สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

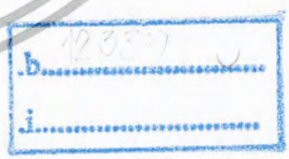
เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กและสร้างความเป็นแม่เหล็ก

MEASURING MAGNETIC FIELD INTENSITY AND MAGNETIZER

T117458

นายกฤตธน จันทร์ประเสริฐ
นางสาวพันธุ์ทิพย์ เอกชัยวรวุฒิ
นางสาวภัทรนันท์ วงศ์ไพศาลเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117458
วัน,เดือน,ปี - 5 ส.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กและสร้างความเป็นแม่เหล็ก

(Measuring magnetic field intensity and magnetizer)

ผู้จัดทำ

1. นายกฤตธน จันทร์ประเสริฐ รหัส 50010035
2. นางสาวพันธุ์ทิพย์ เอกชัยวรวุฒิ รหัส 50011087
3. นางสาวภัทรนันท์ วงศ์ไพศาลเจริญ รหัส 50011156

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measuring magnetic field intensity and magnetizer

Mr.Klitton	Janprasart	50010035
Miss.Punthip	Ekachaiworrawut	50011087
Miss.Pattaranan	Wongpaisancharoen	50011156
Mr.Chalermpan	Wangwiwatana	Advisor

Academic Year 2010

Abstract

This project is measuring magnetic field intensity and magnetizer. IC Hall effect sensor converts the magnetic field into electrical signal. The signal will be transmitted to differential instrumentation amplifier for detecting magnetic field in two poles. Equipments system is processed by Peripheral Interface Controller (PIC). Microcontroller and the data that measure from sensor display on LCD in gauss unit and transmit signal to control demagnetizer for remove the magnetic field.

Magnetizer is Full Wave Phase Controlled Bridge Rectifier circuit that controls phase for making magnetic field. Demagnetizer uses the method that likes transformer by using only one core, so the circuit is open loop circuit that can induct the electromagnetic in the opposite path. Finally the magnet will lose the electromagnetic induction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำรายงานเล่มนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะได้รับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะจาก อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำรายงาน และโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ทั้งนี้ขอขอบคุณอาจารย์ รุ่นพี่ปริญญาโททุกๆท่านและเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำวงจรและทำการทดลอง จนทำให้ชิ้นงานและรายงานเล่มนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในรายงานเล่มนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กฤตธน จันทร์ประเสริฐ
พันธุ์ทิพย์ เอกชัยวรวุฒิ
ภัทรนันท์ วงศ์ไพศาลเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... I

Abstract.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูปภาพ.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน.....2

2.1 หลักการพื้นฐาน.....2

2.2 ทฤษฎี Hall effect.....5

2.3 ความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็ก.....11

2.4 ชนิดของตัวตรวจจับฮอลล์.....14

2.5 วัสดุแม่เหล็ก.....15

2.6 ตัวเหนี่ยวนำ.....17

2.7 วงจรฟูลคอนเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว (single – phase full converter).....21

2.8 ความล้มเหลวในการสับเปลี่ยนกระแส (Commutation failure).....22

2.9 เอสซีอาร์ (SCR).....22

2.10 ไดโอด.....27

2.11 ออพโต้ไอโซเลเตอร์.....28

2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบ.....40

3.1 เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก.....40

3.2 เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก.....43

3.3 เครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก.....47

3.4 การคำนวณเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก.....48

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....50

4.1 การทดลองวัดค่าจากเครื่องสร้างเส้นแรงแม่เหล็กมาตรฐาน (Megnetic Flux.....50
Generator) โดยวัดเส้นแรงแม่เหล็กที่สร้างจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series กับ
มิเตอร์ที่สร้างขึ้น

4.2 การทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเปลี่ยนไปค่าต่างๆ ที่ แหล่งจ่าย.....55
ไฟสลับ59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH

4.3 การทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเท่ากับ 141 องศา ที่ แหล่งจ่าย.....58
ไฟสลับ59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH เพื่อดูค่าความคงที่ในการสร้าง
ความเป็นแม่เหล็ก

4.4 การทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กของแม่เหล็ก เมื่อเข้าเครื่องสลายความเป็น.....59
แม่เหล็ก

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....60

5.1 สรุปผลการทดลอง.....60

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....61

5.3 ปัญหาที่พบในการทดลอง.....61

บรรณานุกรม.....63

ภาคผนวก.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

4.1.1 ผลการทดลองวัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กโดย.....50
อ่านค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นเองด้านที่ 1

4.1.2 ผลการทดลองวัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กโดย.....52
อ่านค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นเองด้านที่ 2

4.2 ผลการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเปลี่ยน.....55

4.3 ผลการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กที่มุมเฟส 141 องศา.....58

4.4 ผลการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็ก.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป หน้า

2.1 เออร์สเตดค้นพบว่ากระแสที่ไหลในขดลวดมีแรงกระทำต่อแม่เหล็กหรืออธิบาย.....2
ใหม่ได้ว่าประจุที่เคลื่อนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

2.2 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์.....5

2.2.1 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect ของสารกึ่งตัวนำชนิด P.....6

2.2.2 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect ของสารกึ่งตัวนำชนิด N.....8

2.2.3 แสดงเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในชิ้นสารกึ่งตัวนำเมื่อ.....10
d<<L (a) และd>>L (b)

2.3.1 แสดงสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน.....12

2.3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับกระแส.....12

2.3.3 แสดงคุณลักษณะเส้นโค้งทำแม่เหล็ก $B-H$ 13

2.3.4 แสดงโครงสร้างแบบผสม.....14

2.3.5 แสดงการโป่งพองของเส้นแรงแม่เหล็ก (Fringing flux).....14

2.6 ความเหนี่ยวนำของกลุ่มขดลวด-แกน.....18

2.7 วงจรฟูลคอนเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว.....21

2.9.1 แสดงรูปของเอสซีอาร์.....23

2.9.2 โครงสร้างของและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์.....23

2.9.3 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด โดยกำหนดได้จาก.....26
ตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่เอสซีอาร์

2.9.4 กราฟการทำงานของเอสซีอาร์.....27

2.11 ออพโตไอโซเลเตอร์.....29

2.12.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....31

2.12.2.1 ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....33

2.12.2.2 โครงสร้างภายในชิพ.....35

2.12.2.3 วงจรพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป หน้า

3.1.1.1 Hall Effect Sensor A1302.....40
3.1.1.2 microcontroller PIC 16F877A.....40
3.1.1.3 จอแสดงผล LCD.....41
3.1.2 Block diagram เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก.....41
3.1.3 วงจรวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแสดงผลออกจอ LCD.....42
3.1.4 ลายวงจรเครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก.....42
3.1.5 เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก.....43
3.2.1.1 อุปกรณ์เอสซีอาร์.....44
3.2.1.2 อุปกรณ์ไดโอด..... 44
3.2.1.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto isolator).....44
3.2.1.4 อุปกรณ์ส่วนประมวลผล microcontroller.....45
3.2.1.5 อุปกรณ์จอแสดงผลจอ LCD.....45
3.2.2 Block diagram เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก.....45
3.2.3 วงจรเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก.....46
3.2.4 ลายวงจรเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก.....46
3.2.5 เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก.....47
3.3.1 เครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก.....47
3.3.2 แกนของหม้อแปลงรูปตัวอี ไอ.....47
4.1.1 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series 53
เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นด้านที่ 1
4.1.2 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series 54
เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นด้านที่ 2
4.2.1 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กปกติกับสูงสุดเมื่อมุม.....56
เฟสเปลี่ยนของด้านที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป หน้า

4.2.2 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กปกติกับสูงสุดเมื่อมุม.....57
เฟสเปลี่ยนของด้านที่ 2
4.2.3 กราฟทดลองเปรียบเทียบค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดและมุมเฟสที่เปลี่ยนไป.....57
4.3 กราฟทดลองเปรียบเทียบความคงที่ของการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กที่มุม.....58
เฟส 141 องศา ระหว่างด้านที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้ แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดทำงานได้ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ ไมโครโฟน มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องดูดฝุ่น ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องซักผ้า รีเลย์ ต่างๆ นอกจากนี้ แม่เหล็กยังช่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า เครื่องจักรผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีแม่เหล็กอยู่ภายใน ในเข็มทิศก็มีแม่เหล็ก และแม่เหล็กยังสามารถแยกโลหะต่าง ๆ ออกจากกันด้วย แม่เหล็กปั่นจั่น

แม่เหล็ก เป็นวัสดุหรือวัตถุที่สามารถให้กำเนิดสนามแม่เหล็ก แม้ว่าสนามแม่เหล็กจะเป็นสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้แต่มันเป็นเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติสำคัญของแม่เหล็กโดยตรง ได้แก่ คุณสมบัติการดูดและการผลักกันระหว่างแท่งแม่เหล็ก ซึ่งคุณสมบัตินี้ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น นำไปสร้างอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในชีวิตประจำวันมากมาย อย่างเช่น ช่วยในการทำงาน เช่น ปลายไขควงบางชนิดเป็นแม่เหล็ก เพื่อช่วยดึงดูดตะปูเกลียวตัวเล็ก ที่เราจับไม่ถนัดมือ ช่วยทำให้ขันตะปูเกลียวได้สะดวกขึ้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า ใช้ทำเครื่องกำจัดเศษเหล็ก โดยดูดเศษเหล็กจากที่หนึ่งไปกองไว้อีกที่หนึ่ง เป็นต้น

ในโครงงานนี้จะเป็นการสร้างเครื่องมือที่ใช้สร้างความเป็นแม่เหล็กและสามารถวัดความเข้มสนามแม่เหล็กได้โดยใช้เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กที่เราสร้างขึ้น โดยเครื่องมือวัดชนิดนี้มีชื่อว่า " เกาส์มิเตอร์ " นอกจากนี้โครงงานนี้ยังได้จัดทำเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้ลบล้างพลังแม่เหล็กออกจากวัสดุที่เราต้องการใช้งาน ซึ่งโครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อช่วยอำนวยความสะดวก และเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้งานทั่วไปหรือผู้ที่ต้องใช้งานเกี่ยวกับแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

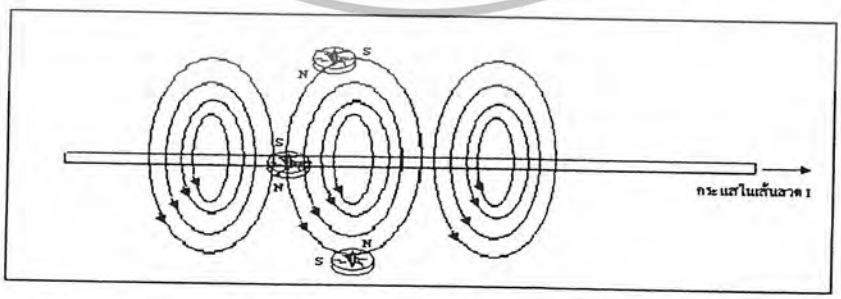
แม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnets) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำหมายความว่าถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆตัวนำนั้น

2.1 หลักการพื้นฐาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

การค้นพบแม่เหล็กไฟฟ้า

ปี ค.ส 1820 ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ศาสตราจารย์ทางปรัชญาธรรมชาติในกรุงโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็กในตอนท้ายของชั่วโมงการบรรยายวิชาไฟฟ้าและแม่เหล็ก เขาวางเข็มทิศไว้ใกล้เส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า ปรากฏว่าเข็มทิศชี้ไปทิศทางใหม่ เมื่อเอาเข็มทิศเข้าไปใกล้เส้นลวด จะมีทอร์กกระทำต่อเข็มทิศมากขึ้น เขาพบว่าสนามแม่เหล็กมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลนั่นเอง ดังนั้นเขาจึงเริ่มหาเส้นแรงแม่เหล็ก พบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเป็นวงกลมรอบเส้นลวดที่มีกระแสไหล



รูปที่ 2.1เออร์สเตดค้นพบว่ากระแสที่ไหลในขดลวดมีแรงกระทำต่อแม่เหล็กหรืออธิบายใหม่ได้ว่า ประจุที่ เคลื่อนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ในประเทศฝรั่งเศส เช่น ไบออด ซาเวิร์ต และแอมปร์ ได้ศึกษารายละเอียดลึกลงไปในสิ่งที่ออร์สเตดค้นพบ และเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแม่เหล็กออกมาในรูปของคณิตศาสตร์

เนื้อหาที่เออร์สเตดค้นพบ สามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ประจุที่เคลื่อนที่ หรือกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเมื่อวางแม่เหล็กไว้ใกล้ ๆ เส้นลวดที่มีกระแสไหล จะเกิดแรงกระทำต่อแม่เหล็ก
2. สนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงกระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่นั่นคือประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่จะมีทั้งสร้างสนามแม่เหล็ก และมีแรงมากระทำเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก
3. กระแสที่ไหลในที่แห่งหนึ่งจะก่อให้เกิดแรงกระทำที่จุดที่มีกระแสไหลในอีกแห่งหนึ่ง เช่น มีลวด 2 เส้นที่มีกระแสไหลวางอยู่ใกล้กันจะเกิดแรงกระทำต่อกัน ทั้งนี้เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดที่มีกระแสไหลจะทำให้เกิดแรงกระทำบนประจุที่กำลังเคลื่อนที่ในลวดอีกเส้นหนึ่ง

ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็น้อยตามไปด้วย
2. ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ กระไฟฟ้าไหลผ่านมากสนาม แม่เหล็กเกิดขึ้นมาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กเกิดน้อย
3. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข็มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข็มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอโรแมกเนติก (Ferromagnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็กเฟอร์ไรท์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น
4. ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย

คุณสมบัติของแม่เหล็ก

1. ถ้าแขวนแท่งแม่เหล็กให้เคลื่อนที่อย่างอิสระ เมื่อหยุดนิ่ง แล้วจะชี้ตามแนวทิศเหนือ ทิศใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สามารถดูดสสารแมกเนติกได้

3. ขั้วเหมือนกันเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักกัน และขั้วต่างกันเมื่อเข้าใกล้กันจะเกิดแรงดูด

4. อำนาจแรงดึงดูดจะมีมากที่สุดที่บริเวณขั้วทั้งสองแม่เหล็ก

5. เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

ประโยชน์ของแม่เหล็ก

จากการศึกษาสมบัติของแม่เหล็ก ทำให้นักวิทยาศาสตร์และนักประดิษฐ์ได้นำแม่เหล็กมาสร้างเป็นส่วนประกอบของสิ่งของเครื่องใช้ ต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันมากมาย เช่น

1. ใช้ติดที่ประตูตู้เย็น แม่เหล็กจะถูกใส่ไว้ที่ประตูโดยมีแผ่นยางหุ้มเพื่อทำให้ประตูตู้เย็นปิดสนิท ป้องกันไม่ให้ความเย็นออกมาจากตู้

2. ใช้ติดที่ฝากล่องดินสอและฝากระเป๋า เพื่อให้ฝากล่องดินสอ และฝากระป๋องสามารถดูดติดกับตัวกล่องดินสอและตัวกระเป๋าได้

3. ใช้ติดป้องกันประตูกระแทก แม่เหล็กจะถูกติดไว้กับผนังและที่ประตูจะติดสารแม่เหล็ก เมื่อเปิดประตู แม่เหล็กที่ผนังจะดูดสารแม่เหล็กที่บานประตูไว้ จึงทำให้บานประตูไม่ปิดกระแทกเมื่อมีลมพัด

4. ใช้คัดแยกวัตถุที่เป็นสารแม่เหล็กออกจากวัตถุอื่น ๆ

ปัจจุบันเราทิ้งสิ่งต่าง ๆ ที่ไม่ใช้แล้วปะปนกันเป็นขยะ จึงได้มีการนำแม่เหล็กมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการคัดแยกสิ่งของที่ทำจากเหล็กหรือทำจากวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก

5. ใช้หาทิศ แม่เหล็กจะหันขั้วเหนือไปทางทิศเหนือ และจะหันขั้วใต้ไปทางทิศใต้เสมอ ดังนั้นเราจึงใช้แม่เหล็กทำเข็มทิศ

6. ใช้ทำเครื่องกำจัดเศษเหล็ก โดยดูดเศษเหล็กจากที่หนึ่งไปกองไว้อีกที่หนึ่ง

7. ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายชนิดมีแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่ภายในตัวเครื่อง เช่น โทรศัพท์ เครื่องดูดฝุ่น โทรทัศน์ วิทยุ เครื่องซักผ้า เป็นต้น และถ้าไม่มีแม่เหล็กเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ก็ไม่สามารถทำงานได้

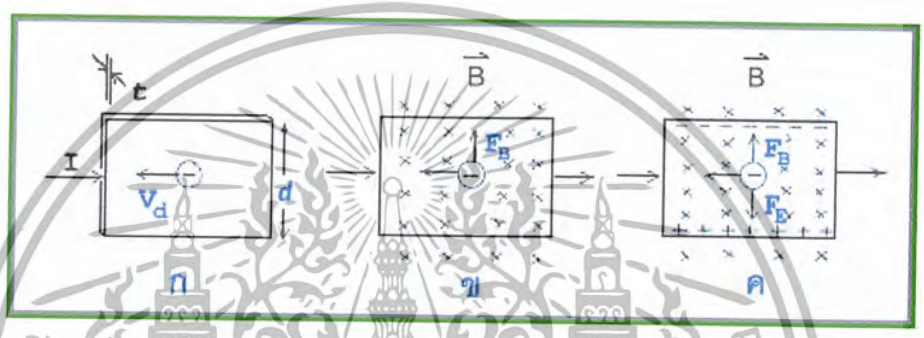
8. ใช้ประดิษฐ์เป็นของเล่น ของเล่นหลายชนิดจะมีแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบ เพื่อให้ของเล่นนั้นเล่นได้

9. ช่วยในการทำงาน เช่น ปลายไขควงบางชนิดเป็นแม่เหล็ก เพื่อช่วยดึงดูดตะปูเกลียวตัวเล็กที่เราจับไม่ถนัดมือ ช่วยทำให้ขันตะปูเกลียวได้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎี Hall effect

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอพคินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์



รูป 2.2 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้รูป 1 ก-ค ดังนี้

รูป 2.2 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน Vd) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูป 2.2 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

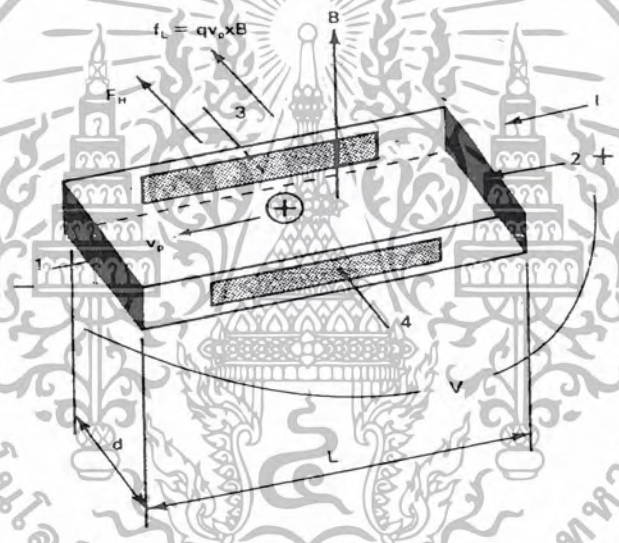
รูป 2.2 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) EH ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า FE กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแปลงค่าสนามแม่เหล็กเป็นแรงดันไฟฟ้า

วิธีการแปลงค่าสนามแม่เหล็กมาเป็นแรงดันไฟฟ้านั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น อาจจะใช้ขดลวดเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก ก็จะมีแรงดันเหนี่ยวนำผ่านขดลวดออกมา หรืออาจจะใช้หลักการของ Hall effect ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

หลักการของ Hall effect คือการนำแท่งสารกึ่งตัวนำ(semiconductor) ไปวางไว้ในที่ๆมีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่านแล้วป้อนกระแสไฟฟ้าให้แท่งสารกึ่งตัวนำ ก็จะทำให้ที่บริเวณด้านข้างของแท่งสารกึ่งตัวนำมีแรงดันไฟฟ้าออกมาจากนั้นจึงนำเอาแรงดันนี้ออกมาใช้งาน ซึ่งพิจารณาตามรูปที่ 2.2.1



รูปที่ 2.2.1 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect ของสารกึ่งตัวนำชนิด P

จากรูปที่ (2.2.1) คือจะนำแท่งสารกึ่งตัวนำชนิด P (p-type semiconductor) ไปวางในที่ๆมีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่าน จากนั้นก็ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชิ้นสารกึ่งตัวนำ ขั้วบวกของแบตเตอรี่ก็จะผลักให้ โฮล (hole) เคลื่อนที่จากด้านที่ 2 ไปยังด้านที่1 ดังนั้นโฮลจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว

$$Vp=\mu_p F=(\mu_p V)/L \qquad (2.1)$$

เมื่อ F คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electric field)

L คือความยาวของชิ้นสารกึ่งตัวนำ (length)

μ_p คือสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของโฮล(hole mobility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำแท่งสารกึ่งตัวนำไปวางในที่ๆมีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่านและตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสในแท่งสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดแรงขึ้นมาจำนวนหนึ่งเรียกว่า."Lorentz force" แรงนี้จะไปผลักการเคลื่อนที่ของโฮล ทำให้โฮลเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางด้านที่ 3

สนามแม่เหล็ก (magnetic field,B) ก็จะสร้างแรงจำนวนหนึ่งมีขนาดเป็น $f_L = qV_pXB$ เรียกว่า"Lorentz force" แรงนี้ก็จะไปผลักให้โฮลเคลื่อนที่ไปอยู่ใกล้ผิวของสารกึ่งตัวนำ ทำให้การเคลื่อนที่ของโฮล

เกิดการเบี่ยงเบนไปทางด้านที่ 3 ของชิ้นสารกึ่งตัวนำตามรูปที่ 2.2.1

โฮลก็จะไปสะสมที่ด้านที่ 3 และทำให้ด้านที่ 3 เต็มไปด้วยประจุบวก (net positive charge) ในทำนองเดียวกันด้านที่ 4 ก็จะไม่มีโฮลเหลืออยู่เลย ทำให้ด้านที่ 4 เหลือแต่อิเลคตรอน ด้านที่ 4 จึงกลายเต็มประจุลบ (net negative charge) ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ผิวด้านข้างของสารกึ่งตัวนำซึ่งความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านที่ 3 กับด้านที่ 4 นี้ก็จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า F_H (electric field) ซึ่งเกิดขึ้นเพราะ lorentz force นั้นเอง

$$F_H = V_pB = |f_L|/q \qquad (2.2)$$

ในที่นี้เราจะสมมุติว่าสนามแม่เหล็กมีค่าน้อย ดังนั้น ($\mu_pB << 1$) การที่ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 ของสารกึ่งตัวนำมีประจุต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างผิวของสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า

" Hall voltage " เราสามารถใช้ volt meter วัดแรงดันไฟฟ้านี้ออกมาได้ ความแตกต่างของแรงดันที่ได้คือ

$$V_H = V_p Bd \qquad (2.3)$$

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ฮอลเอฟเฟค (Hall effect) ด้านที่ 3 และ 4ของชิ้นสารกึ่งตัวนำเรียกว่า หน้าสัมผัสฮอลล์ (Hall contact) สนามไฟฟ้า F_H เรียกว่า Hall electric field และแรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านที่ 3 และ4 ของสารกึ่งตัวนำเรียกว่า Hall voltage ความหนาแน่นของกระแส (electric current density) สามารถหาได้จาก

$$J = qp\mu_pF \qquad (2.4)$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_H = Bj/(qp) \quad (2.5)$$

Hall voltage , $V_H = F_H d$ ก็จะเท่ากับ

$$V_H = RBI \quad (2.6)$$

เมื่อ I = jtd คือ กระแสไฟฟ้า, และ t คือความหนาของชิ้นสารกึ่งตัวนำ

$$R = 1/qp \quad (2.7)$$

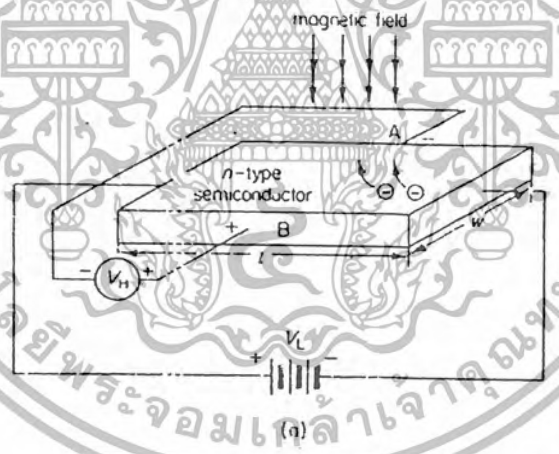
R คือ ค่าคงที่ฮอลล์ (Hall contance), การเคลื่อนที่ของโฮลสามารถหาได้จาก

$$\mu_P = \sigma_P R \quad (2.8)$$

เมื่อ

$$\sigma_P = j/F = qp\mu_P \quad (2.9)$$

ในกรณีที่แท่งสารกึ่งตัวนำเป็นชนิด N(N-Type semiconductor) พาหะ(carrier) ส่วนมากก็จะเป็นอิเลคตรอน ขั้วแรงดันของ Hall voltage(ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 ของชิ้นสารกึ่งตัวนำ)ก็จะตรงกันข้ามกับในกรณีที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P



รูปที่ 2.2.2 แสดงปรากฏการณ์ Hall Effect ของสารกึ่งตัวนำชนิด N

จากสมการในข้างต้นนั้นเป็นการอธิบายคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฮอลเอฟเฟค อย่างไรก็ตามสมการทั้งหมดก็ไม่ถูกต้องนัก เพราะเราสมมุติว่าการเคลื่อนที่ของโฮลในชิ้นสารกึ่งตัวนำนั้นมีความเร็วในการเคลื่อนที่ (Vp) เท่ากันทุกตัว แต่ในความเป็นจริงแล้วการเคลื่อนที่ของโฮลในชิ้นสารกึ่งตัวนำนั้นจะไม่เท่ากันเนื่องจากผลของความร้อนในชิ้นสารกึ่งตัวนำ โฮลบางตัวอาจจะเคลื่อนที่ช้า โฮลบางตัวอาจจะเคลื่อนที่เร็ว เป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบสุ่ม เพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้นจึงต้องปรับปรุงสมการที่ (2.7) และสมการที่ (2.8) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = r_H/(qp) \qquad (2.7\text{-a})$$

$$\mu H_P = \sigma_P R \qquad (2.8\text{-a})$$

เมื่อ r_H เรียกว่า ฮอลเฟคเตอร์ (Hall factor)

μH_P เรียกว่า การเคลื่อนที่ของโฮล (Hall mobility of hole)

$$\mu H_P = r_H \mu_P \qquad (2.9\text{-a})$$

ค่า r_H จะขึ้นกับอุณหภูมิ, การโด๊ป , สนามแม่เหล็ก และแฟคเตอร์อื่นๆของสารกึ่งตัวนำ

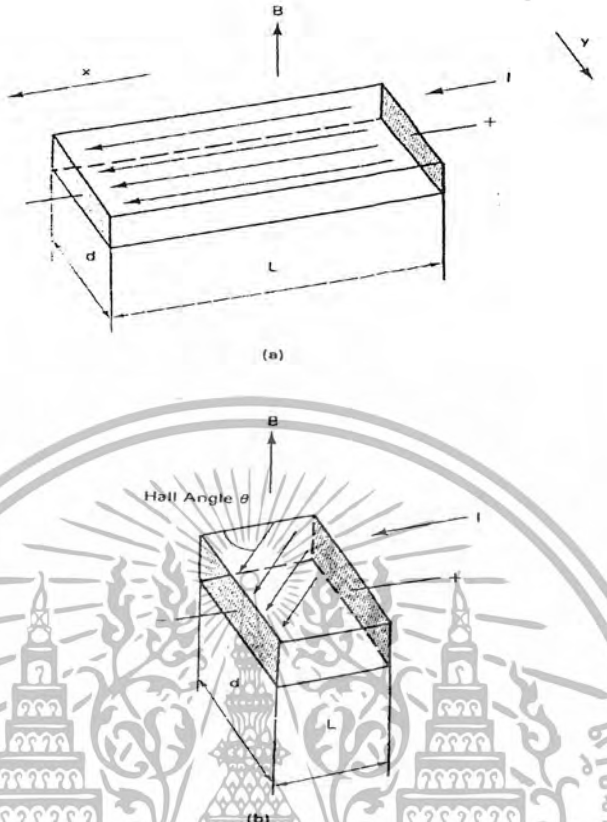
จากปรากฏการณ์ "ฮอลเอฟเฟค" นี้จึงนำมาใช้ทำ "ฮอลเอฟเฟคเซนเซอร์ (Hall effect sensor) ใช้ในการแปลงค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งค่าจากสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จะมากหรือน้อยจะขึ้นกับผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

สนามไฟฟ้าฮอล (Hall electric field) เกิดขึ้นเมื่อมีฟลั๊กซ์ (flux) มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลโดยตรงกับมุมในการเคลื่อนที่ของพาหะ (carrier)ซึ่งก็คือ โฮล

$$\theta = \tan^{-1}(Vx/Vy) = \tan^{-1}(\mu VxB/Vy) = \tan^{-1}(\mu B) \qquad (2.10)$$

มุม θ เรียกว่า"มุมฮอลล์ (Hall angle) เมื่อ Vx และ Vy เป็นองค์ประกอบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโฮล ในแกน x และแกน y โดยพิจารณาตามรูปที่ 2.2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.3 แสดงเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในชิ้นสารกึ่งตัวนำเมื่อd<<L (a) และd>>L (b)

การสะสมของโฮล (hole)ที่ด้านที่ 3 (รูปที่ 2.2.1) ของชิ้นสารกึ่งตัวนำนั้นจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าฮอลล์ขึ้นมาและสนามไฟฟ้าฮอลล์นี้จะเป็นตัวชดเชย lorentz force และหยุดการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสทำให้ผิวด้านข้างของชิ้นสารกึ่งตัวนำสร้างแรงดัน Hall voltage ได้น้อยลง

จากรูปที่ (2.2.3) จะสังเกตได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะนั้นจะขึ้นอยู่กับมิติรูปร่างของชิ้นสารกึ่งตัวนำ จากรูป (2.2.3-a) L>>d ถ้านำชิ้นสารกึ่งตัวนำชิ้นนี้ไปวางในที่ๆมีสนามแม่เหล็กผ่าน ชิ้นสารกึ่งตัวนำชิ้นนี้ก็จะสร้างแรงดันฮอลล์ได้ เพราะการเคลื่อนที่ของโฮลจะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสและเนื่องจากชิ้นสารกึ่งตัวนำมีความยาวมากพอที่จะทำให้โฮลเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางผิวด้านข้างของชิ้นสารกึ่งตัวนำได้ ในทำนองเดียวกันจากรูป (2.2.3-b)เมื่อ d<<L พาหะโฮลจะเคลื่อนที่ภายใต้มุมฮอลล์ (Hall angle) และมาถึงด้านที่เป็นขั้วลบก่อนโดยที่พาหะโฮลจะไม่สามารถไปที่ด้านผิวข้างของชิ้นสารกึ่งตัวนำได้ ในสภาวะเช่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นสารกึ่งตัวนำชิ้นนี้จะไม่สามารถสร้างแรงดัน Hall voltage ได้เลย ระยะทางที่พาหะโฮลเดินทางจากด้านที่เป็นขั้วบวกไปยังด้านที่เป็นขั้วลบเท่ากับ

$$L_H = L(1+\tan^2\theta)^{1/2} \qquad (2.11)$$

และองค์ประกอบความเร็วในทิศทางของสนามไฟฟ้าจะลดลงเนื่องจากองค์ประกอบของ lorentz force ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วของอิเลคตรอนที่วิ่งจากขั้วลบไปยังขั้วบวกของชิ้นสารกึ่งตัวนำ ถ้าสมมุติให้สนามที่เกิดจากฮอลล์เป็นศูนย์(zero hall voltage) จะได้ว่า

$$V = \mu (F+V*B) \qquad (2.12)$$

เมื่อ μ คือ low field mobility

$$Vx = \mu(F_x+VyB) \qquad (2.13)$$

$$Vy = -\mu VxB \qquad (2.14)$$

เพราะ $Fy = 0$ จึงแทนสมการที่ (2.13) ในสมการที่ (2.14) ได้

$$Vx= [\mu Fx]/[1+\mu^2B^2] \qquad (2.15)$$

สมการที่ (2.15) หมายความว่า ค่า effective low field mobility, ของชิ้นสารกึ่งตัวนำที่ $L/d<<1$ ที่วางในสนามแม่เหล็ก B จะเท่ากับ

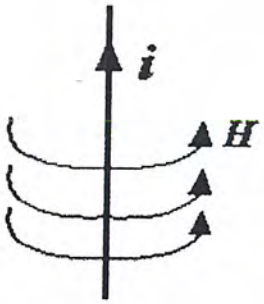
$$\mu_B = \mu/[1+\mu^2B] \qquad (2.16)$$

เมื่อ μ คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโฮล

2.3 ความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็ก

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



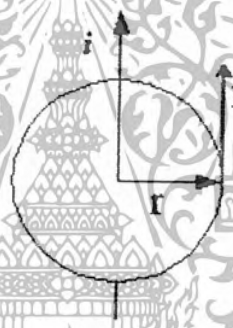
รูปที่ 2.3.1 แสดงสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน

โดยที่ความเข้มสนามแม่เหล็กคำนวณได้ตามสมการ

$$\int Hdl = \sum i = i_1 + i_2 - i_3$$

เมื่อ H คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดบนเส้นรอบวง

dl คือ ความยาวของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับกระแส

$$H = \frac{i}{2\pi r}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มสนามแม่เหล็ก

ความเข้มสนามแม่เหล็กทำให้เกิดความหนาแน่นเส้นแรงทุก ๆ จุดที่มีค่า H ดังนั้น ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แสดงได้ตามสมการ

$$B = \mu_r \mu_o H \ Wb/m^2 \text{ หรือ } T$$

โดยที่ μ_o คือสภาพความซึมซาบ ใน free space $\left(4\pi \times 10^{-7} \ H/m\right)$

μ_r คือสภาพความซึมซาบสัมพัทธ์ของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้งการทำแม่เหล็ก (Magnetization Curve)

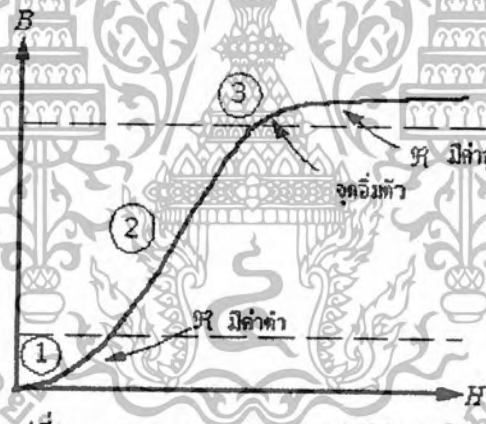
ถ้าป้อนกระแสให้กับวงจรเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเข้มเส้นแม่เหล็กในแกนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงในแกนเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันดังภาพที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า

ส่วนที่ 1 นั้นเป็นช่วงเริ่มต้นการทำแม่เหล็ก ความต้านทานแม่เหล็ก $\Re$ และความเข้มเส้นแรง H จะมีค่าต่ำ

ส่วนที่ 2 ของเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะ $B-H$ การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรง B และค่าความเข็มเส้นแรง H เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น

ส่วนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเส้นแรง B ไม่เป็นแบบเชิงเส้นซึ่งจุดดังกล่าวนี้วงจรแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัว (ความต้านทานแม่เหล็ก $\Re$ และความเข้มเส้นแรง H สูง)

เห็นได้ว่าความต้านทานแม่เหล็ก $\Re$ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเส้นแรง ($\Re$ มีค่าต่ำถ้า B ต่ำ และ $\Re$ มีค่าสูงเมื่อ B สูง)



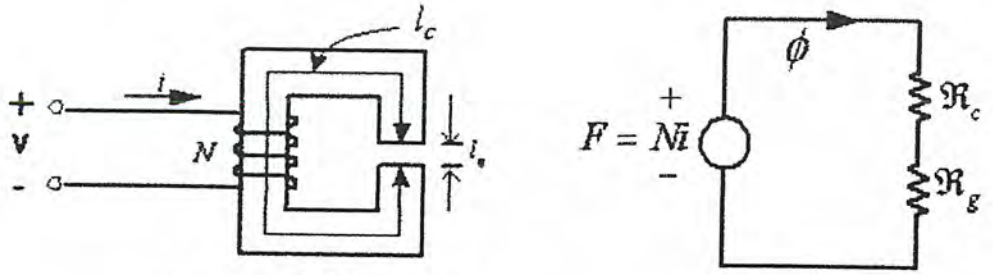
รูปที่ 2.3.3 แสดงคุณลักษณะเส้นโค้งทำแม่เหล็ก $B-H$

ความหนาแน่นเส้นแรง กำหนดตามสมการ

$$B_c = \frac{\phi_c}{A_c}$$

$$B_g = \frac{\phi_g}{A_g}$$

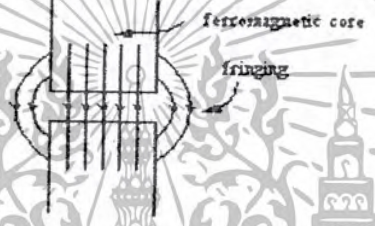
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แกนเหล็กที่มีช่องอากาศ (ข) วงจรแม่เหล็กสมมูล

รูปที่ 2.3.4 แสดงโครงสร้างแบบผสม

เส้นแรงแม่เหล็กที่มีทางเดินยื่นออกมาภายนอกแกนในลักษณะของการโป่งพองของเส้นแรงแม่เหล็กภาพที่ 2.3.5 เรียกว่า fringing flux



รูปที่ 2.3.5 แสดงการโป่งพองของเส้นแรงแม่เหล็ก (Fringing flux)

กรณีช่องอากาศที่แคบ ๆ จะไม่คิดผลของ fringing flux ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของแกนและช่องอากาศถือว่ามีเท่ากัน $A_g = A_c$ ซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นช่องอากาศเท่ากับที่แกน อย่างไรก็ตามถ้าวงจรแม่เหล็กใดๆ มีความกว้างของช่องอากาศมากจำเป็นต้องคำนึงถึงผลของ fringing flux ด้วย

$$B_g = B_c = \frac{\phi}{A_c}$$

2.4 ชนิดของตัวตรวจจับฮอลล์

ฮอลล์แบ่งออกเป็นสามชนิด คือ ชิดเป็นสวิตช์ ชนิดเป็นตัวแลตช์(Latch) และชนิดเป็นอุปกรณ์เชิงเส้น ชนิดสวิตช์และชนิดแลตช์เป็นอุปกรณ์ทางดิจิตอลคือ จะมีเอาต์พุตเพียงสองสถานะ ไม่เปิดก็ปิด ในขณะที่ฮอลล์แบบเชิงเส้นจะให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสนามแม่เหล็ก

2.4.1 ฮอลล์ชนิดสวิตช์ (Switch Hall Device)

อุปกรณ์ที่ในสภาวะปกติจะ "ปิด"และจะ "เปิด" เมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก และจะปิดเมื่อให้สนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ฮอลล์ชนิดแลตช์ (Latching Hall Device)

ฮอลล์ชนิดแลตช์ เป็นฮอลล์ที่จะเปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กบวก และจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กลบ ซึ่งต่างจากฮอลล์สวิตช์

2.4.3 ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น (Linear Hall Device)

ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น เป็นฮอลล์ที่จะไม่เกิดการเปิดหรือปิด แบบฮอลล์ชนิดสวิตช์ กล่าวคือไม่เกิดการฮีสเตอร์ริซิส ความไวของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมีประมาณ 16 mV/mT ฮอลล์ชนิดนี้สามารถหาขั้วของสนามแม่เหล็กได้ถ้ารู้ค่าแรงดันในขณะที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ซึ่งเรียกว่า จุดอินเตอร์เซปต์ (Intercept)

หากแรงดันของฮอลล์มีค่ามากกว่าจุดอินเตอร์เซปต์แล้ว แสดงว่าขณะนั้นขั้วของสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือ แต่ถ้าแรงดันของฮอลล์น้อยกว่าจุดอินเตอร์เซปต์ แสดงว่าสนามแม่เหล็กในขณะนั้นเป็นขั้วใต้ ซึ่งคุณสมบัติในข้อนี้สามารถนำไปใช้ในการหาตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ เนื่องจากฮอลล์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ อุณหภูมิจึงมีผลต่อการทำงานของฮอลล์ ภายในไอซีจึงจะต้องมีส่วยชดเชยอุณหภูมิ ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นที่ดีจะต้องมีความเที่ยงตรงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานปกติ แรงดันที่วัดได้ไม่ควรผิดพลาดเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่อุณหภูมิปกติ แรงดันของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นจะมีค่าน้อยมากเป็นมิลลิโวลต์ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องขยายเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น และถ้าสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยแรงดันที่ได้ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้าหากสนามแม่เหล็กมีค่ามาก ค่าของแรงดันก็จากมากขึ้นด้วย

2.5 วัสดุแม่เหล็ก

วัสดุแม่เหล็กเป็นวัสดุอุตสาหกรรมที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ถูกใช้ในการอกแบบทางด้านวิศวกรรมวัสดุแม่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั้งหมด จะเป็นวัสดุแม่เหล็กแบบ ferromagnetic หรือ ferrimagnetic ที่มีค่า magnetization มาก วัสดุแม่เหล็กแบบ ferromagnetic ที่สำคัญจะเป็นวัสดุอัลลอยด์ของ Fe , Co , Ni ในปัจจุบันนี้มีวัสดุแม่เหล็ก ferromagnetic หลายชนิดที่ถูกทำขึ้นร่วมกับธาตุจำพวก rare - earth เช่น Sm ในวัสดุแม่เหล็กจำพวก ferromagnetic นี้ อาทิเช่น Fe จะมีบริเวณที่เรียกว่า magnetic domain ซึ่งเป็น บริเวณที่ magnetic dipole moments จะเรียงตัวขนานซึ่งกันและกัน โครงสร้างของ magnetic domain ในวัสดุแม่เหล็ก จำพวก ferromagnetic เหล่านี้จะถูกกำหนดโดยพลังงานดังนี้ คือ พลังงานแลกเปลี่ยน , พลังงาน magnetostatic , พลังงาน magnetocrystalline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

anisotropry , พลังงาน domain wall และ พลังงาน magnetostrictive ซึ่งผลรวมของพลังงานเหล่านี้จะต้องต่ำสุด ถ้า ferromagnetic domains ในวัสดุตัวอย่างมีทิศทางเป็นแบบ random แล้ว วัสดุตัวอย่างนั้นจะอยู่ในสภาพไม่แสดง สภาวะแม่เหล็กแต่เมื่อวัสดุตัวอย่างนั้นถูกใส่สนามแม่เหล็กเข้าไป domain ที่มีอยู่ใน วัสดุตัวอย่างจะเกิดการจัดเรียงตัวและวัสดุจะแสดง สภาพสภาวะแม่เหล็กและยังแสดงสภาพสภาวะแม่เหล็กอยู่แม้ว่าสนามแม่เหล็กภายนอกที่ป้อนเข้าไปถูกนำออกไป พฤติกรรม magnetization ของวัสดุแม่เหล็กจำพวก ferromagnetic จะถูกบันทึกได้ด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง magnetic induction (B) และ สนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป (H) ซึ่งเรียกว่า hysteresis loop เมื่อวัสดุแม่เหล็กจำพวก ferromagnetic ที่ไม่แสดงสภาพสภาวะแม่เหล็ก ถูกทำให้เป็นแม่เหล็กโดยใส่สนามแม่เหล็กภายนอกเข้าไป ค่า magnetic induction ของวัสดุจะเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว เรียกว่า saturation induction และ เมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกถูกนำออกไปค่า magnetic induction จะลดลงจนได้ค่าๆหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า remanant induction ค่า magnetic induction ของวัสดุจะมีค่าเป็นศูนย์ได้จะต้องใส่สนามแม่เหล็กกลับทิศภายนอกเข้าไป และค่าสนามแม่เหล็ก กลับทิศภายนอกที่ใส่เข้าไปและทำให้ค่า magnetic induction มีค่าเป็นศูนย์นี้เรียกว่า coercive force(H) วัสดุแม่เหล็กแบบ soft จะเป็นวัสดุแม่เหล็กที่ง่ายต่อการทำให้เกิดสภาพสภาวะแม่เหล็ก และ หมดสภาพสภาวะแม่เหล็ก สมบัติทางแม่เหล็กที่สำคัญของวัสดุแม่เหล็ก แบบ soft คือมี permeability สูง , ค่า satulation induction มาก และ ค่า coercive force ต่ำ เมื่อวัสดุแม่เหล็กจำพวก ferromagnetic แบบ soft ถูก magnetized และ demagnetized ซ้ำๆกันจะทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจาก hysteresis และ eddy - current energy ขึ้น ตัวอย่างของวัสดุจำพวก ferromagnetic แบบ soft มีดังนี้ คือ อัลลอยด์ที่ประกอบด้วย Fe และ 3 - 4% Si ซึ่งถูกใช้ในมอเตอร์ และ หม้อแปลงไฟฟ้า และ generators ส่วนอัลลอยด์ที่ประกอบด้วย Ni และ 20 - 50% Fe ที่ถูกใช้ ในอุปกรณ์สื่อสารที่ต้องการความไวสูง วัสดุแม่เหล็กแบบ hard จะเป็นวัสดุแม่เหล็กที่ยากต่อการทำให้เกิดสภาพสภาวะแม่เหล็กและหมด สภาพสภาวะแม่เหล็ก สมบัติที่สำคัญของ วัสดุแม่เหล็กแบบ hard คือ มีค่า coercive force และ saturation induction สูง กำลัง ของวัสดุแม่เหล็กแบบ hard จะถูกวัดโดยค่า maximum energy product ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของผลคูณระหว่าง B และ H ในส่วน quadrant 2 ของ B - H hysteresis loop ตัวอย่างของวัสดุจำพวก ferromagnetic แบบ hard อาทิเช่น alnicos ซึ่งใช้เป็น แม่เหล็กถาวรในงานทางด้านไฟฟ้า และ อัลลอยด์ของ rare - earth บางชนิด เช่น SmCo5 และ Sm(Co,Cu)7.5 อัลลอยด์ของ rare - earth จะใช้ในมอเตอร์ขนาดเล็กและงานอื่นๆ วัสดุ ferrite เป็นสารประกอบอีกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นวัสดุแม่เหล็กที่สำคัญในงานอุตสาหกรรม วัสดุเหล่านี้ถือได้ว่าเป็น ferrimagnetic เนื่องจาก magnetic moment สุทธิเกิดขึ้นจากโครงสร้างทางไอโอนิก วัสดุแม่เหล็กจำพวก ferrite แบบ soft ทั้งหมดจะมีองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้ คือ MO*Fe2O3 เมื่อ M เป็นไอออนที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ +2 เช่น Fe(2+) , Mn(2+) , Ni(2+) วัสดุเหล่านี้จะมีโครงสร้างแบบ inverse spinel และ ถูก

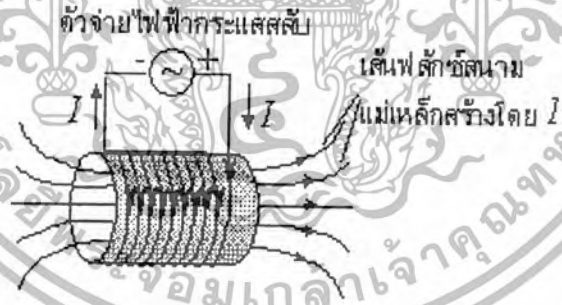
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประยุกต์ใช้ในงานต่างๆอาทิเช่น งานที่มีสัญญาณ ต่ำ , memory - core , audiovisual และ recording - head เป็นต้น และเนื่องจากวัสดุเหล่านี้เป็นฉนวนดังนั้นจึงสามารถถูกใช้ใน งานที่มีความถี่สูงได้ซึ่งสามารถแก้ปัญหาทางด้านพลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสลับได้ ส่วนวัสดุ แม่เหล็กจำพวก ferrite แบบ hard จะมีสูตรทั่วไปดังนี้ คือ MO*6Fe2O3 เมื่อ M ไอออนของ Ba และ Sr ซึ่งมักจะถูกประยุกต์ใช้ใน งานที่ต้องการวัสดุที่มีราคาไม่สูงมากนัก และมีความหนาแน่นต่ำวัสดุเหล่านี้มักจะถูกใช้ในลำโพงเครื่องเสียง , โทรศัพท์ เป็นต้น

2.6 ตัวเหนี่ยวนำ (inductor)

ตัวเหนี่ยวนำ (inductor) เป็นส่วนประกอบที่เก็บสะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เมื่อกระแสไฟฟ้าหยุด มันจะปล่อยพลังงานในรูปกระแส ตัวเหนี่ยวนำถูกนำมาใช้ในหลายๆ วงจรที่เราต้องการไม่ให้กระแสเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป เช่น วงจรกรองสัญญาณ (filters) ในเครื่องเล่นสเตอริโอและวิทยุ การทำงานของตัวเหนี่ยวนำอาศัยสมบัติที่เรียกว่าความเหนี่ยวนำตัวเอง (self-inductance) ปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำตนเอง (self-induction) ค้นพบโดยชาวอเมริกัน โจเซฟ เฮนรี (Joseph Henry) ในปีค.ศ. 1832



กระแสสลับในขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเปลี่ยนกับเวลาซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดในทิศทางที่ต้านการเปลี่ยนของกระแส เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นซึ่งชอนไชขดลวดนั้น ถ้ากระแสที่ผ่านขดลวดเปลี่ยนแปลง ฟลักซ์ที่เชื่อมผ่านขดลวดจะเปลี่ยนแปลงด้วย ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งจะมีทิศทางที่ต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแส นั่นคือ ถ้ากระแสกำลังเพิ่มขึ้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะอยู่ในทิศทางที่พยายามให้กระแสลดลง แต่ถ้ากระแสกำลังลดลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะอยู่ในทิศทางที่ทำให้กระแสเพิ่มขึ้น ตามกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117458

ความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Inductance)

วงจรแม่เหล็กมีขดลวดพันอยู่บนแกนแม่เหล็กจำนวน N รอบ ซึ่งขดลวดดังกล่าวนี้เรียกว่า ความเหนี่ยวนำตัวเองหรือความเหนี่ยวนำ โดยที่กำหนดให้เส้นแรงเชื่อมโยงขดลวด(flux linkage) ต่อแอมแปร์ของกระแสที่ไหลผ่านตัวมันมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\lambda = N\ \phi$$

$$L = \frac{\lambda}{i}$$

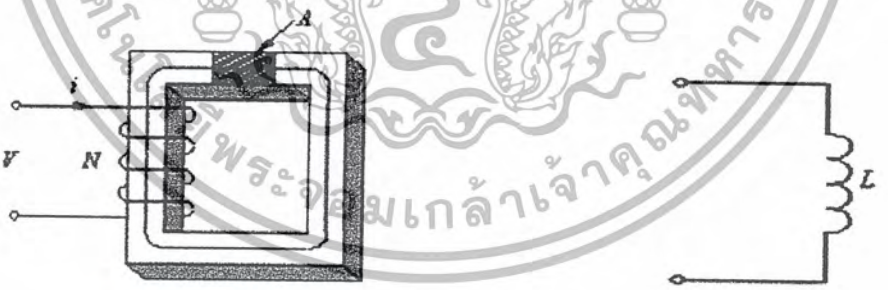
เมื่อ λ คือ เส้นแรงเชื่อมโยง

L คือ ความเหนี่ยวนำ

$$L = \frac{N\phi}{i}$$

หรือจากสมการค่าความเหนี่ยวนำหาได้ดังนี้ คือ

$$L = \frac{N^2}{\Re}$$



(ก) กลุ่มขดลวด – แกน (ข) วงจรสมมูลย์ของค่าความเหนี่ยวนำ

รูปที่ 2.6 ความเหนี่ยวนำของกลุ่มขดลวด-แกน

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดย 4 ปัจจัย ดังนี้

1. จำนวนรอบของขดลวด
2. พื้นที่ของขดลวด

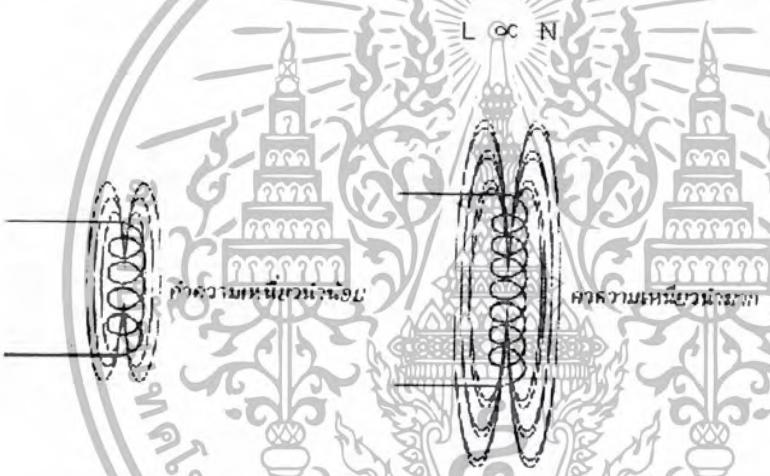
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความยาวของขดลวด

4. วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด

จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น ดังแสดงในรูป สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำที่เรียกว่า "Counter EMF หรือ Back EMF" และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด (N)



พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ ดังแสดงในรูป จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด (A)

ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบ ขยายพื้นที่ออก (นั่นคือความยาวของขดลวดเพิ่มขึ้น) ดังแสดงในรูป ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลงในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนี้นำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้น (ความยาวของขดลวดสั้นลง) สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด (u)

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวกนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เฟอร์ไรต์ หรืออัลลอย ซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวมหรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น ค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังแสดงในตาราง แสดงตัวอย่างของวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้ทำแกนโดยที่

$$L \propto \mu$$

ค่าความซาบซึมได้ของวัสดุชนิดต่างๆ	
วัสดุ	ค่าความซาบซึมได้ (μ)
อากาศหรือสุญญากาศ	1.26 x 10-6
นิกเกิล	6.28 x 10-6
โคบอลต์	7.26 x 10-5
เหลกหล่อ	1.1 x 10-4
เหล็กแท่ง	5.56 x 10-4
แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า	6.9 x 10-3
เหล็กซิลิกอน	8.8 x 10-3
เพอร์มาลอย	0.128
ซุปเปอร์มาลอย	1.26

สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

จากปัจจัยทั้ง 4 ประการที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาเขียนเป็นสูตรคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$L = \frac{N^2 \times A \times \mu}{1}$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี่ (H)

N = จำนวนของขดลวด

A = พื้นที่ของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m2)

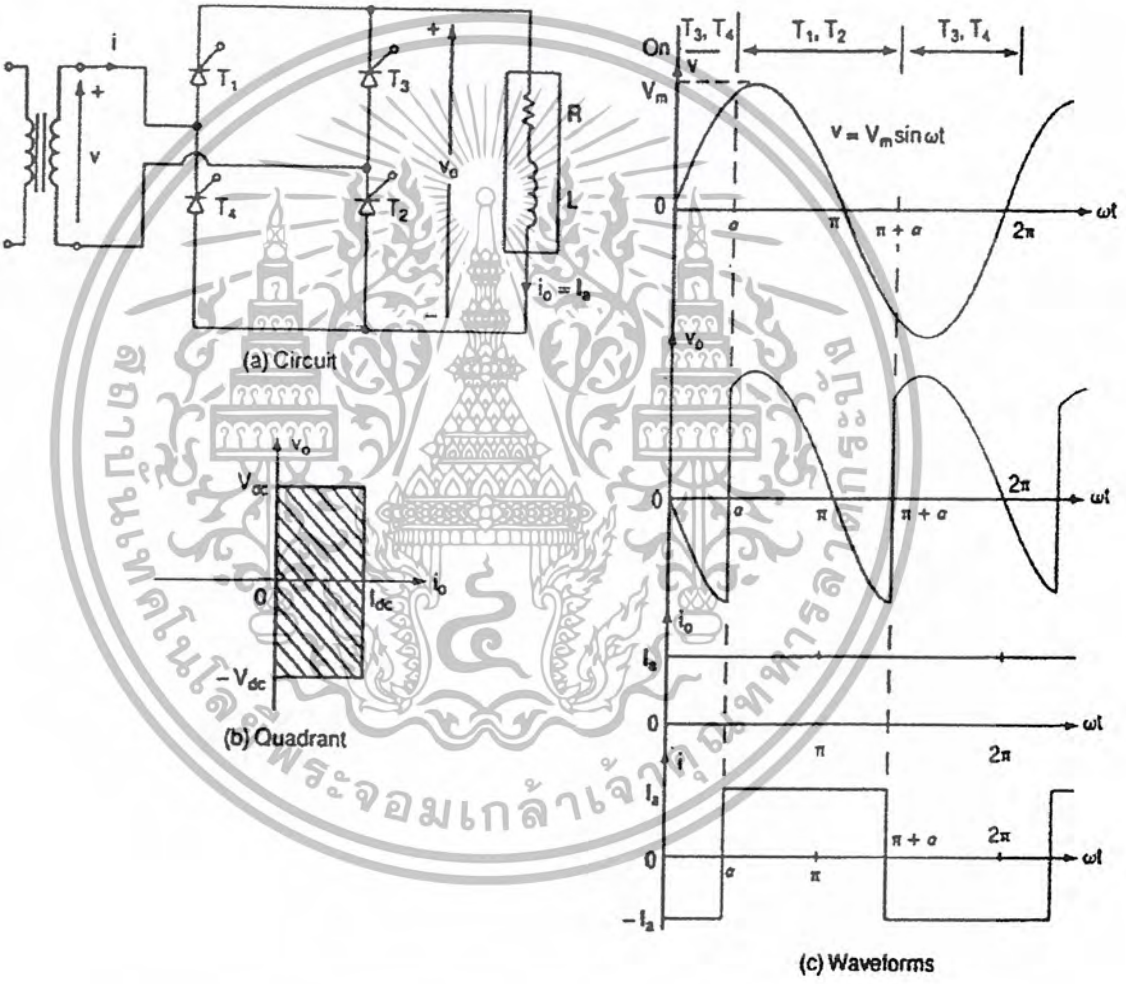
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

u = ค่าความซาบซึมได้ (Permeability)

l = ความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.7 วงจรฟูลคอนเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว (single – phase full converter)

รูปแบบของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับยังคงมีลักษณะเป็นวงจรบริดจ์ แต่ทำงานด้วย scr ทั้งหมดคือ T_1 , T_2 ,T_3 และ T_4 ดังแสดงด้วยรูปที่



รูปที่ 2.7 วงจรฟูลคอนเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว

การทำงานจะทำเป็นคู่ครบวงจรระหว่าง T_1 และ T_2 และอีกคู่หนึ่งระหว่าง T_3 และ T_4 โดยมุมเริ่มนำกระแสของเฟสเริ่มที่ α และ $\pi+\alpha$ ตามลำดับ วงจรนี้โหลดเป็นขดลวดที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงแต่ไม่ใส่ไดโอด ดังนั้นเมื่อ T_1 และ T_2 นำกระแส รูปสัญญาณ V_0 จะนำกระแสถึงช่วง π และนำกระแสต่อเนื่องจากพลังงานที่สะสมใน L จึงทำให้ T_1 และ T_2 ยังนำกระแสต่อในช่วงลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะหยุดนำกระแสเมื่อ T3 และ T4 นำกระแส รูปสัญญาณจะมีลักษณะเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น โดยจะทำงานใน 2 ควอดแดรนท์

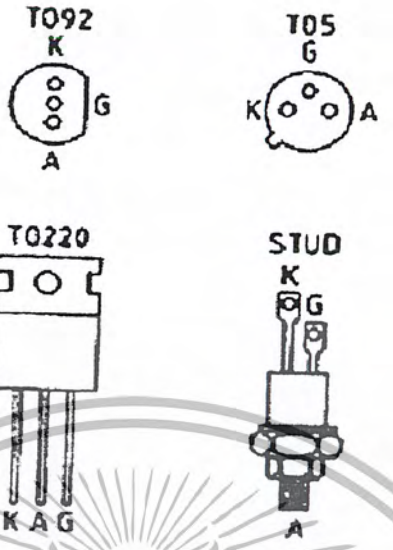
2.8 ความล้มเหลวในการสับเปลี่ยนกระแส (Commutation failure)

เมื่อเราควบคุมการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสแบบบริดจ์ที่มีภาระของวงจรที่เสมือนเป็นแหล่งกระแสคงที่ Id ให้อยู่ในโหมดผันกลับ (inversion) สิ่งที่เราต้องระมัดระวัง คือ เราต้องแน่ใจได้ว่ากระบวนการสับเปลี่ยน (commutation process) ของวงจรจะต้องเสร็จสิ้นก่อนที่แรงดันแหล่งจ่ายจะกลับขึ้นที่จุดตัดศูนย์ (Zero crossing) ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับจุดที่แรงดันสับเปลี่ยน (commutating voltage) มีการเปลี่ยนขั้วแรงดัน ถ้ากระบวนการสับเปลี่ยนไม่สามารถสับเปลี่ยนการนำกระแส (current commutation) ในวงจรได้เสร็จสิ้นภายช่วงเวลานี้ จะทำให้คู่ของเอสซีอาร์ที่กำลังจะหยุดนำกระแสจะเริ่มกลับมานำกระแสอีกครั้ง

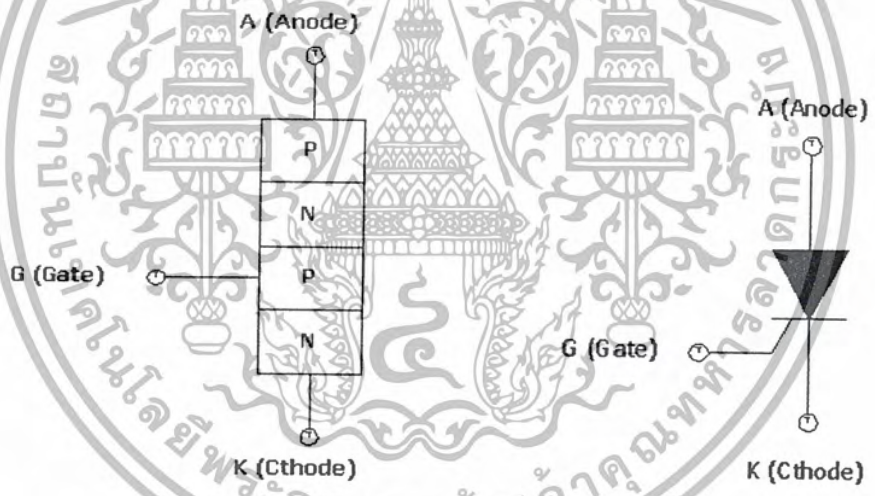
2.9 เอสซีอาร์ (Silicon Controlled Rectifier)

เอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นโซลิดสเตตสวิตช์ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟให้แก่อุปกรณ์หรือวงจร เอสซีอาร์ เป็นอุปกรณ์ที่นำกระแสได้ทิศทางเดียว ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด Pและ N วางซ้อนกัน 4 ชั้น ทำให้เกิดรอยต่อ 3 รอยต่อ เราเรียกอุปกรณ์พวกนี้ว่า ว่าไทริสเตอร์ (thyristor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9.1 แสดงรูปของเอสซีอาร์

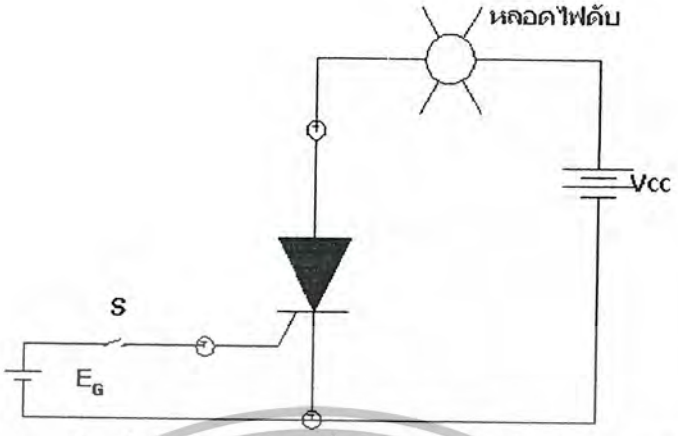


รูปที่ 2.9.2 โครงสร้างของและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์

การเปิดเอสซีอาร์ให้นำกระแสนั้น ทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าบวกที่ขั้วเกตที่เรียกว่า จุดชนวนเกตหรือสัญญานทริกเกอร์ (Trigerred) ดังรูป

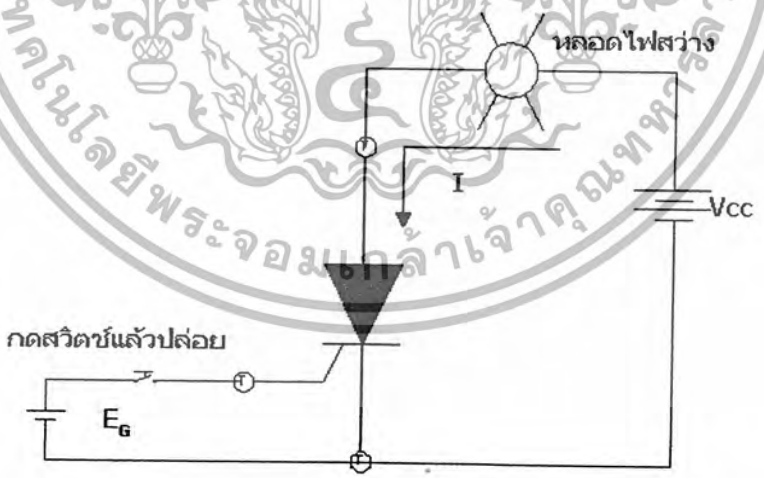
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอสซีอาร์ยังไม่นำกระแส เมื่อกดสวิตช์ เอสซีอาร์นำกระแส

การหยุดการทำงานของเอสซีอาร์

การหยุดการทำงานของเอสซีอาร์นี้จะทำได้เพียงทางเดียวเท่านั้น คือลดค่ากระแสที่ไหลผ่านแอโนดลง จนต่ำกว่าค่าที่เรียกว่า กระแสโฮลดิ้ง (holding current) หรือเรียกว่า Ih และในกรณีที่เอสซีอาร์ถูกใช้งานโดยการป้อนกระแสสลับผ่านตัวมัน การหยุดทำงานของมันจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ เมื่อค่าแรงดันไฟสลับที่ให้นั้นใกล้กับจุดที่เรียกว่า "จุดตัดศูนย์" (Zero-crossing point) ซึ่งจะเกิดขึ้นทุก ๆ ครึ่งคาบเวลาของสัญญาณไฟสลับที่ให้แก่วงจรนั้น



ถ้าต้องการหยุดการนำกระแสของเอสซีอาร์จากวงจรทำได้โดยกดสวิตช์ S2 หรือ S3

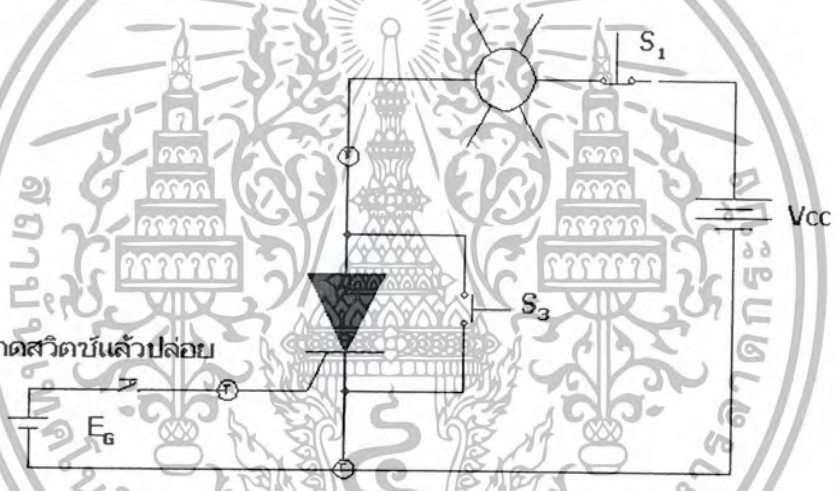
สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงหลักการทำงานพื้นฐานของเอสซีอาร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เป็นอุปกรณ์ ที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างง่าย ๆ แต่ข้อสำคัญคือการเลือกใช้เอสซีอาร์ ให้เหมาะกับงานที่ต้องการ ซึ่งจะพบว่าในการเลือกใช้เอสซีอาร์แต่ละเบอร์นั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละเบอร์ เช่น ค่าแรงดันและกระแสสูงสุดที่จะทนได้ ค่าความไวของเกตและค่ากระแสโฮลดิ้ง ในตาราง ได้แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ของเอสซีอาร์เบอร์ต่าง ๆ ที่นิยมใช้ โดย PIV คือค่าแรงดันสูงสุดที่จะทนได้, Vgt / Igt คือแรงดัน / กระแสที่ใช้ในการทริกที่เกตและ Ih คือกระแสโฮลดิ้ง

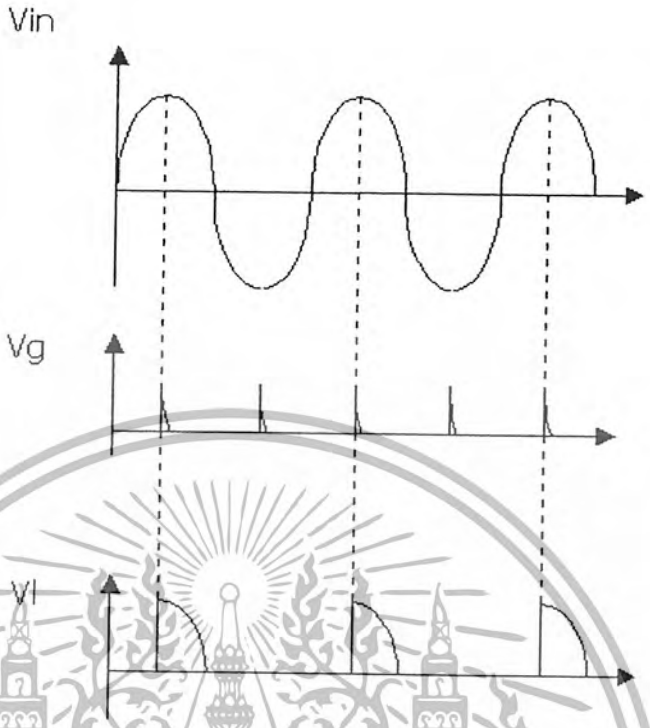
การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์

จากตัวอย่างของการใช้งานเอสซีอาร์ ที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นนี้เป็นการใช้งานในลักษณะเป็นสวิตช์ เปิด / ปิด การจ่ายไฟให้แก่โหลดต่าง ๆ แต่ความจริงแล้วการใช้งานสามารถขยายออกไปได้อีกมาก เช่น ใช้เป็นวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟ หรือเป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้นซึ่งก็ล้วนแล้วแต่เป็นการใช้งานควบคุมกำลังไฟ ที่จะจ่ายให้แก่โหลดในระบบที่เรียกว่าเฟส - ทริกเกอร์



แสดงวงจรการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟโดยการปรับมุมของสัญญานทริกเกอร์

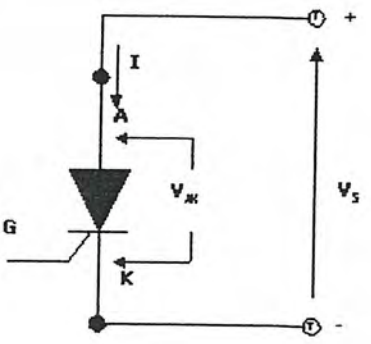
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



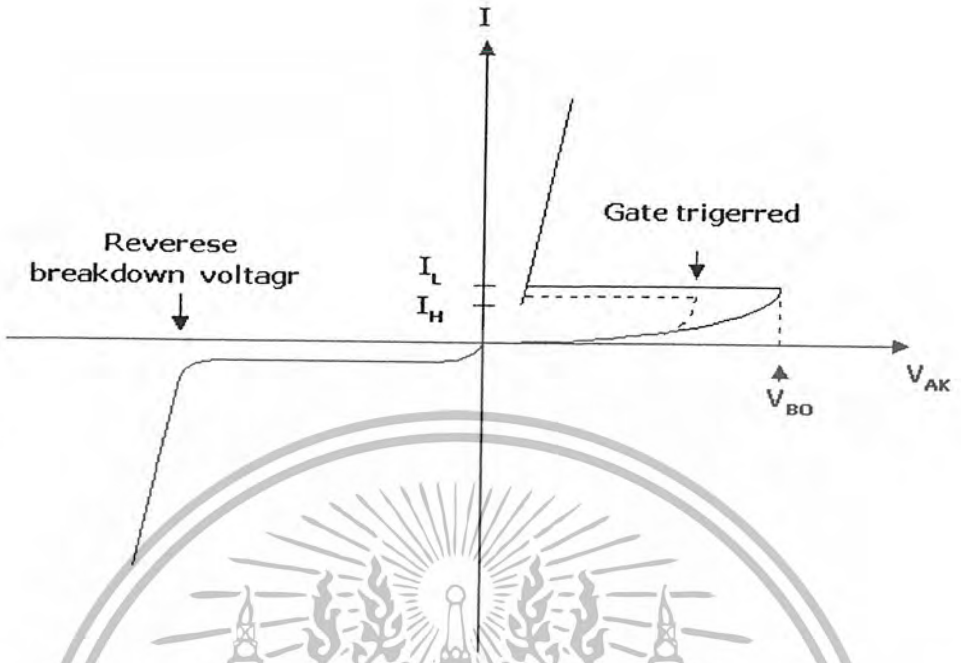
รูปที่ 2.9.3 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่เอสซีอาร์

การหน่วงเฟสมีผลดังนี้คือ ถ้าเอสซีอาร์ ถูกทริกที่ตำแหน่งเฟส 10 องศาหลังจากที่ทุก ๆ ครึ่งรูปคลื่นเริ่มเข้ามากำลังไฟเกือบทั้งหมดก็จะถูกป้อนให้แก่โหลด แต่ถ้าการทริกที่ตำแหน่งเฟส 90 องศาหลังจากทุก ๆ ครึ่งคลื่นเริ่มเข้ามา จะทำให้กำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดนั้น ลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังทั้งหมด และถ้าไปทริกที่ตำแหน่งเฟส 170 องศา หลังจากที่ทุก ๆ ครึ่งรูปคลื่นเข้ามาแล้วจะมีเพียงกำลังไฟส่วนน้อยเท่านั้นที่ป้อนให้แก่โหลด

ลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9.4 กราฟการทำงานของเอสซีอาร์

2.10 ไดโอด

ไดโอด (diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า มันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เป็นเรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรภาคจ่ายไฟ เป็นต้น

ไดโอดตัวแรกเป็นอุปกรณ์หลอดสุญญากาศ (vacuum tube หรือ valves) แต่ทุกวันนี้ไดโอดที่ใช้ทั่วไปส่วนใหญ่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน หรือเจอร์เมเนียม

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p - n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n

ไดโอดในอุดมคติ (Ideal Diode) มีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ให้เป็นแบบไบอัสตรงไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนกับสวิตช์ที่ปิด (Close Switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short Circuit) Id ไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนสวิตช์เปิด (Open Switch) หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ทำให้ Id เท่ากับศูนย์

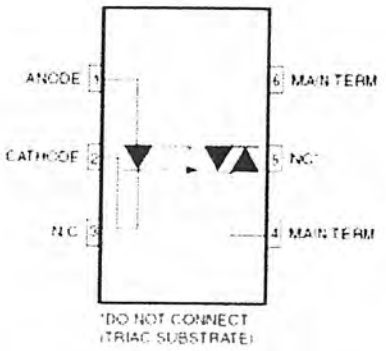
ไดโอดในทางปฏิบัติ (Practical Diode) มีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน (Ge >= 0.3V ; Si >= 0.7V) ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบอกจุดทำงาน ดังนั้น จึงเรียก "แรงดันเสมือน" อีกอย่างหนึ่งว่า "แรงดันในการเปิด" (Turn-on Voltage ; Vt)

กรณีไบอัสกลับ เราทราบว่า Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า "กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ" (Reverse Saturation Current ; Is) แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) และถ้าแรงดันไบอัสสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้ เราเรียกว่า "แรงดันพังทลายซีเนอร์" (Zener Breakdown Voltage ; Vz) ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า Vz จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เราเรียกว่า แรงดันพังทลายอวาแลนซ์ (Avalance Breakdown Voltage) ดังนั้น การนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น

2.11 ออพโตไอโซเลเตอร์ (Opto-Isolator)

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto-Isolator) หรือที่เรียกว่าออปโต้คัปเปลอร์ (Opto-Coupler) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อทางแสงโดยใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และเปลี่ยนกลับจากแสงเป็นไฟฟ้าตามเดิม ใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจรที่ต้องการแยกทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาดเพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้า แบ่งออกเป็นหลายชนิดแต่ละชนิดจะประกอบด้วย LED ส่งแสงซึ่งปติจะเป็นชนิดอินฟาเรดและตัวรับแสงชนิดต่างๆ โดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวเดียวกัน ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ออปโตไอโซเลเตอร์

อุปกรณ์แยกกันทางแสงแบบต่าง ๆ

อุปกรณ์แยกกันทางแสงหลายแบบ อุปกรณ์กำเนิดแสงใช้ LED อินฟราเรดเป็นหลัก ส่วนอุปกรณ์รับแสงสามารถผลิตขึ้นได้จากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำหลายชนิด เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับวงจรและอุปกรณ์ทางเอาต์พุตที่จะเชื่อมต่อไป

- อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตดาร์ลิงตัน ช่วยให้สามารถใช้งานได้กับวงจรที่ต้องการกระแสทำงานสูง แต่ความไวในการทำงานของวงจรลดลง
- อุปกรณ์รับแสงเป็น LASCR ช่วยการต่อเชื่อมวงจรทางอินพุตที่มีระดับแรงดันต่ำ ไปควบคุมวงจรทางเอาต์พุตที่มีระดับแรงดันสูง หรืออุปกรณ์เครื่องมือกลทางไฟฟ้าบางชนิด
- อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตไดแอก สร้างขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์กระตุ้นขาเกตไตรแอก โดยที่วงจรอินพุตมีระดับแรงดันต่ำ
- อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตเฟต ใช้งานได้กับวงจรเอาต์พุตที่ต้องการอิมพีแดนซ์สูงในการต่อเชื่อม ที่ต้องการแรงดันในการทำงานมากกว่ากระแสในการทำงาน
- อุปกรณ์รับแสงเป็นโฟโตแนนด์เกต เป็นพวกอุปกรณ์ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการต่อเชื่อมวงจรอนาล็อก และวงจรดิจิตอลเข้าด้วยกัน

2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ความรู้พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำและพอร์ต อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่นหน่วยความจำ,ส่วนอินพุทหรือเอาท์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น สรุปคือ

Microcontroller = Microprocessor + Memory + I/O

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่นๆ (Embedded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้ในงานควบคุมหลายประการ เช่น

1. ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
2. ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโพรเซสเซอร์
3. วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อยช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
4. มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
5. ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสมที่กล่าวมานั้นเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ควรจะมี นอกจากนี้ยังมีความสามารถบางอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์เช่น A/D, PWM ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.1 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

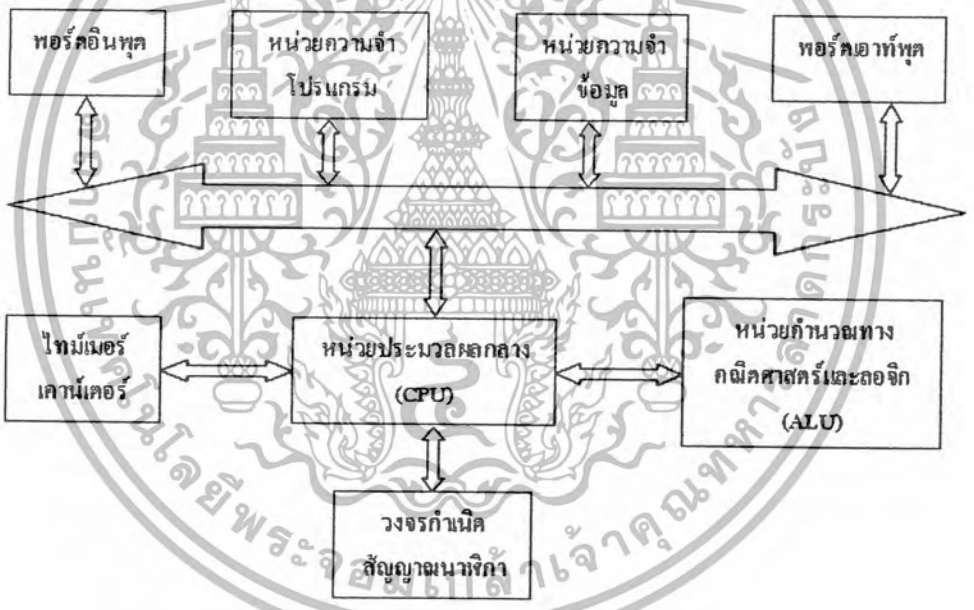
1. หน่วยประมวลผลกลาง CPU (Central Processing Unit)

2. หน่วยความจำ (Memory Unit) ประกอบด้วย RAM (Random Acess Memory) และ EEPROM/EPROM /PROM/ROM (Erasecable Programable Read Only Memory)

3. หน่วยรับและแสดงผลข้อมูล I/O(Input/Output) แบ่งเป็น Serial และ Parallel

4. ไทม์เมอร์ (Timer)

5. ตัวควบคุมการอินเตอร์รัพท์(Interrupt Controller)



รูปที่ 2.12.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.12.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลพีไอซี(PIC)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลพีไอซี หรือ PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่งย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จะรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/Dฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอกในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำซึ่งทำให้มันเหมือนกับหน่วยประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

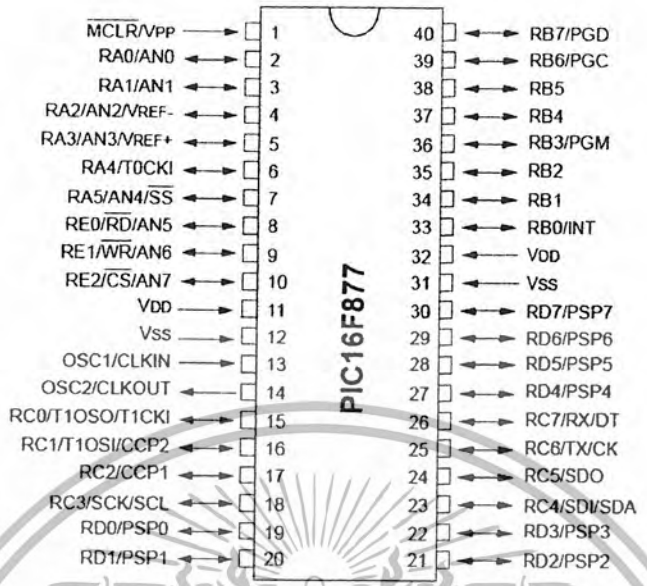
1. ความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลPIC ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกาปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 uSec แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จากmicrochip และได้สร้าง chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

2. หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลPIC ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบัน บริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์ และมีทีท่าว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆในเรื่องของการนับขนาดของหน่วย ความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่ หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 bits เช่น PIC16F84A ระบุว่ามีหน่วยความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1 K word ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะ ได้ว่า 1 x 1,024 x 14 = 14,336 bits ดังนั้นก็คือ14,336/(8x1,024)=1.75Kbytes นั่นเอง

3. สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลPIC ปัจจุบันนี้มี 3 สายหลักๆ คือ ขึ้นต้นด้วย 16xxx,17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx ถ้าพูดถึง คุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากสุดก็คือ 16 > 17 > 18 คำสั่ง assembly ของ 17 และมี 18 จะมีมากกว่า 16 ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า ราคาก็จะสูงกว่าด้วย แต่ที่เป็นที่นิยมก็คือตระกูล 16xxx

PIC จะยึดถือการออกแบบที่ว่ารวมทุกอย่างไว้ใน chip ตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดๆ เพิ่มเติม ผลที่ตามมาก็คือแผ่นวงจรจะมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PICเพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องใช้ chip อื่นมาเพิ่มเติมเลย ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC จึงเหมาะสำหรับงานเล็กๆไม่ใช่งานใหญ่ๆ ที่ต้องใช้การคำนวณและหน่วยความจำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12.2.1 ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

สถาปัตยกรรมและโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ ของ PIC 16F877

PIC 16F877 เป็น CPU ของบริษัท Microchip Technology ซึ่งเป็นผู้ผลิต CPU ตระกูล PIC โดยในเบอร์ 16F877 นี้เป็นเบอร์ที่มีความสามารถสูงพอสมควร ประกอบไปด้วยฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มากมาย พอจะสรุปคุณสมบัติคร่าวๆ ได้ดังนี้

- มี 35 Instruction คำสั่ง
- ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่างๆจะใช้ Cycle เดียว และ 2 Cycle ในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
- ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz (16F877-20/P)
- การทำงานจะเป็นลักษณะ Pipeline ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น
- หน่วยความจำโปรแกรม FLASH Program Memory มีขนาด 8k (14-Bit Words)
- หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
- หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
- สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพได้ถึง 14 แหล่ง
- มี STACK 8 ระดับ

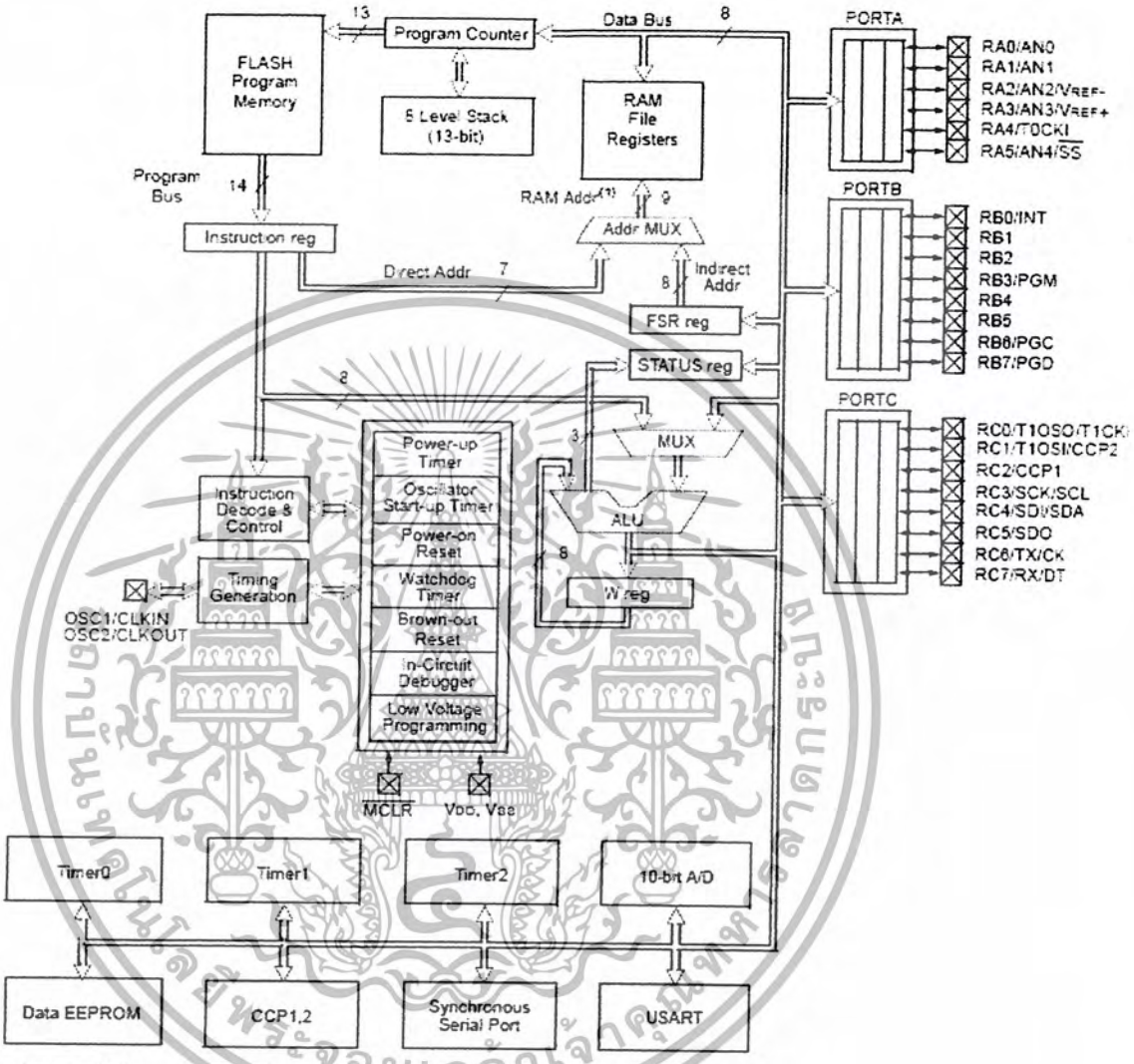
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีเพาเวอร์ออนรีเซต(POR),เพาเวอร์อัปไทเมอร์(PWRT) และ Oscillator Start-Up Timer
- Watchdog Timer
- สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
- มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- เลือกโหมดของ สัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- มีฟังก์ชันการ โปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming)
- ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0V ถึง 5.5V
- กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25mA
- มี Timer/Counter จำนวน 3 ตัว คือ Timer0,Timer1 และ Timer2
- มีโมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
- มี Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนเนล ภายในตัว
- มีโมดูลการสื่อสาร USART
- มีโมดูลตรวจจับระดับไฟเลี้ยง Brown – out reset (BOR)
- มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน

ซึ่งรวมแล้วจะมี I/O จำนวน 33 บิต

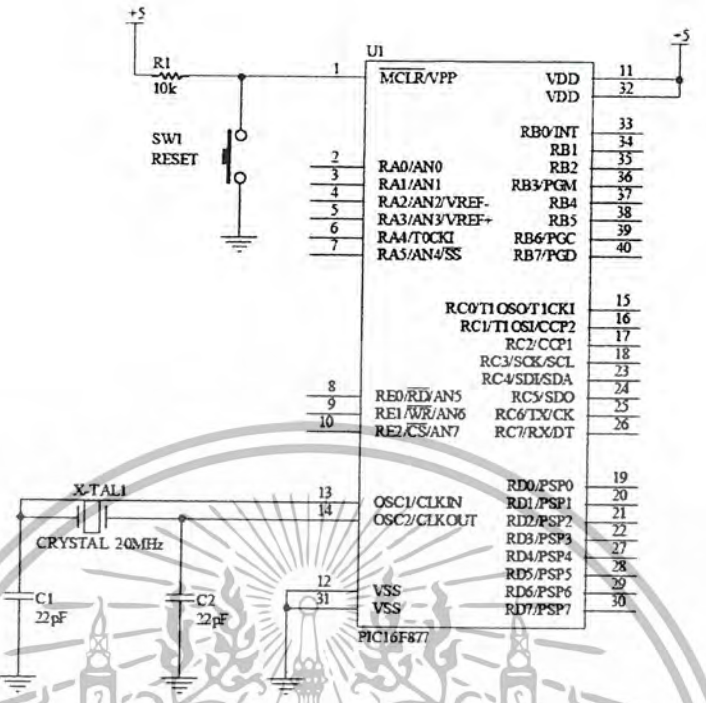
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในชิพ



รูปที่ 2.12.2.2 โครงสร้างภายในชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12.2.3 วงจรพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 อธิบายการทำงานโดยเริ่มจากการนำข้อมูลซึ่งเป็นคำสั่งที่เก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ใช้รีจิสเตอร์โปรแกรมเคาเตอร์ (Program Counter) ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม นำข้อมูลออกจากหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งมีขนาด 14 บิต ออกมายังโปรแกรมบัส (Program Bus) ข้อมูลทั้ง 14 บิตส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) ทำหน้าที่แยกข้อมูลที่เข้ามาและส่งออกไป 2 เส้นทางเส้นทางหนึ่งไปยังวงจรถอดรหัสและควบคุม(Instruction decode and control) ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณควบคุมไปยังส่วนควบคุมพิเศษต่าง ๆ ได้แก่ Power up Timer, Oscillator Start-up Timer, Power On Reset, Watchdog Timer และ Brown-out Reset อีกเส้นทางส่งไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์ (MUX) เพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลที่หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU (Arithmetic and Logic Unit) โดยนำข้อมูลกระทำกับรีจิสเตอร์หลักหรือรีจิสเตอร์ W (Accumulator) ผลลัพธ์สามารถเลือกเก็บได้ 2 ทางคือ การเก็บผลลัพธ์ไว้ที่ W หรือนำไปเก็บไว้ไฟล์รีจิสเตอร์ทั่วไป (RAM File Registers) หรือรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเช่น PORT A หรือไปยังโมดูลที่ต่อร่วมไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์อันได้แก่ TMR0, TIMER1 ,EEPROM ,10 bit A/D, Comparator ทางบัสข้อมูล (Data Bus) อีกส่วนหนึ่งที่ได้จากหน่วยประมวลผลทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณิตศาสตร์และลอจิก จำนวน 3 บิต ได้แก่ บิตตัวทด (Carry/borrow bit) บิตศูนย์ (Zero bit) และบิตตัวทดเมื่อมีการทดระหว่างสี่บิตล่างไปยังสี่บิตบน (Digitcarry/borrow bit)

2.12.3 สัญญาณนาฬิกา

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานได้ต้องมีสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวมัน ซึ่งในหนึ่งไซเคิล (Clock Bus) ของซีพียูจะประกอบไปด้วย สัญญาณนาฬิกาภายนอกจำนวน 4 ไซเคิล ดังนั้นความความถี่ที่ซีพียูประมวลผลต่อหนึ่งคำสั่ง เท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายนอกหารด้วย ดังสมการที่ (2.4)

$$1cycle = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = XTAL \quad (2.4)$$

หากจะพิจารณาความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลPIC16F877 สามารถประมวลผลต่อหนึ่งคำสั่งเท่ากับ1/4เท่าของความถี่ออสซิลเลเตอร์ภายนอก

2.12.4 ชนิดของออสซิลเลเตอร์ (TYPES OF OSCILLATOR)

MCU ในตระกูล PIC สามารถเลือกออสซิลเลเตอร์ได้ว่าจะใช้แบบภายในหรือภายนอก สำหรับออสซิลเลเตอร์ภายใน PIC จะเป็นประเภท RCออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่คงที่ 4 MHz ที่ Vdd=5 V ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนออสซิลเลเตอร์ภายนอก PIC สามารถแบ่งได้ตามนี้ (กับ MCUตระกูลอื่นก็ใช้ได้เช่นกัน)

1. Ceramic Resonator นิยมใช้ในกรณีที่ความถี่สูงไม่มาก ยอมรับ Error ของ ความถี่ได้พอสมควรเพราะว่ามีราคาถูกเมื่อเทียบกับออสซิลเลเตอร์ที่ต่อภายนอกประเภทอื่นไม่ต้องมี capacitor ต่อภายนอกด้วย โดยขากลางจะเป็น GND ส่วนอีกสองขาต่อกับ CLKIN และ CLKOUT

2. Quartz Crystal Oscillator จะไม่มีวงจรขยายสัญญาณภายใน มีแต่ crystal ที่กำเนิดสัญญาณความถี่ กำลังต่ำออกมา จะต้องมี capacitor ต่อลง GND ของทั้งสองขาตามรูปและทั้งสองขาต่อเข้ากับ CLKIN และ CLKOUT จะมีราคาแพงกว่า Ceramic Resonatorแต่จะให้ความเที่ยงตรงของความถี่ได้ดีกว่า

2.12.5 วงจรพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877

วงจรพื้นฐานที่ต้องต่อทุกครั้งเพื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานส่วนขาที่เหลือจะนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.6 หน้าที่ของพอร์ตที่เราใช้งาน

1. MCLP/Vpp : ทำหน้าที่เป็นสัญญาณรีเซต เมื่อขานี้ได้รับลอจิก 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซต และทำหน้าที่เป็นขารับสัญญาณรับแรงดัน ขณะทำการบันทึกโปรแกรมลงหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์

2. VDD : Positive Supply (+2.00 V ถึง +5.5 V) ทำหน้าที่เป็นขาไฟเลี้ยงของไมโครคอนโทรลเลอร์

3. VSS : Ground ทำหน้าที่เป็นขากราวน์

4. OSC1/CLKIN : Oscillator Crytal Input / External Clock Source Input

5. OSC1/CLKOUT : Oscillator Crytal Output / External Clock Source Output

6. RA0-RA5 :RA0-RA3 และ RA5 จะใช้งานเป็น I/O ปกติ และทำหน้าที่เป็นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อก (AN0-AN4)

RA4 เป็นขา I/O

RA6/OSC2/CLKO ทำหน้าที่ในหลายส่วน คือ เป็นขา OSC2 และ CLKO จะนำมาใช้เป็นขาสัญญาณ I/O ได้ก็ต่อเมื่อเราใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ แบบที่เป็นโมดูลสำเร็จสามารถต่อเข้ากับขา OSC1/CLKIN ได้เลยโดยที่ไม่ต้องต่อกับขา RA6/OSC2 ทำให้ ขา RA6 ว่างและนำไปใช้เป็น I/O ได้

7. RB0-RB7 : สามารถใช้งานเป็น I/O แต่มีคุณสมบัติ พิเศษคือวงจรมีพูลอัพ (Pull-Up) ภายใน และเป็น แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ต่างๆ ดังนี้

- RB0/INT0 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 0
- RB1/INT1 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 1
- RB2/INT2 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 2
- RB3/INT3 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 3
- RB4-RB7 เป็นขาที่สามารถกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ได้

8. RC0-RC7 : พอร์ต C มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ

9. RD0-RD7 : มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ

10. RE0-RE2 : พอร์ต E มีจำนวน 3 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.7 หน่วยความจำข้อมูล EEPROM

PIC 16F877 มีหน่วยความจำแบบ EEPROM จำนวน 256 ไบต์ โดยสามารถอ่านและเขียนในขณะทำงานปกติได้แต่ต้องไม่มีการ Enable Code protect bit โดยการเข้าถึงนั้นจะต้องทำผ่านรีจิสเตอร์พิเศษ (Special Function Register) ซึ่งต้องใช้ถึง 4 ตัวดังนี้

EECON1 : ควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ

EECON2 : จัดลำดับการเขียนข้อมูล

EEDATA : เป็นบัฟเฟอร์ใช้เก็บข้อมูล 8 บิต สำหรับการอ่านและเขียน

EEADR : รีจิสเตอร์ที่เก็บแอดเดรส 00h – FFh (256 ไบต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

หลักการการทำงาน

เริ่มจาก IC Hall Effect Sensor ซึ่งภายในประกอบไปด้วยส่วนตัวตรวจจับฮอลล์และวงจรขยายซึ่งให้สัญญาณทางเอาท์พุทออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นจะส่งไปประมวลผลยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลจากนั้นคำนวณค่าแรงดันที่ได้รับแปลงเป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในหน่วยเกาส์และแสดงผลออกทางจอแสดงผล LCD

3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กนี้มี 3 ส่วนใหญ่ คือ

3.1.1.1 ส่วนตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กโดย Hall Effect Sensor

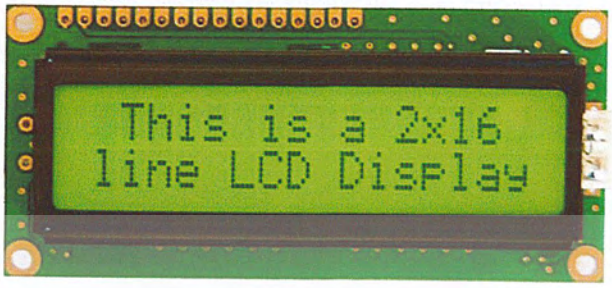
รูปที่ 3.1.1.1 Hall Effect Sensor A1302

3.1.1.2 ส่วนประมวลผล microcontroller PIC 16F877A

รูปที่ 3.1.1.2 microcontroller PIC 16F877A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 ส่วนของจอแสดงผลจอ LCD



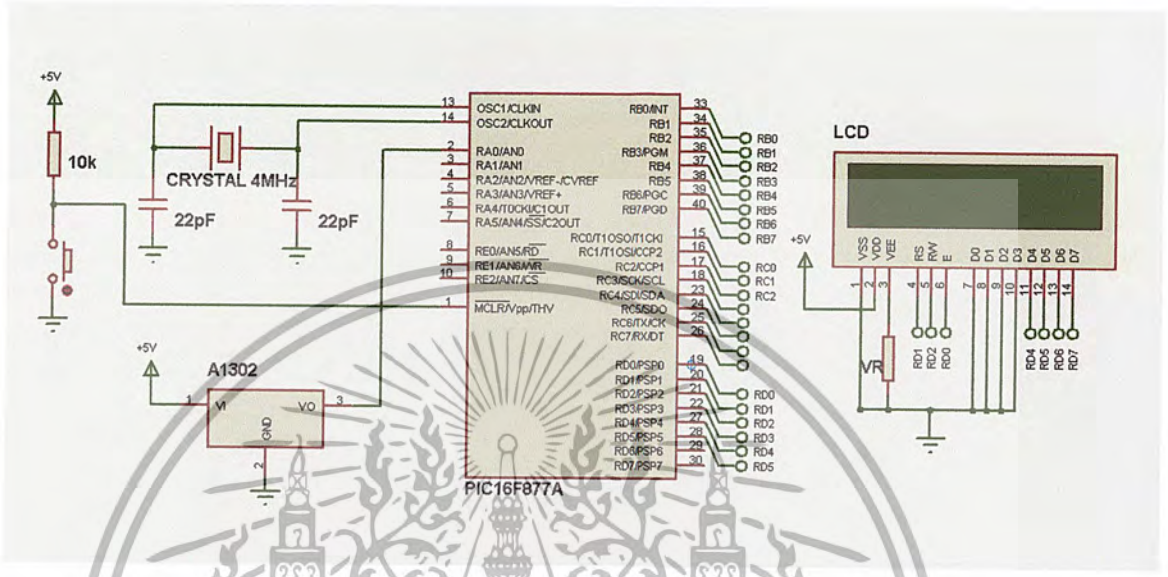
รูปที่ 3.1.1.3 จอแสดงผล LCD

3.1.2 Block diagram เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.1.2 Block diagram เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

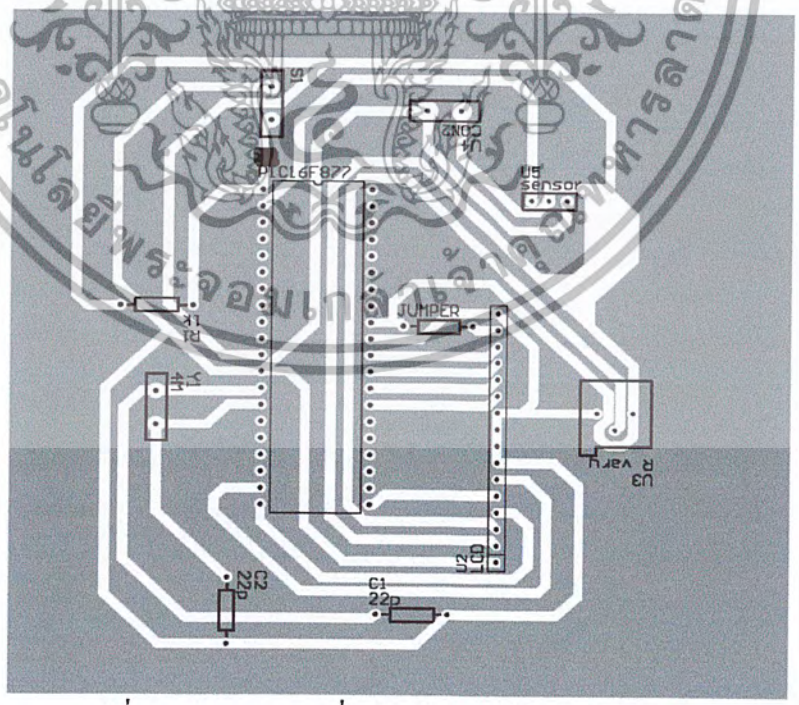
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3วงจรวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแสดงผลออกจอLCD



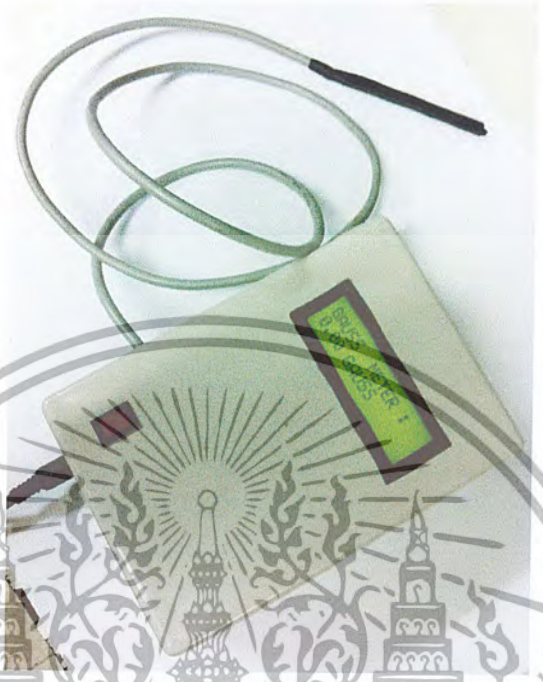
รูปที่ 3.1.3 วงจรวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแสดงผลออกจอ LCD

3.1.4 ลายวงจรเครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.1.4 ลายวงจรเครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.5 เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

3.2 เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก

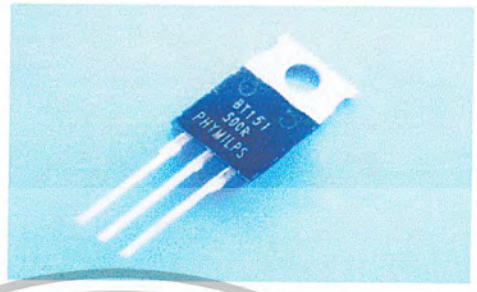
หลักการการทำงาน

เริ่มจากการจ่ายไฟสลับ 59.8 V ให้แก่วงจรบริดจ์ ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว เอสซีอาร์ 2 ตัว โดยที่เอสซีอาร์(SCR)ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มจากการต่อวงจร Zero crossing เพื่อหาจุดที่จะเริ่มทำงาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณพัลส์ไปให้ตัวเชื่อมต่อทางแสง (Opto isolator)ทำงานจากนั้นจะทำการทริกสัญญาณที่ขาเกตของเอสซีอาร์ทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะ turn on บริดจ์แบบ Full wave เกิดกระแสไปเหนี่ยวนำขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นโดยขดลวดจะมีแกนรูปร่างเป็นตัว U เราจะทำการสร้างแม่เหล็กโดยเอาวัสดุที่ต้องการทำเป็นแม่เหล็กมาวางไว้ชิดกับแกนตัว U ของขดลวดทำให้มีการเหนี่ยวนำวัสดุที่เอามาสร้างแม่เหล็กจากนั้นเอสซีอาร์จะ turn off ซึ่งมีผลมาจากการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้มีกระแสค้างอยู่ที่วัสดุที่จะทำเป็นแม่เหล็ก เมื่อเอาวัสดุออกมาจะพบว่าวัสดุจะกลายสภาพเป็นแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องสร้างแม่เหล็กนี้มี 5 ส่วนใหญ่ คือ

3.2.1.1 ส่วนของเอสซีอาร์ (SCR)

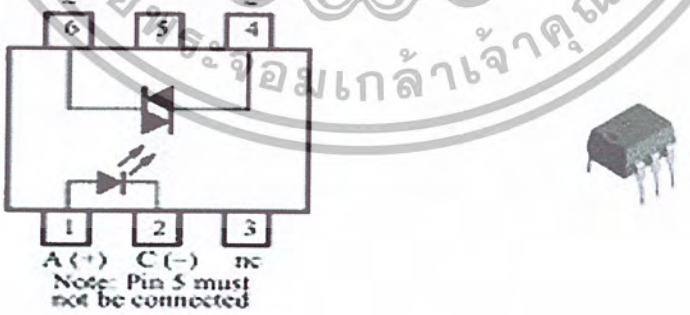


รูปที่ 3.2.1.1 อุปกรณ์เอสซีอาร์

3.2.1.2 ส่วนของไดโอด 1N4007

รูปที่ 3.2.1.2 อุปกรณ์ไดโอด

3.2.1.3 ส่วนของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto isolator) MOC 3023



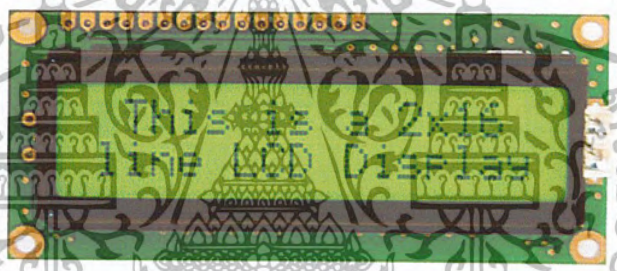
รูปที่ 3.2.1.3 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto isolator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 ส่วนประมวลผล microcontroller PIC 16F877A

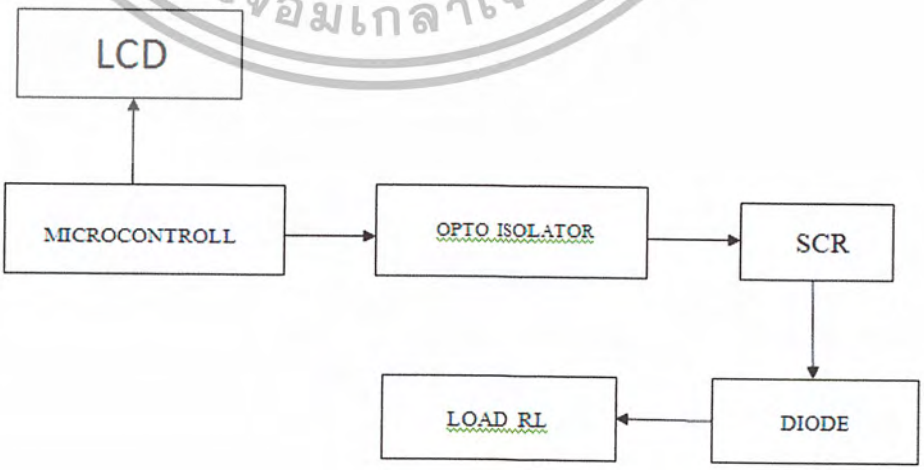
รูปที่ 3.2.1.4 อุปกรณ์ส่วนประมวลผล microcontroller

3.2.1.5 ส่วนของจอแสดงผลจอ LCD



รูปที่ 3.2.1.5 อุปกรณ์จอแสดงผลจอ LCD

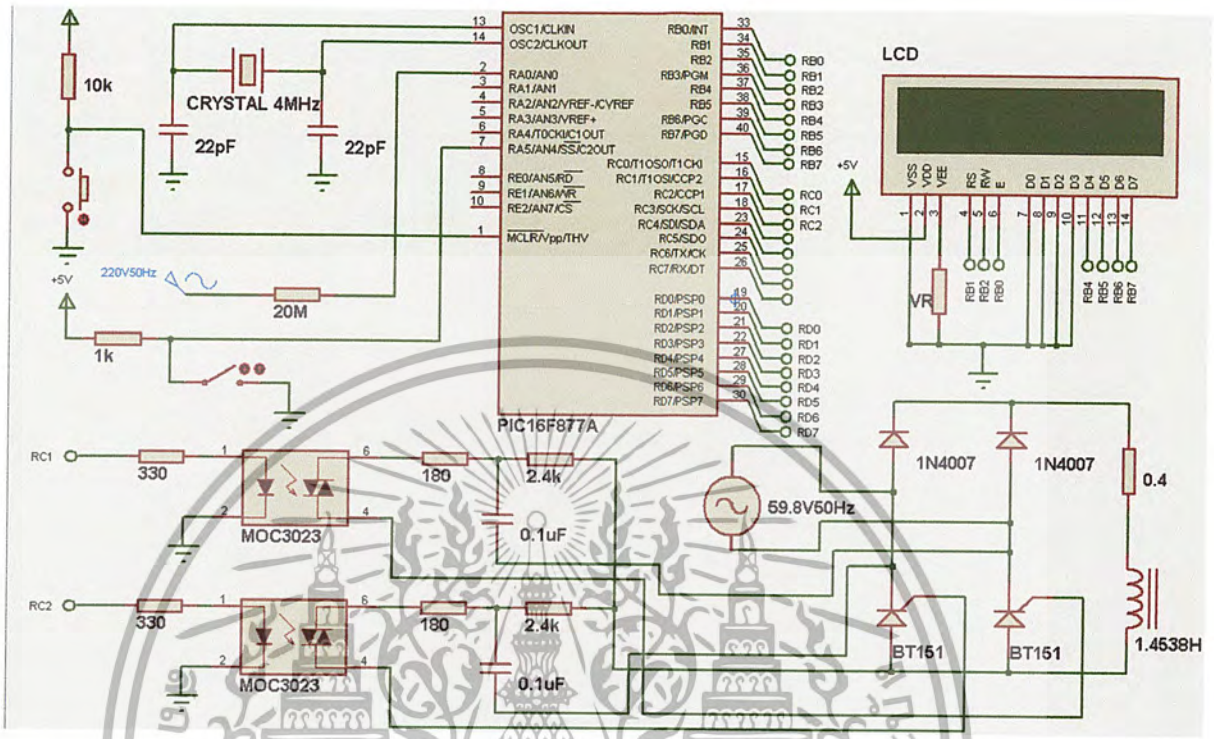
3.2.2 Block diagram เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก



รูปที่ 3.2.2 Block diagram เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก

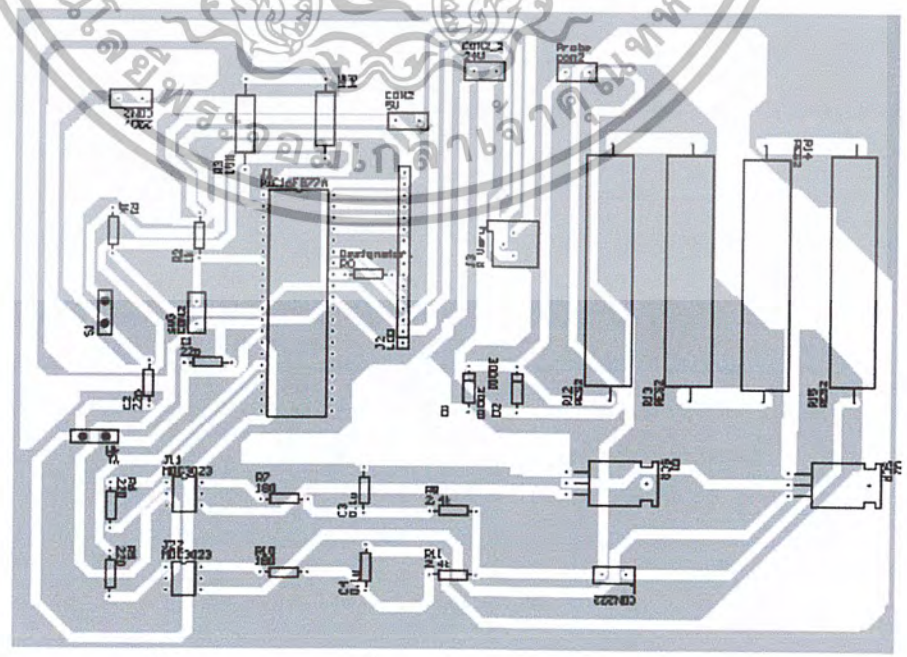
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก



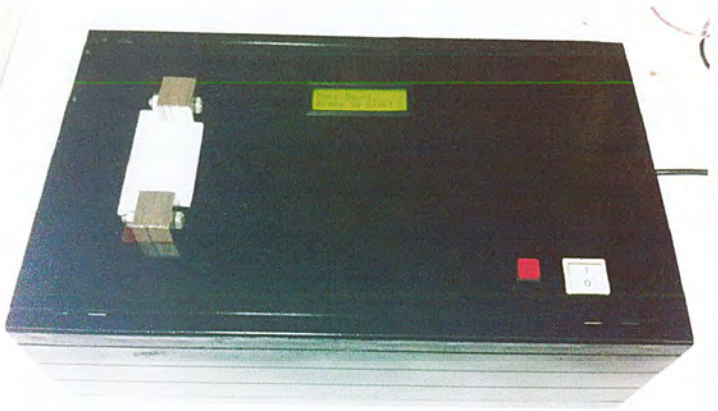
รูปที่3.2.3 วงจรเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก

3.2.4 ลายวงจรเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก



รูปที่ 3.2.4 ลายวงจรเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

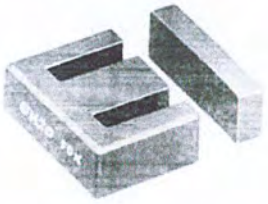


รูปที่ 3.2.5 เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก

3.3 เครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก

หลักการสร้างจะคล้ายกับหม้อแปลงคือมีแกนรูปตัว E แต่จะต่างตรงที่ไม่มีแกนรูปตัว I ทำให้เหมือนเป็นวงจรที่มีรูปเปิดออก ทำให้การเหนี่ยวนำเกิดในทางตรงกันข้ามกัน กระจัดกระจาย ไม่เป็นระเบียบ เมื่อนำแท่งแม่เหล็กไปวางตรงที่เกิดการเหนี่ยวนำจะทำให้อนุภาคที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบในแท่งแม่เหล็กเกิดการกระจายตัวไม่เป็นระเบียบทำให้แท่งแม่เหล็กสูญเสียความเป็นแม่เหล็กไป

รูปที่ 3.3.1 เครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก



รูปที่ 3.3.2 แกนของหม้อแปลงรูปตัวอี ไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก

แหล่งจ่ายไฟสลับ 59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH

1. ฟลักซ์แม่เหล็ก คือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก หรือจำนวนของเส้น แรงแม่เหล็ก ใช้สัญลักษณ์ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) หมายถึง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตกตั้งฉาก

จาก $\phi = LI$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ (Henry,Wb/m)

ϕ = ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Weber (Wb)

I = กระแส (A)

แทนค่า I= 2A, L= 1453.8mH; $\phi = (1.4538 \times 2)$

ดังนั้น $\phi = 2.9076$ Waber

จาก $\phi = BA$

$$B = \frac{\phi}{A}$$

โดยที่ B = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Tesla(T)หรือ Wb/m2

ϕ = ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Weber (Wb)

A = พื้นที่ที่ตกตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m2)

แทนค่า $\phi = 2.9076$ Waber, A= 0.00014 m^2; $B = \frac{2.9076}{0.00014}$

ดังนั้น

B =20768.57 tesla

B= 207.68 x 10^6 Gauss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Time constant

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{1453.8x0.001}{0.4} = 3.6345 \text{ Sec}$$

ซึ่งมีข้อกำหนดว่า period ของ ไฟสลับ 50 Hz ต้องน้อยกว่าค่า τ ซึ่งจากการคำนวณจะเห็นว่าค่า period ของ ไฟสลับ 50 Hz มีค่าน้อยกว่าค่า τ อยู่ 181.725 เท่า

3. phase shift กระแส นำ แรงดันไฟฟ้า ในช่วงที่ 2 ที่ให้ scr on ที่เลื่อนเฟสไป 141 องศา

$$\text{Tan}^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{2x\pi x50x1.4538}{0.4}\right) = 1.57 \text{ rad} = 89.950 \text{ องศา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในส่วนขั้นตอนการทดลองได้ทำการทดลองโดยสร้างเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก แล้วทำการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กจากเครื่องเกาส์มิเตอร์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น

4.1 การทดลองวัดค่าจากเครื่องสร้างเส้นแรงแม่เหล็กมาตรฐาน (Megnetic Flux Generator) โดยวัดเส้นแรงแม่เหล็กที่สร้างจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series กับมิเตอร์ที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.1.1 ผลการทดลองวัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กโดยอ่านค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นเอง ด้านที่ 1

ครั้งที่	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์ 5100 series) (G)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์สร้างเอง) (G)	
		ด้านที่ 1	Error (%)
1	0	0	0
2	100	101.88	1.88
3	200	201.59	0.79
4	300	301.31	0.44
5	400	404.12	1.03
6	500	497.17	0.57
7	600	596.88	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์ 5100 series) (G)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์สร้างเอง) (G)	
		ด้านที่ 1	Error (%)
8	700	693.03	1.00
9	800	792.75	0.91
10	900	888.9	1.23
11	1000	988.61	1.14
12	1100	1088.32	1.06
13	1200	1188.04	1.00
14	1300	1284.19	1.22
15	1400	1380.34	1.40
16	1500	1480.05	1.33
17	1600	1579.77	1.26
18	1700	1678.92	1.42
19	1800	1768.51	1.75
		Average %Error	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.2 ผลการทดลองวัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กโดยอ่านค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นเอง ด้านที่ 2

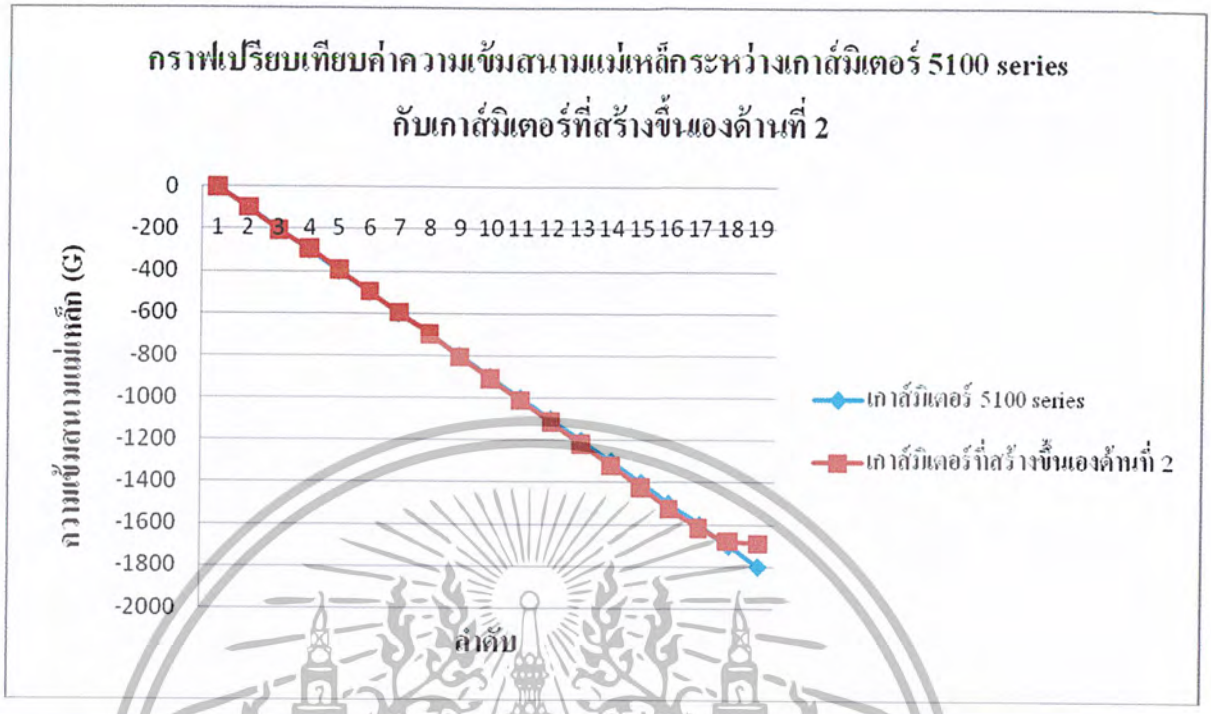
ครั้งที่	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์ 5100 series) (G)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์สร้างเอง) (G)	
		ด้านที่ 2	Error (%)
1	0	0	0
2	-100	-99.19	0.81
3	-200	-205.66	2.83
4	-300	-294.39	1.87
5	-400	-393.76	1.56
6	-500	-496.69	0.66
7	-600	-596.07	0.65
8	-700	-698.99	0.14
9	-800	-805.46	0.68
10	-900	-908.39	0.93
11	-1000	-1011.31	1.13
12	-1100	-1114.24	1.29
13	-1200	-1217.17	1.43
14	-1300	-1321.09	1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์ 5100 series) (G)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก(เกาส์มิเตอร์สร้างเอง) (G)	
		ด้านที่ 2	Error (%)
15	-1400	-1423.02	1.64
16	-1500	-1525.94	1.73
17	-1600	-1618.22	1.14
18	-1700	-1678.55	1.26
19	-1800	-1689.20	6.15
		Average %Error	1.44

รูปที่ 4.1.1 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นด้านที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.2 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นด้านที่ 2

ในส่วนขั้นตอนการทดลองได้ทำการทดลองโดยใช้เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็กที่ได้สร้างขึ้น สร้างความเป็นใส่แท่งแม่เหล็ก จากนั้นวัดค่าที่ได้ แล้วไปเข้าเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก แล้วทำการทดลองต่อไป

4.2 การทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเปลี่ยนไปค่าต่าง ๆ ที่ แหล่งจ่ายไฟสลับ 59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH

$$\text{Time constant} = \tau = \frac{L}{R} = \frac{1453.8x0.001}{0.4} = 3.6345 \text{ Sec}$$

เวลาในการอัดแม่เหล็กในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ช่วงละ 10 Time constant

$$10\tau = 36.345 \text{ Sec}$$

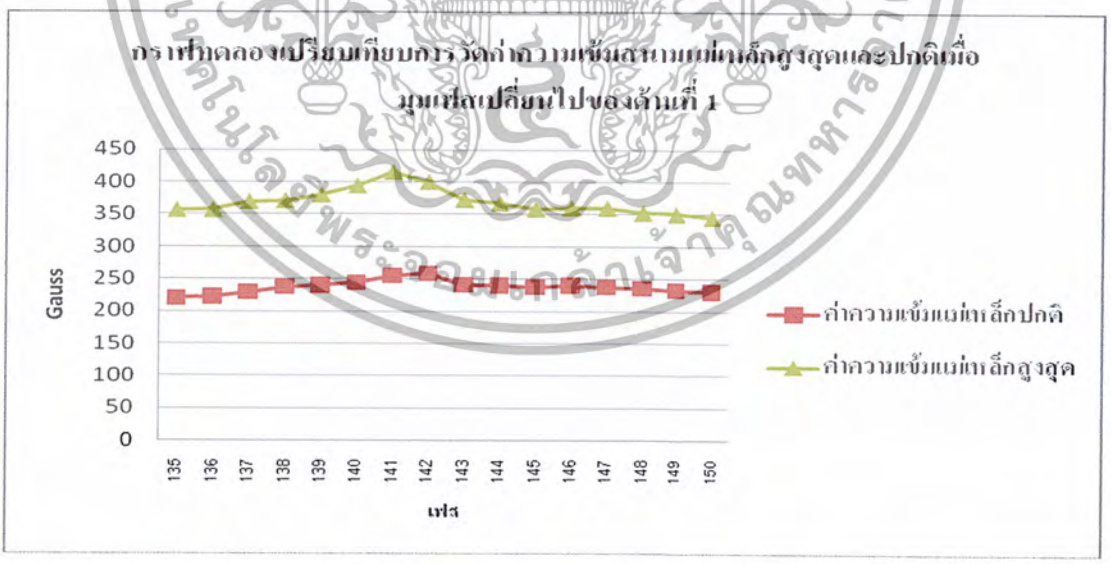
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเปลี่ยน

เฟส	แรงดันคร่อมขดลวด (โวลต์)	แรงดันคร่อมตัวต้านทาน (มิลลิโวลต์)	กระแสไหลผ่านโหลด (แอมแปร์)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก (Gauss)		ค่าความเข้มแม่เหล็กสูงสุด (Gauss)	
				ด้าน 1	ด้าน 2	ด้าน 1	ด้าน 2
135	80	909	2.2725	220.48	-222.67	357.04	-355.87
136	80	910	2.275	222.96	-226.05	357.23	-356.02
137	80	910	2.275	229.45	-230.07	369.59	-366.47
138	80	911	2.2775	237.60	-236.77	371.41	-375.27
139	80	911	2.2775	240.52	-237.60	379.92	-385.41
140	80	911	2.2775	244.33	-243.25	393.90	-393.21
141	80	911	2.2775	255.01	-244.70	415.06	-408.16
142	80	911	2.2775	258.52	-230.50	400.06	-393.90
143	80	910	2.275	240.77	-234.05	372.47	-383.21
144	80	909	2.2725	240.40	-219.86	366.89	-364.16
145	80	909	2.2725	237.60	-220.41	358.27	-351.16
146	80	908	2.270	240.20	-220.41	360.35	-363.47

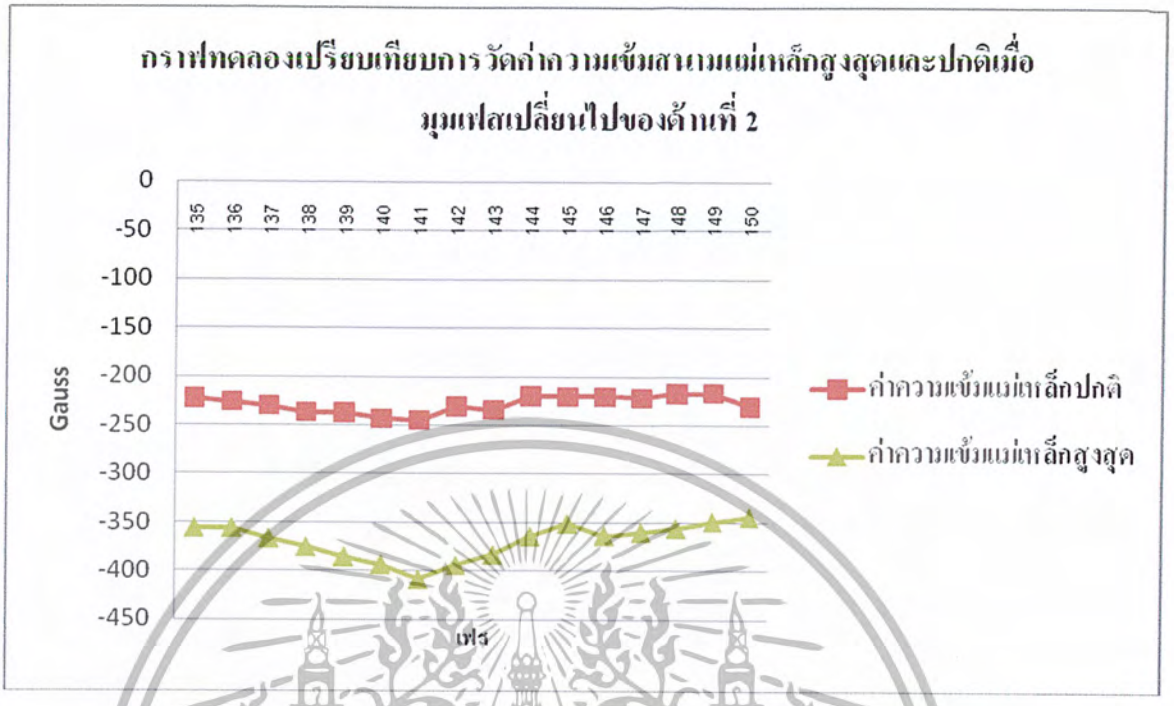
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส	แรงดันคร่อมขดลวด (โวลต์)	แรงดันคร่อมตัวต้านทาน (มิลลิโวลต์)	กระแสไหลผ่านโหลด (แอมแปร์)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก (Gauss)		ค่าความเข้มแม่เหล็กสูงสุด (Gauss)	
				ด้าน 1	ด้าน 2	ด้าน 1	ด้าน 2
147	80	907	2.2675	237.41	-221.83	360.02	-359.99
148	80	907	2.2675	235.93	-217.13	352.47	-355.88
149	80	906	2.265	232.85	-216.87	350.92	-349.10
150	80	906	2.265	230.41	-230.41	345.49	-344.13

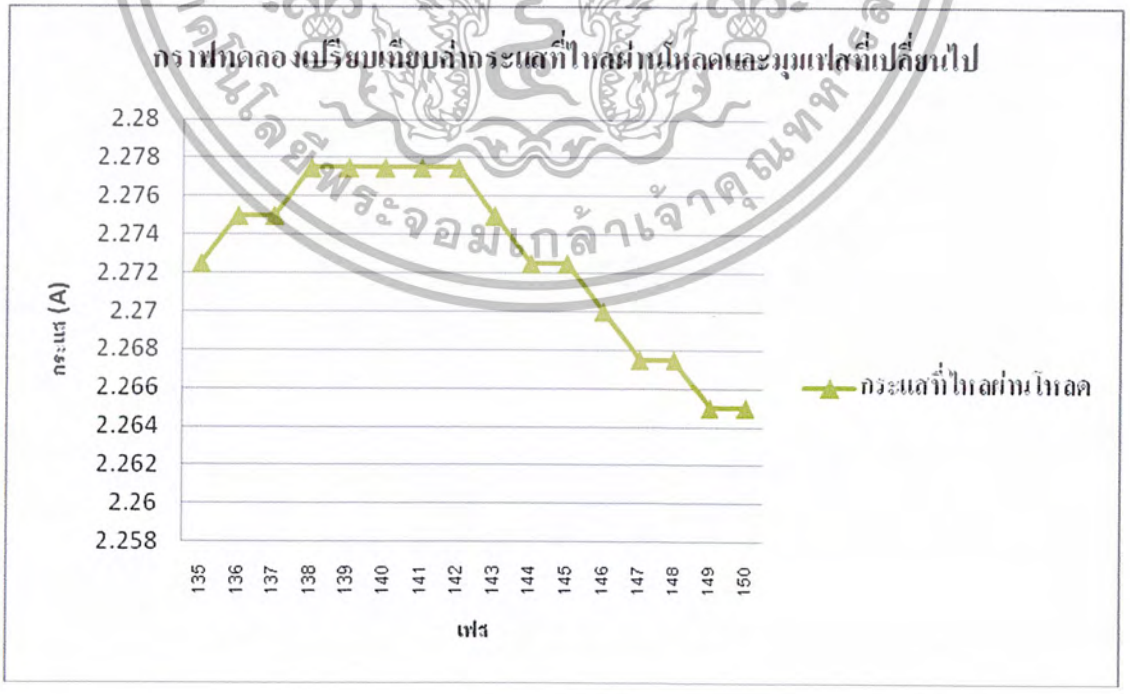


รูปที่ 4.2.1 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กปกติกับสูงสุดเมื่อมุมเฟสเปลี่ยนของด้านที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.2 กราฟทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กปกติกับสูงสุดเมื่อมุมเฟสเปลี่ยนของด้านที่ 2



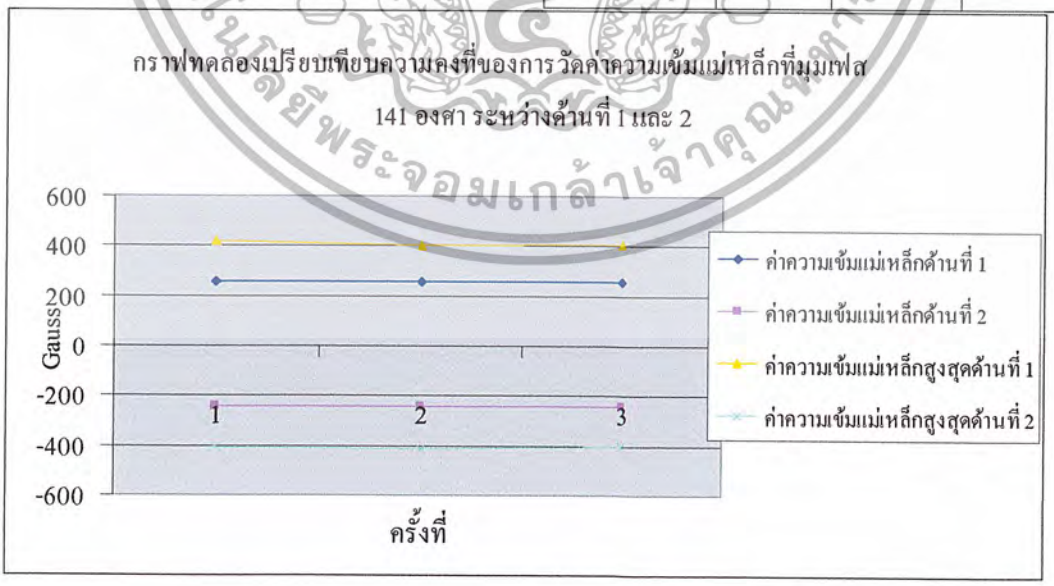
รูปที่ 4.2.3 กราฟทดลองเปรียบเทียบค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดและมุมเฟสที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเท่ากับ 141 องศา ที่ แหล่งจ่ายไฟสลับ 59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH เพื่อดูค่าความคงที่ในการสร้างความเป็นแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กที่มุมเฟส 141 องศา

ครั้งที่	เฟส	แรงดันคร่อมขดลวด (โวลต์)	แรงดันคร่อมตัวต้านทาน (มิลลิโวลต์)	กระแสไหลผ่านโหลด (แอมแปร์)	ค่าความเข้มแม่เหล็ก (Gauss)		ค่าความเข้มแม่เหล็กสูงสุด(Gauss)	
					ด้าน 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
1	141	80	912	2.28	258.57	-244.70	418.82	-407.96
2	141	80	910	2.275	255.01	-244.70	404.58	-415.06
3	141	80	909	2.2725	255.01	-244.70	408.16	-400.96
				เฉลี่ย	256.20	-244.70	410.52	-407.99



รูปที่ 4.3 กราฟทดลองเปรียบเทียบความคงที่ของการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กที่มุมเฟส 141 องศา ระหว่างด้านที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กของแม่เหล็ก เมื่อทำการเข้าเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็ก

ครั้งที่	ค่าความเข้มแม่เหล็กก่อนเข้าเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก (Gauss)		ค่าความเข้มแม่เหล็กหลังเข้าเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก (Gauss)	
	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
1	229.45	-230.07	0	0
2	366.89	-364.16	0	0
3	408.16	-415.06	0	0

หมายเหตุ ค่าความเข้มแม่เหล็กก่อนเข้าเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็กดังกล่าวเกิดจากการเลือกจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างจากเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็กที่สร้างขึ้น โดยขณะสลายจะต้องทำการหมุนแม่เหล็กทั้งสี่ด้านและเลื่อนแม่เหล็กให้สัมผัสกับส่วนกลางของเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นการใช้หลักการของไอซีฮอลล์เอฟเฟ็คเซนเซอร์มาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจากการทดลองสรุปผลได้ ดังนี้

ส่วนที่หนึ่งจากการทดลอง วัดความเข้มสนามแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กมาตรฐาน โดยอ่านค่าจากเกาส์มิเตอร์รุ่น 5100 series เปรียบเทียบกับเกาส์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งวัดในช่วง 0 – 1,800 Gและ -1,800 - 0 G จากการทดลองพบว่าค่าที่วัดจากด้านที่ 1 ได้ใกล้เคียงกันตามตารางผลการทดลองที่หนึ่ง แต่จะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเฉลี่ยประมาณ 1.10 % และด้านที่ 2 ก็ได้ค่าใกล้เคียงกันตามตารางผลการทดลองที่หนึ่ง แต่จะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเฉลี่ยประมาณ 1.44 %

เครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็กเป็นการใช้หลักการของวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นแบบบริดจ์ที่มีการควบคุมเฟสให้ได้เฟสตามต้องการเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำให้แท่งแม่เหล็กมีค่าความเข้มแม่เหล็กเกิดขึ้นมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจากการทดลองสรุปผลได้ ดังนี้

ส่วนที่หนึ่งจากการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเปลี่ยนไปค่าต่าง ๆ ที่แหล่งจ่ายไฟสลับ 59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH จากการทดลองพบว่า เฟสที่เปลี่ยนไปทำให้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่วัดได้มีค่าเปลี่ยนไป โดยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่วัดได้จะค่อย ๆ มากขึ้นจากมุมเฟสเท่ากับ 135 องศา และจะมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่มากที่สุด ที่มุมเฟส 141 องศา จากนั้นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่วัดได้จะมีค่าค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นจึงเลือกมุมเฟส 141 องศาเป็นมุมที่ใช้ในการสร้างความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งที่มุม 141 องศา วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กด้านที่ 1 ได้ 255.01 Gaussและด้านที่ 2 ได้ 244.70 Gauss ซึ่งมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 2 ด้าน เท่ากับ 4.40 %และวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดด้านที่ 1 ได้ 415.06 Gauss และด้านที่ 2 ได้ 408.16 Gauss ซึ่งมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 2 ด้าน เท่ากับ 1.66 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สองจากการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กเมื่อมุมเฟสเท่ากับ 141 องศา ที่แหล่งจ่ายไฟสลับ 59.8V 50Hz R= 0.4 โอห์ม L= 1453.8mH เพื่อดูค่าความคงที่ในการสร้างความเป็นแม่เหล็ก ได้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเฉลี่ยด้านที่ 1 ได้ 256.20 Gaussและด้านที่ 2 ได้ 244.70 Gauss ซึ่งมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 2 ด้าน เท่ากับ 0.45 %และวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดเฉลี่ยด้านที่ 1 ได้ 410.52 Gaussและด้านที่ 2 ได้ 407.99 Gauss ซึ่งมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 2 ด้าน เท่ากับ 0.62 %

ส่วนที่สามการทดลองวัดค่าความเข้มแม่เหล็กของแม่เหล็ก เมื่อทำการเข้าเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็ก จากผลการทดลองจะเห็นว่า เครื่องสลายความเป็นแม่เหล็กสามารถสลายความเป็นแม่เหล็กจนเหลือเพียง 0 Gauss ได้ทุกครั้ง

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในส่วนของเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการใช้เครื่องวัดค่าความเข้มแม่เหล็กซึ่งอาจจะมากหรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากเครื่องวัดมาตรฐานรุ่น 5100 series ซึ่งอาจจะเกิดจากการวางตำแหน่งของแท่งแม่เหล็กที่วัด ระยะการวาง รวมถึงความหนาแน่นเส้นแรง ณ จุดที่วัดด้วย

จากผลการทดลองในส่วนของเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็กและเครื่องสลายความเป็นแม่เหล็กพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าแม่เหล็กที่วัดได้และในการวัดค่าความเข้มแม่เหล็กหลังผ่านการเครื่องสร้างพลังแม่เหล็กมีค่าไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจาก การวางตำแหน่งของแท่งแม่เหล็กที่เครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก ระยะห่างจากแกนรูปตัว U รวมทั้งความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความร้อนของตัวขดลวดเหนี่ยวนำ

5.3 ปัญหาที่พบในการทดลอง

1. ส่วนที่เปรียบเทียบวัดกับเครื่องสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก จากการวัดพบว่ามุมระหว่างระนาบฮอลล์เอฟเฟ็คเซนเซอร์กับทิศทางของส้นแรงแม่เหล็กต้องตั้งฉากกันจึงจะขนาดสนามแม่เหล็กได้ใกล้เคียงกับขนาดของสนามแม่เหล็กที่สร้างจากเครื่องกำเนิด ดังนั้นความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่นยำจากการวัดจะดีขึ้นถ้าสามารถทำให้ระนาบตรวจจับเส้นแรงของหัววัดให้ตั้งฉากกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กให้ได้มากที่สุด

2. ในการอ่านค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจากจอแอลซีดีมีการเปลี่ยนค่าค่อนข้างมากเมื่อมีการขยับตำแหน่งของหัววัดเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการวัดต้องจับหัววัดและแม่เหล็กที่ต้องการวัดให้นิ่ง

3. ในการสร้างความเป็นแม่เหล็ก การวัดแต่ละครั้งมีค่าการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการวางแม่เหล็กที่จะสร้างความเป็นแม่เหล็กควรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม คือ ระนาบตรงกลางพอดี เพื่อให้เกิดค่าที่มีความแม่นยำในการสร้างความเป็นแม่เหล็ก

4. ขณะที่เปิดใช้งานเครื่องสร้างความเป็นแม่เหล็ก ทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำเกิดความร้อนมาก ซึ่งจากเดิมใช้ค่า time contant ต่อหนึ่งช่วงการทำงาน เท่ากับ 20τ ซึ่งวัดค่าความร้อนของขดลวดได้ประมาณ 75 องศาเซลเซียล โดยทำการแก้ปัญหาโดย ลดเวลาช่วงการทำงานลงเป็น 10τ ทำให้วัดค่าความร้อนของขดลวดได้ประมาณ 57 องศาเซลเซียล

5. ค่าความเข้มแม่เหล็กจากการคำนวณและจากการทดลองนั้น มีค่าความแตกต่างมาก อันเนื่องมาจาก
   5.1 ผลของ SCR ที่อาจจะไม่ได้ off ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้การดึงกระแสไม่สามารถทำได้อย่างรวดเร็วพอ
   5.2 มีช่องว่างระหว่างแกนเหล็กเกือกม้าและแท่งแม่เหล็กมาก
   5.3 พื้นที่บนแกนเหล็กเกือกม้ามีขนาดใหญ่กว่าแท่งแม่เหล็กจึงทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วออกมา เป็น leakage
   5.4 วัสดุที่ใช้ในการทำแกนเหล็กเกือกม้าและแท่งแม่เหล็กเป็นคนละชนิดกันทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ประจิน พลังสันติกุล, 2551, **All About CCS C (PIC C Programming with CCS C Compiler).** กรุงเทพฯ : บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด.

ประจิน พลังสันติกุล, 2551, **PIC Works Examples and C Source Code.** กรุงเทพฯ : บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด.

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2551, **ออกแบบลายวงจรแม่พิมพ์ด้วย Protel 99SE.** พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : Smart Learning.

ดอนสัน ปงผาบ และ ทิพวัลย์ คำน้ำทอง, 2550, **ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน (Microcontroller PIC & Application).** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs

Features and Benefits

- Low-noise output
- Fast power-on time
- Ratiometric rail-to-rail output
- 4.5 to 6.0 V operation
- Solid-state reliability
- Factory-programmed at end-of-line for optimum performance
- Robust ESD performance

Packages: 3 pin SOT23W (suffix LH), and 3 pin SIP (suffix UA)

Not to scale

Description

The A1301 and A1302 are continuous-time, ratiometric, linear Hall-effect sensor ICs. They are optimized to accurately provide a voltage output that is proportional to an applied magnetic field. These devices have a quiescent output voltage that is 50% of the supply voltage. Two output sensitivity options are provided: 2.5 mV/G typical for the A1301, and 1.3 mV/G typical for the A1302.

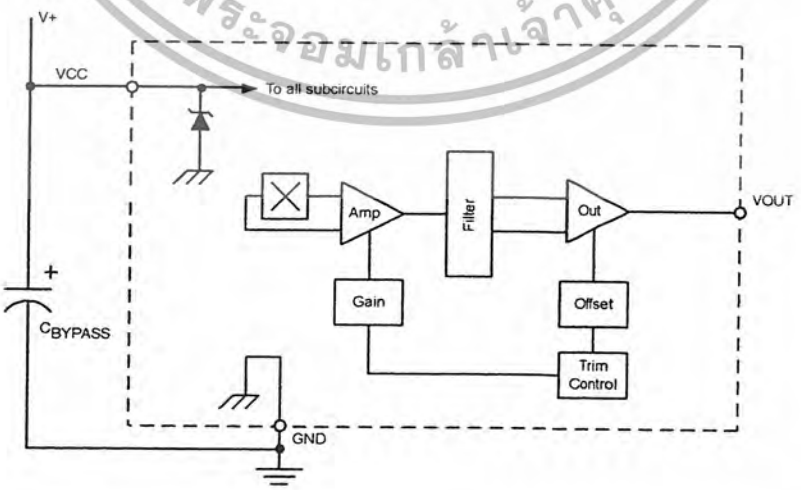
The Hall-effect integrated circuit included in each device includes a Hall circuit, a linear amplifier, and a CMOS Class A output structure. Integrating the Hall circuit and the amplifier on a single chip minimizes many of the problems normally associated with low voltage level analog signals.

High precision in output levels is obtained by internal gain and offset trim adjustments made at end-of-line during the manufacturing process.

These features make the A1301 and A1302 ideal for use in position sensing systems, for both linear target motion and rotational target motion. They are well-suited for industrial applications over extended temperature ranges, from –40°C to 125°C.

Two device package types are available: LH, a 3-pin SOT23W type for surface mount, and UA, a 3-pin ultramini SIP for through-hole mount. They are lead (Pb) free (suffix, –*T*) with 100% matte tin plated leadframes.

Functional Block Diagram



เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Selection Guide

Part Number	Packing[1]	Package	Ambient, T_A	Sensitivity (Typical)
~~A1301ELHLT-T~~[2]	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	–40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301EUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1301KLHLT-T	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	–40°C to 125°C	
A1301KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302ELHLT-T	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	–40°C to 85°C	1.3 mV/G
~~A1302EUA-T~~[3]	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302KLHLT-T	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	–40°C to 125°C	
A1302KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		

[1]Contact Allegro for additional packing options.
[2]Variant is in production but has been determined to be LAST TIME BUY. This classification indicates that the variant is obsolete and notice has been given. Sale of the variant is currently restricted to existing customer applications. The variant should not be purchased for new design applications because of obsolescence in the near future. Samples are no longer available. Status date change May 4, 2009. Deadline for receipt of LAST TIME BUY orders is November 4, 2009.
[3]Variant is in production but has been determined to be NOT FOR NEW DESIGN. This classification indicates that sale of the variant is currently restricted to existing customer applications. The variant should not be purchased for new design applications because obsolescence in the near future is probable. Samples are no longer available. Status change: May 4, 2009.

Pb

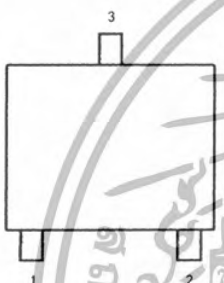
Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Output Voltage	V_{OUT}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		–0.1	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		–0.1	V
Output Sink Current	I_{OUT}		10	mA
Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	–40 to 85	°C
		Range K	–40 to 125	°C
Maximum Junction Temperature	$T_J(max)$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		–65 to 170	°C

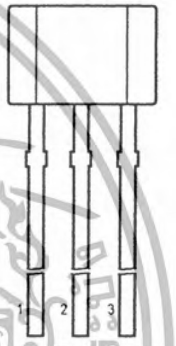
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin-out Drawings

Package LH



Package UA



Terminal List

Symbol	Number		Description
	Package LH	Package UA	
VCC	1	1	Connects power supply to chip
VOUT	2	3	Output from circuit
GND	3	2	Ground

Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0035 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVICE CHARACTERISTICS over operating temperature range, T_A, and V_{CC} = 5 V, unless otherwise noted

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}	Running, T_J < 165°C	4.5	–	6	V
Supply Current	I_{CC}	Output open	–	–	11	mA
Output Voltage	$V_{OUT(High)}$	I_{SOURCE} = –1 mA, Sens = nominal	4.65	4.7	–	V
	$V_{OUT(Low)}$	I_{SINK} = 1 mA, Sens = nominal	–	0.2	0.25	V
Output Bandwidth	BW		–	20	–	kHz
Power-On Time	t_{PO}	$V_{CC(min)}$ to 0.95 V_{OUT}; B = ±1400 G; Slew rate = 4.5 V/µs to 4.5 V/100 ns	–	3	5	µs
Output Resistance	R_{OUT}	I_{SINK} ≤ 1 mA, I_{SOURCE} ≥ –1 mA	–	2	5	Ω
Wide Band Output Noise, rms	V_{OUTN}	External output low pass filter ≤ 10 kHz; Sens = nominal	–	150	–	µV
Ratiometry						
Quiescent Output Voltage Error with respect to ΔV_{CC}[1]	$\Delta V_{OUTQ(V)}$	T_A = 25°C	–	–	±3.0	%
Magnetic Sensitivity Error with respect to ΔV_{CC}[2]	$\Delta Sens_{(V)}$	T_A = 25°C	–	–	±3.0	%
Output						
Linearity	Lin	T_A = 25°C	–	–	±2.5	%
Symmetry	Sym	T_A = 25°C	–	–	±3.0	%
Magnetic Characteristics						
Quiescent Output Voltage	V_{OUTQ}	B = 0 G; T_A = 25°C	2.4	2.5	2.6	V
Quiescent Output Voltage over Operating Temperature Range	$V_{OUTQ(\Delta T_A)}$	B = 0 G	2.2	–	2.8	V
Magnetic Sensitivity	Sens	A1301; T_A = 25°C	2.0	2.5	3.0	mV/G
		A1302; T_A = 25°C	1.0	1.3	1.6	mV/G
Magnetic Sensitivity over Operating Temperature Range	$Sens_{(\Delta T_A)}$	A1301	1.8	–	3.2	mV/G
		A1302	0.85	–	1.75	mV/G

[1]Refer to equation (4) in Ratiometric section on page 4.
[2]Refer to equation (5) in Ratiometric section on page 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristic Definitions

Quiescent Output Voltage. In the quiescent state (no significant magnetic field: B = 0), the output, V_{OUTQ}, equals one half of the supply voltage, V_{CC}, throughout the entire operating ranges of V_{CC} and ambient temperature, T_A. Due to internal component tolerances and thermal considerations, there is a tolerance on the quiescent output voltage, ΔV_{OUTQ}, which is a function of both ΔV_{CC} and ΔT_A. For purposes of specification, the quiescent output voltage as a function of temperature, $\Delta V_{OUTQ(\Delta T_A)}$, is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ(\Delta T_A)} = \frac{V_{OUTQ(T_A)} - V_{OUTQ(25°C)}}{Sens_{(25°C)}} \quad (1)$$

where Sens is in mV/G, and the result is the device equivalent accuracy, in gauss (G), applicable over the entire operating temperature range.

Sensitivity. The presence of a south-polarity (+B) magnetic field, perpendicular to the branded face of the device package, increases the output voltage, V_{OUT}, in proportion to the magnetic field applied, from V_{OUTQ} toward the V_{CC} rail. Conversely, the application of a north polarity (–B) magnetic field, in the same orientation, proportionally decreases the output voltage from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad (2)$$

The stability of the device magnetic sensitivity as a function of ambient temperature, $\Delta Sens_{(\Delta T_A)}$ (%) is defined as:

$$\Delta Sens_{(\Delta T_A)} = \frac{Sens_{(T_A)} - Sens_{(25°C)}}{Sens_{(25°C)}} \times 100\% \quad (3)$$

Ratiometric. The A1301 and A1302 feature a ratiometric output. This means that the quiescent voltage output, V_{OUTQ}, and the magnetic sensitivity, Sens, are proportional to the supply voltage, V_{CC}.

The ratiometric change (%) in the quiescent voltage output is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ(\Delta V)} = \frac{V_{OUTQ(V_{CC})} / V_{OUTQ(5V)}}{V_{CC} / 5\ V} \times 100\% \quad (4)$$

and the ratiometric change (%) in sensitivity is defined as:

$$\Delta Sens_{(\Delta V)} = \frac{Sens_{(V_{CC})} / Sens_{(5V)}}{V_{CC} / 5\ V} \times 100\% \quad (5)$$

Linearity and Symmetry. The on-chip output stage is designed to provide linear output at a supply voltage of 5 V. Although the application of very high magnetic fields does not damage these devices, it does force their output into a nonlinear region. Linearity in percent is measured and defined as:

$$Lin+ = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{2\,(V_{OUT(+B½)} - V_{VOUTQ})} \times 100\% \quad (6)$$

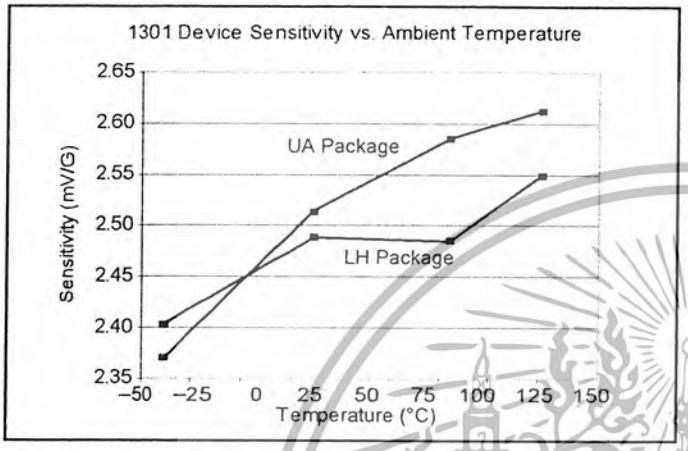
$$Lin- = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(-B½)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (7)$$

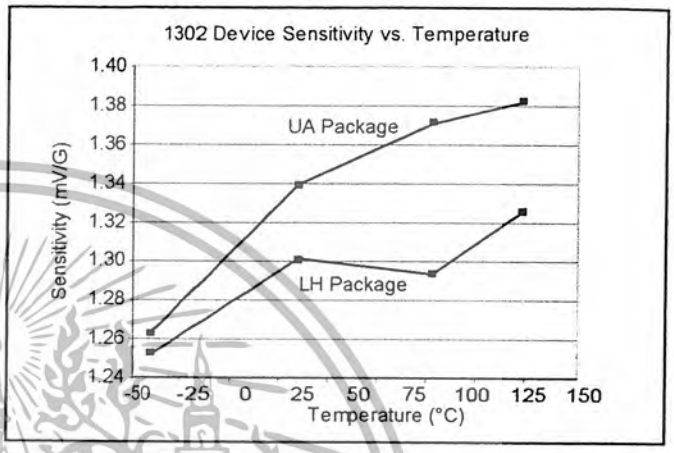
and output symmetry as:

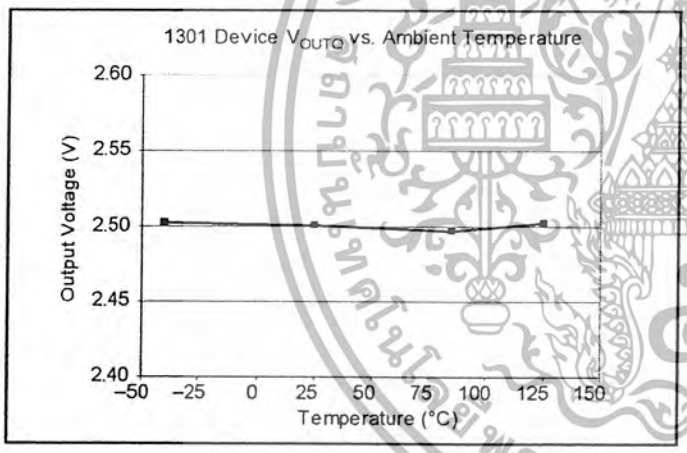
$$Sym = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{V_{OUTQ} - V_{OUT(-B)}} \times 100\% \quad (8)$$

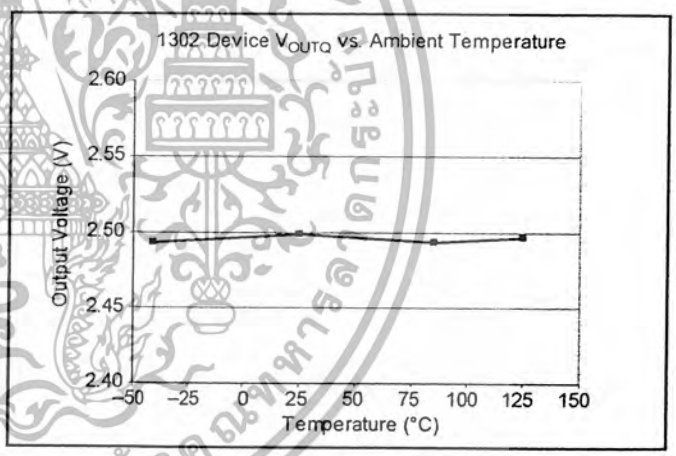
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

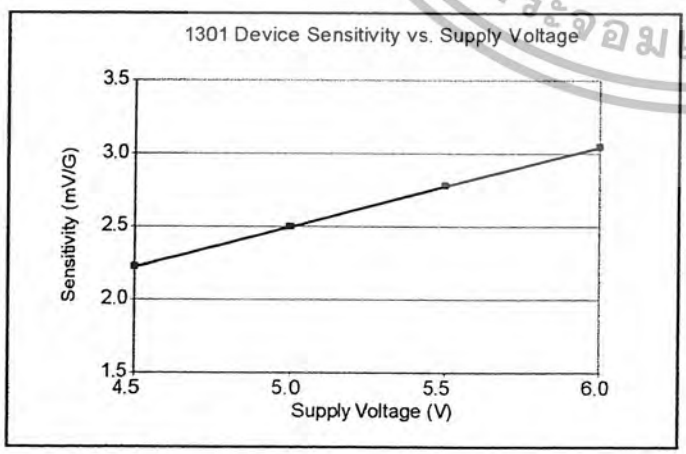
Typical Characteristics
(30 pieces, 3 fabrication lots)

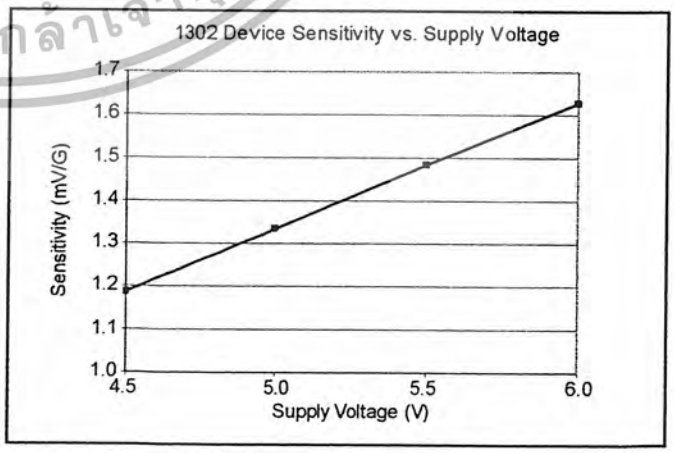










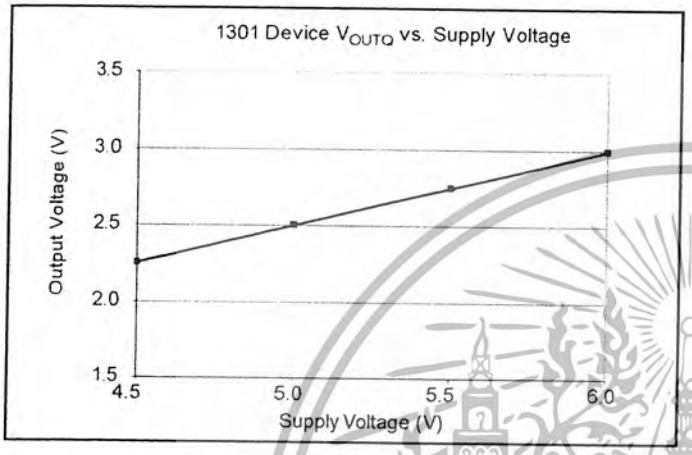


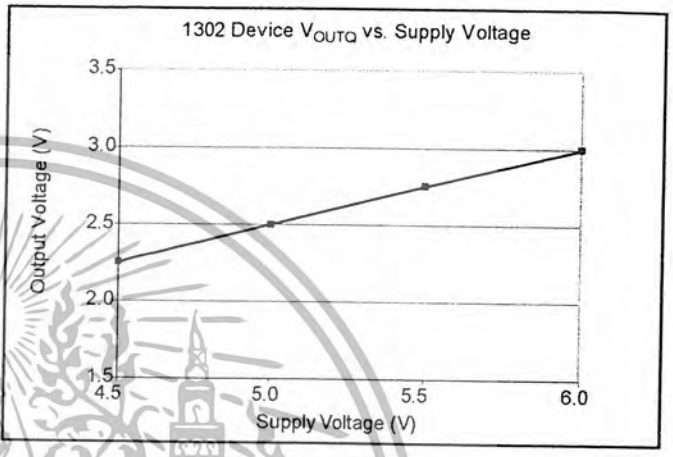
Continued on the next page...

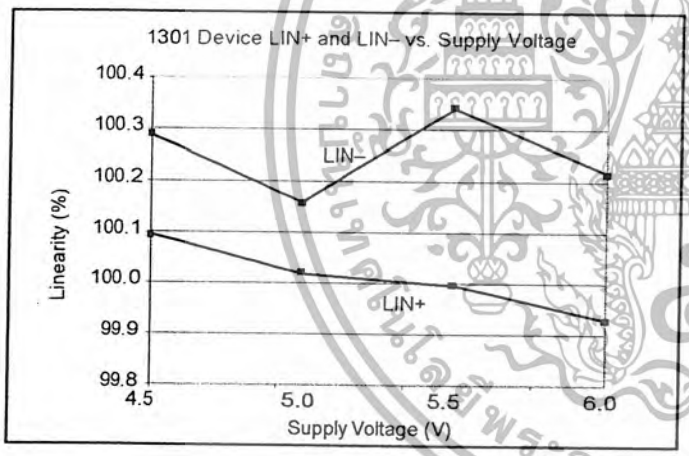
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

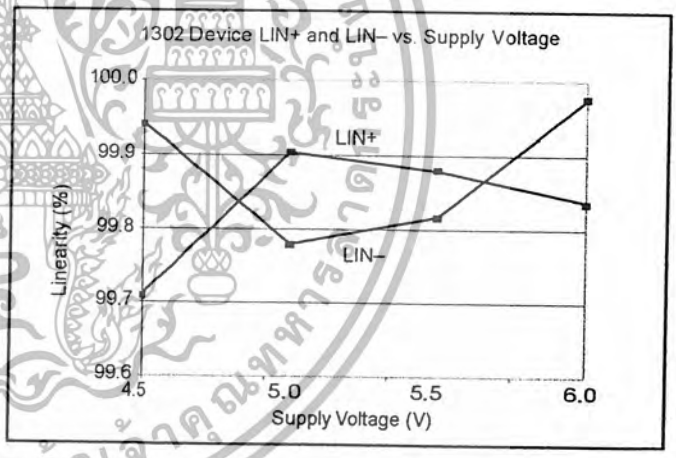
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

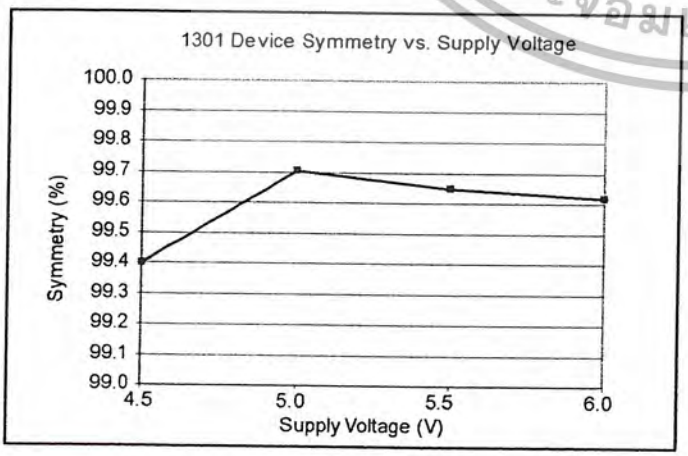
Typical Characteristics, continued
(30 pieces, 3 fabrication lots)

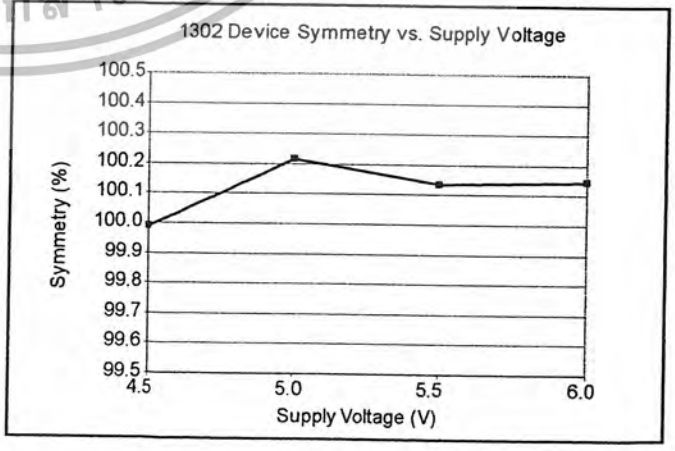








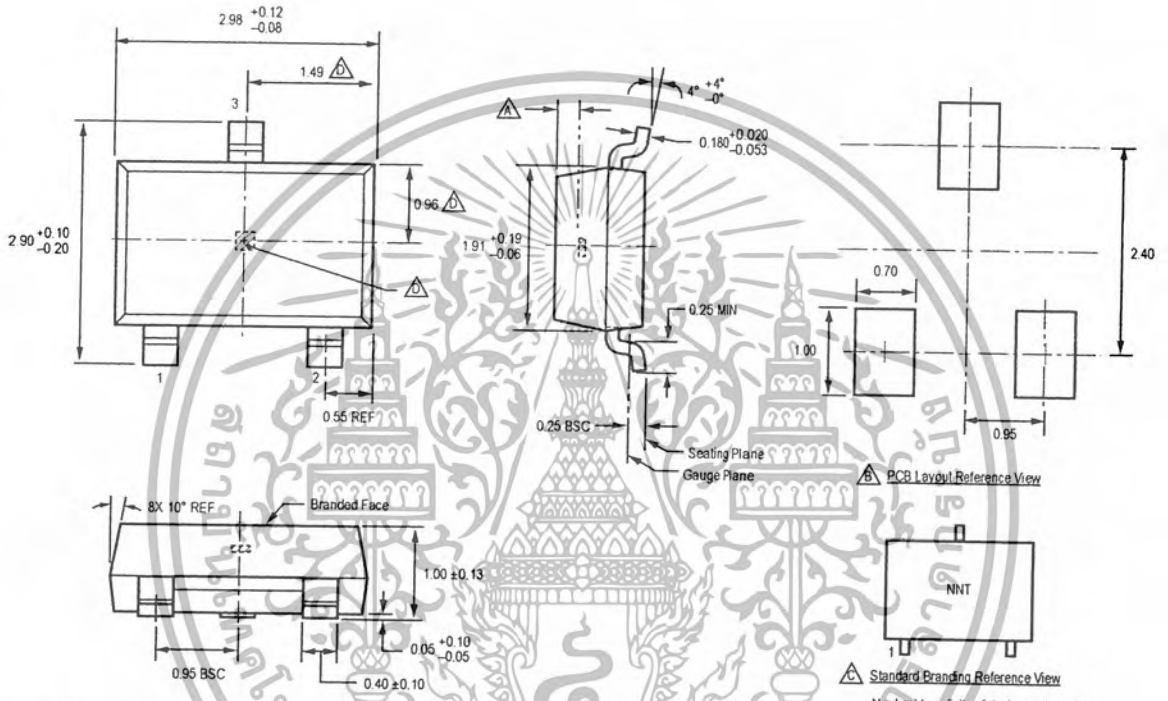




Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package LH, 3-Pin; (SOT-23W)



For Reference Only; not for tooling use (reference dwg. 802840)
Dimensions in millimeters
Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

A Active Area Depth, 0.28 mm REF

B Reference land pattern layout
All pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

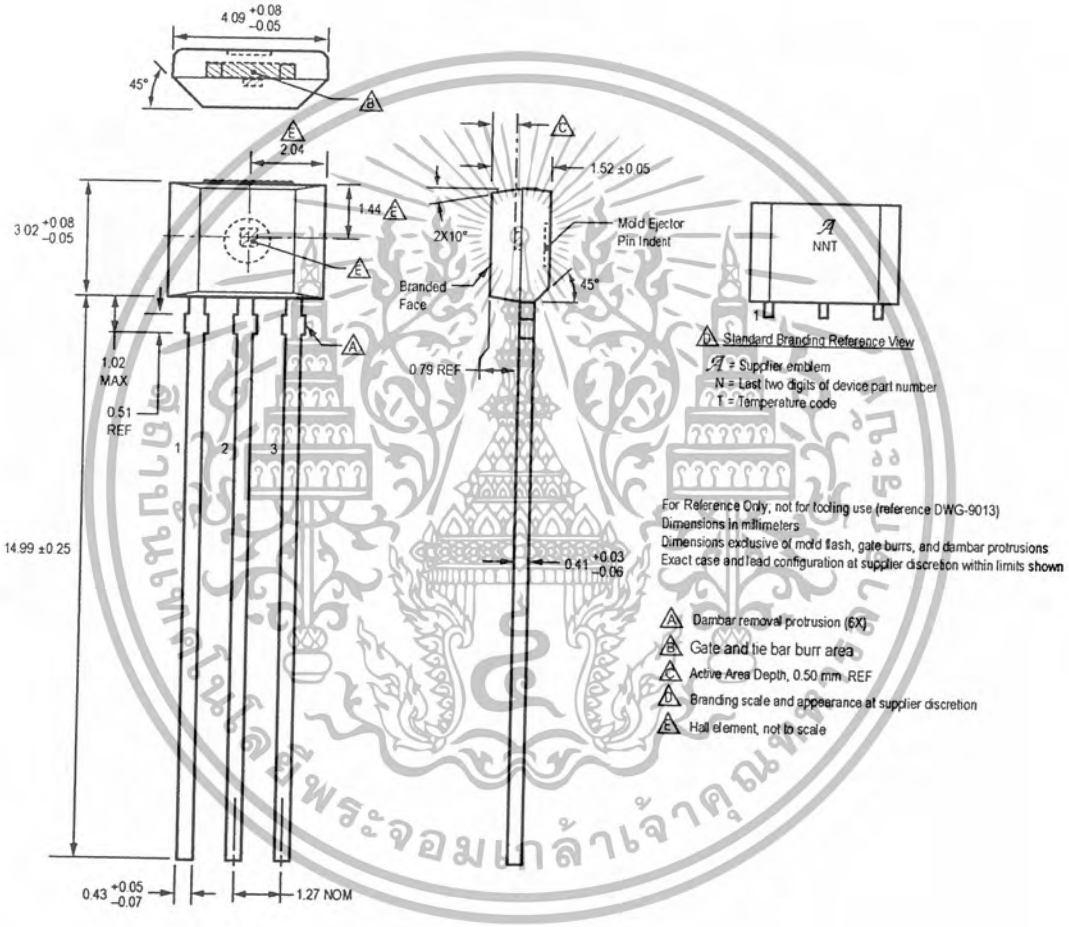
C Branding scale and appearance at supplier discretion

D Hall element, not to scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package UA, 3-Pin SIP

Matrix Leadframe

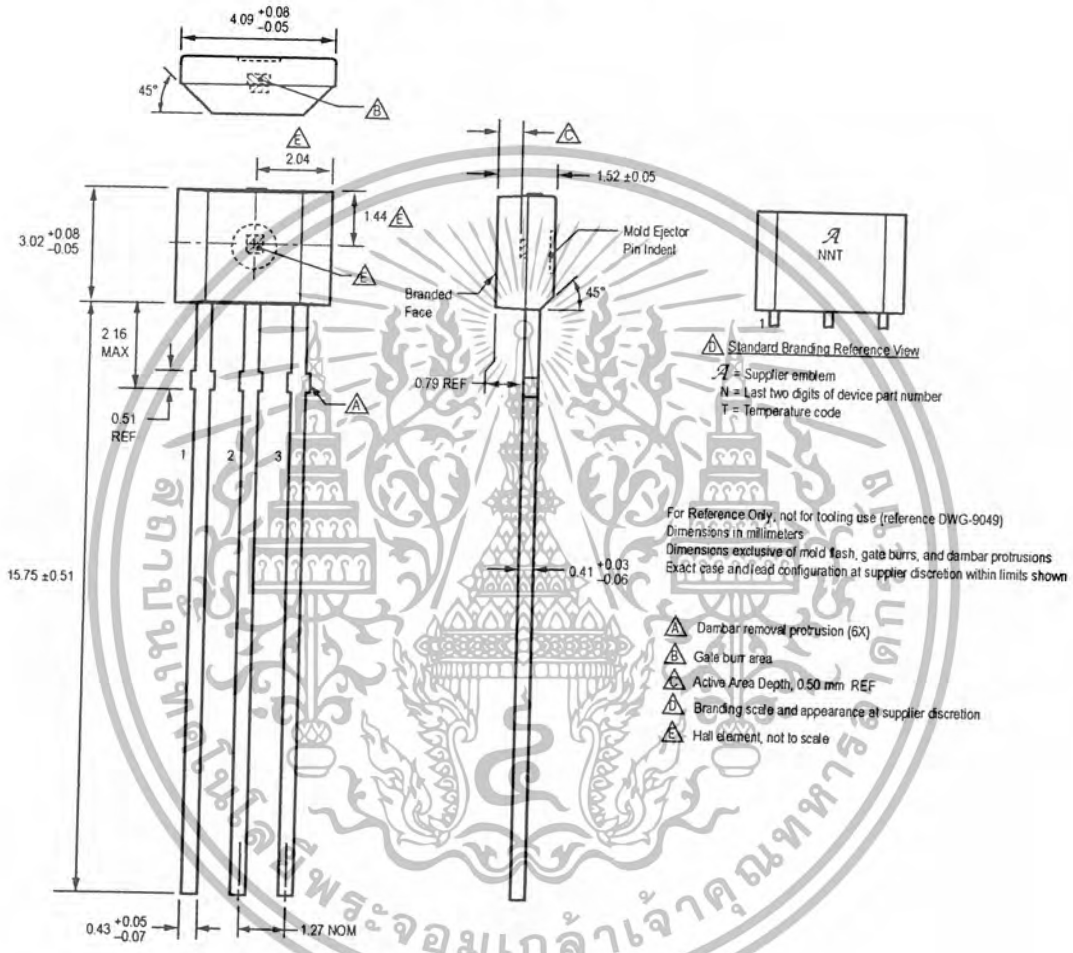


Please note that there are changes to the existing UA package drawing pending.
Please contact the Allegro Marketing department for additional information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package UA, 3-Pin SIP

Conventional Leadframe



Copyright ©2005-2009, Allegro MicroSystems, Inc.

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's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

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.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thyristors

BT151 series

GENERAL DESCRIPTION

Passivated thyristors in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

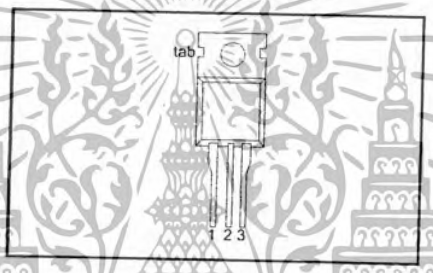
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
		BT151-	500R	650R	800R	
V_{DRM}, V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltages		500	650	800	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current		7.5	7.5	7.5	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current		12	12	12	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current		100	100	100	A

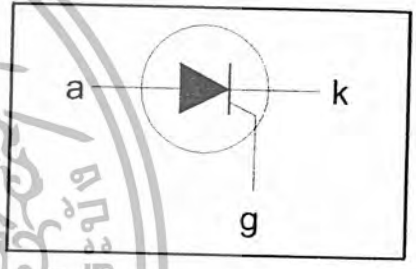
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
3	gate
tab	anode

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
				-500R	-650R	-800R	
V_{DRM}, V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltages		-	500[1]	650[1]	800	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	half sine wave; $T_{mb} \leq 109$ °C	-	7.5			A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	all conduction angles	-	12			A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	half sine wave; T_j = 25 °C prior to surge					
		t = 10 ms	-	100			A
		t = 8.3 ms	-	110			A
I^2t	I^2t for fusing	t = 10 ms	-	50			A^2s
dI_T/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	I_{TM} = 20 A; I_G = 50 mA; dI_G/dt = 50 mA/µs	-	50			A/µs
I_{GM}	Peak gate current		-	2			A
V_{GM}	Peak gate voltage		-	5			V
V_{RGM}	Peak reverse gate voltage		-	5			V
P_{GM}	Peak gate power		-	5			W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
T_{stg}	Storage temperature		-40	150			°C
T_j	Operating junction temperature		-	125			°C

1 Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the thyristor may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/µs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j\text{-}mb}$	Thermal resistance junction to mounting base		-	-	1.3	K/W
$R_{th\ j\text{-}a}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	-	60	-	K/W

STATIC CHARACTERISTICS

T_j = 25 °C unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{GT}	Gate trigger current	V_D = 12 V; I_T = 0.1 A	-	2	15	mA
I_L	Latching current	V_D = 12 V; I_{GT} = 0.1 A	-	10	40	mA
I_H	Holding current	V_D = 12 V; I_{GT} = 0.1 A	-	7	20	mA
V_T	On-state voltage	I_T = 23 A	-	1.4	1.75	V
V_{GT}	Gate trigger voltage	V_D = 12 V; I_T = 0.1 A	-	0.6	1.5	V
		$V_D = V_{DRM(max)}$; I_T = 0.1 A; T_j = 125 °C	0.25	0.4	-	V
I_D, I_R	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)}$; $V_R = V_{RRM(max)}$; T_j = 125 °C	-	0.1	0.5	mA

DYNAMIC CHARACTERISTICS

T_j = 25 °C unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
dV_D/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	V_{DM} = 67% $V_{DRM(max)}$; T_j = 125 °C; exponential waveform;				
		Gate open circuit	50	130	-	V/µs
		R_{GK} = 100 Ω	200	1000	-	V/µs
t_{gt}	Gate controlled turn-on time	I_{TM} = 40 A; $V_D = V_{DRM(max)}$; I_G = 0.1 A; dI_G/dt = 5 A/µs	-	2	-	µs
t_q	Circuit commutated turn-off time	V_D = 67% $V_{DRM(max)}$; T_j = 125 °C; I_{TM} = 20 A; V_R = 25 V; dI_{TM}/dt = 30 A/µs; dV_D/dt = 50 V/µs; R_{GK} = 100 Ω	-	70	-	µs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

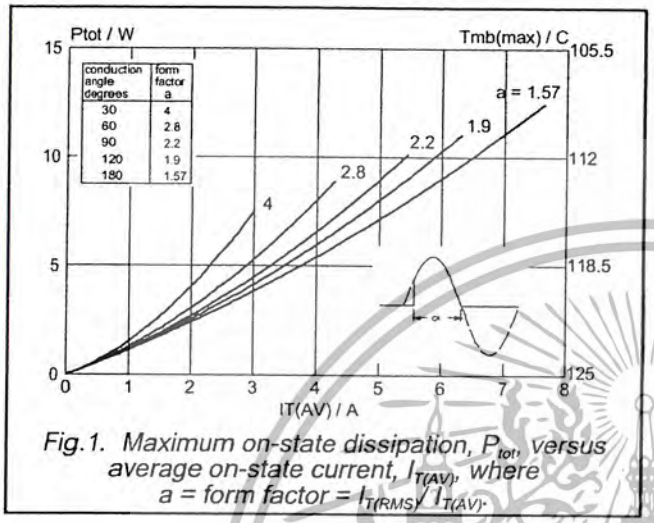


Fig.1. Maximum on-state dissipation, P_{tot}, versus average on-state current, $I_{T(AV)}$, where a = form factor = $I_{T(RMS)} / I_{T(AV)}$.

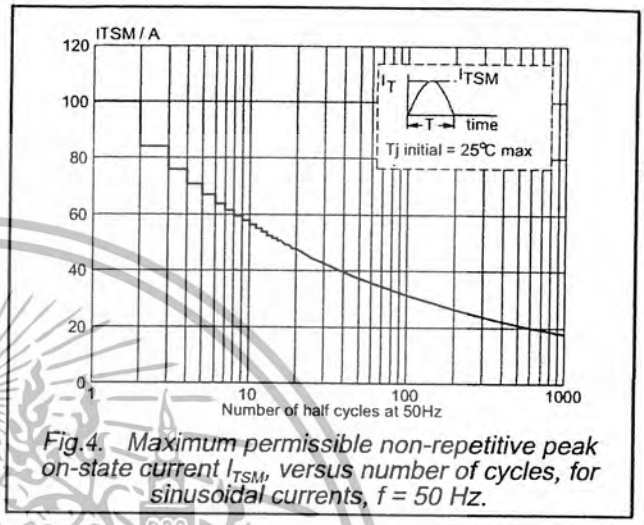


Fig.4. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current I_{TSM}, versus number of cycles, for sinusoidal currents, f = 50 Hz.

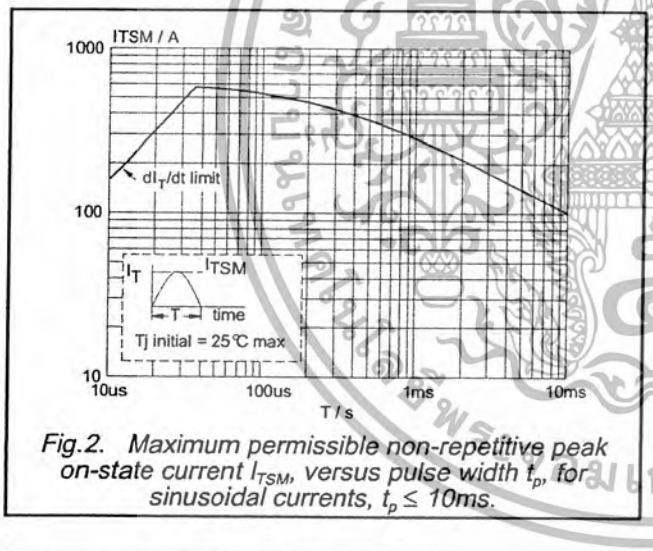


Fig.2. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current I_{TSM}, versus pulse width t_p, for sinusoidal currents, $t_p \leq 10ms$.

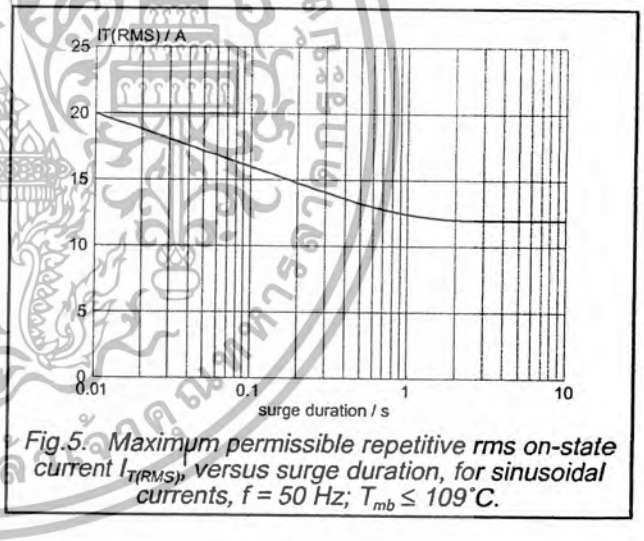


Fig.5. Maximum permissible repetitive rms on-state current $I_{T(RMS)}$, versus surge duration, for sinusoidal currents, f = 50 Hz; $T_{mb} \leq 109°C$.

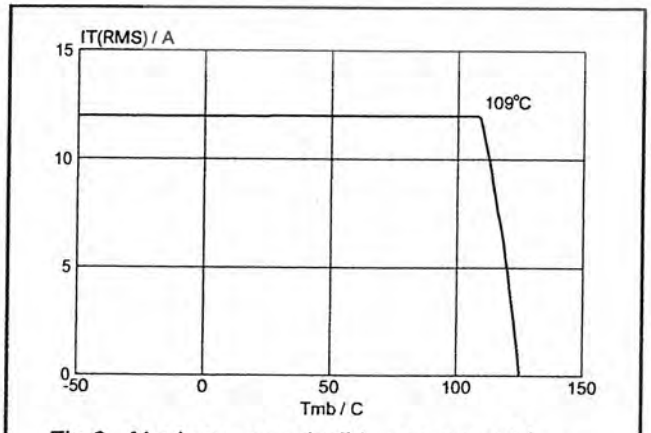


Fig.3. Maximum permissible rms current $I_{T(RMS)}$, versus mounting base temperature T_{mb}.

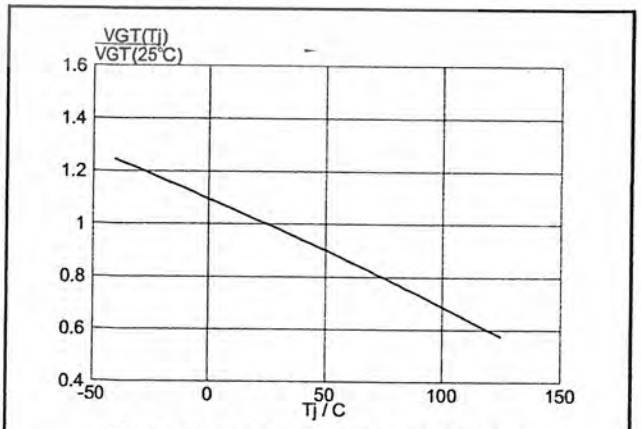


Fig.6. Normalised gate trigger voltage $V_{GT}(T_j) / V_{GT}(25°C)$, versus junction temperature T_j.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

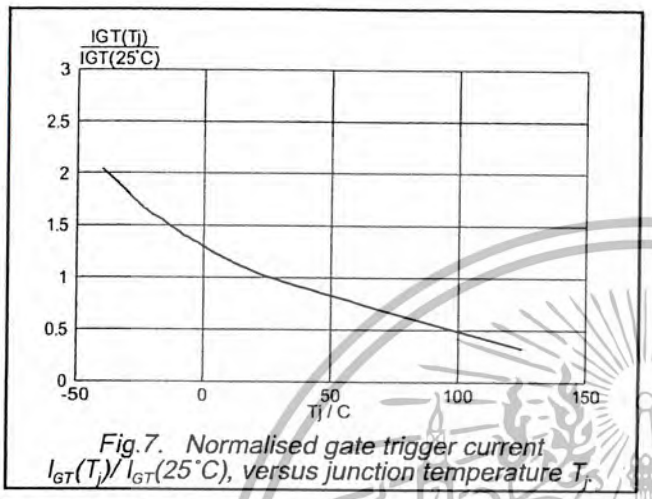


Fig.7. Normalised gate trigger current $I_{GT}(T_j)/ I_{GT}(25°C)$, versus junction temperature T_j.

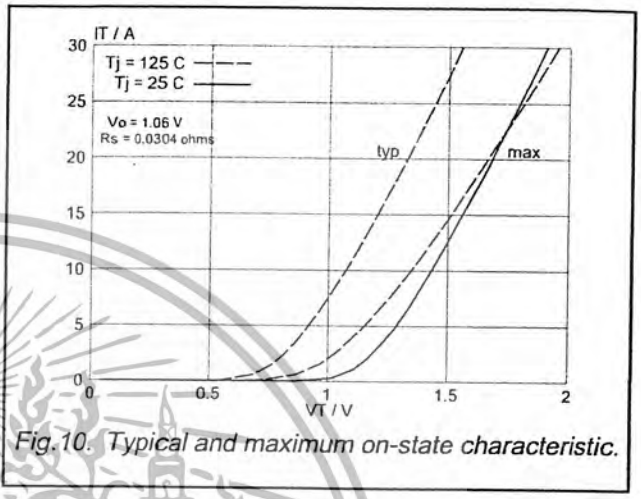


Fig.10. Typical and maximum on-state characteristic.

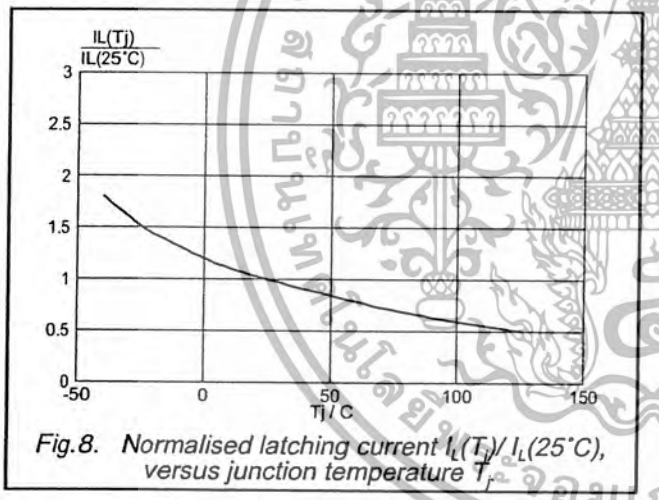


Fig.8. Normalised latching current $I_L(T_j)/ I_L(25°C)$, versus junction temperature T_j.

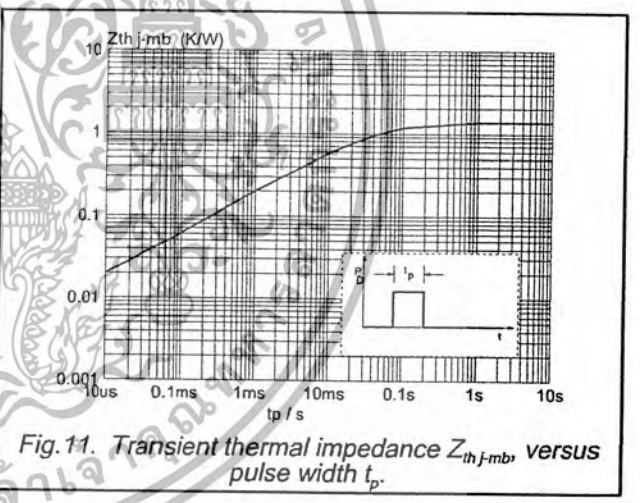


Fig.11. Transient thermal impedance $Z_{th\ j\text{-}mb}$, versus pulse width t_p.

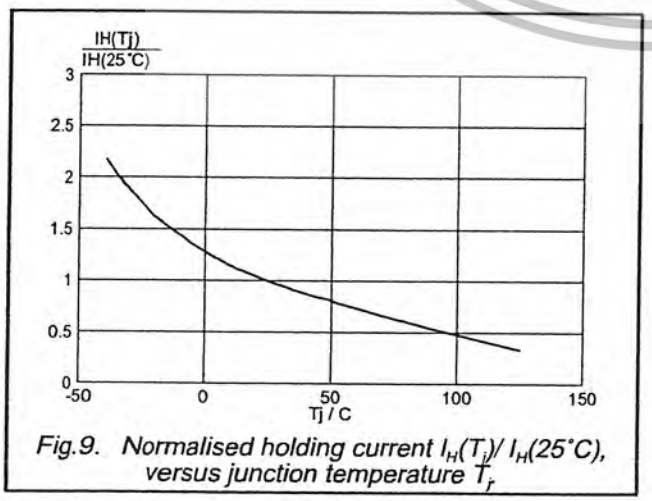


Fig.9. Normalised holding current $I_H(T_j)/ I_H(25°C)$, versus junction temperature T_j.

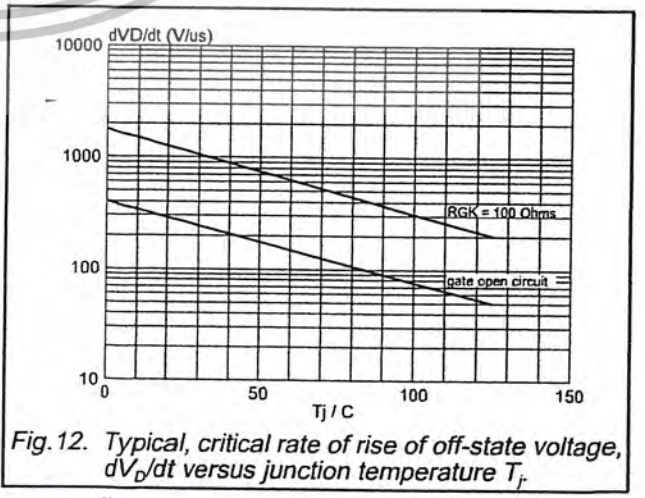


Fig.12. Typical, critical rate of rise of off-state voltage, dV_D/dt versus junction temperature T_j.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

Dimensions in mm

Net Mass: 2 g

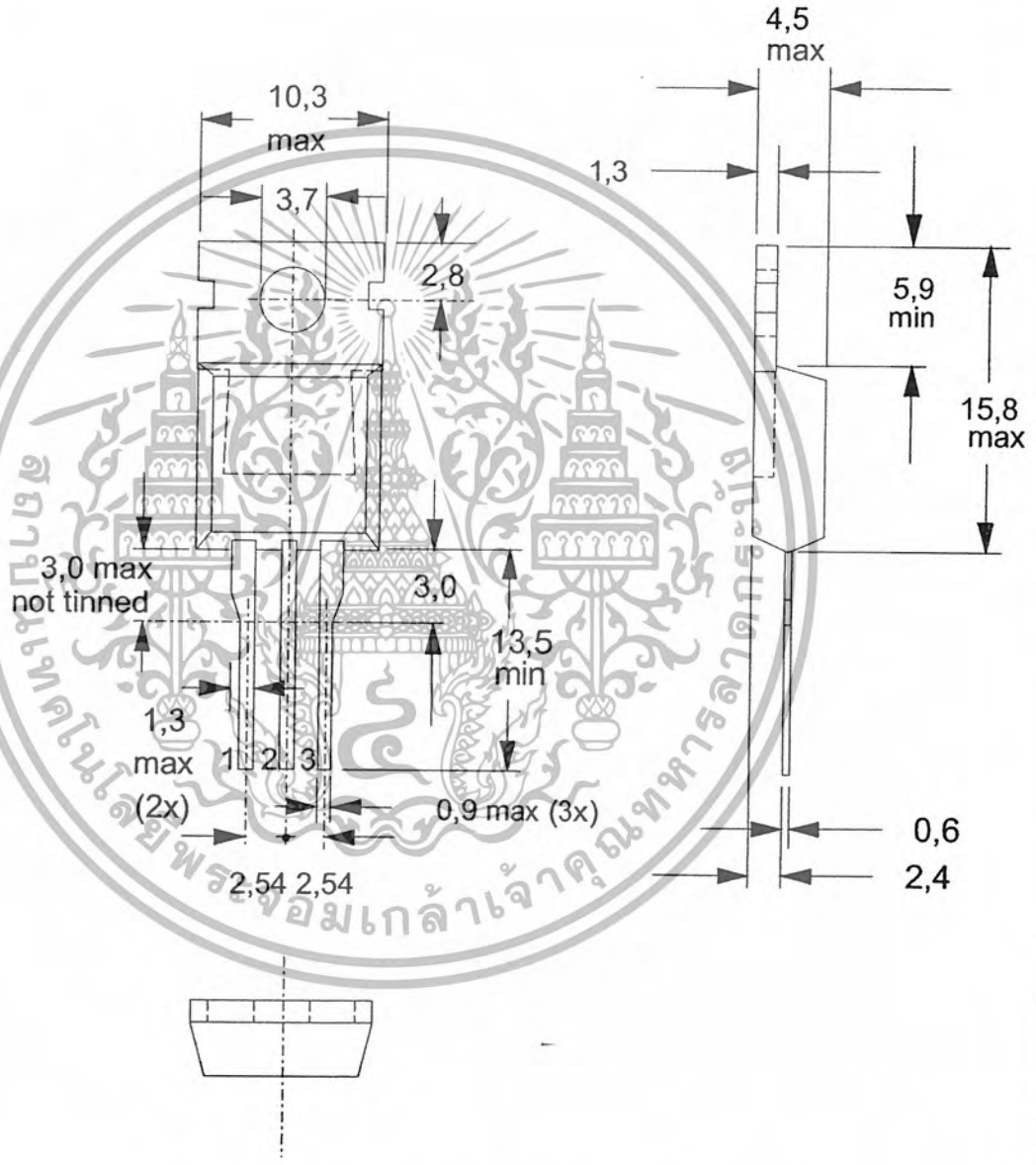


Fig.13. SOT78 (TO220AB). pin 2 connected to mounting base.

Notes
1. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelopes.
2. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values are given in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of this specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

© **Philips Electronics N.V. 1999**

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, it is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent or other industrial or intellectual property rights.

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

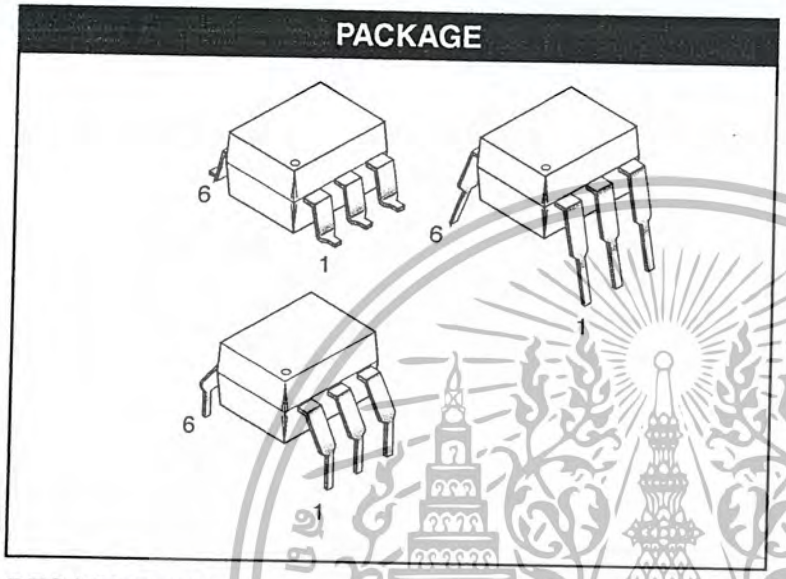
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

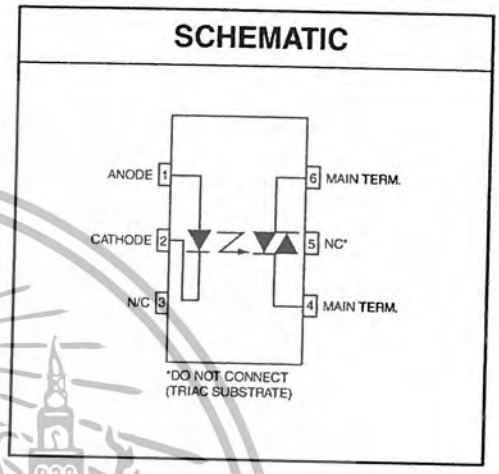
6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

PACKAGE



SCHEMATIC



DESCRIPTION

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115 VAC operations.

FEATURES

- Excellent I_{FT} stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
  - 250V-MOC301XM
  - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
  - Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T_{STG}	All	-40 to +150	°C
Operating Temperature	T_{OPR}	All	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	All	260 for 10 sec	°C
Junction Temperature Range	T_J	All	-40 to +100	°C
Isolation Surge Voltage[1] (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V_{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C	P_D	All	330	mW
Derate above 25°C			4.4	mW/°C
EMITTER				
Continuous Forward Current	I_F	All	60	mA
Reverse Voltage	V_R	All	3	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient	P_D	All	100	mW
Derate above 25°C			1.33	mW/°C
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	MOC3010M/1M/2M MOC3020M/1M/2M/3M	250 400	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient	P_D	All	300	mW
Derate above 25°C			4	mW/°C

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	I_F = 10 mA	V_F	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	V_R = 3 V, T_A = 25°C	I_R	All		0.01	100	µA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated V_{DRM}, I_F = 0 (note 1)	I_{DRM}	All		10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	I_{TM} = 100 mA peak, I_F = 0	V_{TM}	All		1.8	3	V

TRANSFER CHARACTERISTICS (T_A = 25°C Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Voltage = 3V (note 3)	I_{FT}	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M				
			MOC3011M			10	
			MOC3022M				
			MOC3012M			5	
			MOC3023M				
Holding Current, Either Direction		I_H	All		100		µA

Note

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt. See Figure 5 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT}. Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_F (60 mA).

เอกสารนี้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

Fig. 1 LED Forward Voltage vs. Forward Current

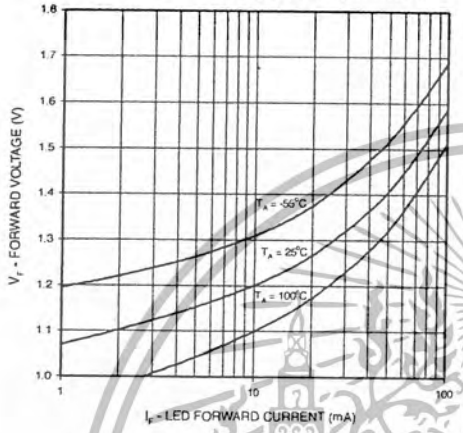


Fig. 2 On-State Characteristics

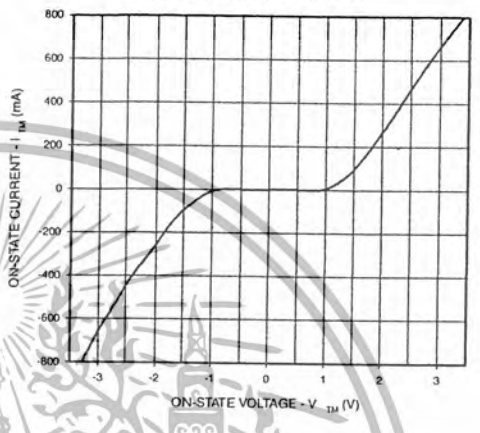


Fig. 3 Trigger Current vs. Ambient Temperature

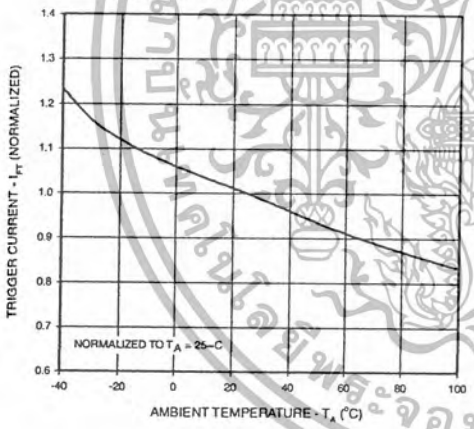


Fig. 4 LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

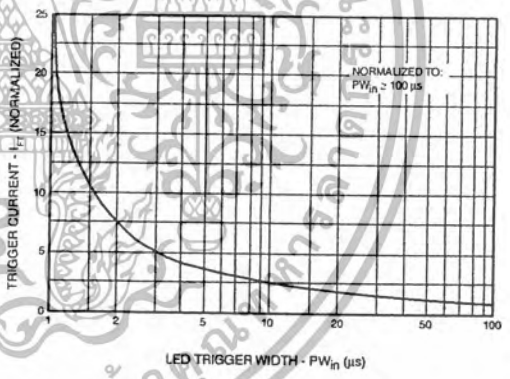


Fig. 5 dv/dt vs. Temperature

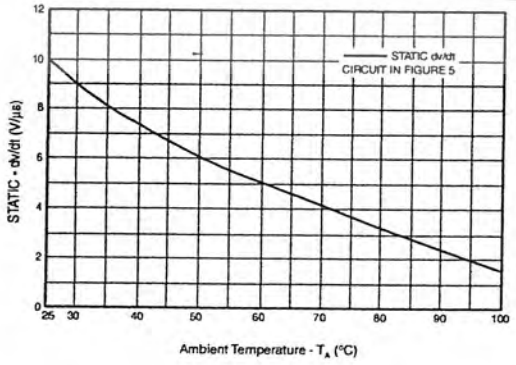
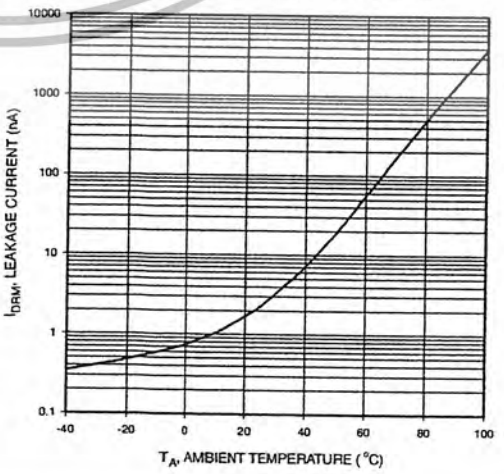


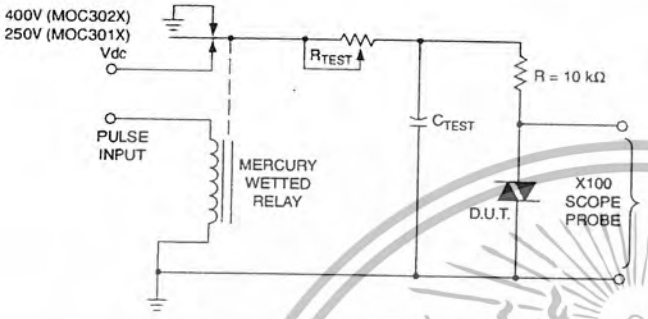
Fig. 6 Leakage Current, I_{DRM} vs. Temperature



© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

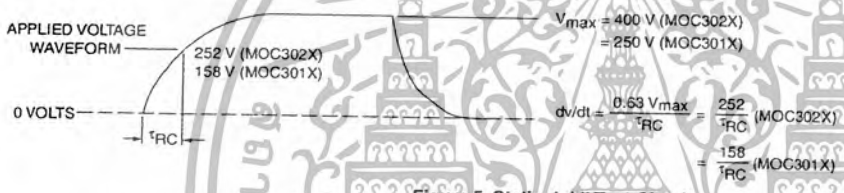


Figure 5. Static dv/dt Test Circuit

Note: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

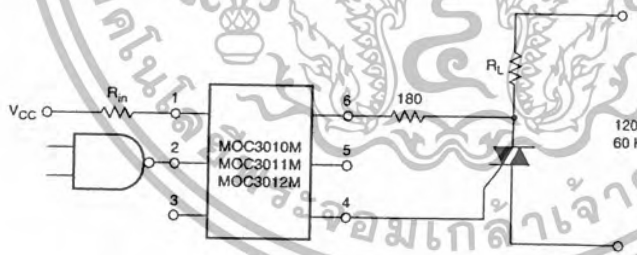


Figure 6. Resistive Load

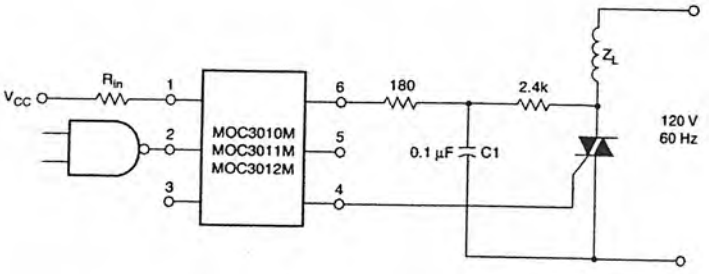


Figure 7. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ($I_{GT} \leq 15$ mA)

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

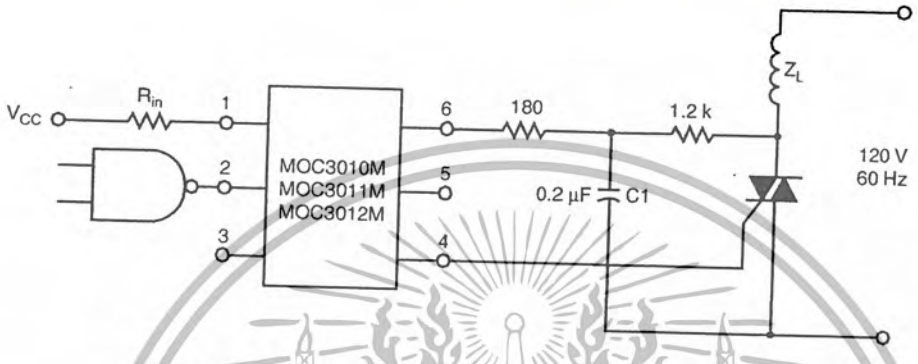
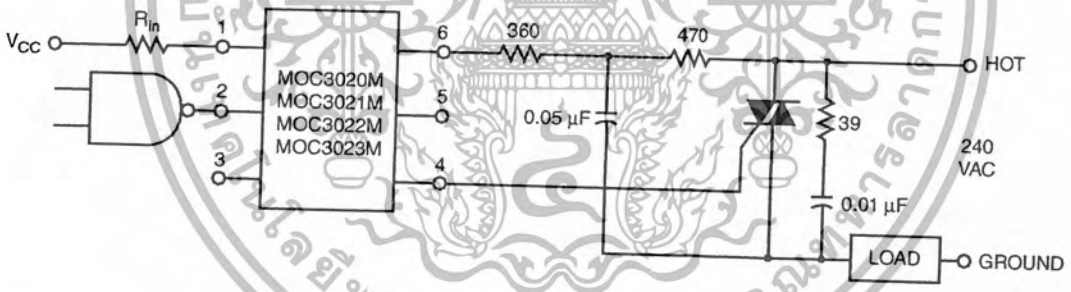


Figure 8. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ($I_{GT} \leq 15$ mA)



In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01µF capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05 µF capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular and load used.

Figure 9. Typical Application Circuit

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

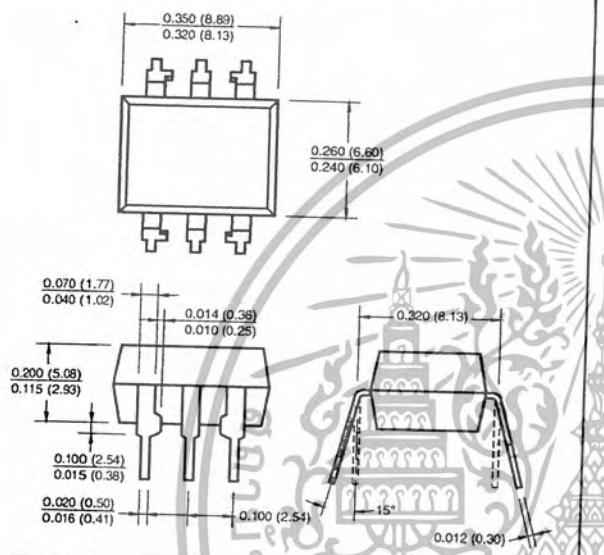
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

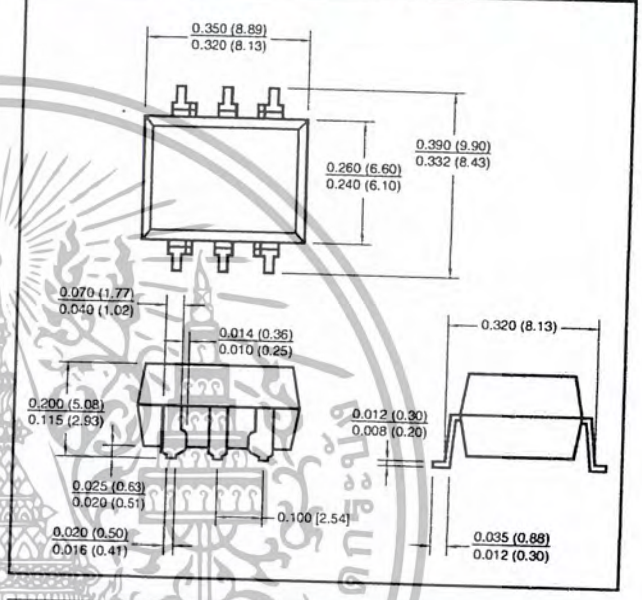
6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

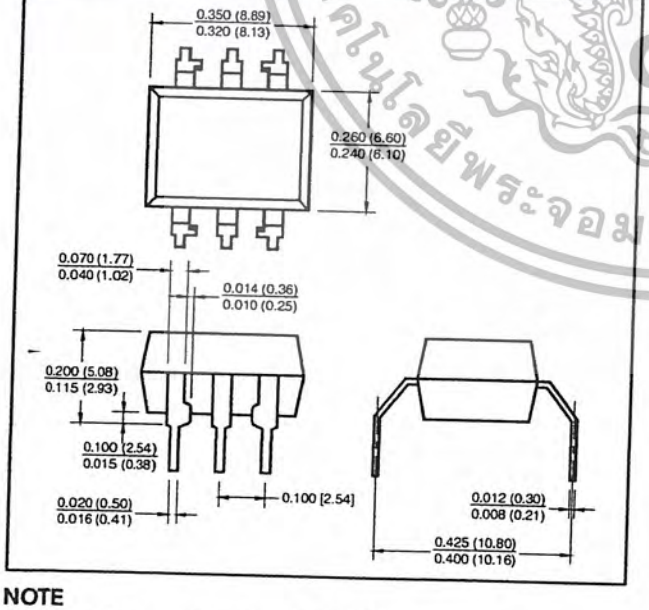
Package Dimensions (Through Hole)



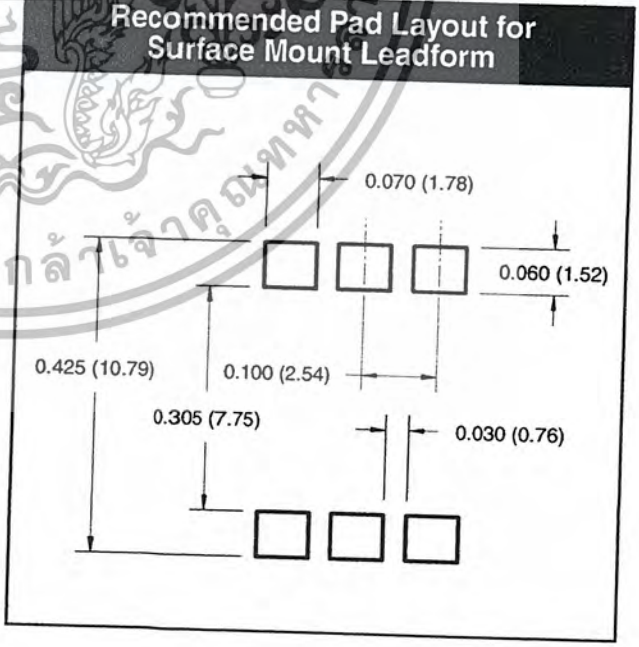
Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



Recommended Pad Layout for Surface Mount Leadform



NOTE
All dimensions are in inches (millimeters)

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

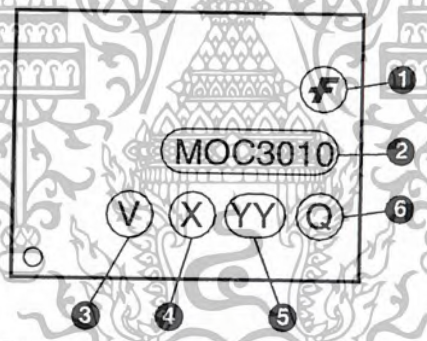
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

ORDERING INFORMATION

Option	Order Entry Identifier	Description
S	S	Surface Mount Lead Bend
SR2	SR2	Surface Mount; Tape and reel
T	T	0.4" Lead Spacing
V	V	VDE 0884
TV	TV	VDE 0884, 0.4" Lead Spacing
SV	SV	VDE 0884, Surface Mount
SR2V	SR2V	VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel

MARKING INFORMATION



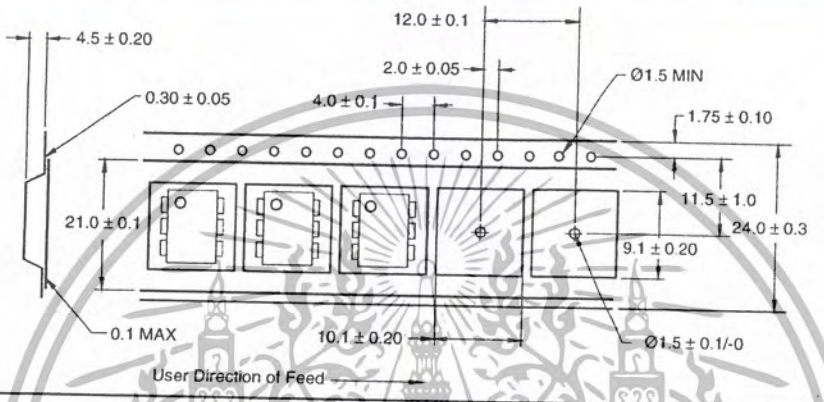
Definitions	
1	Fairchild logo
2	Device number
3	VDE mark (Note: Only appears on parts ordered with VDE option – See order entry table)
4	One digit year code, e.g., '3'
5	Two digit work week ranging from '01' to '53'
6	Assembly package code

*Note – Parts that do not have the 'V' option (see definition 3 above) that are marked with date code '325' or earlier are marked in portrait format.

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

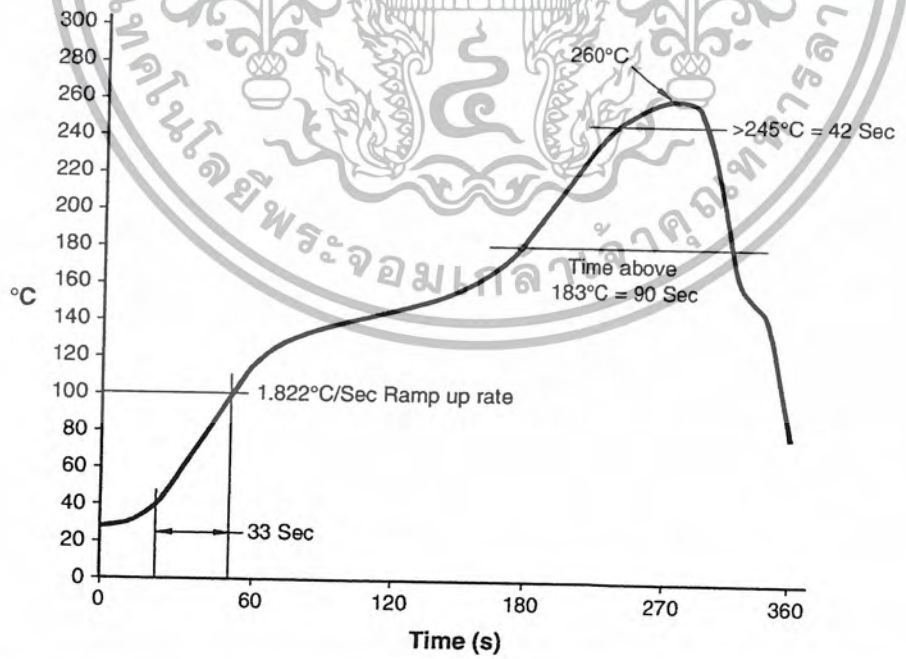
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carrier Tape Specifications



NOTE
All dimensions are in inches (millimeters)

Reflow Profile (White Package, -M Suffix)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

DISCLAIMER

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้