมูลแบบต่างๆ | 9 |
| 2.7 | ลักษณะสเปกตรัมและการตอบสนองความถี่ต่างๆ | 11 |
| 2.8 | วงจรทดสอบที่ต่ออิมพีแดนซ์วัดได้ตัวเก็บประจุกับปลิง | 12 |
| 2.9 | วงจรทดสอบที่ต่ออิมพีแดนซ์วัดได้วัสดุทดสอบ | 12 |
| 2.10 | แสดงการเกิด PD ในเคเบิล | 13 |
| 2.11 | แสดงคลื่นจลน์ที่มีการสะท้อนไปกลับ | 13 |
| 2.12 | ลักษณะ PD ที่เกิดจากโพรงอากาศขนาด 0.5 มิลลิเมตร | 14 |
| 2.13 | แสดงถึงสัญญาณจะลดทอนมากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น | 16 |
| 2.14 | วงจรวัด PD ในสายเคเบิล | 17 |
| 3.1 | การต่อวงจรต่างๆเข้าด้วยกัน | 24 |
| 3.2 | วงจรหาตำแหน่งที่เกิด PD | 25 |
| 3.3 | วงจรหาขนาด PD | 26 |
| 3.4 | วงจรสมมูล | 27 |
| 3.5 | วงจร INPUT UNIT | 28 |
| 3.6 | รูปแสดงวงจรสมมูลของหม้อแปลงความถี่แถบกว้างและการพัน | 33 |
| 3.7 | แสดงการต่อวงจรหม้อแปลงสายส่ง | 35 |
| 3.8 | วงจรสมมูลการเกิดสัญญาณรบกวน | 36 |
| 3.9 | ผลตอบสนองแรงดันพัลส์ขนาด 1 pC ความต้านทาน 10 โอห์ม | 40 |
| 3.10 | ผลตอบสนองแรงดันพัลส์ขนาด 1 pC ความต้านทาน 10 โอห์ม $C_k = 4$ nF | 41 |
| 3.11 | ผลตอบสนองแรงดันพัลส์ขนาด 1 pC ความต้านทาน 10 โอห์ม $C_k = 10$ nF | 42 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | | |
|--------|---|----|
| ภาพที่ | | |
| 4.1 ก | แสดงวงจรทดสอบ | 43 |
| 4.1 ข | แสดงลักษณะแบนด์วิดท์ | 44 |
| 4.2 | ภาพแสดงสัญญาณขาออกวงจรรับสัญญาณ PD | 45 |
| 4.3 | วงจรการเกิดชุปเปอร์โพสิชัน | 45 |
| 4.4 | ไดอะแกรมพัลส์คู่ | 46 |
| 4.5 | วงจรถอดความไว | 47 |
| 4.6 | วงจรถอดหาตำแหน่งเกิด PD | 48 |
| 4.7 | แสดงสัญญาณการสะท้อนกลับของพัลส์ที่ระยะ 200 เมตร | 49 |
| 4.8 | แสดงสัญญาณการเกิดพัลส์ตรวจจับผ่าน โพรบ | 50 |
| 4.9 | แสดงสัญญาณการเกิดพัลส์ตรวจจับผ่านเคเบิล | 51 |
| 4.10 | แสดงพัลส์คู่ | 53 |
| 4.11 | แสดงการสะท้อนของพัลส์คู่เมื่อปลายสายลัดวงจร | 54 |
| 4.12 | แสดงสัญญาณพัลส์ที่ $X = 130$ เมตร | 55 |
| 4.13 | แสดงการสะท้อนของรูปคลื่นในสายเคเบิลจริง | 57 |
| 4.14 | แสดงรูปร่างของสัญญาณรบกวน | 58 |
| 4.15 | พัลส์คู่สำหรับการเปรียบเทียบ | 59 |