การศึกษาคุณสมบัติอุปกรณ์ฮอลล์แบบสองมิติและการนำไปประยุกต์ใช้

A study of 2-D Hall device characteristics and its application

คณนาถ อังคณาสิริกุล

Kananat Angkanasirikul

เตชภณ เฉลิมวิเศษพล

Taechapol Chalermwisatepol

คุณานนต์ มั่นคง

Kunanon Mankong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณสมบัติอุปกรณ์ฮอลล์แบบสองมิติและการนำไปประยุกต์ใช้

A study of 2-D Hall device characteristics and its application

T143917

โดย

คณนาถ อังคณาสิริกุล รหัส 55010120

เตชภณ เฉลิมวิเศษพล รหัส 55010440

คุณานนต์ มั่นคง รหัส 55010132

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง

.b. 12810836
.l.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143917
วัน,เดือน,ปี 04 ต.ค. 2559

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาคุณสมบัติอุปกรณ์ฮอลล์แบบสองมิติและการนำไปประยุกต์ใช้

A study of 2-D Hall device characteristics and its application

ผู้จัดทำ นางสาวคณนาถ อังคณาสิริกุล รหัส 55010120

นายเตชภณ เฉลิมวิเศษพล รหัส 55010440

นายคุณานนต์ มั่นคง รหัส 55010132

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(อาจารย์วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติอุปกรณ์ฮอลล์แบบสองมิติและการนำไปประยุกต์ใช้
นักศึกษา	นางสาวคณนาถ อังคณาสิริกุล รหัส 55010120
	นายเตชภณ เฉลิมวิเศษพล รหัส 55010440
	นายคุณานนต์ มั่นคง รหัส 55010132
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.ดร. วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง

บทคัดย่อ

ระบบการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กนิยมใช้ฮอลล์เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งฮอลล์เซนเซอร์มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า แต่เนื่องจากข้อจำกัดของฮอลล์เซนเซอร์ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทแปรผันกับความกว้างของขั้วไฟฟ้าเราทิศของสนามแม่เหล็กกระทำในแนวตั้งฉากจึงได้ค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นการใช้ฮอลล์เซนเซอร์เพียงตัวเดียวจึงส่งผลทำให้การวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กมีความผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอถึงเทคนิคการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางที่อาศัยฮอลล์เซนเซอร์ แล้วใช้ความสัมพันธ์ทางสมการของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ในการนำไปคำนวณหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก และสามารถนำหลักการนี้ไปสร้างเป็นหัววัดความเข้มสนามแม่เหล็กในทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study of 2-D Hall device characteristics and its application
Student	Misskananat Angkanasirikul student ID 55010120
	Mr.Taechapol Chalermwisatepol student ID 55010490
	Mr.Kunanon Mankong student ID 55010132
Degree	Bachelor of Engineering
Department	Electronic Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Wisut Thitirungraung

Abstract

The aim of this research is a study of two dimensions Hall device characteristics and apply for two dimensions magnetometer consists of perpendicular and parallel field direction. The characteristics of two dimensions Hall device is tested by using current biasing as 1mA in magnetic flux density from -5000 to 5000 gauss and increase 500 gauss for each time. The analog Hall voltages output signal are amplified by using instrumentation amplifier circuit for sensitivity increasing after that output convert to digital and can be calculated the magnetic flux density for magnetometer measurement system by using Lab-VIEW programming. As the results, the sensitivity are increasing. Moreover, two dimensions magnetometer is compared with standard gauss meter which presents the error percentage less than 2 percent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี เนื่องด้วยมาจากคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ. ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมรายงานและให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมดนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่อธิโรจน์ มะโน รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และคอยให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณเอกสารอ้างอิงต่างๆที่ข้าพเจ้าได้หยิบยกมา ก่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งข้าพเจ้าคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทางด้านคุณสมบัติสนามแม่เหล็ก เพื่อนำไปพัฒนาในงานอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปในภายภาคหน้าได้

ท้ายที่สุดคุณประโยชน์อันพึงได้จากรายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแก่บิดามารดา ที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

คณนาถ อังคณาสิริกุล
เตชภณ เฉลิมวิเศษพล
คุณานนต์ มั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญรูป VI
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา 1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา 1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ 2
1.7 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการนำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้
2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า 3
2.1.1 ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 3
2.1.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก 9
2.1.3 แรงแม่เหล็กไฟฟ้า 11
2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) 12
2.2.1 ผลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่อจุดประจุในปรากฏการณ์ฮอลล์ 15
2.2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในโลหะ 19
2.2.3 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำ 21
2.2.3.1 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็กทรินซิค 21
2.3 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Hall sensor) 24
2.3.1 หลักการทำงานของตัวรับรู้ฮอลล์ 24
2.4 วงจร Instrumentation amplifier 27
2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล A/D 28
2.5.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 28
2.5.2 ข้อบ่งเฉพาะของการแปลงสัญญาณ A/D (A/D SPECIFICATIONS) 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การวัดค่าสนามแม่เหล็กของ Hall device
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง 29
3.2 วิธีการทดลอง 30
3.2.1 สมบัติทางไฟฟ้าของ Hall Device 30
3.2.2 สมบัติทางแม่เหล็กของ Hall Device(เมื่อไม่มีวงจรขยาย) 31
3.2.3 สมบัติทางแม่เหล็กของ Hall Device(เมื่อมีวงจรขยาย) 31
3.2.4 การวัดเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและเครื่องวัดสนามแม่เหล็กฮอลล์ 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล
4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ (ความเป็นโอห์มมิค) 32
4.2 ผลการทดลองเมื่อวัดสนามแม่เหล็กในขณะที่ยังไม่มีวงจรขยาย 34
4.3 ผลการทดลองเมื่อวัดสนามแม่เหล็กขณะที่มีวงจรขยาย 36
4.4 ผลการทดลองวัดสนามแม่เหล็กโดยวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐาน และอุปกรณ์ฮอลล์ 37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง
5.1 สรุปผลการทดลอง 39

เอกสารอ้างอิง 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 อังเดร-มาเรีย แอมแปร์ 3
2.2 ไมเคิลฟาราเดย์ 4
2.3 เจมส์เคลิคแมกซ์เวลล์ 4
2.4 แม่เหล็กสนามไฟฟ้า 5
2.5 ทิศทางการเคลื่อนที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 6
2.6 เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศออกจากขั้ว N เข้าหาขั้ว S 6
2.7 การทดลองโรยผงเหล็กเพื่อดูสนามแม่เหล็ก 7
2.8 ผงเหล็กที่มีแนวการเรียงตัวแทนสนามแม่เหล็ก 7
2.9 การใช้เข็มทิศหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก โดนเข็มทิศชี้ตามทิศสนามแม่เหล็ก 7
2.10 การใช้แม่เหล็กดูดเศษเหล็กพบว่าความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณขั้วNและS มีความเข้มสูง เส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาวางไว้ใกล้กัน 8
2.11 จุดสะเทินในสนามแม่เหล็ก เป็นจุดที่ไม่มีความเข้มสนามแม่เหล็ก เกิดจากการหักล้างกันของแรงแม่เหล็ก 8
2.12 ฟลักซ์แม่เหล็ก 9
2.13 ฟลักซ์แม่เหล็กตกกระทบพื้นที่ A ตารางเมตร 9
2.14 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ 12
2.15 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์V_H 13
2.16 ผลของสนามไฟฟ้าที่กระทำกับประจุพาหะภายในสารของแข็ง 15
2.17 ผลของสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของจุดประจุ 17
2.18 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในแผ่นตัวนำ 18
2.19 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำ 22
2.20 การวัดค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก 25
2.21 การจ่ายสนามแม่เหล็กโดยตั้งฉากกับฮอลล์เซนเซอร์ 25
2.22 วงจรฮอลล์เอฟเฟคสวิตจ์แลตช์และเอลอีดีเฟลช 26
2.23 เซนเซอร์กระแส เบอร์ LA55-P 26
2.24 วงจร Instrumentation amplifier 27
3.1 Electromagnet 29
3.2 Power Supply 29
3.3 Gauss Meter 29
3.4 Multimeter 29
3.5 ตัวอุปกรณ์ทดทองฮอลล์และโครงสร้างภายใน 30
3.6 ขาตั้งใช้จับตัวทดลอง 30
3.7 วงจรขยายสำหรับการวัดในทิศตั้งฉากและขนาน 30
3.8 บอร์ดAnalog to digital 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 1 และ 2 32
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 2 และ 5 33
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 3 และ 4 33
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 1 และ 5 34
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ในขณะที่ไม่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉาก 34
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ในขณะที่ไม่มีวงจรขยายในทิศขนาน 35
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ในขณะที่ไม่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉาก และทิศขนาน 35
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ขณะที่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉาก.. 36
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ขณะที่มีวงจรขยายในทิศขนาน ... 36
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ขณะที่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉากและทิศขนาน 37
4.11 ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและอุปกรณ์ฮอลล์ทิศตั้งฉาก 37
4.12 ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและอุปกรณ์ฮอลล์ทิศขนาน 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดสอบการตอบสนองของสนามแม่เหล็กว่ามีประสิทธิภาพที่ดีในการทำงานระดับไหน และจะได้ประยุกต์ใช้ทำเป็นเครื่องวัดสนามแม่เหล็กได้อย่างถูกต้อง และสมบูรณ์ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งทำให้เมื่อนำไปใช้งานที่เกี่ยวกับ Hall Device แบบ 2 มิติ ก็สามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพได้ด้วย โดยการนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรขยาย ก็สามารถเพิ่มค่า Gain (Av) ให้มากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับปรากฏการณ์ฮอลล์ รวมถึงกลไกการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ สำหรับประยุกต์ใช้สร้างเป็นหัววัดสนามแม่เหล็กแบบ 2 มิติ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของหัววัดสนามแม่เหล็ก 2 มิติ แบบฮอลล์ที่สร้างขึ้น
3. เพื่อศึกษาแล้วนำผลที่ได้ไปทำการขยายให้ gain มีค่ามากขึ้นเพื่อให้ค่า sensitivity มีค่าสูงขึ้น
4. เพื่อนำผลการคำนวณ hall voltage ให้เป็นค่าสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรม Lab – View
5. เพื่อนำไปทำเป็น Gauss meter ที่มีคุณสมบัติเทียบเคียง กับ F.W BELL 5170

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เป็นการศึกษาพื้นฐานของปรากฏการณ์ฮอลล์ โดยใช้เทคนิคการวัดของสนามแม่เหล็กซึ่งสามารถตอบสนองได้ใน 2 ทิศทาง ที่ให้แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ภายในสนามแม่เหล็กกระทำในทิศตั้งฉากและขนาน ซึ่งการทดลองนี้เมื่อเราสามารถศึกษาและจัดทำตัวฮอลล์เซนเซอร์ที่สามารถวัดได้ใน2ทิศทางของสนามแม่เหล็กได้แล้ว ในการวิจัยนี้จึงได้มีการนำมาประยุกต์ เพื่อศึกษาและจัดทำเป็น เครื่องวัดสนามแม่เหล็กโดยจะทำการวัดได้ใน 2 ทิศทาง (Gauss meter) โดยเครื่องวัดสนามแม่เหล็กนี้ต้องมีการจัดทำวงจรขยายเพื่อที่จะเห็นค่าการตอบสนองที่มากขึ้น และแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Lab-view

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.ทำการวัดคุณสมบัติของฮอลล์ โดยทำการวัดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กของฮอลล์
2.วัดทิศทางของสนามแม่เหล็ก เพื่อใช้ข้อมูลบอกถึงความไวต่อการตอบสนองของฮอลล์ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการวัดสนามแม่เหล็กได้อย่างถูกต้อง
3.ทำวงจรขยายเพื่อทำการเพิ่มค่าSensitivityให้ดีขึ้น
4.นำผลการขยายจากวงจรขยายแบบ Analog ไปแปลงเป็น Digital เพื่อนำผลลัพธ์ทาง Digital ไปแสดงผลบนโปรแกรม Lab-view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสนามแม่เหล็กโดยใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์
2.ทราบถึงโครงสร้างสำหรับการสร้างหัววัดสนามแม่เหล็กแบบฮอลล์
3.สามารถทดสอบการทำงานและการตอบสนองของฮอลล์ที่ค่าสนามแม่เหล็กต่างๆ
4.สามารถนำ Hall device ไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดสนามแม่เหล็กที่สามารถวัดได้ใน2ทิศทาง
5.ทราบถึงคุณสมบัติของวงจรขยายอีกทั้งยังสามารถนำผลลัพธ์ทางดิจิตอลไปแสดงบนโปรแกรมLab-viewได้

1.6 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้

ฮอลล์เซนเซอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าได้ คือ แรงดันไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุพาหะโฮล(Hole) และอิเล็กตรอน(Electron)ภายในสารกึ่งตัวนำที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับการประดิษฐ์ฮอลล์เซนเซอร์ โดยประจุพาหะที่เคลื่อนที่เหล่านี้ได้รับอิทธิพลเนื่องมาจากแรงทางแม่เหล็กที่กระทำ ทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของพาหะเปลี่ยนไป ผลของการเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่นี้ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ เกิดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมสารกึ่งตัวนำ เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ โดยขึ้นกับมุมของเส้นแรงที่กระทำ แต่ฮอลล์เซนเซอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้ไม่ได้มีวงจรขยายในตัวเหมือน ฮอลล์เซนเซอร์ทั่วๆไปตามท้องตลาด จึงต้องทำการทำวงจรขยายเพื่อที่จะขยายค่า gain ให้มีค่ามากขึ้น เพื่อที่จะนำไปใช้ในการประยุกต์อื่นๆต่อไป

1.7 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการนำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

รายงานฉบับนี้นำเสนอถึงการจัดทำเครื่องวัดสนามแม่เหล็กโดยจะทำการวัดได้ใน 2 ทิศทาง ซึ่งการจัดทำวิจัยนี้เป็นการประยุกต์มาจากการทำฮอลล์เซนเซอร์ โดยการที่จะจัดทำเครื่องวัดสนามแม่เหล็กนั้นจะต้องมีการทำวงจรขยายของทั้ง 2 ทิศทางเพื่อที่จะได้เห็นค่าของการตอบสนองมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.1 ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

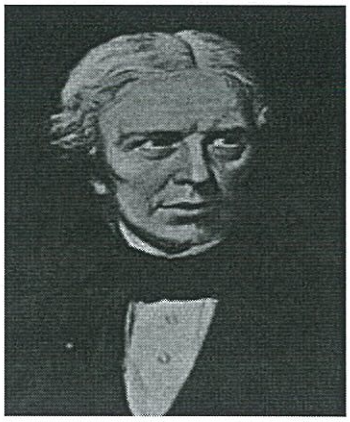
ค.ศ.1820 ฮันส์คริสเตียน ออร์สเตด ได้สังเกตเห็นสิ่งน่าแปลกใจบางอย่าง เขาสังเกตเห็นเข็มทิศขยับออกจากทิศเหนือเมื่อกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรีที่เขาใช้อยู่ถูกปิดหรือเปิด การเคลื่อนไหวนี้ทำให้เขามั่นใจว่าสนามแม่เหล็กถูกแผ่ออกมาจากทุกด้านของลวดที่มีกระแสไหลผ่าน เหมือนกับที่แสงและความร้อนแผ่รังสีออกมา และเป็นการยืนยันความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างไฟฟ้าและอำนาจแม่เหล็ก

รูปที่ 2.1 อังเดร-มาเรีย แอมแปร์

อังเดร-มาเรีย แอมแปร์

ในตอนนั้น ออร์สเตด ไม่ได้ให้คำอธิบายของปรากฏการณ์อันนั้นให้เป็นที่น่าพอใจได้ และก็ไม่ได้พยายามที่จะนำเสนอปรากฏการณ์ในรูปแบบของคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม อีก 3 เดือนต่อมา เขาก็เริ่มค้นคว้าหาสาเหตุอย่างจริงจัง ไม่นานเขาก็พิมพ์สิ่งที่เขาค้นพบ พิสูจน์ว่ากระแสไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวด คำว่า ออร์สเตด จึงเป็นหน่วยวัดการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก ถูกตั้งให้เป็นเกียรติแก่เขาในฐานะมีคุณูปการต่อวิชาการด้านทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ไมเคิลฟาราเดย์

ไมเคิลฟาราเดย์

การค้นพบของออร์สเตดมีผลทำให้มีการค้นคว้าในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์กันอย่างมากมายในเรื่องอิเล็คโทรไดนามิคส์ (หรือพลศาสตร์ไฟฟ้า หรือ การปฏิสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก) สาขานี้ มีอิทธิพลต่อนักฟิสิกซ์ชาวฝรั่งเศสชื่อ อังเดร-มาเรีย แอมแปร์ ที่พัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบเดียวเพื่อแสดงอำนาจแม่เหล็กระหว่างตัวนำหลายตัวที่มีกระแสไหลผ่าน การค้นพบของออร์สเตดยังเป็นก้าวสำคัญในการทำให้กรอบความคิดเกี่ยวกับพลังงานเป็นหนึ่งเดียว

รูปที่ 2.3 เจมส์เคลิคแมกซ์เวลล์

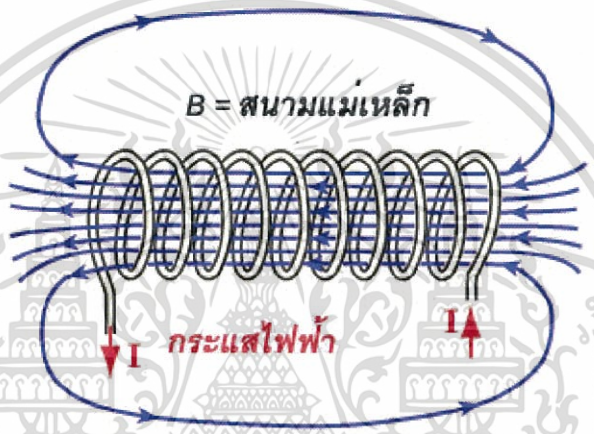
เจมส์เคลิคแมกซ์เวลล์

การเป็นหนึ่งเดียวทำให้ไมเคิลฟาราเดย์ นำไปใช้ขยายเพิ่มเติมโดยเจมส์เคลิคแมกซ์เวลล์ และสร้างสูตรบางส่วนขึ้นมาโดยโอลิเวอร์เฮฟวีไซด์และไฮน์ริชเฮิทส์ เป็นความสำเร็จอย่างสำคัญสำหรับฟิสิกซ์คณิตศาสตร์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศตวรรษที่ 19 ผลที่ตามมาไปไกลมาก หนึ่งในนั้นก็คือความเข้าใจในธรรมชาติของแสง ไม่เหมือนกับสิ่งที่นำเสนอในทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า แสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ ในปัจจุบันถูกมองว่าอยู่ในรูปของปริมาณที่แน่นอน เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่รังสีออกไปด้วยตัวเองในรูปคลื่นแกว่งไปมาซึ่งถูกเรียกว่าโฟตอน ความถี่ในการแกว่งที่ต่างกันทำให้รูปแบบการแผ่อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบที่แตกต่างกัน จากคลื่นวิทยุความถี่ต่ำสุด ไปจนถึงความถี่ขนาดกลางปีแสงที่มองเห็นได้ และความถี่สูงสุดเป็นรังสีแกรมมา

ออร์สเตดไม่ใช่คนเดียวที่ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับแม่เหล็ก ในปี ค.ศ.1802 เกียน โดมีนิโค โรแมคนอสิ นักวิชาการกฎหมายชาวอิตาลี ขยับเข็มแม่เหล็กด้วยประจุไฟฟ้าสถิตสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ไม่มีกระแสไหลในการจัดทำจึงไม่มีอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น การค้นพบถูกตีพิมพ์ในหนังสือพิมพ์อิตาลี แต่ถูกมองข้ามไปโดยชุมชนนักวิทยาศาสตร์สมัยนั้น

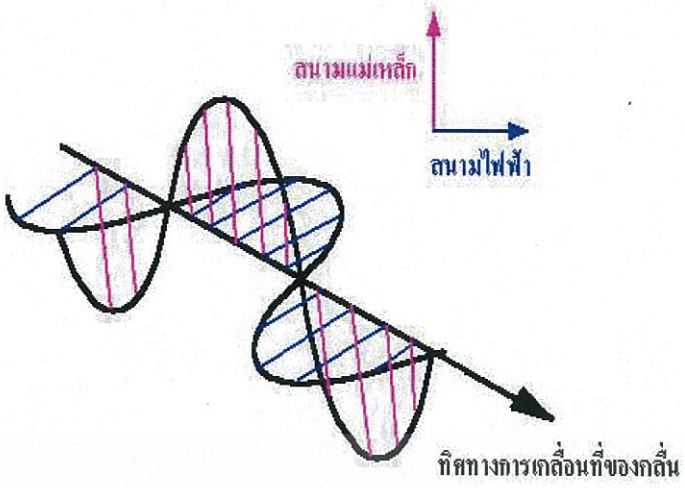


รูปที่ 2.4 แม่เหล็กสนามไฟฟ้า

"แม่เหล็กไฟฟ้า" มาจากข้อเท็จจริงที่ว่า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ถ้ากฎของฟิสิกส์จะเหมือนกันใน ทุกกรอบอ้างอิงเฉื่อย (Inertia frame of reference) การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (เรียกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เป็นพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้านั่นเอง) ในทางกลับกัน การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า ก็ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

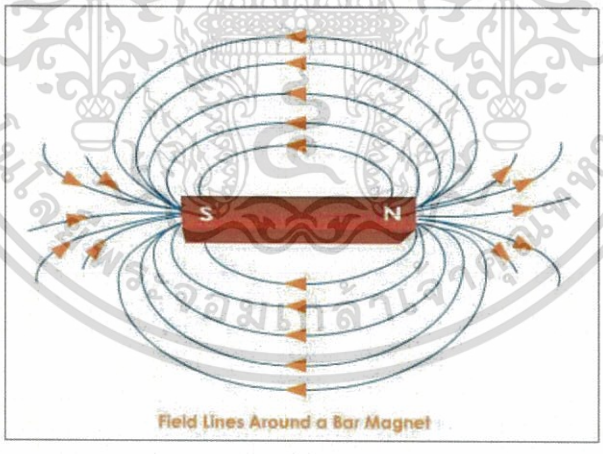
เนื่องจาก สนามทั้งสองไม่สามารถแยกจากกันได้ จึงควรรวมให้เป็นอันเดียวกัน เจมส์ เคลิร์กแมกซ์เวลล์ เป็นผู้รวมสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กเข้าด้วยกันด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพียงสี่สมการที่เรียกว่า สมการของแมกซ์เวลล์ ทำให้เกิดการพัฒนาฟิสิกส์ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นอย่างมาก และนำไปสู่ความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น แสงนั้น อธิบายได้ว่าเป็นการสั่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกไป หรือเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง ความถี่ของการสั่นที่แตกต่างกันทำให้เกิดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น คลื่นวิทยุเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ แสงที่มองเห็นได้เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ปานกลาง รังสีแกมมาเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้ามีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษของอัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ ในปี ค.ศ. 1905

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ทิศทางการเคลื่อนที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

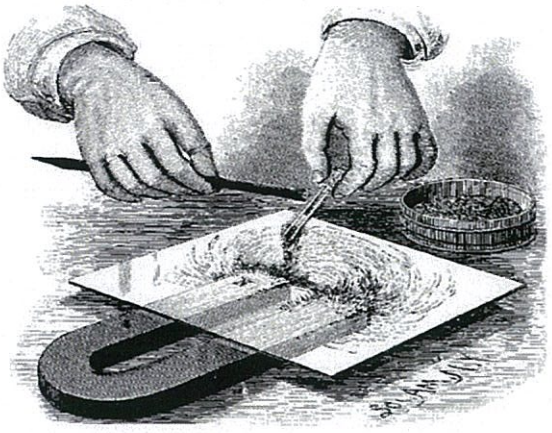
สนามแม่เหล็ก เมื่อมีแม่เหล็กวางอยู่ ณ ที่ใดก็ตาม แม่เหล็กนั้นจะส่งอำนาจแม่เหล็กออกไปรอบตัวในบริเวณนั้น ถ้าเอาแม่เหล็กอื่นหรือวัตถุที่เป็นเหล็กเข้าไปในบริเวณนั้นจะเกิดแรงแม่เหล็กส่งมากระทำทันทีจากแม่เหล็กที่วางอยู่ก่อนนั้น อย่างนี้เราถือว่าแม่เหล็กหรือสารแม่เหล็กที่เรานำเข้าไปทีหลังไปอยู่ในบริเวณซึ่งเป็น สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กอันแรกถ้าเราถอยแม่เหล็กหรือสารแม่เหล็กนั้นออกมาให้ห่างมาก ๆ แรงแม่เหล็กที่เคยเกิดขึ้นดังกล่าวจะหมดไป หมายความว่าแม่เหล็กอันแรกส่งแรงไปกระทำไม่ถึง จึงเห็นได้ว่าสนามแม่เหล็กคือบริเวณรอบ ๆ แม่เหล็ก ซึ่งแท่งแม่เหล็กนั้นสามารถส่งอำนาจแม่เหล็กไปถึง



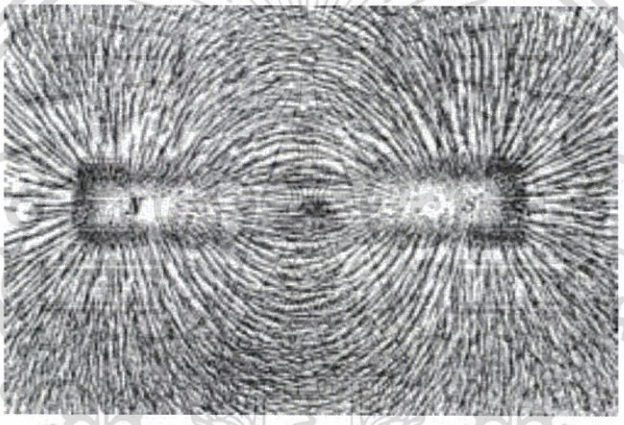
รูป2.6 เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศออกจากขั้ว N เข้าหาขั้ว S

เส้นแรงแม่เหล็ก เป็นเส้นที่แสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก นอกจากนั้นยังแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย ทิศของสนามคือ ทิศของแรงนี้กระทำกับขั้วเหนือ ในสนามแม่เหล็กเส้นแรงแม่เหล็กแสดงให้เห็นได้โดยใช้ผงเหล็กโรยรอบๆ แท่งแม่เหล็ก หรือการระบุตำแหน่งของเข็มทิศ เล็กๆ ณ จุดต่างๆ รอบๆ แท่งแม่เหล็ก การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดๆหนึ่ง แสดงได้โดย เส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ชิดกัน เส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่ภายนอกแท่งแม่เหล็กจะทิศทางออกจากขั้ว N และวนเข้าหาขั้ว S ส่วนเส้นแรงภายในแท่งแม่เหล็กเอง มีทิศพุ่งจากขั้ว S ไปยังขั้ว N

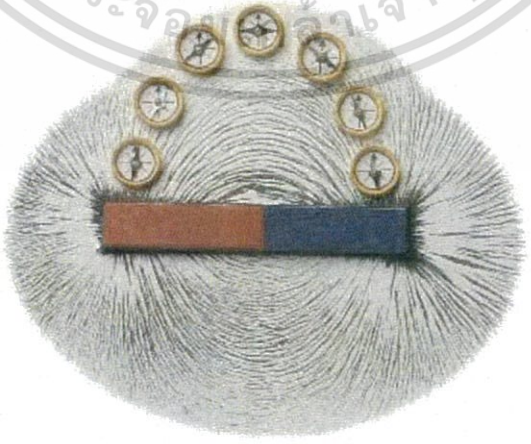
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การทดลองโรยผงเหล็กเพื่อดูสนามแม่เหล็ก

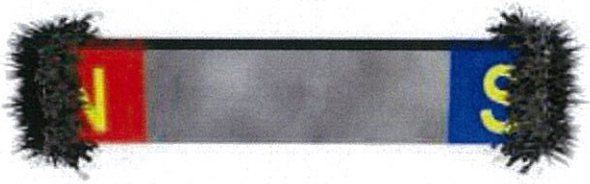


รูปที่ 2.8 ผงเหล็กที่มีแนวการเรียงตัวแทนสนามแม่เหล็ก

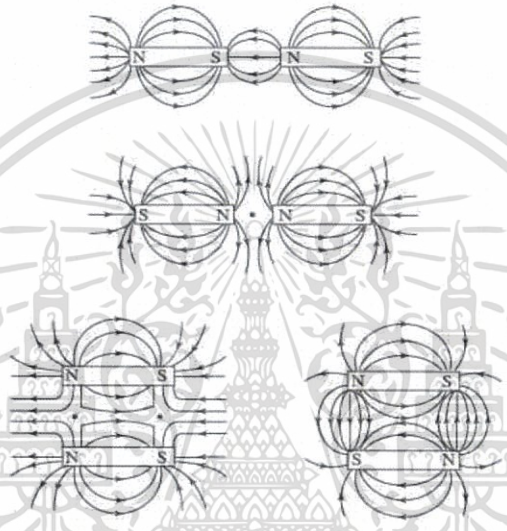


รูปที่ 2.9 การใช้เข็มทิศหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก โดนเข็มทิศชี้ตามทิศสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



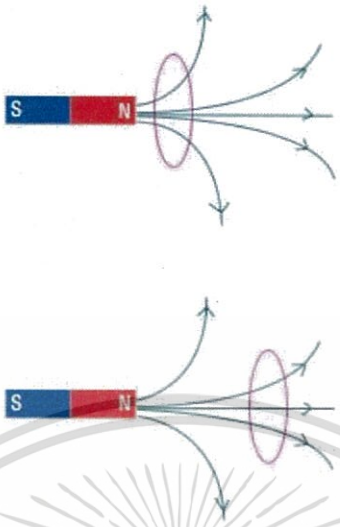
รูปที่ 2.10 การใช้แม่เหล็กดูดเศษเหล็กพบว่าความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณขั้วNและS มีความเข้มสูง เส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาวางไว้ใกล้กัน



รูปที่ 2.11 จุดสะเทินในสนามแม่เหล็ก เป็นจุดที่ไม่มีความเข้มสนามแม่เหล็ก เกิดจากการหักล้างกันของแรงแม่เหล็ก

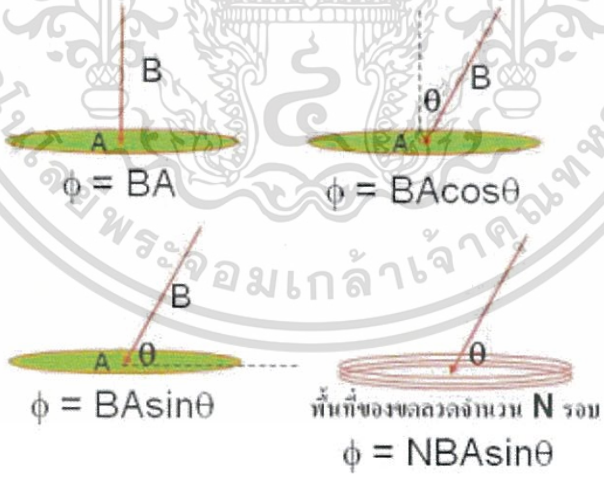
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก



รูปที่ 2.12 ฟลักซ์แม่เหล็ก

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magneticflux,) คือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งจากขั้วหนึ่งไปยังขั้วหนึ่ง ของแท่งแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber,Wb)



รูปที่ 2.13 ฟลักซ์แม่เหล็กตกกระทบพื้นที่ A ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กตั้งฉากกับพื้นที่ผิว
2. เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กทำมุมกับแนวตั้งฉากกับพื้นที่ผิว
3. เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กทำมุมกับแนวระนาบของพื้นที่ผิว

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก(Magnetic flux densit)คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วย พื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตกตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์มีหน่วยเป็น Wb/m^2 หรือ เทสลา (Tesla,T) จากนิยามจะได้ว่า

$$B = \phi / A \qquad (2.1)$$

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ มีหน่วยเป็น Wb/m^2 หรือ เทสลา (T)

ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Wb

A คือ พื้นที่ที่ตกตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

หรือค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก มีค่าเท่ากับ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านในแนวตั้งฉากในแกนขดลวด ที่สร้างโดยแรงดันแม่เหล็ก มีค่าแปรผันโดยตรงกับค่าความซึมซาบแม่เหล็กและความเข้มสนามแม่เหล็ก

$$B = \mu H \qquad (2.2)$$

B = ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Weber/m2 , Tesla)

H = ความเข้มสนามแม่เหล็กแม่เหล็ก (At/m)

μ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Weber/A.m)

$$\mu = \mu_O \cdot \mu_r \qquad (2.3)$$

μ = ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมบูรณ์ (H/m)

μ_O = ค่าซึมซาบแม่เหล็กของสุญญากาศ (H/m)

μ_r = ค่าซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (H/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 แรงแม่เหล็กไฟฟ้า

ในวิชา ฟิสิกส์ แรงแม่เหล็กไฟฟ้า คือแรงที่ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุทางไฟฟ้า มันคือแรงที่ยึด อิเล็กตรอน กับ นิวคลิไอ เข้าด้วยกันใน อะตอม และยึดอะตอมเข้าด้วยกันเป็นโมเลกุล แรงแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานผ่านการแลกเปลี่ยน messenger particle ที่เรียกว่า โฟตอน การแลกเปลี่ยน messenger particles ระหว่างวัตถุทำให้เกิดแรงที่รับรู้ได้ด้วยวิธีแทนที่จะดูดหรือผลักอนุภาคออกจากกันเพียงแค่นั้น การแลกเปลี่ยนจะเปลี่ยนคุณลักษณะของพฤติกรรมของอนุภาคที่แลกเปลี่ยนนั้นอีกด้วย

แต่เดิมนั้น ไฟฟ้า และ แม่เหล็ก ถูกคิดว่าเป็นแรงสองแรงซึ่งแยกจากกัน อย่างไรก็ตาม มุมมองดังกล่าวถูกเปลี่ยนไปเนื่องจากการตีพิมพ์ผลงานของ เจมส์คลาร์กแมกซ์เวลล์ ในปี 1873 บทความเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก (Treatise on Electricity and Magnetism) ซึ่งกล่าวถึงอันตรกิริยาของประจุบวกและลบเมื่อถูกแสดงในรูปทั่วไปด้วยแรงเพียงแรงเดียว มีผลอยู่สี่อย่างที่ได้จากอันตรกิริยาเหล่านี้ ทิศการไหลของกระแสก็ขึ้นอยู่กับทิศการเคลื่อนที่เช่นกัน

ผลทั้งหมดเหล่านี้สามารถอธิบายได้อย่างสวยงามในสมการสนามของแมกซ์เวลล์ ตัวอย่างเช่น แม่เหล็ก ทำให้เกิดการดูดหรือผลักเนื่องจากการเรียงตัวที่สอดคล้องกันหรือเป็นแนวอย่างเรขาคณิตของ สปิน

แรงแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นหนึ่งในสี่ของ แรงพื้นฐาน แรงพื้นฐานอื่น ๆ คือ แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม ซึ่งยึด นิวคลีไอของอะตอม เข้าด้วยกัน แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน ซึ่งเป็นสาเหตุของรูปแบบของ การสลายตัวเชิงกัมมันตภาพ และ แรงโน้มถ่วง แรงอื่นทั้งหมดท้ายที่สุดก็แปลงมาจากแรงพื้นฐานเหล่านี้

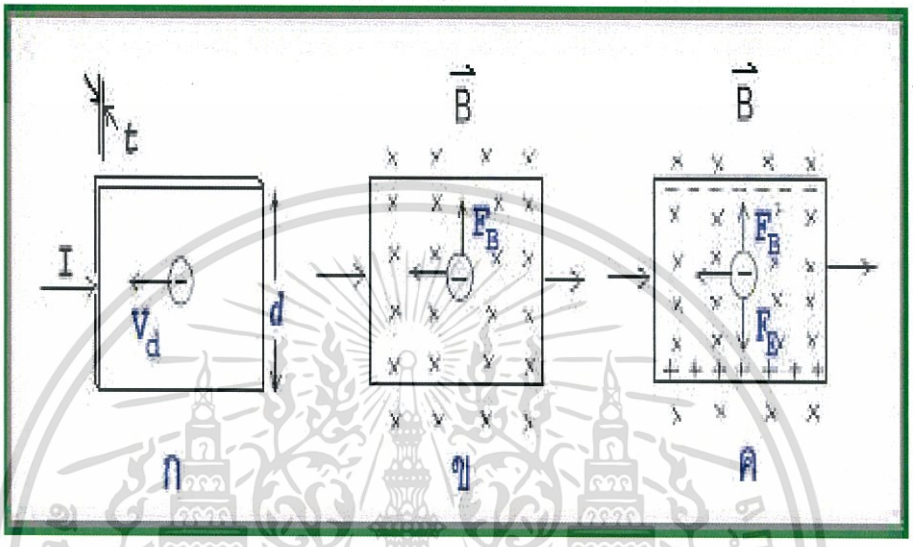
แรงแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นหนึ่งในผู้รับผิดชอบในปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทั้งหมดที่เราพบเจอในชีวิตประจำวัน ยกเว้นเสียแต่ความโน้มถ่วง กล่าวหยาบ ๆ แล้ว แรงที่เกี่ยวกับอันตรกิริยาระหว่าง อะตอม นั้นมาจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำต่อ โปรตอน และ อิเล็กตรอน อันมีประจุไฟฟ้าภายในอะตอม นี่รวมทั้งแรงที่เรารู้สึกใน "การผลัก" หรือ "การดึง" วัตถุเนื้อสารโดยทั่วไป ซึ่งมาจาก แรงระหว่างโมเลกุล ระหว่างโมเลกุล ในร่างกายของเราและในวัตถุ มันรวมถึงทุกรูปแบบของ ปรากฏการณ์ทางเคมี ซึ่งเกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่าง electron orbital

$$F = q\overline{VB}\sin\theta \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

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



รูปที่ 2.14 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้รูปที่ 2.14 ดังนี้

-รูปที่ 2.14 แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

-รูปที่ 2.15 เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

-รูปที่ 2.16 เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

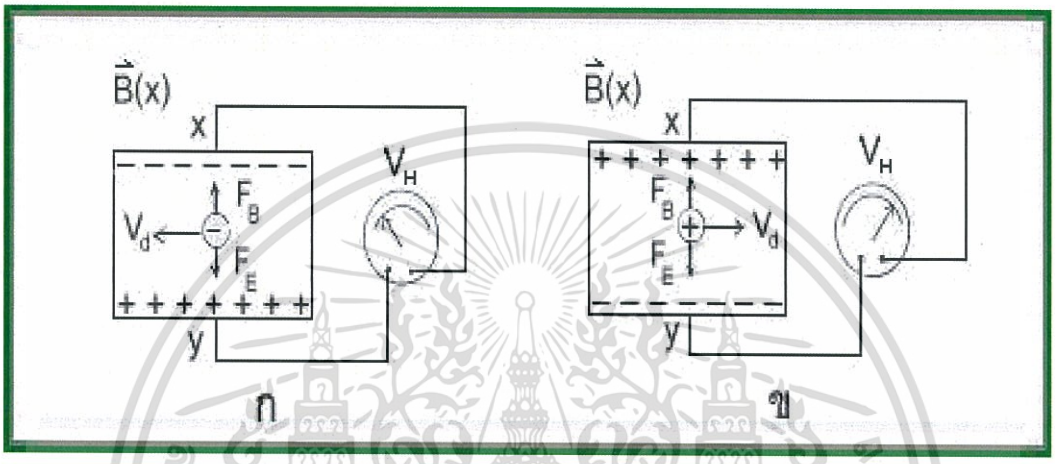
สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = V/d \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผล พิจารณาได้จากสมการ (2.6) หรือสมการ (2.7) ในตอนท้ายจากสมการ (2.5) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \qquad (2.6)$$



รูปที่ 2.15 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์V_H

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูป 2.14 สภาพขั้วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์

จากรูป 2.14 พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูป 2.14 แต่ทิศของ F_B และ E_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 2.15 ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ จากรูปที่2.15 ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$(-e)E_H = (-e)V_d B$$

$$E_H = V_d B \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.7) จะได้

$$V_H = E_H d$$

$$V_H = V_d B d \qquad (2.8)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \qquad (2.9)$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ)และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง แทนสมการ (2.9) ลงในสมการ (2.8) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \qquad (2.10)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \qquad (2.11)$$

สมการ (2.11) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = neti^{-1}V_H \qquad (2.12)$$

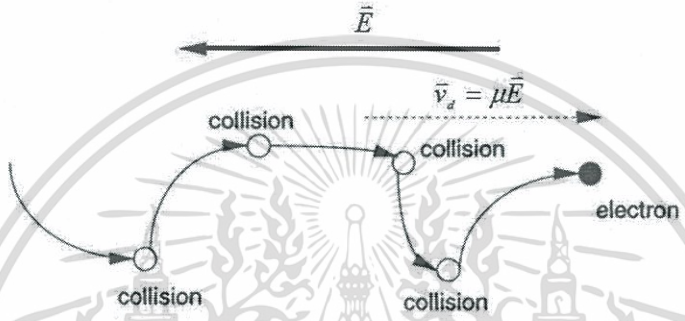
ปริมาณ V_HI และ t ในสมการ (2.11) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า n ≅ $10^{22}m^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า n ≅ $10^{28}m^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (11) ได้

ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ 1T = 10^4 G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ผลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่อจุดประจุในปรากฏการณ์ฮอลล์

ในการศึกษาหัววัดเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบค่าสนามแม่เหล็กหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ทฤษฎีของสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างหัววัดสนามแม่เหล็กบนพื้นฐานของปรากฏการณ์ฮอลล์ ลำดับแรกจะกล่าวถึงสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของประจุพาหะในสารของแข็งก่อน ดังนั้นเมื่อสร้างความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งบนชิ้นสารของแข็ง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งมีทิศจากศักย์มากพุ่งไปหาศักย์น้อยแสดงดังรูปที่ 2.16 โดยแรงที่กระทำกับจุดประจุ เป็นผลเนื่องมาจากสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 ผลของสนามไฟฟ้าที่กระทำกับประจุพาหะภายในสารของแข็ง

$$\vec{F} = q\vec{E} \tag{2.13}$$

ซึ่งการเคลื่อนที่ของพาหะภายใต้สนามไฟฟ้านี้ถูกเรียกว่า การดริฟท์(Drift) โดยมีความเร็วของพาหะจะถูกจำกัดโดยการชนที่เกิดขึ้นกับพาหะนั้นๆ เรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วดริฟท์ (Drift Velocity) ที่แสดงดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นความเร็วดริฟท์เฉลี่ย หรือ ความเร็วเฉลี่ยของพาหะภายใต้สนามไฟฟ้าในสารของแข็งมีค่าเป็นไปตามสมการ (2.14)

$$v_d = \mu E \tag{2.14}$$

สำหรับในกรณีของสนามแม่เหล็กจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางของจุดประจุที่หยุดนิ่ง เว้นแต่จะมีการเคลื่อนที่ด้วยแรงอื่น ๆ มากระทำ เช่น แรงจากสนามไฟฟ้า เป็นต้น โดยแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับความเร็วของการเคลื่อนที่ของประจุ และสำหรับแรงของสนามแม่เหล็กกระทำกับจุดประจุโดยจะขึ้นกับฟังก์ชันความเร็วของประจุพาหะ ความเข้มสนามแม่เหล็ก และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่กระทำกับประจุสามารถหาได้ตามสมการ (2.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = qvB\sin\theta \qquad (2.15)$$

การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ ต้องมีความเข้าใจถึงอนุภาค เช่น อิเล็กตรอน ที่มีการเคลื่อนที่ ภายใต้การตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้านี้ส่งผลต่อจุดประจุสามารถอธิบายได้จากสมการ (2.16)

$$F = qE + qvB\sin\theta \qquad (2.16)$$

โดยที่ F คือ ฟังก์ชันของแรง

E คือ สนามไฟฟ้า

v คือ ความเร็วของประจุ

B คือ สนามแม่เหล็ก

q คือ ประจุไฟฟ้า

θ คือ มุมที่สนามแม่เหล็กกระทำกับจุดประจุ

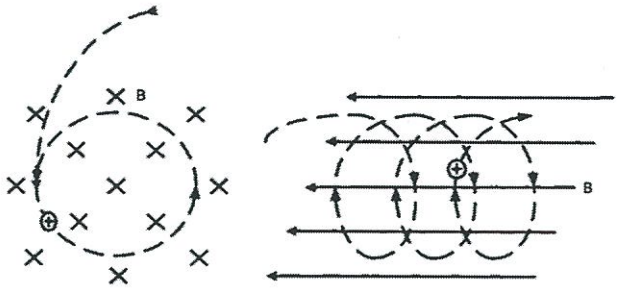
ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า แรงลอเลนซ์ (Lorentz force) ซึ่งในสมการของลอเลนซ์นี้ ค่าประจุไฟฟ้าเป็นค่าคงที่ที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งบนระนาบ x, y, z โดยในสมการของลอเลนซ์จะแบ่งปรากฏการณ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ประจุตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า และการตอบสนองของการเคลื่อนที่ของประจุต่อสนามแม่เหล็ก

ในกรณีของสนามไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดแรงทางไฟฟ้ากระทำกับจุดประจุ เกิดการเคลื่อนที่ของประจุพาหะและเกิดกระแสภายในชิ้นสารขึ้น ซึ่งแรงทางไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของประจุไฟฟ้าและปริมาณความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า

สำหรับในส่วนที่สองเป็นการแสดงการตอบสนองของประจุที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ทำให้การเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงเป็นแนวโค้งหรือหมุนเป็นเกลียว แสดงให้เห็นดังรูป 2.4 ซึ่งขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.17 ผลของสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของจุดประจุ

ในกรณีของประจุพาหะที่เคลื่อนที่ในชิ้นสารฮอลล์ ความเร็วของประจุพาหะจะมีความหนาแน่นไปในทิศทางหนึ่งของวัสดุดังรูป 2.17 โดยขั้วที่ใช้ต่อออกมาเพื่อวัดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กนี้ จะถูกต่อคร่อมชิ้นสารโดยกำหนดให้พาหะมีความเร็วเคลื่อนที่ไปในระนาบแกน x ($v_y = 0$ m/s , $v_z = 0$ m/s) และผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์เกิดขึ้นในแกน x แสดงถึงแรงสนามแม่เหล็กที่กระทำกับจุดประจุในแนวแกน x ดังสมการ (2.17)

$$F_x = q_0 v_y B_z \qquad (2.17)$$

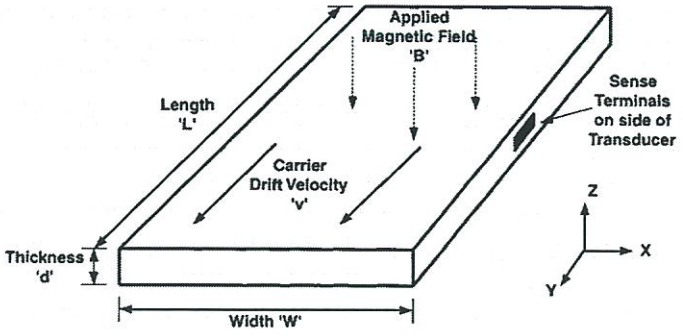
โดยที่ q_0 คือ ประจุไฟฟ้า

v_y คือ ความเร็วของจุดประจุแนวแกน y

B_z คือ สนามแม่เหล็กแนวแกน z

ปรากฏการณ์ฮอลล์ที่เกิดขึ้นนี้จะตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กในแนวแกน z (B_z) นั่นคือเมื่อมีสนามแม่เหล็กมากระทำกับวัสดุฮอลล์ ส่งผลทำให้เกิดแรงแม่เหล็กค่าหนึ่งที่กระทำกับประจุ เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของประจุจากทางเดิมที่เคลื่อนที่ในแนวแกน y เปลี่ยนแปลงไปในแนวแกน x ทำให้ความหนาแน่นของประจุบริเวณด้านทั้งสองของวัสดุแนวแกน x ต่างกัน ซึ่งมีระยะเท่ากับความกว้างของชิ้นสารกรณีนี้ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในชิ้นสารขึ้น จึงเกิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างด้านทั้งสองของวัสดุ

143917
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในแผ่นตัวนำ

จากรูปที่ 2.18 สามารถหาสนามไฟฟ้าฮอลล์(Hall electric field) จากความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กดังสมการ (18)

$$q_0 E_H + q_0 v \times B_\perp = 0 \qquad (2.18)$$

โดยที่ E_H คือสนามไฟฟ้าฮอลล์ ที่เกิดในชิ้นสาร E_H จะมีค่าตามสมการ

$$E_H = -v \times B_\perp \qquad (2.19)$$

โดยสนามไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดขึ้นเป็นฟังก์ชันของความเร็วประจุพาหะและความเข้มของสนามแม่เหล็ก สำหรับชิ้นสารที่มีความกว้างเป็น w ระหว่างขั้วทั้งสอง สามารถหาศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมได้จากการอินทิเกรตสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ เป็นความกว้าง w ได้ตามสมการ (20)

$$V_H = -wvB_\perp \qquad (2.20)$$

ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ (Hall Voltage, V_H) จะเป็นเชิงเส้นที่ขึ้นกับฟังก์ชัน ทั้ง 3 คือ

1.ความเร็วของจุดประจุสำหรับชิ้นสารใด ๆ

2.ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้กับชิ้นสาร

3.ระยะของขั้วต่อที่ใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในโลหะ

ค่าความไว (Sensitivity) ของวัสดุฮอลล์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้รู้ถึงความเร็วเฉลี่ยของพาหะ สภาวะของอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระเป็นผลมาจากพลังงานความร้อน (Thermal Velocity) ที่เกิดขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random) เป็นความเร็วอันเนื่องมาจากความร้อนมีผลเป็นอย่างมากต่ออิเล็กตรอน การเคลื่อนที่แบบสุ่มนี้จะนำไปเฉลี่ยเป็นความเร็วสุทธิ ค่าความเร็วรวมที่ได้จึงเป็นศูนย์ ดังนั้นเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จะทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน เมื่อมีค่าสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นให้กับวัสดุฮอลล์ที่เป็นโลหะ อิเล็กตรอนได้รับพลังงานทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่งไปในแนวทิศของสนามไฟฟ้า ที่มีค่ามากกว่าการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากพลังงานความร้อน ดังนั้นอัตราการเคลื่อนที่ของหาพะที่เกิดจากสนามไฟฟ้านี้ ถูกเรียกว่า ความเร็วดริฟท์

ในกรณีที่เป็นโลหะนำไฟฟ้าอย่างดีสามารถที่จะประมาณค่าได้ ในขั้นแรกจะทำการคำนวณปริมาณความหนาแน่นของพาหะต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสำหรับกรณีของโลหะ เช่น ทองแดง สามารถประมาณได้ว่าอะตอมของทองแดงมีอิเล็กตรอนชั้นวงนอกสุดที่ทำให้เกิดการไหลของกระแสซึ่งความหนาแน่นของประจุพาหะมาจากผลของปริมาณอะตอมของทองแดงต่อหน่วยน้ำหนัก สามารถคำนวณได้จาก

$$N = \frac{N_A}{M_m} D \tag{2.21}$$

โดยที่ N คือจำนวนของพาหะต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

N_A คือค่าคงที่อะโวกาโดร($6.02 \times 10^{23} mol^{-1}$)

M_m คือมวลโมเลกุล($g.mol^{-1}$)

D คือความถ่วงจำเพาะของทองแดง(g/cm^3)

ตัวอย่างการหาจำนวนของพาหะต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กรณีของทองแดงซึ่งมีมวลโมเลกุลเท่ากับ $63.55\ g.mol^{-1}$ และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ $8.89\ g/cm^3$ ดังนั้นค่าจำนวนของพาหะจะได้ $8.42 \times 10^{22} cm^{-3}$

ในการหาค่าความหนาแน่นของพาหะ สามารถประมาณค่าความเร็วดริฟท์ของพาหะได้จากกระแสที่อยู่ในหน่วยแอมแปร์ สมมุติให้ค่าความหนาแน่นของพาหะเป็นค่าคงที่ และเพิ่มปริมาณพาหะในระบบได้ความเร็วของพาหะจะแปรผันกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ยิ่งพื้นที่หน้าตัดมีค่ามาก ค่าความเร็วเฉลี่ยของพาหะลดลง ดังนั้นความเร็วดริฟท์ของพาหะสามารถอธิบายได้ตามสมการ (2.22)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{I}{q_0 NA} \qquad (2.22)$$

ที่ I คือกระแส

q_0 คือค่าประจุอิเล็กตรอน $(1.66\times10^{-19}C)$

N คือความหนาแน่นของพาหะต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A คือพื้นที่หน้าตัด

ผลที่เกิดขึ้นคือความเร็วของพาหะในวัสดุโลหะ ที่เคลื่อนที่อันเนื่องมาจากสนามไฟฟ้านี้ เคลื่อนที่ผ่านวัสดุด้วยความเร็วประมาณเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วแสงที่พิจารณาต่างกันตามขนาดของขดลวดต่อกระแสหนึ่งแอมแปร์ พบว่าความเร็วของพาหะในขดลวดทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.0078 ตารางเซนติเมตร จะมีความเร็วดังนี้

$$v = \frac{1A}{1.6\times10^{-19}C\cdot 8.42\times10^{22}cm^{-3}\cdot 0.0078cm^2} = 0.009cm\cdot s^{-1}$$

เมื่อพิจารณาถึงความเร็วของพาหะดังตัวอย่างพบว่าจะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วแสง เมื่อทำการรวมสมการ (21) และ (22) สามารถที่จะพิสูจน์เพื่อใช้ในการอธิบาย ค่าความไว ในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแม่เหล็กเป็นแรงดันไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันขึ้นกับพื้นที่หน้าตัด กระแสและความหนาแน่นของพาหะหาได้ตามสมการ (23)

$$V_H = \frac{IB}{q_0 Nd} \qquad (2.23)$$

โดยที่ d คือ ความหนาของชิ้นสารตัวนำ

เมื่อพิจารณาในกรณีของปรากฏการณ์ที่เกิดในโลหะชนิดทองแดง ซึ่งเป็นไปดังรูป 2.5 โดยใช้กระแส 1 A ความหนาของวัสดุประมาณ $25\mu m$ สร้างสนามแม่เหล็กให้กระทำตั้งฉากกับวัสดุประมาณ 1 เทสลา$(10^4 G)$ ผลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$v = \frac{1A\cdot 1T}{1.66\times10^{-19}C\cdot 8.42\times10^{22}cm^{-3}\cdot 25\times10^{-6}\,\mu m} = 3.0\times10^{-6}V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีตัวอย่างที่ใช้คำนวณนี้ใช้ในหน่วย SI สำหรับในกรณีนี้ที่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น 10,000 เกาส์ ผลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งในทางปฏิบัติไม่นิยมใช้ โลหะเพื่อสร้างเป็นหัววัดสนามแม่เหล็กที่อยู่บนพื้นฐานของปรากฏการณ์ฮอลล์

2.2.3 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำ

สำหรับวัสดุศาสตร์ที่จำแนกประเภทตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็นสามประเภท คือ ตัวนำ ฉนวนและสารกึ่งตัวนำ ซึ่งในกรณีที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นิยมใช้สารกึ่งตัวนำเป็นหลักวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ เช่น ซิลิกอน (Si),เยอรมันเนียม(Ge), แกลเลียม(Ga)เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากตัวนำและฉนวนอย่างชัดเจน กล่าวคือ ในสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าขึ้นกับอุณหภูมิและแสงจากภายนอกที่มากระทำในวัสดุ โดยวัสดุชนิดนี้เมื่อมีการเติมอะตอมสารเจือที่เหมาะสมคุณสมบัติการนำไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด คุณสมบัติดังกล่าวที่มีความเหมาะสมสำหรับทำการสร้างเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประดิษฐ์เป็นเซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณทางฟิสิกส์ในธรรมชาติ เช่น แสง อุณหภูมิ เป็นต้น รวมถึงการวัดปริมาณความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กที่อาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์ มาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆอย่างกว้างขวาง สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเป็นตัวตรวจวัดสนามแม่เหล็กสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ สารกึ่งตัวนำชนิดอินทรินซิค (Intrinsic semiconductor) และสารกึ่งตัวนำเอ็กทรินซิค(Extrinsic Semiconductor) ด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุทั้งสองชนิดที่แตกต่างกันนี้ เมื่อนำมาประดิษฐ์เป็นหัววัดสนามแม่เหล็กการตอบสนองของวัสดุทั้งสองชนิดจึงแตกต่างกัน โดยจะทำการวิเคราะห์ในเรื่องของความหนาแน่นของพาหะที่มีผลต่อการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กเป็นหลัก

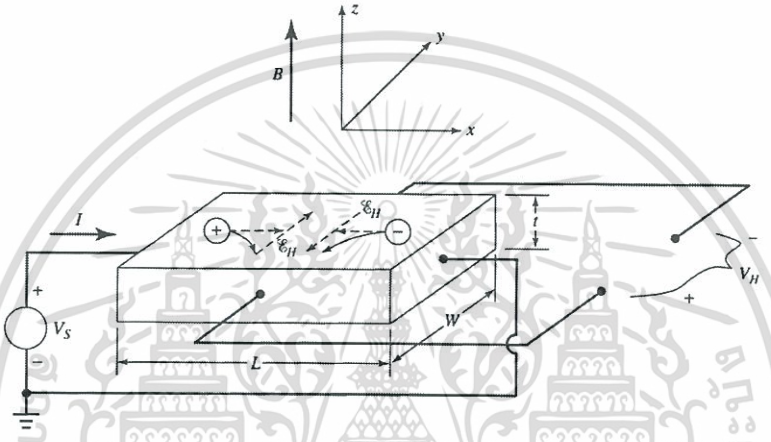
2.2.3.1 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็กทรินซิค

ปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งเกิดขึ้นจากผลของแรงภายนอกกระทำกับจุดประจุ (Charge) ที่เคลื่อนที่โดยแรงที่กระทำนี้เนื่องจากสนามแม่เหล็ก โดยมีความสัมพันธ์กับความเร็วของการเคลื่อนที่ของจุดประจุ โดยผลของเวกเตอร์ที่เกิดขึ้น เกิดจาก Cross product ซึ่งปริมาณเวกเตอร์ที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามทิศทางของมุมสนามแม่เหล็กที่กระทำกับฮอลล์ตามฟังก์ชันไซน์

ผลของปรากฏการณ์ฮอลล์ สำหรับปรากฏการณ์ฮอลล์ที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำที่ถูกเจือด้วยอะตอมธาตุอื่น ซึ่งจะประกอบไปด้วยพาหะส่วนใหญ่หนึ่งชนิด ตามอะตอมธาตุสารเจือที่ใช้ โดยจะทำการพิจารณาออกเป็นสองกรณี คือ พาหะที่เป็นอิเล็กตรอนกับโฮล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสต่อประจุพาหะโฮลและอิเล็กตรอนในชิ้นสาร จะมีแรงจากสนามแม่เหล็กมากระทำในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของประจุพาหะทั้งสอง ในสภาวะคงตัว ด้วยแรงจากสนามแม่เหล็กที่สมดุลนี้เป็นผลทำให้จุดประจุเคลื่อนที่อีกทิศทางหนึ่ง การกระจายตัวของหาพะจึงเปลี่ยนไป เกิดเป็นการเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามไฟฟ้าค่าหนึ่งขึ้น โดยสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์(Hall field; ε_H) [6]-[9] เมื่อทำการอินทิเกรตสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของความกว้างชิ้นสารกึ่งตัวนำที่ใช้ ผลที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากพื้นผิวรอยสัมผัสตรงกันข้ามกันของชิ้นสารกึ่ง ตัวนำที่ใช้ ดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ได้ขึ้นกับรูปแบบของชิ้นสารและสนามแม่เหล็กที่กระทำเนื่องมาจากสนามไฟฟ้าฮอลล์และความกว้างของชิ้นสาร (W) ; $V_H = \varepsilon_H W$



รูปที่ 2.19 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำ

ในรูปที่ 2.19 กระแสที่ไหลในชิ้นสารแนวแกน x ที่เกิดจากความต่างศักย์ V_s เป็นผลทำให้โฮลเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกับกระแส ในกรณีประจุพาหะเป็นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทางตรงกันข้าม โดยที่พาหะทั้งสองมีค่าประจุที่ต่างกันทำให้เกิดทิศของความเร็วที่ตรงกันข้าม เมื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับชิ้นสารในแนว +z แรงแม่เหล็กกระทำกับประจุทั้งสองส่งผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทิศเดียวกันในแนวแกน y แต่เนื่องจากค่าประจุทั้งสองตรงข้ามกัน ทำให้เกิดแรงดันที่มีขั้วต่างกัน เรียกแรงดันไฟฟ้านี้ว่า แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ซึ่งความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากการใช้สารกึ่งตัวนำที่มีพาหะข้างมากต่างชนิดกัน คือ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและสารกึ่งตัวนำชนิดพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปรากฏการณ์ฮอลล์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถพิสูจน์ได้โดยใช้ทฤษฎีอย่างง่ายที่แสดงกลไกการเกิดดังรูปที่ 2.6 โดยแสดงให้เห็นการไบอัสกระแสให้กับชิ้นสารในแนวแกน x แล้วป้อนสนามแม่เหล็กในแนวแกน z สนามไฟฟ้าฮอลล์ จะเกิดขึ้นในแนวแกน y ซึ่งกรณีที่ใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี สนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศบวก ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น สนามไฟฟ้าฮอลล์จะเกิดในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อพิจารณากระแสพาหะจะทำให้เกิดความเร็วค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ความเร็วดริฟท์ (v_d) โดยความเร็วดริฟท์จะสัมพันธ์กับขนาดของกระแสสำหรับพาหะที่เป็นโฮลแสดงดังสมการ (2.24)

$$v_d = \frac{J_x}{qp} \tag{2.24}$$

สำหรับพาหะที่เป็นอิเล็กตรอนจะได้

$$v_d = \frac{J_x}{qn} \tag{2.25}$$

ดังนั้นสนามไฟฟ้าฮอลล์สามารถอธิบายในเทอมของกระแสและสนามแม่เหล็กสำหรับพาหะที่เป็นโฮลตามสมการ (2.26)

$$\varepsilon_H = \frac{J_x B_\perp}{qp} \tag{2.26}$$

และสำหรับพาหะที่เป็นอิเล็กตรอนเขียนได้เป็น

$$\varepsilon_H = -\frac{J_x B_\perp}{qn} \tag{2.27}$$

ส่วนปริมาณของแรงสนามแม่เหล็กกับแรงสนามไฟฟ้าฮอลล์ที่เท่ากันเขียนได้ว่า

$$q\varepsilon_H = qV_d B_\perp \tag{2.28}$$

เขียนใหม่ได้ว่า

$$\varepsilon_H = R_H J_x B_\perp \tag{2.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R_H คือ ค่าสัมประสิทธ์ฮอลล์(Hallcoefficient) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/qp$ สำหรับโฮลและเท่ากับ $-1/qn$ สำหรับอิเล็กตรอน ซึ่งในสมการ (2.29) สามารถที่จะคำนวณการเกิดสนามไฟฟ้าฮอลล์ได้อย่างแม่นยำ ถ้าสามารถเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ ได้อย่างเหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ ที่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วของประจุพาหะ ซึ่งจะทำให้เกิดพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นอีกคือ r เพื่อที่จะคำนวณได้อย่างถูกต้องสำหรับพาหะที่เป็นโฮลตามสมการ (2.30)

$$R_H = \frac{r}{qp} \qquad (2.30)$$

และสำหรับพาหะที่เป็นอิเล็กตรอนตามสมการ (2.31)

$$R_H = -\frac{r}{qn} \qquad (2.31)$$

2.3 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Hall sensor)

2.3.1หลักการทำงาน

hall effect current sensor สามารถวัดค่ากระแสโดยการวัดคล้องสายของกระแสที่ไหล และให้เอาท์พุตออกมาเป็นแรงดัน hall มีมากมายหลายรุ่น รุ่นที่ ให้แรงดัน Output = รูปแบบสัญญาณจริง ก็มีให้เลือก แต่hallส่วนใหญ่จะใช้เป็น Instrument สำหรับความแม่นยำสูง สามารถวัดสัญญาณที่มี DC และ Hamonics ปะปนมากได้ หรือกระแสมีความซับซ้อนของสัญญาณปะปนสูง เหมาะสำหรับการต้องวัดเพื่อวิเคราะห์หาHarmonicsต่างๆ การเลือกใช้ต้องระวังเบนวิดท์ (ความถี่ใช้งาน)ด้วย

แม่เหล็ก (magnet) เป็นสิ่งที่สามารถดูดวัสดุบางชนิดได้เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์เป็นต้น การที่แม่เหล็กดูดสารบางอย่างได้เนื่องจากมีสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ในบริเวณโดยรอบแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยใช้เข็มทิศ แต่เราไม่สามารถทราบได้ว่ามีค่าเท่าใด นักวิทยาศาสตร์พยายามวัดสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวกและรวดเร็วโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวดิ่ง เมื่อนำตัวรับรู้ฮอลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

Hall Effect เกิดขึ้นเนื่องจากประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กและอยู่ภายใต้แรงลอเลนซ์ (Lorentz force) ซึ่งเขียนได้เป็น

$$| FLorentz |= qvBsin \qquad (2.32)$$

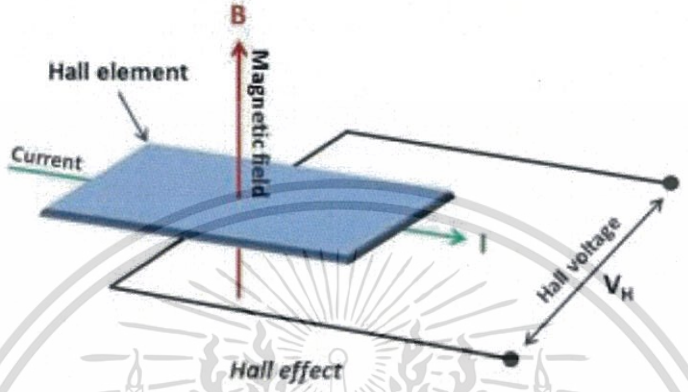
$$F=qE+(qV \times B) \qquad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ q คือ ค่าคงที่ของประจุ

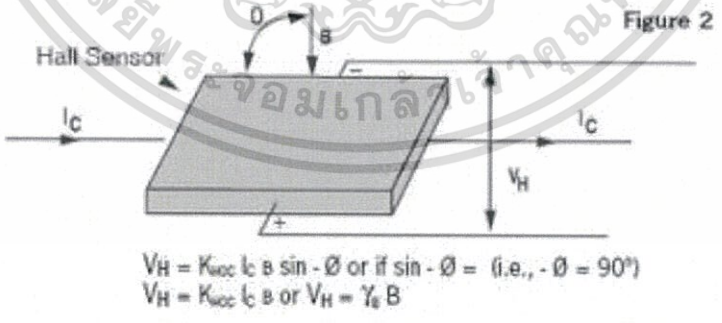
V คือ ทิศทางของประจุ

B คือ ทิศทางของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.20 การวัดค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก

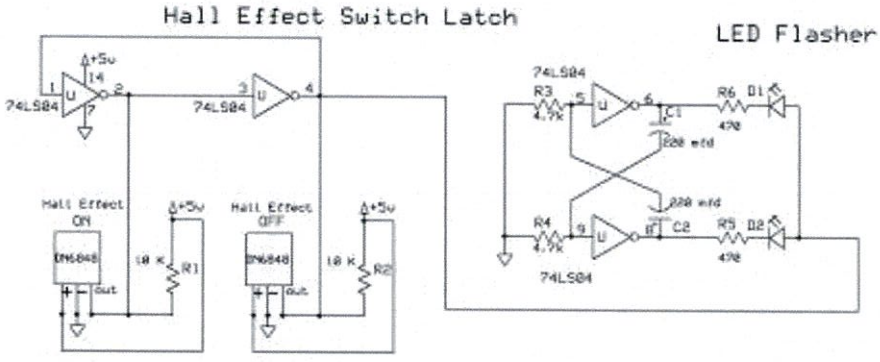
การใช้งานฮอลล์เซนเซอร์เป็นการใช้วัดค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ดังนั้นเราจึงสามารถนำฮอลล์เซนเซอร์มาใช้เป็นเซนเซอร์วัดการกระจัดได้เช่นกัน



รูปที่ 2.21 การจ่ายสนามแม่เหล็กโดยตั้งฉากกับฮอลล์เซนเซอร์

นอกจากใช้วัดสนามแม่เหล็กทั่วไปแล้ว ฮอลล์เซนเซอร์ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในการวัดกระแสไฟฟ้าโดยวิธีฮอลล์เอฟเฟคอีกด้วย โดยปกติแล้วการใช้แอมป์มิเตอร์วัดกระแสในวงจรต้องวัดแบบอนุกรมเราอาจต้องตัดวงจรเพื่ออนุกรมมิเตอร์เข้าไปแต่ฮอลล์เอฟเฟคจะทำให้การวัดง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 วงจรฮอลล์เอฟเฟคสวิตจ์แลตช์และเอลอีดีเฟลช

เมื่อเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวดเรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถ้าเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้ได้ เราก็สามารถคำนวณเป็นค่ากระแสออกมาได้เช่นกัน

ปัจจุบันได้มีการผลิตเซนเซอร์กระแสไฟฟ้าแบบฮอลล์เอฟเฟคในรูปของไอซีหลายเบอร์ด้วยกัน มีตั้งแต่กระแสต่ำๆ ไปจนถึงกระแสเป็นร้อยแอมป์เลยทีเดียว

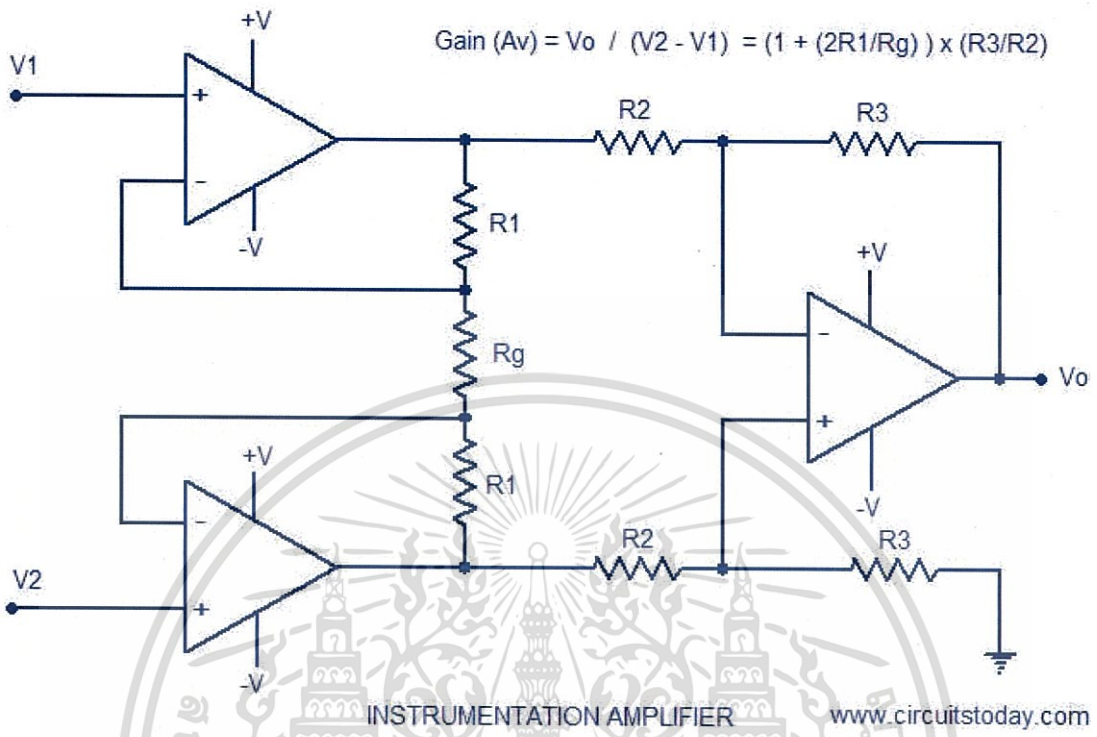
รูปที่ 2.23 เซนเซอร์กระแส เบอร์ LA55-P

จากรูปเซนเซอร์กระแส เบอร์ LA55-P ของ LEM สามารถวัดกระแสได้สูงสุด 50A วัดได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ให้เอาท์พุตออกมาเป็นกระแสในอัตราส่วน 1:1,000 หมายความว่า ถ้าวัดที่

สำหรับการใช้งานก็เพียงป้อนไฟเลี้ยง ±15V ให้กับเซนเซอร์ แล้วให้เส้นลวดที่เราต้องการวัดกระแสสอดเข้าที่รูตรงกลางเซนเซอร์เท่านั้นเอง จึงไม่ส่งผลกระทบต่อวงจรที่เราจะทำการวัดแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจร Instrumentation amplifier



รูปที่ 2.24 วงจร Instrumentation amplifier

ถ้าเราต้องการเซตอัพสำหรับอัตราขยายที่แตกต่างกัน โดยการเปลี่ยน Rg กับ โพเทนทิโอมิเตอร์ โดยปกติเราจะใช้กับงานที่มีเซนซิติวิตี้สูงและต้องการความแม่นยำและความเสถียร Instrumentation amplifiers สามารถสร้างโดยใช้ออปแอมป์2ตัว แต่ในทางปฏิบัติจะใช้ออปแอมป์3ตัว อย่างในรูป ข้อดีของการใช้ออปแอมป์2ตัว คือทำให้มีราคาถูกและสามารถปรับ CMRR สามารถใช้ metal film resistors ที่มีความแม่นยำสูงแทนที่ตัวต้านทานทุกตัวจะทำให้ได้ค่าอัตราขยายที่สูง amplifier จะมีความเป็นเชิงเส้นสูง และมีค่าเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ เริ่มต้นในช่วงมิลลิโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล A/D

การสื่อสารข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทุกประเภท ประกอบด้วย เสียง (Voice) อักขระข้อความ (Text), ภาพ (Image) และข้อมูลคอมพิวเตอร์ (Data) ซึ่งแต่ละข้อมูล มีลักษณะเฉพาะของสัญญาณที่แตกต่างกัน แบ่งการกระทำของข้อมูลดังนี้

1. Analog Computer สัญญาณอนาลอกคือ สัญญาณข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuouse Data) มีขนาดของสัญญาณไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณแบบค่อยเป็นค่อยไปแปรผันตามเวลา เป็นสัญญาณที่มนุษย์สามารถสัมผัสได้ เช่น แรงดันของน้ำ

2.Digital Computer สัญญาณดิจิตัล คือ สัญญาณข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) มีขนาดของสัญญาณคงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเป็นแบบทันที ทันใด ไม่แปรผันตามเวลา เป็นสัญญาณที่มนุษย์ไม่สามารถสัมผัสได้ เช่น สัญญาณไฟฟ้า

2.5.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

Analog to Digital Converter (A/D)ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่ มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit)เป็นกระบวนการอีเลคโทรนิคส์ ที่สัญญาแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิตอลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์

วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ววงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converters) มีใช้งานอยู่ประมาณ 7 ชนิดคือ

1. Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter
2. Single – Ramp หรือ Single – Slope A/D converter
3. Dual – Slope A/D converter
4. Charge balance A/D converter
5. A/D converters using Counters and D/A converters
6. Tracking A/D converters
7. Successive – Approximation A/D converters

2.5.2 ข้อบ่งเฉพาะของการแปลงสัญญาณ A/D (A/D SPECIFICATIONS)

ข้อบ่งเฉพาะจะบอกถึงขีดความสามารถของ converter โดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่หลายคำ เช่น ความแม่นยำ,ความเที่ยงตรง และความเที่ยงตรงเป็นเส้นตรง ซึ่งค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละวงจร แต่มีข้อบ่งเฉพาะอีกข้อหนึ่งที่ไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรคือ ค่าผิดพลาดระหว่างค่าจริงของสัญญาณอะนาลอกกับค่าของดิจิตอลที่ใช้แทนค่า (ค่าของ Output ของ A/D converter) ซึ่งเรียกว่า Quantizing error จะมีค่าอยู่ประมาณ +1/2 digit ต่ำสุด (LSB)ของการแปลงสัญญาณซึ่งก็เป็นการบ่งถึงความแม่นยำได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

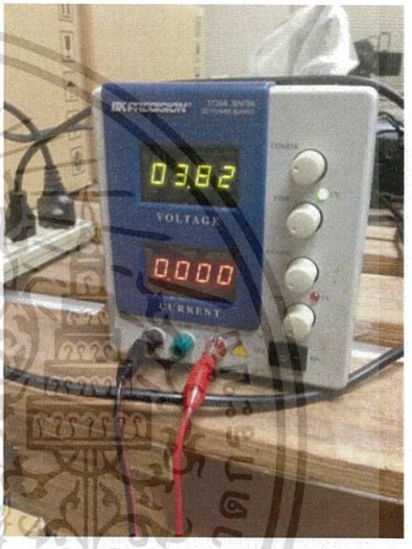
บทที่ 3

การวัดค่าสนามแม่เหล็กของ Hall device

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบการวัดสนามแม่เหล็กในสองมิติ เพื่อพัฒนาระบบให้มีความเหมาะสม ในการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และสามารถนำหลักการของวิธีการวัดนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็ก

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

รูปที่ 3.1 Electromagnet

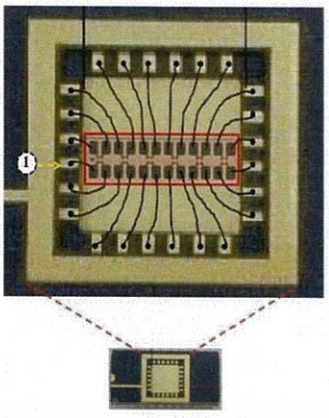


รูปที่ 3.2 Power Supply

รูปที่ 3.3 Gauss Meter

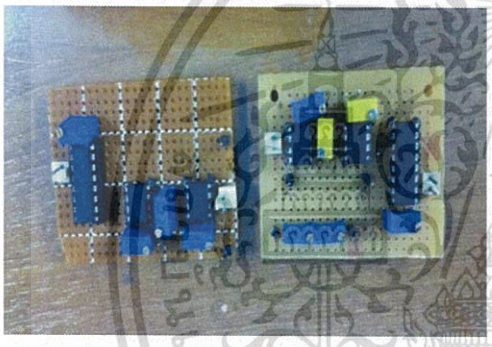
รูปที่ 3.4 Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตัวอุปกรณ์ทดลองฮอลล์และโครงสร้างภายใน

รูปที่ 3.6 ขาตั้งใช้จับตัวทดลอง



รูปที่ 3.7 วงจรขยายสำหรับการวัดในทิศตั้งฉากและขนาน

รูปที่ 3.8 บอร์ดAnalog to digital

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 สมบัติทางไฟฟ้าของ Hall Device

- เตรียมอุปกรณ์เนื่องจากอุปกรณ์มี 24 ขา โดยเราจะทำการวัดเพื่อดูความเป็นโอมห์มิคของตัวอุปกรณ์
- เราจะทำการวัด 4 ตำแหน่ง ในแต่ละโครงสร้าง โดยวัดตำแหน่งที่ 1 ระหว่าง c_1-c_2 เสมือนเป็น R_1 ตำแหน่งที่ 2 ระหว่าง C_3-C_4 เสมือนเป็น R_3 ตำแหน่งที่ 3 ระหว่าง C_2-C_5 เสมือนเป็น R_2 และตำแหน่งที่ 4 ระหว่าง C_1-C_5 เสมือน เป็น R_4
- ในแต่ละตำแหน่งที่เราวัดเราจะป้อนความต่างศักย์ที่ 0 – 2 โวลต์ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.2 โวลต์
- บันทึกค่ากระแสที่ได้ แล้วนำไปพล็อตกราฟเพื่อดูความเป็นโอมห์มิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 สมบัติทางแม่เหล็กของ Hall Device(เมื่อไม่มีวงจรขยาย)

- เตรียมอุปกรณ์โดยนำตัวทดลองอุปกรณ์ฮอลล์เข้าไปใน Electromagnet โดยใช้ขาตั้งจับตัวทดลอง โดยตอนแรกจะ ทำการวัดในแนวแกน z คือจะให้สนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากกับตัวอุปกรณ์ฮอลล์
- ตั้งค่าแหล่งจ่ายกระแสให้คงที่ที่ 1mA และ 5mA ตามลำดับ
- ทำการปล่อยสนามแม่เหล็กคงที่ที่ 0-5000 เกาส์ โดยเพิ่มทีละ 500 เกาส์
- จดบันทึกค่า Hall Voltage ที่ได้ สำหรับแนวแกน z
- ทำการทดลองอีกครั้ง โดยคราวนี้จะทำการวัดในแนวแกน x คือจะให้สนามแม่เหล็กมีทิศขนานกับตัวอุปกรณ์ฮออล์
- ตั้งค่าแหล่งจ่ายกระแสที่ 1mA และ 5mA แล้วปล่อยสนามแม่เหล็กคงที่ที่ 0-5000เกาส์ โดยเพิ่มที่ละ 500 เกาส์ เหมือนการทดลองก่อนหน้านี้
- จดบันทึกค่า Hall Voltage ที่ได้ สำหรับแนวแกน x

3.2.3 สมบัติทางแม่เหล็กของ Hall Device(เมื่อมีวงจรขยาย)

- เตรียมอุปกรณ์โดยจะเพิ่มจากการวัดสนามแม่เหล็กเดิมโดยการต่อวงจรขยายเข้ากับอุปกรณ์ฮอลล์ด้วย ซึ่งจะนำตัวทดลองอุปกรณ์ฮอลล์เข้าไปใน Electromagnet โดยใช้ขาตั้งจับตัวทดลอง โดยตอนแรกจะ ทำการวัดในแนวแกน z คือจะให้สนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากกับตัวอุปกรณ์ฮอลล์
- ตั้งค่าแหล่งจ่ายกระแสให้คงที่ที่ 1mA และ 5mA ตามลำดับ
- ทำการปล่อยสนามแม่เหล็กคงที่ที่ 0-5000 เกาส์ โดยเพิ่มทีละ 500 เกาส์
- จดบันทึกค่า Hall Voltage ที่ได้ สำหรับแนวแกน z
- ทำการทดลองอีกครั้ง โดยคราวนี้จะทำการวัดในแนวแกน x คือจะให้สนามแม่เหล็กมีทิศขนานกับตัวอุปกรณ์ฮออล์
- ตั้งค่าแหล่งจ่ายกระแสที่ 1mA และ 5mA แล้วปล่อยสนามแม่เหล็กคงที่ที่ 0-5000เกาส์ โดยเพิ่มที่ละ 500 เกาส์ เหมือนการทดลองก่อนหน้านี้
- จดบันทึกค่า Hall Voltage ที่ได้ สำหรับแนวแกน x

3.3.4 การวัดเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและเครื่องวัดสนามแม่เหล็กฮอลล์

-เมื่อต่อวงจรขยายเข้ากับHall device เพื่อเพิ่มค่าSensitivityแล้ว ในstateที่สามได้ตั้งค่าoffsetไว้ที่2.5 V
-นำผลลัพธ์จากstateที่3ของวงจรขยายไปต่อเข้ากับบอร์ดControllerเพื่อทำการเปลี่ยนค่า Analog to digital
-ทำการตั้งค่าสมการเพื่อเปลี่ยนจากค่า Hall voltage เป็นค่าสนามแม่เหล็กผ่านโปรแกรม Lab-view โดยทำจะทำการวัดเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและเครื่องวัดสนามแม่เหล็กฮอลล์ ซึ่งจะทำการวัดทั้ง2ทิศทาง คือ ทิศตั้งฉากและทิศขนาน นำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟ และคำนวณค่าerrorที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในการทดลองเราต้องการที่จะให้ค่า Sensibility มีค่าดีที่สุด โดยตัวแปรที่จะทำให้ ค่าSensibility มีค่าที่ดีจะมีหลายตัวแปร เช่น กระแสไฟฟ้า พื้นที่ ค่าสภาพการต้านทาน(Resistivity) เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองที่เราปฏิบัตินี้จะเป็นการทดลองเปรียบเทียบค่า Width space ว่าควรมีผลอย่างไรถึงจะ ทำให้ค่า Sensibility ที่ออกมามีค่าดีที่สุด

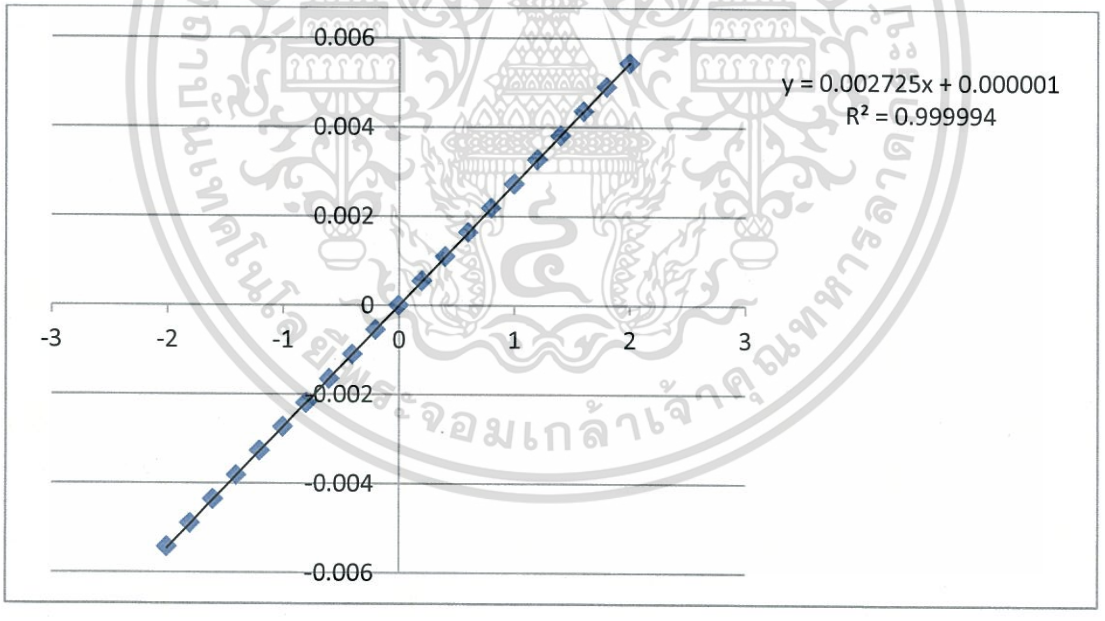
4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ (ความเป็นโอห์มมิค)

กราฟแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า(ความเป็นโอห์มมิก)

Hall Sensor ตัวที่ 2

โครงสร้างที่ 3

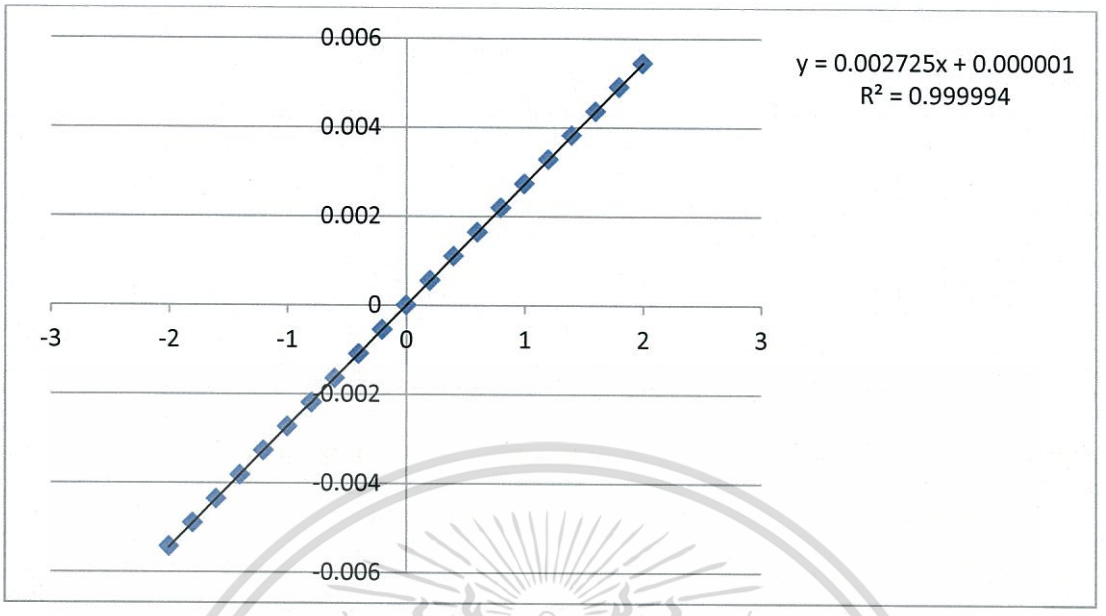
R1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 1 และ 2

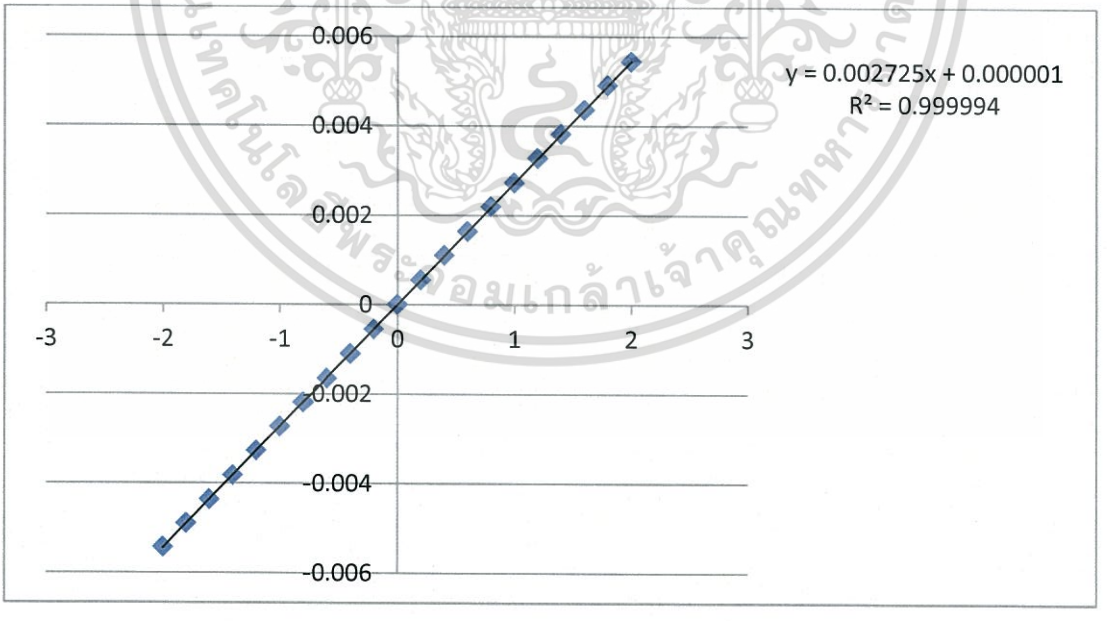
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 2 และ 5

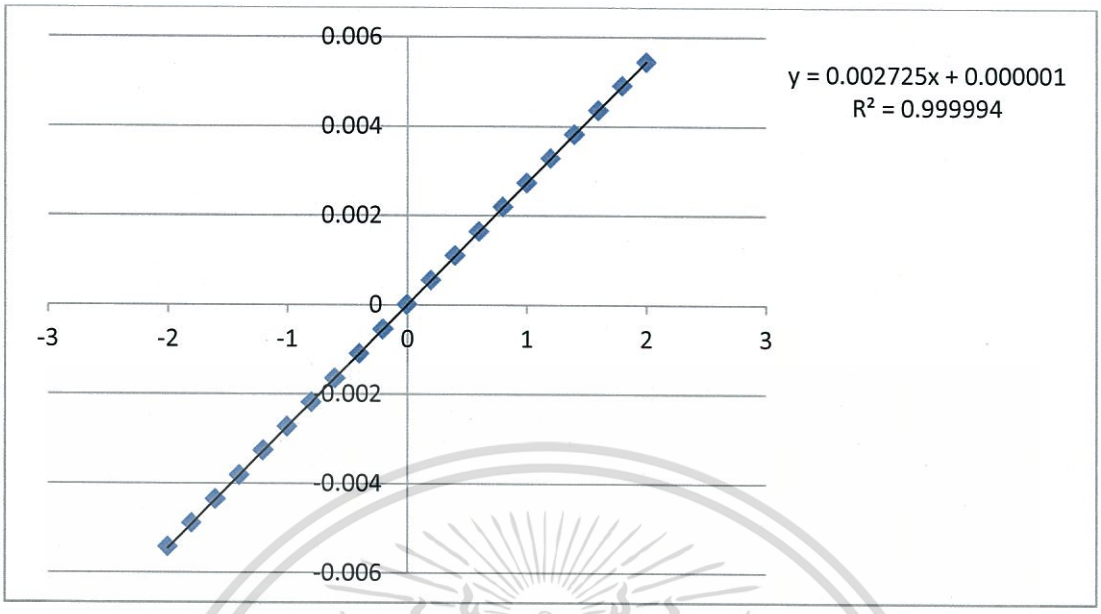
R3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R4

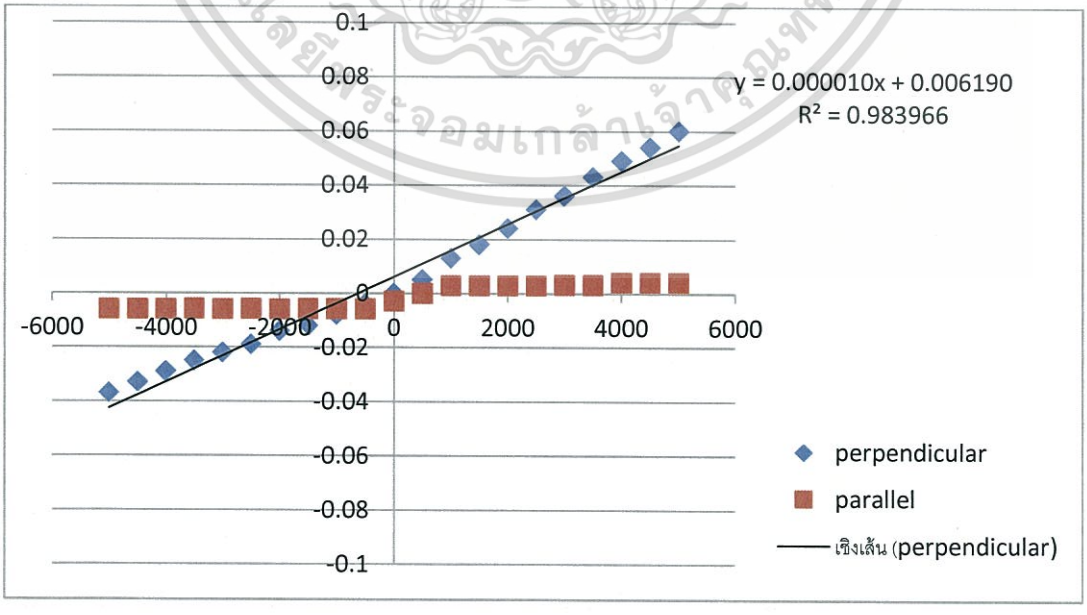


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ เพื่อทดสอบความเป็นโอห์มมิกของฮอลล์เซนเซอร์ ของโครงสร้างที่ 3 ระหว่างขั้วที่ 1 และ 5

4.2 ผลการทดลองเมื่อวัดสนามแม่เหล็กในขณะที่ยังไม่มีวงจรขยาย

Hall Sensor ตัวที่ 2

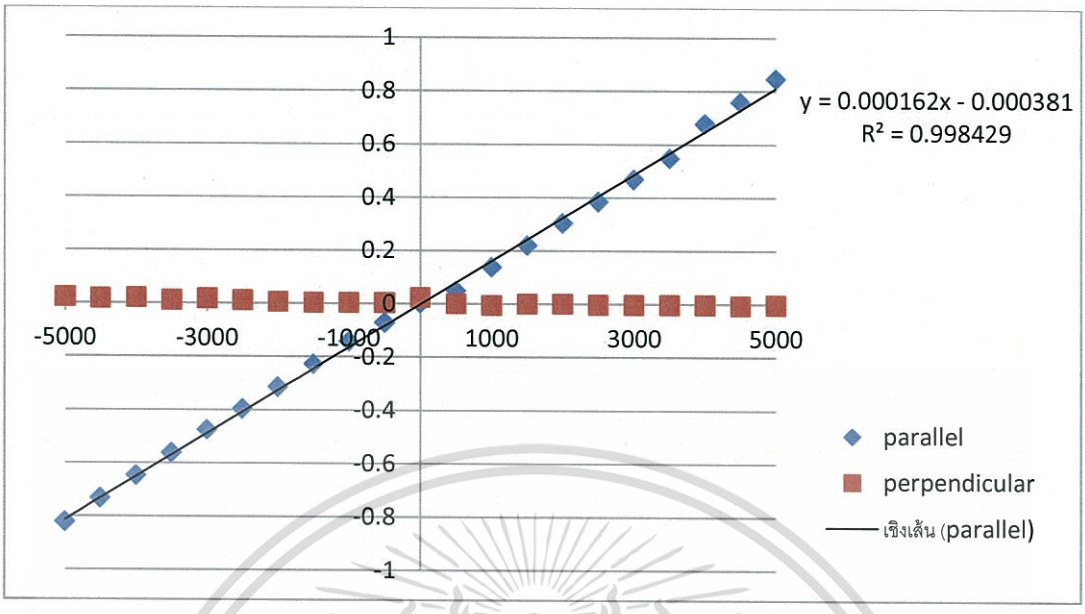
ที่ กระแส=1mA ในทิศตั้งฉาก



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ในขณะที่ไม่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉาก

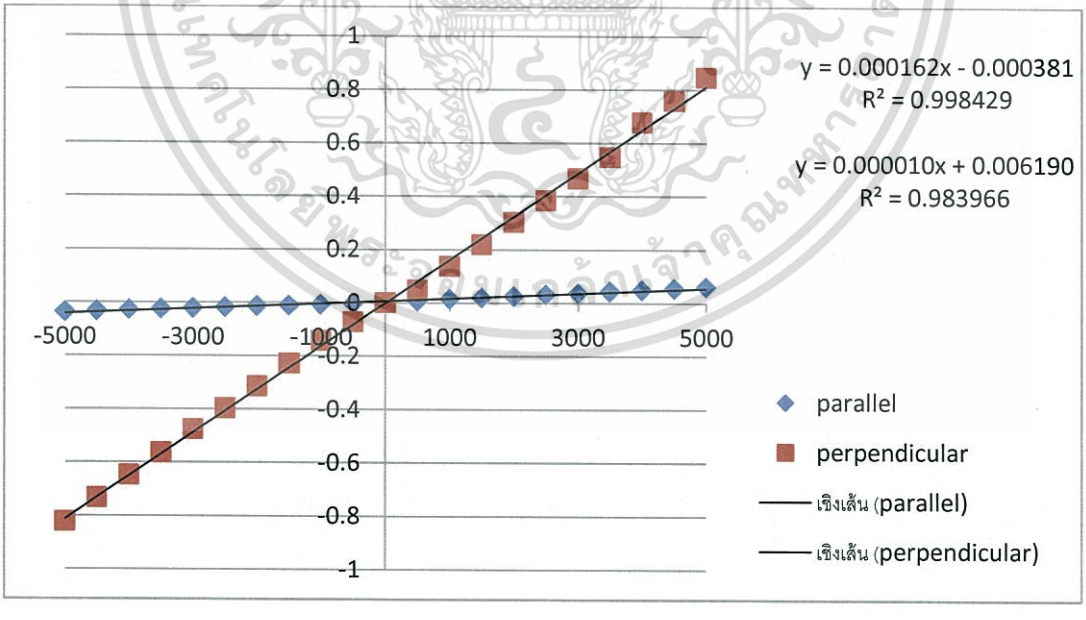
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ กระแส=1mA ในทิศขนาน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ในขณะที่ไม่มีวงจรขยายในทิศขนาน

ที่ กระแส=1mA ในทิศตั้งฉากและทิศขนาน



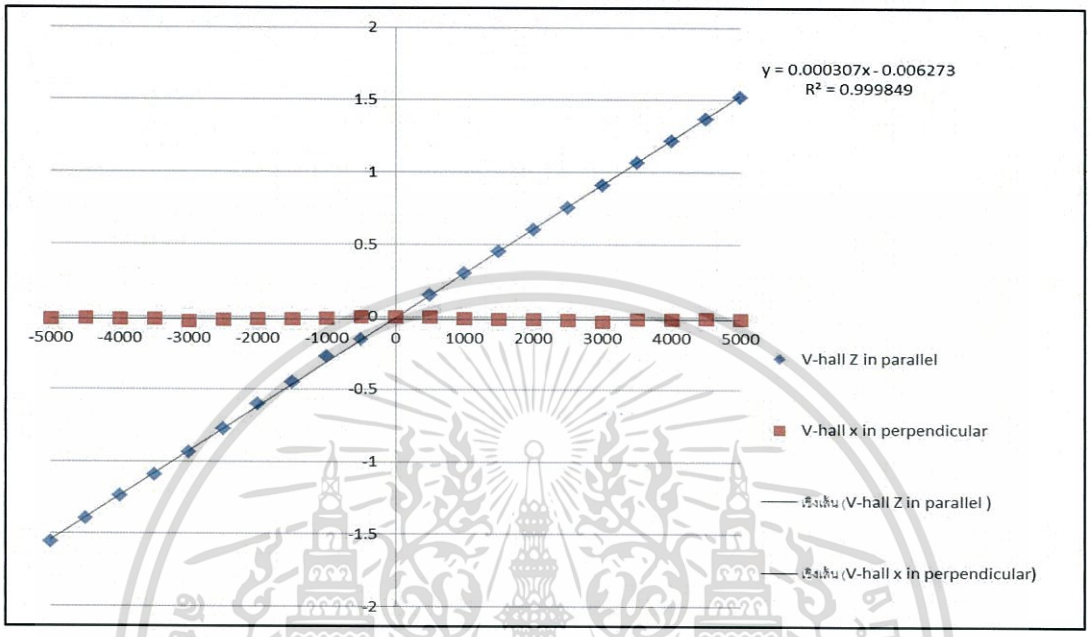
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ในขณะที่ไม่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉากและทิศขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองเมื่อวัดสนามแม่เหล็กขณะที่มีวงจรขยาย

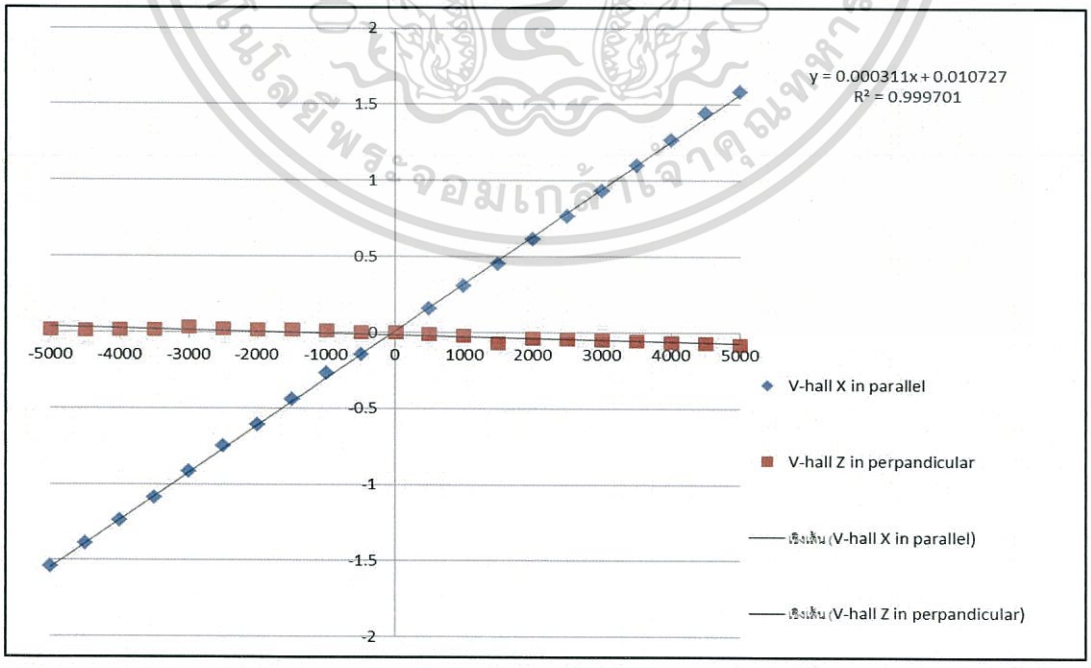
Hall Sensor ตัวที่ 2

ที่ กระแส=1mA ในทิศตั้งฉาก



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ขณะที่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉาก

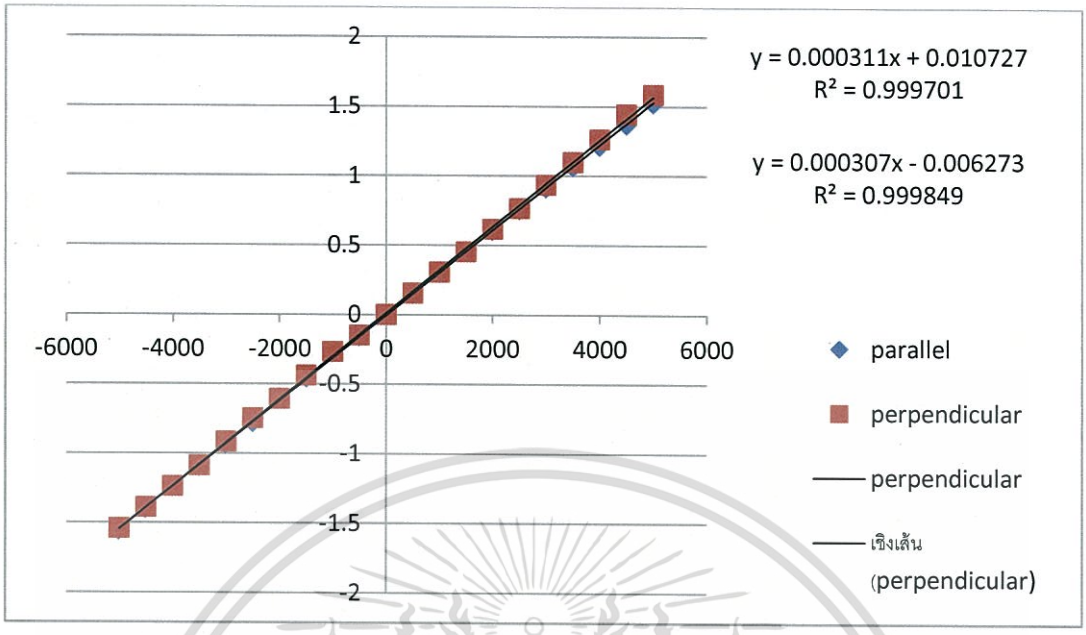
ที่ กระแส=1mA ในทิศขนาน



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ขณะที่มีวงจรขยายในทิศขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

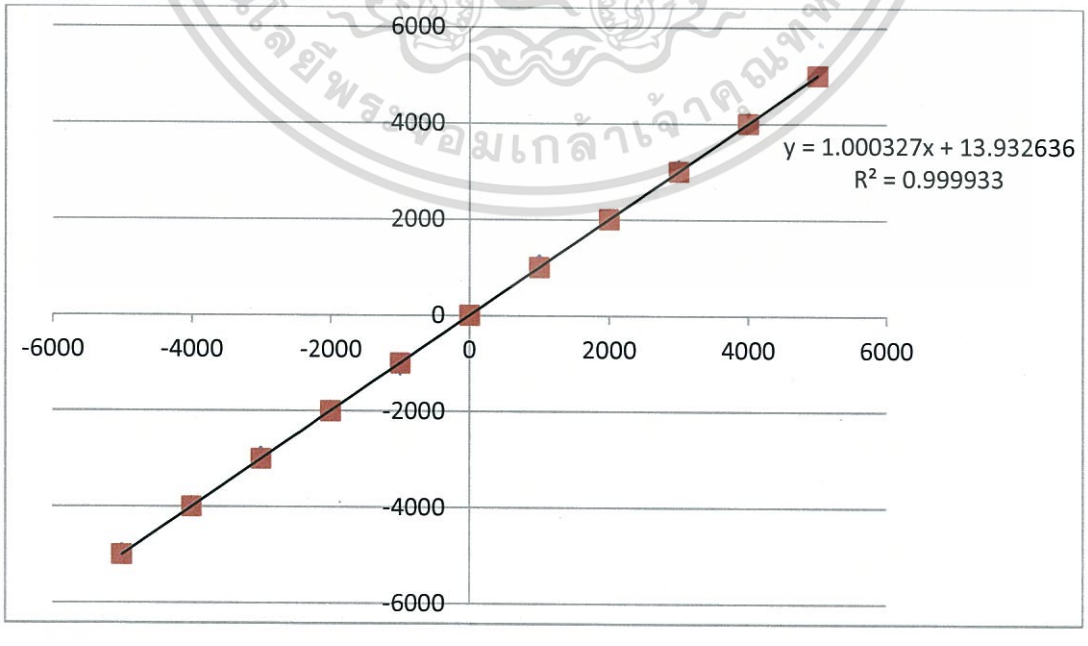
ที่ กระแส=1mA ในทิศตั้งฉากและทิศขนาน



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและความต่างศักย์ฮอลล์ขณะที่มีวงจรขยายในทิศตั้งฉาก และทิศขนาน

4.4 ผลการทดลองวัดสนามแม่เหล็กโดยวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐาน และอุปกรณ์ฮอลล์

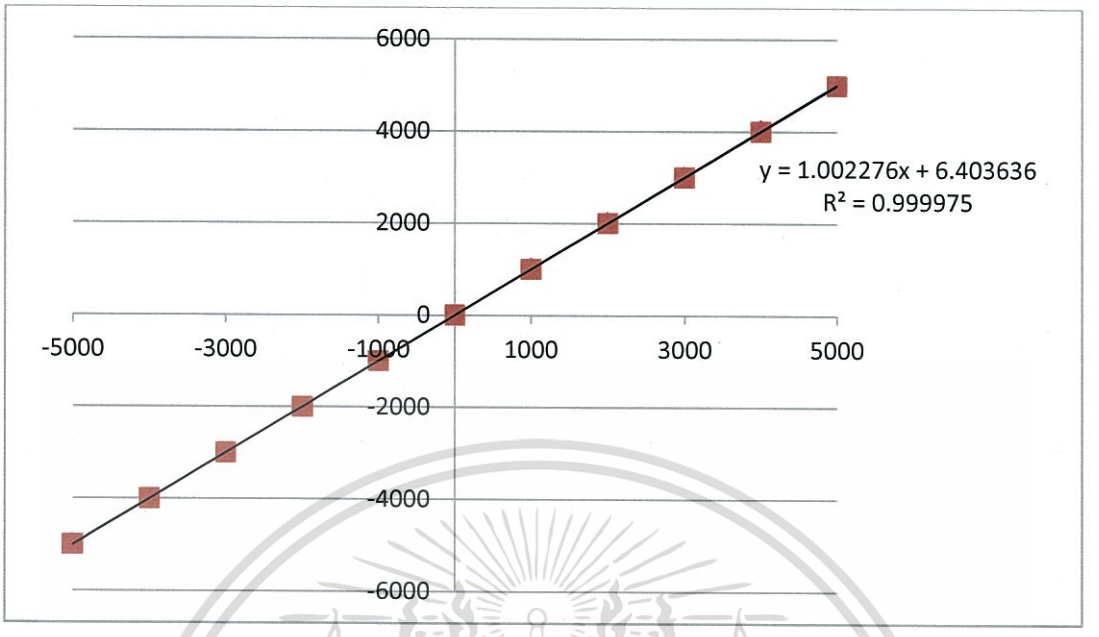
Hall Sensor ตัวที่ 2 ที่ กระแส=1mA ในทิศตั้งฉาก



รูปที่ 4.11 ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและอุปกรณ์ฮอลล์ทิศตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส=1mA ในทิศขนาน



รูปที่ 4.12 ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบมาตรฐานและอุปกรณ์ฮอลล์ทิศขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จุดประสงค์หลักสำหรับรายงานฉบับนี้คือการประยุกต์โดยใช้ Hall Sensor เป็นเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบ 2 ทิศทาง โดยทำการนำ Hall Voltage มาผ่าน signal conditioner เพื่อทำการเพิ่มค่า sensitivity ให้มีค่าสูงขึ้น แล้วนำผลลัพธ์สุดท้ายจาก signal conditioner มาเข้าวงจร Analog to digital converter เพื่อที่จะคำนวณเป็นสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรม Lab - View แก้สมการแรงดันไฟฟ้าฮอลล์

สำหรับแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่เลือกใช้ในระบบวัดเป็นแม่เหล็กถาวร มีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงที่สุดที่ 5000 เกาส์ แล้วค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้เมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานมีค่าไม่เกิน 2 เปอร์เซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Ransdom E. Hall-Effect Sensor Theory and Application. 2 ED. Oxford:Elsevier,Inc2006

[2] Fukuda M. Optical Semiconductor Devices. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999.

[3] สมเกียรติ ศุภเดช. เซมิคอนดัคเตอร์ฟิสิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สจล. 2551.

[4] สมเกียรติ ศุภเดช. เซมิคอนดัคเตอร์ดีไวซ์. พิมพ์ครั้งที่ 3.กรุงเทพมหานคร: สจล. 2549.

[5] เจริญ เพชรมุณี. เรียนลัด LabVIEW.กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น

[6] Richard S.Muller and Theodore I.Kamins.Device Electronics for Intergrated Circuit. New York : John Wiley&Sons, Inc. 1986.

[7] Dieter K.Muller.Semiconductor material and device characterization New York: John Wiley & Sons, Inc. 2007

[8] Sze S.M. and Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ED. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2007

[9] Poppvic R S. Hall Effect Devices. 2rd ED. Bristol and Philadelphia: IOP Publishing, Ltd. 2004

[10] PavelRipka. Magnetic Sensors and Magnetometers. Boston, London :Artech House, Inc. 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้