

การออกแบบตัวตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงและการ
วิจัยเรื่องผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่สัมผัสกับปฏิบัติงาน

DESIGN DIELECTRIC DETECTOR FOR FRP HOT STICK IN EHV LIVE
LINE MAINTENANCE AND FIELD EFFECT PARAMETER WORKERS
DURING USING THE FRP HOT STICKS IN LIVE LINE MAINTENANCE

ถวิลเกียรติ ดรรชนีศักดิ์
TALERNGKIAT DHAMMAKITTISAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2882-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงและการ
วิจัยเรื่องผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่มีต่อผู้ปฏิบัติงาน

DESIGN DIELECTRIC DETECTOR FOR FRP HOT STICK IN EHV LIVE
LINE MAINTENANCE AND FIELD EFFECT PARAMETER WORKERS
DURING USING THE FRP HOT STICKS IN LIVE LINE MAINTENANCE

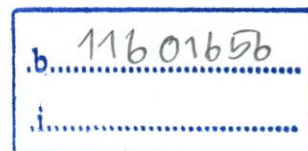


เฉลิมเกียรติ ธรรมกิตติสกุล

TALERNGIAT DHAMMAKITTISAKUL

ฉพ.
ธ ๕๒๒๗
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61685
วัน,เดือน,ปี 19 ก.ค. 2549



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2332-7

**DESIGN DIELECTRIC DETECTOR FOR FRP HOT STICK IN EHV LIVE
LINE MAINTENANCE AND FIELD EFFECT PARAMETER WORKERS
DURING USING THE FRP HOT STICKS IN LIVE LINE MAINTENANCE**

TALERNGKIAT DHAMMAKITTISAKUL

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2332-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตัวตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงและการวิจัยเรื่องผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่มีต่อผู้ปฏิบัติงาน
นักศึกษา	นายเฉลิมเกียรติ ชรรณกิตติสกุล
รหัสนักศึกษา	46061708
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชนิดย์ ศรีสุวรรณวัฒน์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอหลักการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบ FRP Hot Stick และ เชือก ที่ใช้ในการทำงานบนสายส่งไฟฟ้าแรงสูง และสถานีไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ต้องปิดระบบการจ่ายไฟ อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ง่ายมีความสะดวกในการใช้งานบำรุงรักษาภาคสนาม และมีราคาที่ถูก โดยหลักในการทดสอบจะอยู่ภายใต้ข้อบังคับของมาตรฐาน IEEE Std.978-1984 และ OSHA Regulation 1910.269 Part J-Live Line Tools. ตัวตรวจสอบนี้เป็นอุปกรณ์พกพาที่สามารถนำไปใช้ตรวจสอบ FRP Hot Stick และ เชือก ก่อนที่จะมีการทำงานในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยวิธีไม่ต้องปิดระบบการจ่ายไฟ เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน จากการ Flash Over ผ่านผิวของ FRP Hot Stick โดยใช้หลักการหลักการโดยรวมที่ใช้ตรวจสอบคือ จะใช้การวัดค่าแรงดันและความถี่ที่สูงสูญเสียไปที่ความถี่ 10-20 MHz. โดยป้อนสัญญาณแรงดันและความถี่เข้าไปที่ FRP Hot Stick โดยทำการวัดค่ากำลังที่สูงสูญเสียไปเนื่องจากความชื้นและผิวของ FRP Hot Stick ชำรุด โดยทำการวัดค่าจริงของสัญญาณที่ถูกส่งผ่านหน้าเครื่องมือตรวจสอบ เมื่อสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นส่งผ่าน Electrode 1 จะตกกระทบและวิ่งผ่านผิว FRP Hot Stick ผ่านไปยัง Electrode 2 จะถูกตรวจนับค่าความถี่ที่สูงสูญเสียนั้นคือค่าของ Watt Loss และจะทำการเปรียบเทียบค่า และในกรณีที่ไม่ผ่านการทดสอบจะแสดงผลไปที่ LED และ Buzzer เพื่อเตือนให้ทำความสะอาดโดยใช้ Hot Stick Silicone Cleaner และทำการตรวจสอบอีกครั้งให้ผ่านตามมาตรฐานก่อนใช้งานจริงเพื่อป้องกันอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานจากการ Flash Over ของไฟฟ้าแรงสูง

Thesis Title	Design Dielectric Detector for FRP Hot Stick in EHV Live Line Maintenance and Field Effect Parameter Workers During Using The FRP Hot Stick in Live Line Maintenance
Student	Mr.Talerngkiat Dhammakittisakul
Student ID.	46061708
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Thanit Trisuwannawat
Co - Thesis Advisor	Asst. Prof. Witsarut Sriratana

ABSTRACT

In this thesis, presents and approach to test the FRP hot stick and Rope that use in Hot Line Work. This approach is easy to use job site inspection and inexpensive.. The method is test in compliance with IEEE Std.978-1984, Guide for In-Service Maintenance and Electrical Testing for Live-Line Tools. And OSHA (Occupation Safety & Health Administration) Regulation 1910.269 Part J-Live Line Tools. The FRP Hot Stick checkers are portable device that can be use for job site inspection of live-line tools to prevent Flashover. Work safely that is the first priority for Hot Line Work. The Field effect study and research are necessary to guarantee safe condition for Worker. This Project objective for understanding about field effect of Hot Line Worker. The problem, root cause and corrective actions from this Project are usefulness to prevent unsafe conditions of Hot Line Worker.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รศ.ดร.ชนิดย์ ศรีสุวรรณวัฒน์ และ ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ที่ลืมเสียมิได้คือขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่งที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำวิทยานิพนธ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิจัยขอบมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เถลิงเกียรติ ธรรมกิตติสกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการคิดค้น.....	4
1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 หลักการออกแบบในส่วนกำเนิดสัญญาณ.....	6
2.2 Basic CMOS Design.....	9
2.3 วงจรคอมบิเนชันลอจิกของเอ็นมอส (NMOS Combination Logic).....	11
2.4 วงจรคอมบิเนชันลอจิกของซีมอส (CMOS Combination Logic).....	12
2.5 Flip Flop.....	13
2.6 IC ที่ใช้งานในวงจรสร้างสัญญาณของเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick.....	13
2.7 การรักษาเสถียรภาพและเพิ่มความแรงของสัญญาณ.....	16
2.7.1 วงจรรักษาเสถียรภาพของสัญญาณ Controlled Oscillator.....	16
2.7.2 ความสำคัญของวงจรรักษาเสถียรภาพ.....	17
2.7.3 คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ที่นำไปประกอบวงจร.....	17
2.7.4 คุณสมบัติของ Op-Amp หรือ โอเปอเรชันแนล แอมพลิฟาย.....	17
2.7.5 การเอา Op-Amp มาใช้ในวงจร แบบต่าง ๆ.....	18
2.7.6 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier).....	19
2.7.7 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer).....	19
2.7.8 วงจรกรองความถี่ (Filter).....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.9 คุณสมบัติของ IC Op-Amp LM158 ที่ใช้ในวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่.....	20
2.7.10 การทำของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมแรงดัน.....	21
บทที่ 3 ผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่มีต่อผู้ปฏิบัติงานโดยไม่ดับไฟ.....	23
3.1 วิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าสนามไฟฟ้า.....	23
3.2 การคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน.....	27
3.3 การวัดค่า.....	29
3.4 ผลของ Damaged Insulators.....	30
3.5 การพิจารณาถึงความปลอดภัย.....	31
3.6 สรุปผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่มีต่อผู้ปฏิบัติงาน.....	32
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ	33
4.1 หลักการทำงานของระบบโดยรวม.....	33
4.2 Block Diagram ของระบบ.....	34
4.3 ส่วนกำเนิดคลื่นความถี่.....	35
4.4 ส่วนรักษาเสถียรภาพความถี่.....	36
4.5 ส่วนทวีคูณความถี่และเพิ่มความแรงของสัญญาณ.....	36
4.6 การตรวจนับสัญญาณ.....	38
4.7 ส่วนประมวลผล.....	40
4.8 การแสดงผล.....	41
บทที่ 5 การทำงานของระบบและผลการทดลอง.....	47
5.1 การทดลองที่ 1.....	47
5.1.1 สรุปผลการทดลองที่ 1.....	52
5.2 การทดลองที่ 2.....	51
5.2.1 สรุปผลการทดลองที่ 2.....	54
5.3 การทดลองที่ 3.....	55
5.3.1 สรุปผลการทดลองที่ 3.....	58
5.4 การทดลองที่ 4.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.1 สรุปผลการทดลองที่ 4.....	62
5.5 การทดลองที่ 5.....	62
5.5.1 สรุปผลการทดลองที่ 5.....	66
5.6 การทดลองที่ 6.....	66
5.6.1 สรุปผลการทดลองที่ 6.....	70
5.7 สรุปผลการทดลอง.....	70
5.8 ภาพรวมการทดสอบ.....	72
5.8.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ.....	73
5.8.2 สิ่งที่ต้องพิจารณาจำเป็นต้องทดสอบ.....	72
5.8.3 มาตรฐานการทดสอบ.....	72
5.8.4 หัวข้อการทดสอบ.....	72
5.9 การทดสอบแบบ High-Potential AC Test.....	73
5.9.1 วัตถุประสงค์.....	73
5.9.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	73
5.9.3 วิธีทดสอบ.....	73
5.9.4 การประเมินค่า Leakage Current.....	78
5.9.5 ตัวอย่างการทดสอบ.....	78
5.9.6 ผลการทดสอบ.....	79
5.9.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	80
5.10 AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test.....	80
5.10.1 วัตถุประสงค์.....	80
5.10.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	81
5.10.3 วิธีทดสอบ.....	81
5.10.4 การประเมินค่า Watts-Loss.....	82
5.10.5 ตัวอย่างการทดสอบ.....	82
5.10.6 ผลการทดสอบ.....	82
5.11 สรุปผลวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยรวม.....	83
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป.....	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.1 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	84
6.2 สรุปผลงานโดยรวม.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก ก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	87
ภาคผนวก ข คู่มือคุณสมบัติของแผงวงจรรวม.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 Truth Table IC # MC14013B Dual Type D Flip- Flop.....	16
3.1 Effect of damaged insulators on E_z along the ladder.....	30
4.1 รายการอุปกรณ์.....	44
5.1 สรุปผลการทดลองที่ 1.....	51
5.2 สรุปผลการทดลองที่ 2.....	54
5.3 สรุปผลการทดลองที่ 3.....	58
5.4 สรุปผลการทดลองที่ 4.....	62
5.5 สรุปผลการทดลองที่ 5.....	65
5.6 สรุปผลการทดลองที่ 6.....	70
5.7 ผลการทดสอบ.....	79
5.8 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้น 63% ความกดอากาศ 1022 hPa.....	82
5.9 ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบในวิทยานิพนธ์กับเครื่องมือทดสอบ CHANCE USA.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงสัญลักษณ์ทางวงจรและลักษณะโครงสร้างของ MOS Transistor.....	6
2.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 แบบ.....	8
2.3 แสดง NMOS ที่สถานะต่างๆ โดยที่ B หรือ Substrate ต่อลง GND.....	10
2.4 การต่อสัปดาห์ให้แก่ PMOS.....	11
2.5 โครงสร้างของวงจรคอมบิเนชันแบบเอ็นมอส.....	11
2.6 CMOS Combination Logic Structure.....	12
2.7 Block Diagram MC14013B Dual Type D Flip-Flop.....	13
2.8 IC # CD40106B.....	14
2.9 IC # CD40106B.....	14
2.10 Wave shaper, Monostable multivibrator, Astable multivibrator.....	15
2.11 IC # MC14013B.....	16
2.12 Op-Amp.....	18
2.13 วงจรขยายแบบกลับเฟส.....	19
2.14 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer).....	20
2.15 Voltage controller oscillator LM158.....	21
2.16 Voltage Controlled Oscillator (VCO).....	22
3.1 Insulating ladder for live line maintenance.....	25
3.2 Profiles of field strength components E_x , E_y and E_z	26
3.3 Field probe.....	29
3.4 Profile of field strength E_z versus location of worker.....	29
3.5 Line Man Harness ที่ใช้กับงาน 500 kV. Bare Hand ของ กฟผ.....	31
4.1 แสดง Block Diagram ของระบบ.....	34
4.2 IC 2 เบอร์ CD40106B.....	35
4.3 MC14013B Dual Type D Flip-Flop.....	35
4.4 วงจร Voltage Controlled Oscillator (VCO).....	36
4.5 Input Equivalent Circuits.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 Logic Diagram ส่วนทวิคูณความถี่และเพิ่มความแรงของสัญญาณ.....	38
4.7 LM311 Voltage Comparator.....	39
4.8 Block Diagram CA3140, CA3140A.....	41
4.9 LM3914Dot/Bar Display Driver.....	41
4.10 โครงสร้างของตัวตรวจสอบอุปกรณ์.....	44
5.1 การจัดวาง Hot Stick เพื่อเตรียมทดสอบ.....	74
5.2 การเตรียม Electrode สำหรับทดสอบ ณ ช่วงใดๆ.....	74
5.3 แสดงการใช้สปริงรัดบน Tape Foil.....	74
5.4 แสดงการต่อสายป้อนไฟที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง.....	75
5.5 แสดงการเดินสายป้อนไฟเข้ากับ Electrode.....	75
5.6 แสดงภาพตัดของ Guard Electrode.....	76
5.7 แสดงการใช้ Guard Electrode เพื่อลดผลของ Stray Capacitance.....	76
5.8 แสดงการต่อวงจรทดสอบและวงจรวัด.....	76
5.9 ภาพวงจรทดสอบโดยรวม.....	77
5.10 แสดงการแบ่งพื้นที่การฉีคน้ำกลั่นลงบน Hot Stick ช่วงเวลาที่ทดสอบ.....	77
5.11 การแบ่งช่วงการทดสอบ FRP Hot Stick ออกเป็น 7 ช่วง ช่วงละ 1 ฟุต.....	79
5.12 แสดงการเกิด Flashover ที่ผิวของ FRP Hot Stick.....	79
5.13 แสดงสภาพผิวของ Hot Stick หลังจากการเกิด Flashover.....	80
5.14 แสดงวงจรการทดสอบ AC Dielectric-Loss.....	81
5.15 แสดงการทดสอบ AC Dielectric-Loss.....	81
5.16 แสดงการทดสอบ AC Dielectric-Loss ตำแหน่งกลาง Hot Stick.....	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

เมื่อเกิดอุบัติเหตุมีอันตรายจากการปฏิบัติงานกับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจนได้รับ บาดเจ็บสาหัสหรือถึงแก่ชีวิต ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่จะต้องหาสาเหตุ และมีแนวทางป้องกันอย่างรัดกุมและถูกต้อง ในอดีตที่ผ่านมาประเทศไทยเรายังให้ความสำคัญกับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ในการปฏิบัติงานโดยการสัมผัสไฟฟ้าแรงสูงโดยตรงไม่มากเท่าที่ควรซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการประมาทเลินเล่อ และขาดความรู้ โดยอีกส่วนหนึ่งมาจากความไม่พร้อมของเครื่องมือทำงาน และความไม่สะดวกต่อการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ การมีราคาแพงของอุปกรณ์เหล่านี้เป็นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆที่ผ่านมา และในปัจจุบันนี้การปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูงระบบ EHV (Extra High Voltage) ในประเทศไทยซึ่งต้องใช้เครื่องมือบางอย่าง เช่น FRP Hot Stick และ เชือก ในการปฏิบัติงานกับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่มีกรปิดระบบการจ่ายไฟ เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของความมั่นคงของระบบไฟฟ้า และทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศมีความน่าเชื่อถือต่อนักลงทุน ซึ่งเป็นลักษณะงานที่มีความเสี่ยงอย่างมาก ต่อการเกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการใช้เครื่องมือใดๆ ที่เกี่ยวกับงาน Hot Line จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องระมัดระวัง และมีการเตรียมพร้อมอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล Personnel Protective Equipment (PPE) และเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำงานให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนมากที่สุด และเครื่องมือทุกชนิด ที่ใช้งานก็จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าให้เป็นไปตามที่ได้ระบุไว้ตามมาตรฐานสากลที่กำหนด

อุปกรณ์ตัวหนึ่งที่สำคัญ คือ FRP Hot Stick เพราะ ในประเทศไทยเรายังมีการเก็บรักษาหรือการขนย้ายก่อนไปใช้งานอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยเท่าใดนัก เป็นเหตุให้ FRP Hot Stick อาจเกิดสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย เช่น อาจจะชำรุด, เปียกชื้นหรือสกปรก ซึ่งถ้าหากนำไปใช้งานอาจก็ให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูงได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบ FRP Hot Stick ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยก่อนการนำไปใช้งานทุกครั้ง โดยอ้างอิงกับมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ เนื่องจากการใช้ FRP Hot Stick ปฏิบัติงานกับไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ได้มีการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยแล้วนั้น อันตรายที่เกิดขึ้นจากความบกพร่องของ FRP Hot Stick ส่งผลให้ตัวผู้ปฏิบัติงานมีความบาดเจ็บสาหัสหรืออาจถึงแก่ชีวิตได้ระบบการจ่ายไฟขาดความน่าเชื่อถือ และทำให้มีไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง และอีกประการหนึ่งคือเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบ FRP Hot Stick ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่สูงมาก และ ไม่สามารถมีเครื่องมือตรวจสอบประจำชุดทำงานบำรุงรักษาภาคสนามได้ทุกชุดการออกแบบตัวตรวจสอบอุปกรณ์ FRP Hot Stick ที่ใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงสำหรับการ

ทำงานโดยไม่ปีกระบบการจ่ายไฟ ที่ได้นำเสนอขึ้นมาใหม่นี้ เป็นหลักการออกแบบตัวตรวจสอบชนิดพกพาที่สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้โดยสะดวก และมีขนาดเล็กกะทัดรัดใช้งานง่าย จัดเก็บง่าย โดยเครื่องมือนี้จัดทำขึ้นจากหลักการของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านผิวของ FRP Hot Stick ที่เกิดจากความชื้น ความสกปรก หรือ Carbon Tracking ของตัว FRP Hot Stick แล้วนำค่าแรงดันที่จ่ายให้และที่ผ่านผิว FRP Hot Stick นำมาเปรียบเทียบกันและนำผลต่างของแรงดันทั้งสองไปอ้างอิงกับมาตรฐานที่กำหนดไว้เพื่อตัดสินใจว่า FRP Hot Stick อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยพร้อมจะใช้งานหรือไม่ เครื่องมือตรวจสอบ FRP Hot Stick ที่มีอยู่เดิมนั้นเป็นเครื่องมือที่ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศในราคาแพงมีขนาดใหญ่ และ นำหนักมากใช้หม้อแปลงในการสร้างสัญญาณแรงดันเพื่อส่งผ่านและตรวจสอบ เครื่องมือใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นการ ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยการสร้างแรงดันขึ้นมาแล้วส่งผ่าน FRP Hot Stick ทำการเปรียบเทียบสัญญาณแล้ว ประมวลผลเทียบกับมาตรฐานสากลพร้อมทั้งมีการแสดงผลเป็นแสงและเสียง เป็นเครื่องมือขนาดเล็กน้ำหนักเบาเหมาะสมที่จะพกพาไปใช้งานในภาคสนาม ได้ง่ายและสะดวกไม่ซับซ้อน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากปัญหาความผิดพลาดต่างๆ และเหตุผลต่างๆที่ได้กล่าวมาทั้งหมดแล้วนั้น จึงได้มีแนวคิดออกแบบตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันภัยที่จะนำไปใช้งานในภาคสนาม ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พกพาสะดวกใช้งานง่าย ราคาไม่แพง และสามารถใช้งานตรวจสอบได้ตามมาตรฐาน เพื่อเป็นการลดความบาดเจ็บและสูญเสียต่างๆลงได้ พร้อมทั้งเป็นแนวทางพัฒนาเครื่องมืออื่นๆได้ต่อไปในอนาคต และการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของ OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ที่ระบุว่าการใช้งานเครื่องมือที่ใช้กับไฟฟ้าแรงสูงทุกครั้ง ก่อนการใช้งานต้องทำความสะอาด และตรวจสอบรอยแตกร้าวของ FRP Hot Stick ถ้ามีการแตกร้าวคุณภาพของการเป็นฉนวนจะมีค่าน้อยลง และตามข้อกำหนดของ OSHA ห้ามมีการนำไปใช้งาน การตรวจสอบเครื่องมือก่อนใช้งาน (Electrical testing of line tools) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบผู้ใช้หรือผู้รับผิดชอบจะต้องทำการทดสอบ ต้องทำความเข้าใจและรู้ถึงหลักการทำงานที่ถูกต้องการใช้เครื่องมือวัดความชื้น และเครื่องมือวัดฉนวนไฟฟ้าที่น่าเชื่อถือ จะต้องสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบความชื้นส่วนเกิน หรือเนวรอยต่อของความชื้นที่เกิดขึ้นหนึ่งอย่างได้แก่ เครื่องวัดเป็นฉนวนของ FRP Hot Stick และสามารถวัดความสูญเสียที่เป็นผลมาจากความชื้นได้ และเครื่องมือวัดควรจะสามารถปรับได้มากกว่า 2 ระดับเครื่องมือวัดฉนวนไฟฟ้าใช้วัดค่าจริงของแรงดัน ที่ส่งผ่านไปยังพื้นที่หน้าตัดของเครื่องมือวัดค่าจริงจะมีความสัมพันธ์กับความพร่องของสภาพนำไฟฟ้า ซึ่งสาเหตุมาจากความชื้น รอยต่อของผงฉนวน หรือส่วนที่สามารถเป็นตัวนำได้ดังตัวอย่าง การตอบสนองของเครื่องมือวัด ควรที่จะปรับให้สอดคล้องกับเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาของผิวของตัวอย่าง มาตรฐานของเครื่องมือวัดควรที่จะตั้งค่าให้ตอบสนองกับเงื่อนไขโครงสร้างของเครื่องมือวัดแต่ละตัว เมื่อใช้เครื่องมือวัดทำการวัดจะต้องวัด

หลายๆจุดตลอดความยาวของเส้นรอบวงของตัว Hot Stick ให้เหมือนกันแม้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กก็ตามสำหรับความชื้นและฉนวนไฟฟ้าที่เครื่องมือวัดค่าได้นั้นจะดูได้จากผู้รับผิดชอบได้มีการตรวจสอบเครื่องมือให้เข้าใจหลักการและรู้ถึงการทำงานอย่างถูกต้องโดยมีขั้นตอนการตรวจสอบก่อนทำงานโดยไม่ดับไฟให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ การตรวจสอบและการทดสอบเป็นระยะๆ ต้องมีการตรวจสอบ FRP Hot Stick ที่ใช้เป็นเครื่องมือเพื่อตรวจหาค่าความชื้นตามระยะเวลาที่กำหนดหรือหลังจากได้นำไปใช้แล้ว ถ้ามีการนำไปใช้งานควรต้องมีการตรวจสอบอุปกรณ์ และรับรองเครื่องมือจากผู้ดูแล ก่อนนำไปใช้งาน และเมื่อมีการนำไปใช้งานแล้วควรนำกลับไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง หรือโรงงานผู้ผลิตเพื่อทดสอบ และซ่อมแซม เมื่อตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติ ดังนี้

1. เสียงซ่าหรือพ่นกระจายเป็นฝอยๆ เมื่อนำเครื่องมือไปทดสอบหรือใช้งาน กับตัวนำพลังงานหรือ Hardware ข้อผิดพลาดเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ หรือทดสอบความชื้น

2. ร่องลึก เช่น ลอก , ขูด, แหว่ง, เซาะเป็นร่อง, เว้า หรือ ลอก เป็นแผ่นตามผิวหน้า

3. ทางด้านกลศาสตร์เครื่องมือจะแสดงให้เห็นความเสียหายที่ชัดเจน โค้งงอ , สึกกร่อน และมีรอยร้าวสามารถสังเกตสภาพทางกายภาพด้วยสายตา

4. สูญเสียความเป็นมันเงาที่พื้นผิว

5. สังเกตลักษณะทางกายภาพว่าไม่ได้ทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่

6. การจัดเก็บไม่ถูกตามกฎข้อบังคับทำให้ FRP Hot Stick สัมผัสกับอากาศสามารถมองเห็นลักษณะทางกายภาพได้ชัดเจนมีการไหม้, ร้าวหรือพองเกิดจากความร้อน

เกี่ยวกับการใช้งานควรจะทำให้สะอาดหรือขจัดสิ่งสกปรก FRP Hot Stick จะต้องมีการซ่อมบำรุงโดยผู้ที่มีความรู้ความชำนาญเท่านั้น จุดที่มีการเกิดแสง ซึ่งมักจะอาจเกิดมาจากสาเหตุการกระทบกระแทก หรือ พองและอาจเกิดผลกระทบต่อความแข็งแรงทางกล หรือคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องมือชิ้นนั้น จำนวนแสงเล็กๆจะแสดงถึงสิ่งที่ผิดปกติที่เกิดขึ้น และมีความไม่สะอาดของผิวโลหะทั้งสอง อาจจะทำให้เกิดการแผ่ชุนขนาดต่างๆของแรงดันไฟฟ้า หรือทำให้การเกิดฉนวนน้อยลง ถ้าไม่มีร่องรอยความขรุขระ บน ผิวหน้าก็ไม่จำเป็นต้องซ่อมรอยแตกบนพื้นผิวเราสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและควรจะได้รับบริการซ่อมแซมทันที โดยบุคคลที่มีความชำนาญ โดยจะต้องกำจัดการเสียหายต่างๆออกไป และทำความสะอาดทันที ตามข้อแนะนำหรือข้อปฏิบัติเพื่อทำการซ่อมแซม และควรคำนึงถึงกระบวนการของการซ่อมแซมและลำดับหมายเลข การตัดสินใจควรเมื่อไว้กับผู้ใช้เพียงอย่างพอเพียง ต่อกระบวนการการซ่อมแซม และความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ถ้ามีตัวบ่งชี้ใดๆ ว่าพื้นผิวของวัสดุแตกออกจากกัน ทำให้มีช่องว่าง และ ทดสอบด้วยตัวตรวจสอบ FRP Hot Stick ไม่ผ่านนั้นควรถูกย้ายออกไปจากจุดให้บริการ และควรตกแต่งให้เรียบร้อยตามข้อแนะนำของผู้ผลิต เช่น ช่องว่างต่างๆอาจดูความชื้นเข้าไปได้ หรือกลายเป็นละอองตัวนำ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เครื่องมือลดลง ผลที่ตามมาจะทำให้ได้เครื่องมือที่ขาด

ประสิทธิภาพ การซ่อมบำรุงและการตกแต่งใหม่ควรจะใช้ฉนวนกันไฟรั่วที่มีประสิทธิภาพสูง หรือใช้ฉนวนที่ผ่านการรับรองทดสอบอย่างดี และวัสดุที่ใช้ในการซ่อมต้องได้รับการรับรองจาก ข้อบังคับของมาตรฐาน IEEE Std.978-1984 และ OSHA Regulation 1910.269 Part J-Live Line Tools.

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการของความปลอดภัยในการทำงานทั่วไป ของผู้ปฏิบัติงาน ซ่อมบำรุงอุปกรณ์กับระบบไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่มีการปิดระบบการจ่ายไฟ การทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ดับไฟ มาทดลองวิจัยและสร้างเครื่องมือขึ้นมา ใช้ทดสอบให้เป็นไปตามหลักการความปลอดภัยในการทำงาน โดยที่อาศัยทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยชนิด Kick off Research ทดลองสร้างและทดลองใช้งานในภาคสนามจริง ดังนั้น จะต้องมีการพัฒนาเพื่อให้ใช้งานได้หลากหลาย โดยสมมุติฐานที่สามารถทำได้ คือการตรวจสอบ ค่าความปนเปื้อนของฉนวนไฟฟ้าแรงสูงเป็นชนิดที่ไม่ใช่เซรามิกส์ ซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้เป็นแนวคิดเพื่อออกแบบอุปกรณ์ตัว ตรวจสอบเครื่องมือให้ทำงานตามขอบเขตและเป้าหมายที่วางไว้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการคิดค้น

การออกแบบตัวตรวจสอบ FRP Hot Stick นี้เป็นการใช้หลักการของการส่ง สัญญาณแรงดันและความถี่ประมาณ 10 - 20 MHz. ที่สร้างขึ้นจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ส่งไปผ่าน วัตถุตัวอย่าง โดยป้อนสัญญาณเข้าไปที่ FRP Hot Stick โดยทำการวัดค่ากำลังที่สูญเสียไป เนื่องจากความชื้นหรือ Carbon Tracking โดยทำการวัดค่าจริงของสัญญาณที่ถูกส่งผ่านหน้า เครื่องมือตรวจสอบ เมื่อสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นส่งผ่าน อิเล็กโทรด 1 จะตกกระทบและวิ่งผ่านผิว FRP Hot Stick ผ่านไปยัง อิเล็กโทรด 2 และจะถูกตรวจนับค่าความถี่ที่สูญเสีย นั่นคือค่าของ Watt-Loss และจะทำการเปรียบเทียบค่า แล้ววัดค่าความแตกต่างของแรงดัน ซึ่งความสัมพันธ์ของ ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับชนิด,ขนาด และคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุตัวอย่างที่ทดสอบ แล้วนำเอาผล การเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่ส่งผ่านเข้าไป กับแรงดันที่ออกมาไปประมวลผลและแสดงผล ออกมาและในกรณีที่ไม่ผ่านการทดสอบจะแสดงผลไปที่ LED และ Buzzer เพื่อนเตือนให้ทำ ความสะอาดโดยใช้ Hot Stick Silicone Cleaner และทำการตรวจสอบอีกครั้งให้ผ่านตาม มาตรฐานก่อนนำ FRP Hot Stick ไปใช้งานร่วมระบบไฟฟ้าแรงสูงที่ไม่ปิดระบบการจ่ายไฟ

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในการทำงานวิจัยเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick นั้นจะต้องสามารถตรวจสอบได้ว่า FRP Hot Stick ที่นำมาตรวจสอบนั้นมีค่าความชื้นหรือ Carbon tracking อยู่ในปริมาณที่ทำให้

ปลอดภัย หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งานโดยเปรียบเทียบกับ ข้อกำหนดของมาตรฐานของ IEEE Std.978-1984 และมีการแสดงผลที่วัดได้ออกมาเป็นแสง และเสียง รวมทั้งยังคาดหวังที่จะให้เป็นแนวทางในการพัฒนา โดยให้สามารถใช้ตรวจสอบอุปกรณ์อื่นๆ ในภาคสนามได้จริงต่อไปโดยมีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น
2. ศึกษามาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานไฟฟ้าแรงสูง
3. ศึกษาคุณสมบัติของ FRP Hot Stick
4. ศึกษาการตรวจวัดความถี่และเปรียบเทียบสัญญาณ
5. สร้างวงจรเพื่อทดสอบการทำงานของแต่ละส่วน
6. ทดลองการทำงานของวงจร
7. ทดลองใช้งานเครื่องมือ (โดยทดสอบที่สถานีไฟฟ้าแรงสูง โรงไฟฟ้าบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา)
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง
9. ศึกษาและคำนวณผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่มีต่อผู้ปฏิบัติงาน ขณะทำงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้ FRP Hot Stick โดยไม่ปีระบบการจ่ายไฟ

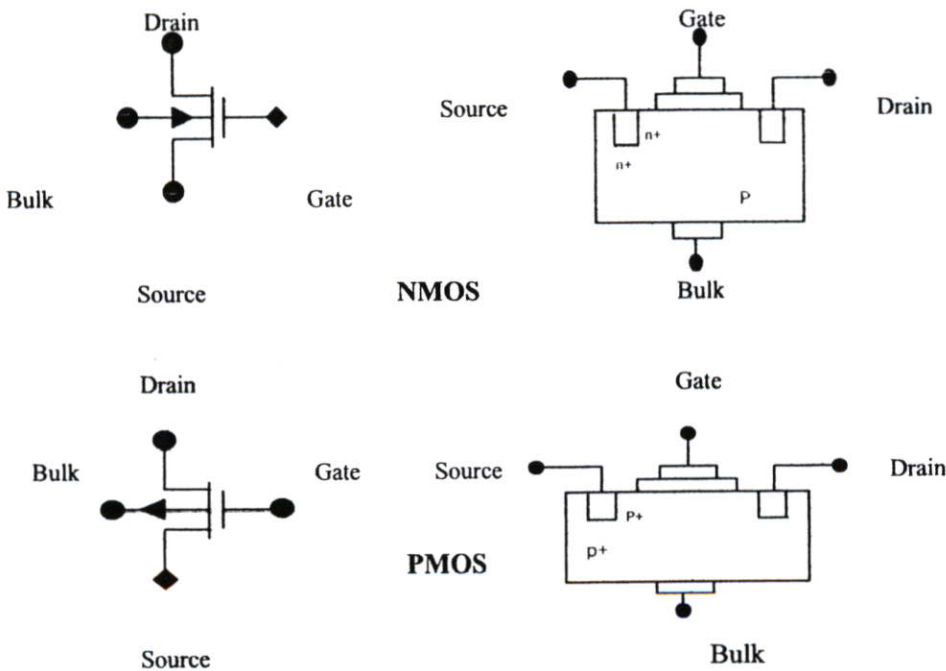
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการออกแบบในส่วนกำเนิดสัญญาณ

ในส่วนของการสร้างสัญญาณที่จะใช้สำหรับส่งผ่านเข้าไปใน FRP Hot Stick นั้นใช้วงจรอิเล็คทรอนิกส์สร้างสัญญาณขึ้นมา และในวงจรดังกล่าวนี้ จะประกอบด้วยแผงวงจรรวมซึ่งเป็น CMOS คือ IC # CD4016B และ IC # MC014013B MC14013B Dual Type D Flip-Flop

โดยจะได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวกับ CMOS และ Flip-Flop ซึ่งเกี่ยวข้องกับ IC ที่นำมาใช้งานในวงจรรวม ทั้งแสดงคุณสมบัติ และ ข้อมูลจำเพาะของ แผงวงจรรวมทั้งหมดที่นำมาใช้งาน มอสมทรานซิสเตอร์ (MOS Transistor) เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งในตระกูลของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภทผล ของสนามไฟฟ้า (Field Effect Devices) ซึ่งมีลักษณะเด่นคือมีความต้องการพลังงานในขณะที่ใช้งานต่ำ แต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงเมื่อเทียบกับสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภทอื่นๆ โดยที่มีลักษณะการใช้งานแบบเดียวกัน จึงทำให้มอสมทรานซิสเตอร์ มักเป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไป โดยเฉพาะในวงจรที่มีความต้องการใช้พลังงานต่ำๆ หรือในโครงสร้างของวงจรรวม (Integrated Circuit) ที่มีจำนวนตัวประกอบ (Component) มากๆ เช่น ไอซี ระดับ LSI และ VLSI ทั่วๆ ไป เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ทางวงจรและลักษณะโครงสร้างของ MOS Transistor

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงโครงสร้างของสัญลักษณ์มอสทรานซิสเตอร์ และภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์ทั่วไป ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนเดรน (Drain region: D) ส่วนเกท (Gate region: G) และซอร์ส (Source region: S) ที่ส่วนซอร์ส เป็นบริเวณของสารกึ่งตัวนำที่ต่างชนิด (Different type) กับฐานรอง (Substrate) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายประจุพาหะที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าของมอส (I_{ds}) ส่วนเดรนเป็นอีกบริเวณหนึ่งของสารกึ่งตัวนำที่ต่างชนิดกับฐานรอง แต่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันกับส่วนซอร์ส ทำหน้าที่เป็นทางออกไปสู่วงจรภายนอกของประจุพาหะที่นำมาจากส่วนซอร์ส ส่วนเกทเป็นบริเวณที่เชื่อมอยู่กับ ระหว่างส่วนเดรนกับส่วนซอร์สมีโครงสร้างทั่วไป ประกอบด้วยชั้นบนสุดที่เป็นโลหะ (Metal) ตัวนำ ชั้นรองลงมาจะเป็นพวกฉนวนได้แก่จำพวกออกไซด์ (Oxide) ของสารกึ่งตัวนำที่ใช้งาน และชั้นล่างสุดเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งจะใช้เป็นฐานรองด้วยส่วนเกทนี้ จะทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมปริมาณประจุพาหะที่เคลื่อนจากส่วนซอร์ส ไปยังส่วนเดรนตามต้องการ จากลักษณะโครงสร้างดังกล่าวนี้ ซึ่งบริเวณส่วนเกทประกอบด้วย Metal - Oxide Semiconductor นี้ จึงเรียกทรานซิสเตอร์ ชนิดนี้ว่า มอสทรานซิสเตอร์ และจะเป็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านส่วนเกทนี้ไปได้น้อยมากๆ เนื่องจากมีชั้นฉนวน ป้องกันอยู่นั่นเอง ดังนั้นในขณะที่ใช้งานส่วนเกท จึงต้องการเพียงแหล่งจ่ายความต่างศักย์เท่านั้น จึงไม่ต้องการแหล่งจ่ายกระแสเลย จึงทำให้มอสทรานซิสเตอร์ มีความต้องการพลังงานในขณะที่ใช้งาน (Power Consumption) ต่ำนั่นเอง สำหรับส่วนเดรนและส่วนซอร์ส นั้นโดยปกติแล้วจะมีโครงสร้างเหมือนกันทุกประการ ซึ่งสามารถใช้สลับกันเป็นคุณสมบัติพิเศษ อีกประการหนึ่งของมอสทรานซิสเตอร์ เพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงสร้างให้ส่วนซอร์สเชื่อมต่อกับ ส่วนของฐานรองกับซอร์ส (S) หรือละเว้นไม่เขียนขาของฐานรองเลยโดยให้เข้าใจเองว่าส่วนของฐานรองต่ออยู่กับส่วนซอร์สดังกล่าวมอสทรานซิสเตอร์แบ่งเป็น 2 ชนิดตามประจุไฟฟ้าที่เกิด ดังนี้

1. PMOS p-channel MOS ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของประจุบวกหรือโฮล (hole) จึงกำหนดให้ส่วน D และ S เป็นสาร กึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) ดังนั้นถ้ากระแสจะเคลื่อนที่ระหว่าง D และ S ได้นั้นบริเวณ ช่องทางเดินกระแส จะต้องมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี

2. NMOS หรือ n-channel MOS ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของประจุลบ หรืออิเล็กตรอน (electron) จึงกำหนดให้ส่วน D และ S เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ดังนั้นถ้ากระแสอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ระหว่าง D และ S ได้บริเวณ ช่องทางเดินกระแสจะต้องมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

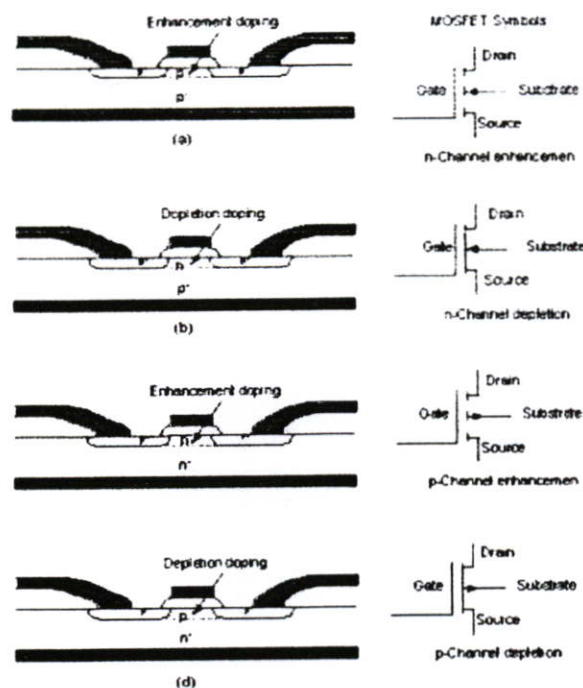
การแบ่งมอสทรานซิสเตอร์ ตามลักษณะของการควบคุมปริมาณประจุพาหะ มี 4 แบบคือ

1. เอ็นแชนแนล เอ็นฮานซ์เมนต์โหมด มอสทรานซิสเตอร์ (n-channel enhancement mode MOS transistor) หมายถึง เอ็นแชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะปกติก่อนให้ไบอัสที่เกทมีสารกึ่งตัวนำในบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นชนิดพีในขณะที่ใช้งานจึงจำเป็นต้องเหนี่ยวนำให้สารกึ่งตัวนำ ชนิด พี บริเวณช่องทางเดินกระแสเปลี่ยนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ก่อนโดยการใส่ศักย์ที่เกทเป็นบวก

2. เอ็น แชนแนล ดีพลีทชัน โหมด มอสทรานซิสเตอร์ (n-channel depletion mode MOS transistor) หมายถึง เอ็นแชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในสภาวะปกติก่อนให้ไบอัสที่เกต มีสารกึ่งตัวนำในบริเวณช่องทางเดินกระแสชนิดเอ็น ทำให้เกิดเชื่อมต่อน้ำสารกึ่งตัวนำระหว่างส่วนขอสกับส่วนเดรน อันเป็นผลให้เกิดกระแสครีพท์นี้ จึงสามารถทำให้ทั้งในทางที่ทำให้ค่าปริมาณกระแสครีพท์เพิ่มขึ้น โดยการให้ศักดาไฟฟ้าที่เกตเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรอง

3. พีแชนแนล เอ็นฮานซ์เมนต์ โหมด มอสทรานซิสเตอร์ (p-channel enhancement mode MOS transistor) หมายถึง พีแชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะก่อนให้ไบอัสที่เกตมีสารกึ่งตัวนำในบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นเอ็น ดังนั้นในขณะที่ใช้งานจึงควบคุมปริมาณกระแสให้ไหลมากขึ้นได้ โดยการให้ศักดาที่เกตเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรอง เท่านั้น

4. พีแชนแนล ดีพลีทชัน โหมด มอสทรานซิสเตอร์ (p-channel depletion mode MOS transistor) หมายถึง พีแชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะปกติก่อนให้ไบอัสที่เกตมีสารกึ่งตัวนำในบริเวณช่องทางเดินของกระแสเป็นชนิดพี ดังนั้นในการทำงานเดียวกันกับกลุ่มเอ็นแชนแนล ดีพลีทชัน มอสทรานซิสเตอร์ ปริมาณของค่ากระแสครีพท์ จะถูกควบคุมให้ไหลมากขึ้นได้โดยการให้ศักดาไฟฟ้าที่เกตเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรอง หรือควบคุมให้ปริมาณกระแสครีพท์ไหลน้อยลง โดยการให้ศักดา ไฟฟ้าที่เกตเป็นบวก



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 แบบ

เมื่อให้ไบอัสเหมาะสมกับส่วนต่างๆ ของมอสทรานซิสเตอร์ แล้วประจุพาหะจากส่วนขอสจะเคลื่อนผ่านช่องทางเดิน กระแส (Channel) ในส่วนเกต (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของฐานรองที่อยู่ใกล้ๆ กับผิวสัมผัสระหว่างออกไซด์ ส่วนเกตกับ ฐานรอง ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิด ของสารกึ่ง

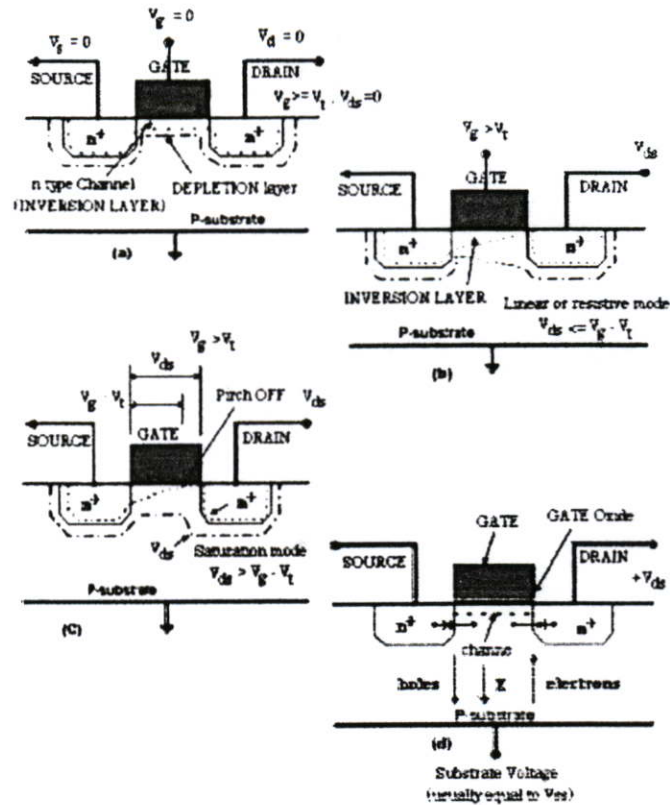
ตัวนำไปเป็นชนิดเดียวกับสารกึ่งตัวนำ ส่วนเดรน และส่วนซอสแล้ว ไปยังส่วนเดรน การเคลื่อนที่ของประจุพาหะดังกล่าว เกิดจากสนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมจากส่วนซอส ถึงส่วนเดรน เนื่องมาจากความต่างศักย์ระหว่างส่วนทั้งสองนั้น ดังนั้น กระแสดังกล่าวจึงเป็นกระแสครีฟท์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมนั้น โดยที่ขนาดของสนามไฟฟ้ดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับขนาดของความต่างศักย์ และระยะห่างระหว่างส่วนเดรนกับส่วนซอสนั่นเอง กระแส ครีฟท์ที่เกิดขึ้นนี้ จะถูกประมาณการว่า เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุพาหะส่วนมากที่มีอยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดนั้นเพียงชนิดเดียว ด้วยเหตุนี้ มอสทรานซิสเตอร์จึงถูกเรียกว่า ยูนิโพลาร์ทรานซิสเตอร์ (Unipolar Transistor) และเนื่องจากประจุพาหะส่วนมาก ในสารกึ่งตัวนำมีเพียง 2 ชนิด คือ ประจุลบที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและประจุบวกที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ดังนั้นจึงอาจทำให้มีการแบ่งมอสทรานซิสเตอร์ตามชนิดของประจุพาหะที่ทำให้เกิดกระแส โดยการพิจารณาที่ชนิดของประจุพาหะที่บริเวณ ช่องทางเดินกระแสในขณะที่เกิดกระแสครีฟท์ ได้เป็น 2 ชนิด คือ เอ็นแชลแนล มอสทรานซิสเตอร์ และพีแชลแนล มอสทรานซิสเตอร์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.2 Basic CMOS Design

CMOS (complementary MOS) ภายในวงจรประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์แบบ MOS ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยประจุบวก ประกอบกับทรานซิสเตอร์แบบ MOS ที่ทำงานโดยอาศัยประจุลบ วงจร CMOS กินกำลังไฟน้อยมากเนื่องจากกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ NMOS กับ PMOS แทบไม่มี

NMOS สร้างโดยการแพร่สารเจือชนิด n ให้มีความหนาแน่นสูงจนเป็น n^+ ลงบน substrate ที่เป็นสาร p เกิดเป็นบริเวณ ที่เรียกว่า source และ drain ตามลำดับ บริเวณแคบๆ ที่อยู่ระหว่าง source และ drain เรียกว่า channel เหนือ channel ขึ้นไปเป็นส่วนที่เรียกว่า gate ประกอบด้วย ชั้นบางๆ ของ gate oxide ที่สร้างจาก SiO_2 และชั้นของ polysilicon ที่สร้างจาก polycrystalline silicon

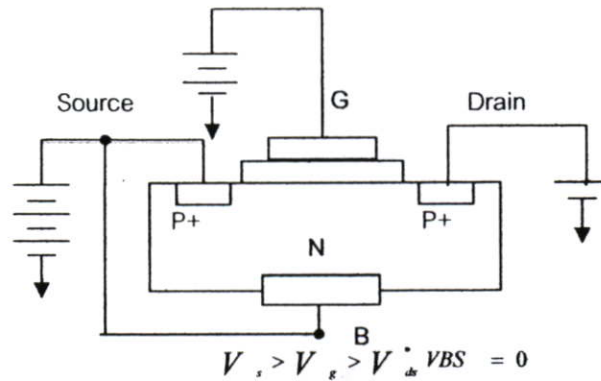
ในรูปที่ 2.3 จะแสดงถึงสภาพปกติของมอสทรานซิสเตอร์ที่กำลังพิจารณา ในขณะที่สารกึ่งตัวนำบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นชนิดพี ทำให้ส่วน S (source) กับ D (Drain) แยกออกจากกันทางไฟฟ้า ขณะที่ $V_g = 0$ ถึงแม้ว่าจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่าง D กับ S ($V_{ds} > 0$) ประจุพาหะส่วนมากก็จะเคลื่อนที่จาก S ไป D ไม่ได้ ก็จะไม่มีการไหลจาก D ไป S เพราะว่าที่รอยต่อ channel กับ D และ channel กับ S จะเหมือน diode ที่ต่อ reverse bias อยู่ เราเรียก MOS ดอนนี้ว่าอยู่ในสภาวะ OFF หรือ อยู่ใน cut off region นั่นคือกระแส $I_{ds} = 0$ ต่อมาเมื่อป้อน $V_g > 0$ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้ามีทิศในแนวตั้งจาก gate ไปยัง substrate เนื่องจาก gate oxide เป็น insulator ดังนั้น จะไม่มีกระแสไหลจาก gate ลงมา substrate แต่ผลจากสนามไฟฟ้าจะทำให้ประจุบวก (hole) ในบริเวณ channel ถูกผลักลงไปยังข้างล่าง และ



รูปที่ 2.3 แสดง NMOS ที่สภาวะต่างๆ โดยที่ B หรือ Substrate ต่อลง GND

ประจุลบ (electron) ถูกดึงขึ้นมาสะสม หาก V_g มีค่าสูงพอถึงค่าค่าหนึ่ง จะทำให้ channel ซึ่งเดิมเป็น p-type เปลี่ยนไปเป็น n-type ทำให้กระแสไหลจาก drain ไปยัง source ได้ ขณะนี้เองเราเรียกว่า เกิด inversion layer ในบริเวณ channel ค่าของ V_g ที่ทำให้เกิดสภาวะดังกล่าว เรียกว่า threshold voltage หรือ V_t ดังนั้น กล่าวได้ว่า NMOS จะ on เมื่อ $V_g > V_t$ หรือ $V_g - V_t - V > 0$ เมื่อ NMOS อยู่ในสภาวะ on แล้วเราพบว่า การเพิ่มค่าของ V_{ds} จะส่งผลต่อรูปร่างและคุณสมบัติของ inversion layout กล่าวคือ ถ้า $V_{ds} = V_g - V_t$ inversion layer จะเชื่อม drain และ source ถึงกันและพบว่าค่าของกระแส I_{ds} จะขึ้นกับค่าของทั้ง V_g และ V_{ds} เรียก MOS ในสภาวะนี้ว่า อยู่ใน unsaturated region หรือ linear or resistive mode ถ้า $V_{ds} > V_g - V_t$ ผลของสนามไฟฟ้าในแนวนอนอันเนื่องมาจาก V_{ds} จะทำให้ inversion layer ไม่สามารถขยายมาถึง drain ได้ จะสุดแค่จุดที่เรียกว่า pinch off อย่างไรก็ตามการนำกระแสยังเกิดขึ้นได้แต่ค่ากระแส I_{ds} จะขึ้นกับค่า V_g เพียงอย่างเดียวไม่ขึ้นกับค่า V_{ds} อีกต่อไป เรียก MOS ในสภาวะนี้ว่า อยู่ใน saturation region สรุปได้ว่าถึงแม้จะเพิ่มแรงดัน V_{ds} ให้มากขึ้นอีก แต่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของสารกึ่งตัวนำ บริเวณ ช่องทาง เดินกระแส ก็ยังคงมีค่าประมาณเท่าเดิม ดังนั้นกระแส I_{ds} จึงมีค่าคงที่ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I_{ds} กับแรงดัน V_{ds} ขึ้นตอนต่างๆ แสดงในรูปที่ 4 การทำงานของ PMOS ก็เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับ NMOS แต่ว่าทุกอย่างจะกลับเป็นตรงกันข้าม กล่าวคือ PMOS จะมี drain และ source ที่เป็น p^+ และ substrate ที่เป็น n ค่า V_t ของ PMOS จะ

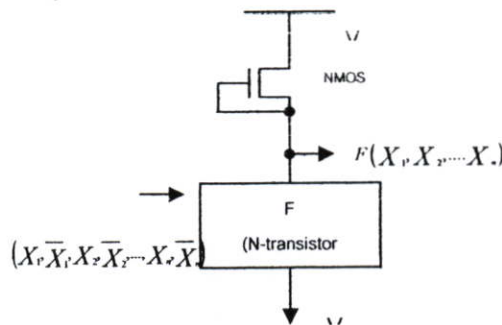
เป็นค่าลบและจะต้องป้อน V_g ให้มีค่าเป็นลบ มากกว่า V_z นั่นคือ $V_g - V_z < 0$ จึงจะทำให้ channel ซึ่งเป็น n-type เปลี่ยนเป็น p-type และ MOS อยู่ในสภาวะ on ตักคาที่ source จะป้อนให้สูงกว่าที่ drain ดังนั้นกระแสจะไหลจาก source ไปหา drain



รูปที่ 2.4 การต่อสัคคาPMOS โดย substrate และ source จะต่อด้วยกันและต่อเข้ากับVdd

2.3 วงจรคอมบิเนชันลอจิกของเอ็นมอส (NMOS Combination Logic)

โครงสร้างของวงจรคอมบิเนชันแบบเอ็นมอสนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือส่วนแรกจะเป็นทรานซิสเตอร์เอ็นมอสแบบคิพลิทชัน ซึ่งจะต่ออยู่กับ V_{dd} ทำหน้าที่เป็นเหมือนอุปกรณ์พูลอัพ (pull up) ส่วนที่สองจะเป็นกลุ่มของทรานซิสเตอร์เอ็นมอสแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ ซึ่งต่อกันเป็นวงจรตามลักษณะของสมการลอจิก ที่ต้องการ ส่วนนี้จะต่อกับกราวด์ และทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์พูลดาวน์ (pull down) ดังรูปที่ 2.5

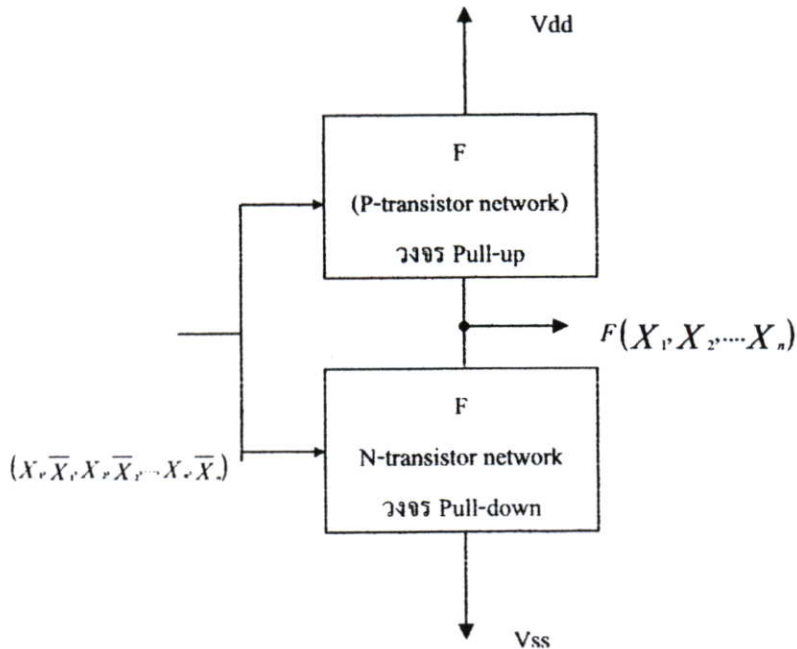


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของวงจรคอมบิเนชันแบบเอ็นมอส

จากรูปที่ 2.5 ในส่วนของทรานซิสเตอร์เอ็นมอสแบบคิพลิทชัน ทำตัวเสมือนเป็นตัวความต้านทานควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ให้กับวงจร แต่ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมลอจิกของเอาต์พุตการควบคุมลอจิกของเอาต์พุตเป็นหน้าที่ของวงจร พูลดาวน์ ซึ่งจะ ต้อง ทำงานตามค่า ลอจิกของอินพุตที่เข้ามา ถ้าลอจิกของอินพุตทำให้กลุ่มวงจรนี้เป็ควงจร (Switch off) เอาต์พุตก็จะได้ลอจิก “1” แต่ถ่าลอจิกของอินพุต ทำให้กลุ่มวงจรนี้เป็ควงจร (switch on) เอาต์พุตก็จะได้ลอจิก “0” แทน ดังนั้นการจะสร้างวงจร คอมบิเนชันลอจิก สำหรับวงจรแบบเอ็นมอสในลักษณะนี้ เราจะได้ทำได้โดยการสร้างกลุ่มวงจรของทรานซิสเตอร์แบบ เอ็นมอสตามสมการลอจิกที่ต้องการ

2.4 วงจรคอมบินเนชันลอจิกของซีมอส (CMOS Combination Logic)

วงจรถ่ายเป็นชั้นแบบซีมอสจะใช้กลุ่มของวงจรถ่ายทรานซิสเตอร์แบบพีมอสแบบเอ็นทรานซ์เมนต์ เป็นอุปกรณ์พูลอัพแทน ทรานซิสเตอร์เอ็นมอสแบบคิฟลีทชั้นของวงจรถ่ายเป็นชั้น แบบเอ็นมอส ดังนั้นการออกแบบจึงออกแบบทรานซิสเตอร์เอ็นมอส และพีมอส ที่ถูกควบคุมด้วยอินพุตตัวเดียวกัน มีการปิดเปิดไม่พร้อมกันในแต่ละค่าลอจิกของอินพุต ดังรูปที่ 6



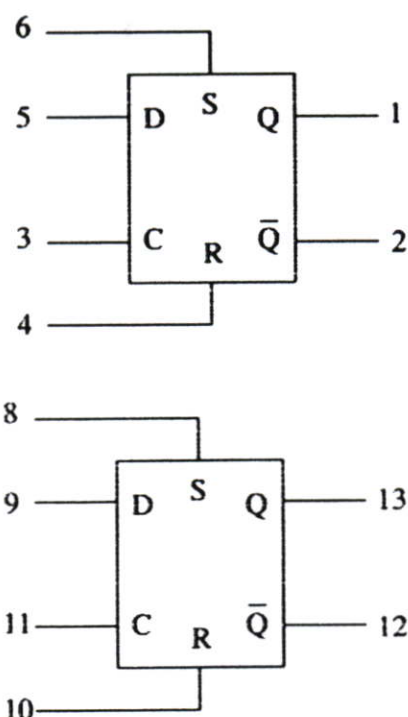
รูปที่ 2.6 CMOS Combination Logic Structure

ในกลุ่มวงจรถ่ายทรานซิสเตอร์ เอ็นมอสเป็นอุปกรณ์พูลดาวน์ที่มีโครงสร้างตามที่กล่าวไว้ในวงจรถ่ายเป็นชั้นลอจิกแบบเอ็นมอส สำหรับในกลุ่มวงจรถ่ายของทรานซิสเตอร์ พีมอสเป็นอุปกรณ์พูลอัพแสดงการหาโครงสร้างได้จากฟังก์ชัน $F = X + \bar{Y}$ จึงต้องออกแบบความสัมพันธ์ของวงจรถ่ายพีมอสกับฟังก์ชันเอาต์พุตโดยที่ ความสัมพันธ์นั้นเกิดจากการที่เอ็นมอสทรานซิสเตอร์ กับพีมอสทรานซิสเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยอินพุตตัวเดียวกัน จะต้องไม่มีโอกาสปิดวงจรหรือเปิดวงจรพร้อมกัน ในแต่ละค่าลอจิก ของอินพุต

2.5 ฟลิป-ฟลอป (Flip-Flop)

Flip-Flop เป็น Multivibrator ชนิด Bistable คือมี Output คงที่อยู่ที่ 2 สถานะ สำหรับ Output ทั้ง สองเราจะตั้งเงื่อนไขว่า Output หนึ่งจะเป็น Complement ของอีก Output หนึ่ง ในกรณี

ใด ๆ ก็ตามหาก Output หนึ่งไม่เป็น Complement ของอีก Output หนึ่งแล้ว เราจะไม่ยอมให้เกิดขึ้น Output ทั้งสองดังกล่าว จะยังคงอยู่ในสภาวะอันใดอันหนึ่งจนกว่าจะมี Input pulse มากระตุ้นถึงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะไป เราใช้ Flip-Flop กันอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์ดิจิทัล ซึ่งในที่นี้เราจะกล่าวเฉพาะ Flip Flop ที่สร้างขึ้นมาจากวงจร Gate เท่านั้น วงจร Flip-Flop ที่พบในอุปกรณ์ดิจิทัลนั้นจะมีหลายแบบ โดยในส่วนของงานวิจัยการออกแบบตัวตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ทำงาน ร่วมกับระบบไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ปีดระบบจ่ายไฟนี้ จะใช้ MC14013B Dual Type D Flip-Flop สร้างความถี่ที่จะใช้สำหรับส่งผ่านสัญญาณเข้าไปใน Hot Stick นั้นเป็นการสร้างคลื่นความถี่วิทยุ 10 - 20 MHz โดยการใช่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการกำเนิดความถี่ขึ้นมา โดยใช้ร่วมกับ IC เบอร์ CD40106B

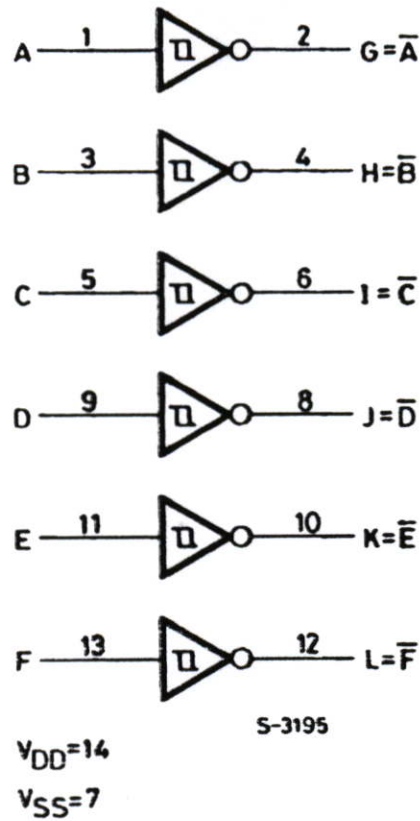


รูปที่ 2.7 Block Diagram MC14013B Dual Type D Flip-Flop

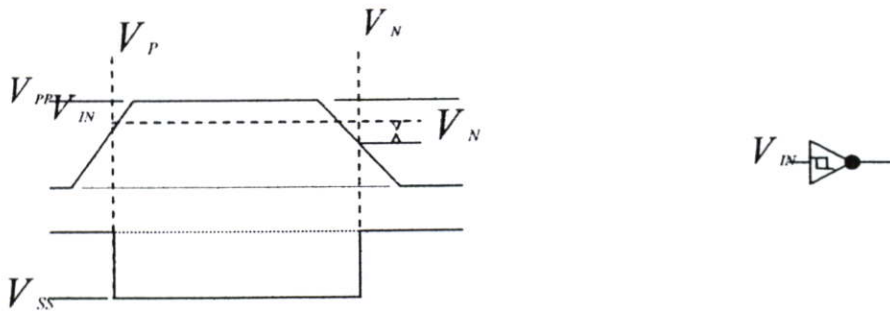
2.6 IC ที่ใช้งานในวงจรสร้างสัญญาณของเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick

1. IC # CD40106B
2. CMOS Hex. Schmitt Triggers.
3. High-Voltage types. (20 Volt Rating)

CD40106B. ประกอบด้วย 6 วงจร Schmitt Triggers. แต่ละวงจรทำงานเป็น Inverter ด้วยการกระตุ้นที่ Input เมื่อสัญญาณ Input เปลี่ยนจากบวกเป็นลบ คือ Positive-going voltage (V_p) และ Negative-going voltage (V_N) จะเกิด Hysteresis voltage (V_H) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 IC # CD40106B



รูปที่ 2.9 IC # CD40106B

CD40106B. มีทั้งแบบขาตู้ 2 แถว (dual-in-line) 14ขา เซรามิก (ต่อท้ายด้วย F3A)

ขาตู้ 2 แถว (dual-in-line) 14 ขา พลาสติก (ต่อท้ายด้วย E)

ขาตู้ 2 แถว (small-out-line) 14 ขา (ต่อท้ายด้วย M, MT, M96 และ NSR)

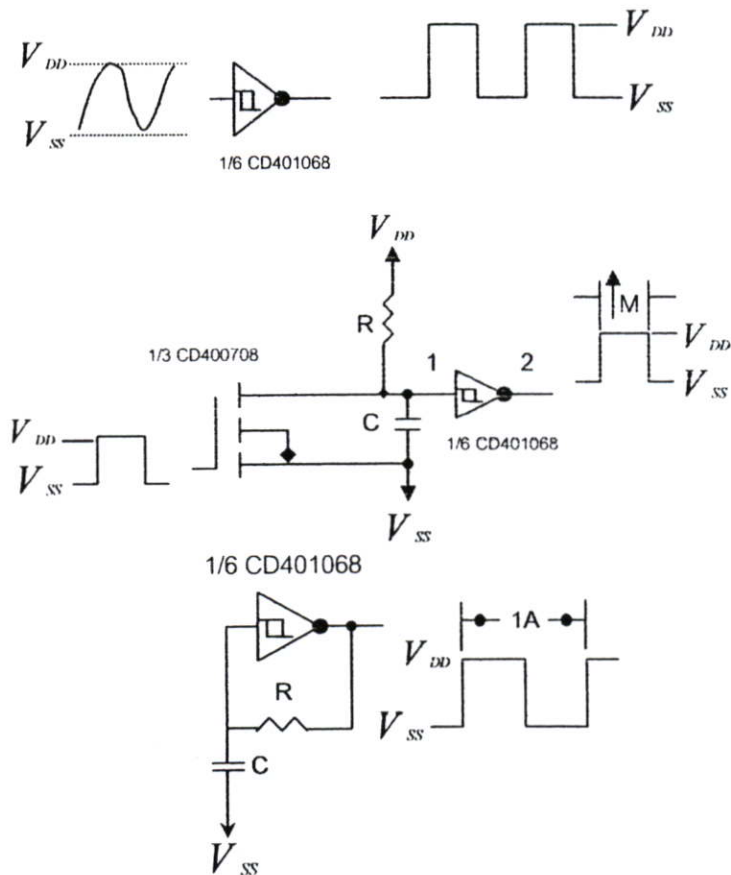
ขาตู้ 2 แถว (small-out-line) 14 ขา (ต่อท้ายด้วย PW และ PWR)

ลักษณะ โดยทั่วไป

1. ทำการ Schmitt-trigger โดยไม่มีอุปกรณ์ภายนอก
2. Hysteresis Voltage (typ.) 0.9V ที่ $V_{DD} = 5V$, 2.3V ที่ $V_{DD} = 10V$ และ 3.5 V ที่ $V_{DD} = 15V$.
3. ทนการรบกวนมากกว่า 50%
4. ไม่จำกัดเวลาของ Input ขึ้นและลง ลักษณะของ Output เป็นมาตรฐาน
5. ทดสอบ 100% กระแสคงที่ ที่ 20V
6. กระแส Input สูงสุด 1 micro Amp. ที่ 18Volts ระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ 100nA ที่ 18V
7. กระแส V_{DD} to V_{SS} ค่าขณะ Input ลงอย่างช้าๆ -5V, 10V และ 15V parametric ratings

การนำไปใช้งาน

1. สร้างรูปคลื่นและพัลส์ ระบบสัญญาณรบกวนสูง
2. โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และ อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

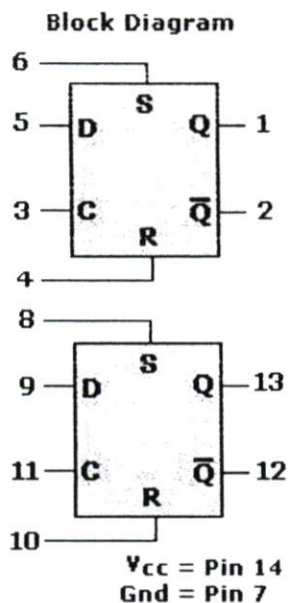


รูปที่ 2.10 Wave shaper, Monostable multivibrator, Astable multivibrator

IC # MC14013B Dual Type D Flip- Flop (สำหรับใช้งานแทน CD4013B โดยตรง) โดยเป็น อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างเป็น MOS P-Channel Enhancement Mode. Input แต่ละตัวของ Flip-Flop มี Data (D), Direct set (S), Direct Reset (R) และ Clock (C) และ Output Q และ Q-not 1 คู่ อุปกรณ์อาจใช้เป็นแบบ Shift- register หรือ แบบ T Flip- Flop สำหรับวงจรรนับและ toggle. MC14013B CMOS SSI เป็น Complimentary MOS ที่ต้องการพลังงานต่ำ อุปกรณ์นี้มีวงจรป้องกัน

ความเสียหายจาก High static voltage หรือ สนามไฟฟ้า อย่างไรก็ตามต้องมีการระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานที่เกินค่า Maximum rated voltages แก้ววงจรที่มี อิมพีแดนซ์สูงนี้ สำหรับการทำงานที่ถูกต้อง V_{in} และ V_{out} ควรที่จะต้องอยู่ในช่วง $V_{DD} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$ Input ที่ไม่ได้ใช้งานจะต้องต่อไว้กับ แรงดันที่กำหนดไว้เช่น V_{CC} หรือ Gnd ส่วนของ Output ที่ไม่ได้ใช้งานจะต้องเปิดไว้ ระดับแรงดัน Supply (V_{DD}) 3-18 VDC ทำงานกับไฟฟ้าสถิต มี Diode ป้องกันทุก Input ออกแบบเป็น Logic Edge-Clocked Flip-Flop สถานะของ Logic ไม่นั่นอนจะเปลี่ยนไปตามสัญญาณ Clock high หรือ low ข้อมูลจะส่งไปที่ Output เฉพาะ ขอบขาบวกของ Clock pulse อาจจะใช้เป็น Two Low-power TTL Loads หรือ One Low-power Schottky TTL Loads ที่อุณหภูมิสูง เกินอัตราใช้แทนได้ตรงกันทุกขา กับ CD4013B เก็บที่อุณหภูมิ -65°C to $+150^{\circ}\text{C}$ (T_{stg}) ใช้พลังงาน 500 mW (P_D) อุณหภูมิขง 260°C (T_J) (บัคกรีชาได้นาน 8 วินาที) ระดับแรงดัน Supply (V_{DD}) $-0.5\text{to}+18.0$ VDC. (แรงดันเทียบกับกราวด์) ระดับแรงดัน Input, Output (V_{in}, V_{out}) $-0.5\text{to } V_{DD}+0.5$ VDC (CD or Transient) ระดับกระแส Input, Output (I_{in}, I_{out}) ± 10 mA (DC or Transient) ต่อ pin.

ตารางที่ 2.1 Truth Table IC # MC14013B Dual Type D



Truth Table

Inputs				Outputs		
clock [†]	data	reset	set	Q	\bar{Q}	
	0	0	0	0	1	
	1	0	0	1	0	
	X	0	0	Q	\bar{Q}	no change
X	X	1	0	0	1	
X	X	0	1	1	0	
X	X	1	1	1	1	

X = Don't Care
[†] = Level Change

รูปที่ 2.11 IC # MC14013B Flip- Flop

2.7 การรักษาสถียรภาพและเพิ่มความแรงของสัญญาณ

2.7.1 วงจรรักษาสถียรภาพของสัญญาณ Controlled Oscillator

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอนี้ เป็นวงจรที่ออกแบบใช้สำหรับการตรวจสอบความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้เกี่ยวกับงานด้านไฟฟ้าแรงสูง คือ FRP Hot Stick ฉะนั้นวงจรนี้จะต้องมีความเที่ยงตรงในการตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าว เนื่องจากในวงจรกำเนิดสัญญาณจะผลิตสัญญาณออกมาเพียงอย่างเดียว โดยจะไม่มีการรักษาเสถียรภาพของสัญญาณที่ออกมา จึงจะต้องมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบวงจรรักษาเสถียรภาพ เพื่อที่จะใช้ในการวัด และการตรวจสอบให้มีความแม่นยำมากขึ้น.

2.7.2 ความสำคัญของวงจรรักษาเสถียรภาพ

1. รักษาความสมดุลหรือระดับของสัญญาณที่ผลิตออกมา.
2. ชดเชย และตัดออกในกรณีที่ความถี่ที่ผลิตออกมาน้อยเกินไปและมากเกินไป
1. ทำให้การวัดค่ามีความเที่ยงตรงมากขึ้น

2.7.3 คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ที่นำไปประกอบวงจร

ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์หลักๆ นั่นคือ Op-Amp ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติของ Op -Amp หรือ โอเปอเรชันแนล แอมพลิฟาย
2. คุณลักษณะเด่นของออปแอมป์
3. การนำเอา Op-Amp มาใช้งานในวงจรแบบต่างๆ เช่นวงจรแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) และวงจรกรองความถี่ (Filter Oscillator)
4. คุณสมบัติของ IC Op-Amp เบอร์ LM158 ที่ใช้ในวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่
5. การทำของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมแรงดัน
6. รายละเอียดต่างๆจะได้แสดงดังต่อไปนี้

2.7.4 คุณสมบัติของ Op -Amp หรือ โอเปอเรชันแนล แอมพลิฟาย

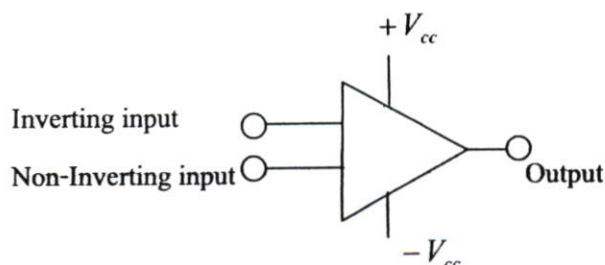
โอเปอเรชันแนล แอมพลิฟาย หรือ ออปแอมป์ (Op-amp) เป็นลิเนียร์ไอซี ชนิดหนึ่งที่รวมเอาข้อดีของวงจรขยายไว้ จึงได้ให้ชื่อว่า โอเปอเรชันแนล แอมพลิฟาย ในปัจจุบันออปแอมป์มีราคาถูกดังนั้นการใช้งานจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น ครั้งแรกคำว่าออปแอมป์ใช้เรียกกันเฉพาะวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิฟาย (Differential Amplifier) วัตถุประสงค์ที่ออกแบบเพื่อนำไปใช้งานกับวงจรในภาคอะนาล็อกของคอมพิวเตอร์เท่านั้น ซึ่งออปแอมป์ดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่ ในส่วนของภาคประมวลผล เช่น กระบวนการการบวก ลบ คูณ หาร และการรวมสัญญาณที่มาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงมากจึงไม่มีการนำมาใช้งานมากนัก และในระยะต่อมาเมื่อได้มีเทคโนโลยีของการผลิตไอซีให้มีขนาดเล็กลงได้และราคาของออปแอมป์จึงได้ถูกลงมาก โดยทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงออปแอมป์พอสเซ็ปเท่านั้น โดยจะเน้นไปในทางประโยชน์ของการใช้งานเพื่องานวิจัยนี้จะได้รู้จักกับวงจรต่างๆ ที่สามารถนำวงจรนี้ไปใช้งาน หรือเมื่อได้พบกับ

วงจรจริงก็สามารถเข้าใจถึงพื้นฐานการทำงานได้ และอาจจะนำเอาหลักการเหล่านี้ไปแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรนั้น ๆ

ได้บ้างออปแอมป์ได้รวมเอาข้อดีในวงจรขยายมาไว้ในตัว สำหรับออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติตามที่คาดหวัง หรือ ออปแอมป์ในอุดมคติ (Ideal Op-amp) จะต้องมีความสมบัติเด่นดังนี้

1. มีอัตราขยายเป็นอนันต์ หรือ อินฟินิตี้
2. มีอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เท่ากับศูนย์ ($Z_o = 0$)
4. สามารถตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่อนันต์
5. สามารถขยายสัญญาณได้ทั้ง AC, DC

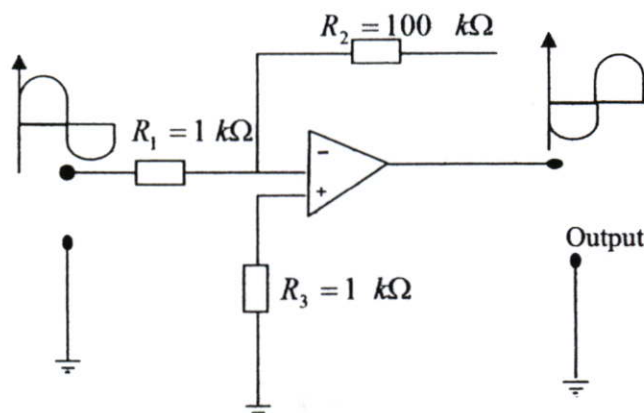
เมื่อเราได้พิจารณาถึงคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้วจะพบว่าออปแอมป์ได้รวมเอาข้อดีของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอินฟินิตี้ และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้ง เอซี และ ดีซี การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราขยายก็สามารถทำได้โดยการป้อนกลับ หรือ การฟีดแบ็ค (Feedback) เพื่อลดอัตราขยายลง และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ ในกรณีอิมพีแดนซ์ทางอินพุตมีอิมพีแดนซ์สูงมากจึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสอินพุตไหลเลย ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้วงจรทางอินพุตไม่ไหลดวงจรส่งกำลังในส่วนหน้า เช่นเดียวกับที่เอาต์พุตมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์เมื่อนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่น ก็ไม่มีผลทำให้วงจรอื่นทำงานผิดพลาดเลยแม้แต่น้อย ไอซีออปแอมป์ เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีทั่วไป คือ ไอซีออปแอมป์มีอินพุต 2 อินพุต และมีเอาต์พุตเพียงทางเดียวคล้ายกับ ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ และมีอินพุตขาหนึ่งเรียกว่าอินเวอร์ตติ้งอินพุต (Inverting Input) หรือ ขาลบ สัญญาณที่ส่งเข้ามายังอินพุตขานี้จะถูกริเวอร์ต หรือกลับขั้วเป็นตรงกันข้ามเมื่อผ่านออปแอมป์ ไปยังเอาต์พุตแล้วเช่น เมื่อเราป้อนอินพุตบวกเข้าไปก็จะได้อาต์พุตออกมาเป็น ลบ หรือถ้าเป็น เอซีเอาต์พุตที่ได้ก็จะต่างเฟสกับอินพุตอยู่ 180 องศา อินพุตอีกขาหนึ่งคือ นอนอินเวอร์ตติ้งอินพุต (Non - Inverting I/P) หรือขาบวก สัญญาณที่เข้ามายังอินพุตขานี้ เมื่อผ่านออปแอมป์แล้วเอาต์พุตที่ได้ก็ยังคงเหมือนเดิม หรือเรียกว่าอินเฟส



รูปที่ 2.12 Op-Amp

2.7.5 การเอา Op-Amp มาใช้ในวงจร แบบต่าง ๆ

1. วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)



รูปที่ 2.13 วงจรขยายแบบกลับเฟส

ในวงจรขยายออปแอมป์นั้นเราสามารถที่จะกำหนดอัตราขยายของวงจรได้ โดยการใช้วงจรถอดแอมป์เฟสกลับ โดยเมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางขาอินเวอร์ตอินพุทเมื่อขยายสัญญาณออกมาจะกลับเฟสเป็นตรงกันข้าม สัญญาณตรงกันข้ามนี้ก็จะถูกป้อนกลับผ่าน R_2 เข้ามายังขาอินเวอร์ตอีกครั้งหนึ่ง ตรงจุดนี้จะทำให้สัญญาณเกิดการหักล้างกัน อัตราการขยายก็จะลดลง ถ้ารีซีสเตอร์ที่เป็นตัวป้อนกลับมีค่ามาก สัญญาณที่คกรวมก็จะมีมากทำให้สัญญาณป้อนกลับ มีขนาดเล็กอัตราการขยายออกจึงสูงถ้ารีซีสเตอร์ที่ป้อนกลับมีค่าน้อย สัญญาณป้อนกลับไปได้มากอัตราการขยายก็จะลดลง ฉะนั้นการที่จะให้วงจรขยายนี้มีอัตราการขยายเป็นกี่เท่าสามารถกำหนดได้โดยค่าของรีซีสเตอร์ที่ป้อนกลับเข้าป้อนนั่นเองซึ่งสามารถหาอัตราการขยายได้จากสูตร $A_v = \frac{R_1}{R_2}$

2.7.6 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

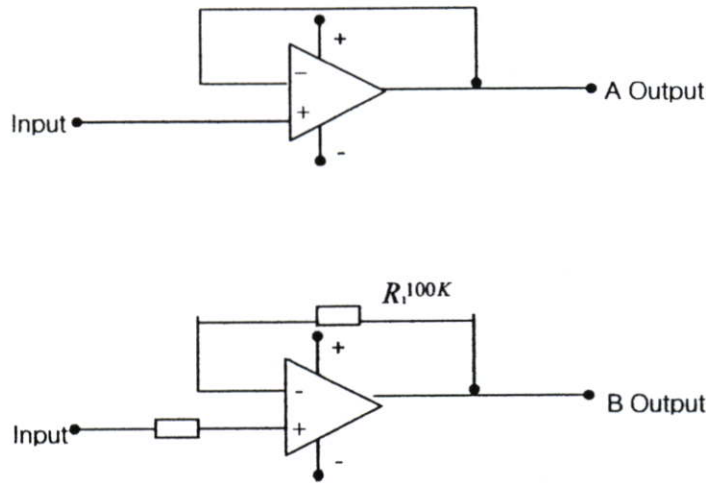
วงจรขยายนี้ เป็นวงจรขยายอีกแบบหนึ่งที่ต้องการเฟสในการขยายอินเฟส ดังนั้นการป้อนสัญญาณจึงต้องป้อนเข้าที่ขาอินเวอร์ต ซึ่งเมื่อขยายออกที่เอาต์พุทแล้วจะได้สัญญาณเอาต์พุทที่มีเฟสเหมือนเดิม ฉะนั้นในวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสนี้ การเฟสกลับเพื่อลดอัตราการขยายจึงยังคงต้องป้อนไปยังขาอินเวอร์ต เพื่อให้เกิดการหักล้างของสัญญาณกันหาย ในตัวไอซีออปแอมป์ จึงได้อัตราการขยายของวงจรเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่าอัตราการขยาย

$$1. A_v = \frac{R_2 + R_3}{R_3}$$

$$2. A_v = \frac{R_2}{R_3} + 1$$

2.7.7 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

วงจรมัฟเฟอร์ หรือวงจรถัดกันชน เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ ทางอินพุตแอมป์ทั้งทางอินพุต และทางเอาต์พุต เมื่อมีการเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำ



รูปที่ 2.14 วงจรมัฟเฟอร์ (Buffer)

ให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิมแต่อย่างใด แต่วงจรมัฟเฟอร์นั้นจะต้องจัดให้มีอัตราขยายเป็น 1 เท่า หรือเท่ากับสัญญาณเดิม (ระบบไอซีที่ต่างตระกูลกัน หรือ ทรานซิสเตอร์ที่ไม่เมทซ์อินพุตแอมป์กับ คือวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์) จะได้อัตราขยายเท่ากับ $A_v = 1$

2.7.8 วงจรกรองความถี่ (Filter)

การใช้วงจร อาร์-ซี ฟิลเตอร์ (R-C Filter) เข้ามาเป็นเนกาตีฟฟีดแบ็คการขยายสัญญาณของวงจรออปแอมป์จะกรองเอาความถี่ เฉพาะบางความถี่ออกไปเท่านั้น ซึ่งจะสามารถหาความถี่ที่ใช้งานได้จากสูตร

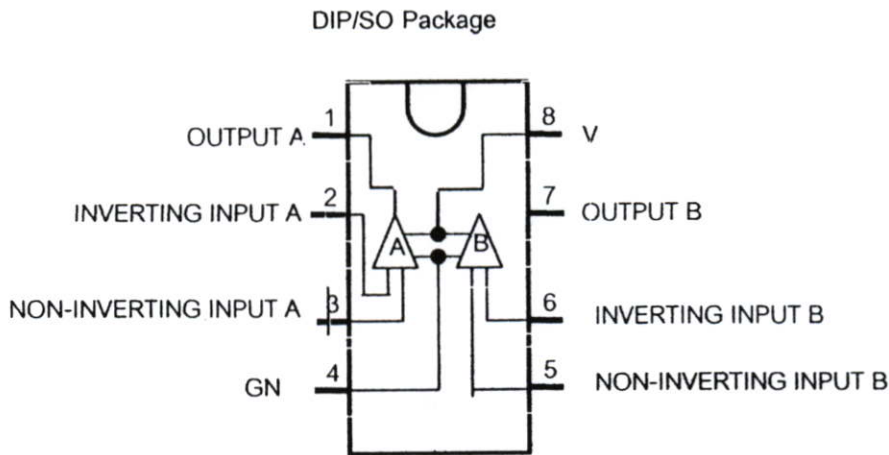
$$f = \frac{1}{2\pi R_2 C_1 H_z}$$

และสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานวงจรนี้ในวงจรกรองความถี่ต่างๆ ได้เช่น ภาครองความถี่ไอเอฟ วงจรคัทจับความถี่ วงจรฮอส-ซิลเลเตอร์ และในเครื่องเสียงก็ยังใช้เป็นระบบแยกความถี่ของเครื่องขยายแบบไบแอมป์ และไตรแอมป์ ซึ่งวงจรแยกความถี่แบบนี้เป็นวงจรชั้นสูงขึ้นไปเราเรียกวงจรแยกความถี่รวม ๆ ว่า “แอคทีฟฟิลเตอร์” (Active Filter) ซึ่งการจัดวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์เป็นได้

2.7.9 คุณสมบัติของ IC Op-Amp เบอร์ LM158 ที่ใช้ในวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่

ในรุ่นของ LM158 จะประกอบด้วย 2 ส่วนที่อิสระออกจากกันได้แก่ส่วนของอัตราขยายกำลังสูง และในส่วนของการขยายโดยใช้การชดเชยจากความถี่ภายใน ซึ่งออกแบบมาใช้งานโดยเฉพาะ แหล่งจ่ายไฟแบบเดี่ยวที่มีช่วง Voltage ที่ใช้งานกว้าง โดยจะสามารถทำงานจาก

แหล่งจ่ายไฟที่แยกออกจากกันได้ และรวมถึงการใช้กับแหล่งจ่ายไฟ ที่กินกระแสต่ำ จะไม่เกี่ยวข้องกับใดๆ กับจำนวนของแหล่งจ่ายไฟ ที่จะใช้เลย



รูปที่ 2.15 Voltage controller oscillator LM158

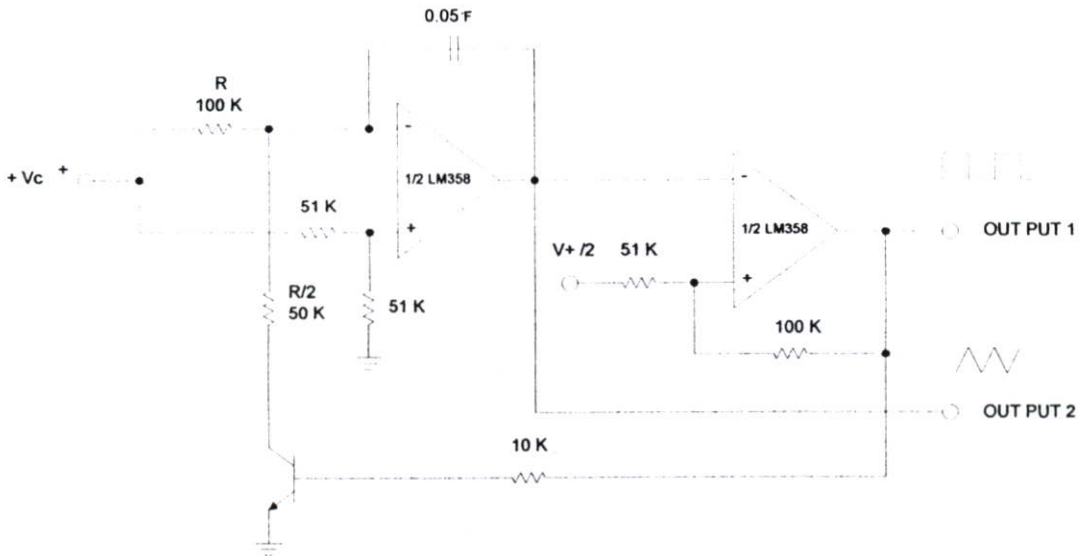
การนำมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ ภาคขยายของเครื่องแปลงกำลัง, ส่วนอัตราขยายกระแสตรงและวงจร Op Amp ทั่วไป ที่ปัจจุบันสามารถนำมาใช้ได้กับระบบแหล่งจ่ายไฟเดี่ยว มีดังนี้

1. ในรูปแบบของ 8-Bump micro SMD
2. มีการชดเชยด้วยความถี่ภายในเพื่อให้ได้อัตราขยายรวมคู่มือที่ Detail and Data support
3. มีอัตราขยายสูงถึง 100 dB เมื่อใช้กับ DC Voltage คู่มือที่ Detail and Data support
4. มี Bandwidth ช่วงกว้าง (อัตราขยายรวม) มากถึง 1 Mite (เมื่อมีอิมพีแดนซ์เป็นตัวชดเชย)
5. แหล่งจ่ายไฟเดี่ยวที่มีช่วงระหว่าง : 3V ถึง 32V
6. หรือแหล่งจ่ายไฟคู่ที่มีช่วงระหว่าง: $\pm 5V$ ถึง + 16V
7. ใช้กับแหล่งจ่ายไฟกระแสต่ำมากๆ ได้ประมาณ $500 \mu A$ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟ
8. สามารถป้อน Voltage ได้ต่ำ ถึง 2mV
9. ช่วงของแรงดันที่ป้อนเข้าปกติจะรวมถึง Grand ด้วย
10. ช่วงความต่างของ Voltage ที่ป้อนเข้ามามีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ
11. ค่า Voltage ที่ออกมาจะมีค่าอยู่ระหว่าง: DV ถึง + 1.5 V

2.7.10 การทำของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมแรงดัน Voltage controlled oscillator (VCO)

ในหลักการพื้นฐานของ Oscillator มีดังนี้

1. จำเป็นต้องใช้การขยายเพื่อแทนที่การสูญเสียในวงจร
2. จำเป็นต้องใช้วงจรช่วยกำหนดความถี่เพื่อตั้งค่าความถี่การออสซิลเลตตามต้องการ
3. จำเป็นต้องใช้สัญญาณป้อนกลับ(บวก) แบบคืนค่ากำลังเพื่อรักษาการออสซิลเลตให้คงอยู่
4. ออสซิลเลเตอร์ต้องจุดสตาร์ทในตัวในไม่มีสัญญาณอินพุต



รูปที่ 2.16 Voltage Controlled Oscillator (VCO)

ออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมแรงดัน คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนค่าส่วนประกอบกำหนดความถี่ได้อย่างรวดเร็วโดยอัตโนมัติแรงดันสัญญาณควบคุมความถี่ของ VCO ปริมาณการเปลี่ยนความถี่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของแรงดันอินพุตที่ใช้งานพื้นฐาน VCO คือออสซิลเลเตอร์คลื่นไซน์ที่เปลี่ยนแปลงการป้อนกลับด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ฉะนั้นจึงเปลี่ยนความถี่อินพุตด้วย อีกเทคนิคหนึ่งคือ การสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมแทนคลื่นไซน์โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำ (LP) กำจัดความถี่ฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกจากคลื่นไซน์ โดยจากรูปจะเป็น VCO รุ่นหนึ่งที่ใช้ ส่วนประกอบของ LM358 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ออปแอมป์แบบพินสี่ หรือ ควอด (quad) ใช้วงจรขยาย A1 เป็นวงจรมินิเกรตที่มีเอาต์พุตคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งการคำนวณความลาดจากขั้วอินพุตบวกที่เพิ่มขึ้น มีวงจรขยาย A2 เป็นวงจรเปรียบเทียบที่มีเอาต์พุตเป็นแรงดันบวกหรือลบคงที่ โดยมีการคำนวณจากขั้วอินพุตบวกเพิ่มขึ้นถ้าเอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบเริ่มสูงขึ้น ทรานซิสเตอร์จะถูกขับให้อิ่มตัว ถ้าไม่คำนึงถึง $V_{ce(sat)}$ แรงดันที่ขั้วอินพุตกลับเฟส A1 จะเท่ากับ $1/3 V_c$ (แรงดันควบคุม) ทั้งนี้เพราะการวางจรรยาแบ่งแรงดันของ $R - R/2$ วงจรแบ่งตัวต้านทาน $51k\Omega$ จะตั้งค่าแรงดันอินพุตไม่กลับเฟสไว้ที่ $1/2 V_c$ ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณลาดเอียงไปลบที่เอาต์พุต 2 เมื่อแรงดันเอาต์พุตในวงจรมินิเกรตลดต่ำกว่าแรงดันที่ขั้ว (+) ของ A2 จะขึ้น high และวงจรจะทำงานซ้ำขั้ว (+) ของวงจรเปรียบเทียบมีแรงดันอินพุต กำหนดจาก $V^+/2$ และแรงดันป้อนกลับจาก เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงระหว่าง 2 ค่าแรงดันขั้ว (+) ของ A2 ก็เปลี่ยนแปลงระหว่าง 2 ค่าเช่นกัน ฉะนั้นจึงพอสรุปได้ว่าคาบคลื่นสามเหลี่ยมและความถี่ รวมทั้งความถี่ เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบคำนวณค่าจาก V_c ถ้า V_c เปลี่ยนไป ความถี่เอาต์พุตก็จะเปลี่ยนไปด้วย V_c อาจเปลี่ยนจาก $0 V$ ถึง $2 (V^+ - 1.5 V)$ และจะให้ย่านความถี่กว้างคลื่นสี่เหลี่ยมผลลัพธ์ที่เอาต์พุต 1 อาจถูกกรองผ่านวงจรกรอง LP ที่กำจัดส่วนประกอบความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป จึงทำให้ได้คลื่นไซน์ที่ต้องการ.

บทที่ 3

ผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อผู้ปฏิบัติงาน ขณะทำงานโดยไม่ปิดระบบการจ่ายไฟ

3.1 กล่าวนำ

ในการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าในปัจจุบันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยมากจะกระทำในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน หรือไม่ได้ดับไฟนั่นเอง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะไม่เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟในขณะนั้นๆ ดังนั้นความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติในการซ่อมบำรุงหน้างานบริเวณสายส่งไฟแรงสูง ที่กำลังมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านนั้น จึงเป็นสิ่งที่ถูกคำนึงถึงในระดับต้นๆเช่นกัน การใช้เครื่องมือต่างๆ การตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ทำงาน และวิธีการปฏิบัติงานหน้างานจะถูกประเมินค่า เพื่อให้เกิดความมั่นใจถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยกระบวนการของการประเมินค่านั้น จะคำนึงถึงการนำไปใช้ได้จริง ความสะดวกของเครื่องมือ ความง่ายของวิธีการปฏิบัติงาน และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้านั่นเอง ตัวอย่างเช่น ผู้ปฏิบัติงานควรใช้ FRP Hot Stick ,เชือก หรือบันได ที่เป็นฉนวนในจากเสาส่งไปที่สื่อหน้าไฟฟ้าก่อนที่ปฏิบัติการนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ สิ่งแรกที่ต้องมั่นใจคือ การใช้ FRP Hot Stick, เชือก และบันไดนั้น ต้องไม่ส่งผลให้เกิดการเพี้ยนของค่ากระแสไฟ ที่ทำให้เกิดการไหลของไฟฟ้าผ่านผู้ปฏิบัติงาน ที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ระบบสายส่งไฟฟ้า และความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศได้ดังนั้น ในการประมาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยการหาค่า Electric field จึงเป็นสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งเช่นกัน งานวิจัยเพิ่มเติมในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธี Charge Simulation Method สำหรับการคำนวณค่า Electric field และกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะการซ่อมบำรุงหน้างาน ของสายไฟ 230 กิโลโวลต์ ในสถานีไฟฟ้าแรงสูง โรงไฟฟ้าบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เมื่อใช้บันไดและ FRP Hot Stick ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งผ่านการทดสอบด้วย อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงสำหรับการทำงานโดยไม่ปิดระบบการจ่ายไฟ ซึ่งจะพิจารณาในหลากหลายกรณี รวมทั้งลักษณะทิศทางของบันได และความเสียหายของ Suspensions Insulator ปริมาณกระแสไฟที่นำมาคิด จะรวมถึงความทนทานต่อกระแสไฟ และค่ากระแสที่ไหลสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน เมื่อนำข้อมูลที่วัดได้จริงมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ จะเห็นถึงความสอดคล้องกันได้อย่างดี

3.1 วิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าสนามไฟฟ้า

Electric field บริเวณใกล้เสาส่ง, ฉนวน หรือวัตถุอื่นใด ล้วนมีลักษณะเป็นแบบ 3 มิติ. ภายใน Span สามารถประมาณเป็นแบบ 2 มิติได้ อย่างไรก็ตาม การประมาณแบบ 2 มิตินี้ อาจ

ผิดพลาดได้ในตัววัตถุ เช่น บันได หรือ ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานอยู่ใกล้กัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้การคำนวณแบบ 3 มิติเป็นเกณฑ์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ บริเวณที่เราสนใจจะหาค่ากระแสไฟฟ้าต้องเป็นบริเวณภายนอกสื่อไฟฟ้า หรือเสาส่ง โดยจะไม่จำกัดพื้นที่บริเวณนี้ ก็สามารถมีค่าได้มากมายไม่รู้จบ ด้วยเหตุนี้ การใช้ Domain-type method เช่น Finite Difference หรือ Finite Element Method จะเป็นวิธีการที่ยาก ดังนั้นจะใช้ Charge Simulation Method (CSM) ในการคำนวณแทน

การคำนวณแบบ CSM จะมีหลายขั้นตอน เริ่มแรก Simulation Charge, q_i ใช้แทนค่าขั้วไฟฟ้าซึ่งรวมถึงขั้วที่ลอยอยู่ด้วย ซึ่งเป็นค่าที่ต้องคำนวณหาตัวเอง จุดจับตัวจะอยู่บนบริเวณผิวของขั้วไฟฟ้านั้นเอง ดังนั้นจะพิจารณาขั้วที่มีพลังงานมีแรงดันไฟฟ้าเป็น V ซึ่งต่อลงพื้นดิน และอีกขั้วที่ลอยอยู่มีแรงดัน ϕ ซึ่งไม่ทราบค่า. ให้ n_1 แทนขั้วที่มีพลังงาน ส่วน n_2 แทนอีกขั้วที่ลอยอยู่, m_1 แทนจุดจับตัว(matching point) อยู่บนขั้วไฟฟ้าที่มีพลังงาน ส่วน m_2 แทนจุดจับตัวอยู่บนอีกขั้วที่ลอยอยู่ ดังนั้นจะได้ $n_c = n_1 + n_2$ และ $m_b = m_1 + m_2$ (ส่วนมากจะกำหนดให้ $n_1 = m_1$ และ $n_2 = m_2$). ตัวอย่างเช่น ที่จุดจับตัว i บนขั้วไฟฟ้าที่มีพลังงาน

$$V = \sum_{l=1}^{n_1} P_{il}q_l + \sum_{l=n_1+1}^{n_c} P_{il}q_l = \sum_{l=1}^{n_c} P_{il}q_l, i = 1, \dots, m_1 \dots\dots\dots (3.1)$$

เมื่อ p_{ii} แทนสัมประสิทธิ์ความดันไฟฟ้า (potential coefficients). ในทำนองเดียวกัน จุด i บนขั้วไฟฟ้าที่ลอยอยู่

$$\phi = \sum_{l=1}^{n_1} P_{il}q_l + \sum_{l=n_1+1}^{n_c} P_{il}q_l = \sum_{l=1}^{n_c} P_{il}q_l, i = m_1 + 1, \dots, m_b \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\sum_{l=n_1+1}^{n_c} q_l = 0 \text{ or } q_{n_c} = - \sum_{l=n_1+1}^{n_c-1} q_l \dots\dots\dots (3.3)$$

แทนค่าสมการที่ 3 ใน สมการที่ 1 และ 2 จะได้

$$\sum_{l=1}^{n_1} P_{il}q_l + \sum_{l=n_1+1}^{n_c-1} (p_{il} - p_{in_c})q_l = V, \quad i = 1, \dots, m_1 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\sum_{l=1}^{n_1} P_{il}q_l + \sum_{l=n_1+1}^{n_c-1} (p_{il} - p_{in_c})q_l = \phi, \quad i = m_1 + 1, \dots, m_b \dots\dots\dots (3.5)$$

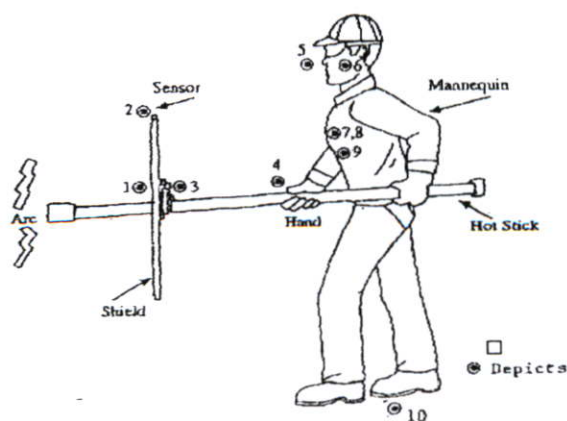
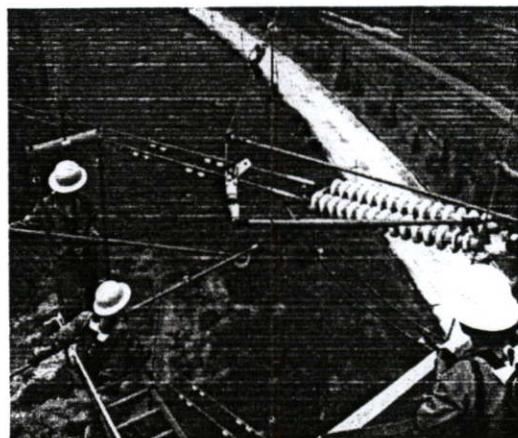
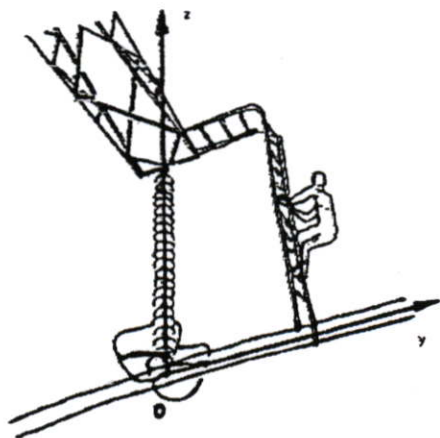
จัดให้เหมาะสมโดยจัดเอาขั้วไฟฟ้าที่ปรากฏลบออกเป็นคู่ๆ ในสมการที่ 5 จะได้

$$\sum_{l=n_1+1}^{n_1} (p_{il} - p_{i+1,l})q_l + \sum_{l=n_1+1}^{n_c-1} (p_{il} - p_{in_c} - p_{i+1,n_c})q_l = 0, \dots\dots\dots (3.6)$$

$$l = m_1 + 1, \dots, m_b - 1$$

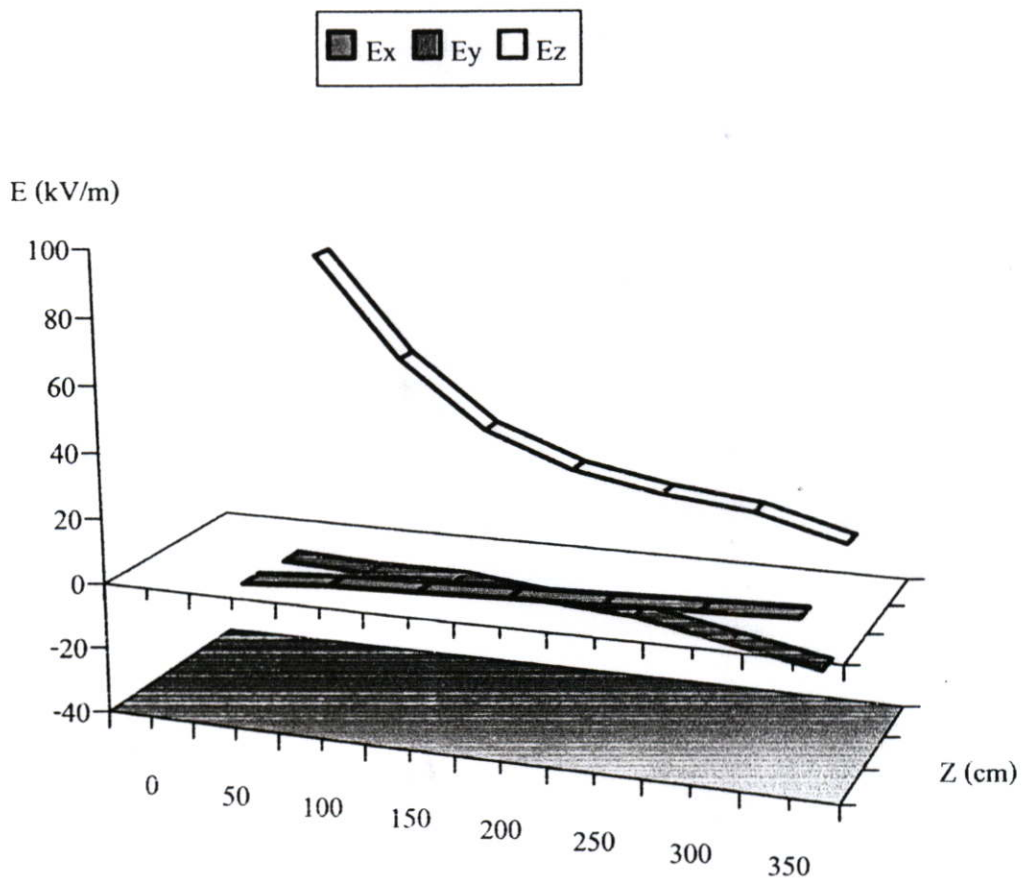
สมการที่ (4) กับ (6) จะถูกใช้ร่วมกันในการคำนวณค่า Simulating Charge $q_{i,l} = 1, \dots, m_i - 1$ เมื่อคำนวณได้ค่าประจุ จะสามารถหาค่าความหนาแน่นต่อกระแสไฟฟ้า ณ จุดใดจุดบนบริเวณที่เราสนใจได้ รูปร่างที่แตกต่างกันของ Simulating Charge สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางเรขาคณิตได้ ในงานวิจัยนี้จะใช้ เส้นตรง, วงรี, วงแหวน, สี่เหลี่ยมผืนผ้า. สำหรับกรณีของ Insulator String กับจำนวนทั้งหมดของ Floating electrodes ซึ่งแทนด้วย N_X , N_C แทน Simulation charges และ M_B แทน Matching Points จะได้สมการออกมาในทำนองเดียวกัน ดังนั้นจำนวนสมการทั้งหมดเป็น $M_B - N_X$ และ จำนวน Unknown charges ทั้งหมดเป็น $N_C - N_X$ (โดยส่วนมากจะกำหนดให้ $M_B = N_C$ เพื่อความสะดวก)

CSM ที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถประยุกต์เข้ากับตัวอย่าง Suspension Insulator String ของสายไฟ 220 kV ที่แสดงในรูปที่ 17 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบันไดที่เป็นฉนวน จาก cross-arm ไปยังสายไฟ และช่วยในการซ่อมบำรุงหน้างานของผู้ปฏิบัติงาน รูปที่ 17 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบ 3 ส่วนของ electric field strength (ความหนาแน่นต่อกระแสไฟฟ้า) กับ Insulator String จะเห็นได้ว่าตำแหน่งในแนวตั้งของบันไดจะมีทิศทางเดียวกับส่วนประกอบหลักของ field (คือส่วน Z) ใกล้กับสายไฟหนึ่งขั้ว ค่า Z อาจมีค่าเกินกว่า 100 kV/m ในขณะที่ส่วนประกอบอื่นๆมีค่าต่ำมาก ซึ่งมีความสำคัญต่อการประมาณค่า flashover บนพื้นผิวของบันได



รูปที่ 3.1 Insulating ladder for live line maintenance

Profile of field strength component E_x, E_y and E_z along insulator length



	0	50	100	150	200	250	300	350
E_x	-	2	4	5	6	7	8	9
E_y	-	1	0	0	-3	-5	-10	-15
E_z		90	60	40	30	25	22	15

รูปที่ 3.2 Profiles of field strength components E_x, E_y and E_z

3.2 การคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน

เมื่อร่างการแทน Electric field (E) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายจะเป็น

$$\vec{J} = j2\pi f \tau_0 \vec{E} \dots\dots\dots(3.7)$$

เมื่อ $j = \sqrt{-1}$

$f =$ ความถี่

$E_0 =$ Dielectric

$E =$ electric field strengths บนร่างกาย

ค่า E สามารถคำนวณ โดยใช้ CSM ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น กระแสไฟฟ้า I ที่ผ่านบนพื้นที่ผิว S ของร่างกายจะเป็น

$$I = j2\pi f \int \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s} \dots\dots\dots(3.8)$$

แต่จากทฤษฎีของ Gauss บนพื้นผิวปิด $\epsilon_0 \vec{E}$ จะเท่ากับประจุที่แนบอยู่บนพื้นผิวทั้งหมด $\sum_{l=1}^{nc} ql$

ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$I = j2\pi f \left(\sum_{l=1}^{nc} ql \right) \dots\dots\dots(3.9)$$

เมื่อ ql, l = 1 เป็น n_c และใช้ในการหา

สมการ (9) จะถูกนำมาใช้เมื่อ.....ได้มาจากขั้นตอนแรกของ CSM

ถ้าผู้ปฏิบัติงานได้สวมใส่เสื้อผ้าที่ป้องกันการนำไฟฟ้าเราสามารถแบ่งร่างกายของผู้ปฏิบัติงานเป็น 2 ส่วน โดยให้ n_1 แทนส่วนบน และ n_2 แทนส่วนล่างของร่างกายดังนั้นกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลผ่านตัวของผู้ปฏิบัติงานคิดเป็น

$$I_w = \frac{1}{2} j2\pi f \left(\sum_{l=1}^{n_1} ql - \sum_{l=1}^{n_2} ql \right) \dots\dots\dots(3.10)$$

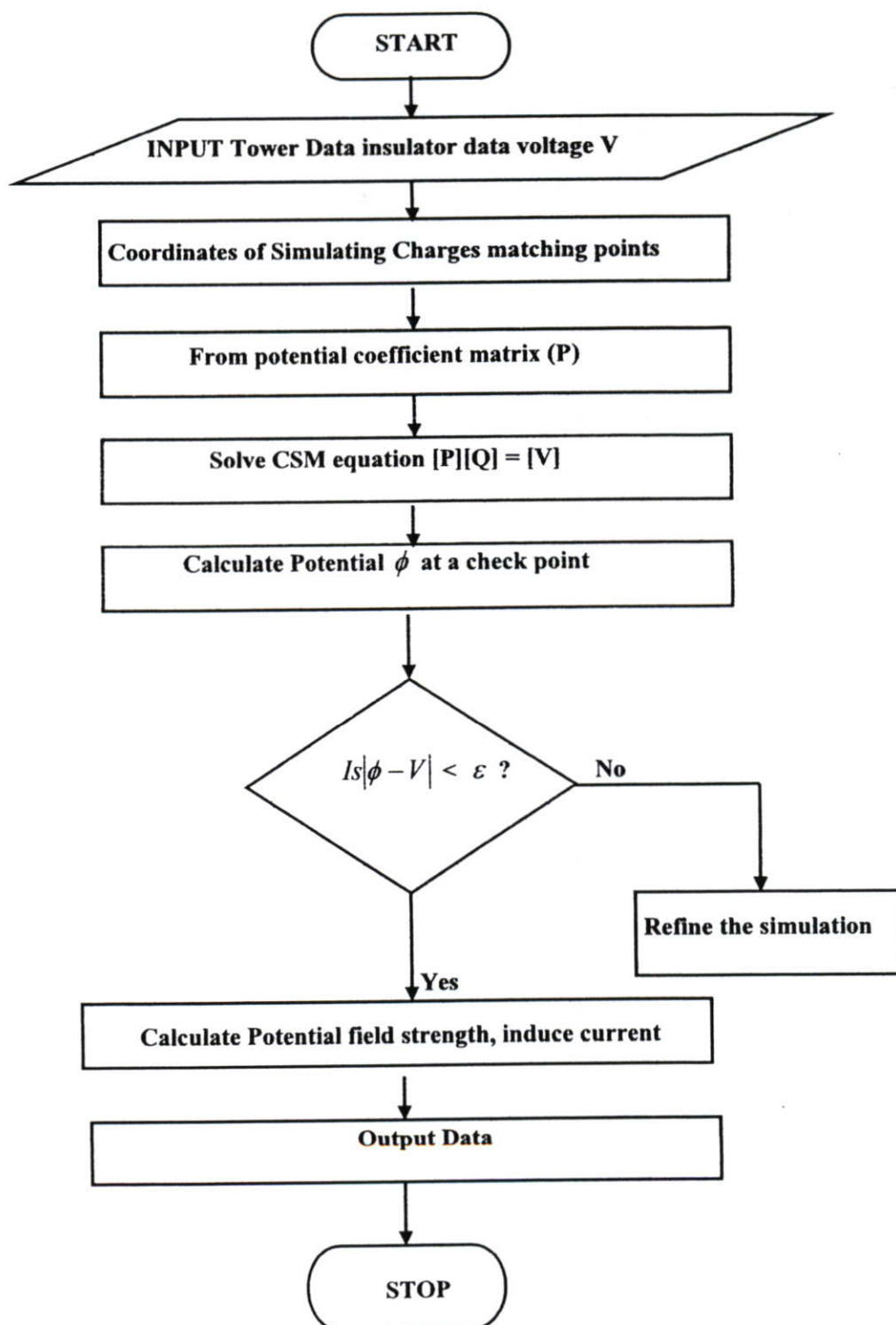
เมื่อไม่มีการเชื่อมของกระแสไฟฟ้าถึง Worker ร่างการจะเปรียบเสมือน floating electrode

$$\sum_{l=1}^{m_1} ql + \sum_{l=1}^{n_2} ql = 0 \dots\dots\dots(3.11)$$

แทนค่าในสมการที่ 10 จะได้

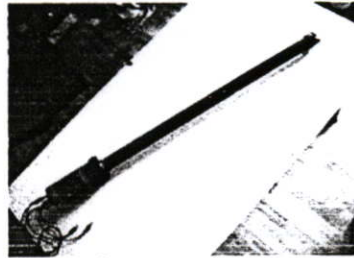
$$I_w = j2\pi f \left(\sum_{l=1}^{nc} ql \right) \dots\dots\dots(3.12)$$

ในการทำงานเดียวกันกระแสไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่อื่นของร่างกาย เช่น คอ หรือ ขา สามารถคำนวณได้ดังสมการข้างต้นแผนภาพสำหรับคำนวณหากระแสเหนี่ยวนำ I แสดงในรูปที่ 43 สำหรับตัวอย่างการคำนวณ แสดงถึงลักษณะของ I กับตำแหน่งบนบันได ณ. ความยาวต่างๆ เมื่อผู้ปฏิบัติงานเกาะอยู่บนบันได ข้อยกเว้นกระแสไฟฟ้าจะเป็นค่าสูงสุดในตำแหน่งที่ใกล้กับตัวนำกระแสไฟฟ้า (ดังรูปที่ 17) และจะลดลงเมื่อเข้าไปใกล้ Cross-arm Tower



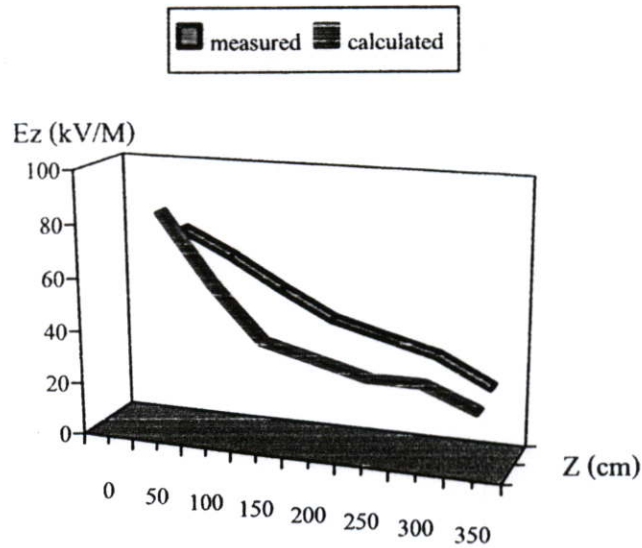
3.3 การวัดค่า

เพื่อยืนยันถึงเหตุผลต่างๆ วิธีการคำนวณหา Electric Field และกระแสเหนี่ยวนำ การวัดค่าจะกระทำบนสายไฟขนาด 230 kV ที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นแบบเปลือย Field strength ถูกวัดโดยใช้ทรงกลมขนาดเล็ก เชื่อมผ่าน Optical Fiber ถึง meter (ดังรูปที่ 3.3). Probe จะถูกเก็บไว้ภายใน Plastic String ในบริเวณใกล้ Insulator String ที่ซึ่งมักเป็นตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานอยู่ ซึ่ง Probe จะถูกวัดค่าได้หลายรูปแบบ



รูปที่ 3.3 Field probe

Profile of field strength



	0	50	100	150	200	250	300	350
measured	-	75	66	55	45	40	35	25
calculated	-	85	60	40	35	30	30	22

รูปที่ 3.4 Profile of field strength E_z versus location of worker.

จากกราฟรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่วัดได้กับผลที่คำนวณได้นั้นไปในทิศทางเดียวกัน ความเป็นไปได้ของการเพี้ยนของ Field เนื่องจาก บันไดแบบ Epoxy Fibreglas tube สามารถ ประเมินได้จากการวัดค่าจาก Insulator string เมื่อมี และ ไม่มีบันได โดยค่าที่วัดได้ที่มีค่าใกล้เคียง กับค่าที่คำนวณได้นั้น ชี้ให้เห็นว่า บันไดไม่มีนัยสำคัญต่อการเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าของ Floating Electrodes (Insulator caps) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า Electric field ไม่มีนัยสำคัญที่รบกวนบันได เนื่องจากค่า Electric field ที่วัดได้โดยรอบ โดยใช้ CSM โดยไม่มีบันได จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ ได้ เมื่อมีบันได ผลที่ได้จากขั้นตอนการพิสูจน์นี้ หนึ่งอย่างที่บอกได้คือ สามารถบอกได้อย่างหนึ่ง ว่า สามารถ ใช้ CSM เพื่อหาค่าที่ถูกต้องของ E ที่จำเป็นต่อการคำนวณค่ากระแสเหนี่ยวนำ สุดท้าย เมื่อวัดกระแสเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า โดยการใช้ไมโครมิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆของบันได เปรียบเทียบค่าวัดได้กับค่าที่คำนวณได้ จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในบริเวณใกล้กับ Line conductors กระแสเหนี่ยวนำ I ในรูป μA จะมีค่าประมาณ Ambient (unperturbed) Electric Field ในรูป kV/m

$$I = k E_z \text{ เมื่อ } k=2.7\sim 3.7 \dots\dots\dots(3.13)$$

ค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ต่ำและให้กระแสไฟในช่วง 100~200 μA บนตำแหน่งบันได เมื่อร่างกาย สัมผัสกับสายไฟ 230 KV กระแสไฟที่วัดได้ที่เอว จะเพิ่มขึ้นถึง 845 μA และเปรียบเทียบได้เป็น อย่างดีกับค่าที่คำนวณได้ คือ 880 μA และกระแสที่ไหลผ่านขามือค่าอยู่ที่ประมาณ 1.37 mA

3.4 ผลของ Damaged Insulators

งานในการซ่อมบำรุงหน่วยงานบริเวณสายไฟแรงสูงที่กำลังมีกระแสไฟฟ้าผ่านนั้น บ่อยครั้งที่ทำงานบน String ที่มี Insulators ที่เสีย (Damaged Insulators) อยู่ด้วย ซึ่งทำให้เกิด คำถามที่ว่า Insulators ที่เสียนี้ ส่งผลต่อความปลอดภัยของการทำงานหรือไม่ เพื่อตอบคำถามนี้ จึง มีการทำการทดสอบความเพี้ยนของ field เนื่องจาก Damaged Insulators โดยพบว่าจะเจอ Damaged Insulators 6-15 ตัว จาก Insulators ทั้งหมด 21 ตัว จะเห็นว่า Damaged Insulators มีผล ต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าของ electric field บนบันไดห่าง จาก string 2 เมตร ไม่มีนัยสำคัญอันเนื่องมาจาก Damaged Insulators

ตารางที่ 3.1 Effect of damaged insulators on E_z along the ladder.

String Condition	E_z (kV/m)	
	Top of Ladder	Bottom of Ladder
21 healthy insulators	16.0	96.5
bottom 6 healthy	12.4	104
top 6 healthy	20.5	8701

ดังนั้นจะเห็นว่า CSM มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณค่า fields และกระแสเหนี่ยวนำ แม้ในกรณีที่ Insulators หลายตัวใน string เสีย

3.5 การพิจารณาถึงความปลอดภัย

ตัวเลขที่ได้มาจากการคำนวณนั้น อยู่ในขอบเขตความปลอดภัยที่ยอมรับได้ ของการซ่อมบำรุงหน้างานบริเวณสายไฟแรงสูงที่กำลังมีกระแสไฟฟ้าผ่าน ดังเช่นที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ชิ้นส่วนในแนวตั้งของบันไดเป็นวัตถุที่มีค่า Electric field สูง ตลอดทั้งความยาวบันได เมื่อเทียบได้กับแกน Z ของ field. นี่อาจทำให้เกิด Flashover บริเวณพื้นผิวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันที่มีความชื้นสูง และอาจกล่าวได้ว่า FRP Hot Stick และ บันไดที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (Insulating ladder) อาจส่งผลไม่เป็นที่น่าพอใจนัก เมื่อเจอสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง

จากค่ากระแสเหนี่ยวนำที่คำนวณได้นั้น ชี้ให้เห็นว่า การป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ของเสื้อผ้า หรือการสวมใส่ชุดที่ป้องกันการเป็นสื่อทางไฟฟ้า นั้นมีความจำเป็นและจะช่วยลดอันตรายรวมถึงความบาดเจ็บในกรณีที่เกิดการ Flashover ผ่านตัวผู้ปฏิบัติงานได้



รูปที่ 3.5 Line Man Harness ที่ใช้กับงาน 500 kV. Bare Hand ของ กฟผ.

3.6 สรุปผลผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่กำลังที่มีต่อผู้ปฏิบัติงานโดยไม่ ปีระบบการจ่ายไฟ

งานวิจัยในส่วนนี้ได้กล่าวถึงวิธีการประมาณค่า Electric fields และ กระแสเหนี่ยวนำ (induced currents) ซึ่งจำเป็นต้องทำการหาค่าและประเมินถึงอุปกรณ์เครื่องมือ รวมถึงขั้นตอนการปฏิบัติของการซ่อมบำรุงหน่วยงานบริเวณสายไฟแรงสูงที่กำลังมีกระแสไฟฟ้าผ่าน. CSM สามารถนำมาใช้สำหรับการคำนวณหา field รวมไปถึงกรณีที่มี floating electrodes. ผลการคำนวณค่า Field ที่ได้ตลอดบันไดและในขณะที่ใช้งาน FRP Hot Stick ซ่อมบำรุงอุปกรณ์หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ดับไฟ นั้นมีประสิทธิภาพในความแม่นยำ แม้ใน string จะมี damaged insulators อยู่ในจำนวนมากก็ตาม โดยค่าความแม่นยำได้จากการเปรียบกับค่าที่ได้จากวิธีการวัดข้อมูลนั่นเอง. ผลที่ได้จากการใช้ Yield Probe ขนาดเล็ก สามารถระบุได้ถึงสภาพที่อาจจะไม่ปลอดภัย ต่อการซ่อมบำรุงหน่วยงาน บริเวณสายไฟแรงสูงที่กำลังมีกระแสไฟฟ้าผ่าน และจากการใช้ตัวตรวจสอบ FRP Hot Stick

บทที่ 4

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

4.1 หลักการทำงานของระบบโดยรวม

ในหลักการที่ใช้ออกแบบวิธีการตรวจสอบ FRP Hot Stick ที่ใช้ในการทำงานบนสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยไม่ต้องปีกระบบการจ่ายไฟ เพื่อใช้ในงานภาคสนามนี้ เป็นการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบชนิดพกพาที่สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้โดยสะดวก มีขนาดเล็กกะทัดรัดใช้งานง่ายสะดวกจัดเก็บง่าย และมีราคาถูกรวมทั้งยังสามารถประยุกต์วิจัยใช้ในการตรวจสอบค่าความปนเปื้อนของสิ่งสกปรกบนผิวของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูงชนิดที่ไม่ใช่แบบเซรามิกได้อีกด้วย โดยมีหลักการที่ใช้ทดสอบจะต้องอยู่ภายใต้ข้อบังคับของมาตรฐาน IEEE Std.978-1984 และ OSHA Regulation 1910.269 Part J-Live Line Tools. อุปกรณ์ตรวจสอบนี้เป็นอุปกรณ์พกพาที่สามารถนำไปใช้ตรวจสอบ FRP Hot Stick และ เชือก ก่อนที่จะทำงานในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยวิธีไม่ต้องดับไฟ หลักการโดยรวมที่ใช้ตรวจสอบคือ จะใช้การวัดหาค่าแรงดันและความถี่ที่สูญเสียไปที่ความถี่ประมาณ 10 - 20 MHz. โดยป้อนสัญญาณเข้าไปที่ FRP Hot Stick โดยทำการวัดค่ากำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากความชื้นหรือ Carbon Tracking โดยทำการวัดค่าจริงของสัญญาณที่ถูกส่งผ่านหน้าเครื่องมือตรวจสอบ เมื่อสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นนี้ส่งผ่านไปที่ อิเล็กโทรด 1 จะตกกระทบและวิ่งผ่านผิวของ FRP Hot Stick ผ่าน ไปยัง อิเล็กโทรด 2 และจะถูกตรวจนับค่าความถี่ที่สูญเสีย นั่นคือค่าของ Watt-Loss และจะทำการเปรียบเทียบค่า และ ในกรณีที่ไม่ผ่านการทดสอบจะแสดงผลไปที่ LED และ Buzzer เพื่อนเตือนให้ทำความสะอาด โดยใช้ Hot Stick Silicone Cleaner และทำการตรวจสอบอีกครั้งให้ผ่านตามมาตรฐานก่อนใช้งานจริงเพื่อป้องกันอันตรายขณะปฏิบัติ ผู้ปฏิบัติงานจากการ Flash Over ผ่านผิว FRP Hot Stick

4.2 Block Diagram ของระบบ

ประกอบด้วยส่วนต่างดังนี้

4.2.1 ส่วนกำเนิดคลื่นความถี่

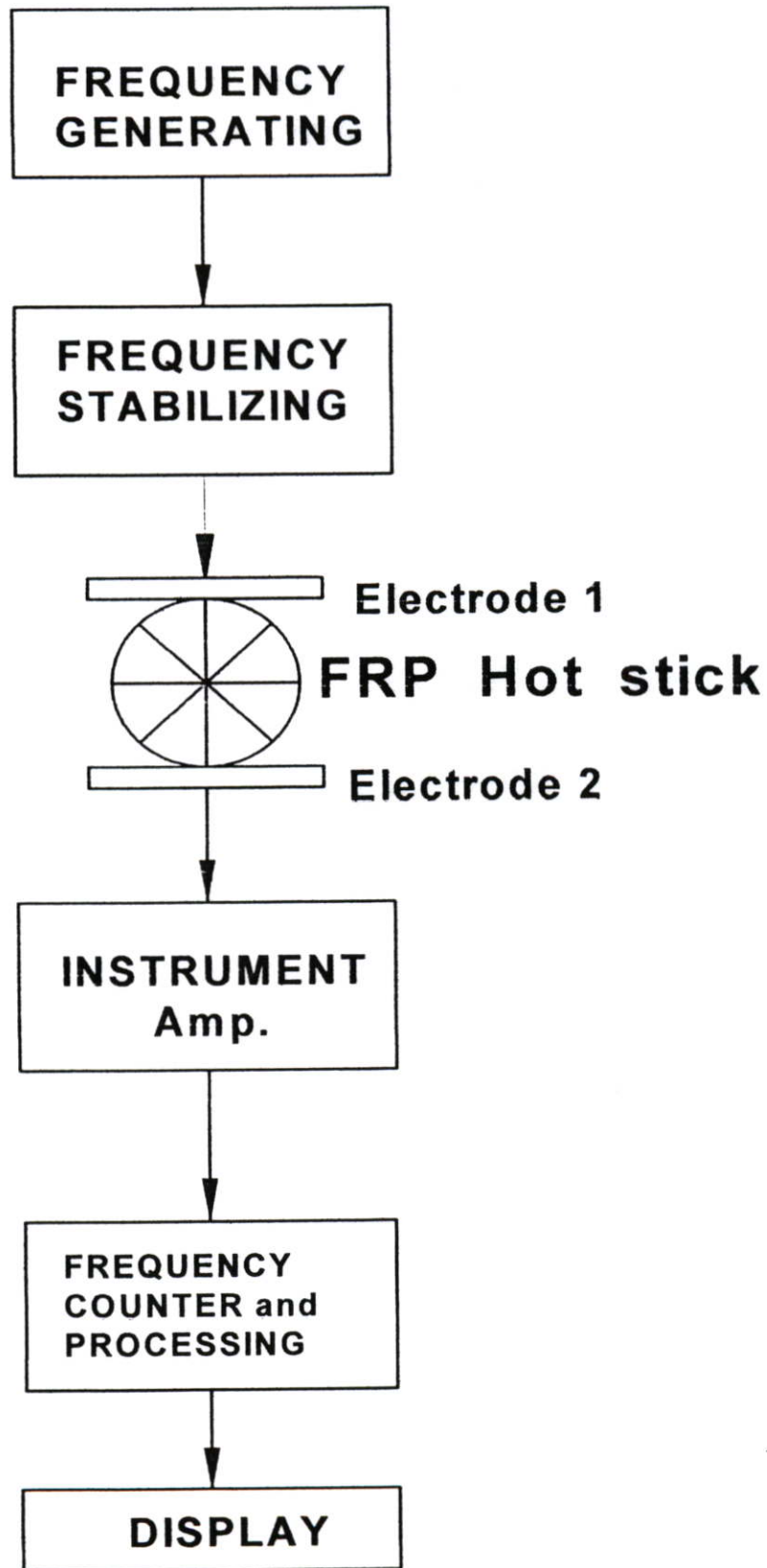
4.2.2 ส่วนรักษาเสถียรภาพความถี่

4.2.3 ส่วนทวีคูณความถี่และเพิ่มความแรงของสัญญาณ

4.2.4 การตรวจนับสัญญาณ

4.2.5 ส่วนประมวลผล

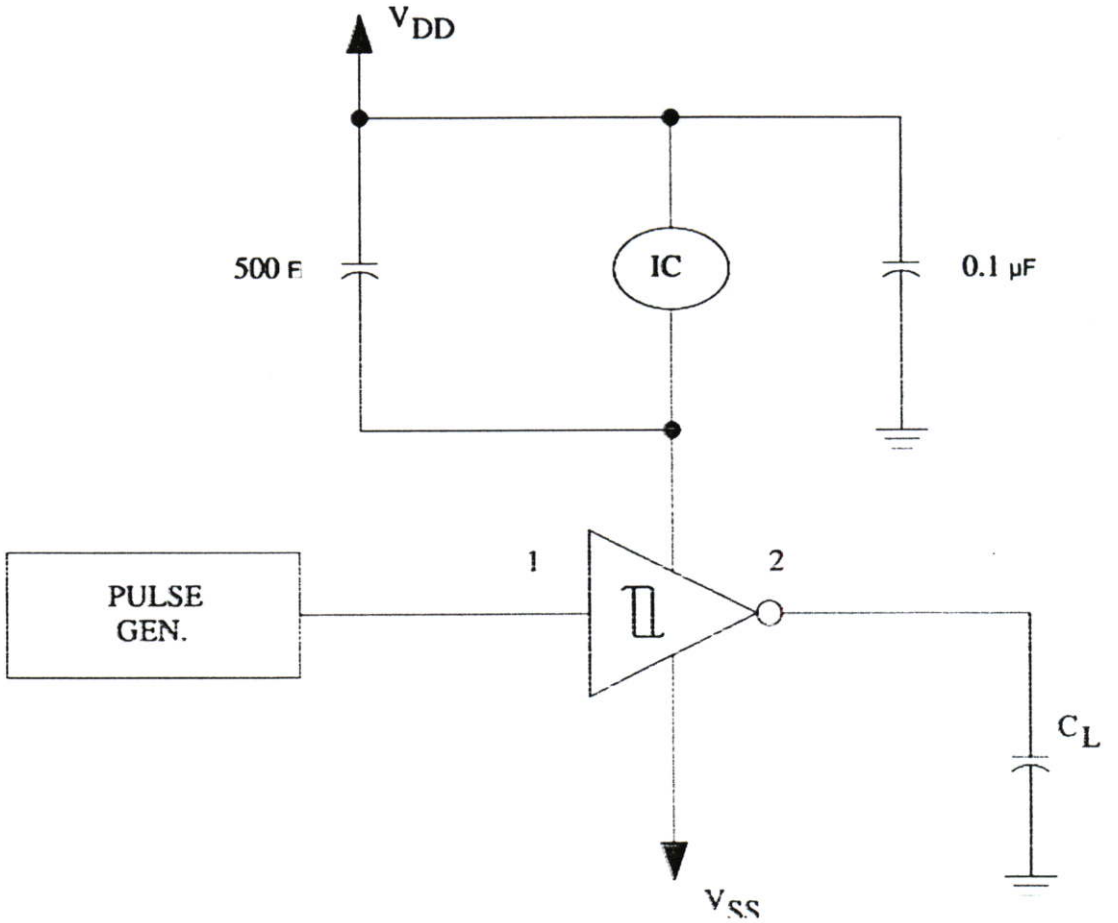
4.2.6 การแสดงผล



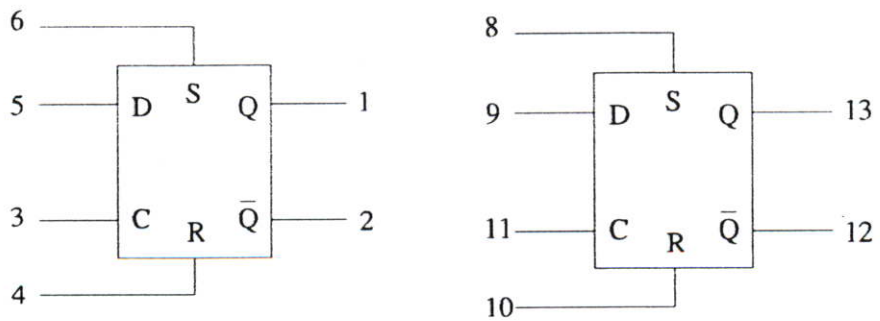
รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของระบบ

4.2.1 ส่วนกำเนิดคลื่นความถี่

ในส่วนของการสร้างความถี่ที่จะใช้สำหรับส่งผ่านสัญญาณเข้าไปใน Hot Stick นั้นเป็นการสร้างแรงดันและ คลื่นความถี่ขนาด 10 - 20 MHz โดยการใช่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการกำเนิดความถี่ขึ้นมา ในวงจรกำเนิดความถี่ดังกล่าวนี้ ประกอบด้วย IC 2 เบอร์ CD40106B และ MC14013B Dual Type D Flip-Flop



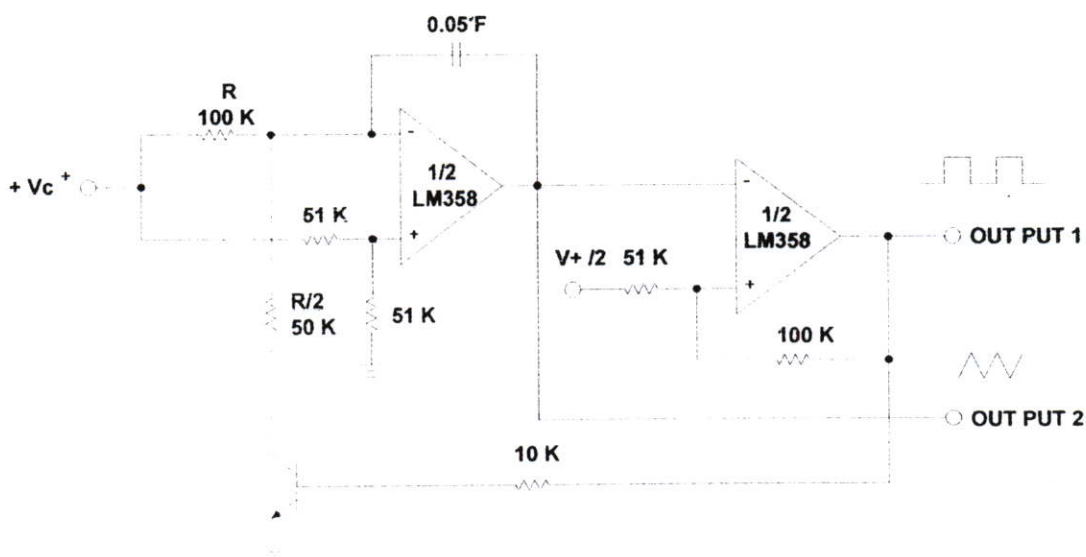
รูปที่ 4.2 IC 2 เบอร์ CD40106B



รูปที่ 4.3 MC14013B Dual Type D Flip-Flop

4.2.2 ส่วนรักษาเสถียรภาพความถี่

เนื่องจากในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่ จะทำการผลิตความถี่ออกมาเพียงอย่างเดียวโดยจะไม่มีการรักษาเสถียรภาพของความถี่ที่ออกมา จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่เพื่อที่จะใช้ในการวัด และการตรวจสอบให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยความสำคัญของวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่เพื่อรักษาความสมดุล หรือระดับของความถี่ที่วงจรมีความถี่ผลิตออกมาชดเชย และ ดัดออกในกรณีที่ความถี่ที่ ผลิตออกมาน้อยเกินไปและมากเกินไปและ ทำให้การวัดค่ามีความเที่ยงตรงมากขึ้น อุปกรณ์หลักๆ นั่นคือ Op-Amp เบอร์ LM158 ที่ใช้ในวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่ คุณสมบัติของ Op-Amp เบอร์ LM158 ที่ใช้ในวงจรรักษาเสถียรภาพของความถี่ ในรุ่นของ LM158 จะประกอบด้วย 2 ส่วนที่อิสระจากกันได้แก่ ส่วนของอัตราขยายกำลังสูงและในส่วนของการทำงานโดยการใช้อัตราขยายจาก



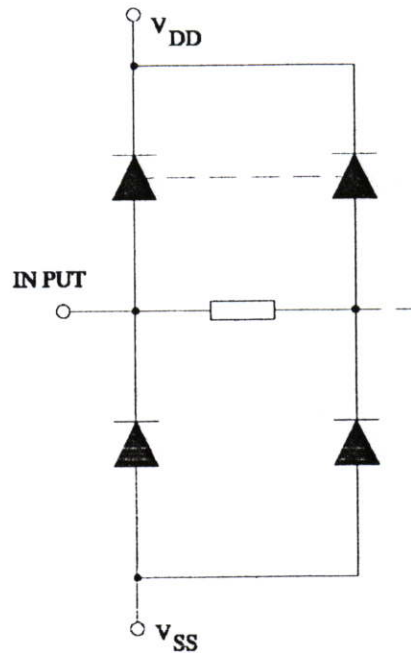
รูปที่ 4.4 วงจร Voltage Controlled Oscillator (VCO)

ความถี่ภายในซึ่งออกแบบมานี้ ใช้เฉพาะกับแหล่งจ่ายไฟแบบเดี่ยว ที่มีช่วงของแรงดันที่นำมาใช้งานกว้างโดยจะสามารถทำงานจากแหล่งจ่ายไฟ ที่แยกออกจากกันได้ โดยรวมถึงการใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่กินกระแสต่ำจะไม่เกี่ยวข้องใด ๆ กับจำนวนของแหล่งจ่ายไฟที่จะใช้เลย

4.2.3 ส่วนทวีคูณความถี่และเพิ่มความแรงของสัญญาณ

เนื่องจากขนาดของสัญญาณและแรงดันที่ถูกสร้างขึ้นมานั้นอาจจะมีขนาดที่ต่ำมากเกินไปเมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านออกไปแล้ว อาจจะทำให้สัญญาณมีปริมาณน้อยมาก ทำให้การตรวจวัดสัญญาณไม่ชัดเจน หรือไม่เที่ยงตรงได้จึงจำเป็นต้องทำการเพิ่มขนาดของสัญญาณให้สูงขึ้น เพื่อความชัดเจนในการตรวจวัด ในส่วนของการเพิ่มความแรงของสัญญาณนั้น จะใช้หลักการทำงาน

ของวงจรมิตต์ทริกเกอร์ วงจรมิตต์ทริกเกอร์จะทำงานโดยไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบภายนอกหรือไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบอื่น ๆ



รูปที่ 4.5 Input Equivalent Circuits

วงจรมิตต์ทริกเกอร์ มีกระแสไฟฟ้าวิ่งขึ้นลง ตั้งฉากระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ คือ

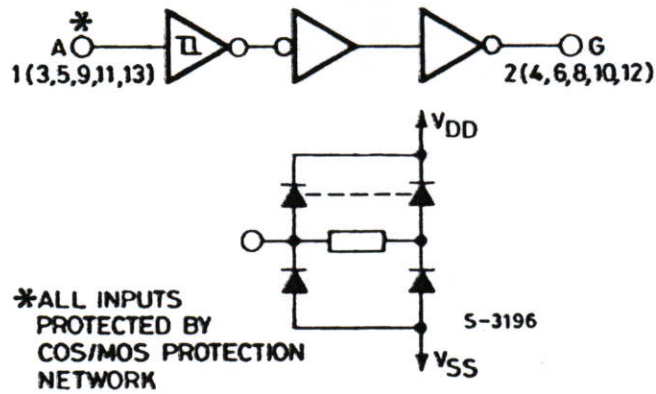
0.9 V. at $V_{DD} = 5$ V.

2.3 V. at $V_{DD} = 10$ V.

3.5 V. at $V_{DD} = 15$ V.

วงจรมิตต์ทริกเกอร์มีคุณสมบัติดังนี้

1. ช่วยลดคลื่นรบกวนมากกว่า 50 %
2. กระแสขึ้นลงได้ตลอดเวลา
3. มีกระแสไฟผ่านเข้าออก อย่างช้า ๆ จากหลอดไฟไปหาสวิตช์
4. ลักษณะพิเศษของวงจรมิตต์ทริกเกอร์ คือ มีระบบการทำงานเป็นมาตรฐาน
5. กระแสไฟฟ้าที่ใช้กับวงจรมิตต์ทริกเกอร์ และมีค่าแตกต่างกันได้ไม่มาก มีค่าแตกต่างกันสูงสุดไม่เกิน 20 V.
6. แรงดันไหลเวียนในวงจรของมิตต์ทริกเกอร์อยู่ที่ 5V. หรือ 10 V. และ 15 V.
7. กระแสอินพุทที่ใช้ในวงจรมิตต์ทริกเกอร์ $I_1 = 100$ nA. สูงสุดที่ $V_{DD} = 18$ V. $T_A = 25^\circ\text{C}$ ผ่านการทดสอบกระแส 100 %



รูปที่ 4.6 Logic Diagram ส่วนที่ควบคุมความถี่และเพิ่มความแรงของสัญญาณ

4.2.4 การตรวจนับสัญญาณ

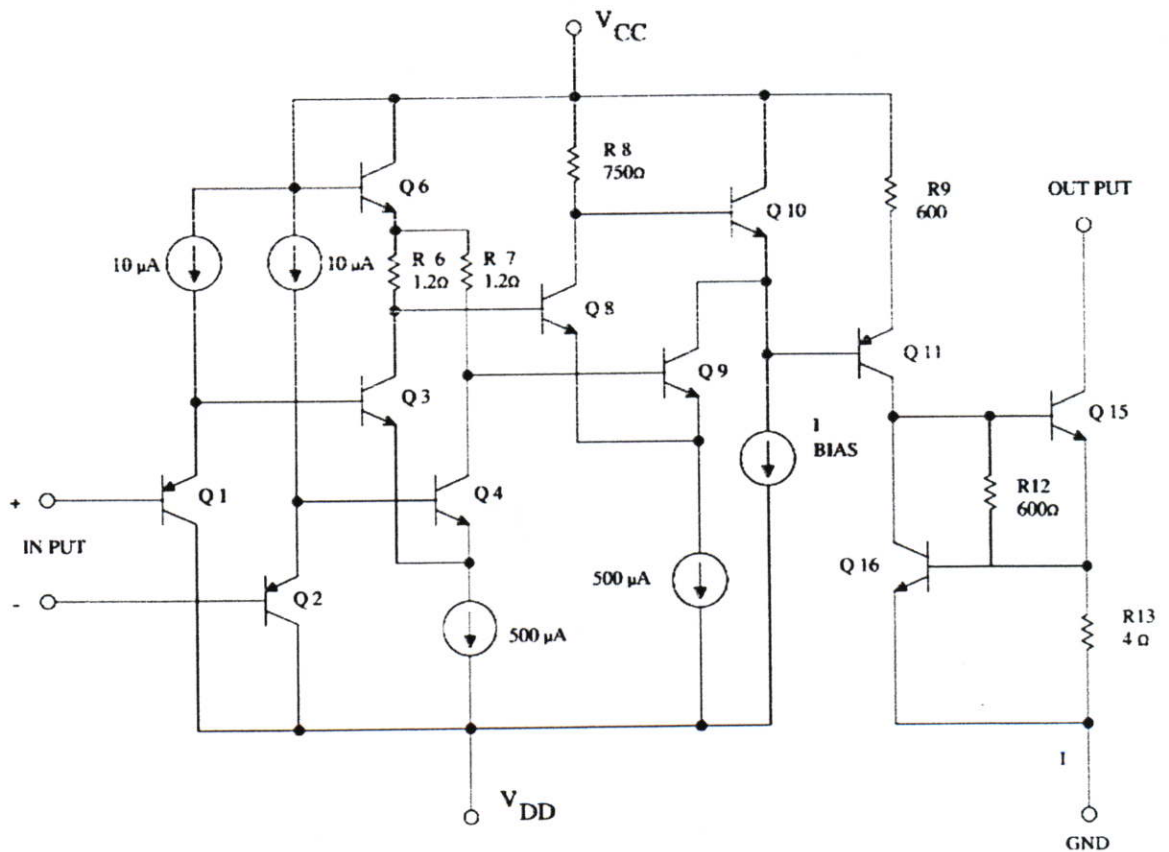
การทำงานของส่วนตรวจนับสัญญาณจะใช้ไอซีเปรียบเทียบแรงดันเบอร์ 311 ซึ่งเป็น (IC Comparator) ของบริษัท National Semiconductor ซึ่งมีรายละเอียดภายในของวงจรและตัวถังไอซีที่ใช้ ดังแสดงในรูป การทำงานภายในของวงจรสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้ คือ ในส่วนวงจรภาคอินพุตส่วนหน้าประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณอีมิตเตอร์ตาม (emitter follower) Q_1 และ Q_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์ รับสัญญาณอินพุตและส่งผ่านสัญญาณให้กับวงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier) Q_3 และ Q_4 จากนั้น Q_8 และ Q_9 จะขยายสัญญาณก่อนส่งต่อไปให้กับ Q_{11} ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่งพร้อมทั้ง แปลงให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบปลายเดียว (Single - ended output) เพื่อขับให้ทรานซิสเตอร์ Q_{15} นำกระแส (ON) หรือหยุดนำกระแส (OFF) นั่นเอง LM111, LM211, LM311 เป็นอุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดันมีกระแสอินพุตประมาณหนึ่งพันเท่าเป็นอย่างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ LM100 หรือ LM710 พวกมันได้รับการออกแบบการทำงาน ให้มีแหล่งจ่ายแรงดัน มี Range การทำงานอยู่ในช่วงกว้าง ๆ โดยมาตรฐานแล้วออปแอมป์จะใช้ ± 15 V สำหรับ IC LOGIC จะใช้ 5 V , เอาต์พุตของมัน จะเข้ากันได้กับ RTL , DTL และ TTL เช่นเดียวกับวงจร MOS, นอกจากนี้ พวกมันสามารถใช้กับหลอดไฟและรีเลย์ , สามารถสับเปลี่ยนแรงดันถึง 50 V , กระแสสูงสุด 500 mA คู่นี้จะมีอินพุตและเอาต์พุตโดยที่ LM111 , LM 211 , หรือ LM 311 สามารถแยกออกจากระบบกราวด์และเอาต์พุตสามารถขับ โหลดที่เกี่ยวข้องไปถึงกราวด์ได้ ในกรณีที่แหล่งจ่ายเป็น + หรือ - สิ่งที่จะชดเชยความสมดุลและประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไข และเอาต์พุตสามารถใช้สายไฟ OR ' ed ได้ ถึงแม้ว่าจะช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ LM 106 , LM 710 (ช่วงเวลาตอบสนอง 100ns Vs 40 ns) เป็นอุปกรณ์ที่มีแนวโน้มในการทำปดลมน้อยกว่า , LM111 , จะมีโครงสร้างขาคู่เหมือนกับ LM 106 และ LM 710 LM 211 จะเหมือนกันทุกอย่างกับ LM 111, นอกจากสมรรถนะของมันที่ระบุไว้ในรายละเอียดจะทนอุณหภูมิ ได้ในย่าน -25°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$ ใน LM211, -55°C ถึง $+25^{\circ}\text{C}$ ใน LM 111, LM 311 จะมีย่านอุณหภูมิที่ทนได้ 0°C ถึง $+70^{\circ}\text{C}$ โดยมีลักษณะการทำงานเฉพาะ ดังนี้

1. ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 V ในการทำงาน

2. กระแสอินพุท 150 nA สูงสุด, อุณหภูมิมาก
3. กระแสชดเชย 20 nA 4.2.4. การตรวจนับสัญญาณ, อุณหภูมิมาก
4. ความแตกต่างของแรงดันอินพุทอยู่ในย่าน ± 30 V
5. กำลังงานที่ใช้ 135 mW ที่ ± 15 V

ไอซีเปรียบเทียบแรงดัน ที่มีการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ IC เบอร์ LM 311 ของบริษัท National Semiconductor ซึ่งมีรายละเอียดภายในของวงจรและตัวถังไอซีที่ใช้ดังแสดงในรูปการทำงานภายในของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

ในส่วนของวงจรภาคอินพุทส่วนหน้าของวงจรประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณเอมิเตอร์ตาม (Emitter follower) Q_1 และ Q_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์รับสัญญาณอินพุทและส่งผ่านสัญญาณให้กับวงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier) Q_3 และ Q_4 จากนั้น Q_8 และ Q_9 จะขยายสัญญาณก่อนส่งต่อไปให้กับ Q_{11} ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่งพร้อมทั้งแปลงให้สัญญาณเอาต์พุทเป็นแบบปลายเดี่ยว (single - ended output) เพื่อขับให้ทรานซิสเตอร์ Q_{15} นำกระแส (ON) หรือหยุดนำกระแส (OFF) นั่นเอง



รูปที่ 4.7 LM311 Voltage Comparator

4.2.5 ส่วนประมวลผล

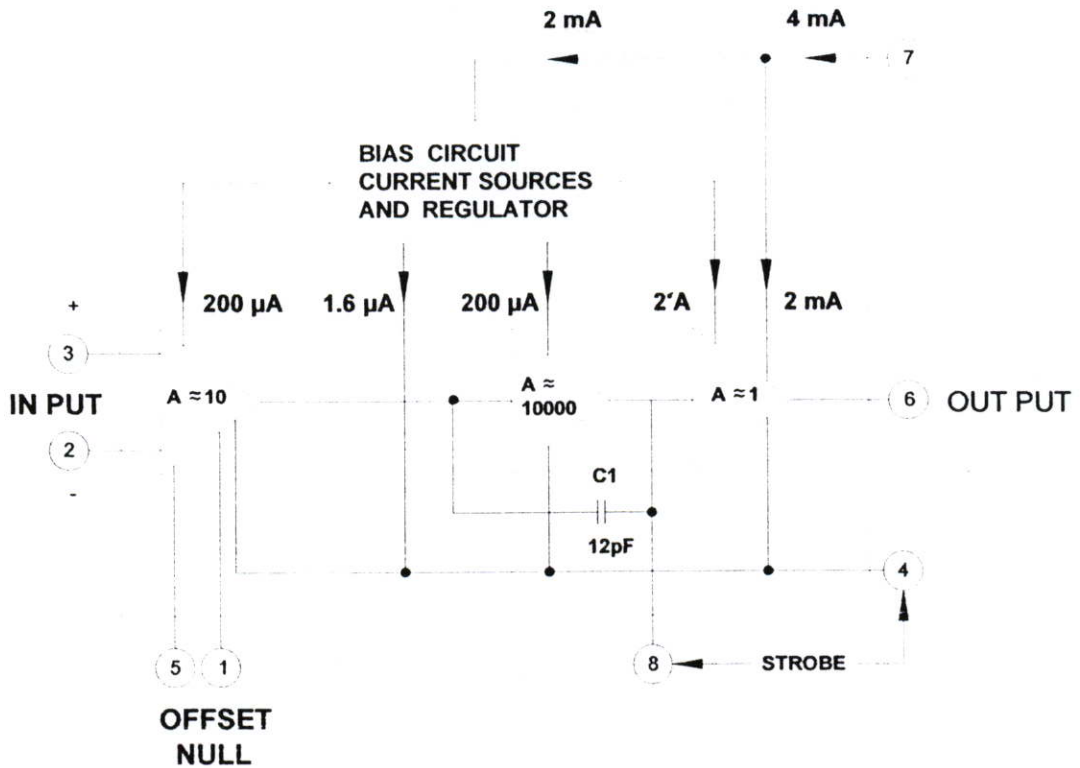
การทำงานของวงจรส่วนประมวลผลนี้ เป็นการนำเอาผลของการเปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจวัดได้ระหว่างสัญญาณที่ส่งออกไปกับสัญญาณที่รับมา แล้วนำไปประมวลผลเพื่อบ่งชี้ให้ได้ว่าความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองนั้นจะผ่านหรือไม่ผ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

ในส่วนของวงจรประมวลผลนี้ใช้ IC CA3140A และ CA3140 ประกอบเข้าด้วยกันในการปฏิบัติการวงจรไฟฟ้า The CA3140A and CA3140 ได้รับการประกอบเข้าด้วยกันในการปฏิบัติการวงจรไฟฟ้าของเครื่องขยายเสียง ซึ่งได้มีการรวมข้อได้เปรียบของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง ทรานซิสเตอร์ PMOS ที่มีแรงเคลื่อน ไฟฟ้าทรานซิสเตอร์ bipolar บนตัวชิป โมโนลิทิก The CA3140 and CA3140 BIMOS การปฏิบัติการเครื่องขยายเสียงมีลักษณะเด่นของการป้องกัน MOSFET (PMOS) การป้อนวงจรไฟฟ้าได้จัดการการป้อนความถี่ของขดลวดต่อการแสไฟฟ้าสลับสูงมาก

การป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำมาก และมีการเร่งความเร็วของการเดินของเครื่องที่สูง The CA3140A และ CA3140 ได้จัดการการจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 4 โวลต์ (ทั้งการจ่ายเดี่ยวและจ่ายคู่) การปฏิบัติการของเครื่องขยายเสียงนี้เป็นการชดเชยภายใน ที่จะให้บรรลุผลในการปฏิบัติการอย่างมั่นคง และการเพิ่มที่ขั้วปลายสายไฟฟ้าเป็นการผนวกภายนอก ใช้ สนาม PMOS มีผลกระทบต่อทรานซิสเตอร์ในการป้อน

ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในระดับทั่วไปมีความจุลดลงที่ 0.5 โวลต์ป้อนได้ใช้ทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ และรวมการสร้างการป้องกันภายในเพื่อต่อต้าน ความเสียหายจากการไหลระบบวงจรไฟฟ้าอย่างสั้นที่ขั้วปลายสายไฟฟ้าทั้งที่การจ่ายที่รางหรือพื้นดิน มีลักษณะเด่น ดังนี้

1. การป้อนความถี่ของขดลวดต่อกระแสไฟฟ้าสลับสูงมาก การป้อนกระแสไฟฟ้าต่ำมาก
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าในแบบทั่วไปที่กว้างสามารถหักเหกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 0.5 โวลต์
3. การใช้งานตัวอย่างและบรรจุเครื่องขยายเสียง
4. ระยะเวลายาวนานของการตัดกระแสไฟตรงให้เป็นกระแสไฟสลับ
5. ชิดสูงสุดของเครื่องจับคลื่นเสียงที่ส่งมากับคลื่นวิทยุ
6. เครื่องกรองไฟฟ้าการจัดการมาตรฐานของการทำงานเครื่องขยายเสียง
7. งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการควบคุมเสียงสูงเสียงต่ำ
8. พลังในการจ่ายไฟฟ้าเครื่องมือที่พกพาได้
9. ระบบสัญญาณการแทรก

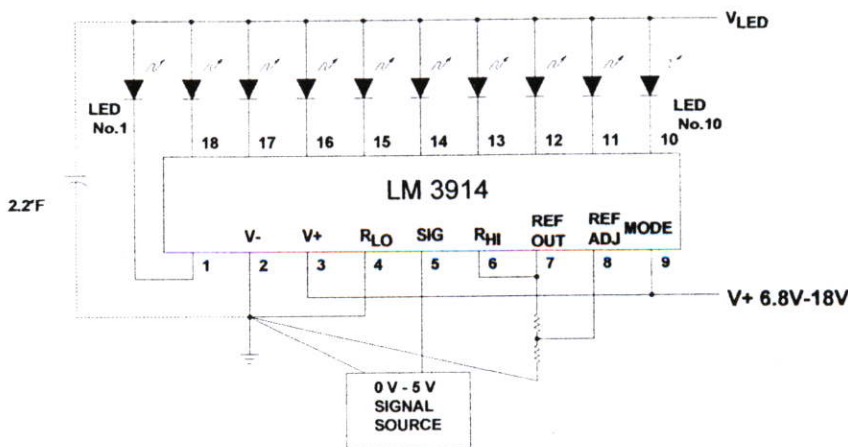


รูปที่ 4.8 Block Diagram CA3140, CA3140A

4.2.6 การแสดงผล และวงจรการทำงานโดยรวม

ในการทำงานของส่วนการแสดงผลนั้น คือเป็นการนำเอาผลที่ได้จากส่วนประมวลผล มาแสดงออกให้ผู้ใช้งานเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick รับทราบว่า FRP Hot Stick ที่กำลัง ตรวจสอบอยู่นั้นผ่านหรือไม่ผ่านหรือกล่าวได้ว่า FRP Hot Stick นั้นสามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ โดยการแสดงผลนั้นจะใช้สัญญาณไฟเขียวถ้าผ่าน และใช้สัญญาณไฟแดง ถ้าไม่ผ่าน IC ที่ใช้ในวงจร คือ IC. LM 3914

0 V TO 5 V Bar Graph Meter



รูปที่ 4.9 LM3914Dot/Bar Display Drivers

LM3914 เป็นไอซีแบบโมโนลิทิกส์ ซึ่งใช้สำหรับตรวจสอบระดับสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอก ใช้สำหรับขับ LED แสดงผล 10 ดวง โดยแสดงผลแบบเชิงเส้น มีขาที่กำหนดรูปแบบการแสดงผลแบบ DOT และ BARGRAPH ได้ กระแสที่ใช้ขับ LED จะมีความคงที่การให้ความสว่างขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน ในการออกแบบจะยอมให้มีค่าน้อย 3V

วงจรภายในจะประกอบไปด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบปรับค่าได้ 10 ระดับ ใช้กระแสสัญญาณทางด้าน INPUT ที่ต่ำ แต่มีการป้องกันไม่ให้เกิน 0-35V ตัวขับบัฟเฟอร์จำนวน 10 ชุด จะทำการเปรียบเทียบเพื่อที่จะทำให้เกิดการบางแรงดัน ในการแสดงผลที่ไม่คงที่มาสามารถปรับได้ถึง 0.5% ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิรอบข้างด้วย

การออกแบบที่จะทำให้ IC LM3914 มีความสามารถในการแสดงผลระดับการควบคุมที่ใช้การเตือนแบบวิซวล และมีรูปแบบในการแสดงผลที่ง่ายต่อระบบนั้น ๆ วงจรสามารถขับ LED ให้หลายสี หรือใช้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ที่ใช้กระแสต่ำ เมื่อนำ IC LM3914 มาต่อกันจำนวนมาก ๆ แบบอนุกรมสามารถแสดงผลได้ตั้งแต่ 20 จนถึงมากกว่า 100 ดวง วิธีการแสดงผลมาสามารถประยุกต์ให้เป็นการแสดงมิเตอร์แบบ ซีโร เซนเตอร์ โดยใช้ตัวหารจำนวน 2 ชุด จึงทำให้ IC LM3914 ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบของอนาลอก มิเตอร์โดยมิเตอร์ที่วัดได้ 1.2V พูลสเกลกับค่าความต้านทาน 1 ตัว และไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3-15V ที่จะทำให้เกิดการแสดงผลของ LED จำนวน 10 ดวงเมื่ออยู่ในรูปการแสดงผลแบบคอกทจะมีค่าความผิดพลาดในการแสดงผลเล็กน้อย ระหว่าง LED แต่ละดวง การแสดงผลที่สมบูรณ์ และมีค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในส่วนต่าง ๆ ทางด้าน Out Put กระแสไฟฟ้า DC ที่เจ็บบและนิ่ง กระแสที่จ่ายออกทาง Out Put สามารถนำไปขับทรานซิสเตอร์ซึ่งใกล้เคียงกับ LED ทำให้สามารถควบคุมระบบการแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

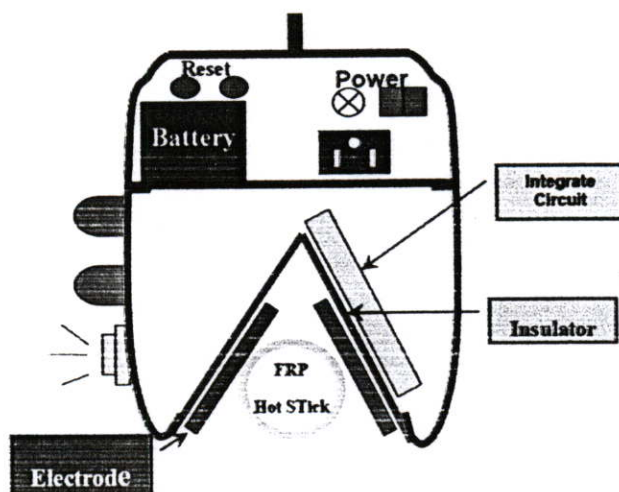
IC LM3914 ทำงานอยู่ในช่องอุณหภูมิ 0 – 70 C ที่โครงสร้างแบบโมโนลิทิก 18 ขา หลักการประยุกต์การใช้งานที่มีประสิทธิภาพและต้องคำนึงถึงการต่อร่วมของระบบกราวด์และหลักเรื่องการออสซิลเลต รูปแบบทั่วไปมีดังนี้

1. ขับได้ทั้ง LED และ LCD แบบฟลอยเลขเซนต์
2. แสดงผลได้ทั้งแบบบาร์และคอกท โดยมีสวิทช์เลือกภายนอกโดยผู้ใช้
3. สามารถขยายการแสดงผลได้ถึง 100 Step
4. ใช้แรงดันเปรียบเทียบภายใน 1.2 - 12V
5. ทำงานภายใต้แรงดันแบบเดี่ยวน้อยกว่า 3 โวลต์ได้
6. สัญญาณ INPUT ทำงานได้ต่ำถึงระดับกราวด์
7. สามารถกำหนดกระแส OUTPUT ได้จาก 2mA – 30mA
8. ไม่สามารถแสดงผลแบบเมตริกซ์ และ แบบสลับ
9. แรงดัน Input สามารถยืดได้ระหว่าง ± 35 โวลต์ โดยปราศจากการจางหายหรือการสูญเสียทาง Output โดยที่ Output สามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณดิจิทัลแบบ TTL และ Cmos ได้

วงจรหาร 10 ภายในตัว IC สามารถหาได้ในระดับจุดทศนิยมและสามารถทำให้เกิดการอ่านกว้างได้ ค่าความผิดพลาด (Accuracy) เป็นค่าแตกต่างระหว่างค่าแรงดันที่ได้รับกับค่าแรงดันไอเซลล์เทอร์ไฮสโต ในการเปรียบเทียบแต่ละจุดจะกำหนดแรงดันที่ 10 โวลต์กับแรงดันภายในที่หารกับด้วยตัวค้ำทานในอัตราส่วนที่ความผิดพลาด ที่สมดุลเกินจากค่าแรงดันออนเซ็ทขาสำหรับปรับกระแส (Adjust Pin Current) การปรับกระแสในส่วนเอาต์พุตที่จะเปรียบเทียบกับขานี้ ในสภาวะที่วงจรขยายเปรียบเทียบยังอยู่ในย่านลิเนียร์การเปรียบเทียบอัตราขยาย - อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงในกระแส Output กับการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางด้าน Input ทำการเปรียบเทียบกับในย่านการทำงานที่ลิเนียร์แรงดันที่สูญหาย แรงดันที่วัดจากค่ากระแส Output ที่ตกลงต่ำกว่า 10%กระแสไปยัง Input ค่ากระแสที่ปราศจากสัญญาณ Input เมื่อตัวบัพเฟอร์ทางอินพุตอยู่ในย่านลิเนียร์ควบคุม LED (LED Current Regulation) การเปลี่ยนค่ากระแสทาง Output ที่เกินกว่าค่าปกติของ LED ซึ่งวัดจากแหล่งกระแสทาง Output ที่สามารถทำให้ LED แสดงผลได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงกระแสจำนวนน้อย ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปรียบเทียบทางเอาต์พุตเกินกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายความสมดุลของโหลด (Load Regulation) ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเปรียบเทียบ (V Ref) กับค่ากระแสของโหลด (IL Ref) ออฟเซ็ท โวลต์เต็ท (Offset Voltage) ค่าความต่างศักรีระหว่างแรงดันอินพุตที่จะนำไปเปรียบเทียบเพื่อเป็นไบอัสที่เอาต์พุตในย่านลิเนียร์บล็อกโคอะแกรมของ IC LM3914 ทำให้เกิดความเข้าใจในพื้นฐานออกแบบวงจร ทำงานในระดับอินพุตอิมพีแดนซ์สูงกับระดับสัญญาณจาก Ground 12 โวลต์ และมีการป้องกันแรงดันย้อนกลับLM3914 นี้มีเสถียรภาพไม่ว่าทางอินพุต จะมีสัญญาณแบบพลัซ หรือ แรงดันคี่ซีร่วเข้ามา สามารถนำสัญญาณทาวเอาต์พุตไปขับวงจร ทางด้าน ลอจิกต่าง ๆ วงจร OPTOวงจร โซลิตเซคทรีเลย์ และหลอดแสดงผลแบบอินแคนเดสเซนส์ที่ใช้กระแสต่ำได้ดี โดยมีข้อสังเกตในการประยุกต์ใช้งาน ในการใช้งานนำไปทำเป็น โวลต์มิเตอร์ แบบแสดงผลด้วยบาร์กราฟ ขนาด 0-50 โวลต์ ปัญหาใหญ่อยู่ที่กระแสนาใหญ่ที่จะทำให้ LED แสดงผลได้ไม่เต็มที่ กระแสส่วนใหญ่จะสูญเสียไปในการต่อวงจรภายนอกต่างๆ และมีค่าของการออสซิลเลตที่เกิดขึ้น ดังนั้นการที่ต่อ RESISTOR STRING จะต้องให้ใกล้กับขา 2 มากที่สุด การต่อสายที่ยาวเกินไปจาก Vled ไปที่ขาอาโนดที่เป็นจุดร่วม ก็สามารถทำให้เกิดการออสซิลเลตได้เช่นกันขึ้นอยู่กับค่าความไวของสายวัด และจะแก้ไขได้โดยต่อตัวเก็บประจุคัลลิปึงค่าระหว่าง 0.05–2.2 μF ที่ขา 1 และขา 2 ถ้า LED สว่างช้าเมื่ออยู่ในบาร์โหมค หรือ LED ดิสสว่างค้างเมื่ออยู่ใน คอคโหมค ก็เกิดจากการออสซิลเลตเช่นกัน แก้ไขได้โดยใส่ตัวเก็บประจุบายพาสเข้าที่ขา 2 ค่าตั้งแต่ 0.001uF – 0.1 μF โครงสร้างของเครื่องต้นแบบ การทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบค่าความเป็นฉนวนของ FRP Hot Stick เพื่อคุณภาพของการส่งผ่านคลื่นความถี่ และการแสดงผลของตัวเครื่องทดสอบ โดยการใช้ตัวอย่าง FRP Hot Stick ลักษณะต่างๆ แล้วใช้ Oscilloscope วัดผลของรูปคลื่นทางด้านภาคส่ง Electrode 1 และทางด้านส่วนภาครับคือ Electrode 2 เพื่อนำผลของรูปคลื่นที่ได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความ

เปลี่ยนแปลง หรือค่าของความสูญเสียไปของสัญญาณความถี่ ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการแบ่งการทดลองตามลักษณะของตัวอย่าง FRP Hot Stick ดังนี้

1. FRP Hot Stick ผิวแห้ง (Dry Surface)
2. FRP Hot Stick ผิวเปียก (Wet Surface)
3. ใช้แผ่นโลหะตัวนำ (Foil) พันรอบFRP Hot Stick
4. ใช้แท่งเหล็กตัวนำเสียบเข้าไปใน FRP Hot Stick



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของตัวตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูง

ตารางที่ 3 รายการอุปกรณ์

	รายละเอียด	จำนวน	หมายเหตุ
ตัวต้านทาน	1 $k\Omega$	9 ตัว	
	3 $k\Omega$	2 ตัว	
	100 $k\Omega$	6 ตัว	
	10 $k\Omega$	1 ตัว	
	1 $k\Omega$	4 ตัว	
	10 $k\Omega$	5 ตัว	
	470 Ω	1 ตัว	
	2.7 $M\Omega$	1 ตัว	
	820 Ω	1 ตัว	
	82 $k\Omega$	1 ตัว	

ตารางที่ 3 รายการอุปกรณ์ (ต่อ)

รายละเอียด		จำนวน	หมายเหตุ
	51 $k\Omega$	3 ตัว	
	30 $k\Omega$	1 ตัว	
	200 $k\Omega$	2 ตัว	
	5.1 $k\Omega$	2 ตัว	
ตัวต้านทาน ปรับค่าได้	VR1 2 $k\Omega$	1 ตัว	
	VR2 100 $k\Omega$	1 ตัว	
	VR3 100 $k\Omega$	1 ตัว	
	VR CALIBRATE 10 $k\Omega$	1 ตัว	
ตัวเก็บประจุ	1000 μF 35 V	1 ตัว	อิเล็กทรอนิกส์
	100 μF 35 V	1 ตัว	
	47 μF 25 V	2 ตัว	
	10 μF 50 V	1 ตัว	แทนทาลัม
	1 μF 35 V	3 ตัว	
	4.7 μF 35 V	1 ตัว	
	10 μF 16 V	1 ตัว	
	0.1 μF	1 ตัว	
	0.001 μF	1 ตัว	ไมลาร์
	1 μF 100 V ชนิด MKS 4 WIMA	1 ตัว	
	100 pF	1 ตัว	เซรามิก
	0.1 μF	3 ตัว	
	300 pF	1 ตัว	
	330 pF ชนิด โพลีโพรไพรีนฟอยล์	1 ตัว	
ไดโอด	1N4148	10 ตัว	
	1N4007	1 ตัว	
ทรานซิสเตอร์	2N2222A	2 ตัว	
	2N2907	2 ตัว	

ตารางที่ 3 รายการอุปกรณ์ (ต่อ)

รายละเอียด		จำนวน	หมายเหตุ
IC	78L05	1 ตัว	
	LM3914 N	1 ตัว	
	CA324E	1 ตัว	
	CD40106B	1 ตัว	
	MC14013B	1 ตัว	
	CA3140	1 ตัว	
	HCF40106	1 ตัว	
	LM358N	1 ตัว	
LED	สีแดง	1 ตัว	
	สีเขียว	1 ตัว	
	สีเหลือง	1 ตัว	
	สวิตช์ปิด-เปิด	1 ตัว	
	สวิตช์ RESET	2 ตัว	

บทที่ 5

การทำงานของระบบ และ ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

การทดลองเครื่องทดสอบ FRP Hot Stick เพื่อดูผลทดสอบ ของการส่งสัญญาณแรงดัน ผ่านผิวของ FRP Hot Stick และการแสดงผลของตัวเครื่องทดสอบ โดยการใช้ตัวอย่าง FRP Hot Stick ลักษณะทางกายภาพสถานที่ต่างๆแล้วใช้ Oscilloscope วัดผลของสัญญาณทางด้านภาคส่ง (Electrode1) และทางด้านภาครับ (Electrode 2) เพื่อนำผลของสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกัน หาค่าความเปลี่ยนแปลงหรือความสูญเสียไปของสัญญาณซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการแบ่งการทดลองตามลักษณะของตัวอย่าง FRP Hot Stick ดังนี้

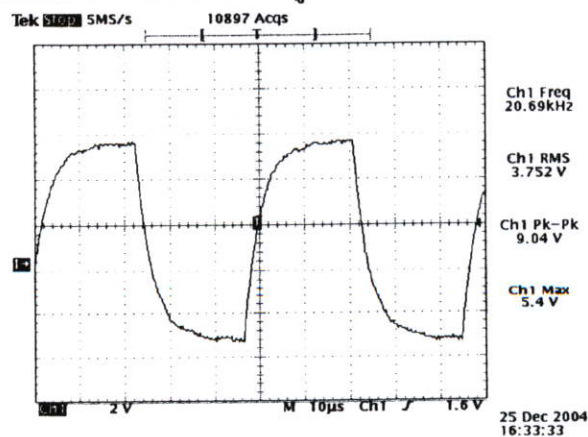
1. FRP Hot Stick แบบผิวแห้ง (Dry Surface)
2. FRP Hot Stick แบบผิวเปียก (Wet Surface)
3. ใช้แผ่นโลหะตัวนำ (Foil) พันรอบ FRP Hot Stick
4. ใช้แท่งเหล็กตัวนำเสียบเข้าไปใน FRP Hot Stick

การทดลองตามลักษณะของแผ่นตัวนำ (Electrode) ดังนี้

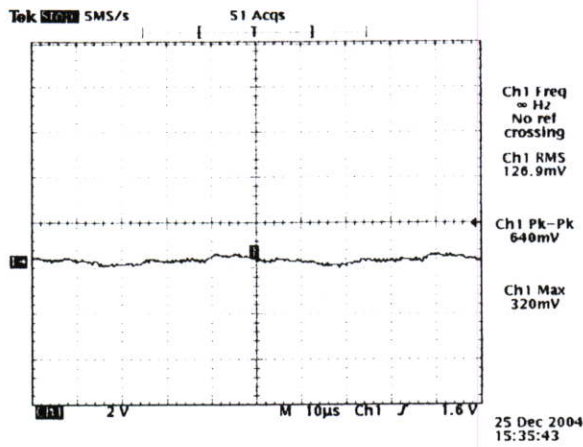
1. แผ่นตัวนำสแตนเลส รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 21.5 เซนติเมตรกว้าง 6.5เซนติเมตร ด้านละ 1 แผ่น
2. แผ่นตัวนำสแตนเลส รูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร เรียงต่อกันด้านละ 3 แผ่น
3. แผ่นตัวนำสแตนเลส รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน เรียงต่อกันด้านละ 3 แผ่น

5.2 การทดลองที่ 1

1. แผ่นตัวนำสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 21.5 เซนติเมตรกว้าง 6.5เซนติเมตร ด้านละ 1 แผ่น จุดต่อสาย Electrode1 และ Electrode 2 อยู่ด้านเดียวกัน เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง ไฟเขียวติด



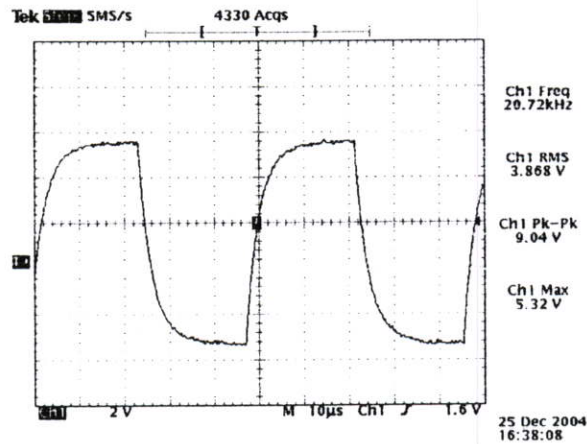
วัดสัญญาณด้าน Electrode1



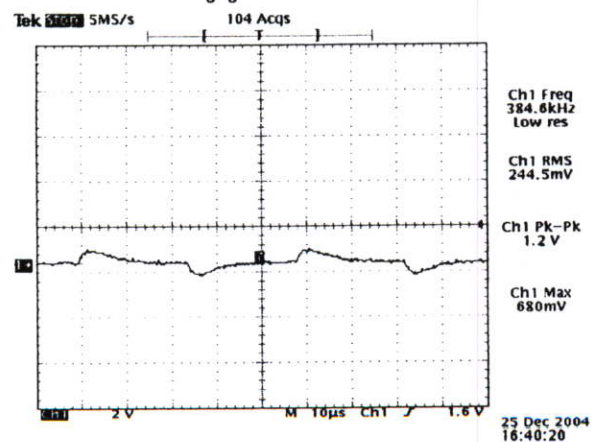
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

วัดสัญญาณแรงดันทางด้าน Electrode 1 ได้ 9.04 Vp-p และทางด้านทางด้าน Electrode 2 ได้ 640 mVp-p ซึ่งยังไม่มีตัวนำระหว่าง Electrode ทั้งสองจึงทำให้สัญญาณแรงดันที่วัดได้จาก Electrode ทั้งสองนั้นแตกต่างกันมาก

2. ใช้ FRP Hot Stick แบบผิวแห้ง ไฟเขียวติด



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1

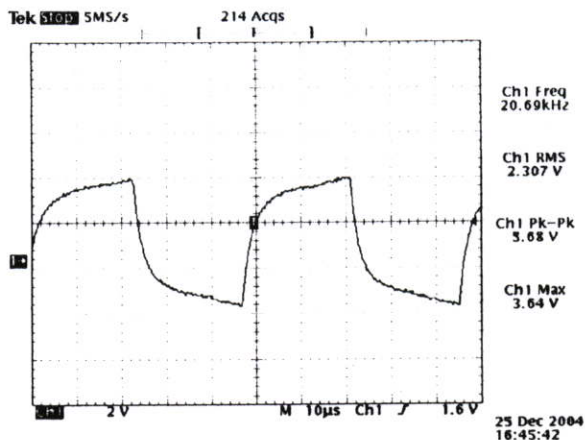


วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

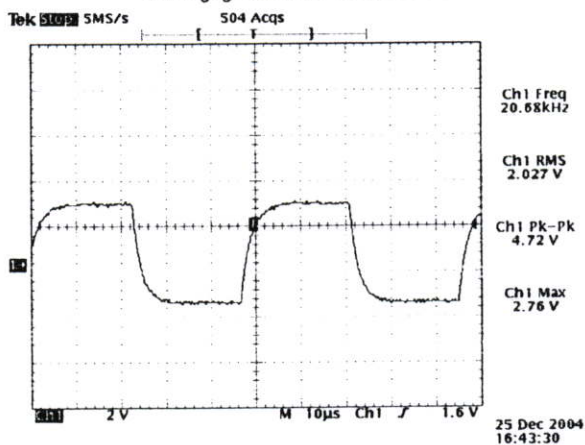
แรงดันสามารถผ่านผิว FRP Hot Stick ไปถึง Electrode 2 ได้ = 1.2 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดงผลการทดสอบว่าผ่านการทดสอบ

3. ใช้ Foil กว้าง 1 เซนติเมตร พันรอบ FRP Hot Stick ให้ห่างกัน 7.6 เซนติเมตรไฟแดง

ติด



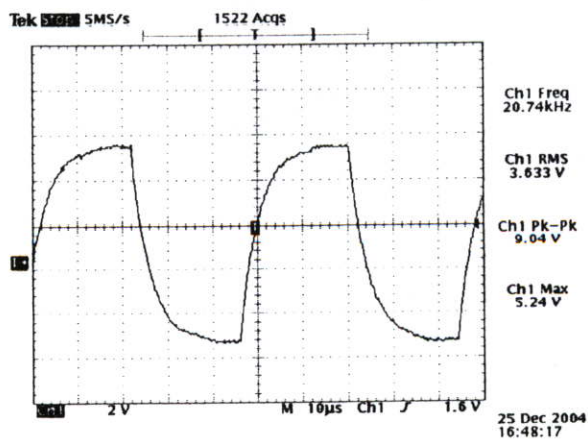
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



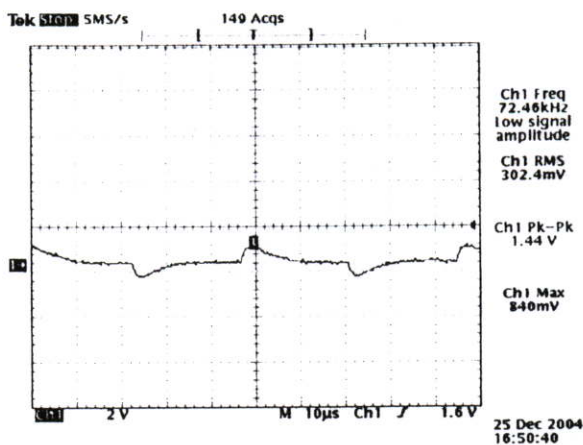
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันทางด้าน Electrode 1 = 5.68 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 4.72 Vp-p ซึ่งขนาดของแรงดันเกือบจะเท่ากัน ผลการทดสอบไม่ผ่าน

4. ใช้แท่งเหล็กตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปใน FRP Hot Stick ไฟเขียวติด



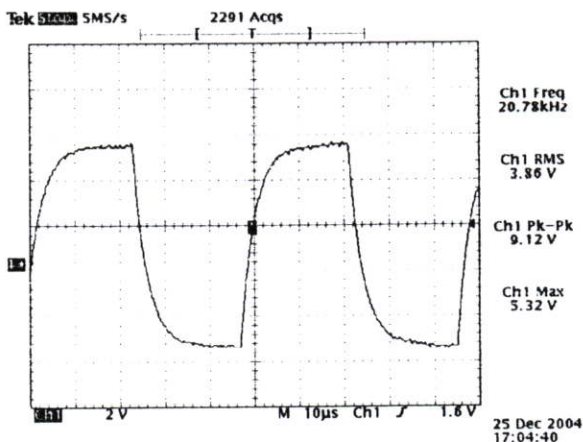
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



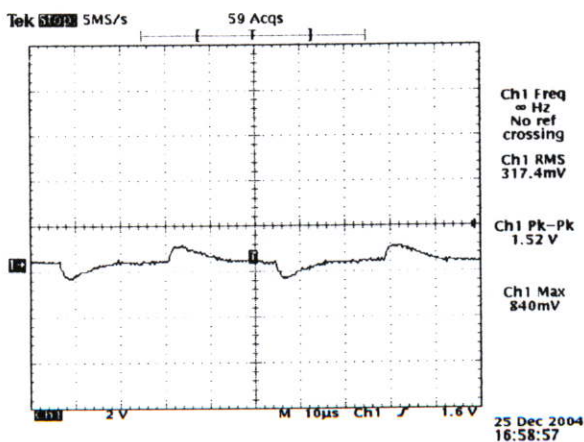
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันทางด้าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.44 Vp-p ซึ่งแรงดันทั้งสองด้านแตกต่างกันมาก. ผลการทดสอบผ่าน

5. ใช้น้ำขโมย FRP Hot Stick ให้เปียกไฟแรงคิด



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

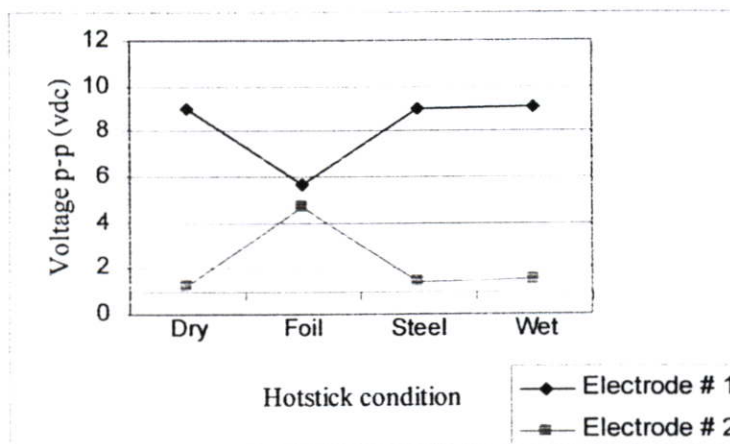
แรงดันทางด้าน Electrode 1 = 9.12 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.52 Vp-p ซึ่งแรงดันทั้งสองด้านแตกต่างกันมาก. ผลการทดสอบไม่ผ่าน

สรุปผลการทดลองที่ 1

นำค่าแรงดัน (Voltage p-p) ที่วัดได้จากทางด้าน Electrode # 1 และ Electrode # 2 มา plot กราฟเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองที่ 1

Voltage P-P (Vdc)	Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet
	Electrode #1	9.04	5.68	9.04	9.12
	Electrode #2	1.2	4.72	1.44	1.52
	Δ Voltage	7.84	0.96	7.6	7.6

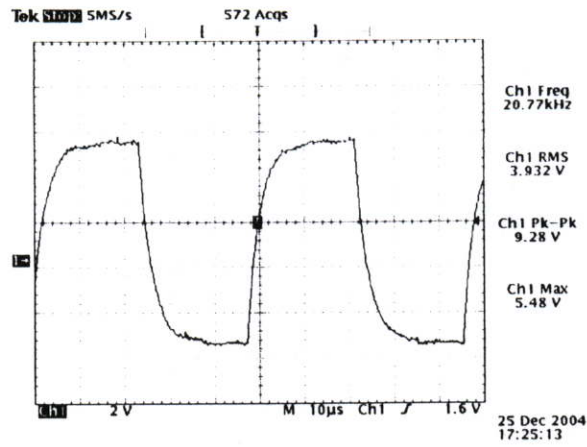


จากผลการทดลองพบว่าแรงดันที่ส่งจาก Electrode 1 สามารถผ่านไปที่ Electrode 2 ได้มากโดยผ่านผิวของ FRP Hot Stick ที่มีแผ่น Foil ตัวนำพันอยู่และผิวที่เปื่อยขึ้น เป็นผลทำให้ผลการทดสอบไม่ผ่าน ซึ่งการทดสอบที่แสดงผลว่าไม่ผ่านนั้นจะมีค่าแรงดันทางด้าน Electrode 1 และ Electrode 2 ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงว่าผิวของ FRP Hot Stick นั้นมีค่าความเป็นฉนวนต่ำ

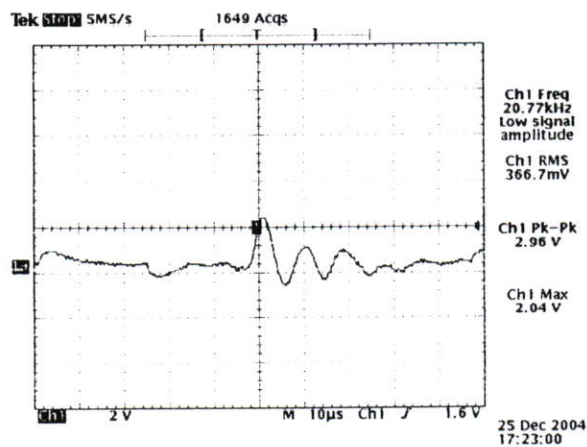
5.3 การทดลองที่ 2

แผ่นตัวนำสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 21.5 เซนติเมตรกว้าง 6.5เซนติเมตร ด้านละ 1 แผ่น จุดต่อสาย Sensor1 และ Sensor2 อยู่คนละด้านกัน

1. ใช้ FRP Hot Stick แบบผิวแห้งเข้าไประหว่าง Sensor ทั้งสอง



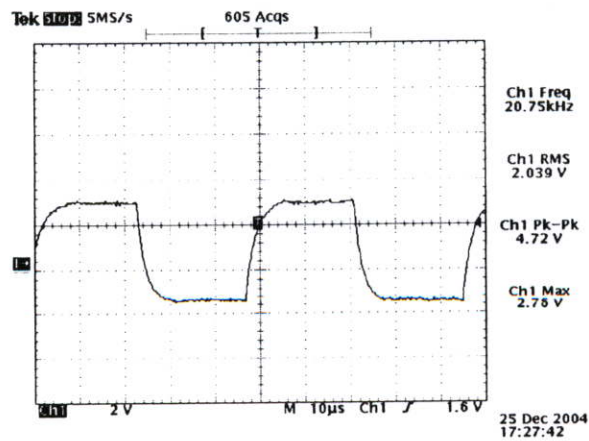
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



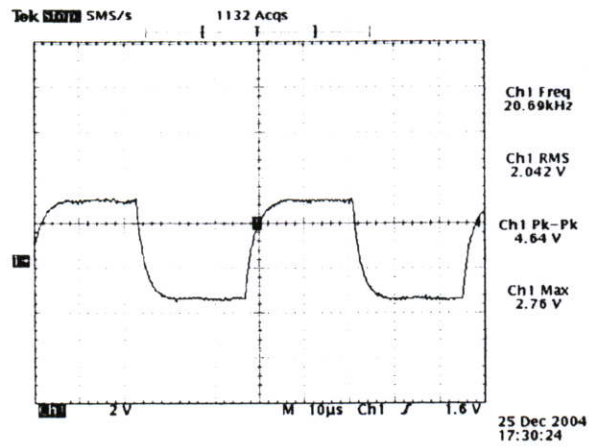
วัดรูปคลื่นด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1= 9.28 Vp-p และด้าน Electrode 2= 2.96 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

2. ใช้ Foil กว้าง 1 เซนติเมตร พันรอบ FRP Hot Stick ให้ห่างกัน 7.6 เซนติเมตร



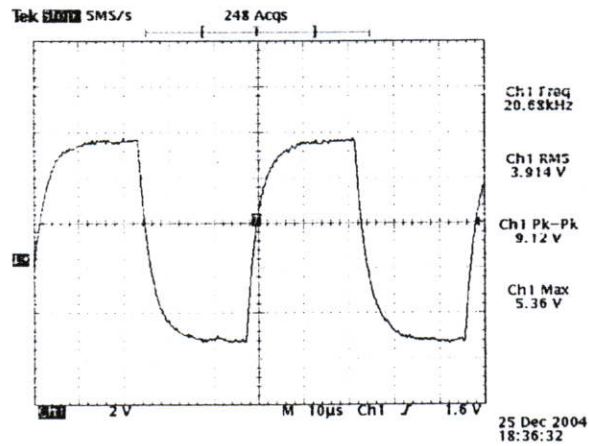
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



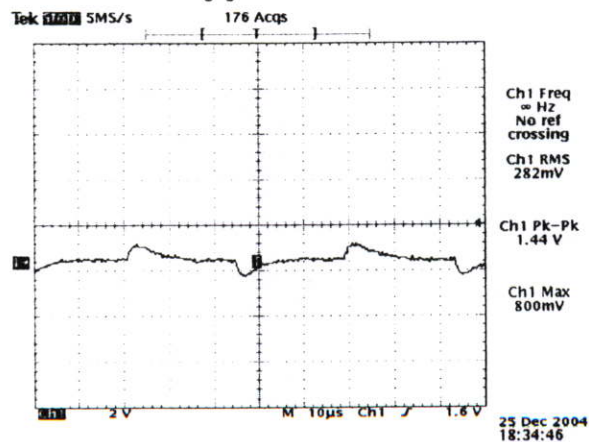
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 4.72 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 4.64 Vp-p และหลอดไฟสีแดงติด แสดง ผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

3. ใช้แท่งเหล็กค้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปใน FRP Hot Stick



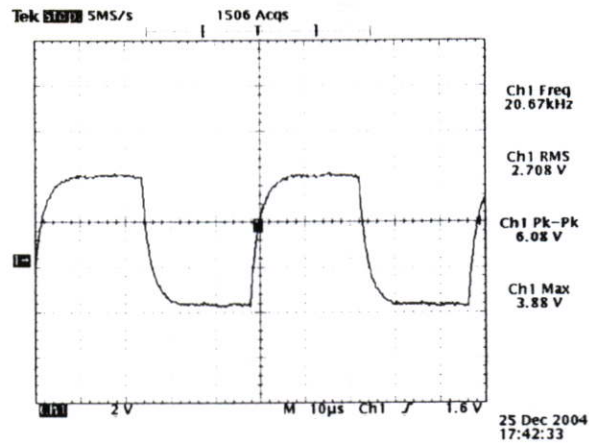
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



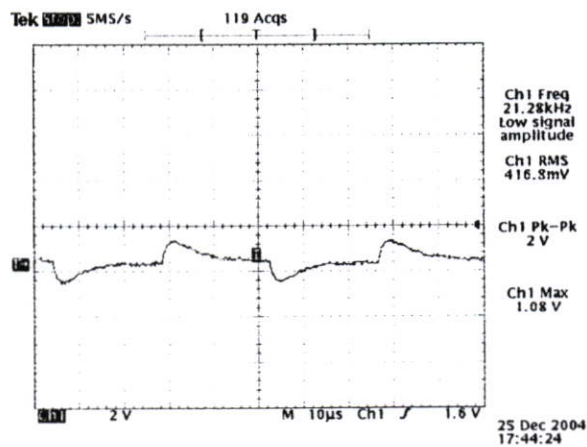
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.12 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.44 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

4. ใช้น้ำขโมล FRP Hot Stick ให้เป็ยก



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

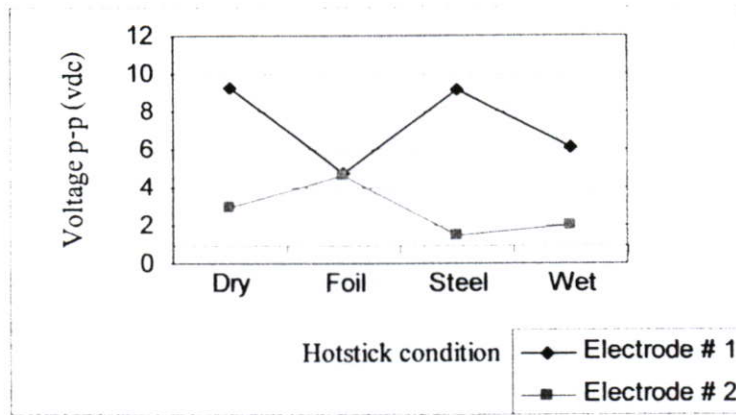
แรงดันด้าน Electrode 1 = 6.08 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 2 Vp-p และหลอดไฟสีแดง
ติด แสดงผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

สรุปผลการทดลองที่ 2

นำค่าแรงดัน (Voltage p-p) ที่วัดได้จากทางด้าน Electrode # 1 และ Electrode # 2 มา plot
กราฟเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

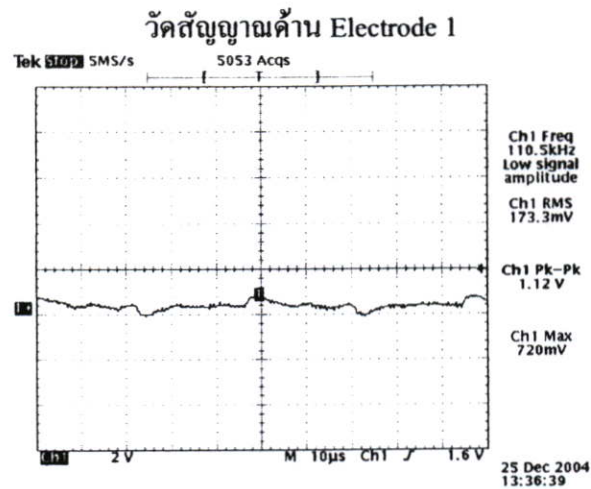
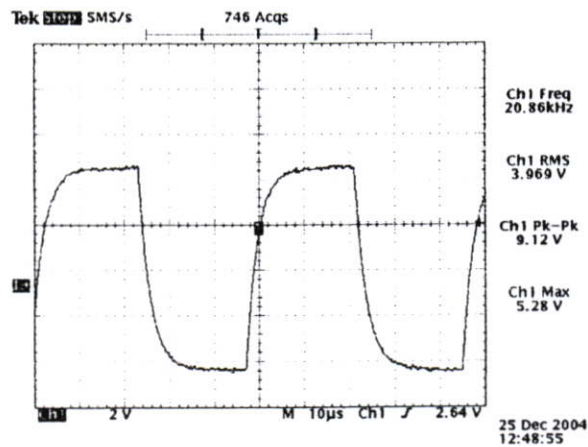
ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดลองที่ 2

Voltage P-P (Vdc)	Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet
	Electrode #1	9.28	4.72	9.12	6.08
	Electrode #2	2.96	4.64	1.44	2
	Δ Voltage	6.24	0.08	7.68	4.08



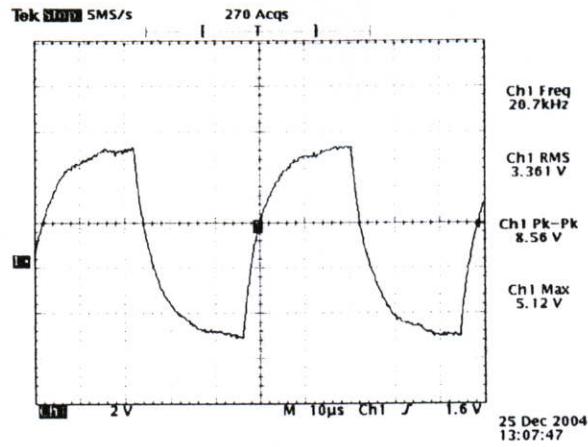
5.4 การทดลองที่ 3 แผ่นตัวนำสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ด้านละ 3 แผ่นเรียงต่อกัน จุดต่อสาย Electrode 1 และ Electrode 2 อยู่ด้านเดียวกัน

1. ใช้ FRP Hot Stick แบบผิวแห้ง

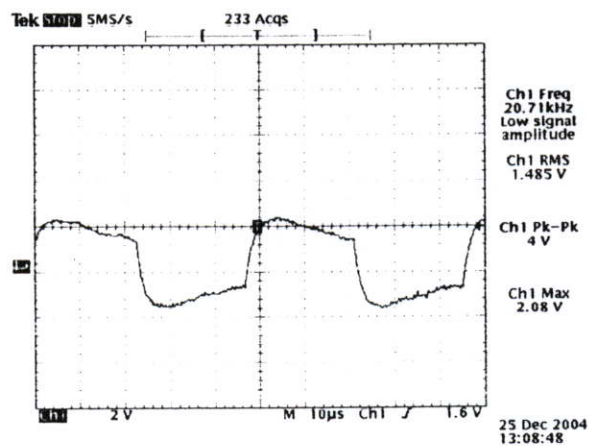


แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.12 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.12 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

2. ใช้ Foil กว้าง 1 เซนติเมตร พันรอบ FRP Hot Stick ให้ห่างกัน 7.6 เซนติเมตร



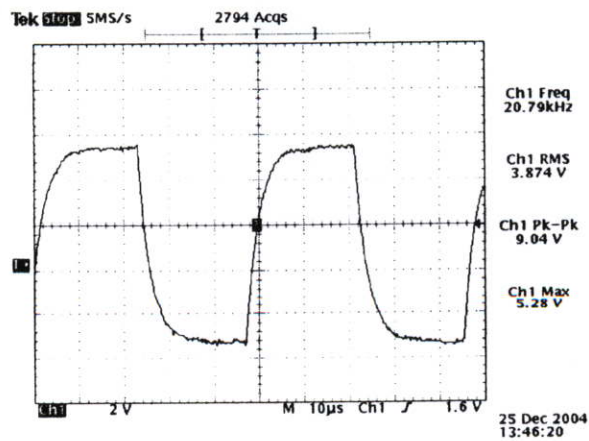
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



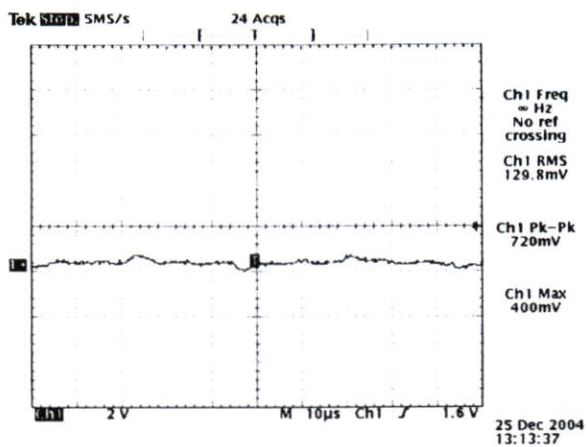
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 8.56 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 4 Vp-p และหลอดไฟสีแดง
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

3. ใช้แท่งเหล็กตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปใน FRP Hot Stick



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1

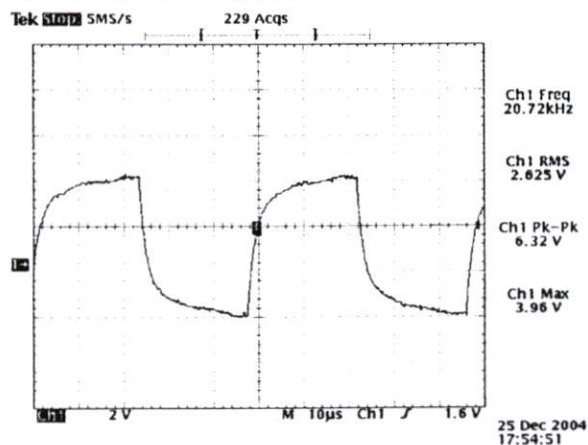


วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

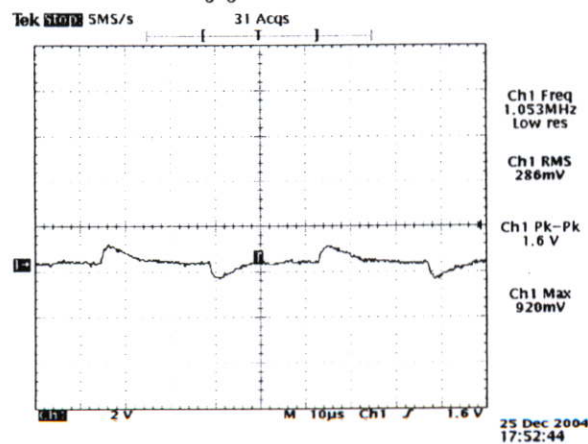
แรงดันด้าน Electrode 1= 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2= 720 mV และหลอดไฟสีเขียว

ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

4. ใช้น้ำขโมม FRP Hot Stick ให้เปียก



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1= 6.32 Vp-p และด้าน Electrode 2= 1.6 Vp-p และหลอดไฟสีแดง

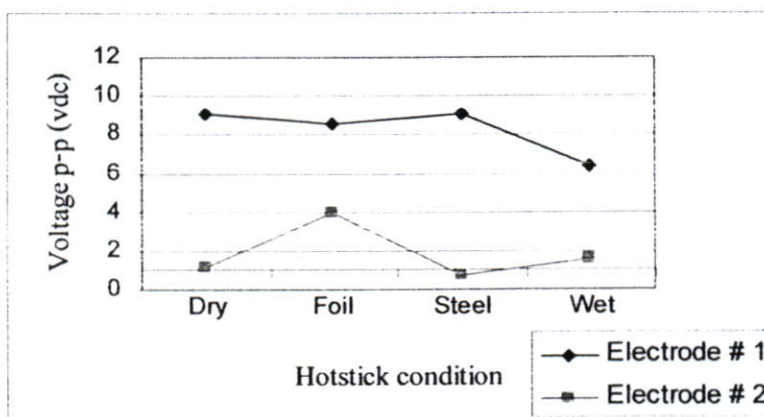
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองพบว่าตัวเครื่องทดสอบจะแสดงผลว่า Fail (ไฟแดงกระพริบ) เมื่อ FRP Hot Stick มีแผ่นตัวนำ (Foil) พันรอบ และเมื่อผิวของ FRP Hot Stick เปียกขึ้นนำค่าแรงดัน ที่วัดได้จากทางด้าน Electrode1 และ Electrode2 มา plot กราฟเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดลองที่ 3

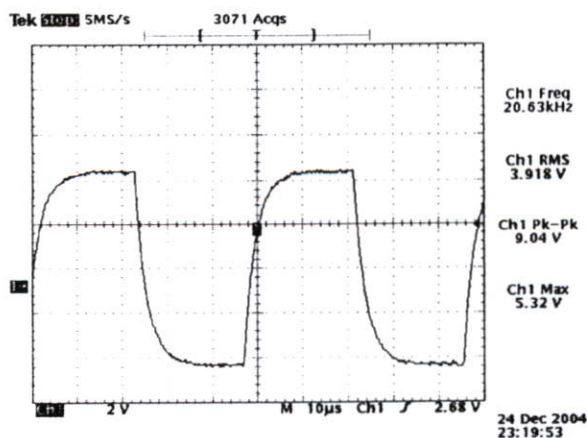
Voltage P-P (Vdc)	Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet
	Electrode #1		9.12	8.56	9.04
Electrode #2		1.12	4	0.7	1.6
Δ Voltage		8	4.56	8.34	44.72



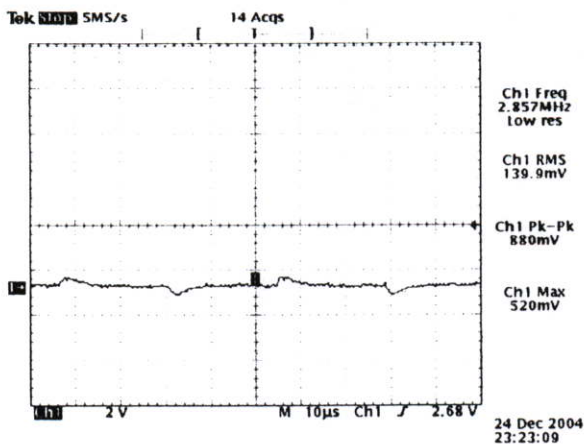
5.4 การทดลองที่ 4

แผ่นตัวนำสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ด้านละ 3 แผ่นเรียงต่อกัน จุดต่อสาย Electrode r1 และ Electrode 2 อยู่ก้นละด้าน

1. เริ่มเปิดเครื่อง



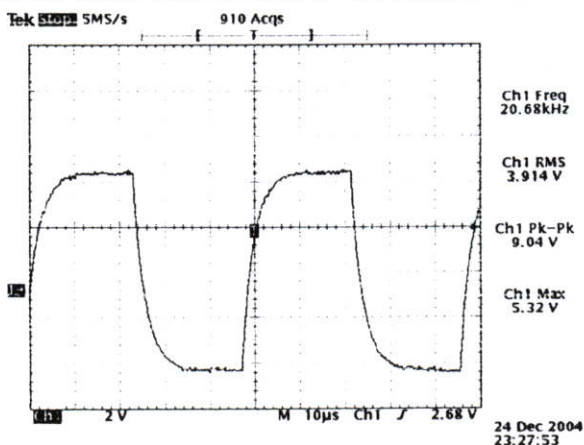
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



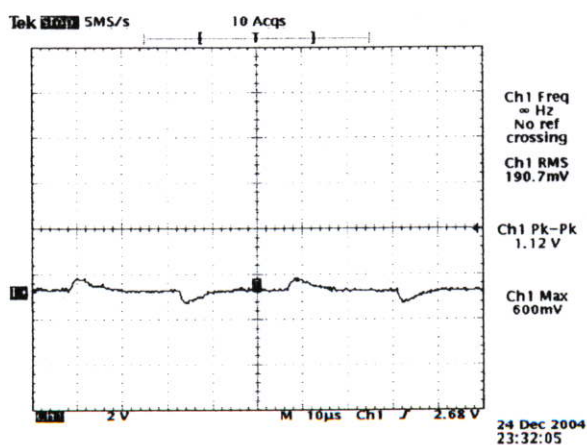
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 880 mV และหลอดไฟสีเขียวติด แสดงผลการทดสอบว่าผ่าน

2. ใช้ FRP Hot Stick แบบผิวแห้งเข้าไประหว่าง Electrode ทั้งสอง



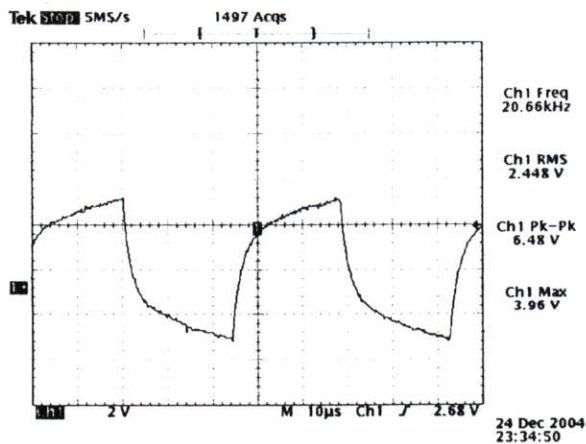
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



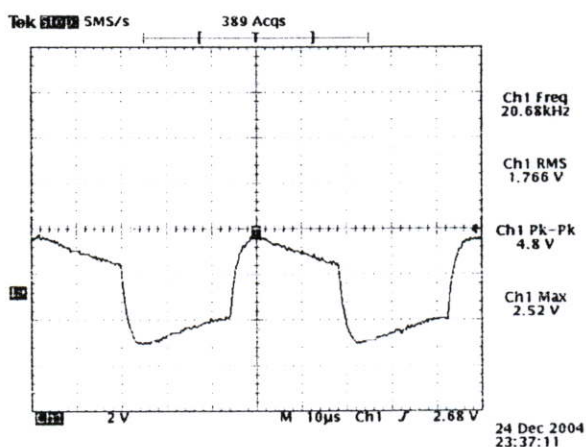
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.12 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดงผลการทดสอบว่าผ่าน

3. ใช้ Foil กว้าง 1 เซนติเมตร พันรอบ FRP Hot Stick ให้ห่างกัน 7.6 เซนติเมตร



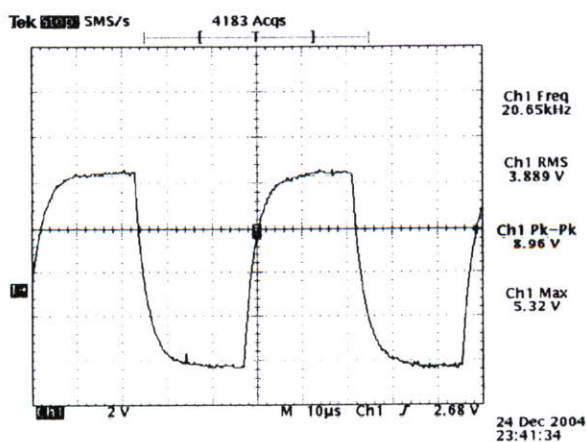
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



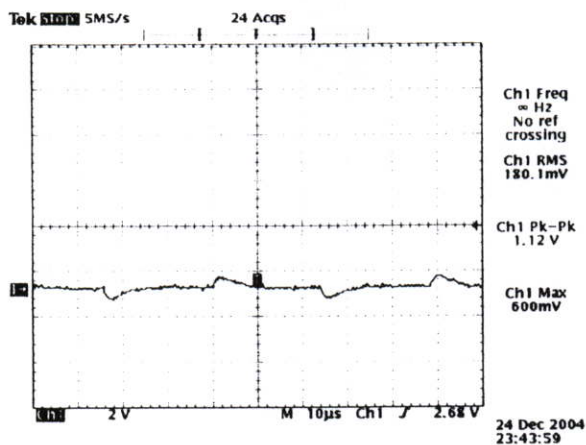
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 5.48 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 4.8 Vp-p และหลอดไฟสีแดง
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

4. ใช้แท่งเหล็กตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปใน FRP Hot
Stick



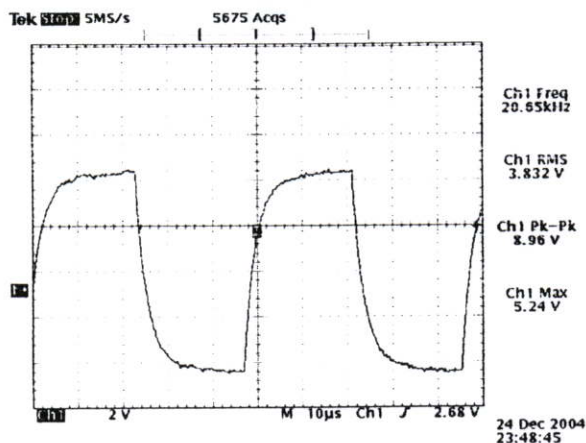
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



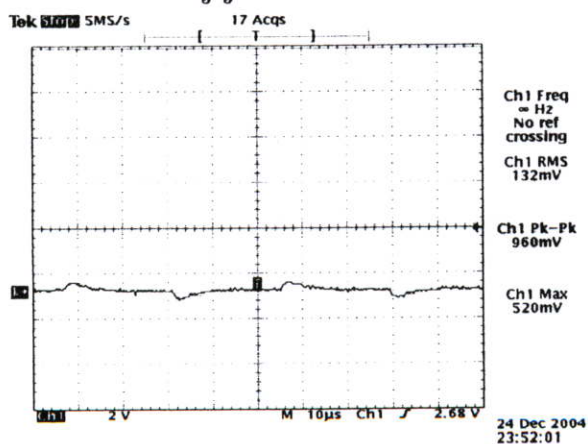
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 8.96 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.12 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

5. ใช้น้ำขี้โลมผิว FRP Hot Stick ให้เป็ยก



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



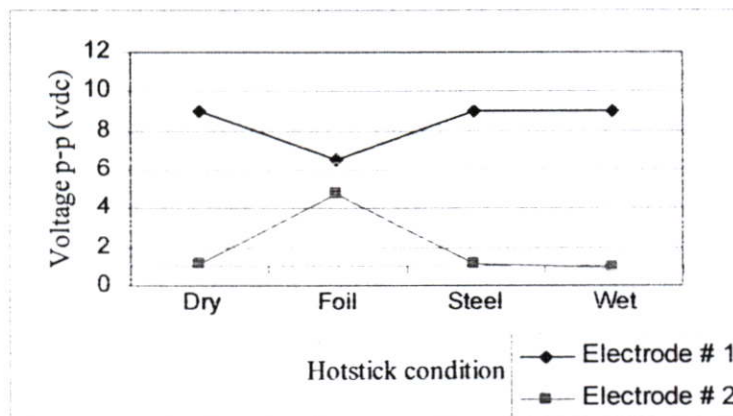
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 8.96 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 960mV และหลอดไฟสีเขียวติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

สรุปผลการทดลองที่ 4 จากการทดลองพบว่าตัวเครื่องทดสอบจะแสดงผลว่า Fail (ไฟแดง กระทบ) เมื่อ FRP Hot Stick มีแผ่นตัวนำ (Foil) พันรอบเพียงอย่างเดียว นำค่าแรงดัน (Voltage p-p) ที่วัดได้จากทางด้าน Electrode # 1 และ Electrode # 2 มา plot กราฟเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.4 สรุปผลการทดลองที่ 4

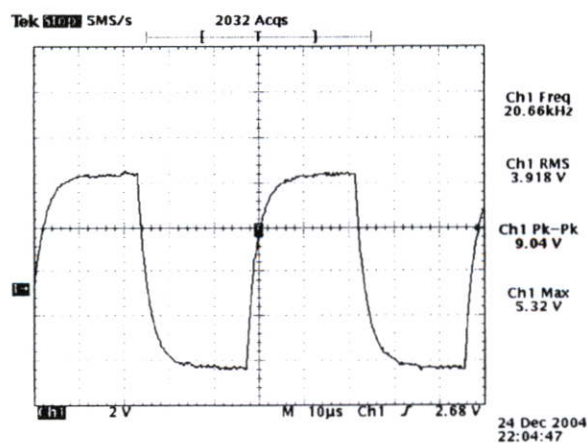
Voltage P-P (Vdc)	Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet
	Electrode #1	9.04	6.84	8.96	8.96
	Electrode #2	1.12	4.8	1.12	0.96
	Δ Voltage	7.92	1.68	7.84	8



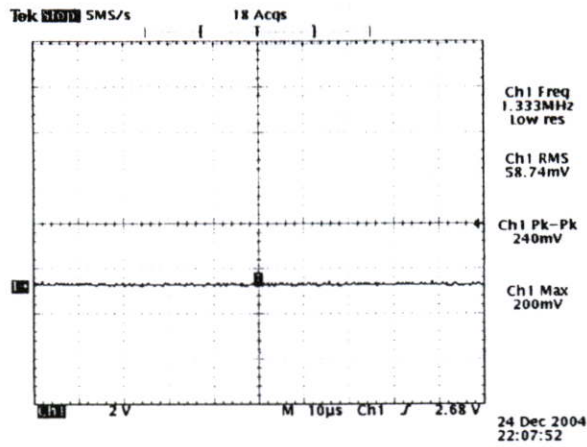
5.5 การทดลองที่ 5

แผ่นตัวนำสแตนเลสรูปวงกลม ด้านละ 3 แผ่นเรียงต่อกัน จุดต่อสาย Electrode 1 และ Electrode 2 อยู่ด้านเดียวกัน

1. เริ่มเปิดเครื่อง



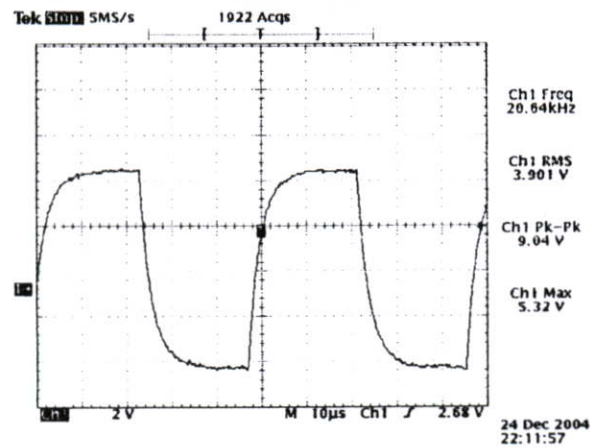
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



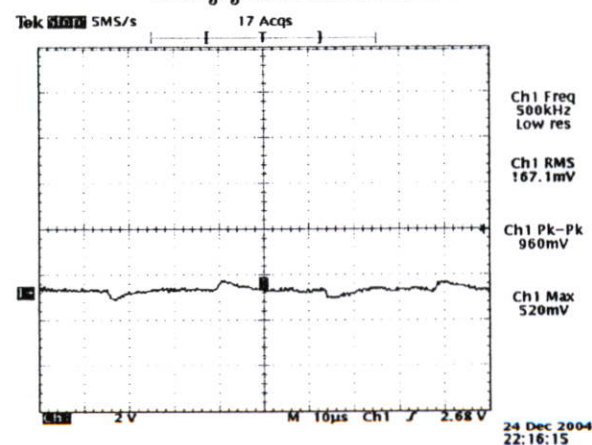
วัดสัญญาณค่าน Electrode 2

แรงดันค่าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และค่าน Electrode 2 = 240 mV และหลอดไฟสีเขียว
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

2. ใช้ FRP Hot Stick แบบผิวแห้งเข้าไประหว่าง Electrode ทั้งสอง



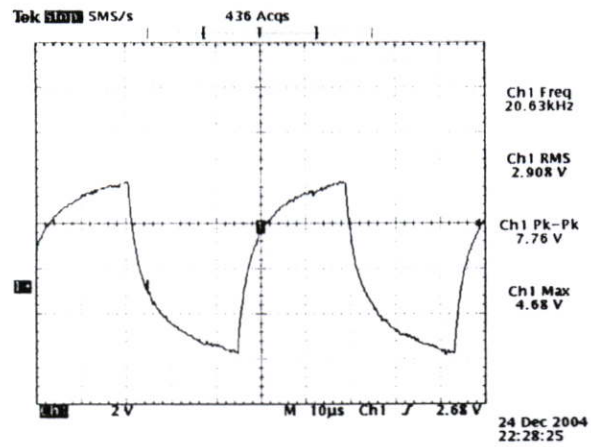
วัดสัญญาณค่าน Electrode 1



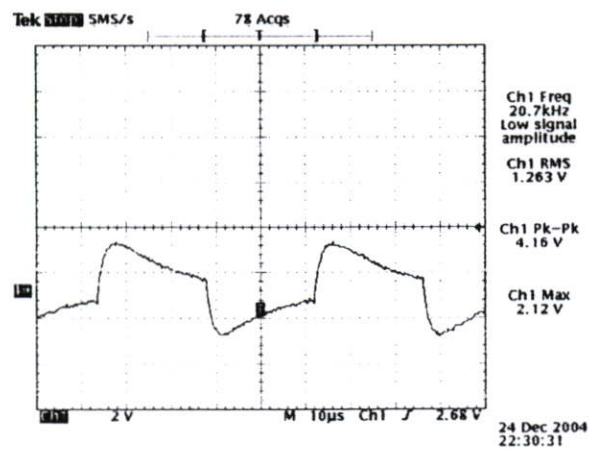
วัดสัญญาณค่าน Electrode 2

แรงดันค่าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และค่าน Electrode 2 = 960mV และหลอดไฟสีเขียว
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

3. ใช้ Foil กว้าง 1 เซนติเมตร พันรอบ FRP Hot Stick ให้ห่างกัน 7.6 เซนติเมตร



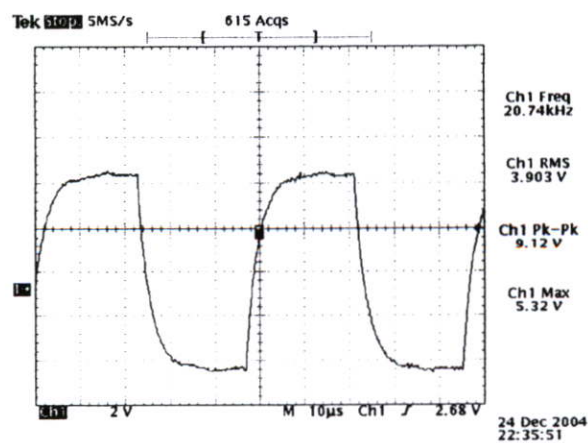
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



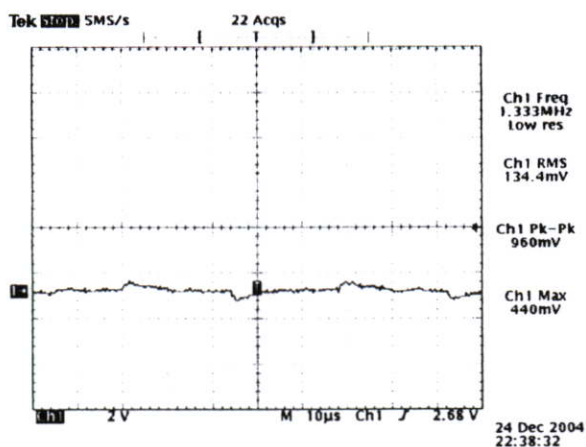
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 7.76 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 4.16 Vp-p และหลอดไฟสี
แดงติด แสดง ผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

4. ใช้แท่งเหล็กคว้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปใน FRP Hot
Stick



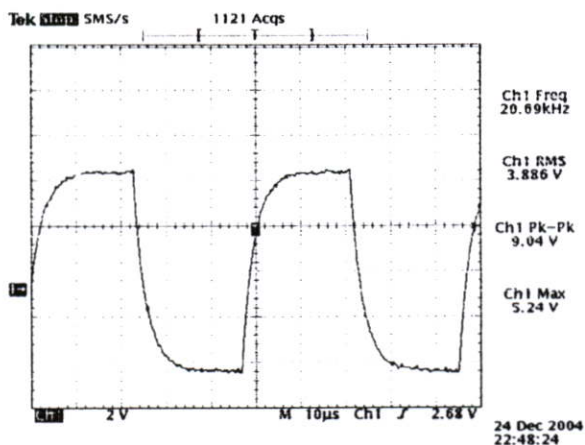
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



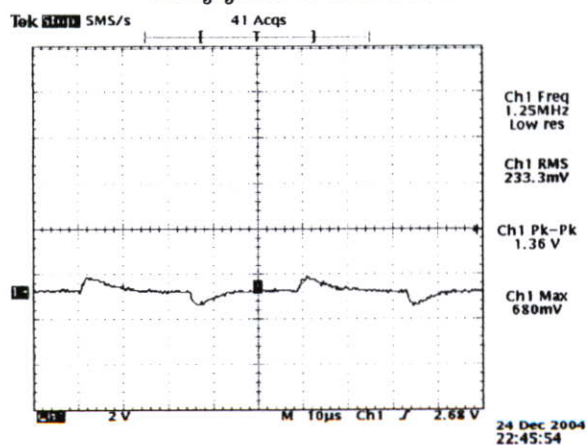
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.12 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 960mV และหลอดไฟสีเขียว
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

5. ใช้น้ำขโมย FRP Hot Stick ให้เปียก



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

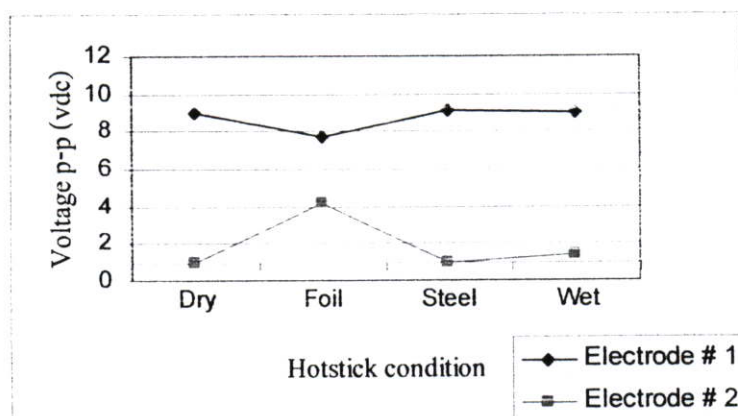
แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.36 Vp-p และหลอดไฟสีเขียวติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

สรุปผลการทดลองที่ 5

จากการทดลองพบว่าตัวเครื่องทดสอบจะแสดงผลว่า Fail (ไฟแดงกระพริบ) เมื่อ FRP Hot Stick มีแผ่นตัวนำ (Foil) พันรอบเพียงอย่างเดียวมีค่าแรงดัน (Voltage p-p) ที่วัดได้จากทางด้าน Electrode # 1 และ Electrode # 2 มา plot กราฟเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดลองที่ 5

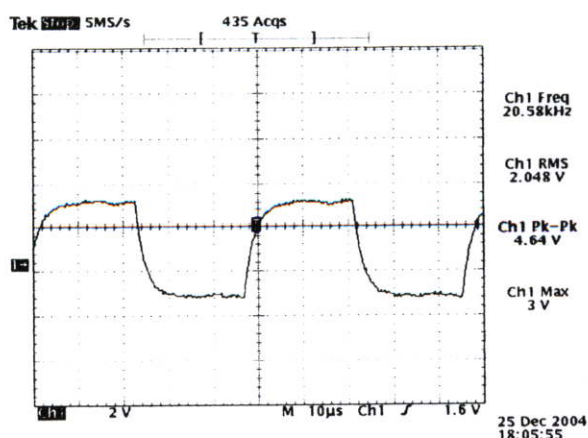
Voltage P-P (Vdc)	Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet
	Electrode #1	9.04	7.76	9.12	9.04
	Electrode #2	0.96	4.16	0.96	1.36
	Δ Voltage	8.08	3.6	8.16	7.68



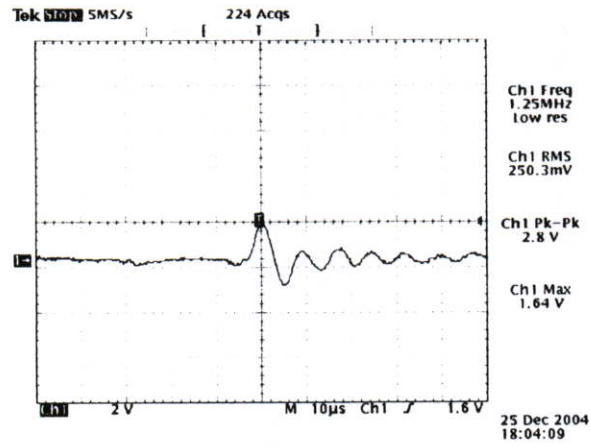
5.6 การทดลองที่ 6

แผ่นตัวนำสแตนเลสรูปวงกลม ด้านละ 3 แผ่นเรียงต่อกัน จุดต่อสาย Electrode 1 และ Electrode 2 อยู่กนละด้าน

1. เริ่มเปิดเครื่อง



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1

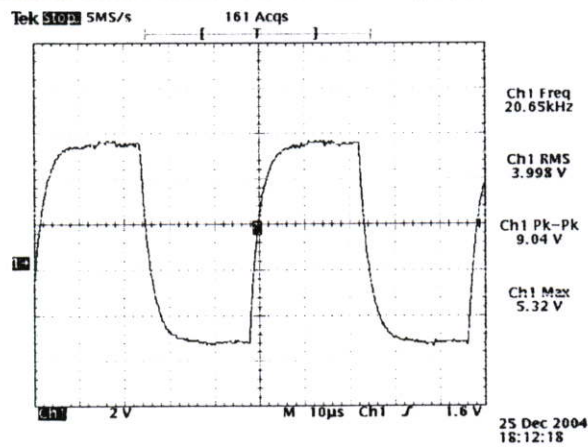


วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

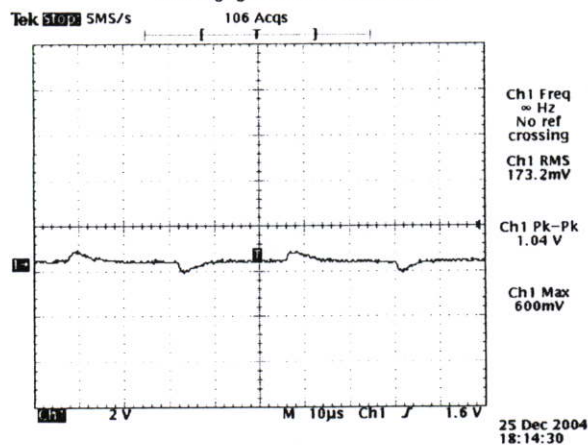
แรงดันด้าน Electrode 1 = 4.64 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 2.8 Vp-p และหลอดไฟสีเขียว

ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

2. ใช้ FRP Hot Stick แบบผิวแห้งเข้าไประหว่าง Electrode ทั้งสอง



วัดสัญญาณด้าน Electrode

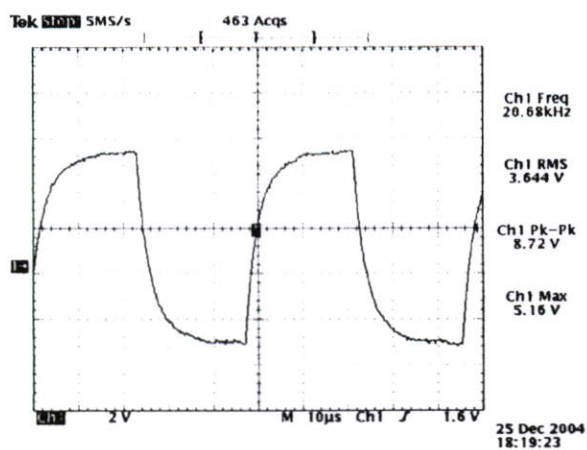


วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

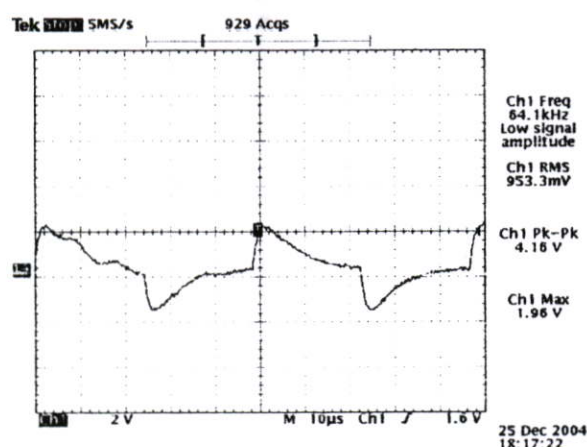
แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 1.04 Vp-p และหลอดไฟสีเขียว

ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

3. ใช้ Foil กว้าง 1 เซนติเมตร พันรอบ FRP Hot Stick ให้ห่างกัน 7.6 เซนติเมตร



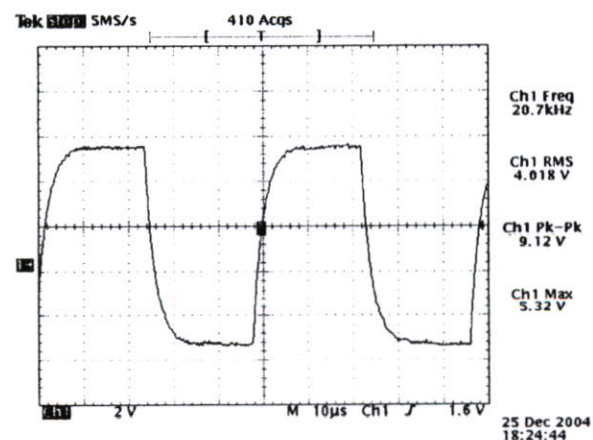
วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



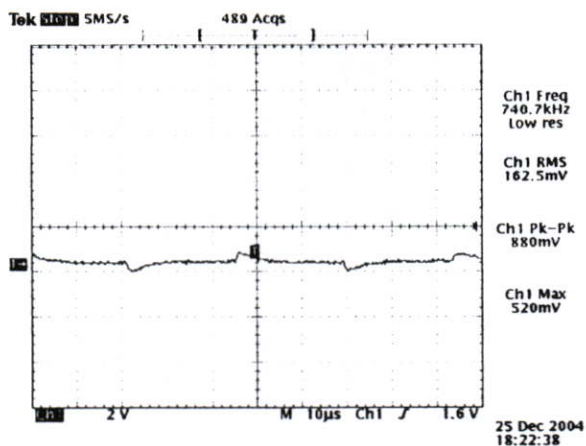
วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 8.72 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 4.16 Vp-p และหลอดไฟสีแดงติด แสดง ผลการทดสอบว่าไม่ผ่าน

4. ใช้แท่งเหล็กตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เสียบเข้าไปใน FRP Hot Stick



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1

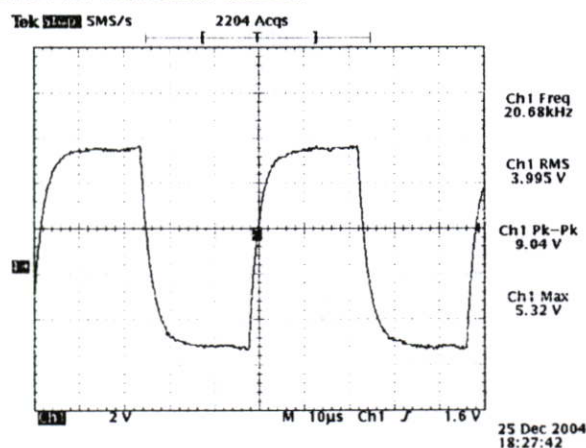


วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

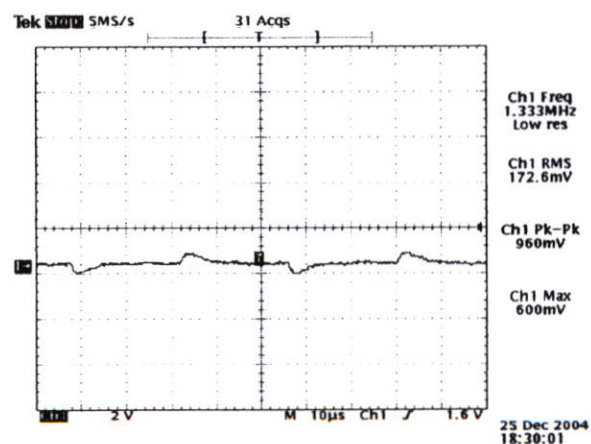
แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.12 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 880mV และหลอดไฟสีเขียว

ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

5. ใช้น้ำขโมม FRP Hot Stick ให้เป็ยก



วัดสัญญาณด้าน Electrode 1



วัดสัญญาณด้าน Electrode 2

แรงดันด้าน Electrode 1 = 9.04 Vp-p และด้าน Electrode 2 = 960mV และหลอดไฟสีเขียว

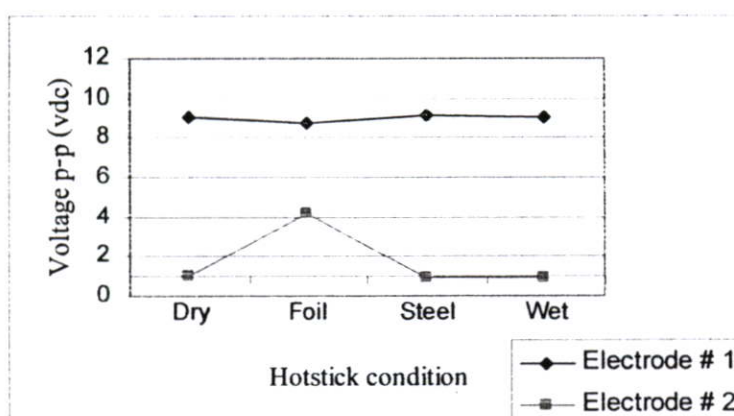
ติด แสดง ผลการทดสอบว่าผ่าน

สรุปผลการทดลองที่ 6

จากการทดลองพบว่าตัวเครื่องทดสอบจะแสดงผลว่า Fail (ไฟแดงกระพริบ) เมื่อ FRP Hot Stick มีแผ่นตัวนำ (Foil) พันรอบเพียงอย่างเดียว นำค่าแรงดัน (Voltage p-p) ที่วัดได้จากทางด้าน Electrode # 1 และ Electrode # 2 มา plot กราฟเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.6 สรุปผลการทดลองที่ 6

Voltage P-P (Vdc)	Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet
	Electrode #1	9.04	8.72	9.12	9.04
	Electrode #2	1.04	4.16	0.88	0.96
	Δ Voltage	8	4.56	8.24	8.08



5.7 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้ง 6 การทดลองที่ได้นั้น สรุปได้ว่าตัวเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick ที่เป็นเครื่องต้นแบบนี้ จะแสดงผลออกมาว่าตัวอย่าง FRP Hot Stick สภาพต่างๆที่นำมาทดสอบนั้นจะทดสอบ เมื่อสภาพผิวของ FRP Hot Stick มีผิวที่แห้งสนิท และไม่มีตัวนำอยู่ที่บริเวณผิว ซึ่งค่าของแรงดันที่วัดได้จาก Electrode ทั้งสองจะมีค่าที่แตกต่างกันมาก หรือกล่าวได้ว่าแรงดันไม่สามารถส่งผ่าน FRP Hot Stick ที่มีผิวแห้งสะอาดได้นั่นเอง

ส่วนการแสดงผลของตัวเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick ว่า Fail (ไฟแดงติด) นั้นจากข้อมูลส่วนมากของผลการทดลองนั้นจะสังเกตได้ว่าส่วนใหญ่แล้ว ถ้าผิวของ FRP Hot Stick เปียกชื้นหรือมีตัวนำอยู่ที่ผิวแล้ว ค่าของแรงดันที่วัดได้จาก Electrode ทั้งสองจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ตัวเครื่องจะแสดงผลว่า Fail ซึ่งผลดังกล่าวนี้อาจบอกได้ว่าแรงดันสามารถที่จะส่งผ่าน FRP Hot Stick ที่มีผิวเปียกชื้นหรือมีตัวนำอยู่ได้นั่นเอง

และในส่วนของรูปร่างตัวแผ่นสแตนเลสที่นำมาใช้เป็น Electrode รูปร่างต่าง ๆ นั้น อาจจะพอสังเกตได้ว่า แผ่นสแตนเลสที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดด้านละ 1 แผ่น ให้ผลการทดลองที่ชัดเจนที่สุด และยังเป็นรูปแบบที่ติดตั้งใช้งานได้สะดวกที่สุด

จากการทดลองและสังเกตรวบรวมผลต่างๆของเครื่องตรวจสอบ FRP Hot Stick พบว่า ถ้า FRP Hot Stick อยู่ในสภาพที่แห้งสะอาด ไม่มีสภาพความนำไฟฟ้าที่ผิว ก็จะเป็นการช่วยยืนยันความพร้อมใช้งานของตัว FRP Hot Stick ที่จะนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย แต่ในทางตรงกันข้ามถ้า FRP Hot Stick อยู่ในสภาพที่เปียกชื้นไม่สะอาด และมีสภาพความนำไฟฟ้าที่ผิว ตัวเครื่องตรวจสอบจะส่งสัญญาณเตือนให้รับทราบว่า FRP Hot Stick นั้นไม่อยู่ในสภาพที่จะนำไปใช้งานได้ จำเป็นต้องนำไปทำความสะอาด ทำให้แห้งสนิท หรือทำการปรับปรุงซ่อมแซมอย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด แล้วนำกลับมาตรวจสอบใหม่อีกครั้งจนผ่านแล้วจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ อย่างปลอดภัย

ส่วนในด้านของตัวเครื่องมือตรวจสอบ FRP Hot Stick ที่เป็นเครื่องค้นแบบนี้ยังจะต้องมีการนำไปปรับปรุงพัฒนาอีกหลายอย่าง ทั้งในด้านของรูปแบบโครงสร้าง การทำงานของวงจร การเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆที่มีประสิทธิภาพเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองหลายๆครั้ง ที่ผ่านมายังมีบางครั้งที่ตัวเครื่องมือ เกิดความผิดพลาดขึ้นเอง เช่นการแสดงผล การสร้างสัญญาณที่ไม่คงที่ และนอกจากนี้ถ้าประยุกต์ตัวเครื่องมือนี้ให้สามารถยืดหยุ่นหรือมีหลายรูปแบบสำหรับใช้งานก็จะสามารถนำไปใช้ได้กับอุปกรณ์อื่นๆ อีกที่ไม่ใช่ FRP Hot Stick อย่างเดียว

จากการทดลองตัวตรวจสอบค้นแบบโดยใช้ทดสอบ FRP Hot Stick ที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงภาคสนามเป็นงาน Switching 230 Kv. Switchyard De-Energize 230 Kv. Main Bus1A เมื่อวันที่ 12/11/2548 ที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงโรงไฟฟ้าบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยเป็นการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยผลการทดสอบสามารถตรวจสอบได้ตรงกับเครื่องมือที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ตรวจพบ FRP Hot Stick ที่อยู่ในสภาพที่ไม่ปลอดภัย จำนวน 3 ท่อน โดย FRP Hot Stick ที่ตรวจสอบไม่ผ่านได้นำไปทดสอบตามมาตรฐาน IEEE Std 978-1984 "IEEE Guide for In-Service Maintenance and Electrical Testing of Live-Line Tools" โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

หัวข้อการทดสอบมี 2 หัวข้อคือ High-Potential AC Test และ AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test ขั้นตอนการทดสอบและการประเมินผลการทดสอบของทั้ง 2 หัวข้อ ได้ถูกกล่าวไว้อย่างละเอียดพร้อมทั้งมีตัวอย่างการทดสอบที่ได้ทดสอบกับ Hot Stick จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่มีสภาพผิวแตกต่างกันคือผ่านการซ่อมผิวสีใหม่ สภาพใช้ปฏิบัติงานตามปกติ และรอการซ่อมผิวสีใหม่ ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า High-Potential AC Test เป็นการทดสอบที่สามารถบ่งบอกถึงสภาพฉนวนของผิว Hot Stick ได้ดีกว่า AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test แต่ทั้งนี้ หัวข้อการทดสอบและวิธีการทดสอบที่ได้กล่าวไว้เป็นเพียงแนวทางที่มาตรฐานแนะนำไว้เท่านั้น

ห้องทดสอบแต่ละแห่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงหัวข้อการทดสอบหรือปรับปรุงวิธีการทดสอบให้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้ การทดสอบมีดังนี้

5.8 ภาพรวมการทดสอบ

5.8.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อทดสอบสภาพฉนวนของผิว Hot Stick ก่อนที่จะนำ Hot Stick นั้นเข้าใช้งาน หรือ ก่อนและหลังการบำรุงรักษาว่ามีสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ เมื่อใดถึงจะต้องทดสอบ ความถี่ในการทดสอบ FRP Hot Stick จะขึ้นอยู่กับ

1. สภาพการใช้งาน
2. สภาพแวดล้อมที่นำไปใช้
3. การดูแลรักษา
4. การวางแผนการทดสอบของแต่ละหน่วยงาน

5.8.2 สิ่งที่ต้องพิจารณาจำเป็นต้องทดสอบ

สิ่งที่จะต้องพิจารณาจำเป็นต้องนำ FRP Hot Stick ที่ใช้งานมาทำการทดสอบทางไฟฟ้าคือ

1. FRP Hot Stick สิ้นขณะใช้งาน
2. ไม่ผ่านการทดสอบด้วยเครื่อง Hot Stick Tester
3. ผิวของ Hot Stick มีรอยข่วนลึก แหว่ง เป็นร่อง หรือ ผิวสูญเสียความมัน
4. Hot Stick เสียรูปทางกล เช่น โค้งงอ มีรอยแตก
5. ผ่านการทำความสะอาดด้วยสบู่หรือผงซักฟอก เนื่องจากทั้งสบู่และผงซักฟอกจะทิ้งสารตกค้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าไว้ที่ผิวของ Hot Stick นอกจากนั้น ยังอาจทำให้ผิวของ Hot Stick สูญเสียความมัน
6. การเก็บรักษาหรือการใช้งานในสภาวะอากาศที่ไม่เหมาะสม
7. Overstress ทางไฟฟ้า เช่น มีรอย Flashover ที่ผิว รอยไหม้ผิวพองบวมจากความร้อน ผ่านการบำรุงรักษา ซ่อมแซม เคลือบเงา (Wax)

5.8.3 มาตรฐานในการทดสอบ

ในการทดสอบ Hot Stick ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std.978-1984 “IEEE Guide for In-Service Maintenance and Electrical Testing of Live-Line Tools”

5.8.4 หัวข้อในการทดสอบ

หัวข้อการทดสอบที่มาตรฐานแนะนำไว้มี 2 หัวข้อคือ

1. High-Potential AC Test
2. AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test

5.9 เมื่อทดสอบด้วยตัวตรวจสอบ FRP Hot Stick ในภาคสนามแล้วผลการทดสอบไม่ผ่าน จะต้องนำ FRP Hot Stick มาทดสอบแบบ High-Potential AC Test

High-Potential AC Test เป็นการทดสอบทางไฟฟ้าด้วยแรงดันกระแสสลับขนาด 75 kV บนผิว Hot Stick ที่เปียกแล้วทำการวัดค่า Leakage Current ตามผิว FRP Hot Stick

5.9.1 วัตถุประสงค์ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบบนผิวของ FRP Hot Stick ที่เปียกขึ้นเพื่อมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบคือ

1. การทดสอบสภาพฉนวนของผิว Hot Stick ว่ายังมีสภาพคืออยู่หรือไม่จะต้องทำในสภาวะที่เปียก เนื่องจากได้มีการศึกษาพบว่า Hot Stick ที่มีสภาพผิวไม่ดีจะไม่ผ่านการทดสอบที่สภาวะชื้นหรือเปียก แต่กลับผ่านการทดสอบที่สภาวะแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า Hot Stick ที่มีสภาพผิวสกปรกแต่ยังคงความมันอยู่ จะมีค่า Leakage Current สูง แต่ยังคงอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ ในทางกลับกัน Hot Stick ที่มีสภาพผิวสะอาด แต่สูญเสียความมันจะไม่ผ่านการทดสอบที่สภาวะเปียก ดังนั้นการทดสอบที่สภาวะเปียกจึงเป็นการตัดสินใจว่า Hot Stick นั้นยังคงมีความปลอดภัยสำหรับการใช้งานหรือไม่

2. เพื่อเป็นการทดสอบว่าที่ผิวของ Hot Stick มีสารตกค้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่เกิดภายหลังจากการทำความสะอาด Hot Stick ด้วยสบู่หรือผงซักฟอกอยู่หรือไม่

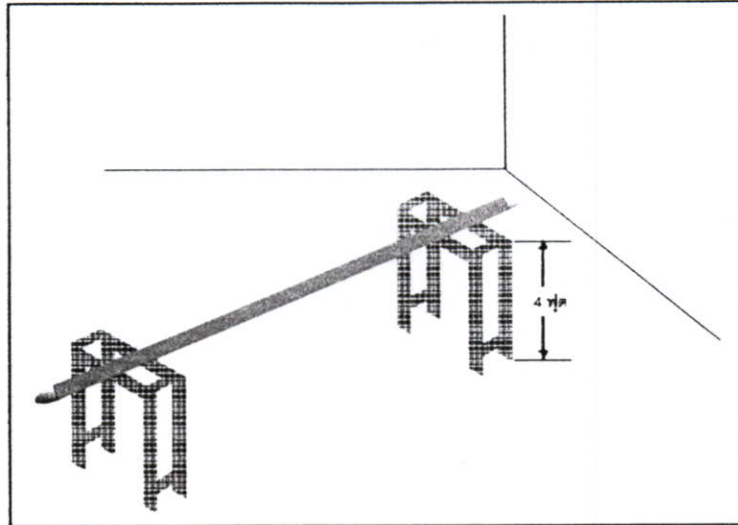
3. เพื่อเป็นการจำลองสถานการณ์การใช้งาน Hot Stick ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูงหรือ สถานการณ์ที่นำ Hot Stick ออกจากที่เก็บที่มีอุณหภูมิต่ำ ออกไปใช้งานในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งจะเกิดหยดน้ำบางๆ จากการควบแน่นเกาะที่ผิวของ Hot Stick

5.9.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 75 kV
2. Guard Electrode หรือ Corona Ring
3. Resistive Shunt ขนาด $10\text{ k}\Omega$ สำหรับวัด Leakage Current
4. Coaxial Cable
5. Voltmeter
6. สปริง และ น้ำกลั่น

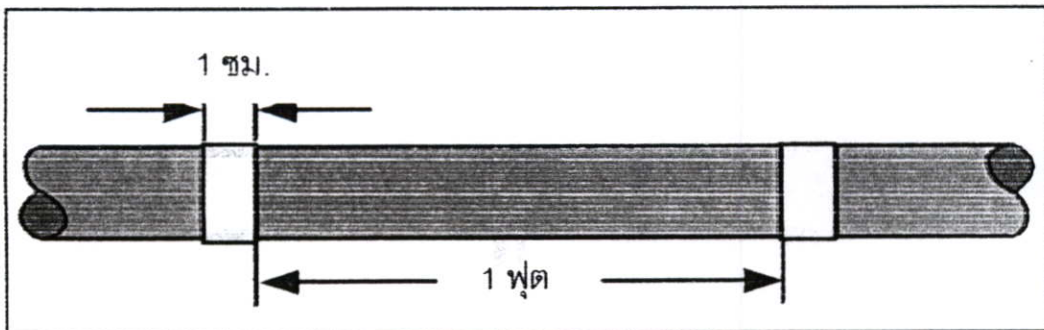
5.9.3 วิธีทดสอบ

1. วาง FRP Hot Stick ในแนวอนบนวัสดุฉนวนสูงจากพื้นอย่างน้อย 4 ฟุต



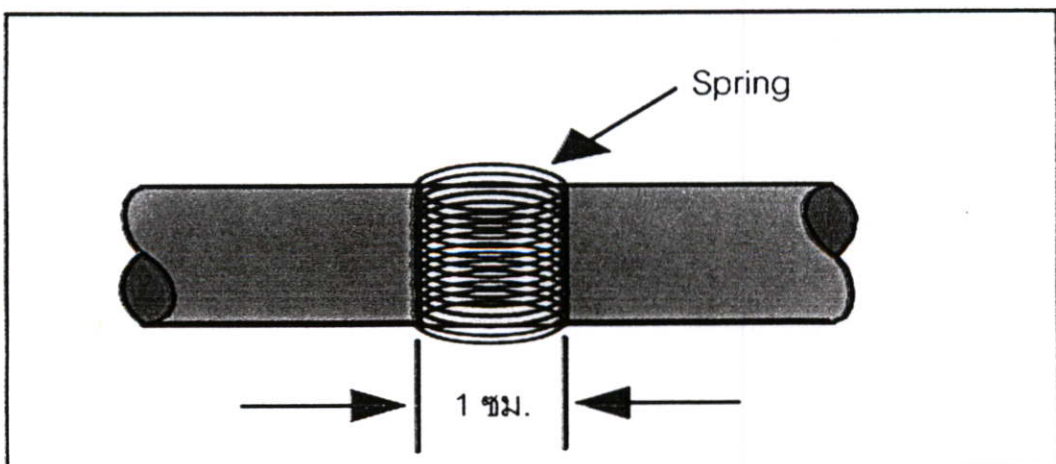
รูปที่ 5.1 การจัดวาง Hot Stick เพื่อเตรียมทดสอบ

2. ใช้ Tape Foil กว้าง 1 ซม. พันรอบ Hot stick เพื่อเป็น Electrode สำหรับป้อนไฟ โดยเว้นระยะห่างของ Tape Foil แต่ละจุด 1 ฟุต จุดแรกให้เริ่มจากปลายโลหะด้านหนึ่งของ Electrode



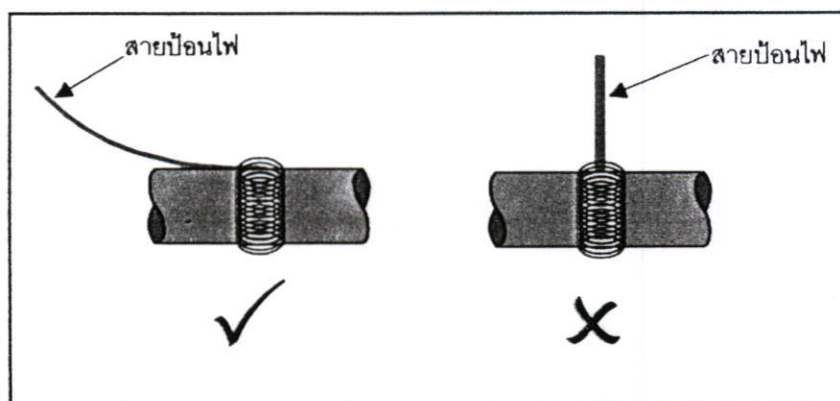
รูปที่ 5.2 การเตรียม Electrode สำหรับทดสอบ ณ ช่วงใดๆ

3. ใช้สปริงรัดบน Tape Foil อีกชั้นหนึ่งเพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้า (Stress) ที่ขอบของ Tape Foil

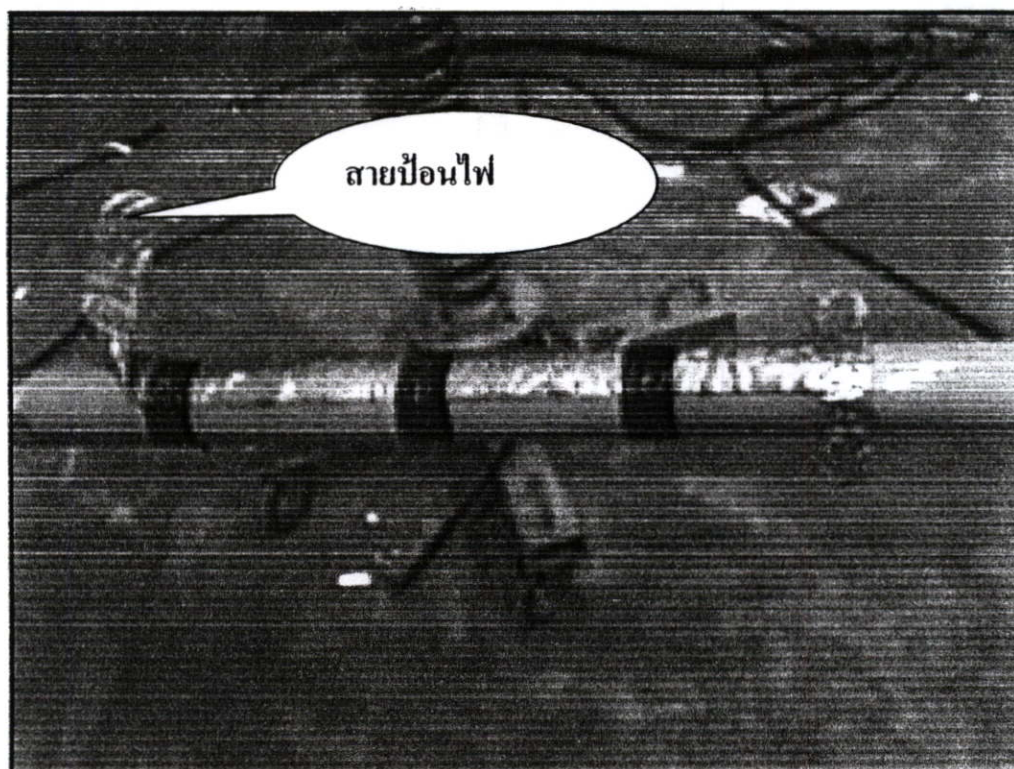


รูปที่ 5.3 แสดงการใช้สปริงรัดบน Tape Foil

4. ต่อสายป้อนไฟเข้ากับด้านหนึ่งของ Electrode โดยสายป้อนไฟควรมีขนาดไม่เล็กกว่า 10 mm^2 หรืออาจใช้แถบทองแดงกว้างประมาณ 1 นิ้ว แทนเพื่อลด Corona ในสายป้อนไฟ และการเดินสายป้อนไฟควรเดินให้ขนาดกับ Hot Stick เพื่อลด Stress ของจุดต่อ (จุดป้อนไฟ)

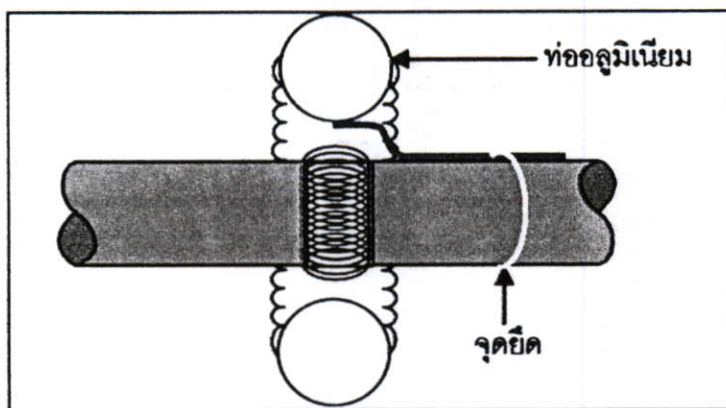


รูปที่ 5.4 แสดงการต่อสายป้อนไฟที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง

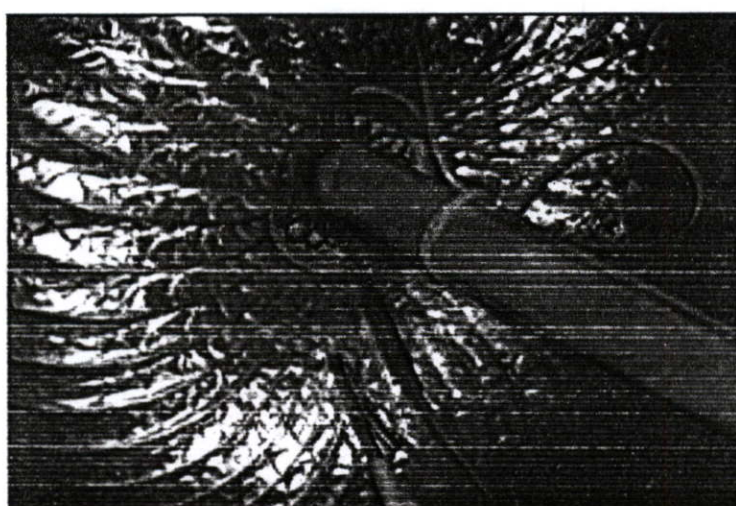


รูปที่ 5.5 แสดงการเดินสายป้อนไฟเข้ากับ Electrode

5. ที่ระยะห่าง 1 ฟุตจาก Electrode ในชั้นตอนที่ 4 ให้ทำจุดพัน Tape Foil เช่นเดียวกัน (จุดที่ 2) ซึ่งใช้ทำเป็นจุดวัดค่า Leakage Current ให้ใช้ Guard Electrode (Corona Ring) วางครอบ Spring Electrode อีกชั้นหนึ่งเพื่อลดผลของ Stray Capacitance และ Corona Current ลงให้มีค่าน้อยที่สุด

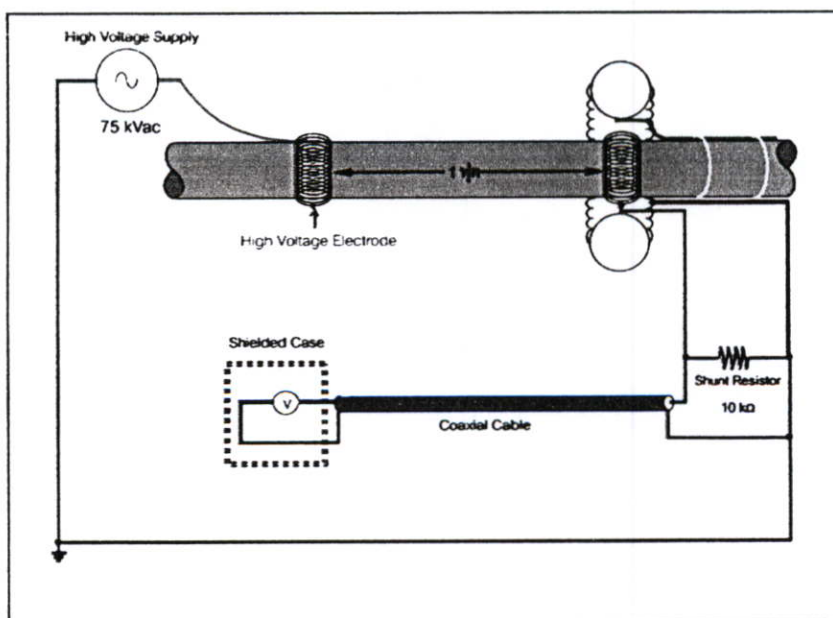


รูปที่ 5.6 แสดงภาพตัดของ Guard Electrode

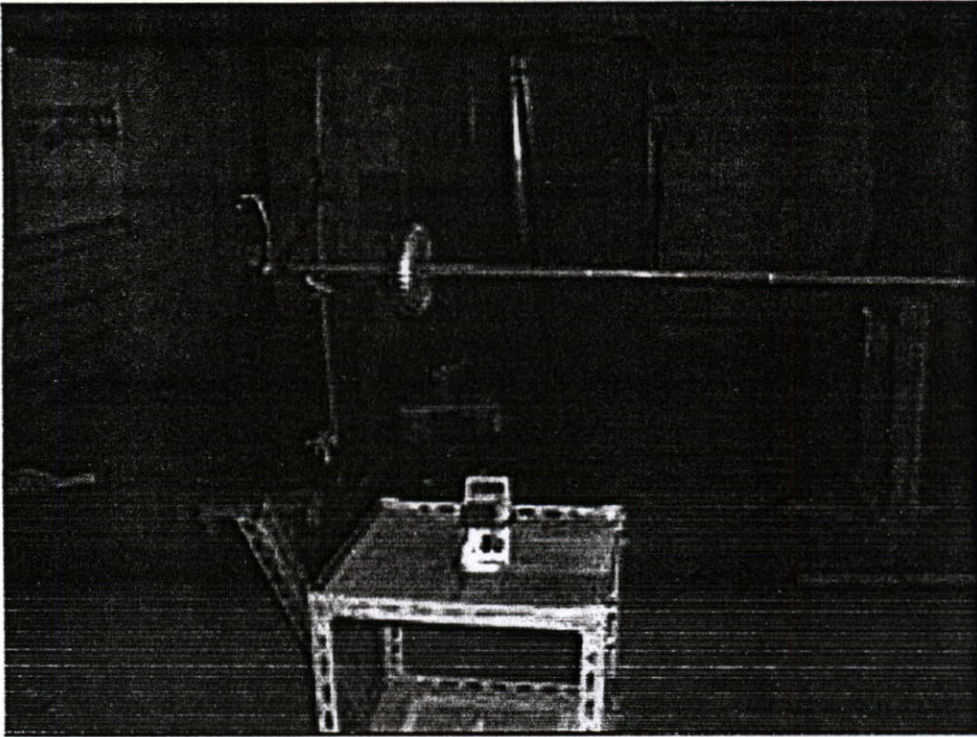


รูปที่ 5.7 แสดงการใช้ Guard Electrode เพื่อลดผลของ Stray Capacitance

6. ต่อสายวัดดังรูป



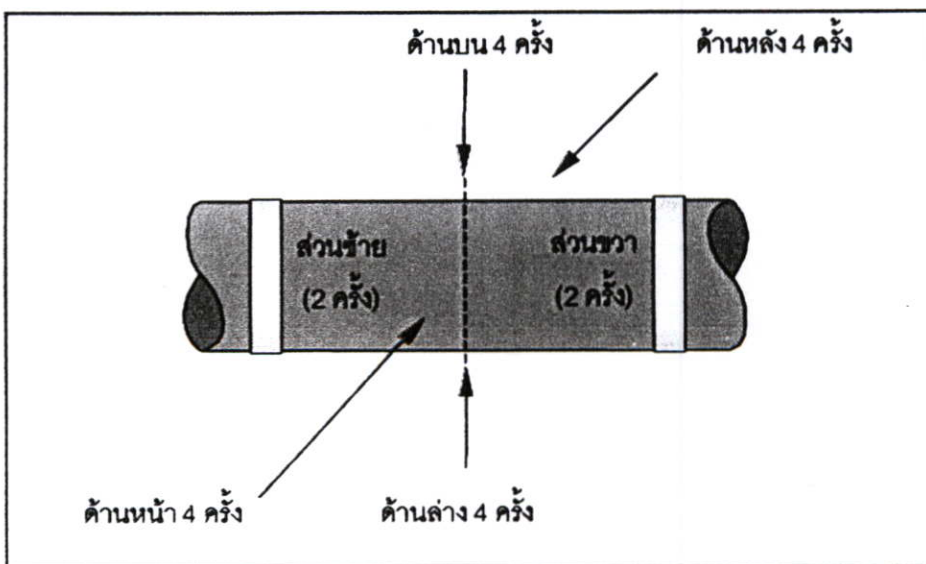
รูปที่ 5.8 แสดงการต่อวงจรทดสอบและวงจรวัด



รูปที่ 5.9 ภาพวงจรทดสอบโดยรวม

7. สเปรย์ฉีดน้ำกลั่นที่มีค่า Conductivity ประมาณ $1 \mu\text{S/cm}$ หรือน้อยกว่าลงไปบน Hot Stick ในช่วงที่ทำการทดสอบ โดยปรับหัวฉีดให้ได้ละอองละเอียดที่สุด และฉีดห่างจาก Hot Stick ประมาณ 1 ฟุต โดยแบ่งพื้นที่ การฉีดดังนี้

1. ฉีดทั้งหมด 4 ด้านคือ ด้านบน-ด้านล่าง-ด้านหน้า-ด้านหลัง
2. แต่ละด้านแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน ซ้าย-ขวา
3. แต่ละส่วนฉีดน้ำส่วนละ 2 ครั้ง คือ ใน 1 ด้าน จะฉีดน้ำทั้งหมด 4 ครั้ง (ซ้าย 2 ครั้ง และขวา 2 ครั้ง)



รูปที่ 5.10 แสดงการแบ่งพื้นที่การฉีดน้ำกลั่นลงบน Hot Stick ช่วงเวลาที่ทดสอบ

8. ป้อนแรงดันขนาด 75 kV เป็นเวลา 1 นาที พร้อมทั้งบันทึกค่า Leakage Current ที่อ่านได้ และ สภาวะอากาศขณะทดสอบไว้ด้วย

5.9.4 การประเมินค่า Leakage Current

ค่า Leakage Current ที่ได้จากการทดสอบ จะบอกถึงสภาพผิวของ Hot Stick โดยมีหลักการพิจารณาดังนี้

1. ในขณะที่ทดสอบถ้าค่า Leakage Current มีค่าเพิ่มขึ้น ให้ทำความสะอาด Hot Stick ใหม่ และทดสอบซ้ำหลังจากการทดสอบซ้ำถ้าให้ผลเหมือนเดิมแสดงว่า Hot Stick ไม่ควรนำกลับไปใช้งานในการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ปิดระบบการจ่ายไฟ อาจทำให้เกิดอันตราย

2. เปรียบเทียบค่า Leakage Current ที่ได้กับผลการทดสอบครั้งก่อนที่สภาวะแวดล้อม การจัดวาง ระยะและขนาดของ Electrode ที่เหมือนกัน การจัดวาง Hot Stick และการจัดวางสายป้อนไฟเหมือนกัน ควรจะได้ค่า Leakage Current ที่ไม่ผิดไปจากเดิมมากนัก ถ้าค่าที่ได้แตกต่างจากเดิมมากอาจเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของฉนวน

3. เนื่องจากค่า Leakage Current สำหรับการทดสอบในแต่ละครั้งจะแตกต่างกัน และ Hot Stick แต่ละท่อนก็จะให้ค่าที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางการทดสอบในแต่ละครั้ง และสภาพผิวของ Hot Stick ที่ทำการทดสอบ ดังนั้นมาตรฐานจึงไม่ได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินค่า Leakage Current ไว้ แต่ให้เก็บผลการทดสอบไว้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบกับ การทดสอบในครั้งต่อไป ทั้งนี้ในการทดสอบแต่ละครั้งควรจะใช้วงจรส่วนซ้าย(2 ครั้ง)ส่วนขวา(2 ครั้ง)ด้านบน 4 ครั้งด้านล่าง 4 ครั้ง ด้านหน้า 4 ครั้ง ด้านหลัง 4 ครั้ง เดิมที่สภาวะใกล้เคียงเดิมมากที่สุดซึ่งโดยปกติ Hot Stick ใหม่ที่ถูกทดสอบที่ระดับแรงดัน 100 kV/ft จะมีค่า Leakage Current อยู่ในช่วง 5 μ A ถึง 25 μ A

5.9.5 ตัวอย่างการทดสอบ

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการทดสอบ Hot Stick จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่มีสภาพผิวแตกต่างกัน โดยแต่ละตัวอย่างจะทดสอบทั้งหมด 7 ช่วง ช่วงละ 1 ฟุต แต่ละช่วงป้อนแรงดัน 75 kV นาน 1 นาที และบันทึกค่า Leakage Current ที่นาทีที่ 1

อุปกรณ์ทดสอบ

1. Hot Stick \varnothing 1 1/4 In - 10 Ft หลังซ่อมผิวสีใหม่ 1 ตัวอย่าง
2. Hot Stick \varnothing 1 1/4 In - 10 Ft สภาพใช้งานปกติ 1 ตัวอย่าง
3. Hot Stick \varnothing 1 1/4 In - 10 Ft ก่อนซ่อมผิวสีใหม่ 1 ตัวอย่าง

สภาวะขณะทดสอบ

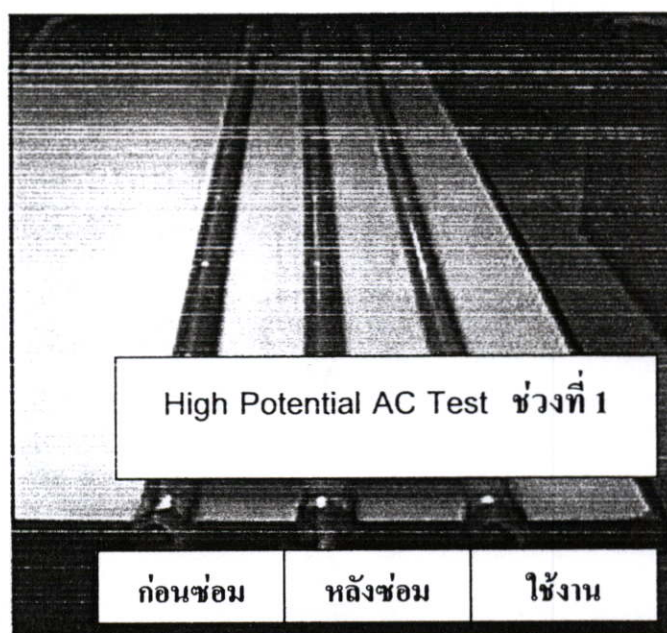
สภาวะอากาศ : อุณหภูมิ 30^oC ความชื้น 70% ความกดอากาศ 1015 hPa

น้ำกลั่น : Conductivity 1.42 μ S/cm อุณหภูมิ 25^oC

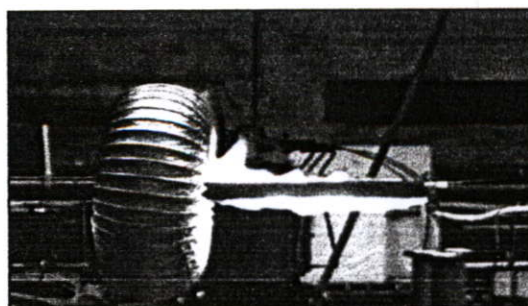
5.9.6 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบ

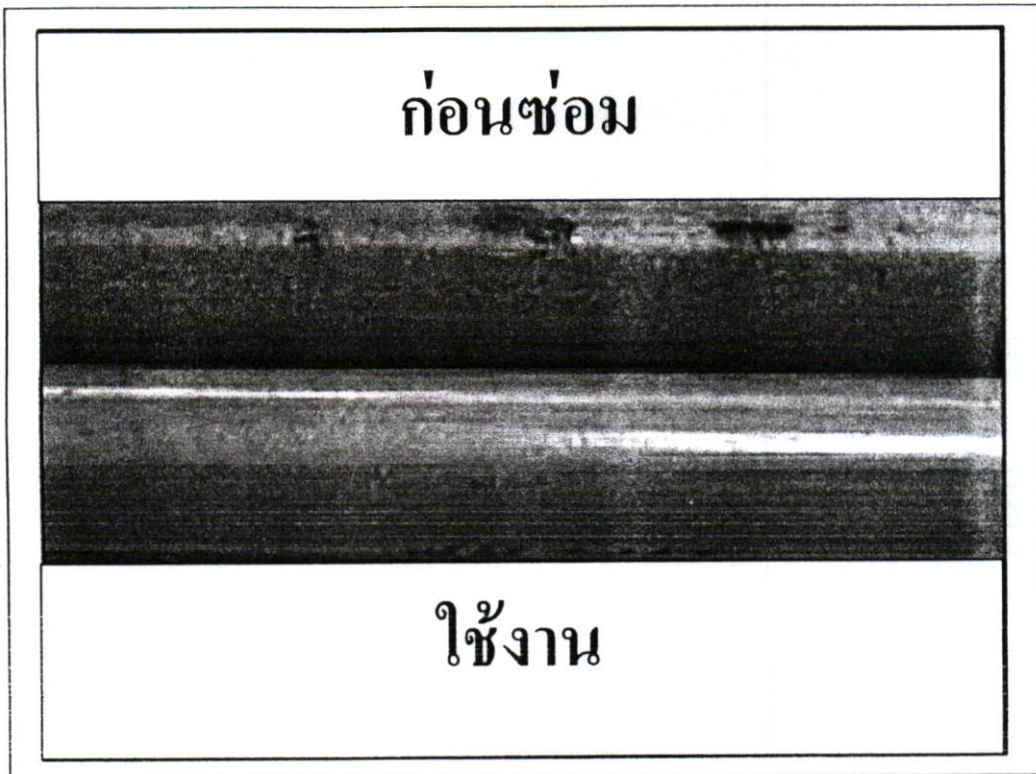
ช่วงที่	Leakage Current (μA)		
	หลังซ่อม	ใช้งานปกติ	ก่อนซ่อม
1	20.8	26.32	Flashover ที่ 40 KV.
2	42.7	Flashover ที่ 30 วินาที	Flashover ที่ 40 KV.
3	14.0	32.00	Flashover ที่ 42 KV.
4	12.34	8.80	Flashover ที่ 39 KV.
5	18.10	Flashover ที่ 60 KV.	Flashover ที่ 40 KV.
6	13.16	Flashover ที่ 70 KV.	Flashover ที่ 42 KV.
7	11.22	Flashover ที่ 50 KV.	Flashover ที่ 35 KV.



รูปที่ 5.11 การแบ่งช่วงการทดสอบ FRP Hot Stick ออกเป็น 7 ช่วง ช่วงละ 1 ฟุต



รูปที่ 5.12 แสดงการเกิด Flashover ที่ผิวของ FRP Hot Stick



รูปที่ 5.13 แสดงสภาพผิวของ Hot Stick หลังจากการเกิด Flashover

5.9.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. FRP Hot Stick ที่ผ่านการช่อมผิวสีมาใหม่สามารถทนแรงดันที่ 75 kV/ft ได้ทุกช่วง และมีค่า Leakage Current อยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของ Hot Stick ใหม่ ที่ทดสอบด้วยแรงดัน 100 kV/ft ซึ่งโดยปกติค่า Leakage Current จะอยู่ในช่วง $5 \mu A$ ถึง $25 \mu A$
2. Hot Stick ที่ใช้งานตามปกติ ไม่สามารถทนแรงดันที่ 75 kV/ft ได้ทุกช่วงการทดสอบ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานจึงสมควรที่จะมีการช่อมผิวสีของ Hot Stick นี้ใหม่
3. ค่า Leakage Current ที่วัดได้จากการทดสอบ ควรเก็บไว้เป็นข้อมูลสำหรับใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบในครั้งต่อไป เพื่อดูแนวโน้มของสภาพของฉนวนที่ผิวของ Hot Stick

5.10 AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test

การทดสอบ AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test นี้เป็นการทดสอบทางไฟฟ้าด้วยแรงดันกระแสสลับขนาด 10 kV บนผิว Hot Stick ที่แห้ง แล้วทำการวัดค่า Watts-Loss ตามผิว

5.10.1 วัตถุประสงค์ การทดสอบแบบนี้เป็นการประเมินสภาพผิวของ FRP Hot Stick จากค่าของ Watts-Loss หลังจากที่ได้ทดสอบในเครื่องต้นแบบในภาคสนามแล้ว ไม่ผ่านการทดสอบจะต้องนำมาทดสอบแบบ AC Dielectric-Loss Test เป็นครั้งสุดท้าย

5.10.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

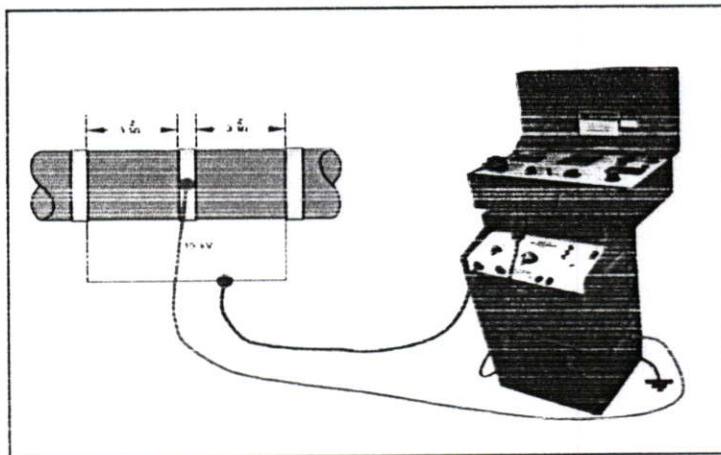
1. Insulation Power-Factor Test Set (Double)
2. Tape Foil หรือ Collar

5.10.3 วิธีทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบมีดังต่อไปนี้

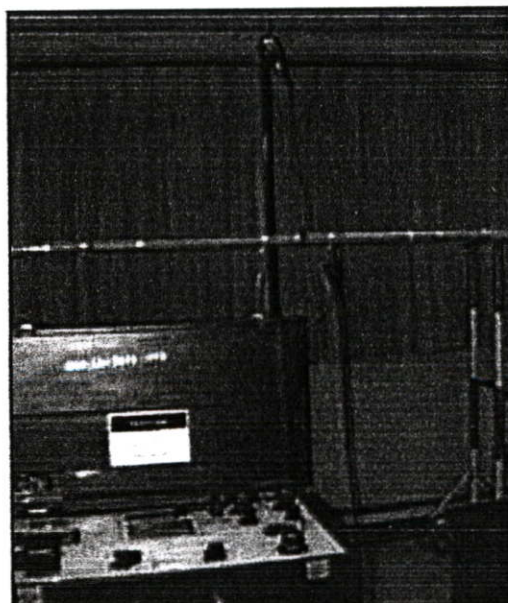
1. นำ Tape Foil กว้างประมาณ 1 ซม. พันรอบ Hot Stick ตำแหน่งละ 3 จุด แต่ละจุดห่างกัน 3 นิ้ว เพื่อใช้เป็น Electrode

หมายเหตุ: ให้ทดสอบอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่จะต้องทดสอบคือตำแหน่งต้น และปลายของ FRP Hot Stick

2. ใช้เครื่อง Insulation Power-Factor Test Set (Double) วัดค่ากระแส และ Watts-Loss ที่แรงดัน 10 kV ด้วย Mode UST



รูปที่ 5.14 แสดงวงจรการทดสอบ AC Dielectric-Loss



รูปที่ 5.15 แสดงการทดสอบ AC Dielectric-Loss

5.10.4 การประเมินค่า Watts-Loss

1. ค่า Watts-Loss ที่วัดได้จะต้องนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเดิม ซึ่งโดยปกติ Hot Stick ที่มีผิวสะอาดและแห้งควรจะมีค่า Watts-Loss ต่ำกว่า 10 mW

2. ถ้าค่า Watts-Loss ที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นจากผลการทดสอบเดิมเกิน 10 เท่า หรือเกิน 100 mW แสดงว่า Hot Stick อาจมีการดูดซึมความชื้น พื้นผิวสกปรก หรือเสียหายความเป็นฉนวนได้

5.10.5 ตัวอย่างการทดสอบ

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการทดสอบ Hot Stick จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่มีสภาพผิวแตกต่างกัน โดยแต่ละตัวอย่างจะทดสอบทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือต้น กลาง และปลายของ Hot Stick แต่ละตำแหน่งป้อนแรงดัน 10 kV และบันทึกค่ากระแส และ Watts-Loss

อุปกรณ์ทดสอบ

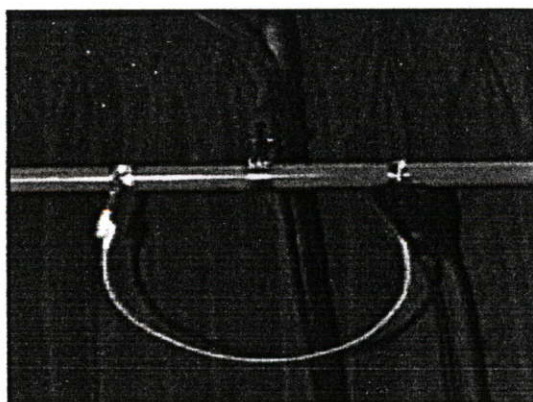
- Hot Stick เส้นผ่าศูนย์กลาง 1¼ นิ้ว - 10 ฟุต หลังซ่อมผิวสีใหม่ 1 ตัวอย่าง
- Hot Stick เส้นผ่าศูนย์กลาง 1¼ นิ้ว - 10 ฟุต สภาพใช้งานปกติ 1 ตัวอย่าง
- Hot Stick เส้นผ่าศูนย์กลาง 1¼ นิ้ว - 10 ฟุต ก่อนซ่อมผิวสีใหม่ 1 ตัวอย่าง

สภาวะขณะทดสอบ สภาวะอากาศ: อุณหภูมิ 25 °C ความชื้น 63% ความกดอากาศ 1022 hPa

5.10.6 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้น 63% ความกดอากาศ 1022 hPa

ตำแหน่งที่	กระแส (μA)			Watts-Loss (mW)		
	หลังซ่อม	ใช้งานปกติ	ก่อนซ่อม	หลังซ่อม	ใช้งานปกติ	ก่อนซ่อม
1	5	5	5	4.6	3.2	8.8
2	6	5	5	7.4	8.6	3.2
3	6	6	5	7.2	9.0	5.0



รูปที่ 5.16 แสดงการทดสอบ AC Dielectric-Loss ตำแหน่งกลาง Hot Stick

5.11 สรุปผลวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยรวม

1. ค่า Watts-Loss ที่วัดได้จาก Hot Stick ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือต่ำกว่า 10 mW แสดงว่า Hot Stick ทั้งสามมีผิวที่แห้ง และสะอาด
2. ค่า Watts-Loss ที่วัดได้จากการทดสอบ ควรเก็บไว้เป็นข้อมูลสำหรับใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบในครั้งต่อไป เพื่อดูแนวโน้มของสภาพของฉนวนที่ผิวของ Hot Stick
3. การทดสอบสภาพฉนวนของ Hot Stick ก่อนและหลังการบำรุงรักษาหรือตามวาระการทดสอบ จะช่วยให้ทราบว่า Hot Stick นั้นมีสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่
4. หัวข้อทดสอบตามที่มาตรฐาน IEEE Std 978-1984 แนะนำไว้คือ High-Potential AC Test และ AC Dielectric-Loss (Watts-Loss) Test แต่จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า High-Potential AC Test เป็นการทดสอบที่สามารถบ่งบอกถึงสภาพฉนวนของผิว Hot Stick ได้ดีกว่า โดยพิจารณาได้จาก Hot Stick ที่มีผิวแห้งสะอาดแต่สูญเสียความมันจะให้ค่า Watts-Loss ต่ำ
5. มาตรฐานไม่มีการกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจของการทดสอบ Hot Stick เพียงแต่แนะนำค่าที่ควรจะเป็นว่าน่าจะอยู่ในช่วงใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดวงจรของแต่ละห้องทดสอบใช้ และสภาวะอากาศต่างๆ ขณะทดสอบเป็นสำคัญ ดังนั้นในการทดสอบแต่ละครั้งควรมีการเก็บรายละเอียดการทดสอบต่าง ๆ และผลการทดสอบไว้เป็นข้อมูลสำหรับใช้อ้างอิงกับการทดสอบในครั้งต่อไป
6. การทดสอบที่ได้กล่าวไปเป็นเพียงแนวทางที่มาตรฐานแนะนำไว้เท่านั้น ห้องทดสอบแต่ละแห่งอาจมีการคิดแปลงหรือปรับปรุงขั้นตอนหรือวงจรการทดสอบให้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้

5.12 ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบในวิทยานิพนธ์กับเครื่องมือทดสอบ Wet/Dry Hot Stick Tester U.S. Patent No. 5,684,405 ของบริษัท CHANCE USA.

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบในวิทยานิพนธ์กับเครื่องมือทดสอบ CHANCE

ลำดับ	สถานที่ใช้งาน Hot Stick	ผลการทดสอบ ด้วย เครื่องต้นแบบ	ผลการทดสอบด้วย เครื่องบริษัท CHANCE USA.	อุณหภูมิ
1	สายส่ง 500 Kv. วังน้อย	ผ่าน	ผ่าน	31°C
2	ลานไถ 500 Kv. วังน้อย	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	32°C
3	สายส่ง 230 Kv. บางปะกง	ผ่าน	ผ่าน	33°C
4	ลานไถ 230 Kv. บางปะกง	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	29°C
5	สายส่ง 115 Kv. กทม.	ผ่าน	ผ่าน	34°C
6	ลานไถ 115 Kv. กทม.	ผ่าน	ผ่าน	35°C

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุป

6.1 สรุปผลทดลอง

นับจากเริ่มต้นศึกษาการทำงานการซ่อมบำรุงรักษาไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าแรงสูงในระบบ EHV (Extra High Voltage) ที่ระดับแรงดัน 230 KV.บริเวณลานโกไฟฟ้า (Switch Yard) ที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงโรงไฟฟ้าบางปะกง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย วิธีการที่ปลอดภัยที่สุดของผู้ปฏิบัติงานคือการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล PPE (Personnel Protective Equipment) เช่น FRP Hot Stick ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในการป้องกันการ Flash Over ถึงตัวผู้ปฏิบัติงาน อุปกรณ์ที่ทำการตรวจสอบ FRP Hot Stick นั้นจึงมีความสำคัญมาก จึงมีการพัฒนาสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพทางกายภาพของ FRP Hot Stick ก่อนการใช้งานทุกครั้ง ถ้าตรวจสอบบริเวณหน้างานไม่ผ่านจะต้องนำไปตรวจสอบตามมาตรฐาน IEEE Std.978-1984 และทำการซ่อมบำรุงและทดสอบซ้ำอีกครั้ง ดังนั้นการศึกษาเงื่อนไขในการสร้างตัวตรวจสอบขั้นต้นของ FRP Hot Stick จึงมีความสำคัญมาก สรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาเงื่อนไขการทำงานของเครื่องต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศ และออกแบบให้ตัวอุปกรณ์อยู่ในรูปแบบที่เล็กกว่าใช้งานง่ายและมีน้ำหนักเบา และทำงานได้ตามเครื่องต้นแบบโดยการทดลองแบบ Demo เทียบเคียงกับเครื่องต้นแบบ

2. ขั้นตอนหลังการออกแบบตัวอุปกรณ์ตรวจสอบ FRP Hot Stick เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เราสามารถทดสอบขั้นตอนการทำงานในสภาวะต่างๆ และทดสอบพร้อมกับการใช้ Field Probe วัดค่าสนามแม่เหล็กในงานจริงตาม Switching Order ที่ออกโดยศูนย์ควบคุมพลังงานไฟฟ้าแห่งชาติ

3. สามารถตรวจสอบ FRP Hot Stick Damage และไม่อนุญาตให้ใช้งาน Live Line Maintenance ได้ตามเครื่องมือที่นำเข้าจากต่างประเทศตามเอกสารแบบตรวจสอบ FRP Hot Stick ของฝ่ายควบคุมความปลอดภัย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ตรงกัน

4. หลังจากตรวจสอบ FRP Hot Stick ชุดที่ไม่ผ่านการทดสอบ ได้นำไปทดสอบภายใต้เงื่อนไขของ มาตรฐาน IEEE Std.978-1984 และได้ทำการซ่อม และทำความสะอาด และนำกลับมาทดสอบบริเวณหน้างาน Live Line Maintenance ใหม่และสามารถทดสอบผ่าน อนุญาตให้ใช้งาน ซ่อมบำรุงไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ดับไฟได้เหมือนกับเครื่องต้นแบบ

6.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

เนื่องจากมีความหลากหลายในการศึกษาวิจัยสร้าง ตัวตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE) ก่อนการทำงานในระบบไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ดับไฟ Live Line Maintenance ในปัจจุบันนี้ยังมีไม่มากนัก ดังนั้นการพัฒนาโครงสร้างเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล สภาพแวดล้อม

ของอากาศบริเวณหน้างาน และความน่าเชื่อถือในด้านคุณภาพของ IC ที่จำเป็นต้องใช้ IC ประเภท C-Dip ที่มีความคงทนต่อสภาพอากาศ การพัฒนาเพิ่มเติมให้สามารถตรวจสอบผิวของ Insulator เพื่อวัดค่า ESDD เพื่อป้องกันการ Flash over บนผิวของ Insulator ในลานไถไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้า จึงเป็นสิ่งที่ดีสำหรับผู้สนใจเป็นอย่างยิ่ง

1. ตัวตรวจสอบ FRP Hot Stick นี้สามารถตรวจสอบได้เฉพาะ FRP Hot Stick เท่านั้น ไม่สามารถตรวจสอบเชือก และบันไดจนวนได้ ซึ่งถ้าพัฒนาออกแบบโครงสร้าง ในส่วนสัมผัสกับวัสดุที่ตรวจสอบ ก็จะสามารตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวได้ในที่สุด

2. เมื่อนำไปใช้งานบริเวณหน้างาน ควรจะทำการบันทึกค่าทางไฟฟ้าที่จุด Electrode1 และ Electrode2 โดยใช้แท่ง FRP Hot Stick Tester ก่อนการใช้งาน และจดค่าแรงดันเปรียบเทียบ เพื่อใช้ในการตรวจสอบวิเคราะห์ การทำงานของตัวเครื่องด้วย

3. ตัวเครื่องต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นถ้าแบตเตอรี่ที่ใช้คุณภาพไม่ดีพอก็อาจจะทำให้การตรวจสอบมีค่าผิดพลาด อยู่ในเกณฑ์ที่สูงได้

4. พัฒนาโครงสร้างให้สามารถตรวจสอบ ดุมมือ เชือก และบันได ได้

6.3 สรุปผลงานโดยรวม

ตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัยจนถึงปัจจุบัน ได้สร้างตัวตรวจสอบ FRP Hot Stick และแอปพลิเคชันในรูปแบบการตรวจสอบเพื่อตัดสินใจในการอนุญาต ให้ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ดับไฟ และทำการวิเคราะห์อันตรายจากสนามแม่เหล็กในขณะที่ทำงานโดยไม่ดับไฟ และทดสอบตามมาตรฐาน IEEE Std.978-1984 และ OSHA เพื่อระบุสถานภาพความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้เราได้ความรู้ความเข้าใจในเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความรู้ในการพัฒนาเทคโนโลยีการออกแบบ ในด้านทฤษฎีการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงนอกห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าแรงสูง และในห้องปฏิบัติการภายใต้มาตรฐาน IEEE Std.978-1984

2. ความรู้ในการทดสอบตามมาตรฐานของ IEEE Std.978-1984 ทักษะการประยุกต์ทดสอบภาคสนาม

3. ความรู้จากการใช้ทฤษฎี CSM ในการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าที่ปลอดภัยในขณะที่ทำงานในสภาพที่ไม่ต้องดับไฟ ซึ่งมีความจำเป็นมากในการระบุถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

4. ได้ตระหนักและเรียนรู้ถึงการวางแผนในการทำงานตลอดจนถึงการวิเคราะห์ปัญหาที่ก่อนที่จะลงมือทำงานจริง ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยรวม

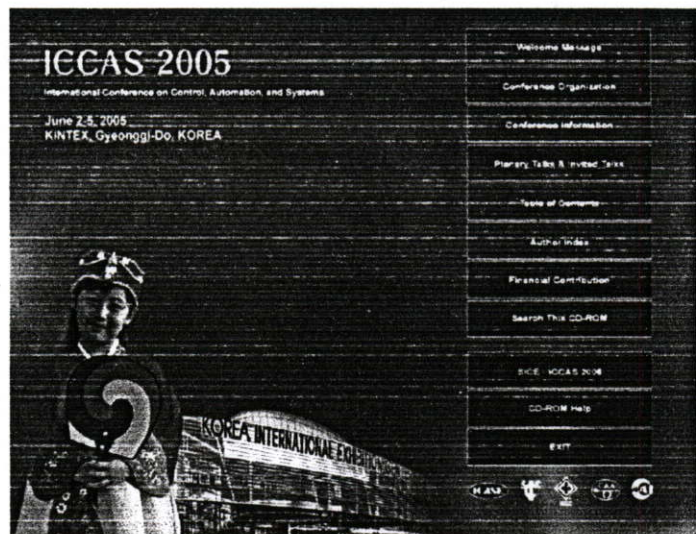
5. ได้ฝึกทักษะแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าระหว่างการทำงาน และการทดลองภาคสนามในสภาวะแวดล้อมทางกายภาพที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

1. รมชาติ เกิดจุมพล “การทดสอบ *Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Hot Stick*” แผนกทดสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้า กองทดสอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ฝ่ายบำรุงรักษาสายส่ง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
2. Department of Labor, OSHA, 29 CFR PARTS 1910; Federal Register, Vol.59, No. 20, January 31, 1994, Rules & Regulations.
3. IEEE Standard 978-1984, Guide for In-Service Maintenance & Electrical Testing of Live Line Tools
4. ASTM F711-89, Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube used in Live-Line Tools.
5. W. McDermid, J.C Bromley , D.J. Dodds, D.R. Swatek, “*Investigation of the Flashover of a FRP Hot Stick While in Use for Live Line Work at 500 kV*” , IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.14, No. 3, July 1999 , pp 1158-1166
6. W. McDermid, J.C Bromley, D.R. Swatek, “*FRP Hot Stick Flashover during EHV Live Line Work*” , IEEE Transaction on Power Delivery, 2003
7. M.V.K. Chari, et al, *Field Elements in Electric and Magnetic Field Problems*, Wiley , NY, 1980
8. H.Singer, et al, “*A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields,*” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, No 5, Sept./Oct. 1974, pp. 1660-1668.
9. J.N. Sheng, et al, *Numerical Analysis of Electromagnetic Fields (in Chinese)*, Scientific Press, 1984
10. EPRI, *Transmission Line Reference Book-345 kV and Above*, 2nd edition, 1982.
11. Z.Yan. et al, “*Prediction and Improvement of Electric Field Distortion in HVAC Substations,*” *Elec. Power System Research*, Vol. 11 1986, p. 153
12. Z Yan, et al, “*consideration of the Problem of Electrostatic Induction in the Construction of 500kV Substations*” (in Chinese), *J Xian Jiaotong University* Vol 18(1). 1984, p 17.
13. EPRI “*Live Working Guide for Overhead Lines, Version 3*” Palo Alto, CA, 2004.

ภาคผนวก ก

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่



The banner features a dark background with a woman in traditional Korean attire on the left and a large building with 'KOREA INTERNATIONAL EXHIBITION' signage on the right. The text 'ICCAS 2005' is prominently displayed at the top left, with the full name of the conference and the event details below it.

ICCAS 2005
International Conference on Control, Automation, and Systems
June 2-5, 2005
KINTEX, Gyeonggi-Do, KOREA

- Welcome Message
- Conference Organization
- Conference Information
- Priority Tables & Invited Talks
- Topics of Conferences
- Author Index
- Financial Contribution
- Search This CD-ROM
- ICCA, ICCAS 2004
- CD-ROM Help
- EXIT

HAU

Design of Dielectric Detector for FRP Hot Stick in EHV Live line Maintenance

Talengkiat Chawpoom, Witsarut Sriratana, Thanit Trisuwannawat
 Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
 Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
 (Tel: +66-2-739-2407; Fax: +66-2-739-2406 ; E-mail: kswitsar@kmitl.ac.th)

Abstract: This paper presents an approach to detect the dielectric condition of FRP Hot Stick in EHV high voltage cable whereas shutting down the power system is not necessary. The radio frequency generating method is adopted by transmitting radio wave into the Electrodes. This instrument is small, easy to use and also inexpensive. Furthermore, the impurity level of dirt on high voltage insulator (non-ceramic type) will be analyzed by using the methods based on IEEE Std.978-1984 at 105 kV.DC, 305 mm, and OSHA Regulation 1910.269 Part J – live line tools. The frequency at 10-20 MHz is applied to FRP Hot Stick via Electrode1 and from FRP Hot Stick surface to Electrode 2. After that the results will be evaluated by testing in each condition of FRP Hot Stick, such as dry surface, hot surface, foil winding and conductor inserting. Finally, the watt loss will be examined and compared with the loss from humidity and Carbon tracking. The important components of this system are radio frequency generating unit, frequency stabilizing unit, frequency amplifier, FRP Hot Stick frequency counter, processing unit, and display unit.

Keywords: FRP Hot Stick, Live Line Maintenance, Watt-loss, Frequency, Maintenance, Electrode

1. INTRODUCTION

In the Extra High Voltage (EHV) system, the equipment, such as FRP Hot Stick and rope, are necessary for Live Line maintenance that is extremely risky for operators. Hence, all equipment should be checked for the dielectric characteristic to ensure that the international standard is met. This paper presents the approach to detect the FRP Hot Stick condition to prevent Flash Over at FRP Hot Stick surface under specified standards [1] and [2].

2. METHOD AND THORY

To define the dielectric condition of FRP Hot Stick, the frequency at 10 - 20 MHz is generated and applied to FRP Hot Stick Surface via Electrode 1 and finally transmitted to Electrode 2. The frequency at Electrode 2 will be measured and compared with the transmitted frequency to examine the watt-loss stemming from humidity or Carbon Tracking. If the quality of FRP Hot Stick does not meet the standard, LED and Buzzer will monitor the result to indicate that cleaning is required before use.

3. DESIGN OF THE SYSTEM

The important components of this system are frequency generating unit, frequency stabilizing unit, frequency amplifier, FRP Hot Stick frequency counter, processing unit, and display unit as shown in Fig. 1.

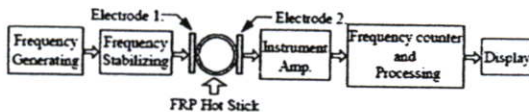


Fig. 1 Block diagram of the system

3.1 Frequency Generating Unit

Frequency Generating Unit provides 10 MHz frequency by using electronic circuit and then transmits into FRP Hot Stick via Electrode 1 and 2. This unit consists of IC=CD40106B and MC 14013D Dual Type D flip-flop as shown in Fig. 2.

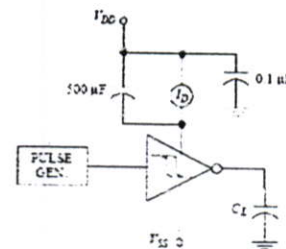


Fig. 2 Frequency Generating Unit with IC=CD40106B

3.2 Frequency Stabilizing Unit

IC=LM158, the Operation Amplifier for stabilizing or controlling frequency level from frequency generating unit, is applied to detect the watt-loss with high efficiency as shown in Fig. 3.

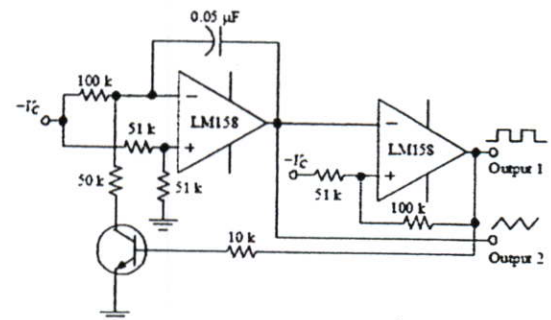


Fig. 3 Frequency Stabilizing Unit

3.3 Frequency Multiplication

The Schmitt Trigger circuit is used as the frequency multiplication circuit at maximum input current (I_m) = 100nA when $V_{DD} = 18V$, $T_A = 25^\circ C$. The circuits are as shown in Fig. 4 and 5.

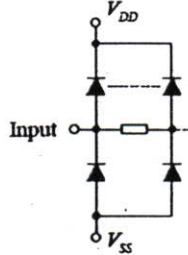


Fig. 4 Input Equivalent Circuit

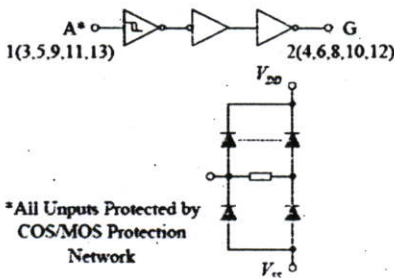


Fig. 5 Logic Diagram

3.4 Processing Unit

In this unit, the detected frequency will be compared with the determined value by using IC#CA3140 as shown in Fig. 6.

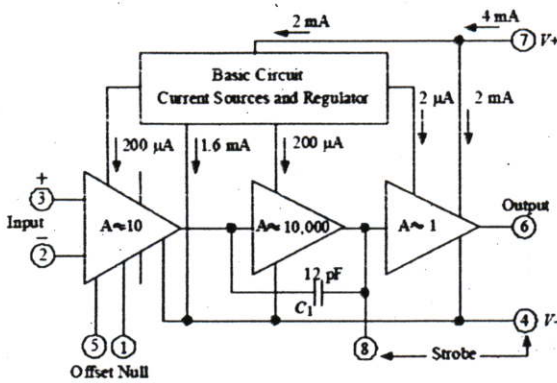


Fig. 6 Block Diagram of IC # CA3140

3.5 Display Unit

LED is used to monitor the dielectric condition of FRP Hot Stick. If it is dielectric, LED will turn to green. In contrast, red will be shown and buzzer will be alert if FRP Hot Stick is not in good condition.

4. EXPERIMENTS

This approach is developed to examine FRP Hot Stick in various conditions by detecting frequency from Electrode 1 and 2 and then the watt-loss will be evaluated. Here, the experiment is divided into 4 conditions of FRP Hot Stick: Dry surface, Wet surface, Foil winding and Conductor inserting.

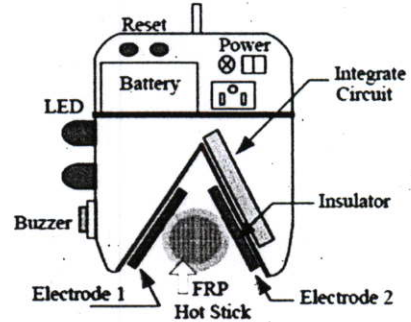


Fig. 7 Dielectric Detector for FRP Hot Stick

4.1 Dry Surface

4.1.1 Rectangular stainless conductors size 21.5 cm. x 6.5 cm. are attached to Electrode 1 and 2 that are located in different side. Then, the dielectric condition of dry surface FRP hot Stick is examined. The result is dielectric as shown in Fig. 8.

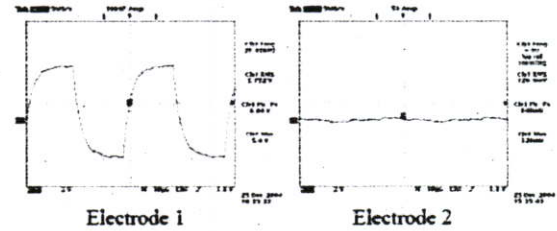


Fig. 8 Waveform obtained by using Stainless Conductor

4.1.2 When Pilot FRP Hot Stick is inserted between Electrode 1 and 2, LED turns to green. So, the condition is dielectric.

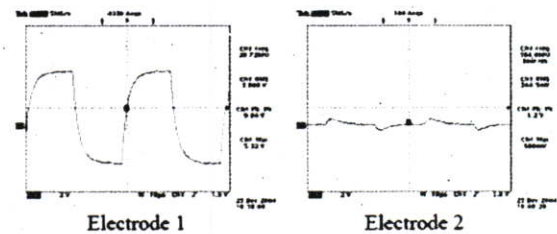


Fig. 9 Waveform obtained by using Pilot

4.2 Wet Surface

Water is sprayed to FRP Hot Stick surface. Then, LED turns to red or the condition is non-dielectric.

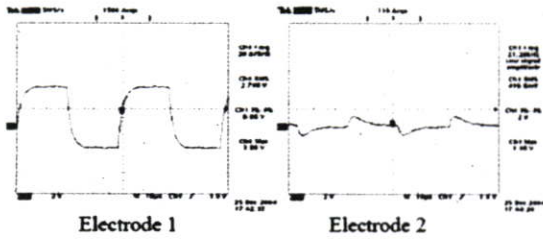


Fig. 10 Waveform obtained from wet-surface FRP Hot Stick

4.3 Foil Winding

1 cm. width foil is wound around FRP Hot Stick with 7.6 cm. distance. Then, non-electric condition is shown.

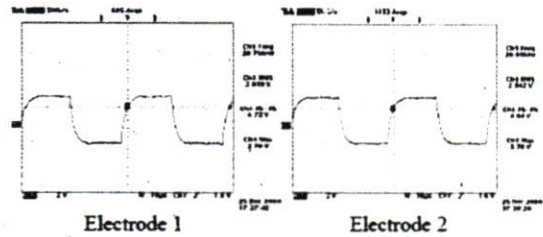


Fig. 11 Waveform obtained by winding foil

4.4 Conductor Inserting

A conductor with 2.5 mm. diameter is inserted into FRP Hot Stick. Then, dielectric condition is monitored.

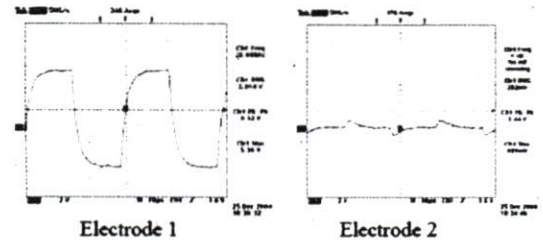


Fig. 12 Waveform obtained by inserting conductor

5. EXPERIMENTAL RESULTS

From experiments, two conditions are indicated non-dielectric condition: foil winding and wet surface whereas dry surface and conductor inserting are illustrated dielectric condition. However, the frequencies and voltages measured from both Electrodes in dielectric condition are quite different because frequency and electrical voltage can not be transmitted when the surface is dry and clean. The comparison of measured frequencies and voltages from Electrode 1 and 2 are as shown in Table 1 and 2.

Table 1 Frequency Measured from Electrode 1 and 2

Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet	Water inner
Electrode 1	20.72	20.69	20.74	20.78	20.74
Electrode 2	384.6	20.68	72.46	∞	72.46
Δ Frequency	363.88	0.01	51.72	∞	51.72

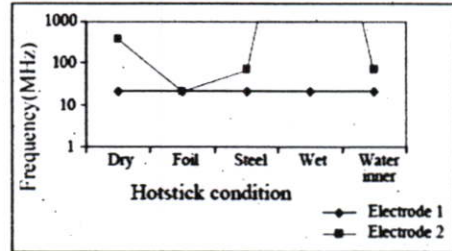


Fig. 13 Graph of frequency measured at Electrode 1 and 2

Table 2 Voltage Measured from Electrode 1 and 2

Hot Stick Condition	Dry	Foil	Steel	Wet	Water inner
Electrode 1	9.04	5.06	9.04	9.12	9.04
Electrode 2	1.2	4.72	1.44	1.52	1.44
Δ Voltage	7.84	0.96	7.6	7.6	7.6

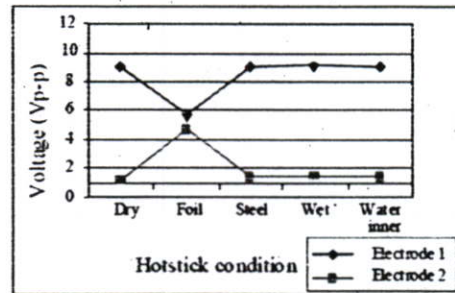


Fig. 14 Graph of Voltage measured at Electrode 1 and 2

6. CONCLUSION

In conclusion, the approach developed to detect dielectric condition of FRP Hot Stick provides the satisfactory ability. Two conditions indicated as non-dielectric are wet surface condition and foil winding. Those two conditions refer to humid and dirty surface that can cause non-dielectric condition of FRP Hot Stick. When FRP Hot Stick is not under the specification, cleaning and testing are required based on IEEE 978-1984 Standard at 105 kV.DC/305 mm. for safety reason. This approach will be then developed to measure humidity in high voltage cable of EHV system and detect the impurity level of dirt on high voltage insulator (non-ceramic type).

REFERENCES

- [1] Department of Labor. OSHA. 29 CFR PART 1910: Federal Register, Vol.59, No. 20, January 31, 1994, Rules & Regulations.
- [2] IEEE Standard 978-1984. Guide for In-Service Maintenance & Electrical Testing of Live Line Tools.
- [3] ASTM F711-89. Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube used in Live-Line Tools.
- [4] W. McDermid, J.C Bromley, D.J. Dodds, D.R. Swatek. "Investigation of the Flashover of a FRP Hot Stick While in Use for Live Line Work at 500 kV". IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.14, No. 3, July 1999. pp 1158-1166.
- [5] W. McDermid, J.C Bromley, D.R. Swatek. "FRP Hot Stick Flashover during EHV Live Line Work". IEEE Transaction on Power Delivery. 2003.
- [6] ASTM F711-89. Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube used in Live-Line Tools.

ภาคผนวก ข

**คู่มือคุณสมบัติของแผงวงจรรวมที่ใช้ในการออกแบบตัวตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้
ทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงสำหรับการทำงานโดยไม่ปิดระบบการจ่ายไฟ**

1. IC Op-Amp LM158

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 7), $T_A = 25^\circ C$	1	2		2	3		2	5		mV
Input Bias current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$, (Note 8)	20	50		45	100		45	150		nA
Input offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	2	10		5	30		3	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 9) (LM2904 $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$	1	2					1	2		mA
		0.	1.2					0.	1.2		mA
		5						5			

Electrical Characteristics		$V^+ = +5.0V$, unless otherwise stated						Units
Parameter	Conditions	LM358			LM2904			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 7), $T_A = 25^\circ C$		2	7		2	7	mV
Input Bias current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$, (Note 8)		45	250		45	250	nA
Input offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 9) (LM2904 $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^+ - 1.5$			$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$		1	2		1	2	mA
			0.5	1.2		0.5	1.2	mA

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, (Note 6), unless otherwise stated

Parameter		Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain		$V^+ = 15V, T_A = 25^\circ C,$ $R_L \geq 2k\Omega$ (For $V_o = 1V$ to 11V)	50	100		25	100		50	100		V/mv
			70	85		65	85		70	85		dB
			65	100		65	100		65	100		dB
Common-Mode Rejection Ratio		$T_A = 25^\circ C,$ $V_{cm} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	70	85		65	85		70	85		dB
Power Supply Rejection Ratio		$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to- Amplifier Coupling		$F = 1$ kHz to 20 kHz, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 10)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1V,$ $V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V,$ $V_o = 2V, T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink	$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V$ $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ C,$ $V_o = 2V$	10	20		10	20		10	20		mA
		$V_{IN}^- = 1V,$ $V_{IN}^+ = 0V$ $T_A = 25^\circ C, V_o = 200mV,$ $V^+ = 15V$	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground		$T_A = 25^\circ C$ (Note 4) $V^+ = 15V$		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage		(Note 7)			4			5			7	mV
Input Offset Voltage Drift		$R_S = 0\Omega$		7	12		7	20		7		$\mu V/^\circ C$
Input offset Current		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			30			75			100	nA
Input offset Current Drift		$R_S = 0\Omega$										$pA/^\circ C$
Input Bias Current		$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA
Input Common- Mode Voltage Range		$V^+ = 30V$, (Note 9) (LM2940, $V^+ = 26V$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V

Electrical Characteristics (Continued)													
$V^* = +5.0V$, (Note 6), unless otherwise stated													
Parameter		Conditions		LM158A			LM358A			LM158/LM258			Unit
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain		$V^* = +15V$ ($V_o = 1V$ to $11V$) $R_L \geq 2k\Omega$		25			15			25			V/m V
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V^* = +30V$ (LM2940, $V^* = 26V$)	$R_L = 2k\Omega$	26			26			26			V
			$R_L = 10k\Omega$	27	28		27	28		27	28		V
	V_{OL}	$V^* = 5V, R_L = 10k\Omega$		5	20		5	20		5	20	mv	
Output Current	Source	$V_{IN+} = +1V, V_{IN-} = 0V,$ $V^* = 15V, V_o = 2V$		10	20		10	20		10	20	mA	
	Sink	$V_{IN-} = +1V, V_{IN+} = 0V,$ $V^* = 15V, V_o = 2V$		10	15		5	8		5	8	mA	

Electrical Characteristics										
$V^* = +5.0V$, (Note 6), unless otherwise stated										
Parameter		Conditions		LM358			LM2904			Units
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain		$V^* = 15V, T_A = 25^\circ C,$ $R_L \geq 2k\Omega, (For V_o = 1V to 11V)$		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio		$T_A = 25^\circ C,$ $V_{CM} = 0V^{10} V^* - 1.5V$		65	85		50	75		dB
Power Supply Rejection Ratio		$V^* = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^* = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$		65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling		$F = 1$ kHz to 20 kHz, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 10)		-120			-120			dB
Output Current	Source	$V_{IN+} = 1V,$ $V_{IN-} = 0V,$ $V^* = 15V,$ $V_o = 2V, T_A = 25^\circ C$		20	40		20	40		mA
	Sink	$V_{IN-} = 1V, V_{IN+} = 0V$ $V^* = 15V, T_A = 25^\circ C,$ $V_o = 2V$		10	20		10	20		mA
		$V_{IN-} = 1V,$ $V_{IN+} = 0V$ $T_A = 25^\circ C, V_o = 200mV,$ $V^* = 15V$		12	50		12	50		μA

Short Circuit to Ground	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ (Note 4) $V^+ = 15\text{V}$	40	60	40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 7)	9		10		mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7		7		$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Input offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$	150		45 200		nA
Input offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10		10		$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40	500	40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{V}$, (Note 9) (LM2940, $V^+ = 26\text{V}$)	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V

Parameter		Conditions	LM358			LM2904			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain		$V^+ = +15\text{V}$ ($V_o = 1\text{V to } 11\text{V}$) $R_L \geq 2\text{k}\Omega$	15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V^+ = +30\text{V}$ (LM2940, $V^+ = 26\text{V}$) $R_L = 2\text{k}\Omega$	26			22			V
		$R_L = 10\text{k}\Omega$	27	28		23	24	V	
	V_{OL}	$V^+ = 5\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	5 20			5 100			mv
Output Current	Source	$V_{IN+} = +1\text{V}$, $V_{IN-} = 0\text{V}$, $V^+ = 15\text{V}$, $V_o = 2\text{V}$	10 20			10 20			mA
	Sink	$V_{IN-} = +1\text{V}$, $V_{IN+} = 0\text{V}$, $V^+ = 15\text{V}$, $V_o = 2\text{V}$	5 8			5 8			mA

Electrical Characteristics (Note 15)						
For the 331						
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units	
Input Offset Voltage (Note 16)	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $R_S \leq 50\text{k}\Omega$		2.0	7.5	mV	
Input Offset Current (Note 16)	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		6.0	50	nA	
Input Bias Current	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		100	250	nA	
Voltage Gain	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	40	200		V/mV	
Response Time (Note 17)	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		200		ηS	
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -10\text{mV}$, $I_{OUT} = 50\text{mA}$ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$		0.75	1.5	V	
Strobe ON Current (Note 18)	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		2.0	5.0	mA	
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq -10\text{mV}$, $V_{OUT} = 35\text{mA}$ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $I_{STROBE} = -3\text{mA}$ $V^- = \text{Pin } 1 = -5\text{V}$, $V_{OUT} \leq 8\text{mA}$		0.2	50	nA	
Input Offset Voltage (Note 16)	$R_S \leq 50\text{k}\Omega$			10	mA	
Input Offset Current (Note 16)				70	nA	

Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8,-14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V \cdot V^- = 0$ $V_{IN} \leq 10mV$		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		4.1	5.0	mA

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TYPICAL VALUES		UNITS	
Input Offset Voltage Adjustment Resistor		Typical Value of Resistor Between Terminals 4 and 5 or 4 and 1 to Adjust Max VIO	4.7	18	k Ω	
Input Resistance	RI		1.5	1.5	T Ω	
Input Capacitance	CI		4	4	pF	
Output Resistance	RO		60	60	Ω	
Equivalent Wideband Input Noise Voltage (See Figure 27)	eN	BW = 140kHz, RS = 1M Ω	48	48	μ V	
Equivalent Input Noise Voltage (See Figure 35)	eN	RS = 100 Ω	f = 40 kHz	40	40	nV/ \sqrt Hz
			f = 12 kHz		12	12
Short Circuit Current to Opposite Supply	IOM+		Source	40	40	mA
	IOM		Sink	18	18	mA
Gain-Bandwidth Product, (See Figures 6, 30)	fT		4.5	4.5	MHz	
Slew Rate, (See Figure 31)	SR		9	9	V/ μ s	
Sink Current From Terminal 8 To Terminal 4 to Swing Output Low			220	220	μ A	
Transient Response (See Figure 28)	tr	RL = 2k Ω	Rise Time	0.08	0.08	μ s
	OS	CL = 100pF	Oversh oot	10	10	%
Settling Time at 10VP-P, (See Figure 5)	tS	RL = 2k Ω CL = 100pF Voltage Follower	To 1mV	4.5	4.5	μ s
			To 10mV	1.4	1.4	μ s

**2. Electrical Specifications for Equipment Design, at VSUPPLY = ±15V, TA = 25°C,
unless Otherwise Specified**

PARAMETER	SYMBOL	CA3140			CA3140A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V _{IO}	-	5	15	-	2	5	mV
Input Offset Current	I _{IO}	-	0.5	30	-	0.5	20	pA
Input Current	I _I	-	10	50	-	10	40	pA
Large Signal Voltage Gain (Note 3) (See Figures 6, 29)	AOL	20	100	-	20	100	-	kV/V
		86	100	-	86	100	-	dB

ประวัติผู้เขียน

นายเดลินเกียรติ ธรรมกิตติสกุล บ้านเลขที่ 100/283 ถนนสุขุมวิท-อ่างศิลา หมู่ที่ 3 ตำบลเสม็ด
อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20000

มือถือ (06) 8452432

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปัจจุบัน อาจารย์พิเศษ คณะเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในคณะกรรมการประจำโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
พนักงานแผนกบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแรงสูง
กองบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้าแรงสูง ฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ต่างประเทศ

1. ICCAS 2003 International Conference on Control, Automation, and Systems
October 22-25, Gyeongju TEMF Hotel, Gyeongju, Korea
2. ICCAS 2005 International Conference on Control, Automation, and Systems
June 2-5, 2005 KINTEX (Korea International Exhibition Center) the Province of Gyeonggi, Korea