

การพัฒนาตัวลงบันทึกข้อมูลสำหรับวัดแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้า



นาย วรุตม์ แจ่มแสง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

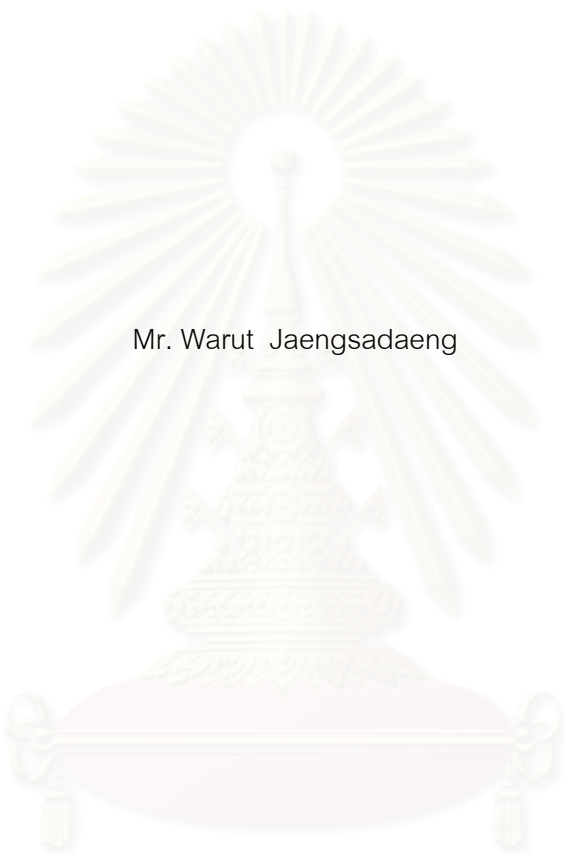
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DEVELOPMENT OF A DATA LOGGER FOR MEASURING SURGES IN ELECTRICAL SYSTEM



Mr. Warut Jaengsadaeng

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาตัวลงบันทึกข้อมูลสำหรับวัดแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้า
โดย นาย วรุตม์ แจ่มแสง
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัมย์

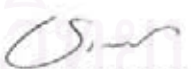
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัลย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปธา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัมย์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชัยณรงค์ บาลมงคล)

สถาบันบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรุฒม์ แจ้งแสดง : การพัฒนาดัวลงบันทึกข้อมูลสำหรับวัดแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้า.

(A DEVELOPMENT OF A DATA LOGGER FOR MEASURING SURGES IN ELECTRICAL SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. เอกชัย ลีลาวัศม์, 81 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้้นำเสนอการพัฒนาดัวลงบันทึกข้อมูลสำหรับวัดแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้า จำนวน 2 ช่องสัญญาณ โดยการแปลงสัญญาณเสิร์จ ที่เป็นสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ที่อัตราการชั้กตัวอย่าง 50 MSPS ความละเอียด 12 บิต และ เก็บข้อมูลลงใน SD Card ขนาด 1 GB พร้อมระบุเวลาจริงที่เสิร์จเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า แล้ว นำผลลัพธ์ที่ได้ไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จนี้จะทำงานร่วมกับ อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ ชนิดตัวต้านทาน และ อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จที่ภาคแหล่งจ่ายไฟ และ ทำการทดสอบคุณสมบัติ ของระบบวัด ด้วยรูปคลื่นแรงดันเสิร์จมาตรฐาน (1.2/50 μ s) และ รูปคลื่นแกว่ง (0.5 μ s-100 kHz) ขนาด 6 kV โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการและเปรียบเทียบผลการวัดรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ กับ ออสซิลโลสโคป ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบวัดแรงดันเสิร์จ,อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ และ อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จ ที่ประกอบสร้าง มีคุณสมบัติเพียงพอ สามารถวัดรูปคลื่นแรงดันเสิร์จได้ ตามที่ได้ออกแบบไว้

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4870458121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: SURGE / IMPULSE VOLTAGE DIVIDER

WARUT JAENGSAENG : A DEVELOPMENT OF A DATA LOGGER FOR MEASURING SURGES IN ELECTRICAL SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROC. EKACHAI LEELARASMEE, Ph.D. , 81 pp.

This thesis presents a development of a data logger for measuring surge in electrical system that has 2 channels by using 12 bit , 50 MSPS analog to digital converter. The time is also recorded when there are surges on electrical system. All data will be recorded into 1GB SD Card which can be read and displayed the surge wave form at a personal computer. The data logger for measuring surges compose of resistive impulse voltage dividers and a surge protector at its ac voltage source. The characteristics of this surge recorder was tested by standard surge-testing wave forms (1.2/50 μ s) and Ring Wave (0.5 μ s-100 kHz) having a peak values of 6 kV. The surge recorder system was used to measure the standard surge-testing wave form in laboratory and the result are compared with oscilloscope. The test result show the surge recorder, impulse voltage divider and surge protection that the measuring system works properly.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature *Warut Jaengsaeng*.....
Field of study.....Electrical Engineering..... Advisor's signature *Assoc. Prof. Ekachai Leelarasmee*.....
Academic year2007..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลาวัศมี ซึ่งให้คำแนะนำ แนวทางศึกษาวิจัย ทั้งภาคทฤษฎี และ ปฏิบัติ โดยเฉพาะงานในส่วนที่เป็นวงจร ภาคแอนะล็อก และ ดิจิตอล อาจารย์ได้จัดหาอุปกรณ์มาให้ พร้อมให้คำปรึกษาด้วยดีเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล ซึ่งให้คำแนะนำ ในการออกแบบสร้างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ และ แนวทางในการแก้ปัญหา การป้องกันเสิร์จที่ภาคแหล่งจ่ายไฟของเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ และ ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ในส่วนไฟฟ้าแรงสูง

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ และ รุ่นพี่ ที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงที่ คอยอำนวยความสะดวก และให้ความร่วมมือในการทดสอบด้านไฟฟ้าแรงสูงเป็นอย่างดีเสมอมา

นอกจากนี้ยังมีเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยออกแบบ และ ประยุกต์วงจรรวม IDAR ที่คอยให้คำแนะนำ ห่วงใย และ ความรื่นเริงมาโดยตลอด

ทำยนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และ ญาติ ของเจ้า ผู้เป็นกำลังใจ ได้มอบความรัก และ ความเอาใจใส่ ในสุขภาพร่างกาย และ สนับสนุนด้านการเงิน จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ระบบวัดและบันทึกรูปคลื่นเสิร์จ.....	4
2.1 การเข้ามาของแรงดันเสิร์จ.....	4
2.2 ลักษณะของสัญญาณเสิร์จที่เกิดขึ้นในระบบ.....	5
2.3 รูปคลื่นเสิร์จที่ใช้ในการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ.....	6
2.3.1 รูปคลื่นแรงดันเสิร์จมาตรฐาน(1.2/50 μ s).....	7
2.3.2 รูปคลื่นแกว่ง Ring Wave (0.5 μ s – 100 kHz)	8
2.4 การจัดแบ่งโซนระดับแรงดันไฟกระชาก.....	9
2.5 หลักในการเลือกอุปกรณ์บันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ.....	11
2.5.1 อัตราการซั๊กตัวอย่าง(Sampling Rate)	11
2.5.2 ความละเอียด(Resolution).....	12
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง.....	13
3.1 เงื่อนไขในการออกแบบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์.....	14
3.1.1 คุณสมบัติที่ต้องการภาคแรงสูง.....	14
3.1.2 คุณสมบัติที่ต้องการภาคแรงต่ำ.....	15
3.1.3 การเลือกแรงดันขาออกและการคำนวณหาค่าความต้านทานภาคแรงดันต่ำ.....	15

3.2	การออกแบบและสร้างตัวลงบันทึกแรงดันเสิร์จ.....	16
3.2.1	รายละเอียดของภาคบันทึกแรงดันเสิร์จ.....	16
3.2.1.1	หลักการทำงานของวงจรมอดแอนะลอก.....	17
3.2.1.2	หลักการทำงานของวงจรมอดดิจิตอล.....	17
3.2.2	รายละเอียดวงจรมอดดิจิตอลภายใน FPGA	19
3.2.2.1	วงจรมอด Digital Clock Manager (DCM)	19
3.2.2.2	วงจรมอด บัฟเฟอร์.....	20
3.2.2.3	วงจรมอด คอมพารเตอรและทริกเกอร์.....	21
3.2.2.4	วงจรมอด FIFO 8192 × 12bit	23
3.2.2.5	วงจรมอด Memory To Data Bus Control	24
3.2.3	รายละเอียดอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานร่วมกับ FPGA	26
3.3	ภาคแสดงผล Display	29
3.3.1	รายละเอียดของไฟล์ที่ถูกบันทึกลงใน SD Card.....	29
3.3.2	หลักการทำงานของโปรแกรม Visual Basic	30
บทที่ 4	การทดสอบและประเมินผล.....	34
4.1	การทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์.....	35
4.1.1	การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเสิร์จของตัวต้านทานภาคแรงสูง.....	37
4.1.2	การทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ.....	39
4.2	การทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ	41
4.2.1	การทดสอบด้วยรูปคลื่นแรงดันเสิร์จมาตรฐาน (1.2/50µs).....	42
4.2.2	การทดสอบด้วยรูปคลื่นแกว่ง Ring Wave (0.5 µs – 100 kHz).....	47
4.2.2.1	ทำการทดสอบ Impulse - divider ที่ประกอบสร้าง.....	47
4.2.2.2	ทำการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ.....	49
4.3	การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันภาคแหล่งจ่ายไฟ.....	51
4.3.1	ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer	51
4.3.2	ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมีวาริสเตอรด้าน Primary....	53
4.3.3	ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมีวาริสเตอรด้าน Secondary.....	54

4.3.4	ทำการทดสอบ วงจรป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ ที่ออกแบบและประกอบสร้าง...	57
4.4	ทำการทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องโดยตรง.....	58
บทที่ 5	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1	ข้อสรุป.....	60
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	62
	รายการอ้างอิง.....	63
	ภาคผนวก.....	65
	ภาคผนวก ก โปรแกรม Visual Basic ในส่วนของการอ่านไฟล์ข้อมูลที่บันทึกไว้ใน SD Card.....	66
	ภาคผนวก ข รายละเอียดภาษา VHDL ที่ออกแบบเป็นวงจรดิจิทัล ภายใน FPGA.....	72
	ภาคผนวก ค รายละเอียดภาษา C ในส่วนของการเขียนข้อมูลลงใน SD Card และ RTC ใน ARM7.....	78
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าระดับความรุนแรงของไฟกระชากในโซน ต่างๆ ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Std.C62.41..... 10

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติที่ต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกรูปคลื่นอิมพัลส์ทดสอบมาตรฐาน... ..12

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรการคำนวณ การแปลงรหัสดิจิทัลเป็นแอนะล็อก.....30

ตารางที่ 4.1 รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ซ้ำบวก ที่วัดโดยเครื่องวัดออสซิลโลสโคปและ เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ.....44

ตารางที่ 4.2 รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ซ้ำลบ ที่วัดโดยเครื่องวัดออสซิลโลสโคปและ เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ.....46

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง ออสซิลโลสโคป กับ เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ... ..46

ตารางที่ 5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ กับ ออสซิลโลสโคป.. ..61

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การเข้ามาของแรงดันเสิร์จ.....4

รูปที่ 2.2 สัญญาณเสิร์จ ที่เกิด ณ ช่วงเวลาต่างของสัญญาณย่านแถบความถี่ระบบ.....6

รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s open-circuit.....7

รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแกว่ง The 100 kHz Ring Wave8

รูปที่ 2.5 การจัดแบ่งบริเวณโซนค่าระดับความรุนแรงของไฟกระชากในมาตรฐาน ANSI.....9

รูปที่ 3.1 หลักการพื้นฐานเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ..... 13

รูปที่ 3.2 ความต้านทานภาคแรงสูง Precision High Voltage Resistor..... 14

รูปที่ 3.3 การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์..... 15

รูปที่ 3.4 รายละเอียดของภาคบันทึกแรงดันเสิร์จ..... 16

รูปที่ 3.5 รายละเอียดของวงจรภาคแอนะล็อก..... 17

รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของวงภาคดิจิทัล..... 18

รูปที่ 3.7 Digital Clock Manager (DCM) 19

รูปที่ 3.8 Timing diagram ของ CLK_DV 19

รูปที่ 3.9 โครงสร้างของ FIFO Buffer ขนาด 8192 X 12bit.....20

รูปที่ 3.10 แรงดันอ้างอิง.....21

รูปที่ 3.11 วงจรคอมพาราเตอร์ และ ทริกเกอร์.....22

รูปที่ 3.12 FIFO 8192 \times 12 bit 23

รูปที่ 3.13 วงจร Memory to Data Bus Control..... 24

รูปที่ 3.14 State diagram Hand check ระหว่าง FPGA และ ARM7.....25

รูปที่ 3.15 วงจรพื้นฐานอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานร่วมกับFPGA.....26

รูปที่ 3.16 State diagram โครงสร้างอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานร่วมกับ FPGA..... 27

รูปที่ 3.17 หลักการทำงานของวงจรดิจิทัลภายใน ARM7.....28

รูปที่ 3.18 หลักการพื้นฐานการนำข้อมูลมาแสดงผล..... 29

รูปที่ 3.19 ชนิดของไฟล์ที่ ARM7 เขียนข้อมูลลงใน SD Card..... 29

รูปที่ 3.20 แสดงข้อมูลระดับแรงดันเสิร์จ และ เวลาที่เกิดเสิร์จในระบบ..... 31

รูปที่ 3.21 แสดงกราฟของแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s..... 32

รูปที่ 3.22 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ของแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s..... 32

รูปที่ 3.23 แสดงกราฟของแรงดันเสิร์จมาตรฐาน Ring Wave..... 33

รูปที่ 3.24 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ของแรงดันเสิร์จมาตรฐาน Ring Wave..... 33

รูปที่ 3.25 เครื่องกำเนิดแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง.....34

รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบความคงทนอยู่ได้ด้วยแรงดันอิมพัลส์..... 35

รูปที่ 4.2 วงจรของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์(Impulse voltage generator) : IG(1.2/50 μ s)...36

รูปที่ 4.3 แสดงผลตัวอย่างของการทดสอบอุปกรณ์แล้วเกิดการดิสชาร์จบางส่วน
(Partial Discharge).....36

รูปที่ 4.4 วงจรทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของ ความต้านทานภาคแรงสูง.....37

รูปที่ 4.5 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของ ความต้านทานภาคแรงสูง.....37

รูปที่ 4.6 Oscilloscope Lecroy รุ่น 6050A.....38

รูปที่ 4.7 รูปคลื่นเสิร์จ 1.2/50 μ s จำนวน 10 ครั้งที่ใช้ในการทดสอบ.....38

รูปที่ 4.8 รูปคลื่นเสิร์จ 1.2/50 μ s จำนวน 10 ครั้งที่ใช้ในการทดสอบ.....38

รูปที่ 4.9 วงจรทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ของโวลเตจดีไวเดอร์
ที่ประกอบสร้าง.....39

รูปที่ 4.10 การทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ของโวลเตจดีไวเดอร์.....
ที่ประกอบสร้าง.....39

รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 2 kV.....40

รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 3 kV.....40

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 4 kV.....40

รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 5 kV.....41

รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 6 kV.....41

รูปที่ 4.16 วงจรทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จเปรียบเทียบกับออสซิลอสโคป.....42

รูปที่ 4.17 การทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จเปรียบเทียบกับออสซิลอสโคป.....42

รูปที่ 4.18 ก) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ที่วัดโดยออสซิลอสโคป Tektronix TDS3013
ข) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ที่วัดโดยเครื่องบันทึกแรงดันอิมพัลส์.....43

รูปที่ 4.19 ก) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ที่วัดโดยออสซิลอสโคป Tektronix TDS3013
ข) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ที่วัดโดยเครื่องบันทึกแรงดันอิมพัลส์.....45

รูปที่ 4.21 วงจรทดสอบ Impulse-divider เทียบกับ Probe Tektronix.....47

รูปที่ 4.22 การทดสอบ Impulse -divider กับ Probe Tektronix.....48

รูปที่ 4.23 Channel 1 ต่อกับ Probe ลดทอน (1:1000) และ ที่ Channel 2 ต่อกับ R-divider (1:3000).....	48
รูปที่ 4.24 วงจรทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ.....	49
รูปที่ 4.25 การทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ.....	49
รูปที่ 4.26 รูปคลื่น Ring Wave ถูกวัดโดยออสซิลโลสโคป Tektronix TDS 754A กับ Probe ลดทอน(1:1000).....	50
รูปที่ 4.27 รูปคลื่น Ring Wave ถูกวัดโดยเครื่องบันทึกแรงดัน และ Impulse-divider(1:3000)...	50
รูปที่ 4.28 วงจรการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer.....	51
รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer.....	52
รูปที่ 4.30 วงจรทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Primary.	53
รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Primary	53
รูปที่ 4.32 วงจรการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary.....	54
รูปที่ 4.33 ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary ...	54
รูปที่ 4.34 ผลการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary.....	55
รูปที่ 4.35 แสดงผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสิร์จที่วัดได้จาก Isolation transformer.....	56
รูปที่ 4.36 วงจรป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ ของ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ ที่ออกแบบ.....	57
รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบวงจรป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ ของ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ ออกแบบ.....	57
รูปที่ 4.38 ทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องมือวัดโดยตรง.....	58
รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องมือวัดโดยตรง...	59
รูปที่ 4.40 ทำการขยาย สเกลทางเวลาของรูปที่ 4.39.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

แรงดันเกินฟ้าผ่า(Lightning overvoltage) ที่เกิดในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า มีต้นกำเนิดมาจากภายในบรรยากาศ คือ ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า อาจแบ่งลักษณะการเกิดได้ 2 แบบ แรงดันเกินฟ้าผ่าโดยตรง และ แรงดันเกินฟ้าผ่าเหนี่ยวนำ แรงดันเกินเหล่านี้จะมีช่วงเวลาในการเกิดระยะสั้นๆในลักษณะของ เสิร์จ หรือ ทรานเซียนต์ และมีขนาดแรงดันที่สูงมาก แรงดันเสิร์จนี้ แม้จะเกิดขึ้นและหายไปอย่างรวดเร็ว แต่ ส่งผลกระทบต่อที่สำคัญยิ่งต่อ เสถียรภาพ(Stability) และ ความเชื่อถือได้(Reliability) ของระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ในการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งทางด้านอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัย ผู้ใช้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่อง ระบบไฟฟ้าที่ดีควรเป็นระบบไฟฟ้าที่มีความเสถียรภาพ และเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง การป้องกันแรงดันเสิร์จจึงเป็นปัญหาสำคัญที่ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้านำมาพิจารณาประกอบในการออกแบบระบบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ภายในระบบไฟฟ้า ดังนั้นการออกแบบการฉนวนที่มีการประสานสัมพันธ์กับระดับป้องกันจึงควรทราบถึงคุณสมบัติของแรงดันเกินเสิร์จที่เกิดขึ้นในระบบ และหากการประสานสัมพันธ์การฉนวนและการป้องกันเสิร์จ ได้รับการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ยังเป็นการช่วยยืดอายุการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบ

เนื่องจากอุปกรณ์ที่นำมาวัดและบันทึกแรงดันเสิร์จ คือ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ และ ออสซิลโลสโคป มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีราคาแพง จึงมีความเหมาะสม สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงเป็นแรงจูงใจในการสร้างเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่มี อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ และ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ รวมอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ได้เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาในราคาที่ถูกลง สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกในสถานที่ต่างๆ ทั้งภายใน หรือ ภายนอกอาคาร เพื่อนำข้อมูลเสิร์จที่บันทึกได้เหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ และ ใช้ในการศึกษาคุณลักษณะของเสิร์จแรงดันต่ำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์เพื่อลดทอนแรงดันให้เหมาะสมกับเครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ และ จะต้องไม่ทำให้รูปคลื่นแรงดันเสิร์จผิดเพี้ยน
2. เพื่อพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ ในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงดันต่ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การทำวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยมีขอบข่ายของงานวิจัยดังนี้

- 1) ออกแบบสร้างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์สำหรับลดทอนแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ให้ได้ระดับแรงดันที่เหมาะสมกับภาคอินพุท ของเครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ
- 2) ประกอบสร้างเครื่องบันทึกรูปคลื่น เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลแรงดันเสิร์จ พร้อมบันทึกเวลาจริง แล้วบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำประเภท SD CARD ความจุ 1 Gbyte
- 3) นำข้อมูลที่เก็บบันทึกไปแสดงที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 4) ทดลองใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ ด้วยรูปคลื่นทดสอบมาตรฐาน 1.2/50 μ s กับรูปคลื่นแกว่ง Ring Wave โดยทำการเปรียบเทียบผลของการทดลองที่ได้ กับ ออสซิลโลสโคป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษารูปคลื่นเสิร์จตามมาตรฐาน IEEE Std C62.41.2 [2]
2. ศึกษามาตรฐานของเครื่องวัดและบันทึกดิจิทัลตามมาตรฐาน IEEE Std 1122-1998 [1]
3. ทดลองเขียนโปรแกรมติดต่อกับอุปกรณ์ทั้งภาคแอนะล็อกและดิจิทัลด้วยบอร์ดทดลอง
4. ออกแบบ PCB และ ลงอุปกรณ์
5. ออกแบบและทดสอบวงจรภาคแอนะล็อก และ ดิจิตอล ด้วยแรงดันไฟต่ำ
7. เขียนโปรแกรมเพื่อทำการอ่านค่าข้อมูลที่บันทึกได้ นำไปแสดงผลด้วยวิธีพลอตกราฟ
8. ทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์กับเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จด้วยแรงดันไฟสูง เปรียบเทียบกับ ออสซิลโลสโคป
9. ออกแบบและทดสอบวงจรป้องกันเสิร์จ
10. รวบรวมผลการทดลอง , สรุปผล และ เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่มาของแรงดันเกินชั่วขณะ
2. นำข้อมูลแรงดันเสิร์จที่บันทึกได้นี้ไปใช้ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จเพื่อป้องกันความเสียหาย และ ช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ในระบบ
3. เป็นแนวทางและประสบการณ์สำหรับผู้ที่จะพัฒนาเครื่องวัดในระบบไฟฟ้าแรงสูง

1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย

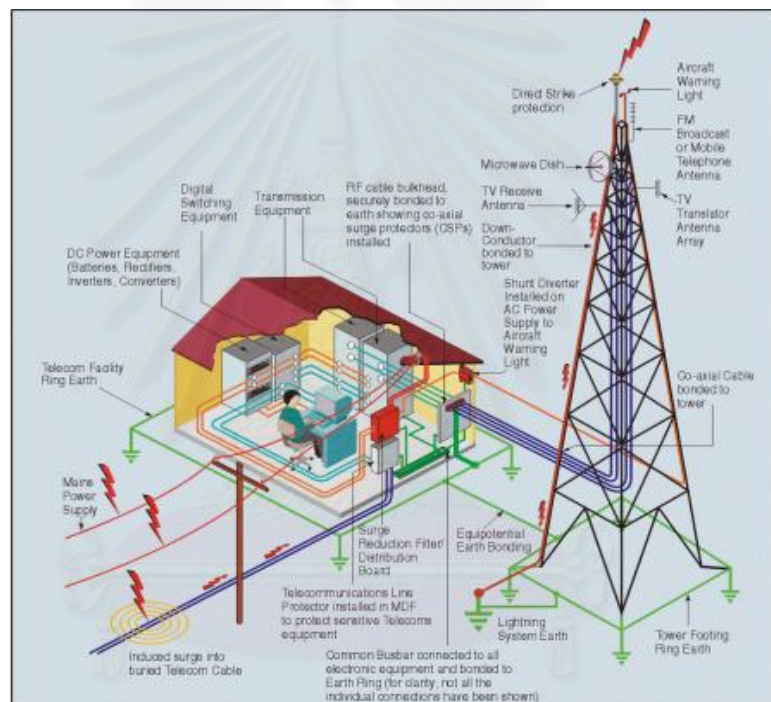
ในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยเริ่มจากบทที่ 2 จะกล่าวถึง คุณลักษณะของแรงดันเสิร์จมาตรฐาน และ หลักการพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ ADC บทที่ 3 นำเสนอการออกแบบ และ ประกอบสร้าง อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ ชนิด ตัวต้านทาน และ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ ภาคแอนะล็อก และ ภาคดิจิทัล บทที่ 4 แสดงผลการทดสอบ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์, เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ, อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จภาคแหล่งจ่ายไฟ และ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องมือวัดโดยตรง บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปงานวิทยานิพนธ์ และ ข้อเสนอแนะ เพื่อการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ระบบวัดและบันทึกรูปคลื่นเสิร์จ

2.1 การเข้ามาของแรงดันเสิร์จ [4]

แรงดันไฟฟ้าเกินที่เข้ามาในอาคารเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดนั้น สามารถเข้ามาในอาคารได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 การเข้ามาของแรงดันเสิร์จ

1. ทางสายตัวนำไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบงานคอมพิวเตอร์และสื่อสาร ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่เสิร์จจะใช้เป็นทาง ผ่านเข้ามาในอาคารมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า การเกิดฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นโดยตรง ผลทำให้เกิดกระแสเสิร์จขนาดใหญ่วิ่งตามสายตัวนำไฟฟ้าเพื่อหาจุดลงดิน ซึ่งด้วยผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างกระแสฟ้าผ่ากับสายตัวนำไฟฟ้าทำให้เกิดเสิร์จที่สายดังกล่าวขึ้นเป็นผลทำให้อุปกรณ์ชำรุดเนื่องจากได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินได้

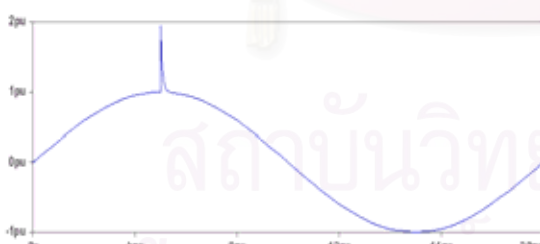
2. ทางสายโทรศัพท์ สายนำสัญญาณและสายสื่อสารข้อมูล เป็นอีกทางหนึ่งที่กระแสเล็ร็จเข้ามา โดยเกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาของกระแสเล็ร็จจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า เช่นเดียวกับสายตัวนำไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากฟ้าผ่าเข้าไปเหนี่ยวนำ วงรอบ (Loop) ใดๆในอาคาร

3. จากระบบการต่อลงดิน ในกรณีระบบมีการต่อลงดินหลายจุด เมื่อมีเหตุการณ์ฟ้าผ่าและมีกระแสฟ้าผ่าไหลลงระบบรากสายดินจุดหนึ่ง อาจก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าของจุดลงดินสูงกว่าอีกจุดหนึ่ง เป็นผลทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นจากระบบดินจุดหนึ่งผ่านอุปกรณ์ต่างๆไปลงดินอีกจุดหนึ่ง เป็นผลทำให้อุปกรณ์ในระบบเกิดการเสียหายได้

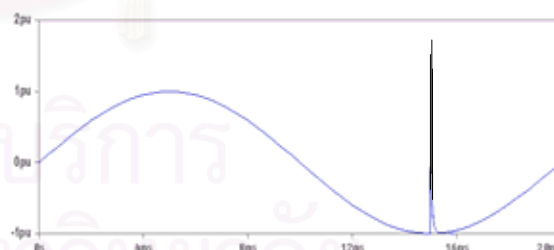
2.2 ลักษณะของสัญญาณเล็ร็จที่เกิดขึ้นในระบบ

ลักษณะของสัญญาณเล็ร็จที่เกิดขึ้นในระบบอาจเกิด ณ ช่วงเวลาใดของสัญญาณความถี่ระบบก็ได้ โดยสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 4 กรณี คือ

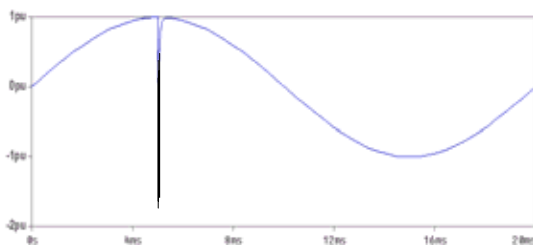
- 1) เล็ร็จบวกตกคร่อมสัญญาณความถี่ระบบช่วงบวก
- 2) เล็ร็จบวกตกคร่อมสัญญาณความถี่ระบบช่วงลบ
- 3) เล็ร็จลบตกคร่อมสัญญาณความถี่ระบบช่วงบวก
- 4) เล็ร็จลบตกคร่อมสัญญาณความถี่ระบบช่วงลบ



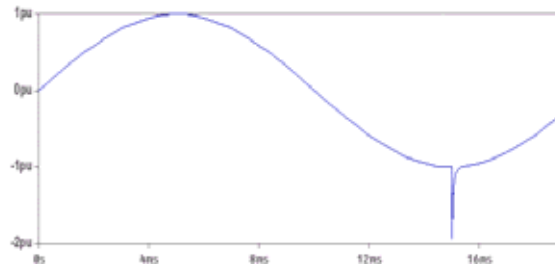
ก) เล็ร็จฟ้าผ่าบวกตกคร่อมสัญญาณความถี่ระบบช่วงบวก



ข) เล็ร็จฟ้าผ่าบวกตกคร่อมสัญญาณความถี่ระบบช่วงลบ



ค) เสรีจฟ้าผ่าลบตกรวมสัญญาณ
ความถี่ระบบช่วงบวก



ง) เสรีจฟ้าผ่าลบตกรวมสัญญาณ
ความถี่ระบบช่วงลบ

รูปที่ 2.2 สัญญาณเสรีจที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาต่างของสัญญาณย่านแถบความถี่ระบบ[5]

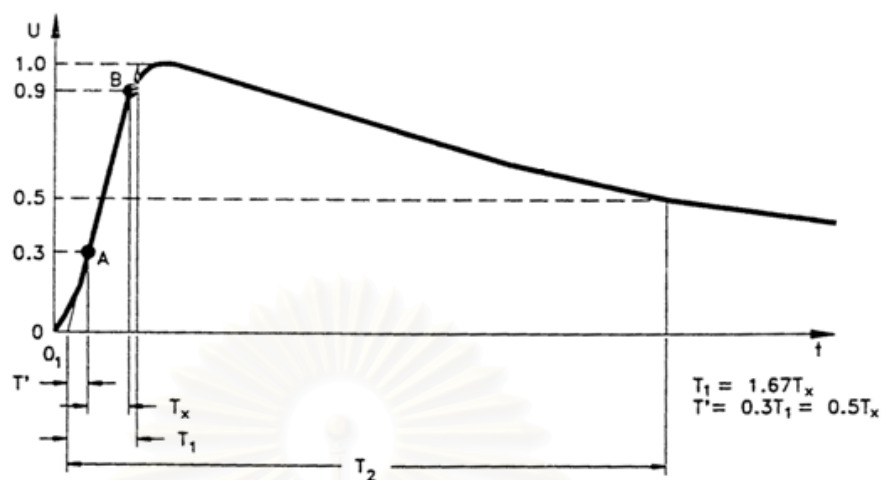
2.3 รูปคลื่นเสรีจที่ใช้ในการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสรีจ[2],[3]

เป็นรูปคลื่นมาตรฐาน หรือ (Standard WaveForm) ที่ใช้อ้างอิงในทุกมาตรฐาน ได้แก่ รูปคลื่นมาตรฐาน (1.2/50µs) กับอีกหนึ่งรูปคลื่นมาตรฐาน คือ รูปคลื่นแกว่งหรือ (Ring Wave)

รูปคลื่นแรงดันไฟกระชากจะมีค่าเวลาไต่ขึ้น หรือ Rise Time เท่ากับ 1.2 µs ส่วนคาบเวลา หรือ Duration Time มีค่าเท่ากับ 50 µs ทำให้สามารถเรียก รูปคลื่นแรงดันไฟกระชากอีกชื่อหนึ่งได้ว่า รูปคลื่น (1.2/50 µs) โดยปกติแล้ว รูปคลื่นแรงดันไฟกระชาก (1.2/50 µs) นี้ จะถูกใช้สำหรับการทดสอบ ระดับของการฉนวนของอุปกรณ์ (BIL) รูปคลื่นแรงดันไฟกระชากแสดงในรูปที่ 2.3

รูปคลื่นแกว่ง หรือ Ring Wave โดยลักษณะของรูปคลื่นนี้ จะมีค่าเวลาไต่ขึ้น หรือ Rise Time เท่ากับ 0.5 µs และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้นลง และ ลดลงเรื่อยๆ ในลักษณะของการสั่น (Oscillation) โดยมีค่าความถี่ที่ 100 kHz ดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.3.1 รูปคลื่นแรงดันเสิร์จมาตรฐาน (1.2/50 μ s)



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s open-circuit

รูปคลื่นแรงดัน open-circuit แสดงดังรูป 2.3 จากรูป พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้มีดังนี้

หน้าคลื่น (Front time) : 1.2 μ s

หลังคลื่น (Duration) : 50 μ s

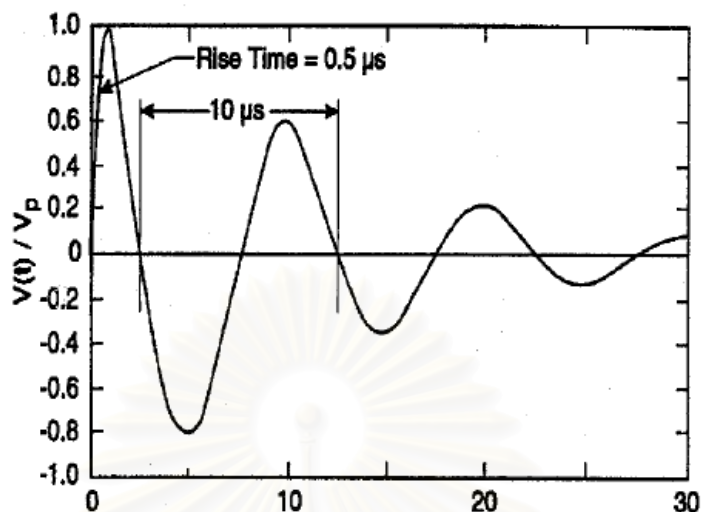
ก) ค่ายอดคลื่น (V_p) โดยปกติจะหมายถึงค่ายอด (Peak value) ของรูปคลื่นแรงดัน

ข) เวลาหน้าคลื่น(T_1) = 1.67(T_x) ถูกกำหนดโดย (IEC 60060-2:1994 และ IEEE Std 4TM-1995) โดยที่ T_x (Time Interval) เป็นผลต่างของเวลาที่ขนาดของแรงดันมีค่าเท่ากับ 30% ของค่ายอด และเวลาที่ขนาดของแรงดันมีค่าเท่ากับ 90% ของค่ายอด หรือ 1.67($t_{90}-t_{30}$) ทั้งนี้สมมุติว่าจุดเริ่มต้นเป็นจุดที่แรงดันมีค่าเป็นศูนย์โดยคำนวณจากเส้นตรงที่ลากผ่านจุด 2 จุดที่นำมาคำนวณค่า T_x ดังกล่าว เราเรียกจุดเริ่มต้นนี้ว่าจุดเริ่มต้นเสมือน (Virtual Origin, O_1)

ค) เวลาถึงกึ่งค่ายอด(T_2) เป็นเวลาจากจุดเริ่มต้นเสมือน ผ่านค่ายอด จนถึงจุดที่ขนาดของแรงดันมีค่าเท่ากับ 50% ของค่ายอด

มาตรฐานสากลกำหนดให้มีความผ่อนผัน (Tolerance) สำหรับค่ายอดได้ $\pm 10\%$ และหน้าคลื่น และ หลังคลื่น มีค่าเท่ากับ $T_1 = 1.2 \mu\text{s} \pm 30\%$ และค่า $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20\%$ ตามมาตรฐานของ IEEE Std C62.45 – 2002

2.3.2 รูปคลื่นแกว่ง Ring Wave (0.5 μ s – 100 kHz)



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแกว่ง The 100 kHz Ring Wave

อิมพัลส์ไฟฟ้าแบบแกว่งแสดงดังรูป 2.4 จากรูป พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้มีดังนี้

ช่วงเวลาที่ไต่ขึ้น (Rise Time) : 0.5 μ s \pm 0.15 μ s

ความถี่คลื่นแกว่ง (Ringing Frequency) : 100 kHz \pm 20 kHz

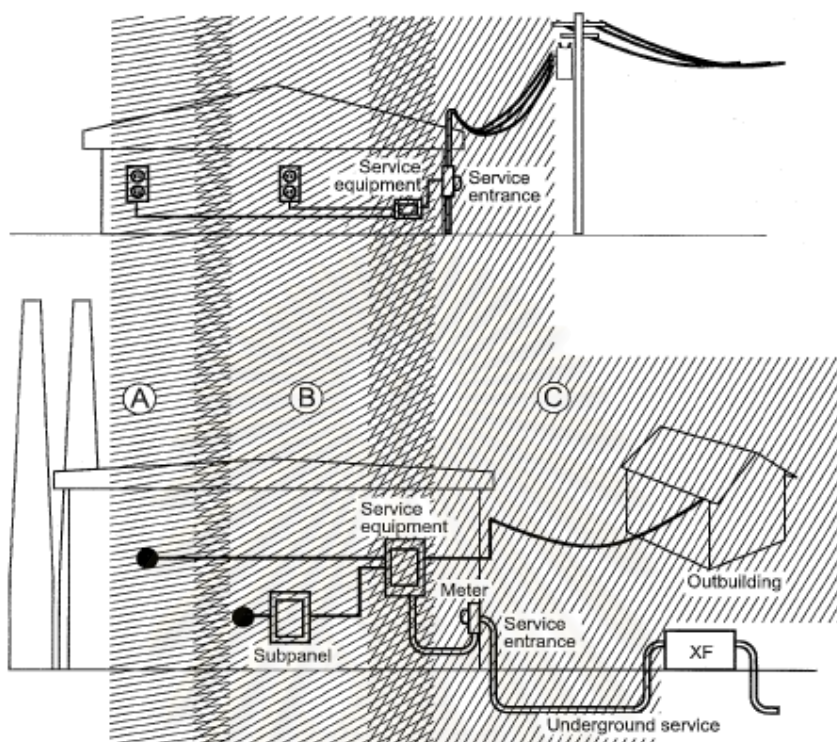
ก) ช่วงเวลาที่ไต่ขึ้น (Rise Time) = 0.5 μ s ถูกกำหนดโดยมาตรฐานของ IEEE Std C62.42.2TM - 2002 เป็นผลต่างของเวลาที่ขนาดของแรงดันมีค่าเท่ากับ 90% ของค่ายอด และเวลาที่ขนาดของแรงดันมีค่าเท่ากับ 10% ของค่ายอด

ข) ส่วนความถี่ 100 kHz จะพิจารณา ณ จุด Zero Crossing หลัง ค่ายอด ที่ 1 ถึง ค่ายอด ที่ 3 ซึ่งมีคาบเวลาการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 10 μ s (1/10 μ s=100 kHz)

ค) อัตราส่วนของค่ายอดแรงดันระหว่างค่ายอด ที่ 2 และ ค่ายอด ที่ 1 จะมีค่ายอดแรงดัน อยู่ระหว่าง 40% - 90%

ง) อัตราส่วนของค่ายอดแรงดันระหว่าง ค่ายอด ที่ 3 กับ ค่ายอด ที่ 2 และ ค่ายอด ที่ 4 กับ ค่ายอด ที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 40% - 80 % และ ไม่มีการ แนะนำ ของ รูปคลื่นแกว่ง ใน ค่ายอด ที่ 5 เพราะค่ายอดแรงดัน มีขนาดเล็กมาก

2.4 การจัดแบ่งโซนระดับแรงดันไฟกระชาก



รูปที่ 2.5 การจัดแบ่งบริเวณโซนค่าระดับความรุนแรงของไฟกระชากในมาตรฐาน ANSI
(ที่มา : ANSI/IEEE Std.C62.41)

จากรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงให้เห็นถึงโซนบริเวณค่าระดับความรุนแรง 3 บริเวณ และค่าระดับของแรงดันไฟกระชากในโซนต่างๆ ในตารางที่ 2.1 เริ่มจาก

โซน A เป็นตำแหน่งภายในอาคารแต่มีระยะทางอยู่ห่างจาก ตำแหน่งจุดต่อร่วมของสายส่งระหว่างภายนอกและภายในอาคาร(Service entrance) มากที่สุด เป็นโซนที่มีโอกาสน้อยที่สุดที่จะถูกผลกระทบจากกรณีฟ้าผ่าโดยตรง

โซน C เป็นตำแหน่งภายนอกอาคารรวมถึงสายส่งที่ผ่านหม้อแปลงจากเสาไฟฟ้าซึ่งจะเห็นว่าเป็นโซนที่มีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าโดยตรง มากที่สุด

โซน B เป็นตำแหน่งที่อยู่ระหว่าง ตำแหน่ง โซน A และ โซน C เป็นโซนที่มีการสวิตชิงของอุปกรณ์ภายใน หรือจากการรับกระแสเล็กร์ของการเหนี่ยวนำจากฟ้าผ่าเข้ามาตามสายตัวนำไฟฟ้า และสายสัญญาณต่างๆ และ จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าที่เข้ามา เหนี่ยวนำวงรอบที่อยู่ในอาคาร เช่นวงรอบระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร

ตารางที่ 2.1 ค่าระดับความรุนแรงของไฟกระชากในโซน ต่างๆ ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Std.C62.41

Location Category	Exposure Level	Voltage (KV)
A	Low	2
A	Medium	4
A	High	6
B	Low	2
B	Medium	4
B	High	6
C	Low	6
C	Medium	10
C	High	20

ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการทดสอบที่ บริเวณ โซน A , B ซึ่งเป็นบริเวณโซนภายในอาคาร และที่โซน C Exposure level low

แสดงให้เห็นว่าโอกาสที่จะได้รับแรงดันไฟกระชาก ของทั้ง 3 โซน มีค่าของระดับแรงดันไฟกระชาก มีช่วงอยู่ระหว่างตั้งแต่ 2 KV จนถึง 6 KV ซึ่ง ค่าระดับแรงดัน 6 KV เราจะนำไปพิจารณาการสร้าง โวลต์เตจดีไวเดอร์ และ ทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเล็กร์ที่ประกอบสร้าง

2.5 หลักในการเลือกอุปกรณ์บันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ

ตามมาตรฐานของ IEEE Std.1122-1998 (Standard for Digital Recorders for Measurements Impulse test)[1]

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะเลือกใช้รูปคลื่นเสิร์จมาตรฐานในการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ คือรูปคลื่น (1.2/50 μ s) และ (0.5 μ s – 100 kHz) Ring Wave ตามมาตรฐานของ ANSI/IEEE Std.C62 (Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits)

เนื่องจากการวัดรูปคลื่นเสิร์จ ในระบบสายส่งจำเป็นต้องตรวจจับสัญญาณเสิร์จอยู่ตลอดเวลาในลักษณะของ (Real-Time) ดังนั้นอุปกรณ์บันทึกแรงดันเสิร์จ จะต้องพร้อมที่จะรับและบันทึกข้อมูลได้ตลอดเวลา และมีคุณสมบัติที่เพียงพอในการวัดสัญญาณเสิร์จ

2.5.1 อัตราการช้กตัวอย่าง (Sampling rate)

ตามมาตรฐานของ IEEE Std. 1122-1998 ว่าด้วยมาตรฐานเครื่องบันทึกดิจิทัลสำหรับวัดสัญญาณในลักษณะของรูปคลื่นแบบอิมพัลส์ ได้กำหนดให้อุปกรณ์ที่ทำการบันทึกจะต้องมีอัตราการช้กตัวอย่าง (Sampling rate) ดังนี้คือ

$$\text{อัตราการช้ก} > 30/T_x \text{ Samples/s}$$

จากรูปที่ 2.3 ข) เวลาค้นคืน(T_1) = 1.67 Tx (Time Interval)

$$T_x(\text{Time Interval}) = \frac{T_1}{1.67} (\text{เวลาค้นคืน})$$

$$= \frac{1.2 \mu\text{s}}{1.67}$$

$$= 7.2 \mu\text{s}$$

ดังนั้น อัตราการช้ก > 30 / 7.2 μ s หรือ 41.6 MSps

2.5.2 ความละเอียด (Resolution)

ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการควอนไทซ์ (Quantization) จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของรหัสไบนารี (Binary Code) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{FS}{2^N}$ โดยที่ (FS คือ ค่าเต็มสเกลแรงดันอินพุตของ ADC) และ (N คือ จำนวนของบิตความละเอียดของ ADC)

ดังนั้นในกรณีที่กำหนดให้ค่า (FS = 1) ความผิดพลาด ที่ 8 bit และ 10 bit ดิจิทัลเชอร์ จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2^8} = 0.39\%$ และ $\frac{1}{2^{10}} = 0.1\%$ ตามลำดับ สำหรับมาตรฐาน IEEE Std. 1122-1998 กำหนดให้ Actual Resolution ต้องไม่น้อยกว่า 0.1% ของ Full-Scale Deflection (2^{-10} Full-Scale Deflection) หรือ 10 บิต

เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเครื่องมือวัดสามารถวัดค่ามาได้ถูกต้องดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ อุปกรณ์ ที่มีค่าความละเอียดของ ADC ที่ 12 bit ก็จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนคือ $\frac{1}{2^{12}} = 0.02\%$

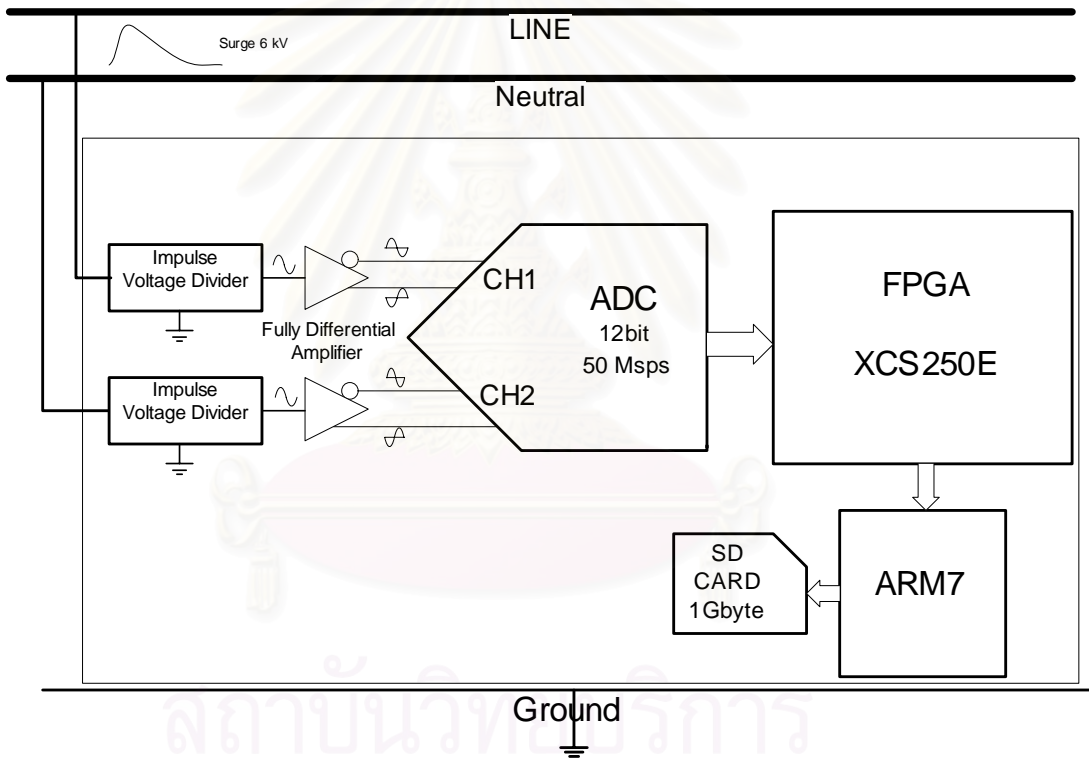
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติที่ต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกรูปคลื่นอิมพัลส์ทดสอบ
มาตรฐาน

	คุณสมบัติที่ต้องการของอุปกรณ์บันทึกรูปคลื่นอิมพัลส์ทดสอบมาตรฐาน
อัตราซีกตัวอย่าง (Sampling Rate)	มากกว่า 41.78 MS/S
ความละเอียด (Bit Resolution)	มากกว่า 10 bit

บทที่ 3

การออกแบบและประกอบสร้าง

เป้าหมายสำคัญที่ต้องการของระบบแบ่งแรงดันและระบบวัดที่ดี คือ จะต้องวัดได้ถูกต้องและได้รูปคลื่นเหมือนหรือใกล้เคียงกับรูปคลื่นจริงทางด้านไฟแรงสูง ลักษณะสมบัติของระบบวัดแรงดันจะกำหนดด้วยเวลาตอบสนอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแถบความถี่ของระบบวัด โดยระบบวัดที่ดีนั้นต้องมีแถบความถี่ที่กว้างกว่า แบนด์วิดธ์ของรูปคลื่นที่ต้องการวัดเพื่อให้สามารถถ่ายโอนสัญญาณได้ไม่ผิดเพี้ยนทั้งขนาดและลักษณะของรูปคลื่นแรงดันหรือกระแส



รูปที่ 3.1 หลักการพื้นฐานเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ

เนื่องจากแรงดันเสิร์จ ที่เกิดขึ้นภายในอาคารหรือที่จุดต่อร่วมระหว่างภายใน และภายนอกอาคาร มีค่าสูงมาก ทำให้ไม่สามารถวัดแรงดันได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ลดทอนแรงดันลงจนกระทั่งได้ค่าแรงดันที่ภาคแรงต่ำ เหมาะสมกับเครื่องมือบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ หลักการพื้นฐานเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จแสดงดังรูปที่ 3.1

3.1 เงื่อนไขในการออกแบบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์

ค่าพิกัดแรงดันขาเข้าสูงสุดที่กำหนดของโวลเตจดีไวเดอร์กำหนดด้วย ค่ายอดคลื่นแรงดันเสิร์จ ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Std.C62.41 ในบทที่ 2 ตารางที่ 2.1 ค่าระดับความรุนแรงของไฟกระชากในโซน ต่างๆ ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Std.C62.41

อีกเงื่อนไขหนึ่งที่สำคัญคือ แรงดันขาเข้าสูงสุดที่อินพุทของอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล(ADC) สามารถรองรับแรงดันได้ที่ 2V

3.1.1 คุณสมบัติที่ต้องการภาคแรงสูง

- 1) มีคุณสมบัติต่อการคงทนแรงดันไฟอิมพัลส์แรงดันสูงชั่วขณะได้ มิฉะนั้นแล้วอาจจะทำให้เกิดการเบรกดาวน์และเกิดไฟวาบตามผิวของความต้านทาน
- 2) มีความถูกต้องในการถ่ายโอนรูปคลื่นสัญญาณอิมพัลส์ ไปยังภาคแรงต่ำได้โดยรูปคลื่นไม่ผิดเพี้ยน
- 3) ขนาดของความต้านทานควรมีขนาดเล็กที่เหมาะสมกับขนาดของเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ



รูปที่ 3.2 ความต้านทานภาคแรงสูง Precision High Voltage Resistor

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ ความต้านทาน แรงดันสูง Type MG Precision High Voltage Resistor ขนาด 100 k Ω

3.1.2 คุณสมบัติที่ต้องการภาคแรงต่ำ

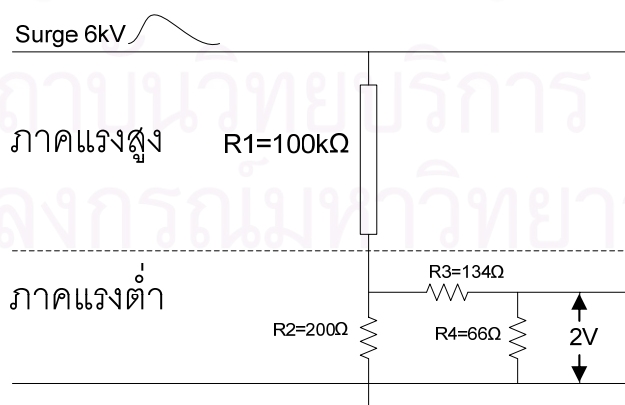
ภาคแรงต่ำเป็นส่วนประกอบที่กำหนดคุณสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์ เนื่องจากแรงดันขาออกของภาคแรงต่ำมีขนาดแค่ 2 V เมื่อเทียบกับภาคแรงสูงที่มีขนาด 6 kV ดังนั้นสัญญาณภาคแรงต่ำสามารถถูกรบกวนได้ง่ายจากปัจจัยทางภายนอก เช่น จากกระแสที่ไหลในซีลด์ของสายเคเบิล หรือ จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำในระบบวัด หรือ ภายนอกระบบ จึงควรมีโวลเตจดีไวเดอร์ อยู่ในกล่องซีลด์ โดยให้กล่องซีลด์มีคุณสมบัติเป็น กราวด์

ชนิดของความต้านทานควรเป็นชนิดที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 5% เนื่องจากคุณสมบัติของโครงสร้างความต้านทานชนิดนี้ มีค่าความเหนี่ยวนำแฝง น้อยกว่าชนิดที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 1% เพื่อให้ อิมพีแดนซ์ที่ภาวะทรานเซียนต์มีค่าต่ำทำให้คลื่นสะท้อนกลับจากภาคแรงต่ำเข้าไปภาคแรงสูงมีค่าลดลง

3.1.3 การเลือกแรงดันขาออกและการคำนวณหาค่าความต้านทานภาคแรงดันต่ำ

แรงดันขาออกสูงสุดของโวลเตจดีไวเดอร์ กำหนด ด้วยแรงดันขาเข้าสูงสุดของเครื่องวัด ฉะนั้น จึงต้องทำการลดทอนแรงดันลง 3000 เท่า ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ออกแบบโวลเตจดีไวเดอร์ R1 , R2 แบ่งแรงดันขนาด 1000 เท่าก่อนซึ่ง หมายถึงว่าจะมีแรงดันตกคร่อม R2 ขนาด 6V แล้ว ค่อยใช้ ความต้านทาน R3 , R4 ลดทอนแรงดันลงอีก เพื่อให้เหลือแรงดันขาออก ภาคแรงต่ำขนาด 2V



รูปที่ 3.3 การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์

$$\text{ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้} \quad 6V = 6kV \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \quad (3.1)$$

แทนค่า $R1 = 100 \text{ k}\Omega$ ลงในสมการที่ 3.1 จะได้ค่า $R2 = 100 \text{ }\Omega$ แต่เนื่องจากว่า $R2$ ถูกต่อขนานอยู่กับ $R3$ อนุกรมกับ $R4$ จึงกำหนดให้ $R2 = 200 \text{ }\Omega$ และ $R3 + R4 = 200 \text{ }\Omega$ เพราะว่าเมื่อนำค่า $R2 \parallel (R3 + R4)$ แล้วจะได้ค่าความต้านทานที่ตำแหน่ง $R2 = 100 \text{ }\Omega$ เท่าเดิม จากหลักการนี้ทำให้เราได้สมการที่ (3.2)

$$R3 + R4 = 200 \quad (3.2)$$

และได้สมการแรงดันขาออกที่ต้องการคือ

$$2V = 6V \cdot \frac{R4}{R3 + R4} \quad (3.3)$$

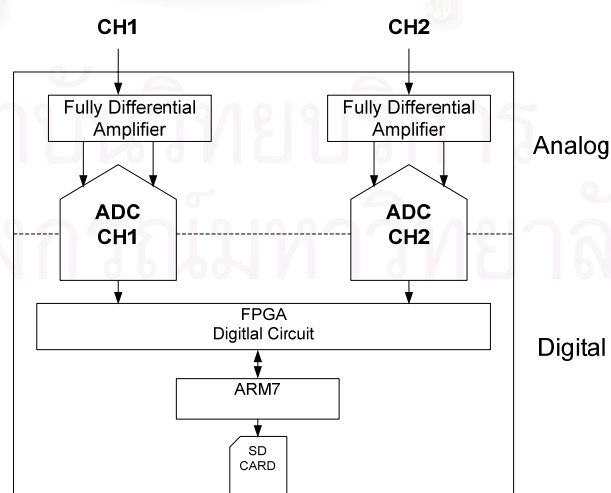
ดังนั้นเราจะได้ค่าความต้านทานภาคแรงดันต่ำทั้งหมดคือ

$$R2 = 200 \text{ }\Omega, R3 = 134 \text{ }\Omega, R4 = 66 \text{ }\Omega$$

3.2 การออกแบบและสร้างตัวลงบันทึกแรงดันเสิร์จ

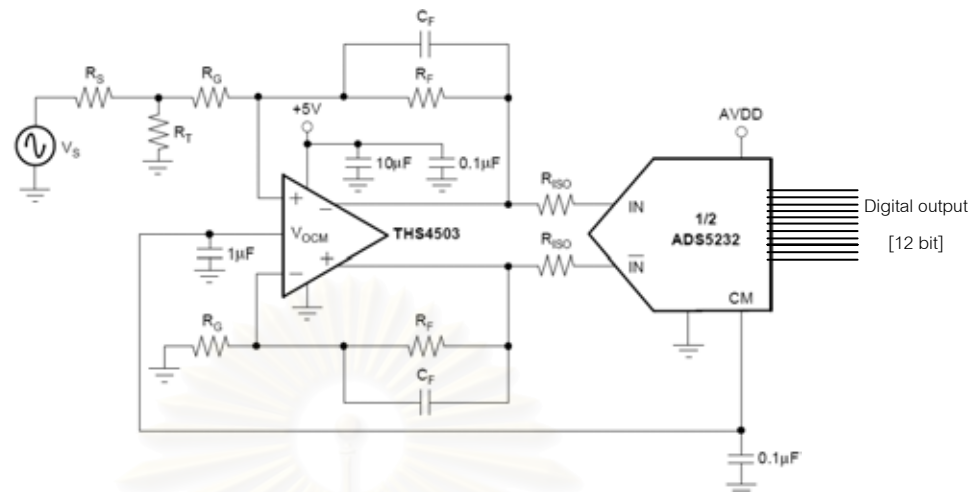
เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จนี้ใช้หลักการทำงานของเครื่องบันทึกสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Recorder) โดยทั่วไป คือจะรับสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งได้ปรับขนาดของแรงดันที่เหมาะสมแล้วกับอุปกรณ์วัด เพื่อเปลี่ยนเป็นดิจิตอลแล้วเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ แล้วนำผลที่บันทึกได้ไปเขียนกราฟแสดงรูปคลื่นแรงดันเสิร์จที่วัดได้ ที่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.2.1 รายละเอียดของภาคบันทึกแรงดันเสิร์จ



รูปที่ 3.4 รายละเอียดของภาคบันทึกแรงดันเสิร์จ

3.2.1.1 หลักการทำงานของวงจรมอดแอนะลอก



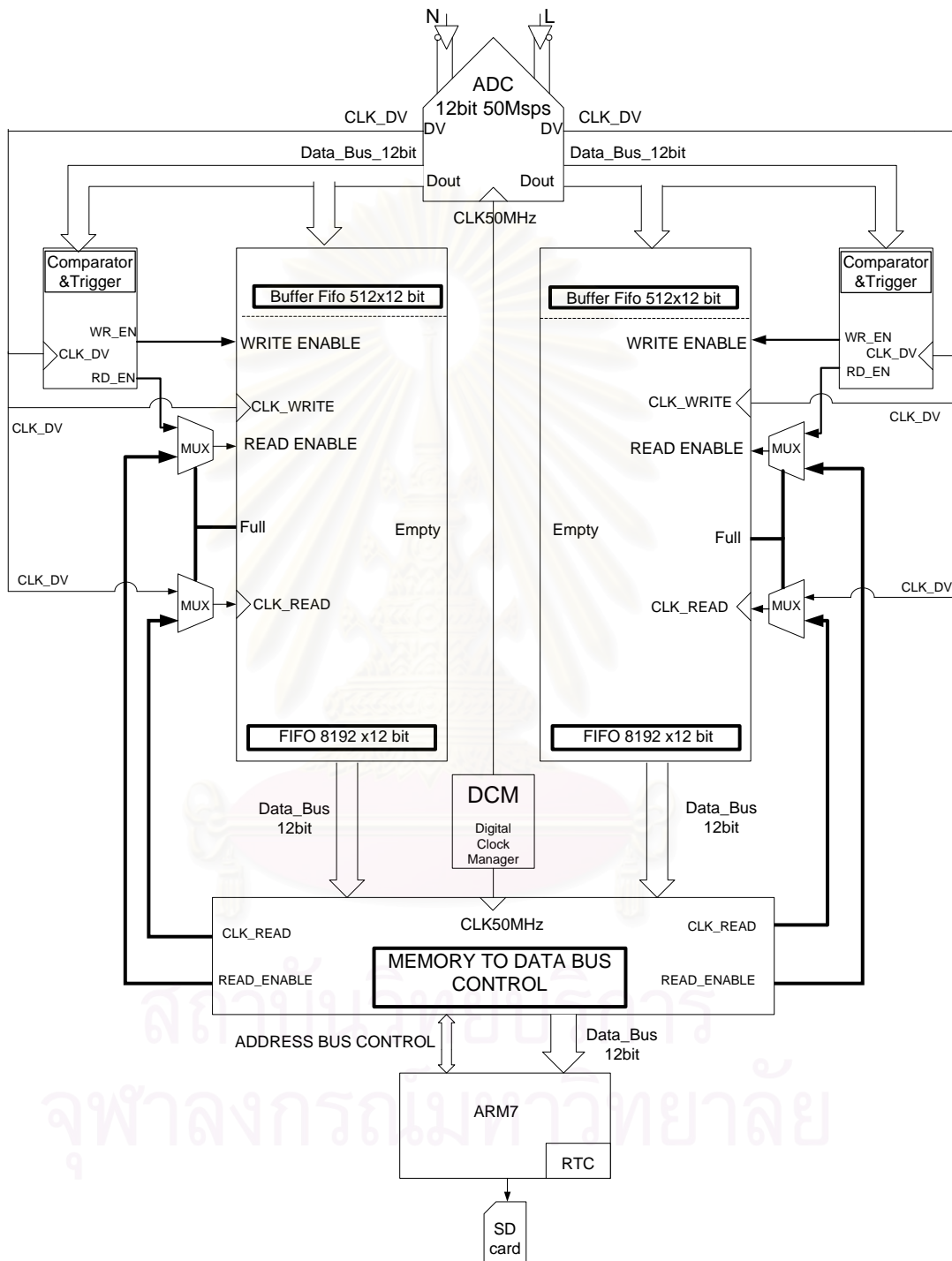
รูปที่ 3.5 รายละเอียดของวงจรมอดแอนะลอก

Fully Differential Amplifier[6] หน้าทีของ OpAmp ตัวนี้คือ ไม่ว่าสัญญาณเสิร์จที่เข้ามาในระบบ จะเป็นสัญญาณ ชีกรวม หรือ ชีกลบ ก็ตาม จะทำการสร้างสัญญาณ ขยายผลต่าง หรือ เรียกว่า single-ended to differential Conversion เลือกใช้ IC THS4503 มีแถบความถี่อยู่ที่ 370 MHz

Analog to Digital Converter [7]ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสิร์จจาก Fully Differential Amplifier ให้เป็นสัญญาณ ดิจิตอลเลือกใช้ IC ADS5232 ซึ่งมีความละเอียด 12 บิต และ อัตราการซักรวดอย่าง หรือ Sampling Rate สูงสุด 50 MS/S มีแถบความถี่อยู่ที่ 300 MHz

3.2.1.2 หลักการทำงานของวงจรมอดดิจิตอล [8]

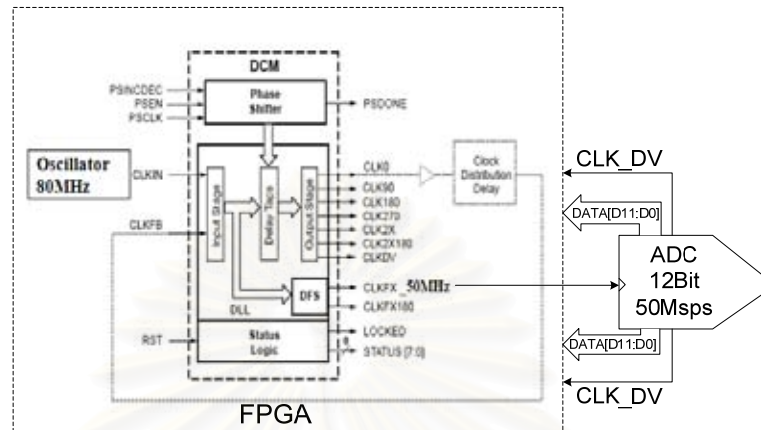
วงจรมอดดิจิตอลของเครื่องบันทึกคลื่นแรงดันเสิร์จ นี้ วงจรดิจิตอลส่วนใหญ่ได้ถูก ออกแบบรวมไว้ภายในชิป ของ FPGA รายละเอียดของวงจรมอดดิจิตอลทั้งหมดแสดงดัง 3.6 วงจรส่วนใหญ่จะออกแบบในระดับ RTL(Register transfer level) แล้ว ทำการเขียนโปรแกรมด้วย ภาษา VHDL (Very high speed hardware Description language) [9] และ สังเคราะห์ เป็น วงจรระดับ Gate จากนั้นจึงนำไปผ่านการ Place & Route เพื่อนำไปคอนฟิก(Config)ลงบน FPGA (Field Programable Gate Array) เบอร์ XCS250E ซึ่งเป็น FPGA ของบริษัท Xilinx ที่มี Architecture เหมาะกับการออกแบบวงจรมอดดิจิตอลความเร็วสูง



รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของวงจรภาคดิจิทัล

3.2.2 รายละเอียดวงจรดิจิทัลภายใน FPGA

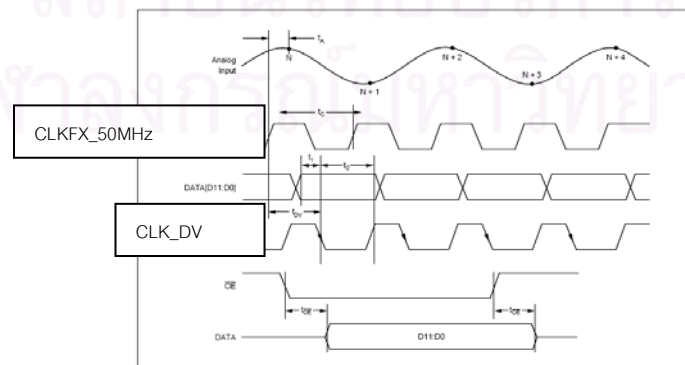
3.2.2.1 Digital Clock Manager (DCM)[10]



รูปที่ 3.7 Digital Clock Manager (DCM)

วงจร DCM นี้จะรับสัญญาณนาฬิกา ขนาด 80 MHz จากออสซิลเลเตอร์ ที่อยู่ภายนอก FPGA รับเข้ามาทางขา CLKIN แล้วนำมาผ่านวงจร Delay Lock Loop (DLL) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่สัญญาณนาฬิกา แล้วจึงทำการลดความถี่ลงให้เหลือ 50MHz แล้วทำการส่งออกทางขา CLKFX_50MHz เพื่อนำไปกำหนด Sampling Rate ให้กับ ADC

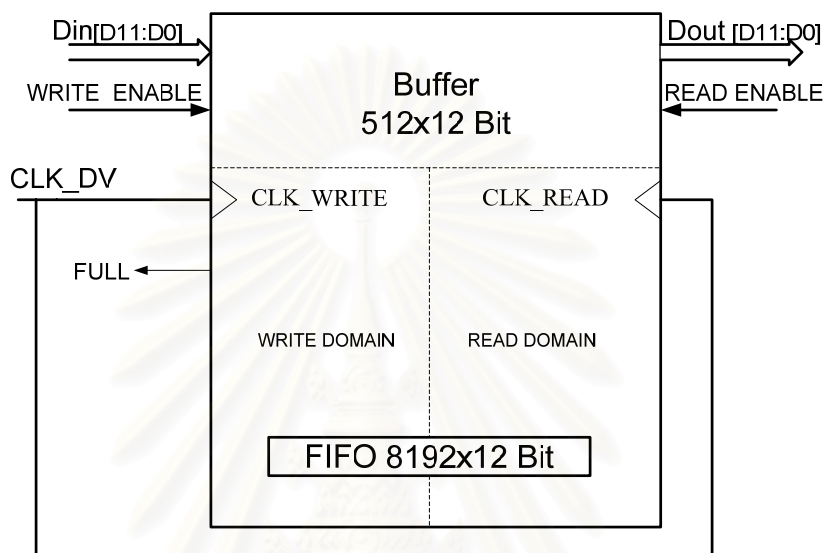
เมื่อ ADC ทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็น ดิจิตอล ส่งออกมานั้น ADC จะส่งสัญญาณนาฬิกา DATA VALID (DV) แสดงในรูปที่ 3.7 ชื่อ CLK_DV พร้อมกับ DATA ขนาด 12 บิตออกมาด้วย เราจึงใช้ ขอบขาของสัญญาณนี้ มาป้อนให้ FPGA เพื่อใช้ในการ Sampling ข้อมูลจาก ADC



รูปที่ 3.8 Timing diagram ของ CLK_DV

3.2.2.2 วงจรบัฟเฟอร์[11]

วงจบบัฟเฟอร์ ถูกออกแบบให้ใช้พื้นที่ของหน่วยความจำชนิด FIFO ขนาด 8192 x 12 bit โครงสร้างของ Dual READ/WRITE PORT Synchronous Block Ram โดยใช้ตำแหน่ง Address ส่วนด้านบน ขนาด 512x12bit ทำเป็นหน่วยความจำบัฟเฟอร์



รูปที่ 3.9 โครงสร้างของ FIFO Buffer ขนาด 8192 X 12 bit

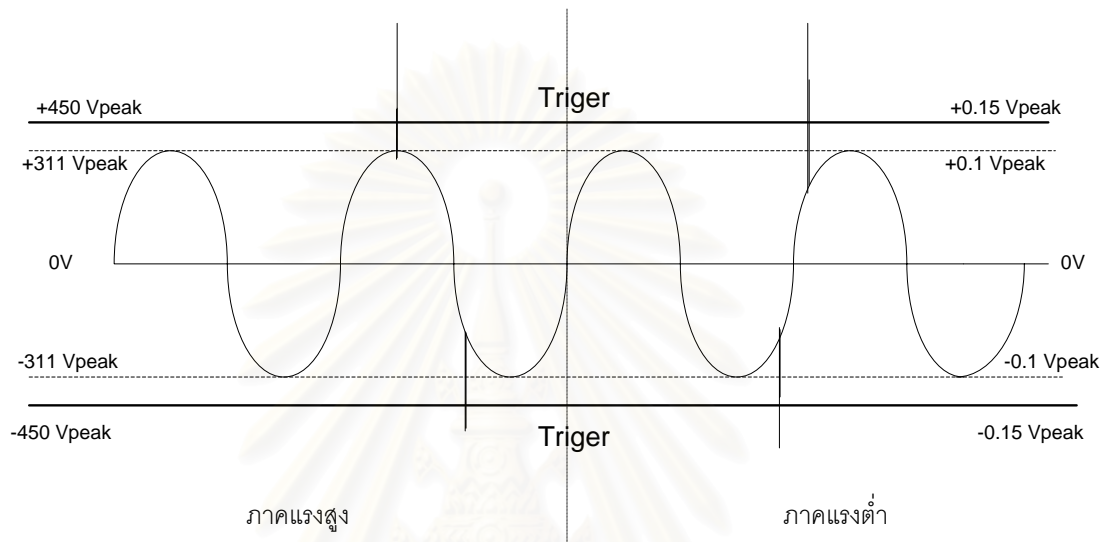
หลักการทำงานของ Buffer ในส่วนของ FIFO นี้ถูกออกแบบให้ทำงานคล้ายกับวงจร Programmable Delay Line ซึ่งทำหน้าที่หน่วงเวลาข้อมูลก่อนที่ข้อมูลจะถูกจัดเก็บลง FIFO Buffer ขนาด 8192 x 12 bit เพื่อสามารถเก็บข้อมูลก่อนหน้าที่จะเกิดการ Trig หรือ Pre-Trig ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถได้รูปคลื่นแรงดันเสถียร ช่วงหน้าคลื่น Front-Time อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่า การเขียนหรือการอ่านข้อมูลใน FIFO จะถูกกระทำเมื่อ ขอบขา ลงของสัญญาณนาฬิกา CLK_DV ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA VALID ของ ADC ทำให้การบันทึกข้อมูลเกิดการ Synchronous และ เพื่อเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการบันทึกข้อมูลดิจิตอลลงใน หน่วยความจำด้วย

ส่วน สัญญาณ WRITE_ENABLE และ READ_ENABLE ซึ่งเป็นสัญญาณที่สั่งให้เขียน และ อ่านข้อมูลจาก ADC ลงใน FIFO จะถูกควบคุมด้วย วงจร Comparator ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อ ถัดไป

3.2.2.3 วงจรคอมพาราเตอร์ และ ทริกเกอร์[12]

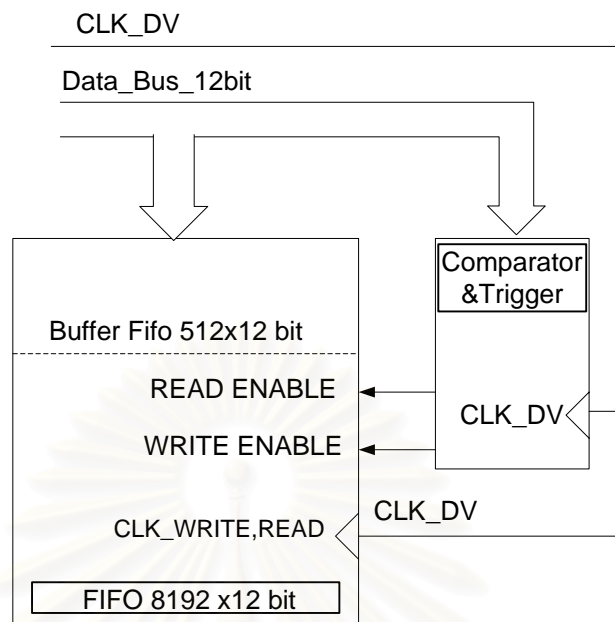
วงจรมีหน้าที่คอยตรวจสอบค่าของข้อมูลดิจิทัลในส่วนของ Buffer ว่ามีค่าแรงดันเกิน หรือ ต่ำ กว่าค่าดิจิทัลที่เป็นแรงดันอ้างอิงทางสัญญาณแอนะล็อก ในสภาวะปกติ ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่



รูปที่ 3.10 แรงดันอ้างอิง

ค่าแรงดันอ้างอิงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $\pm 0.15 \text{ V}$ ซึ่งพิจารณาจากสภาวะปกติ ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ $\pm 220 \text{ Vrms} \times 1.414 = \pm 311 \text{ Vpeak}$ แล้วทำการหารด้วยอัตราการลดทอนของโวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง คือ 1:3000 เท่า จึงมีค่าเท่ากับ $\pm 311 \text{ Vpeak} / 3000 = \pm 0.1 \text{ Vpeak}$

เนื่องจากว่าจุดที่เราทำการพิจารณาตั้งระดับแรงดันอ้างอิงนั้น คือจุดต่อร่วมระหว่างภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์ และ อินพุทของ Fully Diff Amp ดังนั้นที่จุดต่อร่วมนี้ ย่อมมีสัญญาณรบกวน และ ค่าของแรงดัน ออฟเซต ในระดับ มิลลิโวลต์ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงกำหนดค่าแรงดันเพื่อเอาไว้ให้มีค่าเท่ากับ $\pm 0.15 \text{ Vpeak}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 วงจรคอมพาราเตอร์ และ ทริกเกอร์

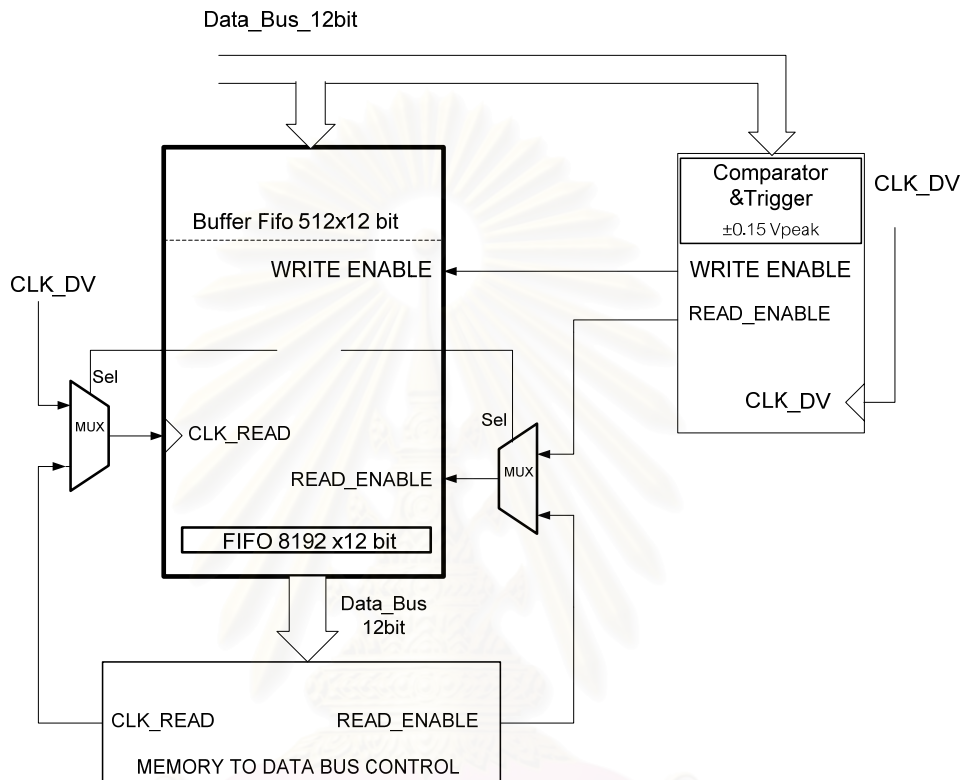
ข้อมูลดิจิทัลที่มาจากเอาพุทของ ADC ก็จะถูกบันทึก ลงใน หน่วยความจำ ในส่วนที่เป็น บัฟเฟอร์ ขนาด 512x12 bit และ เนื่องจากเรากำหนดให้ CLK_WRITE และ CLK_READ คือ สัญญาณนาฬิกาเดียว กับ CLK_DV ดังนั้นที่ทุกๆ ขอบขาลงของ CLK_DV 1 ไชเคิล จะทำงานพร้อมกัน 3 คำสั่ง คือ เปรียบเทียบข้อมูล , เขียนข้อมูล และ อ่านข้อมูลออก จาก Buffer

สภาวะปกติ คือ ไม่มี สภาวะแรงดันทรานเซียนเกินขึ้นในระบบไฟฟ้า ก็จะสั่งให้สัญญาณ WRITE_ENBLE =1 และ READ_ENBLE =1 หมายถึงการเขียนข้อมูลลงในบัฟเฟอร์ และ ในขณะเดียวกัน ก็จะทำกรอ่านข้อมูลออกจาก บัฟเฟอร์ พร้อมๆ กัน

สภาวะผิดปกติ คือ ตรวจสอบพบว่าแรงดันเกินหรือต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ ก็จะสั่งให้ สัญญาณ WRITE_ENBLE=1 และ READ_ENBLE = 0 และ ทำการ Trigger ส่งสัญญาณ ให้ทำการบันทึกข้อมูลเลยลงไปในส่วนของ FIFO ขนาด 8192x12 bit จนเต็ม ซึ่งสามารถ ตรวจสอบได้จากสัญญาณ FULL จะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

3.2.2.4 FIFO 8192 × 12bit [13]

FIFO เป็นหน่วยความจำขนาด 8192×12บิต มีหน้าที่รับข้อมูลทั้งหมด หลังจากการ Trigger วงจรนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราว ก่อนที่ส่งข้อมูลออกไปยังอุปกรณ์ภายนอก FPGA



รูปที่ 3.12 FIFO 8192 × 12 bit

หลักการการทำงานของ FIFO เมื่อข้อมูลถูกบันทึกจนเต็มแล้ว FIFO จะทำการส่งสัญญาณ Full ที่ถูกต่ออยู่กับขา Sel ของ MUX ทั้ง 2 ตัวเพื่อเป็นการสลับสัญญาณ CLK_READ, READ_ENABLE

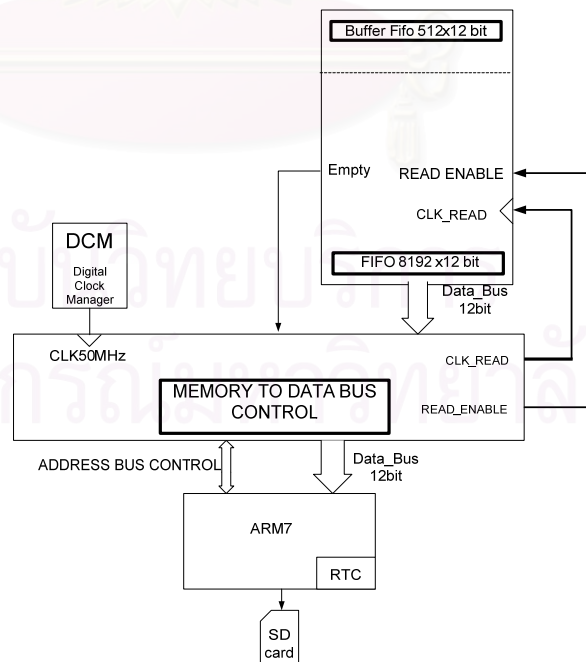
MUX ตัวที่มีสัญญาณเอาพุทเป็น READ_ENABLE เมื่อได้รับสัญญาณ Sel ก็จะทำให้การสลับสัญญาณ READ_ENABLE ของ Comparator มาเป็น สัญญาณ READ_ENABLE ของวงจร MEMORY TO DATA BUS CONTROL

MUX ตัวที่มีสัญญาณเอาพุทเป็น CLK_READ เมื่อได้รับสัญญาณ Sel ก็จะทำให้การสลับสัญญาณ CLK_DV มาเป็น CLK_READ ของวงจร MEMORY TO DATA BUS CONTROL ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

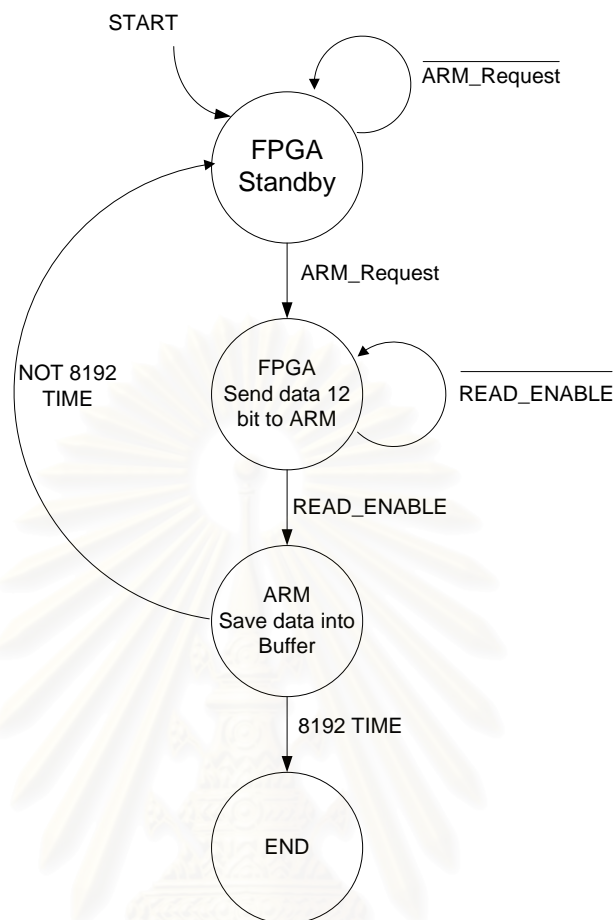
3.2.2.5 วงจร MEMORY TO DATA BUS CONTROL

การถ่ายโอนข้อมูลระหว่าง FPGA และ ARM7 นี้จะทำการส่งข้อมูลแบบขนาน 12 บิตซึ่ง ถูกควบคุมการถ่ายโอนข้อมูล ด้วยวงจร MEMORY TO DATA BUS CONTROL สาเหตุที่ต้องเป็น เช่นนี้เพราะแหล่งกำเนิดสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ มาจาก CRYTAL 12 MHz และ FPGA มาจาก ออสซิลเลเตอร์ 80MHz ส่งผลให้การถ่ายโอนข้อมูลดิจิทัลระหว่าง FPGA และ ARM7 ไม่ Synchronous กัน จึงจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมในลักษณะของ Hand Check ระหว่าง อุปกรณ์ทั้งสอง

วงจร Memory to Data Bus Control ทำหน้าที่ เป็น โปโตคอล Hand Check ระหว่าง FPGA และ ARM7 เพราะว่ามันนอกเหนือจากที่ว่า อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาต่างกันแล้ว ภาษา VHDL ยังเป็นภาษาประเภท Concurrent language [17] ที่มี คุณสมบัติ Concurrency หมายถึงในการเขียนโคดในแต่ละบรรทัดจะไม่มีลำดับความสำคัญของ ตำแหน่งของแต่ละบรรทัด(Order independent) ดังนั้นแสดงว่าภายใน สัญญาณนาฬิกา คาบ เดียว ก็จะทำงานทุกบรรทัดของโคด ที่เงื่อนไขเป็นจริง จึงมีความเร็วในการทำงาน ซึ่งภาษา C ที่ใช้ เขียนกับ ARM7 นี้ไม่มีคุณสมบัตินี้จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เราจำเป็นต้อง มี Hand Check มาช่วยในการติดต่อสื่อสาร เพื่อให้เกิดการ Synchronous ระหว่างการส่งถ่ายข้อมูล



รูปที่ 3.13 วงจร Memory to Data Bus Control

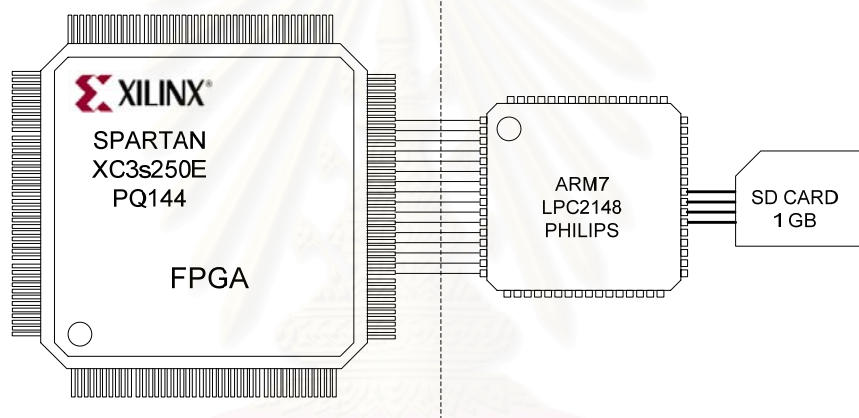


รูปที่ 3.14 State diagram Hand check ระหว่าง FPGA และ ARM7

หลักการทำงานของวงจรมือนี้คือ เมื่อ FPGA ได้รับสัญญาณ จาก ARM7 ผ่านทาง ADDRESS BUS CONTROL ว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว Memory to Data Bus Control ก็จะทำให้การส่งสัญญาณ READ_ENABLE เพื่อทำการอ่านข้อมูลออกจาก FIFO ขนาด 12 บิต ส่งขนาไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของ ARM7 เมื่อ ARM7 บันทึกข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะส่งสัญญาณ ร้องขอข้อมูล FPGA ก็ทำการส่งสัญญาณ READ_ENABLE เพื่อทำการอ่านข้อมูลออกจาก FIFO ขนาด 12 บิตอีกครั้งทำอย่างนี้ไปเรื่อยจนครบ 8192 ครั้ง FPGA ก็ส่งสัญญาณ ผ่านทาง ADDRESS BUS CONTROL เพื่อบอกว่า ข้อมูลหมดแล้ว แสดงในรูปที่ 3.14

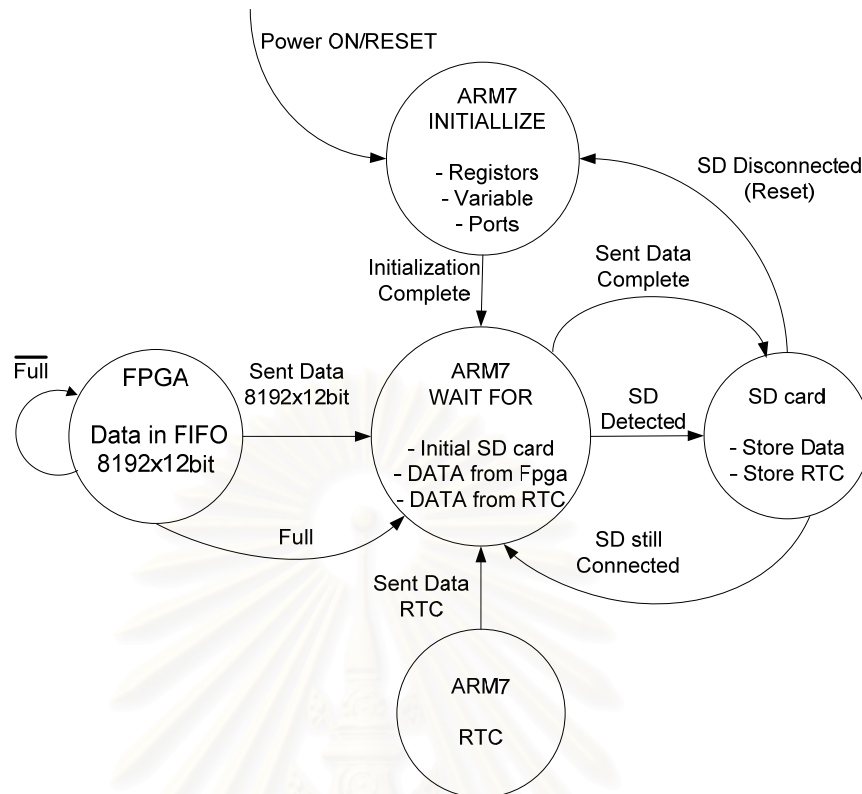
3.2.3 รายละเอียดอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานร่วมกับ FPGA

จุดมุ่งหมายในการใช้งานของเครื่องบันทึกที่รูปคลื่นแรงดันเสิร์จนี้ จะต้องถูกนำไปติดตั้งภายในหรือภายนอกอาคาร เพื่อทำหน้าที่คอยบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ ซึ่งไม่อาจคาดเดาได้ว่าเสิร์จจะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจำนวนเท่าไร ดังนั้นหน่วยความจำภายนอกเครื่องบันทึกควรมีขนาดของความจุที่มากพอ และที่สำคัญคือ เมื่อเรานำไปใช้งานกับคอมพิวเตอร์ ระบบปฏิบัติการ OS (Operating System) ของคอมพิวเตอร์ สามารถรู้จักประเภทของไฟล์ที่อยู่ในหน่วยความจำทันที ซึ่งจะเพิ่มความสะดวกมากยิ่งขึ้นแก่ผู้ใช้งาน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ SD-CARD ขนาด 1GByte ซึ่งเป็นหน่วยความจำประเภท Flash Memory



รูปที่ 3.15 วงจรพื้นฐานอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานร่วมกับ FPGA

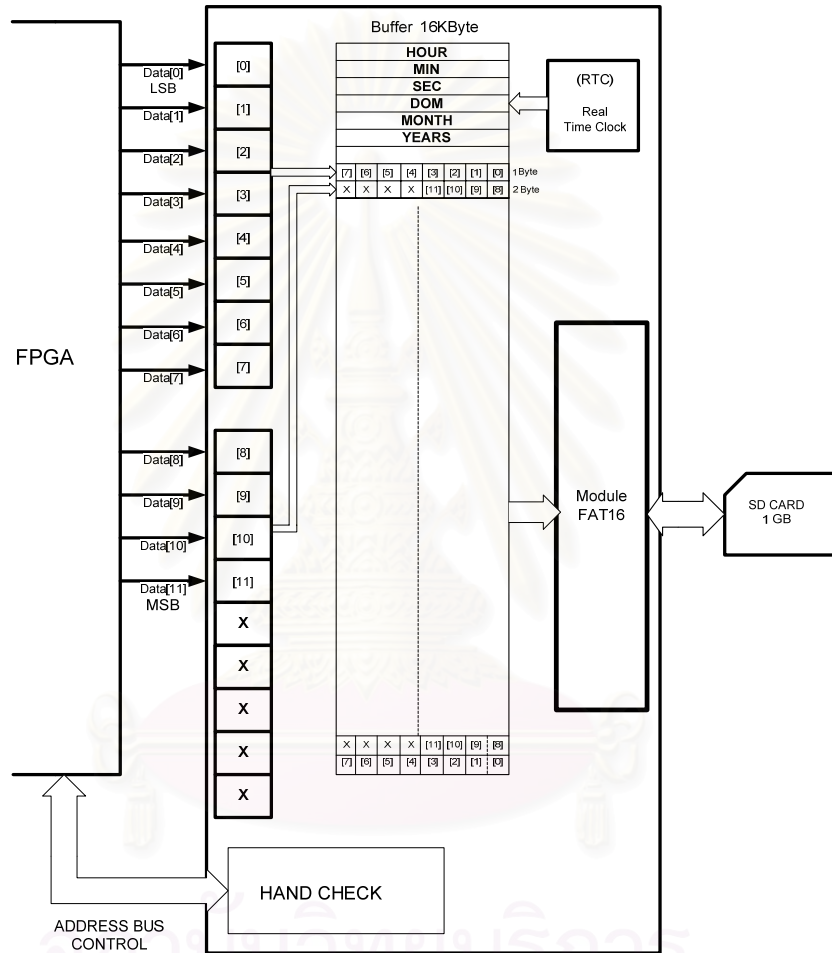
ดังนั้นวิธีการที่จะจัดเก็บข้อมูลลงใน SD CARD จำต้อง เป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐาน FAT16 หรือ FAT32 เนื่องด้วยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VHDL นั้นเป็นวิธีการเขียน แบบบรรยายพฤติกรรมเชิง ฮาร์ดแวร์ ซึ่งหากนำมาเขียนในลักษณะ ในรูปแบบของโปรโตคอลขนาดใหญ่ นั้นค่อนข้างมีความซับซ้อนอย่างมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ของ Philips เบอร์ LPC2148 ที่อยู่ในตระกูลของ ARM7 ซึ่งใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C มาช่วยในการทำหน้าที่นำเอาข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้แล้ว ในหน่วยความจำของ FPGA ทำการจัดเก็บลง SD CARD และ สามารถใช้ มอดูลนาฬิกาเวลาจริง RTC(Real Time Clock) ที่มีอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ อยู่แล้ว เพื่อทำหน้าที่เป็น Data logger ในการระบุ เวลาจริง ของการเกิดแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.16 State diagram โครงสร้างอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานร่วมกับ FPGA

- สถานะ Initialize เป็นสถานะสำหรับเริ่มต้นค่าการทำงานต่าง ๆ ภายใน ARM7 ซึ่งได้แก่ รีจิสเตอร์ , ตัวแปรต่าง ๆ ในระบบ, พอร์ตและมอดูลที่ต้องใช้ในการทำงาน เป็นต้น
- สถานะ WAIT FOR เป็นสถานะที่ อุปกรณ์ ARM7 ตรวจสอบ SD Card ว่าได้ต่ออยู่หรือไม่ เมื่อตรวจพบแล้วก็จะทำการ Initial SD Card เพื่อตรวจสอบ ID และ ชื่อไฟล์ที่มีอยู่ใน SD Card ,ขนาดไฟล์ เพื่อเตรียมการเขียนข้อมูล หากพบว่ามีการ์ด SD Card ออก หรือ มีการกดปุ่ม Reset ก็จะไปสู่ State Initialize เหมือนเดิม หลังจาก Initial SD Card แล้ว ก็จะเป็นการรอคอยข้อมูลจาก FPGA
- สถานะ Data Ready เป็นสถานะที่ อุปกรณ์ FPGA พร้อมที่จะส่งข้อมูลให้ ARM7 ทำการเก็บข้อมูลลงในบัฟเฟอร์
- สถานะ RTC เป็นสถานะที่ ARM7 ทำการอ่านข้อมูลในตัวแปรที่เก็บข้อมูล เวลา,วัน, เดือน,ปี เพื่อทำการบันทึกข้อมูลลงในบัฟเฟอร์
- สถานะ SD Card เป็นสถานะที่ อุปกรณ์ ARM7 ได้ทำการถ่ายโอนข้อมูลในบัฟเฟอร์มาเก็บไว้ใน SD Card

การทำงานของ Data Part ภายใน ARM7[14] จะทำการอ่านข้อมูลที่ Port0 ซึ่งเป็นพอร์ตอเนกประสงค์ (General Purpose) ทั้งพอร์ต แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการ AND บิต เพื่อเอาเฉพาะข้อมูลดิจิทัลที่มีขาดออกอยู่กับ FPGA ขนาด Data[11]...[0] บิต เมื่อได้ข้อมูล 12 บิต แล้ว ก็ จะทำการแยกข้อมูลออก เป็น 8 บิต จำนวน 2 ชุด ดังนั้นในการรับข้อมูล จาก FPGA 1 ชุดข้อมูล เราก็จะได้ข้อมูลขนาด 2 ไบต์ มาตรฐาน



รูปที่ 3.17 หลักการทำงานของวงจรถิจิตอลภายใน ARM7

โดยสัญลักษณ์ X ในรูปแสดงถึง ตำแหน่งของบิต ที่เสียไป 4 บิต ดังรูปที่ 3.17 โดยขนาดของบัพเฟอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลที่รับมาจาก FPGA และ เราจะสังเกตเห็นว่าข้อมูล 6 ไบต์แรก ในบัพเฟอร์ จะเป็นข้อมูล ที่อยู่ใน โมดูล ของ RTC ที่ระบุ HOUR, MIN, SEC, DOM, MONTH, YEAR เมื่อ Fpga หยุดส่งข้อมูล ก็จะไปเข้าสู่กระบวนการเขียนข้อมูลในบัพเฟอร์ทั้งหมดลงสู่ SD-CARD[15]

3.3 ภาคแสดงผล Display

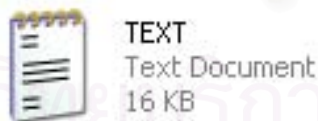
ภาคของโหมดการแสดงผลนี้ คือการนำข้อมูลจากเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่เก็บบันทึกข้อมูลลงใน SD CARD เป็นที่เรียบร้อยแล้วมาแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อทำการศึกษาคูณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันเกินเสิร์จที่วัดได้ว่ามีคุณลักษณะอย่างไร และ เสิร์จ เกิดขึ้น ณ เวลาใดในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.18 หลักการพื้นฐานการนำข้อมูลมาแสดงผล

3.3.1 รายละเอียดของไฟล์ที่ถูกบันทึกลงใน SD Card

เมื่อเรานำ SD-CARD มาทำการเชื่อมต่อผ่านทาง CARD READER เพื่อต่อเข้ากับพอร์ต USB ที่คอมพิวเตอร์ เครื่องก็จะทำการอ่านไฟล์ที่อยู่ใน SD CARD ในทันที คอมพิวเตอร์จะมองเห็นข้อมูลเป็นไฟล์ TXT หากเราทำการเปิดไฟล์ตอนนี้เลย สิ่งที่ได้คือเครื่องจะแปลงข้อมูลฐานสอง แล้วแสดงออกมาในรูปแบบของรหัส ASCII



รูปที่ 3.19 ชนิดของไฟล์ที่ ARM7 เขียนข้อมูลลงใน SD Card

ด้วยเหตุนี้เองเราจึงจำเป็นที่จะต้องใช้โปรแกรม Visual Basic ในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในรูปแบบฐานสองนี้ ให้แสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าตัวเลข ของระดับแรงดันโวลต์เตจ

3.3.2 หลักการทำงานของโปรแกรม Visual Basic[16]

จะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนคือ

- 1) เปิดไฟล์ในตำแหน่งที่เราใส่ไฟล์นามสกุล *.TXT จาก SD CARD มาเก็บไว้ในฮาร์ดดิสต์ แล้วจึงใช้คำสั่ง BinaryReader เพื่อทำการอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นการอ่าน ข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์
- 2) เป็นการอ่านค่าข้อมูลของ RTC ที่อยู่ 6 byte แรกของ Buffer แสดงในรูปแบบที่ 3.17
- 3) ทำการแปลงค่า ข้อมูลเลขฐานสอง ซึ่งก็คือข้อมูล ดิจิตอลของ ADC ขนาด 12 บิต ให้กลับไปสู่ข้อมูลระดับแรงดันแอนะล็อก โดยใช้ค่าจากตาราง ในดาต้าชีตของ ADC เบอร์ ADS5232 ซึ่งเราสามารถหาสมการการแปลง เพื่อนำมาเขียนโคดภาษา Visual Basic ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรการคำนวณ การแปลงรหัสดิจิตอลเป็นแอนะล็อก

DIFFERENTIAL INPUT	STRAIGHT OFFSET BINARY (D11.....D0)
- FS	1111 1111 1111
- ½ FS	1100 0000 0000
Bipolar Zero	1000 0000 0000
+ ½ FS	0100 0000 0000
+ FS	0000 0000 0000

จากตารางที่ 3.1 สามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$2 - \frac{2^{BINARY(D11...D0)}}{2^{12}} \times FS = \text{DIFFERENTIAL INPUT (Voltage)} \quad (3.4)$$

$$\text{BINARY}(111111111111) : 2 - \frac{4096}{4096} \times 4 = -2V$$

$$\text{BINARY}(100000000000) : 2 - \frac{2048}{4096} \times 4 = 0V$$

$$\text{BINARY}(000000000000) : 2 - \frac{0}{4096} \times 4 = +2V$$

4) ทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของเสิร์จแต่ละประเภท

กรณี เสิร์จ มาตรฐาน 1.2/50 μ s ทำการคำนวณหาค่า Vpeak(ยอดคลื่น), Front time(หน้าคลื่น), Duration Time (หลังคลื่น)

กรณี เสิร์จ Ring Wave ทำการคำนวณหาค่า Vpeak(ยอดคลื่น), Rise time(ช่วงเวลาไต่ขึ้น)

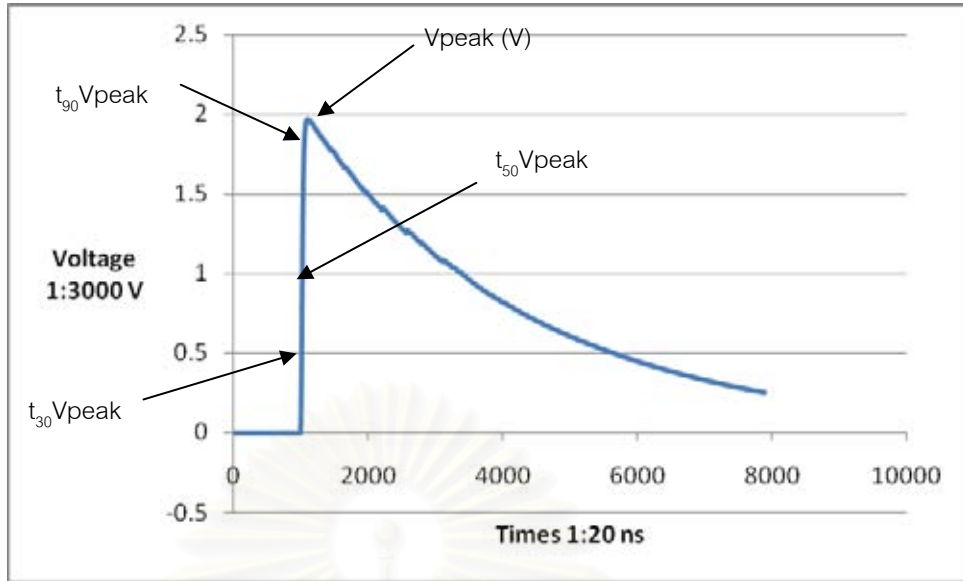
เมื่อนำโค๊ดของโปรแกรมทั้ง 4 ส่วนมารวมกันแล้ว เราก็จะได้หน้าต่างของโปรแกรมดังแสดงที่รูป 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงข้อมูลระดับแรงดันเสิร์จ และ เวลาที่เกิดเสิร์จ

ปุ่ม Data and Time เป็นการแสดงผลข้อมูลของ RTC (Real Time Clock) ในช่องของ H:M:S และ D/M/Y และ ค่าที่ได้จากการแปลงสัญญาณดิจิทัล เป็น ค่าระดับแรงดันแอนะล็อก ในช่องของ Voltage level

เมื่อโปรแกรมอ่านข้อมูลครบแล้วในช่องของ Voltage Level เราก็สามารถนำข้อมูลไปเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Excel เพื่อ วิเคราะห์ ค่าแรงดันยอดคลื่น , หน้าคลื่น และ หลัง คลื่น ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.21



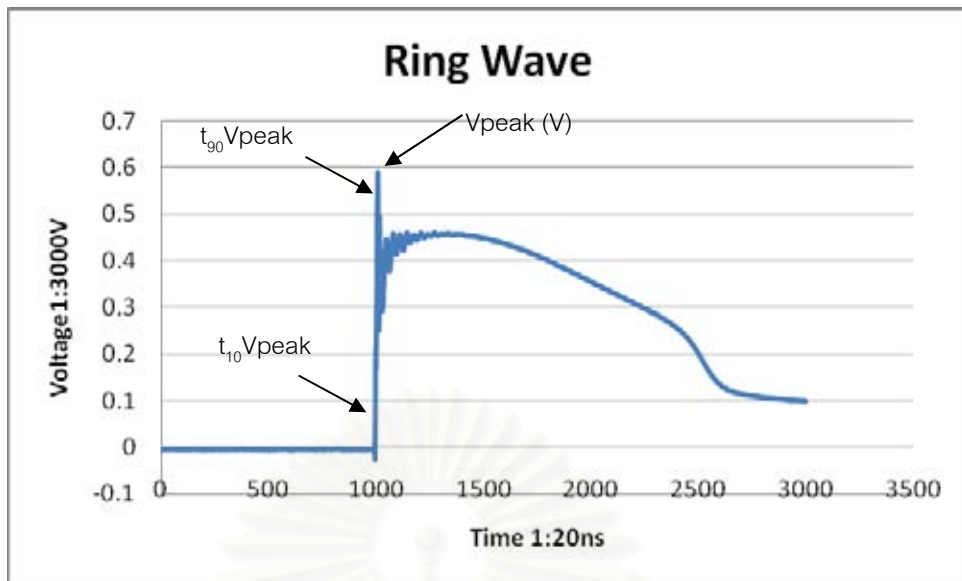
รูปที่ 3.21 แสดงกราฟของแรงดันเล็ร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s



รูปที่ 3.22 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ของแรงดันเล็ร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s

ปุ่มคำนวณ สำหรับ Combination Wave โปรแกรมจะทำการแสดงผล 3 ส่วนคือ

1. Vpeak ค่าแรงดันยอดคลื่นของข้อมูลซึ่งมีทั้ง บวก หรือ ลบ ขึ้นอยู่กับเล็ร์จ
2. Front Time หาได้จากสูตร $1.67(t_{90}-t_{30})$
3. Dulation Time คือช่วงเวลาทีระดับแรงดันหลังคลื่นมีค่าเท่ากับ ค่าระดับแรงดัน หน้าคลื่นที่ เวลา t_{50}



รูปที่ 3.23 แสดงกราฟของแรงดันเล็จร้จมาตรฐาน Ring Wave



รูปที่ 3.24 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ของแรงดันเล็จร้จมาตรฐาน Ring Wave

ปุมคำนวณของ รูปคลื่นแรงดันเล็จร้จ Ring Wave โปรแกรมจะทำการแสดงผล 2 ส่วนคือ

1. Vpeak ค่าแรงดันยอดคลื่นของข้อมูลซึ่งมีทั้ง บวก หรือ ลบ ขึ้นอยู่กับเล็จร้จ
2. Rise Time หาได้จากสูตร ($t_{90}-t_{10}$)

โปรแกรมในส่วนของปุ่มคำนวณ นี้จะเป็นการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่ทำการทดสอบเครื่องวัดแรงดันเสิร์จ ในห้องปฏิบัติการ โดยการป้อนแรงดันเสิร์จมาตรฐาน จากเครื่องกำเนิดแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อที่จะนำค่าที่บันทึกได้ไป เปรียบเทียบกับ ค่าที่วัดได้จาก ออสซิลโลสโคป ที่จะได้กล่าวถึงในบทที่ 4 ซึ่งเป็นบทการทดสอบ และ ประเมินผล



รูปที่ 3.25 เครื่องกำเนิดแรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

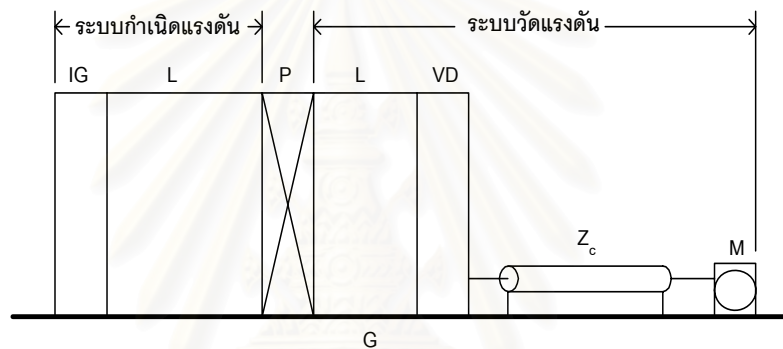
แต่ในกรณีทางปฏิบัติจริง เราไม่สามารถคาดเดาได้ว่า เสิร์จที่วัดจากสายส่งไฟฟ้า จะมีรูปคลื่นเช่นไร จึงจำเป็นที่จะต้องดูรูปคลื่นอย่างเดียวก่อน ในส่วนโปรแกรม Data and Time ในช่องข้อมูลของ Voltage level (V) แล้วจึงทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามคุณลักษณะของแรงดันเสิร์จที่วัดได้

บทที่ 4

การทดสอบและประเมินผล

4.1 การทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีโวลเตอร์

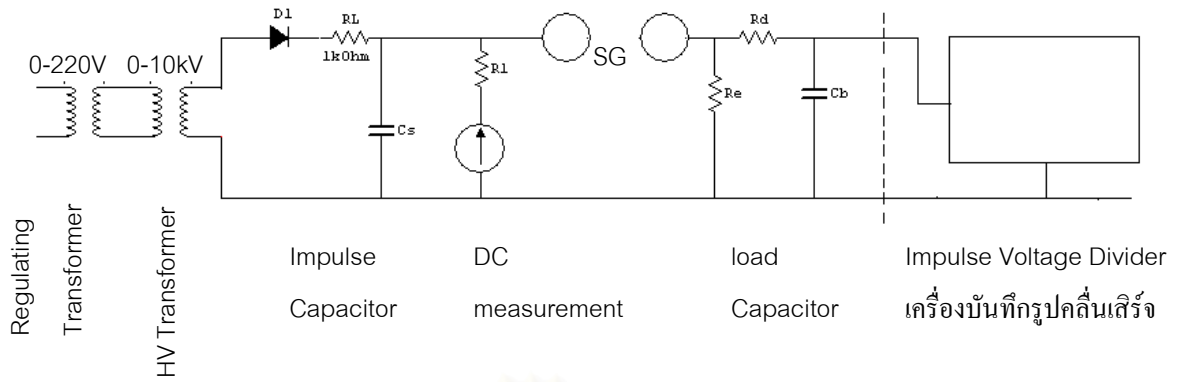
อิมพัลส์โวลเตจดีโวลเตอร์และเครื่องวัดแรงดันเสิร์จที่ได้ทำการออกแบบสร้างจะต้องได้รับการทดสอบ เพื่อให้แน่ใจได้ว่า มีความปลอดภัยเพียงพอที่จะนำไปติดตั้งใช้งานภายในระบบและมีคุณสมบัติเพียงพอในการตรวจวัดแรงดันเสิร์จได้ตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบความคงทนอยู่ได้ด้วยแรงดันอิมพัลส์

วงจรในรูปที่ 4.1 นี้จะใช้เป็นวงจรหลักในการทดสอบคุณสมบัติของฉนวน ภายในอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้นมาเป็นโวลเตจดีโวลเตอร์ ซึ่งส่วนประกอบของอุปกรณ์ทุกตัวจะต้องผ่านการทดสอบการฉนวนด้วยแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน(1.2/50 μ s) ก่อนที่จะนำมาประกอบสร้างเป็นโวลเตจดีโวลเตอร์ที่สมบูรณ์ และ อุปกรณ์ที่จะนำไปติดตั้งในระบบไฟฟ้าแรงสูงจะต้องผ่านการทดสอบ นี้ด้วยเช่นกัน โดยมีอุปกรณ์หลักในการทดสอบดังนี้

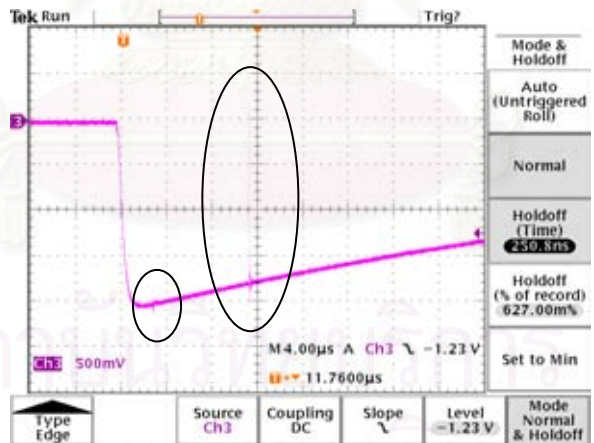
- 1) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์(Impulse voltage generator) : IG
- 2) สายนำ : L
- 3) วัสดุทดสอบ : P
- 4) โวลเตจดีโวลเตอร์ : VD
- 5) เคเบิลวัด : Z_c
- 6) ออสซิลโลสโคป : M
- 7) ระบบสายดิน : G



รูปที่ 4.2 วงจรของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Impulse voltage generator) : IG (1.2/50 μ s)

ตัวอย่างผลการทดสอบอุปกรณ์ที่เกิด ดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของฉนวนภายในของอุปกรณ์ การที่ฉนวนภายในที่ไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิดการดิสชาร์จบางส่วนขึ้น(Partial Discharge) ซึ่งผลของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน นอกจากจะเป็นพลังงานสูญเสียไปแล้ว ยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบการฉนวนอันจะนำไปสู่การเกิดเบรคดาวน์ได้ในที่สุด ซึ่งแสดงได้ดังในรูปที่ 4.3

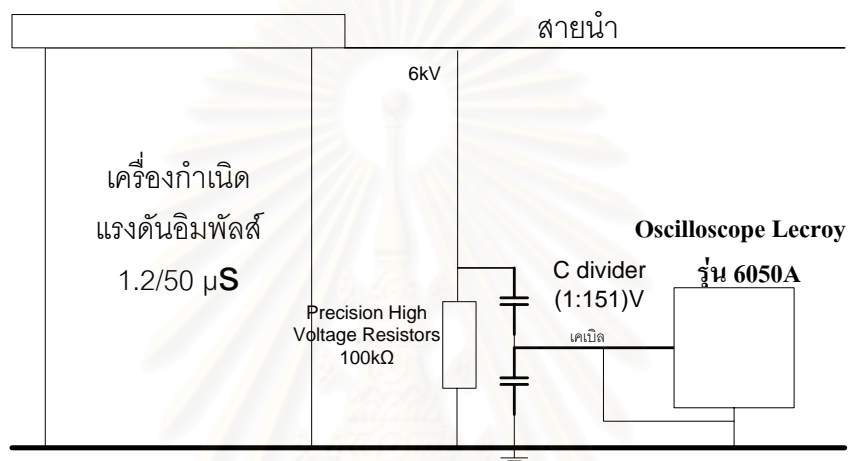


รูปที่ 4.3 แสดงผลตัวอย่างของการทดสอบอุปกรณ์แล้วเกิดการดิสชาร์จบางส่วน(Partial Discharge)

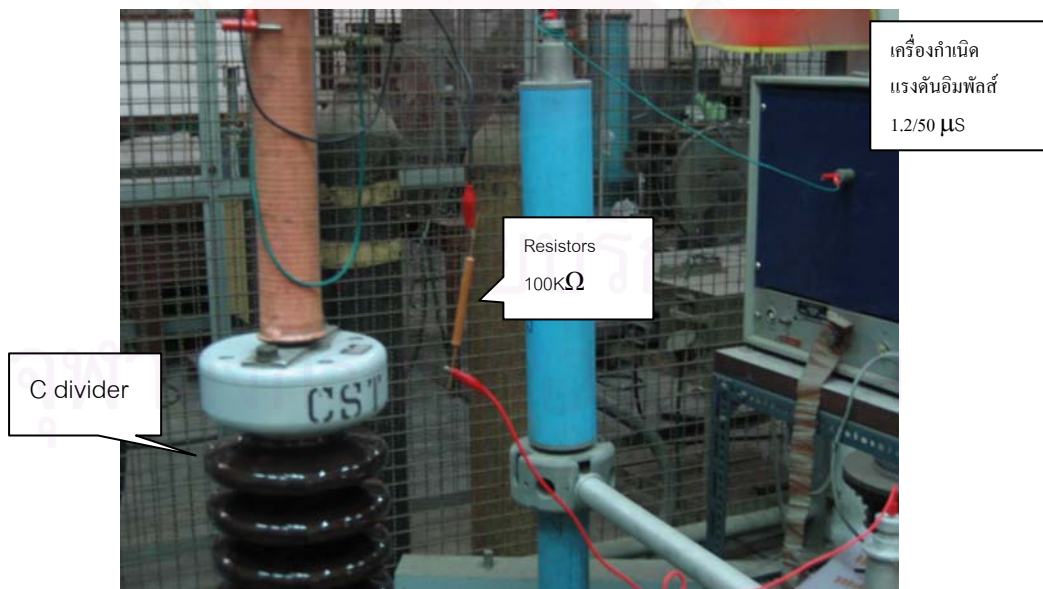
จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า รูปคลื่นในลักษณะนี้จะต้องไม่เกิดขึ้น กับอุปกรณ์ที่นำมาประกอบสร้างโวลเตจดีโวลเดอร์

4.1.1 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเสิร์จของตัวต้านทานภาคแรงสูง

กำหนดให้มีการทดสอบการฉนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคือ ความต้านทานภาคแรงสูง R1 100 k Ω (High precision High Voltage Resistors) โดยการทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ได้กำหนดให้ทำการป้อนแรงดันรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน(1.2/50 μ s) ที่ค่ายอด 6 kV จำนวน 10 ครั้ง ทั้งชั่วบวก และ ชั่วลบ



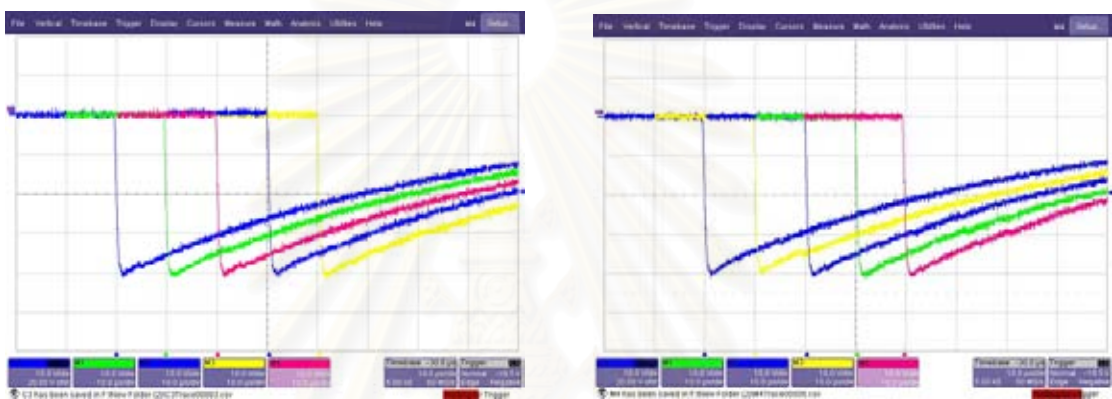
รูปที่ 4.4 วงจรทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของ ความต้านทานภาคแรงสูง



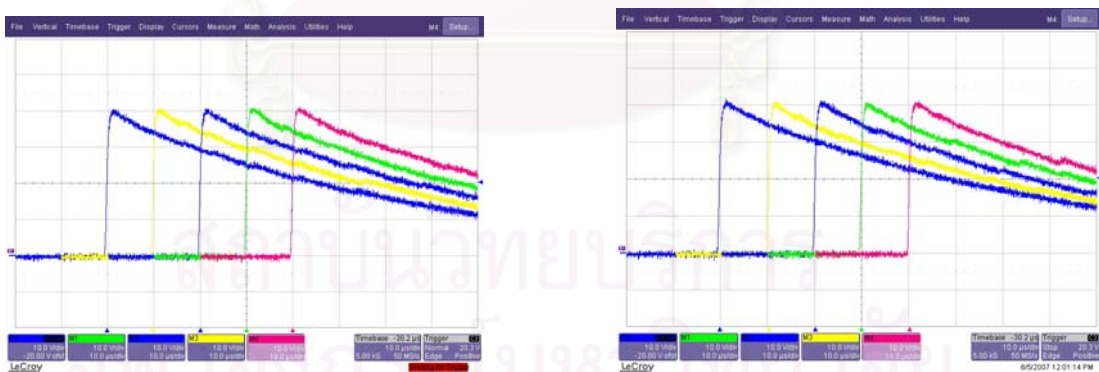
รูปที่ 4.5 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของ ความต้านทานภาคแรงสูง



รูปที่ 4.6 Oscilloscope Lecroy รุ่น 6050A



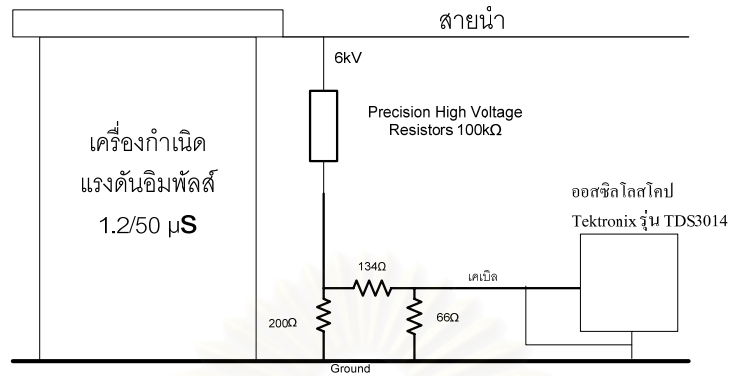
รูปที่ 4.7 รูปคลื่นเสิร์จ 1.2/50 ซั้ว ลบ จำนวน 10 ครั้งที่ใช้ในการทดสอบ



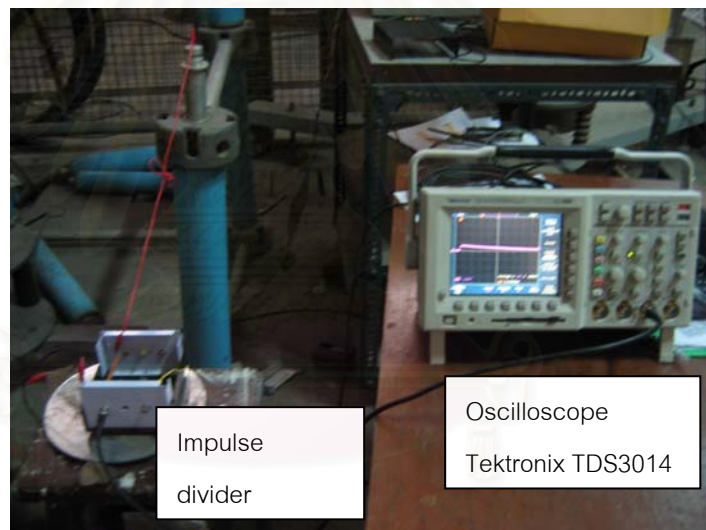
รูปที่ 4.8 รูปคลื่นเสิร์จ 1.2/50 ซั้ว บวก จำนวน 10 ครั้งที่ใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบความคงทนอยู่ได้ด้วยแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน(1.2/50 μ s) ที่ค่ายอด 6 kV จำนวน 10 ครั้ง ที่ซั้วลบ และ ซั้วบวก ของความต้านทานภาคแรงสูง R1 ค่า 100 k Ω สามารถผ่านการทดสอบโดยไม่เกิดการดิสชาร์จบางส่วน หรือ ความบกพร่องใดๆ ที่จะนำไปสู่การเบรคดาวน

4.1.2 การทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ

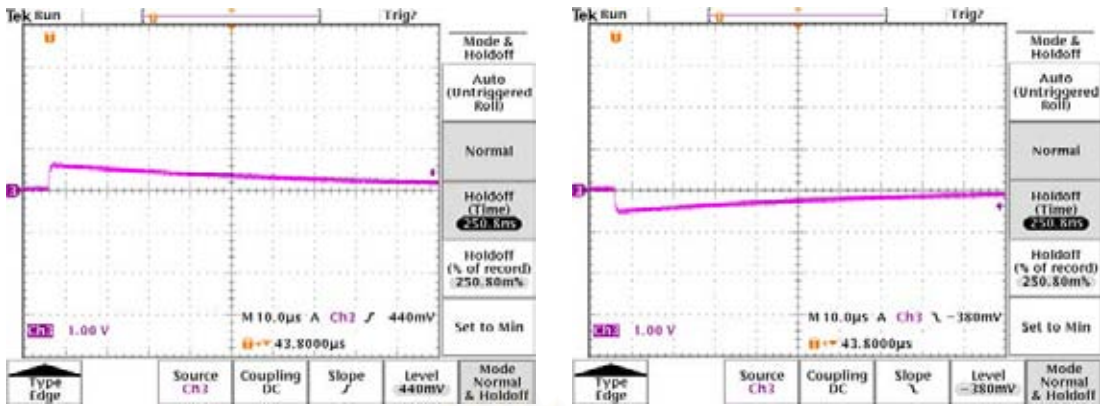


รูปที่ 4.9 วงจรทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ของโวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง

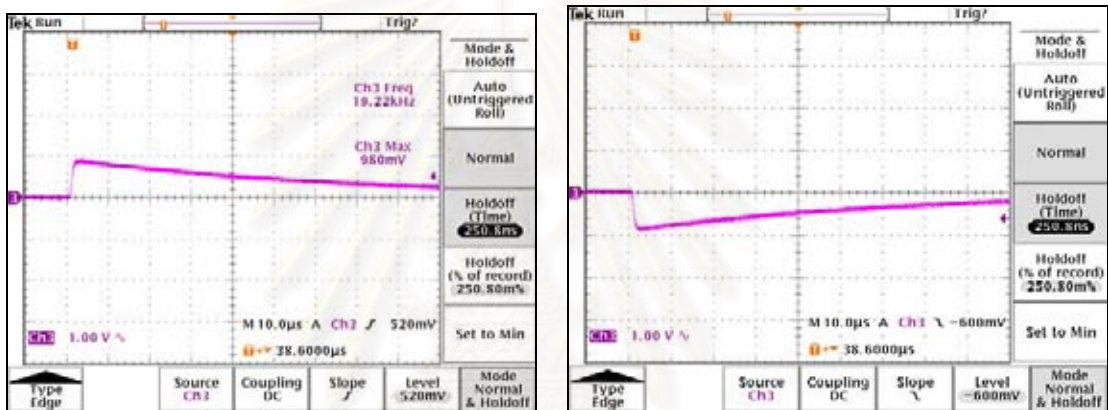


รูปที่ 4.10 การทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ของโวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง

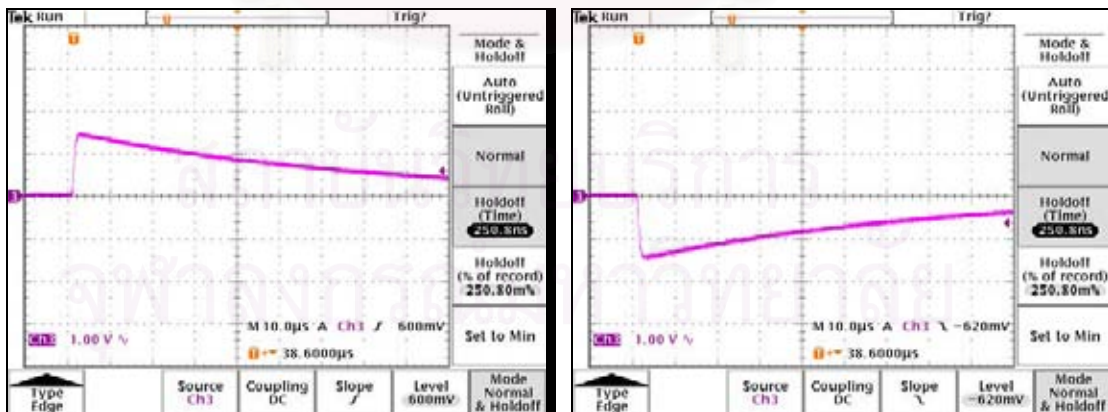
กำหนดให้มีการทดสอบ การถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ของความต้านทานที่นำมาทำเป็น อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ ว่าจะสามารถทนต่อขนาดของแรงดันทดสอบ และสามารถถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ โดยไม่ทำให้รูปคลื่นผิดเพี้ยน โดยการทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ได้กำหนดให้ทำการป้อนแรงดันรูปคลื่นเสิร์จมาตรฐาน($1.2/50 \mu s$) ที่ค่ายอด 2 kV , 4 kV และ 6 kV จำนวน 5 ครั้ง ทั้งชั่วคราว และ ชั่วถาวร โดยใช้ ออสซิลโลสโคป Tektronix รุ่น TDS3014 เป็นอุปกรณ์วัด รูปคลื่น



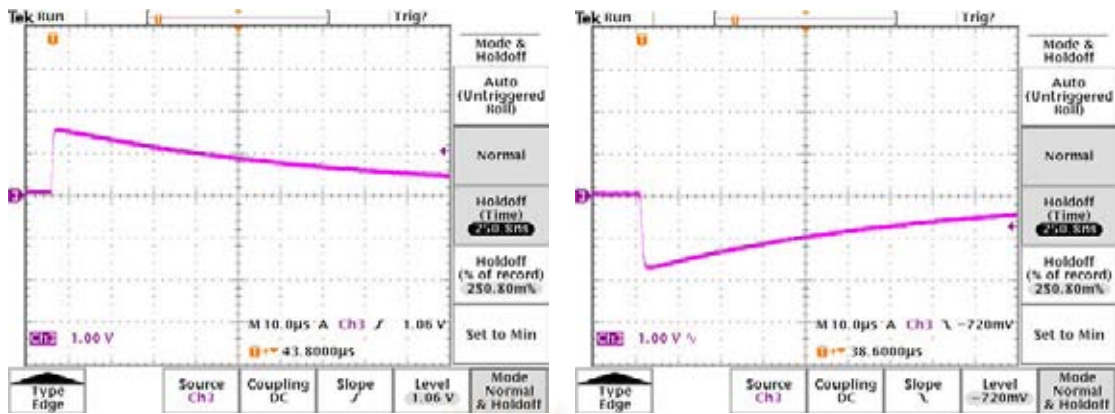
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง (1:3000) ที่ 2 kV



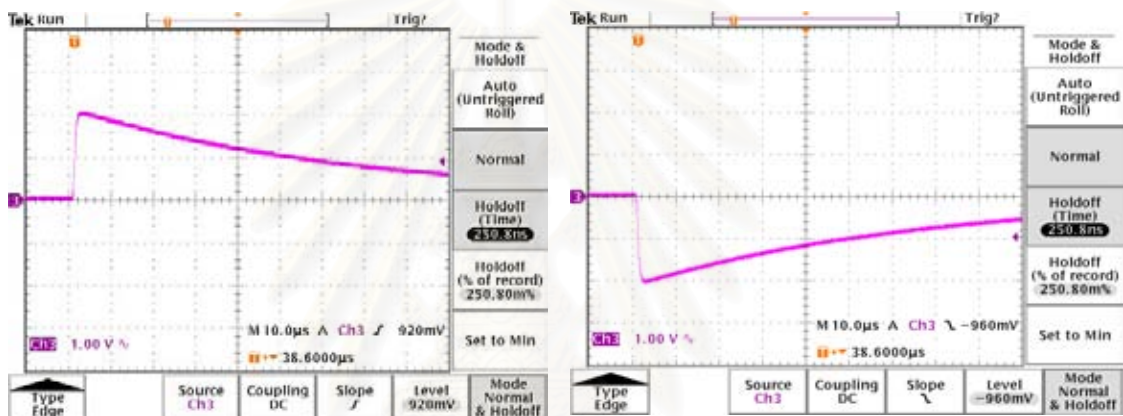
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 3kV



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 4 kV



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 5kV



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง(1:3000) ที่ 6 kV

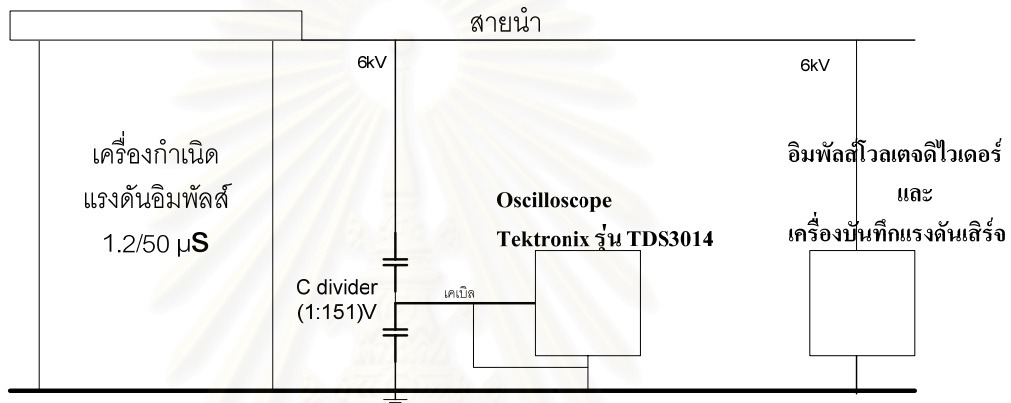
จากการทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน(1.2/50 μ s) ที่ค่า ยอด 2 kV , 3 kV , 4 kV , 5 kV , 6 kV จำนวน 5 ครั้ง ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ ของอิมพัลส์โวลเตจดีไว เดอร์ อัตราส่วน (1:3000) สามารถผ่านการทดสอบโดยไม่เกิดการดิสชาร์จบางส่วน หรือ ความ บกพร่องใดๆ ที่จะนำไปสู่การเบรคดาวน์ ดังรูปที่ 4.11 - 4.15

4.2 การทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ

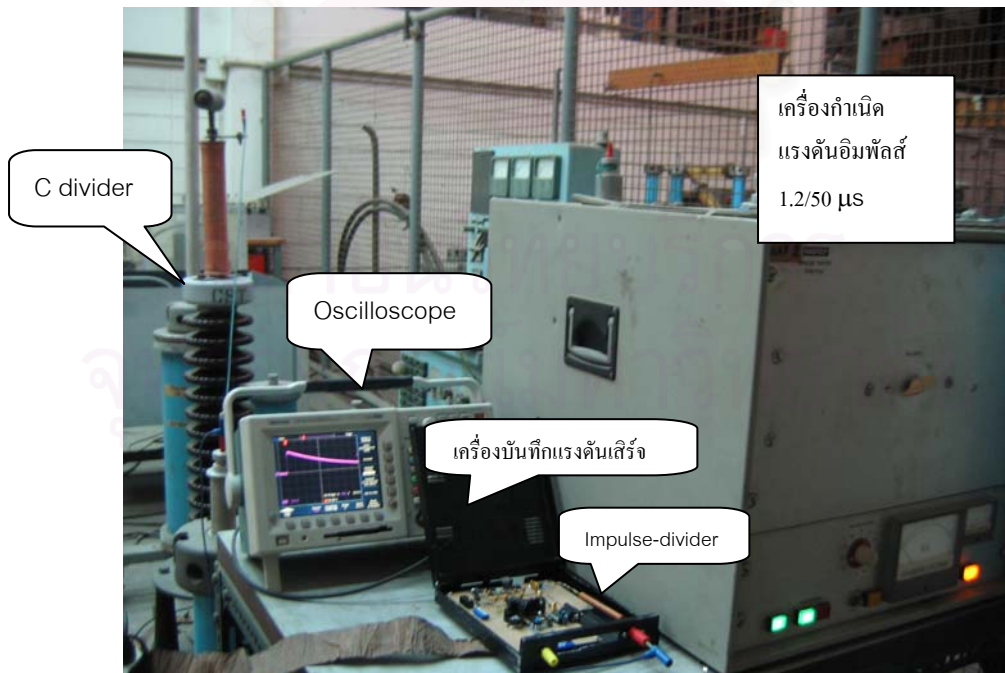
การทดสอบเครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความ แม่นยำในการวัดรูปคลื่นโดยจะทำการทดสอบด้วยรูปคลื่นเสิร์จมาตรฐาน (1.2/50 μ s) และ รูปคลื่น แกว่ง Ring Wave ตามมาตรฐานรูปคลื่นที่ใช้ในการทดสอบ ที่อ้างอิงไว้แล้วในบทที่ 2

4.2.1 ทดสอบด้วยรูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s

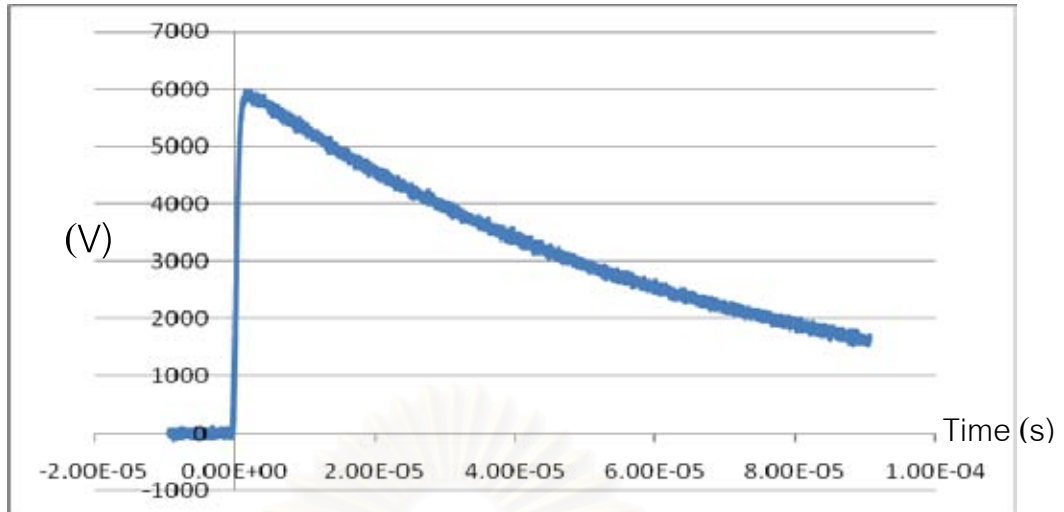
ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ทั้ง ขั้วบวกและขั้วลบ ขั้วละ 10 ครั้ง ให้กับออสซิลโลสโคป และ เครื่องวัดและบันทึกรูปคลื่นอิมพัลส์ พร้อมกัน ตามวงจรในรูปที่ 4.16 จากนั้นทำการคำนวณหา ค่ายอดคลื่น หน้าคลื่น และ หลังคลื่น เพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับออสซิลโลสโคปเพื่อหาความคาดเคลื่อนของเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ



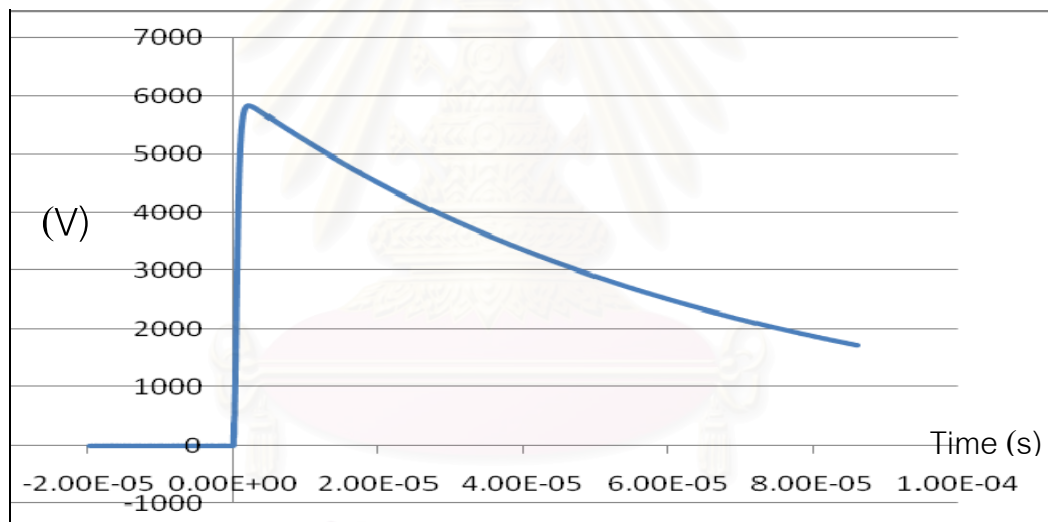
รูปที่ 4.16 วงจรทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จเปรียบเทียบกับออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.17 การทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จเปรียบเทียบกับออสซิลโลสโคป



ก)



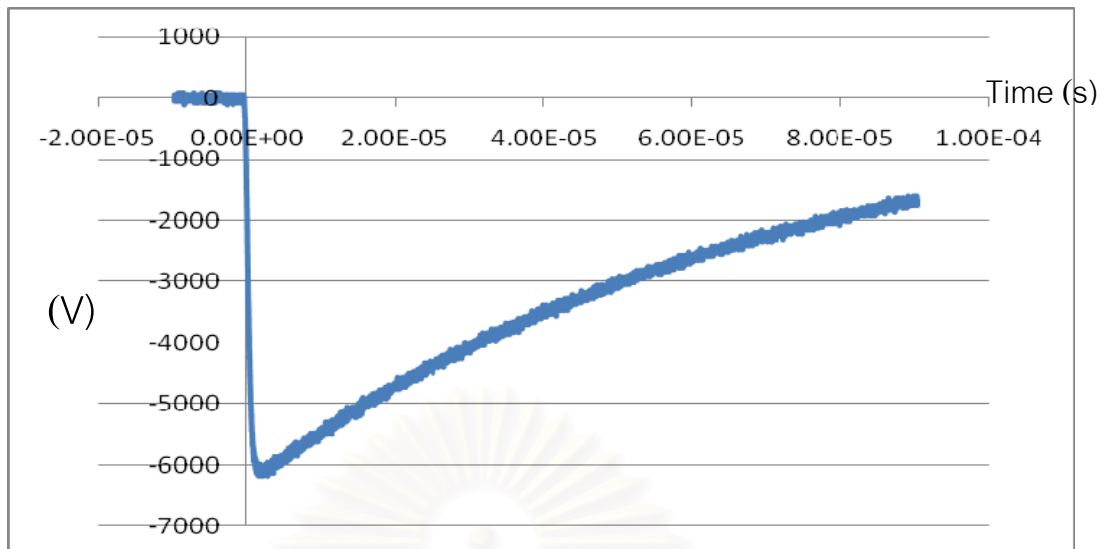
ข)

รูปที่ 4.18 ก) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μs ที่วัดโดยออสซิลโลสโคป Tektronix TDS3013

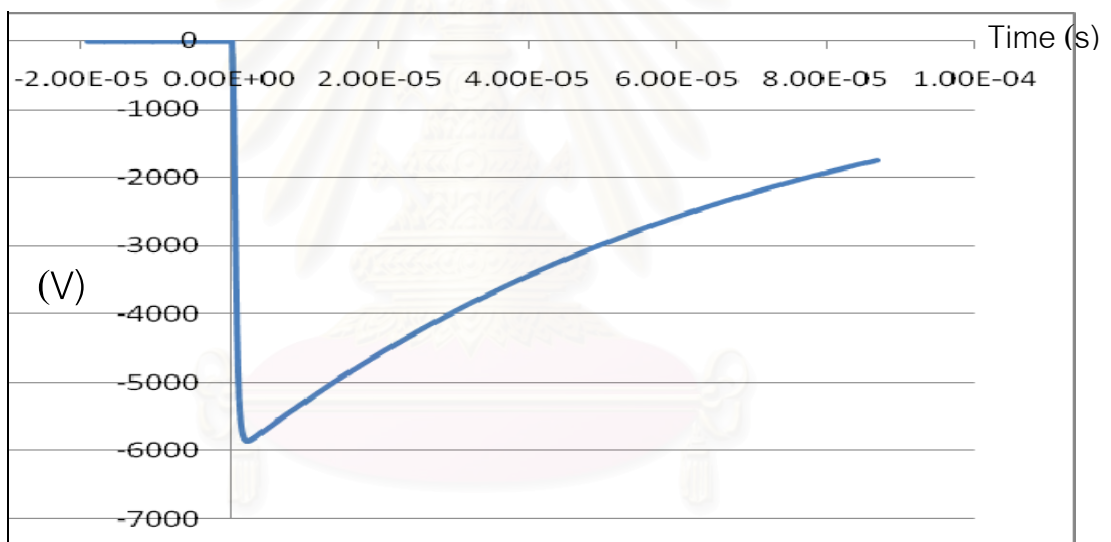
ข) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μs ที่วัดโดยเครื่องบันทึกแรงดันอิมพัลส์

ตารางที่ 4.1 รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ขั้วบวก ที่วัดโดยเครื่องวัดออสซิลโลสโคปและเครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ

ครั้งที่	Oscilloscope Tektronix C-divider 1:151V			Surge Recorder Impulse-divider 1:3000V		
	ยอดคลื่น (V)	หน้าคลื่น (us)	หลังคลื่น (us)	ยอดคลื่น	หน้าคลื่น (us)	หลังคลื่น (us)
1	5949.4	1.219	50.83	5835	1.135	51
2	5949.4	1.219	51.52	5850	1.135	48.86
3	6009	1.169	50.97	5862.3	1.1	48.78
4	5949.4	1.302	50.65	5760	1.1	50.48
5	6009.8	1.219	51.72	5874	1.3	49.14
6	6009.8	1.25	50.96	5874	1.135	49.46
7	6009.8	1.219	51.62	5850	1.135	50.3
8	5919.2	1.25	52.2	5783.2	1.135	48.2
9	6009.8	1.219	51.62	5783	1.135	48.2
10	5949.4	1.219	51.52	5874	1.135	49.45
ค่าเฉลี่ย	5976.5	1.2285	51.361	5834.55	1.1445	49.387



ก)



ข)

รูปที่ 4.19 ก) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μs ที่วัดโดยออสซิลโลสโคป Tektronix TDS3013

ข) รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μs ที่วัดโดยเครื่องบันทึกแรงดันอิมพัลส์

ตารางที่ 4.2 รูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μs ชั่วลบ ที่วัดโดยเครื่องวัดออสซิลโลสโคปและเครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ

ครั้งที่	Oscilloscope Tektronix C-divider 1:151V			Surge Recorder Impulse-divider 1:3000V		
	ยอดคลื่น (V)	หน้าคลื่น (us)	หลังคลื่น (us)	ยอดคลื่น (V)	หน้าคลื่น (us)	หลังคลื่น (us)
1	-6191	1.16	51.96	-5841	1.135	49.96
2	-6160.8	1.28	50.66	-5876	1.135	50.44
3	-6130.6	1.25	51.57	-5874	1.135	50.36
4	-6191	1.25	50.01	-5912.1	1.1	50.46
5	-6221.2	1.25	49.51	-5882	1.135	50.42
6	-6191	1.23	50.8	-5897	1.1	50.66
7	-6130.6	1.26	50.68	-5935	1.13	51.56
8	-6191	1.18	51.18	-5850	1.13	50.12
9	-6130.6	1.25	51.5	-5876	1.135	50.41
10	-6191	1.23	50.9	-5841	1.135	50.96
ค่าเฉลี่ย	-6172.88	1.234	50.877	-5878.41	1.127	50.535

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง ออสซิลโลสโคป กับ เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ

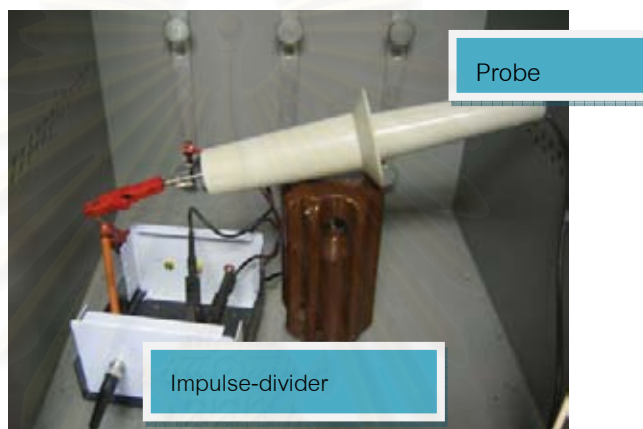
	ยอดคลื่น Vp(%)	T1 หน้าคลื่น (%)	T2 หลังคลื่น (%)
ชั่วบวก	2.37	6.8	3.84
ชั่วลบ	4.77	8.67	0.67

จากการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จด้วยแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน(1.2/50 μs) กับโวลเตจดีไวเดอร์ อัตราส่วน (1:3000) ที่ค่ายอดประมาณ 6 kV จำนวน 10 ครั้ง ทั้งชั่วบวกและชั่วลบ เทียบกับออสซิลโลสโคป Tektronix TDS3010 กับ C-divider อัตราส่วน(1:151)สามารถผ่านการทดสอบโดยไม่เกิดความผิดพลาดใดๆ

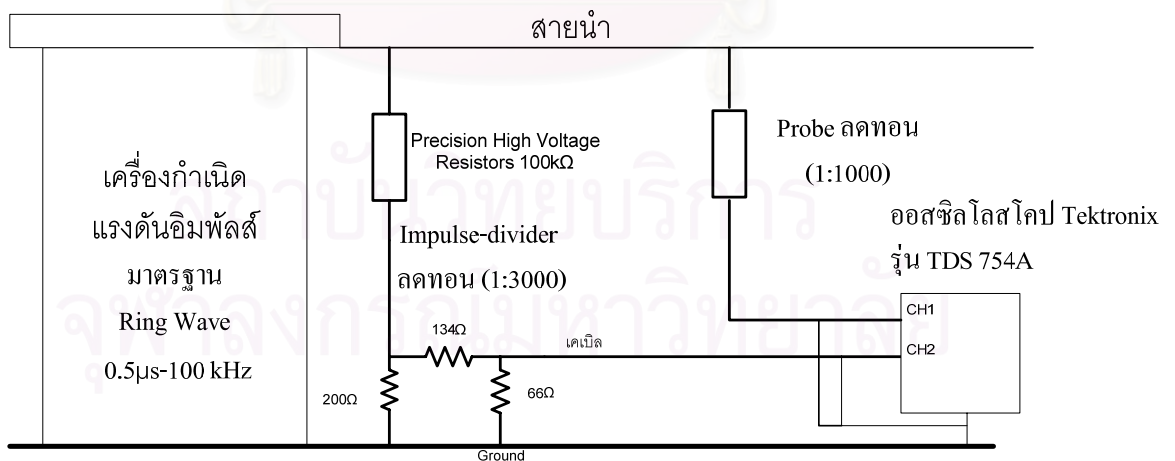
4.2.2 การทดสอบด้วยรูปคลื่นแวง Ring Wave (0.5 μ s – 100 kHz)

4.2.2.1 ทำการทดสอบ Impulse-divider ที่ประกอบสร้าง

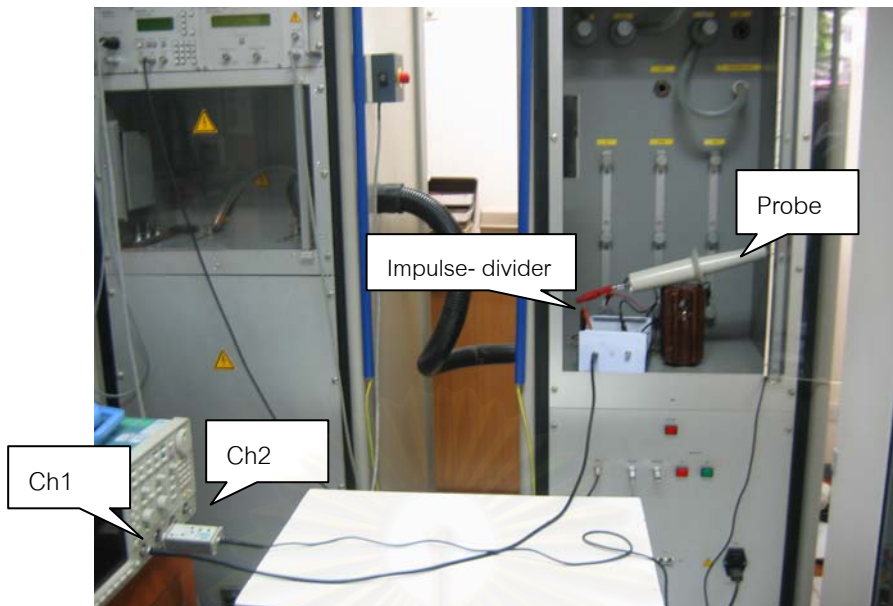
ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นแวงมาตรฐาน (Ring Wave) 0.5 μ s – 100 kHz ให้กับออสซิลโลสโคป Tektronix รุ่น TDS 754A โดยที่ Channel 1 ต่อกับ Probe ลดทอน (1:1000) และ ที่ Channel 2 ต่อกับ Impulse-divider (1:3000) ที่ประกอบสร้างขึ้น พร้อมกัน ตามวงจรที่ 4.21



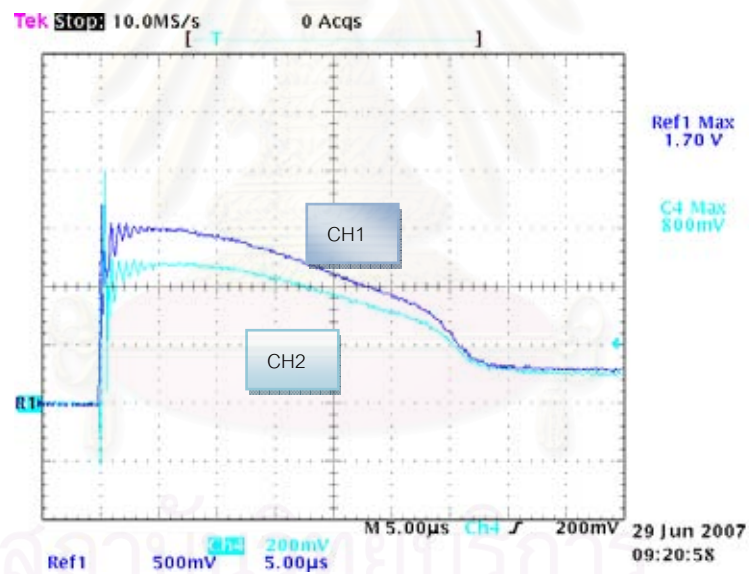
รูปที่ 4.20 Probe ลดทอน (1:1000) และ Impulse-divider (1:3000)



รูปที่ 4.21 วงจรทดสอบ Impulse-divider เทียบกับ Probe Tektronix



รูปที่ 4.22 การทดสอบ Impulse -divider กับ Probe Tektronix

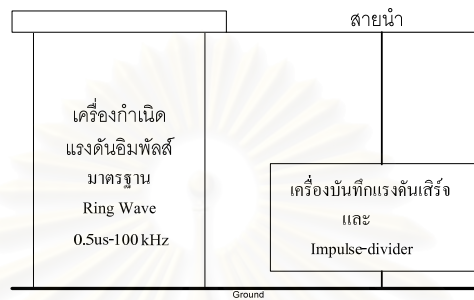


รูปที่ 4.23 Channel 1 ต่อกับ Probe ลดทอน (1:1000) และ ที่ Channel 2 ต่อกับ Impulse-divider (1:3000)

จากการทดลอง Impulse-divider ที่ประกอบสร้างขึ้น สามารถทำการลดทอนรูปคลื่น Ring Wave ได้โดยไม่ทำให้รูปคลื่นเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.23 ที่ CH1 และ CH2 มีรูปคลื่นของการเกิดออสซิลเลเตอร์ที่เหมือนกัน

4.2.2.2 ทำการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ

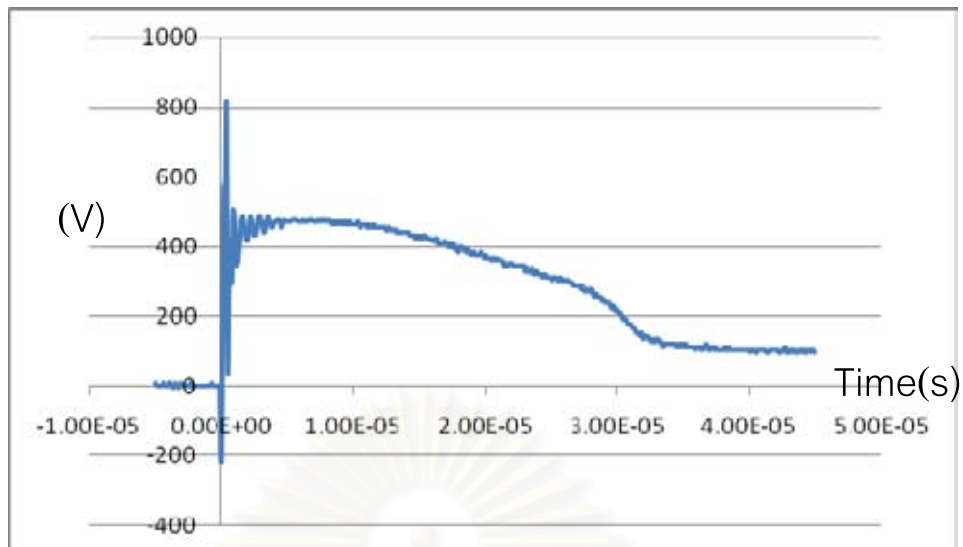
ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นแวง(Ring Wave) มาตรฐาน $0.5 \mu\text{s} - 100 \text{ kHz}$ ให้กับ Impulse-divider (1:3000) ที่ประกอบสร้างขึ้น และใช้เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จในการวัดสัญญาณ



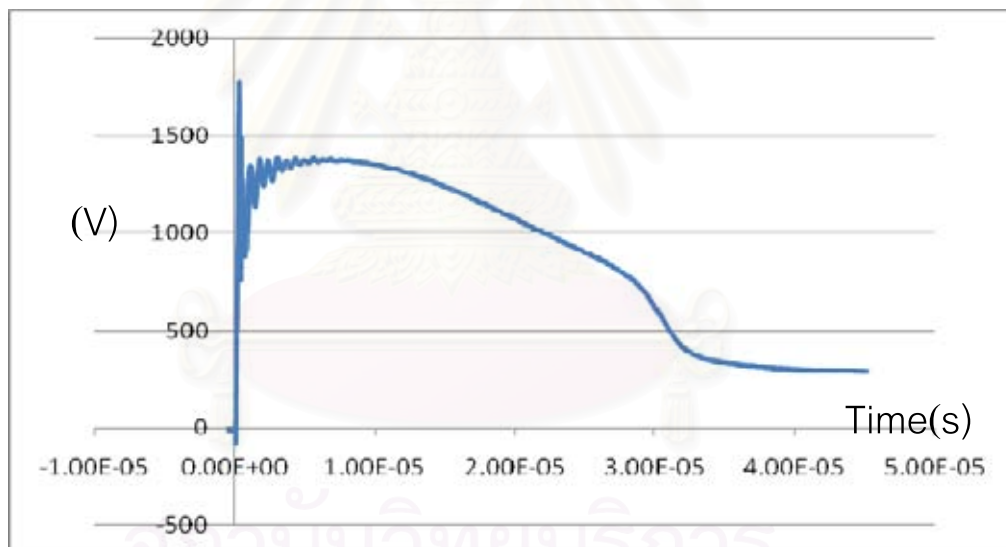
รูปที่ 4.24 วงจรทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ



รูปที่ 4.25 การทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ



รูปที่ 4.26 รูปคลื่น Ring Wave ถูกวัดโดย ออสซิลโลสโคป Tektronix TDS 754A กับ Probe ลดทอน (1:1000)



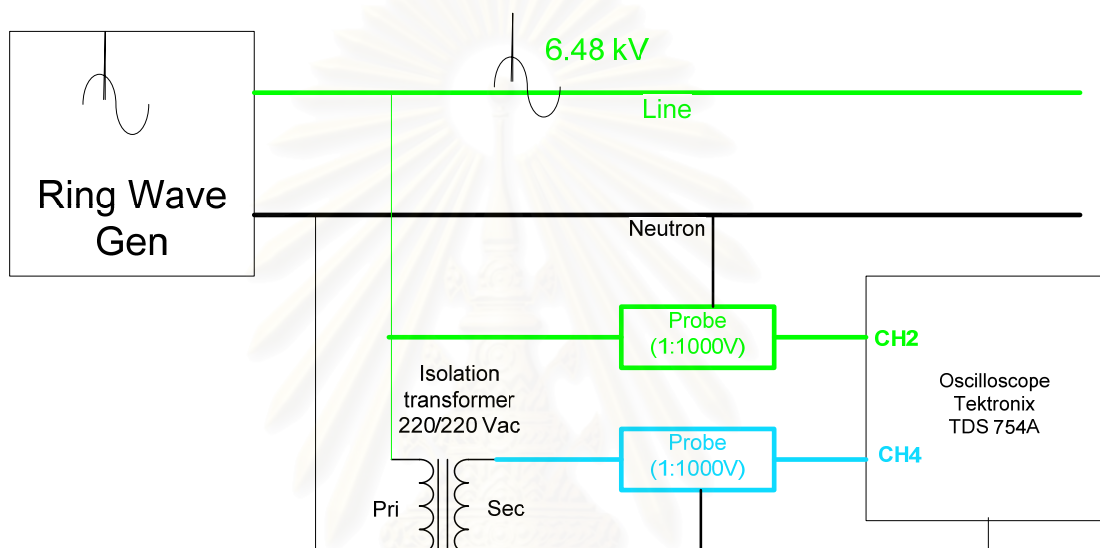
รูปที่ 4.27 รูปคลื่น Ring Wave ถูกวัดโดยเครื่องบันทึกแรงดัน และ Impulse-divider(1:3000)

รูปที่ 4.27 เป็นการวัดเสิร์จ Ring Wave โดยมีจุดประสงค์แสดงให้เห็นว่าเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ประกอบสร้างนี้สามารถวัด เสิร์จชนิดนี้ได้ ซึ่งการวัดเสิร์จในรูปที่ 4.27 นี้ ไม่ได้ทำการวัดที่เวลาเดียวกันกับ รูปที่ 4.26 เหตุที่ไม่ได้วัดพร้อมกันเนื่องจาก หากว่าเราใช้ Divider เดียวกัน แล้วแยกออกไปที่ ออสซิลโลสโคป และ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จจะทำให้อิมพีแดนซ์ ของเครื่องวัดทั้งสอง ขนานกัน และ จะส่งผลกระทบต่อรูปคลื่นเสิร์จ

4.3 การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันภาคแหล่งจ่ายไฟ

เนื่องจากว่าเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟ จากสายส่งที่จุดเดียวกันกับจุดที่วัดแรงดันเสิร์จ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ และ ที่สำคัญ จุดที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ จะต้อง ไม่ทำให้รูปคลื่นแรงดันเสิร์จที่ต้องการจะวัด ผิดเพี้ยน ไปด้วย

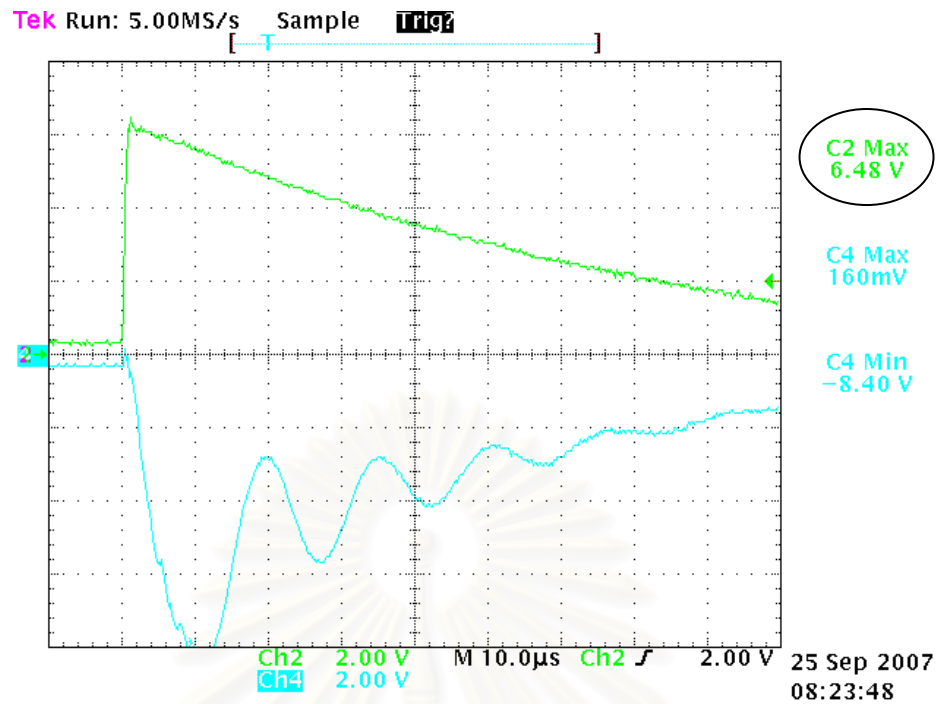
4.3.1 ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer



รูปที่ 4.28 วงจรการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer

Ch2 ต่อกับ Probe ลดทอน ขนาด 1:1000 V ต่อกันที่ด้าน Primary จุดประสงค์เพื่อดูรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ ว่าผิดเพี้ยนไปหรือไม่ เพราะว่าถ้ารูปคลื่นแรงดันเสิร์จ ผิดเพี้ยนไป แสดงว่า Isolation ไม่สามารถนำมาเป็นอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จได้

Ch4 ต่อกับ Probe ลดทอน ขนาด 1:1000 V ต่อกันที่ด้าน Secondary ของ Isolation transformer จุดประสงค์เพื่อดูรูปคลื่นของแรงดัน และ ขนาดแรงดัน หลังจากทางด้าน Primary ได้รับสัญญาณแรงดันเสิร์จ ขนาด 6.48 kV



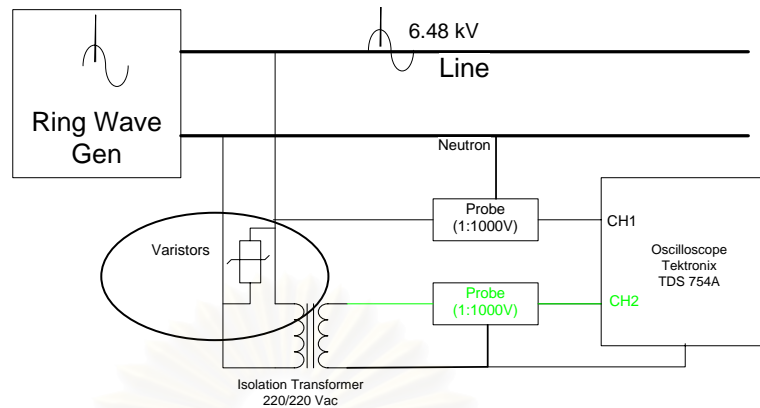
รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer

ผลการทดสอบที่ Ch2 ให้สังเกตที่ค่ายอด C2 Max ของแรงดันมีค่าเท่ากับ 6.48 kV และ รูปคลื่นเสิร์จ หน้าคลื่น และ หลังคลื่น ยังคงสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่า Isolation transformer สามารถใช้ป้องกันแรงดันเสิร์จที่ ภาคแหล่งจ่ายไฟของเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จได้ โดยไม่ได้ทำให้ รูปคลื่นผิดเพี้ยน

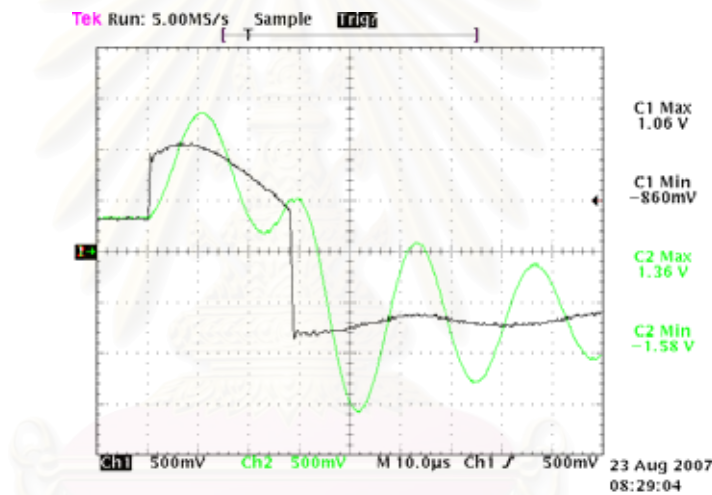
ผลการทดสอบที่ Ch4 สังเกตที่ค่ายอดของแรงดันสูงสุด C4 Min มีค่าเท่ากับ -8.40 kV แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันได้มีค่าสูงมาก ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นหน้าที่ของเราก็คือจะ ทำการลดทอนแรงดันที่ด้าน Secondary ของ Isolation Transformer ลง เพื่อให้มีค่าที่เหมาะสม

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ ได้เสนอแนวทางโดยใช้อุปกรณ์ MOV (Metal Oxide Varistor) ที่มี คุณสมบัติการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า ที่สูงขึ้นในช่วงเวลาสั้นได้เร็ว (ประมาณ 20 นาโนวินาที) แต่ถ้ารับกระแสไฟฟ้าสูง (100 A) เข้ามา จะทำให้อายุการใช้งานของ อุปกรณ์ลดลง ภายใต้สภาวะปกติ MOV จะมีความต้านทานสูง แต่เมื่อมีการรับแรงดันไฟฟ้าสูงเข้ามา ความต้านทานของ MOV จะลดต่ำลง

4.3.2 ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Primary



รูปที่ 4.30 วงจรทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Primary



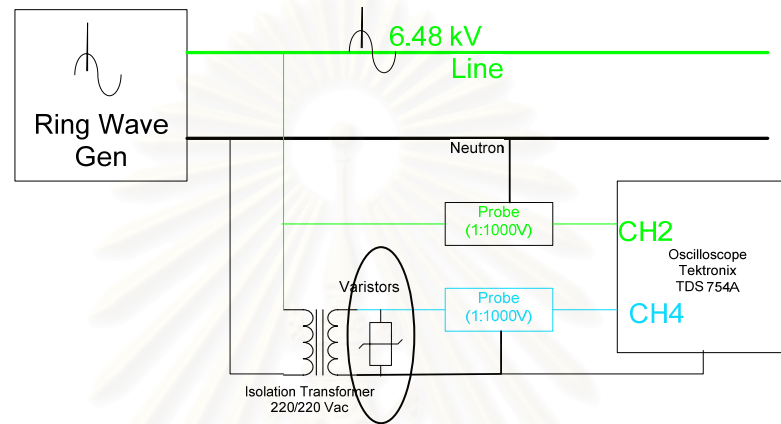
รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Primary

ทำการทดสอบโดยการป้อนเสิร์จขนาด 6.48 kV ลงบนสายส่ง Line ผลการทดลองรูปคลื่น Ch2 ที่ต่ออยู่กับ Isolation Transformer ด้าน Secondary แสดงให้เห็นว่าแรงดันเสิร์จลดลงเหลือ 1360 V สังเกตที่ C2 Max

แต่ ที่สำคัญคือ รูปคลื่นเสิร์จ ที่ Ch1 ซึ่งต่ออยู่ที่สายส่ง (Line) และ เป็นตำแหน่งที่เราต้องการวัดแรงดันเสิร์จ ได้รูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นทดสอบมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าการต่ออุปกรณ์ วาริสเตอร์ ที่จุดเดียวกับตำแหน่ง (Line) ที่วัดสัญญาณ จะทำให้รูปคลื่นเสิร์จผิดเพี้ยนไป และ วาริสเตอร์ก็ได้รับความเสียหาย โดยสังเกตได้จากรอยไหม้ ที่ตัววาริสเตอร์ และ อุณหภูมิที่สูงขึ้น จากการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 โดยใช้วงจรในรูปที่ 4.30 เหมือนเดิม

4.3.3 ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary

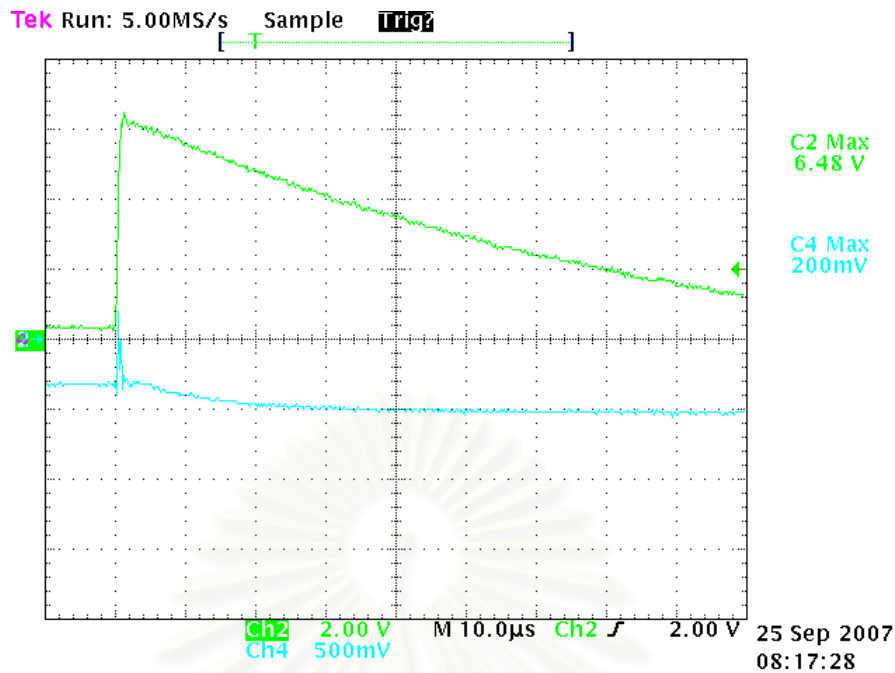
ทำการทดสอบโดยใช้วงจรในรูปที่ 4.32 โดยที่ **Ch2** ของออสซิลอสโคปต่ออยู่กับ probe ที่ Line ของสายส่ง เพื่อคอยวัดว่า วาริสเตอร์ที่ด้าน Secondary จะทำให้รูปคลื่นเสิร์จที่ Line สายส่ง ผิดเพี้ยนไปหรือไม่ และ **Ch4** ของ ออสซิลอสโคป ต่ออยู่ กับ Probe ที่ ด้าน Secondary ของ Isolation Transformer ที่มี วาริสเตอร์ ต่ออยู่ด้วย เพื่อดูว่าแรงดันถูกลดทอนลงไปเท่าไร



รูปที่ 4.32 วงจรการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary



รูปที่ 4.33 ทำการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary



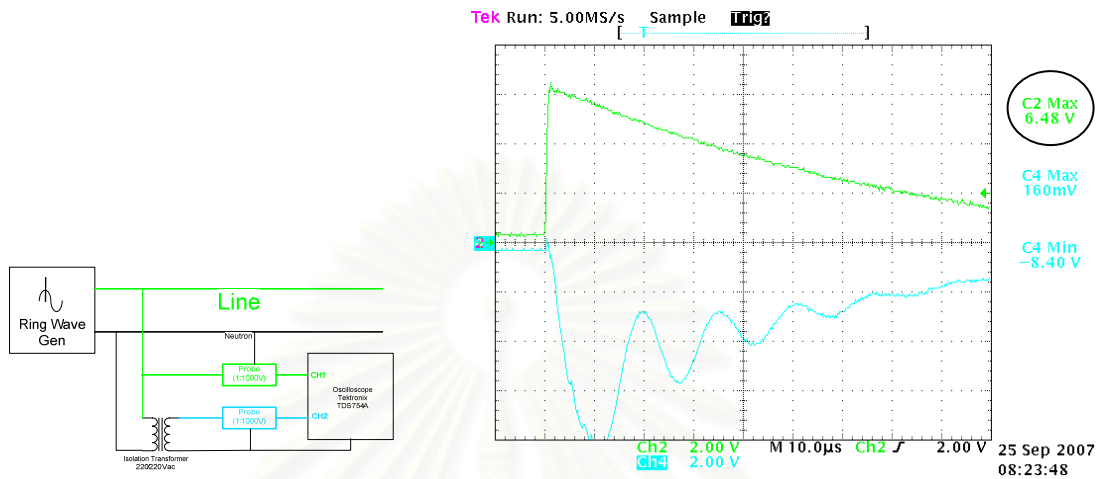
รูปที่ 4.34 ผลการทดสอบโดยใช้ Isolation Transformer โดยมี วาริสเตอร์ ด้าน Secondary

สังเกตที่ C2 Max มีค่า = 6.48 V เมื่อคูณกับค่าของ Probe ที่มีอัตราการลดทอนที่ 1000 เท่า แสดงให้เห็นว่า แรงดันเสิร์จมีค่าสอดคล้องเท่ากับ 6.48 kV ที่สำคัญคือรูปคลื่นแรงดันเสิร์จยังคงสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่า Isolation transformer ที่มี วาริสเตอร์ด้านทุติยภูมิ ไม่ส่งผลกระทบต่อรูปคลื่นแรงดันเสิร์จที่ต้องการวัด

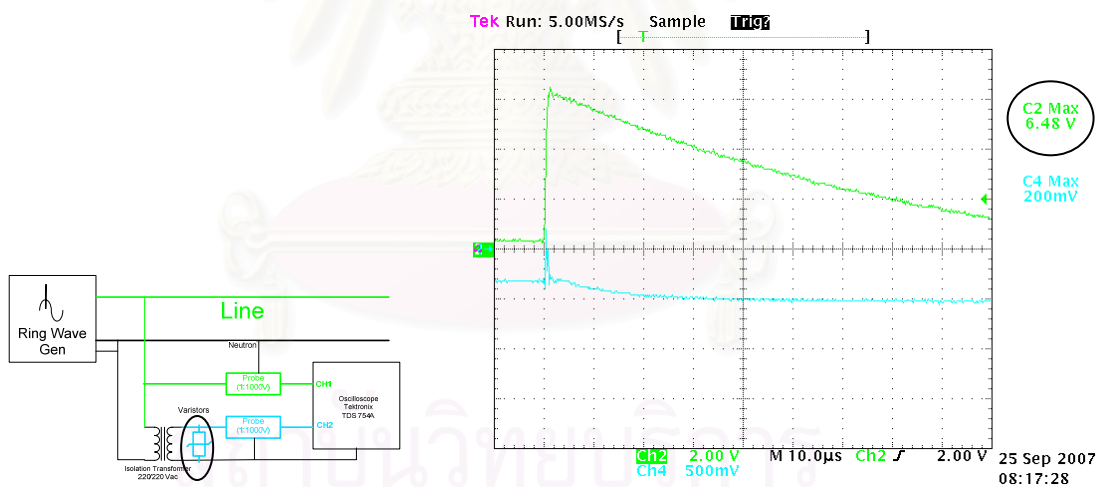
สังเกตที่ มีค่า C4 Max = 200 mV คูณกับค่าของ Probe ที่มีอัตราการลดทอนที่ 1000 เท่า แสดงให้เห็นว่า แรงดันเสิร์จมีค่าเท่ากับ 200 V แสดงให้เห็นว่า Isolation Transformer ที่มี วาริสเตอร์ ต่ออยู่ที่ด้าน Secondary สามารถลดทอนแรงดันลงได้ จากขนาด 6.48 kV หรือ แค่ 200 V

และได้ทำการทดลองซ้ำอีก 5 ครั้ง ผลปรากฏว่ารูปคลื่นที่ได้ยังคงเหมือนกับ รูปคลื่นที่ 4.34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การต่อวงจรในลักษณะนี้สามารถยืดอายุการใช้งานของ วาริสเตอร์ ได้ เพราะ วาริสเตอร์ไม่ได้รับกระแสโดยตรง เหมือน กับ การทดลองที่ 4.3.2 ที่มีวาริสเตอร์ต่ออยู่ที่ ด้าน Primary

เพื่อแสดงให้เห็นว่า Isolation transformer ที่มี วาริสเตอร์ต่ออยู่ที่ด้าน Secondary จะไม่ทำให้รูปคลื่นแรงดันเสิร์จผิดเพี้ยน และสามารถลดทอนแรงดันให้ต่ำลง ได้ในระดับที่เหมาะสม จึงนำผลลัพธ์ในรูปแบบที่ 4.34 เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.29



ก) ไม่มี วาริสเตอร์ด้าน Secondary ของ Isolation transformer



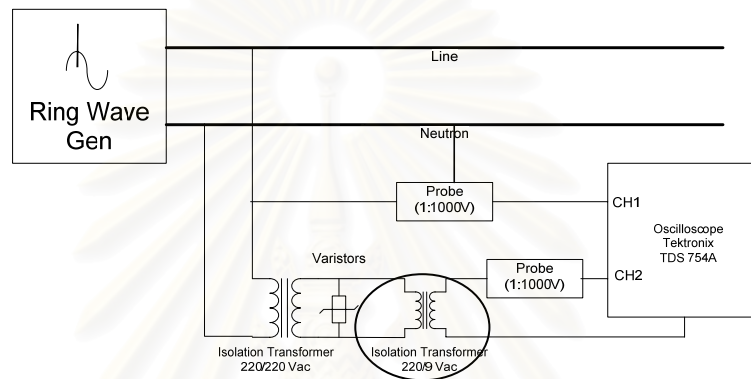
ข) มี วาริสเตอร์ที่ด้าน Secondary ของ Isolation transformer

รูปที่ 4.35 แสดงผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสิร์จที่วัดได้จาก Isolation transformer

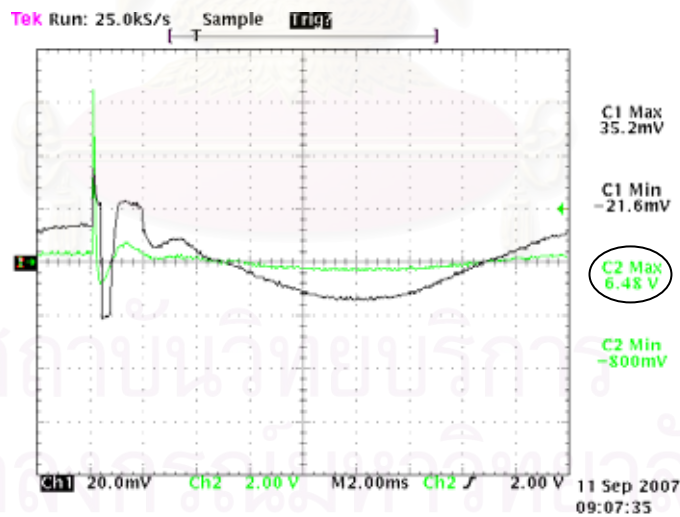
สังเกตได้จากรูปคลื่นที่เหมือนกันที่ CH2 ในรูป ก) และ ข) และ สังเกตที่ C2 Max มีค่ายอดแรงดัน = 6.48 kV เท่ากัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วาริสเตอร์ที่ต่ออยู่ที่ด้าน Secondary ของ Isolation transformer ไม่ได้ทำให้เสิร์จผิดเพี้ยน และ ยังลดทอนแรงดันอีกด้วย สังเกตได้ที่ C4 Max ของรูป ข) มีค่าเท่ากับ 200 V

4.3.4 ทำการทดสอบ วงจรป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ ที่ออกแบบและประกอบสร้าง

จากที่เราได้ทำการทดลองในหัวข้อที่ 4.3.3 ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า Isolation Transformer 220/220 Vac ไม่ทำให้รูปคลื่นเสิร์จผิดเพี้ยน แต่ยังคงมีแรงดันเหลืออยู่ทางด้าน พุติภูมิ 200 V ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องลดทอนแรงดันลงมาอีกให้ต่ำที่สุดเท่าที่ IC Regulator สามารถรองรับได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอทางเลือกหนึ่ง คือ การใช้ หม้อแปลง 220/9 Vac ต่อวงจรดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 วงจรป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ ของ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ ที่ออกแบบ



รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบวงจรป้องกัน ภาคแหล่งจ่ายไฟ ของ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ออกแบบ

รูปที่ 4.37 **C2 Max** วัดแรงดันได้ 6.48 kV ซึ่งเป็นค่ายอดแรงดัน ซึ่งบอกให้เราทราบว่า รูปคลื่นเสิร์จไม่ผิดเพี้ยน ในรูป 4.37 นี้ตั้ง Time/div ไว้ที่ 2 ms ส่วนที่ ch1 วัดแรงดันได้ 35.2 V ซึ่งบอกให้เราทราบว่า การต่อวงจรดังรูปที่ 4.36 สามารถลดทอนแรงดันลงได้ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ ออกแบบวงจร เรียงกระแส rectifier เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับภาคแหล่งจ่ายไฟได้

4.4 ทำการทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องโดยตรง

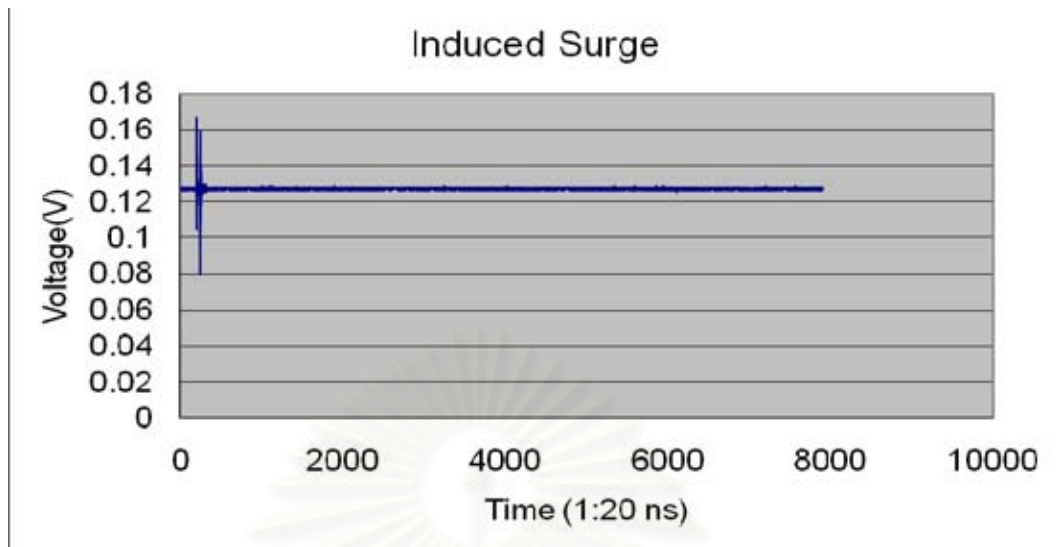
ในการทดสอบอิมพัลส์แรงดันสูง อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำเข้ามาโดย อาจจะเป็นในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ เข้ามาทางด้านแหล่งจ่ายไฟก็ได้ ซึ่งในกรณีที่ สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางแหล่งจ่ายนั้นเราสามารถลดผลนี้ ได้โดยใช้ วงจรฟิวเตอร์ หรือ หม้อ แปลงขดลวดแยก (Isolation Transformer)

สำหรับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องวัดโดยตรง แม้ว่าวงจร ภายในของเครื่องมือจะอยู่ในกล่องอุปกรณ์แล้วก็ตาม ซึ่งปกติในการทดสอบอิมพัลส์ระยะใกล้ สุดที่ห่างจากส่วนที่เป็นไฟฟ้าแรงสูงก็คือ Clearance จะห่างประมาณเป็นหลักเมตร แต่เนื่องจาก เครื่องวัดแรงดันเสิร์จที่ประกอบสร้างนี้ออกแบบให้นำไปติดตั้งกับสายส่งตลอดเวลาซึ่งอาจได้รับ ผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องวัดโดยตรง

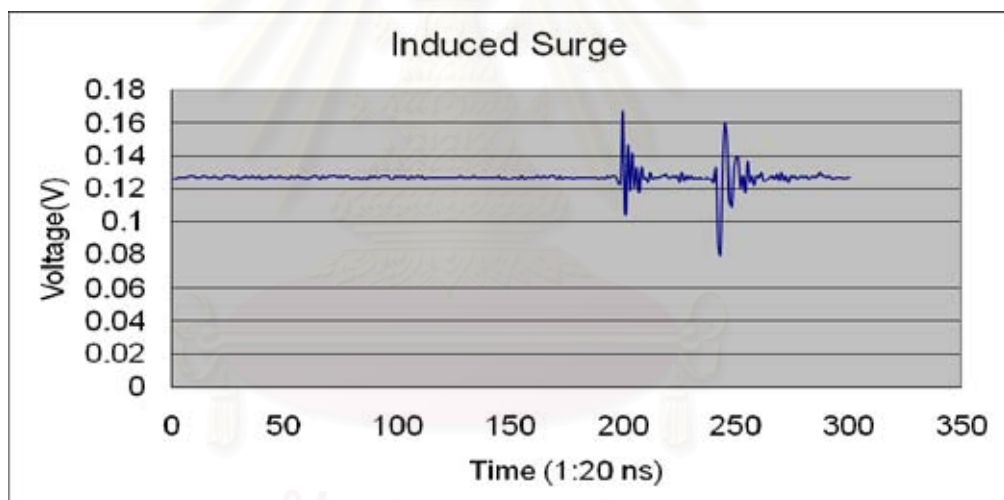
วิธีการทดสอบคือ นำเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ประกอบสร้างใส่ไว้ในเครื่องกำเนิดแรงดัน เสิร์จแล้วให้เครื่องทำงาน โดยทำการปิดฝาเครื่องบันทึกแรงดันให้เรียบร้อย และที่ อินพุททั้งสอง Channel ของเครื่องบันทึกแรงดัน ไม่ต้องทำการต่อกับ line และ Neutron ของสายส่ง แล้วทำการ ป้อนแรงดันเสิร์จขนาด 20 kV แล้วนำผลลัพธ์ที่เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จบันทึกได้ใน SD Card มา แสดงผล เพื่อทำการตรวจสอบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เข้ามาในเครื่องวัด



รูปที่ 4.38 ทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องมือวัดโดยตรง



รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องมือวัดโดยตรง



รูปที่ 4.40 ทำการขยาย สเกลทางเวลาของรูปที่ 4.39

ผลการทดสอบในรูปที่ 4.39 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการป้อนแรงดันเสิร์จขนาด 20 kV สามารถเหนี่ยวนำเข้ามาในเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จได้โดยลักษณะเป็นรูปคลื่นของแรงดันชั่วครู่ (Transient Voltage) ขนาดประมาณ 0.17 V ซึ่งมีขนาดแรงดันน้อยมาก เนื่องจากว่าระยะห่างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ กับ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ประกอบสร้าง ห่างกันประมาณ 20 cm ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้มากๆ

บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา การออกแบบ และ ประกอบสร้าง ตัวลงบันทึกข้อมูล สำหรับวัดแรงดันเสิร์จในระบบไฟฟ้า จำนวน 2 ช่องสัญญาณ ความละเอียด 12 บิต อัตราการซิก ตัวอย่าง 50 MSPS พร้อม บันทึกเวลาจริงที่เสิร์จ เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า แล้ว ทำการเก็บบันทึก ข้อมูลลงในหน่วยความจำประเภท SD Card ขนาดความจุ 1 GB แล้วนำข้อมูลที่บันทึกได้ทั้งหมด นำไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ออกแบบและประกอบสร้างนี้ได้รวมอิมพัลส์โวลเตจดิไว- เดอร์ไว้ด้วยกันทำให้เครื่องมีขนาดเล็ก เมื่อ เปรียบเทียบ กับ ออสซิลโลสโคป และ ได้ออกแบบให้ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จนี้เก็บข้อมูลลงใน SD Card ในรูปแบบของมาตรฐานไฟล์ FAT16 ซึ่งเพิ่ม ความสะดวกมากในการนำไปใช้งานกับคอมพิวเตอร์แบบพกพา(Computer Note Book) ซึ่ง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแทน ออสซิลโลสโคป ในกรณีที่ออกปฏิบัติการนอกสถานที่ได้

วิทยานิพนธ์นี้ได้ ออกแบบ และ ประกอบสร้าง อิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ ที่สร้างขึ้นจาก ตัวต้านทาน ชนิด Precision High Voltage Resistor โดยออกแบบให้มีอัตราการลดทอนแรงดันอยู่ที่ 1:3000 เท่า เพื่อทำการปรับลดระดับของแรงดันเสิร์จที่ใช้ในการทดสอบ ขนาด 6 kV ให้ได้ขนาด แรงดันที่เหมาะสมกับภาคอินพุทของอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลคือ 2 V

แรงดันเสิร์จที่ใช้ในการทดสอบเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ รูปคลื่นเสิร์จมาตรฐาน Standard Wave Form ที่ใช้อย่างอิงในทุกมาตรฐาน คือ รูปคลื่นแรงดันเสิร์จ 1.2/50 μ s และ รูปคลื่นแกว่ง Ring Wave (0.5 μ s – 100 kHz) ตามมาตรฐานของ IEEE Std C62.45TM-2002

ผลการทดสอบอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ทำการประกอบสร้างขึ้นจาก ตัวต้านทาน โดยการป้อน แรงดัน อิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μ s ขนาด 6 kV ทั้งชั่ววอก และ ชั่วลบ จำนวน 10 ครั้ง ผลที่ได้คือ อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์สามารถ คงทนต่อแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน โดยไม่เกิดการเบรกดาวน และ สามารถลดทอนแรงดันจาก 6 kV เหลือ 2 V โดยให้รูปคลื่นที่ภาคแรงต่ำ เหมือนกับ รูปคลื่นทดสอบมาตรฐานที่ภาคแรงสูง แสดงให้เห็นว่า อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่ทำการประกอบสร้างขึ้นจาก ตัวต้านทาน ให้ความถูกต้องในการถ่ายโอนรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์

ผลการทดสอบตัวลงบันทึกร่างแรงดันเสิร์จ โดยการป้อนรูปคลื่นทดสอบมาตรฐาน 1.2/50 μ s ทั้งชั่ววอก และ ชั่วลบ ขนาด 6 kV จำนวน 10 ครั้ง ผลการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยออกมาดังนี้ ตารางที่ 5.1 ค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่าง เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ กับ ออสซิลโลสโคป

	ยอดคลื่น Vp(%)	T1 หน้าคลื่น (%)	T2 หลังคลื่น (%)
ชั่ววอก	2.37	6.8	3.84
ชั่วลบ	4.77	8.67	0.67

ผลค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่าง เครื่องบันทึกรูปคลื่นแรงดันเสิร์จ กับ ออสซิลโลสโคป มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ ออสซิลโลสโคปที่มี อัตราการซีกตัวอย่างที่ 1.25 GS/S ส่วนเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ประกอบสร้างมีอัตราการซีกตัวอย่างที่ 50 MS/S

ผลการทดสอบ วงจรป้องกันเสิร์จทางภาคแหล่งจ่ายไฟ โดยใช้ Isolation transformer 220/220 Vac ต่อกับ อุปกรณ์ วาริสเตอร์ ที่ด้าน Secondary ของ Isolation transformer ผลคือ ไม่ส่งผลให้รูปคลื่นแรงดันเสิร์จด้านสายส่ง ผิดเพี้ยน และ ยังสามารถ ลดทอนแรงดันด้าน Primary ขนาด 6.48 kV เหลือแค่ 35.2 V ที่ด้าน Secondary และ วาริสเตอร์ยังมีอายุการใช้งานที่นาน ซึ่งก็หมายถึงว่าสามารถวัดเสิร์จได้จำนวนหลายครั้ง

ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาที่เครื่องโดยตรงแสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการป้อนแรงดันเสิร์จขนาด 20 kV โดยที่ อินพุทของ เครื่องวัดแรงดันเสิร์จ ไม่ได้ต่อกับ สายส่ง สามารถเหนี่ยวนำเข้ามาในเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จได้โดยลักษณะเป็นรูปคลื่นของแรงดันชั่วครู่ (Transient Voltage) ขนาดประมาณ 0.17 V ซึ่งมีขนาดแรงดันน้อยมาก เนื่องจากว่าระยะห่างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ กับ เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จที่ประกอบสร้าง ห่างกันประมาณ 20 cm ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้มาก ๆ ซึ่งสามารถแก้ไข สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำนี้ โดยการปรับระดับแรงดันทรานซิสเตอร์ ให้ได้ระดับที่เหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบ และ ประกอบสร้าง ตัวลงบันทึกแรงดันเสิร์จ และการนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตเป็นดังนี้

1. เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จนี้ได้ทำการตั้งระดับแรงดันทริกเกอร์ไว้ที่ 0.15 V หมายความว่าที่ภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์ ถ้ามีแรงดันเกินกว่า 0.15 V เครื่องบันทึกแรงดันจะทำการเก็บบันทึกข้อมูลทันที ดังนั้นหากเราพิจารณาที่ภาคแรงสูงของโวลเตจดีไวเดอร์ แสดงว่าต้องมีแรงดันที่สายส่งเกินกว่า 450V เครื่องก็จะเริ่มทำการเก็บบันทึกข้อมูล ดังนั้นตรงจุดที่เป็นตำแหน่งที่ต่อระหว่างภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์ กับ อินพุทของ Fully Differential Amp ควรออกแบบให้อยู่ในส่วนของเพลนที่เป็น กราวด์แอนด์ลอค เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากภาคแหล่งจ่าย และ ภาคดิจิทัล บนบอร์ด PCB เพราะว่าถ้าเกิดสัญญาณแรงดันรบกวนเพียงไม่กี่ มิลลิโวลต์ ที่ภาค Comparator ของเครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ อาจเข้าใจผิดคิดว่าเป็น แรงดันเสิร์จเกิดขึ้นในระบบสายส่งไฟฟ้า

2. อุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่บนบอร์ด PCB เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวทำงานร่วมกัน จะกินกระแสที่ 300 mA หากเราสามารถออกแบบให้เครื่อง ใช้ตัวประมวลผล FPGA หรือ ARM ตัวใดตัวหนึ่งก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

3. ภาคป้องกันเสิร์จด้านแหล่งจ่ายไฟที่ออกแบบ และ ประกอบสร้างนี้ เป็นการนำเสนอการทดลอง แนวทางหนึ่ง ที่สามารถป้องกันเสิร์จ และ ไม่ทำให้ ผลของรูปคลื่นแรงดันเสิร์จที่ทำการวัด ผิดเพี้ยน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ Isolation transformer ที่ใช้มีขนาด 100 VA ซึ่งมีขนาดใหญ่ ดังนั้นควรหา Isolation transformer ขนาด 30 VA หรือ ต่ำกว่านี้ และ ต้องเป็น Isolation transformers ที่มีระบบการฉนวนที่ดี ที่สามารถทนแรงดันไฟกระชากขนาด 6 kV ได้โดยไม่เกิดการเบรกดาวน์

4. ในการพัฒนาเครื่องวัดแรงดันเสิร์จ ควรใช้ ADC ที่มีอัตราการซีกตัวอย่างที่ 100 MHz เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิต PCB ในปัจจุบันสามารถรองรับความถี่ ขนาด 100 MHz ได้ เพื่อ เป็นการเพิ่ม accuracy ให้เครื่องบันทึกแรงดันเสิร์จ

รายการอ้างอิง

- [1] IEEE Std 1122-1998. IEEE Standard for Digital Recorders for Measurements in High-Voltage.
- [2] IEEE Std C62.41.2-2002. IEEE Recommended Practice on characterization of Surge in Low-Voltage AC Power Circuit.
- [3] IEEE Std C62.45-2002. IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuit.
- [4] ศักดิ์ชัย นรสิงห์. การป้องกันแรงดันไฟเกินในอาคารจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า. [online] Available from: http://www.9engineer.com/ee_main/Article/SPD.htm [2006, March 6].
- [5] ชัยพร ลิมาภรณ์วิชย์. การวัดแรงดันเสิร์จฟ้าผ่าในระบบสายส่ง 230 เควี ด้วยโวลเตจดิไวเดอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [6] Texas Instruments Incorporation. THS4503 WIDE BAND, LOW-DISTORTION FULLY DIFFERENTIAL AMPLIFIERS Data Manual. Available from: <http://www.ti.com>
- [7] Texas Instruments Incorporation. ADS5232 Dual 12 bit 65MSPS +3.3V Analog-to-Digital Converter. Available from: <http://www.ti.com>
- [8] Spartan 3E FPGA Family : Complete data sheet. [online] Available from: <http://direct.xilinx.com/bvdocs/publications/ds312.pdf>. [2006, March 9]
- [9] ISE 8 In depth tutorial. [online] Available From: http://download.xilinx.com/direct/ise8_tutorials/ise8tut.pdf [2006, March 9]
- [10] Digital Clock Manager (DCM) Module [online] Available from: http://www.xilinx.com/bvdocs/ipcenter/data_sheet/dcm_module.pdf. [2006, March 9]
- [11] FIFO Generator V2.2 [online] Available from: http://www.xilinx.com/ipcenter/catalog/logicore/docs/fifo_generator.pdf [2006, March 9]
- [12] Comparator V8.0 [online] Available From : <http://www.xilinx.com/ipcenter/catalog/logicore/docs/compare.pdf> [2005, April 28]

- [13] Actel HDL Coding Style Guide [online] Available from :
<http://www.mirror-service.org/sites/download.sourceforge.net/pub/sourceforge/ef/efsl/manual-0.2.4.pdf>. [2005,May 20]
- [14] โอบาส ศิริธรรมชิตถาวร. เรียนรู้ และ พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 LPC2148 ด้วย ภาษาซี. พิมพ์ ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร ช โรงพิมพ์ วชิรวิทย์สาส์น รัชดา, 2549
- [15] Lennart Ysboodt . Michael De Nil. EFSL Embedded file system library [online]
Available from: <http://www.mirror-service.org/site> [2005,May 20]
- [16] พร่อมเลิศ หล่อวิจิตร. คู่มือเรียน Visual Basic 2005. พิมพ์ครั้งที่ 1.
ISBN 974-9741-46-3 .กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โปรวิชั่น , 2549
- [17] ชำนาญ ปัญญาไส , วิศวกร หนูทอง ภาษา VHDLสำหรับออกแบบวงจรถติติตอล
พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

โปรแกรม Visual Basic ในส่วนของการอ่านไฟล์ข้อมูลที่บันทึกไว้ใน SD Card

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ทำการเขียนโปรแกรมให้เปิดไฟล์

```

Private Sub btnAdd_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
btnAdd.Click
Dim sr As BinaryReader = New BinaryReader(New
FileStream("C:\thesisWavesurge\ringsurge\text1.txt", FileMode.Open)) " Open File
Do strbyte = sr.ReadByte() col.Add(strbyte)
Loop While (col.Count < 16000) " 16 Kbyte
ListItems()
End Sub

```

2.) ทำการเขียนโปรแกรมให้อ่านข้อมูล RTC และ แปลงข้อมูลดิจิทัลให้อยู่ในรูปของระดับแรงดัน
แฉนระลอก

```

Private Sub ListItems()
Dim MSB, LSB As Double
strtime = (col.Item(1)) & ":" "Hour
strtime &= (col.Item(2))& ":" "Minute
strtime &= (col.Item(3)) "Secound
LabelTime.Text = strtime
strdate = (col.Item(4)) & "/" "DAY
strdate &= (col.Item(5))& "/" "Month
strdate &= (col.Item(6)) "Years
LabelDate.Text = strdate
Do
MSB = (col.Item(i))
MSB *= 256
i += 1
LSB = col.Item(i)
i += 1
result = ((2 - ((MSB + LSB) / 1024)))
j += 1
DataInStock(j) = result
strtext&=CStr((2-((MSB+LSB)/1024))) "DCA level

```



```

&ControlChars.CrLf
Loop While (i <= col.Count)
txtResult.Text = strttext
End Sub

```

3) โปรแกรมส่วนของการคำนวณค่าพารามิเตอร์ แรงดันเสิร์จมาตรฐาน 1.2/50 μ s

3.1) ส่วนของการคำนวณหาค่าแรงดันค่ายอด

```

Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button2.Click
    Dim counters As Integer = 0
    Dim TimeMax As Integer = 0
    Dim TimeMin As Integer = 0
    Dim Time90, Time30, Time50 As Integer

    """"Max"""" Surge + """"""""
    For counters = 1 To 16000
        If DataMax > DataInStock(counters)Then
            DataMax = DataMax
        Else
            DataMax = DataInStock(counters)
        End If
    Next

    """"Min"""" Surge - """"""""
    For counters = 1 To 16000
        If DataMin < DataInStock(counters) Then
            DataMin = DataMin
        Else
            DataMin = DataInStock(counters)
        End If
    Next

```

3.2 ส่วนของการคำนวณหาค่า เวลาหน้าคลื่น และ หลังคลื่น กรณีเสร็จ ชัก บวก

```

*****TimeMax*****Surge+*****
If (DataMax + DataMin) > 0 Then
For counters = 1 To 16000
    TimeMax += 1
If DataMax = DataInStock(counters)
Then Exit For
Next
    DataV90 = DataMax * 0.9 'T90 surge +
    DataV30 = DataMax * 0.3 'T30 surge +
Forcounters = 1 To TimeMax
    Time90 = counters
If (DataV90 - DataInStock(counters))<0.01 Then
Exit For
Next
For counters = 1 To TimeMax
    Time30 = counters
If (DataV30 - DataInStock(counters))<0.01 Then Exit For
Next

*****Duration Time *****
For counters = TimeMax To 16000
Time50 = counters

If (((DataMax / 2)/DataInStock(counters))>0.9) Then Exit For
Next

LabelVP.Text = CInt(DataMax * 3000)
LabelFW.Text = ((1.67 * (Time90 - Time30))*0.02)
LabelRW.Text = ((Time50 - (TimeMax / 2)) * 0.02)

```

3.3 ส่วนของการคำนวณหาค่า เวลาหน้าคลื่น และ หลังคลื่น กรณีเสร็จ ชัก ลบ

```

"TimeMin"Surge - "
Else
    For counters = 1 To 16000
        TimeMin += 1
"Front Time"
If DataMin = DataInStock(counters)
Then Exit For
Next
    DataV90 = DataMin * 0.9 'T90 surge +
    DataV30 = DataMin * 0.3 'T30 surge +
"Time 90 "
For counters = 1 To TimeMin
    Time90 = counters
If(DataV90-DataInStock(counters))>0.01
Then Exit For
Next
"Time 30 "
For counters = 1 To TimeMin
    Time30 = counters
If(DataV30 - DataInStock(counters)) > 0.01
Then Exit For
Next
"Time-T50"Duration Time"
For counters = TimeMin To 16000
    Time50 = counters
If(((DataMin / 2) / DataInStock(counters))> 0.87) Then Exit For
Next
LabelVP.Text = CInt(DataMin * 3000) "Vpeak
"Front Time"
LabelFW.Text=((1.67*(Time90-Time30))*0.02)
"Duration Time"
LabelRW.Text=((Time50-(TimeMin/2))* 0.02)End If End Sub

```

4) โปรแกรมส่วนของกรคำนวณค่าพารามิเตอร์ แรงดันเสิร์จ Ring Wave

```

Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button3.Click

    Dim counters As Integer = 0
    Dim TimeMax As Integer = 0
    Dim Time90, Time10 As Integer
    Dim DataV10 As Double

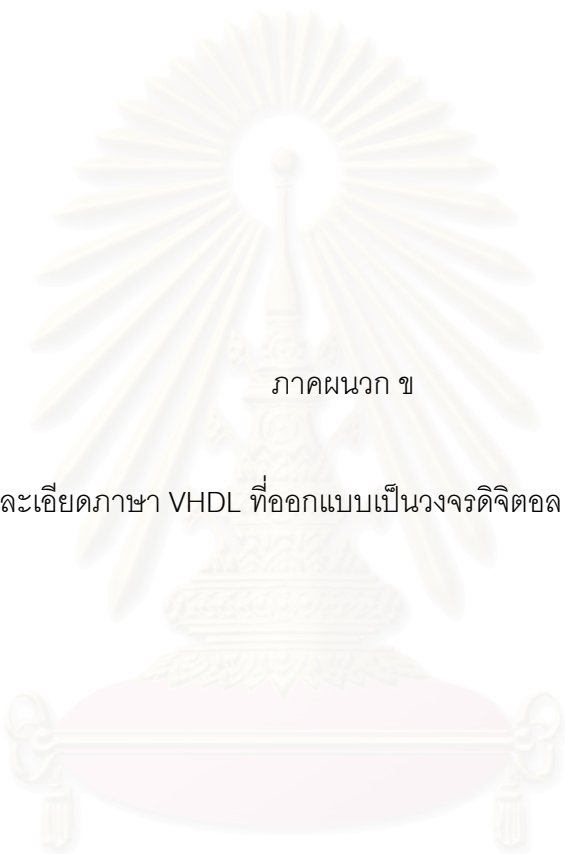
    """"Voltage Max""""Ring Surge + """"""""
    For counters = 1 To 16000
    If DataMax > DataInStock(counters) Then
        DataMax = DataMax
    Else
        DataMax = DataInStock(counters)
    End If
    Next

    """"TimeMax""""Ring Surge + """"""""
    For counters = 1 To 16000
        TimeMax += 1
        If DataMax = DataInStock(counters) Then Exit For
    Next

    DataV90 = DataMax * 0.9 'T90 surge +
    DataV10 = DataMax * 0.1 'T10 surge +

    """"Time 90""""""""""
    For counters = 1 To TimeMax
        Time90 = counters
    If (DataV90 - DataInStock(counters)) < 0.001 Then Exit For Next
    """"Time 10""""""""""
    For counters = 1 To TimeMax
        Time10 = counters
    If (DataV10 - DataInStock(counters)) < 0.001 Then Exit For Next
    LabelVpR.Text = CInt(DataMax * 3000)""Vpeak
    LabelFWR.Text = (Time90-Time10)*0.02""Rise Time End Sub

```



ภาคผนวก ข

รายละเอียดภาษา VHDL ที่ออกแบบเป็นวงจรดิจิทัล ภายใน FPGA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-----DCM (Digital Clock Manager)-----

<pre> COMPONENT fiftyys PORT(CLKIN_IN : IN std_logic; RST_IN : IN std_logic; CLKFX_OUT : OUT std_logic; CLKIN_IBUFG_OUT : OUT std_logic; CLK0_OUT : OUT std_logic; LOCKED_OUT : OUT std_logic); END COMPONENT;</pre>	<pre> Inst_fiftyys: fiftyys PORT MAP(CLKIN_IN => clk80Mhz , RST_IN => rst, CLKFX_OUT => clk_DCM, CLKIN_IBUFG_OUT => open, CLK0_OUT => open, LOCKED_OUT => open);</pre>
--	--

-----Comparater Greater-----

<pre> component greater port (a: IN std_logic_VECTOR(11 downto 0); clk: IN std_logic; ce: IN std_logic; sset: IN std_logic; qa_gt_b: OUT std_logic); end component;</pre>	<pre> U1 : great port map (a => data, clk => not dva, sset => sset, qa_gt_b => qa_gt_b);</pre>
--	--

-----Comparator Litter-----

<pre> component little port (a: IN std_logic_VECTOR(11 downto 0); clk: IN std_logic; ce: IN std_logic; sset: IN std_logic; qa_lt_b: OUT std_logic); end component; </pre>	<pre> U2 : less port map (a => data, clk => not dva, sset => sset, qa_lt_b => qa_lt_b); </pre>
--	--

-----FIFO 8192x12 bit-----

<pre> component fifo_mem port (din: IN std_logic_VECTOR(11 downto 0); rd_clk: IN std_logic; rd_en: IN std_logic; rst: IN std_logic; wr_clk: IN std_logic; wr_en: IN std_logic; dout: OUT std_logic_VECTOR(11 downto 0); empty: OUT std_logic; full: OUT std_logic); end component; </pre>	<pre> U0 : mem_16K port map (din => Data, rd_clk => not dva, rd_en => rd_enBuff, rst => rst, wr_clk => not dva, wr_en => wr_enBuff, dout => dout, empty => empty, full => full); </pre>
--	---

-----WRITE Process-----

```

WR_Process : process(clk,rstn,CounterInitial,qa_gt_b,qa_lt_b)
Begin
    if(rstn='0')or(CounterInitial<"111")then
        wr_enBuff <= '0'; rd_enBuff <= '0'; start <= '0'; sset <= '0';
        WAddress <= "0000000000000";
    elsif(falling_edge(dva))then
        if((qa_gt_b='1') or (qa_lt_b='1'))then
            sset <= '1';
            if(full = '0')then
                wr_enBuff <= '1';
            else
                wr_enBuff <= '0'; rd_enBuff <= '1';
            if(WAddress = "1111111111111")then
                start <= '1';
            else
                ramTmp(conv_integer(WAddress)) <= dout;
                WAddress <= WAddress + '1';
            end if; end if;
            else
                if(i="01111")then
                    wr_enBuff <= '1';
                    rd_enBuff <= '1';
                    i <= "00000";
                else
                    i <= i + '1';
                wr_enBuff <= '1'; rd_enBuff <= '0'; end if; end if; end if; end process;

```

 -----READ Process-----

```

RD_process :process(clk,rstn)
begin
  if(rstn = '0')then
    rAddress <= (others=>'0');
    step_rd <= "00100";
    --empty <= '0';
    elsif(falling_edge(clk))and (start ='1')then
      case step_rd is
        when "00100" =>
          if(SAVE_SD_OK='1')then-----wait ARM wakeup
            step_rd<="00101";
          else
            step_rd<="00100";
          end if;
        when "00101" =>
          core_Allow_RD <= '0';--FPGA sent signal to ARM for prepare
          into mode test_SD()
            step_rd <= step_rd + '1';
          when "00110" =>
            if(SAVE_SD_OK='0')then--request ARM if ready          show
              pin_save_sd_ok = 0
            core_Allow_RD <= '1';--ALLOW test_SD() in ARM ACTIVE
            step_rd <= "00111";
          else
            step_rd <= "00101";
          end if;
        when "00111" =>
  
```

```

already
    if(SAVE_SD_OK='1')then-----wait ARM save data into SD

        Q <= ramTmp(conv_integer(RAddress));
    step_rd <= "01000";
    else
    step_rd <= "00111";
    end if;
    when "01000" =>

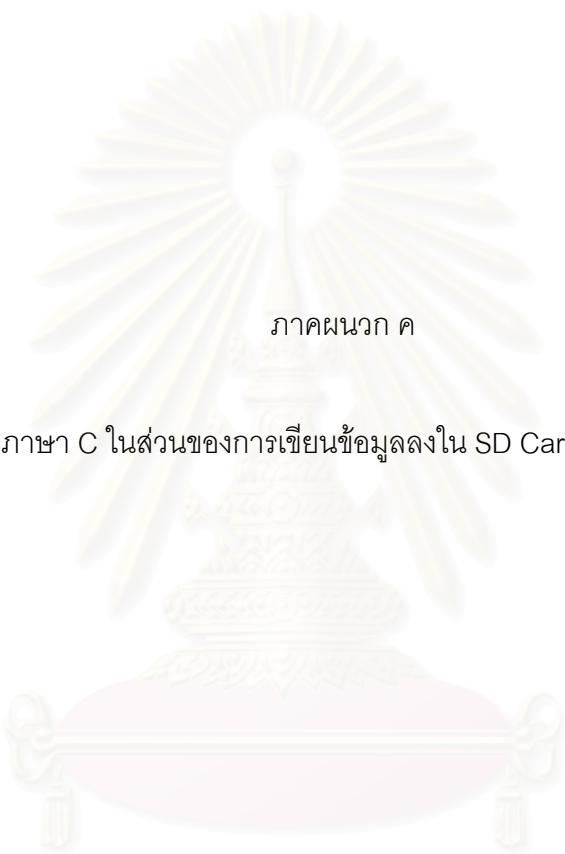
--core_Allow_RD <= '0';-----Respond ARM...Change FIFO

OK

        if(RAddress = "111111111111")then
            step_rd <= step_rd + '1';
            emptyout <= '1';
        else
            step_rd <= "00100";-----tell ARM u can read data
            RAddress <= RAddress + '1';
        end if;
    when others =>
        null;
    end case;

    end if;
end process RD_process;

```



ภาคผนวก ค

รายละเอียดภาษา C ในส่วนของการเขียนข้อมูลลงใน SD Card และ RTC ใน ARM7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

//-----//
//----- GPIO initialize -----//
//-----//

int main(void)
{
systemInit();
PINSEL0 &= 0xF000000F; // รับข้อมูล 12bit Data มาจาก FPGA
PINSEL1 &= 0xC0FFFFFF; // (check empty),(save_SD_ok),(Allow_READ)
IODIR0 |= PIN_SAVE_SD_OK; // กำหนดให้ pin p0.29 เป็น output
IOSET0 = PIN_SAVE_SD_OK; // Initial pin p0.29 output = '1' เพื่อบอกFPGAว่าพร้อม
iMAX=0; // กำหนดตัวแปรนับจำนวนข้อมูลใน Buffer
CIIR = 0x00000001; // Enable seconds counter interrupt
CCR = 0x00000011; // Start RTC I use crystal from 32.7Khz
external

//-----//
//----- Initialize SD Card -----//
//-----//

rprintf("CARD init...");
    if ( ( res = efs_init( &efs, 0 ) ) != 0 ) {
        rprintf("failed with %i\n",res);}
    else {
        ls_openDir( &list, &(efs.myFs) , "/");
        while ( ls_getNext( &list ) == 0 ) {
            list.currentEntry.FileName[LIST_MAXLENFILENAME-1] = '\0';
            list.currentEntry.FileSize ) ;}
        if ( file_fopen( &filew, &efs.myFs , "text1.txt" , 'a' ) != 0 ){
            rprintf("failfromfilew\n");

while(1);}}

```

```

//-----//
//----- Function SD -----//
//-----//

void test_SD(){
unsigned char Buffer[iMAX];          //กำหนดขนาดBuffer ใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ได้รับมา
    Buffer [0]=HOUR;                  // RTC บันทึกข้อมูล ชั่วโมง ลงใน Buffer[0]
    Buffer [1]=MIN;                   // RTC บันทึกข้อมูล นาที ลงใน Buffer[1]
    Buffer [2]=SEC;                   // RTC บันทึกข้อมูล วินาที ลงใน Buffer[2]
    Buffer [3]=DOM;                   // RTC บันทึกข้อมูล วันที่ ลงใน Buffer[3]
    Buffer [4]=MONTH;                 // RTC บันทึกข้อมูล เดือน ลงใน Buffer[4]
    Buffer [5]=YEAR;                  // RTC บันทึกข้อมูล ปี ลงใน Buffer[5]
do{ IOSET0 |= PIN_SAVE_SD_OK;
    if((IOPIN0 & PIN_Allow_RD)==0)
do{ IOCLR0 |= PIN_SAVE_SD_OK; // Respond to FPGA told .....Ready
}while((IOPIN0 & PIN_Allow_RD)==0); //wait Allow_RD = '1'
        Data_IOPort0 = IOPIN0 & 0x00003FFC; // อ่านข้อมูลของPort 0 ทุกขา
        Data4bit = (Data_IOPort0 >> 10)&0x0F; // แบ่งข้อมูลให้มีขนาด 8bit MSB
        Data8bit = (Data_IOPort0 >> 2)&0xFF; // แบ่งข้อมูลให้มีขนาด 8bit LSB
        Buffer[i]=Data4bit;
        i++;
        Buffer [i]=Data8bit;
        iMAX=i;
        i++;
do{IOSET0 |= PIN_SAVE_SD_OK; // Show FPGA SAVE DATA FINISH
}while((IOPIN0 & PIN_Allow_RD)==1); // Wait FPGA change data in FIFO
}while((IOPIN0 & PIN_empty)==0); //check empty = '1'
start_wr = 1; test[iMAX] = '\0';
file_write( &filew,iMAX, test ) ;/////mefile_write( &filew,1, test ) ;
file_fclose( &filew ); fs_umount( &efs.myFs ) ;}

```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรุฒม์ แจ่มแสง เกิดวันที่ 26 กันยายน พ.ศ.2524 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ.2547 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาการออกแบบและประยุกต์วงจรรวม ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ.2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย