สแตติครีเลย์สำหรับการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

นายพิพัฒน์ หงษ์ลดารมภ์

002043

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
แผนกวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ. ศ. 2519

I16686929

STATIC RELAY FOR TRANSFORMER PROTECTION

Mr. PIPAT HONGLADAROM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1976

บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ

การศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(ศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ ..... ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. จรวย บุญยุบล)

..... กรรมการ

(ผศ. ดร. ไพโรจน์ เฟื่องขุระ)

..... กรรมการ

(ผศ. ดร. สุทิน เวทย์วัฒนะ)

..... กรรมการ

(นายประสาตร พยัคฆพันธ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ดร.ชัชชัย สุมิตร

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง "สแตติคริเลย์สำหรับการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า"

โดย นายพิพัฒน์ หงษ์ลดารมภ์

แผนกวิชา วิศกรรมไฟฟ้า

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สแตติครีเลย์สำหรับการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

ชื่อ นายพิพัฒน์ หงษ์ลดารมภ์ แผนกวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2518

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการศึกษาถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้หม้อแปลงเสียหาย รูปแบบที่ใช้ในการป้องกันหม้อแปลงและการออกแบบสร้างสแตติครีเลย์ สำหรับการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้ ไอ.ซี (Integrated circuit) เป็นส่วนประกอบวงจรหลักให้เป็นรีเลย์ที่รวมการทำงานทั้ง 3 ลักษณะที่จำเป็นไว้ในตัวเดียวกัน คือ มีลักษณะโอเวอร์เคอร์เรนท์แบบเวลาผันกลับ (Inverse time O.C.) โอเวอร์เคอร์เรนท์แบบทันที (Instantaneous O.C.) และดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential)

คุณสมบัติโอเวอร์เคอร์เรนท์แบบเวลาผันกลับ ของสแตติครีเลย์ที่ออกแบบสร้าง สามารถตั้งค่าเริ่มทำงานได้โดยต่อเนื่องในช่วง 4A ถึง 10A (สำหรับใช้กับหม้อแปลงกระแสชนิด 5A) ค่าถ่วงเวลา (Time delayed)แปรผันกลับค่อนข้างโดยตรงกับปริมาณกระแส ซึ่งตั้งได้ 10 ตำแหน่ง (10 ไดอัล (Dial))

คุณสมบัติโอเวอร์เคอร์เรนท์แบบทันที (Instantaneous O.C.) สามารถตั้งค่าให้ทำงานได้โดยต่อเนื่อง ในช่วง 4 เท่า ถึง 10 เท่า ของค่าเริ่มทำงาน (Pick up ของโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบเวลาผันกลับ

คุณสมบัติดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential) สามารถตั้งค่าเปอร์เซ็นต์ไบอัสโดยต่อเนื่องในช่วง 20 % ถึง 50 % โดยสามารถปรับแก้ค่าแตกต่าง (Mismatch) ได้โดยตลอด Continuous adjusted) พร้อมทั้งมีคุณสมบัติการต้านจากฮาร์โมนิคที่ 2 (2 nd harmonics restraint) ที่มีปริมาณมากเป็น16.5 % ของฟันดาเมนทอล (Fundamental) ด้วย

สแตติครีเลย์ที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับรีเลย์แบบใช้งานอยู่โดยทั่วไป สามารถนำไปใช้งานได้ แต่ต้องเพิ่มส่วนที่จะไปบังคับวงจรภายนอก (Output) ซึ่งไม่ได้ออกแบบสร้างไว้ให้เหมาะสมกับระบบที่จะนำไปใช้งานนั้น โดยไม่ยุ่งยากนัก

Thesis Title Static Relay for Transformer Protection

Name Mr. Pipat Hongladarom.

Department of Electrical Engineering.

Academic Year 1975

ABSTRACT

This thesis presents the study of failures of power transformer, schemes for transformer protection and the design and construction of a static relay for transformer protection using I.C. (Integrated Circuit) as basic components. The relay includes 3 necessary functions i.e. inverse time overcurrent, instantaneous overcurrent and differential.

The inverse time over current of the relay has continuous pick up current setting from 4 to 10 A (for use with current transformer rated 5 A). The operating time of the unit varies inversely and almost proportionally to the operating current and there are 10 dial settings for this function.

Instantaneous over current has continous pick up current setting from 4 to 10 time the pick up current of the inverse time over current.

Differential unit has continuous percent bias setting from 20 % to 50 %. The relay can be continuously adjusted to correct the mismatch error and also has the 2nd harmonics restraint characteristic which is 16.5 % of the fundamental.

This static relay produces functions similar to those of typical relays used commonly.

The relay could be used in the protection of transformer if a suitable out put unit is added.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้เพราะผู้เขียนได้รับความสนับสนุน คำแนะนำ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก นายประสาตร พยัคฆพันธ์ ทั้งทางด้านความสะดวกจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองและส่วนประกอบวงจรบางอย่าง และทั้งในด้านความรู้และหนังสืออ้างอิงต่าง ๆ และ ดร. ชัชชัย สุมิตร ซึ่งได้กรุณาให้ความรู้เพิ่มเติม ทั้งได้กรุณาอ่านต้นฉบับแก้ไขตั้งแต่ต้นจนจบด้วย ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดี ในการรวบรวมข้อมูล และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ และขอขอบคุณ น.ส. สุรีย์ บุญประเสริฐ ที่ได้ช่วยจัดเตรียมต้นฉบับ

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ญ

รายการภาพประกอบ ..... ฏ

บทที่

๑ บทนำ 1

๒ การเสียหาย ของหม้อแปลงไฟฟ้า 5

๓ การป้องกันหม้อแปลง 27

๔ การป้องกันหม้อแปลงแบบที่ใช้งาน 52

๕ สแตติครีเลย์สำหรับการป้องกันหม้อแปลง 70

๖ สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ 138

หนังสืออ้างอิง 144

บรรณานุกรม 145

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
๒.๑	เทอร์มอลไทม์คอนสแตนท์ (Thermal time constant) สำหรับหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ	7
๒.๒	ความต้านทาน (Impedance) ของหม้อแปลงชนิด ๓ เฟส	9
๒.๓	กระแสฟอลต์ (Fault) ที่หม้อแปลงขนาดต่าง ๆ ทนได้	10
๒.๔	การทดลองแรงดันชั่วขณะ (Impulse voltage test) ต่อหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ	14
๓.๑	การตั้งการใช้งานของรีเลย์แบบบุคโฮลส์ (Bucholz relay)	31
๓.๒	ขนาดฟิวส์ (Fuse) ที่ใช้งาน	34
๓.๓	ค่าเฉลี่ยของกระแสแมกนิไทซ์ (Magnitizing current) ในหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ	47
๓.๔	ค่าเฉลี่ยของยอดสูงสุด (Peak) ของกระแสแมกนิไทซิ่งอินรัช (Magnitizing inrush current)	48
๓.๕	ขนาดของฮาร์โมนิก (Harmonics) ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระแสแมกนิไทซิ่งอินรัช	48
๕.๑	แรงดันตกคร่อม (Voltage drop) ความต้านทาน ๐.๐๒ โอห์ม (Ohm) ที่กระแสต่าง ๆ	92
๕.๒	แรงดันตกคร่อมความต้านทาน ๒๐๐ กิโลโอห์ม หลังหม้อแปลง T_1 และ T_2	93
๕.๓	ค่ามุมแตกต่าง (Phase shift) หลังหม้อแปลงที่กระแสต่าง ๆ	95
๕.๔	แรงดัน V_{dc} ที่กระแสต่าง ๆ	98
๕.๕	แรงดันที่ตำแหน่งความถี่ต่าง ๆ ซึ่งผ่านวงจรกรองย่านความถี่ 50 Hz. ผ่าน	119

๕.๖ แรงดันที่ตำแหน่งความถี่ต่าง ๆ ซึ่งผ่านวงจรกรองย่านความถี่ 100 Hz. ผ่าน 120
๕.๗ เวลาในการทำงานที่กระแต่าง ๆ ของรีเลย์โอเวอร์เคอร์เรนท์แบบผันกลับ (Inverse time over current relay)..... 129
๕.๘ ลักษณะการทำงานที่กระแสต่าง ๆ ของดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential)ที่ตั้งเปอร์เซ็นต์ไบอัส (Percent bias) ๒๐ %..... 133
๕.๙ ลักษณะการทำงานที่กระแสต่าง ๆ ของดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential) ที่ตั้งเปอร์เซ็นต์ไบอัส (Percent bias) ๔๐ % 133

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
๑.๑	ระบบกำลังไฟฟ้าอย่างง่าย	1
๒.๑	เทอร์มอลไทม์คอนสแตนท์ (Thermal time constant)	6
๒.๒	รูปแสดงคลื่นแรงดัน 20 KV. ที่ตกกระทบ (V_i) แล้วสะท้อนกลับ (V_r) รวมเป็นแรงดันผ่าน (V_t) ระหว่างสายส่งและหม้อแปลง	11
๒.๓	รูปแสดงคลื่นกระแส 57.1 A ตกกระทบ (I_i) แล้วสะท้อนกลับ(I_r) รวมเป็นกระแสผ่าน (I_t) ระหว่างสายส่งและหม้อแปลง	12
๒.๔	สตาร์/เดลตา ๒ ชั้น (Star/Double Delta)	22
๒.๕	เดลตา/สตาร์ ๒ ชั้น (Delta/double star)	22
๒.๖	การต่อแบบสกอต (Scott connection)	23
๒.๗	การต่อแบบเลอบลังค์ (Le blanc connection)	23
๒.๘	การต่อแบบสกอต ๒ ชั้น (Double scott)	23
๒.๙	รูปแสดงกระแสฟอลต์ลงดินในขดลวดที่ต่อสตาร์ต่อผ่านความต้านทานลงดิน	25
๒.๑๐	กระแสฟอลต์ลงดินในขดลวดที่ต่อสตาร์ต่อลงดินโดยตรง	26
๒.๑๑	กระแสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเทอร์น (Turn) ต่อจำนวนเทอร์นที่ถูกช้อต	26
๓.๑	หลักการของรีเลย์แบบบุคโฮลส์ (Bucholz relay)	30
๓.๒	รูปรีเลย์แบบบุคโฮลส์ที่ใช้งานจริง	30
๓.๓	รูปแสดงการติดตั้งรีเลย์แบบบุคโฮลส์	32
๓.๔	หลักการของรีเลย์ที่ทำงานด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงโดยเร็ว	32
๓.๕	รีเลย์ที่ทำงานด้วยแรงดันเปลี่ยนแปลงโดยเร็วแบบใหม่	33
๓.๖	การจัดแบบใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ (Over current relay)	35
๓.๗	คุณลักษณะของโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบผันกลับกับเวลา	36

๓.๘ รูปแบบของกราวด์โอเวอร์เกอร์เรนท์รีเลย์ (Ground over current relay) 37
๓.๙ การจัดแบบเรสทริคเออร์ทรีเลย์ (Restricted earth relay)..... 38
๓.๑๐ รูปแสดงรายละเอียดของรูป ๓.๙ 38
๓.๑๑ หลักการของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential relay)..... 39
๓.๑๒ จำนวนของขดลวดที่ป้องกันได้ เมื่อหม้อแปลงต่อด้วยความต้านทานขนาดเท่าหม้อแปลงลงดิน 41
๓.๑๓ รูปแบบของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล 41
๓.๑๔ C.T. เออร์เรอร์และคุณลักษณะของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล (C.T. error curve & differential relay characteristics) 42
๓.๑๕ การจัดแบบใช้รีเลย์สำหรับขดลวด ๒ ชุด ป้องกันหม้อแปลงชนิดขดลวด ๓ ชุด 42
๓.๑๖ การจัดแบบใช้รีเลย์สำหรับหม้อแปลงที่มีขดลวด ๓ ชุด 43
๓.๑๗ รูปคลื่นแรงดันและฟลักซ์ (Flux) 44
๓.๑๘ คุณลักษณะแมกนิไตสิ่ง (Typical magnitizing characteristic).... 44

๓.๑๙ รูปคลื่นแรงดันและฟลักซ์ 45
๓.๒๐ วิธีหากระแสอินรัชจากคุณลักษณะของกระแสเอ็กไซต์ (Derivation of Inrush current wave from excitation characteristics).... 45
๓.๒๑ รูปกระแสอินรัช (Typical inrush current)..... 46
๓.๒๒ แบบตัวอย่างการใช้งานหม้อแปลง 46
๓.๒๓ ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสอินรัช 49
๓.๒๔ รูปคลื่นที่เกิดอินรัชโดยไม่มีออฟเซท (Offset) เนื่องจากโย้ก (Yoke) อิ่มตัว (Saturated) 50

๓.๒๕ วงจรพื้นฐานของรีเลย์ที่มีการต้านจากฮาร์โมนิกที่สอง (2nd Harmonic) 51

๔.๑ รีเลย์ชนิดใช้จานเหนี่ยวนำแบบผันกลับ (Induction-disc inverse time over current relay)..... 54

๔.๒ คุณลักษณะของความเร็วจานเทียบกับเวลา 57

๔.๓ คุณลักษณะของการเคลื่อนที่ของจานเทียบกับเวลา 58

๔.๔ คุณสมบัติการผันกลับต่าง ๆ (Time current characteristics)..... 59

๔.๕ รูปแสดงคุณลักษณะผันกลับ (Timecurrent characteristics) แบบต่าง ๆ ของ Westinghouse รีเลย์ 60

๔.๖ รีเลย์แบบโซลินอยด์ (Solenoid type)..... 61

๔.๗ รีเลย์แบบคานสมดุลย์ **(Balance beam.type)**..... 62

๔.๘ รีเลย์แบบแคลปเปอร์ **(Clapper type)**..... 62

๔.๙ รูปแบบที่จะใช้รีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล 63

๔.๑๐ โครงสร้างง่าย ๆ ของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล 63

๔.๑๑ โครงสร้างของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียลที่ปรับปรุงแล้ว 64

๔.๑๒ ชุดฮาร์โมนิกเรสเทรนต์ (Harmonics restraint unit) 65

๔.๑๓ รูปแบบง่าย ๆ ของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียลที่ใช้บริดจ์คอมแพเรเตอร์ (Bridge comparator) 65

๔.๑๔ รูปคลื่นขณะรีเลย์ทำงาน..... 66

๔.๑๕ รูปคลื่นขณะรีเลย์ไม่ทำงาน..... 66

๔.๑๖ คุณลักษณะเปอร์เซ็นต์ไบอัส (Percent bias characteristics)..... 69

๕.๑ รูปแบบรวงรีเลย์ด้วยกแบบเป็นส่วนๆ(Block Diagram) 71

๕.๒ ตำแหน่งการต่อความต้านทาน r 72
๕.๓ ตำแหน่งการต่อหม้อแปลง T 73
๕.๔ วงจรดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล ฟีดแบค แอมปลิฟาย..... 75
๕.๕ วงจรสร้างลักษณะผันกลับ..... 76
๕.๖ ลักษณะแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ 77
๕.๗ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน..... 78
๕.๘ วงจรเปรียบเทียบแรงดันสำหรับโอเวอร์เคอร์เรนท์แบบทันที..... 78
๕.๙ วงจรดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล ฟีดแบค แอมปลิฟาย..... 79
๕.๑๐ วงจรอินทีกริท เกน มัลติเพิล ฟีดแบค..... 81
๕.๑๑ วงจรอินทีกริท เกน มัลติเพิล ฟีดแบค หลังเปลี่ยนแปลงครั้งที่ ๑ 81
๕.๑๒ วงจรอินทีกริท เกน มัลติเพิล ฟีดแบค หลังเปลี่ยนแปลงครั้งที่ ๒ 82
๕.๑๓ ลักษณะของย่านความถี่ผ่าน..... 84
๕.๑๔ รูปวงจรกรองย่านความถี่ผ่านแบบแอคตีฟ..... 84
๕.๑๕ วงจรเปรียบเทียบแรงดันสำหรับชุดดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล..... 87
๕.๑๖ วงจรเปรียบเทียบแรงดันสำหรับชุดดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลสมบูรณ์..... 88
๕.๑๗ รูปวงจรละเอียดของส่วนรับกระแส..... 89
๕.๑๘ รูปวงจรละเอียดของส่วนเรียงกระแสขนาน..... 96
๕.๑๙ รูปวงจรละเอียดของส่วนปรับรูปให้กระแส.....100
๕.๒๐ วงจรแยกแรงดันบางส่วนใช้ทดลอง.....103
๕.๒๑ รูปวงจรละเอียดของส่วนสร้างลักษณะผันกลับและเปรียบเทียบแรงดัน.....104
๕.๒๒ รูปแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ.....106
๕.๒๓ แสดงเวลาที่ตำแหน่งไดอัลต่าง ๆ 107
๕.๒๔ รูปแสดงเวลาการทำงานของรีเลย์ที่ m ค่าต่าง ๆ เมื่อตั้งไว้ที่ไดอัล 10.....108
๕.๒๕ คุณลักษณะผันกลับของรีเลย์.....109
๕.๒๖ รูปวงจรละเอียดของส่วนเปรียบเทียบแรงดันสำหรับโอเวอร์เคอร์เรนท์แบบทันที..110

๕.๒๗ รูปวงจรละเอียดของส่วนหักลบกัน..... 112
๕.๒๘ รูปวงจรละเอียดของส่วนกรองความถี่เฉพาะผ่านแบบแอคตีฟ..... 115
๕.๒๙ วงจรละเอียดของส่วนเรียงกระแสและกรองเรียบ..... 123
๕.๓๐ วงจรละเอียดของส่วนเปรียบเทียบแรงดันสำหรับชุดดิฟเฟอร์เรนท์เชียล... 124
๕.๓๑ สแตติครีเลย์สำหรับการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า..... 127a
๕.๓๒ สแตติครีเลย์พร้อมเครื่องมือในการทดลอง..... 127b
๕.๓๓ รูปแบบสำหรับทดลองโอเวอร์เคอร์เรนท์..... 128
๕.๓๔ รูปแบบสำหรับทดลองหน้าที่ดิฟเฟอร์เรนท์เชียล..... 132
๕.๓๕ รูปแบบสำหรับการทดลองฮาร์โมนิคเรสเทรนท์..... 136
๖.๑ รูปแบบแสดงการต่อใช้รีเลย์แบบเก่าทั้ง ๓ หน้าที่ ป้องกันหม้อแปลง..... 138
๖.๒ รูปแบบแสดงการต่อใช้รีเลย์ที่ออกแบบ..... 139

รูปกราฟที่

๑ รูปลักษณะแรงดันต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่กระแสต่าง ๆ..... 94
๒ รูปแสดงวงจรย่านความถี่สำหรับ 50 Hz และ 100 Hz..... 121
๓ คุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ที่ออกแบบเปรียบเทียบกับรีเลย์ type CO-8 (Inverse time)ของ Westing-house 130
๔ คุณสมบัติของ Percent bias Differential ที่ 20% และ 40% .. 134