

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400 โวลต์
SOLID – STATE CIRCUIT BREAKER FOR 400V POWER SYSTEM



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....104000
วัน,เดือน,ปี..... 28 ต.ค. 2552

b.....
i.....

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400 โวลต์
SOLID – STATE CIRCUIT BREAKER FOR 400V POWER SYSTEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมภาพ ผลไม้

ผศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตตสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400 โวลต์

ผู้จัดทำ

1. นาย บัณฑิต เกียรติสกุลทอง
2. นาย ปฏิญา ผลาเกส
3. นาย ปรวรรต คาระวะ





..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตนัสัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตทสำหรับแรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400 โวลต์

นาย บัณฑิต เกียรติสกุลทอง

นาย ปฏิญญา ผลาเกส

นาย ประวรรต คาระวะ

ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้นำเสนออุปกรณ์ตัดต่อของไมโครกริดที่ใช้เทคโนโลยีของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตท อุปกรณ์ตัดต่อนี้เชื่อมกริดและไมโครกริดเข้าด้วยกันที่สภาวะปกติ และตัดสองระบบออกจากกันเมื่อเกิดสภาวะที่ผิดปกติ การตรวจจับของเงื่อนไขปกติและผิดปกตินั้นปฏิบัติตาม Embedded Controller Programmed กับโปรแกรมจาก LabVIEW โดยหลักเกณฑ์ในการตรวจจับนั้นอ้างอิงกับมาตรฐาน IEEE 1547 โครงการนี้เน้นไปที่การออกแบบและการทำให้เกิดผลของตัวควบคุมของอุปกรณ์ตัดต่อ ในส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นจะทำให้บรรลุผลจากงานศึกษาต่อไป

Solid – State Circuit Breaker for 400V Power System

Bandit Kiatsakulthong

Patinya Phalages

Porawat Kharawa

Dr. Sompob Polmai

Supervisor

Assist.Prof.Df. Supat Kittiratsutcha

Supervisor

2008

ABSTRACT

This project proposes Microgrid separating device based solid state circuit breaker technology. The separating device connect the grid and Microgrid together at normal operating condition and disconnects the two system during abnormal conditions. The detection of the normal and abnormal conditions is carried out on the embedded controller programmed with LabVIEW. The detection criteria is based on IEEE 1547 standard. This project focuses on the design and implementation of the controller of the separating device. The hardware implementation will be carried out on the separated studies.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านด้วยกัน ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ ดร.สมภพ ผลไม้ และ ผศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตนสัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในการทำโครงการงานครั้งนี้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้จัดทำ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทภายในห้อง PEARL Lab ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาระหว่างทำโครงการ และให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือช่าง ขอขอบคุณเพื่อนห้อง PEARL Lab ทุกคนที่อยู่ทำงานร่วมกันตลอดปีที่ผ่านมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ดูแล และให้กำลังใจตลอดมา ทำให้ผู้จัดทำจบการศึกษาในครั้งนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
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.....	3
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความหมายของกริดและไมโครกริด.....	5
2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เชื่อมระหว่างกริด และไมโครกริด.....	6
2.2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	6
2.2.2 โซลิตเสตทเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	10
2.3 ทฤษฎีการแปลง.....	12
2.3.1 Clarke transformation.....	12
2.3.2 Park transformation.....	14
2.3.3 Phase-locked loop.....	15
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรการทดลอง.....	18
3.1 การจำลองการสร้างแรงดันสามเฟสในโปรแกรม LabVIEW.....	18
3.2 การออกแบบวงจรเพื่อนำไฟสามเฟสมาใช้ในการทดลอง.....	21

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 การจำลองสัญญาณอินพุตด้วยโปรแกรม LabVIEW.....	26
4.2 การนำอินพุตจากระบบไฟฟ้าจริงมาใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบ.....	29
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	37
บรรณานุกรม.....	38
ภาคผนวก	39
ประวัติผู้เขียน	55



v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของกริด.....	5
2.2 ลักษณะของไมโครกริด.....	6
2.3 โครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอากาศ.....	7
2.4 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอาศัยความร้อน.....	8
2.5 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอาศัยอำนาจแม่เหล็ก.....	9
2.6 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอาศัยอำนาจแม่เหล็กและอำนาจแม่เหล็ก.....	9
2.7 การใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมระหว่างกริดและไมโครกริด.....	10
2.8 การใช้งานSCR เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริด.....	11
2.9 การใช้งานGBT เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริด.....	11
2.10 แบบของการทำงานของชุดควบคุมการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง.....	12
2.11 การแปลง abc ไปเป็น $\alpha\beta$	14
2.12 การแปลงจากแกนอ้างอิงหยุดนิ่ง เป็นแกนอ้างอิงซิงโครนัส.....	15
2.13 ส่วนประกอบต่างๆของวงจร Phase-locked loop.....	16
2.14 โครงสร้างพื้นฐานของกลไกการทำงานทั้งแบบที่เป็นวงจรมอดูลและดิจิทัล.....	16
3.1 วงจรสร้างสัญญาณแรงดันสามเฟสที่สร้างด้วยโปรแกรม LabVIEW.....	18
3.2 วงจรที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม LabVIEW.....	19
3.3 บล็อกโปรแกรมการแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันในแกน $\alpha\beta$	20
3.4 บล็อกโปรแกรมการแปลงแรงดันในแกน $\alpha\beta$ เป็นแรงดันในแกน dq โดยป้อนค่า ωt จากการสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ซิงโครนัสกับความถี่ 50 Hz.....	20
3.5 วงจรในส่วนของ phase-locked loop.....	21
3.6 วงจรของ op-amp.....	21
3.7 วงจร regulate ที่ทำหน้าที่แปลงไฟ AC เป็น DC เพื่อเป็น Supply ให้กับ op-amp.....	22
3.8 วงจรลดทอนสัญญาณแรงดันไลน์ด้วย op-amp ที่ออกแบบ.....	23
3.9 วงจรที่ใช้ในการทำงานในส่วน FPGA ของโปรแกรม LabVIEW.....	24
3.10 วงจรที่ใช้ในการทำงานในส่วน Real Time ของโปรแกรม LabVIEW.....	25
4.1 สัญญาณแรงดันสามเฟสที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณแรงดันสามเฟส.....	26
4.2 สัญญาณแรงดันในแกน $\alpha\beta$ ที่ได้จากบล็อกการแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันในแกน $\alpha\beta$	26

4.3	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่ได้จากบล็อกการแปลงแรงดันในแกน $\alpha\beta$ เป็นแรงดันในแกน dq.....	27
4.4	ค่า ωt อ้างอิงที่ป้อนให้บล็อกการแปลงแรงดันในแกน $\alpha\beta$ เป็นแรงดันในแกน dq...	27
4.5	สัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อแรงดันเป็น 220 V ทั้งสามเฟส.....	28
4.6	สัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อทำการเพิ่มแรงดันจาก 220 V เป็น 240 V ทั้งสามเฟส.....	28
4.7	สัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อทำการเพิ่มแรงดันจาก 220 V เป็น 200 V ทั้งสามเฟส.....	28
4.8	สัญญาณอนาล็อกอินพุตที่เป็นแรงดันไลน์ที่ป้อนเข้าไปในการทดลอง.....	29
4.9	สัญญาณ sawtooth ที่สร้างจาก FPGA เพื่อใช้ในการทำ Phase-locked loop.....	30
4.10	การ Control Phase-locked loop.....	30
4.11	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สร้างจาก FPGA ที่สภาวะแรงดันปกติ.....	31
4.12	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สร้างจาก Real Time ที่สภาวะแรงดันปกติ.....	31
4.13	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงเกินจากปกติ 50%.....	32
4.14	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงเกินจากปกติ 15%.....	32
4.15	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงดันเหลือ 20% ของแรงดันปกติ.....	33
4.16	สัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงดันเหลือ 70% ของแรงดันปกติ.....	33
4.17	สัญญาณทริบเมื่อเกิดแรงดันเกินกว่า 20% และตกไปต่ำกว่า 50% จากแรงดันปกติ.....	34
4.18	สัญญาณทริบเมื่อเกิดแรงดันตกตั้งแต่ 50% ถึง 88% จากแรงดันปกติ.....	35
4.19	สัญญาณทริบเมื่อเกิดแรงดันเกินตั้งแต่ 10% ถึง 20% จากแรงดันปกติ.....	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นการผลิตแบบรวมศูนย์ โดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก ถ้าไม่คำนึงถึงข้อเสียด้านมลภาวะจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ข้อดีสำคัญของการผลิตไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ คือ การผลิตไฟฟ้าปริมาณมากจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ทำให้มีความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์และมีเสถียรภาพการผลิตไฟฟ้าสูง การจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้บริโภคนั้นจะส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านโครงข่ายไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าระดับต่างๆ คือ โรงไฟฟ้าวรวมศูนย์ขนาดใหญ่จะผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงส่งเข้ากริด(ระบบสายส่ง)ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และส่งเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อทำการลดแรงดันไฟฟ้าลง และจ่ายไฟฟ้าเข้ากริดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและกริดของการไฟฟ้านครหลวงในระดับแรงดันที่ต่ำลงและท้ายที่สุดผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กที่สุดตามบ้านเรือนต่างๆ การผลิตและจ่ายไฟฟ้าแบบรวมศูนย์เป็นการจ่ายไฟฟ้าแบบทางเดียวจากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภคตั้งนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่จะผลิตจะต้องสัมพันธ์กับภาระความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะมีความหลากหลายทั้งในแง่ของช่วงเวลาของความต้องการไฟฟ้า หรือ ตำแหน่งที่อยู่ของผู้ใช้ซึ่งกระจุกกระจายอยู่ทั่วประเทศ ดังนั้นข้อเสียของการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายจากโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่ คือ การสูญเสียพลังงานตามสายส่ง ในกรณีที่ผู้บริโภคอยู่ไกลจากโรงไฟฟ้าจะยิ่งมีการสูญเสียพลังงานตามสายส่งมากขึ้น และ เนื่องจากเป็นระบบผลิตขนาดใหญ่จึงมีปัญหาด้านอัตราการตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงของผู้ใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีลักษณะหลากหลาย และบ่อยครั้งมักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในบางช่วงเวลา เนื่องจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ไม่สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้นระบบส่งพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่จึงไม่มีการบริหารจัดการด้านพลังงานสะสมเพื่อรองรับ หรือชดเชยอัตราการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าของผู้ใช้ และข้อเสียประการสุดท้ายที่เห็นได้ชัด คือ ข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะไม่สูงนัก เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศ โดยไม่ได้นำกลับมาใช้แต่อย่างใด

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าได้พัฒนาจนมีขนาดของระบบเล็กมาก และราคาก็ต่ำกว่าในอดีต เช่น กังหันก๊าซขนาดเล็กมาก หรือเครื่องยนต์สเตอร์ริง ซึ่งสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายในการผลิตไฟฟ้า และเนื่องจากระบบมีขนาดเล็กทำให้ผู้ใช้มีอิสระที่จะเลือกตำแหน่งการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่ใกล้กับภาระความต้องการไฟฟ้า ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ทำให้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาด

เล็ก เปิดโอกาสในการเชื่อมต่อกับระบบกริดไฟฟ้า ด้วยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เหล่านี้สามารถทำให้เกิดไมโครกริด (Micro Grid) ซึ่งหมายถึงระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Distribution Energy Resource ,DER) เป็นของตัวเอง เช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสง แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าพลังงานลม เป็นต้น และไหลลงภายในพื้นที่นั้นจะเป็นอิสระจากระบบไฟฟ้าหลัก(Grid) แต่ไมโครกริดนั้นก็ยังคงต่อเข้ากับกริดด้วย เนื่องจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก(DER) อาจจะไม่สามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการของโหลดในไมโครกริด ดังนั้นถ้าหากกริดนั้นเกิดปัญหา เช่น เกิดแรงดันตก ตัวไมโครกริดจะปลดตัวเองออกจากกริดได้ และทำงานโดยการผลิตและส่งจ่ายภายในพื้นที่ และสามารถที่จะเชื่อมต่อกลับเข้าไปในกริดได้เมื่อความผิดปกติภายในกริดนั้นหมดลงไปแล้ว

จากที่กล่าวข้างต้น ไมโครกริดต้องสามารถต่อเข้าหรือปลดออกจากกริดได้ เมื่อเกิดปัญหา เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างกริดและไมโครกริด จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่จะเข้ามาทำหน้าที่นี้ เรียกว่าอุปกรณ์ตัดต่อ (Separation Device ,SD) ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อตัวนี้จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547 ที่กำหนดการตัดต่อของอุปกรณ์เมื่อเกิดสภาวะต่างๆขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ตัดต่อในงานวิจัยนี้ใช้เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตท ซึ่งต้องการชุดควบคุมที่จะเป็นตัวตรวจจับความผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ แล้วส่งการไปยังตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตท โดยปกติเซอร์กิตเบรกเกอร์จะใช้เป็นชุดรีเลย์หลายชุดในการตรวจจับ ค่าความผิดปกติต่างๆแล้วในมาต่อกันเพื่อป้องกันค่าสัญญาณเข้าไปในเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งเวลาในการเคลียร์ความผิดปกตินั้นจะช้า ซึ่งอาจจะทำให้แม้ความผิดปกติถูกเคลียร์ไปแล้วแต่ผลของความผิดปกตินั้นได้ส่งผลเสียไปก่อนหน้าแล้ว ซึ่งในงานวิจัยเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตทนี้จะสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของเวลาได้ เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะสามารถทำการตัดต่อได้เร็วกว่า ซึ่งในการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องมีชุดคำสั่งควบคุมการทำงาน ในงานวิจัยส่วนนี้จะเป็นการศึกษาการควบคุมการตัดต่อของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตท โดยทำการจำลองการทำงานของวงจรควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW แล้วใช้ Embedded System Implementation เป็นตัวศึกษาการทำงานของการสวิตช์จากโปรแกรมที่ออกแบบมา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและรวบรวมข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงระหว่างไมโครกริดกับกริด
2. ศึกษาและออกแบบชุดควบคุม อัลกอริทึมการคำนวณและตรวจจับความผิดปกติต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุมเซอร์กิตเบรกเกอร์
3. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุม
4. ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมโดยการจำลองเหตุการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ
5. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อทดสอบการทำงานตามฟังก์ชันที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ในการศึกษาเกี่ยวข้องกับหัวข้อหลักๆดังต่อไปนี้

1. ศึกษาหน้าที่ของไมโครกริด
2. ศึกษาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์
3. ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์จากโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการศึกษารับต่อของอุปกรณ์เพื่อในไปออกแบบอัลกอริทึมต่างๆ
4. ใช้ Embedded System Implementation เพื่อศึกษาผลของการรับต่อจากโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบในคอมพิวเตอร์

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ติดต่อ
2. ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการหาวิธีการตรวจสอบค่าความผิดปกติต่างๆของระบบไฟฟ้า
3. ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในการศึกษาการวัดค่าความผิดปกติต่างๆ
4. ใช้ Embedded System Implementation ในการศึกษาโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อสังเกตการทำงานของสวิตช์ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่
5. วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ในส่วนแรกของตอนที่ 1 จะศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์ติดต่อ ทฤษฎีที่ใช้ในการหาวิธีการตรวจสอบค่าความผิดปกติต่างๆของระบบรวมทั้งไปถึงการจำลองการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในส่วนแรกของตอนที่ 2 เป็นการนำโปรแกรมที่ออกแบบโดย LabVIEW ไปใช้กับ embedded controller programmed เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรมให้ทำงานติดต่อเป็นไปตามที่ออกแบบ หลังจากนั้นจึงสรุปผล และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ด้านวิชาการ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์จากการเรียนรู้ที่ผ่านมาดังนี้

1. เข้าถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์ติดต่อความสำคัญของเวลาในการติดต่อของอุปกรณ์
2. ความรู้ในเรื่องของไมโครกริด หน้าที่ สามารถ ประโยชน์ของไมโครกริด
3. ความรู้ในการใช้โปรแกรม LabVIEW ในการทำการทดลอง จำลองต่างๆ
4. ได้นำความรู้เกี่ยวกับการแปลงแรงดันจากสามเฟสเป็นแรงดันในแกน dq จากการเรียนรู้มาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความรู้ในการใช้ Embedded System Implementation ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW เพื่อตรวจสอบการทำงาน
ด้านสั่งและจริยธรรม ดังนี้
 1. ผิดแผนการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน
 2. เกิดความรับผิดชอบต่อหน้าที่และตรงต่อเวลาในงานที่ได้รับมอบหมาย

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิดสเตทสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400 โวลต์ ในงานปฏิญานิพนธ์นี้ สามารถแบ่งเป็นแต่ละบทได้ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขต และข้อกำหนดของโครงการ แผนการดำเนินโครงการ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เชื่อมระหว่างระบบกริดและระบบไมโครกริด รวมไปถึงทฤษฎีที่ใช้ในการแปลงพารามิเตอร์มาใช้ในโปรแกรมที่เราได้ออกแบบ เช่น Clarke Transformation , Park Transformation และ phase-locked loop

บทที่ 3 การจำลองระบบการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กล่าวถึง ส่วนประกอบต่างๆของวงจรการสร้างแรงดันสามเฟส และการออกแบบวงจรเพื่อนำไฟสามเฟสมาใช้ในการทดลอง

บทที่ 4 ผลการทดลอง กล่าวถึง ผลการจำลองสัญญาณอินพุตด้วยโปรแกรม LabVIEW และการนำอินพุตจากระบบไฟฟ้าจริงมาใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบ จัดเก็บผลการทดลอง และนำมาวิเคราะห์ เพื่อแก้ปัญหาต่อไป

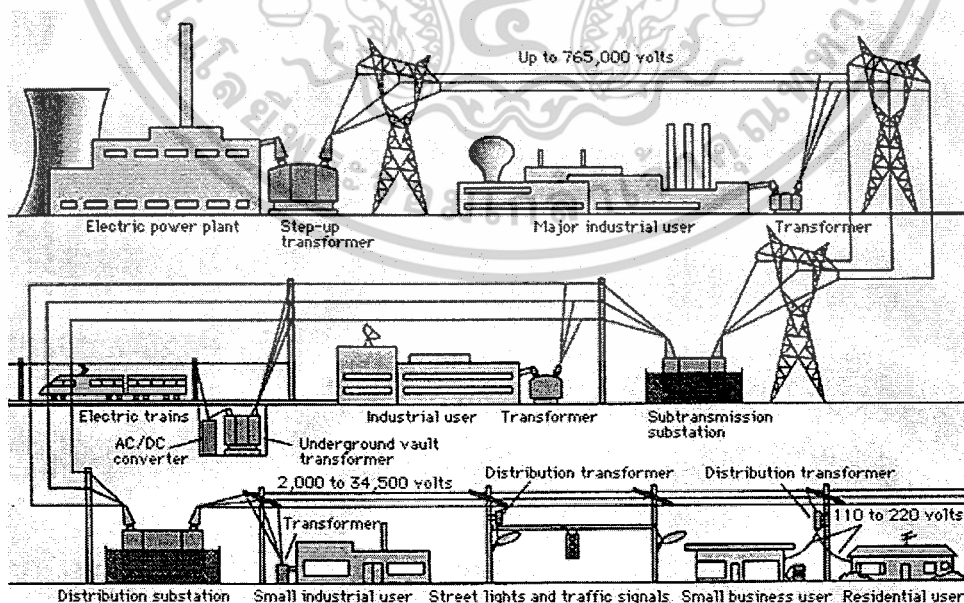
บทที่ 5 การสรุปผลการทดลองในกรณีต่างๆที่ได้ทำการทดลองไป และทำการวิจารณ์ผลการทดลอง เพื่อนำไปปรับปรุงต่อไปในอนาคต

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของกริดและไมโครกริด

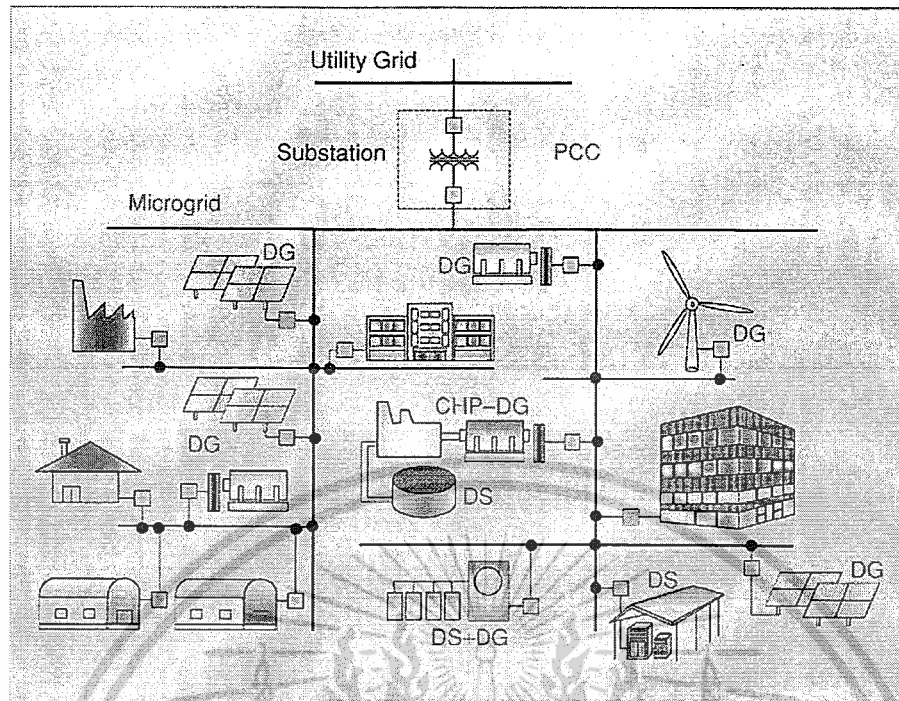
กริด คือ ระบบของไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยโรงจักรกำลังต่างๆ เช่น โรงจักรพลังงานความร้อน โรงจักรพลังงานน้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งพลังงานผ่านทางสายส่งไปสู่ผู้ใช้งาน เช่น โรงงาน บ้านเรือนต่างๆ แต่เนื่องด้วยโรงจักรกำลังในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นต้องใช้พื้นที่ในการสร้างมาก และต้องใกล้กับแหล่งพลังงานเพื่อประหยัดค่าขนส่งเชื้อเพลิง จึงทำให้โรงจักรมีความห่างไกลจากแหล่งผู้ใช้พลังงาน ซึ่งต้องใช้สายส่งที่มีความยาวมาก จึงส่งผลให้มีความสูญเสียเกิดขึ้นในระบบมากขึ้น และเนื่องด้วยปัญหาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและปัญหาทางด้านมลพิษส่งผลกระทบต่อโลกในปัจจุบันมากขึ้น ทำให้การขยายโรงจักรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภคในประเทศ นั้นทำได้ยากขึ้น จึงใช้ไมโครกริดเข้ามาช่วยแก้ปัญหาในเรื่องต่างๆนี้

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



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของไมโครกริด

2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เชื่อมระหว่างกริดและไมโครกริด

เนื่องด้วยไมโครกริดนั้นต้องมีการเชื่อมต่อระหว่างระบบสองระบบ คือ กริดและไมโครกริด จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตัดต่อวงจรเข้ามาเชื่อมระหว่างระบบสองระบบนี้ เนื่องจากความผิดปกติทางไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นเมื่อไรก็ได้ เช่น มีแรงดันเกินเกิดขึ้นในฝั่งของกริด ถ้าที่จุดเชื่อมต่อนี้ไม่มีอุปกรณ์ตัดต่อจะทำให้ผลของแรงดันเกินในฝั่งของกริด ส่งผลเข้ามาในไมโครกริดได้ซึ่งอุปกรณ์ตัดต่อที่ใช้ก็คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์

2.2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอากาศ

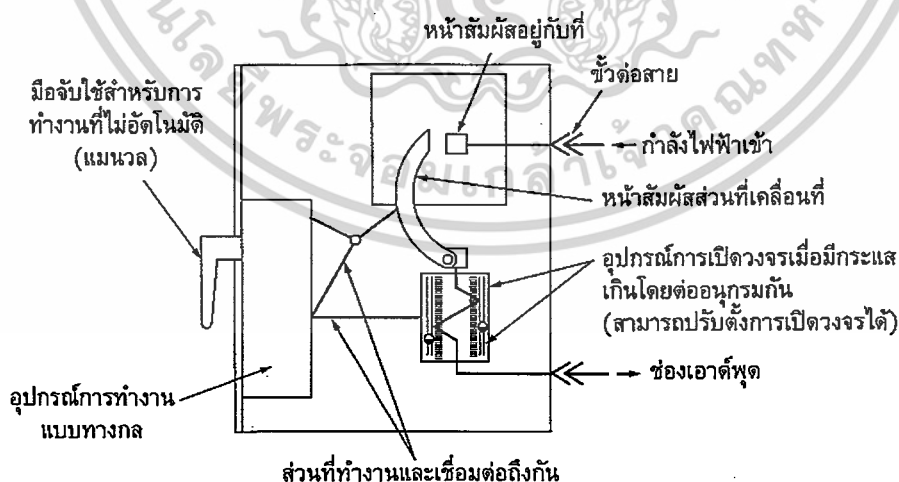
เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้โดยส่วนมากแล้วจะใช้ในระบบเมน โดยจะเป็นตัวป้องกันสำหรับสายเมนทั้งหมด ซึ่งโครงสร้างจะประกอบไปด้วย ชุดอุปกรณ์การทำงานแบบทางกล หน้าสัมผัส อาร์กอินเตอร์ริพเตอร์ และอุปกรณ์การเปิดวงจรเนื่องจากกระแสเกินที่บรรจุอยู่ภายใน โดยต่ออนุกรมร่วมกับโหลดที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีอัตราการทนกระแสและการทนกระแสลัดวงจรได้สูง ส่วนอุปกรณ์เปิดวงจรที่บรรจุอยู่ภายในหรืออุปกรณ์ตัดกระแสที่สร้างขึ้นมานั้น จะออกแบบมาเพื่อให้ตัดไฟออกได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลักษณะการทำงานที่ต้องการ เช่น อาจจะให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ทำงานแบบหน่วงเวลานานหน่วงเวลาสั้น และเปิดวงจรทันทีทันใดก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับระบบที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เข้าไปเกี่ยวข้อง โครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอากาศ โดยส่วนมากแล้ว ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่ทำงานแบบทางกลจะมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ส่วนมือจับจะทำหน้าที่เป็นตัวมือจับสำหรับให้คนทำการเปิด - ปิดวงจร ซึ่งเป็นการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัส และในการปิด - เปิดวงจรนี้อาจจะใช้ชุดของสปริงเข้ามาช่วยดึงหน้าสัมผัส ในขณะที่จะเข้าหรือออกจากกันเป็นไปอย่างรวดเร็ว ชุดทางกลจะประกอบด้วยขดลวดแม่เหล็ก (magnetic coil) พร้อมทั้งแกนลูกสูบ (plunger) ซึ่งจะเคลื่อนตัวเมื่อขดลวดได้รับพลังงานหรืออาจจะเป็นชนิดโซลีนอยด์ก็ได้ ซึ่งจะทำงานเพื่อให้หน้าสัมผัสปิด - เปิดออกจากกัน โดยในการปิด - เปิดหน้าสัมผัสนั้นจะต้องทำอย่างรวดเร็ว และไม่ว่าชุดทางกลจะเป็นชนิดโซลีนอยด์หรือแบบใด ต่างก็ต้องอาศัยหลักการเก็บพลังงาน (stored energy) เหมือนกัน โดยจะสะสมพลังงานไว้ในรูปของแรงสปริง ซึ่งถ้าจะปิด - เปิดหน้าสัมผัส ก็จะนำพลังงานที่สะสมไว้นี้เป็นแรงกระทำให้หน้าสัมผัสปิด - เปิด

ส่วนอุปกรณ์ในการเปิดวงจรที่ต่ออนุกรมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์นี้ ส่วนมากจะรับผลตอบสนองทางกลหลังจากที่ได้รับการกระตุ้นจากพลังงานไฟฟ้า โดยเราสามารถที่จะปรับตั้งการทำงานนี้ได้ ซึ่งก็คือ การปรับตำแหน่งการเคลื่อนตัวของหน่วยที่เปิดวงจรนั่นเอง

นอกจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้แล้ว ในปัจจุบันยังมีชนิดที่สามารถถอดเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็ว ที่เรียกว่า ดรอเอาต์ (draw out) ซึ่งในการถอดเปลี่ยนจะสามารถทำได้ง่าย โดยสามารถนำเอาเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกจากโครงตู้หรือที่ยึด แล้วนำตัวใหม่ใส่เข้าตำแหน่งเดิมของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ถอดออกไปได้อย่างรวดเร็ว การเชื่อมต่อของขั้วต่อต่างๆของเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทนี้จะยึดติดแน่นและสามารถกระทำได้อย่างสะดวก



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอากาศ

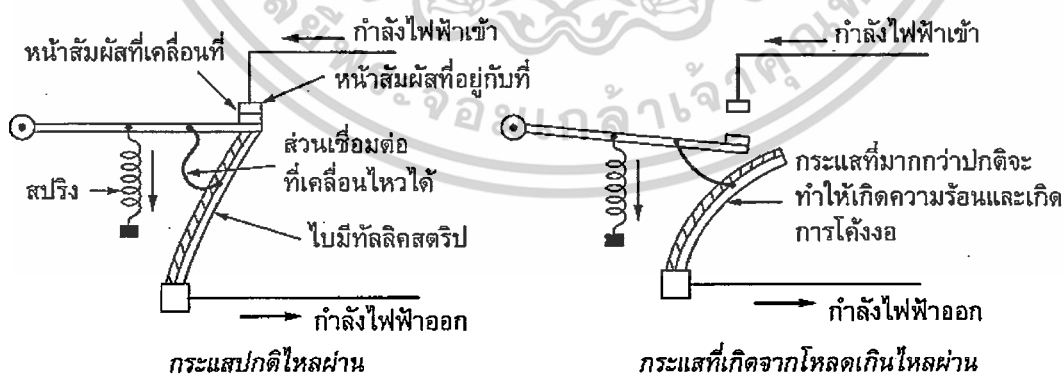
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ โดยทั่วไปจะมีพิกัดที่ใช้งานกับกระแสที่ไหลอย่างต่อเนื่องได้ตั้งแต่ 1,000 A จนถึง 6,300 A และจะมีพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจรตั้งแต่ 40 kA จนถึง 150 kA (asymmetrical)

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโมลเนส (MCCB)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะพบได้บ่อยในระบบการป้องกันของสายป้อนทุติยภูมิ หรือ วงจรย่อย หรือระบบเมนใหญ่ที่มีขนาดกระแสไม่สูงมากเกินไป นอกจากนี้ค่าพิกัดการทนต่อกระแสลัดวงจรในขณะที่เปิดวงจรออกของ MCCB ก็จะมีค่าไม่สูงมากนัก กลไกทางกลของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะบรรจุอยู่ในกล่องที่ออกแบบตามการใช้งาน ซึ่งในการปรับตั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ส่วนมากจะปรับตั้งมาจากผู้ผลิต โดยส่วนที่สำคัญก็คืออุปกรณ์ชุดเปิดวงจร (trip elements) ชุดทำงานทางกล (operating mechanism) และชุดดับอาร์ก (arc extinguishing) โดยชิ้นส่วนสำคัญทั้ง 3 จะถูกหล่อบรรจุอยู่ในกล่องชิ้นเดียวกัน และชิ้นส่วนที่ใช้เป็นตัวเปิดวงจรนี้ก็จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะประจำตัวของชิ้นส่วนนั้นๆ โดยจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่ไปทำให้ชุดทำงานทางกลเปิดวงจรออกเมื่อเกิดการลัดวงจรหรือเกิดโหลดเกินขึ้น ในกรณีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดหลายขั้ว เมื่อขั้วใดขั้วหนึ่งเปิดวงจร ก็จะทำให้ทุกขั้วเปิดวงจรตามไปด้วย โดยอุปกรณ์ที่ใช้เปิดวงจรจะมีอยู่ 3 แบบ คือ

1) แบบอาศัยความร้อน (Thermal Trip Action) โดยภายในเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งจะเกิดการขยายตัวเมื่อโลหะทั้งสองได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เรียกว่า ไบมีทัลลิสตริป (bi-metallic strip) ในการทำงานเมื่อมีกระแสปกติไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเกิดความร้อนขึ้นแต่ก็ไม่มากพอที่จะทำให้ไบมีทัลลิสตริปแยกออกจากกันได้ แต่เมื่อมีกระแสเกินไหลผ่าน (เกิดจากกรณีของโหลดเกิน) จะทำให้เกิดความร้อนสูงมากกว่าปกติ ความร้อนนี้จะทำให้ไบมีทัลลิสตริปเกิดการขยายตัวออกจากกัน ซึ่งจะทำให้กลไกภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการตัดวงจรออกจากกัน ที่เรียกว่า การทริป (trip)



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอาศัยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แบบอาศัยอำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Trip Action) เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะอาศัยหลักการของการเกิดอำนาจแม่เหล็กในขดลวดที่พัน จากหลักการที่ว่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวนำนั้น จากหลักดังกล่าว ถ้านำมาสร้างเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยออกแบบให้เมื่อมีกระแสปกติไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะทำให้อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นไม่มากพอที่จะทำให้กลไกเปิดวงจรได้ แต่จะออกแบบให้ในกรณีเกิดการลัดวงจรขึ้น กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์จะสามารถทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กพอที่จะทำให้กลไกการเปิดวงจรทำงานได้

3) แบบอาศัยความร้อนและอำนาจแม่เหล็ก (Thermal -magnetic Trip Action) ส่วนมากเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่วไปจะมีการทำงานเป็นแบบนี้ โดยจะเป็นการรวมการทำงานในการเปิดวงจรระหว่างชนิดอาศัยความร้อนและอำนาจแม่เหล็กเข้าด้วยกัน ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้สามารถป้องกันระบบได้ทั้งกรณีโหลดเกิดและลัดวงจร

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ได้กล่าวถึงข้างต้นนั้นจะมีฟังก์ชันของกระแส แรงเคลื่อนไฟฟ้า และขนาดการทนต่อกระแสลัดวงจรเป็นแบบสามารถและไม่สมมาตร โดยพิจารณาที่ค่า RMS และส่วนมากจะมีฟังก์ชันทำงานตั้งแต่ 15 ถึง 2,500 A ซึ่งสามารถทนต่อขนาดกระแสลัดวงจรได้ตั้งแต่ 18 kA จนถึง 65,000 A ที่ 400 V

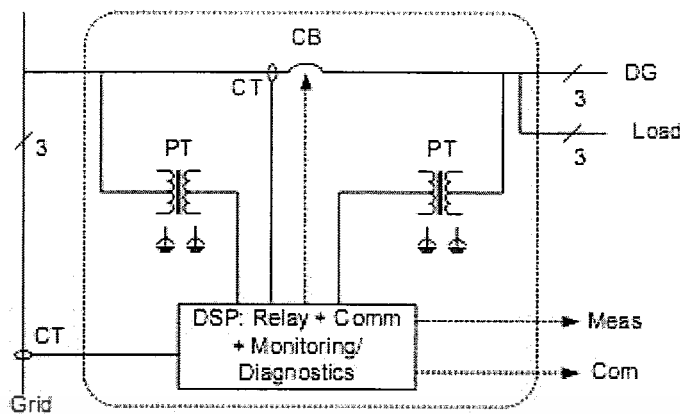


รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอาศัยอำนาจแม่เหล็ก



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดอาศัยความร้อนและอำนาจแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมระหว่างกริดและไมโครกริด

ซึ่งค่าที่ทำการตรวจสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานในไมโครกริดนี้จะประกอบด้วยชุดของรีเลย์ 5 ชุดที่ทำการตรวจสอบค่าคือ

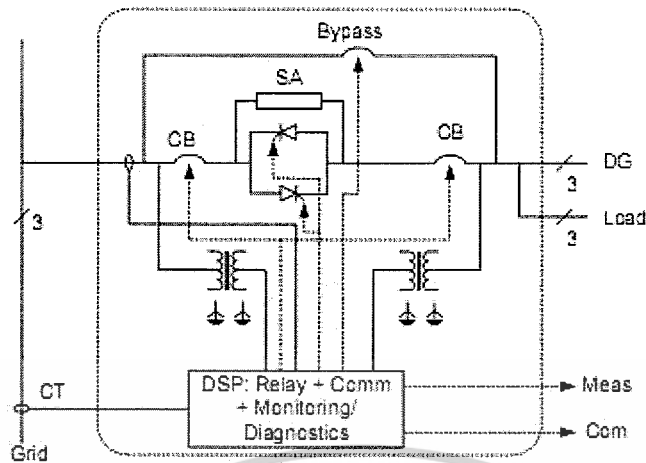
1. ตรวจสอบแรงดันเกิน แรงดันตก
2. ตรวจสอบกระแสเกิน
3. ตรวจสอบค่าความถี่
4. ตรวจสอบการไหลกลับของกำลังไฟฟ้า
5. ตรวจสอบการชิงโครนัส

เมื่อมีค่าต่าง ๆ เหล่านี้เกิดขึ้นจะรีเลย์ก็จะตรวจสอบค่าแล้วส่งสัญญาณเข้าไปที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรออกได้

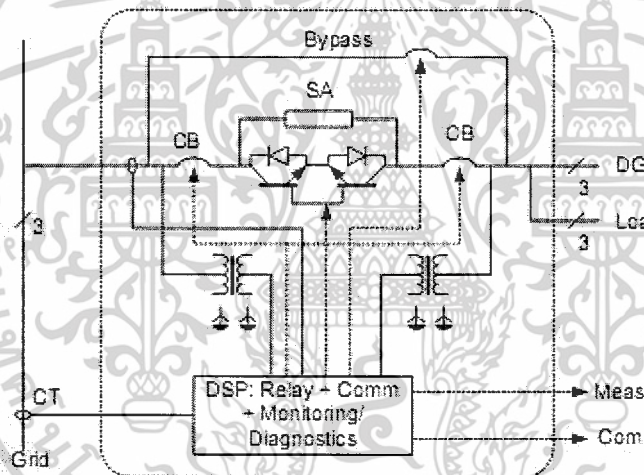
2.2.2 โขลิตเสตทเซอร์กิตเบรกเกอร์

เนื่องจากการตอบสนองต่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้าของเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นมีความเร็วต่ำอยู่ในช่วง 20ms-100ms ซึ่งอาจทำให้ในบางกรณีที่แม้จะเคลียร์ค่าความผิดปกติออกไปจากระบบแล้ว แต่ความผิดปกตินั้นก็ส่งผลต่อระบบไปแล้ว จึงมีการใช้โซลิตเสตทเซอร์กิตเบรกเกอร์แทน

โซลิตเสตทเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นคืออุปกรณ์ตัดต่อวงจรที่ใช้สวิตช์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น SCR หรือ IGBT เป็นต้น ซึ่งการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะส่งผลให้ความเร็วในการตัดวงจรเพิ่มมากขึ้น โดยSCR จะสามารถตอบสนองได้ที่ ครึ่งไมโครวินาที(8ms)ถึงหนึ่งไมโครวินาที(17ms) ในระบบไฟฟ้าความถี่ 60Hz ส่วน IGBT นั้นสามารถตอบสนองได้ที่ 100 μ s

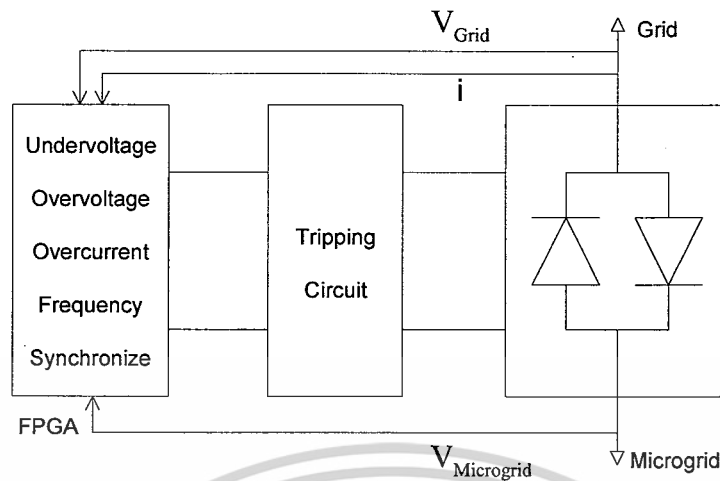


รูปที่ 2.8 แสดงการใช้งานSCR เป็นเซอริกิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริด



รูปที่ 2.9 แสดงการใช้งานIGBT เป็นเซอริกิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริด

ซึ่งในการใช้ซิลิคอนเซอริกิตเบรกเกอร์จำเป็นจะต้องมีชุดตรวจจับเช่นเดียวกับเซอริกิตเบรกเกอร์ปกติ แต่การใช้งานแบบซิลิคอนนี้สามารถใช้อุปกรณ์เช่น DSP หรือ FPGA เป็นตัวประมวลผลซึ่งการทำงานก็จะคล้ายกับไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่ง DSP หรือ FPGA นั้นก็จะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อทำให้เกิดการประมวลผลจากค่าที่จะตรวจสอบ



รูปที่ 2.10 แสดงแบบของการทำงานของการควบคุมการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง

2.3 ทฤษฎีการแปลง

ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของ DSP หรือ FPGA นั้นจะใช้หลักการของการแปลงค่าแรงดันสามเฟสและกระแสไปสู่ระบบสองแกนที่มีแกนอ้างอิงซึ่งโคโรนัส โดยใช้หลักการของ Clarke Transformation และ Park Transformation

2.3.1. Clarke Transformation

Clarke transformation เป็นการแปลงค่าแรงดันชั่วขณะสามเฟสคือ เฟส a b c ไปเป็นแรงดันชั่วขณะบนแกน $\alpha\beta 0$ ซึ่งมีสมการแปลงและการอินเวอร์สเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 & \frac{2}{\sqrt{3}} & -\frac{2}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

และการอินเวอร์สคือ

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไลน์ชั่วขณะก็มีสมการการแปลงเช่นเดียวกัน คือ

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

และการอินเวอร์สคือ

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

ข้อดีของการใช้การแปลงแบบนี้คือสามารถแยก zero-sequence ออกจากส่วนประกอบเฟส abc แกน α และ β นั้นไม่มีส่วนของ zero-sequence ซึ่งกระแส zero-sequence นั้นจะไม่ปรากฏในระบบ สามเฟส สามสาย ดังนั้น i_0 จึงสามารถตัดออกจากสมการดังกล่าวได้ ถ้าเป็นสามเฟสสมดุล ในระบบสี่สาย จะไม่มีแรงดัน zero-sequence ปรากฏ ดังนั้น v_0 จึงสามารถตัดออกได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการปรากฏของส่วนประกอบของ zero-sequence การแปลงจำเป็นต้องคำนึงถึงสมการในรูปเต็ม

ถ้า v_0 สามารถตัดออกจากเมตริกการแปลงได้ Clarke transformation และการอินเวอร์สจะเป็นดังนี้

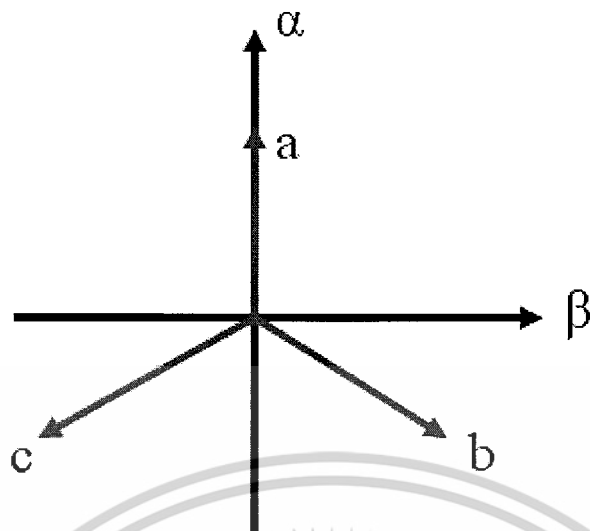
$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

และ

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านสมการการแปลงของกระแสก็เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.11 แสดงการแปลง abc ไปเป็น $\alpha\beta$

2.3.2 Park Transformation

เป็นการแปลงต่อจาก Clarke transformation ซึ่งเป็นการแปลงสามเฟสเป็นสองเฟส แต่ทว่าการแปลงแกนอ้างอิงซิงโครนัสจะใช้แกนอ้างอิง d-q ที่หมุนที่ความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส ซึ่งรู้จักในชื่อ Park transformation ซึ่ง Park transformation นั้นสามารถได้ค่าแกน d-q ได้จากค่าแรงดันชั่วครว abc ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

เช่นเดียวกันกับการแปลงของกระแส แต่โดยทั่วไปจะเป็นการรวมกันของทั้งสองการแปลงคือ Clarke และ Park transformation เริ่มแรก Clarke transformation ใช้เพื่อทำการแปลงส่วนประกอบของแกน $\alpha\beta$ เป็นแกนอ้างอิงหยุดนิ่ง จากสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

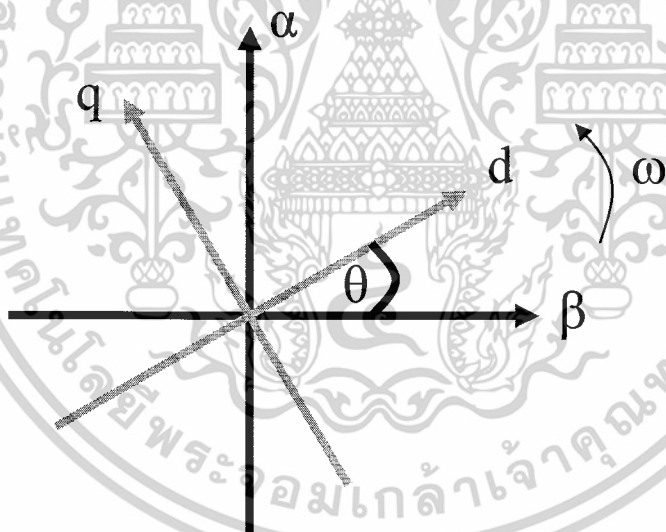
และถ้าเป็น Vline จะมีสมการเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

ซึ่งวิธีการนี้ ค่ากระแสและแรงดัน zero-sequence สามารถละทิ้งได้ ต่อจากนั้นใช้ Park transformation เพื่อใช้ในการคำนวณค่า dq บนแกนอ้างอิงซิงโครนัสจากค่า $\alpha\beta$ จากสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

ค่ามุม θ ใน Park transformation คือค่าตำแหน่งซิงโครนัสเชิงมุม มันสามารถสร้างได้เท่ากับค่าอินทิกรัลเวลาของค่าความถี่เชิงมุมพื้นฐาน ω ซึ่งกำหนดได้จากวงจร phase-locked loop ซึ่งค่า $\theta = \omega t$



รูปที่ 2.12 แสดงการแปลงจากแกนอ้างอิงหยุดนิ่ง เป็นแกนอ้างอิงซิงโครนัส

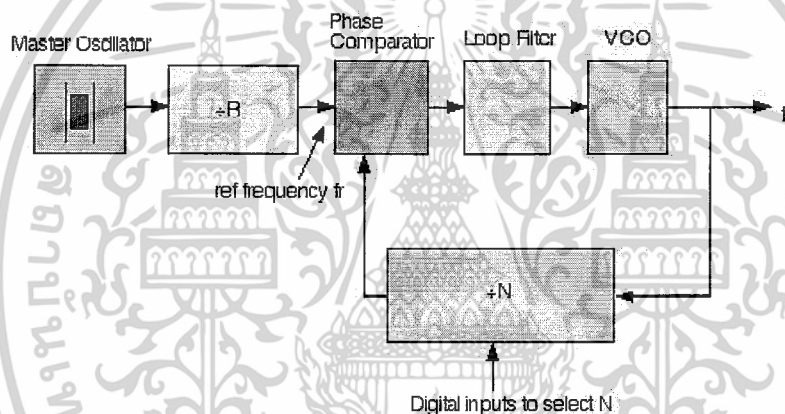
2.3.3 Phase-locked loop

เนื่องจากการใช้ Park transformation นั้นจำเป็นต้องมีการป้อนค่ามุมเข้าไป และเนื่องจากต้องการแปลงค่าแรงดันและกระแสไปอยู่ที่ระบบสองแกนที่แกนอ้างอิงซิงโครนัส ดังนั้นค่ามุมที่ต้องทำการป้อนเข้าไปจึงต้องซิงโครนัสกับระบบไฟฟ้าเสมอ ซึ่งนั่นก็คือขนาดและความถี่ของสัญญาณค่ามุมจะเท่ากับของสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

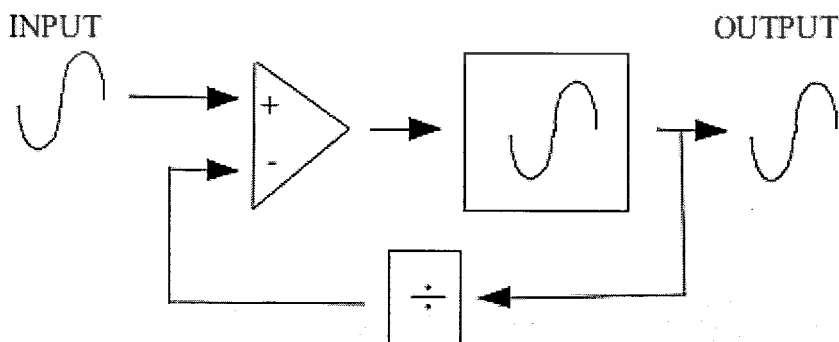
หลักการของ phase-locked loop

Phase-locked loop (PLL) เป็นระบบควบคุมซึ่งสร้างสัญญาณที่กำหนดความถี่เกี่ยวข้องกับเฟสของสัญญาณอ้างอิง วงจร phase-locked loop ตอบสนองทั้งความถี่และเฟสของสัญญาณอินพุตซึ่งปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของตัวออสซิลเลเตอร์อย่างอัตโนมัติ จนกระทั่งค่านั้นเท่ากับกับค่าอ้างอิงของทั้งเฟสและความถี่ ซึ่งเป็นวงจรควบคุมที่มีการป้อนกลับแบบป้อนกลับลบ โดยทั่วไป PLL จะเปรียบเทียบค่าความถี่ของสองสัญญาณและสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดสัดส่วนความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต สัญญาณค่าผิดพลาดจะใช้ในการขับ ออสซิลเลเตอร์ควบคุมแรงดันซึ่งสร้างความถี่เอาท์พุต ความถี่เอาท์พุตนั้นก็จะถูกป้อนผ่านตัวหารความถี่กลับไปสู่อินพุตของระบบ สร้างเป็นลูปการป้อนกลับแบบลบ ถ้าความถี่เอาท์พุตเปลี่ยนแปลงสัญญาณค่าผิดพลาดจะเพิ่มขึ้น ขับความถี่ในทิศทางตรงกันข้ามดังนั้นจะไปลดค่าความผิดพลาด ดังนั้นเอาท์พุตจะล็อกค่าความถี่การอินพุต ซึ่งอินพุตนี้ก็คือน่าอ้างอิงซึ่งมาจากตัวคริสตัลอสซิลเลเตอร์ ซึ่งมีความเสถียรมากทางความถี่



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบต่างๆของวงจร Phase-locked loop

ซึ่งกลไกการทำงานทำได้ทั้งแบบที่เป็นวงจรรอนาล็อกและแบบดิจิทัลซึ่งทั้งสองแบบก็มีโครงสร้างพื้นฐานดังนี้



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของกลไกการทำงานทั้งแบบที่เป็นวงจรรอนาล็อกและดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทั้งออนไลน์และดิจิทัลมีส่วนร่วมประกอบพื้นฐานดังนี้

1. ชุดตรวจจับเฟส
2. ออสซิลเลเตอร์
3. ทางเดินป้อนกลับ (มักประกอบด้วยตัวหารความถี่)

เมื่อแปลงค่าแรงดันและกระแสมาอยู่ในระบบสองแกนที่แกนอ้างอิงซิงโครนัสแล้วค่าบนแกน dq จะเป็นค่าคงที่ทำให้สามารถนำค่านี้ไปประมวลผลต่อไปได้



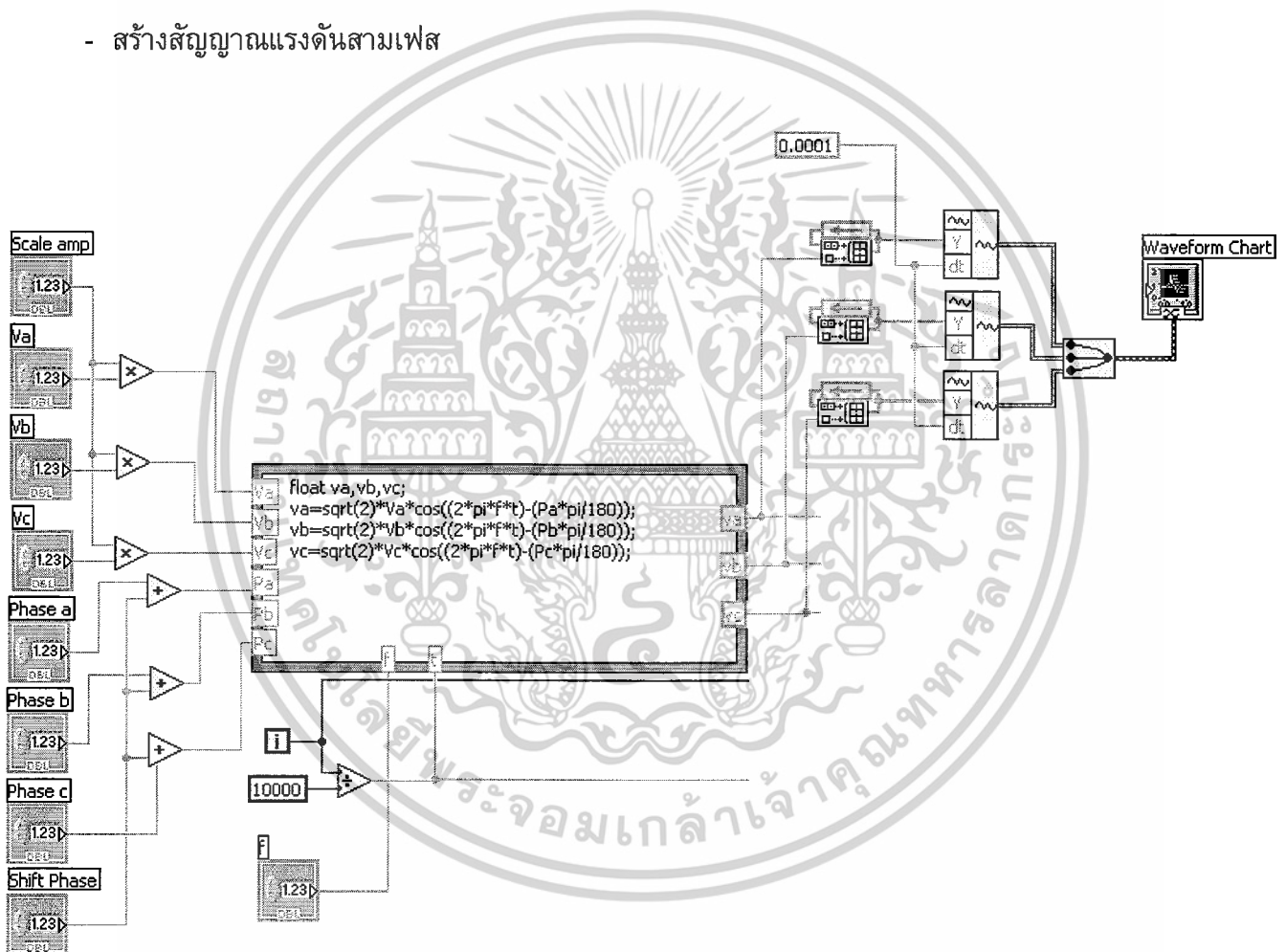
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรการทดลอง

3.1 การจำลองการสร้างแรงดันสามเฟสในโปรแกรม LabVIEW

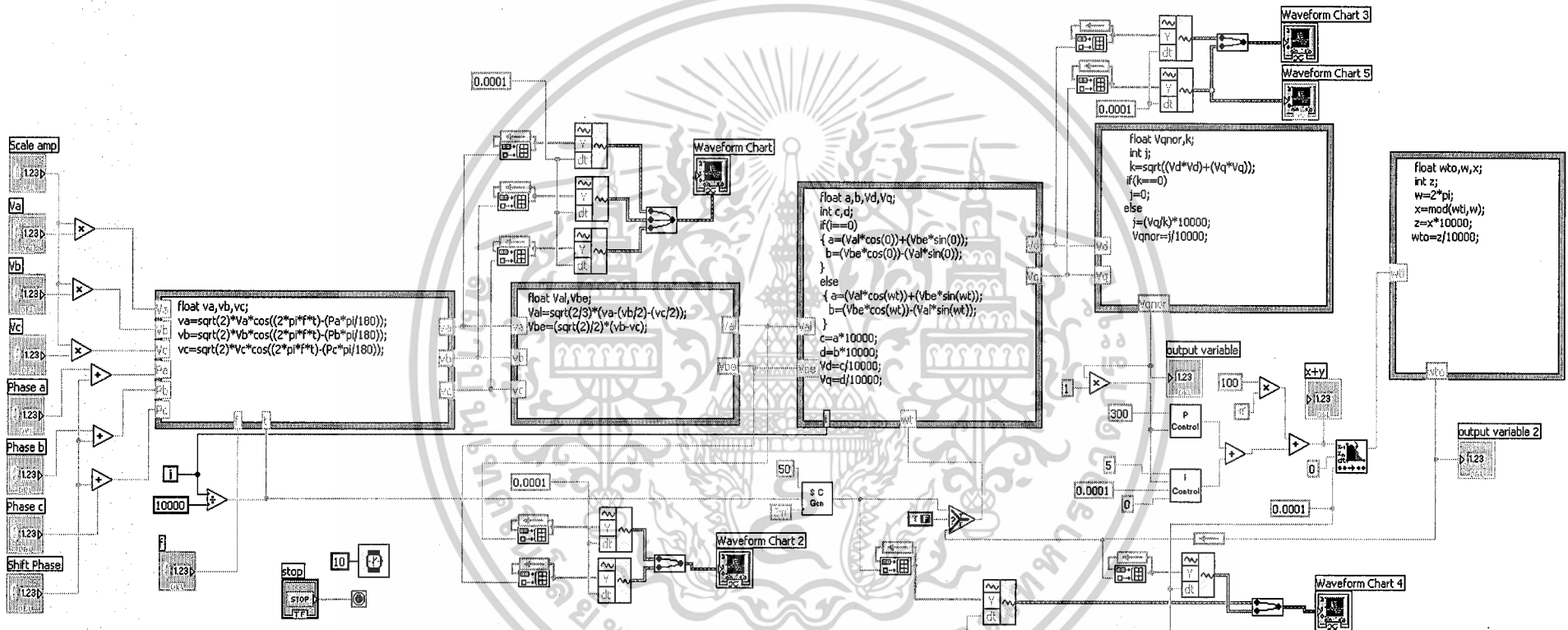
การทดลองเป็นการสร้างวงจรในโปรแกรม LabVIEW เพื่อศึกษาค่าที่เกิดจากการแปลงแกน โดยการแปลงแกนนั้นจะใช้ทฤษฎี Clarke transformation และ Park transformation โดย Park transformation นั้นมีการป้อนค่ามุมทั้งแบบป้อนค่าอ้างอิงและใช้ phase-locked loop ซึ่งเป็นวงจรควบคุมในการป้อนค่ามุมเข้าไปในสมการการแปลงของ Park transformation ซึ่งการออกแบบการทดลองมีดังนี้

- สร้างสัญญาณแรงดันสามเฟส

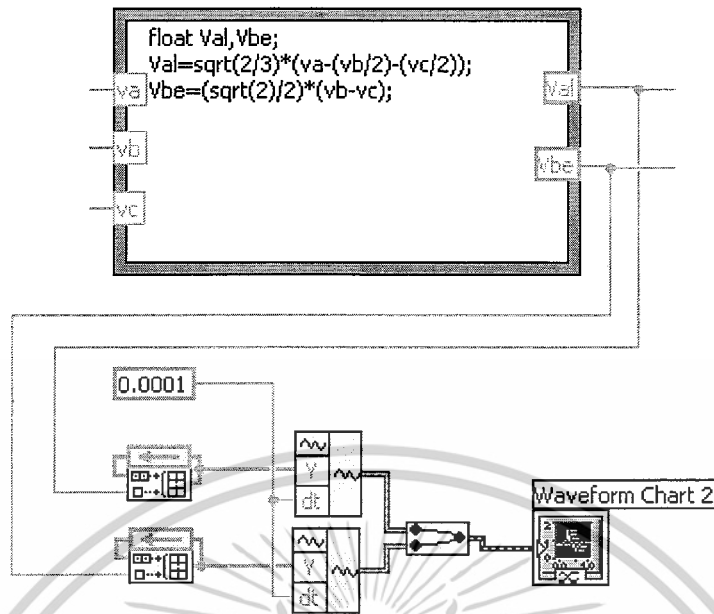


รูปที่ 3.1 แสดงวงจรสร้างสัญญาณแรงดันสามเฟสที่สร้างด้วยโปรแกรม LabVIEW

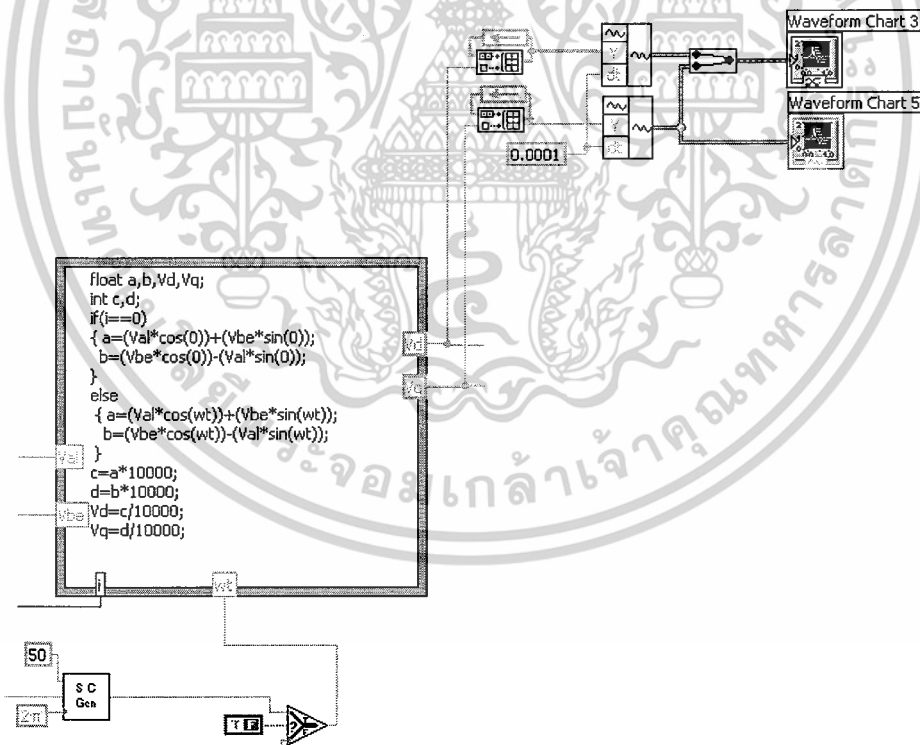
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกโปรแกรมการแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันในแกน $\alpha\beta$



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกโปรแกรมการแปลงแรงดันในแกน $\alpha\beta$ เป็นแรงดันในแกน dq

โดยป้อนค่า ωt จากการสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ซิงโครนัสกับความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{R3}{R4} = \frac{R2}{R1} \quad (3.2)$$

จากการออกแบบจะได้

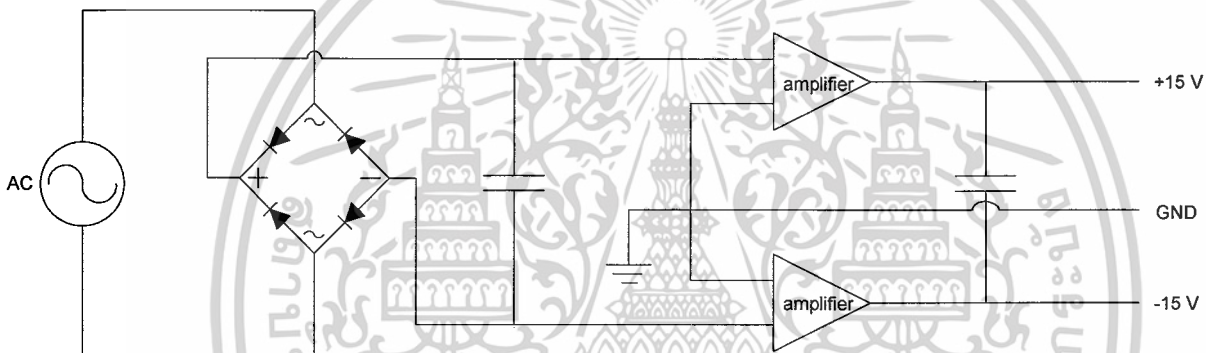
$$R1 = 27 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = 27 \text{ k}\Omega$$

$$R4 = 10 \text{ k}\Omega$$

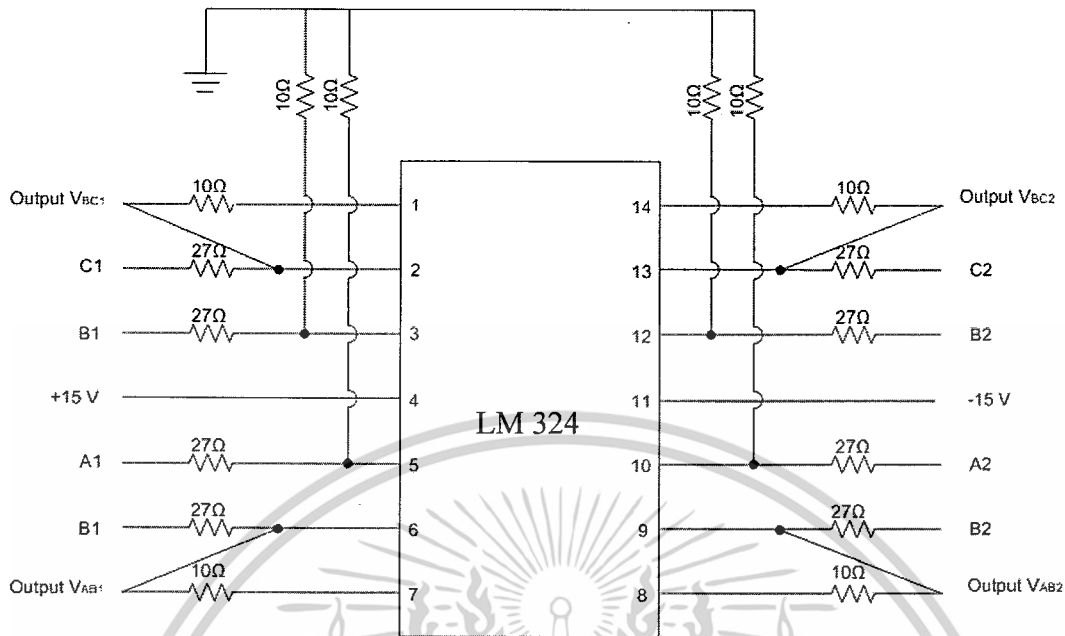
แต่เนื่องจาก op-amp ต้องใช้ไฟ DC Supply ซึ่งต้องป้อนแรงดัน +15V และ -15V จึงต้องสร้างวงจร regulate ซึ่งเป็นวงจรปรับระดับแรงดันจากไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง ใช้ในการสร้างไฟ DC Supply ให้กับ op-amp โดยมีวงจรเป็นดังรูป



รูปที่ 3.7 แสดงวงจร regulate ที่ทำหน้าที่แปลงไฟ AC เป็น DC เพื่อเป็น Supply ให้กับ op-amp

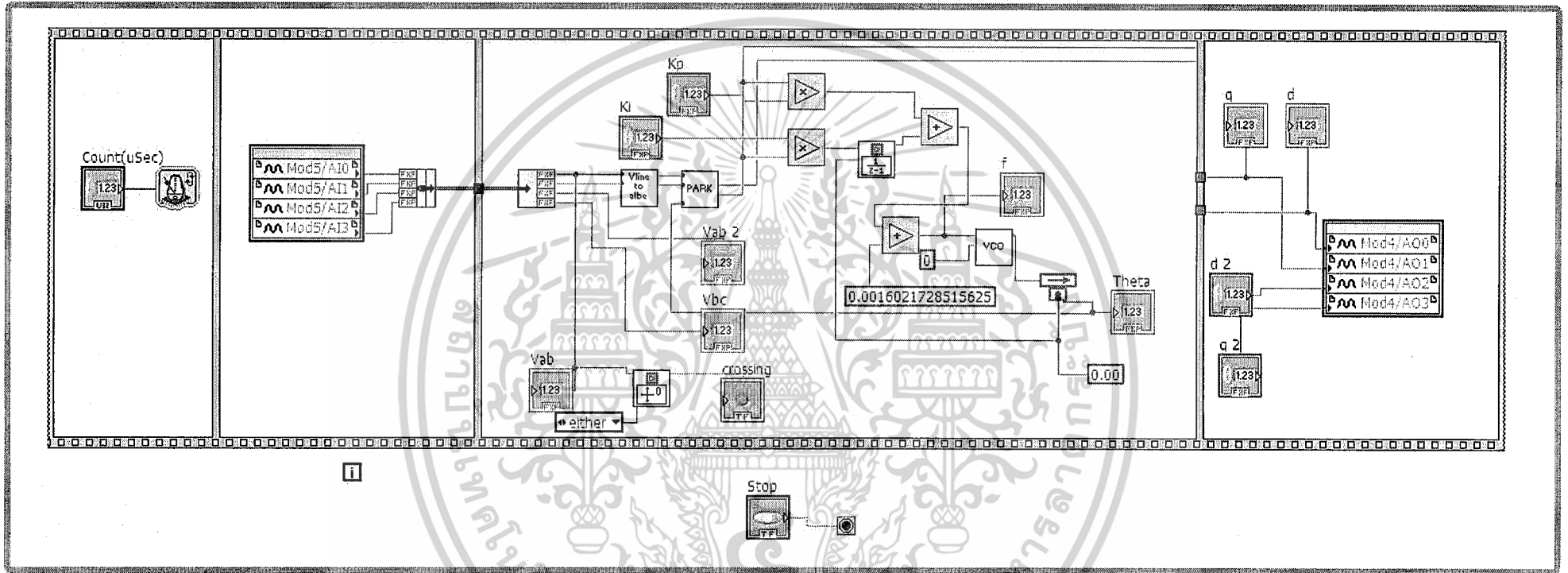
จากรูป วงจร regulate มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- บิตเรกติไฟเออร์ เป็นตัวเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง
- ตัวเก็บประจุ กรองสัญญาณรบกวน และความถี่ฮาร์โมนิก
- IC7815 เป็นตัวเรกกูเลตไฟ บวก 15 V
- IC7915 เป็นตัวเรกกูเลตไฟ ลบ 15 V

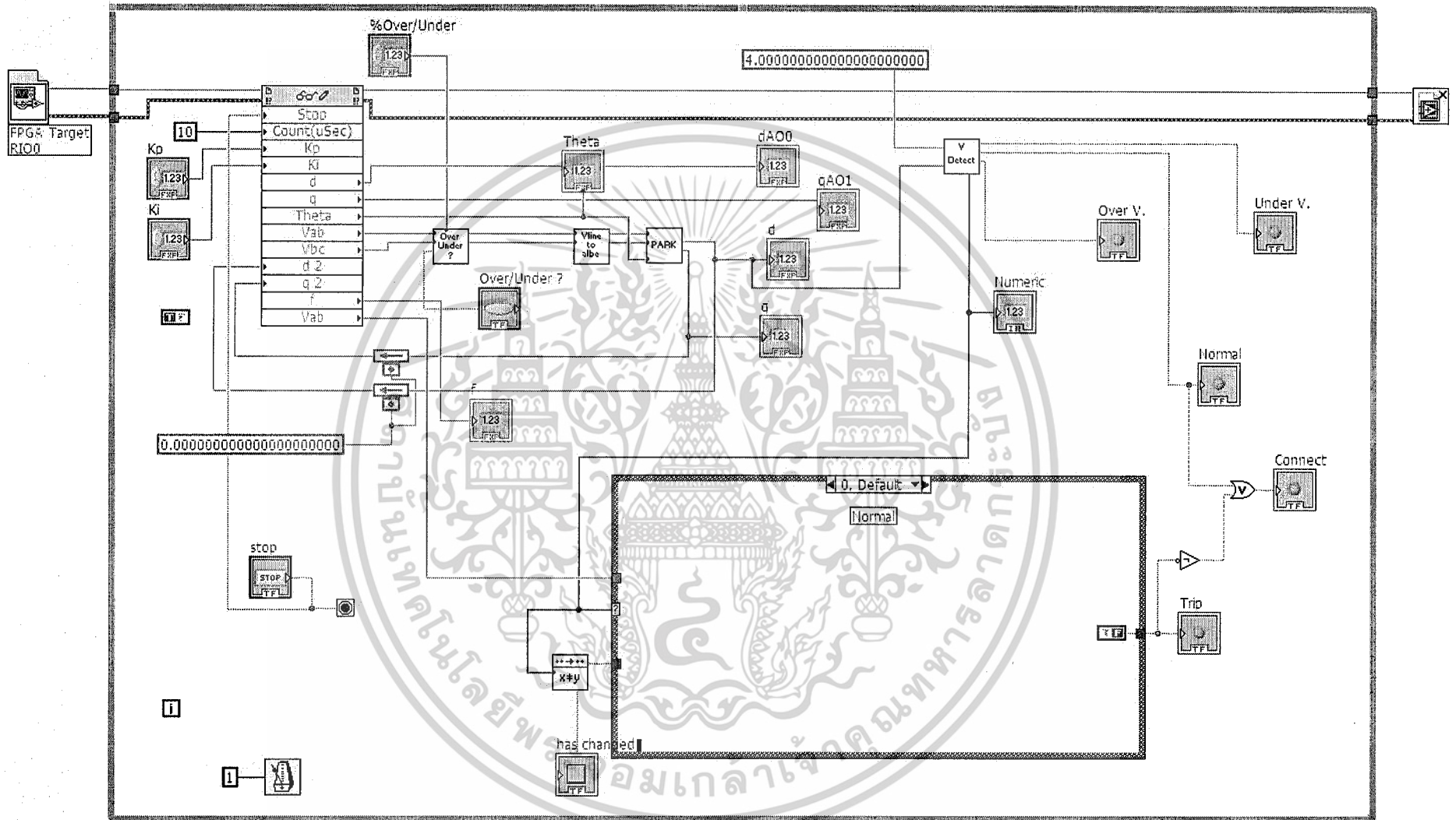


รูปที่ 3.8 แสดงวงจรลดทอนสัญญาณแรงดันไลต์ด้วย op-amp ที่ออกแบบ

ในส่วนของการทดลองโดยใช้อินพุทจากระบบไฟฟ้าจริงนั้น จะต้องทำการปรับข้อมูล การเขียนโปรแกรมให้ทำงานโดยรับข้อมูลจากระบบไฟฟ้าจริงในลักษณะ Real Time โดยนำ ข้อมูลมาประมวลผลในตัวของอุปกรณ์ embedded controller programmed โดยผ่านทางพอร์ต อนาล็อกอินพุท เมื่อรับข้อมูลเข้ามาในอุปกรณ์ embedded controller programmed ก็จะนำข้อมูล มาประมวลผลตามที่เราได้เขียนโปรแกรมไว้ เมื่อประมวลผลเสร็จก็จะส่งคำสั่งไปออกไปที่ พอร์ตอนาล็อกเอาท์พุท เพื่อสั่งให้อุปกรณ์ของเราทำงานตามที่ต้องการ (ในที่นี้คือ เซอร์กิต เบรกเกอร์)



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรที่ใช้ในการทำงานในส่วน FPGA ของโปรแกรม LabVIEW



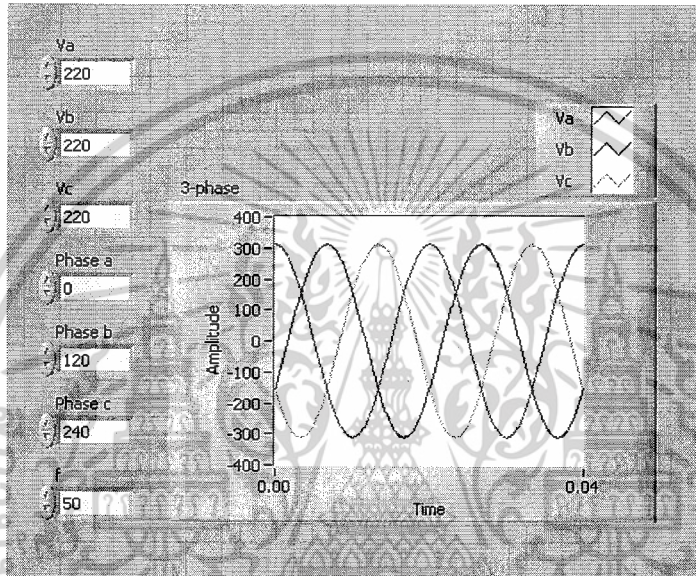
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรที่ใช้ในการทำงานในส่วน Real Time ของโปรแกรม LabVIEW

บทที่ 4

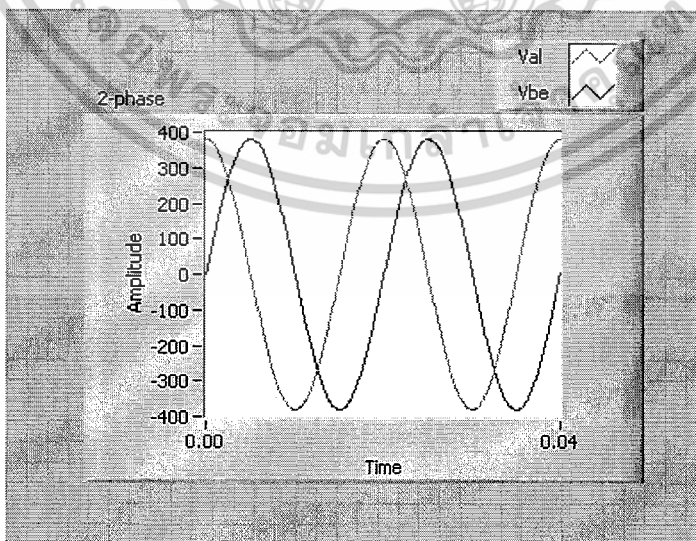
ผลการทดลอง

ในการทดลองจะมี 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการจำลองสัญญาณอินพุตเพื่อป้อนให้กับโปรแกรมที่เขียน และส่วนที่นำอินพุตจากระบบไฟฟ้าจริงมาใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การจำลองสัญญาณอินพุตด้วยโปรแกรม LabVIEW

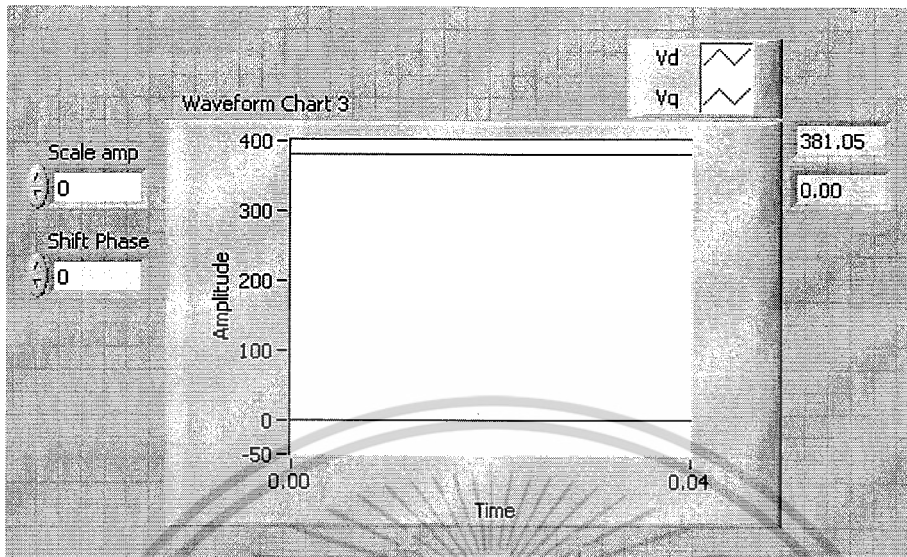


รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณแรงดันสามเฟสที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณแรงดันสามเฟส จากรูปจะพบว่าสัญญาณแรงดันสามเฟสที่สร้างขึ้นนั้นสามารถจำลองได้เสมือนกับสัญญาณไฟสามเฟสจริง

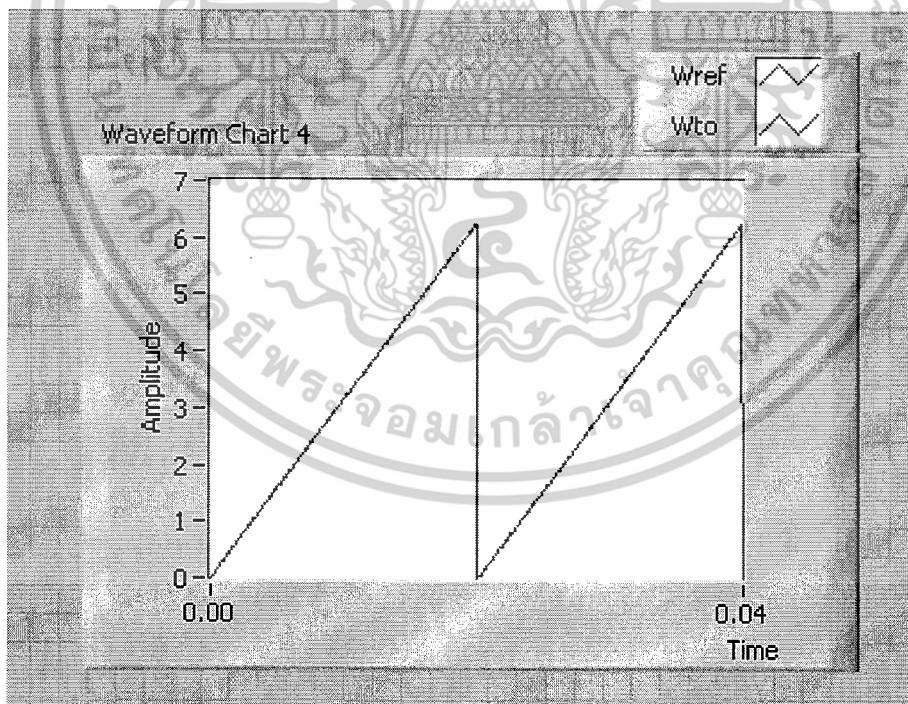


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน $\alpha\beta$ ที่ได้จากบล็อกการแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันในแกน $\alpha\beta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



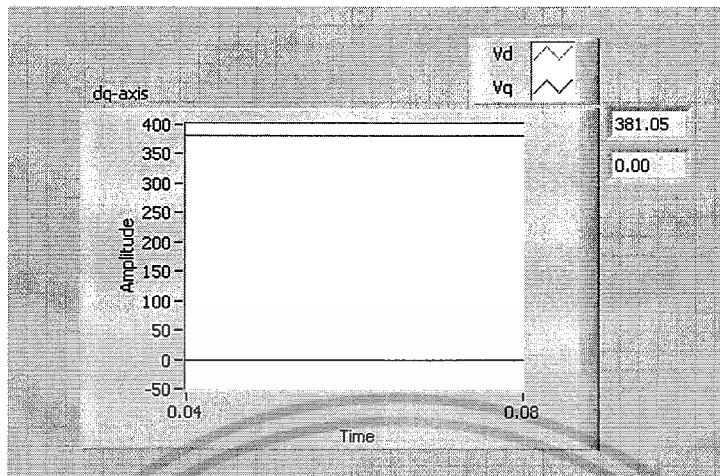
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่ได้จากบล็อกการแปลงแรงดันในแกน $\alpha\beta$ เป็นแรงดันในแกน dq



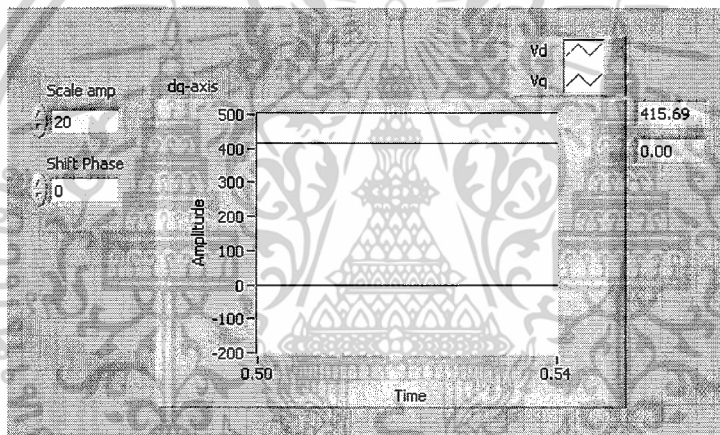
รูปที่ 4.4 แสดงค่า ωt อ้างอิงที่ป้อนให้บล็อกการแปลงแรงดันในแกน $\alpha\beta$ เป็นแรงดันในแกน dq

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

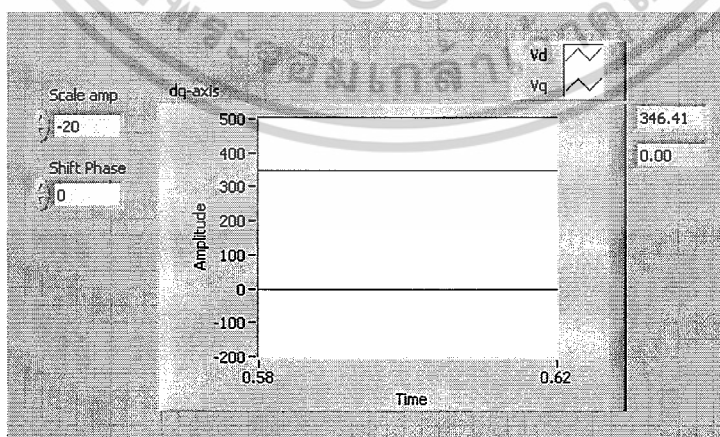
- เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันแบบสมดุล



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อแรงดันเป็น 220 V ทั้งสามเฟส



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อทำการเพิ่มแรงดันจาก 220 V เป็น 240 V ทั้งสามเฟส

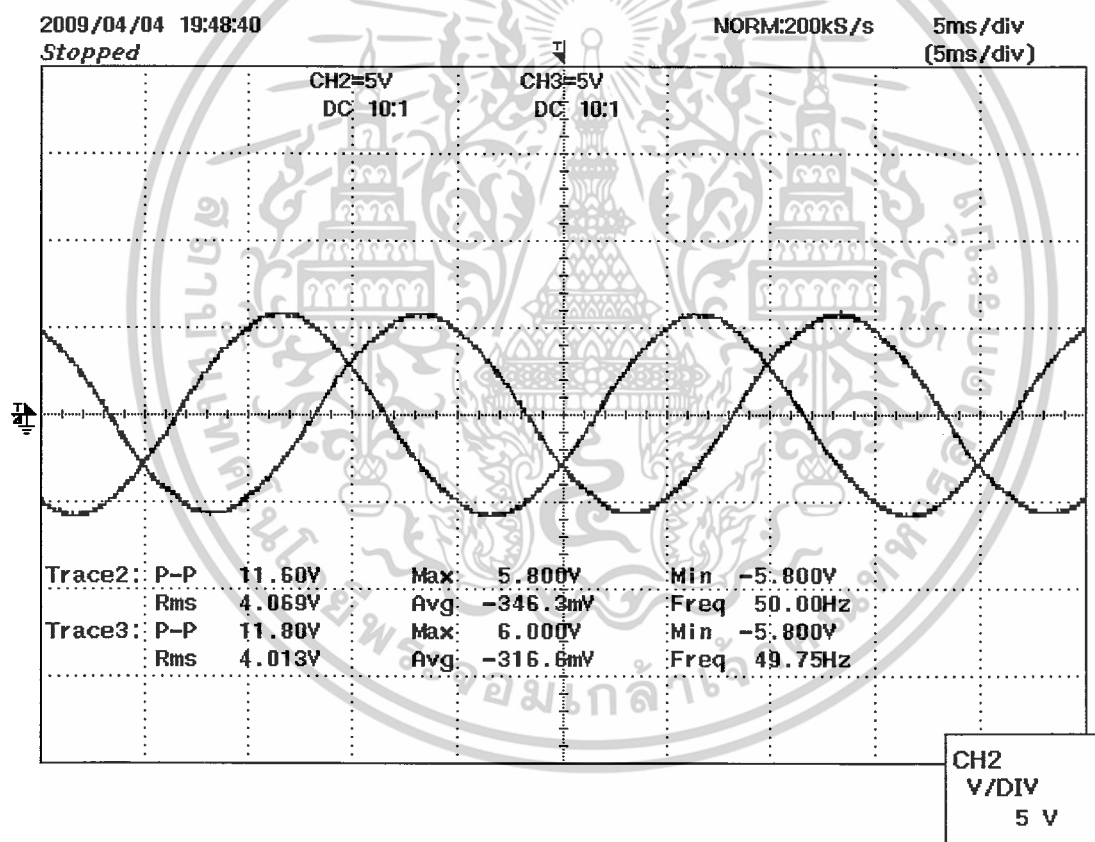


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อทำการเพิ่มแรงดันจาก 220 V เป็น 200 V ทั้งสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

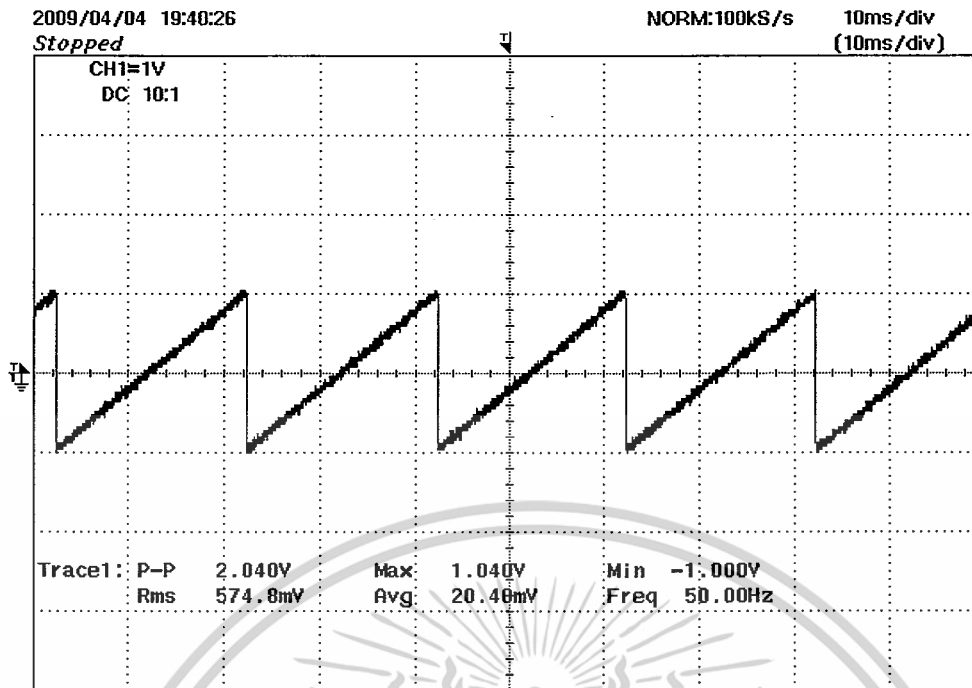
4.2 การนำอินพุทจากระบบไฟฟ้าจริงมาใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้ ออกแบบ

ในส่วนของการทดลองโดยใช้อินพุทจากระบบไฟฟ้าจริงนั้น จะต้องทำการปรับข้อมูล การเขียนโปรแกรมให้ทำงานโดยรับข้อมูลจากระบบไฟฟ้าจริงในลักษณะ Real Time โดยนำ ข้อมูลมาประมวลผลในตัวของอุปกรณ์ embedded controller programmed โดยผ่านทางพอร์ต อนาล็อกอินพุท เมื่อรับข้อมูลเข้ามาในอุปกรณ์ embedded controller programmed ก็จะนำข้อมูล มาประมวลผลตามที่เราได้เขียนโปรแกรมไว้ เมื่อประมวลผลเสร็จก็จะส่งคำสั่งไปออกไปที่ พอร์ตอนาล็อกเอาต์พุท เพื่อสั่งให้อุปกรณ์ของเราทำงานตามที่ต้องการ (ในที่นี้คือ เซอร์กิต- เบรกเกอร์) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลและประมวลผลผ่านทางอุปกรณ์ของ embedded controller programmed จึงต้องอาศัยการทำงานในส่วนของ Real Time และ FPGA เข้ามาช่วย จากการทดลองจะมีผลเป็นดังนี้

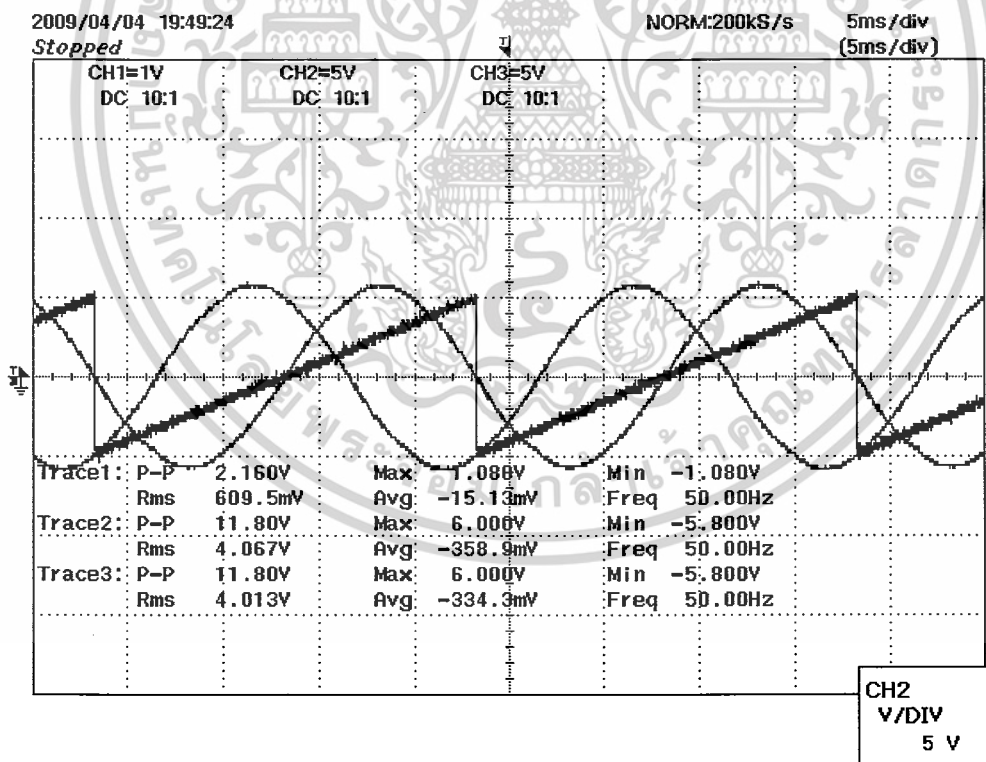


รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณอนาล็อกอินพุทที่เป็นแรงดันโวลต์ที่ป้อนเข้าไปในการทดลอง

จากรูป 4.8 แรงดันที่แสดงให้เห็นจะเป็นแรงดัน V_{ab} กับ V_{bc} ที่ใช้ป้อนเข้าไปในการทดลอง โดยใช้ op-amp ช่วยในการสร้างแรงดันโวลต์จากแรงดันเฟส



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณ sawtooth ที่สร้างจาก FPGA เพื่อใช้ในการทำ Phase-locked loop



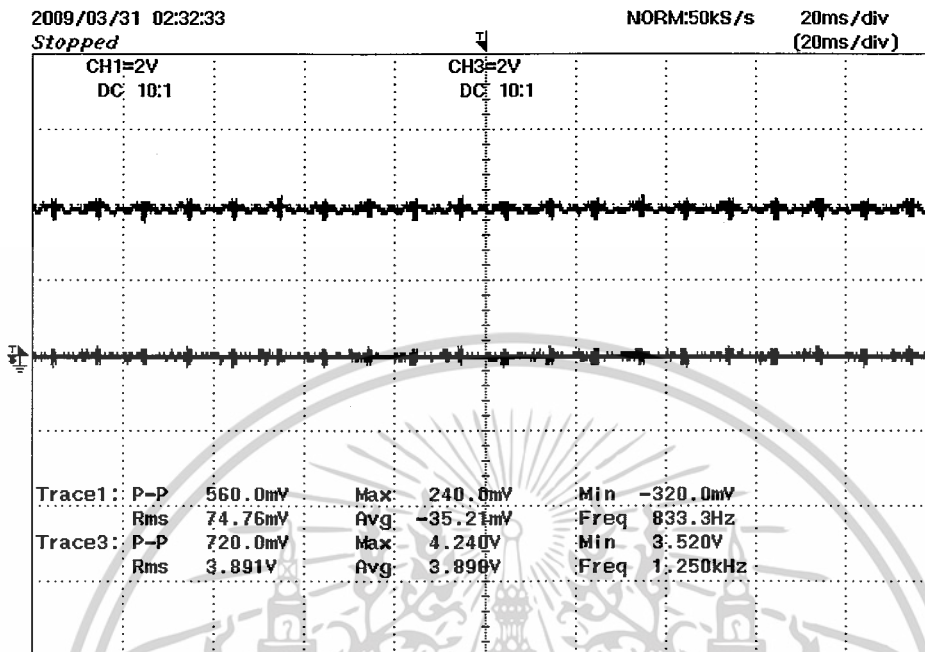
รูปที่ 4.10 แสดงการ lock ของ Phase-locked loop

จากรูป 4.10 สัญญาณ sawtooth ที่ออกมาจาก phase-locked loop ได้ทำการ lock ของกับแรงดันไลน์ Vbc จากการปรับค่า gain ของตัว PI-controller ใน phase-locked loop โดยค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

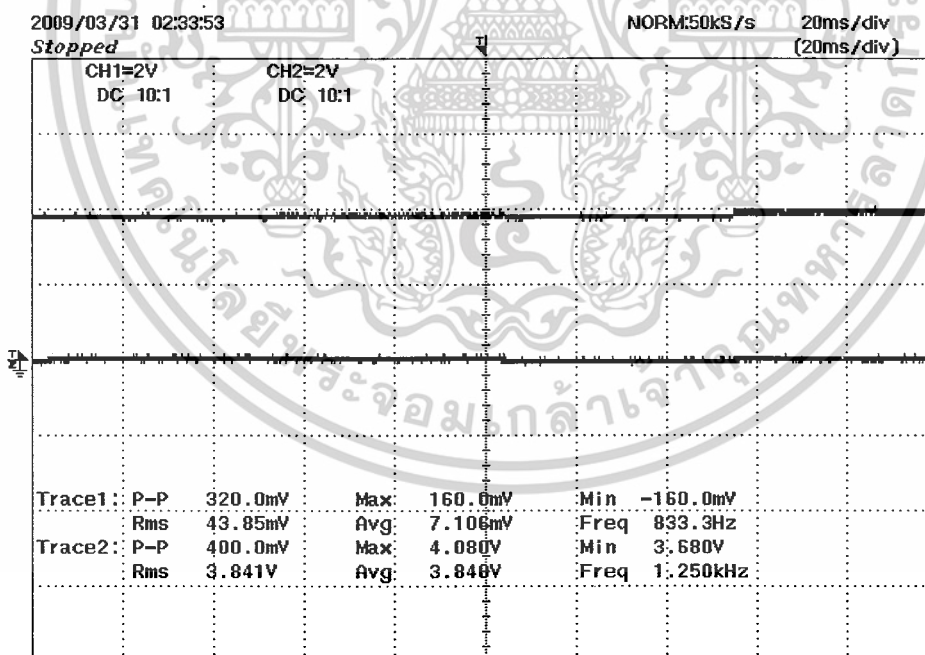
ของ gain ที่เลือกเป็นดังนี้

$$K_p = 0.005004882812500000000$$

$$K_i = 0.000793457031250000000$$



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สร้างจาก FPGA ที่สภาวะแรงดันปกติ

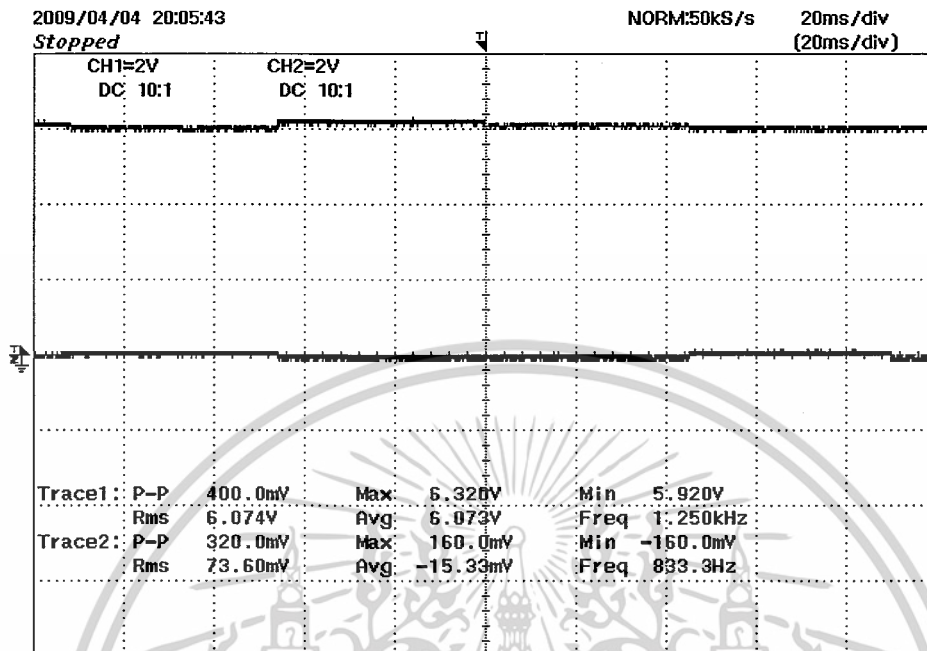


รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สร้างจาก Real Time ที่สภาวะแรงดันปกติ

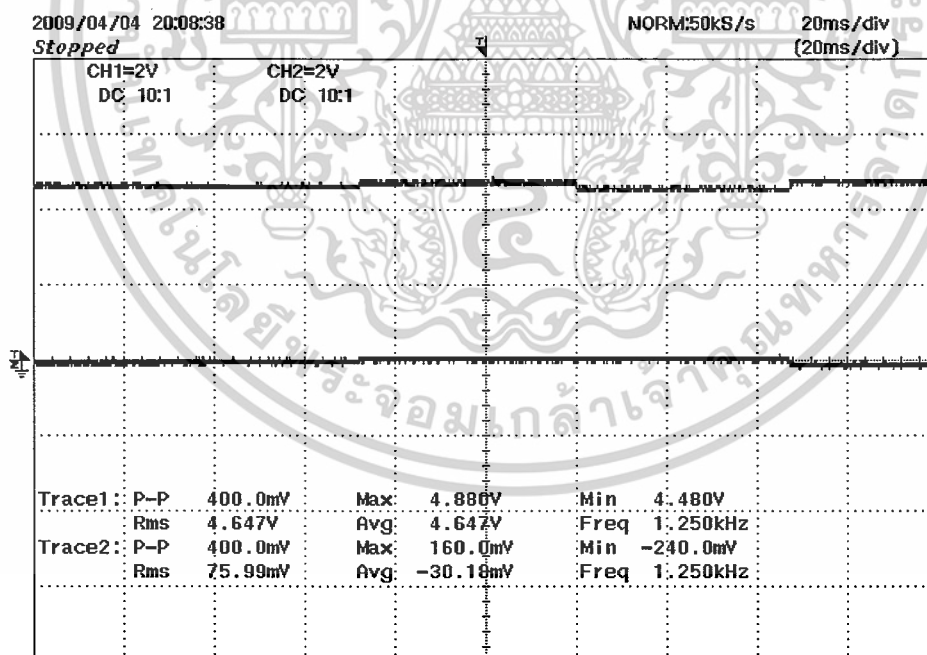
จากรูป 4.11 และ 4.12 สัญญาณแรงดันที่แปลงมาอยู่ในแกน dq นั้นมีลักษณะเป็นแรงดัน DC ณ สภาวะปกติค่าในแกน d มีค่าประมาณ 4 V ส่วนในแกน q มีค่าประมาณ 0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อเกิดแรงดันเกิน



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงเกินจากปกติ 50%

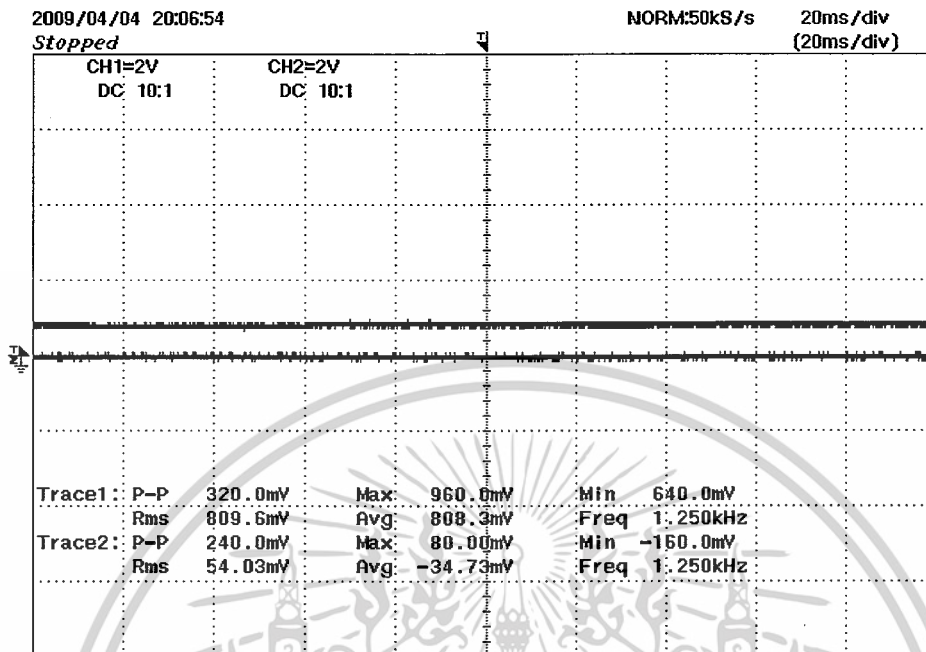


รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงเกินจากปกติ 15%

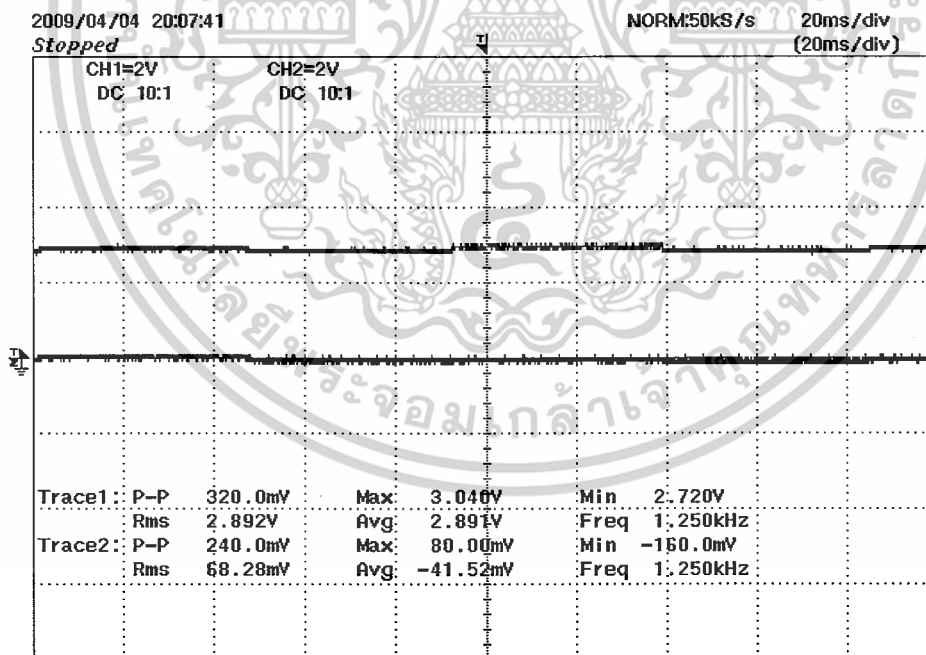
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 ณ สภาวะผิดปกติที่แรงดันเกิน ค่าที่แสดงความผิดปกตินั้นจะแสดงออกมาที่แกน d โดยค่าที่แกน d จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดแรงดันที่เกินขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันในแกน dq เมื่อเกิดแรงดันตก



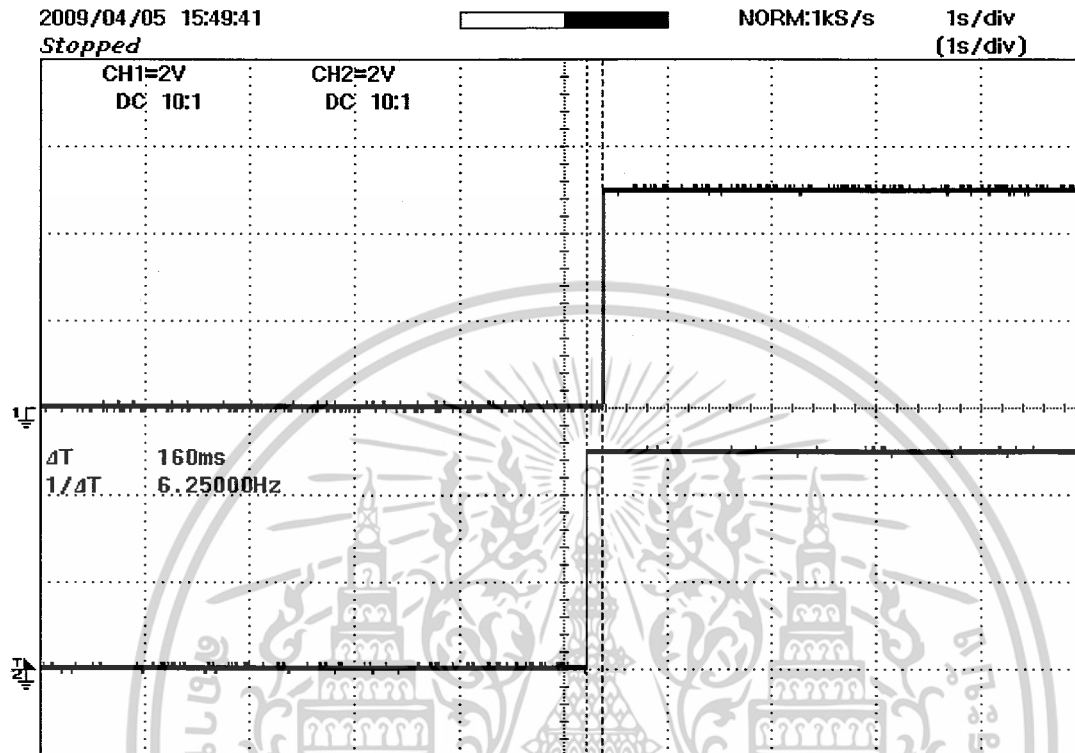
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงดันเหลือ 20% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณแรงดันในแกน dq ที่สภาวะแรงดันเหลือ 70% ของแรงดันปกติ

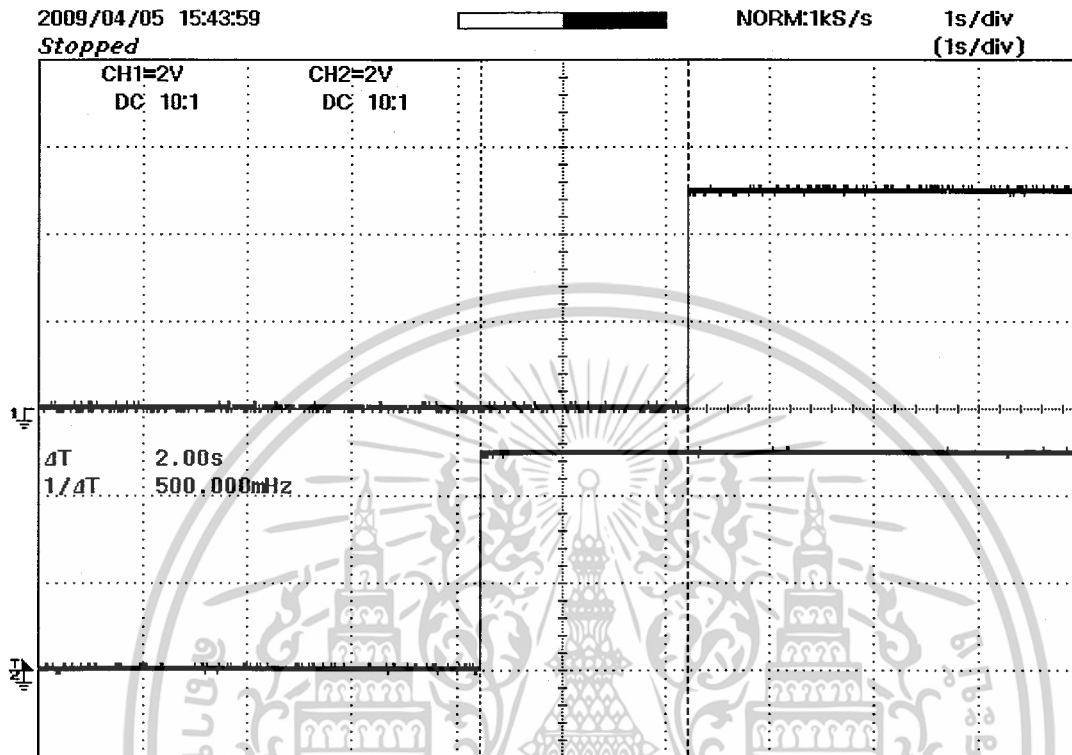
จากรูป 4.15 และ 4.16 ณ สภาวะผิดปกติที่แรงดันตก ค่าที่แสดงความผิดปกตินั้นจะแสดงออกมาที่แกน d โดยค่าที่แกน d จะมีค่าลดลงตามขนาดแรงดันที่ตกลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



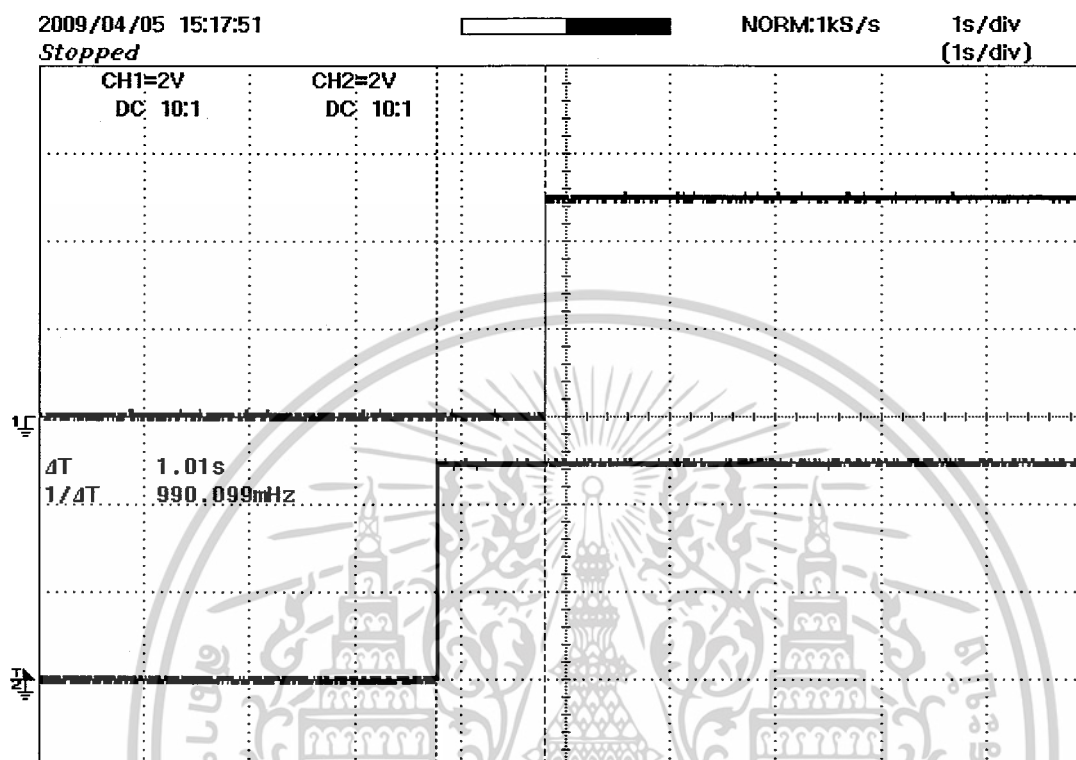
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณทรูปเมื่อเกิดแรงดันเกินกว่า20%และตกไปต่ำกว่า50% จากแรงดันปกติ

จากรูป 4.17 สัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่ตรวจสอบสภาวะผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นกับแรงดัน ส่วนสัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณทรูปที่ส่งออกจากอุปกรณ์ นั่นคือเมื่อมีการตรวจเจอค่าผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว สัญญาณทรูปที่ส่งออกไปนั้นส่งไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 160 ms ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณทริปเมื่อเกิดแรงดันตกตั้งแต่ 50% ถึง 88% จากแรงดันปกติ

จากรูป 4.18 สัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่ตรวจสอบสถานะผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นกับแรงดัน ส่วนสัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณทริปที่ส่งออกจากอุปกรณ์ นั่นคือเมื่อมีการตรวจเจอค่าผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว สัญญาณทริปที่ส่งออกไปนั้นส่งไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 2 s ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547



รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณทริปเมื่อเกิดแรงดันเกินตั้งแต่ 10% ถึง 20% จากแรงดันปกติ

จากรูป 4.18 สัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่ตรวจสอบสถานะผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นกับแรงดัน ส่วนสัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณทริปที่ส่งออกจากอุปกรณ์ นั่นคือเมื่อมีการตรวจเจอค่าผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว สัญญาณทริปที่ส่งออกไปนั้นส่งไปหลังจากตรวจสอบเป็นเวลา 1 s ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547

บทที่ 5

บทสรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบนั้นจะทำงานโดยรับข้อมูลจากระบบไฟฟ้าจริงในลักษณะที่เป็น Real Time โดยนำข้อมูลมาประมวลผลในตัวของอุปกรณ์ embedded controller programmed โดยผ่านทางพอร์ตนาฬิกาอินพุท เมื่อรับข้อมูลเข้ามาในอุปกรณ์ของ embedded controller programmed ก็จะนำข้อมูลมาประมวลผลตามที่เรำได้ออกแบบโปรแกรมไว้ เมื่อประมวลผลเสร็จก็จะส่งคำสั่งไปออกไปที่พอร์ตนาฬิกาเอาต์พุท เพื่อสั่งให้อุปกรณ์ของเราทำงานตามที่ต้องการ (ในที่นี้คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลและประมวลผลผ่านทาง embedded controller programmed จึงต้องอาศัยการทำงานในส่วนของ Real Time และ FPGA เข้ามาช่วย

การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดโซลิตเซตทในส่วนของควบคุมโดยใช้ อุปกรณ์ embedded controller programmed นั้น สามารถตรวจสอบความผิดปกติด้านแรงดันของระบบไฟฟ้าสามเฟสที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อระหว่างกริดและไมโครกริดได้ รวมถึงสามารถส่งสัญญาณการ Trip ออกมาจากอุปกรณ์ embedded controller programmed ได้โดยเวลาการส่งสัญญาณที่ใช้ Trip จะเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 1547

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการที่จะทำการควบคุมตัวอุปกรณ์ต้องการให้เวลาเป็นแบบ real-time จึงต้องทำให้การประมวลผลทั้งหมดอยู่ในส่วนของ FPGA และส่งข้อมูลโดนผ่านสาย Lan โดยตรงเพื่อความรวดเร็วในการประมวลผล แต่เนื่องจากการทดลองที่ได้ทำนั้นอุปกรณ์มีความจำไม่เพียงพอ และการส่งข้อมูลได้ผ่าน wireless อีกต่อหนึ่งจึงส่งผลให้มีการล่าช้าทางข้อมูลได้ ในบางเวลา ค่าที่ได้ออกมาจึงอาจผิดเพี้ยนไปบ้าง แต่ค่าที่ได้ออกมายังอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

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] <http://www.pea.co.th/vspp/vspp.htm>
- [7] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/2/LM324N.shtml
- [8] <http://decibel.ni.com/content/docs/DOC-2386>



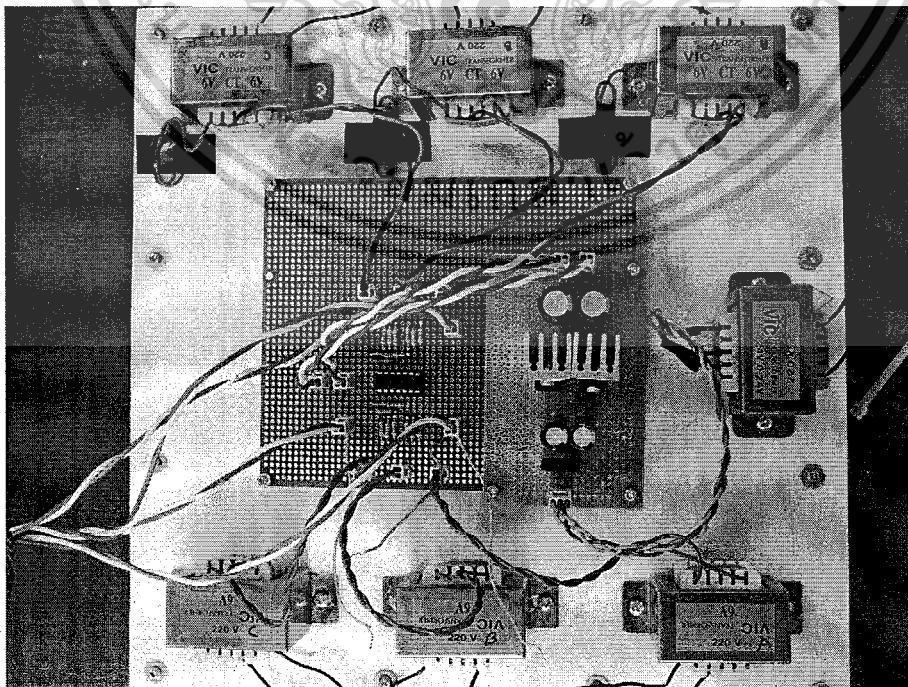
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดวงจรและอุปกรณ์การทดลอง

1. อุปกรณ์ embedded controller programmed

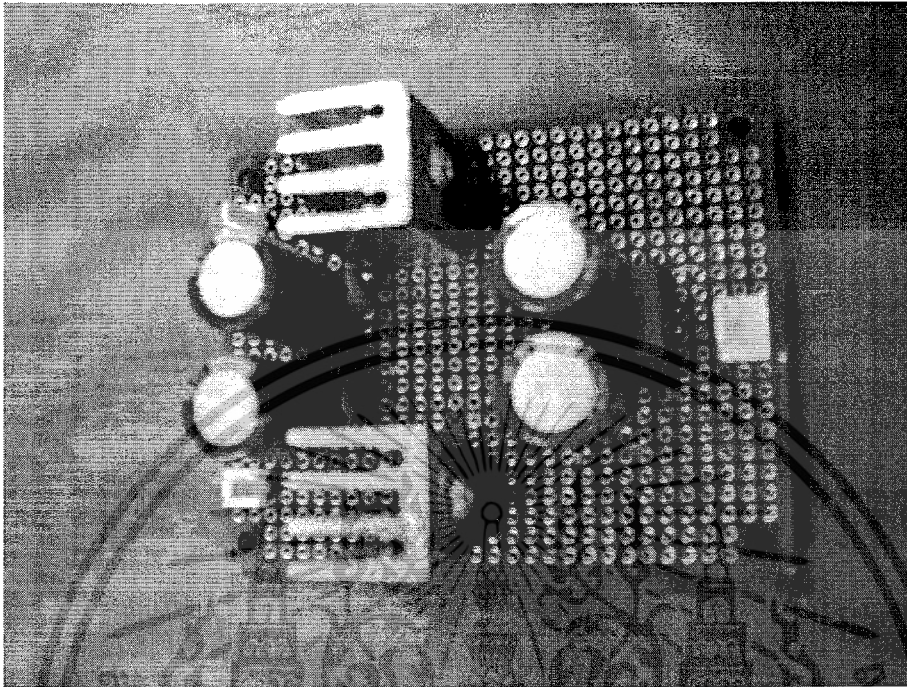


2. วงจรจำลองกริดและไมโครกริดที่สร้างแรงดันสามเฟส

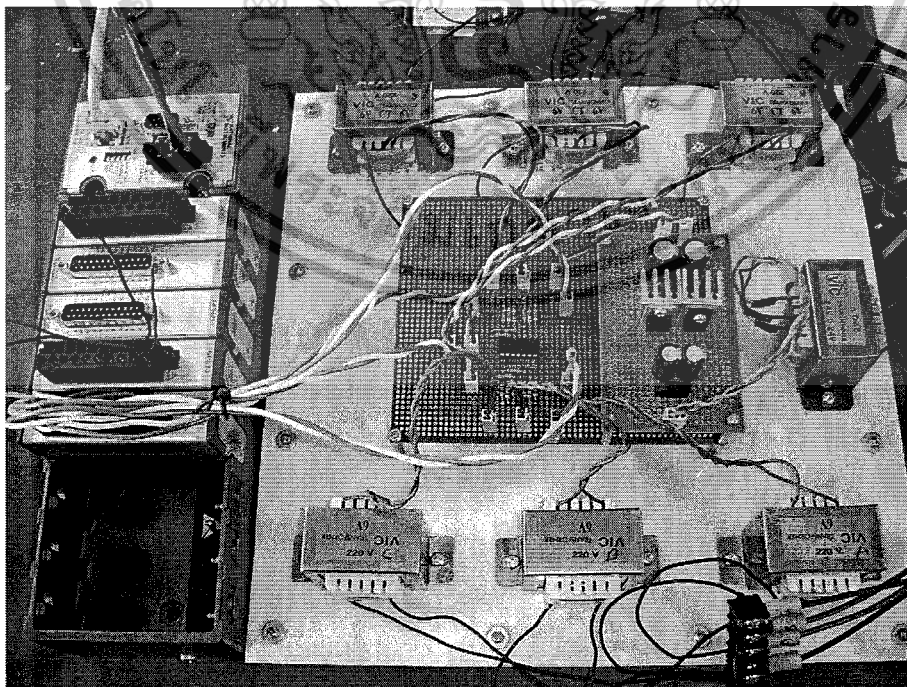


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจร regulate ที่ทำหน้าที่แปลงไฟAC เป็นDC เพื่อเป็นSupply ให้กับop-amp

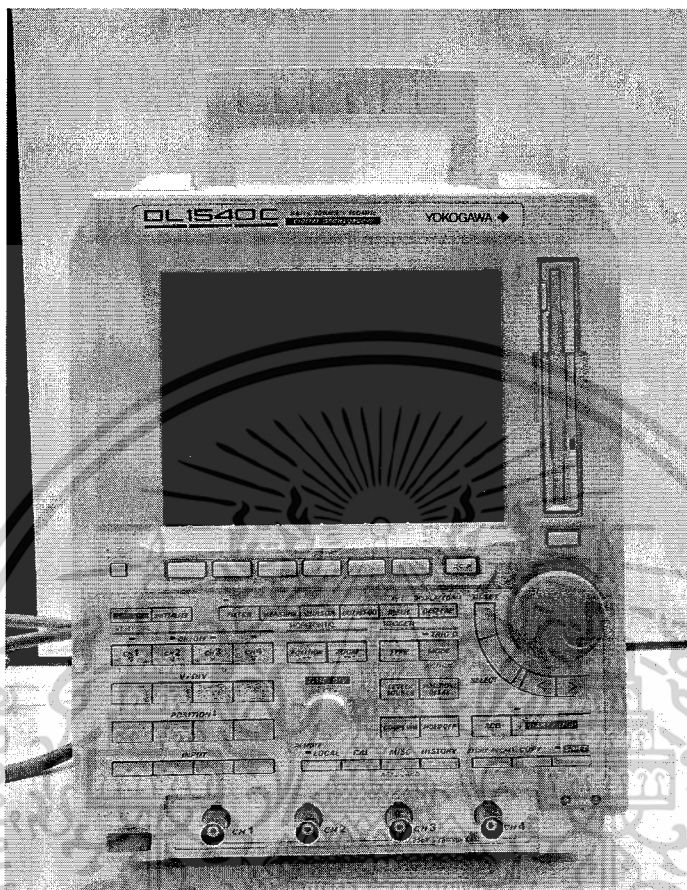


4. การต่อวงจรจำลองกริดและไมโครกริดที่สร้างแรงดันสามเฟสเข้ากับอุปกรณ์ embedded controller programmed



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สโคปวัดสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2902, LM324/LM324A, LM224/ LM224A

Quad Operational Amplifier

Features

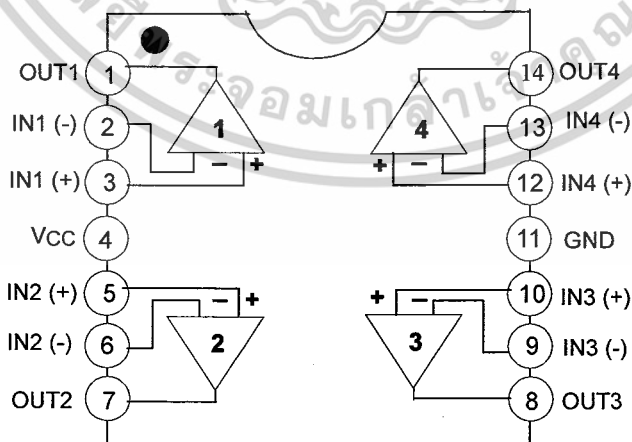
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or $\pm 1.5 \sim 16V$)
LM2902: 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V to $V_{CC} - 1.5V$
- Power Drain Suitable for Battery Operation

Description

The LM324/LM324A, LM2902, LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP Amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



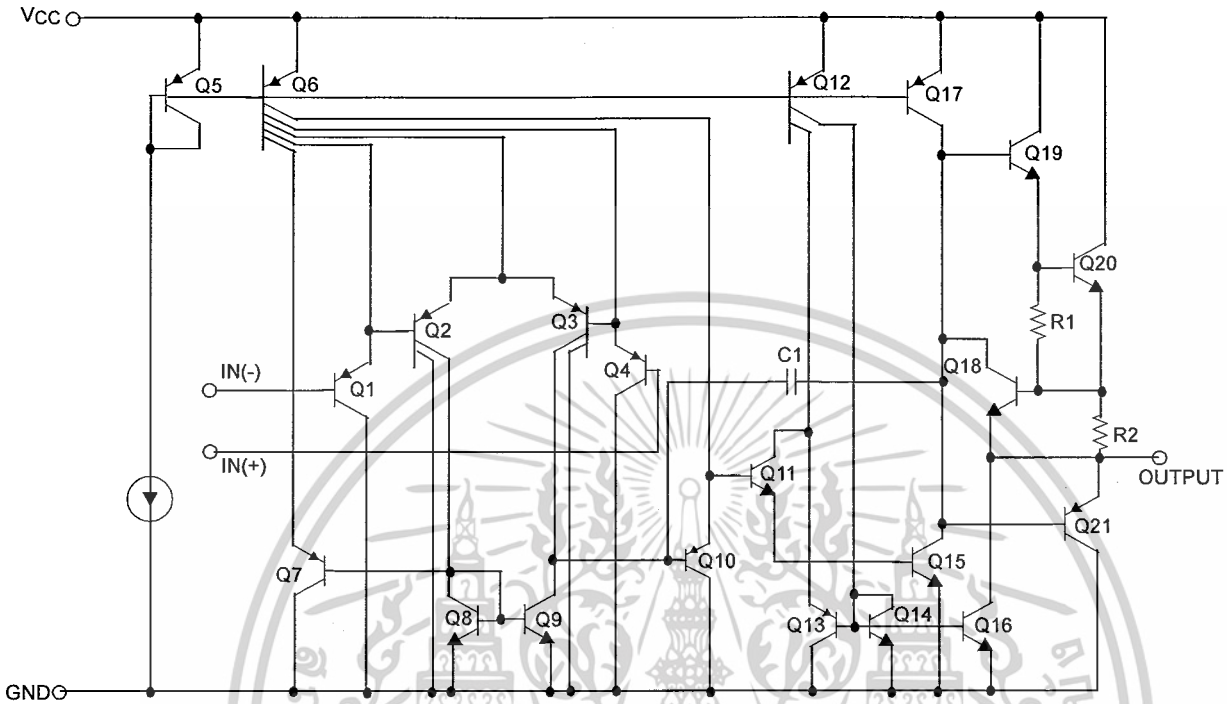
Internal Block Diagram



Rev. 1.0.4

Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	32	32	26	V
Input Voltage	VI	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND Vcc≤15V, TA=25°C(one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation, TA=25°C 14-DIP 14-SOP	PD	1310 640	1310 640	1310 640	mW
Operating Temperature Range	TOPR	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Thermal Data

Parameter	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance Junction-Ambient Max. 14-DIP 14-SOP	Rθja	95 195	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ (Note1)	-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	$V_{CM} = 0V$	-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	$V_{CM} = 0V$	-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	$V_{CC} - 1.5$	-	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V	
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (LM2902, $V_{CC} = 26V$)	-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA	
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L = 2k\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/ mV	
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	$R_L = 2k\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			$R_L = 10k\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB	
Channel Separation	CS	$f = 1kHz$ to $20kHz$ (Note2)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I_{SC}	$V_{CC} = 15V$	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$ $V_{O(P)} = 2V$	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA	
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$ $V_{O(P)} = 2V$	10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA	
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 5V$, $V_{O(R)} = 200mV$	12	45	-	12	45	-	-	-	-	μA	
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	V	

Note :

- $V_{CC} = 30V$ for LM224 and LM324, $V_{CC} = 26V$ for LM2902
- This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, unless otherwise specified)

The following specifications apply over the range of $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM224; and the $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM324; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM2902

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{ICM} = 0\text{V to } V_{CC} - 1.5\text{V}$ $V_{O(P)} = 1.4\text{V}$, $R_S = 0\Omega$ (Note1)	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 0\Omega$ (Note2)	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
Input Offset Current	I_{IO}	$V_{CM} = 0\text{V}$	-	-	100	-	-	150	-	-	200	nA	
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	$R_S = 0\Omega$ (Note2)	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$	
Input Bias Current	I_{BIAS}	$V_{CM} = 0\text{V}$	-	-	300	-	-	500	-	-	500	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	V	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = 2.0\text{k}\Omega$ $V_{O(P)} = 1\text{V to } 11\text{V}$	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	$R_L = 2\text{k}\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			$R_L = 10\text{k}\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1\text{V}$, $V_{I(-)} = 0\text{V}$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $V_{O(P)} = 2\text{V}$	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA	
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0\text{V}$, $V_{I(-)} = 1\text{V}$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $V_{O(P)} = 2\text{V}$	10	13	-	5	8	-	5	8	-	mA	
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V	

Note:

1. $V_{CC} = 30\text{V}$ for LM224 and LM324, $V_{CC} = 26\text{V}$ for LM2902
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	1.0	3.0	-	1.5	3.0	mV	
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	2	15	-	3.0	30	nA	
Input Bias Current	I _{BIAS}	V _{CM} = 0V	-	40	80	-	40	100	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} -1.5	0	-	V _{CC} -1.5	V	
Supply Current	I _{CC}	V _{CC} = 30V, R _L = ∞	-	1.5	3	-	1.5	3	mA	
		V _{CC} = 5V, R _L = ∞	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1	R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB	
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note2)	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I _{SC}	V _{CC} = 15V	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	20	40	-	20	40	-	mA	
		V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 5V V _{O(P)} = 200mV	12	50	-	12	50	-	μA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:

- V_{CC} = 30V for LM224A, LM324A
- This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM224A; and the $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM324A

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	-	4.0	-	-	5.0	mV
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	7.0	20	-	7.0	30	μV/°C
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	-	30	-	-	75	nA
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	10	200	-	10	300	pA/°C
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	Note1	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	V
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ	25	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1 R _L = 2kΩ R _L = 10kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	5	8	-	5	8	-	mA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V

Note:

- V_{CC} = 30V for LM224A and LM324A.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Typical Performance Characteristics

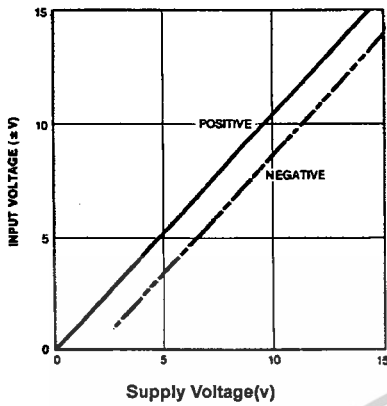


Figure 1. Input Voltage Range vs Supply Voltage

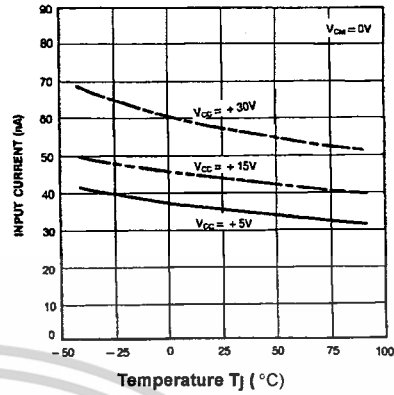


Figure 2. Input Current vs Temperature

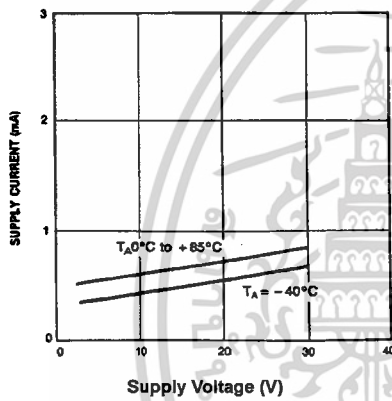


Figure 3. Supply Current vs Supply Voltage

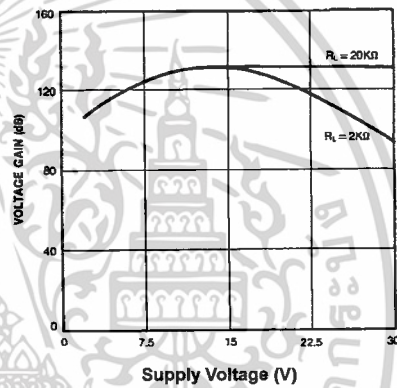


Figure 4. Voltage Gain vs Supply Voltage

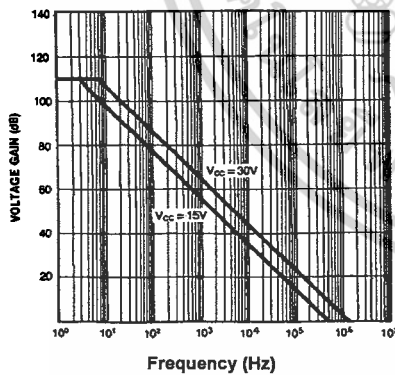


Figure 5. Open Loop Frequency Response

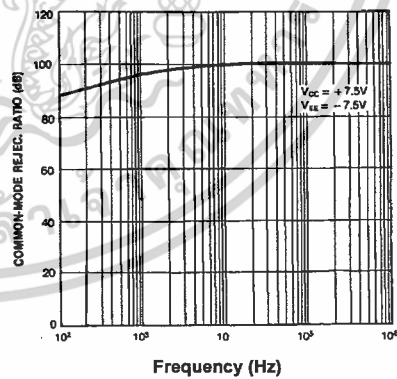


Figure 6. Common mode Rejection Ratio

Typical Performance Characteristics (Continued)

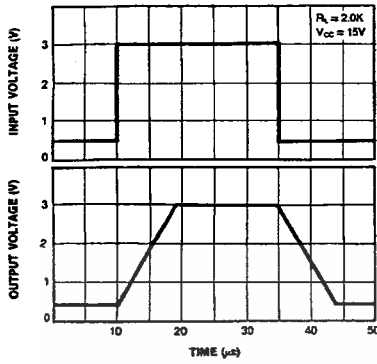


Figure 7. Voltage Follower Pulse Response

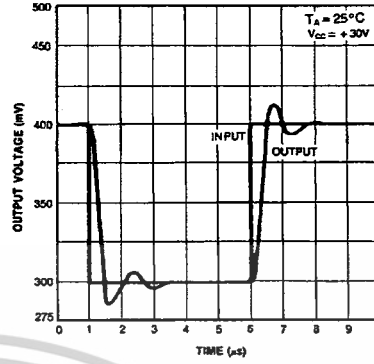


Figure 8. Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)

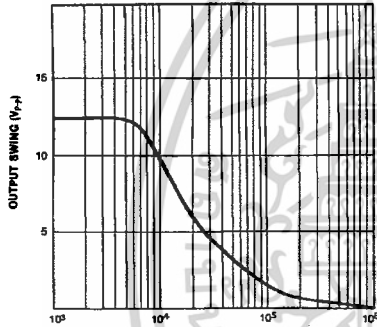


Figure 8. Large Signal Frequency Response

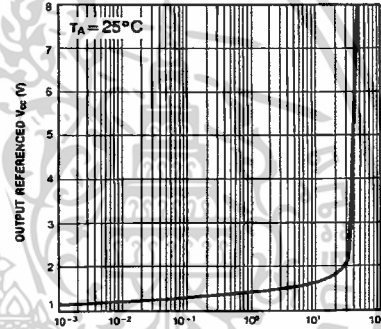


Figure 9. Output Characteristics vs Current Sourcing

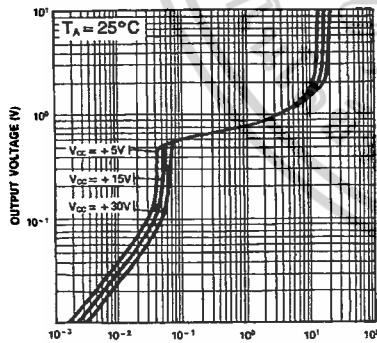


Figure 10. Output Characteristics vs Current Sinking

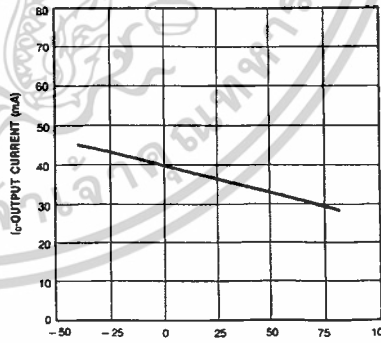


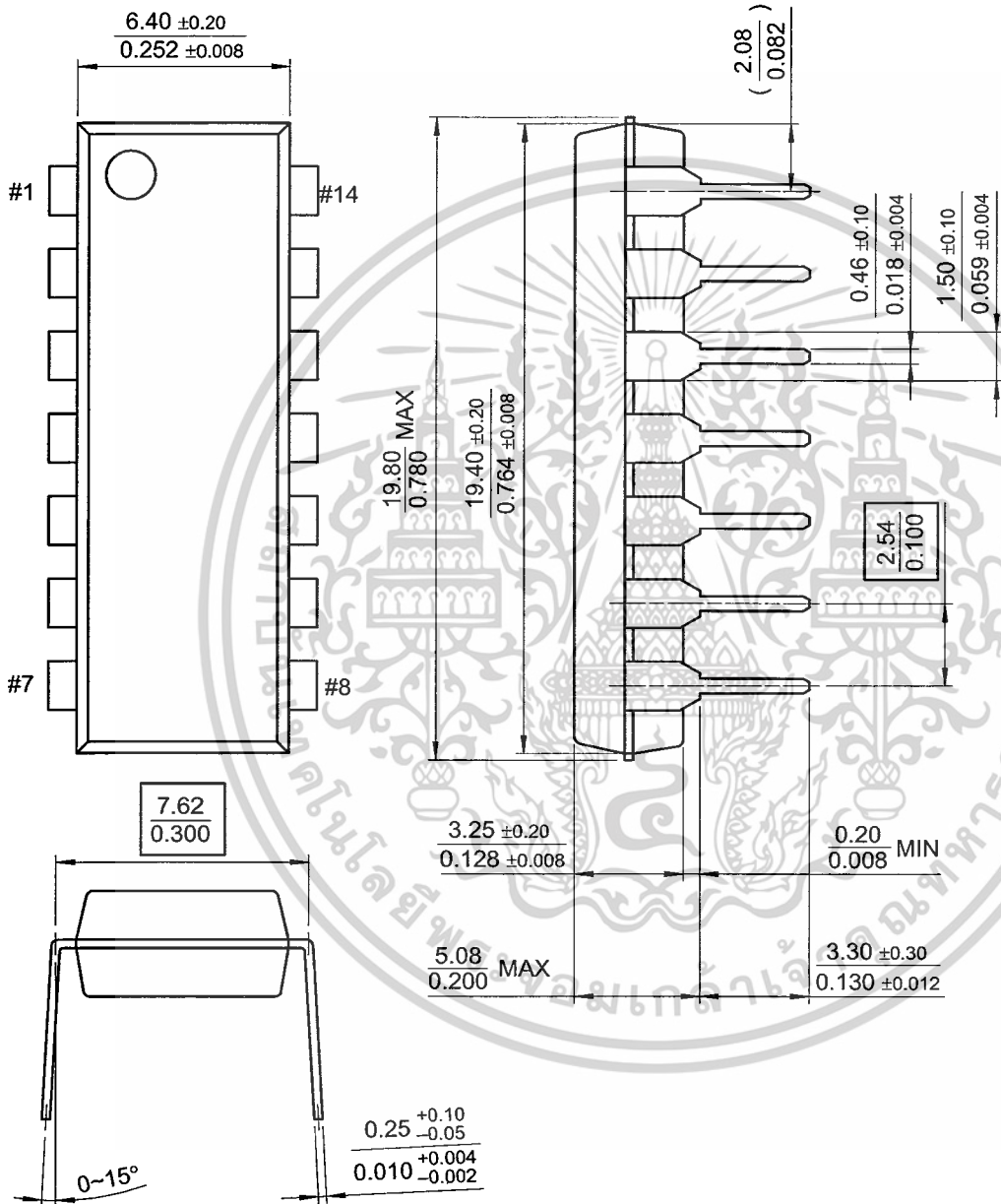
Figure 11. Current Limiting vs Temperature

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

14-DIP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM324N	14-DIP	0 ~ +70°C
LM324AN		
LM324M	14-SOP	
LM324AM		
LM2902N	14-DIP	-40 ~ +85°C
LM2902M	14-SOP	
LM224N	14-DIP	-25 ~ +85°C
LM224AN		
LM224M	14-SOP	
LM224AM		





DISCLAIMER

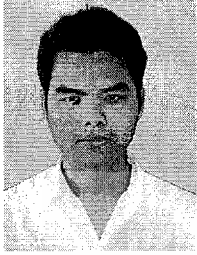
FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ประวัติผู้เขียน



นาย บัณฑิต เกียรติสกุลทอง

วัน/เดือน/ปีเกิด 27 มิถุนายน 2529

ที่อยู่ 161 หมู่ 10 ต.สระพัฒนา อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73180

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ
สตรีวิทยา พุทมนทล กรุงเทพฯ

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ
สตรีวิทยา พุทมนทล กรุงเทพฯ

E-mail : ball_tigerous@hotmail.com



นาย ปฏิญญา ผลาเกส

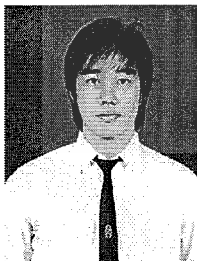
วัน/เดือน/ปีเกิด 29 พฤษภาคม 2530

ที่อยู่ 78/2 ซ. ประชาราษฎร์บำเพ็ญ 12 ถ.ประชาราษฎร์บำเพ็ญ
ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี
กรุงเทพฯ

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี
กรุงเทพฯ

E-mail : patinyaphalages@gmail.com



นาย ประวรรต คาระวะ

วัน/เดือน/ปีเกิด 30 เมษายน 2530

ที่อยู่ 34 ถ.เทศบาลสาย 3 ต.ขลุง อ.ขลุง จ.จันทบุรี 22110

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนศรีหฤทัย
อ.ขลุง จันทบุรี

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ
จันทบุรี

E-mail : Toptogether@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้