

การออกแบบและสร้างเครื่องหาตำแหน่งพอลต์ของสายเคเบิลแรงสูงโดยใช้วิธีการสะท้อนของคลื่น



นาย อรุณชัย วงศ์วิศาลศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0309-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19944305

24 S.A. 2546

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PULSE-ECHO CABLE FAULT LOCATOR

Mr. Arunchai Wongwisansri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0309-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและสร้างเครื่องหาตำแหน่งพอลต์ของสายเคเบิลแรงสูง
โดยใช้วิธีการสะท้อนของคลื่น

โดย

นาย อรุณชัย วงศ์วิศาลศรี


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

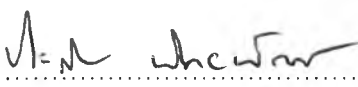
อาจารย์ที่ปรึกษา

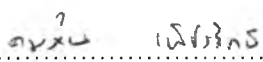
ดร.คมสัน เพ็ชรรัักษ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.คมสัน เพ็ชรรัักษ์)


..... กรรมการ
(ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล)

อรุณชัย วงศ์วิศาลศรี : การออกแบบและสร้างเครื่องหาตำแหน่งฟอลต์ของสายเคเบิลแรงสูงโดยใช้วิธีการสะท้อนของคลื่น (DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PULSE-ECHO CABLE FAULT LOCATOR) อ.ที่ปรึกษา : ดร. คมสัน เพ็ชรวิเศษ, 96 หน้า. ISBN 974-13-0309-2.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องหาตำแหน่งฟอลต์ของสายเคเบิลแรงสูงที่ใช้เป็นสายส่งกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าโดยใช้วิธีการสะท้อนของคลื่น โดยจุดที่เกิดฟอลต์ต้องอยู่ห่างจากจุดปลายของสายเคเบิลไม่น้อยกว่าความกว้างของคลื่นพัลส์ซึ่งประมาณ 1 μ s เครื่องนี้สามารถใช้หาตำแหน่งฟอลต์ของสายเคเบิลแรงดันสูง ซึ่งเป็นฟอลต์แบบไม่ถาวร และแบบถาวรซึ่งประกอบด้วยแบบลัดวงจร และแบบเปิดวงจร จากการทดสอบกับสายเคเบิล ค่าความผิดพลาดในการวัดอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____
สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____
ปีการศึกษา _____ 2543 _____

ลายมือชื่อนิสิต _____ อรุณชัย วงศ์วิศาลศรี _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____ ดร. คมสัน เพ็ชรวิเศษ _____

4170637521 : ELECTRICAL ENGINEERING.

KEY WORD : FAULT LOCATOR / PULSE-ECHO / HIGH VOLTAGE CABLE FAULT LOCATOR

ARUNCHAI WONGWISANSRI: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PULSE-ECHO
CABLE FAULT LOCATOR.

THESIS ADVISOR: KOMSAN PETCHARAK, Dr. Sc. Techn.96 PP.

ISBN 974-13-0309-2.

This thesis presents the design and construction of a fault Locator equipment for locating a faulty point in a high voltage cable by means of pulse-echo techniques. It is developed for determining the distance of fault in high voltage cable, which can be represented as a Transmission Line in the electric distributed system. The distance between the fault and the end of cable must be longer than the width of pulse, i.e. 1 μ s. This equipment could locate both permanent and non-permanent faults which consist of either the short-circuit or the open-circuit faults. The uncertainty in locating fault is c.a. 2-5 %.

Department ___ Electrical Engineering _____

Field of study ___ Electrical Engineering _____

Academic year 2000 _____

Student's signature ___ Arunchai Wongwisansri _____

Advisor's signature ___ K. Petcharak _____

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย และกรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ และอาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล ที่ได้ให้คำวิจารณ์และข้อคิดเห็นในการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณ คุณ ณรงค์ ทองฉิม ที่ช่วยอธิบายและแนะนำการใช้อุปกรณ์และอธิบายหลักการทำงานของเครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลแรงดันสูง ขอขอบคุณ ผศ. ดร.ธรา ชลปรานี และคุณ ถาวร สุวรรณกิจ ที่ได้กรุณาให้ใช้ห้องทดลองอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานและอุปกรณ์เครื่องมือในการทดลอง ค้นคว้าในการทดลองวงจรต่างๆ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดาและมารดา รวมทั้งพี่น้องของผู้วิจัย พญ. ดลฤดี เพชรสุวรรณ เจ้าหน้าที่ทุกคนที่อยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงที่ได้ให้คำปรึกษา รวมทั้งกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลังรวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ รวมทั้งด้านการเงินในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จไปด้วยดี

อรุณชัย วงศ์วิศาลศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ความเป็นมาปัญหา.....	1
1.3 งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎี.....	4
2.1 สายเคเบิลแรงสูง.....	4
2.1.1 ชนิดของสายเคเบิล.....	4
2.1.1.1 สายเคเบิลฉนวนกระดาษบรรจุด้วยน้ำมัน.....	4
2.1.1.2 สายเคเบิลฉนวนแข็ง.....	5
2.1.2 โครงสร้างสายเคเบิลแรงสูง.....	7
2.1.2.1 โครงสร้างหลัก.....	7
2.1.2.2 โครงสร้างรอง.....	8
2.1.3 อุปกรณ์ประกอบของสายเคเบิล.....	9
2.1.3.1 จุดต่อระหว่างสายเคเบิลกับสายเคเบิล.....	9
2.1.3.2 จุดต่อระหว่างสายเคเบิลกับอุปกรณ์อื่นๆ.....	9
2.1.4 วงจรสมมูลของสายเคเบิล.....	10
2.2 ทฤษฎีคลื่นจร.....	11
2.2.1 วงจรสมมูลของสายส่ง.....	11

	หน้า
2.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสายส่ง.....	11
2.2.3 สายส่งที่ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณในภาวะชั่วคราว.....	15
2.2.4 คลื่นจรบนสายส่งไร้ความสูญเสีย.....	18
2.2.5 คลื่นจรตกกระทบจากเครื่องกำเนิด.....	21
2.2.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อน.....	22
2.2.7 การต่อโหลดเข้ากับสายส่ง.....	24
2.2.7.1 กรณีลัดวงจร.....	26
2.2.7.2 กรณีเปิดวงจร.....	26
2.2.8 รูปร่างของคลื่นจร.....	27
2.3 การหาตำแหน่งฟอลต์ในสายเคเบิล.....	29
2.3.1 ชนิดของฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายเคเบิล.....	29
2.3.1.1 แบบอนุกรม.....	29
2.3.1.2 แบบขนาน.....	30
2.3.2 การวิเคราะห์ฟอลต์โดยใช้วิธีการสะท้อนของคลื่น.....	31
2.3.3 ผลกระทบของการ Crossbonding Sheath ของ Cable ที่มีผลต่อรูป คลื่นพัลส์ในสายเคเบิล.....	39
2.3.3.1 Endpoint Bonding.....	40
2.3.3.2 Midpoint Bonding.....	40
2.3.3.3 Crossbonded System.....	40
3 การออกแบบและประกอบสร้าง.....	42
3.1 โครงสร้างของเครื่องหาตำแหน่งฟอลต์ในสายเคเบิลแรงสูง.....	42
3.1.1 วงจรควบคุม.....	43
3.1.2 วงจรควบคุมเฟส.....	44
3.1.3 วงจรกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง.....	46
3.1.3.1 หม้อแปลงแรงดันสูง.....	46
3.1.3.2 วงจรทรีแรงดัน.....	46
3.1.4 วงจรวัดแรงดันสูงกระแสตรง.....	47
3.1.4.1 โวลเตจดีไวเดอร์.....	47
3.1.4.2 วงจรโวลต์มิเตอร์.....	48

3.1.4.3 วงจรป้องกันแรงดันเกิน.....	49
3.1.5 วงจรตัดแรงดันกระแสตรง.....	49
3.1.6 วงจรตรวจจับและวัดรูปคลื่น.....	51
3.2 โครงสร้างของกล่องใส่อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของเครื่อง.....	54
4 การทดสอบและประเมินผล.....	56
4.1 จุดประสงค์การทดสอบ.....	56
4.2 วิธีการทดสอบ.....	56
4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	56
4.2.2 วิธีการทดสอบ.....	57
4.2.2.1 ทดสอบกับสายเคเบิลเพียงเส้นเดียว.....	57
4.2.2.1.1 สายเคเบิลพอลดีถาวรแบบลัดวงจร.....	57
4.2.2.1.2 สายเคเบิลพอลดีถาวรแบบเปิดวงจร.....	59
4.2.2.1.3 สายเคเบิลพอลดีแบบไม่ถาวร.....	60
4.2.2.2 ทดสอบกับสายเคเบิล 2 เส้น.....	62
4.2.2.2.1 สายเคเบิลพอลดีถาวรแบบลัดวงจร.....	62
4.2.2.2.2 สายเคเบิลพอลดีถาวรแบบเปิดวงจร.....	64
4.2.2.2.3 สายเคเบิลพอลดีแบบไม่ถาวร.....	66
4.2.2.2.4 สายเคเบิลพอลดีถาวรแบบลัดวงจรตรงกลางสายเคเบิล.....	66
4.2.2.2.5 สายเคเบิลพอลดีแบบไม่ถาวรโดยตัวนำของสายเคเบิลขาดออก จากกันโดยยังอยู่ภายในฉนวน	68
4.2.2.2.6 สายเคเบิลพอลดีแบบไม่ถาวรโดยฉนวนเกิดความเสียหาย....	70
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุป.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
เอกสารอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก	77
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค	79

สารบัญ (ต่อ)

ญ

หน้า

ภาคผนวก ง	80
ประวัติผู้วิจัย	81

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงความหนา (ต่ำสุด) และความเครียดทางไฟฟ้า (สูงสุด) ของฉนวนสำหรับ เคเบิลแบบ Paper-insulated cable.....	5
2.2 แสดงความหนา (ต่ำสุด) และความเครียดทางไฟฟ้า (สูงสุด) ของฉนวนสำหรับเคเบิลที่ซึ่งฉนวนจะทำด้วยสารโพลีเมอร์ (Polymer).....	6
2.3 แสดงความเร็วของคลื่นจรที่เคลื่อนที่ในฉนวนที่มีค่าไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกัน.....	32
2.4 แสดงฟอลต์แบบอนุกรม ค่า $Z = 40 \Omega$ และ $\eta = Z_s / (Z_s + 2Z) * 100\%$	33
2.5 แสดงฟอลต์แบบขนาน ค่า $Z = 40 \Omega$ และ $\eta = -Z / (Z + 2Z_s) * 100\%$	33

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 Three-core, 150 mm ² , 6.35/11 kV, screened PILS cable with PVC oversheath.....	4
2.2 Three-core, 150 mm ² , 19/33 kV sL cable.....	4
2.3 Construction of a three-core, 8.7/15 kV, XLPE insulated, steel wire armoured cable.....	6
2.4 Construction of a single-core, 18/30 kV, XLPE insulated cable.....	6
2.5 โครงสร้างของสายเคเบิลชนิดฉนวนแข็ง.....	7
2.6 โครงสร้างของจุดต่อสายเคเบิลกับสายเคเบิลชนิดฉนวน XLPE.....	9
2.7 จุดต่อสายระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับสายในอากาศ.....	10
2.8 วงจรสมมูลของสายเคเบิล.....	11
2.9 วงจรสมมูลของสายส่ง.....	11
2.10 สายส่งเส้นคู่ชนิดขนาน และวงจรสมมูลของมันที่อยู่ระหว่างจุด x และ x+dx	12
2.11 สายส่งไร้ความสูญเสียยาว d ต่อเชื่อมระหว่างโหลดและเครื่องกำเนิด และแสดงแรงดันดีซีในสภาวะอยู่ตัว.....	19
2.12 แสดงเครื่องกำเนิดกระตุ้นสายส่งที่ไม่มีความสูญเสียเส้นหนึ่ง ทำให้เกิดการกระจายของแรงดันบนสายส่งที่เวลา $t=t_1$ และ $t=t_2 > t_1$	20
2.13 การเคลื่อนที่ของคลื่นแรงดันและกระแส.....	21
2.14 แสดงโหลด Z_L ที่ต่ออยู่กับปลายด้านรับของสายส่งที่ไม่มีความสูญเสีย.....	22
2.15 แสดง การ Mismatch ที่เกิดกับสายส่ง.....	25
2.16 แสดงเวกเตอร์ของคลื่นแรงดันและกระแสของสายส่งที่ลัดวงจร.....	26
2.17 แสดงเวกเตอร์ของคลื่นแรงดันและกระแสของสายส่งที่เปิดวงจร	27
2.18 แสดงรูปคลื่นลักษณะต่างๆ.....	28
2.19 แสดงการรวมกันของรูปคลื่น 2 รูปคลื่น.....	28
2.20 แสดงการเกิดฟอลต์แบบ Series fault.....	29
2.21 แสดงการเกิดฟอลต์แบบ Earth fault.....	30
2.22 แสดงการหาตำแหน่งฟอลต์โดยใช้การสะท้อนของคลื่น.....	32
2.23 แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพัลส์ในสายเคเบิล (Power Cable).....	34
2.24 แสดงรูปร่างของพัลส์ของการเกิดลัดวงจรที่จุด F.....	34
2.25 แสดงรูปร่างของพัลส์ที่ปลายสายเคเบิลที่จุด B.....	35

รูปที่	หน้า
2.26 แสดงรูปร่างของพัลส์ที่จุดฟอลต์.....	35
2.27 แสดงตำแหน่งจุดเริ่มต้นที่ทำการวัดของรูปคลื่นพัลส์.....	36
2.28 แสดงการสะท้อนไปมาในสายเคเบิลที่สมบูรณ์.....	36
2.29 แสดงรูปคลื่นทางทฤษฎีและทางปฏิบัติของเคเบิลซึ่งเป็น Tee Joint และ Straight Joint	37
2.30 แสดงการเปรียบเทียบรูปคลื่นระหว่างเคเบิลที่สมบูรณ์กับสายเคเบิลที่เกิดฟอลต์.....	39
2.31 แสดงการ Bonding ของสายเคเบิลแบบ Endpoint Bonded System.....	40
2.32 แสดงการ Bonding ของสายเคเบิลแบบ Midpoint Bonded System.....	40
2.33 แสดงการ Crossbonding ของ Sheath ของสายเคเบิล.....	41
2.34 แสดงรูปคลื่นแรงดันในกรณีไม่มีการ Crossbonding ในสายเคเบิล.....	41
2.35 แสดงรูปคลื่นแรงดันในกรณีมีการ Crossbonding ในสายเคเบิล.....	41
3.1 แสดง Block diagram ของเครื่องต้นแบบหาตำแหน่งฟอลต์ในสายเคเบิลแรงสูง.....	42
3.2 แสดง Diagram ของวงจรควบคุม.....	43
3.3 แสดง Block Diagram ของวงจรควบคุมเฟส.....	44
3.4 แสดงวงจรแรงดันอ้างอิง.....	45
3.5 แสดงการทำงานของ IC DS1688.....	45
3.6 แสดงรูปหม้อแปลงแรงดันสูง.....	46
3.7 แสดงวงจรทวิแรงดัน.....	47
3.8 แสดงวงจรวัดแรงดันกระแสตรง.....	47
3.9 แสดงวงจรแสดงผล.....	48
3.10 แสดงวงจรของโวลต์มิเตอร์.....	48
3.11 แสดงวงจรป้องกัน.....	49
3.12 แสดงวงจรตัดแรงดันกระแสตรง.....	50
3.13 แสดงรูปคลื่นแรงดันตัด	50
3.14 แสดงรูปคลื่นแรงดันตัด (Chopped Voltage) ที่ขยายสเกลทางด้านเวลา.....	51
3.15 แสดงวงจรตรวจจับรูปคลื่นอิมพัลส์.....	52
3.16 แสดงรูปของแรงดัน Step Voltage ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน.....	52
3.17 แสดงรูปของแรงดันโดยวัดที่จุด a.....	52
3.18 แสดงรูปของแรงดันโดยวัดที่จุด b.....	53
3.19 แสดงรูปของแรงดันโดยวัดที่จุด c.....	53

รูปที่	หน้า
3.20 แสดงรูปของแรงดันโดยวัดที่จุด d.....	53
3.21 แสดงโครงสร้างของเครื่อง.....	55
3.22 แสดงด้านข้างของโครงสร้างของเครื่อง.....	55
3.23 แสดงหน้าปัดของเครื่อง.....	55
4.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ.....	56
4.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบลัดวงจร.....	57
4.3 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบลัดวงจร.....	57
4.4 แสดงวงจรที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice ในกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร.....	58
4.5 แสดงผลของการ Simulate ของวงจร.....	58
4.6 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบเปิดวงจร.....	59
4.7 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบเปิดวงจร.....	59
4.8 แสดงวงจรที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice ในกรณีฟอลต์แบบเปิดวงจร.....	60
4.9 แสดงผลของการ Simulate ของวงจร.....	60
4.10 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบไม่ถาวร.....	61
4.11 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบไม่ถาวร.....	61
4.12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบลัดวงจร.....	62
4.13 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบลัดวงจร.....	62
4.14 แสดงวงจรที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice ในกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร.....	63
4.15 แสดงผลของการ Simulate ของวงจร.....	63
4.16 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบเปิดวงจร.....	64
4.17 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบเปิดวงจร.....	64
4.18 แสดงวงจรที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice ในกรณีฟอลต์แบบเปิดวงจร.....	65
4.19 แสดงผลของการ Simulate ของวงจร.....	65
4.20 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบไม่ถาวร.....	66
4.21 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบไม่ถาวร.....	66
4.22 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบลัดวงจรตรงกลางสายเคเบิล.....	67
4.23 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบลัดวงจรตรงกลางสายเคเบิล.....	67

รูปที่	หน้า
4.24 แสดงวงจรที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice ในกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรตรงกลางสายเคเบิล.....	68
4.25 แสดงผลของการ Simulate ของวงจร.....	68
4.26 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบสายเคเบิลฟอลต์แบบไม่ถาวรโดยตัวนำของสายเคเบิลขาดออกจากกันโดยยังอยู่ภายในฉนวน.....	69
4.27 แสดงรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จากการทดสอบสายเคเบิลแบบเปิดวงจรตรงกลางสายเคเบิล.....	69
4.28 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบไม่ถาวรโดยฉนวนเกิดความเสียหายภายในช่วงความยาวของเคเบิล.....	70
4.29 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในกรณีทดสอบสายเคเบิลแบบไม่ถาวรโดยฉนวนเกิดความเสียหายภายในช่วงความยาวของเคเบิล.....	70