

เครื่องตรวจจับสสารบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง



นาย ณรงค์ ทองฉิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-248-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016559

T10310538

PARTIAL DISCHARGE DETECTOR FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT



Mr. NARONG TONGCHIM

ศูนย์วิทยพัชกร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-248-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องตรวจจับตีสสารเจบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

โดย

นาย ณรงค์ ทองจิม

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สีารวย สังข์สะอาด



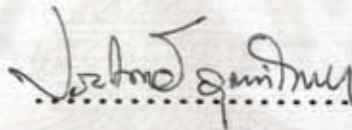
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

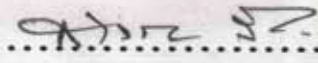
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



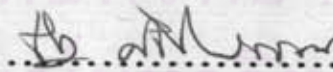
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุห์ไวกยะ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สีารวย สังข์สะอาด)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ศรีไพรวรรณ)



พงศ์ ทองฉิม : เครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง (PARTIAL DISCHARGE DETECTOR FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สำรวย สังข์สะอาด, 120 หน้า. ISBN 974-577-248-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรายงานการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนแบบแถบกว้าง เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน (PD) ภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC ที่สภาวะแวดล้อมปกติ ระบบการวัดที่ใช้เป็นแบบวิธีตรง เพื่อให้การวัด PD มีประสิทธิภาพจึงได้ออกแบบวงจรรับสัญญาณ PD เป็นสองชุด โดยมีช่วงความถี่ที่วัด 10 ถึง 200 kHz สำหรับทดสอบเคเบิล และ 20 ถึง 200 kHz สำหรับทดสอบวัสดุทดสอบทั่วไป ความไวของเครื่องตรวจจับ PD ที่ออกแบบเมื่อใช้ทดสอบเคเบิลที่มีอิมพีแดนซ์ค่ามากถึง 10 โอห์ม และใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิงขนาด 10 nF จะให้ความไวดีกว่า 5 pC เมื่อทำการทดสอบวัสดุทดสอบทั่วไปที่มีค่าความจุ 1 nF และใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิงขนาด 1 nF จะให้ความไวดีกว่า 1pC เครื่องตรวจจับ PD นี้สามารถลดคลื่นรบกวนวิทยุและฮาร์มอนิกสูงๆ ได้ดีเพราะมีวงจรรับสัญญาณ PD เป็นตัวกรองความถี่กลางอันดับสูง ทำให้สามารถลดสัญญาณรบกวนที่อยู่นอกช่วงความถี่ที่วัดได้มาก การกำจัดสัญญาณรบกวนที่ซิงโครไนซ์กับความถี่ของแหล่งจ่ายซึ่งเกิดจากการทำงานของ ไซริสเตอร์สามารถทำได้โดยใช้วิธี "หน้าต่างเวลา" ในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีมากจนไม่สามารถกำจัดด้วยวิธี "หน้าต่างเวลา" ก็แก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการแสดงผล PD ในแนวราบ จากการทดสอบ PD ในตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงสูง หมอแปลง และเคเบิล พบว่าผลการทดสอบที่ได้ใกล้เคียงกับเครื่องของต่างประเทศ เครื่องตรวจจับ PD ที่ออกแบบนี้มีข้อดีที่สามารถใช้งานได้สะดวก และง่าย สามารถทดสอบในห้องที่ไม่มีซีลด์ได้ถ้าหากมีสัญญาณรบกวนไม่มากนัก

ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....  
ปีการศึกษา ..... 2532 .....

ลายมือชื่อนิติ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
.....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

NARONG TONGCHIM. : PARTIAL DISCHARGE DETECTOR FOR HIGH  
VOLTAGE EQUIPMENT. THESIS ADVISOR: ASSO.PROF.DR. SAMRUAY  
SANGKASAAD, 120PP.

This thesis presents the development, design and construction of a wide band partial discharge detector for detecting partial discharge (PD) in high voltage equipment in accordance with IEC standard. The PD measuring system was designed for straight method. Two input units with the measuring frequency range of 10 to 200 kHz and 20 to 200 kHz are provided. Each can be selected depending on the test objects. The sensitivity of the detector is better than 5 pC on an extremely low cable impedance of 10 Ohms with 10 nF coupling capacitor and 1 pC for other test objects and coupling capacitor with each capacitance of 1 nF. The high rolloff band-pass filter of the input units can attenuate interference frequencies outside the measuring band, i.e. radio interference signal and higher harmonics very well. The "Time Window Method" for suppressing the pulse interference is applied by using time window to mask out main-synchronous interference signals. In the high interference condition, a special technique to display ellipses and sine waves as straight lines can be used. PD measurements on high voltage capacitors transformers and cables yield comparable results as other commercial PD detectors. The advantages of the detector are ease of operation and measurement can be performed outside the shielded room when the environmental interference is not too high.



ภาควิชา .....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
สาขาวิชา .....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
ปีการศึกษา ..... 2532.....

ลายมือชื่อนิสิต .....  .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำค้นคว้าวิจัย และกรุณาให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุดมไวกฤช และรองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ ศรีไพพรรณ ที่ได้ให้คำวิจารณ์และข้อคิดเห็นในการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อคณะกรรมการฝ่ายวิจัยไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย ขอขอบคุณอย่างสูงต่อบริษัทสายไฟฟ้าไทย-ยาซากิ จำกัด และบริษัทเฟลปส์สตอจ์ ไทยแลนด์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ และอนุญาตให้นำเครื่องตรวจจับดีส์ชาร์จบางส่วนที่สร้างขึ้นไปทดลองวัด PD ของเคเบิลแรงสูงในโรงงาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ คุณสันติ ยอดเพชร ที่ได้กรุณาช่วยจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นเรียบร้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำทั่วไป.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ที่มาของปัญหา.....	2
1.3 ประวัติการศึกษาวิจัยการวัดดีสซาร์จบางส่วน.....	3
1.4 วัตถุประสงค์และขอบข่ายของงานวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและหลักการตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	4
2.1 พฤติกรรมของดีสซาร์จบางส่วน.....	4
2.1.1 วงจรสมมูลดีสซาร์จภายใน.....	4
2.1.2 ธรรมชาติพัลส์ของดีสซาร์จบางส่วน.....	5
2.1.2.1 การเกิดดีสซาร์จซ้ำ.....	5
2.1.2.2 ลักษณะรูปร่างของกระแสดีสซาร์จบางส่วน.....	6
2.1.2.3 พลังงานของดีสซาร์จบางส่วน.....	8
2.2 หลักการตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	9
2.2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	9
2.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	10
2.2.2.1 วงจรสมมูล.....	10
2.2.2.2 การวิเคราะห์วงจรตรวจจับดีสซาร์จ บางส่วน โดยวิธีการอินทิเกรตด้วย ตัวกรองความถี่กลาง.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2.3 การวิเคราะห์ความไว.....	14
2.2.2.4 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้ตัวกรอง อุดมคติ.....	19
2.2.3 การแสดงผลของดีสซาร์จบางส่วน.....	23
2.2.4 เครื่องปรับเทียบดีสซาร์จมาตรฐาน.....	24
2.2.5 การอินทีเกรตผิดพลาดของเครื่องตรวจจับดีสซาร์จ บางส่วน.....	26
2.3 เทคนิคการวัดดีสซาร์จบางส่วน.....	27
2.3.1 การวัดดีสซาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป.....	27
2.3.2 การวัดดีสซาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิล.....	28
2.3.3 การวัดดีสซาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ที่มีโครงสร้างแบบขดลวด.....	32
2.4 เทคนิคการลดสัญญาณรบกวน.....	34
2.4.1 สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบในการวัดดีสซาร์จบางส่วน..	34
2.4.2 การลดสัญญาณรบกวน.....	35
2.4.2.1 การลดสัญญาณรบกวนโดยตรง.....	35
2.4.2.2 การลดสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ.....	35
2.5 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	36
2.5.1 ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับดีสซาร์จบางส่วนตาม มาตรฐาน IEC.....	36
3 การออกแบบและประกอบสร้าง.....	38
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	38
3.2 การออกแบบวงจรเครื่องตรวจจับดีสซาร์จบางส่วน.....	40
3.2.1 วงจรรับสัญญาณดีสซาร์จบางส่วน.....	40
3.2.1.1 วงจรรับสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนสำหรับ วัสดุทดสอบทั่วไป.....	42



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
3.2.1.2	วงจรรับสัญญาณดีส์ชาร์จบางส่วนสำหรับ เคเบิลยาว.....	45
3.2.2	วงจรถยายสัญญาณดีส์ชาร์จบางส่วน.....	51
3.2.3	วงจรถ่ายสัญญาณรวมกวนแบบทรานเซียนต์.....	51
3.2.4	วงจรถ่ายผลทางมิเตอร์.....	54
3.2.4.1	วงจรถ่ายจ็อบค้ายอด.....	54
3.2.4.2	วงจรถ่ายโคคูลอมป์มิเตอร์.....	56
3.2.5	วงจรถ่ายผลทางเครื่องบันทึก.....	56
3.2.6	วงจรถ่ายผลทางจอภาพ.....	58
3.2.6.1	วงจรถ่ายปรับความเข้มของแสงอัตโนมัติ.....	59
3.2.6.2	วงจรถ่ายแสดงผลบนฐานเวลาแบบวงรี และไซน์.....	60
3.2.7	วงจรถ่ายกิโลโวลต์มิเตอร์.....	60
3.2.7.1	วงจรถ่ายแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรง และบอกตำแหน่งศูนย์.....	63
3.2.7.2	วงจรถ่ายดิจิตอลโวลต์มิเตอร์.....	64
3.2.8	วงจรถ่ายกำเนิดพัลส์มาตรฐาน.....	64
3.2.8.1	วงจรถ่ายปรับเทียบดีส์ชาร์จมาตรฐาน.....	64
3.2.8.2	วงจรถ่ายกำเนิดพัลส์คู่.....	65
3.2.9	วงจรถ่ายแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง.....	67
3.3	การต่อวงจรถ่ายออกแบบและประกอบสร้าง.....	67
4	การทดสอบและประเมินผล.....	70
4.1	การทดสอบคุณสมบัติของเครื่องตรวจจ็อบดีส์ชาร์จบางส่วน.....	70
4.1.1	แบนด์วิดท์ของวงจรรับสัญญาณดีส์ชาร์จบางส่วน.....	70
4.1.2	การตรวจสอบลักษณะสัญญาณเอาต์พุตและเวลาแยกชัด..	70
4.1.3	การตรวจสอบความไว.....	74
4.2	การทดสอบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดพัลส์มาตรฐาน.....	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การตรวจจับ PD ภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง.....	79
4.3.1 การตรวจจับ PD ภายในตัวเก็บประจุแรงสูง.....	79
4.3.2 การตรวจจับ PD ภายในหม้อแปลง.....	80
4.3.3 การตรวจจับ PD ภายในเคเบิลแรงสูง.....	82
4.3.3.1 การทดสอบเฉพาะแบบ.....	82
4.3.3.2 การทดสอบแบบประจำ.....	85
4.4 เทคนิคการวัด PD ขณะที่มีสัญญาณรบกวน.....	86
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1 สรุป .....	87
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	89
เอกสารอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	96

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าความไวที่ได้จากการคำนวณและการวัด.....	73
4.2 แสดงค่า PD ที่อ่านได้จากมิเตอร์ที่แรงดันทดสอบ 60 กิโลโวลต์.....	79



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	1
2.1	4
2.2	5
2.3	5
2.4	6
2.5	7
2.6	7
2.7	8
2.8	9
2.9	11
2.10	12
2.11	13
2.12	15
2.13	16
2.14	17
2.15	17
2.16	20
2.17	22
2.18	24
2.19	25
2.20	27
2.21	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 การเกิดชุปเปอร์โพสิชันของสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่างๆ.....	29
2.23 วงจรตรวจสอบการเกิดชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ PD.....	30
2.24 ไดอะแกรมพัลส์คู่ของเครื่องตรวจจับ PD แบบต่างๆ.....	31
2.25 ไดอะแกรมพัลส์คู่เมื่อเกิดการสูญเสียในเคเบิล.....	31
2.26 เปรียบเทียบการวัด PD ภายในหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC และ NEMA..	33
2.27 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ.....	34
2.28 ตัวอย่างการลดสัญญาณรบกวน.....	35
2.29 การลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี "หน้าต่างเวลา".....	36
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน.....	39
3.2 ลักษณะอิมพีแดนซ์วัตและการตอบสนองความถี่แบบ RC และ RLC.....	40
3.3 ลักษณะการตอบสนองความถี่ของตัวกรองอันดับสูงของอิมพีแดนซ์วัต.....	41
3.4 ตัวกรองความถี่กลางและการตอบสนองความถี่ของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป.....	43
3.5 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลาง สำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป เมื่อป้อนกระแสพัลส์ที่มี $q = 1$ นิโคลูอมป์.....	44
3.6 วงจรอย่างง่ายสำหรับการคำนวณสัญญาณรบกวน.....	44
3.7 การเกิด " $\beta$ -response" ของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป เมื่อใช้ทดสอบเคเบิลที่ $Z_o = 10$ โอห์ม และ $C_k = 10$ นาโนฟารัด.....	45
3.8 วงจรรับสัญญาณ PD สำหรับวัสดุทดสอบทั่วไปที่ออกแบบสมบูรณ์.....	46
3.9 ตัวกรองความถี่กลางและการตอบสนองความถี่ของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับทดสอบเคเบิลยาว.....	47
3.10 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลางที่ใช้ในวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับทดสอบเคเบิลยาว เมื่อป้อนกระแสพัลส์ที่มี $q = 1$ นิโคลูอมป์.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.11 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลางที่ใช้ในวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับทดสอบเคเบิลยาว เมื่อใช้ $R = 10$ โอห์ม, $C_k = 4$ นาโนฟารัด และ $q = 1$ พิโคคูลอมป์.....	49
3.12 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลางที่ใช้ในวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับทดสอบเคเบิลยาว เมื่อใช้ $R = 10$ โอห์ม, $C_k = 10$ นาโนฟารัด และ $q = 1$ พิโคคูลอมป์.....	49
3.13 วงจรรับสัญญาณ PD สำหรับเคเบิลยาว.....	50
3.14 วงจรขยายสัญญาณดีสซาร์จบางส่วน.....	51
3.15 ไดอะแกรมอย่างง่ายของวงจรหน้าต่างเวลา.....	52
3.16 วงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์.....	53
3.17 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจจับค่ายอด.....	54
3.18 วงจรตรวจจับค่ายอดของ PD.....	55
3.19 วงจรพิโคคูลอมป์มิเตอร์.....	56
3.20 วงจรลอกการรบกวนแอมพลิไฟเออร์.....	57
3.21 การแสดงผลแบบต่างๆ.....	58
3.22 วงจรปรับความเข้มของแสงอัตโนมัติ.....	59
3.23 หลักการแสดงผลดีสซาร์จบางส่วนบนฐานเวลาแบบต่างๆ.....	61
3.24 วงจรแสดงผลดีสซาร์จบางส่วนทางจอภาพ.....	62
3.25 วงจรแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรงและบอกตำแหน่งศูนย์.....	63
3.26 วงจรดีจิจิตอลโวลต์มิเตอร์.....	64
3.27 วงจรปรับเทียบดีสซาร์จมาตรฐาน.....	65
3.28 วงจรกำเนิดพัลส์คู่อย่างง่าย.....	65
3.29 วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน.....	66
3.30 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง.....	67
3.31 การต่อวงจรส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน.....	68
3.32 เครื่องตรวจจับ PD ที่ประกอบสมบูรณ์.....	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรับสัญญาณ PD.....	71
4.2 ลักษณะเอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD.....	72
4.3 ไดอะแกรมพัลส์คู่.....	72
4.4 เปรียบเทียบความไวของเครื่องที่ออกแบบกับเครื่องของบริษัท Bonar Robinson $C_k = C_c = 1$ ถึง 100 นาโนฟารัด.....	74
4.5 เปรียบเทียบความไวของเครื่องที่ออกแบบกับเครื่องของบริษัท Haefely ที่ $C_k = 1$ นาโนฟารัด และ $C_c = 1\sim 100$ นาโนฟารัด.....	75
4.6 ความไวของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับเคเบิลยาว $Z_o = 10$ ถึง 60 โอห์ม ที่ $C_k = 4$ และ 10 นาโนฟารัด.....	76
4.7 ช่วงเวลาขึ้นของวงจรปรับเทียบดีสซาร์จมาตรฐาน.....	77
4.8 ช่วงเวลาขึ้นและความกว้างพัลส์ของเครื่องกำเนิดพัลส์คู่.....	77
4.9 วงจรทดสอบตัวเก็บประจุแรงสูง.....	78
4.10 ผลการทดสอบตัวเก็บประจุแรงสูงเมื่อแสดงผลทางจอภาพ.....	78
4.11 วงจรทดสอบหม้อแปลง.....	80
4.12 กราฟแสดง PD ที่มาจากวงจรทดสอบเอง.....	80
4.13 ผลการทดสอบหม้อแปลงเมื่อแสดงผลทางจอภาพ.....	81
4.14 ผลการทดสอบหม้อแปลงเมื่อแสดงผลทางเครื่องบันทึก.....	82
4.15 วงจรทดสอบเคเบิลเฉพาะแบบ.....	83
4.16 แสดงจุดบกพร่องของเนื้อฉนวนที่จำลองขึ้น.....	83
4.17 ผลการทดสอบเคเบิลเฉพาะแบบเมื่อแสดงผลทางจอภาพ.....	84
4.18 วงจรทดสอบเคเบิลประจำ.....	85
4.19 ผลการทดสอบเคเบิลยาวเมื่อแสดงผลทางจอภาพ.....	85
4.20 การแสดงผล PD บนฐานเวลาในแนวราบ.....	86