

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อ
สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและไมโครกริด
Development of Control System for Separation Device
for Distributed Energy Resource and Microgrid



T117507

โดย

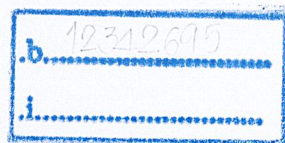
นางสาว ภาจิรา เอกหาญกมล

นาย ภูวดล ศรีฟ้า

นาย มงคล แก่นจินดา

นาย มนกฤษณ์ เรืองแก้ว

เลขหมู่.....
117507
ลักษณะเป็น.....
วัน,เดือน,ปี..... - 5 ส.ค. 2554

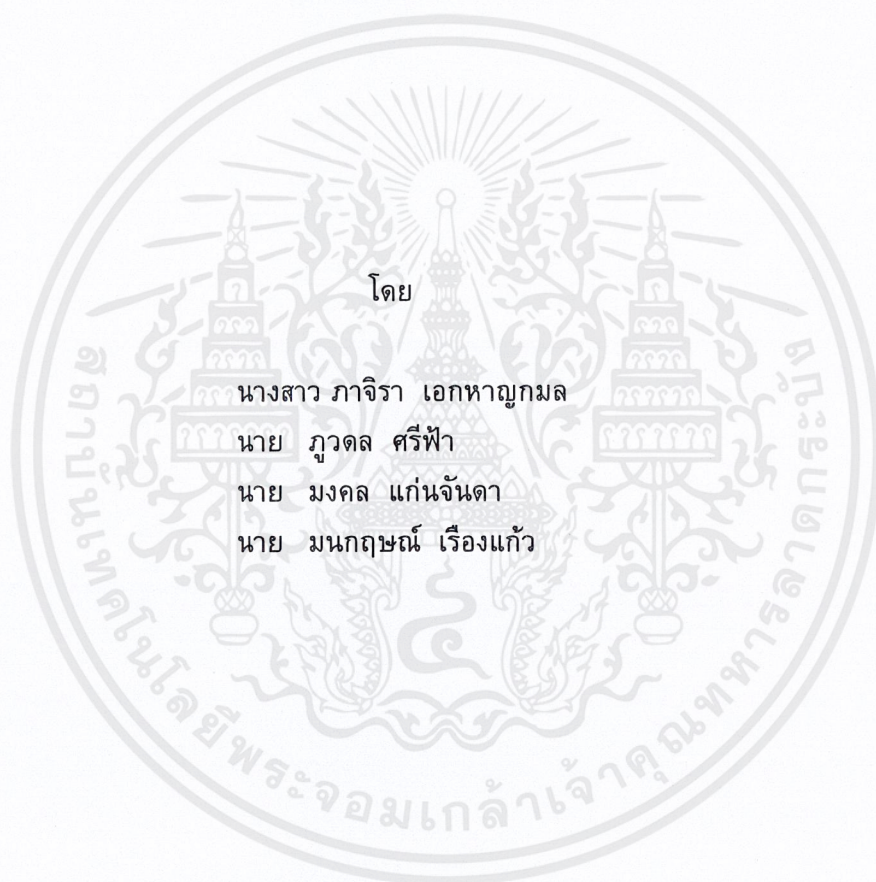


ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การพัฒนาระบบควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อ
สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและไมโครกริด
Development of Control System for Separation Device
for Distributed Energy Resource and Microgrid



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ ผลไม้

ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อสำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและ
ไมโครกริด


ผู้จัดทำ

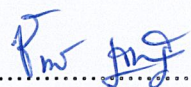
นางสาว ภาจิรา เอกหาญกมล

นาย ภูวดล ศรีฟ้า

นาย มนกฤษณ์ เรืองแก้ว

นาย มงคล แก่นจันดา


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. สมภพ ผลไม้)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อ
สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและไมโครกริด

นางสาว ภาจิรา เอกหาญกมล

นาย ภูวดล ศรีฟ้า

นาย มงคล แก่นจันดา

นาย มนกฤษณ์ เรืองแก้ว

ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญาพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อไมโครกริด ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกกริดและไมโครกริดเข้าด้วยกันที่สภาวะปกติ และตัดสองระบบออกจากกันเมื่อเกิดสภาวะผิดปกติ ในปริญาพนธ์นี้ อัลกอริทึมของการตรวจจับความผิดปกติได้ถูกนำเสนอ และถูกนำไปใช้บนชุดพัฒนาระบบควบคุมฝังตัวเวลาจริงของ National Instrument ซึ่งสามารถโปรแกรมได้จากซอฟต์แวร์ LabVIEW ในเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น แมกเนติกคอนแทคเตอร์ถูกใช้เป็นสวิตซ์ตัดต่อ ผลการทดลองโดยการจำลองความผิดปกติ โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ พบว่าระบบควบคุมสามารถตรวจจับความผิดปกติได้อย่างถูกต้อง และในการทดลองต่อขนาน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าพบว่า ระบบควบคุมสามารถตรวจจับการชิงโครไนส์ระหว่างกริดและไมโครกริดได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: แมกเนติกคอนแทคเตอร์,กริด, ไมโครกริด

I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Development of Control System for Separation Device
for Distributed Energy Resource and Microgrid**

Pajira Akehankamol

Bhuwadol Srifha

Mongkol Ganjunda

Manakrit Ruankeaew

Dr. Sompob Polmai

Supervisor

Dr. Chaiyan Jettanasen

Supervisor

2010

ABSTRACT

This thesis presents development of control system for microgrid separating device. The separating device connects grid and microgrid together at normal operating conditions and separates them during abnormal conditions. In this thesis abnormal condition detection algorithm is proposed and implemented using National Instrument's Real-Time Embedded Controller Development System which can be programmed by LabVIEW software suit. In the prototype system, a magnetic contactor is used for switch operation. The experimental results obtained from abnormal conditions simulated by signal generator confirm the validation of the proposed algorithm. In the synchronization experiment, the developed system can detect synchronous state between grid and microgrid successfully.

Keywords :*Magnetic Contactor, Grid, Microgrid.*

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

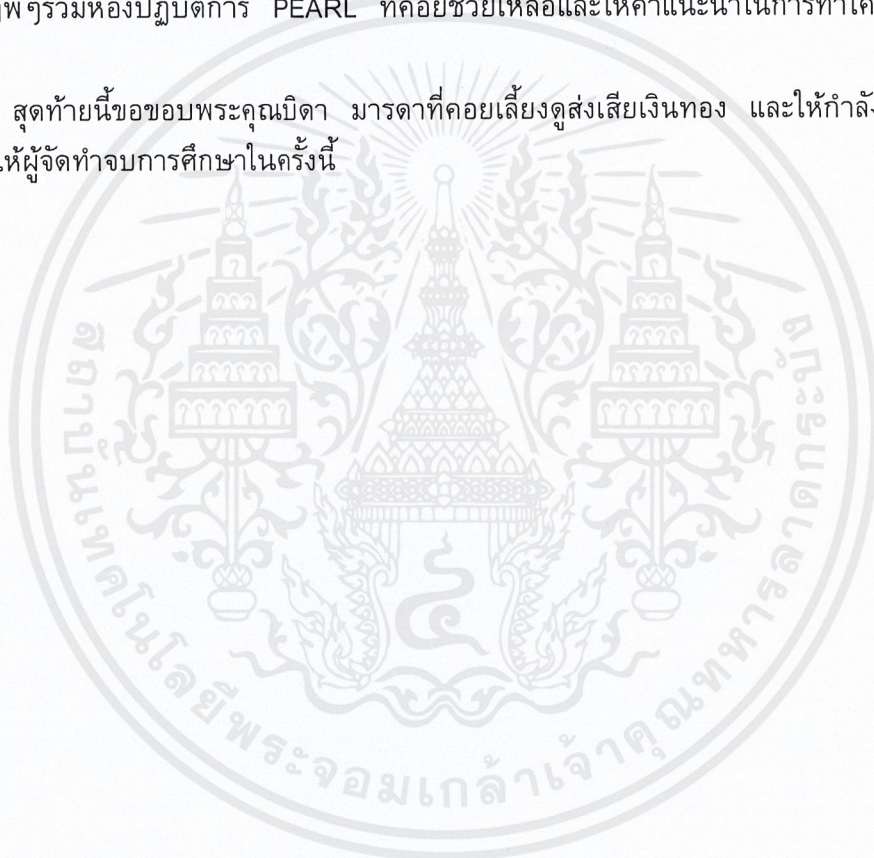
กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ และดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติต่างๆในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆให้กับผู้จัดทำโครงการ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงานที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ Embedded Real Time Controller และเครื่องมือต่างๆในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณสุรจิต แสนทวีสุข คุณบัญญัติ สุमितสุวรรณค์ และคุณปฐมพงศ์ วิจิตร และเพื่อนๆพี่ๆร่วมห้องปฏิบัติการ PEARL ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยเลี้ยงดูส่งเสียเงินทอง และให้กำลังใจตลอดมา ทำให้ผู้จัดทำจบการศึกษาในครั้งนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	3
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความหมายของกริดและไมโครกริด.....	5
2.2 หลักการพื้นฐานของรีเลย์และแมกเนติกคอนแทคที่เชื่อมระหว่างกริดและไมโครกริด	6
2.2.1 รีเลย์.....	7
2.2.2 แมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	8
2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.3.1 มาตรฐาน IEEE 1547	9
2.3.1.1 ตรวจสอบแรงดันสูงและแรงดันต่ำ.....	9
2.3.1.2 ตรวจสอบค่าความถี่.....	10
2.3.1.3 ตรวจสอบการชิ่งโครนัส.....	10
2.3.2 ระเบียบการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับ VSPP.....	11
2.3.2.1 ระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน.....	11
2.3.2.2 ความถี่ไฟฟ้า.....	11
2.3.2.3 การชิ่งโครนัส.....	12
2.3.3 SEMI-F47.....	12
2.3.4 ITIC Curve.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 SEMI-F47.....	12
2.3.4 ITIC Curve.....	13
2.4 ทฤษฎีกระแสเกิน.....	13
2.5 หลักการตรวจสอบการไหลกลับของกำลังไฟฟ้า.....	15
2.6 ทฤษฎีกรองอ้างอิง.....	15
2.6.1 Park's transformation.....	15
2.6.2 Phase-locked loop.....	18
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมโดยใช้ LabVIEW.....	20
3.1 การทำงานของ Embedded Real Time Controller.....	20
3.2 การออกแบบวงจรในส่วน FPGA.....	20
3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณสามเฟสเป็นสัญญาณ dq ในกรองอ้างอิงซิงโครนัส.....	20
3.2.2 วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป.....	21
3.3 การออกแบบวงจรในส่วน Real Time.....	21
3.3.1 มาตรฐาน IEEE 1447.....	26
3.3.1.1 วงจรตรวจสอบแรงดัน.....	26
3.3.1.2 วงจรตรวจสอบความถี่.....	26
3.3.1.3 วงจรตรวจสอบการซิงโครนัส.....	27
3.3.2 มาตรฐาน VSPP.....	27
3.3.3 มาตรฐาน SEMI-F47.....	28
3.3.4 มาตรฐาน ITIC Curve.....	28
3.3.5 วงจรตรวจสอบกระแส.....	29
3.3.6 วงจรตรวจสอบกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับ.....	30
3.3.7 วงจรหน่วงเวลา.....	30
3.4 การออกแบบ Voltage Sensing Circuit.....	31
3.5 การออกแบบ Current Sensing Circuit.....	32
3.6 การออกแบบ Phase Shifting Circuit.....	33
3.7 การออกแบบวงจรจำลองแรงดันเกินและแรงดันตก.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 บทนำ.....	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ผลการทดลองจากการจำลองความผิดปกติของระบบไฟฟ้า.....	37
4.2.1 สัญญาณจากการประมวลผลในส่วน FPGA.....	37
4.2.2 สัญญาณจากการประมวลผลในส่วน Real Time.....	38
4.2.2.1 มาตรฐาน IEEE1547	38
4.2.2.1.1 การชิงโครนส์ที่กำลังไฟฟ้าปรากฏ.....	38
อยู่ในช่วง 0-500 kVA	
4.2.2.1.2 กรณีแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$	39
4.2.2.1.3 กรณีแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$	40
4.2.2.1.4 กรณีแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$	41
4.2.2.1.5 กรณีแรงดันเกินที่ $V \geq 1.2V_{ref}$	42
4.2.2.1.6 กรณีความถี่เกินที่ $f > 50.5\text{Hz}$	43
4.2.2.2 มาตรฐาน SEMI-F47.....	44
4.2.2.2.1 กรณีแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$	44
4.2.2.2.2 กรณีแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} < V \leq 0.7V_{ref}$	45
4.2.2.2.3 กรณีแรงดันตกที่ $0.7V_{ref} < V \leq 0.8V_{ref}$	46
4.2.2.3 กรณีกระแสเกิน.....	47
4.3 ผลการทดลองจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชิงโครนส์กับระบบไฟฟ้า.....	48
4.3.1 มาตรฐาน IEEE 1547	
4.3.1.1 การชิงโครนส์จริงระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าจริง.....	49
4.3.1.2 กรณีแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$	50
4.3.1.3 กรณีแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$	51
4.3.1.4 กรณีแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$	52
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะดำเนินการ.....	53
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานการตรวจสอบแรงดันสูง แรงดันต่ำ.....	10
2.2 มาตรฐานการตรวจสอบความถี่สูง ความถี่ต่ำ.....	10
2.3 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจสอบการชิงโครนัส.....	10
2.4 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฝภ.....	11
2.5 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฝน.....	11



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงระบบไฟฟ้าแบบกริด.....	5
2.2 แสดงระบบไฟฟ้าแบบไมโครกริด.....	6
2.3 แสดงลักษณะของรีเลย์ที่ใช้ในงาน	7
2.4 แสดงโครงสร้างภายในของรีเลย์.....	7
2.5 แสดงสภาวะการทำงานของรีเลย์.....	8
2.6 แสดงลักษณะของแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	8
2.7 แสดงโครงสร้างภายในของแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	9
2.8 แสดงมาตรฐาน SEMI-F47.....	12
2.9 แสดงมาตรฐาน ITIC CURVE.....	13
2.10 แสดง Time Current Characteristic.....	14
2.11 แสดงกราฟคุณลักษณะของ Very Inverse.....	15
2.12 แสดงการแปลง abc ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง.....	17
2.13 แสดงการแปลงจากแกนอ้างอิงหยุดนิ่งเป็นแกนอ้างอิงซิงโครนัส.....	18
2.14 แสดงส่วนประกอบต่างๆของวงจร Phase locked loop.....	19
3.1 แสดงการทำงานของ Embedded Real Time Controller.....	20
3.2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณสามเฟสเป็นสัญญาณ dq.....	21
ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส	
3.3 แสดงโปรแกรมในส่วนของ FPGA.....	23
3.4 แสดงโปรแกรมในส่วนของ Real Time.....	24
3.5 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	25
3.6 แสดงวงจรตรวจจับแรงดันที่อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE 1547.....	26
3.7 แสดงวงจรตรวจจับความถี่ที่อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE 1547.....	26
3.8 แสดงวงจรตรวจสอบการซิงโครนัสที่อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE 1547.....	27
3.9 แสดงวงจรตรวจสอบแรงดันที่อ้างอิงจากมาตรฐาน VSPP.....	27
3.10 แสดงวงจรตรวจสอบแรงดันตกที่อ้างอิงจากมาตรฐาน SEMI-F47.....	28
3.11 แสดงวงจรตรวจจับแรงดันที่อ้างอิงจากมาตรฐาน ITIC CURVE.....	29
3.12 แสดงวงจรตรวจสอบกระแสเกิน.....	29
3.13 แสดงวงจรตรวจสอบกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับ.....	30
3.14 แสดงวงจรหน่วงเวลา.....	31
3.15 แสดงวงจขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	31
3.16 แสดงวงจรตรวจจับกระแส.....	32

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.17 แสดงวงจรเลื้อยเฟส.....	33
3.18 แสดงการสร้างสัญญาณแรงดัน 3 เฟส จำลองเป็นไมโครกริด.....	34
3.19 แสดงวงจรขยายกลับเฟส เลือกตรวจขยายได้.....	34
3.20 แสดงวงจรจำลองไมโครกริด.....	35
4.1 สัญญาณอนาล็อกอินพุตของแรงดันสามเฟส.....	37
4.2 สัญญาณของแรงดัน V_d, V_q ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส.....	37
4.3 สัญญาณการซิงโครนัส	38
4.4 สัญญาณแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$	39
4.5 สัญญาณแรงดันตก $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$	40
4.6 สัญญาณแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$	41
4.7 สัญญาณแรงดันเกินที่ $V \geq 1.2V_{ref}$	42
4.8 สัญญาณความถี่เกินที่ $f > 50.5$ Hz.....	43
4.9 สัญญาณแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$	44
4.10 สัญญาณแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} < V \leq 0.7V_{ref}$	45
4.11 สัญญาณแรงดันตกที่ $0.7V_{ref} < V \leq 0.8V_{ref}$	46
4.12 สัญญาณกระแสเกินที่ $I > 3$	47
4.13 ไตอะแกรมการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกับระบบไฟฟ้า.....	48
4.14 สัญญาณการเชื่อมต่อของแมกเนติกคอนแทคเตอร์.....	49
4.15 สัญญาณแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$	50
4.16 สัญญาณแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$	51
4.17 สัญญาณแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นการผลิตแบบรวมศูนย์ โดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก ถ้าไม่คำนึงถึงข้อเสียด้านมลภาวะจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ข้อดีของการผลิตไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ คือ การผลิตไฟฟ้าปริมาณมากจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ทำให้มีความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์และมีเสถียรภาพการผลิตไฟฟ้าสูง การจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้บริโภคนั้นจะส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านโครงข่ายไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าระดับต่างๆ คือ โรงไฟฟ้ายรวมศูนย์ขนาดใหญ่จะผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงส่งเข้ากริด (ระบบสายส่ง) ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และส่งเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อทำการลดแรงดันไฟฟ้าลง และจ่ายไฟฟ้าเข้ากริดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและกริดของการไฟฟ้านครหลวงในระดับแรงดันที่ต่ำลงและท้ายที่สุดผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กที่สุดตามบ้านเรือนต่างๆ การผลิตและจ่ายไฟฟ้าแบบรวมศูนย์เป็นการจ่ายไฟฟ้าแบบทางเดียวจากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภค ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่จะผลิตจะต้องสัมพันธ์กับภาระความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งจะมีความหลากหลายทั้งในแง่ของช่วงเวลาของความต้องการไฟฟ้าหรือตำแหน่งที่อยู่ของผู้ใช้ซึ่งจะกระจายอยู่ทั่วประเทศ ดังนั้นข้อเสียของการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายจากโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่ คือ การสูญเสียพลังงานตามสายส่ง ในกรณีที่ผู้บริโภคอยู่ไกลจากโรงไฟฟ้าจะยิ่งมีการสูญเสียพลังงานตามสายส่งมากขึ้น และเนื่องจากเป็นระบบผลิตขนาดใหญ่จึงมีปัญหาด้านอัตราการตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงของผู้ใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีลักษณะหลากหลาย และบ่อยครั้งมักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในบางช่วงเวลา เนื่องจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ไม่สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้นระบบส่งพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่จึงไม่มีการบริหารจัดการด้านพลังงานสะสมเพื่อรองรับ หรือชดเชยอัตราการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าของผู้ใช้ และข้อเสียประการสุดท้ายที่เห็นได้ชัด คือ ข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะไม่สูงนัก เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศ โดยไม่ได้นำกลับมาใช้แต่อย่างใด

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าได้พัฒนาจนมีขนาดของระบบเล็กมาก และราคาก็ต่ำลงกว่าในอดีต เช่น กังหันก๊าซขนาดเล็กมาก หรือเครื่องยนต์สเตอร์ริง ซึ่งสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายในการผลิตไฟฟ้า และเนื่องจากระบบมีขนาดเล็กทำให้ผู้ใช้มีอิสระที่จะเลือกตำแหน่งการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่ใกล้กับภาระความต้องการไฟฟ้า ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ทำให้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เปิดโอกาสในการเชื่อมต่อกับระบบกริดไฟฟ้า ด้วยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาด

เล็กเหล่านี้สามารถทำให้เกิดไมโครกริด (Micro Grid) ซึ่งหมายถึงระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Distribution Energy Resource ,DER) เป็นของตัวเอง เช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสง แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าพลังงานลม เป็นต้น และไหลลงภายในพื้นที่นั้นจะเป็นอิสระจากระบบไฟฟ้าหลัก(Grid) แต่ไมโครกริดนั้นก็ยังคงต้องเข้ากับกริดด้วย เนื่องจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก(DER) อาจจะไม่สามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอเกี่ยวกับความต้องการของโหลดในไมโครกริด ดังนั้นถ้าหากกริดนั้นเกิดปัญหา เช่น เกิดแรงดันตก ตัวไมโครกริดจะปลดตัวเองออกจากกริดได้ และทำงานโดยการผลิตและส่งจ่ายภายในพื้นที่ และสามารถที่จะเชื่อมต่อกลับเข้าไปในกริดได้เมื่อความผิดปกติภายในกริดนั้นหมดลงไปแล้ว

จากที่กล่าวข้างต้น ไมโครกริดต้องสามารถต่อเข้าหรือปลดออกจากกริดได้ เมื่อเกิดปัญหา เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างกริดและไมโครกริด จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่จะเข้ามาทำหน้าที่นี้ เรียกว่าอุปกรณ์ตัดต่อ (Separation Device ,SD) ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อตัวนี้จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547,VSP และ SEMI-F47 ที่กำหนดไว้ การตัดต่อของอุปกรณ์เมื่อเกิดสภาวะต่างๆขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ตัดต่อในงานวิจัยนี้ใช้เป็นแมกเนติกคอนแทคเตอร์ซึ่งต้องการชุดควบคุมที่จะเป็นตัวตรวจจับความผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ แล้วส่งการไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ในงานวิจัยส่วนนี้จะเป็นการศึกษาการควบคุมการตัดต่อของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ โดยทำการจำลองการทำงานของวงจรควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW แล้วใช้ Embedded System Implementation เป็นตัวศึกษาการทำงานของสวิตซ์จากโปรแกรมที่ออกแบบมา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและรวบรวมข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงระหว่างกริดและไมโครกริด
2. ศึกษาและออกแบบชุดควบคุม อัลกอริทึมการคำนวณและตรวจจับความผิดปกติต่างๆเพื่อใช้ในการควบคุมแมกเนติกคอนแทคเตอร์
3. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุม
4. ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมโดยการจำลองเหตุการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ
5. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อทดสอบการทำงานตามฟังก์ชันที่ออกแบบ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1. ศึกษาการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์
2. ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์จากโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการศึกษาคircuit ต่อของอุปกรณ์เพื่อใช้ไปออกแบบอัลกอริทึมต่างๆ
3. พัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมในส่วน การตรวจจ็กระแสเกิน กำลังไหลย้อนกลับ และการชิ่งค์โครไนส์
4. ใช้ Embedded System Implementation เพื่อศึกษาผลของการตัดต่อจากโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบในคอมพิวเตอร์

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์
2. ศึกษามาตรฐาน IEEE1547, VSPP, ITIC CURVE และ SEMIF47 เพื่อนำไปใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการควบคุมอุปกรณ์ตัดต่อ
3. ศึกษาโปรแกรม LabVIEW เพื่อเพิ่มเติมโปรแกรมในส่วนของ Over Current, Reverse Power และ Synchronous
4. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจ็กระแสและแรงดัน
5. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัดต่อ อุปกรณ์ตรวจจ็กระแส แรงดัน และ Embedded เข้าด้วยกัน
6. วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 แผนการดำเนินโครงการงาน

ในส่วนของเทอมที่ 1 จะศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อ ทฤษฎีที่ใช้ในการหาวิธีการตรวจสอบค่าความผิดปกติต่างๆของระบบรวมไปถึงการจำลองการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในส่วนของเทอมที่ 2 เป็นการนำโปรแกรมที่ออกแบบโดย LabVIEW ไปใช้กับ embedded controller programmed เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรมให้ทำงานตัดต่อเป็นไปตามที่ออกแบบ จากนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจ็แรงดันและกระแส เพื่อทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัดต่อ หลังจากนั้นจึงสรุปผล และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ด้านวิชาการ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์จากการเรียนรู้ที่ผ่านมาดังนี้

1. เข้าถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อความสำคัญของเวลาในการตัดต่อของอุปกรณ์
2. ความรู้เกี่ยวกับกริดและไมโครกริด หน้าที่ ความสามารถ ประโยชน์ของกริดและไมโครกริด
3. ความรู้ในการใช้โปรแกรม LabVIEW ในการทำการทดลอง จำลองต่าง ๆ
4. ได้นำความรู้เกี่ยวกับการแปลงแรงดันจากสามเฟสเป็นแรงดันในแกน d-q จากการเรียนมาใช้ในการทดลอง
5. ความรู้ในการใช้ Embedded System Implementation ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW เพื่อตรวจสอบการทำงาน

ด้านคุณธรรมและจริยธรรม ดังนี้

1. ฝึกการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน
2. เกิดความรับผิดชอบต่อหน้าที่และตรงต่อเวลาในงานที่ได้รับมอบหมาย

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

การพัฒนาระบบควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อสำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและไมโครกริดในงานปฏิญญาพันธนี้ สามารถแบ่งเป็นแต่ละบทได้ดังต่อไปนี้
 บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการงานขอบเขต และข้อกำหนดของโครงการ แผนการดำเนินโครงการ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง ความหมายของกริดและไมโครกริด หลักการพื้นฐานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่เชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริด มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีกรอบอ้างอิง Park's Transformation และ phase-locked loop

บทที่ 3 การทำงานของ Embedded real-time controller กล่าวถึง การออกแบบในส่วนของ Field Programmable Gate Array (FPGA) และการออกแบบในส่วนของ Real Time

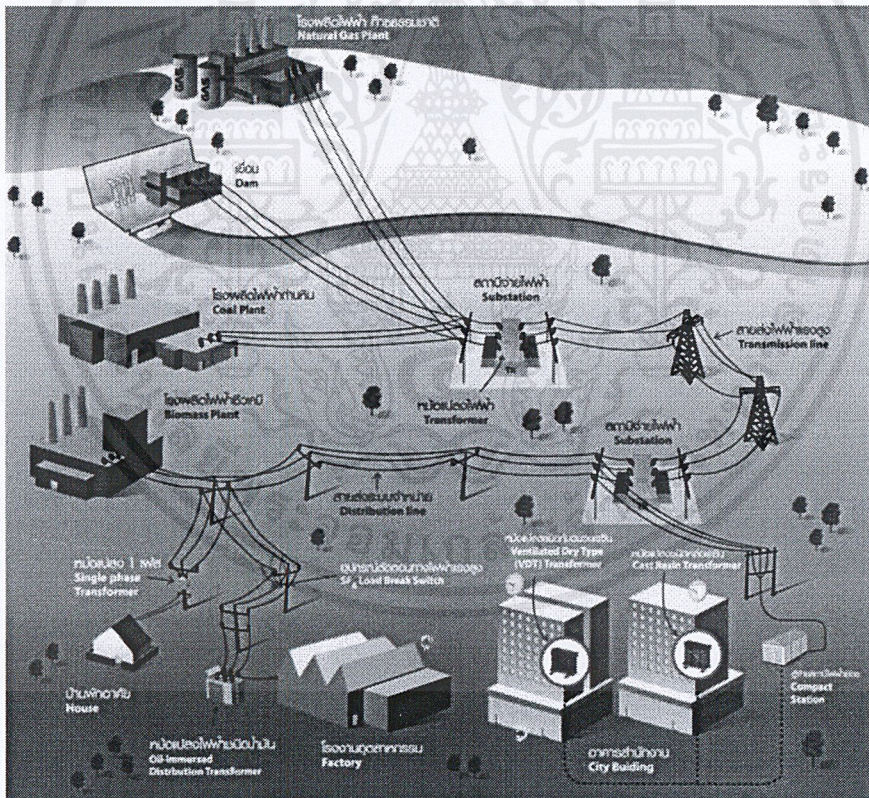
บทที่ 4 ผลการทดลองแสดงความผิดปกติของระบบไฟฟ้า ในแรงของแรงดันของมาตรฐานต่าง ๆ กระแส ความถี่ รวมถึงระยะเวลาในการตัดต่อ เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองในกรณีต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลองไป และทำการวิจารณ์ผลการทดลอง เพื่อนำไปปรับปรุงต่อไปในอนาคต

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของกริดและไมโครกริด

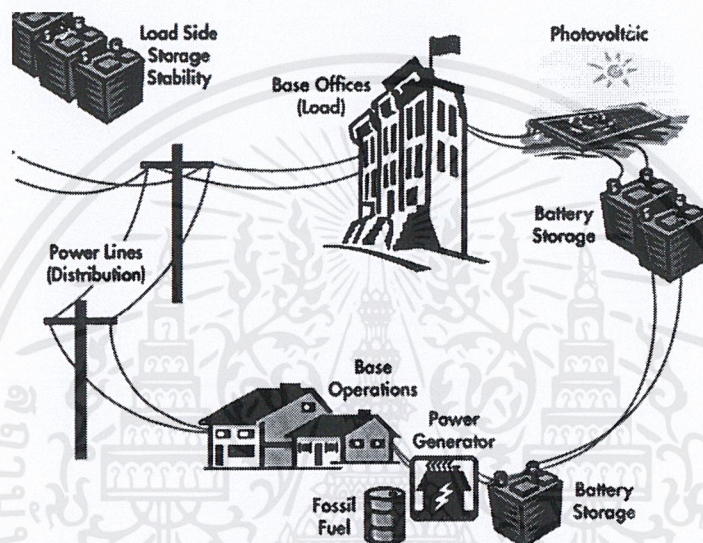
กริด คือ ระบบของไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยโรงจกรกำลังต่างๆ เช่น โรงจกรพลังงานความร้อนโรงจกรพลังงานน้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งพลังงานผ่านทางสายส่งไปสู่ผู้ใช้งาน เช่น โรงงาน บ้านเรือนต่างๆ เป็นต้น แต่เนื่องด้วยโรงจกรกำลังในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นต้องใช้พื้นที่ในการสร้างมากและต้องใกล้กับแหล่งพลังงานเพื่อประหยัดค่าขนส่งเชื้อเพลิง จึงทำให้โรงจกรมีความห่างไกลจากแหล่งผู้ใช้พลังงาน ซึ่งต้องใช้สายส่งที่มีความยาวมาก จึงส่งผลให้มีความสูญเสียเกิดขึ้นในระบบมากขึ้น และเนื่องด้วยปัญหาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและปัญหาทางด้านมลพิษส่งผลต่อโลกในปัจจุบันมากขึ้น ทำให้การขยายโรงจกรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภคในประเทศ นั้นทำได้ยากขึ้น จึงใช้ไมโครกริดเข้ามาช่วยแก้ปัญหา



ภาพที่ 2.1 แสดงระบบไฟฟ้าแบบกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครกริด คือ ระบบของไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กที่มีแหล่งจ่ายพลังงานขนาดเล็กเป็นของตัวเอง เช่น แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม จากพลังงานแสง หรือ ไมโครเทอร์ไบน์ เป็นต้น ซึ่งไมโครกริดนี้สามารถติดตั้งใกล้แหล่งใช้พลังงานของพื้นที่หนึ่งได้ เช่น หมู่บ้าน เนื่องจากสามารถลดความยาวของสายส่งได้จึงทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในระบบลงได้ แต่กระนั้นไมโครกริดก็อาจไม่สามารถที่จะผลิตพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการของพื้นที่ๆนั้น จึงต้องมีสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างไมโครกริดกับกริด เพื่อรับพลังงานในส่วนที่ไมโครกริดไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค



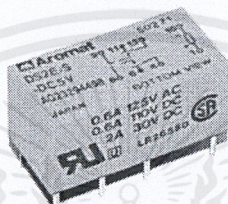
ภาพที่ 2.2 แสดงระบบไฟฟ้าแบบไมโครกริด

2.2 หลักการพื้นฐานของรีเลย์และแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่เชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริด

เนื่องด้วยไมโครกริดนั้นต้องมีกสนเชื่อมต่อระหว่างระบบสองระบบ คือ กริดและไมโครกริด จึงจำเป็นจึงมีอุปกรณ์ตัดต่อวงจรเข้ามาเชื่อมระหว่างระบบสองระบบนี้ เนื่องจากความผิดปกติทางไฟฟ้าอาจจะเกิดขึ้นเมื่อไหร่ก็ได้ เช่น มีแรงดันเกินเกิดขึ้นในฝั่งกริด ถ้าที่จุดเชื่อมต่อนี้ไม่มีอุปกรณ์ตัดต่อจะทำให้ผลของแรงดันเกิดในฝั่งของกริด ส่งผลเข้ามาในไมโครกริดได้ ซึ่งอุปกรณ์ตัดต่อที่ใช้ก็คือ แมกเนติกคอนแทคเตอร์

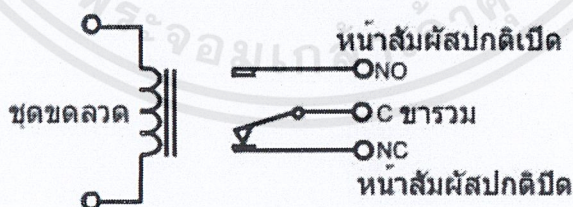
2.2.1 รีเลย์(relay)

รีเลย์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ ตัด-ต่อวงจรคล้ายสวิตช์ โดยใช้หลักการหน้าสัมผัส และการที่จะให้มันทำงานก็ต้องจ่ายไฟให้มันตามที่กำหนด เพราะเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวรีเลย์ มันจะทำให้หน้าสัมผัสติดกัน กลายเป็นวงจรผิด และตรงข้ามทันทีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้มัน มันจะกลายเป็นวงจรเปิด



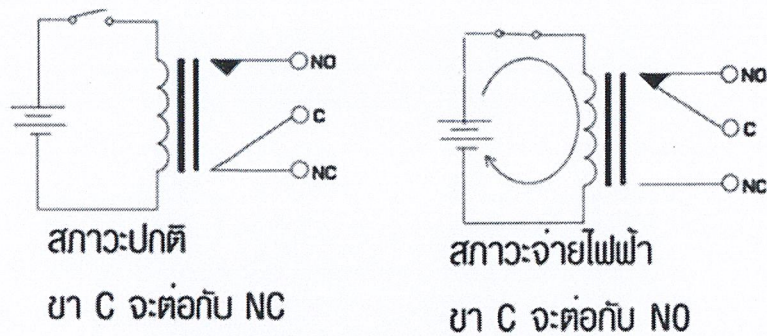
ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะรีเลย์ที่ใช้ในงาน

โครงสร้างภายในของรีเลย์ จะประกอบไปด้วยขดลวด 1 ชุดและหน้าสัมผัส ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุดจะประกอบไปด้วย หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC) ซึ่งในสภาวะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม(C) และหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (C) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่าน(ในปริมาณเพียงพอ) ในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิต



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างภายในของรีเลย์

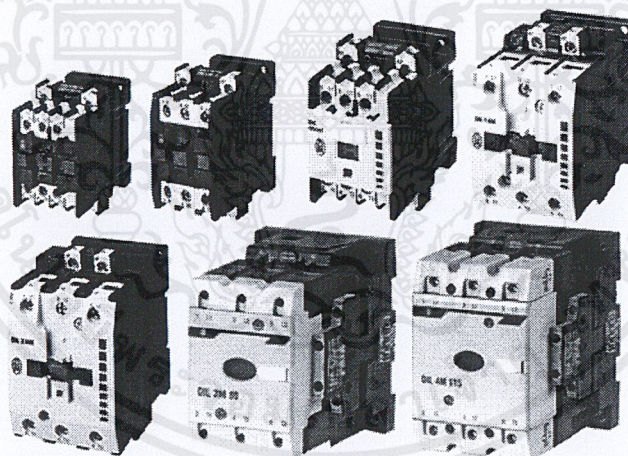
หลักการทำงานของรีเลย์ คือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กไปดึง แผ่นหน้าสัมผัสให้ดึงลงมาแตะหน้าสัมผัสอีกอันทำให้มีกระแสไหลผ่านหน้าสัมผัสไปได้



ภาพที่ 2.5 แสดงสภาวะการทำงานของรีเลย์

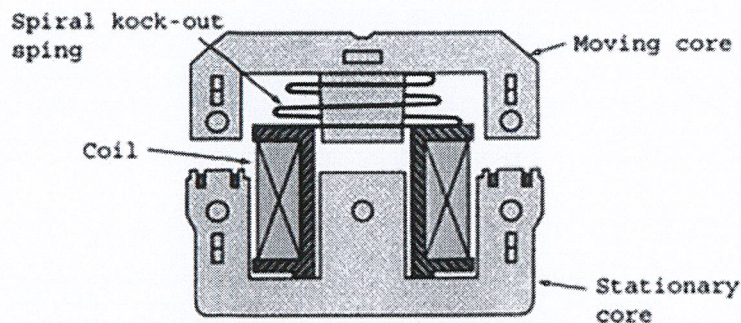
2.2.2 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic contactor)

แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic contactor) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยอำนาจแม่เหล็กในการเปิดปิดหน้าสัมผัสในการควบคุม หรือเรียกว่าสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) หรือ คอนแทคเตอร์ (Contactor) ก็ได้



ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะแมกเนติกคอนแทคเตอร์

โครงสร้างภายในและส่วนประกอบของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ หรือสวิตช์แม่เหล็ก ประกอบไปด้วย แกนเหล็ก ขดลวด และหน้าสัมผัส



ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างภายในของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

หลักการทำงานคือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่อยู่ขากลางของแกนเหล็ก ขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กขณะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะนี้(ON) คอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานคือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัสเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม

2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 มาตรฐาน IEEE 1547

มาตรฐาน IEEE 1547 เป็นมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ตัดต่อ ซึ่งทำหน้าที่ในการตัดต่อระหว่างระบบไฟฟ้าและไมโครกริด ให้เป็นไปอย่างราบรื่น ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1.1 ตรวจสอบแรงดันสูงและแรงดันต่ำ (Over Under Voltage Protection)

การทำงานของระบบเชื่อมต่อในการตรวจสอบแรงดันนั้น จะตรวจจับแรงดันเฟสที่ฝั่งไมโครกริดและฝั่งระบบไฟฟ้า ถ้าแรงดันที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงกำหนดไว้ดังตารางที่ 2.1 ไมโครกริดจะต้องปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้าภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเวลาในการทริปคือเวลาเริ่มจากแรงดันระดับปกติ จนถึงช่วงไมโครกริดปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้า ถ้าเวลาทริปเกินกว่าที่กำหนดอาจส่งผลเสียหายต่อฝั่งไมโครกริดและระบบไฟฟ้าได้ ซึ่งรายละเอียดของการตรวจสอบแรงดันมีดังนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการตรวจสอบแรงดันสูง แรงดันต่ำ

ระดับ	ระดับแรงดัน (V) (% จากแรงดันปกติ)	เวลาในการทริป (s)
1	แรงดัน < 50	0.16
2	$50 \leq$ แรงดัน < 88	2.00
3	$110 <$ แรงดัน < 120	1.00
4	แรงดัน ≥ 120	0.16

2.3.1.2 ตรวจสอบค่าความถี่ (Frequency Protection)

การตรวจสอบค่าความถี่จะทำการวัดจากฝั่งไมโครกริดและระบบไฟฟ้า เมื่อความถี่ที่ตรวจจับได้มีค่ามาก กว้างหรือน้อยกว่าระดับความถี่ปกติ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ระบบเชื่อมต่อต้องปลดไมโครกริดออกจากระบบไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งรายละเอียดในการตรวจสอบความถี่มีดังนี้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการตรวจสอบความถี่สูง ความถี่ต่ำ

ระดับ	ระดับแรงดัน (V) (% จากแรงดันปกติ)	เวลาในการทริป (s)
1	$V > 60.5$	0.16
2	$V < \{59.8 - 57.0\}$	0.16 - 300
3	$V < 57.0$	0.16

2.3.1.3 ตรวจสอบการซิงโครไนส์ (Synchronize Protection)

การซิงโครไนส์จะตรวจสอบขนาดของแรงดัน มุมเฟส และความถี่ของไมโครกริดกับระบบไฟฟ้า ให้เข้ากันเพื่อที่จะเชื่อมต่อบนทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยให้ค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวมาอยู่ภายในค่าที่กำหนดในตารางที่ ถ้าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ จะต้องไม่มีการเชื่อมต่อบน

ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจสอบการซิงโครไนส์

ระดับ (KVA)	ความแตกต่างของความถี่ (Δf , Hz)	ความแตกต่างของแรงดัน (ΔV , %)	ความแตกต่างของมุมเฟส ($\Delta \Phi$, องศา)
0-500	0.3	10	20
500-1500	0.2	5	15
1500-10000	0.1	3	10

2.3.2 ระเบียบการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับ VSPP

ระเบียบการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายสำหรับปริมาณไฟฟ้าไม่เกิน 1 เมกะวัตต์มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.3.2.1 ระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุด และต่ำสุดที่กำหนดไว้ของ กฝภ. และ กฝน. มีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฝภ.

ระดับแรงดัน	Normal Circumstances		Exceptional Circumstances	
	Min.	Max.	Min.	Max.
33kv	31.3	34.7	29.7	36.3
22kv	20.9	23.1	19.8	24.2
220v	200	240	200	240
380v	342	418	342	418

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฝน.

ระดับแรงดัน	Normal Circumstances		Exceptional Circumstances	
	Min.	Max.	Min.	Max.
24kv	21.8	23.6	21.6	24.0
12kv	10.9	11.8	10.8	12.0
230v	21.4	237	209	240
400v	371	410	362	416

2.3.2.2 ความถี่ไฟฟ้า

ผู้ให้สัญญาจะต้องรักษาความถี่ไฟฟ้าให้อยู่ในระดับ 50 ± 0.5 รอบต่อวินาที หากไม่สามารถรักษาระดับความถี่นี้ได้ จะต้องมียุทธวิธีตัดตอนอัตโนมัติตัดการจ่ายไฟฟ้าของผู้ให้สัญญาออกจากระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายภายใน 0.1 วินาที ทั้งนี้อาจมีการพิจารณาทบทวนใหม่ตามความเหมาะสมเป็นครั้งคราวไป หรือในกรณีที่มีปัญหาการตัดไฟบ่อยครั้ง (Nuisance tripping) อันเนื่องมาจากความผันผวนของแรงดันระบบ

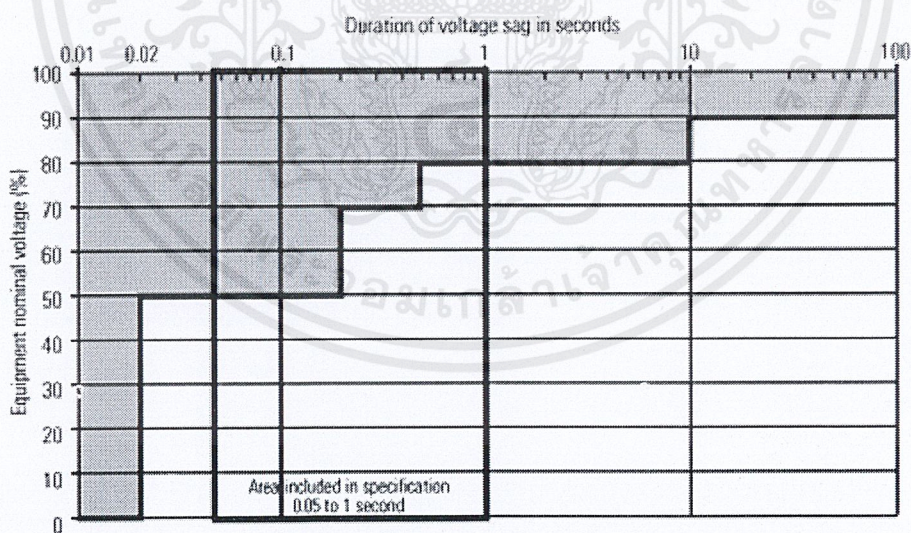
2.3.2.3 การซิงโครไนส์

- ผู้ให้สัญญาจะต้องไม่จ่ายไฟฟ้าเข้ากับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ในขณะที่ระบบ ของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ส่วนที่ต่อกับระบบของผู้ให้สัญญาไม่มีไฟฟ้า ผู้ให้สัญญาต้องมั่นใจว่า อุปกรณ์ที่ติดตั้งสามารถป้องกันการจ่ายไฟฟ้าเข้ากับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ขณะไม่มีไฟฟ้าในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

- การ Synchronization ให้ทำที่ Generator Breaker หรือที่ Interconnection Circuit Breaker แล้วแต่กรณี

2.3.3 SEMI-F47

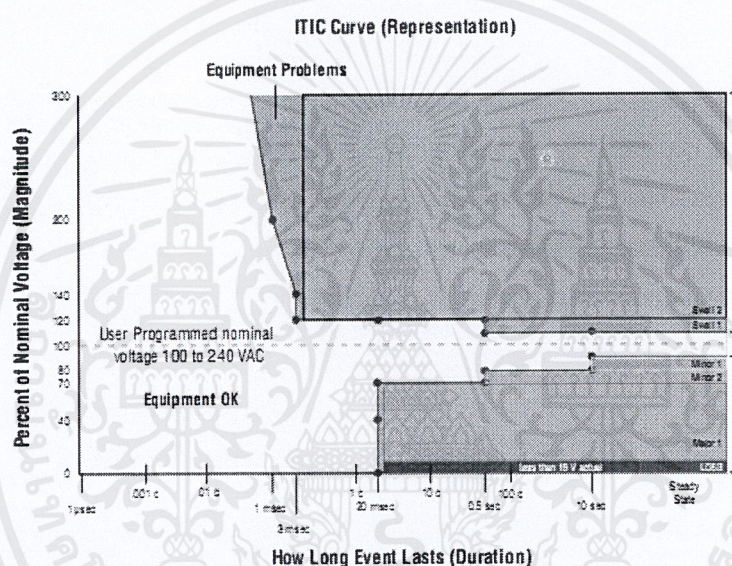
SEMI Curve คือมาตรฐานจากกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (The Semiconductor Equipment and Materials International Group) เพื่อใช้ประเมินผลกระทบเฉพาะปัญหาแรงดันตกชั่วขณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยถ้าแรงดันที่ตกลงไปต้องเหลือไม่ต่ำกว่า 50% ของแรงดันพิกัดในช่วงเวลา 0.05-0.2 s แรงดันที่ตกลงไปต้องไม่เหลือต่ำกว่า 70% ของแรงดันพิกัดในช่วงเวลา 0.2-0.5 s และแรงดันที่ตกลงไปต้องไม่เหลือต่ำกว่า 80% ของแรงดันพิกัดในช่วงเวลา 0.5-1.0 s ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงมาตรฐาน SEMI-F47

2.3.4 ITIC Curve

ITIC Curve คือ มาตรฐานจากองค์กรทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Information Technology Industry Council) ซึ่งได้กำหนดมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดตกลงไปเหลือไม่ต่ำกว่า 70% ของแรงดันพิกัดในช่วงเวลา 0.02-0.5 s และขนาดของแรงดันตกชั่วขณะตกลงไปเหลือไม่ต่ำกว่า 80% ของแรงดันพิกัดในช่วงเวลา 0.5-10s ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงมาตรฐาน ITIC CURVE

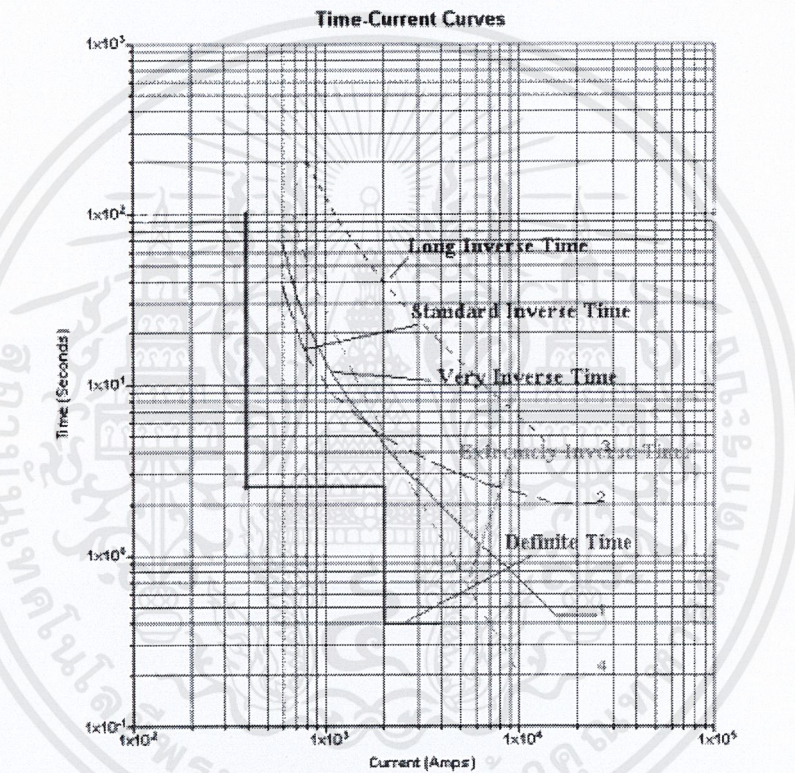
2.4 ทฤษฎีกระแสเกิน

การตรวจสอบกระแสเกิน เมื่อกระแสที่ตรวจจับได้มีค่ามากกว่ากระแสที่กำหนด ระบบเชื่อมต่อต้องปลดไม่โคราติออกจากระบบไฟฟ้าทันที โดยการกำหนดการทำงานของรีเลย์สามารถเลือกได้ 2 รูปแบบคือ แบบ Fixed Time และแบบ Inverse Time นอกจากนี้ลักษณะของ Inverse Time นี้ยังแบ่งออกได้หลายชนิด คือ Long Inverse Time ,Standard Inverse Time ,Very Inverse Time และ Extremely Inverse Time โดยช่วงเวลางานจะเป็นส่วนกลับกับค่ากระแสพิกัด เมื่อมีกระแสฟลัด รีเลย์จะทำงานตามสมการต่างๆตามสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสูตรของ Time Current Characteristic นั้นมีดังนี้

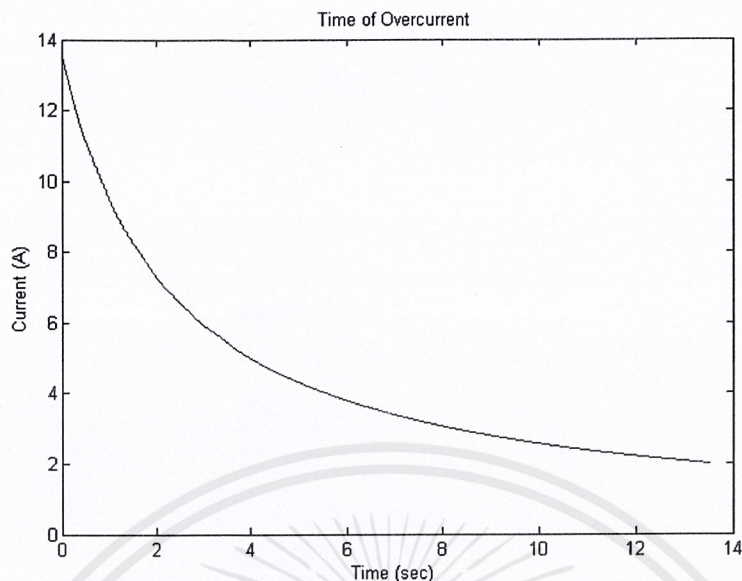
1. Long time Inverse : $t = \frac{120}{I-1}$
2. Normally Inverse : $t = \frac{0.14}{I^{0.02}-1}$
3. Very Inverse : $t = \frac{13.5}{I-1}$
4. Extremely Inverse : $t = \frac{80}{I^2-1}$



ภาพที่ 2.10 แสดง Time Current Characteristic

ในโครงการนี้ได้เลือกการทำงานของรีเลย์ Inverse Time แบบ Very Inverse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 แสดงกราฟคุณลักษณะของ Very Inverse

2.5 หลักการตรวจสอบการไหลกลับของกำลังไฟฟ้า

การตรวจสอบการไหลกลับของกำลังไฟฟ้า ทำได้โดยตรวจจับกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านระบบเชื่อมต่อ โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ จะนำมาเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ตั้งไว้เริ่มต้น ถ้ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้มีทิศทางไหลกลับจากที่ตั้งไว้ ระบบเชื่อมต่อต้องปลดไมโครกริดออกจากระบบไฟฟ้า เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่อุปกรณ์ต่างๆในระบบ

2.6 ทฤษฎีกรอบอ้างอิง (Reference Frame Theory)

ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของ DSP หรือ FPGA นั้นจะใช้หลักการของการแปลงค่าแรงดันสามเฟสและกระแสไปสู่ระบบสองแกนที่มีแกนอ้างอิงซิงโครนัส โดยใช้หลักการของ Park's Transformation

2.6.1 Park's Transformation

Park's transformation เป็นการแปลงค่าแรงดันชั่วขณะสามเฟสคือ เฟส a b c ไปเป็นแรงดันชั่วขณะบนแกน dq0 ซึ่งมีสมการแปลงและการอินเวอร์ส ดังนี้ โดยที่ตัวแปรต่างๆ จะมี superscript ในการระบุกรอบอ้างอิงที่ใช้ s สำหรับกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง และ e สำหรับกรอบอ้างอิงซิงโครนัส

$$\begin{bmatrix} V_d^s \\ V_q^s \\ V_0^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

และการอินเวอร์ส คือ

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d^s \\ V_q^s \\ V_0^s \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

กระแสเฟสชั่วขณะก็มีสมการการแปลงเช่นเดียวกัน คือ

$$\begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \\ I_0^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

และการอินเวอร์ส คือ

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \\ I_0^s \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

ข้อดีของการใช้การแปลงแบบนี้คือสามารถแยก zero sequence ออกจากส่วนประกอบเฟส abc แกน d และ q นั้นไม่มีส่วนของ zero sequence ซึ่งกระแส zero sequence นั้นจะไม่ปรากฏในระบบ สามเฟส สามสาย ดังนั้น I_0 จึงสามารถตัดออกจากสมการดังกล่าวได้ ถ้าเป็นสามเฟสสมดุล ในระบบสี่สายจะไม่มีแรงดัน zero sequence ปรากฏ ดังนั้น V_0 จึงสามารถตัดออกได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการปรากฏของส่วนประกอบของ zero sequence การแปลงจำเป็นต้องคำนึงถึงสมการในรูปเต็ม ถ้า V_0 สามารถตัดออกจากเมตริกการแปลงได้ Park's transformation และการอินเวอร์สจะเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

และการอินเวอร์ส คือ

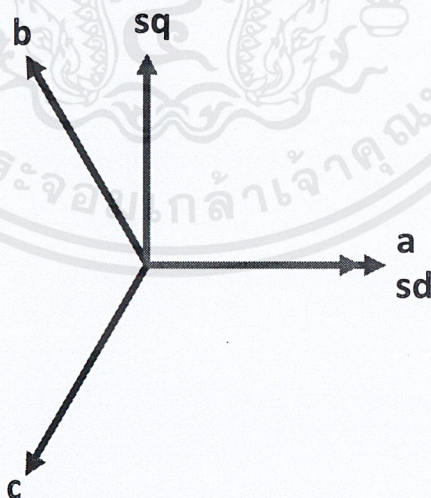
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

ทางด้านสมการการแปลงของกระแสก็เช่นเดียวกัน คือ

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

และการอินเวอร์ส คือ

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (2.8)$$



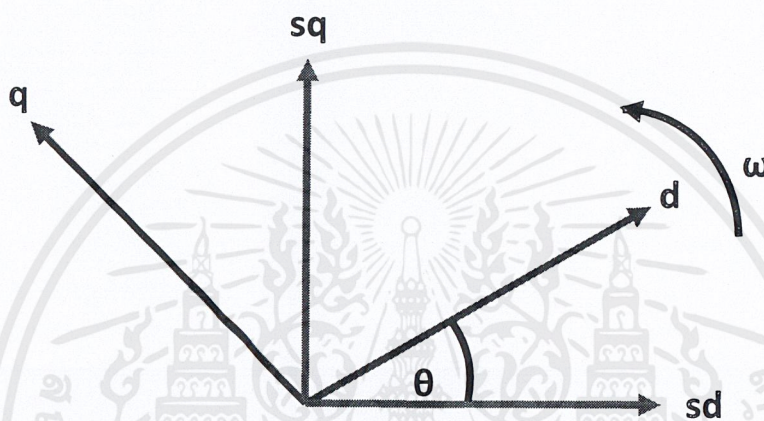
ภาพที่ 2.12 แสดงการแปลง abc ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง dq

ขั้นตอนต่อไปคือการแปลงจากแกนหยุดนิ่งเป็นแกนที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส ซึ่งมีสมการแปลงดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_d^e \\ V_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d^s \\ V_q^s \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

ทางด้านสมการการแปลงของกระแสก็เช่นเดียวกัน คือ

$$\begin{bmatrix} I_d^e \\ I_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^s \\ I_q^s \end{bmatrix} \quad (2.10)$$



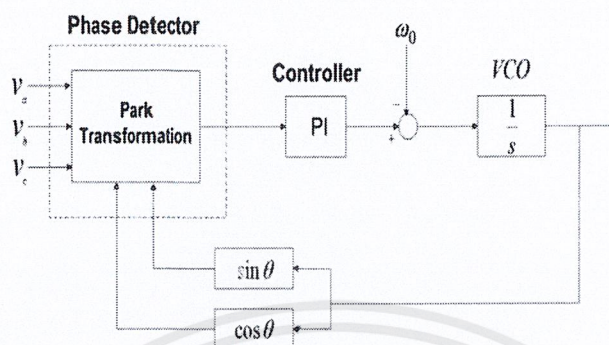
ภาพที่ 2.13 แสดงการแปลงจากแกนอ้างอิงหยุดนิ่งเป็นแกนอ้างอิงซิงโครนัส

2.6.2 Phase Locked Loop

เนื่องจากการใช้ Park transformation นั้นจำเป็นต้องมีการป้อนค่ามุมเข้าไป และเนื่องจากการแปลงค่าแรงดันและกระแสไปอยู่ที่ระบบสองแกนที่แกนอ้างอิงซิงโครนัส ดังนั้นค่ามุมที่ต้องทำการป้อนเข้าไปจึงต้องซิงโครนัสกับระบบไฟฟ้าเสมอ ซึ่งก็คือขนาดและความถี่ของสัญญาณค่ามุมจะเท่ากับของสัญญาณอินพุต

Phase Locked Loop (PLL) เป็นระบบควบคุมซึ่งสร้างสัญญาณที่กำหนดความถี่เกี่ยวข้องกับเฟสของสัญญาณอ้างอิง วงจร Phase Locked Loop ตอบสนองทั้งความถี่และเฟสของสัญญาณอินพุตซึ่งปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของตัวออสซิลเลเตอร์อย่างอัตโนมัติ จนกระทั่งค่านั้นเท่ากับกับค่าอ้างอิงของทั้งเฟสและความถี่ ซึ่งเป็นวงจรควบคุมที่มีการป้อนกลับแบบป้อนกลับลบ โดยทั่วไป PLL จะเปรียบเทียบค่าความถี่ของสองสัญญาณและสร้างสัญญาณค่าผิดพลาด สัดส่วนความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต สัญญาณค่าผิดพลาดจะใช้ในการขับออสซิลเลเตอร์ควบคุมแรงดันซึ่งสร้างความถี่เอาท์พุท ความถี่เอาท์พุทนั้นก็จะถูกป้อนผ่านตัวหารความถี่กลับไปสู่อินพุตของระบบ สร้างเป็นรูปการป้อนกลับแบบลบ ถ้าความถี่เอาท์พุทเปลี่ยนแปลงสัญญาณค่าผิดพลาดจะเพิ่มขึ้น ขับความถี่ในทิศทางตรงกันข้ามดังนั้นจะไปลดค่า

ความผิดพลาด ดังนั้นเอาที่พุดจะลือกค่าความถี่การอินพุท ซึ่งอินพุทนี้ก็คือค่าอ้างอิงซึ่งมาจากตัวคริสตัลอสซิลเลเตอร์ ซึ่งมีความเสถียรมากทางความถี่



ภาพที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบต่างๆของวงจร Phase locked loop



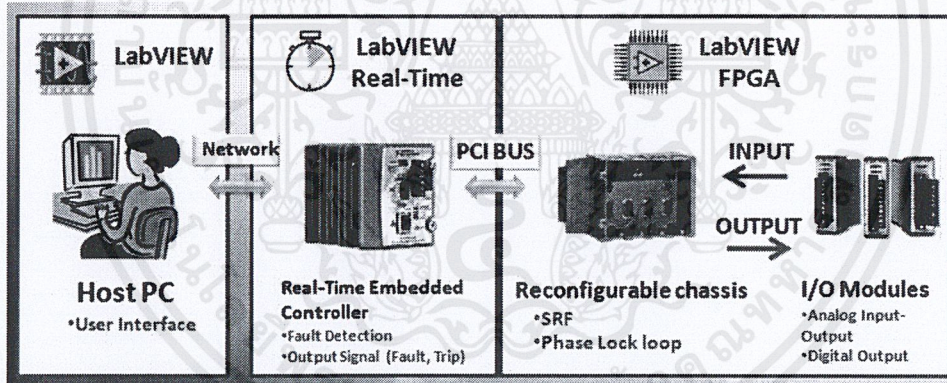
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ LabVIEW และสร้างวงจรการทดลอง

3.1 การทำงานของ Embedded real-time controller

การทำงานของ Embedded real-time controller นั้นจะมีอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ การทำงานในส่วนของ Field Programmable Gate Array (FPGA) และการทำงานในส่วนของ real time ขั้นตอนแรก FPGA จะรับสัญญาณอนาล็อกเข้ามาและทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าสามเฟส เป็นแรงดันไฟฟ้าในกรอบอ้างอิง d-q จากนั้นจึงนำค่ามาประมวลผลในส่วนของ real time และส่งข้อมูลของวงจรตรวจจับแรงดัน วงจรตรวจจับกระแส วงจรตรวจจับความถี่ และวงจรหน่วงเวลา ซึ่งวงจรต่างๆเหล่านี้จะทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE1547, VSPP, SEMI-F47 หรือตามข้อกำหนดของผู้ใช้งาน และ FPGA ยังได้ทำการเขียนวงจรเฟสล็อกเข้าไปด้วย ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำค่าที่ได้จากการตรวจสอบส่งออกไปยัง FPGA และส่วนของคอมพิวเตอร์ผู้ใช้งาน (Host) เพื่อทำการควบคุมต่อไป ดังภาพที่ 3.1



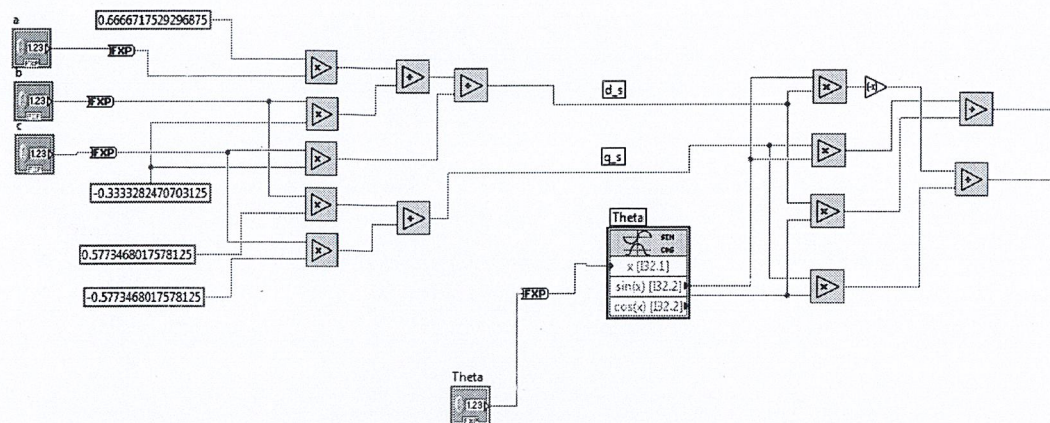
ภาพที่ 3.1 แสดงการทำงานของ Embedded Real Time Controller

3.2 การออกแบบในส่วนของ Field Programmable Gate Array (FPGA)

3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณสามเฟสเป็นสัญญาณ dq ในกรอบอ้างอิง

ซิงโครนัส

วงจรแปลงสัญญาณสามเฟสเป็นสัญญาณ dq ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัสนั้นจะใช้ ทฤษฎี Park's Transformation โดยมีการบ่อนค่ามุมทั้งแบบบ่อนค่าอ้างอิง และใช้ phase-locked loop ซึ่งเป็นวงจรควบคุมในการบ่อนมุมเข้าไป



ภาพที่ 3.2 วงจรแปลงสัญญาณสามเฟสเป็นสัญญาณ dq ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส

3.2.2 วงจรเฟสล็อกกลูป

เฟสล็อกกลูป เป็นระบบควบคุมความถี่ โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเฟสของความถี่ทางด้านเอาต์พุต กับเฟสของความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งถูกป้อนเข้าทางด้านอินพุตของระบบ จากการทดลองได้ทำการเขียนวงจรเฟสล็อกกลูปของระบบไฟฟ้ากริดและระบบไฟฟ้าไมโครกริดดังภาพที่ 3.3

จากการออกแบบวงจรโดยใช้บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกกลูปลงในส่วนของFPGA ดังนี้

1. กำหนด Loop Rate = 100 μ s
2. ส่วนรับสัญญาณอนาล็อกจากอุปกรณ์อินพุตจำนวน 6 อินพุตเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสามเฟสของระบบไฟฟ้ากริดและระบบไฟฟ้าไมโครกริด
3. ส่วนประมวลผลประกอบด้วยวงจรแปลงกรอบอ้างอิงและวงจรเฟสล็อกกลูป
4. ส่วนรับข้อมูลกับ Real Time Controller และส่งสัญญาณออกอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุต 4 เอาต์พุตแสดงแรงดันในกรอบอ้างอิง $d-q$ ของระบบไฟฟ้ากริดและระบบไฟฟ้าไมโครกริด และสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตจำนวน 2 เอาต์พุตแสดงความผิดปกติทางไฟฟ้าและสัญญาณการตัดวงจรของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

3.3 การออกแบบในส่วนของ Real Time

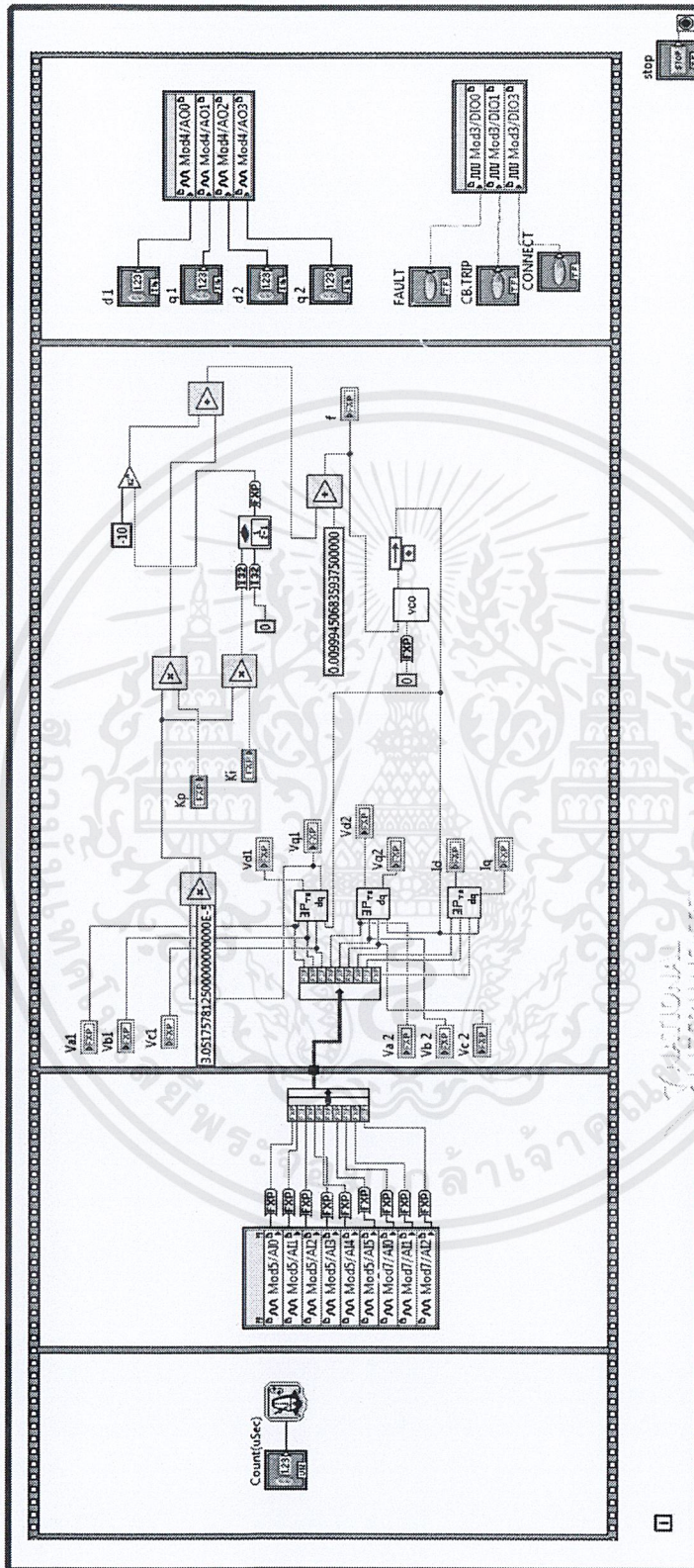
การทำงานในส่วนของ real time จะทำการตรวจสอบความผิดปกติทางไฟฟ้า โดยตรวจสอบความผิดปกติของแรงดันเกิน แรงดันตก กระแสเกิน กระแสตกและการซิงโครนัส เมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า วงจรหน่วงเวลาจะเริ่มทำงานเพื่อให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำการตัดวงจรออกจากระบบ โดยเวลาที่หน่วงนั้นจะเป็นไปตามความรุนแรงของชนิดที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าตามมาตรฐานต่างๆที่กำหนด จากนั้นเมื่อวงจรในส่วน real time ประมวลผลเสร็จสิ้นแล้ว จะทำการส่งค่าไปยัง FPGA เพื่อให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำการตัดวงจรออกจากระบบ และส่งค่าความผิดปกติทางไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน (Host)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดที่ใช้ตรวจจับนั้นอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1547, VSPP, SEMI-F47
หรือตามข้อกำหนดของผู้ใช้งานนั้นสามารถเลือกใช้ได้จากโปรแกรมในส่วนของ Real time ภาพ
ที่ 3.4

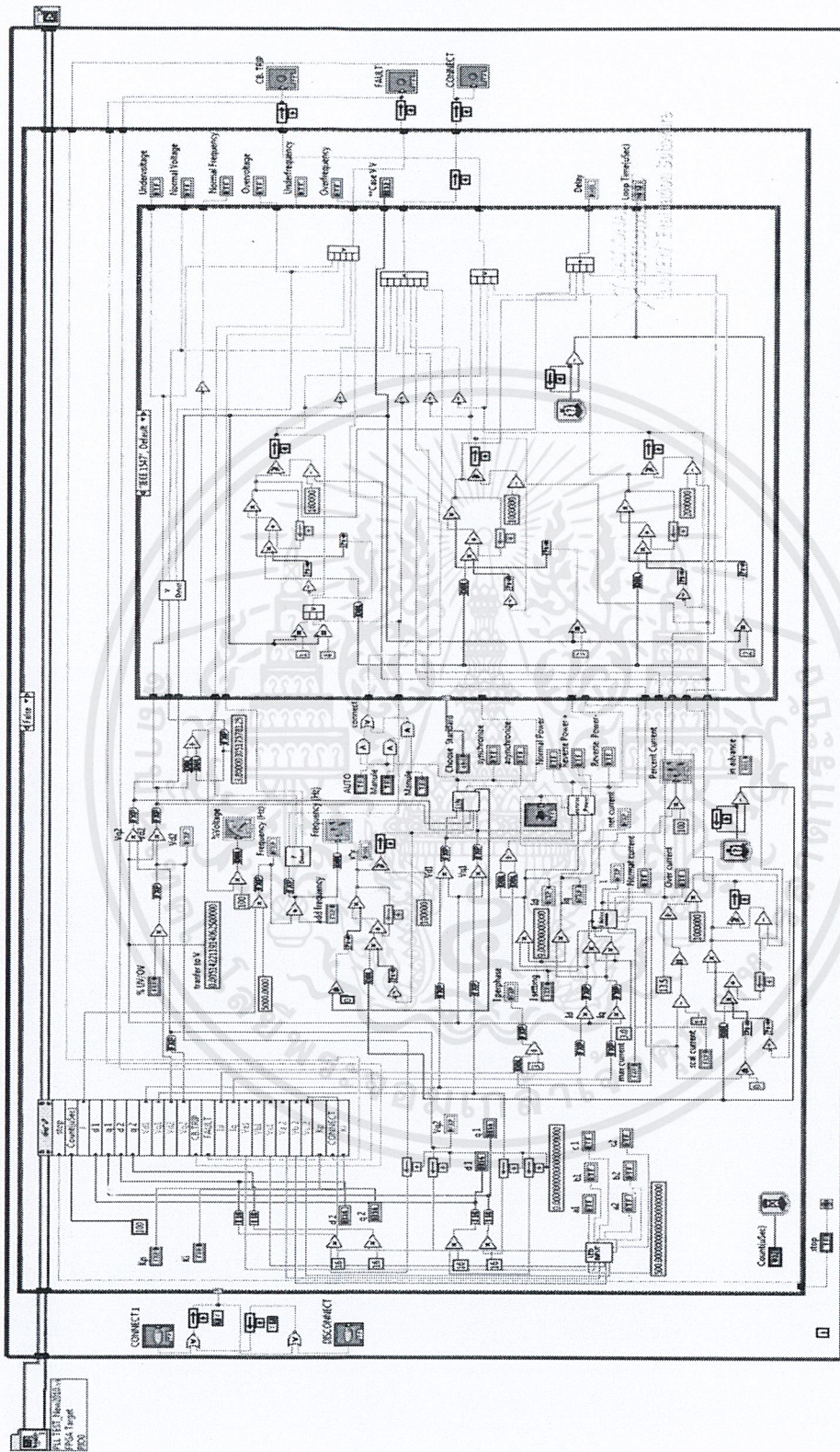


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



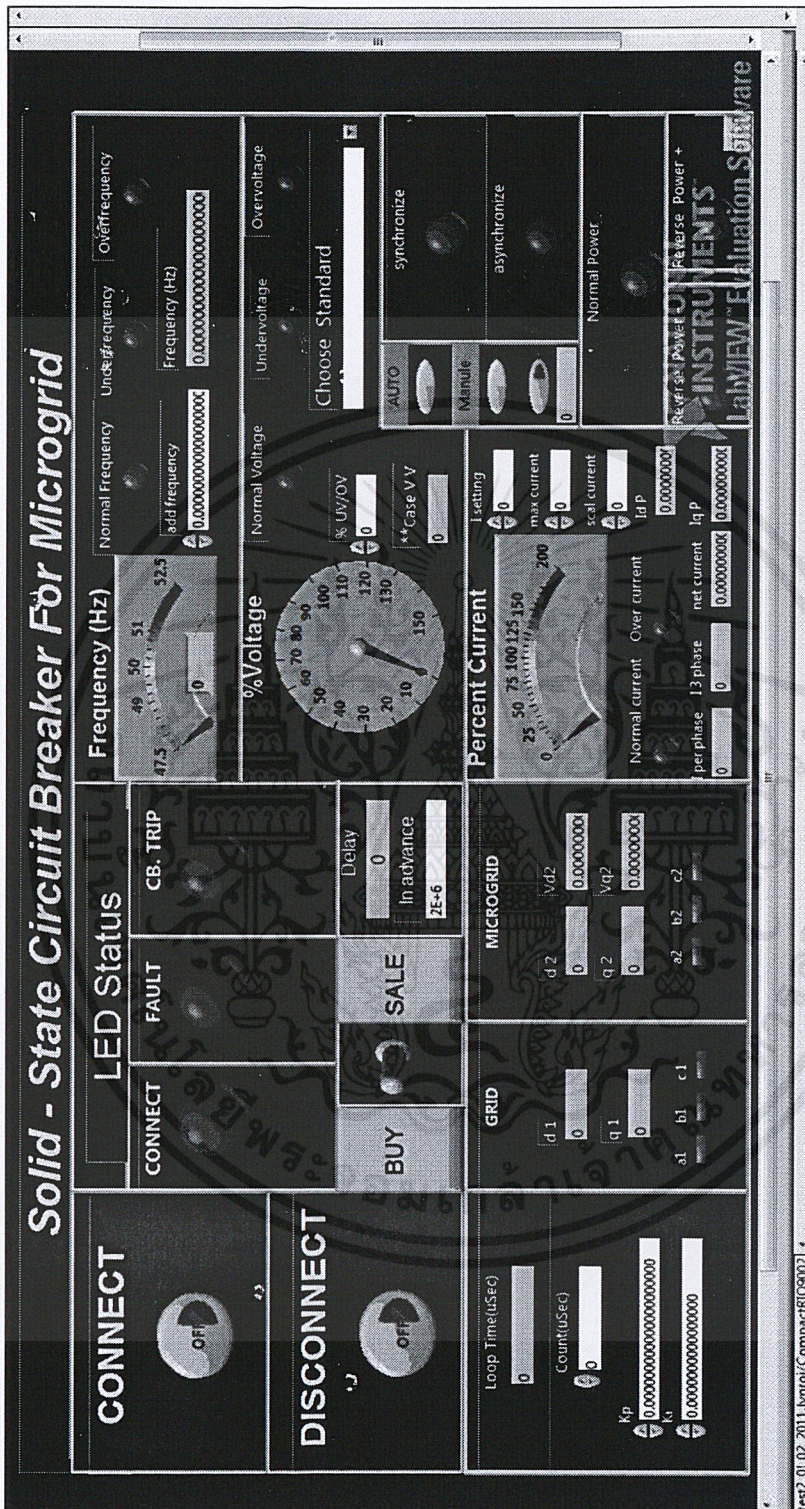
ภาพที่ 3.3 แสดงโปรแกรมในส่วนของ FPGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แสดงโปรแกรมสไลด์ของ Real

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



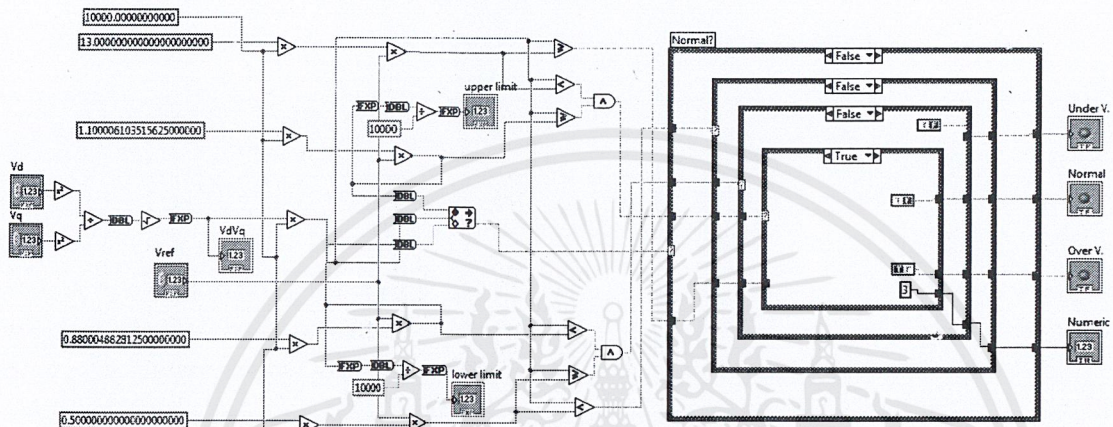
ภาพที่ 3.5 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 มาตรฐาน IEEE 1547

3.3.1.1 วงจรตรวจสอบแรงดัน

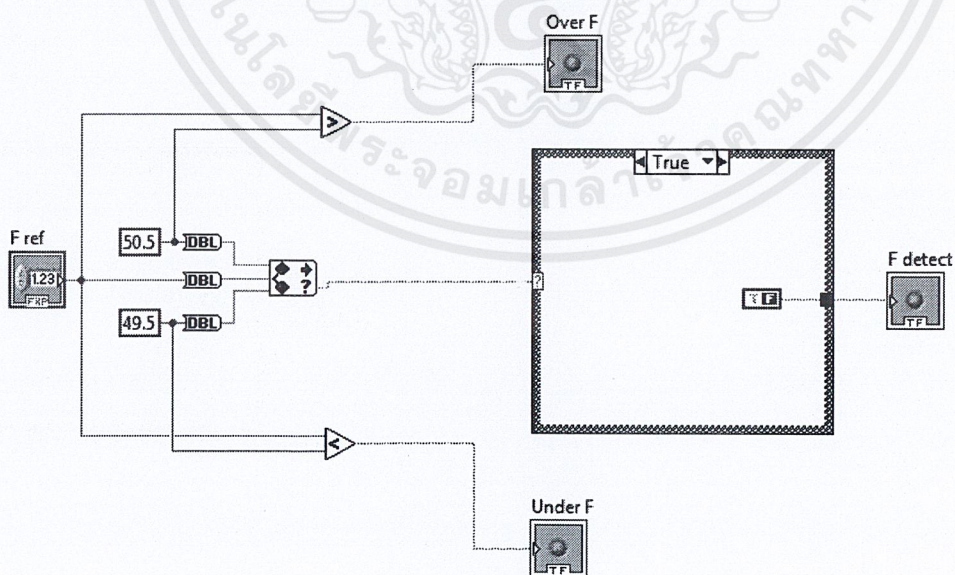
วงจรตรวจสอบแรงดันนี้อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE1547 ซึ่งสามารถตรวจสอบแรงดันเกินและแรงดันตก แรงดันที่ตรวจจับนั้นเป็นแรงดันในกรอบอ้างอิง d-q



ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรตรวจสอบแรงดันที่อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE1547

3.3.1.2 วงจรตรวจสอบความถี่

วงจรตรวจสอบความถี่นี้อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE1547 ซึ่งสามารถตรวจสอบความถี่สูงและความถี่ต่ำ ความถี่ที่ตรวจจับนั้นเป็นความถี่ในส่วนของเฟสล็อกกลุ่

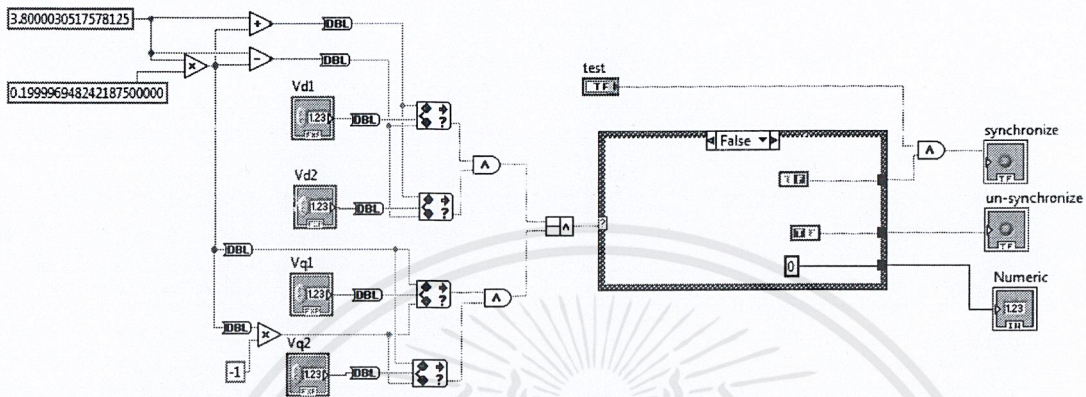


ภาพที่ 3.7 แสดงวงจรตรวจสอบความถี่ที่อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE 1547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 วงจรตรวจสอบการซิงโครไนส์

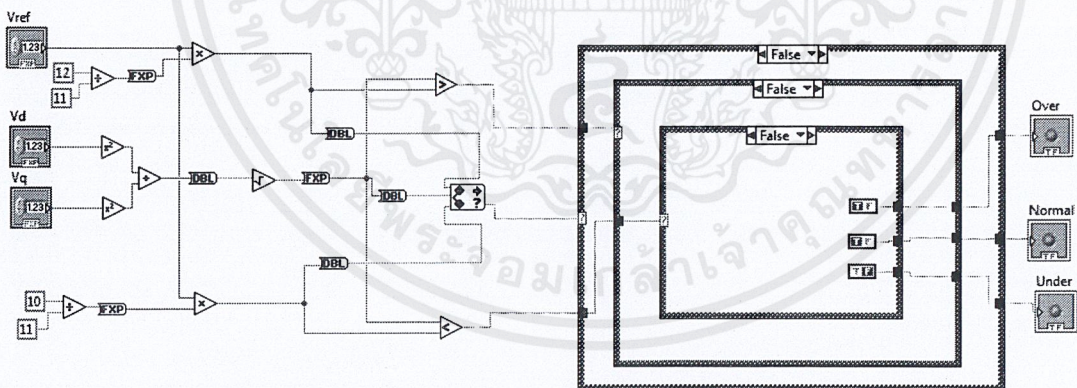
วงจรตรวจสอบการซิงโครไนส์นี้อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE1547 ซึ่งจะตรวจสอบแรงดัน ความถี่ และมุมเฟสของกริดและไมโครกริดให้มีขนาดเท่ากันก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อกับระบบ.



ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรตรวจสอบการซิงโครไนส์ที่อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE1547

3.3.2 Very Small Power Producer (VSPP)

วงจรตรวจสอบแรงดันนี้อ้างอิงมาจากมาตรฐานแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ระดับแรงดัน 220V แรงดันที่ตรวจจับได้นั้นเป็นแรงดันในกรอบอ้างอิง d-q

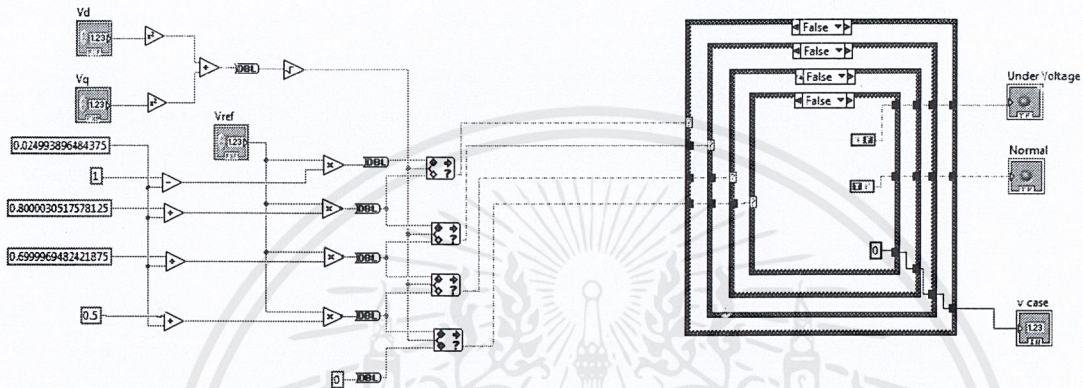


ภาพที่ 3.9 แสดงวงจรตรวจสอบแรงดันที่อ้างอิงจากมาตรฐาน VSPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 SEMI-F47

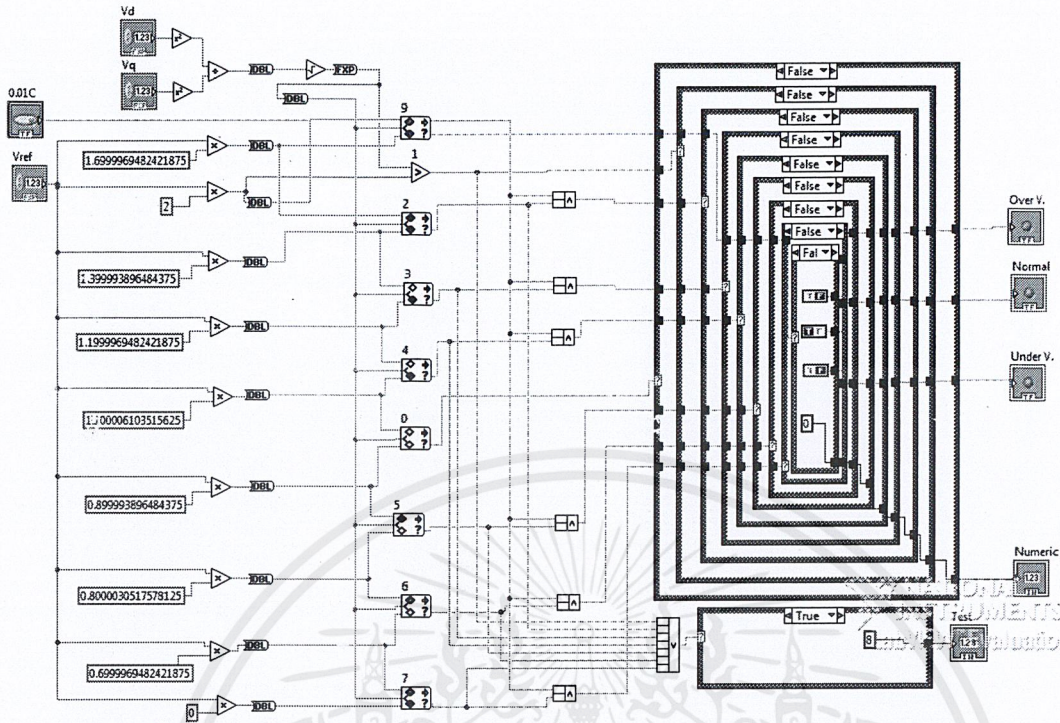
วงจรถวายสอบแรงดันนี้เป็นข้อกำหนดด้านคุณภาพไฟฟ้าเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดปกติทางไฟฟ้า แรงดันที่ตรวจจับได้นั้นเป็นแรงดันในกรอบอ้างอิง d-q



ภาพที่ 3.10 แสดงวงจรถวายสอบแรงดันตกที่อ้างอิงจากมาตรฐาน SEMI F-47

3.3.4 ITIC CURVE

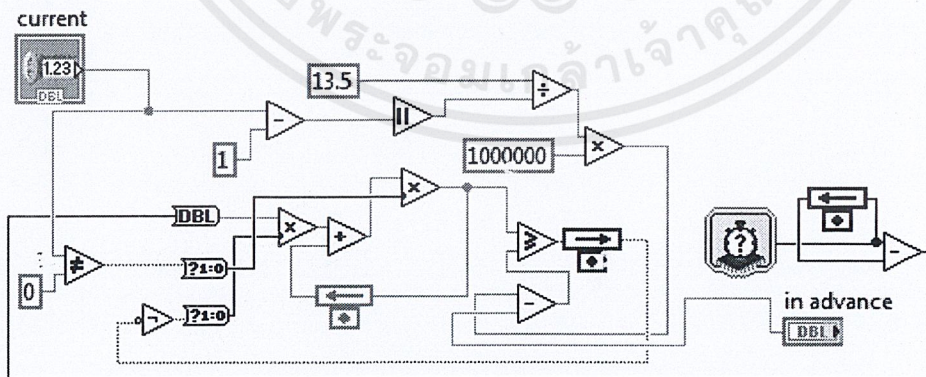
วงจรถวายสอบแรงดันนี้เป็นวงจรถวายสอบกรณีแรงดันเกินชั่วขณะและแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันที่ตรวจจับได้นั้นเป็นแรงดันในกรอบอ้างอิง d-q



ภาพที่ 3.11 แสดงวงจรตรวจจับแรงดันที่อ้างอิงจากมาตรฐาน ITIC CURVE

3.3.5 วงจรตรวจสอบกระแส

วงจรตรวจสอบกระแสนี้ สามารถตรวจสอบกระแสเกินเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดปกติทางไฟฟ้า ซึ่งกระแสที่ตรวจจับได้นั้นเป็นกระแสในกรองอ้างอิง d-q

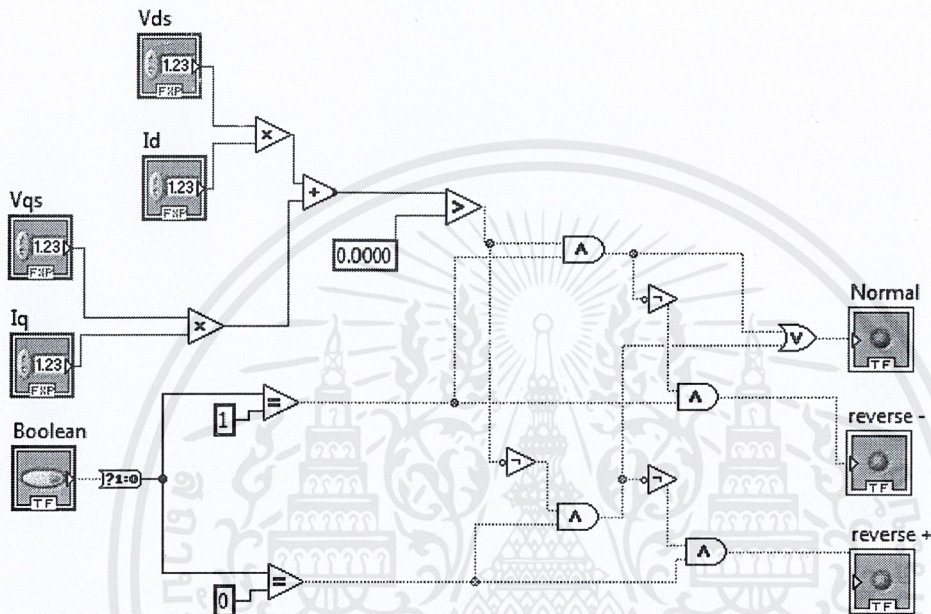


ภาพที่ 3.12 แสดงวงจรตรวจสอบกระแสเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 วงจรตรวจสอบกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับ

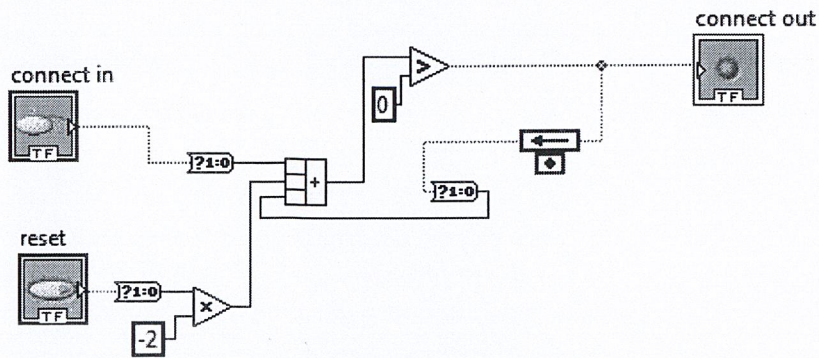
วงจรตรวจสอบกำลังไฟฟ้านี้ สามารถตรวจสอบกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบไมโครกริด ซึ่งแรงดันและกระแสที่ตรวจจับได้เป็นแรงดันและกระแสในกรองอ้างอิง d-q



ภาพที่ 3.13 แสดงวงจรตรวจสอบกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับ

3.3.7 วงจรหน่วงเวลา

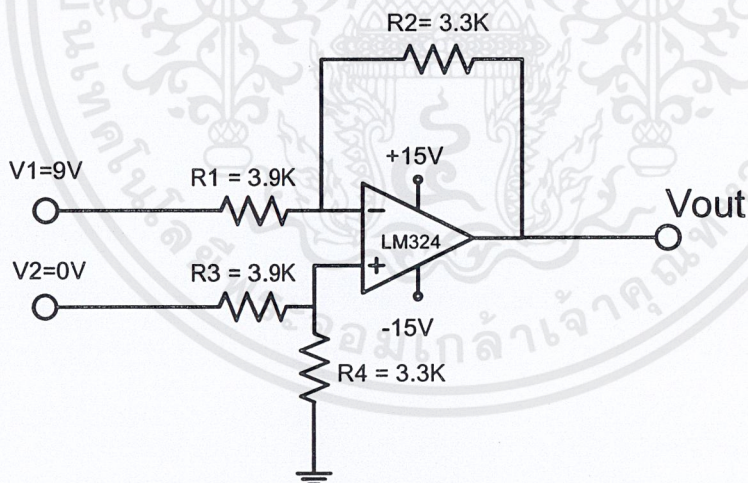
วงจรหน่วงเวลานี้เป็นวงจรที่ใช้ในการสั่ง Disconnect เพื่อป้องกันอันตรายต่ออุปกรณ์ที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดปกติทางไฟฟ้า โดยใช้ช่วงเวลาตามมาตรฐานต่างๆที่กำหนดไว้



ภาพที่ 3.14 แสดงวงจรหน่วงเวลา

3.4 การออกแบบ Voltage Sensing Circuit

เนื่องจาก Real time Controller เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองมีพอร์ทอินพุทที่สามารถรับแรงดันได้ในช่วงแรงดัน -10V ถึง $+10\text{V}$ ซึ่งค่าแรงดันเฟสที่เราได้จะป้อนจากหม้อแปลง 6V นั้น ปรากฏว่าเป็นแรงดันที่มีค่าเกิน 10V จึงต้องลดทอนสัญญาณแรงดันให้อยู่ในย่านที่อุปกรณ์สามารถรับได้ โดยใช้ ออปแอมป์เข้ามาช่วย โดยต่อเป็นวงจรขยายผลต่างดังนี้



ภาพที่ 3.15 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverter Amplifier) จะได้สมการ ดังนี้

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2) \quad (3.1)$$

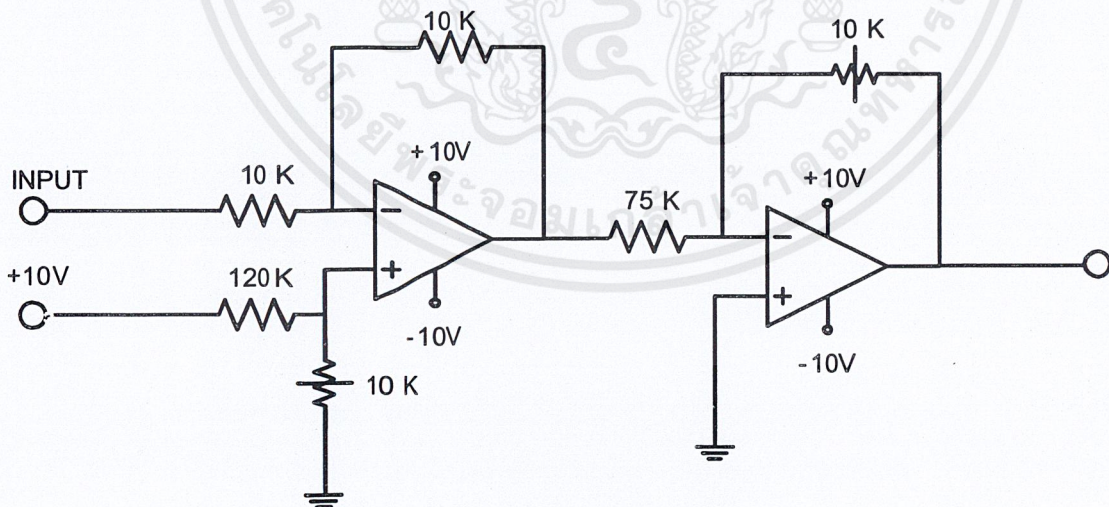
จากการออกแบบจะได้แรงดันขาออกเท่ากับ

$$V_o = -\frac{3.3k}{3.9k}(9 - 0) = -7.6V_{MAX} \quad (3.2)$$

แรงดันเอาต์พุตสูงสุดที่ออกจากหม้อแปลงปกติคือ $310V_{MAX}$ โดยค่านี้นจะเป็นแรงดันสูงสุดที่จ่ายให้กับ V_2 ของวงจรรขยายผลต่าง แต่ในการใช้งานจริงจะเผื่อแรงดันเอาไว้ที่ 1.5 เท่าของแรงดัน V_{MAX} ปกติ เพราะฉะนั้นค่าแรงดันสูงสุดที่จ่ายให้หม้อแปลงคือ $465V_{MAX}$ เมื่อผ่านวงจรรขยายผลต่าง สัญญาณจะถูกปรับระดับแรงดันเหลือ $7.6V_{MAX}$ หรือ $-7.6V$ ถึง $+7.6V$ และกลับเฟส ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้ จะเป็นสัญญาณด้านขาเข้าให้กับ Real time Controller ที่มีพอร์ทอินพุทที่สามารถรับแรงดันได้ในช่วงแรงดัน $-10V$ ถึง $+10V$ ดังนั้นแรงดันด้านขาเข้าที่ป้อนให้ Real time Controller จะอยู่ในย่านที่อุปกรณ์สามารถรับได้

3.5 การออกแบบ Current Sensing Circuit

เนื่องจาก Real time Controller เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองมีพอร์ทอินพุทที่สามารถรับแรงดันได้ในช่วงแรงดัน $-10V$ ถึง $+10V$ ซึ่งค่าแรงดัน แต่อุปกรณ์ตรวจจับกระแสมีแรงดันเอาต์พุตที่ต่ำมากและมีแรงดันออฟเซต $2.5V$ จึงจำเป็นต้องตัดแรงนั้นออฟเซตออกและขยายแรงดันให้อยู่ในช่วงการทำงาน of Real time Controller ดังภาพที่ 3.16



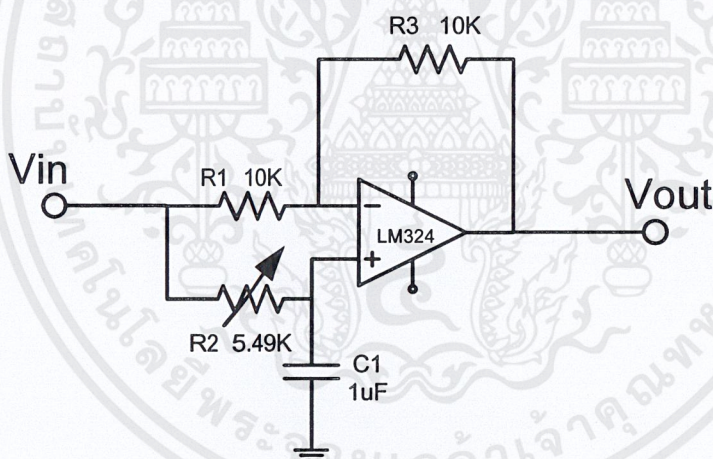
ภาพที่ 3.16 แสดงวงจรรตรวจจับกระแส

แรงดันเอาต์พุตของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสในย่านการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อที่ 100% (5A) มีค่า $0.0625 V_{MAX}$ เมื่อผ่านวงจรจะถูกปรับแรงดันเป็น $8 V_{MAX}$ หรือ $-8 V$ ถึง $8 V$ ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้ จะเป็นสัญญาณด้านขาเข้าให้กับ Real time Controller ที่มีพอร์ทอินพุทที่สามารถรับแรงดันได้ในช่วงแรงดัน $-10 V$ ถึง $+10 V$ ดังนั้นแรงดันด้านขาเข้าที่ป้อนให้ Real time Controller จะอยู่ในย่านที่อุปกรณ์สามารถรับได้

3.6 การออกแบบ Phase Shifting Circuit

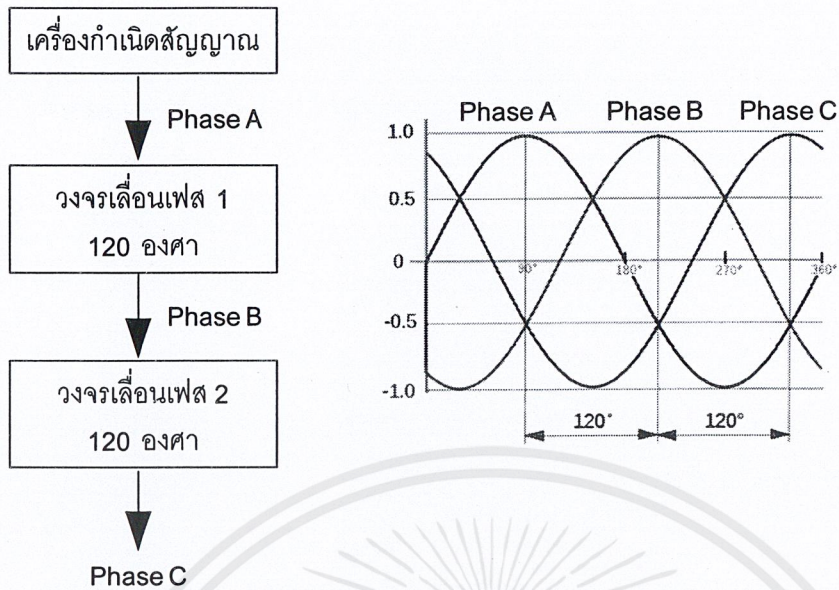
ในการจำลองสัญญาณไมโครกริดขึ้นมานั้น เพื่อจะทดสอบการซิงค์โครนัสกับกริดของระบบไฟฟ้า ดังนั้นสัญญาณที่จะจำลองเป็นไมโครกริดจะต้องเป็นสัญญาณไซน์ 3 เฟส, ความถี่ 50Hz และมีมุมเฟสตรงกับกริด ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณจำลองไมโครกริดได้ดังนี้

วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shifter) หรือบางที่เรียกว่าวงจรกรองทั้งหมดผ่าน (All-pass filter) เป็นวงจรที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงจรประมวลผลทางสัญญาณอนาล็อก และยังใช้งานในวงจรสื่อสารต่าง ๆ อีกมากมาย โดยวงจรจะทำหน้าที่เลื่อนเฟสให้หน้าหน้า (Lead) หรือล่าหลัง (Lag) ขณะที่ขนาด (Amplitude) ของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่



ภาพที่ 3.17 แสดงวงจรเลื่อนเฟส

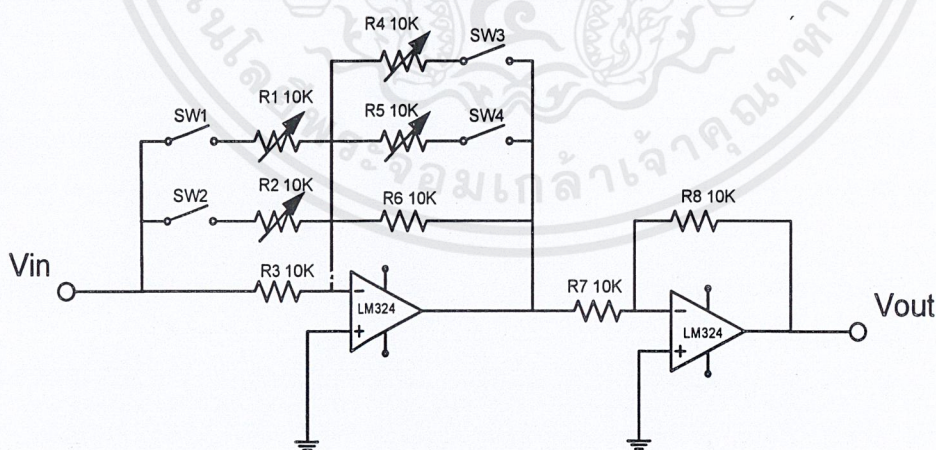
จากภาพที่ 3.17 เป็นวงจรเลื่อนเฟสโดย V_{in} คือสัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) สร้างสัญญาณไซน์ขึ้นมาให้มีความถี่ 50Hz และขนาดแรงดันใกล้เคียงกับขนาดแรงดันที่ออกจากวงจรตรวจจับแรงดัน และสัญญาณ V_{out} ที่ได้จะมีเฟสเลื่อนต่างจากสัญญาณ V_{in} โดยการปรับค่าตัวต้านทาน R_2 ให้มีค่าประมาณ $5.49K\Omega$ ซึ่งสัญญาณ V_{out} ที่ได้จะมีการเลื่อนเฟส 120 องศาโดยประมาณ ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณ V_{out} ที่ได้นี้ไปเข้าวงจรเลื่อนเฟสอีกวงจร จะทำให้ได้สัญญาณที่มีเฟสเลื่อนไปอีก 120 องศา จะทำให้ได้สัญญาณแรงดัน 3 เฟส คือ เฟส A (สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ), เฟส B (V_{out} จากวงจรเลื่อนเฟส 1) และเฟส C (V_{out} จากวงจรเลื่อนเฟส 2) ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดงการสร้างสัญญาณแรงดัน 3 เฟส จำลองเป็นไมโครกริด

3.7 การออกแบบวงจรจำลองแรงดันเกินและแรงดันตก

เมื่อได้สัญญาณจำลองไมโครกริดแล้ว จะต้องมีการจำลองให้เกิดแรงดันตก และแรงดันเกินได้ด้วย ดังนั้นจึงมีวงจรที่เพิ่มเติมเข้ามาคือ วงจรขยายกลับเฟส ซึ่งจะต่อก่อนสัญญาณเข้าวงจรเลื่อนเฟสเพื่อทำให้สัญญาณไมโครกริดที่จำลองขึ้นนั้นสามารถทำให้เกิดแรงดันตก และแรงดันเกินได้ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 แสดงวงจรขยายกลับเฟส เลือกอัตราขยายได้

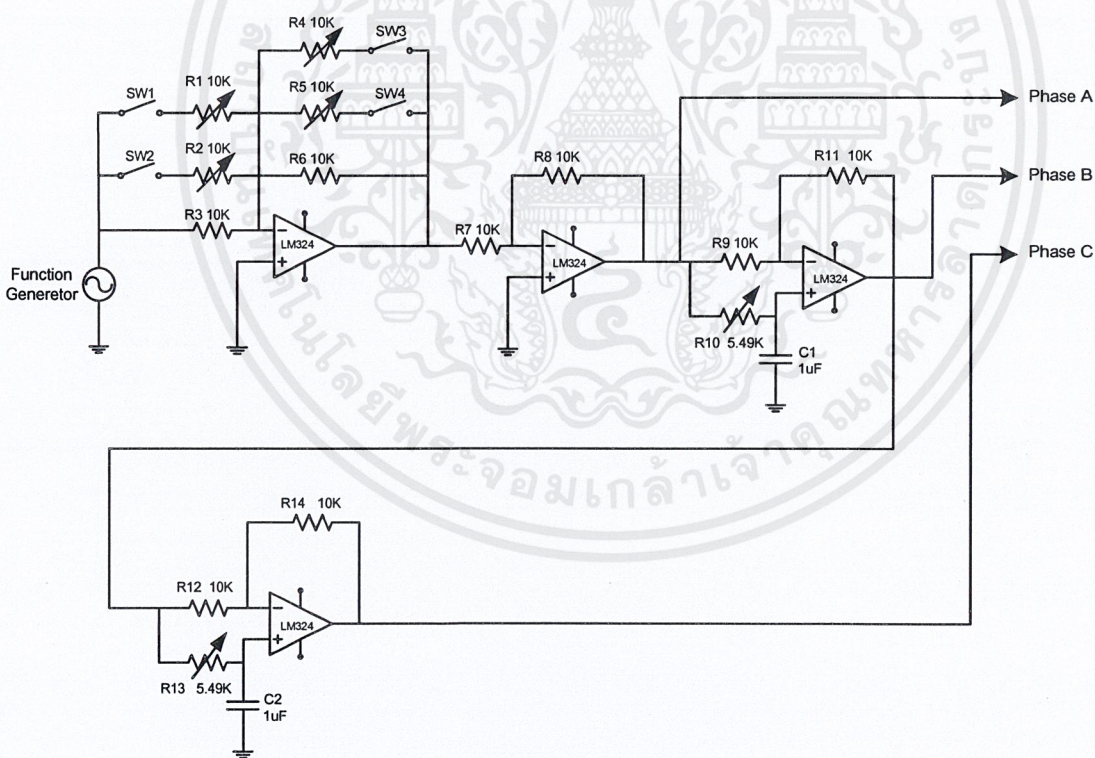
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{in} คือสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ จะถูกป้อนไปยัง วงจรขยายกลับเฟสโดย V_{out} นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราขยายของวงจร และอัตราขยายนั้นเกิดจากการปรับ ค่าตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับ SW แต่ละตัว ซึ่งได้ออกแบบให้มีอัตราขยายเป็น 5 ระดับ คือ

1. อัตราขยายเท่ากับ 1 เมื่อ SW1- SW4 on
2. อัตราขยายเท่ากับ 0.5 เมื่อ SW3 off, R4 ประมาณ $0.5K\Omega - 3.2K\Omega$
3. อัตราขยายเท่ากับ 0.5 - 0.88 เมื่อ SW4 off, R5 ประมาณ $4.7K\Omega - 42K\Omega$
4. อัตราขยายเท่ากับ 1.1 - 1.2 เมื่อ sw1 off, R1 ประมาณ $4.2K\Omega - 4.7K\Omega$
5. อัตราขยายเท่ากับ 1.2 - 1.5 เมื่อ sw2 off, R2 ประมาณ $3.1K\Omega - 3.9K\Omega$

โดยเลือกอัตราขยายของวงจรได้จากสวิตช์ SW1 ถึง SW4 ตามระดับแรงดันที่ต้องการ เพื่อที่จะจำลอง แรงดันให้เกิดแรงดันตกหรือแรงดันเกินได้

เมื่อนำวงจรทั้งสองส่วนมารวมกันคือ วงจรเลียนเฟส และวงจรจำลองแรงดันตก, เกิน ทำให้ได้วงจรรวมคือวงจรจำลองไมโครกริด ดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แสดงวงจรจำลองไมโครกริด

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

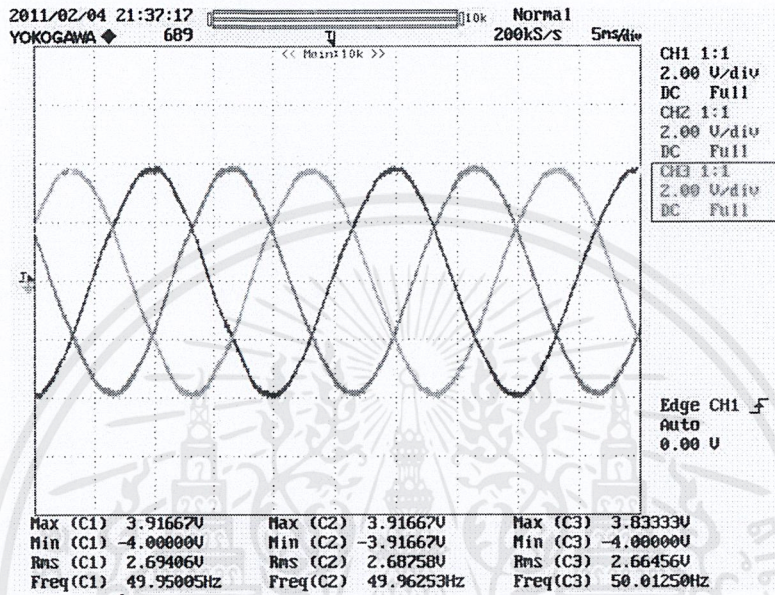
เนื่องจากการเขียนโปรแกรม LabVIEW ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเขียนโปรแกรมไว้ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วน FPGA และ ส่วน Real Time โดยส่วนของ FPGA นอกจากจะถูกโปรแกรมให้ประมวลผลในเรื่องของ เฟสล็อกกัลป์ (Phase-Locked Loop), การแปลงแกน ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว ยังมีส่วนของการติดต่อรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการศึกษาผลการทดลองจากสโคป อันต้องทำในส่วนของ FPGA ด้วย โดยแรงดันของระบบไฟฟ้าจริง จะถูกอินพุทเข้ามาผ่านตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล ทั้งหมด 6 พอร์ต ดังนี้พอร์ต AI0-AI2 ถูกจำลองให้เป็นระบบกริดและ AI3-AI5 ถูกจำลองเป็นระบบไมโครกริด ซึ่งไฟที่กำหนดให้เป็นไมโครกริดนั้น จะนำมาจำลองให้มีความผิดปกติทางไฟฟ้าเกิดขึ้นตามเงื่อนไขของมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

หลังจากที่ส่วน FPGA ได้ประมวลผลในส่วน เฟสล็อกกัลป์ (Phase-Locked Loop), การแปลงแกน ($abc - dq$) และส่วน Real Time ได้ประมวลผลในส่วนของการตรวจสอบความผิดปกติ (Fault Detection), หน่วงเวลา (Delay Time) เสร็จสมบูรณ์แล้ว ข้อมูลก็จะถูกส่งออกมาผ่านตัวแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อกเพื่อแสดงผลโดยกำหนดให้พอร์ต AO0-AO3 ถูกใช้นำมาแสดงผลในส่วนของเฟสล็อกกัลป์ (Phase-Locked Loop), การแปลงแกน ($abc - dq$) และกำหนดให้พอร์ต ดิจิตอลเอาต์พุท (DIO) แสดงสถานะ Fault ,สถานะ Trip ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ซึ่งได้ถูกแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.2 ผลการทดลองจากการจำลองความผิดปกติของระบบไฟฟ้า

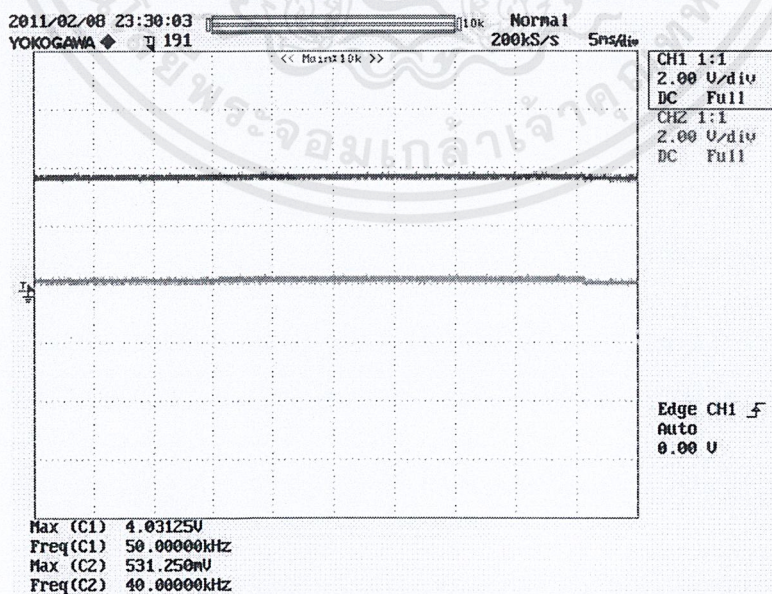
4.2.1 การประมวลผลในส่วนของ FPGA

การแปลงสัญญาณ 3 เฟส เป็นสัญญาณแรงดันในแกน d-q นั้นจะอยู่ในส่วนของการประมวลผลของ FPGA สัญญาณดังรูปที่ 4.1 เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่มาจากการไฟฟ้าซึ่งผ่านการลดทอนแรงดันจากวงจร Op-Amp



ภาพที่ 4.1 สัญญาณอนาล็อกอินพุทของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส

สัญญาณดังภาพที่ 4.2 เป็นสัญญาณแรงดันในแกน d-q จาก Park's Transformation พบว่าเมื่อเฟสล็อกอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว แรงดันในแกน q จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนแรงดันในแกน d จะเป็นดีซีขนาดเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 4.2 สัญญาณของแรงดัน V_d, V_q ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

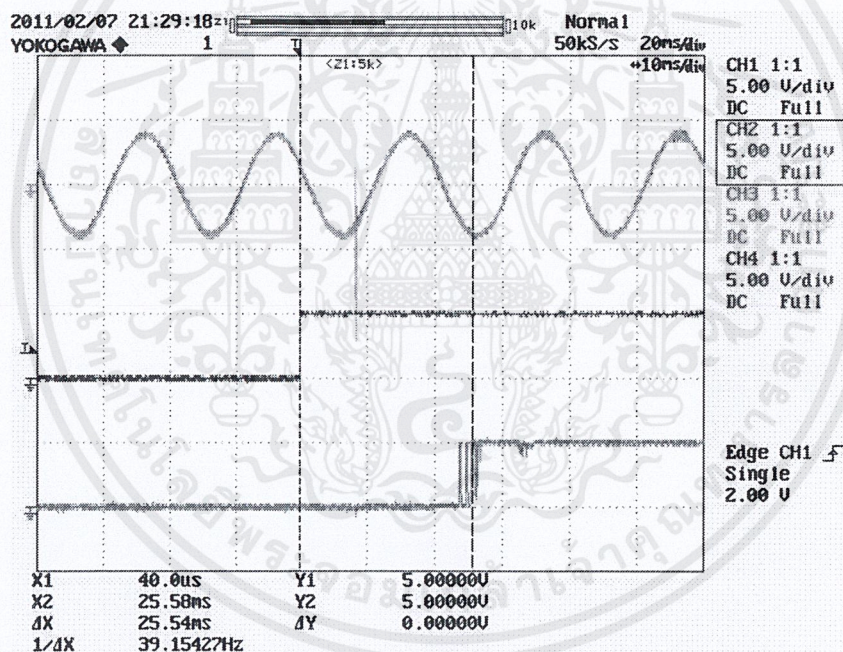
4.2.2 การประมวลผลในส่วนของ Real-Time

4.2.2.1 มาตรฐาน IEEE1547

วงจรถัดไปนี้ จะเป็นการแสดงสัญญาณของแรงดัน ความถี่ และการซิงโครไนซ์ เพื่อตรวจสอบระยะเวลาที่เกิดการเชื่อมต่อและความผิดปกติของไฟฟ้าให้เป็นไปตามที่มาตรฐาน IEEE1547 ที่กำหนดไว้

4.2.2.1.1 การซิงโครไนซ์ กรณีกำลังไฟฟ้าปรากฏอยู่ในช่วง 0-500 kVA

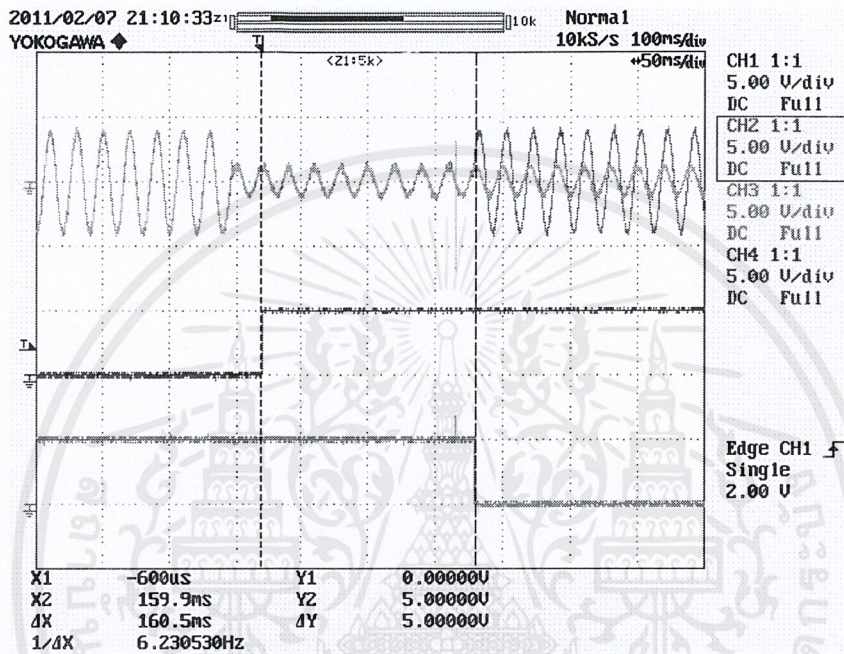
เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลเปรียบเทียบความถี่ แรงดันและมุมเฟสของกริดและไมโครกริดแล้วอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้(ความถี่ไม่เกิน 0.3 Hz แรงดันไม่เกิน 10% และมุมเฟสไม่เกิน 20 °) โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะของการเชื่อมต่อ แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อไมโครกริดเข้ากับกริด โดยใช้เวลา 25.54 ms ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 สัญญาณการซิงโครไนซ์ (รูปบน) สัญญาณเชื่อมต่อของชุดดิจิทัล (รูปกลาง) และสัญญาณเชื่อมต่อของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (รูปล่าง)

4.2.2.1.2 กรณีแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันต่ำกว่า 50% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริดโดยใช้เวลา 160.5 ms ดังภาพที่ 4.4



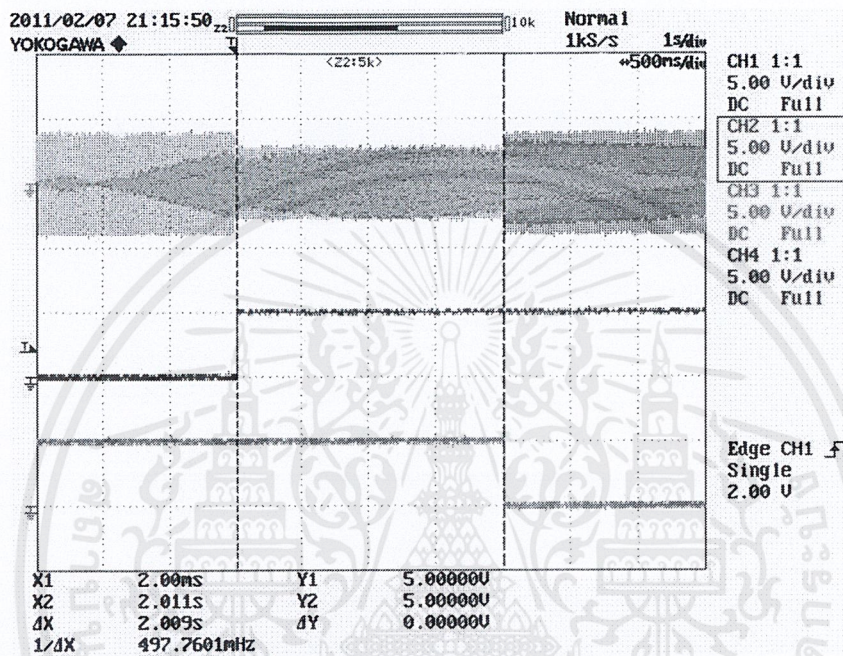
รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดันตกที่ (รูปบน)

สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

จากภาพที่ 4.4 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันตกในช่วง $V < 0.5V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 160 ms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาอาจคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน IEEE 1547 นั้นอาจเกิดจากมีสัญญาณรบกวนในขณะที่ทำการทดลอง

4.2.2.1.3 กรณีแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันตก อยู่ในช่วง 50% ขึ้นไปแต่ไม่เกินกว่า 88% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 2.009 s ดังภาพที่ 4.5

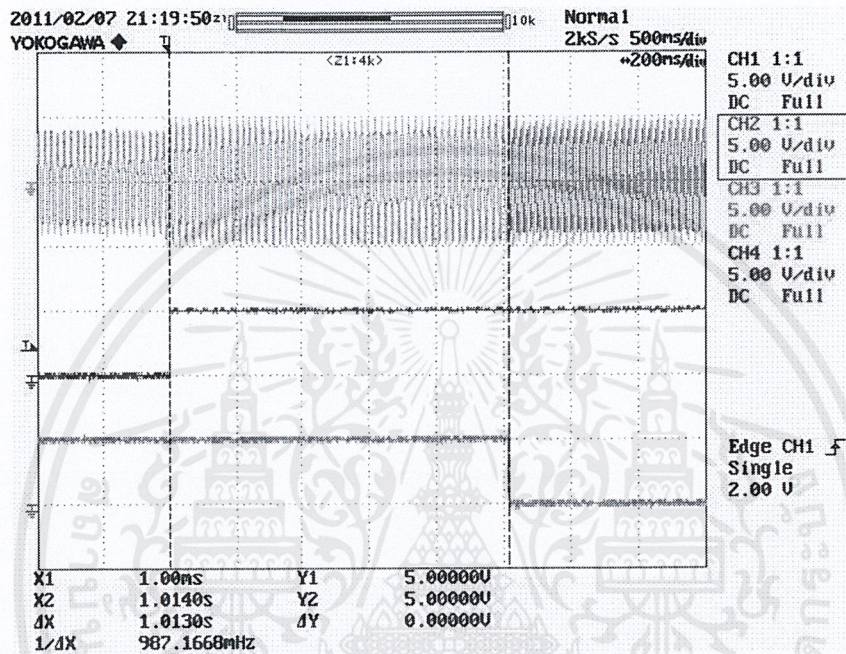


ภาพที่ 4.5 สัญญาณแรงดันตกที่ (รูปบน)
สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

จากภาพที่ 4.5 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันตกในช่วง $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 2s ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาอาจคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน IEEE 1547 นั้นอาจเกิดจากมีสัญญาณรบกวนในขณะที่ทำการทดลอง

4.2.2.1.4 กรณีแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติที่แรงดันเกินอยู่ในช่วง 110% แต่ไม่เกินกว่า 120% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 1.013 s ดังภาพที่ 4.6



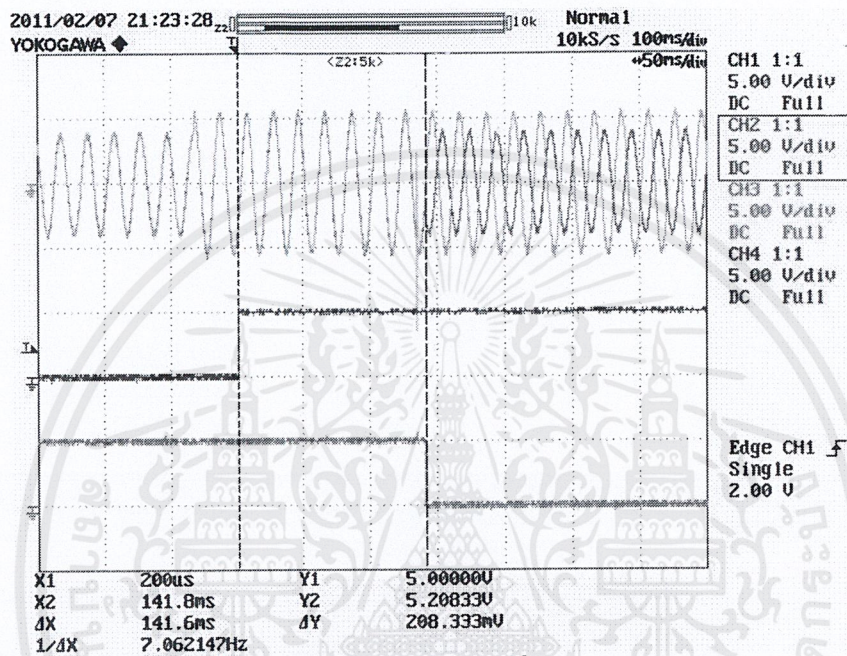
ภาพที่ 4.6 สัญญาณแรงดันเกินที่ (รูปบน)

สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

จากภาพที่ 4.6 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันเกินในช่วง $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 1s ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาอาจคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน IEEE 1547 นั้นอาจเกิดจากมีสัญญาณรบกวนในขณะที่ทำการทดลอง

4.2.2.1.5 กรณีแรงดันเกินที่ $V \geq 1.2V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันสูงกว่า 120% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะสั่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะสั่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 141.6 ms ดังภาพที่ 4.7



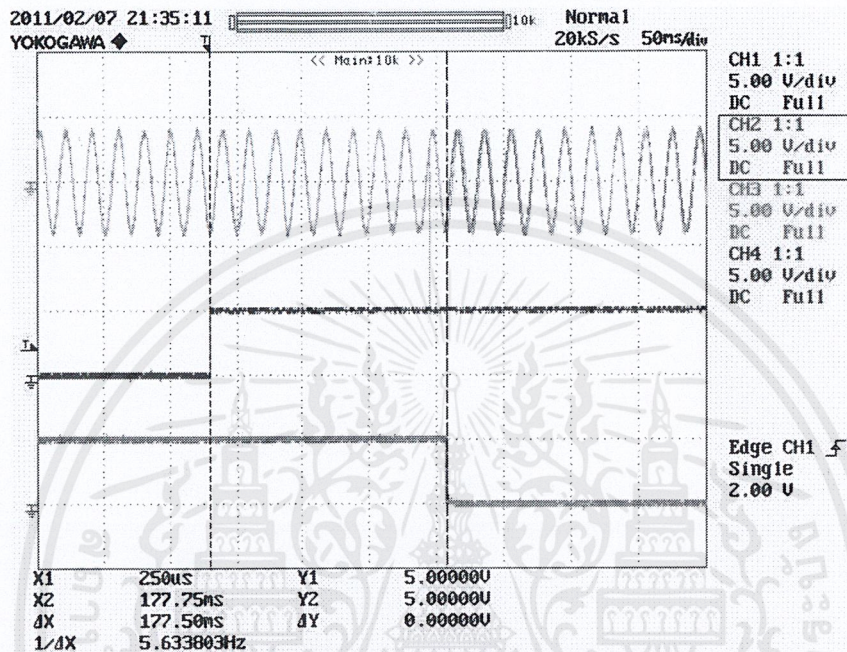
ภาพที่ 4.7 สัญญาณแรงดันเกินที่ $V \geq 1.2V_{ref}$ (รูปบน)

สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

จากภาพที่ 4.7 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันเกินในช่วง $V \geq 1.2V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 160 ms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547 จริง

4.2.2.1.6 กรณีความถี่เกินที่ $f > 50.5$ Hz

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่ความถี่สูงกว่า 50.5 Hz โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault ไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 177.50 ms ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 สัญญาณความถี่เกินที่ $f > 50.5$ Hz (รูปบน)

สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

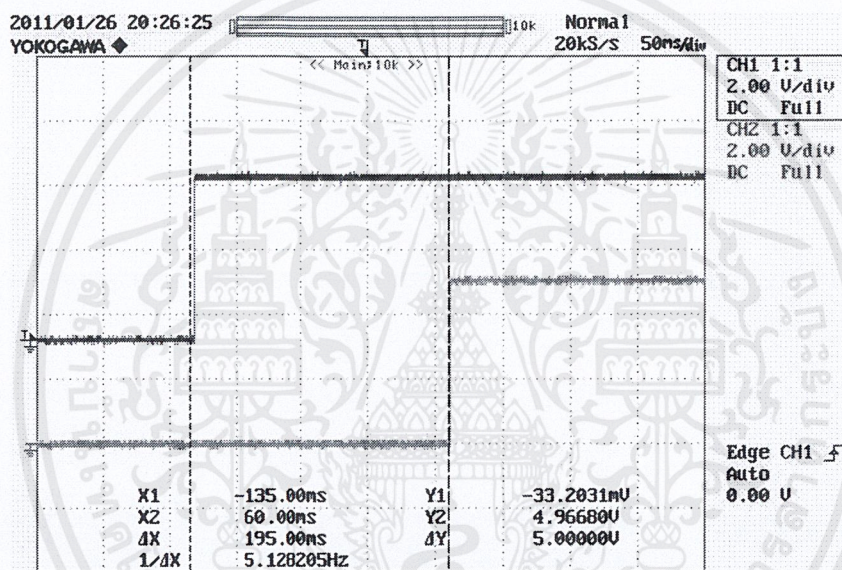
จากภาพที่ 4.8 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติของระบบไฟฟ้าว่าเป็นความถี่ตกในช่วง $f > 50.5$ Hz แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 160 ms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาอาจคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน IEEE 1547 นั้นอาจเกิดจากมีสัญญาณรบกวนในขณะที่ทำการทดลอง

4.2.2.2 SEMI-F47

วงจรถัดไปนี้ จะเป็นการแสดงสัญญาณของแรงดันตก เพื่อตรวจสอบระยะเวลาที่เกิดการเชื่อมต่อและความผิดปกติของไฟฟ้าให้เป็นไปตามที่มาตรฐาน SEMI-F47 ที่กำหนดไว้

4.2.2.2.1 กรณีแรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันต่ำกว่า 50% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะสั่งบิท "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริดโดยใช้เวลา 195.0 ms ดังภาพที่ 4.9

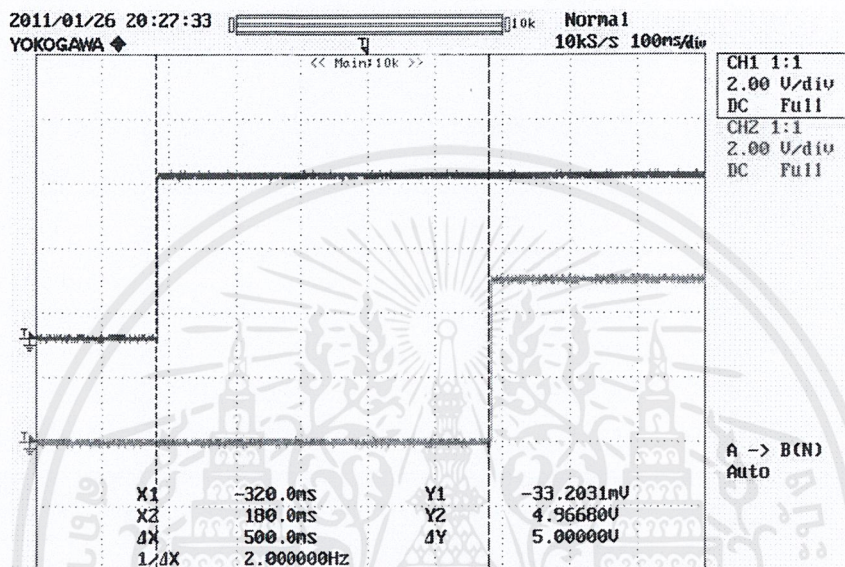


ภาพที่ 4.9 สัญญาณ Fault (รูปบน) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง) แรงดันตกที่ $V < 0.5V_{ref}$

จากภาพที่ 4.9 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันเกินในช่วง $V < 0.5V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 200 ms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาเป็นไปตามมาตรฐาน SEMI-F47 จริง

4.2.2.2.2 กรณีแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} < V \leq 0.7V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันตก อยู่ในช่วง 50% ขึ้นไปแต่ไม่เกินกว่า 70% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 500 ms ดังภาพที่ 4.10



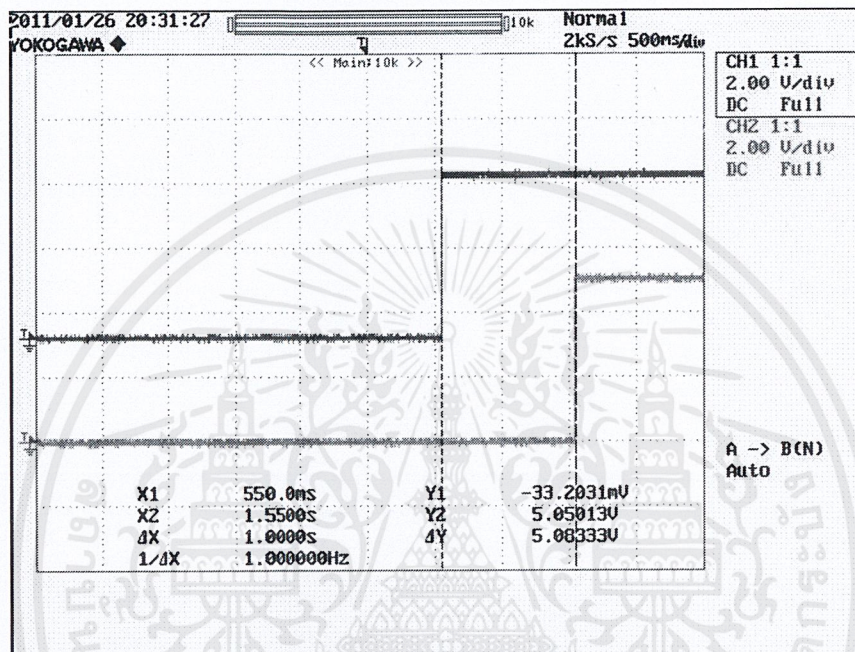
ภาพที่ 4.10 สัญญาณ Fault (รูปบน) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

แรงดันตกที่ $0.5V_{ref} < V \leq 0.7V_{ref}$

จากภาพที่ 4.10 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันเกินในช่วง $0.5V_{ref} < V \leq 0.7V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 500 ms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาเป็นไปตามมาตรฐาน SEMI-F47 จริง

4.2.2.3 กรณีแรงดันตกที่ $0.7V_{ref} < V \leq 0.8V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันตก อยู่ในช่วง 70% ขึ้นไปแต่ไม่เกินกว่า 80% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 1 s ดังภาพที่ 4.11



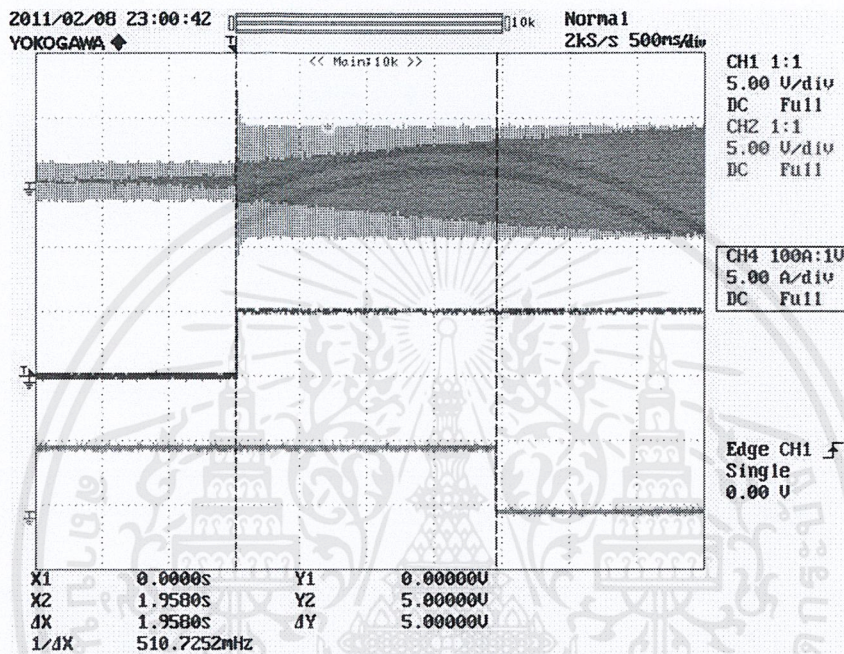
ภาพที่ 4.11 สัญญาณ Fault (รูปบน)และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

แรงดันตกที่ $0.7V_{ref} < V \leq 0.8V_{ref}$

จากภาพที่ 4.11 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันเกินในช่วง $0.7V_{ref} < V \leq 0.8V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 1 s ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาเป็นไปตามมาตรฐาน SEMI-F47 จริง

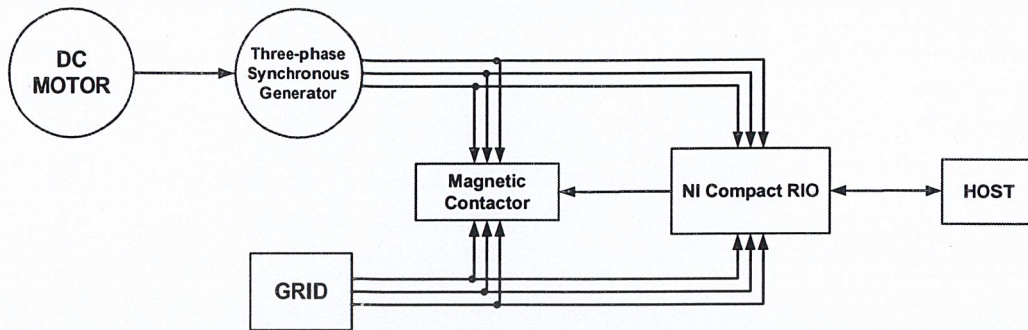
4.2.2.3กรณีกระแสเกิน

วงจรถัดไปนี้ จะเป็นการแสดงสัญญาณในสภาวะความผิดปกติของกระแส เพื่อตรวจสอบระยะเวลาที่เกิดความผิดปกติ เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่กระแสสูงกว่าที่กำหนดคือ 3 แอมแปร์โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault ไมโครกริดออกจากกริดเป็นเวลา 1.958 s ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 สัญญาณกระแสเกินที่ $I > 3$ Ampere (รูปบน)
สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณ Trip (รูปล่าง)

4.3 ผลการทดลองจากการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกับระบบไฟฟ้า



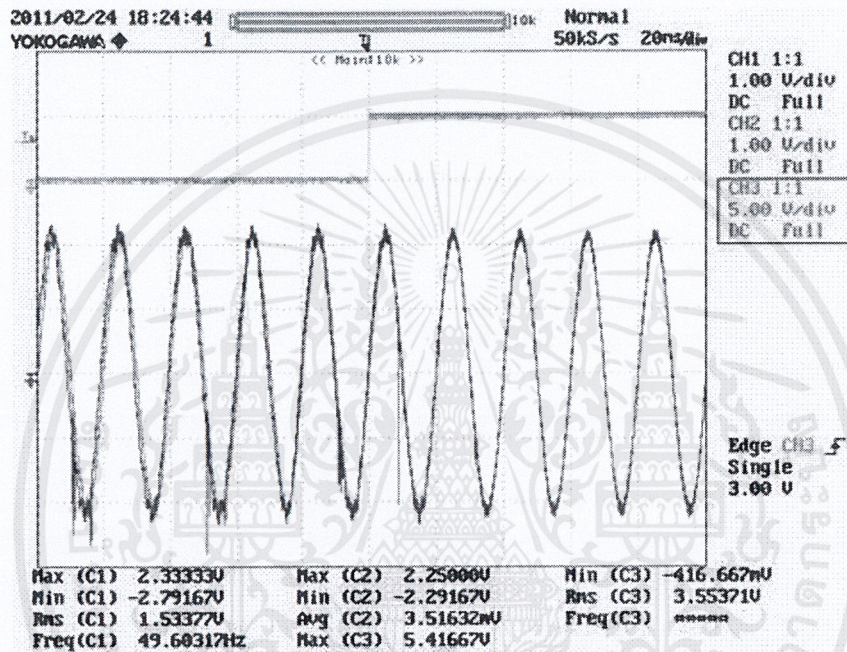
ภาพที่ 4.13 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกับระบบไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.13 ได้แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกับระบบไฟฟ้า โดยทำการหมุน DC Motor ให้ได้ความเร็วรอบที่พิกัด เพื่อนำไปขับ Synchronous Generator ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการปรับแรงดันให้ได้ตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งชุดควบคุมดิจิทัลจะทำการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (ไมโครกริด) และระบบไฟฟ้า (กริด) มาประมวลผล และส่งการไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์ให้ทำการตัดต่อระบบทั้งสอง โดยมาตรฐานที่กำหนดจะถูกโปรแกรมผ่านผู้ใช้งาน (host)

4.3.1 มาตรฐาน IEEE 1547

4.3.1.1 การซิงโครไนซ์จริงระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าจริง

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลเปรียบเทียบความถี่ แรงดันและมุมเฟสของกริดและไมโครกริดแล้วอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้ก็จะส่งสัญญาณให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อไมโครกริดเข้ากับกริด

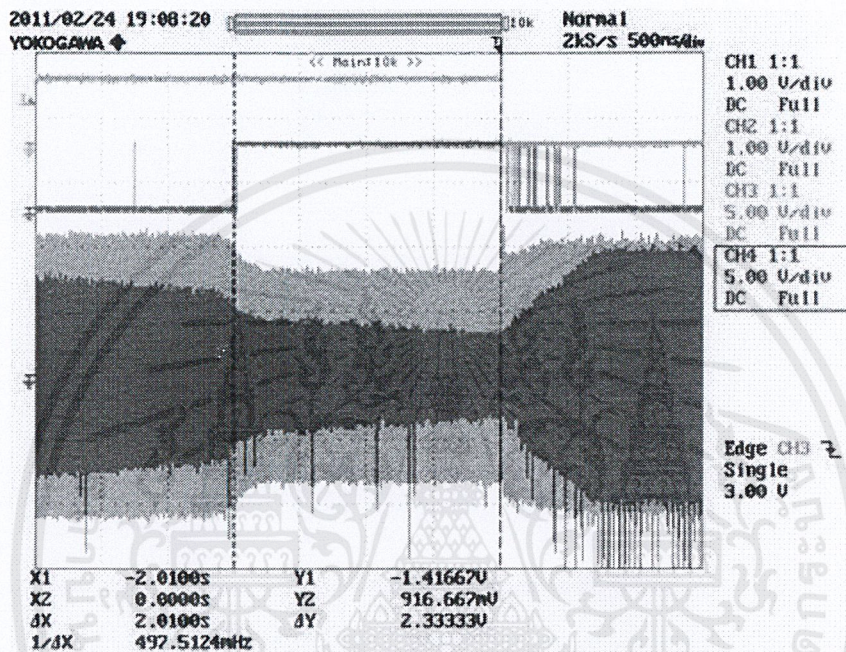


ภาพที่ 4.14 สัญญาณการเชื่อมต่อของแมกเนติกคอนแทคเตอร์(รูปบน)

สัญญาณการซิงโครไนส์ (รูปล่าง)

4.3.1.3 กรณีแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติ ที่แรงดันตก อยู่ในช่วง 50% ขึ้นไปแต่ไม่เกินกว่า 88% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 2.010 s

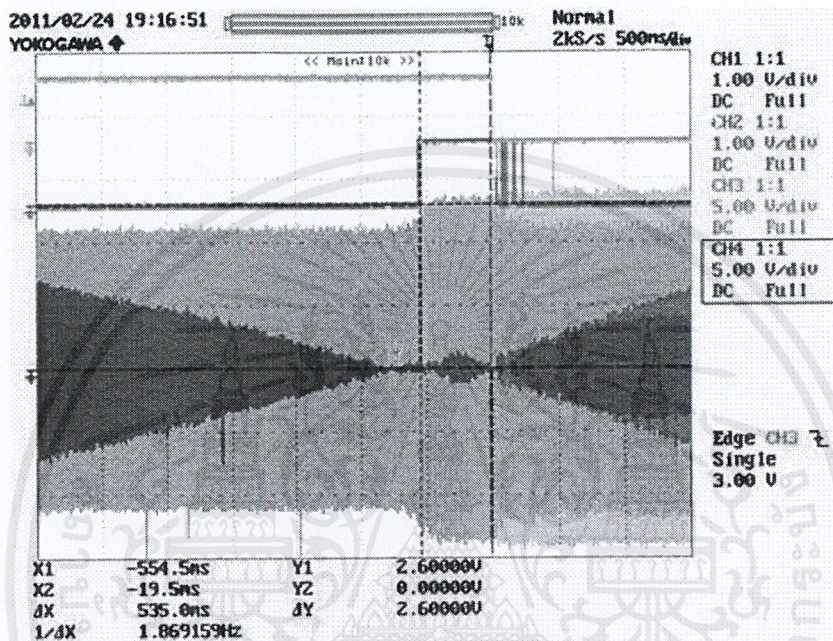


ภาพที่ 4.16 สัญญาณ Trip (รูปบน) สัญญาณ Fault (รูปกลาง) และสัญญาณแรงดันตกที่ $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$ (รูปล่าง)

จากภาพที่ 4.16 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันตกในช่วง $0.5V_{ref} \leq V < 0.88V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 2.010sms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาอาจคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน IEEE 1547 นั้น อาจเกิดจากการลดแรงดันนั้นไม่สามารถลดแรงดันได้อย่างทันทีทันใด

4.3.1.4 กรณีแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$

เมื่อชุดควบคุมดิจิทัลพบความผิดปกติที่แรงดันเกินอยู่ในช่วง 110% แต่ไม่เกินกว่า 120% ของแรงดันปกติ โปรแกรมจะส่งบิต "1" เพื่อแสดงสถานะ Fault แล้วชุดควบคุมดิจิทัลจะส่งสัญญาณไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อทำการทริปไมโครกริดออกจากกริด โดยใช้เวลา 535 ms



ภาพที่ 4.17 สัญญาณ Trip (รูปบน) สัญญาณ Fault (รูปกลาง)
และสัญญาณแรงดันเกินที่ $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$ (รูปล่าง)

จากภาพที่ 4.17 พบว่าเมื่อมีการตรวจเจอความผิดปกติว่าเป็นแรงดันเกินในช่วง $1.1V_{ref} < V < 1.2V_{ref}$ แล้วสัญญาณทริปจะถูกส่งออกไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 535 ms ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547 จริง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้ถูกนำมาวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันสำหรับการตัดต่อระหว่างระบบกริดและไมโครกริดโดยอุปกรณ์ตัดต่อ (Separation Device :SD) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เป็นแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ซึ่งการทำงานต้องเป็นไปตามที่มาตรฐาน IEEE 1547, VSPP, SEMI-F47, ITIC Curve หรือตามข้อกำหนดของผู้ใช้งานโดยมีชุดควบคุมดิจิทัลที่ถูกสามารถโปรแกรมได้จากซอฟต์แวร์ LabVIEW โดย LabVIEW ทำหน้าที่ตรวจจับสภาวะทางไฟฟ้าของระบบกริดและไมโครกริด แล้วส่งการไปยังตัวแมกเนติกคอนแทคเตอร์ เพื่อทำการเชื่อมต่อหรือปลดระบบทั้งสองออกจากกัน เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายหากเกิดความผิดพลาดในการเชื่อมต่อระบบทั้งสองฝั่งขึ้น สำหรับในโครงการนี้ได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมฝั่งตัวเวลาจริงของ National Instrument โดยในส่วนนี้เองที่ทำการโปรแกรม LabVIEW ไว้เพื่อตรวจสอบสถานะทางไฟฟ้า แล้วทำการส่งสัญญาณออกมาสั่งการให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำงานตามสถานะของไฟฟ้านั้นๆ เช่น หากระบบเกิดความผิดพลาดขึ้นก็จะส่งสัญญาณทริปไปยังแมกเนติกคอนแทคเตอร์ เพื่อทำการปลดระบบจากกัน ซึ่งในการตัดระบบออกจากกันนี้ถูกให้ความสำคัญมากเนื่องจากเราต้องการป้องกันระบบในส่วนของไมโครกริด ซึ่งทุกอย่างจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งทั้งนี้เองได้จำลองความผิดปกติในลักษณะต่างๆทางไฟฟ้าขึ้น โดยลดทอนสัญญาณแรงดันทั้งสองฝั่งลงแต่ยังคงใช้ที่ความถี่และเฟสคงเดิม พบว่าระบบควบคุมสามารถที่จะทำการปลดวงจรออกได้ตามมาตรฐานทุกประการ และในการทดลองต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าจริงนั้นพบว่า ระบบควบคุมสามารถตรวจจับการชิงโครในสระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของไมโครกริดและระบบไฟฟ้า กริดได้อย่างถูกต้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าจริงนั้น ต้องมีความถูกต้องและแม่นยำเป็นอย่างมาก ซึ่งขณะที่ทำการทดลองหากเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบไฟฟ้า จึงส่งผลให้สัญญาณที่ชุดตรวจจับรับค่าได้นั้นผิดเพี้ยนไปและทำให้ตรวจเจอความผิดปกติไปทำให้ไม่สามารถกระทำการเชื่อมต่อกันได้ หรือหากเชื่อมต่อได้ ระบบป้องกันก็จะทำงานโดยส่งสัญญาณให้ทำการปลดวงจรออกจากระบบทันทีเนื่องจากเวลาที่ใช้เร็วมากเพื่อป้องกันความสูญเสียขึ้น

เพราะฉะนั้นขณะทำการทดลองควรทำช่วงที่ไม่มีเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนทำงานอยู่อย่างเช่น มอเตอร์ เป็นต้น

ในส่วนของมาตรฐาน ITIC Curve นั้นในทางปฏิบัติซึ่งคณะผู้ทดลองได้ใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์เป็นสวิตซ์ในการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า ทำให้เวลาที่ใช้ในการตัดต่อไม่สามารถทำได้ตามมาตรฐานนี้ได้ เพราะเวลาที่มาตรฐานนี้ต้องการใช้น้อยกว่าเวลาทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์

ขณะทำการทดลองนั้นได้ทำการจำลองแรงดันไฟฟ้าโดยการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟจากการหมุน variac ทำให้แรงดันที่จำลองขึ้นนั้นในตอนแรกที่ขณะเริ่มเพิ่มหรือลดแรงดันลงจะเป็นการค่อยๆเพิ่มขึ้นหรือค่อยๆลดลง ไม่สามารถที่จะเพิ่มหรือลดแรงดันได้ทันทีทันใด ทำให้เวลาในการใช้ปลดวงจรออกนั้นมีความคลาดเคลื่อนออกไป

และการทดลองแรงดันเกินระดับ 4 นั้นคือการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดมากกว่า 120% ของแรงดันปกติ ไม่สามารถทำได้เนื่องจากขีดจำกัดของอุปกรณ์ในการเพิ่มแรงดันให้ถึงขนาดที่ต้องการได้

บรรณานุกรม

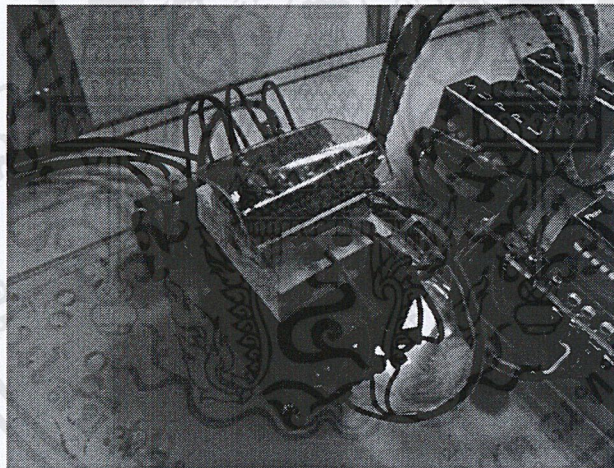
- [1] Akagi, Hirofumi, **Instantaneous power theory and applications to power conditioning**, Hoboken, NJ, John Wiley, 2007.
- [2] Bishop, Robert H, **LabVIEW 7 express / Robert H. Bishop**, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2006.
- [3] Franco, Sergio, **Design with operational amplifiers and analog integrated circuits**, New York, McGraw-Hill, 1988
- [4] IEEE Std 1547TM-2003, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
- [5] Joham Driesen , Farid Katiraei , “**Design for Distributed Energy Resources,**” IEEE power & energy, Vol.6, No.3 May/June 2008
- [6] สิทธิชัย โภคยอุดม, **วงจรป้อนกลับและออสซิลเลเตอร์**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2549
- [7] Gary W. Johnson Richard Jennings, **LabVIEW Graphical Programming**, Mc Graw Hill, Fourth Edition , 2009
- [8] มงคล พรหมเทศ, **งานไฟฟ้าทั่วไป** , เอ็มพันธ์, กรุงเทพฯ , 2542
- [9] <http://www.pea.co.th/vspp/vspp.htm>
- [10] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/2/LM324N.shtml
- [11] <http://decibel.ni.com/content/docs/DOC-2386>
- [12] <http://www.lpc.rmutl.ac.th/elcen/elearning/>
- [13] <http://f47testing.epri.com/f47abstract.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 คอมพิวเตอร์ควบคุมและแสดงผล (host)

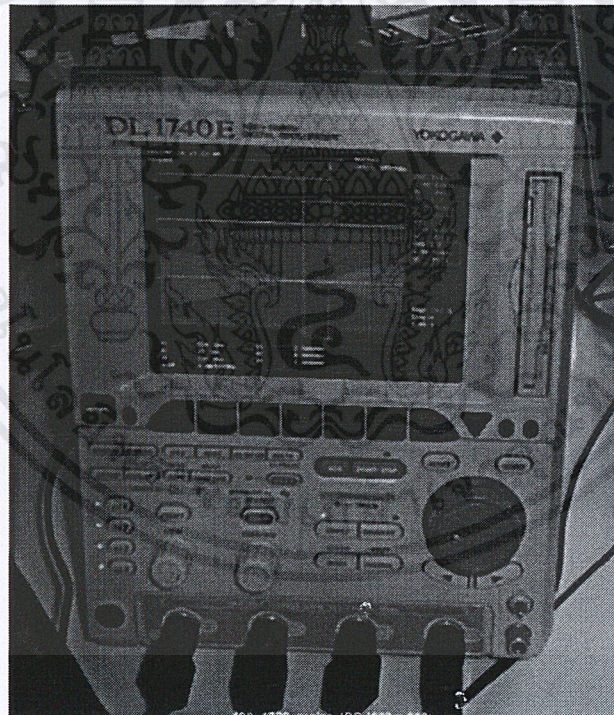


ภาพที่ 2 แมกเนติกคอนแทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

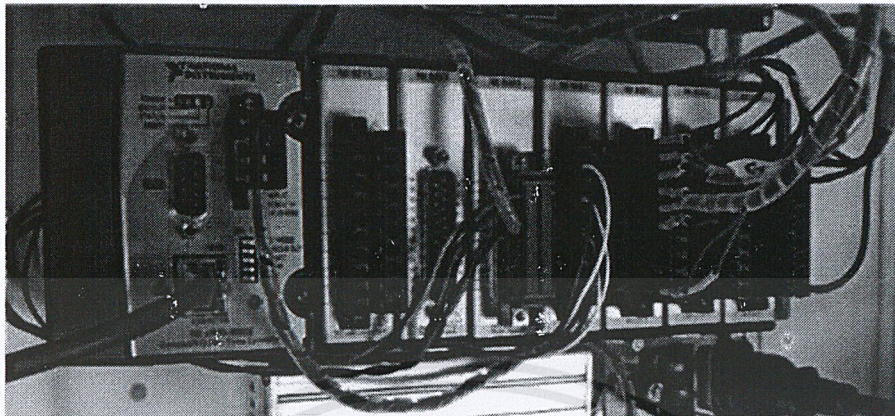


ภาพที่ 3 Function/Arbitrary Waveform Generator 2 Channel

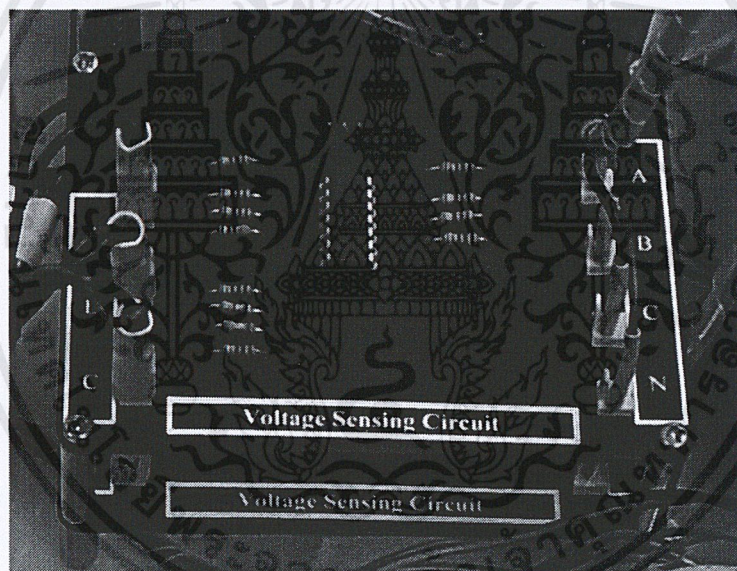


ภาพที่ 4 Digital Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

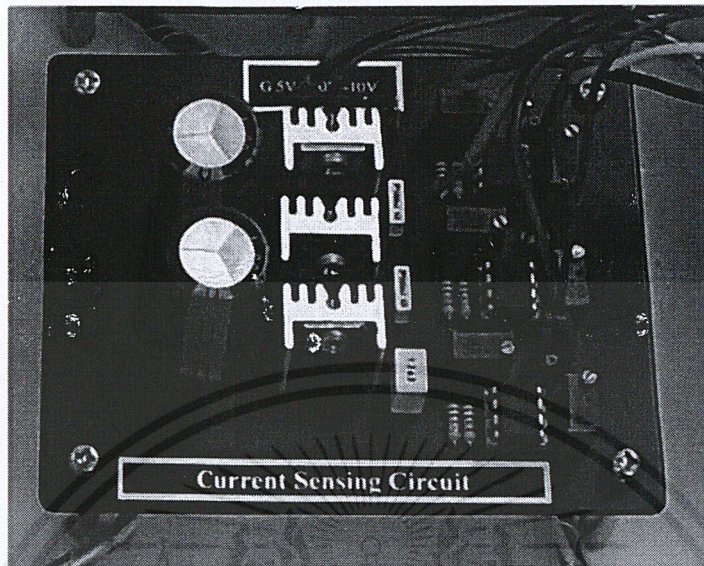


ภาพที่ 5 Compact RIO Real-Time Controller

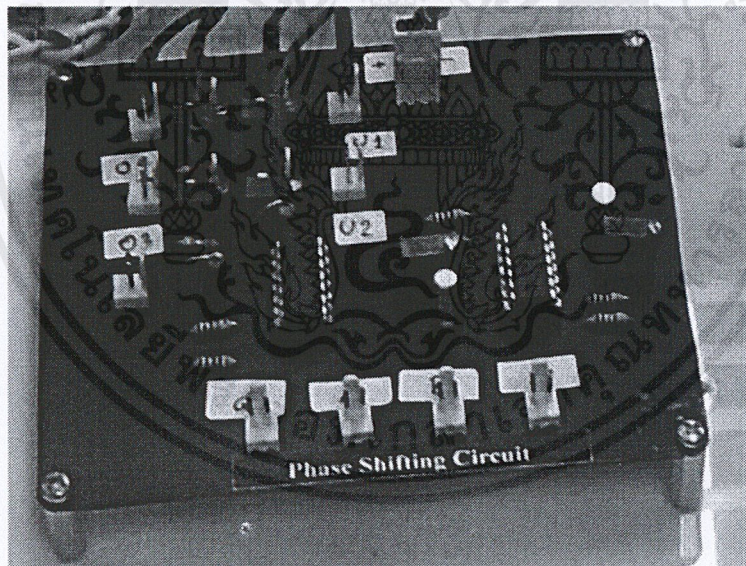


ภาพที่ 6 Voltage Sensing Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

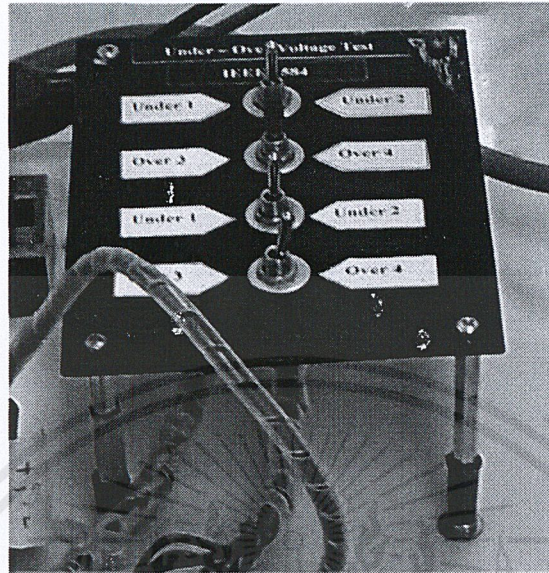


ภาพที่ 7 Current Sensing Circuit

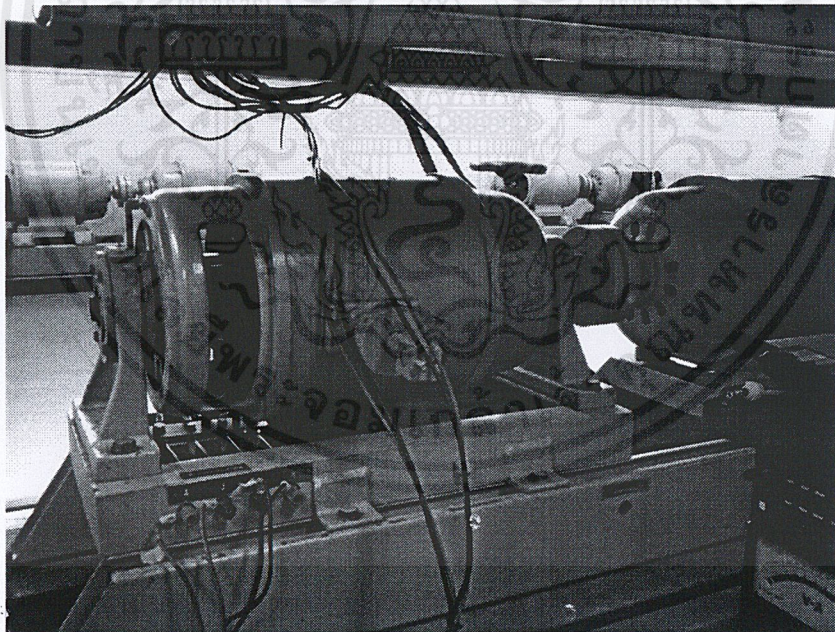


ภาพที่ 8 Phase Shifting Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



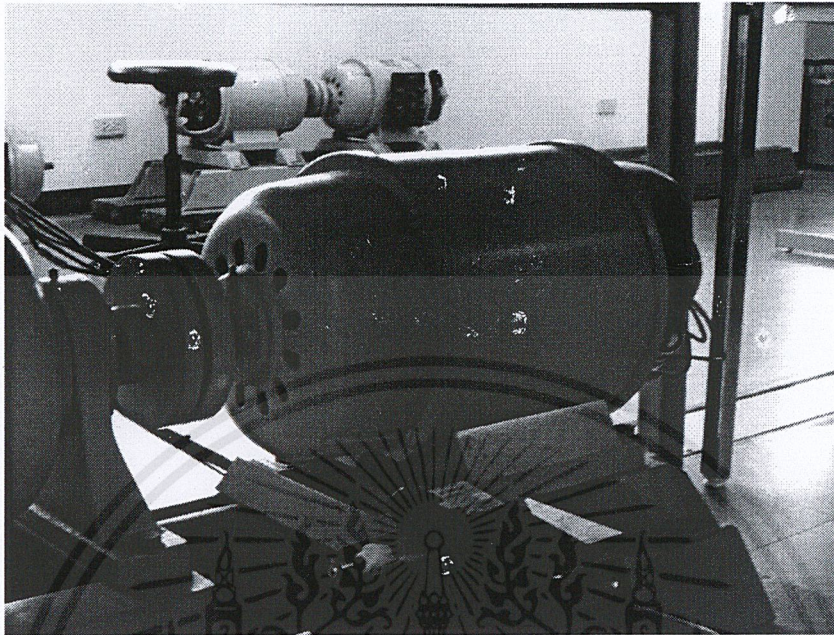
ภาพที่ 9 วงจรจำลองแรงดันเกินและแรงดันตก



ภาพที่ 10 DC Motor

พิกัด 220V, 13.5A, 3KW, 1500rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 Three-Phase Synchronous Machine
พิกัด 220V, 7.9A, 3KVA, PF0.8, 2.4KW, 1500rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATING INSTRUCTIONS

CompactRIO™ cRIO-9002/9004

Intelligent Real-Time Embedded Controllers for CompactRIO

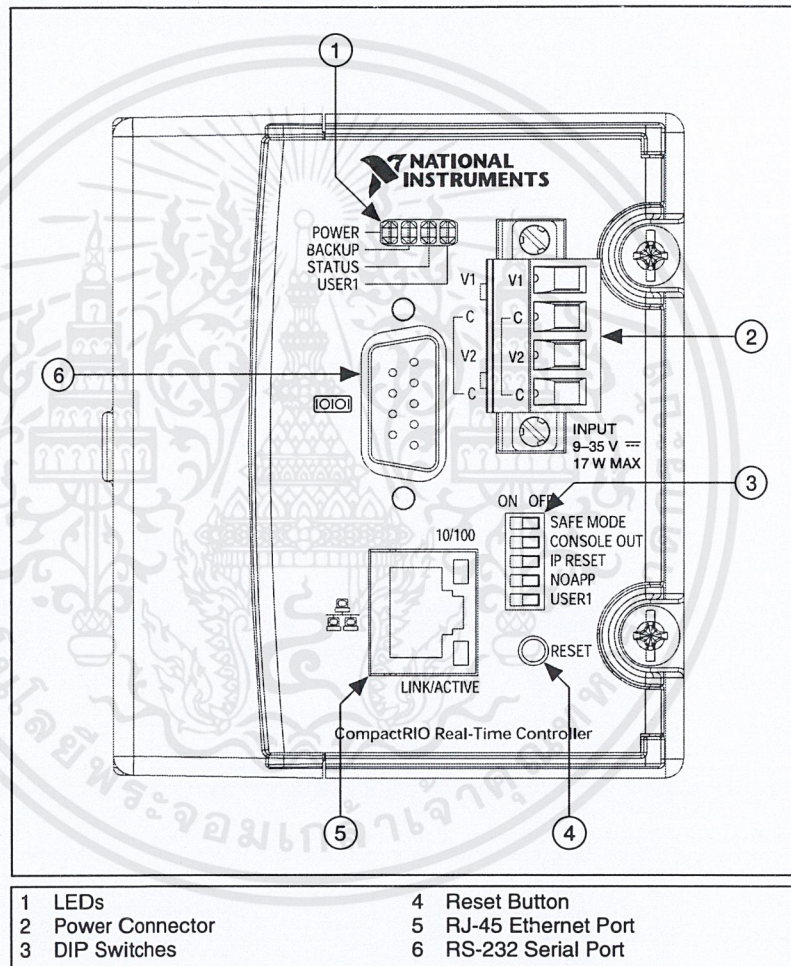


Figure 1. CompactRIO cRIO-9002/9004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

These operating instructions describe how to connect the National Instruments cRIO-9002 and cRIO-9004 to a network and how to use the features of the cRIO-9002 and cRIO-9004. For information about installing, configuring, and programming the controller, refer to the *CompactRIO Bookshelf* at **Start»All Programs»National Instruments»CompactRIO»Search the CompactRIO Bookshelf**.

Safety Guidelines

Operate the cRIO-9002/9004 only as described in these operating instructions.

Safety Guidelines for Hazardous Locations

The cRIO-9002/9004 is suitable for use in Class I, Division 2, Groups A, B, C, and D hazardous locations; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4, and Ex nC IIC T4 hazardous locations; and nonhazardous locations only. Follow these guidelines if you are installing the cRIO-9002/9004 in a potentially explosive environment. Not following these guidelines may result in serious injury or death.



Caution Do *not* disconnect the power supply wires and connectors from the controller unless power has been switched off.



Caution Do *not* install or remove the controller unless power has been switched off.




Caution Substitution of components may impair suitability for Class I, Division 2.



Caution For Zone 2 applications, install the CompactRIO system in an enclosure rated to at least IP 54 as defined by IEC 60529 and EN 60529.

Special Conditions for Safe Use in Europe

This equipment has been evaluated as EEx nC IIC T4 equipment under DEMKO Certificate No. 03 ATEX 0324020X. Each controller is marked  II 3G and is suitable for use in Zone 2 hazardous locations.

Installing the Controller on the Chassis

Figure 2 shows the dimensions of the CompactRIO controller.

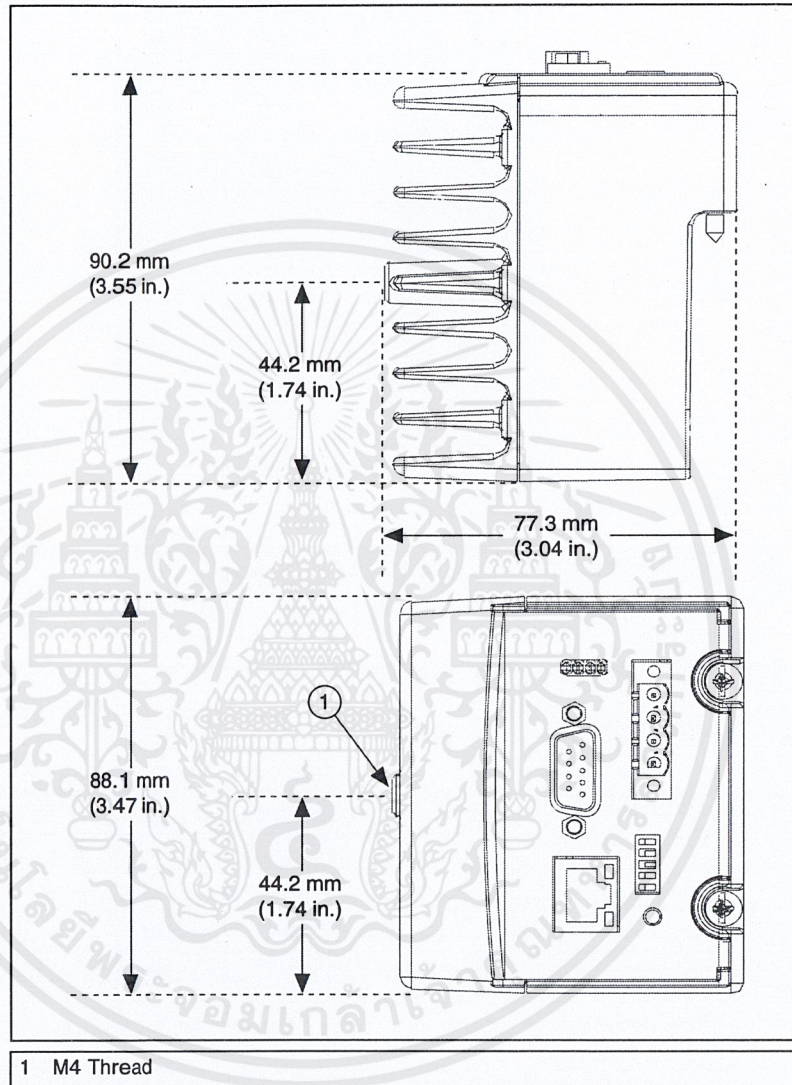


Figure 2. CompactRIO Controller, Front and Bottom Views with Dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Complete the following steps to install the controller on the chassis.

1. Make sure that no power is connected to the controller or the chassis.
2. Align the controller with the chassis as shown in Figure 3.

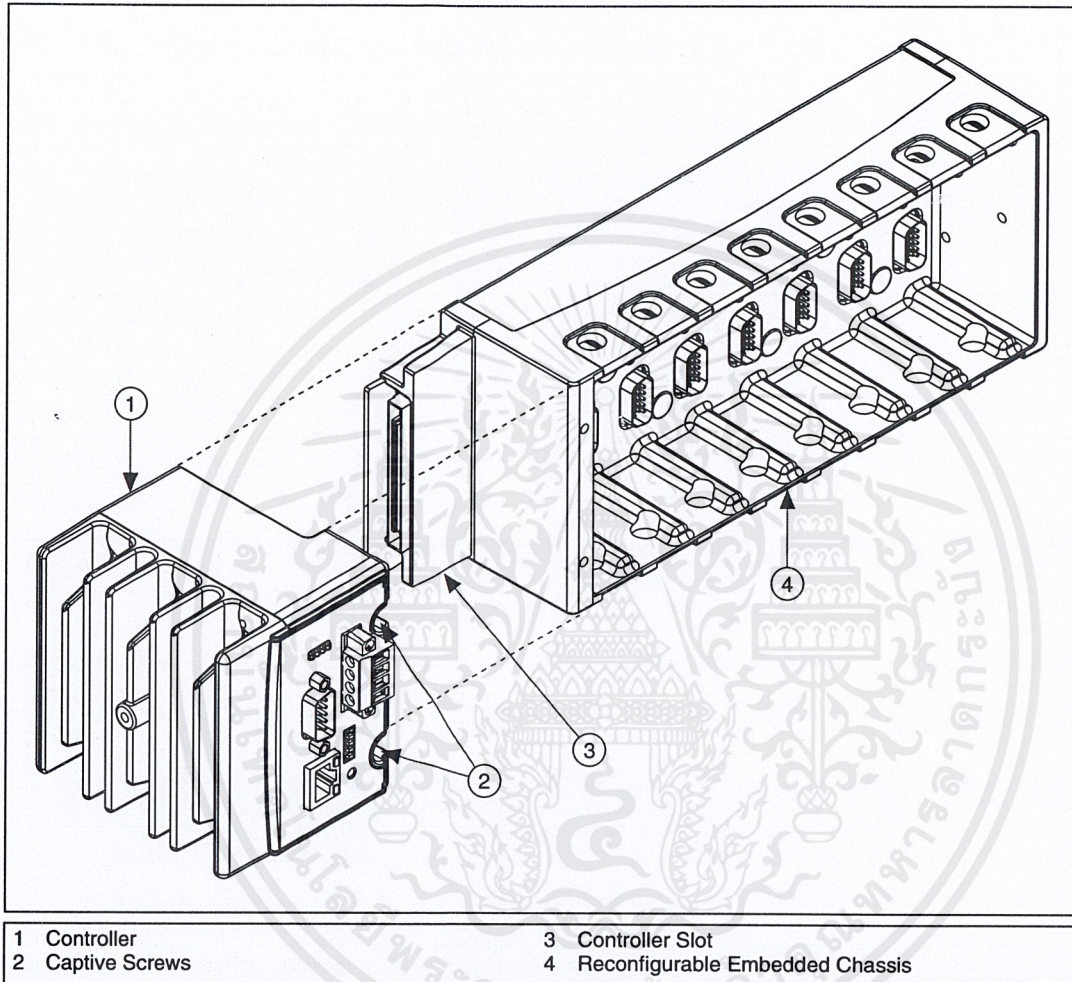


Figure 3. Installing the Controller on the Chassis (Eight-Slot Chassis Shown)

3. Slide the controller onto the controller slot on the chassis. Press firmly to ensure the chassis connector and the controller connector are mated.
4. Using a number 2 Phillips screwdriver, tighten the two captive screws on the front of the controller to 1.3 N · m (11.5 lb · in.) of torque.

Connecting the Controller to a Network

Connect the controller to an Ethernet network using the RJ-45 Ethernet port on the controller front panel. Use a standard Category 5 (CAT-5) Ethernet cable to connect the controller to an Ethernet hub, or use an Ethernet crossover cable to connect the controller directly to a computer.



Caution To prevent data loss and to maintain the integrity of your Ethernet installation, do *not* use a cable longer than 100 m. If you are using 100 Mbps Ethernet, National Instruments recommends using a CAT-5 shielded twisted-pair Ethernet cable.

The host computer communicates with the controller over a standard Ethernet connection. If the host computer is on a network, you must configure the controller on the same subnet as the host computer. If neither the host computer nor the CompactRIO controller is connected to a network, you can connect the two directly using a CAT-5 crossover cable.

If you need to build your own cable, refer to the *Cabling* section for more information about Ethernet cable wiring connections.

In order to configure the controller, you must connect it to the same subnet as the host computer. If you want to use the controller on a subnet other than the one the host computer is on, first connect the controller on the same subnet as the host computer. Use DHCP to assign an IP address or reassign a static IP address for the subnet where you want it to be and physically move it to the other subnet. The first time you configure the controller, you must also install software on it. Refer to the *Measurement & Automation Explorer Help* for more information about configuring the controller in Measurement & Automation Explorer (MAX). Contact your network administrator if you need assistance configuring the host computer and controller on the same subnet.

Wiring Power to the Controller



Caution You *must* install the controller on a CompactRIO chassis and tighten the captive screws before you apply power to the controller. Installing the controller while power is applied to it can cause damage to the chassis.

The controller requires an external power supply that meets the specifications in the *Power Requirements* section. The controller filters and regulates the supplied power and provides power for all of the I/O modules in the chassis. You can connect two power sources to the controller. The controller draws power from the power source with the higher voltage. The controller has one layer of reversed-voltage protection. The power source

you connect to the controller must provide an additional layer of reversed-current flow protection. Complete the following steps to connect power sources to the controller.

1. Install a ferrite across the negative and positive wires for both the V1 and V2 terminals. Refer to Figure 4 for an illustration of this step.
2. Connect the positive lead of one of the power sources to the V1 terminal and the negative lead to one of the C terminals.
3. Connect the positive lead of the other power source to the V2 terminal and the negative lead to one of the C terminals.



Note The controller draws power from *either* V1 or V2 depending on which terminal has a higher voltage. It does not draw power from both terminals.



Caution The C terminals are internally connected to each other. Make sure to use two power sources that have a common ground.

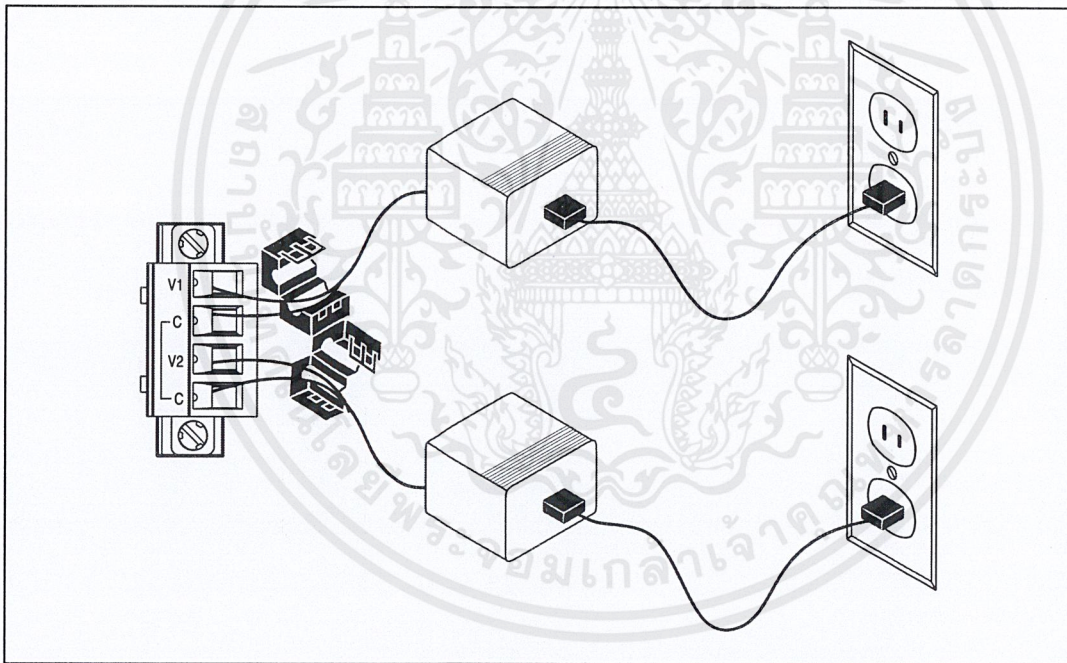


Figure 4. Wiring Power to the Controller

Powering On the Controller

Plug in each power supply to the CompactRIO system. The controller runs a power-on self test (POST). During the POST, the Power, Status, and User1 LEDs turn on. The User1 and Status LEDs turn off, indicating that the POST is complete. If the LEDs do not behave in this way when the controller powers on, refer to the *Understanding LED Indications* section.

Boot Options

You can configure the controller to launch an embedded stand-alone application each time you boot the controller. Refer to the *LabVIEW Real-Time Module User Manual* for more information.

Table 1 lists the reset options available on CompactRIO backplanes, such as the cRIO-910x devices. Use these options to determine how the CompactRIO controllers, such as the cRIO-9002 and cRIO-9004 controllers, are reset in various conditions.

Table 1. CompactRIO Reset Options

Backplane Reset Option	Controller Behavior
Do Not Autoload on Reset	Does not load the FPGA bit stream from flash memory
Autoload on Power-On Reset	Loads the FPGA bit stream from flash memory to the FPGA when the controller powers on.
Autoload on Any Device Reset	Loads the FPGA bit stream from flash to the FPGA when you reboot the controller either with or without cycling power.

Connecting Serial Devices to the Controller

The controller has an RS-232 serial port to which you can connect devices such as displays or input devices. Use the Serial VIs to read from and write to the serial port. For more information about the Serial VIs, refer to the *LabVIEW Help*.

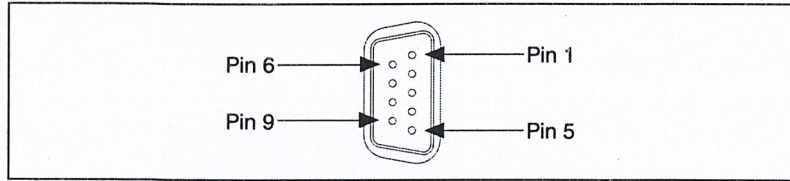


Figure 5. Controller Serial Port

Table 2. DB-9 Pin Descriptions

Pin	Signal
1	DCD
2	RXD
3	TXD
4	DTR
5	GND
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI

Configuring DIP Switches

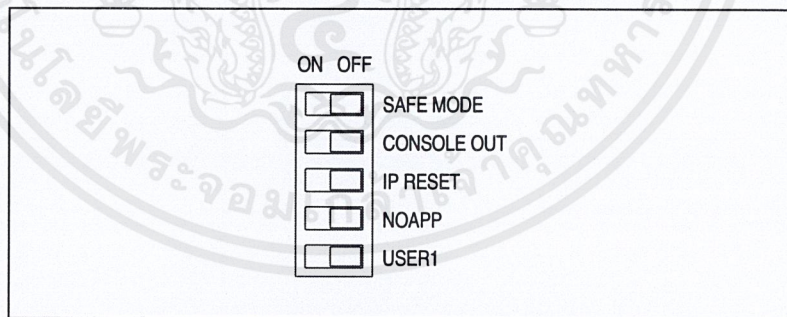


Figure 6. Controller DIP Switches

All of the DIP switches are in the OFF position when the controller is shipped from National Instruments.

Safe Mode Switch

The position of the Safe Mode switch determines whether the embedded LabVIEW Real-Time engine launches when the controller boots. If the switch is in the OFF position, the LabVIEW Real-Time engine launches. Keep this switch in the OFF position during normal operation. If the switch is in the ON position when the controller boots, the controller launches only the essential services required for updating its configuration and installing software. The LabVIEW Real-Time engine does not launch.

Push the Safe Mode switch to the ON position if the software on the controller is corrupted. If there is no software installed on the controller, the controller automatically boots into safe mode regardless of the position of the safe mode switch. The Safe Mode switch must be in the ON position to reformat the drive on the controller. Refer to the *Measurement & Automation Explorer Help* for more about installing software on a controller and the reformatting the drive on the controller.

Console Out Switch

With a serial-port terminal program, you can use the Console Out switch to read the IP address and BIOS version of the controller. Connect the serial port on the controller to a computer. Push the switch to the ON position. Make sure that the serial-port terminal program is configured to the following settings:

- 9,600 bits per second
- Eight data bits
- No parity
- One stop bit

The serial-port terminal program displays the IP address and BIOS version. Keep this switch in the OFF position during normal operation.

IP Reset Switch

Push the IP Reset switch to the ON position and reboot the controller to reset the IP address of the controller to 0 . 0 . 0 . 0. If the controller is on your local subnet and the IP Reset switch is in the ON position, the controller appears in MAX with IP address 0 . 0 . 0 . 0. You can configure a new IP address for the controller in MAX. Refer to the *Resetting the Network Configuration of the Controller* section for more information about resetting the IP address. You also can push this switch to the ON position to unlock a controller that was previously locked in MAX.

No App Switch

Push the No App switch to the ON position to prevent a LabVIEW startup application from running on the controller when the controller powers on. If you want to permanently disable the application from running when the controller powers on, you must disable it in LabVIEW. To run an application when the controller powers on, push the No App switch to the OFF position, create an application using the LabVIEW Application Builder, and configure the application in LabVIEW to launch when the controller powers on. If you already have an application configured to launch when the controller powers on and you push the No App switch from ON to OFF, the power-on application is automatically enabled. For more information about automatically launching VIs when the controller powers on and disabling VIs from launching when the controller powers on, refer to the *LabVIEW Real-Time Module User Manual*.

User1 Switch

You can define the behavior of the User1 switch for your application. To define the behavior of this switch in your embedded application, use the RT Read Switch VI in your LabVIEW RT embedded VI. For more information about the RT Read Switch VI, refer to the *LabVIEW Help*.

Understanding LED Indications

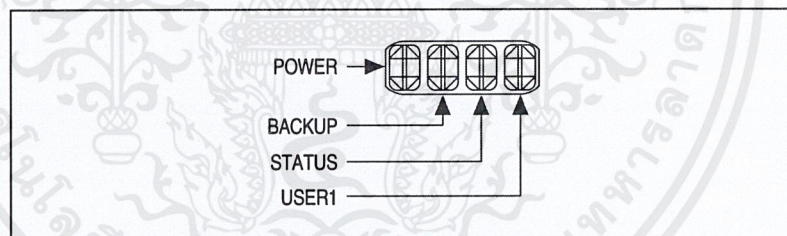


Figure 7. CompactRIO Controller LEDs

Power LED

The Power LED is lit while the controller is powered on. This LED indicates that the power supply connected to the controller is adequate, and that the controller is supplying power to the CompactRIO system.

Backup LED

The Backup LED is lit when the controller is drawing power from the V2 terminal.

Status LED

The Status LED is off during normal operation. The controller indicates specific error conditions by flashing the Status LED a certain number of times as shown in Table 3.

Table 3. Status LED Indications

Number of Flashes	Indication
Slow, continuous flashing (one flash every couple seconds)	The controller is unconfigured. Use MAX to configure the controller. Refer to the <i>Measurement & Automation Explorer Help</i> for information about configuring the controller.
2	The controller has detected an error in its software. This usually occurs when an attempt to upgrade the software is interrupted. Reinstall software on the controller. Refer to the <i>Measurement & Automation Explorer Help</i> for information about installing software on the controller.
3	The controller is in safe mode because the Safe Mode DIP switch is in the ON position. Refer to the <i>Configuring DIP Switches</i> section for information about the Safe Mode DIP switch.
4	The controller software has crashed twice without rebooting or cycling power between crashes. This usually occurs when the controller runs out of memory. Review your RT VI and check the controller memory usage. Modify the VI as necessary to solve the memory usage issue.
Continuous flashing	The controller has detected an unrecoverable error. Contact National Instruments.
Continuously lit	The flash memory card on the controller is corrupt. Reformat the hard drive on the controller. Refer to <i>Measurement & Automation Explorer Help</i> for more information about reformatting the hard drive.

User1 LED

You can define the User1 LED to meet the needs of your application. To define the LED, use the RT LEDs VI in LabVIEW. For more information about the RT LEDs VI, refer to the *LabVIEW Help*.

Resetting the Network Configuration of the Controller

If the controller is not able to communicate with the network, you can manually restore the unit to the factory network settings. When you reset the controller, the IP address, subnet mask, DNS address, gateway, and Time Server IP are set to 0.0.0.0. Resetting does not affect power-on defaults, watchdog settings, or VIs.

Complete the following steps to reset the controller.

1. Move the IP Reset DIP switch to the ON position.
2. Push the Reset button to cycle power to the controller. The Status LED flashes once, indicating that the controller IP address is unconfigured.
3. Move the IP Reset switch to the OFF position.

The controller settings are reset. You can reconfigure the settings in MAX from a computer on the same subnet. Refer to the *Measurement & Automation Explorer Help* for more information about configuring the controller.

Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted.

Network

Network interface	10BaseT and 100BaseTX Ethernet
Compatibility	IEEE 802.3
Communication rates	10 Mbps, 100 Mbps, auto-negotiated
Maximum cabling distance	100 m/segment

Memory

cRIO-9002	
Nonvolatile	64 MB
DRAM	32 MB
cRIO-9004	
Nonvolatile	512 MB
DRAM	64 MB

MTBF

The following MTBF specifications apply to the cRIO-9002 and cRIO-9004.

MTBF 1,253,788 hours at 25 °C;
Bellcore Issue 6, Method 1,
Case 3, Parts Count Method



Note Contact NI for Bellcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications. Go to ni.com/certification and search by model number or product line for more information about MTBF and other product certifications.

Power Requirements

You must use a National Electric Code (NEC) Class 2 power source with the cRIO-9002/9004.

Recommended power supply 48 W secondary,
18 VDC to 24 VDC

Power consumption

Controller only 7 W max

Controller supplying power to
8 CompactRIO modules 17 W

Power supply

On power up 9 to 35 V

After power up 6 to 35 V



Note The cRIO-9002 and cRIO-9004 power up only at 9 V or higher, but when these devices are powered on, they can run on as little as 6 V.

Physical Characteristics

If you need to clean the controller, wipe it with a dry towel.

Screw-terminal wiring 12 to 24 AWG copper conductor
wire with 10 mm (0.39 in.) of
insulation stripped from the end

Torque for screw terminals 0.5 to 0.6 N · m
(4.4 to 5.3 lb · in.)

Weight Approx. 488 g (17.2 oz)

Safety

Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

V to C.....35 V max, Measurement
Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. *MAINS* is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Caution Do not connect V and C terminals to signals within Measurement Categories II, III, or IV.

Safety Standards

The cRIO-9002/9004 is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61010-1, IEC 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Hazardous Locations

U.S. (UL).....Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4

Canada (C-UL)Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nC IIC T4

Europe (DEMKO)EEx nC IIC T4

Environmental

The cRIO-9002/9004 is intended for indoor use only. For outdoor use, mount the CompactRIO system in a suitably rated enclosure.

Operating temperature
(IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) -40 to 70 °C



Note To meet this operating temperature range, follow the guidelines in the installation instructions for your CompactRIO system.

Storage temperature
(IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) -40 to 85 °C

Ingress protection IP 40

Operating humidity
(IEC 60068-2-56) 10 to 90% RH, noncondensing

Storage humidity
(IEC 60068-2-56) 5 to 95% RH, noncondensing

Maximum altitude 2,000 m

Pollution Degree (IEC 60664) 2

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the CompactRIO system and affix ferrules to the end of the terminal wires.

Operating vibration,
random (IEC 60068-2-64) 5 g_{rms}, 10 to 500 Hz

Operating shock
(IEC 60068-2-27) 30 g, 11 ms half sine
50 g, 3 ms half sine,
18 shocks at 6 orientations

Operating vibration,
sinusoidal (IEC 60068-2-6) 5 g, 10 to 500 Hz

Electromagnetic Compatibility

Emissions.....	EN 55011 Class A at 10 m FCC Part 15A above 1 GHz
Immunity	Industrial levels per EN 61326:1997 + A2:2001, Table A.1
EMC/EMI.....	CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant



Note For EMC compliance, operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European directives, as amended for CE marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety).....	73/23/EEC
Electromagnetic Compatibility Directive (EMC).....	89/336/EEC



Note Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Cabling

Table 4 shows the standard Ethernet cable wiring connections for both normal and crossover cables.

Table 4. Ethernet Cable Wiring Connections

Pin	Connector 1	Connector 2 (Normal)	Connector 2 (Crossover)
1	white/orange	white/orange	white/green
2	orange	orange	green
3	white/green	white/green	white/orange
4	blue	blue	blue
5	white/blue	white/blue	white/blue

Table 4. Ethernet Cable Wiring Connections (Continued)

Pin	Connector 1	Connector 2 (Normal)	Connector 2 (Crossover)
6	green	green	orange
7	white/brown	white/brown	white/brown
8	brown	brown	brown

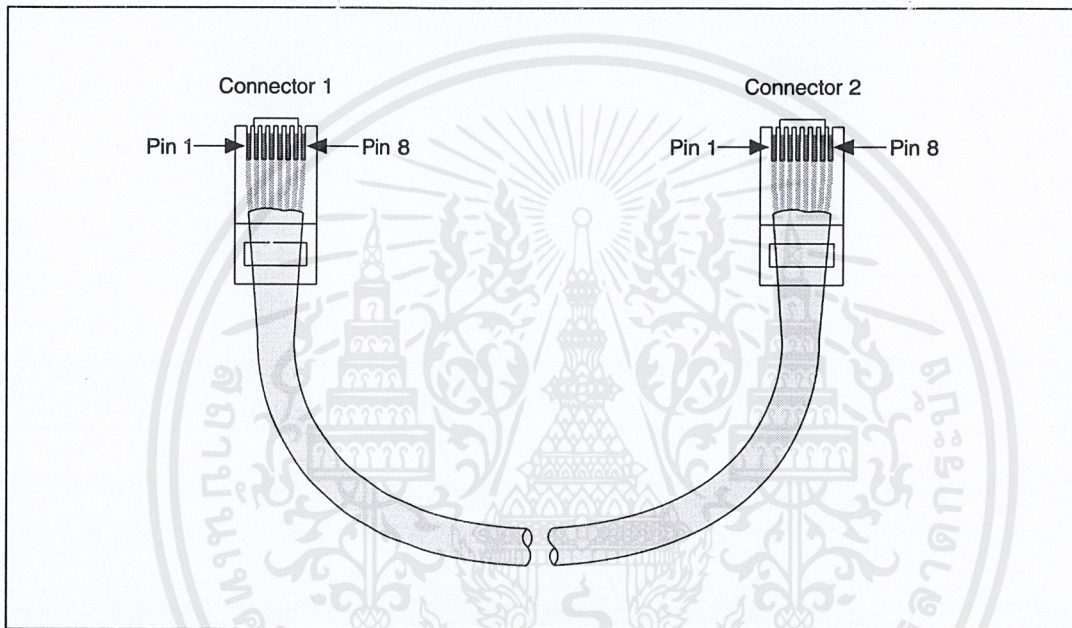


Figure 8. Ethernet Connector Pinout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Instruments Contact Information

National Instruments corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. National Instruments also has offices located around the world to help address your support needs. For telephone support in the United States, create a service request at ni.com/support and follow the calling instructions or dial 512 795 8248. For telephone support outside the United States, contact your local branch office:

Australia 1800 300 800, Austria 43 0 662 45 79 90 0,
Belgium 32 0 2 757 00 20, Brazil 55 11 3262 3599,
Canada 800 433 3488, China 86 21 6555 7838,
Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00,
Finland 385 09 725 725 11, France 33 0 1 48 14 24 24,
Germany 49 0 89 741 31 30, India 91 80 51190000,
Israel 972 0 3 6393737, Italy 39 02 413091, Japan 81 3 5472 2970,
Korea 82 02 3451 3400, Lebanon 961 0 1 33 28 28,
Malaysia 1800 887710, Mexico 01 800 010 0793,
Netherlands 31 0 348 433 466, New Zealand 0800 553 322,
Norway 47 0 66 90 76 60, Poland 48 22 3390150,
Portugal 351 210 311 210, Russia 7 095 783 68 51,
Singapore 1800 226 5886, Slovenia 386 3 425 4200,
South Africa 27 0 11 805 8197, Spain 34 91 640 0085,
Sweden 46 0 8 587 895 00, Switzerland 41 56 200 51 51,
Taiwan 886 02 2377 2222, Thailand 662 278 6777,
United Kingdom 44 0 1635 523545



National Instruments, NI, ni.com, and LabVIEW are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Terms of Use* section on ni.com/legal for more information about National Instruments trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your CD, or ni.com/patents.

© 2004–2005 National Instruments Corporation. All rights reserved.

373561C-01

Aug05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นางสาวภาจิรา เอกหาญกมล

วัน/เดือน/ปีเกิด 14 กันยายน 2532

ที่อยู่ 80/110 หมู่ที่ 9 แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10170

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีวิทยา

Email : A.Pajira@gmail.com



นายภูวดล ศรีฟ้า

วัน/เดือน/ปีเกิด 8 สิงหาคม 2530

ที่อยู่ 185/6 หมู่ 7 ต.ช่องแคบ อ.พบพระ จ.ตาก 63160

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสรรพวิทยาคม

Email : Ben_sin@hotmail.com



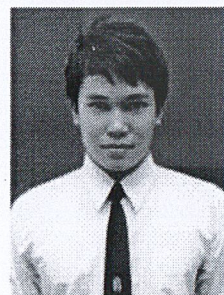
นายมงคล แก่นจันดา

วัน/เดือน/ปีเกิด 11 พฤษภาคม 2532

ที่อยู่ 23/52 หมู่ที่ 4 แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร 10210

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง

Email : mongkol32@hotmail.com



นายมนกฤษณ์ เรืองแก้ว

วัน/เดือน/ปีเกิด 26 กุมภาพันธ์ 2531

ที่อยู่ 12/11 ซ.ชาดา ถ.รัตนกิจ หมู่ 1 ต.ยะรม อ.เบตง จ.ยะลา 95110

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัยสตูล

Email : mix_mik1@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้