สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์

OPEN SWITCH FAULT DETECTION FOR A PWM CONVERTER

T117550

โดย

นายชานนท์ บึงกิจเจริญ
นายณัฐดนัย ถิ่นเกาะแก้ว
นายดนุพล ตรีแก้ว

เลขหมู่.................
เลขทะเบียน 117500
วัน,เดือน,ปี - 5 ส.ค. 2554

b. 12339039
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPEN SWITCH FAULT DETECTION FOR A PWM CONVERTER

CHANON BOUNGKITCHAROEN
NATDANAI TINKOHKAEW
DANUPOL TREEKAEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์

OPEN SWITCH FAULT DETECTION FOR A PWM CONVERTER

โดย

นายชานนท์ บึงกิจเจริญ

นายณัฐดนัย ถิ่นเกาะแก้ว

นายดนุพล ตรีแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์

ผู้จัดทำ

1. นายชานนท์ บึงกิจเจริญ
2. นายณัฐดนัย ถิ่นเกาะแก้ว
3. นายดนุพล ตรีแก้ว

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์

นายชานนท์ บึงกิจเจริญ
นายณัฐดนัย ถิ่นเกาะแก้ว
นายดนุพล ตรีแก้ว
ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟสที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง โดยวิธีการที่นำเสนอ จะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์ บทความฉบับนี้จะเน้นไปที่การประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องกรณีที่มีความผิดพร่องเกิดขึ้นใน 1 สวิตซ์เท่านั้น ในบทความฉบับนี้ได้มีการใช้โปรแกรมMATLAB/Simulink มาใช้ในการจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์และระบบการวินิจฉัย และตรวจจับความผิดพร่องและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด TMS320F28335 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ในการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการทำงานของคอนเวอร์เตอร์และใช้ในการประมวลผลสัญญาณของกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ในการตรวจจับความผิดพร่อง โดยใช้ขั้นตอนจากการจำลองการทำงานของโปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPEN SWITCH FAULT DETECTION FOR A PWM CONVERTER

Chanon Boungkitcharoen
Natdanai Tinkohkaew
Danupol Treekaew
Dr. Warachart Sae-Kok Supervisor
2010

ABSTRACT

This thesis presents an open-switch fault diagnosis method for a three-phase PWM converter. The method proposed in this paper is called the Absolute Normalized DC Current Method. In this paper only a single-switch fault is considered. MATLAB/Simulink program is used to simulate the converter operation and open-switch fault diagnostic scheme. The TMS320F28335 DSP is applied to implement the converter operation and the proposed diagnostic scheme simulated by MATLAB/Simulink program.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของ ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนคำปรึกษาในการแก้ปัญหา อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้มาโดยตลอด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโทห้องปฏิบัติการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน ที่ให้ความรู้ เทคนิค ตลอดจนคำแนะนำที่ดีแก่คณะผู้ดำเนินโครงงานวิจัยทำให้สามารถแก้ไขปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ ครอบครัวและเพื่อน ๆ ของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่คอยให้กำลังใจ และถามไถ่ความเป็นไปของโครงการอยู่เสมอ ทำให้คณะผู้ดำเนินโครงงานมีกำลังใจที่จะทำโครงงานนี้จนสำเร็จได้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.. I
ABSTRACT.. II
กิตติกรรมประกาศ... III
สารบัญ.. IV
สารบัญภาพ... VII
สารบัญตาราง... XI
บทที่ 1 บทนำ... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.. 2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน... 2
1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน.. 2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน.. 3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน.. 4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์.. 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 5
2.1 บทนำ... 5
2.2 อินเวอร์เตอร์.. 5
2.2.1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส.. 6
2.2.2 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน... 7
2.2.3 อินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์... 7
2.2.4 อินเวอร์เตอร์สามเฟส.. 9
2.2.5 อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส แบบปรับความกว้างพัลส์.. 10
2.3 วิธีวินิจฉัยเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์.................................... 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.1 Park's Vector Method....13
2.3.2 The Slope Method....13
2.3.3 Control Deviation Method....13
2.3.4 Normalized DC Current Method....14
2.3.5 Modified Normalized DC Current Method....15
2.3.6 Simple Direct Current Method....16
2.3.7 Absolute Normalized DC Current Method....17
2.4 บทสรุป....18
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ....19
3.1 บทนำ....19
3.2 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์....19
3.2.1 การจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟส และระบบตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร....19
3.2.1.1 ภาคของวงจรกำลัง....20
3.2.1.2 ภาคของวงจรควบคุม....21
3.3 การสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์สามเฟส....26
3.3.1 ภาคกำลัง....26
3.3.1.1 คอนเวอร์เตอร์สามเฟส....26
3.3.1.2 อุปกรณ์ป้องกัน....27
3.3.1.3 อุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟส....27
3.3.2 ภาคควบคุม....28
3.3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์....28
3.3.2.2 วงจรยกระดับแรงดัน และวงจรแยกกราวนด์....29
3.3.2.3 อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากดิจิตอล เป็นสัญญาณอะนาล็อก....30
3.3.2.4 อุปกรณ์ขับเกต....31
3.3.2.5 อุปกรณ์วัดกระแส....35
3.3.2.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2.7 อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่อง ชนิดสวิตซ์เปิดวงจร....37

3.4 บทสรุป....38

บทที่ 4 ผลการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง....39

4.1 บทนำ....39

4.2 ผลของกระแส....39

4.2.1 กระแสขณะคอนเวอร์เตอร์ทำงานปกติ....39

4.2.2 การเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตซ์กำลัง เกิดขึ้นที่สวิตซ์ T1, T2 และ T3....42

4.2.3 การเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตซ์กำลัง เกิดขึ้น ที่สวิตซ์ T4, T5 และ T6....45

4.3 การวินิจฉัยการตรวจจับความผิดพร่อง....48

4.4 การตรวจจับความผิดพร่องที่กระแสขนาดต่าง ๆ....55

4.5 บทสรุป....56

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา....57

5.1 บทสรุป....57

5.2 ข้อเสนอแนะ....58

บรรณานุกรม....59

ภาคผนวก....60

ภาคผนวก ก. เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์....61

ภาคผนวก ข. รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ....65

ภาคผนวก ค. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์....68

ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการ....105

ภาคผนวก จ. โปสเตอร์นำเสนอผลงาน....110

ประวัติผู้เขียน....112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แผนผังของระบบอินเวอร์เตอร์
เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ.......... 5
2.2 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส.......... 6
2.3 วงจรกำลังของ PWM อินเวอร์เตอร์.......... 8
2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.......... 9
3.1 ภาพรวมของวงจร.......... 20
3.2 วงจรกำลัง.......... 20
3.3 แหล่งกำเนิดสัญญาณปรับความกว้างพัลส์และสวิตซ์ที่ใช้ในการจำลองการ
เกิดความผิดพร่อง.......... 21
3.4 วงจรที่ใช้ในการวินิจฉัยและการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร
ในคอนเวอร์เตอร์.......... 22
3.5 รูปส่วนของเฟสล๊อคลูป (Phase Lock Loop).......... 23
3.6 ระบบที่ใช้ในการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร
ในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส.......... 24
3.7 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตรวจจับความผิดความ
ผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร.......... 25
3.8 คอนเวอร์เตอร์สามเฟส.......... 26
3.9 อุปกรณ์ป้องกัน.......... 27
3.10 อุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟส.......... 28
3.11 อุปกรณ์ควบคุม TMS320F28335.......... 29
3.12 วงจรยกระดับแรงดัน และวงจรแยกกราวนด์.......... 30
3.13 วงจรแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก.......... 31
3.14 อุปกรณ์ขับเกต.......... 32
3.15 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรขับเกต.......... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.16 วงจรของอุปกรณ์ขับเกต.. 34
3.17 วงจรของอุปกรณ์วัดกระแส..35
3.18 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง..36
3.19 อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร.. 37
4.1 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
ในขณะที่มอเตอร์ขับภาระเต็มพิกัด.. 40
4.2 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสในขณะที่มอเตอร์ขับภาระเต็มพิกัด.......... 40
4.3 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
ในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระทางไฟฟ้า..41
4.4 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระทางไฟฟ้า....... 41
4.5 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T1.. 42
4.6 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดความผิดพร่อง
ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T1...42
4.7 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T2.. 43
4.8 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดความผิดพร่อง
ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T2...43
4.9 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิด สวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T3... 44
4.10 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดความผิดพร่อง
ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T3.. 44
4.11 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T4.. 45
4.12 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดความผิดพร่อง
ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T4.. 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.13	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T5	46
4.14	ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดความผิดพร่อง ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T5	46
4.15	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T6	47
4.16	ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดความผิดพร่อง ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T6	47
4.17	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะปกติ	48
4.18	ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะปกติ	48
4.19	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T1	49
4.20	ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T1	49
4.21	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T2	50
4.22	ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T2	50
4.23	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T3	51
4.24	ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T3	51
4.25	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T4	52
4.26	ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T4	52
4.27	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T5	53
4.28	ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T5	53
4.29	ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T6	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.30 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T6.........54

4.31 ผลการทดลองแสดงการตรวจจับความผิดพร่องในสวิตช์ T4
ที่ขนาดกระแส 0.44 p.u. 55

4.32 ผลการทดลองแสดงการตรวจจับความผิดพร่องในสวิตช์ T5
ที่ขนาดกระแส 0.75 p.u. 55

4.33 ผลการทดลองแสดงการตรวจจับความผิดพร่องในสวิตช์ T6
ที่ขนาดกระแส 0.85 p.u. 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ | หน้า

1.1 แผนการดำเนินโครงงาน....3
2.1 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Park's Vector Method....13
2.2 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Control Deviation Method....14
2.3 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Normalized DC Current Method....15
2.4 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Modified Normalized DC Current Method....16
2.5 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Simple Direct Current Method....16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันคอนเวอร์เตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมรวมไปถึงในชีวิตประจำวันมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ขอเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องปรับอากาศที่มีคอนเวอร์เตอร์ หรือรถยนต์ที่มีระบบไฮบริดจ์ นอกจากนี้ปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอันสืบเนื่องมาจากการเติบโตทางสังคม และทางเศรษฐกิจส่งผลให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน แต่ในขณะนี้ปริมาณของเชื้อเพลิงซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นได้ลดจำนวนลง ด้วยเหตุที่เชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้ากับความต้องการไฟฟ้าฟ้านั้นสวนทางกัน จึงเกิดความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น พลังงานทดแทนจึงกลายมาเป็นทางเลือกที่สำคัญที่จะเข้ามาแก้ปัญหาดังกล่าว โดยจะเห็นได้จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) ของกระทรวงพลังงานที่ได้กำหนดเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนให้เป็นร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ และด้วยการประยุกต์ใช้คอนเวอร์เตอร์เข้ากับระบบของการผลิตไฟฟ้าฟ้าด้วยพลังงานทดแทนที่มีอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทำให้เราไม่สามารถที่จะปฏิเสธได้เลยว่าในอนาคต คอนเวอร์เตอร์จะเข้ามามีบทบาทและได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

เหตุผลที่คอนเวอร์เตอร์เข้ามามีบทบาทในหลายๆ ด้านดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วนั้น เพราะว่า คอนเวอร์เตอร์ทำให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในการนำคอนเวอร์เตอร์มาใช้ก็คือ เมื่อเกิดการผิดพร่อง (fault) ขึ้นในคอนเวอร์เตอร์จะทำให้เกิดปัญหากับระบบดังเช่นในกรณีที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร (open-switch fault) หรืออาจจะต้องหยุดการทำงานของระบบดังเช่น กรณีที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์ลัดวงจร (short-circuit switch fault) โครงงานนี้จะพิจารณาเฉพาะความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรเท่านั้น เนื่องจากว่าความผิดพร่องชนิดนี้ไม่ทำให้ระบบต้องหยุดทำงานเพราะระดับกระแสภายใต้สภาวะที่เกิดความผิดพร่องนั้นไม่ได้สูงถึงขนาดที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน หากเพียงแต่ทำให้เกิดความเสียหายระยะยาวต่ออุปกรณ์ทางกล และความเครียดในสวิตช์อื่น ๆ เท่านั้น ซึ่งหากสามารถวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องสวิตช์ที่มีปัญหาได้แล้ว สามารถแก้ปัญหาได้ก่อนที่จะเกิดปัญหาในระยะยาวต่อไป

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้ดำเนินโครงงานจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงนำเสนอโครงงานนี้ขึ้นโดยการสร้างระบบที่มีความสามารถในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรสวิตช์ที่สวิตช์กำลัง โดยระบบวินิจฉัยความผิดพร่องดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวินิจฉัยหาสวิตช์ที่ก่อให้เกิดปัญหาในคอนเวอร์เตอร์เพื่อที่จะทำการซ่อมแซมหรือทำการเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์ใหม่เพื่อให้ระบบทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว นอกจากนี้ระบบวินิจฉัยความผิดพร่องดังกล่าวยังช่วยผู้ใช้งานในการตัดสินใจทำการดำเนินการต่อ โดยอาศัยกระบวนการที่เหมาะสมเช่นการติดตั้งระบบใหม่หรือการทำการหยุดการทำงานของระบบ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาในระยะยาว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ภายใต้สภาวะปกติและสภาวะผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร
3. ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
4. สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวินิจฉัยและวิเคราะห์การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
5. ทำการสร้างระบบต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรและวิเคราะห์การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยทำการจำลองการทำงานทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และทำการสร้างเครื่องต้นแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมเพื่อศึกษาการทำงานของระบบโดยจะพิจารณาทั้งในสภาวะที่คอนเวอร์เตอร์ทำงานเป็นปกติ และในสภาวะที่คอนเวอร์เตอร์การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร ในส่วนของการทดสอบเครื่องต้นแบบนั้น ขอบเขตของการทดสอบเครื่องต้นแบบจะถูกกำหนดให้เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรได้ครั้งละ 1 สวิตซ์เท่านั้น

1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและในการผลิตไฟฟ้า
2. ทำการจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์และการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยอาศัยโปรแกรม MATLAB/Simulink
3. จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนศึกษาการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อรองรับการทดสอบอัลกอริธึมที่ใช้ในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์

5. ทำการทดสอบระบบต้นแบบที่สร้างขึ้น ทั้งในสภาวะการทำงานปกติและในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร

6. บันทึกข้อมูลจากผลการทดสอง

7. สรุปผลการทดลอง

8. รวบรวมข้อมูลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2				
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค.	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค	ก.พ
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเกิด ความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร ในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส									
2.ทำการจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์และการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยอาศัยโปรแกร MATLAB/Simulink									
3.ทำการสร้างฮาร์ดแวร์เพื่อรองรับการทดสอบอัลกอริธึมที่ใช้ในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรชนิดเปิดวงจร ที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์									
4.ทำการทดสอบระบบต้นแบบที่สร้าง									
5.ทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการทดสอบจริงในระบบต้นแบบ									
6.สรุปผลการวิจัย นำเสนอโครงงาน									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1. โครงงานนี้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ที่จะนำการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรชนิดเปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ไปประยุกต์ใช้กับระบบต่างๆ ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และระบบพลังงานทดแทนเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. เกิดความปลอดภัยและเกิดเสถียรภาพแก่ระบบที่นำโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้

3. โครงงานนี้สามารถนำไปวิจัยต่อในระดับปริญญาโท และปริญญาเอก เพื่อให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหลากหลายมากขึ้น

4. ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้จะนำไปสู่การสร้างมาตรฐานให้ประเทศเพื่อรองรับเทคโนโลยีที่จะเข้ามาในอนาคต

5. โครงงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการของวิทยาการด้านต่าง ๆ คือ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และ ทฤษฎีทางระบบควบคุม ก่อให้เกิดการประยุกต์แขนงวิชาต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถนำองค์ความรู้ไปต่อยอดเสริมสร้างเทคโนโลยีที่สูงขึ้นไปอีกได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจำแนกได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา, วัตถุประสงค์ของโครงงาน, ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน, วิธีการที่ใช้ในโครงงาน, แผนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรและ วิธีวินิจฉัยเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ กล่าวถึงวิธีการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับยืนยันผลทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยคอนเวอร์เตอร์สามเฟส วงจรยกระดับแรงดัน และวงจรแยกกราวนด์ วงจรตรวจจับกระแส อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง กล่าวถึงผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ และผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา กล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และการดำเนินจัดทำโครงงาน สรุปผลการทดลองที่ได้ รวมไปถึงข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้

ภาคผนวก ประกอบไปด้วย เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ บทความทางวิชาการและโปสเตอร์นำเสนอผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

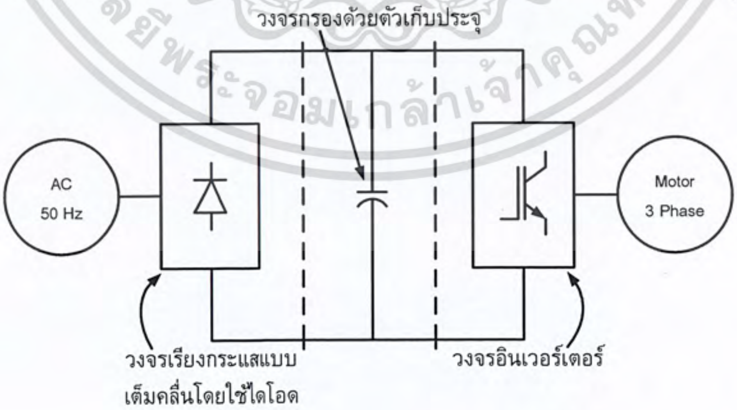
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน โดยเนื้อหาหลัก ๆ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับอินเวอร์เตอร์ เนื้อหาในส่วนนี้จะเน้นให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในแบบต่าง ๆ โดยจะเน้นเป็นพิเศษในส่วนของอินเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ จากนั้นจะเข้าสู่เนื้อหาในส่วนที่สอง ในส่วนนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีในการวินิจฉัยความผิดพร่องแบบต่าง ๆ โดยจะเน้นในส่วนของวิธีวินิจฉัยความผิดพร่องโดยใช้เทคนิค Absolute Normalized DC Current Method ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป

2.2 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงกลับสัญญาณจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่หรือคาบวัฏจักรของสัญญาณ (ดิวตี้ไซเคิล) ได้ โดยมีแผนผังการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.1 กล่าวคือแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังวงจรเรียงกระแสซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ต่อเป็นแรงดันขาเข้าเข้าไปในวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือกความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการ วงจรอินเวอร์เตอร์จะประกอบด้วยมอสเฟตกำลัง 6 ชุด โดยทั่วไประบบอินเวอร์เตอร์สามารถแยกออกตามชนิดของอินเวอร์เตอร์ได้ 2 ประเภทคือ



ภาพที่ 2.1 แผนผังของระบบอินเวอร์เตอร์
เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

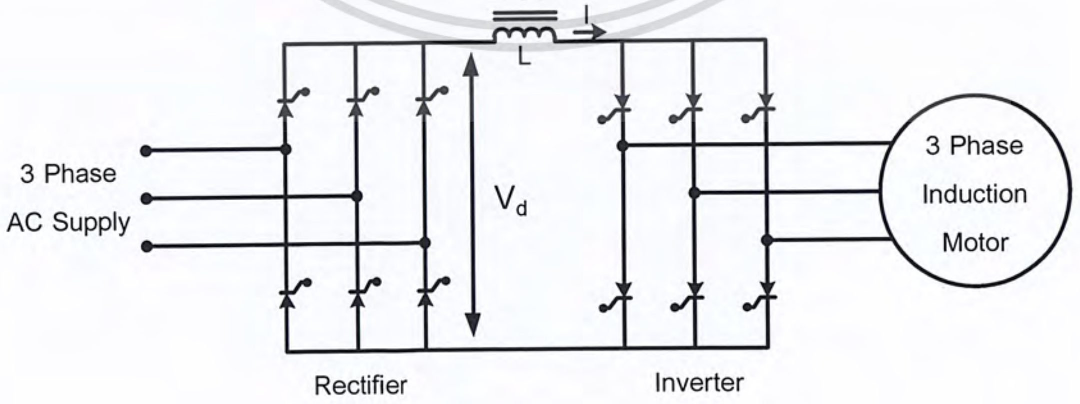
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (current – source inverter : CSI)
- อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (voltage – source inverter : VSI)

โดยอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบนี้จะให้คุณสมบัติและลักษณะของรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่แตกต่างกันและเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปด้วย

2.2.1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส

วงจรกำลังของแหล่งจ่ายกระแส (current – source inverter) อินเวอร์เตอร์แสดงในภาพที่ 2.2 จะประกอบด้วยไทริสเตอร์ที่สามารถควบคุมได้ โดยการควบคุมเฟสของไฟฟ้ากระแสสลับและยังมีตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ต่ออนุกรมอยู่ แต่ไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่ด้วยเพื่อสร้างแหล่งจ่ายกระแสให้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของโครงสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแรงดัน (voltage – source inverter) และในส่วนของอินเวอร์เตอร์จะมีไทริสเตอร์เพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ รูปร่างของกระแสที่จ่ายออกทางขาออก จะขึ้นอยู่กับรูปแบบ (pattern) ของการควบคุมที่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งอาจจะเป็น Six Step หรือ PWM ก็ได้ แต่ลักษณะของแรงดันขาออกจะมีรูปร่างเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากแบบจ่ายแรงดันในเรื่องของรูปคลื่น นอกจากนี้แรงดันทางด้านขาออกจะยังเกิดสไปค์ เนื่องจากการคอมมิวเตทด้วย ซึ่งอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีมากมายดังที่ได้กล่าวมาแล้วสำหรับอินเวอร์เตอร์จ่ายกระแส (current – source inverter) แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอีกมากคือ ช่วงความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ค่อนข้างต่ำและไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะไร้โหลด ซึ่งต้องมีกระแสโหลดอย่างน้อยที่สุดที่จะทำให้มีการคอมมิวเตทในอินเวอร์เตอร์ได้ นอกจากนี้ขนาดของวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรง



ภาพที่ 2.2 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุของการคอมมิวเตทจะมีขนาดใหญ่ ทำให้อินเวอร์เตอร์แบบนี้ค่อนข้างมีราคาแพง การตอบสนองของการขับเคลื่อน (drive) นี้ค่อนข้างช้าและมีแนวโน้มจะมีปัญหาของการมีเสถียรภาพที่โหลดต่ำ

เนื่องจากโครงงานนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน (voltage – source inverter) ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเป็นส่วนใหญ่ จึงขอกล่าวรายละเอียดอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น

2.2.2 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน

โครงสร้างแรงดันเชื่อมโยงไฟตรงมีขนาดตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก อาจจะกล่าวได้ว่าแรงดันขาเข้าของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ ทำให้แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์คงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลดและโดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันนั้นเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. อินเวอร์เตอร์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม หรืออินเวอร์เตอร์รูปคลื่นขั้นบันได
2. อินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์

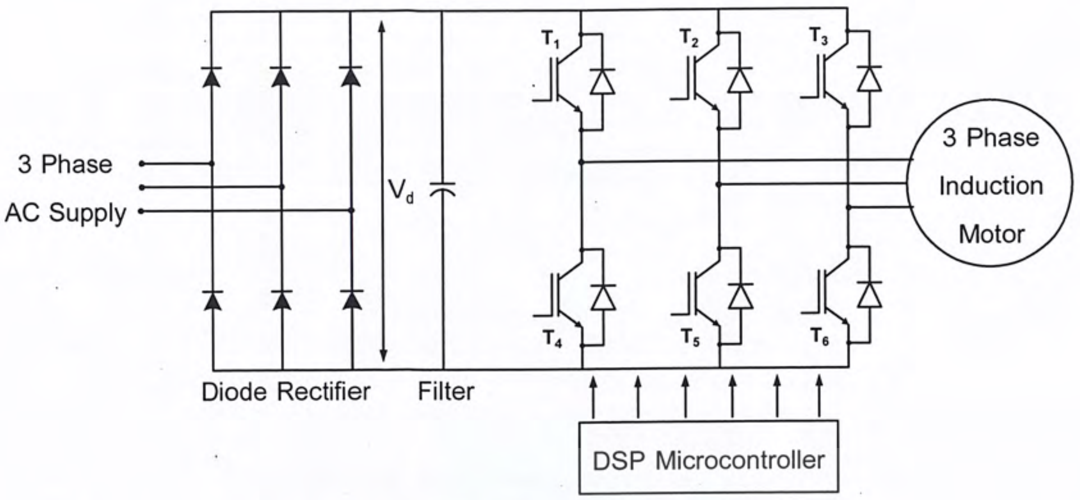
เนื้อหานี้จะกล่าวในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเท่านั้น ก็คืออินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (pulse width modulation inverter) จะมีข้อดีคือสามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้ง่าย ปรับความถี่ได้ในย่านกว้าง

2.2.3 อินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ในส่วนของแรงดันเชื่อมโยงทางไฟตรง โดยทั่วไปจะใช้เรคติไฟเออร์ที่เป็นไดโอด ทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส แรงดันเชื่อมโยงทางไฟตรงขึ้นอยู่กับแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้า ซึ่งไม่สามารถควบคุมแรงดันไฟตรงได้ ส่วนความถี่และแรงดันขาออกแรงดันมูลฐาน สามารถควบคุมโดยใช้เทคนิคและความสัมพันธ์ของตัวแปรของ PWM แต่ละชนิด ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในส่วนต่อไป สำหรับเทคนิค PWM นี้จะทำให้แรงดันด้านออกที่มีองค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับต่ำน้อยลง แต่จำนวนครั้งของการสวิตซ์สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีปัญหาการสวิตซ์ซิ่ง แต่จะใช้งานได้ดีในย่านความถี่ต่ำทำให้แรงบิดเริ่มต้นมีค่าสูงและลดปัญหาการกระเพื่อมของแรงบิด

จากภาพที่ 2.3 เป็นการแสดงลักษณะโครงสร้างของ PWM อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน โดยรับแรงดัน 3 เฟส จากแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าผ่านวงจรเรียงกระแสแบบไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 วงจรกำลังของ PWM อินเวอร์เตอร์

ซึ่งเป็นวงจรสร้างแรงดันไฟตรงป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์ และในส่วนของ PWM อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันนี้จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ และแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ หลักการหนึ่งที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณควบคุมสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์ก็คือจะใช้เปรียบเทียบระหว่างแรงดันควบคุมที่เป็นรูปไซน์ 3 เฟส ($V_{control}$) ที่มีเฟสต่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า และมีคุณสมบัติที่สามารถปรับขนาดให้แปรผันไปตามความถี่ได้ด้วย โดยการนำสัญญาณควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle waveform) ที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของสวิตซ์ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบที่เป็นสัญญาณพัลส์ไปควบคุมลำดับของการสวิตซ์อีกที ซึ่งการนำคลื่นไซน์ $V_{control}$ กับคลื่นสามเหลี่ยม V_{tri} มาเปรียบเทียบกัน หรือเรียกว่าการมอดูเลต จะมีอัตราการมอดูเลตโดยแบ่งออกเป็นอัตรามอดูเลตด้านขนาดและอัตราการมอดูเลตด้านความความถี่ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

อัตรามอดูเลตด้านขนาด

$$m_a = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \tag{2.1}$$

เมื่อ $V_{control}$ คือ ค่ายอดของรูปคลื่นไซน์

V_{tri} คือ ค่ายอดของรูปของรูปคลื่นสามเหลี่ยม

อัตราการมอดูเลตด้านความถี่

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \tag{2.2}$$

เมื่อ f_1 คือ ค่าความถี่มูลฐานทางขาออกของอินเวอร์เตอร์

f_s คือ ความถี่ของการสวิตซ์ซิ่งของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

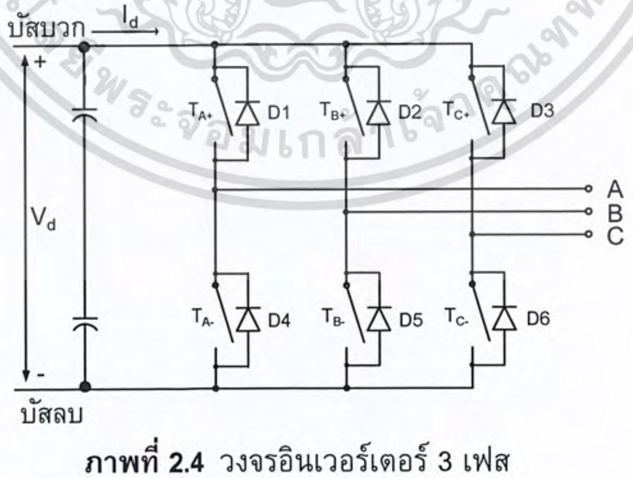
ถ้าค่า m_a อยู่ในช่วง $0 \le m_a \le 1$ จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบมูลฐานของแรงดันไฟฟ้าขาออก (fundamental – frequency component of the output voltage) โดยจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a

ถ้าค่า m_a อยู่ในช่วงที่มีค่ามากกว่า $1 (m_a>1)$ จะเป็นช่วงการควบคุมแบบมอดูเลตเกิน ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์สูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น

อย่างไรก็ตามข้อเสียกรณีมอดูเลตเกินก็คือ ทำให้เกิดฮาร์มอนิกลำดับต่ำ ๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์มอนิกลำดับที่ 1 หรือความถี่มูลฐาน เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7 เป็นต้น ซึ่งถ้านำไปใช้งานจะเกิดผลเสียมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำเพราะฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7 จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและทำให้เกิดความเร็วหลายความเร็วในเวลาเดียวกันทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนไม่สม่ำเสมออาจเกิดผลเสียต่อสมรรถนะของมอเตอร์ได้

2.2.4 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

การแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลด 3 เฟส นิยมแปลงผันกำลังไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งจะเหมาะกับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าแรงสูง เพราะถ้าหากใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวนสามชุดก็ได้ แต่ต้องใช้สวิตซ์จำนวนถึง 12 ตัว นอกจากนั้นยังต้องอาศัยวงจรควบคุมที่ทำให้แต่ละเฟสต่างกัน 120 องศาของความถี่มูลฐาน จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวน 3 ตัว จึงมีการพัฒนาอินเวอร์เตอร์สามเฟสขึ้นมาใช้ที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ทั้งขนาดและความถี่ ซึ่งมีลักษณะวงจรดังภาพที่ 2.4 จะเห็นว่ามีจำนวนสวิตซ์และไดโอดจำนวนอย่างละ 6 ตัว และประกอบด้วย 3 กิ่งหรือ 3 เฟส



ภาพที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสแบบปรับความกว้างพัลส์

อินเวอร์เตอร์สามเฟสจะคล้ายกับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว แรงดันไฟฟ้าขาออกที่สามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่ เพื่อที่จะให้ได้แรงดันขาออกที่สมดุลและมีเฟสต่างกัน 120 องศาของความถี่มูลฐาน จึงต้องใช้รูปคลื่นสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับแรงดันควบคุมรูปไซน์ที่แตกต่างกัน 120 องศา ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสจะพิจารณาฮาร์มอนิกเน้นเฉพาะค่าแรงดันระหว่างไลน์ (line – to – line voltage) เริ่มจากฮาร์มอนิกของแรงดันเฟส (V_{AN}) ซึ่งจะมีค่าฮาร์มอนิกเลขคี่เกิดขึ้นที่ค่าไซน์แบนด์ของ m_f และที่จำนวนเท่าของ m_f โดยค่าแรงดัน V_{AN}, V_{BN} จะมีเฟสต่างกัน 120 องศา ทำให้แรงดันไฟฟ้าจะไม่มีฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 หารลงตัวที่เป็นเลขคี่ เช่น ฮาร์มอนิกส์ที่ 3, 9, 15, 21 เป็นต้น นอกจากนี้ในกรณีแรงดันเฟสที่มีโหลดสมดุล ค่าแรงดันไลน์จะไม่มีฮาร์มอนิกส์เลขคู่ เช่น ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 2, 4, 6, 8 เป็นต้น

สามารถสรุปส่วนสำคัญของอินเวอร์เตอร์สามเฟสได้ดังนี้

1. ที่ค่า $m_f \leq 21$ หากต้องการกำจัดฮาร์มอนิกส์เลขคู่จะต้องใช้การสวิตซ์ชิ่งแบบ PWM ที่ซิงโครนัส หมายถึง m_f ต้องเป็นจำนวนเต็มและความถี่หลักมูลจะเริ่มจนจบคาบ พร้อมกับการสวิตซ์ชิ่งของรูปคลื่นสามเหลี่ยม และค่า m_f เป็นจำนวนเลขคี่

2. ที่ค่า $m_f \geq 21$ ฮาร์มอนิกส์ย่อยที่เกิดจากการสวิตซ์ชิ่งแบบ PWM ที่ไม่ซิงโครไนส์ m_f ต้องไม่เป็นจำนวนเต็ม จะมีค่าน้อย แต่ต้องตระหนักถึงว่าควรหลีกเลี่ยงการสวิตซ์ชิ่งแบบ PWM ที่ไม่ซิงโครไนส์เพราะจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ย่อยที่ใกล้ความถี่มูลฐาน

3. ที่ค่า $m_a>1$ หากไม่พิจารณาค่าของ m_f จะมีผลเช่นเดียวกับกรณีที่ 1

3.1 อินเวอร์เตอร์สามเฟสทำงานในย่านมอดูเลตเชิงเส้น ($m_a \leq 1$)

ในย่าน $m_a \leq 1$ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลในหนึ่งกิ่งหรือหนึ่งเฟส จะเท่ากับสมการดังต่อไปนี้

$$\hat{V}_{AN} = m_a \cdot \frac{V_d}{2} \quad (2.3)$$

เมื่อ $m_a \leq 1$

ดังนั้นแรงดันไลน์ที่ความถี่หลักมูลซึ่งต่างเฟสกัน 120 องศา สามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้

$$V_{LL1} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \hat{V}_{AN1} \quad (2.4)$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} m_a V_d$$

$$\approx 0.612 m_a V_d$$

เมื่อ $m_a \leq 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของการทำงานย่านมอดูเลต หากมีแหล่งจ่ายแรงดันเชื่อมโยงมีค่า 311 โวลต์ เมื่อปรับ $m_a = 0.5$ จะได้แรงดันระหว่างสายของระบบไฟฟ้าเฟสเดียว คือ $0.612 \times 0.5 \times 311 = 65.17$ โวลต์ หมายถึงแรงดันที่ความถี่หลักมูล = 95.17 โวลต์ เมื่อปรับเป็น 1 หรือจำนวน 2 เท่า แรงดันก็จะเพิ่มเป็น 2 เท่าด้วยเช่นกัน

3.2 อินเวอร์เตอร์สามเฟสเมื่อทำงานในย่านโอเวอร์มอดูเลต ($m_a>1$)

ในย่าน ($m_a>1$) อธิบายการทำงานเหมือนกับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายที่ความถี่หลักมูลหารกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{LL1}/V_d) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.612 ถึง 0.78 สำหรับการทำงานในย่านโอเวอร์มอดูเลตมีข้อดีคือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลจะมีค่าสูงกว่าในกรณีย่านเชิงเส้น ($m_a \leq 1$) แต่การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าจะไม่เป็นเชิงเส้นจนถึงค่าค่าหนึ่ง ข้อเสียของการทำงานในย่านโอเวอร์มอดูเลตคือทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ลำดับต่ำๆ ที่อยู่ใกล้ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่หนึ่ง

2.3 วิธีวินิจฉัยเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์

เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรขึ้นกับคอนเวอร์เตอร์ กระแสเฟสที่เกิดความผิดพร่องนั้นจะหายไปครึ่งคาบ ซึ่งจะเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบนั้น ก็ขึ้นอยู่กับว่าสวิตซ์ในแถวบนหรือแถวล่างหายไป โดยลักษณะของรูปคลื่นกระแสนั้นจะคล้ายกับรูปคลื่นที่ได้จากวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ซึ่งการหายไปครึ่งไซเคิลของกระแสจะไปเพิ่ม offset ของกระแสทั้งสามเฟสทำให้มีฮามอนิกเพิ่มขึ้น ซึ่งฮามอนิกดังกล่าวอาจทำให้การอิ่มตัวของหม้อแปลงได้ ถึงแม้ว่าการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรนั้นจะไม่ได้ก่อความเสียหายอย่างทันทีทันใดกับตัวคอนเวอร์เตอร์ แต่ความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรที่เกิดขึ้นก็สามารถที่จะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงต่อตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้ โดยทั่วไป การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์นั้นจะทำให้เกิดการแกว่งของแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (Te) ซึ่งผลดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดการแกว่งของความเร็วที่ความถี่ต่ำตามมา นอกจากนี้ การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรยังทำให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ของด้านสเตเตอร์ด้วย ในกรณีของการเกิด ความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรกระแสของเฟสที่เกิดความผิดพร่องจะเป็นได้เพียงค่าบวก หรือค่าลบเท่านั้น

ด้วยลักษณะเฉพาะของกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่สัมพันธ์กับสวิตซ์แต่ละตัว ทำให้เราสามารถนำค่ากระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องมาวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่อง วิธีการในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดเปิดวงจร ในปัจจุบันนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีนั้นก็จะมีขั้นตอนวิธีการ ข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป วิธีการในการตรวจวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรจะมีอยู่ด้วยกันดังนี้

- Park's Vector Method [3]
- The Slope Method [3]
- Control Deviation Method [3]
- Normalized DC Current Method [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Modified Normalized DC Current Method [3], [4]
- Simple Direct Current Method [3]
- Absolute Normalized DC Current Method [5]

จากวิธีหาความผิดพร่องที่กล่าวมานั้นวิธี Slope Method เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพน้อยสุด เนื่องจากใช้เวลาในการหาความผิดพร่องนานเพราะภายใต้สภาวะที่กระแสปกติ The Slope Method มีค่าบางค่าอยู่ในช่วงของการแจ้งเตือนความผิดพร่อง ส่วนวิธี Modified Normalized DC Current Method นั้นจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี Slope Method เนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่า และผลที่ได้นั้นชัดเจน ไม่คลุมเครือเหมือนกับวิธี Slope Method แต่หากเปรียบเทียบกันระหว่างวิธี Absolute Normalized DC Current Method กับวิธี Modified Normalized DC Current Method แล้ว วิธี Absolute Normalized DC Current Method จะตรวจจับความผิดพร่องได้เร็วกว่า เพราะว่าวิธีนี้นั้นสามารถตรวจจับได้เร็วกว่าวิธี Modified Normalized DC Current Method ในสภาวะที่กระแสเป็นปกติ และเมื่อกระแสนั้นหายไปครึ่งคาบ วิธี Absolute Normalized DC Current Method จะสามารถตรวจจับความผิดปกติได้เร็วกว่าส่วนข้อเสียของวิธี Absolute Normalized DC Current Method นี้มีการทำงานที่ดีอยู่ในช่วงทุกความถี่ แต่ข้อเสียก็คือเมื่ออยู่ในช่วงของความถี่ที่เข้าใกล้ศูนย์เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจจับความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรแล้วนั้น ถ้าความเร็วของโรเตอร์ของเครื่องจักรไฟฟ้าเข้าสู่ความเร็วซิงโครนัสค่าของ Normalized DC current นั้นจะมีค่าเกินช่วงของ 0.45 และ -0.45 และวิธีนี้ยังมีความล่าช้าของการคำนวณค่าของ Normalized DC current และเวลาของการหน่วงเวลานี้จะเพิ่มเวลาของการตรวจจับการเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่ความถี่อื่น

2.3.1 Park's Vector Method

วิธี Park's Vector Method เป็นวิธีวินิจฉัยความผิดพร่องโดยใช้ค่าเฉลี่ยมากกว่า 1 คาบในองค์ประกอบ $\alpha\beta$ คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2.5 เพื่อหาค่าตัวแปรในการวินิจฉัย (μ_v) สำหรับระบบที่ไม่มีความผิดพร่องชนิดเปิดวงจร ค่าสเปซเวกเตอร์ของกระแสจะวิ่งเป็นวงกลมและค่าเฉลี่ยของกระแสจะมีค่าเป็นศูนย์ โดยที่ค่าเฉลี่ยจำเป็นต้องได้รับค่ามากกว่า 1 คาบ ดังแสดงในสมการที่ 2.6 ผลลัพธ์ของค่าสเปซเวกเตอร์สามารถอธิบายได้โดยขนาดและมุม ดังสมการที่ 2.7 และ 2.8 ถ้าขนาดมีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ ความผิดพร่องจะถูกตรวจจับ สวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องสามารถระบุได้โดยเปรียบเทียบค่ามุมในตารางที่ 1

$$\mu_v = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N} I_v(k\tau) \tag{2.5}$$

$$\mu = |\bar{\mu}| = \sqrt{\mu_\alpha^2+\mu_\beta^2} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\arg\{\underline{\mu}\} = \arctan\left(\frac{\mu_\beta}{\mu_\alpha}\right) \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{f_{mains}} = N\tau \quad (2.8)$$

$$v \in [\alpha,\beta] \quad (2.9)$$

***ตารางที่ 2.1** ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี* Park's Vector Method

Transistor	Magnitude	Argument (deg)
T1	Exceed Threshold	150 to 210
T2		210 to 270
T3		270 to 330
T4		330 to 30
T5		30 to 90
T6		90 to 150

2.3.2 The Slope Method

เมื่อพิจารณาแนวทางเดิน (Trajectory) ของกระแสหลังจากแปลงแกนด้วยวิธีการแปลงปาร์ก ค่าแนวทางเดินของกระแสสามารถแสดงได้ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพร่อง นั่นคือในส่วนเส้นตรงในแนวทางเดินของกระแสจะมีค่าความชันอยู่ ซึ่งค่าความชันจะขึ้นอยู่กับเฟสที่เกิดความผิดพร่องของสวิตซ์ ค่าความชัน(σ) สามารถนำมาคำนวณเพื่อใช้ในการวินิจฉัย โดยถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าเกิดความผิดพร่องที่เฟส A ถ้ามีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ แสดงว่าเกิดความผิดพร่องที่เฟส B และถ้ามีค่าเท่ากับ -$\sqrt{3}$ แสดงว่าเกิดความผิดพร่องขึ้นที่เฟส C การวินิจฉัยความผิดพร่องด้วยวิธีนี้จะสามารถระบุตำแหน่งการเกิดความผิดพร่องได้ใน $^1/_4$ คาบ

$$\sigma = \frac{\Delta i_\alpha}{\Delta i_\beta} \quad (2.10)$$

2.3.3 Control Deviation Method

การควบคุมส่วนเบี่ยงเบนซึ่งก็คือค่ากระแสที่ได้รับเมื่อค่าไม่เป็นไปตามค่าที่อ้างอิงในกรณีที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร ในการควบคุมส่วนเบี่ยงเบนสามารถคำนวณค่าได้ในองค์ประกอบ dq ค่าส่วนเบี่ยงเบนที่มากที่สุดจะบอกข้อมูลตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องได้ สำหรับการตรวจจับ ใน 1 คาบของความถี่มูลฐานนั้นจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการประมวลผล ค่าความผิดพร่องของสวิตซ์นั้นสามารถสรุปได้โดยค่าตัวแปรวินิจฉัย κ ซึ่งเมื่อค่า κ มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงมีความผิดพร่องเกิดขึ้นที่สวิตซ์

ตารางที่ 2.2 ตารางระบุสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Control Deviation Method

Transistor	Magnitude	Argument (deg)
T1	> 0.5	330 to 30
T2		210 to 270
T3		90 to 150
T4		150 to 210
T5		30 to 90
T6		270 to 330

$$\Delta I = \sqrt{\left(I_{d,ref}-I_d\right)^2+\left(I_{q,ref}-I_q\right)} \qquad (2.11)$$

$$c_v = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}|\Delta I(k\tau)|e^{j\frac{2\pi vk}{N}} \qquad (2.12)$$

$$\kappa = \left|\frac{c_1}{c_0}\right| \qquad (2.13)$$

$$\arg\{c_1\} = \arctan\left(\frac{I\{c_1\}}{R\{c_1\}}\right) \qquad (2.14)$$

2.3.4 Normalized DC Current Method

วิธีนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Abramik [4] ด้วยการใช้ค่าองค์ประกอบตรงของกระแส (μ) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณมากกว่า 1 คาบ ในการจะหาค่าตัวแปรวินิจฉัย ต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์ของกระแส ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.16 และ 2.17 แล้วนำไปคำนวณหาค่าตัวแปรวินิจฉัยได้ในสมการที่ 2.15

$$\gamma_v = \frac{\mu_v}{\sqrt{a_{1,v}^2+b_{1,v}^2}} \qquad (2.15)$$

$$a_{1,v} = \frac{2}{N}\sum_{k=i-N+1}^{i} I_v(k\tau)\cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=i-N+1}^{i} I_v(k\tau) \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (2.17)$$

$$d_{1,i} = \begin{cases} 1:\gamma_i > 0 \\ 0:\gamma_i \leq 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

$$d_{2,i} = \begin{cases} 1:|\gamma_i| > 0.45 \\ 0:|\gamma_i| \leq 0.45 \end{cases} \quad (2.19)$$

$$v \in [a,b,c] \quad (2.20)$$

ในการตัดสินว่าความผิดพร่องที่เกิดขึ้นเกิดที่สวิตซ์ตำแหน่งใดจะใช้ตารางที่ 2.3 และสมการที่ 2.18 กับ 2.19 ในการหาค่า วิธีในการวินิจฉัยความผิดพร่องวิธีนี้เป็นวิธีต้นฉบับในการควบคุมแบบวงเปิด

ตารางที่ 2.3 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Normalized DC Current Method

Transistor	$d_{1,a}$	$d_{1,b}$	$d_{1,c}$	$d_{2,a}$	$d_{2,b}$	$d_{2,c}$
T1	1	0	0	1	0	0
T2	0	1	0	0	1	0
T3	0	0	1	0	0	1
T4	0	1	1	1	0	0
T5	1	0	1	0	1	0
T6	1	1	0	0	0	1

2.3.5 Modified Normalized DC Current Method

วิธีการ Modified Normalized DC Current Method จะใช้หลักการเช่นเดียวกับวิธี Normalized DC Current Method แต่จะมีวิธีที่จะระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องได้โดยใช้ค่าตัวแปรที่น้อยกว่าดังที่แสดงในตารางที่ 2.4 ช่องในตารางที่ว่างเปล่าหมายถึงสถานะของทั้งคู่นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Modified Normalized DC Current Method

Transistor	$d_{1,a}$	$d_{1,b}$	$d_{1,c}$	$d_{2,a}$	$d_{2,b}$	$d_{2,c}$
T1	1			1		
T2		1			1	
T3			1			1
T4	0			1		
T5		0			1	
T6			0			1

2.3.6 Simple Direct Current Method

สำหรับวิธีปกติที่ใช้ค่าองค์ประกอบโดยตรงในการคำนวณหาความผิดพร่องที่เกิดขึ้น โดยไม่ใช้วิธีการแปลงแกนของ Park's Vector Transformation หรือวิธี Normalization ค่าองค์ประกอบโดยตรงที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่า δ ซึ่งจะสามารถระบุตำแหน่งได้ดังตารางที่ 2.5 ในกรณีที่ค่าองค์ประกอบโดยตรงมีค่าน้อยกว่าค่า δ ค่าสัมบูรณ์ที่มีค่ามากที่สุดจะถูกนำมาพิจารณา

ตารางที่ 2.5 ตารางระบุตำแหน่งสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องโดยวิธี Simple Direct Current Method

Transistor	μ_a	μ_b	μ_c
T1	$> \delta$		
T2		$> \delta$	
T3			$> \delta$
T4	$<- \delta$		
T5		$<- \delta$	
T6			$<-\delta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.7 Absolute Normalized DC Current Method

วิธี Absolute Normalized DC Current Method เป็นวิธีที่วินิจฉัยความผิดพร่องที่ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของค่ากระแสแต่ละเฟส แทนที่จะใช้แต่ส่วนของความถี่หลักมูลของกระแสเท่านั้น เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น กระแสของเฟสที่เกิดความผิดพร่องจะหายไปครึ่งรูปคลื่น แต่จะเป็นครึ่งบวกที่หายไป หรือครึ่งลบที่หายไปก็ขึ้นอยู่กับว่าสวิตซ์ไหนของเฟสนั้นที่เกิดความผิดพร่อง โดยปกติหากไม่ได้เกิดความผิดพร่องค่าเฉลี่ยของกระแสที่ได้จะเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความผิดพร่องเกิดขึ้นค่าเฉลี่ยของกระแสที่เกิดความผิดพร่องจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง

สมการที่ใช้หาค่าตัวแปรที่จะนำมาวินิจฉัยความผิดพร่องสำหรับวิธี Absolute Normalized DC Current Method มีดังนี้

$$\lambda_v = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} |I_v|(k\tau) \tag{2.21}$$

โดยที่ I คือ กระแส

$v \in (a, b, c)$

$k = 1, 2, 3, \ldots, 64$

τ คือ คาบของการสุ่ม

$$\zeta_v = \frac{\mu_v}{\lambda_v} \tag{2.22}$$

ค่าของ ζ_v จะเป็นตัวแปรที่จะใช้พิจารณาการเกิดความผิดพร่องว่าเกิดความผิดพร่องที่เฟสใดและเกิดขึ้นที่สวิตซ์ตัวไหน ส่วนค่าของ μ_v นั้นได้จากสมการ

$$\mu_v = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} I_v(k\tau) \tag{2.23}$$

โดยที่ I คือ กระแส

$v \in (a, b, c)$

$k = 1, 2, 3, \ldots, 64$

τ คือ คาบของการสุ่ม

117500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ทั้งในเรื่องประเภทของอินเวอร์เตอร์ การทำงานของอินเวอร์เตอร์ และรวมไปถึงการวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะสามารถนำทฤษฎีที่กล่าวไปใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ ในส่วนของรายละเอียดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบจะได้กล่าวถึงในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองการตรวจจับการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร ซึ่งการออกแบบการทดลองในคอมพิวเตอร์ทำโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการสร้างแบบจำลองของคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์แบบสามเฟสและจำลองระบบที่ใช้ในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร และการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ใช้ในการทดลองการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร โดยใช้ทฤษฎีที่กล่าวถึงในบทที่ 2 เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

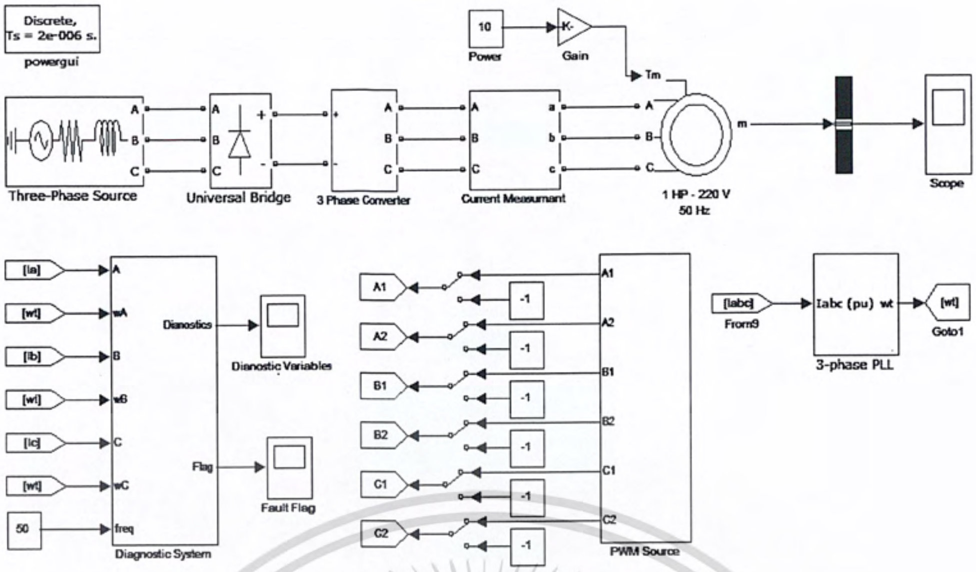
3.2 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นทำการจำลองโดยการสร้างแบบจำลองของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสและระบบตรวจจับความผิดพร่องเพื่อใช้ในการศึกษารูปคลื่นกระแสขณะเกิดความผิดพร่องในแต่ละสวิตซ์และใช้ในการศึกษาส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการวินิจฉัยความผิดพร่องก่อนที่จะนำไปสร้างชิ้นงานจริง

3.2.1 การจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสและระบบตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร

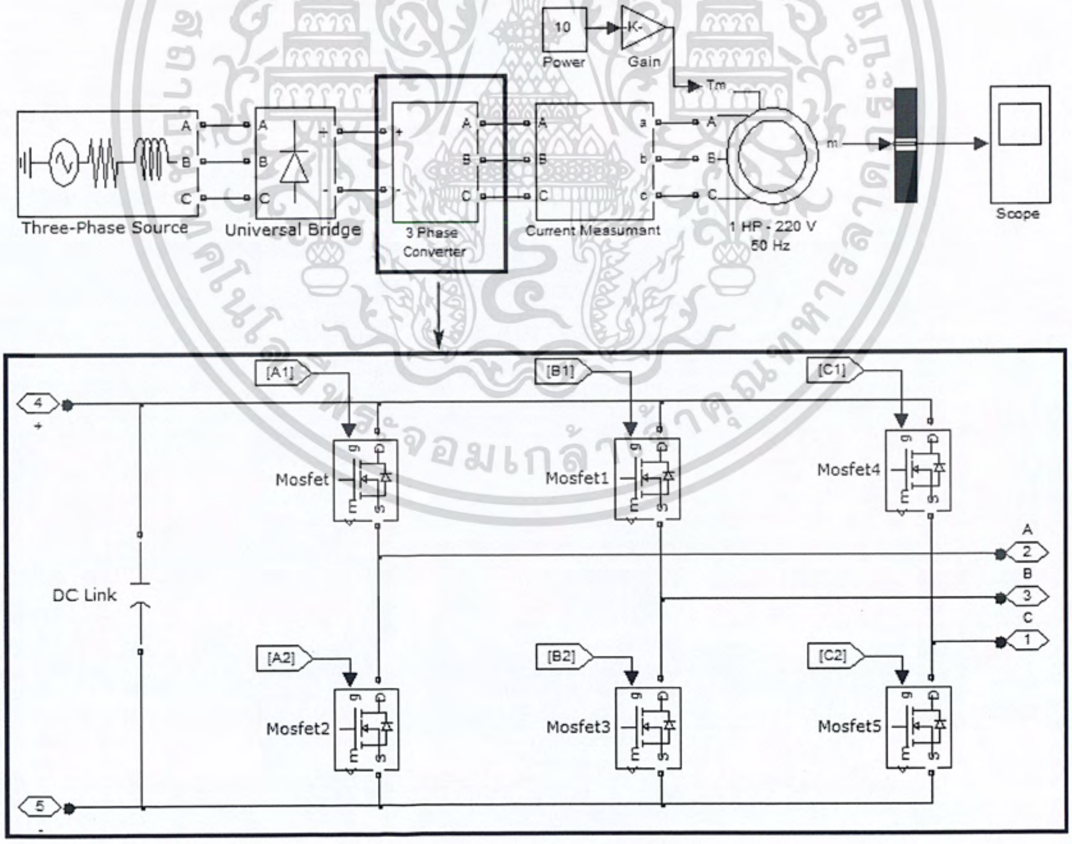
ในการจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink นั้นภาพรวมของวงจรจะแสดงได้ดังภาพที่ 3.1 โดยวงจรจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ภาค ซึ่งประกอบไปด้วยภาคของวงจรกำลัง ดังภาพที่ 3.2 และภาคของวงจรควบคุมดังภาพที่ 3.3 และภาพที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของวงจร

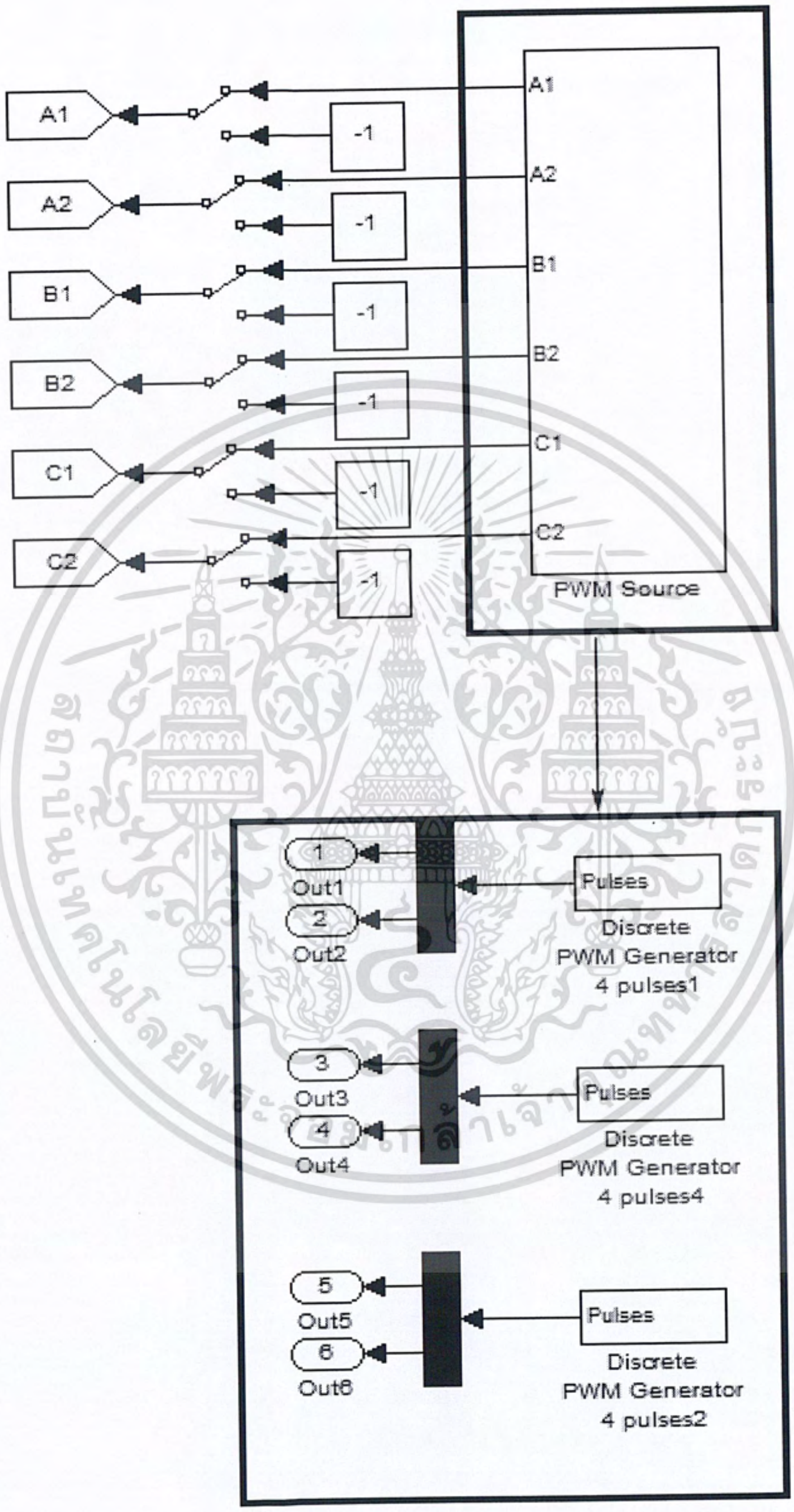
3.2.1.1 ภาคของวงจรกำลัง



ภาพที่ 3.2 วงจรกำลัง

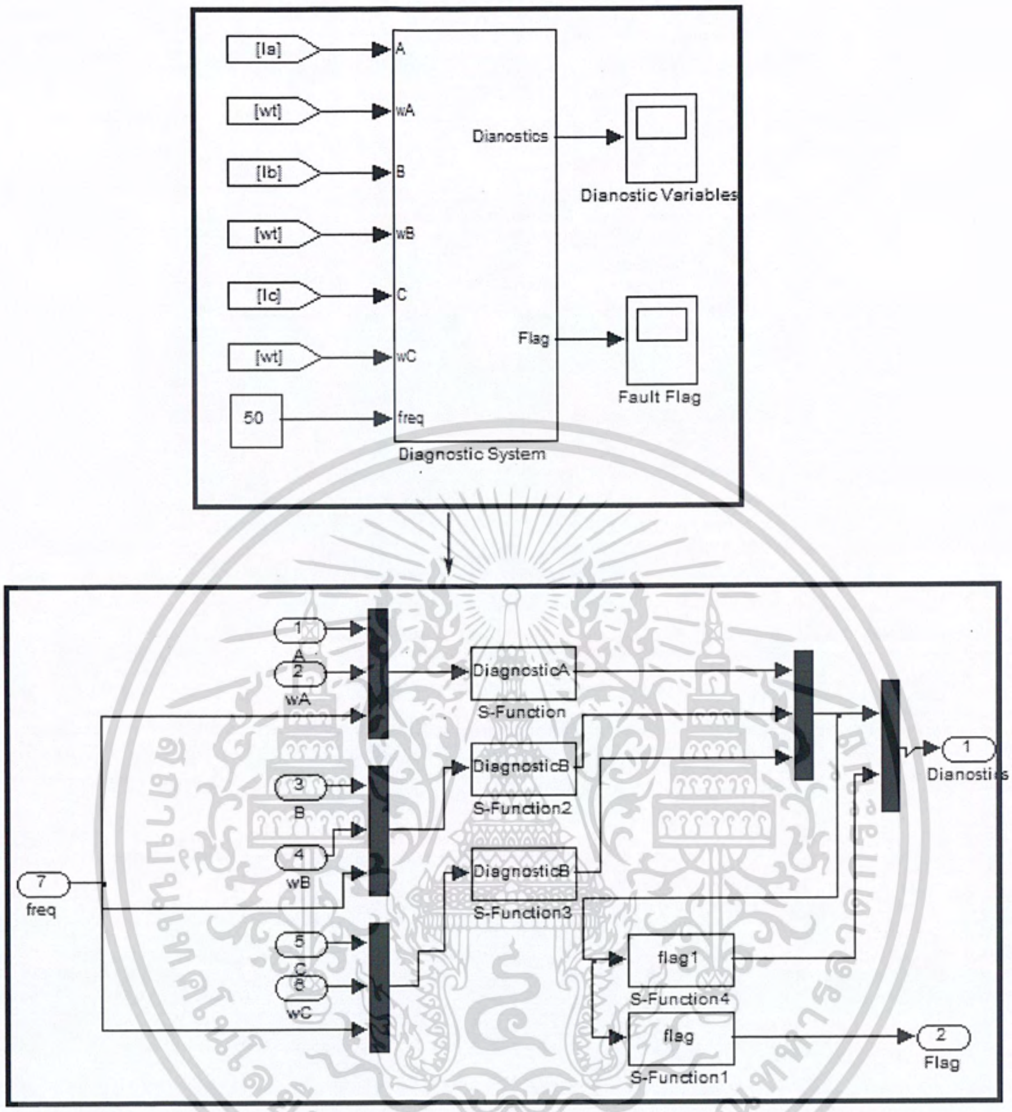
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 ภาคของวงจรควบคุม



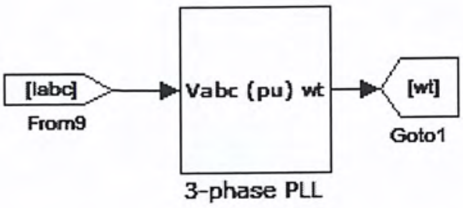
ภาพที่ 3.3 แหล่งกำเนิดสัญญาณปรับความกว้างพัลส์และสวิตช์ที่ใช้ในการจำลองการเกิดความผิดพร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 วงจรที่ใช้ในการวินิจฉัยและการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์

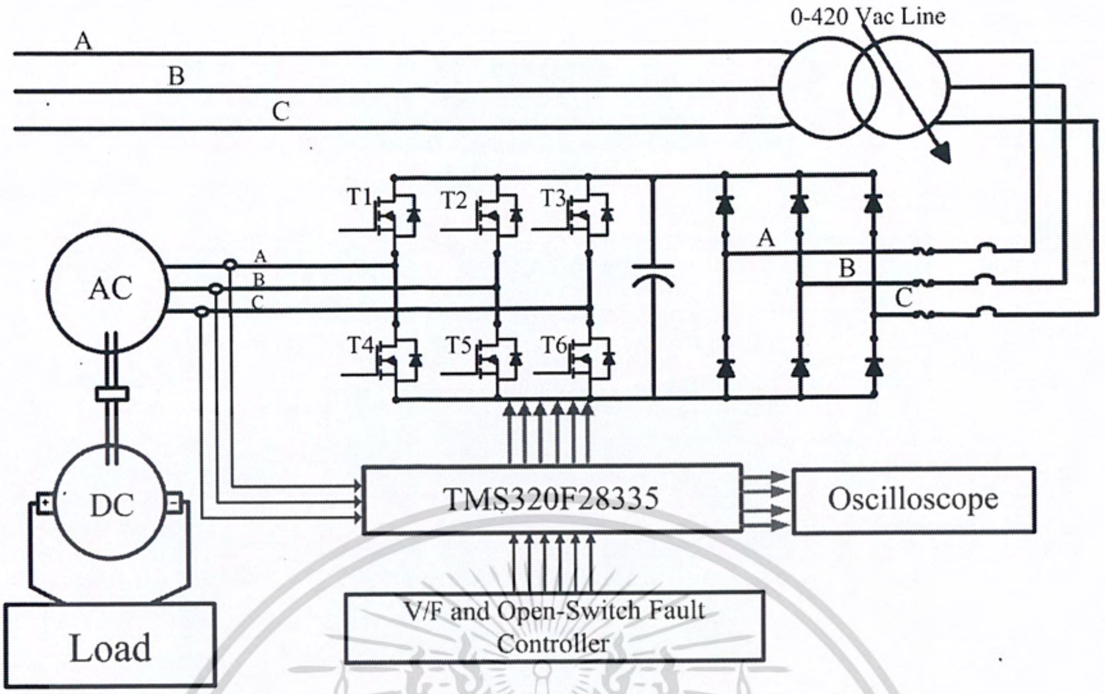
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 รูปส่วนของเฟสล็อคลูป (Phase Lock Loop)

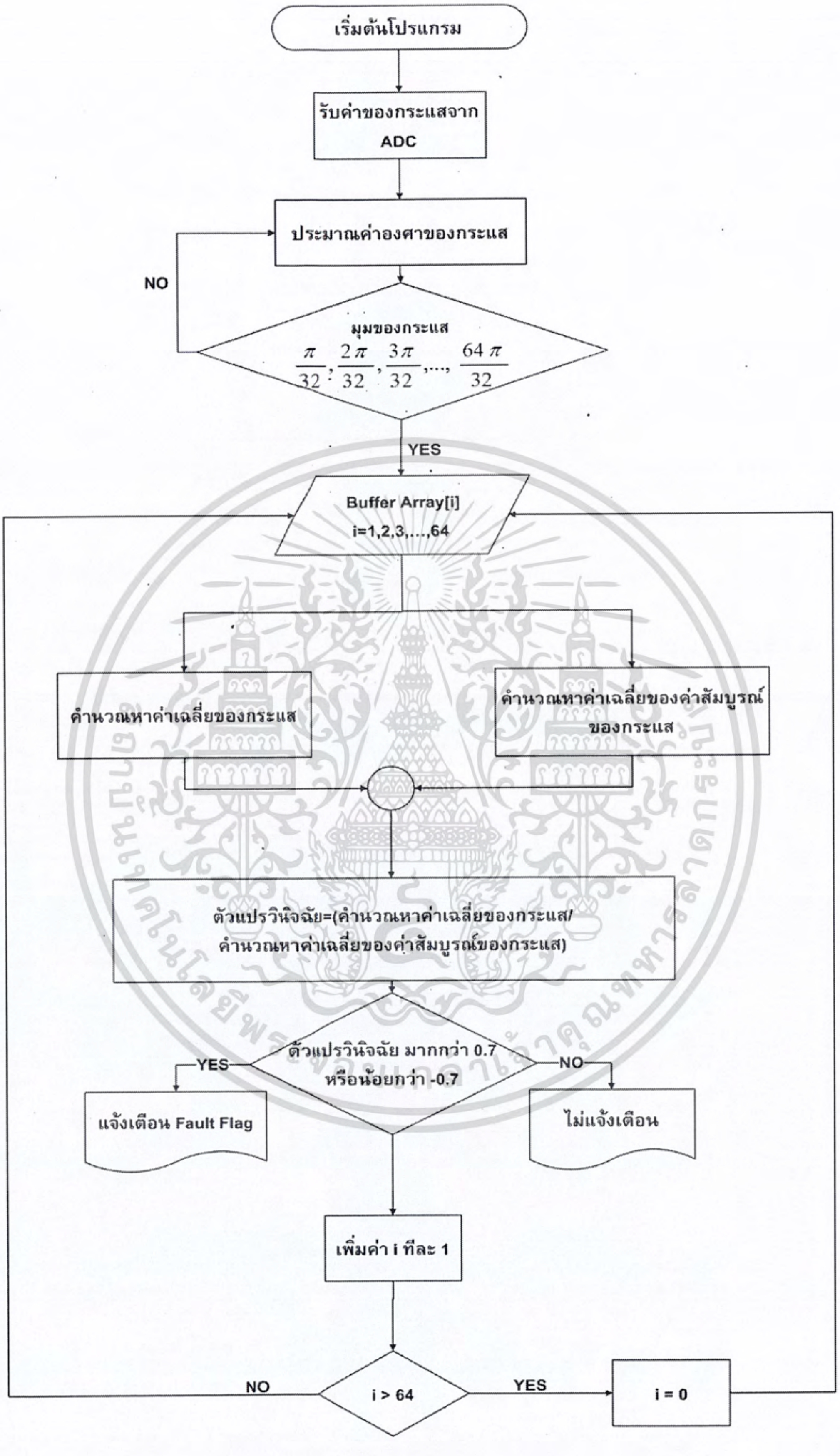
จากภาพที่ 3.4 ในส่วนของระบบวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องนั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมลงบน m-file s function เพื่อทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์โดยใช้สมการดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 โดยการตั้งค่าที่ m-file s function ให้ทำการคำนวณแบบดีสครีตโดยที่คาบของการสุ่มเท่ากับ 200 μs โดยเท่ากับคาบเวลาการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ เมื่อใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่แล้วเมื่อความถี่ของกระแสที่นำมาคำนวณเปลี่ยนไปจะทำให้ค่าของการสุ่มต่อคาบนั้นคงที่ ซึ่งในโครงงานนี้ได้กำหนดค่าของการสุ่มต่อคาบไว้ที่ 64 จุด และใช้เฟสล็อคลูป (Phase Lock Loop) โดยที่เฟสล็อคลูปนี้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปจากโปรแกรม Matlab/Simulink ดังภาพที่ 3.5 ในการประมาณค่าตำแหน่งขององศาของกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์ที่องศานั้นจะมีค่าตั้งแต่ 0-2π และค่าองศานั้นจะเป็นตัวกำหนดว่าจะให้ทำการสุ่มที่ตำแหน่งใดของกระแส และจะทำการสุ่มที่เดิมตลอดช่วงของคาบเวลาในทุกความถี่ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของแต่ละการสุ่มออกมานำมาคำนวณในสมการที่ 2.21 และ สมการที่ 2.23 จะได้ค่าตัวแปรวินิจฉัย (Diagnostic Variables) ซึ่งจะใช้ในการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร เมื่อค่า Diagnostic Variables มีค่ามากกว่า 0.7 หรือ -0.7 จะทำให้เกิดการแจ้งเตือนการเกิดความผิดพร่องของคอนเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นจะนำระบบที่ได้ออกแบบไว้ในคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้การทดลองจริง ซึ่งได้แสดงระบบที่ใช้ในการทดลองไว้ในภาพที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 ระบบที่ใช้ในการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร ในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

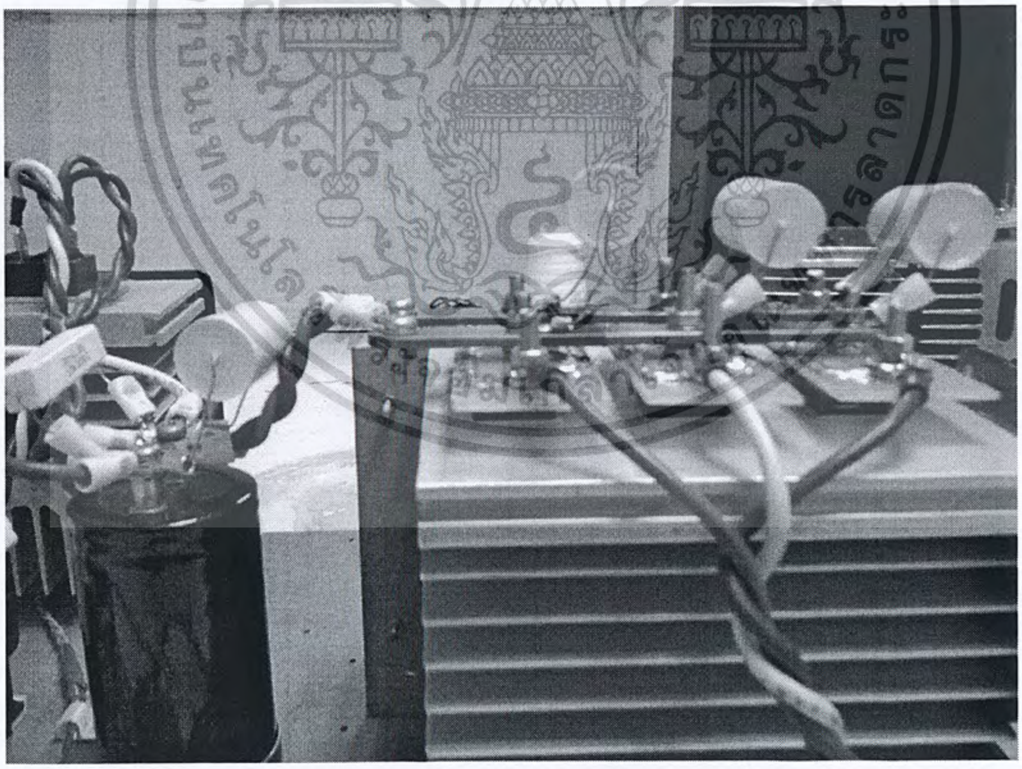
การสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์สามเฟสที่มีพิกัด 1.5 kVA, 380 V, 50 Hz จะแบ่งออกเป็น 2 ภาคคือ ภาคกำลัง และภาคควบคุม

3.3.1 ภาคกำลัง

วงจรกำลังของคอนเวอร์เตอร์สามเฟส จะประกอบไปด้วย คอนเวอร์เตอร์สามเฟส, อุปกรณ์ป้องกัน, อุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟส

3.3.1.1 คอนเวอร์เตอร์สามเฟส

วงจรของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสจะประกอบไปด้วยมอสเฟตเบอร์ IRFP460 พิกัดแรงดัน 500 V พิกัดกระแส 20 A จำนวน 6 ตัวและตัวเก็บประจุขนาด 2200 μF โดยมอสเฟตจะได้รับสัญญาณขับจากวงจรขับเกตเข้าที่ขาเกต (Gate) ของมอสเฟต ขาซอร์ส (Source) ของมอสเฟตจะต่อเข้ากับบัสไฟฟ้ากระแสตรงและเชื่อมต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด 2200 μF ซึ่งที่ตัวเก็บประจุนี้จะมีตัวเก็บประจุขนาด 224 nF และตัวต้านทาน 100 kΩ 10 วัตต์ต่อคร่อมอยู่ และในส่วนของขาเดรน (Drain) ของมอสเฟตจะต่อเข้ากับมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งลักษณะของการต่อของคอนเวอร์เตอร์สามเฟส แสดงในภาพที่ 3.8



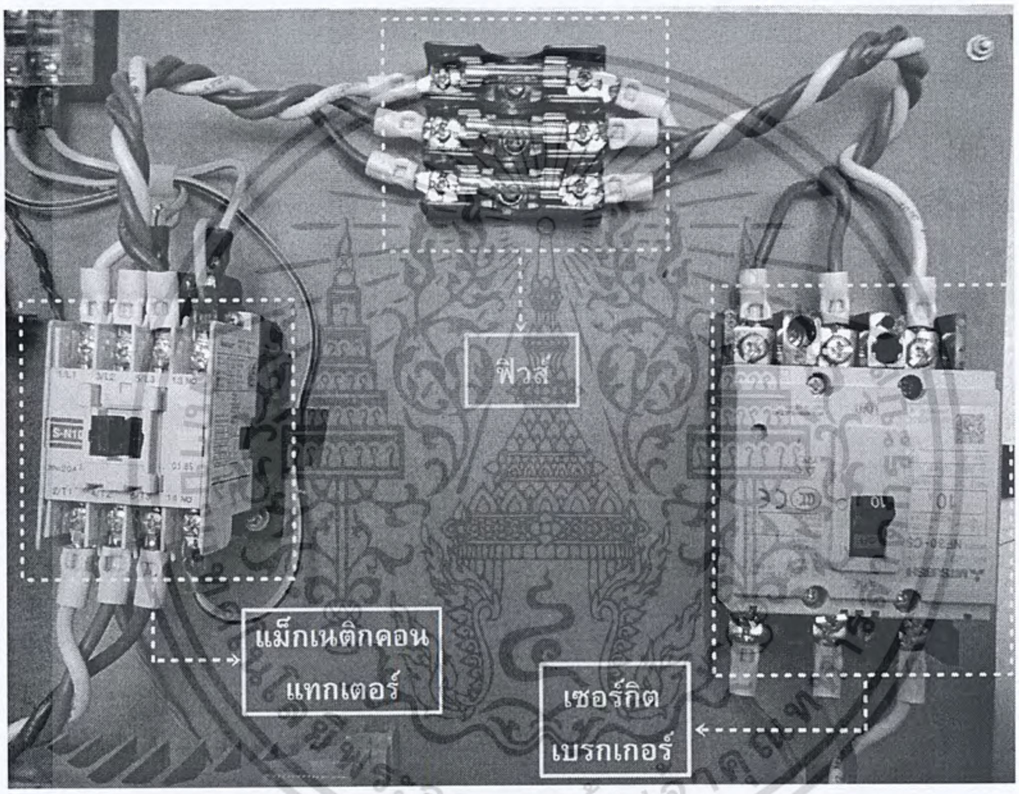
ภาพที่ 3.8 คอนเวอร์เตอร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 อุปกรณ์ป้องกัน

การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเข้าไปในระบบมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดจากความผิดพลาดของผู้วิจัยหรือ เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบ อุปกรณ์ป้องกันดังภาพที่ 3.9 จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- แม็กเนติกคอนแทกเตอร์ ขนาด 380 V, 50 Hz, 20 A ทำหน้าที่ป้องกันโหลดเกิน
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 380 V, 50 Hz, 10 A ทำหน้าที่ป้องกันโหลดเกิน และการลัดวงจร
- ฟิวส์ขนาด 10 A ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจร



ภาพที่ 3.9 อุปกรณ์ป้องกัน

3.3.1.3 อุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟส

อุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟสที่ติดตั้งเข้าไปนั้น จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยอุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟสดังที่เห็นในภาพที่ 3.10 จะมี พิกัดแรงดัน 1200 V พิกัดกระแส 30 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.10 อุปกรณ์เรียงกระแสสามเฟส

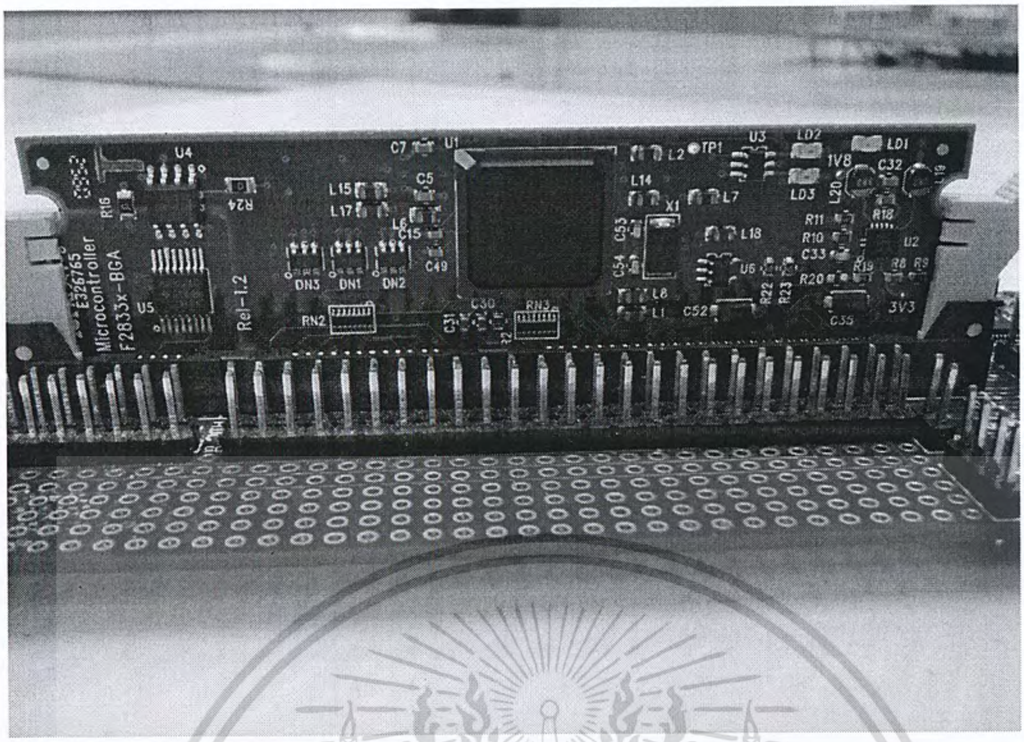
3.3.2 ภาคควบคุม

ในการออกแบบสร้างวงจรควบคุมมีวัตถุประสงค์เพื่อกำเนิดสัญญาณชนิดปรับความกว้างพัลส์ (PWM) เพื่อควบคุมสถานะเปิด ปิดของมอสเฟตในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส อีกทั้งในส่วนของภาคควบคุมยังมีวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า วงจรขับเกต วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรเชื่อมต่ออื่น ๆ ซึ่งมีหน้าที่และความสำคัญ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

3.3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการควบคุมระบบนั้นเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุม TMS320F28335 เป็นตัวควบคุมระบบ โดยใช้ภาษาซี (C language) ในการเขียนโปรแกรมควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (PWM) ที่ใช้ในการขับขาเกตของมอสเฟสในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส และตัวควบคุมดังกล่าวยังทำหน้าที่คำนวณหาความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรของคอนเวอร์เตอร์สามเฟส โดยรับค่าสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแส ภาพที่ 3.11 คืออุปกรณ์ควบคุม TMS320F28335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

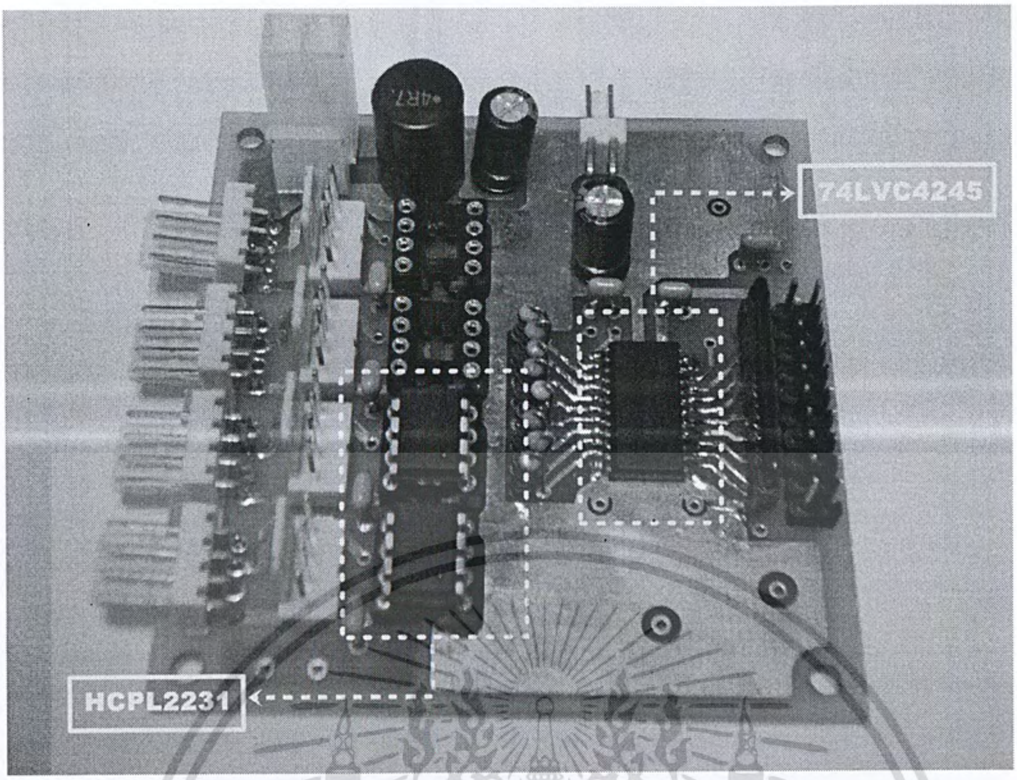


ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์ควบคุม TMS320F28335

3.3.2.2 วงจรยกระดับแรงดัน และวงจรแยกกราวนด์

สัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (PWM) ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์ควบคุม TMS320F28335 นั้นจะมีค่าแรงดันอยู่ที่ 3.3 V แต่ระดับสัญญาณขาเข้าที่ต้องการของวงจรขับเกต คือ 5 V ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ยกระดับแรงดันของสัญญาณ เพื่อยกระดับสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (PWM) ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์ควบคุม TMS320F28335 จาก 3.3 V ให้เป็น 5 V โดยไอซีที่ใช้ในการยกระดับแรงดันคือ 74LVC4245 หลังจากที่สัญญาณออกจากตัวยกระดับแรงดันแล้วจะเข้าสู่อุปกรณ์แยกกราวนด์ซึ่งจะแยกระหว่างอุปกรณ์ขับเกตกับอุปกรณ์ควบคุมออกจากกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับทางด้านอุปกรณ์ควบคุมในกรณีที่เกิดเหตุผิดปกติของระบบ ไอซีที่ใช้ในการแยกกราวน์คือ HCPL2231 โดยวงจรทั้งสองถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

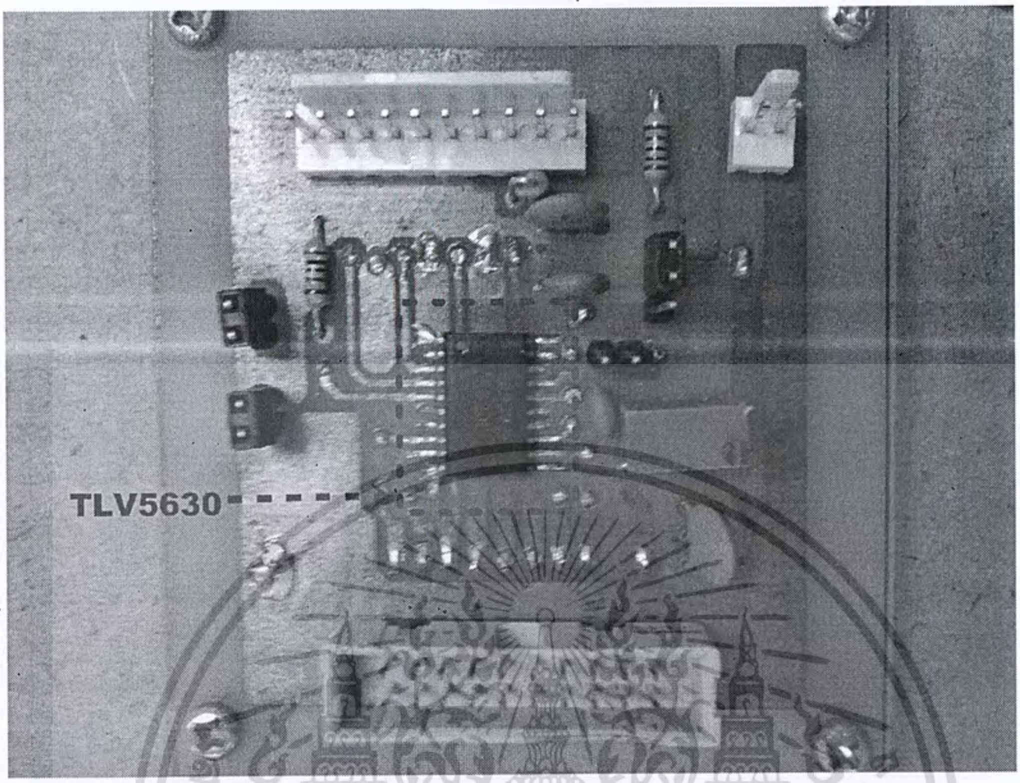


ภาพที่ 3.12 วงจรยกระดับแรงดัน และวงจรแยกกราวนด์

3.3.2.3 อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก

เนื่องจากสัญญาณออกจากอุปกรณ์ควบคุมนั้นเป็นสัญญาณดิจิตอลที่จะมีค่าได้เพียง 0 กับ 1 เมื่อต้องการดูสัญญาณที่มีค่ามากกว่า 1 บิตจะไม่สามารถดูได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอะนาล็อก เช่น สัญญาณตัวแปรการวินิจฉัยการเกิดความผิดพร่อง เป็นต้น ไอซีที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอะนาล็อกคือ TLV5630 ซึ่งมีอุปกรณ์ตามภาพที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

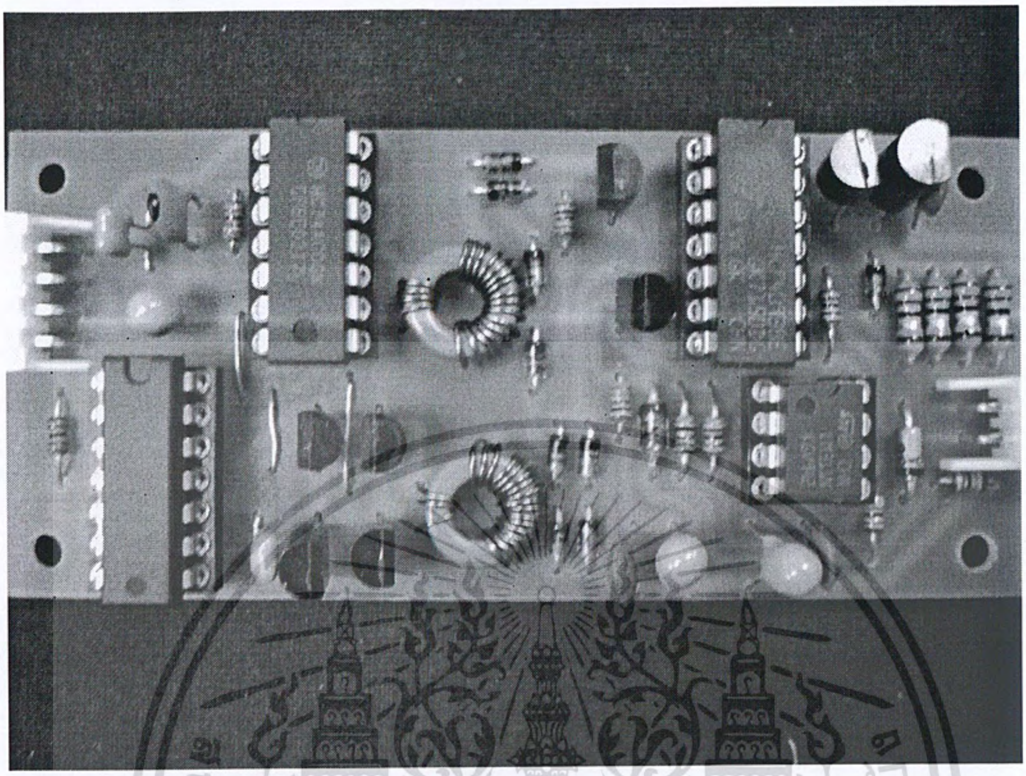


ภาพที่ 3.13 วงจรแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก

3.3.2.4 อุปกรณ์ขับเกต

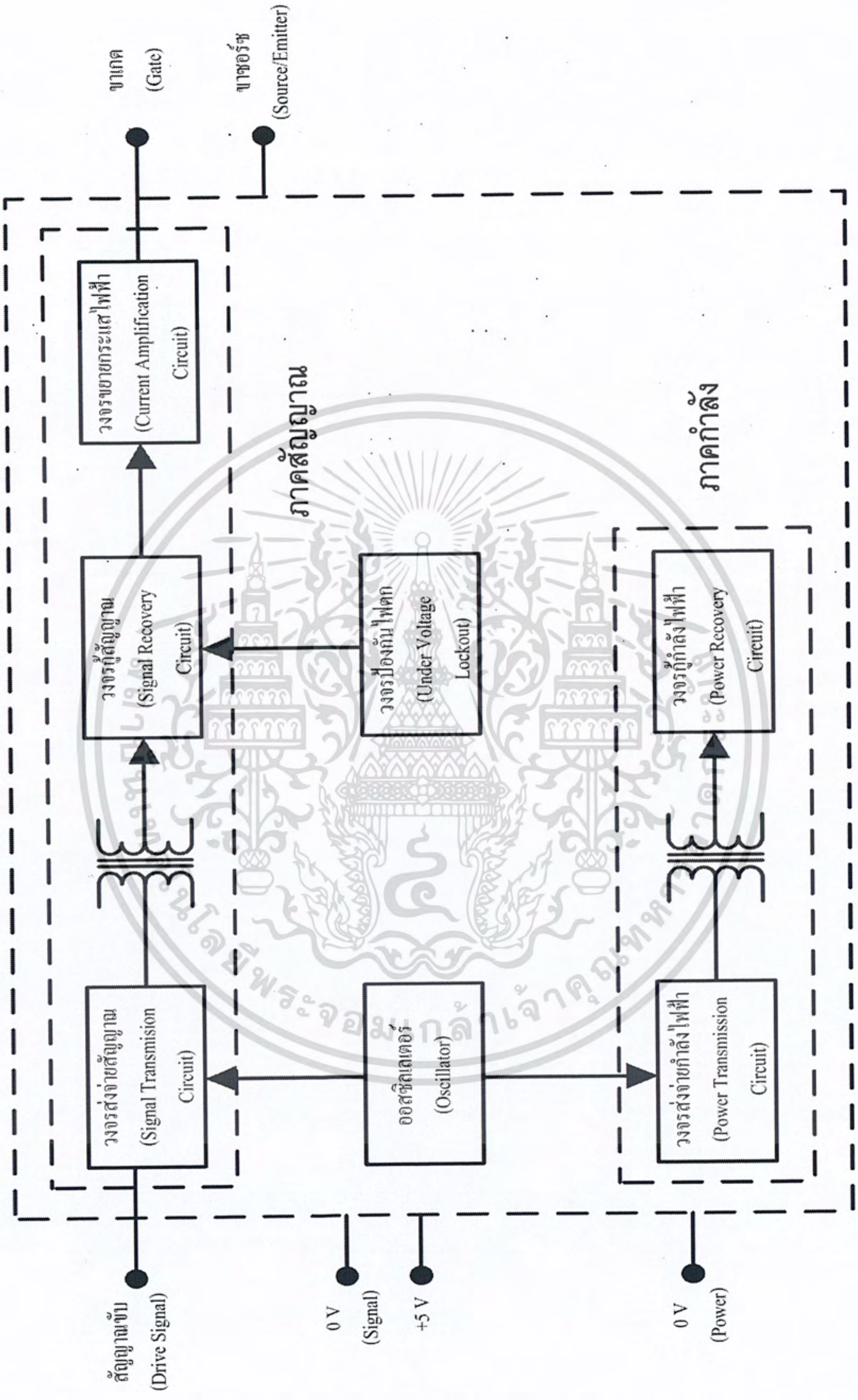
อุปกรณ์ขับเกตของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสจะมีทั้งหมด 6 ชุดโดย 1 ชุดของอุปกรณ์ขับเกตแสดงตามภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ขับเกตจะมีหน้าที่ในการยกระดับแรงดันสัญญาณขับเกตเพื่อให้สามารถขับมอสเฟตได้ โดยจะยกระดับแรงดันขับเกตที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมซึ่งผ่านวงจรยกระดับมาแล้ว ซึ่งก่อนเข้าวงจรขับเกตนั้นสัญญาณขับเกตจะมีระดับของสัญญาณอยู่ที่ 5 V สัญญาณขับเกตที่ระดับดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าไปในอุปกรณ์ขับเกต เมื่อออกมาจากอุปกรณ์ขับเกตระดับของสัญญาณขับเกตจะเพิ่มขึ้นเป็น 15 โวลต์ ซึ่งระดับของสัญญาณขนาด 15 V นี้เพียงพอที่จะทำให้มอสเฟตทำงานได้ ไดอะแกรมการทำงานของวงจรขับเกตแสดงได้ในภาพที่ 3.15 นอกจากนี้อุปกรณ์ขับเกตยังมีการแยกกราวนด์ระหว่างฝั่งอุปกรณ์ควบคุมและฝั่งคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.16 ประโยชน์ของการแยกกราวนด์ดังกล่าวก็คือป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับทางด้านอุปกรณ์ควบคุมในกรณีที่เกิดเหตุผิดปกติทางด้านวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



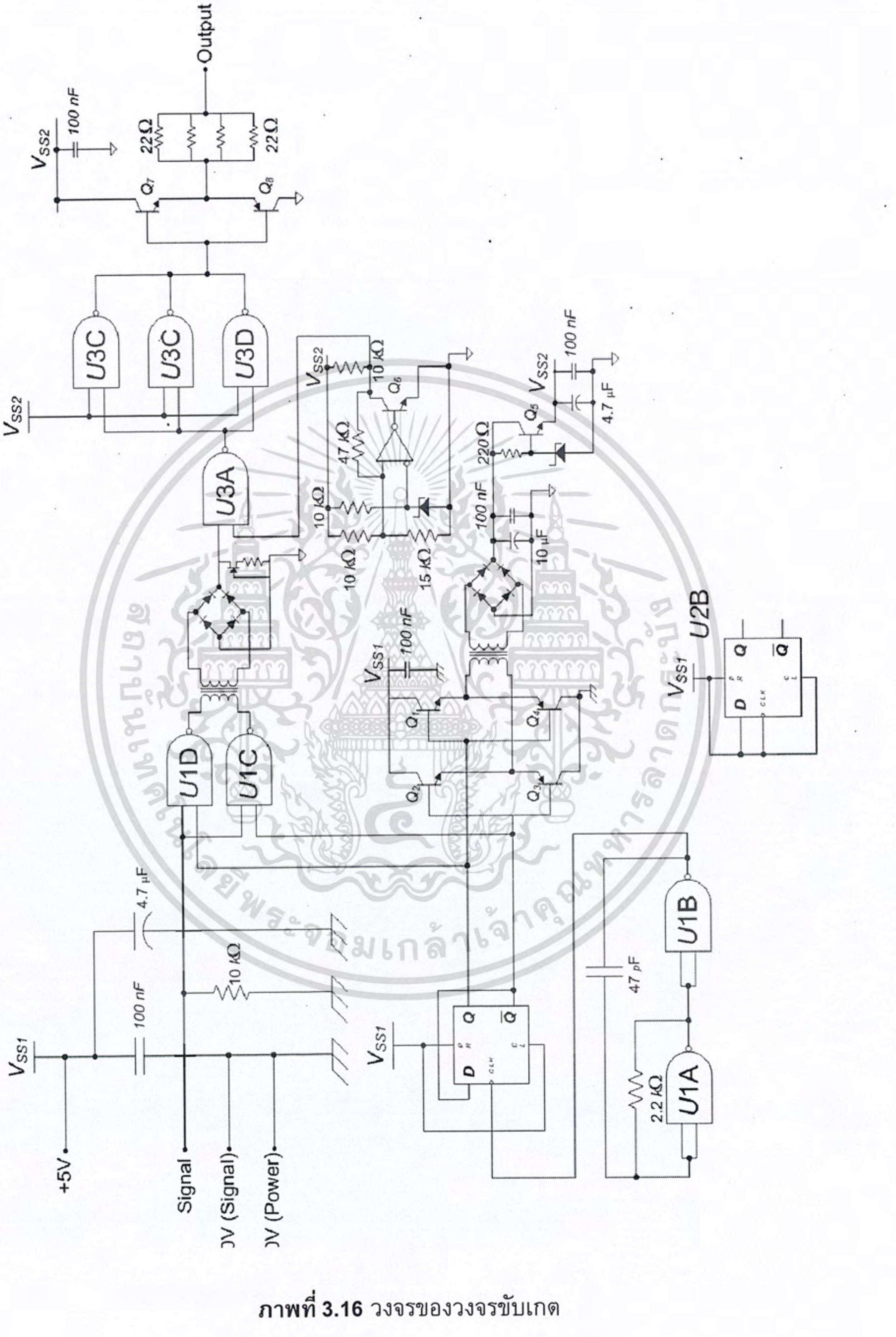
ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 ไดอะแกรมการทำงานของวงจรขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

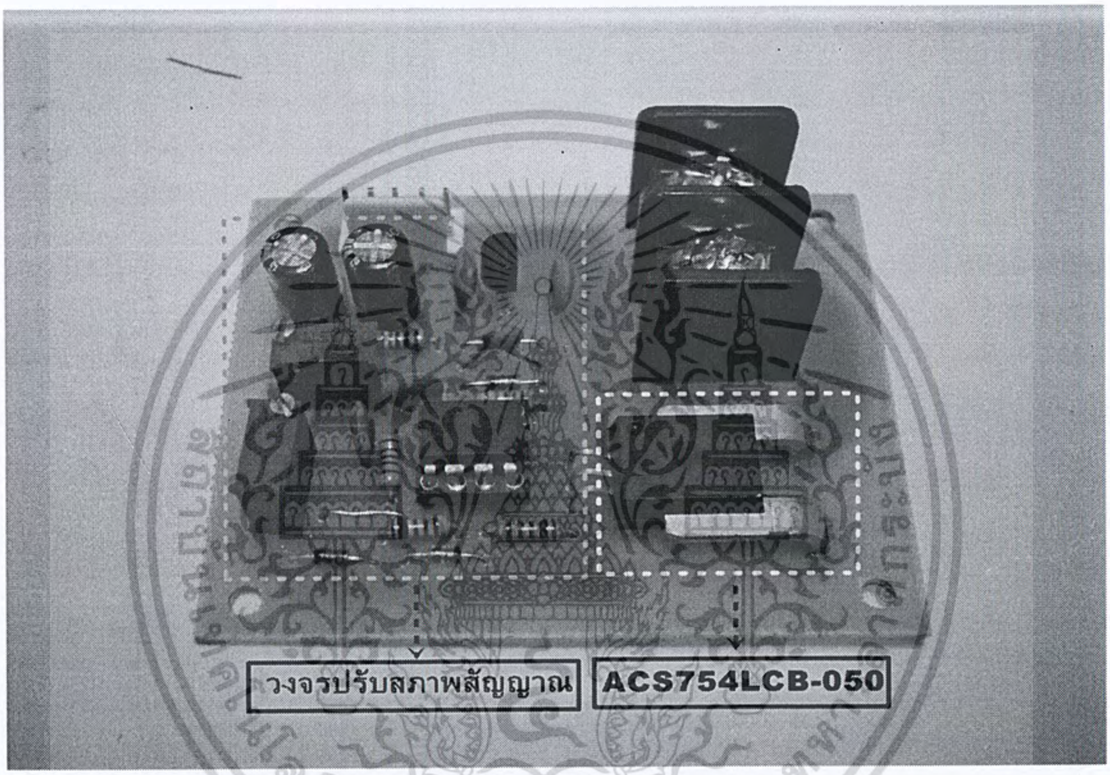


ภาพที่ 3.16 วงจรของวงจรขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.5 อุปกรณ์วัดกระแส

ในการวัดกระแสนั้น จะใช้เซนเซอร์วัดกระแส ACS754LCB-050-PSF ดังภาพที่ 3.17 มีหน้าที่วัดขนาดของกระแสและเปลี่ยนเป็นสัญญาณอะนาล็อกเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุม โดยใช้ออปแอมป์ TL082 เป็นตัวขยายสัญญาณ และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวปรับระดับของสัญญาณให้ได้ตามที่ต้องการ สัญญาณอะนาล็อกที่ได้จะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีแกน x อยู่ที่ 1.5 V และแกน y มีค่าตั้งแต่ 0 – 3 ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามกระแสที่วัดได้

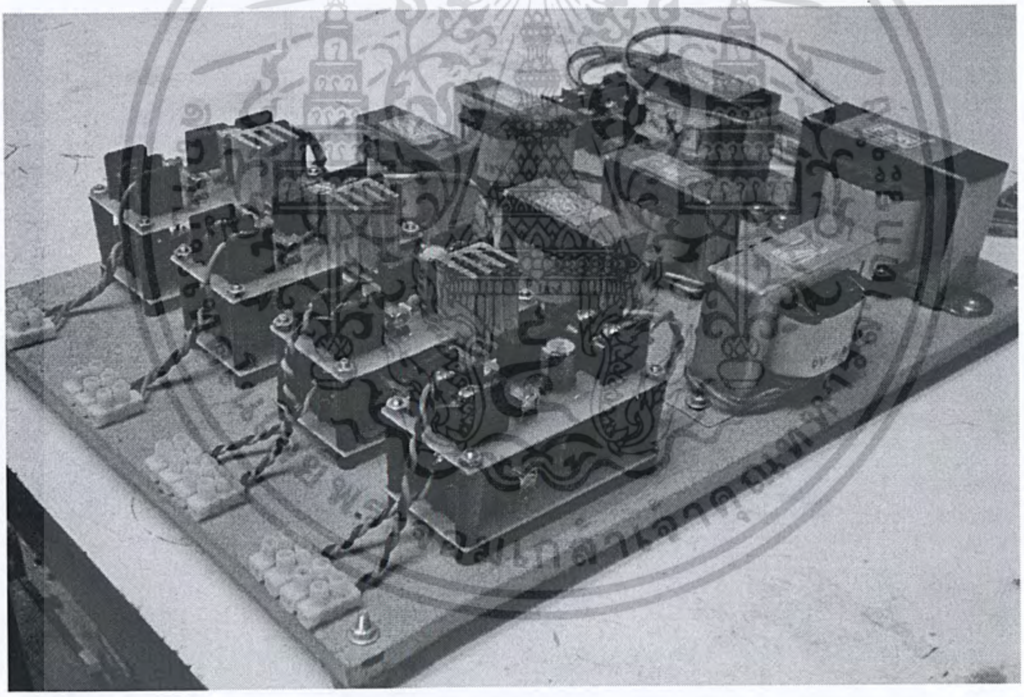


ภาพที่ 3.17 วงจรของอุปกรณ์วัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับแรงดัน 5 โวลต์ จำนวน 2 ชุด และระดับแรงดัน ±15 V จำนวน 3 ชุด โดยที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ จะถูกนำไปจ่ายให้กับชุดวงจรควบคุมและอุปกรณ์ขับเกต ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด ±15 V จะถูกนำไปจ่ายให้กับวงจรวัดกระแส ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการสร้างได้ใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V ไปเป็นระดับที่จะใช้งานโดยหม้อแปลงสำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 V ใช้หม้อแปลง 220:9 พิกัดกระแส 0.5 A และหม้อแปลงสำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 V และ -15 V ใช้หม้อแปลง 220:18 พิกัดกระแส 0.5 A เมื่อได้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิตามที่ต้องการแล้วก็จะนำไปผ่านวงจรเรียงกระแส ต่อด้วยไอซีรักษาระดับแรงดัน โดยไอซีรักษาระดับแรงดันของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 V จะใช้ไอซีเบอร์ 7805 และไอซีรักษาระดับแรงดันของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 V จะใช้ไอซีเบอร์ 7815 รูปของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแสดงได้ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.7 อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร

อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรจะประกอบไปด้วยสวิตซ์เปิดปิดจำนวน 6 สวิตซ์ตามภาพที่ 3.20 ซึ่งสวิตซ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ตัดต่อการส่งสัญญาณขับเกตของมอสเฟสในคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 6 ตัว โดยสวิตซ์แต่ละตัวจะทำกาตัดต่อสัญญาณขับเกตของมอสเฟตได้หนึ่งตัว การตัดต่อสัญญาณขับเกตนั้นทำได้โดยเมื่อทำการเปิดสวิตซ์จะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 2 โวลต์ออกจากสวิตซ์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวจะถูกส่งเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุม เมื่ออุปกรณ์ควบคุมได้รับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ควบคุมก็จะทำการตัดการส่งสัญญาณขับเกตให้กับมอสเฟต เมื่อมอสเฟตไม่ได้รับสัญญาณขับเกตพฤติกรรมของคอนเวอร์เตอร์ก็จะเหมือนกับเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร และเมื่อทำการปิดสวิตซ์ก็จะไม่มีสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงถูกส่งเข้าไปสู่อุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์ควบคุมก็จะทำการส่งสัญญาณขับเกตไปยังมอสเฟตอีกครั้ง คอนเวอร์เตอร์ก็จะกลับสู่การทำงานในสภาพปกติ

ภาพที่ 3.19 อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 บทสรุป

เนื้อหาบทนี้เป็นการใช้หลักการพื้นฐานจากบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยที่การจำลองที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์จริง และนำไปใช้เขียนโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมระบบซึ่งผลจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลจากการทดสอบจริงจากเครื่องต้นแบบมีรายละเอียดในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 บทนำ

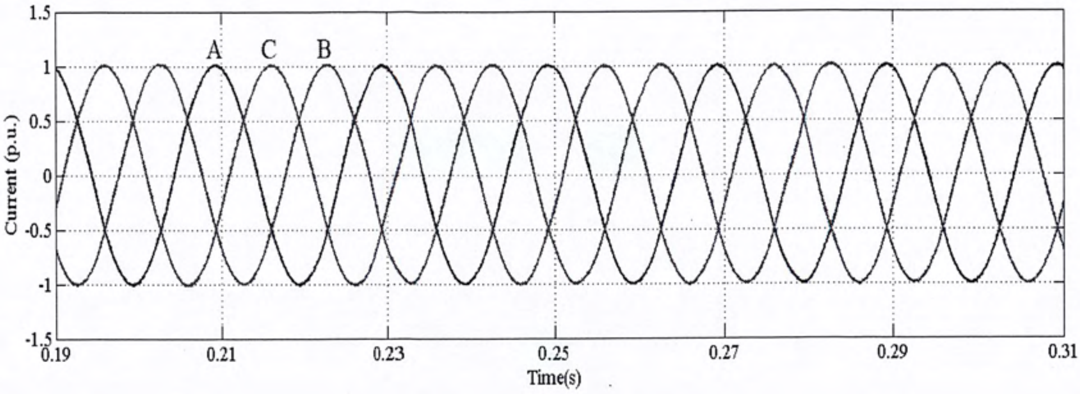
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการทดลองการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งจะแสดงรูปคลื่นของกระแสสามเฟสขณะไร้ภาระทางไฟฟ้าและแสดงรูปคลื่นของกระแสสามเฟสขณะมีภาระทางไฟฟ้า นอกจากนี้จะแสดงผลการทดลองของรูปคลื่นของกระแสสามเฟสขณะที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรและการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในแต่ละเฟส ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองจริงและผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์

4.2 ผลของกระแส

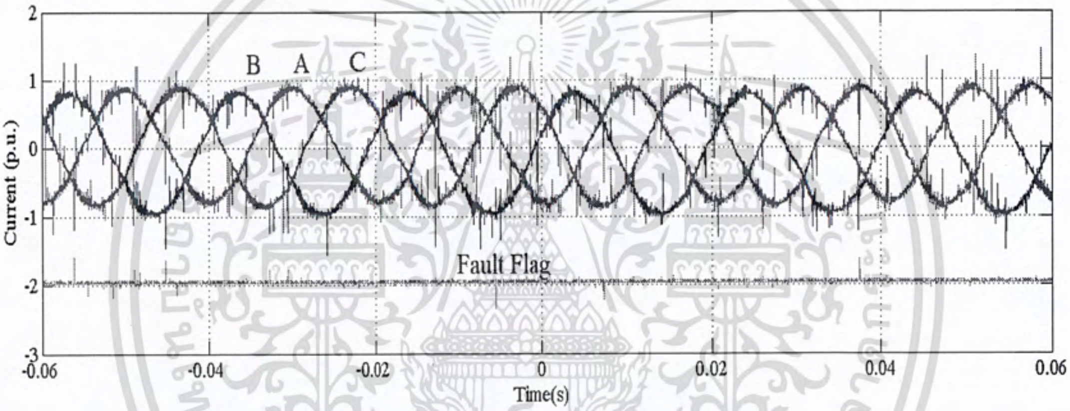
4.2.1 กระแสขณะคอนเวอร์เตอร์ทำงานปกติ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์สามเฟสขณะอยู่ในสภาวะปกติจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลองจริง ซึ่งกระแสดังกล่าวที่จะนำเสนอนั้น จะเป็นกระแสขณะมีภาระทางไฟฟ้าเต็มพิกัดและไร้ภาระทางไฟฟ้า โดยที่จะแสดงในภาพที่ 4.1 เป็นภาพของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ภาพที่ 4.2 เป็นภาพของกระแสสามเฟสขณะมีภาระทางไฟฟ้าเต็มพิกัด และภาพที่ 4.3 เป็นภาพของกระแสสามเฟสขณะไร้ภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

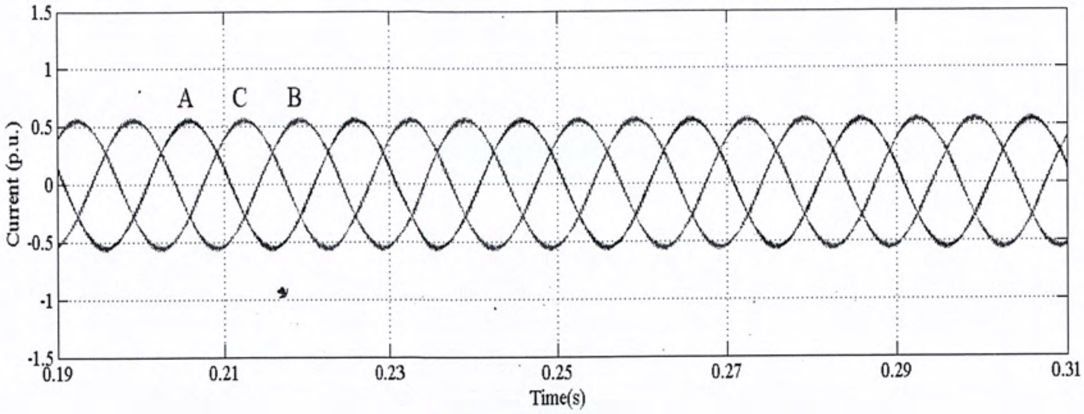


ภาพที่ 4.1 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส ในขณะที่มอเตอร์ขับภาระเต็มพิกัด

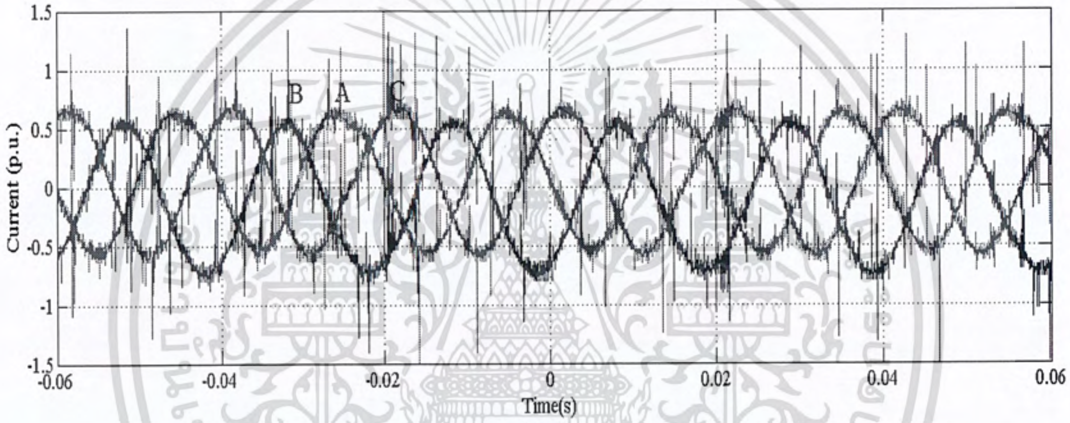


ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสในขณะที่มอเตอร์ขับภาระเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
ในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระทางไฟฟ้า

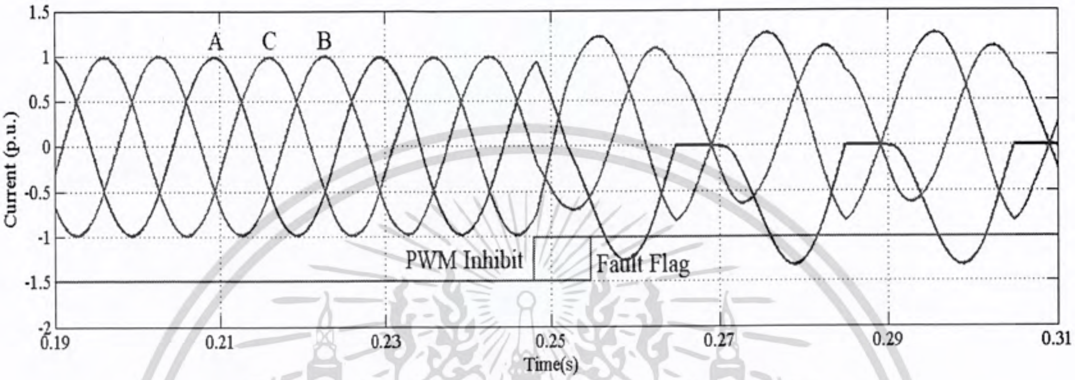


ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระทางไฟฟ้า

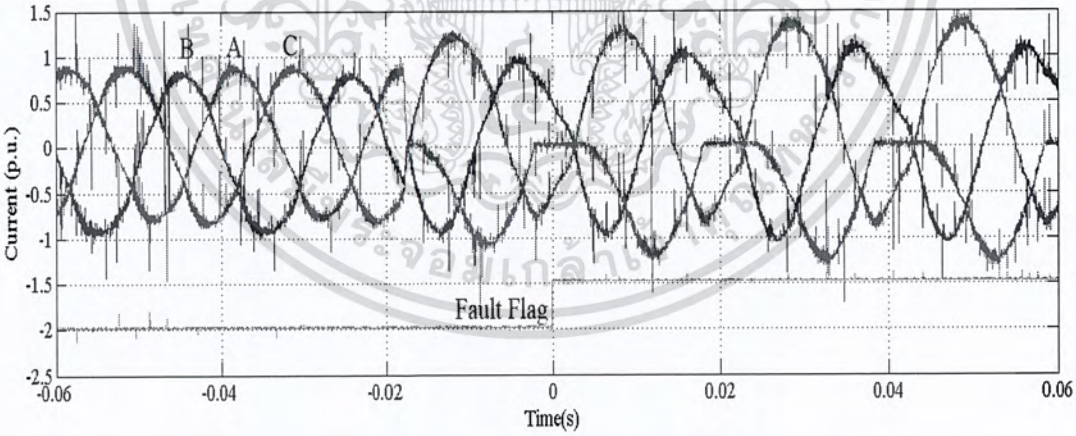
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังเกิดขึ้นที่สวิตช์ T1, T2 และ T3

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์สามเฟสขณะเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลัง ที่ตำแหน่ง T1, T2 และ T3 โดยที่แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลองจริง เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นกระแสขณะเกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

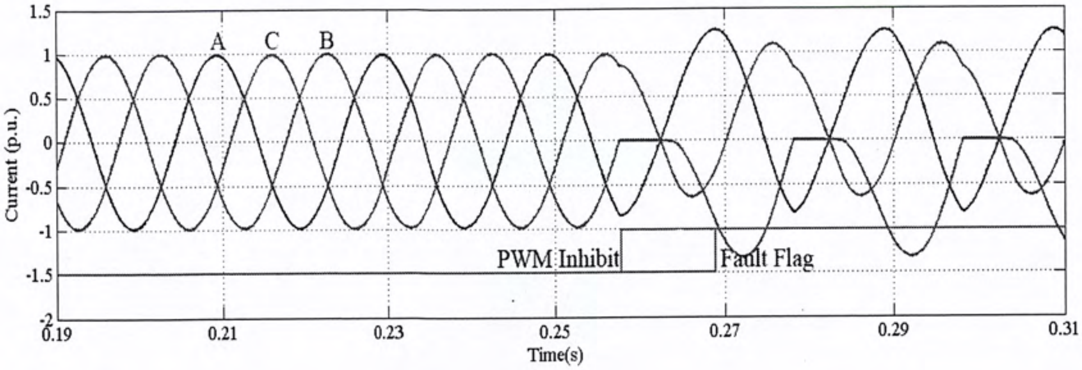


ภาพที่ 4.5 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T1

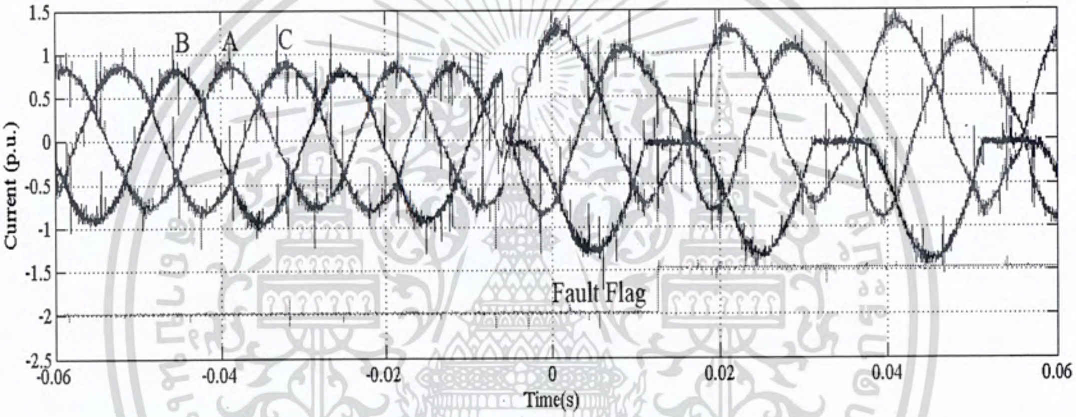


ภาพที่ 4.6 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

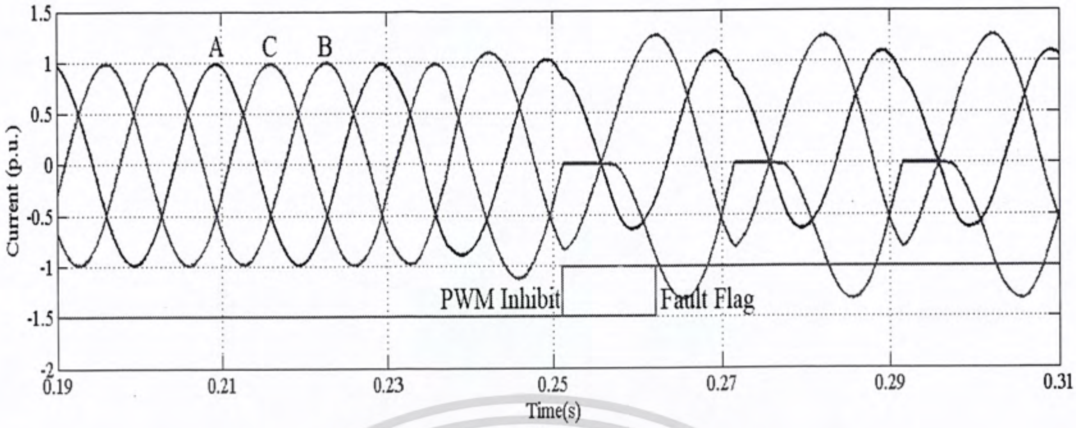


ภาพที่ 4.7 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T2

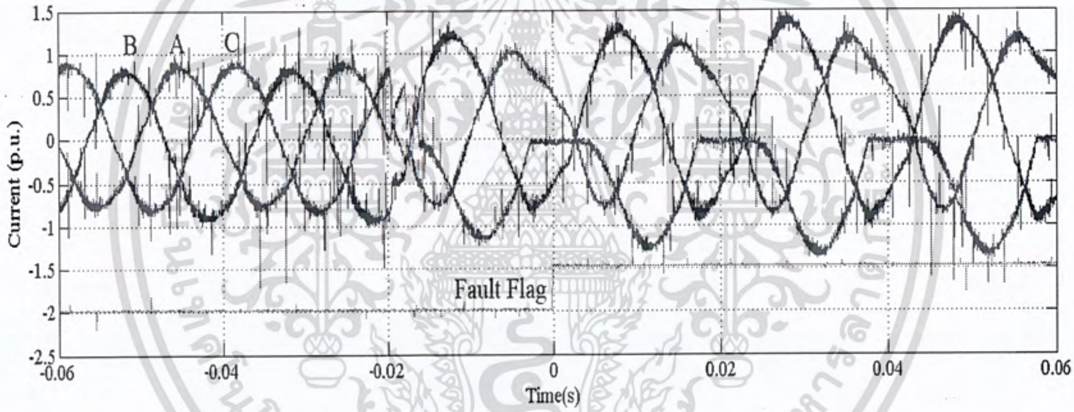


ภาพที่ 4.8 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T3

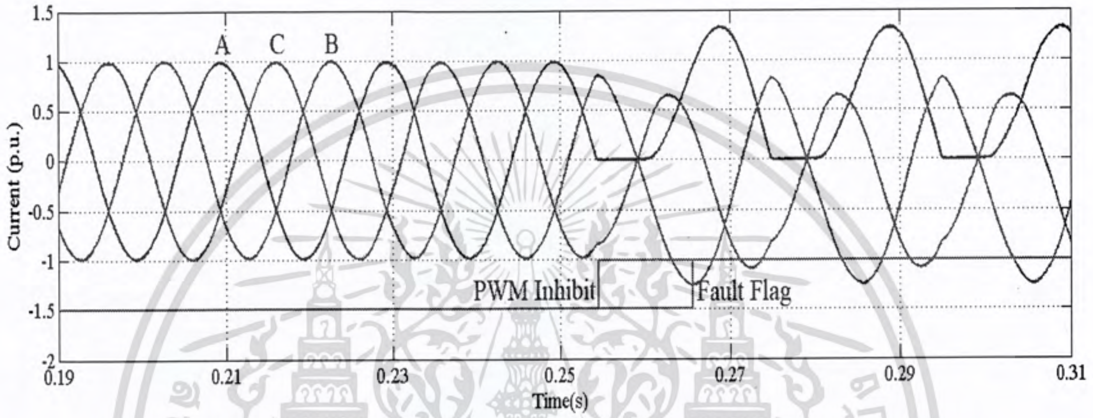


ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T3

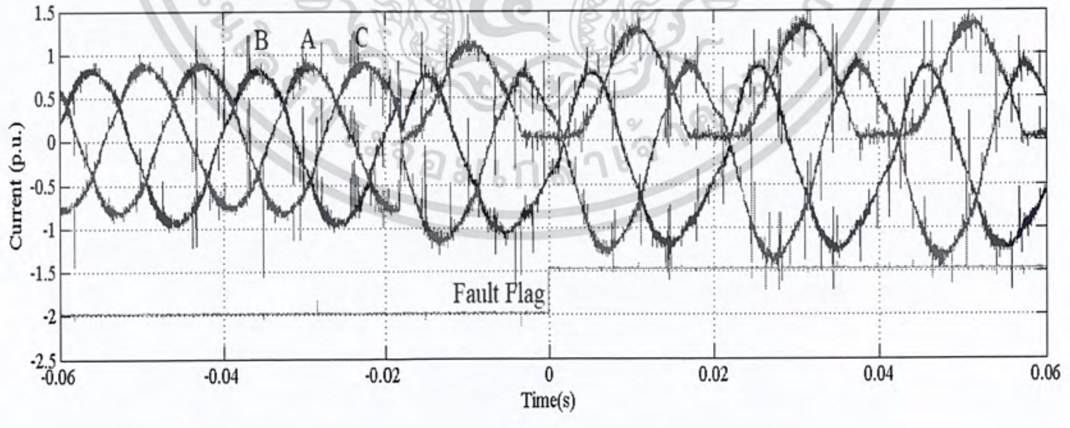
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังเกิดขึ้น ที่สวิตช์ T4, T5 และ T6

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์สามเฟสขณะเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลัง ที่ตำแหน่ง T4, T5 และ T6 โดยที่แสดงการเปรียบเทียบผลของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลองจริง เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นของกระแสขณะเกิดความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

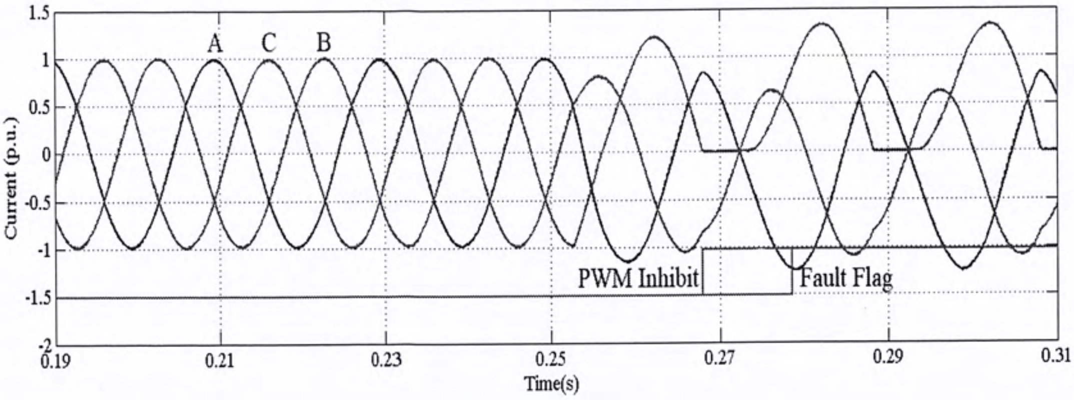


ภาพที่ 4.11 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T4

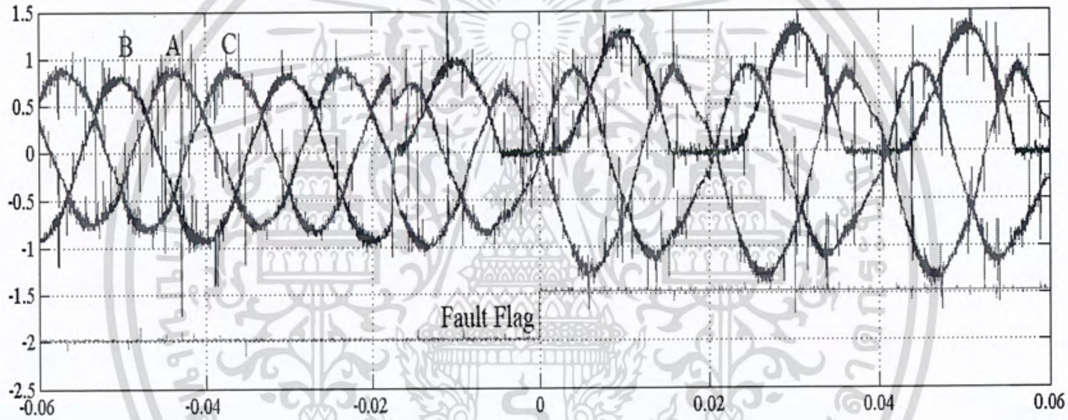


ภาพที่ 4.12 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

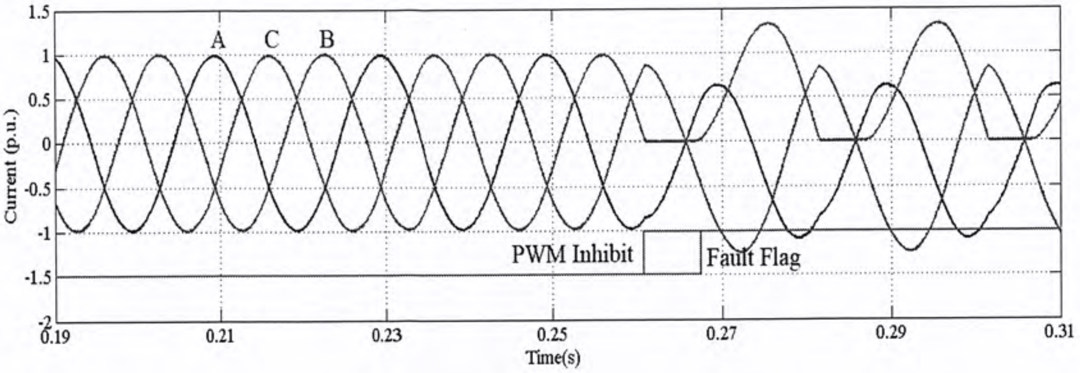


ภาพที่ 4.13 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T5

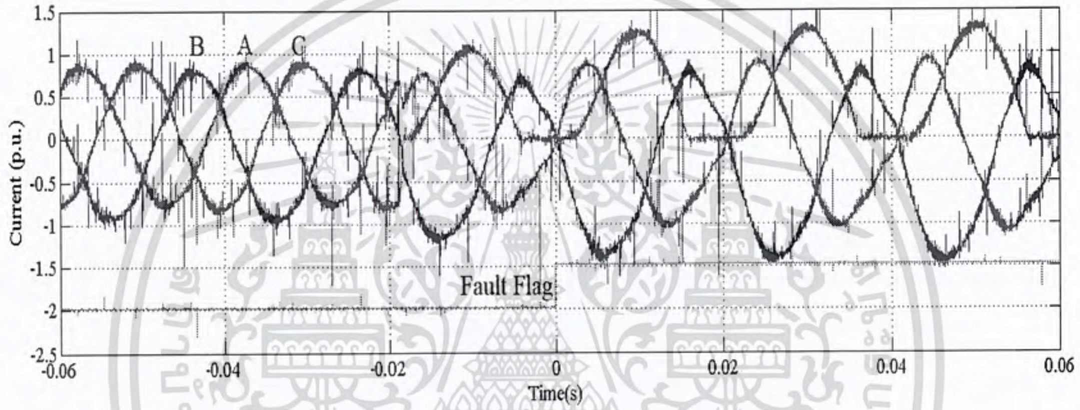


ภาพที่ 4.14 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส
เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T6



ภาพที่ 4.16 ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T6

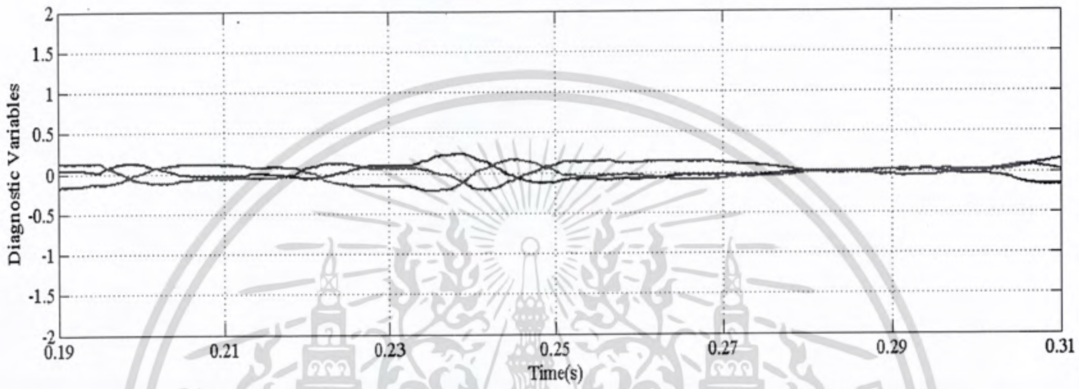
จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.5, ภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.9 จะเห็นว่า เมื่อสวิตช์วงจรกำลังเกิดความผิดพร่องในตำแหน่งที่ T1, T2 และ T3 จะทำให้ลูกคลื่นครึ่งบวกของกระแสเฟส A, B และ C หายไปครึ่งลูกตามลำดับเหลือแต่ลูกคลื่นครึ่งลบและยังทำให้กระแสของเฟสที่เหลือที่ไม่ได้เกิดความผิดพร่องเกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.5 กระแสของเฟส B และเฟส C เกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้นทำให้กระแสยกตัวขึ้นจากเดิม ในภาพที่ 4.7 กระแสของเฟส A และเฟส C เกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้น และในภาพที่ 4.9 กระแสของเฟส A และเฟส B เกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้น และผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ ที่ 4.11 ภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.15 จะเห็นว่า เมื่อสวิตช์วงจรกำลังเกิดความผิดพร่องในตำแหน่งที่ T4, T5 และ T6 จะทำให้ลูกคลื่นครึ่งลบของกระแสเฟส A, B และ C หายไปครึ่งลูกตามลำดับเหลือแต่ลูกคลื่นครึ่งบวกและยังทำให้กระแสของเฟสที่เหลือที่ไม่ได้เกิดความผิดพร่องเกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.11 กระแสของเฟส B และเฟส C เกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้นทำให้กระแสยกตัวลงจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

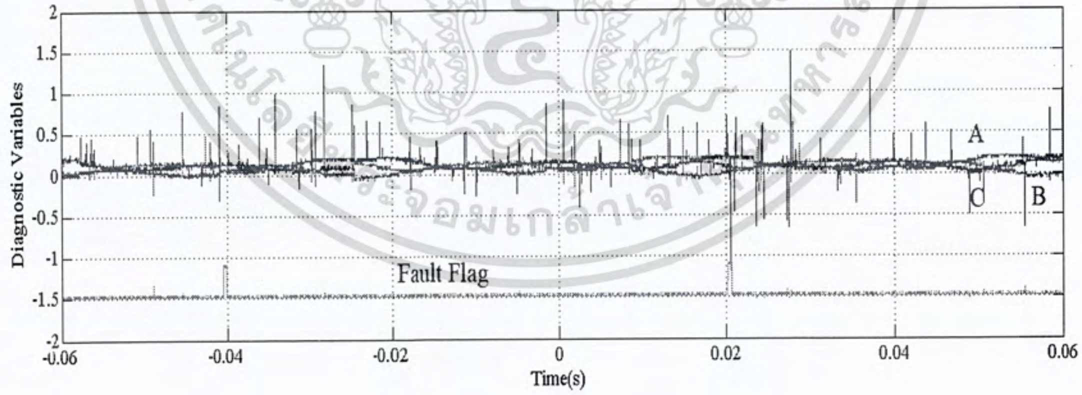
ในภาพที่ 4.13 กระแสของเฟส A และเฟส C เกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้นและในภาพที่ 4.15 กระแสของเฟส A และเฟส B เกิดองค์ประกอบของกระแสตรงขึ้น

4.3 การวินิจฉัยการตรวจจับความผิดพร่อง

ค่าของตัวแปรวินิจฉัยความผิดพร่อง (Diagnostic index) ชนิดสวิตช์เปิดวงจรนั้นได้แสดงผลออกมาทาง Analog-to-Digital Converter (ADC) ซึ่งแสดงผลของตัวแปรการวินิจฉัยของกระแสทั้งสามเฟสขณะกระแสปกติและกระแสมีความผิดพร่องเกิดขึ้น แสดงดังรูปต่อไปนี้

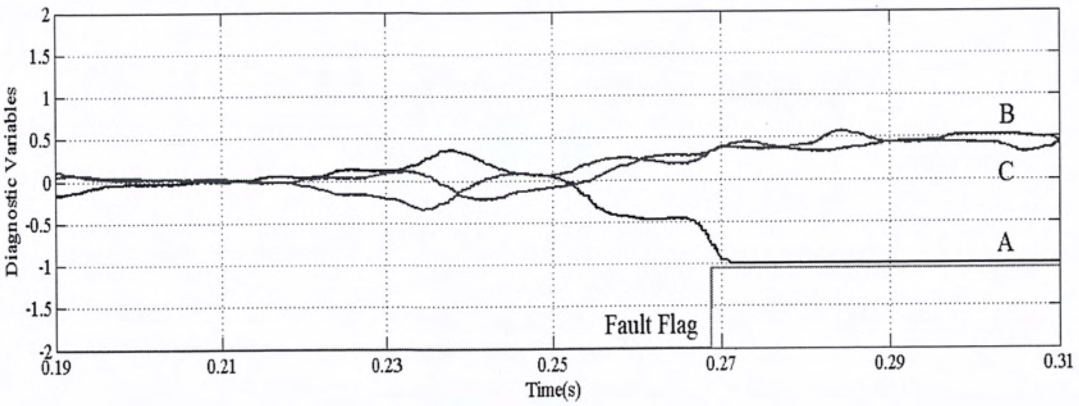


ภาพที่ 4.17 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะปกติ

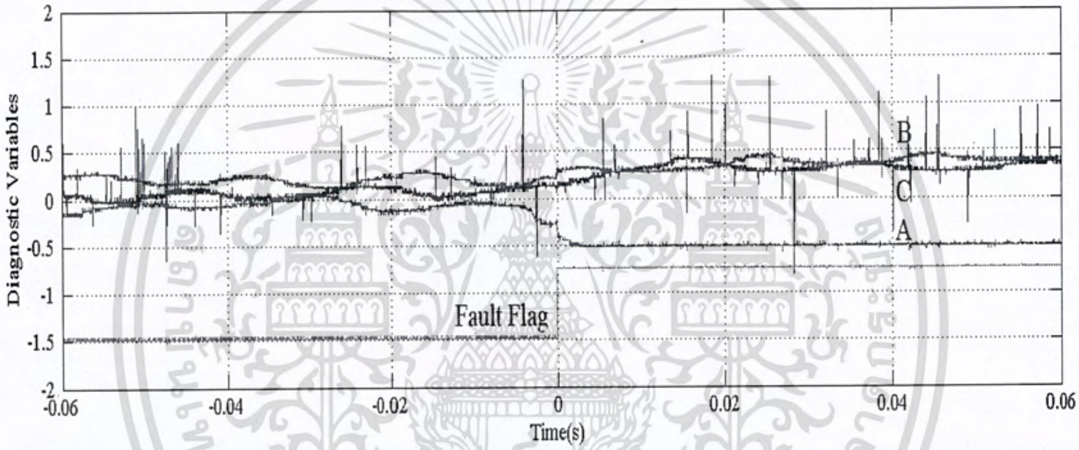


ภาพที่ 4.18 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

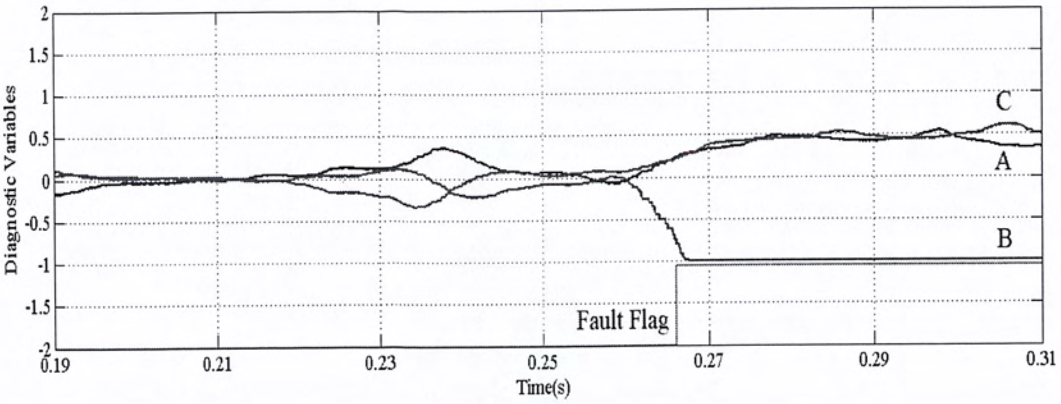


ภาพที่ 4.19 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย
ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T1

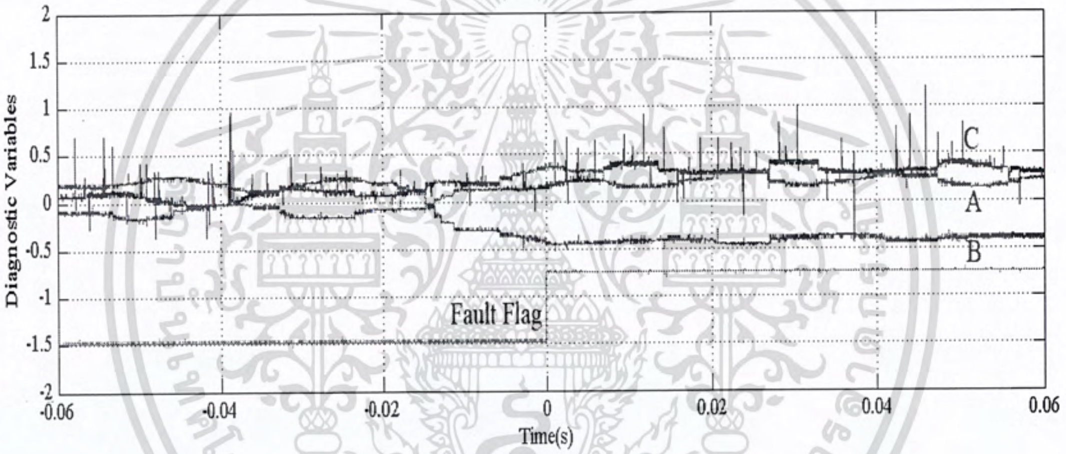


ภาพที่ 4.20 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

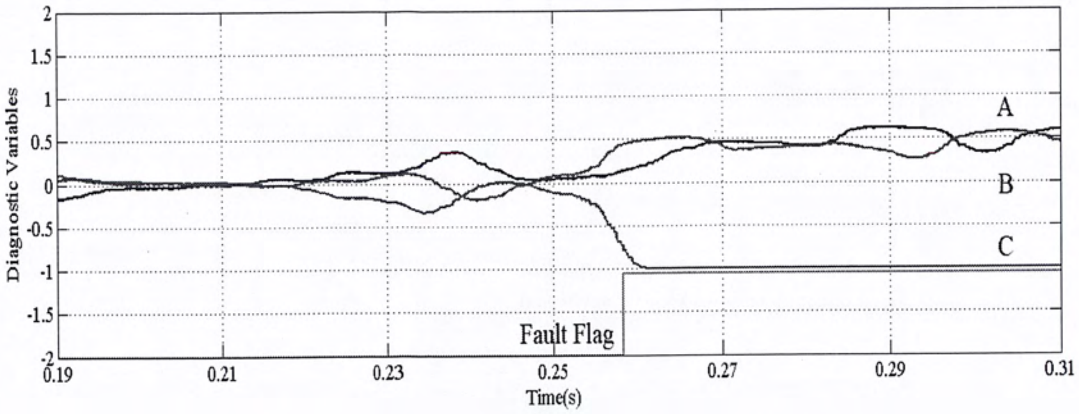


ภาพที่ 4.21 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T2

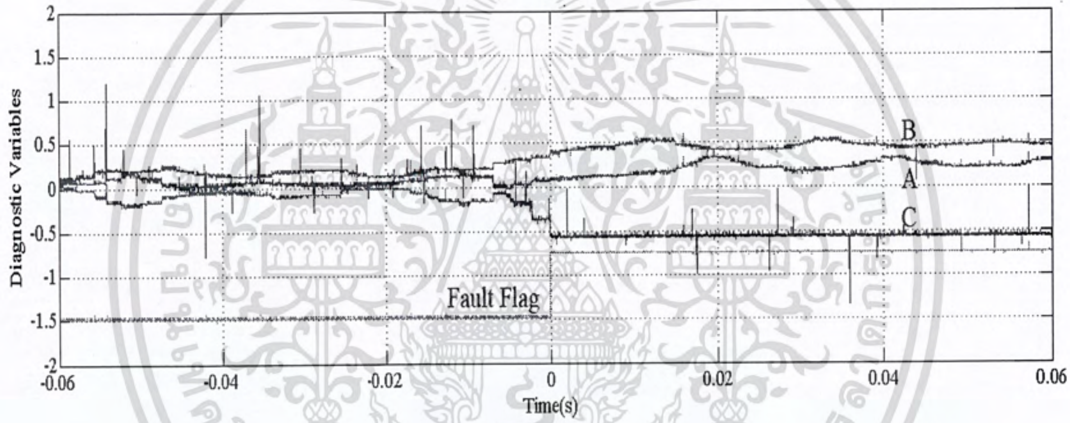


ภาพที่ 4.22 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

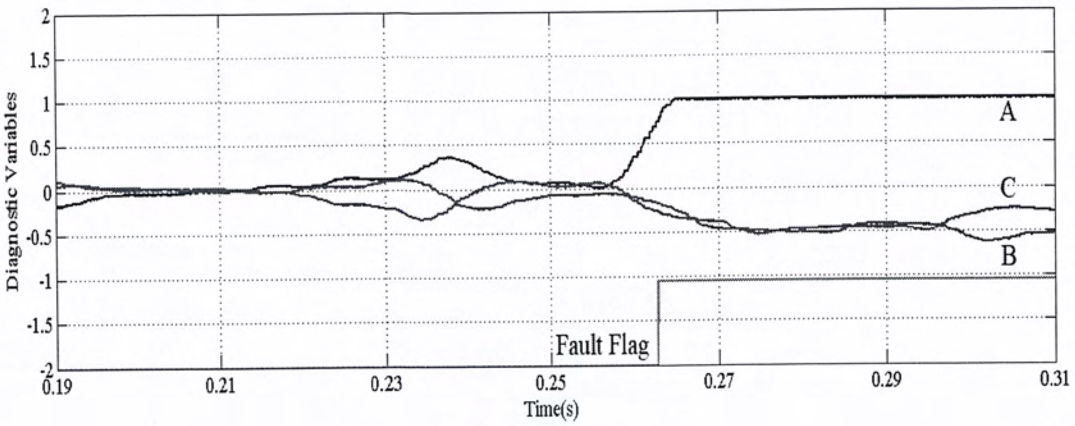


ภาพที่ 4.23 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์T3

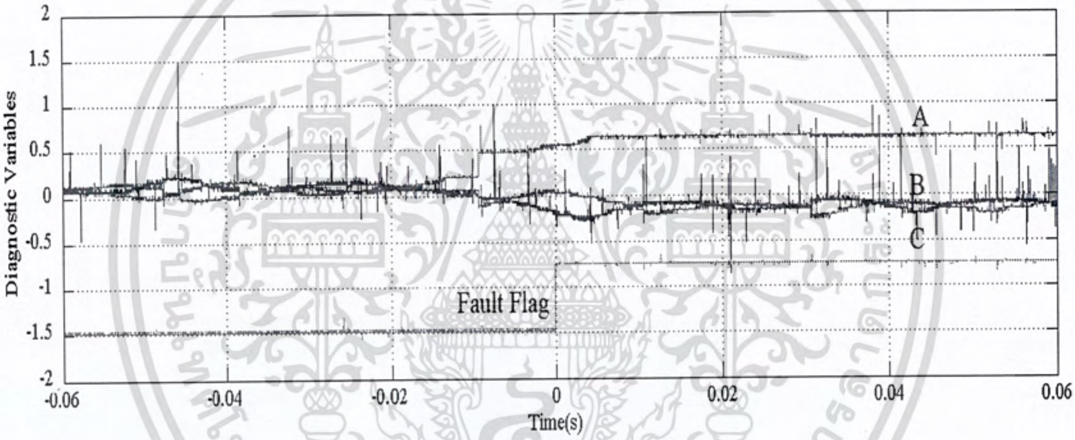


ภาพที่ 4.24 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตช์ T3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

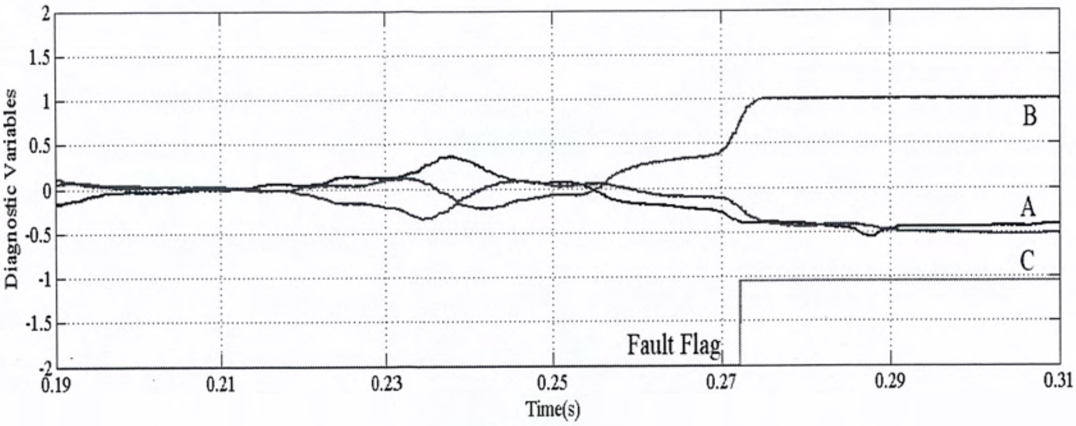


ภาพที่ 4.25 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T4

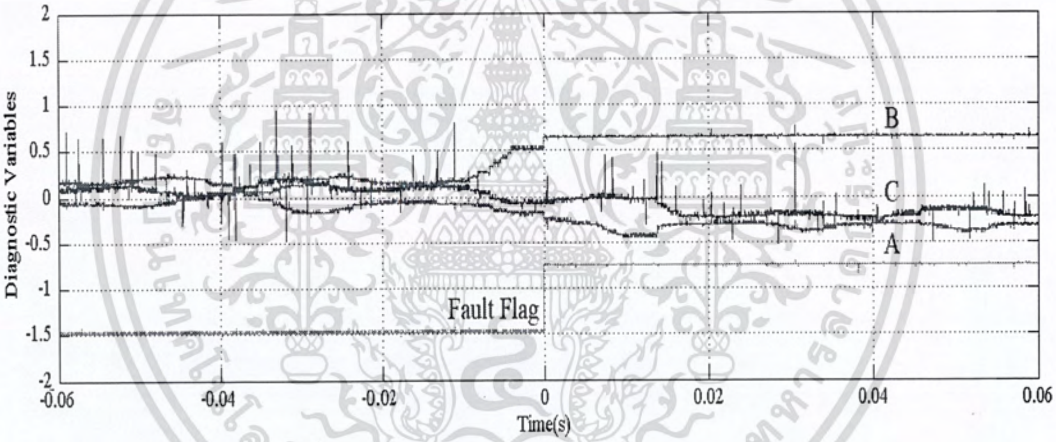


ภาพที่ 4.26 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

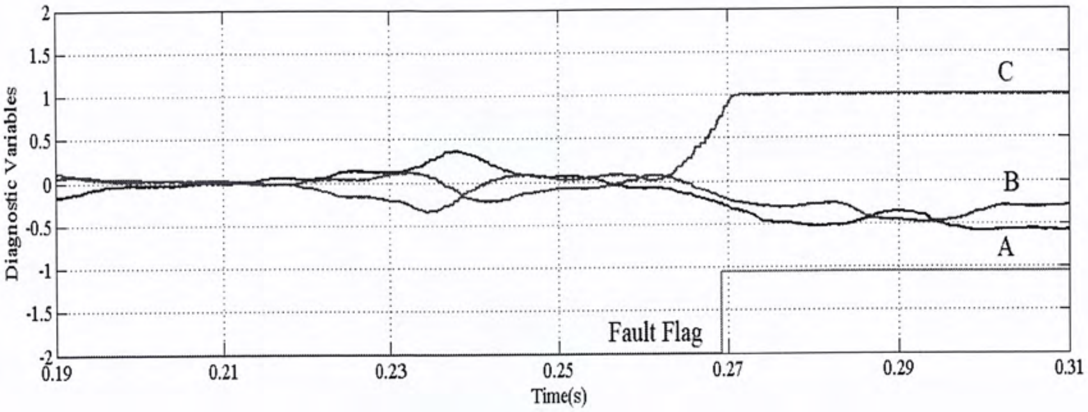


ภาพที่ 4.27 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย
ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T5

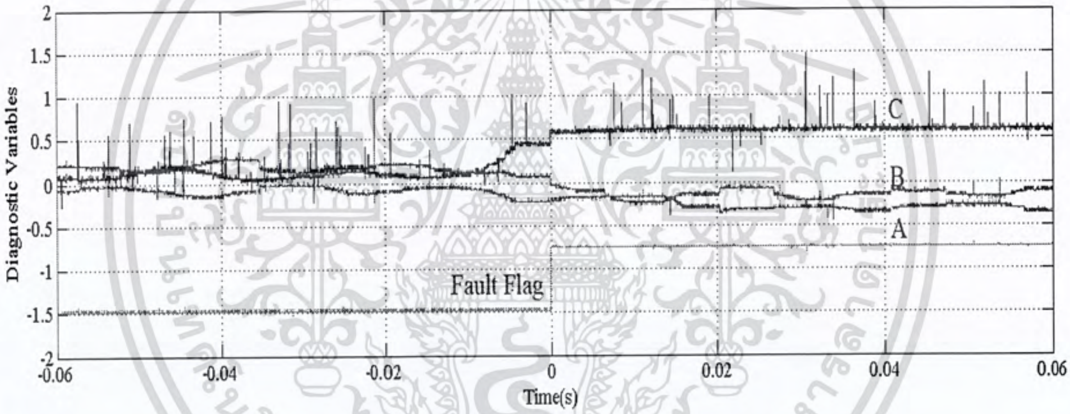


ภาพที่ 4.28 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงค่าตัวแปรวินิจฉัย
ในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T6



ภาพที่ 4.30 ผลการทดลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T6

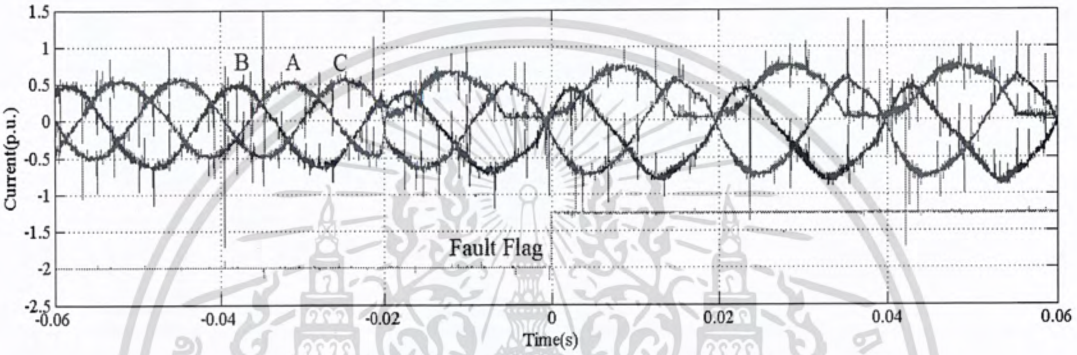
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเกิดความผิดพร่องเกิดขึ้นในสวิตซ์ใดสวิตซ์หนึ่งแล้วจะทำให้ตัวแปรการวินิจฉัยมีค่าเป็น 1 หรือ -1 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเกิดความผิดพร่องดังแสดงในภาพที่ 4.20 เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T1 ตัวแปรการวินิจฉัยจะมีค่าเป็น -1 ภาพที่ 4.22 เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T2 ตัวแปรการวินิจฉัยจะมีค่าเป็น -1 ภาพที่ 4.24 เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T3 ตัวแปรการวินิจฉัยจะมีค่าเป็น -1 ภาพที่ 4.26เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T4 ตัวแปรการวินิจฉัยจะมีค่าเป็น 1 ภาพที่ 4.28 เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T5 ตัวแปรการวินิจฉัยจะมีค่าเป็น 1 ภาพที่ 4.30 เกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ T6 ตัวแปรการวินิจฉัยจะมีค่าเป็น 1 แต่ในผลการทดลองค่าของตัวแปรการวินิจฉัยนั้นเป็นค่าแสดงผลที่ออกมาจาก Digital-to-Analog Converter ซึ่งทำให้ค่าที่แสดงผลไม่ใช่ค่าจริงของตัวแปรวินิจฉัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

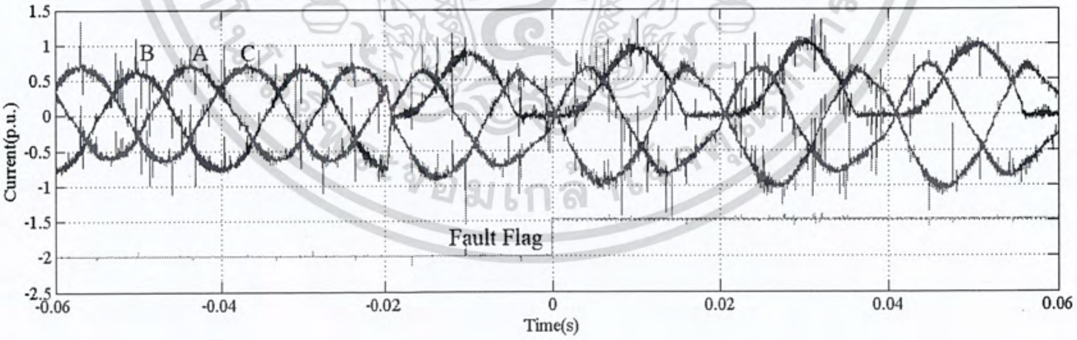
4.4 การตรวจจับความผิดพร่องที่กระแสขนาดต่าง ๆ

ผลการทดลองการตรวจจับความผิดพร่องที่เกิดในกระแสไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ โดยที่เปิดภาระทางไฟฟ้าที่เป็นหลอดไฟขนาดหลอดละ 100 W เป็นจำนวน 4 ดวง, 8 ดวง และ 12 ดวง ตามลำดับ โดยที่มอเตอร์มีพิกัด 750 W, 220 V, 3.3 A, 4 ขั้ว, 50 Hz, 1400 rpm มีขนาดกระแสดังนี้

- กระแสขนาด 1.46 A, 0.44 p.u.
- กระแสขนาด 2.47 A, 0.75 p.u.
- กระแสขนาด 2.81 A, 0.85 p.u.

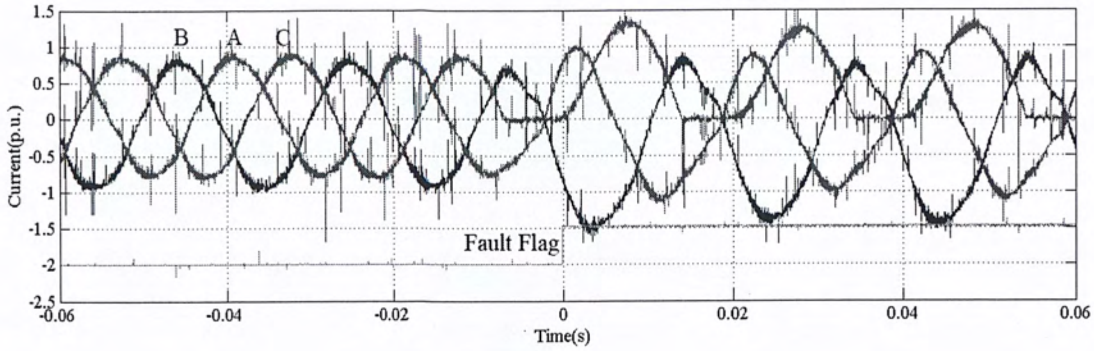


ภาพที่ 4.31 ผลการทดลองแสดงการตรวจจับความผิดพร่องในสวิตช์ T4 ที่ขนาดกระแส 0.44 p.u.



ภาพที่ 4.32 ผลการทดลองแสดงการตรวจจับความผิดพร่องในสวิตช์ T5 ที่ขนาดกระแส 0.75 p.u.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.33 ผลการทดลองแสดงการตรวจจับความผิดพร่องในสวิตช์ T6
ที่ขนาดกระแส 0.85 p.u.

4.5 บทสรุป

บทนี้นำเสนอผลการทดลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดลองโดยนำหลักการพื้นฐานในบทที่ 2 และใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาใช้ในการเขียนโปรแกรมลงบน TMS320F28335 โดยผลการทดลองใช้วิธี Absolute Normalized DC Method ในการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสวิตช์ T1, T2 และ T3 เปิดวงจรจะทำให้รูปคลื่นครึ่งบนของกระแสหายไป และเมื่อสวิตช์ T4, T5 และ T6 เปิดวงจะทำให้รูปคลื่นครึ่งล่างของกระแสหายไป ในส่วนของการตรวจจับนั้นจะสามารถตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้ภายในสองคาบของกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการจำลองการทำงานทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink แล้วนำไปสร้างเครื่องต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์เพื่อใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ แล้วทำการตรวจจับกระแสเพื่อวิเคราะห์หาความผิดพร่องของสวิตช์ชนิดเปิดวงจรในวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ เครื่องต้นแบบนี้สามารถตรวจจับกระแสที่เกิดความผิดพร่องได้ และสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้การทำงานของคอนเวอร์เตอร์เกิดความผิดปกติขึ้น ว่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่สวิตช์เปิดวงจรหรือไม่ และถ้าเกิดจากการที่สวิตช์เปิดวงจรเป็นสวิตช์ที่ตำแหน่งใด ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซมและบำรุงรักษาวงจรคอนเวอร์เตอร์

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจจับความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ โดยใช้วิธี Absolute Normalize DC Current Method ในการตรวจจับความผิดพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งใช้อ้างอิงกับทฤษฎีพฤติกรรมของกระแส ทั้งในสภาวะกระแสปกติคือไม่เกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ และในสภาวะที่กระแสเกิดความผิดปกติคือเกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ โดยเมื่อกระแสเกิดความผิดปกติพฤติกรรมของกระแสจะเปลี่ยนไปโดยขึ้นอยู่กับว่าสวิตช์ที่ตำแหน่งใดที่เกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรขึ้น กล่าวคือเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังสวิตช์ใดสวิตช์หนึ่งในแต่ละเฟสแล้ว สวิตช์ที่เกิดความผิดพร่องจะทำให้กระแสหายไปครึ่งรูปคลื่น เช่น เมื่อเกิดความผิดพร่องแบบเปิดวงจรที่สวิทช์กำลังตัวบนของเฟสใดเฟสหนึ่ง จะทำให้รูปคลื่นครึ่งบวกของกระแสเฟสนั้น ๆ หายไปและเฟสที่เหลือที่สวิตช์ทำงานปกติจะเกิดองค์ประกอบกระแสตรงยกขึ้นทำให้กระแสของเฟสที่เหลือถูกยกขึ้นมา และเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังตัวล่างของเฟสใดเฟสหนึ่ง สวิตช์ที่เกิดความผิดพร่องจะทำให้กระแสเฟสนั้นหายไปครึ่งรูปคลื่นลบ และเฟสที่เหลือจะเกิดองค์ประกอบกระแสตรงขึ้น จากพฤติกรรมกระแสดังที่กล่าวไปแล้วนั้น เมื่อเราวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของกระแสกับค่าสัมบูรณ์ของค่าเฉลี่ยกระแสในเฟสนั้น ๆ จะทำให้เราสามารถทราบได้ว่ากระแสในเฟสนั้นมีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ และถ้ากระแสเกิดความผิดปกติคือไม่เป็นรูปคลื่นไซน์แล้ว กระแสที่หายไปนั้นเป็นรูปคลื่นครึ่งบวกหรือรูปคลื่นครึ่งลบ โดยที่ถ้ากระแสปกติค่าที่ได้จะมีค่าประมาณศูนย์ แต่ถ้ารูปคลื่นครึ่งบวกหายไปค่าที่ได้จะมีค่าประมาณ -1 และถ้ารูปคลื่นครึ่งลบหายไปค่าที่ได้จะมีค่าประมาณ 1

ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้จากการสร้างเครื่องต้นแบบแล้วทำการทดสอบเครื่องต้นแบบสามารถที่จะระบุได้ว่าเกิดความผิดพร่องขึ้นที่เฟสใดในสามเฟสโดยการแจ้งเตือนผ่าน Fault Flag ซึ่งจะแยกเป็นสามค่า หากเฟสใดเกิดความผิดพร่องขึ้น Fault Flag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเฟสนั้นก็จะเปลี่ยนจากค่า 0 เป็น 1 และสามารถระบุได้ว่าเกิดความผิดพร่องที่สวิตซ์ตัวบนหรือตัวล่างของเฟสนั้นได้ โดยดูจากค่าตัวแปรในการวินิจฉัยความผิดพร่อง คือถ้าหากสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องเป็นสวิตซ์ตัวบน ค่าตัวแปรวินิจฉัยความผิดพร่องที่ได้จะมีค่าประมาณ -1 แต่ถ้าสวิตซ์ที่เกิดความผิดพร่องเป็นสวิตซ์ตัวล่าง ค่าตัวแปรวินิจฉัยความผิดพร่องที่ได้จะมีค่าประมาณ 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาและเป็นไปตามผลการจำลองการทำงานทางคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink จึงสรุปได้ว่าการตรวจจับความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ที่สร้างเป็นเครื่องต้นแบบนี้สามารถใช้งานได้จริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับคอนเวอร์เตอร์ได้ในอนาคต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นิรันดร์ เธียรสิทธิ์พิศาล, พีระพล สมพึ่งทอง และ สุขสรร ดำจับ, "การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยอินเวอร์เตอร์", **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**,สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2552.

[2] S. Chafei, F. Zidani, R. Nait-said and M.S. Boucherit, "Fault Detection and Diagnosis on a PWM Inverter by Different Techniques ," **Journal of Electrical Systems 4-2**, 2008, pp.1-12

[3] K. Rothenhagen and F.W. Fuchs, "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Fault s in Voltage Source Active Rectifiers," **Proceeding of the 2004 IEEE 35th Power Electronics Specialists Conference**, pp.4348-4354

[4] S. Abramik, W.Sleszynski, J.Nieznanski and H.Piquet, "A Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive," **Proceeding of the 2003 EPE 10th European Conference on Power Electronics and Applications,** pp. P.1-P. 8.

[5] W. Sae-Kok and D M Grant, "Open Switch Fault Diagnosis for a Doubly-Fed Induction Generator," **Proceeding of the 2007 IEEE Power Electronics and Drive Systems**, pp.131-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

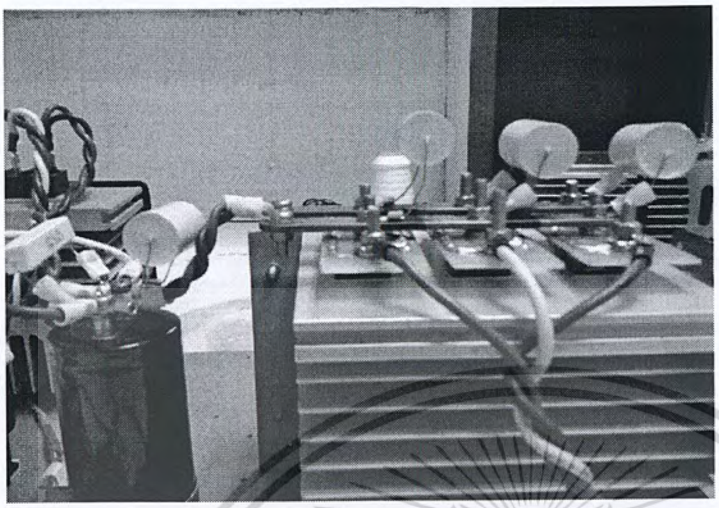
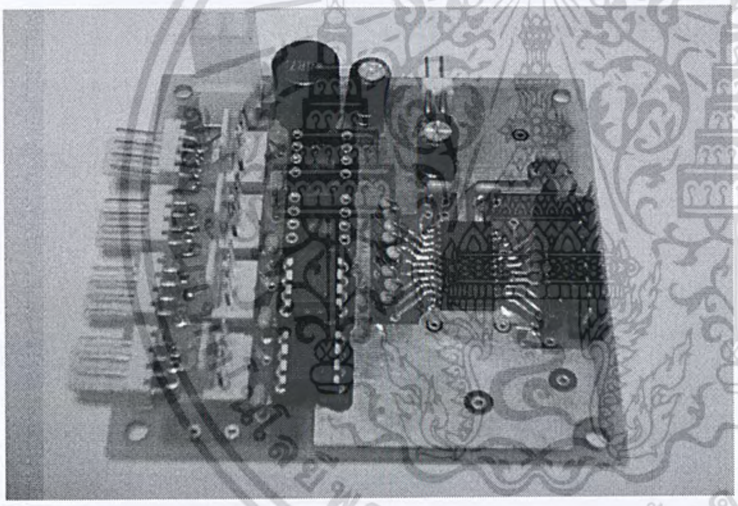
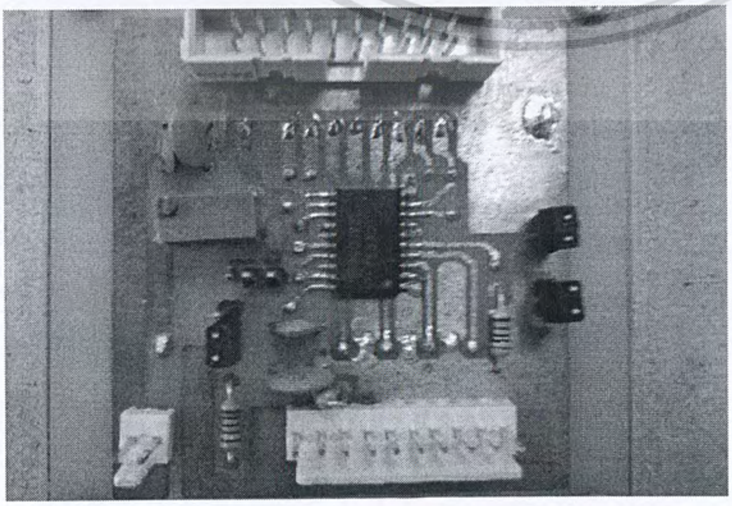
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง
ในปริญญานิพนธ์

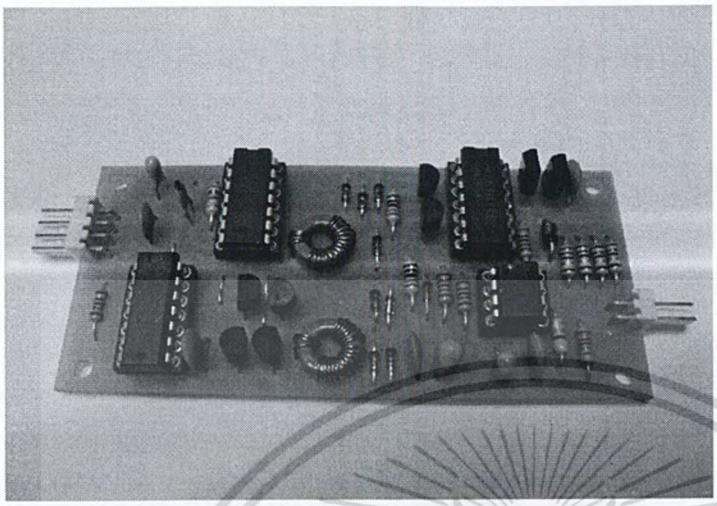
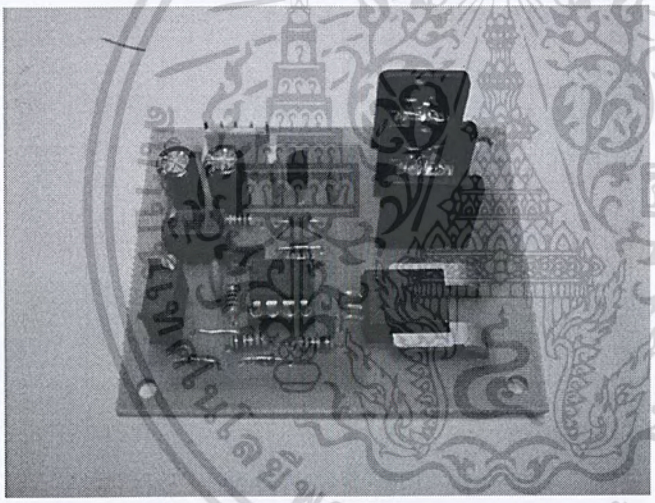
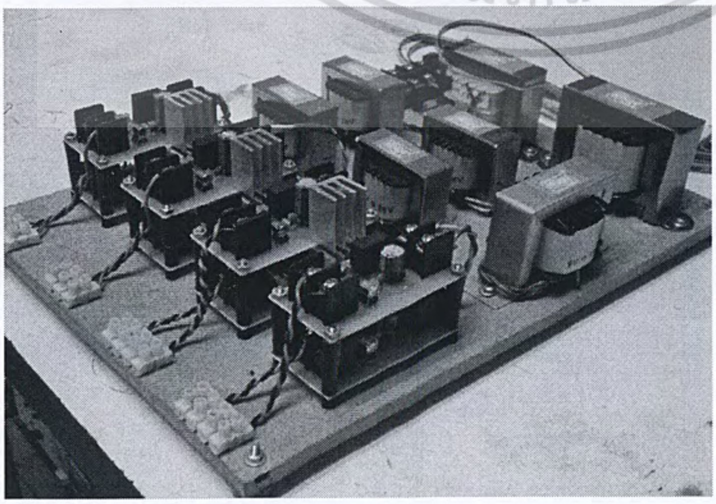
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์

	คอนเวอร์เตอร์สามเฟส
	วงจรยกระดับแรงดัน และวงจรแยกกราวนด์
	วงจรแปลงสัญญาณ จากดิจิตอลเป็น สัญญาณอะนาล็อก

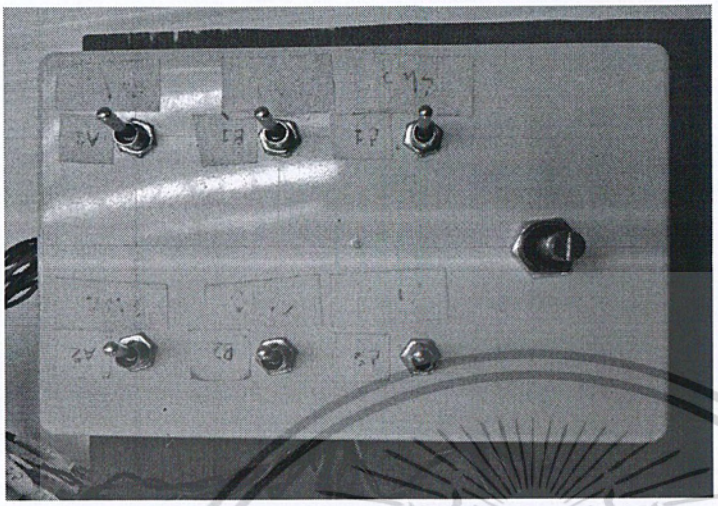
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

	อุปกรณ์ขับเกต
	อุปกรณ์วัดกระแส
	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

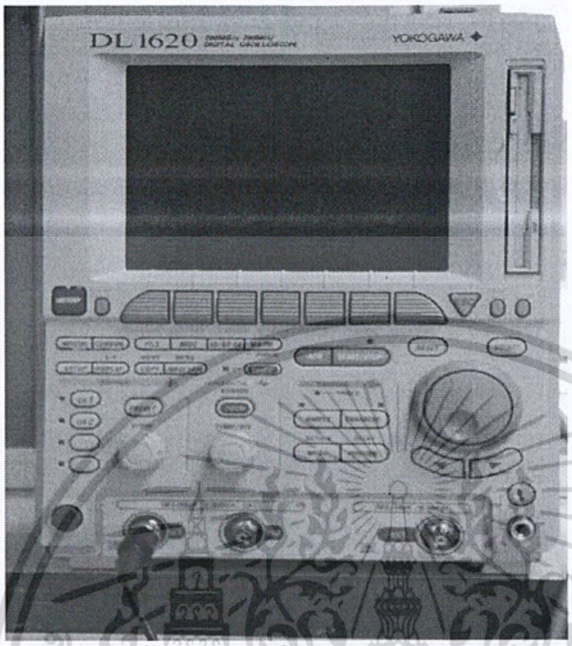
	อุปกรณ์จำลองการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

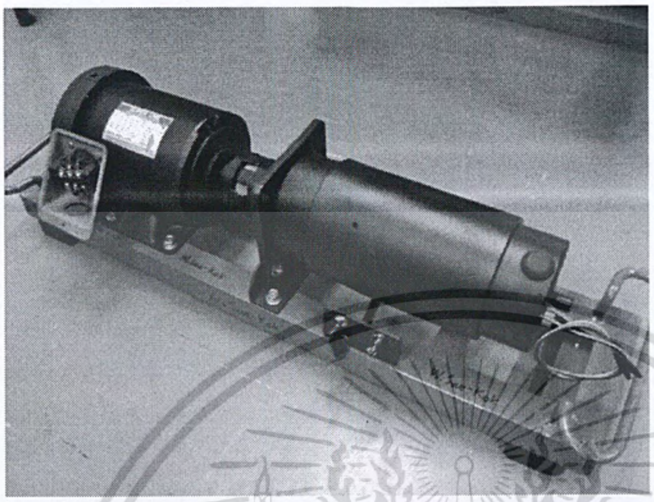
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

รูปถ่าย	รายละเอียด
	ดิจิตอลออสซิโลสโคป รุ่น DL1640 2 Channel YOKOGAWA
	ดิจิตอลออสซิโลสโคป รุ่น DS1104B 4 Channel RIGOL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาดพิกัด 0.75kW, 4 pole, 220/380V 3.3/1.9 A, 50 Hz, 1400 rpm
	หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 12 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

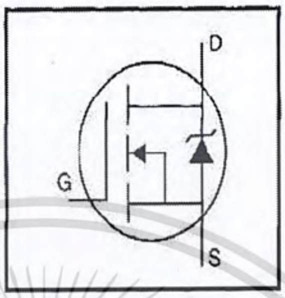
PD - 94901

International
IOR Rectifier

IRFP460PbF

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead-Free



V_{DSS} = 500V

$R_{DS(on)}$ = 0.27Ω

I_D = 20A

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial–industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.

TO-247AC

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	20	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	13	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	80	
P_D @ T_C = 25°C	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1 N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

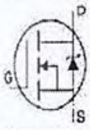
IRFP460PbF

International
IOR Rectifier

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V_{GS}=0V, I_D= 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D= 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V_{GS}=10V, I_D=12A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D= 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	V_{DS}=50V, I_D=12A ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS}=500V, V_{GS}=0V
		—	—	250		V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS}=20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS}=-20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I_D=20A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29		V_{DS}=400V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		V_{GS}=10V See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V_{DD}=250V
t_r	Rise Time	—	59	—		I_D=20A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		R_G=4.3Ω
t_f	Fall Time	—	58	—		R_D=13Ω See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V_{GS}=0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—		V_{DS}= 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		f=1.0MHz See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T_J=25°C, I_S=20A, V_{GS}=0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T_J=25°C, I_F=20A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	di/dt=100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is neglegible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)

② V_{DD}=50V, starting T_J=25°C, L=4.3mH R_G=25Ω, I_{AS}=20A (See Figure 12)

③ I_{SD}≤20A, di/dt≤160A/μs, V_{DD}≤$V_{(BR)DSS}$, T_J≤150°C

④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

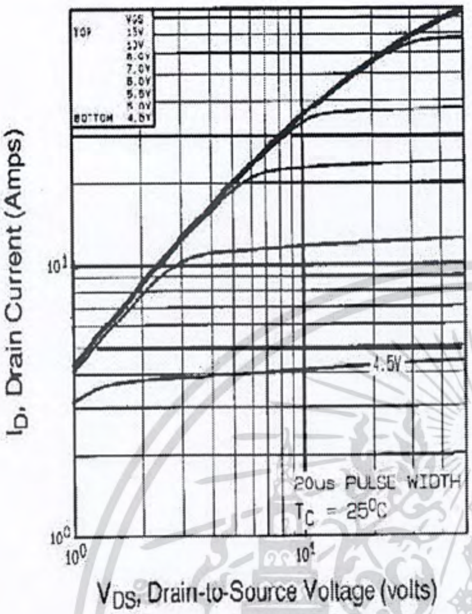


Fig 1. Typical Output Characteristics, T_C=25°C

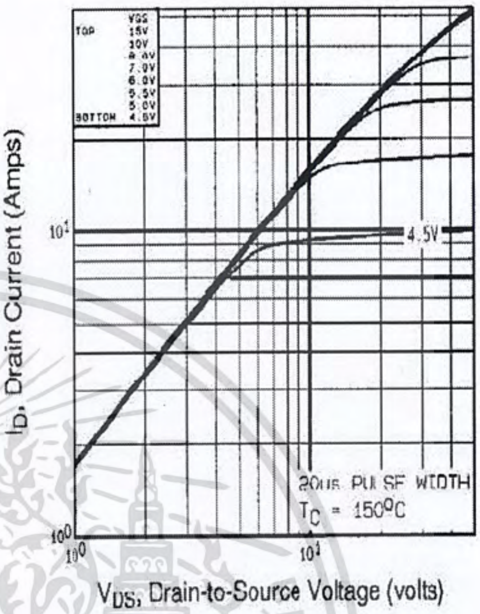


Fig 2. Typical Output Characteristics, T_C=150°C

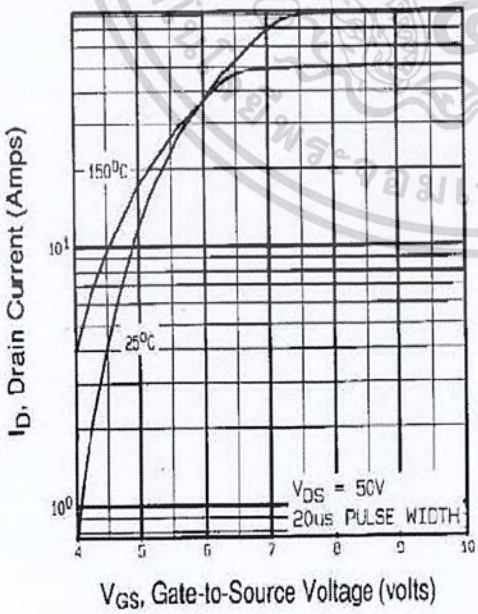


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

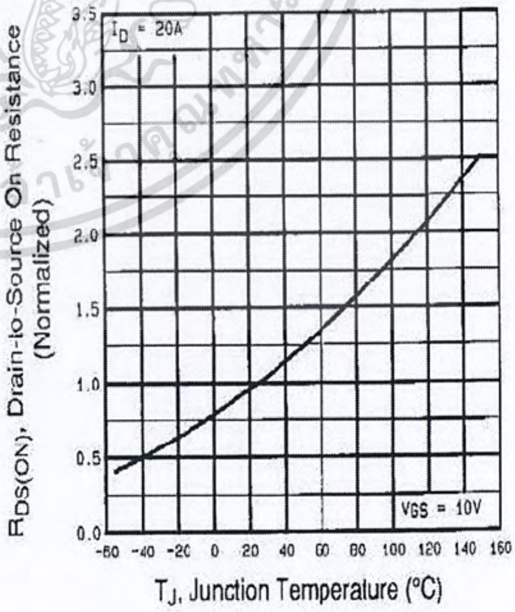


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

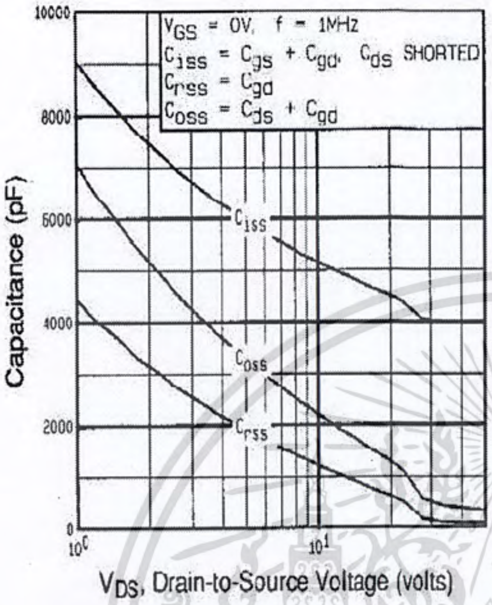


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

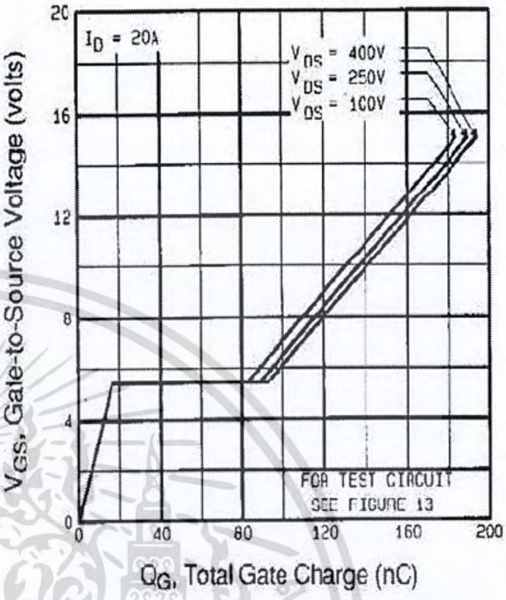


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

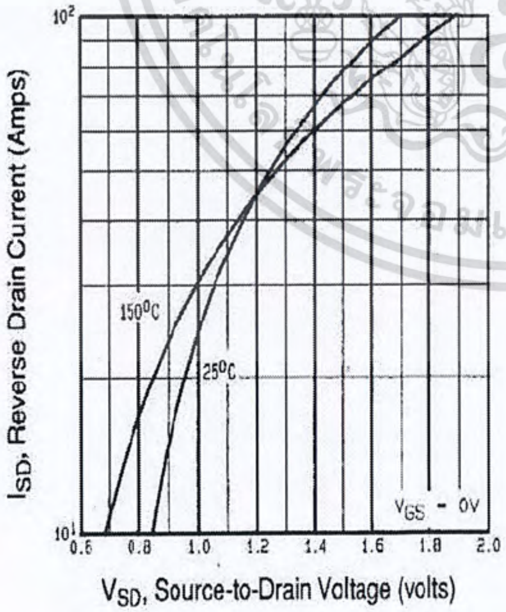


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

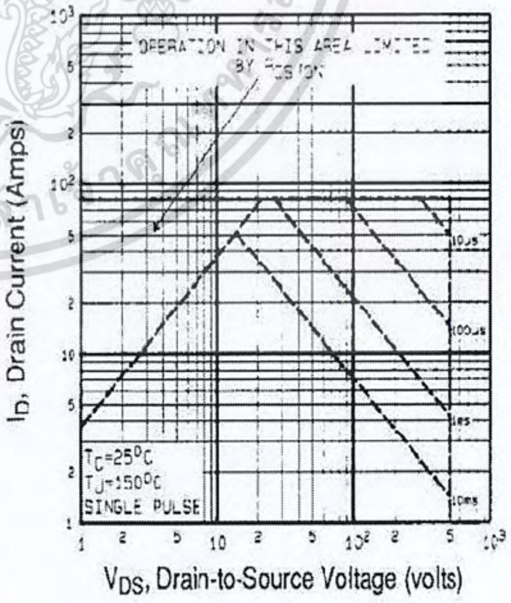


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

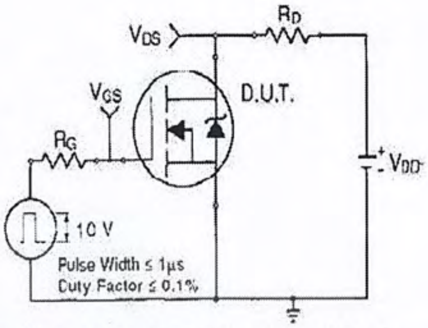


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

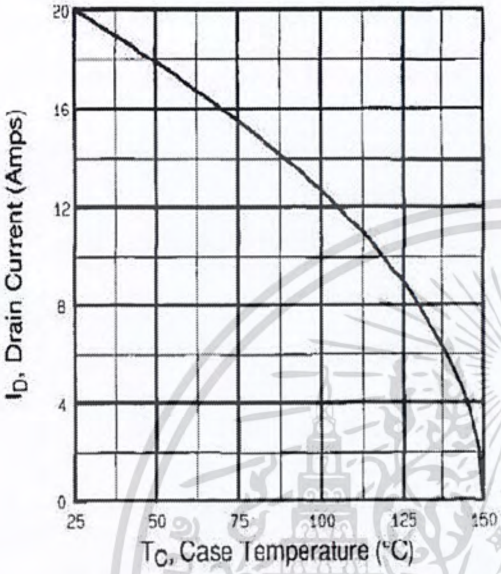


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

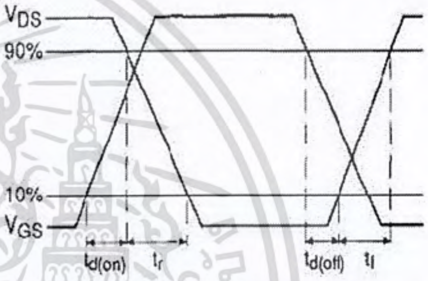


Fig 10b. Switching Time Waveforms

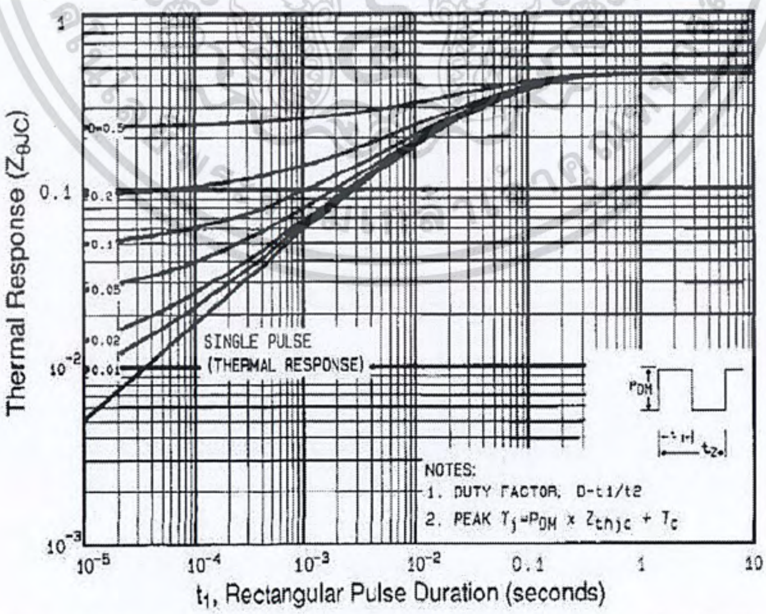


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

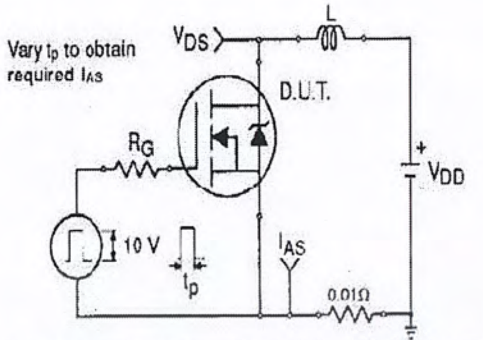


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

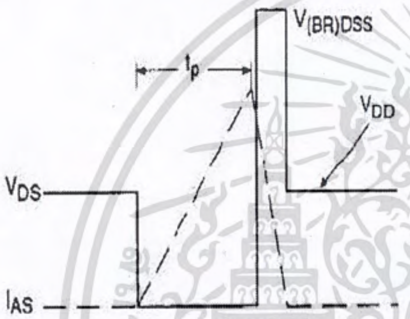


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

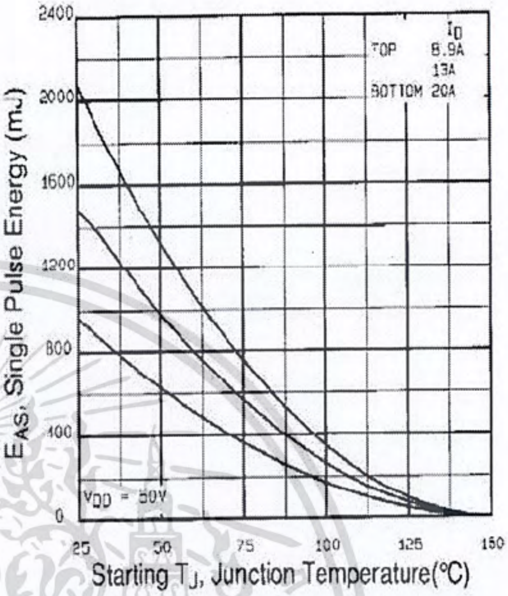


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

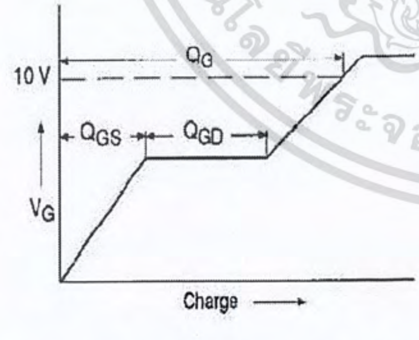


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

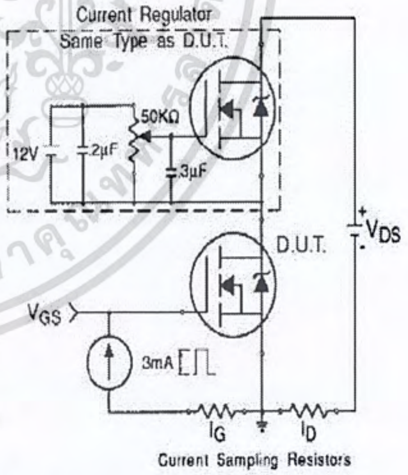


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

International
IOR Rectifier

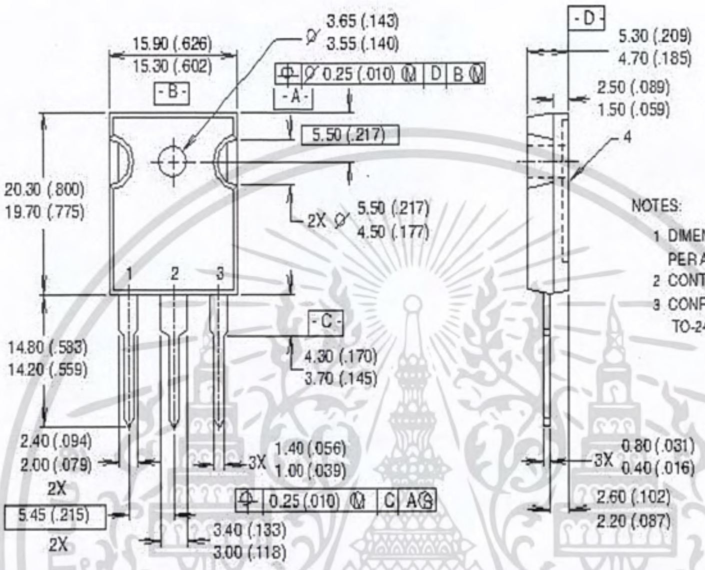
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International
IOR Rectifier

IRFP460PbF

TO-247AC Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



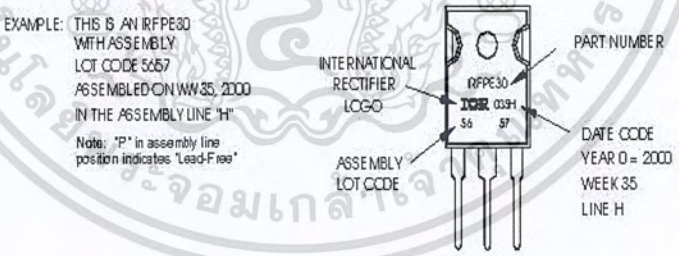
NOTES:

1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION : INCH.
3. CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-247-AC.

LEAD ASSIGNMENTS

Hexfet	IGBT
1 - Gate	1 - Gate
2 - Drain	2 - Collector
3 - Source	3 - Emitter
4 - Drain	4 - Collector

TO-247AC Part Marking Information



Data and specifications subject to change without notice.

International
IOR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903
Visit us at www.irf.com for sales contact information.12/03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ ... ค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HCPL2231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEWLETT® PACKARD

Very High CMR, Wide V_{CC} Logic Gate Optocouplers

Technical Data

HCPL-2201 HCPL-2202
HCPL-2211 HCPL-2212
HCPL-2231 HCPL-2232
HCPL-0201 HCPL-0211
HCNW2201 HCNW2211

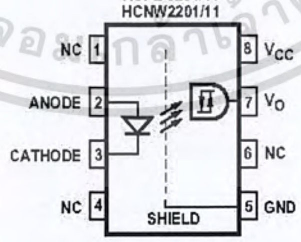
Features

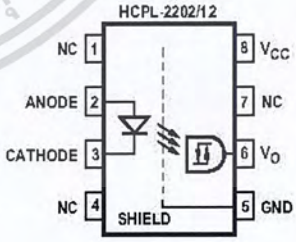
- **10 kV/µs Minimum Common Mode Rejection (CMR) at V_{CM} = 1000 V (HCPL-2211/2212/0211/2232, HCNW2211)**
- **Wide Operating V_{CC} Range: 4.5 to 20 Volts**
- **300 ns Propagation Delay Guaranteed over the Full Temperature Range**
- **5 Mbd Typical Signal Rate**
- **Low Input Current (1.6 mA to 1.8 mA)**
- **Hysteresis**
- **Totem Pole Output (No Pullup Resistor Required)**
- **Available in 8-Pin DIP, SOIC-8, Widebody Packages**
- **Guaranteed Performance from -40°C to 85°C**
- **Safety Approval**
  UL Recognized -2500 V rms for 1 minute (5000 V rms for 1 minute for HCNW22XX) per UL1577
  CSA Approved
  VDE 0884 Approved with V_{IORM} = 630 V_{peak} (HCPL-2211/2212 Option 060 only) and V_{IORM} = 1414 V_{peak} (HCNW22XX only)
  BSI Certified (HCNW22XX only)
- **MIL-STD-1772 Version Available (HCPL-52XX/62XX)**

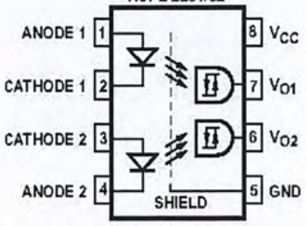
Applications

- **Isolation of High Speed Logic Systems**
- **Computer-Peripheral Interfaces**
- **Microprocessor System Interfaces**
- **Ground Loop Elimination**
- **Pulse Transformer Replacement**
- **High Speed Line Receiver**
- **Power Control Systems**

Functional Diagram







TRUTH TABLE (POSITIVE LOGIC)

LED	V_O
ON	HIGH
OFF	LOW

A 0.1 µF bypass capacitor must be connected between pins 5 and 8.

Description

The HCPL-22XX, HCPL-02XX, and HCNW22XX are optically-coupled logic gates. The HCPL-22XX, and HCPL-02XX contain a GaAsP LED while the HCNW22XX contains an AlGaAs LED. The detectors have totem pole output stages and optical receiver input stages with built-in Schmitt triggers to provide logic-compatible waveforms, eliminating the need for additional waveshaping.

A superior internal shield on the HCPL-2211/12, HCPL-0211,

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HCPL-2232 and HCNW2211 guarantees common mode transient immunity of 10 kV/μs at a common mode voltage of 1000 volts.

The electrical and switching characteristics of the HCPL-22XX, HCPL-02XX and HCNW22XX are guaranteed from -40°C to +85°C and a V_{CC} from 4.5 volts to 20 volts. Low I_F and wide V_{CC} range allow compatibility with TTL, LSTTL, and CMOS logic and result in lower power consumption compared to other high speed couplers. Logic signals are transmitted with a typical propagation delay of 150 ns.

Selection Guide

Minimum CMR		Input	8-Pin DIP (300 Mil)		Small-Outline SO-8	Widebody (400 Mil)	Hermetic
dV/dt (V/μs)	V_{CM} (V)	On-Current (mA)	Single Channel Package	Dual Channel Package	Single Channel Package	Single Channel Package	Single and Dual Channel Packages
1,000	50	1.6	HCPL-2200[1,2] HCPL-2201 HCPL-2202		HCPL-0201	HCNW2201	
		1.8		HCPL-2231			
2,500	400	1.6	HCPL-2219[1,2]				
5,000[3]	300[3]	1.6	HCPL-2211 HCPL-2212		HCPL-0211	HCNW2211	
		1.8		HCPL-2232			
1,000	50	2.0					HCPL-52XX[2] HCPL-62XX[2]

Notes:
1. HCPL-2200/2219 devices include output enable/disable function.
2. Technical data for the HCPL-2200/2219, HCPL-52XX and HCPL-62XX are on separate HP publications.
3. Minimum CMR of 10 kV/μs with V_{CM} = 1000 V can be achieved with input current, I_F, of 5 mA.

Ordering Information

Specify Part Number followed by Option Number (if desired).

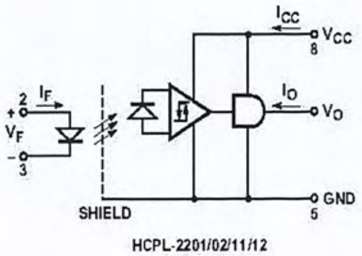
Example:

HCPL-2211#XXX
- 060 = VDE 0884 V_{IORM} = 630 V_{peak} Option*
- 300 = Gull Wing Surface Mount Option**
- 500 = Tape and Reel Packaging Option

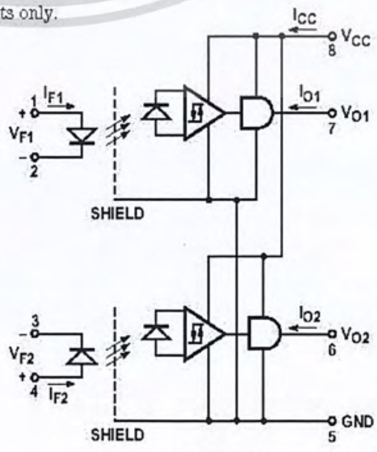
Option data sheets available. Contact your Hewlett-Packard sales representative or authorized distributor for information.

*For HCPL-2211/2212 only.
**Gull wing surface mount option applies to through hole parts only.

Schematic



HCPL-2201/02/11/12
HCPL-0201/11
HCNW2201/11

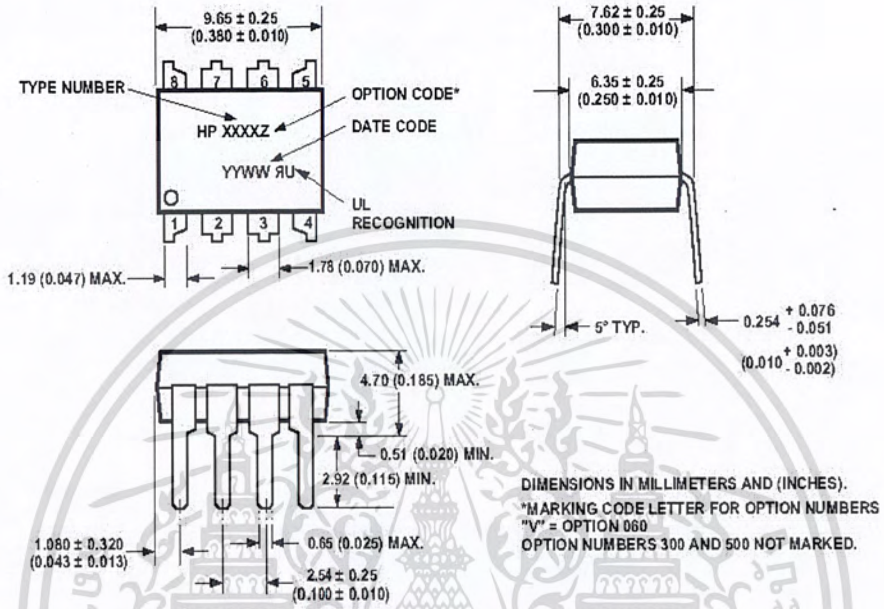


HCPL-2231/32

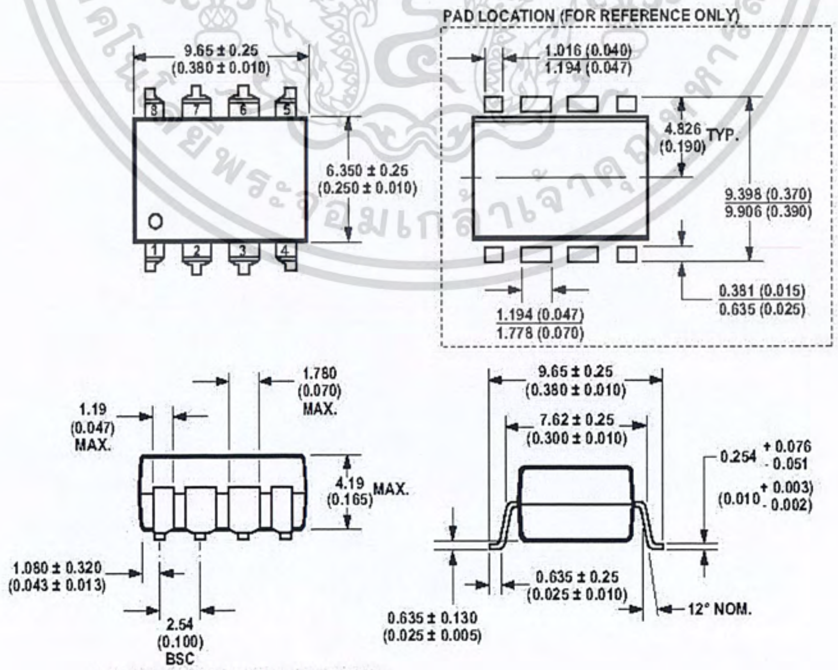
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outline Drawings

8-Pin DIP Package (HCPL-2201/02/11/12/31/32)



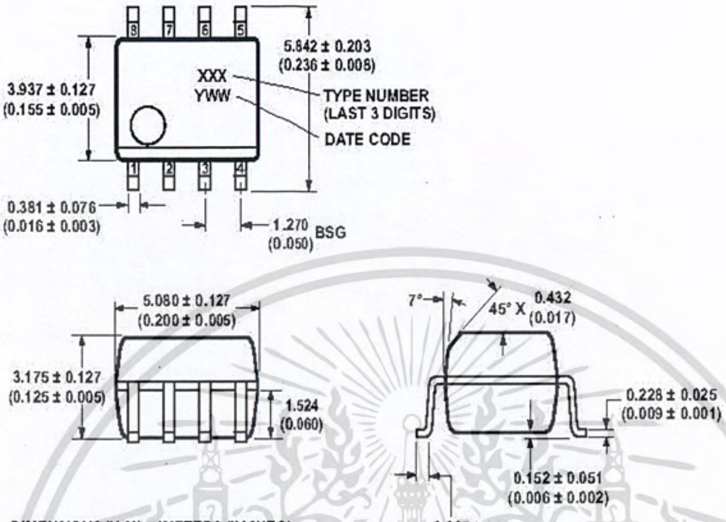
8-Pin DIP Package with Gull Wing Surface Mount Option 300 (HCPL-2201/02/11/12/31/32)



DIMENSIONS IN MILLIMETERS (INCHES).
LEAD COPLANARITY = 0.10 mm (0.004 INCHES).

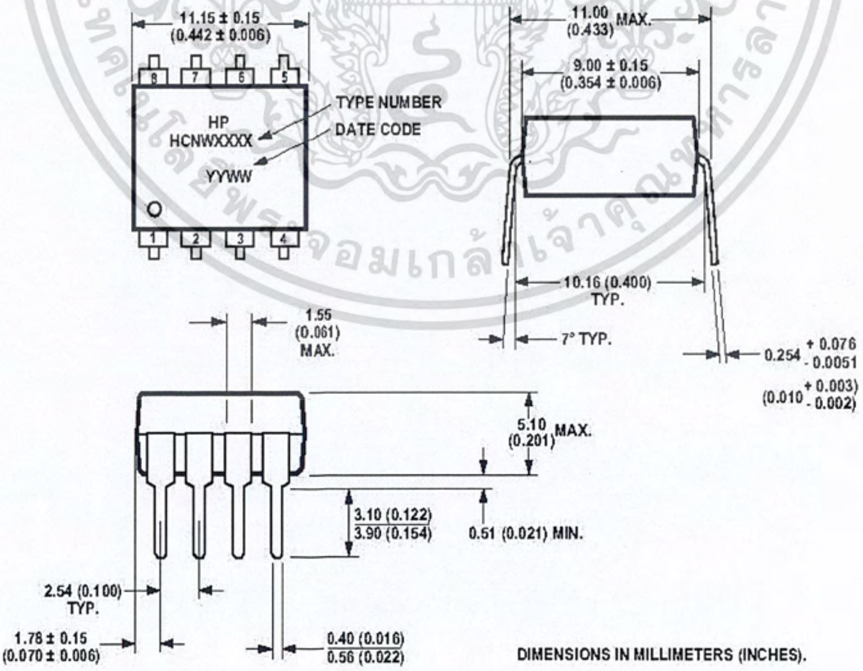
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Small-Outline SO-8 Package (HCPL-0201/11)



DIMENSIONS IN MILLIMETERS (INCHES).
LEAD COPLANARITY = 0.10 mm (0.004 INCHES).

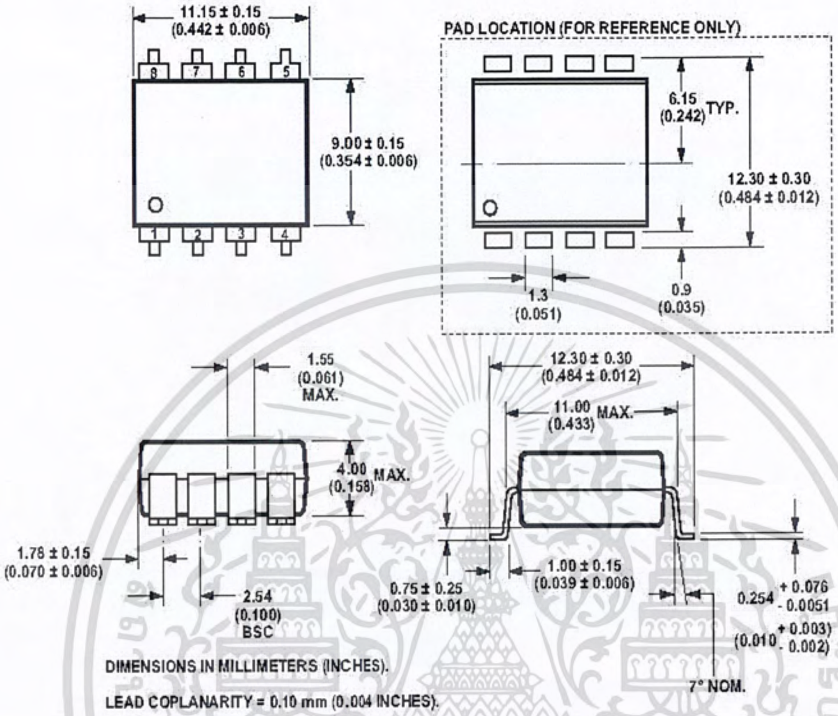
8-Pin Widebody DIP Package (HCNW2201/11)



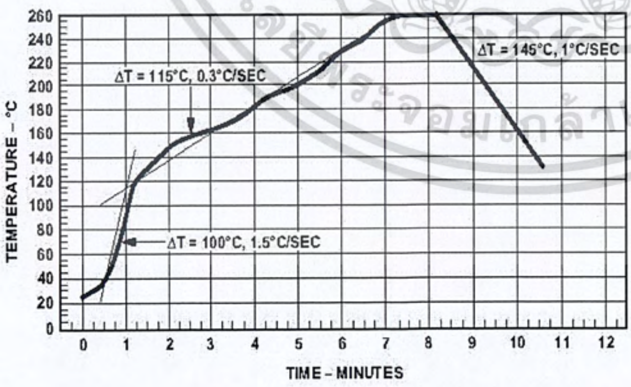
DIMENSIONS IN MILLIMETERS (INCHES).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Pin Widebody DIP Package with Gull Wing Surface Mount Option 300 (HCNW2201/11)



Solder Reflow Temperature Profile (HCPL-02XX and Gull Wing Surface Mount Option 300 Parts)



Note: Use of nonchlorine activated fluxes is highly recommended.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Regulatory Information

The HCPL-22XX/02XX and HCNW22XX have been approved by the following organizations:

UL

Recognized under UL 1577, Component Recognition Program, File E55361.

CSA

Approved under CSA Component Acceptance Notice #5, File CA 88324.

VDE

Approved according to VDE 0884/06.92. (HCPL-2211/2212 Option 060 and HCNW22XX only)

BSI

Certification according to BS415:1994, (BS EN60065:1994); BS EN60950:1992 (BS7002:1992) and EN41003:1993 for Class II applications. (HCNW22XX only)

Insulation and Safety Related Specifications

8-pin DIP Package

Parameter	Symbol	8-Pin DIP (300 Mil) Value	SO-8 Value	Widebody (400 Mil) Value	Units	Conditions
Minimum External Air Gap (External Clearance)	L(101)	7.1	4.9	9.6	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air.
Minimum External Tracking (External Creepage)	L(102)	7.4	4.8	10.0	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body.
Minimum Internal Plastic Gap (Internal Clearance)		0.08	0.08	1.0	mm	Through insulation distance, conductor to conductor, usually the direct distance between the photoemitter and photodetector inside the optocoupler cavity.
Minimum Internal Tracking (Internal Creepage)		NA	NA	4.0	mm	Measured from input terminals to output terminals, along internal cavity.
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI	200	200	200	Volts	DIN IEC 112/VDE 0303 Part 1
Isolation Group		IIIa	IIIa	IIIa		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)

Option 300 - surface mount classification is Class A in accordance with CECC 00802.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VDE 0884 Insulation Related Characteristics (HCPL-2211/2212 Option 060 ONLY)

Description	Symbol	Characteristic	Units
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage ≤ 300 V rms		I-IV	
for rated mains voltage ≤ 450 V rms		I-III	
Climatic Classification		55/85/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	630	V peak
Input to Output Test Voltage, Method b* $V_{IORM} \times 1.875 = V_{PR}$, 100% Production Test with $t_m = 1$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	1181	V peak
Input to Output Test Voltage, Method a* $V_{IORM} \times 1.5 = V_{PR}$, Type and sample test, $t_m = 60$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	945	V peak
Highest Allowable Overvoltage* (Transient Overvoltage, $t_{ini} = 10$ sec)	V_{IOTM}	6000	V peak
Safety Limiting Values (Maximum values allowed in the event of a failure, also see Figure 12, Thermal Derating curve.) Case Temperature Input Current Output Power	 T_S $I_{S,OUTPUT}$ $P_{S,OUTPUT}$	 175 230 600	 °C mA mW
Insulation Resistance at T_S, $V_{IO} = 500$ V	R_S	$\geq 10^9$	Ω

*Refer to the front of the optocoupler section of the current catalog, under Product Safety Regulations section (VDE 0884), for a detailed description.

Note: Isolation characteristics are guaranteed only within the safety maximum ratings which must be ensured by protective circuits in application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VDE 0884 Insulation Related Characteristics (HCNW22XX ONLY)

Description	Symbol	Characteristic	Units
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage ≤ 600 V rms		I-IV	
for rated mains voltage ≤ 1000 V rms		I-III	
Climatic Classification		55/100/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	1414	V peak
Input to Output Test Voltage, Method b* V_{IORM} x 1.875 = V_{PR}, 100% Production Test with t_m = 1 sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	2652	V peak
Input to Output Test Voltage, Method a* V_{IORM} x 1.5 = V_{PR}, Type and sample test, t_m = 60 sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	2121	V peak
Highest Allowable Overvoltage* (Transient Overvoltage, t_{ini} = 10 sec)	V_{IOTM}	8000	V peak
Safety Limiting Values (Maximum values allowed in the event of a failure, also see Figure 12, Thermal Derating curve.) Case Temperature Current (Input Current I_F, P_S = 0) Output Power	 T_S $I_{S,INPUT}$ $P_{S,OUTPUT}$	 150 400 700	 °C mA mW
Insulation Resistance at T_S, V_{IO} = 500 V	R_S	≥ 10^9	Ω

*Refer to the front of the optocoupler section of the current catalog, under Product Safety Regulations section (VDE 0884), for a detailed description.

Note: Isolation characteristics are guaranteed only within the safety maximum ratings which must be ensured by protective circuits in application.

Absolute Maximum Ratings

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Units	Note
Storage Temperature		T_S	-55	125	°C	
Operating Temperature		T_A	-40	85	°C	
Average Forward Input Current		$I_{F(AVG)}$		10	mA	1
Peak Transient Input Current (≤ 1 µs Pulse Width, 300 pps)		$I_{F(TRAN)}$		1.0	A	1
(≤ 200 µs Pulse Width, < 1% Duty Cycle)	HCNW22XX			40	mA	
Reverse Input Voltage		V_R		5	V	1
	HCNW22XX			3		
Average Output Current		I_O		25	mA	1
Supply Voltage		V_{CC}	0	20	V	
Output Voltage		V_O	-0.5	20	V	1
Total Package Power Dissipation		P_T		210	mW	2
	HCPL-223X			294		
Output Power Dissipation		P_O	See Figure 7			1
Lead Solder Temperature (Through Hole Parts Only)		260°C for 10 sec., 1.6 mm below seating plane				
	HCNW22XX	260°C for 10 sec., up to seating plane				
Solder Reflow Temperature Profile (Surface Mount Parts Only)		See Package Outline Drawings section				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Recommended Operating Conditions

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Units
Power Supply Voltage		V_{CC}	4.5	20	V
Forward Input Current (ON)		$I_{F(ON)}$	1.6*	5	mA
	HCPL-223X		1.8†		
Forward Input Voltage (OFF)		$V_{F(OFF)}$	-	0.8	V
Operating Temperature		T_A	-40	85	°C
Junction Temperature		T_J	-40	125	°C
Fan Out		N		4	TTL Loads

*The initial switching threshold is 1.6 mA or less. It is recommended that 2.2 mA be used to permit at least a 20% LED degradation guardband.

†The initial switching threshold is 1.8 mA or less. It is recommended that 2.5 mA be used to permit at least a 20% LED degradation guardband.

Electrical Specifications

$-40°C \le T_A \le 85°C$, $4.5\ V \le V_{CC} \le 20\ V$, $1.6\ mA \le I_{F(ON)}* \le 5\ mA$, $0\ V \le V_{F(OFF)} \le 0.8\ V$, unless otherwise specified. All Typicals at $T_A = 25°C$. See Note 7.

Parameter		Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions		Fig.	Note
Logic Low Output Voltage		V_{OL}			0.5	V	I_{OL} = 6.4 mA (4 TTL Loads)		1, 3	1
Logic High Output Voltage		V_{OH}	2.4	**		V	I_{OH} = -2.6 mA		2, 3, 8	1
			2.7				I_{OH} = -0.4 mA			
Output Leakage Current ($V_{OUT} > V_{CC}$)		I_{OHH}			100	µA	V_O = 5.5 V	I_F = 5 mA		1
					500		V_O = 20 V			
Logic Low Supply Current		I_{CCL}		3.7	6.0	mA	V_{CC} = 5.5 V	V_F = 0 V		
				4.3	7.0		V_{CC} = 20 V	I_O = Open		
	HCPL-223X			7.4	12.0		V_{CC} = 5.5 V			
				8.6	14.0		V_{CC} = 20 V			
Logic High Supply Current		I_{CCH}		2.4	4.0	mA	V_{CC} = 5.5 V	I_F = 5 mA		
				2.7	5.0		V_{CC} = 20 V	I_O = Open		
	HCPL-223X			4.8	8.0		V_{CC} = 5.5 V			
				5.4	10.0		V_{CC} = 20 V			
Logic Low Short Circuit Output Current		I_{OSL}	15			mA	$V_O = V_{CC}$ = 5.5 V	V_F = 0 V		1, 3
			20				$V_O = V_{CC}$ = 20 V			
Logic High Short Circuit Output Current		I_{OSH}			-10	mA	V_{CC} = 5.5 V	I_F = 5 mA		1, 3
					-20		V_{CC} = 20 V	V_O = GND		
Input Forward Voltage		V_F		1.5	1.7	V	T_A = 25°C	I_F = 5 mA	4	1
					1.85					
	HCNW22XX			1.5	1.82		T_A = 25°C			
					1.95					
Input Reverse Breakdown Voltage		BV_R	5			V	I_R = 10 µA			1
	HCNW22XX		3				I_R = 100 µA			
Input Diode Temperature Coefficient		$\frac{\Delta V_F}{\Delta T_A}$		-1.7		mV/°C	I_F = 5 mA			
	HCNW22XX			-1.4						
Input Capacitance		C_{IN}		60		pF	f = 1 MHz, V_F = 0 V			1, 4
	HCNW22XX			70						

*For HCPL-223X, $1.8\ mA \le I_{F(ON)} \le 5\ mA$.

**Typical $V_{OH} = V_{CC} - 2.1\ V$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Specifications (AC)

-40°C ≤ T_A ≤ 85°C, 4.5 V ≤ V_{CC} ≤ 20 V, 1.6 mA ≤ $I_{F(ON)}$* ≤ 5 mA, 0 V ≤ $V_{F(OFF)}$ ≤ 0.8 V.
All Typicals at T_A = 25°C, V_{CC} = 5 V, $I_{F(ON)}$ = 3 mA unless otherwise specified.

Parameter	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Propagation Delay Time to Logic Low Output Level	t_{PHL}		150		ns	Without Peaking Capacitor	5, 6	1, 6
			160			HCNW22XX		
			150	300		With Peaking Capacitor		
Propagation Delay Time to Logic High Output Level	t_{PLH}		110		ns	Without Peaking Capacitor	5, 6	1, 6
			180			HCNW22XX		
			90	300		With Peaking Capacitor		
Output Rise Time (10-90%)	t_r		30		ns		5, 9	1
Output Fall Time (90-10%)	t_f		7		ns		5, 9	1

Parameter	Sym.	Device	Min.	Units	Test Conditions		Fig.	Note
Logic High Common Mode Transient Immunity	$\|CM_H\|$	HCPL-2201/02 HCPL-0201 HCPL-2231 HCNW2201	1,000	V/µs	$\|V_{CM}\|$ = 50 V I_F = 1.6 mA†	V_{CC} = 5 V T_A = 25°C	10	1, 7
		HCPL-2211/12 HCPL-0211	5,000	V/µs	$\|V_{CM}\|$ = 300 V I_F = 1.6 mA‡			
		HCPL-2232 HCNW2211	10,000	V/µs	$\|V_{CM}\|$ = 1 kV I_F = 5.0 mA			
Logic Low Common Mode Transient Immunity	$\|CM_L\|$	HCPL-2201/02 HCPL-0201 HCPL-2231 HCNW2201	1,000	V/µs	$\|V_{CM}\|$ = 50 V	V_F = 0 V V_{CC} = 5 V T_A = 25°C	10	1, 7
		HCPL-2211/12 HCPL-0211 HCPL-2232 HCNW2211	10,000	V/µs	$\|V_{CM}\|$ = 1 kV			

*For HCPL-223X, 1.8 mA ≤ $I_{F(ON)}$ ≤ 5 mA.
†I_F = 1.8 mA for HCPL-2231.
‡I_F = 1.8 mA for HCPL-2232.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Characteristics

Parameter		Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Input-Output Momentary Withstand Voltage*		V_{ISO}	2500			V rms	RH < 50%, t = 1 min. $T_A = 25°C$		5, 10
	HCNW22XX		5000						5, 11
Input-Output Resistance		$R_{I\text{-}O}$		10^{12}		Ω	$V_{I\text{-}O} = 500$ Vdc		5
	HCNW22XX		10^{12}	10^{13}			$T_A = 25°C$		
			10^{11}				$T_A = 100°C$		
Input-Output Capacitance		$C_{I\text{-}O}$		0.6		pF	f = 1 MHz, $V_{I\text{-}O} = 0$ Vdc		5
	HCNW22XX			0.5	0.6		$T_A = 25°C$		
Input-Input Insulation Leakage Current		$I_{I\text{-}I}$		0.005		μA	Relative Humidity = 45%, t = 5 s, $V_{I\text{-}I} = 500$ V		12
Resistance (Input-Input)		$R_{I\text{-}I}$		10^{11}		Ω	$V_{I\text{-}I} = 500$ V		12
Capacitance (Input-Input)		$C_{I\text{-}I}$		0.25		pF	f = 1 MHz		12

*The Input-Output Momentary Withstand Voltage is a dielectric voltage rating that should not be interpreted as an input-output continuous voltage rating. For the continuous voltage rating refer to the VDE 0884 Insulation Characteristics Table (if applicable), your equipment level safety specification or HP Application Note 1074 entitled "Optocoupler Input-Output Endurance Voltage," publication number 5963-2203E.

Notes:

1. Each channel.
2. Derate total package power dissipation, P_T, linearly above 70°C free-air temperature at a rate of 4.5 mW/°C.
3. Duration of output short circuit time should not exceed 10 ms.
4. For single devices, input capacitance is measured between pin 2 and pin 3.
5. Device considered a two-terminal device: pins 1, 2, 3, and 4 shorted together and pins 5, 6, 7, and 8 shorted together.
6. The t_{PLH} propagation delay is measured from the 50% point on the leading edge of the input pulse to the 1.3 V point on the leading edge of the output pulse. The t_{PHL} propagation delay is measured from the 50% point on the trailing edge of the input pulse to the 1.3 V point on the trailing edge of the output pulse.
7. CM_H is the maximum slew rate of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the logic high state, $V_O > 2.0$ V. CM_L is the maximum slew rate of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the logic low state, $V_O < 0.8$ V.
8. For HCPL-2202/12, V_O is on pin 6.
9. Use of a 0.1 μF bypass capacitor connected between pins 5 and 8 is recommended.
10. In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage ≥ 3000 V rms for one second (leakage detection current limit, $I_{I\text{-}O} \le 5$ μA). This test is performed before the 100% production test for partial discharge (Method b) shown in the VDE 0884 Insulation Characteristics Table, if applicable.
11. In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage ≥ 6000 V rms for one second (leakage detection current limit, $I_{I\text{-}O} \le 5$ μA). This test is performed before the 100% production test for partial discharge (Method b) shown in the VDE 0884 Insulation Characteristics Table.
12. For HCPL-2231/32 only. Measured between pins 1 and 2, shorted together, and pins 3 and 4, shorted together.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

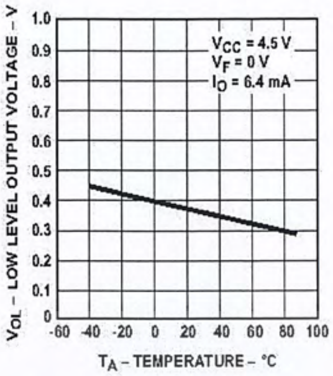


Figure 1. Typical Logic Low Output Voltage vs. Temperature.

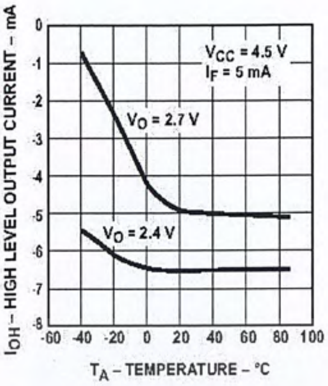


Figure 2. Typical Logic High Output Current vs. Temperature.

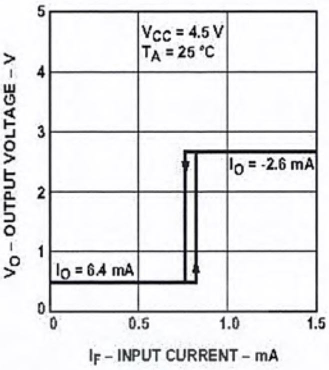


Figure 3. Typical Output Voltage vs. Forward Input Current.

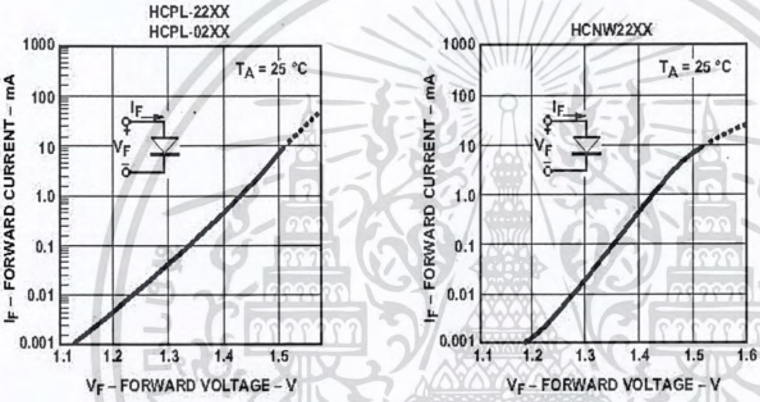
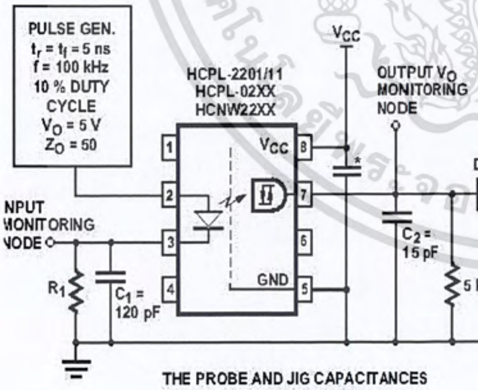


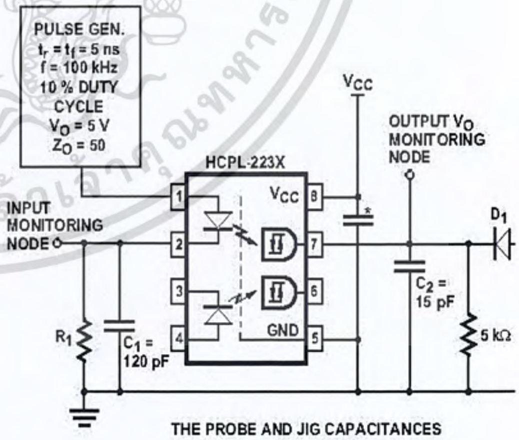
Figure 4. Typical Input Diode Forward Characteristic.



THE PROBE AND JIG CAPACITANCES ARE INCLUDED IN C_1 AND C_2.

R_1	2.15 kΩ	1.10 kΩ	681 Ω
I_F (ON)	1.6 mA	3 mA	5 mA

ALL DIODES ARE 1N916 OR 1N3064.



THE PROBE AND JIG CAPACITANCES ARE INCLUDED IN C_1 AND C_2.

R_1	1.96 kΩ	1.10 kΩ	681 Ω
I_F (ON)	1.8 mA	3 mA	5 mA

ALL DIODES ARE 1N916 OR 1N3064.

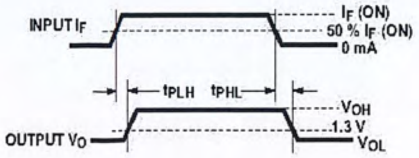


Figure 5. Circuit for t_{PLH}, t_{PHL}, t_r, t_f.

* 0.1 µF BYPASS — SEE NOTE 9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

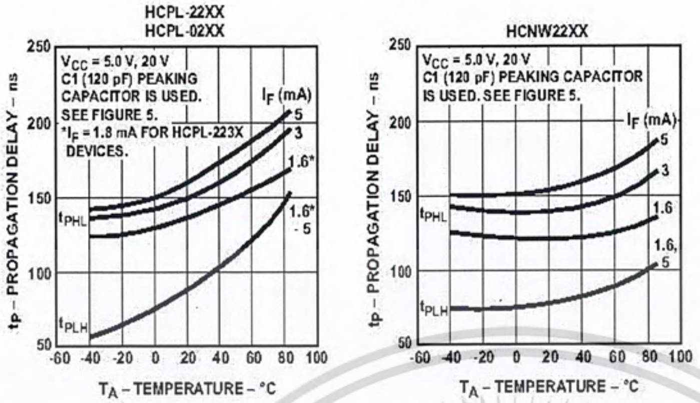


Figure 6. Typical Propagation Delays vs. Temperature.

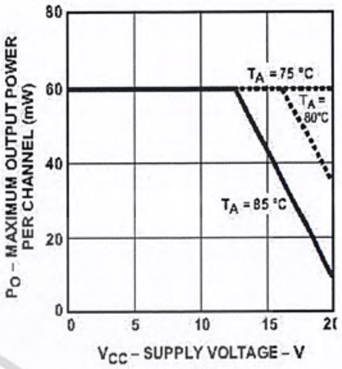


Figure 7. Maximum Output Power per Channel vs. Supply Voltage.

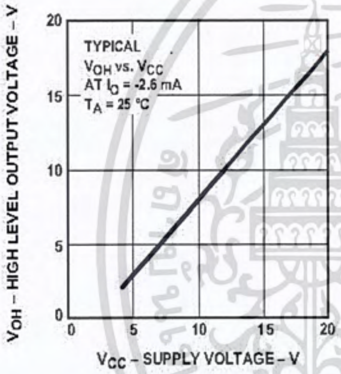


Figure 8. Typical Logic High Output Voltage vs. Supply Voltage.

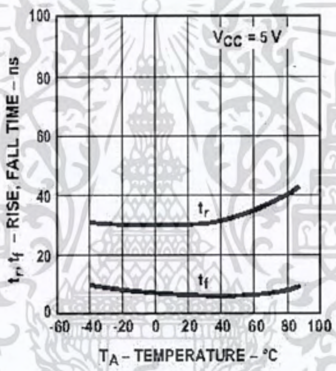


Figure 9. Typical Rise, Fall Time vs. Temperature.

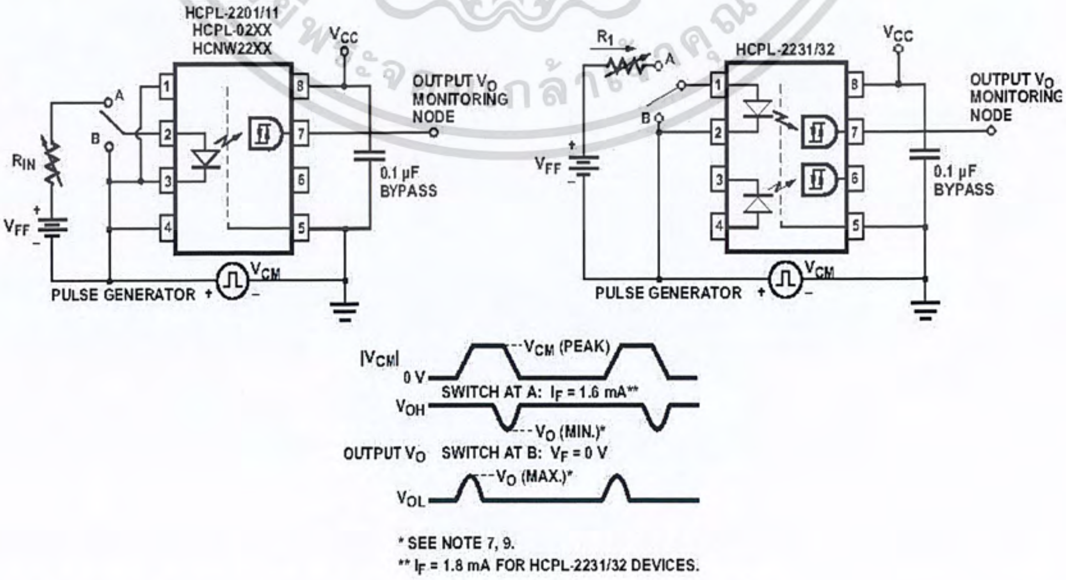


Figure 10. Test Circuit for Common Mode Transient Immunity and Typical Waveforms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

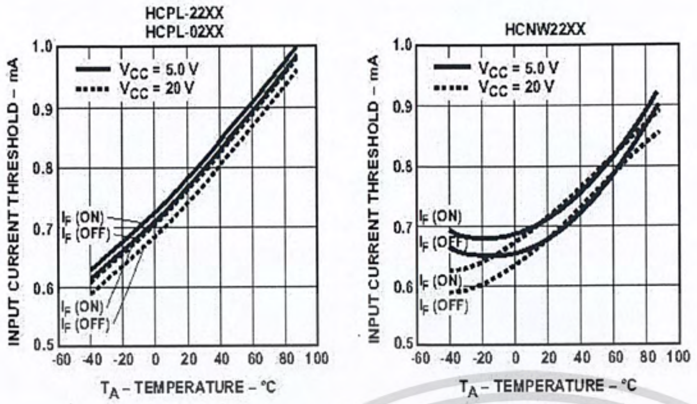


Figure 11. Typical Input Threshold Current vs. Temperature.

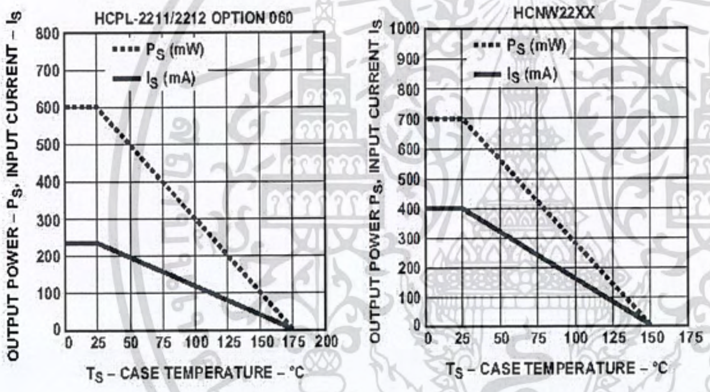


Figure 12. Thermal Derating Curve, Dependence of Safety Limiting Value with Case Temperature per VDE 0884.

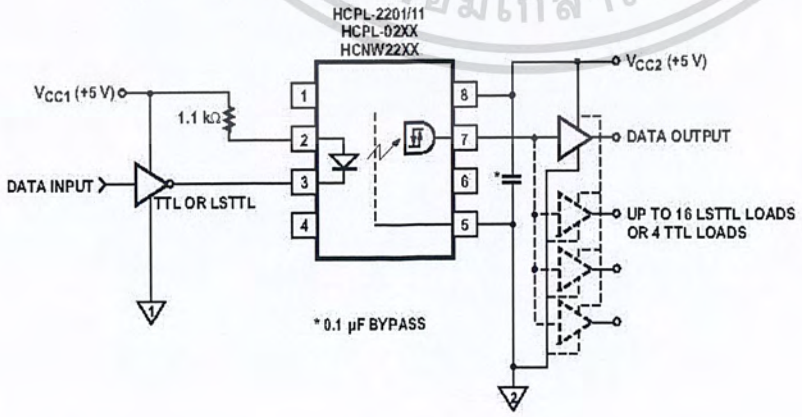


Figure 13a. Recommended LSTTL to LSTTL Circuit where 500 ns Propagation Delay is Sufficient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

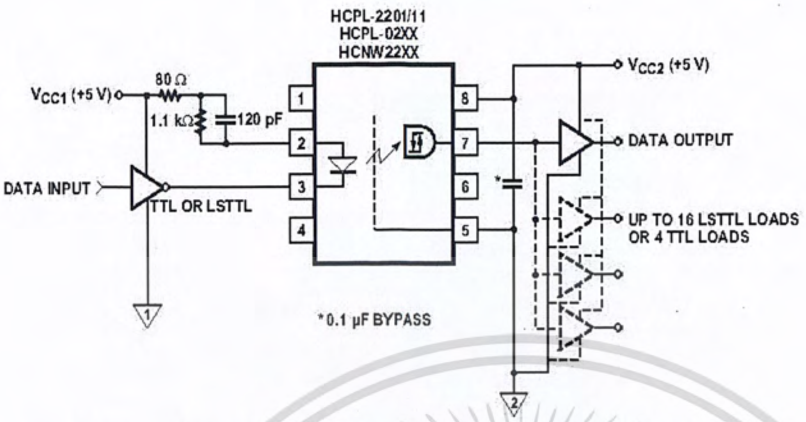


Figure 13b. Recommended LSTTL to LSTTL Circuit for Applications Requiring a Maximum Allowable Propagation Delay of 300 ns.

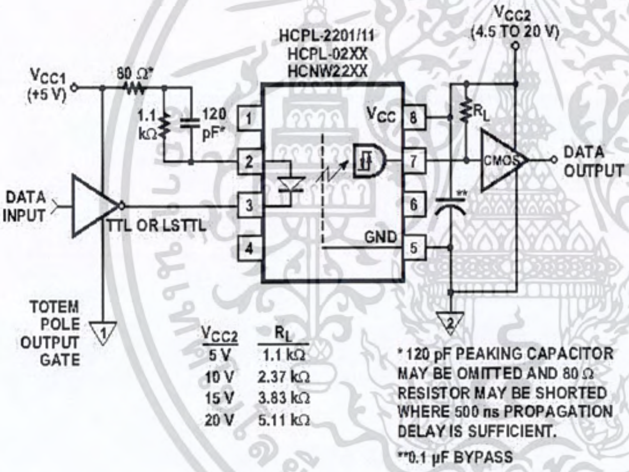


Figure 14. LSTTL to CMOS Interface Circuit.

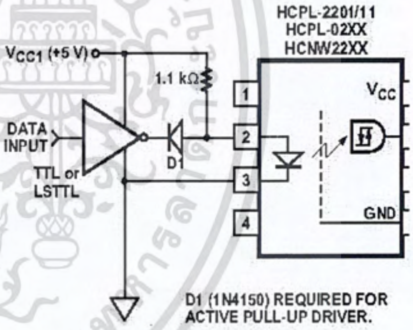


Figure 15. Alternative LED Drive Circuit.

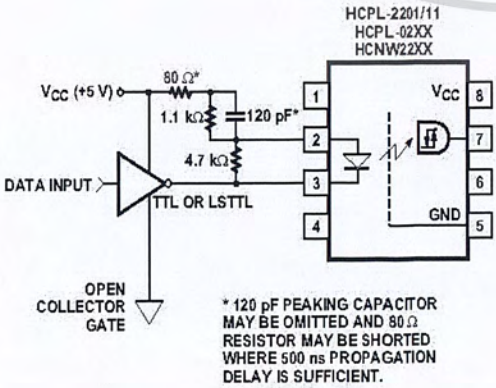


Figure 16. Series LED Drive with Open Collector Gate (4.7 k Resistor Shunts I_{OH} from the LED).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS754LCB-050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

5

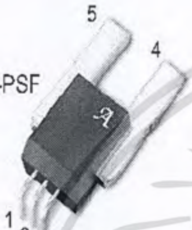
Package CB-PFF 4

1 2 3

5

4

Package CB-PSF

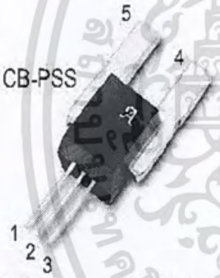


1 2 3

5

4

Package CB-PSS



1 2 3

Pin 1: VCC
Pin 2: GND
Pin 3: VOUT

Terminal 4: IP+
Terminal 5: IP–

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{CC} .... 16 V
Reverse Supply Voltage, V_{RCC} .... –16 V
Output Voltage, V_{OUT} .... 16 V
Reverse Output Voltage, V_{ROUT} .... –0.1 V
Output Current Source, $I_{OUT(Source)}$ .... 3 mA
Output Current Sink, $I_{OUT(Sink)}$ .... 10 mA
Operating Temperature,
Ambient, T_A, L range .... –40 to 150°C
Ambient, T_A, S range .... –20 to 85°C
Maximum Junction, $T_{J(max)}$ .... 165°C
Maximum Storage Temperature, T_S .... –65 to 170°C

TÜV America
Certificate Number:
U8V 04 11 54214 001

The Allegro ACS75x family of current sensors provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precision, low-offset linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy at the factory.

The output of the device has a positive slope ($>V_{CC}/2$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is typically 100 μΩ, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 1 through 3). This allows the ACS75x family of sensors to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The device is fully calibrated prior to shipment from the factory. The ACS75x family is lead-free. All leads are coated with 100% matte tin, and there is no lead inside the package. The heavy gauge leadframe is made of oxygen-free copper.

Features and Benefits

- Monolithic Hall IC for high reliability
- Single +5 V supply
- 3 kV_{RMS} isolation voltage between terminals 4/5 and pins 1/2/3
- 35 kHz bandwidth
- Automotive temperature range
- End-of-line factory-trimmed for gain and offset
- Ultra-low power loss: 100 μΩ internal conductor resistance
- Ratiometric output from supply voltage
- Extremely stable output offset voltage
- Small package size, with easy mounting capability
- Output proportional to ac and dc currents

Applications

- Automotive systems
- Industrial systems
- Motor control
- Servo systems
- Power conversion
- Battery monitors

Use the following complete part numbers when ordering:

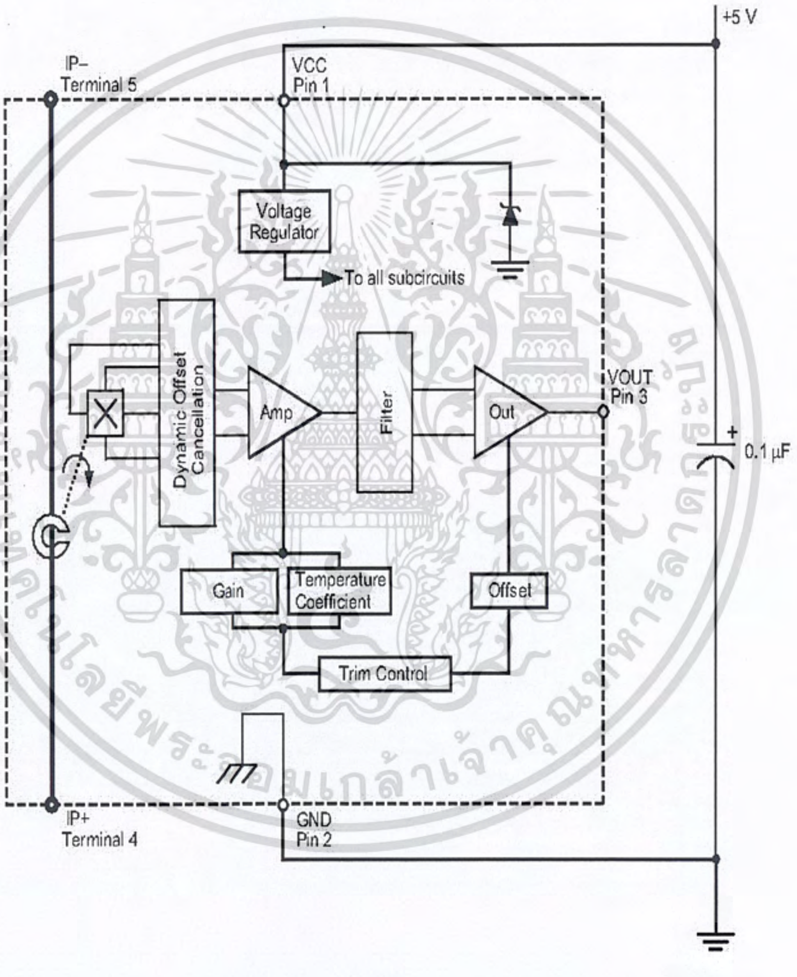
Part Number	Signal Pins	Terminals	Ambient
ACS754LCB-050-PFF	Formed	Formed	–40 to 150°C
ACS754LCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754LCB-050-PSS	Straight	Straight	
ACS754SCB-050-PFF	Formed	Formed	–20 to 85°C
ACS754SCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754SCB-050-PSS	Straight	Straight	

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Functional Block Diagram



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

ELECTRICAL CHARACTERISTICS, over operating ambient temperature range unless otherwise stated

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Primary Sensed Current	I_P		–50	–	50	A
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	V_{CC} = 5.0 V, output open	6.5	8	10	mA
Output Resistance	R_{OUT}	I_{OUT} = 1.2 mA	–	1	2	Ω
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VOUT to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	I_P = ±100A; T_A = 25°C	–	100	–	µΩ
		Pins 1-3 and 4-5; 60 Hz, 1 minute	3.0	–	–	kV
PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -20°C to +85°C, V_{CC} = 5 V unless otherwise specified						
Propagation time	t_{PROP}	I_P = ±50 A, T_A = 25°C	–	4	–	µs
Response time	$t_{RESPONSE}$	I_P = ±50 A, T_A = 25°C	–	12	–	µs
Rise time	t_r	I_P = ±50 A, T_A = 25°C	–	11	–	µs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB , T_A = 25°C	–	35	–	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P, T_A = 25°C	–	40	–	mV/A
		Over full range of I_P	37.8	–	42.0	mV/A
Noise	V_{NOISE}	Peak-to-peak, T_A = 25°C, no external filter	–	65	–	mV
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	–	±1.5	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	I = 0 A, T_A = 25°C	–	$V_{CC}/2$	–	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	V_{OE}	I = 0 A, T_A = 25°C	–10	–	10	mV
		I = 0 A	–20	–	20	mV
Magnetic Offset Error	I_{ERROM}	I = 0 A, after excursion of 100 A	–	±0.1	±0.30	A
Total Output Error (Including all offsets)	E_{TOT}	Over full range of I_P, T_A = 25°C	–	±1.0	–	%
		Over full range of I_P	–	–	±5.0	%
PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -40°C to +150°C, V_{CC} = 5 V unless otherwise specified						
Propagation time	t_{PROP}	I_P = ±50 A, T_A = 25°C	–	4	–	µs
Response time	$t_{RESPONSE}$	I_P = ±50 A, T_A = 25°C	–	12	–	µs
Rise time	t_r	I_P = ±50 A, T_A = 25°C	–	11	–	µs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB , T_A = 25°C	–	35	–	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P, T_A = 25°C	–	40	–	mV/A
		Over full range of I_P	36.0	–	42.8	mV/A
Noise	V_{NOISE}	Peak-to-peak, T_A = 25°C, no external filter	–	65	–	mV
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	–	±1.8	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	I = 0 A, T_A = 25°C	–	$V_{CC}/2$	–	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	V_{OE}	I = 0 A, T_A = 25°C	–10	–	10	mV
		I = 0 A	–35	–	35	mV
Magnetic Offset Error	I_{ERROM}	I = 0 A, after excursion of 100 A	–	±0.1	±0.40	A
Total Output Error (Including all offsets)	E_{TOT}	Over full range of I_P, T_A = 25°C	–	±1.0	–	%
		Over full range of I_P	–	–	±9.9	%

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens): The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is trimmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}): The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}): The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Linearity reveals the maximum deviation from the ideal transfer curve for this transducer. Nonlinearity in the output can be attributed to the gain variation across temperature and saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100\left\{1-\left[\frac{\Delta \text{ gain} \times \%\text{ sat } (V_{\text{out_full-scale amperes}} - V_{OUT(Q)})}{2\,(V_{\text{out_half-scale amperes}} - V_{OUT(Q)})}\right]\right\}$$

where

Δ gain = the gain variation as a function of temperature changes from 25°C,

% sat = the percentage of saturation of the flux concentrator, which becomes significant as the current being sensed approaches full-scale $\pm I_P$, and

$V_{\text{out_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}): The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following equation is used to derive symmetry:

$$100\left[\frac{V_{\text{out_+full-scale amperes}} - V_{OUT(Q)}}{V_{OUT(Q)} - V_{\text{out_-full-scale amperes}}}\right]$$

Quiescent output voltage ($V_{OUT(Q)}$): The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, V_{CC} = 5 V translates into $V_{OUT(Q)}$ = 2.5 V. Variation in $V_{OUT(Q)}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim, magnetic hysteresis, and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}): The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes.

Magnetic offset error (I_{ERROM}): The magnetic offset is due to the residual magnetism (remnant field) of the core material. The magnetic offset error is highest when the magnetic circuit has been saturated, usually when the device has been subjected to a full-scale or high-current overload condition. The magnetic offset is largely dependent on the material used as a flux concentrator. The larger magnetic offsets are observed at the lower operating temperatures.

Accuracy (E_{TOT}): The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total ouput error. The accuracy is illustrated graphically in the Output Voltage versus Current chart on the following page.

Accuracy is divided into four areas:

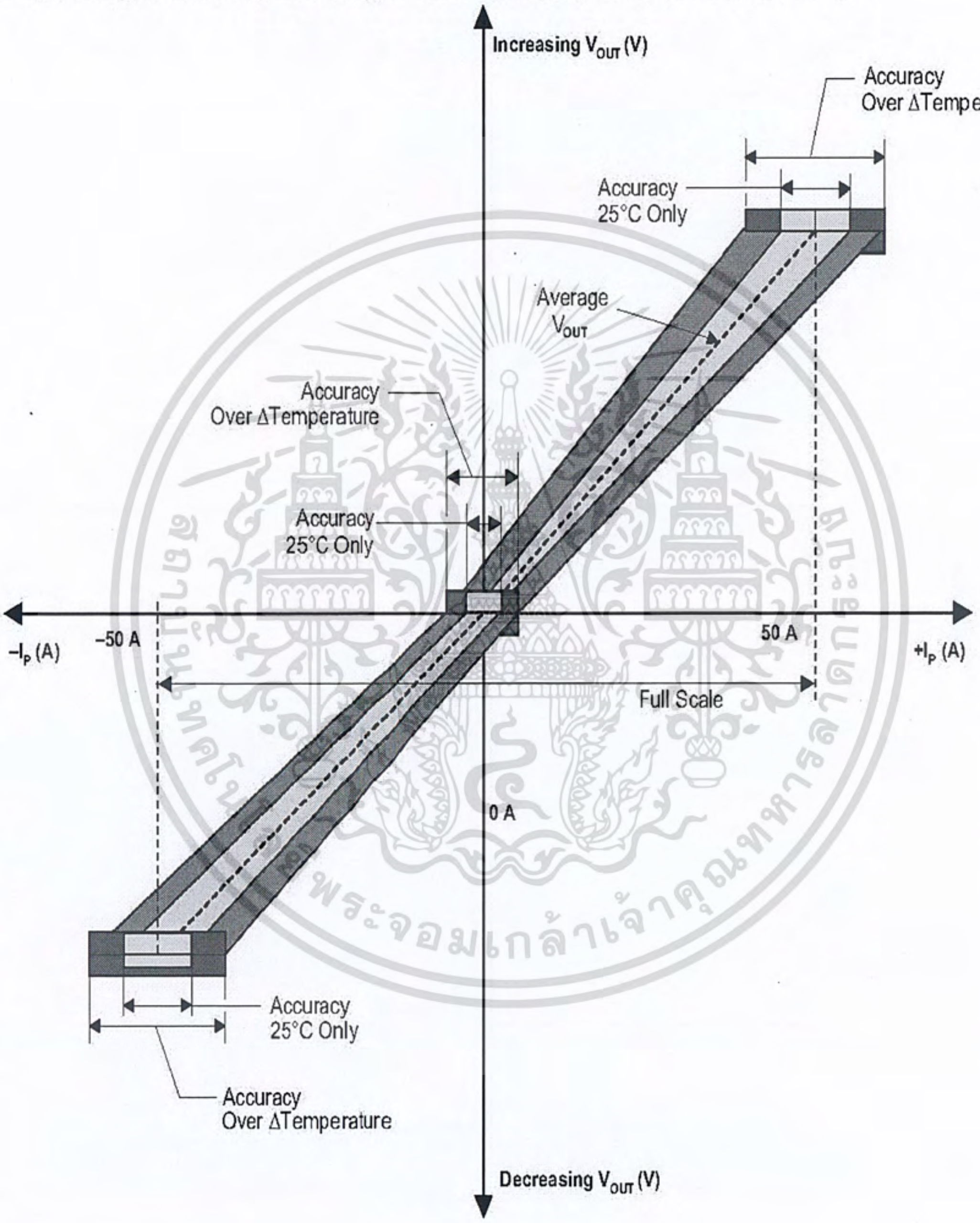
- **0 A at 25°C:** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over temperature:** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C:** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature:** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Output voltage vs. current, illustrating sensor accuracy at 0 A and at full-scale current

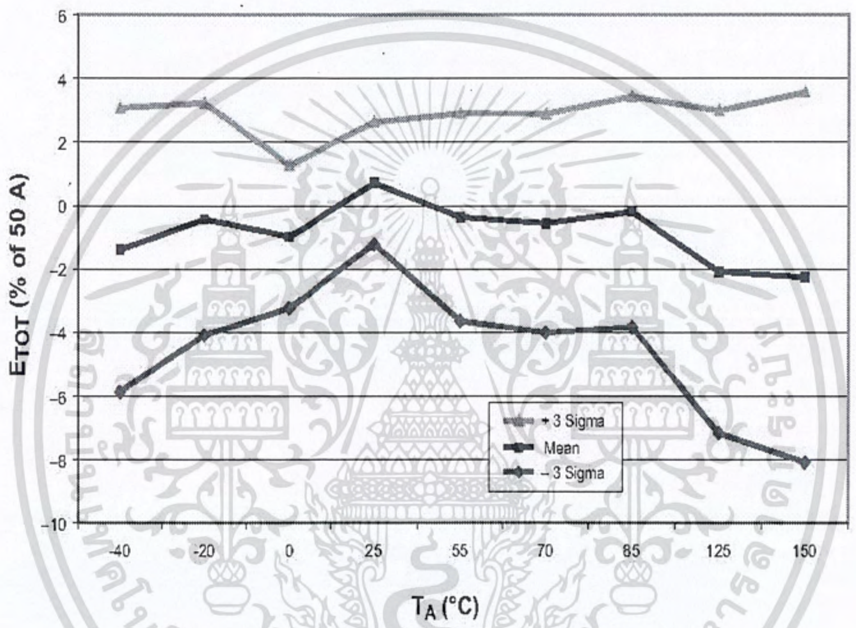


115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Typical Percentage Error versus Ambient Temperature



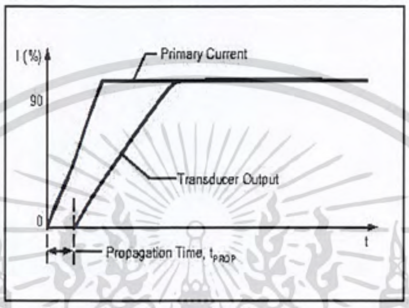
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

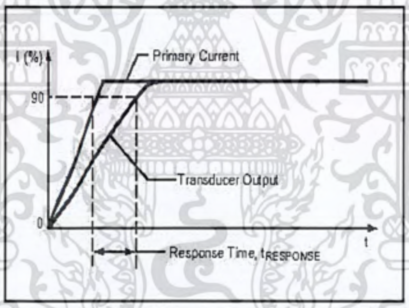
Current Sensor: ACS754xCB-050

Definitions of Dynamic Response Characteristics

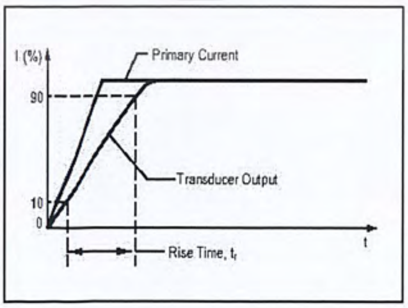
Propagation delay (t_{PROP}): The time required for the sensor output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.



Response time ($t_{RESPONSE}$): The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the sensor reaches 90% of its output corresponding to the applied current.



Rise time (t_r): The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which $f(-3\text{ dB}) = 0.35 / t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane and, to varying degrees, in the ferrous flux concentrator within the current sensor package.



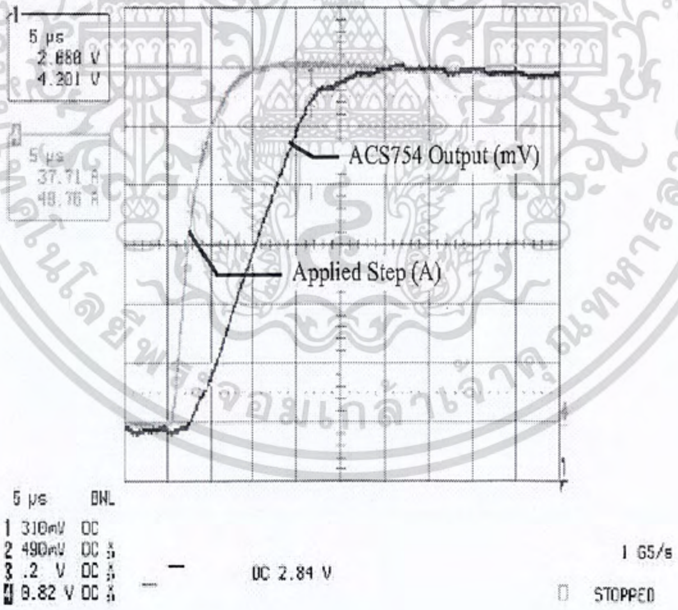
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Standards and Physical Specifications

Parameter	Specification
Flammability (package molding compound)	UL recognized to UL 94V-0
Fire and Electric Shock	UL60950-1:2003 EN60950-1:2001 CAN/CSA C22.2 No. 60950-1:2003
Creepage distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Clearance distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Package mass	4.63 g typical

Step Response, I_P = 0 to 50 A, no external filter



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

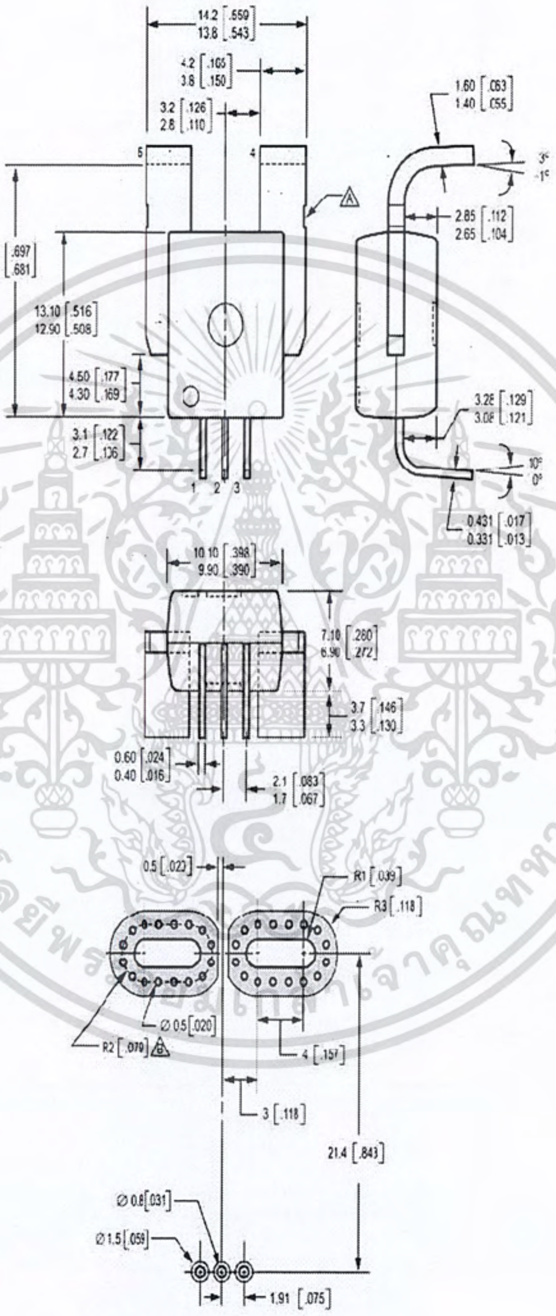
Device Branding Key (Two alternative styles are used)

ACS754 *T*CB050 *YYWWA*	ACS	Allegro Current Sensor
	754	Device family number
	T	Operating ambient temperature range code [L or S]
	CB	Package type designator
	050	Maximum measurable current
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Manufacturing date code: Calendar week
	A	Manufacturing date code: Shift code
ACS754 *T*CB050 *L...L* *YYWW*	ACS	Allegro Current Sensor
	754	Device family number
	T	Operating ambient temperature range code [L or S]
	CB	Package type designator
	050	Maximum measurable current
	L...L	Manufacturing lot code
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Manufacturing date code: Calendar week

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Package CB-PFF



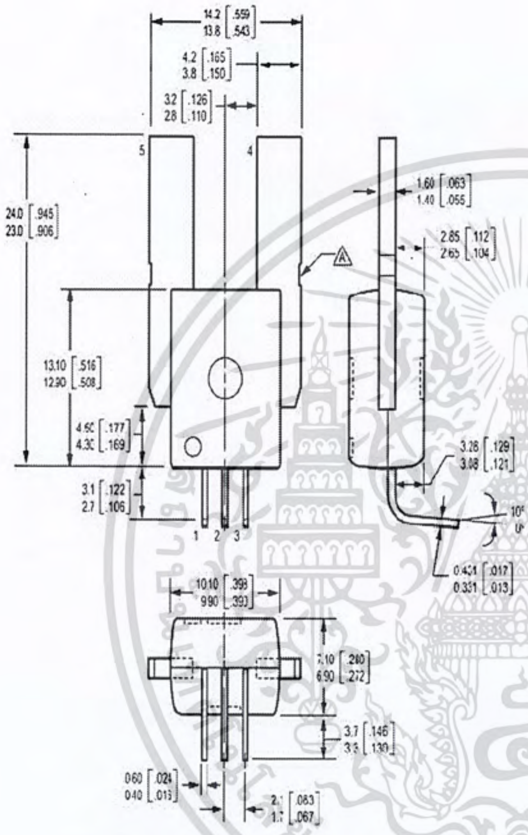
Dimensions in millimeters
U.S. Customary dimensions (in.) in brackets, for reference only
Ⓐ Dambar removal intrusion
Ⓑ Perimeter through-holes recommended

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

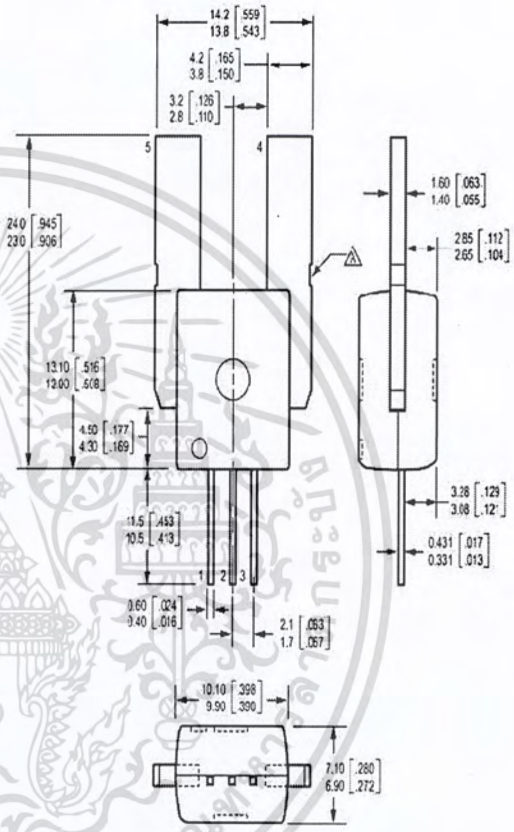
Current Sensor: ACS754xCB-050

Package CB-PSF



Dimensions in millimeters
U.S. Customary dimensions (in.) in brackets, for reference only
Ⓐ Dambar removal intrusion

Package CB-PSS



Dimensions in millimeters
U.S. Customary dimensions (in.) in brackets, for reference only
Ⓐ Dambar removal intrusion

The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright © 2004, 2005, Allegro Microsystems, Inc.

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์

Open Switch Fault Detection for a PWM Converter

ชานนท์ บึงกิจเจริญ ณัฐดนัย ถิ่นเกาะแก้ว ดนุพล ตรีแก้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอย ฉลองกรุง 1 แขวง ลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร 02-324-8331

E-mail: s0010372@kmitl.ac.th s0010450@kmitl.ac.th s0010526@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟสที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง โดยวิธีการที่นำเสนอจะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์ บทความฉบับนี้จะเน้นไปที่การประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องกรณีที่มีความผิดพร่องเกิดขึ้นใน 1 สวิตซ์เท่านั้น ในบทความฉบับนี้ได้มีการใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink มาใช้ในการจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ และระบบการวินิจฉัยและตรวจจับความผิดพร่องและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด TMS320F28335 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ในการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการทำงานของคอนเวอร์เตอร์และใช้ในการประมวลผลสัญญาณของกระแสจากคอนเวอร์เตอร์ในการตรวจจับความผิดพร่อง โดยใช้ขั้นตอนจากการจำลองการทำงานของโปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นต้นแบบ

คำสำคัญ: การตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร, คอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดปรับความกว้างพัลส์

Abstract

This paper presents an open-switch fault diagnosis method for a three-phase PWM converter. The method proposed in this paper is called the Absolute Normalized DC Current Method[1]. In this paper only a single-switch fault is considered. MATLAB.Simulink program is used to simulate the converter operation and open-switch fault diagnostic scheme. The TMS320F28335 DSP is applied to implement the converter operation and proposed diagnostic scheme simulate by MATLAB/simulink program.

Keyword: Open-Switch Fault Detection, Three-Phase PWM Converter, Absolute Normalize DC Current Method

1. บทนำ

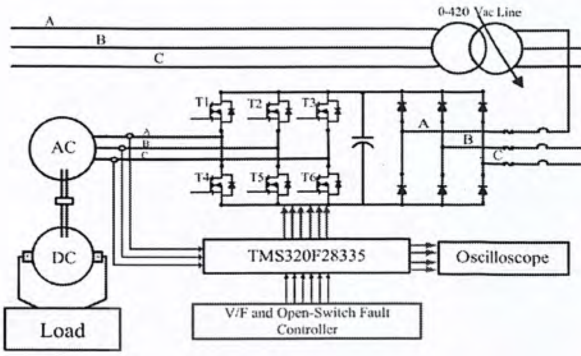
ในปัจจุบันคอนเวอร์เตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมรวมไปถึงในชีวิตประจำวันมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องจักร หรือในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องปรับอากาศที่มีคอนเวอร์เตอร์ หรือรถยนต์ไฮบริดจ์ นอกจากนี้คอนเวอร์เตอร์ยังมีบทบาทสำคัญ ด้านการประยุกต์ใช้กับพลังงานหมุนเวียน ทั้งพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เหตุผลที่คอนเวอร์เตอร์เข้ามามีบทบาทในหลาย ๆ ด้านในปัจจุบันนั้นก็เพราะคอนเวอร์เตอร์ทำให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในการนำคอนเวอร์เตอร์มาใช้ก็คือ เมื่อเกิดการผิดพร่อง (fault) ขึ้นในคอนเวอร์เตอร์จะทำให้เกิดปัญหากับการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังเช่นในกรณีที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจร (open-switch fault) หรืออาจจะต้องหยุดการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังเช่นในกรณีที่เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตซ์ลัดวงจร (short-circuit switch fault) บทความฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะความผิดพร่องชนิดสวิตซ์เปิดวงจรเท่านั้น เนื่องจากความผิดพร่องชนิดนี้ไม่ทำให้ระบบต้องหยุดทำงานเพราะระดับกระแสภายใต้สภาวะที่เกิดความผิดพร่องนั้นไม่ได้สูงถึงขนาดที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน แต่หากปล่อยไว้จะทำให้เกิดความเสียหายระยะยาวต่ออุปกรณ์ทางกล และความเครียดในสวิตซ์อื่น ๆ ซึ่งหากสามารถวินิจฉัยและตรวจจับสวิตซ์ที่มีปัญหาได้แล้ว สามารถแก้ปัญหาได้ก่อนที่จะเกิดปัญหาในระยะยาวต่อไป

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้ดำเนินโครงงานจึงได้จัดทำโครงงานนี้ขึ้น โดยการสร้างระบบที่มีความสามารถในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรสวิตซ์ที่สวิตซ์กำลัง โดยระบบวินิจฉัยความผิดพร่องดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวินิจฉัยหาสาเหตุสวิตซ์ที่ก่อให้เกิดปัญหาในคอนเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะทำการซ่อมแซมหรือทำการเปลี่ยนสวิตซ์ใหม่เพื่อให้ระบบทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วนอกจากนี้ระบบวินิจฉัยความผิดพร่องดังกล่าวยังช่วยผู้ใช้งานในการตัดสินใจทำการดำเนินการต่อ โดยอาศัยกระบวนการที่เหมาะสมเช่นการติดตั้งระบบใหม่หรือการทำการหยุดการการทำงานของระบบ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

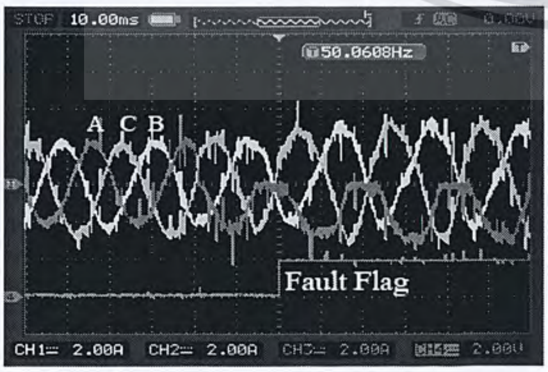
2.1 พฤติกรรมของกระแส



รูปที่ 1 แผนผังระบบคอนเวอร์เตอร์สามเฟส
และระบบตรวจจับความผิดพร่อง

ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์สามเฟสนั้นประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้วงจรเรียงกระแสซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสดังแสดงในรูปที่ 1

ในส่วนที่ขับเคลื่อนมอเตอร์นั้นจะเป็นอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งประกอบด้วยสวิตช์กำลัง 6 สวิตช์ จากรูปดังกล่าวในสภาวะการทำงานปกตินั้นกระแสขับมอเตอร์สามเฟสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์เข้าสู่มอเตอร์นั้นจะมีลักษณะเป็นไซนูซอยด์ แต่เมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นกับสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งในคอนเวอร์เตอร์ รูปคลื่นกระแสที่ออกมาจากคอนเวอร์เตอร์ในเฟสที่เกิดจะไม่เป็นไซนูซอยด์ โดยกระแสเฟสที่เกิดความผิดพร่องนั้นจะหายไปครึ่งคาบ (Cycle) ซึ่งครึ่งคาบที่หายไปจะมีสองลักษณะ โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสวิตช์ที่เกิดความผิดพร่อง ถ้าเกิดความผิดพร่องขึ้นกับสวิตช์ T1, T2 และ T3 ตัวใดตัวหนึ่ง กระแสที่หายไปครึ่งคาบจะเป็นครึ่งคาบบวกดังแสดงในรูปที่ 2 แต่ถ้าเกิด ความผิดพร่อง ขึ้นกับสวิตช์ T4, T5 และ T6 ตัวใดตัวหนึ่งกระแสที่หายไปครึ่งคาบจะเป็นครึ่งคาบลบ



รูปที่ 2 กระแสของคอนเวอร์เตอร์ขณะกระแสของเฟส A เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T1

จากรูปที่ 2 แสดงให้ให้เห็นถึงกระแสที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์เมื่อเกิดความผิดพร่อง โดยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นกับสวิตช์ T1 จะเห็นได้ว่าลักษณะกระแสที่เกิดขึ้นนั้นครึ่งบวกของกระแสจะหายไป ซึ่งลักษณะกระแสนั้นจะคล้ายกับกระแสที่ได้จากวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น เมื่อมีความผิดพร่องเกิดขึ้นกับตัวคอนเวอร์เตอร์ กระแสที่เกิดขึ้นนั้นจะไปเพิ่มองค์ประกอบไฟตรงให้กับกระแสทั้งสามเฟสทำให้มีฮาร์มอนิกเพิ่มขึ้น ซึ่งฮาร์มอนิกที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลให้เกิดความผิดปกติกับระบบโดยรวมได้ โดยทั่วไปการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์นั้นจะทำให้เกิดการแกว่งของแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (T_e) ซึ่งผลดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดการแกว่งของความเร็วที่ความถี่ต่ำตามมา นอกจากนี้ การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร ยังทำให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริง (active power) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (reactive power) ของด้านสเตเตอร์ด้วย

2.2 วิธีต่าง ๆ ที่ใช้วินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร

ด้วยลักษณะเฉพาะของกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่สัมพันธ์กับสวิตช์แต่ละตัว ทำให้เราสามารถนำค่ากระแสภายใต้สภาวะการเกิดความผิดพร่องมาวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่อง วิธีการในการวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรในปัจจุบันนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีนั้นก็จะขั้นตอนวิธีการ ข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป วิธีการต่าง ๆ สามารถจำแนกได้ดังนี้

- Park's Vector Method [2]
- Slope Method [2]
- Control Deviation Method [2]
- Normalized DC Current Method [2]
- Modified Normalized DC Current Method [2], [3]
- Simple Direct Current Method [2]
- Absolute Normalized DC Current Method [1]

จากวิธีวินิจฉัยความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่กล่าวมานั้นวิธี Slope Method เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการวินิจฉัยความผิดพร่องนานที่สุด [1] และเกิดการแจ้งเตือนเกิดขึ้นเช่นกันภายใต้สภาวะปกติ ส่วนวิธี Modified Normalized DC Current Method นั้นจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากวิธีที่กล่าวมาข้างต้นแต่จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณค่าองค์ประกอบมูลฐานของกระแสซึ่งใช้เวลานานในการคำนวณค่อนข้างสูง

จากหลายวิธีที่กล่าวมาทางคณะผู้ดำเนินโครงงานได้เลือกใช้วิธี Absolute Normalized DC Current Method มาเป็นวิธีในการวินิจฉัยความผิดพร่อง เนื่องจากวิธีนี้ต่อสนองต่อการเกิดความผิดพร่องได้เร็วเทียบเท่ากับวิธี Modified Normalized DC Current Method แต่ใช้เวลาในการคำนวณเร็วกว่า [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Absolute Normalized DC Current Method

วิธี Absolute Normalized DC Current Method เป็นวิธีที่วินิจฉัยความผิดพร่องโดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของกระแสในแต่ละเฟส เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นกระแสของเฟสที่เกิดความผิดพร่องจะหายไปครึ่งคาบซึ่งจะเป็นครึ่งบวกที่หายไป หรือครึ่งลบที่หายไปก็ขึ้นอยู่กับว่าสวิตช์ตัวไหนของเฟสนั้นที่เกิดความผิดพร่อง โดยปกติหากไม่ได้เกิด ความผิดพร่อง ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ได้จะมีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความผิดพร่องเกิดขึ้นค่าเฉลี่ยของกระแสที่เกิดความผิดพร่องจะมีค่าเท่ากับหนึ่งหรือลบหนึ่ง

สมการที่ใช้หาค่าตัวแปรที่จะนำมาวินิจฉัย ความผิดพร่องสำหรับวิธี Absolute Normalized DC Current Method มีดังนี้

$$\mu_V = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} i_v(k\tau) \qquad (1)$$

$$\lambda_V = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} |i_v|(k\tau) \qquad (2)$$

$$\zeta_v = \frac{\mu_v}{\lambda_v} \qquad (3)$$

โดยที่ k เท่ากับ 1, 2, 3, …, 64, N เท่ากับ 64, i_v คือกระแสแต่ละเฟส τ คือคาบของการ Sampling, ζ_v คือตัวแปรวินิจฉัย (Diagnostic Variables) สำหรับ Absolute Normalized DC Current Method ของแต่ละเฟส

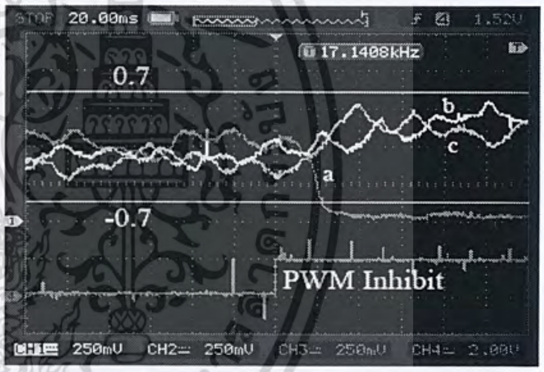
3. การดำเนินการทดลอง

ในบทความนี้นำเสนอการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์แบบสามเฟส โดยทดลองดังนี้

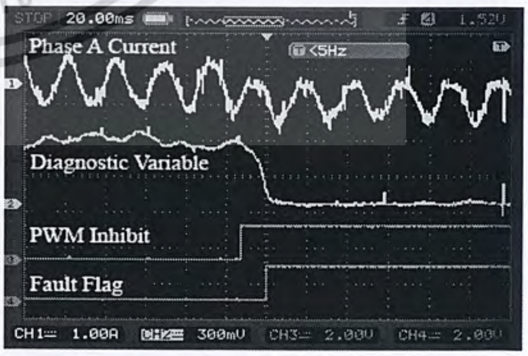
ขั้นตอนแรกทำการสร้างคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์แบบสามเฟส และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ TMS320F28335 เป็นตัวสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์และใช้ในการตรวจจับความผิดพร่องโดยใช้ตัวตรวจจับกระแสป้อนสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการคำนวณในขั้นตอนต่อไป จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์และสร้างสัญญาณการจำลองการเกิดสวิตช์เปิดวงจรจากภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งสวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ให้เปิดวงจรสำหรับนำไปใช้ในการทดลองในการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรและนำสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของแต่ละเฟสมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ในสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ และนำค่าเฉลี่ยทั้งสองมาคำนวณในสมการที่ 3 จะได้ค่าตัวแปรการวินิจฉัย (Diagnostic Variable) ซึ่งจะใช้ในการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร เมื่อค่าตัวแปรการวินิจฉัยมีค่ามากกว่า 0.7 หรือน้อยกว่า -0.7 จะทำให้เกิดการแจ้งเตือน (Fault Flag) เกิดขึ้น

4. ผลการดำเนินการทดลอง

การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรในแต่ละสวิตช์ เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในสวิตช์ใดแล้ว เช่น เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นที่เฟส A สวิตช์ T1 จะทำให้ลูกคลื่นครึ่งบวกของกระแสหายไปและเฟสที่เหลือที่สวิตช์ทำงานปกติจะเกิดองค์ประกอบของกระแสตรงยกขึ้นทำให้กระแสของเฟสที่เหลือถูกยกขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 1 และเมื่อเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ T1 เมื่อลูกคลื่นครึ่งบวกกระแสเฟส A หายไปทำให้ค่าของตัวแปรวินิจฉัยมีค่าเท่ากับ -1 ดังและแสดงการแจ้งเตือน PWM Inhibit เมื่อสั่งให้วงจรควบคุมหยุดส่งสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ไปยังคอนเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 3 และ แสดงการแจ้งเตือนการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรเกิดขึ้นเมื่อค่าของตัวแปรการวินิจฉัยของเฟส A มีค่าน้อยกว่า -0.7 ดังแสดงในรูปที่ 4

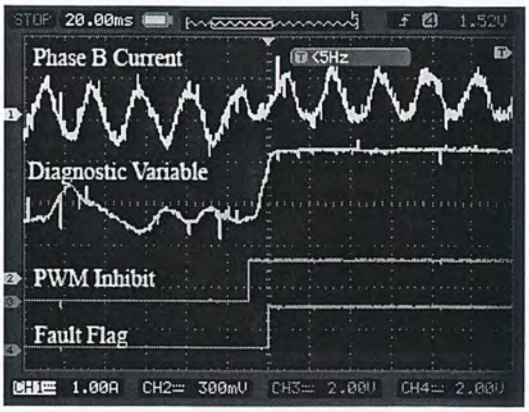


รูปที่ 3 ค่าของตัวแปรวินิจฉัย ζ_v เมื่อกระแสของเฟส A เกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นทำให้ค่าของตัวแปรวินิจฉัยมีค่าเท่ากับ -1

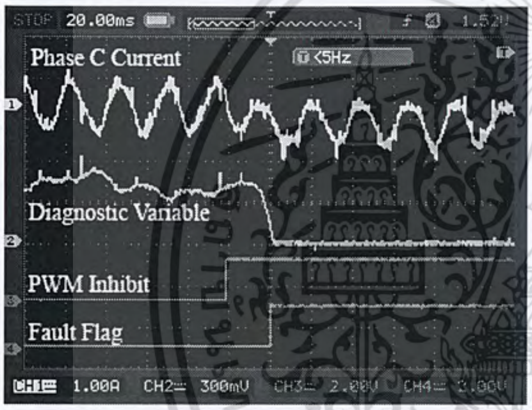


รูปที่ 4 การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ T1 และแสดงการแจ้งเตือนเมื่อกระแสเกิดความผิดพร่องและแสดงการแจ้งเตือนการตรวจจับการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร

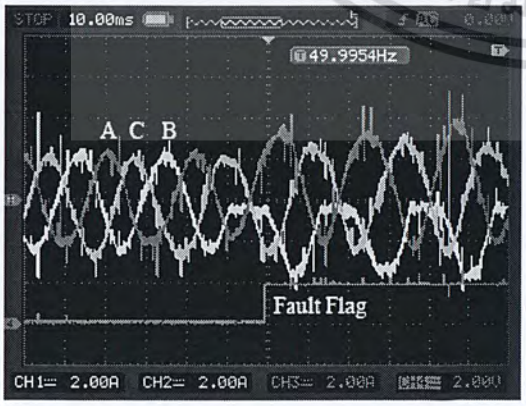
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



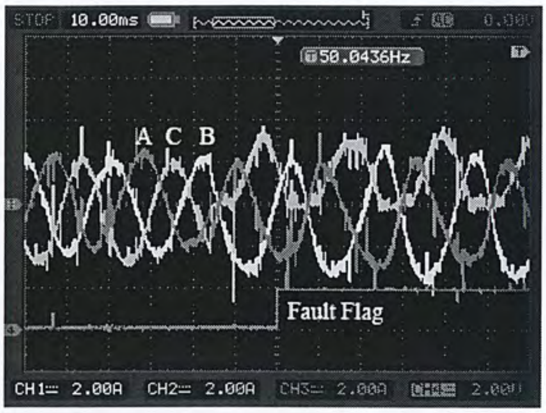
รูปที่ 5 การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ T5 และแสดงการแจ้งเตือนเมื่อกระแสเกิดความผิดพร่องและแสดงการแจ้งเตือนการตรวจจับการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร



รูปที่ 6 การเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ T3 และแสดงการแจ้งเตือนเมื่อกระแสเกิดความผิดพร่องและแสดงการแจ้งเตือนการตรวจจับการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจร



รูปที่ 7 กระแสของคอนเวอร์เตอร์ขณะกระแสของเฟส B เกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์ T2



รูปที่ 8 กระแสของคอนเวอร์เตอร์ขณะกระแสของเฟส C เกิดความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์ T6

5. สรุป

บทความนี้แสดงถึงการตรวจจับความผิดพร่องที่เกิดขึ้นจากสวิตช์ชนิดเปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟสโดยใช้วิธี Absolute Normalized DC Method ซึ่งได้ทำการจำลองการสร้างสัญญาณการเกิดความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ TMS320F28335 DSP และใช้ในการสร้างสัญญาณแบบปรับความกว้างพัลส์และใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของกระแสแต่ละเฟสซึ่งสามารถตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้ภายในสามคาบของกระแสที่ไหลผ่านจากคอนเวอร์เตอร์ไปยังมอเตอร์ และยังสามารถตรวจจับความผิดพร่องได้เมื่อความถี่ของกระแสเปลี่ยนไป และในบทความนี้นำเสนอการตรวจจับความผิดพร่องชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่เกิดขึ้นในคอนเวอร์เตอร์เพียง 1 สวิตช์เท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

[1] W. Sae-Kok, D M Grant, "Open Switch Fault Diagnosis for a Doubly-Fed Induction Generator," Proceeding of the 2007 IEEE Power Electronics and Drive Systems, pp.131-138

[2] K. Rothenhagen, F.W. Fuchs, "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Fault s in Voltage Source Active Rectifiers," Proceeding of the 2004 IEEE 35th Power Electronics Specialists Conference, pp.4348-4354

[3] S. Abramik, W.Sleszynski, J.Nieznanski, H.Piquet, "A Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive," Proceeding of the2003 EPE 10th European Conference on Power Electronics and Applications, pp. P.1-P. 8.

[4] S. Chafei, F. Zidani, R. Nait-said, M.S. Boucherit, "Fault Detection and Diagnosis on a PWM Inverter by Different Techniques ,"Journal of Electrical Systems 4-2, 2008, pp.1-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
โปสเตอร์นำเสนอผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับความผิดพร่องชนิดเปิดวงจรสำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์

Open Switch Fault Detection for a PWM Converter

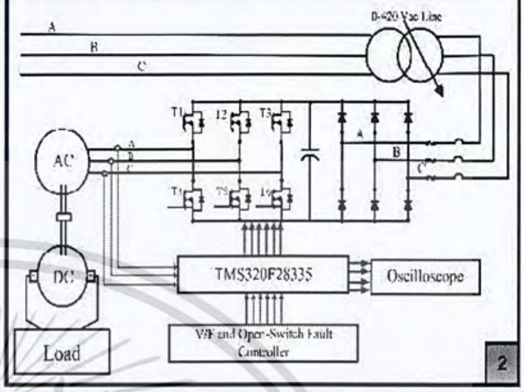
นายชานนท์ บึงกิจเจริญ, นายณัฐดนัย ฉิ่นเกาะแก้ว และนายดนุพล ศรีแก้ว

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการเกิดความผิดพร่อง (fault) ชนิดเปิดวงจรที่สวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
- สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวินิจฉัย และวิเคราะห์การเกิดความผิดพร่อง (fault) ชนิดเปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
- เพื่อทำการสร้างระบบต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดความผิดพร่อง(fault) และวิเคราะห์การเกิดความผิดพร่อง (fault) ในคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

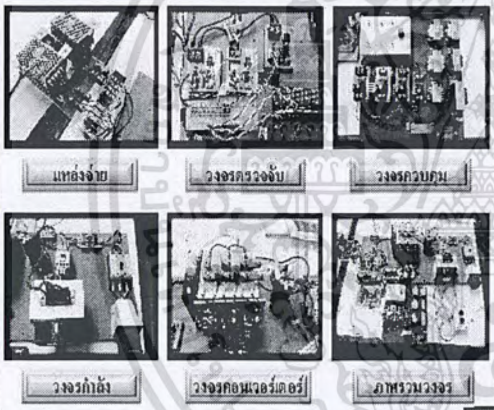
1

แผนผังการตรวจจับความผิดพลาดสัญญาณ PWM



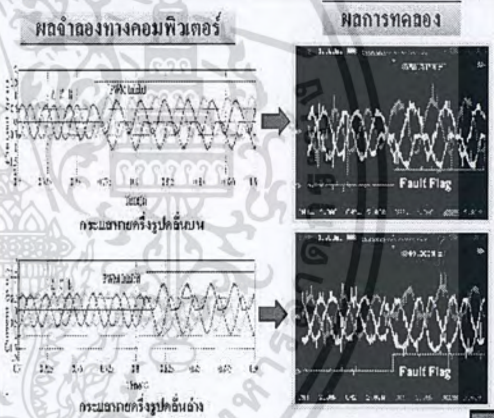
2

ชิ้นงานประกอบโครงงานวิจัย



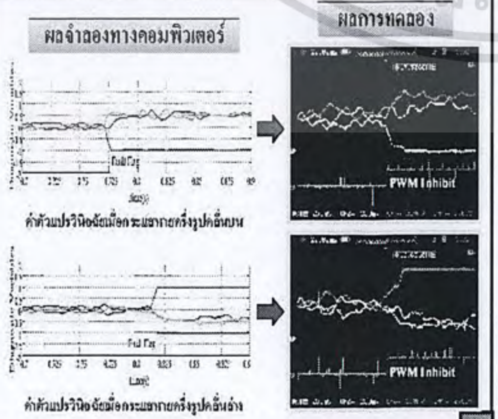
3

รูปคลื่นกระแสเมื่อเกิด Open Switch Fault



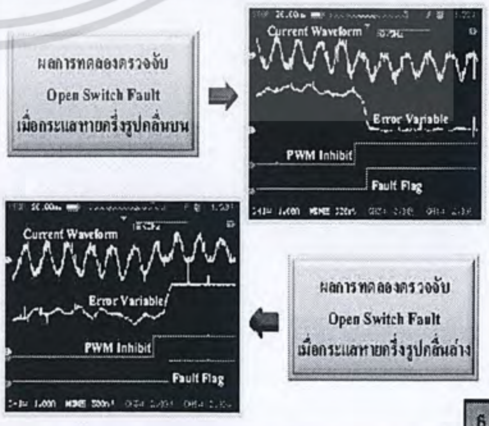
4

รูปคลื่นค่าตัวแปรวินิจฉัย Open Switch Fault



5

ผลการทดลองตรวจจับ Open Switch Fault



6

ห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy Application Laboratory)
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายชานนท์ บึงกิจเจริญ
วัน เดือน ปี เกิด วันที่ 5 พฤศจิกายน 2531

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนโยธินบูรณะ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด มหาชน

ชื่อ – นามสกุล นายณัฐดนัย ถิ่นเกาะแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด วันที่ 25 เมษายน 2532

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนศรีอยุธยา ในพระอุปถัมภ์ฯ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ชื่อ – นามสกุล นายดนุพล ตรีแก้ว

วัน เดือน ปี เกิด วันที่ 20 พฤษภาคม 2531

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต เขื่อนรัชชประภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้