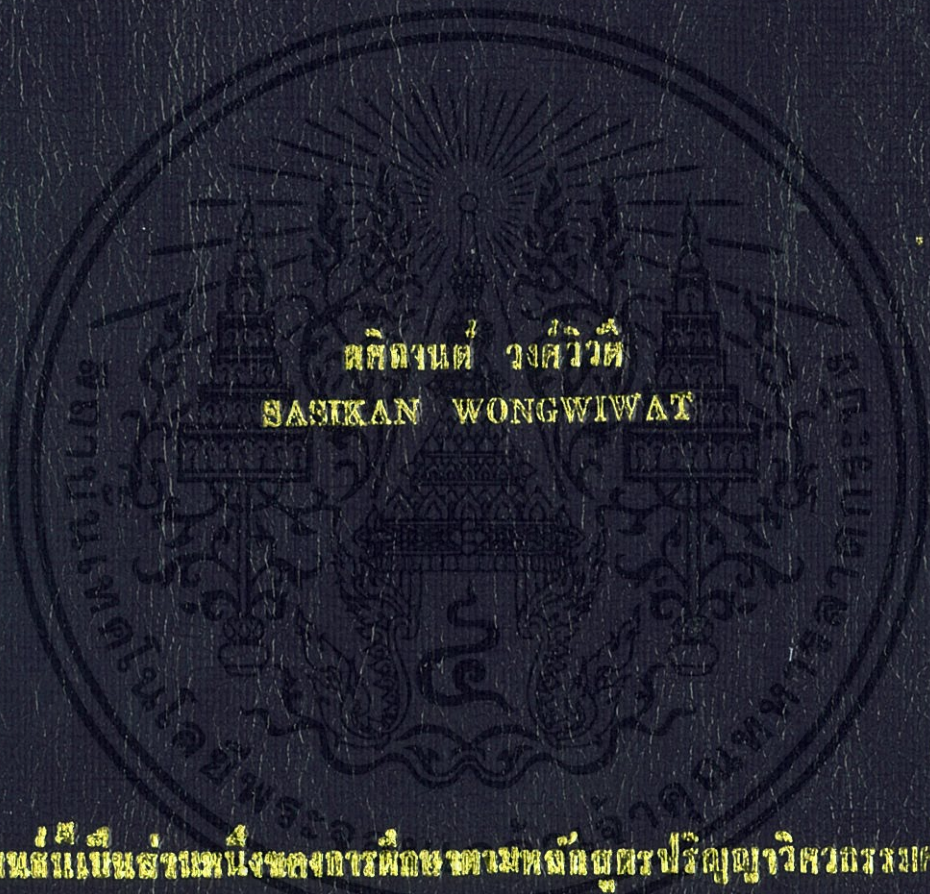


การประยุกต์ใช้อุปกรณ์
HALL DEVICES APPLICATION



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานพัฒนาทางเทคโนโลยีของวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ฮอลล์

HALL DEVICES APPLICATION



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ พ.ศ.2556 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ฮอลล์

HALL DEVICES APPLICATION

ผู้จัดทำ นางสาวศศิกานต์ วงศ์วิวัฒน์ รหัสประจำตัว 53011546

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ.ดร.วิสุทธิ์ จูติรุ่งเรือง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	HALL DEVICES APPLICATION
Student	Miss.Sasikan Wongwiwat Student 53011546
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Wisut Titiroongruang

ABSTRACT

Magnetic flux density measurement system, Hall sensor is used for respond the changes in magnetic flux density. It has characteristic to change from the magnetic flux density to hall voltage. The limitation of hall sensor is dependent on direction of magnetic field, which must be perpendicular to the sensor as sinusoidal function. Therefore, using only one hall sensor can cause an error to magnetic flux density measurement. In this project, the independent directional magnetic field measurement technique is present by using two hall sensors located perpendicular to each other to make two-dimensional measurement and use the relation of the two-dimensional output from both sensors to analyze and calculate magnetic flux density by using trigonometric equation. This technique can reduce the limitation in term of angle that magnetic field interact with hall sensor. And as the result of this project, the range magnetic flux density can be measured 0-1800 gauss. The technique can be useful in microelectronics field for design and build a magnetic flux density sensor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	2
1.5 ขอบเขตของการทดลอง.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก.....	4
2.1.1 แม่เหล็ก.....	4
2.1.2 เส้นแรงแม่เหล็ก.....	4
2.1.3 ฟลักซ์แม่เหล็ก.....	5
2.1.4 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก.....	5
2.1.5 สนามแม่เหล็ก.....	5
2.1.6 หัววัดฮอลล์.....	5
2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์.....	6
2.2.1 ฮอลล์เซนเซอร์.....	8
2.2.2 ผลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่อปรากฏการณ์ฮอลล์.....	12
2.2.3 ความเร็วลอยเลื่อน.....	14
2.2.4 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำ.....	15
2.2.4.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีนซิก.....	15
2.2.4.2 สารกึ่งตัวนำเอ็กทรีนซิก.....	16
2.2.4.3 อะตอมสารเจือ.....	16
2.2.5 การแปลงค่าสนามแม่เหล็กเป็นแรงดันไฟฟ้า.....	19
2.3 หลักการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์.....	22
2.3.1 หัววัดฮอลล์.....	22
2.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับฟังก์ชันตรีโกณมิติ.....	24
2.4.1 ฟังก์ชันตรีโกณมิติ.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ปราบปรามการฉ้อฉลตามฟังก์ชันตรีโกณมิติ.....	26
บทที่ 3 วิธีการออกแบบและพัฒนาการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง.....	28
3.1 การออกแบบระบบการวัดมุมเบื้องต้น.....	28
3.1.1 การออกแบบชุดทดลองการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก.....	28
3.1.2 ส่วนระบบประมวลสัญญาณและการแสดงผล.....	29
3.2 การสร้างระบบการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก.....	30
3.2.1 ระบบประมวลผลสัญญาณ.....	30
3.2.2 ระบบชุดวันค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก.....	30
3.2.3 ส่วนแสดงผลการอ่านค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก.....	31
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์และระบบการวัด.....	31
3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของฮอลล์เซนเซอร์.....	31
3.3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติความไวของฮอลล์เซนเซอร์.....	31
3.3.1.2 การทดสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กถาวรที่เกิดขึ้นกับระยะทาง.....	32
3.3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ขึ้นกับมุมของสนามแม่เหล็กที่กระทำ.....	32
3.3.2 การทดสอบระบบแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC).....	32
3.3.3 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับสมการตรีโกณมิติสำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็ก.....	33
3.3.4 การทดลองหาค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าโดยไม่ขึ้นกับมุมที่ความเข้มสนามแม่เหล็กต่างๆ.....	33
3.3.5 การทดสอบความแม่นยำของวิธีการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ขึ้นกับทิศทาง.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	39
บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นแรงแม่เหล็ก.....	4
2.2 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์.....	6
2.3 แสดงการต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ฮอลล์.....	7
2.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า	9
2.5 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุในสนามแม่เหล็ก.....	9
2.6 จำลองปรากฏการณ์ฮอลล์	10
2.7 แสดงเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในชั้นสารกึ่งตัวนำเมื่อ $d \ll L$ และ $d \gg L$	12
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับเวลา	14
2.9 แสดงสัญลักษณ์ของอะตอมสารเจือชนิดเอ็นและชนิดพี	18
2.10 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี	19
2.11 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	21
2.12 คุณสมบัติหัววัดฮอลล์	22
2.13 วงจรภายในของหัววัดฮอลล์ A1302.....	23
2.14 เอาดัดพุดเมื่อป้อนแรงดันขนาดต่างๆ.....	23
2.15 ความไวเมื่อป้อนแรงดันขนาดต่างๆ.....	23
2.16 ความสัมพันธ์ในระบบพิกัด (x,y) ของวงกลมหนึ่งหน่วย.....	24
2.17 กราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชันไซน์ $y = \sin x$	25
2.18 กราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชันโคไซน์ $y = \cos(x)$	25
2.19 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เมื่อสนามแม่เหล็กกระทำกับฮอลล์ที่มุมต่างๆ.....	26
3.1 ระบบการทดลองวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก	28
3.2 การออกแบบชุดวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่อาศัยทิศทาง.....	29
3.3 ระบบประมวลผล.....	30
3.4 วงจรแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง	33
4.1 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ A และ ฮอลล์ B ในสนามแม่เหล็กที่ 0 เกาส์.....	35
4.2 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 118 เกาส์.....	36
4.3 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 237 เกาส์.....	36
4.4 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 356 เกาส์.....	37
4.5 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 475 เกาส์.....	37
4.6 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 118, 237, 356 และ 475 เกาส์	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภคในด้านความสะดวกสบายต่างๆ จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาต่อยอดอุปกรณ์ขึ้นมามากมายโดยอาศัยปัจจัยต่างๆเช่น ความต้องการของตลาด ต้นทุนในการผลิต ความถูกต้อง กระบวนการผลิตและทดสอบ รวมไปถึงการเลือกใช้คุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนั้นๆมาใช้งาน และคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ค่าความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสนามแม่เหล็กในปัจจุบันมีราคาที่สูงมาก เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น เกาส์มิเตอร์ (Gauss Meter), เครื่องมือวัดความเข้มสนามแม่เหล็กโดยการสั่นสะเทือน (Vibrating Sample Magnetometer), เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กในอากาศ (Airborne Magnetometer) เป็นต้น

อุปกรณ์การวัดโดยทั่วไปมักจะมีเซนเซอร์ (Sensor) เป็นอุปกรณ์หลัก เซนเซอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไป เช่น Chemical Sensor, Biosensor, Magnetic Sensor, Hall Sensor เป็นต้น และในการวัดค่าสนามแม่เหล็กนั้น เซนเซอร์ที่นิยมใช้กันคือ Hall Sensor หรือ หัววัดฮอลล์ โดยได้มีการคิดค้นอุปกรณ์ในการวัดค่าสนามแม่เหล็กให้มีความถูกต้อง แม่นยำและราคาไม่สูงมาก โดยการอ้างอิงถึงทฤษฎีฮอลล์ (Hall Theory) และใช้หัววัดฮอลล์ (Hall Sensor) เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดค่าสนามแม่เหล็ก รวมไปถึงการใช้ ADC ขนาด 24 บิตในการประมวลผล ซึ่งจะสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันได้ในระดับไมโครโวลต์

การตรวจสอบด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) นั้นเป็นเทคนิคการตรวจสอบที่อาศัยหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก โดยทำการสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง โดยวิธีการป้อนสนามแม่เหล็กไปที่ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ แล้วใช้ตัวหัววัดฮอลล์เป็นตัวตรวจสอบและจับค่าความเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

ตามหลักการแล้วฮอลล์เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าฮอลล์นี้ขึ้นอยู่กับมุมของเส้นแรงแม่เหล็กที่กระทำกับตัววัสดุฮอลล์ตามฟังก์ชันไซน์ ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจึงต้องกระทำกับตัววัสดุฮอลล์เป็นมุม 90 องศา จึงจะได้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ถูกต้อง หากตัวฮอลล์เซนเซอร์ไม่ทำมุมตั้งฉากจะทำให้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กผิดพลาดไป

การใช้หัววัดฮอลล์ตัวเดียวในการวัดค่าสนามแม่เหล็ก ผลที่ได้จะมีความแม่นยำต่ำ เนื่องจาก การทำให้แม่เหล็กตั้งฉากกับหัววัดฮอลล์เป็นมุม 90 องศาพอดีนั้น เป็นเรื่องยาก ดังนั้น เราจึงแก้ปัญหานี้ด้วยการใช้หัววัดฮอลล์สองตัวทำมุมตั้งฉากกันเพื่อให้เกิดความแม่นยำที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั้นสามารถนำทฤษฎีของตรีโกณมิติมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางได้ และสามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการสร้างวัสดุในการหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางที่มีความแม่นยำและถูกต้องได้

1.2 วัตถุประสงค์

สำหรับการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยใช้หัววัดฮอลล์ โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับมุมของสนามแม่เหล็กที่กระทำกับหัววัดฮอลล์ ทำให้การจัดวางอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ต้องมีความแม่นยำสูงจึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงอาจเกิดความผิดพลาดได้สูง การทดลองในครั้งที่จึงมีจุดมุ่งหมายในการนำเสนอวิธีการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นทิศทาง โดยอาศัยทฤษฎีของตรีโกณมิติและปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟ็ค เพื่อนำหลักการที่ได้ไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยสามารถที่หาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้ทุกทิศทาง ผลที่ได้จะออกมามีค่าเท่ากันเสมอ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยอาศัยหลักการการทำงานของหัววัดฮอลล์สองตัวที่ให้แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ภายในสนามแม่เหล็กที่กระทำในมุมต่างๆไม่ว่าจะเป็นตามฟังก์ชันไซน์หรือโคไซน์จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์สัมพันธ์กับทฤษฎีตรีโกณมิติ

ในการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเนื่องจากการวางอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่ตั้งกันเป็นมุมฉากจะทำให้ตรวจสอบค่าที่ถูกต้องและแม่นยำได้ยาก เนื่องจากฮอลล์เซนเซอร์ให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับมุมของสนามแม่เหล็กที่กระทำกับฮอลล์เซนเซอร์ ผลของการวางอุปกรณ์คลาดเคลื่อนจะทำให้ค่าที่ได้นั้นผิดพลาด

ซึ่งข้อเสียที่ได้กล่าวมานั้นสามารถแก้ไขได้โดยการสร้างอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่ไม่ขึ้นกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยอาศัยการทำงานของหัววัดฮอลล์สองตัวที่ตั้งฉากกัน ทำการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่สนามแม่เหล็กกระทำในมุมต่างๆ เป็นไปตามฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ และอาศัยฟังก์ชันทางตรีโกณมิติเพื่อหาแรงดันไฟฟ้าฮอลล์สำหรับการหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

1.4 ทฤษฎีเบื้องต้น

ฮอลล์เซนเซอร์ คือ อุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุพาหะโฮล และอิเล็กตรอน ภายในสารกึ่งตัวนำที่ใช้การทำฮอลล์เซนเซอร์ โดยประจุพาหะที่เคลื่อนที่นี้ได้รับอิทธิพลมาจากแรงที่แม่เหล็กกระทำกับพาหะทำให้การลักษณะการเคลื่อนที่ของพาหะเปลี่ยนไป ผลของการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่นี้ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ เกิดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามมุมของเส้นแรงแม่เหล็กที่กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของการทดลองนี้จึงเป็นการคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ขึ้นกับมุมของสนามแม่เหล็ก โดยใช้ฮอลล์เซนเซอร์สองตัววางตั้งฉากกันแล้วอาศัยความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติอธิบายค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์คงที่ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กต่างๆ สำหรับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแบบไม่อาศัยทิศทาง

1.5 ขอบเขตของการทดลอง

โดยทั่วไปแล้วเราจะใช้วิธีการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยการใช้อุปกรณ์หัววัดฮอลล์มาตั้งฉากกัน วิธีนี้ต้องอาศัยความแม่นยำในการติดตั้งอุปกรณ์อย่างมาก วิธีการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่อาศัยทิศทางของสนามแม่เหล็กนั้นเป็นวิธีที่จะช่วยให้สามารถหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ทุกทิศทางจะมีค่าที่เท่ากัน โดยขอบเขตของการทดลองนี้คือการหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับทฤษฎีตรีโกณมิติ เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นกับมุมของเส้นแรงแม่เหล็ก ในการวัดทุกทิศทางมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่เท่ากัน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในโครงการนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลรายละเอียด ทางทฤษฎี ซึ่งจะมีเนื้อหาโดยสังเขปของแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของการทดลอง วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของงานวิจัยและขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีของแม่เหล็ก ปฏิกิริยาการฮอลล์ ทฤษฎีพื้นฐานและเทคนิคการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง และพื้นฐานของตรีโกณมิติที่สัมพันธ์กับทฤษฎีฮอลล์

บทที่ 3 วิธีการทดลองหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแบบไม่อาศัยทิศทาง

บทที่ 4 ผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

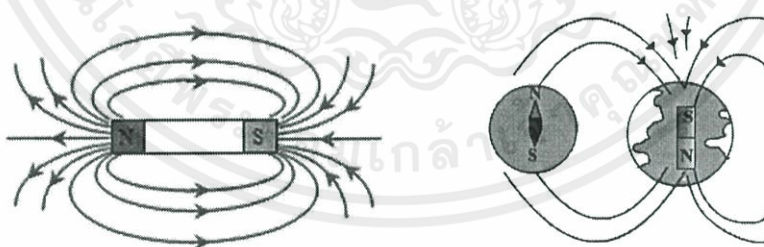
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

2.1.1 แม่เหล็ก หมายถึง สารแม่เหล็กที่มีโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ สามารถมีแรงกระทำต่อสารแม่เหล็กด้วยกันได้ เมื่อแขวนแม่เหล็กอย่างอิสระ ขั้วเหนือของแม่เหล็กจะชี้ทิศเหนือ ขั้วใต้จะชี้ทิศใต้ ทำให้เชื่อว่าโลกมีอำนาจแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็กมีแรงกระทำซึ่งกันและกัน กล่าวคือขั้วต่างกันออกแรงดูดกัน และขั้วเหมือนกันออกแรงผลักกัน

แม่เหล็ก (magnet) เป็นสิ่งที่สามารถดูดวัสดุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ เป็นต้น การที่แม่เหล็กดูดสารบางอย่างได้ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ในบริเวณโดยรอบแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยใช้เข็มทิศ แต่เราไม่สามารถทราบได้ว่ามีค่าเท่าใด นักวิทยาศาสตร์พยายามวัดสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวกและรวดเร็วโดยใช้หัววัดฮอลล์ (Hall sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect)

2.1.2 เส้นแรงแม่เหล็ก หมายถึง เส้นแสดงทิศ ของสนามแม่เหล็กแต่ละจุดที่แผ่ออกมาซึ่งสามารถหาเส้นสนามแม่เหล็กได้โดยการศึกษาจากการเรียงตัวของผงเหล็ก หรือ การวางตัวของเข็มทิศ เส้นสนามแม่เหล็กจะเรียงตัวกันเป็นแนวจากขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่ง โดยที่บริเวณขั้วแม่เหล็กทั้งสองจะมีเส้นสนามแม่เหล็กหนาแน่นมากกว่าที่บริเวณอื่นดังรูปที่ 2.1



รูป 2.1 เส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กมีดังนี้

1. มีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ และมีความหนาแน่นมากบริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็ก ส่วนทิศของเส้นแรงแม่เหล็กโลกจะมีทิศจากขั้วโลกใต้สู่ขั้วโลกเหนือ เพราะแท่งแม่เหล็กโลกมีขั้วเหนืออยู่ทางทิศใต้ และขั้วใต้อยู่ทางทิศเหนือ
2. เส้นแรงแม่เหล็กไม่ตัดกัน แต่จะรวมกันหรือต้านกันออกไป
3. เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเดียวกันเบนออกจากกัน จากขั้วต่างกันเสริมต่อเป็นแนวเดียวกัน

2.1.3 ฟลักซ์แม่เหล็ก หมายถึง ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งจากขั้วหนึ่งไปยังขั้วหนึ่ง ของแท่งแม่เหล็ก

2.1.4 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก หมายถึง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วย พื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์

2.1.5 สนามแม่เหล็ก หมายถึง บริเวณที่แม่เหล็กสามารถส่งอำนาจหรือแรงแม่เหล็กไปถึง หรือ บริเวณที่มีแรงทางแม่เหล็กกระทำบนอนุภาคหรือประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณนั้น เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร (Wb/m^2) หรือ เทสลา (T) แรงกระทำนี้เรียกว่า แรงลอเรนซ์ สนามแม่เหล็กสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1.5.1 เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ สนามแม่เหล็กโลกคลื่นรังสีจากแสงอาทิตย์ คลื่นฟ้าผ่า คลื่นรังสีแกมมา เป็นต้น

2.1.5.2 เกิดขึ้นจากการสร้างของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบจงใจ หมายถึง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จงใจสร้างให้เกิดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ เช่น ให้สามารถส่งไปได้ในระยะไกลๆด้วยการส่งสัญญาณของระบบสื่อสารสัญญาณเรดาร์ คลื่นโทรศัพท์ คลื่นโทรทัศน์และคลื่นวิทยุ และการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อน เป็นต้น

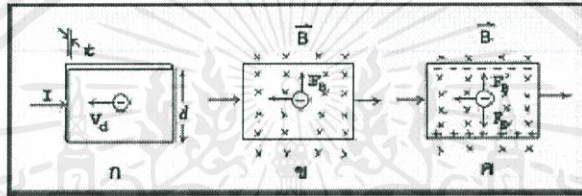
2. แบบไม่จงใจ หมายถึง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ โดยไม่ได้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเช่น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (สายส่งไฟฟ้า) รวมถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.6 หัววัดฮอลล์ (Hall sensor) เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อนำหัววัดฮอลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมจำนวนหนึ่ง เราสามารถนำแรงดันที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

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



รูปที่ 2.2 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้โดยใช้รูปที่ 2.2 ก-ค ดังนี้

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

รูปที่ 2.2 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูป 2.2 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ (V) ดังสมการที่ (2.1)

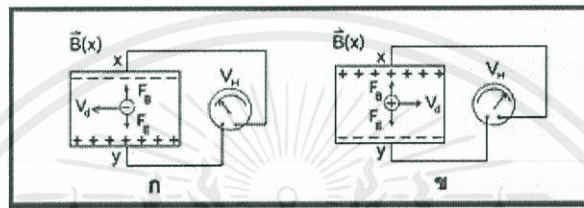
$$E_H = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall potential difference หรือ Hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก

จากสมการที่ (2.1) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.3 แสดงการต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ฮอลล์

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูปที่ 2.3 ก สภาพชั่วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จากมิลลิโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 2.3 ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูปที่ 2.3 ก แต่ทิศของ F_B และ F_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพชั่วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

$$(-e) E_H = (-e) V_d B \quad (2.3)$$

$$E_H = V_d B \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.2) จะได้

$$V_H = E_H d \quad (2.5)$$

$$V_H = V_d B d \quad (2.6)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n คือ จำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตรหรือความหนาแน่นของพาหะประจุ
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

แทนสมการที่ (2.7) ลงในสมการที่ (2.6) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \quad (2.8)$$

เนื่องจาก t คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (2.9)$$

สมการที่ (2.9) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = netl^{-1} V_H \quad (2.10)$$

ปริมาณ V_H และ t ในสมการที่ (2.10) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า n $10^{22}m^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า n $10^{28}m^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการที่ (2.10) ได้

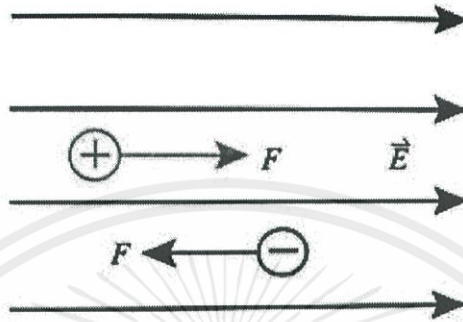
2.2.1 ฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensor)

จากปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์นี้จึงนำมาใช้ทำฮอลล์เซนเซอร์ใช้ในการแปลงค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งค่าจากสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จะมากหรือน้อยจะขึ้นกับผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

หลักการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์ สามารถวัดค่ากระแสโดยการวัดคล่องสายของกระแสที่ไหล และให้อาต์พุตออกมาเป็นแรงดันฮอลล์มีมากมายหลายรุ่น รุ่นที่ให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับรูปแบบสัญญาณจริงก็มีให้เลือก แต่ฮอลล์ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเครื่องมือวัดสำหรับความแม่นยำสูง สามารถวัดสัญญาณที่มีกระแสตรง (DC) และ Harmonics ปะปนมากได้ หรือกระแสมีความซับซ้อนของสัญญาณปะปนสูง เหมาะสำหรับการต้องวัดเพื่อวิเคราะห์หา Harmonics ต่างๆ การเลือกใช้ต้องระวังแบนด์วิดท์ (bandwidth) ด้วยเพื่อให้เข้าใจปรากฏการณ์ฮอลล์ยิ่งขึ้น เราจำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักการเคลื่อนที่ของประจุเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อประจุอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของสนามไฟฟ้า ประจุบวกจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น ส่วนประจุลบจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ทำให้เกิดแรงดันค่าหนึ่งขึ้นระหว่างสองจุด



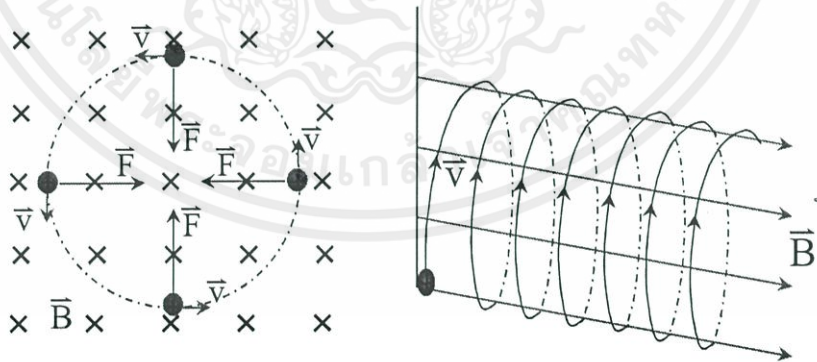
รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า

แรงที่เกิดจากสนามไฟฟ้าคือ

$$F_E = Q_0 E$$

(2.11)

ในกรณีที่เมื่อป้อนสนามแม่เหล็กเข้าไปอีก จะมีแรงซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็กไปกระทำต่อประจุทำให้ประจุเกิดการเบี่ยงเบนไปจากทิศทางการเคลื่อนที่เดิม โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 หากเป็นประจุที่ต่างกัน การเคลื่อนที่ก็จะมีทิศตรงข้ามกันด้วย

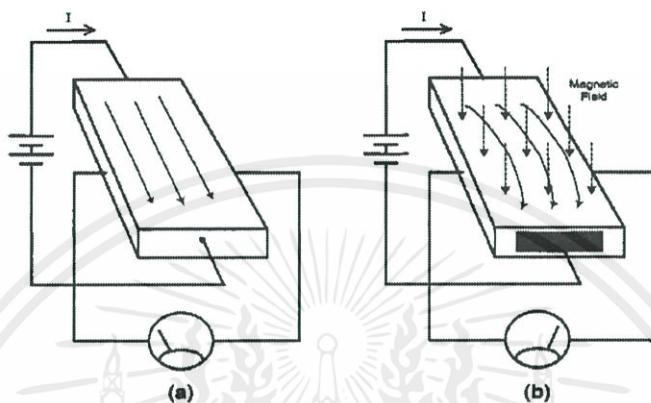


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุในสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กคือ

$$F_B = Q_0(v \times B) \tag{2.12}$$



รูปที่ 2.6 จำลองปรากฏการณ์ฮอลล์

ซึ่งผลรวมของแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนโดยสนามแม่เหล็กและไฟฟ้านั้นเรียกอีกอย่างว่า แรงลอเรนซ์ (Lorentz force) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$F = Q_0E + Q_0(v \times B) \tag{2.13}$$

โดยที่

- F คือ ผลรวมของแรง
- E คือ สนามไฟฟ้า
- v คือ ความเร็วของประจุ
- B คือ ค่าสนามแม่เหล็ก
- Q_0 คือ ค่าของประจุอิเล็กตรอน

จากสมการแสดงให้เห็นว่าแรงที่ได้นั้นเกิดจาก 2 แหล่ง คือ การตอบสนองของประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า และการเคลื่อนที่เมื่อประจุอยู่ในสนามแม่เหล็ก

จากสมการที่ (2.13) สามารถหาความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าได้ดังนี้

$$E_H = v \times B \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ E_H คือสนามไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดขึ้นกับตัวนำ หมายความว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์นั้น เป็นฟังก์ชันของความเร็วประจุพาหะกับความเข้มสนามแม่เหล็ก สำหรับแผ่นตัวนำที่มีความกว้างของหน้าสัมผัส w สนามไฟฟ้าฮอลล์จะเป็นผลรวมของความกว้างทั้งหมด จึงสามารถเขียนสมการสำหรับแรงดันฮอลล์ได้ดังนี้

$$V_H = w(v \times B) \quad (2.15)$$

หรือ
$$V_H = w(v \cdot B \sin\theta) \quad (2.16)$$

ในเมื่อทราบความหนาแน่นของประจุพาหะ เราสามารถประมาณความเร็วเฉลี่ยพาหะซึ่งเป็นพื้นฐานของกระแสไฟฟ้าได้ หน่วยของกระแสคือ แอมแปร์ (A) เมื่อพิจารณากรณีของวัสดุตัวนำ กับพื้นที่หน้าตัด A ความเร็วประจุพาหะจะเป็นสัดส่วนกับกระแส เนื่องจากเมื่อกระแสมากขึ้นก็จะผลักให้ประจุเคลื่อนผ่านพื้นที่หน้าตัดเร็วขึ้นด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าความหนาแน่นของประจุพาหะเปรียบเสมือนค่าคงที่ และมีพฤติกรรมคล้ายของไหล ความเร็วจะแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด หากพื้นที่หน้าตัดมีขนาดใหญ่ ความเร็วก็จะลดลง ความเร็วเฉลี่ยของประจุสามารถหาได้จาก

$$V = \frac{I}{(Q_0 NA)} \quad (2.17)$$

โดยที่

- V คือ ความเร็ว (ซัวโมง/วินาที)
- I คือ กระแสไฟฟ้า (A)
- Q_0 คือ ประจุของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} C)
- N คือ ความหนาแน่นของพาหะ (จำนวนประจุ/cm³)
- A คือ พื้นที่หน้าตัด (cm²)

จากการรวมสมการที่ (2.16) และ สมการที่ (2.17) เราจะได้มาซึ่งสมการที่อธิบายถึงความไวของหัววัดฮอลล์ ซึ่งอยู่ในความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัด กระแสและความหนาแน่นประจุพาหะดังนี้

$$V_H = \frac{IB}{Q_0 ND} \quad (2.18)$$

โดยที่

- D คือ ความหนาของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.18) ทำให้ทราบว่าแรงที่กระทำกับประจุพาหะนั้นเป็นสัดส่วนกับมุมของสนามแม่เหล็กที่กระทำกับหัววัดฮอลล์ด้วย ดังนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนมุมจะได้สมการสำหรับแรงดันดังนี้

$$V = K \sin\theta \quad (2.19)$$

โดยที่

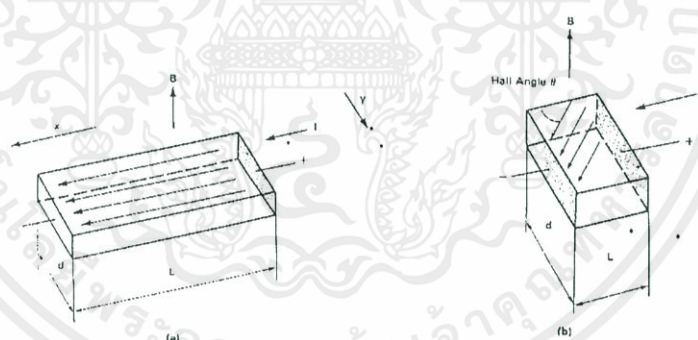
K คือ แรงดันฮอลล์

2.2.2 ผลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่อปรากฏการณ์ฮอลล์

สนามไฟฟ้าฮอลล์เกิดขึ้นเมื่อมีฟลักซ์ (flux) มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลโดยตรงกับมุมในการเคลื่อนที่ของพาหะซึ่งก็คือโฮล (hole)

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_x/V_y}{\mu B} \right) = \tan^{-1}(\mu B) \quad (2.20)$$

มุม θ เรียกว่า มุมฮอลล์ (Hall angle) เมื่อ V_x และ V_y เป็นองค์ประกอบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโฮล ในแกน x และแกน y โดยพิจารณาตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในชิ้นสารกึ่งตัวนำ
เมื่อ (a) $d \ll L$ และ (b) $d \gg L$

การสะสมของโฮลที่ด้านที่ 3 ของชิ้นสารกึ่งตัวนำนั้นจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าฮอลล์ขึ้นมา และสนามไฟฟ้าฮอลล์นี้จะเป็นตัวชดเชยแรงลอเรนซ์และหยุดการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสทำให้มีตัวต้านข้างของชิ้นสารกึ่งตัวนำสร้างแรงดันฮอลล์ได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 จะสังเกตได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะนั้นจะขึ้นอยู่กับมิติรูปร่างของชั้นสารกึ่งตัวนำ จากรูปที่ 2.7 (a) $L \gg d$ ถ้านำชั้นสารกึ่งตัวนำขึ้นไปวางในที่ๆมีสนามแม่เหล็กผ่านชั้นสารกึ่งตัวนำชั้นนี้ก็จะสร้างแรงดันฮอลล์ได้ เพราะการเคลื่อนที่ของโฮลจะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสและเนื่องจากชั้นสารกึ่งตัวนำมีความยาวมากพอที่จะทำให้โฮลเคลื่อนที่เพียงเบนไปทางผิวด้านข้างของชั้นสารกึ่งตัวนำได้ ในทำนองเดียวกันจากรูปที่ 2.7 (b) เมื่อ $d \ll L$ พาหะโฮลจะเคลื่อนที่ภายใต้มุมฮอลล์และมาถึงด้านที่เป็นขั้วลบก่อนโดยที่พาหะโฮลจะไม่สามารถไปที่ด้านผิวด้านข้างของชั้นสารกึ่งตัวนำได้ ในสภาวะเช่นนี้ ชั้นสารกึ่งตัวนำชั้นนี้จะไม่สามารถสร้างแรงดัน Hall voltage ได้เลย ระยะทางที่พาหะโฮลเดินทางจากด้านที่เป็นขั้วบวกไปยังด้านที่เป็นขั้วลบเท่ากับ

$$L_H = L(1 + \tan^2 \theta)^{1/2} \quad (2.21)$$

และองค์ประกอบความเร็วในทิศทางของสนามไฟฟ้าจะลดลงเนื่องจากองค์ประกอบของแรงลอเรนซ์ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วของอิเล็กตรอน (electron) ที่วิ่งจากขั้วลบไปยังขั้วบวกของชั้นสารกึ่งตัวนำ ถ้าสมมติให้สนามที่เกิดจากฮอลล์เป็นศูนย์ (zero hall voltage) จะได้ว่า

$$V = \mu (F + V \times B) \quad (2.22)$$

โดยที่

μ คือ low field mobility

$$V_x = \mu(F_x + V_y B) \quad (2.23)$$

$$V_y = -\mu V_x B \quad (2.24)$$

เพราะ $F_y = 0$ จึงแทนสมการที่ (2.23) ในสมการที่ (2.24) ได้

$$V_x = \frac{[\mu F_x]}{[1 + \mu^2 B^2]} \quad (2.25)$$

สมการที่ (2.25) หมายความว่า ค่า effective low field mobility ของชั้นสารกึ่งตัวนำที่ $L/d \ll 1$ ที่วางในสนามแม่เหล็ก B จะเท่ากับ

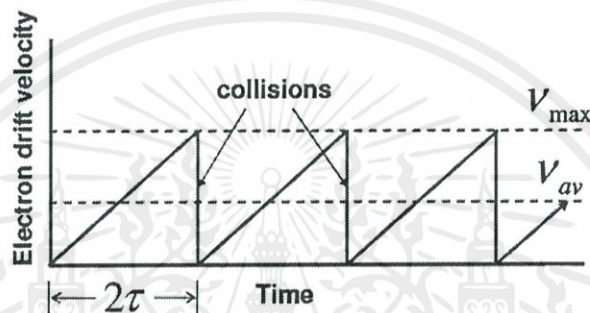
$$\mu_B = \frac{\mu}{[1 + \mu^2 B^2]} \quad (2.26)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้คือความสามารถในการเคลื่อนที่ของโฮล ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ความเร็วลอยเลื่อน (Drift velocity, V_d)

จากรูปที่ 2.8 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับเวลา อธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นจากอิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่งไปในโครงสร้าง ความเร็วจะเพิ่มขึ้นด้วยความเร่งคงที่จนเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 2τ จะเกิดการชนกัน (collision) ของอิเล็กตรอน ทำให้ความเร็วเปลี่ยนจากค่าความเร็วสูงสุด (V_{max}) กลายเป็นศูนย์ จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ต่อด้วยความเร่งคงที่ที่จะกระแทกเกิดการชนกันอีกครั้ง วนอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ค่าความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน (V_{av}) จะมีค่าเท่ากับ $V_{MAX}/2$ และค่าเฉลี่ยของเวลาที่เกิดการชนเท่ากับ 2τ เมื่อ τ คือ relaxation time



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนกับเวลา

ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนนี้เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ความเร็วลอยเลื่อน (V_d) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ของอิเล็กตรอน (μ , หน่วย $m^2/V.s$) และค่าสนามไฟฟ้า (E , หน่วย V/m) ดังสมการ

$$V_d = \mu E \quad (2.27)$$

ค่าความนำทางไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับจำนวนของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระ ประจุไฟฟ้าของพาหะแต่ละตัวคือ q มีค่า 1.6×10^{-19} คูโลมน์ และยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะซึ่งเรียกว่า mobility (ความคล่องตัว, σ) ดังนั้นค่าความนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำแสดงได้โดยสมการ

$$\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p) \quad (2.28)$$

โดยที่

m_n คือ ค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอน

m_p คือ ค่าความคล่องตัวของโฮล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความคล่องตัวของพาหะทั้งสองภายในผลึกสารกึ่งตัวนำจะขึ้นอยู่กับจำนวนของอะตอม สารเจือที่มีอยู่เพราะอะตอมสารเจือแต่ละอะตอมในแลททิซจะทำให้ลักษณะโครงสร้างของผลึกผิดเพี้ยนไปจากเดิม ผลของอุณหภูมิต่อความต้านทาน ได้แก่ ตัวนำโลหะบริสุทธิ์ เช่น เงิน ทองแดง แพลทินัม ความต้านทานแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน, K) นำความรู้นี้ไปสร้างเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดความต้านทาน ตัวนำที่เป็นโลหะผสม จะมีสภาพต้านทานสูงกว่าตัวนำบริสุทธิ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสภาพต้านทานจะเปลี่ยนไปน้อยมาก จึงนิยมนำโลหะผสมไปสร้างตัวต้านทานมาตรฐาน ในสารกึ่งตัวนำ เช่น เจอร์มาเนียม ซิลิกอน แกรไฟต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าสภาพนำไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อุปกรณ์ประเภท สารกึ่งตัวนำประกอบในวงจรจึงทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

2.2.4 ปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำ (Hall effect in semiconductors)

ในบรรดาวัสดุไฟฟ้า เช่น ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ จะเห็นได้ว่าสารกึ่งตัวนำ เป็นวัสดุที่น่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆแตกต่างจาก ตัวนำ และฉนวน ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆได้เป็นอย่างดี คุณสมบัติดังกล่าวที่เห็นได้ชัดก็คือ ค่าความนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ จะเปลี่ยนแปลงได้โดยง่ายกับอุณหภูมิหรือแสงจากภายนอก และที่สำคัญก็คือ เมื่อมีการเติมอะตอมสารเจือปน ลงไปแม้เพียงเล็กน้อย ค่าความนำ ไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ จะเปลี่ยนแปลงอย่างมากมาย คุณสมบัติเหล่านี้จะมีเฉพาะในสารกึ่งตัวนำ เท่านั้นและมีประโยชน์มากสำหรับการนำ ไปสร้างเป็น “ สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ” (Semiconductor Devices) ใช้ในงานไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ และวงจรรวม ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเรื่องราวต่างๆ ที่เป็นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ทั้งชนิดอินทรินซิก (Intrinsic Semiconductor) และชนิดเอ็กทรินซิก (Extrinsic Semiconductor) โดยมีการวิเคราะห์หาสมการต่างๆซึ่งแสดงคุณสมบัติ พื้นฐานของสารกึ่งตัวนำ

2.2.4.1 สารกึ่งตัวนำอินทรินซิก (Intrinsic semiconductor)

ในสารกึ่งตัวนำชนิดอินทรินซิก เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 0 K พลังงานความร้อนจะทำให้อะตอมสารกึ่งตัวนำ บางอะตอมไอออนเกิดพาหะคู่อิเล็กตรอน-โฮลโดยอิเล็กตรอนวาเลนซ์จะถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปอยู่ที่แถบนำ ไฟฟ้า ถูกเรียกว่าอิเล็กตรอนนำไฟฟ้า(Conduction Electron) และทิ้งให้เกิดโฮล ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกอยู่ที่แถบวาเลนซ์ ทำให้ความหนาแน่นของพาหะนำ ประจุไฟฟ้า คืออิเล็กตรอน (n_0) และโฮล (p_0) มีค่าเท่ากัน และในภาวะสมดุลความร้อน ที่อุณหภูมิคงที่ ความหนาแน่นของพาหะจะมีค่าคงที่และเรียกว่า “ความหนาแน่นอินทรินซิก” (n_i) จำนวนการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ ขนาดความกว้างช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นในสารอินทรินซิกจะได้ว่า

$$n_0 = p_0 = n_i = 2 \left(\frac{2kT\pi}{h^2} \right)^{3/2} (m_n^* \cdot m_p^*)^{3/4} \exp. - \left(\frac{E_g}{2kT} \right) \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาว่า ในสารกึ่งตัวนำ ไตๆ ความหนาแน่นของพาหะที่ระดับพลังงาน E ไตๆ หาได้จากผลคูณของความหนาแน่นสถานะ กับความหนาแน่นของโอกาสที่จะพบพาหะที่ระดับพลังงานนั้นๆ จะทำให้ได้สมการความหนาแน่นของพาหะที่อยู่ในรูปของระดับพลังงานที่สำคัญ คือความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้า

$$n_0 = N_C \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_C}{kT}\right) \quad (2.30)$$

หรือ
$$n_0 = n_i \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_i}{kT}\right) \quad (2.31)$$

และ ความหนาแน่นของโฮลในแถบวาเลนซ์

$$p_0 = N_V \cdot \exp\left(\frac{E_V - E_F}{kT}\right) \quad (2.32)$$

หรือ
$$p_0 = n_i \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_i}{kT}\right) \quad (2.33)$$

2.2.4.2 สารกึ่งตัวนำเอ็กทรินซิค (Extrinsic semiconductor)

ในสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และ โฮลมีค่าน้อย เช่น ในซิลิคอน ที่ 300 K, $n_i \approx 10^{10}$ อนุภาค ต่อ ลบ.ซม. ซึ่งถ้าคำนวณเป็นค่าความนำไฟฟ้าแล้ว จะมีค่าน้อยกว่าวัสดุตัวนำ มาก ดังนั้น สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ จะถูกนำไปใช้งานน้อยมาก และในทางปฏิบัติ เพื่อให้สารกึ่งตัวนำ สามารถถูกนำไปใช้งานได้กว้างขวาง เช่น การนำไปสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์ สารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ กรณีนี้จำเป็นต้องมีการเติม หรือ เจือปน ด้วยอะตอมของธาตุบางธาตุ ลงไปในสารกึ่งตัวนำ บริสุทธิ์ อะตอมของธาตุเจือปนนี้ ถูกเรียกว่า อะตอมสารเจือ (Impurity atoms) เมื่อสารกึ่งตัวนำ บริสุทธิ์ถูกเจือปนด้วยอะตอมของธาตุอื่น สารกึ่งตัวนำ จะมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำ ที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งเราเรียกว่า สารกึ่งตัวนำเอ็กทรินซิค (Extrinsic semiconductor)

ผลของอะตอมสารเจือที่เติมเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ ด้วยสัดส่วนที่น้อยมาก จะทำให้สารกึ่งตัวนำ สามารถนำ ไฟฟ้าได้ดีขึ้นอย่างมาก และยังสามารถควบคุมค่าความนำ ไฟฟ้าได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้น จากการเลือกชนิดของอะตอมสารเจือ จะทำให้สามารถกำหนดชนิดของพาหะที่นำไฟฟ้าได้ด้วย เช่น อะตอมสารเจือชนิดเอ็น (n -Type impurity atoms) จะทำให้สารกึ่งตัวนำ มีอิเล็กตรอนนำ ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และมีความหนาแน่นมากกว่าโฮลมาก ($n \gg p$) สารกึ่งตัวนำ เช่นนี้ถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n -Type Semiconductor) หรือ อะตอมสารเจือชนิดพี จะทำให้สารกึ่งตัวนำ มีโฮล เพิ่มขึ้น และมีความหนาแน่นมากกว่า อิเล็กตรอนมาก ($p \gg n$) สารกึ่งตัวนำ เช่นนี้ถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p -Type Semiconductor) รายละเอียดเรื่องนี้จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.2.4.3 อะตอมสารเจือ (Impurity atoms)

ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ ประเภทธาตุเดี่ยว (Element semiconductor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมสารเจือ หมายถึง อะตอมของธาตุ ในกลุ่มที่ III หรือ กลุ่มที่ V ของตารางพีริออดิกของธาตุ ซึ่งใช้เติมลงไปในผลึกสารกึ่งตัวนำ ด้วยปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่น ราว 1 ใน ล้านของอะตอมสารกึ่งตัวนำ เพื่อให้ได้ชนิดของพาหะเช่น อิเล็กตรอน หรือ โฮล และปริมาณของพาหะตามที่ต้องการ สารกึ่งตัวนำ ที่ถูกเติมอะตอมสารเจือ จะมีค่าความนำ ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การเติมอะตอมสารเจือนี้ถูกเรียกว่า การโด๊ป (Doping) และบางครั้งอะตอมสารเจือถูกเรียกว่า โด๊ปแพน (Dopant) หรือ สารโด๊ป สำหรับอะตอมที่นำมาเป็นสารเจือ ควรจะต้องมีขนาดของอะตอม และคุณสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับอะตอมของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ เพื่อไม่ให้เกิดการเสียหายของโครงสร้างผลึก ของสารกึ่งตัวนำได้ และการเติมอะตอมสารเจืออย่างเข้มข้น อาจจะทำให้โครงสร้างผลึกเสียหายได้

คุณสมบัติของการเติมอะตอมสารเจือ ด้วยปริมาณเพียงเล็กน้อย แล้วทำให้ ความนำ ไฟฟ้าของสารเปลี่ยนแปลงอย่างมากมานี้ เป็นคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งวัสดุตัวนำ ไม่สามารถทำได้ เพราะในโลหะ เช่นทองแดง ซึ่งความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ มีค่าสูงมากอยู่แล้ว จึงเป็นการยากที่จะเพิ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอนขึ้นไปอีก อะตอมสารเจือปริมาณเพียงเล็กน้อย จึงไม่มีผลต่อการนำ ไฟฟ้าของตัวนำ และคุณสมบัติพิเศษนี้เอง ที่ทำให้สารกึ่งตัวนำสามารถนำไปใช้สร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์ อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆได้ เป็นอย่างดี

อะตอมสารเจือ อาจถูกจัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. อะตอมสารเจือชนิดเอ็น (n-Type Impurity atoms) ได้แก่

อะตอมของธาตุที่อยู่ในกลุ่มที่ V ของตารางพีริออดิก ของธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส (P), สารหนู (As), พลวง (Sb), และบิสมัทส์ (Bi) เป็นต้น และที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่ ฟอสฟอรัสอะตอมของธาตุในกลุ่มนี้ จะมีอิเล็กตรอนวาเลนซ์ จำนวน 5 อิเล็กตรอน เมื่อถูกเติมลงไปในผลึกสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมี 4 อิเล็กตรอนวาเลนซ์ การเกาะเกี่ยวกันระหว่างอะตอมสารเจือและอะตอมสารกึ่งตัวนำ จึงทำได้เพียง 4 พันธะ และจะมีอิเล็กตรอน ตัวที่ 5 ของอะตอมสารเจือ เหลืออยู่อิเล็กตรอนดังกล่าวนี้ มีสภาพเกือบเป็นอิสระ และถูกยึดเหนี่ยวจากอะตอมด้วยแรงเพียงเล็กน้อยและที่อุณหภูมิห้อง พลังงานจากความร้อน มีค่ามากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนนี้ หลุดออกจากอะตอมสารเจือ ออกไปเป็นอิเล็กตรอนนำ ไฟฟ้าได้โดยสมบูรณ์ และอยู่ในแถบนำ ไฟฟ้า ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า การไอออไนซ์ (Ionization)ของอะตอมสารเจือ ดังนั้น อะตอมสารเจือซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไป จึงกลายเป็นไอออนบวก (Positive ion) อะตอมสารเจือชนิดนี้ จึงคล้ายกับเป็นอะตอมผู้ให้อิเล็กตรอนนำ ไฟฟ้า ดังนั้นบางครั้งเราจึงเรียกอะตอมสารเจือชนิดนี้ ว่า อะตอมผู้ให้ (Donor atoms) โดยแต่ละอะตอมผู้ให้ จะให้อิเล็กตรอนนำ ไฟฟ้าหนึ่งอิเล็กตรอนโดยไม่มีโฮลเกิดขึ้น ดังนั้น สารกึ่งตัวนำ ที่ถูกเติมด้วยอะตอมผู้ให้ จึงมีปริมาณอิเล็กตรอนมากกว่าโฮล อิเล็กตรอนจึงเป็นพาหะส่วนมาก และเป็นหลักในการนำ ไฟฟ้า ทำให้สารชนิดนี้ถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น (n-Type Semiconductor) ซึ่งค่า ว่า เอ็น (n : Negative Charge) หมายถึง ประจุไฟฟ้าลบนั่นเอง

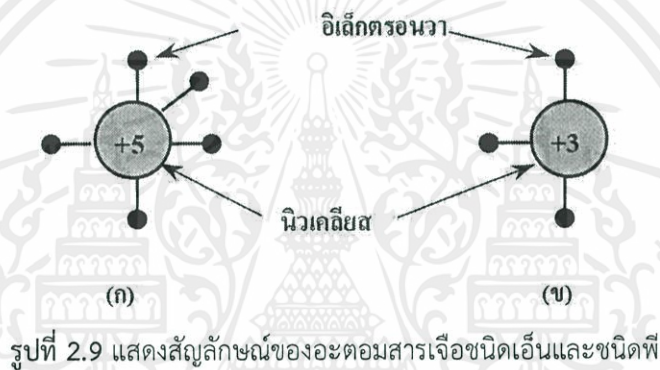
2. อะตอมสารเจือชนิดพี (p - Type Impurity atoms) ได้แก่

อะตอมของธาตุ ที่อยู่ในกลุ่มที่ III ของตารางพีริออดิก ของธาตุ เช่น โบรอน (B), อะลูมิเนียม (Al), อินเดียม (In), และแกลเลียม (Ga) เป็นต้น ที่นิยมใช้งานมาก ได้แก่ โบรอน แต่ละอะตอมของธาตุในกลุ่มนี้มี 3 อิเล็กตรอนวาเลนซ์ เมื่อถูกเติมลงไปในสารกึ่งตัวนำ ที่แต่ละอะตอมจะมี 4 อิเล็กตรอนวาเลนซ์ จะทำให้เกิดเป็น พันธะที่สมบูรณ์ได้เพียง 3 พันธะ อีกหนึ่งพันธะไม่สมบูรณ์ เพราะขาด อีก 1 อิเล็กตรอน หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวได้ว่าเป็นพันธะว่าง คือ มีที่ว่าง 1 ที่ (Vacancy)พันธะที่ว่างดังกล่าวนี้สามารถที่จะรับอิเล็กตรอนได้หนึ่งอิเล็กตรอน อะตอมนี้จึงทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนจากพันธะโควาเลนต์ข้างเคียงเข้ามา เพื่อให้พันธะที่ว่างนี้เป็นพันธะที่สมบูรณ์อิเล็กตรอนที่ออกจากพันธะโควาเลนต์ มายังพันธะที่ว่าง จะทำให้เกิดโฮล ขึ้นในพันธะโควาเลนต์ดังนั้นอะตอมสารเจือ ชนิดนี้ จึงถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อะตอมผู้รับ (Acceptor atoms) และการรับอิเล็กตรอนของอะตอมสารเจือก็คือการไอออนไนซ์ ของอะตอมผู้รับนั่นเอง ซึ่งจะทำให้ได้โฮล และเมื่อไอออนไนซ์แล้ว อะตอมสารเจือจะกลายเป็น ไอออนลบ (Negative ion) ดังนั้นจะเห็นว่าแต่ละอะตอมของสารเจือ ชนิดนี้ ให้โฮล 1 โฮล โดยไม่มีอิเล็กตรอนนำ ไฟฟ้าเกิดขึ้น สารกึ่งตัวนำ ที่ถูกเติมด้วยอะตอมผู้รับ จึงมีโฮลมากกว่าอิเล็กตรอนมาก ($p \gg n$) และถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-Type Semiconductor) เนื่องจากสารกึ่งตัวนำ ชนิดนี้ จะนำ ไฟฟ้าด้วยโฮล ซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าบวก (p : Positive charge) สัญลักษณ์ของอะตอมสารเจือชนิดเอ็นและชนิดพี แสดงได้ดังในรูปที่ 2.9



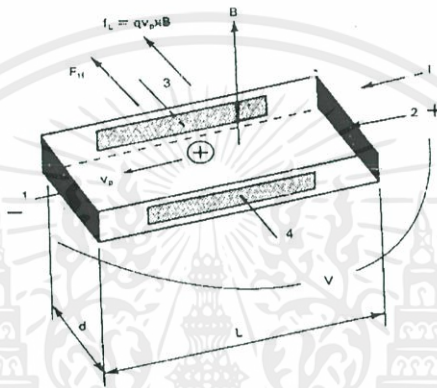
สำหรับสารกึ่งตัวนำ ประเภทสารประกอบ (Compound semiconductor) ในกลุ่ม III-V เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) อะตอมสารเจือชนิดเอ็น ได้แก่ อะตอมของธาตุในกลุ่มที่ VI ของตารางพีริออดิก เช่น ซัลเฟอร์ (S:Sulfur), ซีลีเนียม (Se:Selenium) และเทลลูเรียม (Te:Tellurium) โดยอะตอมเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นอะตอมผู้ให้ โดยเมื่อเติมลงไปในสาร GaAs อะตอมผู้ให้เหล่านี้จะเข้าไปแทนที่ (Substitute)อะตอมกลุ่มที่V ของ As ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนอิสระ หนึ่งอิเล็กตรอนส่วนอะตอมสารเจือชนิดพีได้แก่อะตอมของธาตุในกลุ่มที่II เช่นเบริลเลียม (Be:Beryllium), ซิงค์ (Zn:Zinc) และแคดเมียม (Cd: Cadmium) เมื่อถูกเติมลงไปในสาร GaAs อะตอมเหล่านี้ จะเข้าไปแทนที่อะตอมกลุ่มที่III ของ Ga ทำให้เกิดที่ว่างในพันธะและทำให้เกิดโฮลในที่สุด อะตอมเหล่านี้จึงเป็นอะตอมผู้รับ และที่น่าสนใจมากก็คือ เมื่อสารกึ่งตัวนำ กลุ่ม III-V ถูกเติมด้วยอะตอมซิลิคอนหรือ เยอรมันเนียม ซึ่งเป็นอะตอมในกลุ่มที่ IV อะตอมสารเจือเหล่านี้ สามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การแทนที่ของอะตอมสารเจือ โดยปกติอะตอมซิลิคอน จะแทนที่อะตอม Ga ดังนั้นซิลิคอนจะเป็นสารเจือชนิดเอ็น แต่ถ้าหากมีที่ว่างของอะตอม As เกิดขึ้นมากๆ อะตอมซิลิคอน จะเข้าไปแทนที่อะตอม As กรณีนี้อะตอมซิลิคอน จะเป็นสารเจือชนิดพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การแปลงค่าสนามแม่เหล็กเป็นแรงดันไฟฟ้า

วิธีการแปลงค่าสนามแม่เหล็กมาเป็นแรงดันไฟฟ้านั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น อาจจะใช้ขดลวดเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก ก็จะมีแรงดันเหนี่ยวนำผ่านขดลวดออกมา หรืออาจจะใช้หลักการของฮอลล์เอฟเฟกต์ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

หลักการของฮอลล์เอฟเฟกต์ คือการนำแท่งสารกึ่งตัวนำไปวางไว้ในที่ที่มีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่านแล้วป้อนกระแสไฟฟ้าให้แท่งสารกึ่งตัวนำ ก็จะทำให้ที่บริเวณด้านข้างของแท่งสารกึ่งตัวนำมีแรงดันไฟฟ้าออกมานั้นจึงนำเอาแรงดันนี้ออกมาใช้งาน ซึ่งพิจารณาตามรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี

จากรูปที่ 2.10 คือจะนำแท่งสารกึ่งตัวนำชนิดพีไปวางในที่ที่มีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่าน จากนั้นก็ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับชิ้นสารกึ่งตัวนำ ขั้วบวกของแบตเตอรี่ก็จะผลักให้โฮลเคลื่อนที่จากด้านที่ 2 ไปยังด้านที่ 1 ดังนั้นโฮลจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว

$$V_p = \mu_p F = \frac{(\mu_p V)}{L} \quad (2.34)$$

โดยที่

- F คือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electric field)
- L คือ ความยาวของชิ้นสารกึ่งตัวนำ (length)
- μ_p คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของโฮล (hole mobility)

เมื่อนำแท่งสารกึ่งตัวนำไปวางในที่ที่มีสนามแม่เหล็กวิ่งผ่านและตั้งฉากกับทิศทางกระแสของกระแสในแท่งสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดแรงขึ้นมากจำนวนหนึ่งเรียกว่า แรงลอเรนซ์ แรงนี้จะไปผลักการเคลื่อนที่ของโฮล ทำให้โฮลเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางด้านที่ 3 สนามแม่เหล็กก็จะสร้างแรงจำนวนหนึ่งมีขนาดเป็น $f_L = qV_p \times B$ แรงนี้ก็จะไปผลักให้โฮลเคลื่อนที่ไปอยู่ใกล้ผิวของสารกึ่งตัวนำ ทำให้การเคลื่อนที่ของโฮลเกิดการเบี่ยงเบนไปทางด้านที่ 3 ของชิ้นสารกึ่งตัวนำตามรูปที่ 2.10 โฮลก็จะไปสะสมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่ 3 และทำให้ด้านที่ 3 เต็มไปด้วยประจุบวก (net positive charge) ในทำนองเดียวกันด้านที่ 4 ก็จะไม่มีโฮลเหลืออยู่เลย ทำให้ด้านที่ 4 เหลือแต่อิเล็กตรอน ด้านที่ 4 จึงกลายเป็นประจุลบ (net negative charge) ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ผิวด้านข้างของสารกึ่งตัวนำซึ่งความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านที่ 3 กับด้านที่ 4 นี้ก็จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า F_H (electric field) ซึ่งเกิดขึ้นเพราะแรงลอเรนซ์นั่นเอง

$$F_H = V_p B = \frac{|f_{v}|}{q} \quad (2.35)$$

ในที่นี้เราจะสมมติว่าสนามแม่เหล็กมีค่าน้อย ดังนั้น ($\mu_p B \ll 1$) การที่ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 ของสารกึ่งตัวนำมีประจุต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างผิวของสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า แรงดันฮอลล์ เราสามารถใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้านี้ออกมาได้ ความแตกต่างของแรงดันที่ได้คือ

$$V_H = V_p B d \quad (2.36)$$

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

$$J = q p \mu_p F \quad (2.37)$$

จะได้

$$F_H = \frac{B j}{(q p)} \quad (2.38)$$

Hall voltage, $V_H = F_H d$ ก็จะเท่ากับ

$$V_H = \frac{R B I}{t} \quad (2.39)$$

เมื่อ $I = j t d$ คือ กระแสไฟฟ้า และ t คือความหนาของชิ้นสารกึ่งตัวนำ

$$R = \frac{1}{q p} \quad (2.40)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

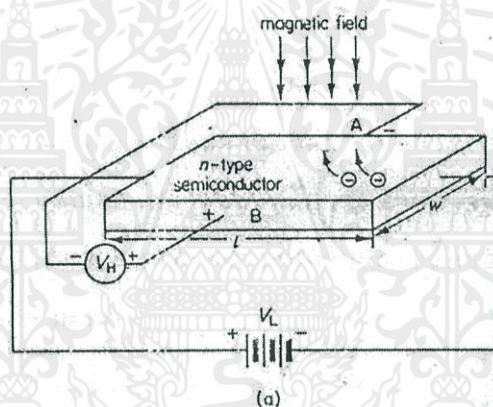
การเคลื่อนที่ของโฮลสามารถหาได้จาก

$$\mu_p = \sigma_p R \quad (2.41)$$

เมื่อ

$$\sigma_p = \frac{j}{F} = qp\mu_p \quad (2.42)$$

ในกรณีที่แท่งสารกึ่งตัวนำเป็นชนิดเอ็น พาหะส่วนมากก็จะเป็นอิเล็กตรอน ขั้วแรงดันของแรงดันฮอลล์ ด้านที่ 3 และด้านที่ 4 ของชิ้นสารกึ่งตัวนำก็จะตรงกันข้ามกับในกรณีที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี



รูปที่ 2.11 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

จากสมการในข้างต้นนั้นเป็นการอธิบายคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฮอลล์เอฟเฟกต์ อย่างไรก็ตามสมการทั้งหมดก็ไม่ถูกต้องนัก เพราะเราสมมุติว่าการเคลื่อนที่ของโฮลในชิ้นสารกึ่งตัวนำนั้นมีความเร็วในการเคลื่อนที่ (v_p) เท่ากันทุกตัว แต่ในความเป็นจริงแล้วการเคลื่อนที่ของโฮลในชิ้นสารกึ่งตัวนำนั้นจะไม่เท่ากันเนื่องจากผลของความร้อนในชิ้นสารกึ่งตัวนำ โฮลบางตัวอาจจะเคลื่อนที่ช้า โฮลบางตัวอาจจะเคลื่อนที่เร็ว เป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบสุ่ม เพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้นจึงต้องปรับปรุงสมการที่ (2.40) และสมการที่ (2.41) เป็น

$$R = \frac{r_H}{qp} \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_H p = \sigma_p R \quad (2.44)$$

เมื่อ r_H เรียกว่า ฮอลล์แฟคเตอร์ (Hall factor)
 μH_p เรียกว่า การเคลื่อนที่ของโฮล (Hall mobility of hole)

$$\mu H_p = r_H \mu_p \quad (2.45)$$

ค่า r_H จะขึ้นกับอุณหภูมิ, การโด๊ป, สนามแม่เหล็ก และแฟคเตอร์อื่นๆของสารกึ่งตัวนำ

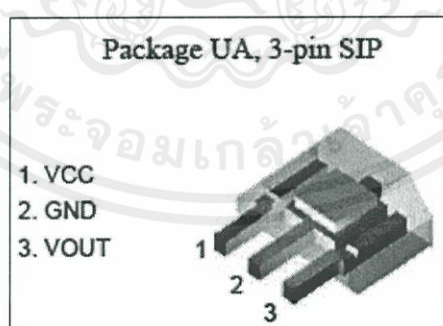
2.3 หลักการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์

Hall Effect Current Sensor สามารถวัดค่ากระแสโดยการวัดค้ำงสายของกระแสที่ไหล และให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันฮอลล์มีมากมายหลายรุ่น รุ่นที่ให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับรูปแบบสัญญาณจริงก็มีให้เลือก แต่ฮอลล์ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเครื่องมือวัดสำหรับความแม่นยำสูง สามารถวัดสัญญาณที่มี DC และฮาร์โมนิกส์ปะปนมากได้ หรือกระแสมีความซับซ้อนของสัญญาณปะปนสูง เหมาะสำหรับการต้องวัดเพื่อวิเคราะห์หาฮาร์โมนิกส์ต่างๆ การเลือกใช้ต้องระวังแบนวิดท์ (ความถี่ใช้งาน) ด้วย

เพื่อให้เข้าใจปรากฏการณ์ฮอลล์ยิ่งขึ้น เราจำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักการเคลื่อนที่ของประจุเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อประจุอิเล็กตรอน

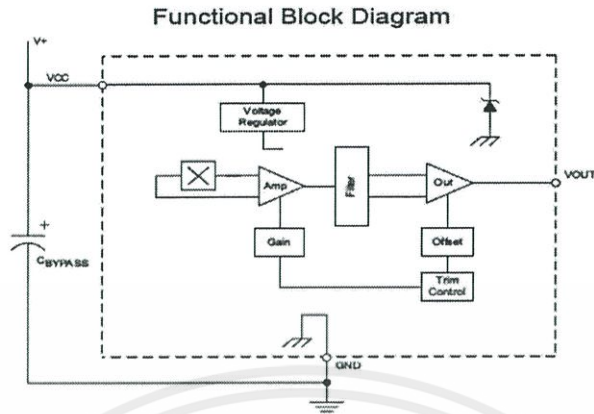
ในกรณีของสนามไฟฟ้า ประจุบวกจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น ส่วนประจุลบจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ทำให้เกิดแรงดันค่าหนึ่งขึ้นระหว่างสองจุด

2.3.1 หัววัดฮอลล์ (Hall Sensor)



รูปที่ 2.12 คุณสมบัติหัววัดฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

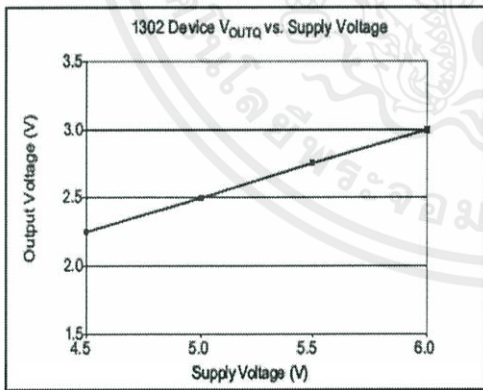


รูปที่ 2.13 วงจรภายในของหัววัดฮอลล์ A1302

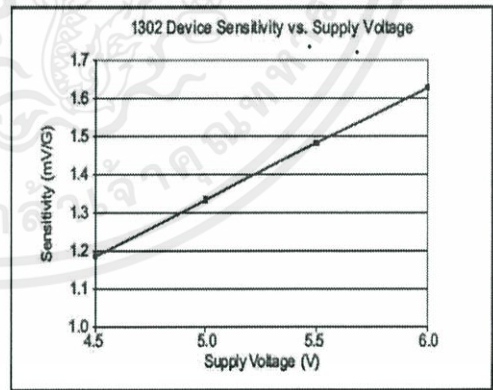
คุณสมบัติของหัววัดฮอลล์เบอร์ A1302

1. สัญญาณรบกวนน้อย (Low noise)
2. ทำงานที่แรงดัน 4.5-6 โวลต์
3. เอาดัดพุดมีความแม่นยำสูง
4. สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C

การทำงานของ Hall sensors A1302 คือ เมื่อจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับขา 1 และต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และขา 3 โดยที่ยังไม่ต้องป้อนสนามแม่เหล็ก แรงดันที่วัดได้จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันที่แหล่งจ่าย (Offset voltage) ความไวของหัววัดอยู่ที่ 1.3 mV/G



รูปที่ 2.14 เอาดัดพุดเมื่อป้อนแรงดันขนาดต่างๆ



รูปที่ 2.15 ความไวเมื่อป้อนแรงดันขนาดต่างๆ

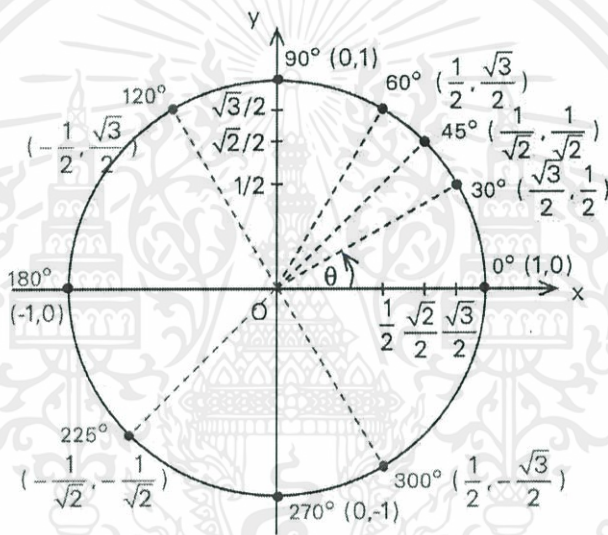
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับฟังก์ชันตรีโกณมิติ

2.4.1 ฟังก์ชันตรีโกณมิติ

สำหรับฟังก์ชันตรีโกณมิติโดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ในระบบพิกัด (x,y) ของวงกลมหนึ่งหน่วย ซึ่งรัศมีของวงกลมมีค่าเป็นหนึ่ง โดยแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของจุดที่อยู่บนวงกลมหนึ่งหน่วยซึ่งมีพิกัดเป็น $(x,y) = (\cos\theta, \sin\theta)$ โดยขึ้นกับมุมจากจุดกำเนิดกระทำกับแกน x สามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (2.46)

$$x^2 + y^2 = 1 \quad (2.46)$$



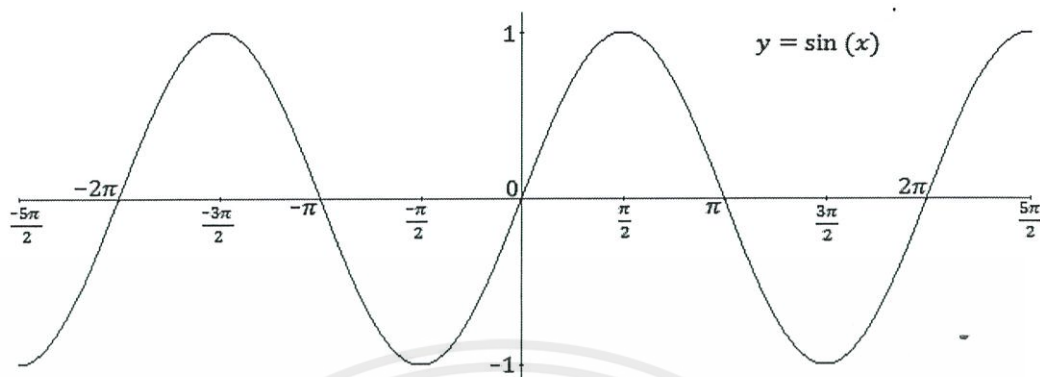
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ในระบบพิกัด (x,y) ของวงกลมหนึ่งหน่วย

ดังนั้นจุดใดๆบนวงกลมหนึ่งหน่วยจะมีพิกัดในแกน y เป็น $\sin\theta$ สามารถเขียนพิกัดจุดบนวงกลมหนึ่งหน่วยสำหรับแนวแกนเป็นฟังก์ชันไซน์ $f(\theta) = \sin\theta$ ที่มุม $0-\pi$

เมื่อทำการเขียนกราฟในระบบพิกัด (x,y) โดยให้แกน x แทนมุมที่กระทำอยู่ในช่วง $(-2\pi, 2\pi)$ แสดงดังรูปที่ 2.15 ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.47)

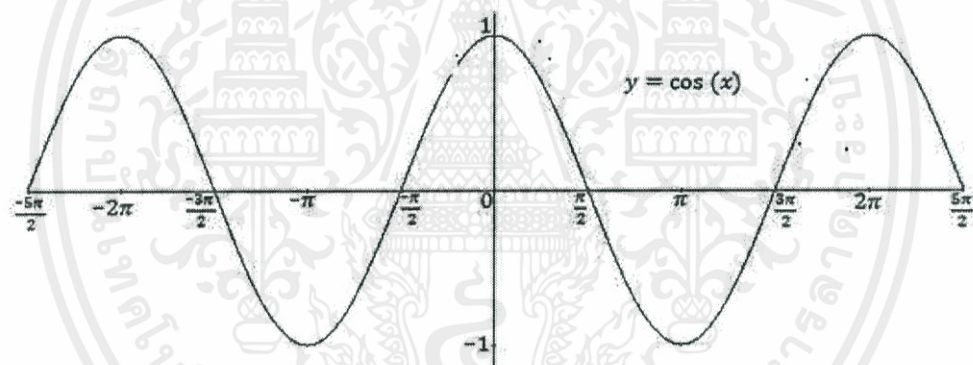
$$y = \sin x \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชันไซน์ $y = \sin x$

สำหรับฟังก์ชันโคไซน์ สามารถพิจารณาการเปลี่ยนตำแหน่งของพิกัดในแนวแกน x รอบวงกลม โดยกราฟความสัมพันธ์ในระบบพิกัด (x,y) ของฟังก์ชันนี้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.18 กราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชันโคไซน์ $y = \cos x$

ซึ่งเป็นไปตามสมการของฟังก์ชันโคไซน์เขียนได้ว่า

$$y = \cos x \quad (2.48)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.47) แทนค่าลงในสมการที่ (2.48) จะได้ว่า

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \quad (2.49)$$

จากรูปที่ 2.17 เห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง $\cos 0$ จะมีค่าเท่ากับ $\sin 90$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันไซน์กับโคไซน์ มีความต่างเฟสกันอยู่ 90° โดยอธิบายความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cos x = \sin (x + 90^\circ) \tag{2.50}$$

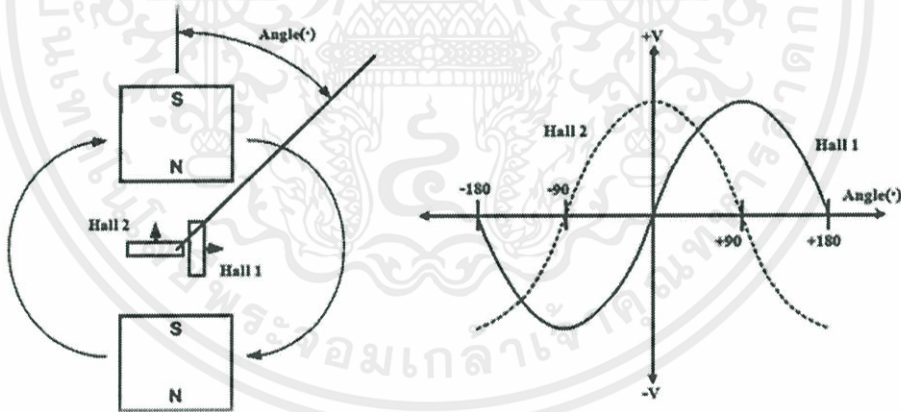
2.4.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ตามฟังก์ชันตรีโกณมิติ

ผลของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อจุดประจุในสารกึ่งตัวนำนั้นปริมาณเวกเตอร์ของแรงที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามมุมที่สนามแม่เหล็กกระทำกับประจุเป็นฟังก์ชันไซน์ เมื่อทดลองการเปลี่ยนตำแหน่งโดยการหมุนสนามแม่เหล็กรอบหัววัดฮอลล์ที่อยู่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของการหมุน ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กที่กระทำกับฮอลล์โนมุมต่างๆพบว่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามฟังก์ชันไซน์ดังสมการที่ (2.51)

$$V_{HI} = k_1 \sin \theta \tag{2.51}$$

โดยที่ ค่า k_1 เป็นค่าคงที่

เมื่อพิจารณาในรูป แสดงการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่เปลี่ยนเป็นมุมของสนามแม่เหล็กที่กระทำในวัสดุฮอลล์ ดังนั้นตำแหน่งแรกคือที่ศูนย์กลาง วัสดุฮอลล์ถูกวางให้ด้านกระทำไว้ที่ตำแหน่งขนานกับเส้นแรงแม่เหล็กนั่นคือ เส้นแรงแม่เหล็กทำมุมศูนย์กลางกับวัสดุฮอลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ได้จึงมีค่าน้อยที่สุด และเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งให้เส้นแรงแม่เหล็ก กระทำเป็นมุมตั้งฉาก (90°) กับวัสดุฮอลล์ ผลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดขึ้นจะได้ค่าสูงสุด



รูปที่ 2.19 รูปการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เมื่อสนามแม่เหล็กกระทำกับฮอลล์ที่มุมต่างๆ

ในกรณีเมื่อนำฮอลล์เซนเซอร์สองตัวมาวางในแนวตั้งฉากในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มเท่ากันมุมของเส้นแรงแม่เหล็กที่กระทำตรงตำแหน่งแรกของฮอลล์เซนเซอร์ต่างกันที่ 90° ดังรูปที่ 2.18

นั่นคือ เส้นแรงแม่เหล็กกระทำในฮอลล์เซนเซอร์ตัวแรกที่มีมุม 90° ส่วนฮอลล์เซนเซอร์ตัวที่สองทำมุม 0° จึงประมาณได้ว่าที่ตำแหน่งแรก ค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เซนเซอร์ตัวหนึ่งเป็นไปตาม

เอกสารนี้เป็นฟังก์ชันไซน์ ดังสมการที่ (2.52) ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{H2} = k_2 \cos \theta \quad (2.52)$$

โดยที่ ค่า k_2 เป็นค่าคงที่ของฮอลล์ตัวที่ 2

จากสมการ ผลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ได้ จะขึ้นกับมุมของเส้นแรงที่แม่เหล็กกระทำกับวัสดุฮอลล์ โดยมีความสอดคล้องกับฟังก์ชันตรีโกณมิติ แต่สำหรับการวัดค่าความเข้มที่สนามแม่เหล็กสามารถที่จะอธิบายในรูปของวงกลมหนึ่งหน่วยได้ตามสมการ ดังนั้นการแก้สมการตรีโกณมิติเพื่อหาค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ความเข้มแม่เหล็กค่าต่างๆ เมื่อ $k_1 = k_2 = k$ จะได้ตามสมการที่ (2.53)

$$\sqrt{(V_{H1})^2 + (V_{H2})^2} = k \quad (2.53)$$

โดยที่ ค่า k เป็นค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

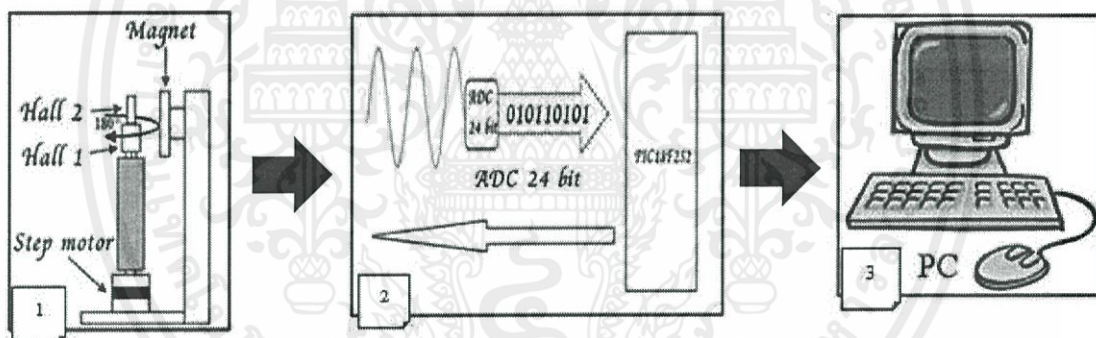
บทที่ 3

วิธีการออกแบบและพัฒนาระบบการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง

สำหรับบทนี้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางในสองมิติ โดยอาศัยทฤษฎีของตรีโกณมิติรวมถึงออกแบบวิธีการทดลองให้เหมาะสม ในการออกแบบการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็นสามส่วนหลักคือหนึ่งชุดอุปกรณ์หัววัดฮอลล์และชุดหมุนหัววัด สองชุดอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์และควบคุมระบบ และสามชุดประมวลผลและแสดงผล เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้

3.1 การออกแบบระบบการวัดมุมเบื้องต้น

ในการออกแบบระบบวัดมุมเบื้องต้นการทำงานจะแบ่งออกเป็นสามส่วนดังรูปที่ 3.1



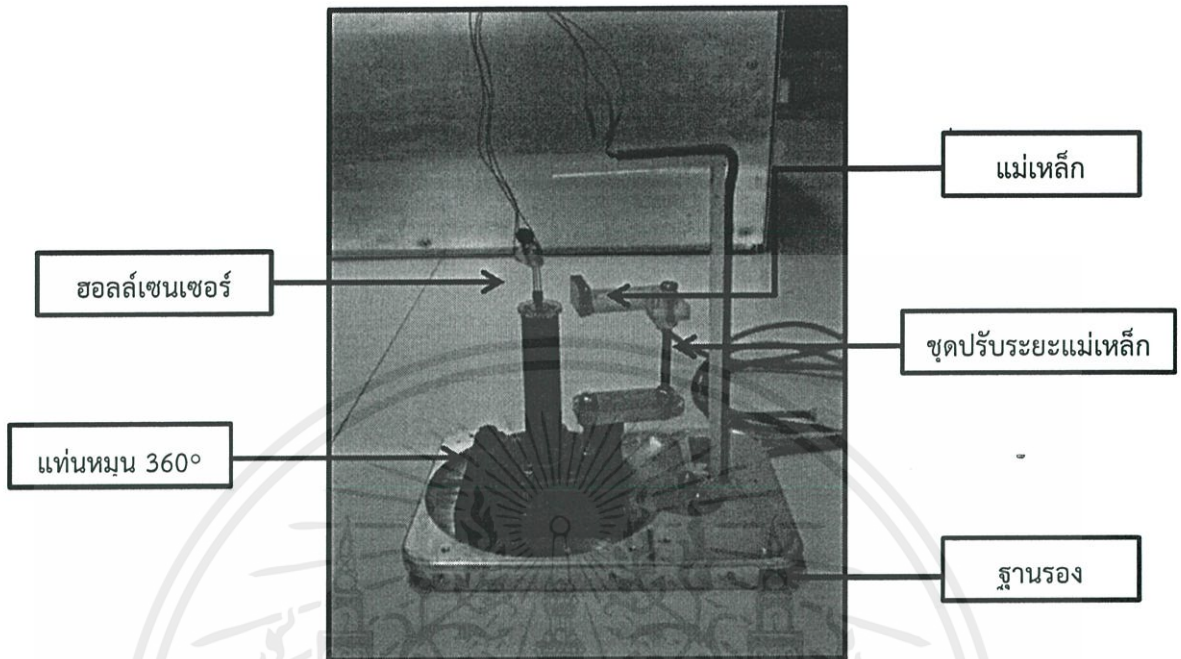
รูปที่ 3.1 ระบบการทดลองวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

ระบบการวัดมุมเบื้องต้นประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ หนึ่ง ส่วนชุดอุปกรณ์หัววัดฮอลล์เพื่อทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก, สอง ส่วนชุดประมวลผลสัญญาณ, สาม ส่วนแสดงผลวัดค่า

3.1.1 การออกแบบชุดทดลองการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

ในระบบการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่อาศัยทิศทางในสองมิติอาศัยทฤษฎีตรีโกณมิติสำหรับวงกลมหนึ่งหน่วยดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



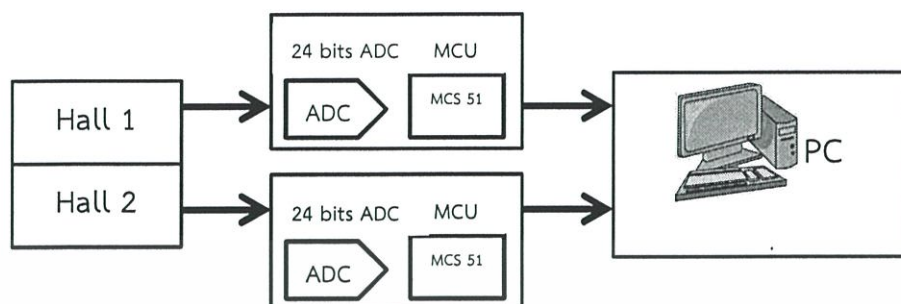
รูปที่ 3.2 การออกแบบชุดวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม้อาศัยทิศทาง

ชุดการทดลองการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม้อาศัยทิศทางประกอบด้วย ฮอลล์เซนเซอร์สองตัวที่วางตั้งฉากกัน แม่เหล็ก แท่นหมุน 360 องศา และฐานรอง โดยฮอลล์เซนเซอร์ทั้งสองวางอยู่บนระนาบเดียวกันทำให้สามารถวัดค่าสนามแม่เหล็กได้

3.1.2 ส่วนระบบประมวลสัญญาณและการแสดงผล

ระบบการประมวลผลเป็นส่วนที่ออกแบบขึ้นเพื่อทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ซึ่งชุดประมวลผลทำการออกแบบโดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal : ADC) ใช้ความละเอียด 24 บิต และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในการประมวลผล ชุดระบบประมวลผลแสดงผลดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ระบบประมวลผล

โดยทำการส่งข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่อ่านได้ผ่านพอร์ตอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์ แล้วแสดงผลบนโปรแกรมแลปวิว (Lab View) และนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์

3.2 การสร้างระบบวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

ระบบการสร้างชุดทดลองการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่อาศัยทิศทางในสองมิติแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.3 ประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ ระบบชุดวัด ระบบประมวลผลสัญญาณ และส่วนแสดงผล

3.2.1 ระบบประมวลผลสัญญาณ

ในส่วนของบอร์ดประมวลผลสัญญาณอาศัยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สำหรับการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์จำนวนสองบอร์ดที่มีสมบัติเหมือนกัน ภายในประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ วงจรรักษาแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์, วงจรแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 5 โวลต์, วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล 24 บิต, วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S52 และวงจรส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น BK-PRECISION-1735A

3.2.2 ระบบชุดวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

ระบบชุดวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่อาศัยทิศทางในสองมิติ มีส่วนประกอบหลักคือ ฮอลล์เซนเซอร์สองตัวที่วางตั้งฉากกัน ชุดแท่นหมุนที่ปรับตำแหน่งได้ 360 องศา และแม่เหล็ก ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2

โดยการทดลองครั้งนี้ใช้เซนเซอร์เบอร์ A1302 ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดแม่เหล็กบนพื้นฐานปรากฏการณ์ฮอลล์ มีการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กที่ให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นเชิงเส้น ซึ่งมีค่าความไวในการตอบสนองค่าความไวในการตอบสนองค่าความเข้มสนามแม่เหล็กขึ้นกับไฟเลี้ยงที่ใช้ สำหรับไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับฮอลล์เซนเซอร์ในการทดลองนี้อยู่ที่ 5 โวลต์ โดยค่าความไวประมาณ 1.3 mV/G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ส่วนแสดงผลการอ่านค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

สำหรับส่วนแสดงผลการทดลองนี้ใช้โปรแกรมแลปวิวในการติดต่อกับบอร์ดแปลงสัญญาณเพื่อรับข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่อ่านได้ มาทำการคำนวณหาค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ โดยใช้ฟังก์ชันฟอร์มูล่าโนด (Formula Node) แล้วแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์และระบบการวัด

การสร้างเครื่องมือวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางในสองมิติที่อาศัยฮอลล์เซนเซอร์นั้น สิ่งสำคัญต้องทราบถึงคุณสมบัติเฉพาะ เข้าใจถึงขีดความสามารถและข้อจำกัดของอุปกรณ์ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของฮอลล์เซนเซอร์

3.3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติความไวของฮอลล์เซนเซอร์

คุณสมบัติความไว (Sensitivity) ของฮอลล์เซนเซอร์เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ยกถึงความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งในระบบการวัดที่สร้างขึ้นในฮอลล์เซนเซอร์เบอร์ A1302 2 ตัว โดยต้องมีความไวเท่าเทียมกันเพื่อสามารถสร้างระบบที่มีความแม่นยำ

ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์คือ ฮอลล์เซนเซอร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง มัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น 8808A และขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz c Oil)

สำหรับขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ที่ใช้ สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความสม่ำเสมอที่ตำแหน่งต่างๆระหว่างขดลวดสองขดเมื่อขดลวดทั้งสองวางห่างกันเป็นระยะเท่ากับรัศมีของขดลวดวงกลม

สามารถคำนวณหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจากปริมาณกระแสจาก

สมการ

$$B = \frac{\mu_0 NI}{R \left(\frac{5}{4}\right)^{3/2}} \quad (3.1)$$

โดยที่

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (700 รอบ)

I คือ ปริมาณกระแส

R คือ รัศมีขดลวด

μ_0 คือ เพอร์มีบิลิตี (อากาศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก จากการปรับกระแสที่ค่าต่างๆ และนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับความเข้มสนามแม่เหล็กค่าต่างๆ

3.3.1.2 การทดสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กถาวรที่เกิดขึ้นกับระยะทาง

ในระบบการวัดที่สร้างขึ้นอาศัยแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร โดยทำการปรับความเข้มสนามแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เซนเซอร์ จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นในการอธิบายความสามารถของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับการเปลี่ยนแปลงระยะแม่เหล็กถาวร

อุปกรณ์ในการทดสอบประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ฮอลล์เซนเซอร์เบอร์ A1302 แม่เหล็ก และแท่นเลื่อนปรับระยะ

โดยการทดลองจะทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับฮอลล์เซนเซอร์ แล้วทำการปรับตำแหน่งแม่เหล็กที่วางอยู่บนแท่นเลื่อน โดยวางแม่เหล็กให้มีทิศของสนามกระทำตั้งฉากกับเซนเซอร์ ทการบันทึกผลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่เปลี่ยนแปลงเปรียบกับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับหัววัดฮอลล์

3.3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ขึ้นกับมุมของสนามแม่เหล็กที่

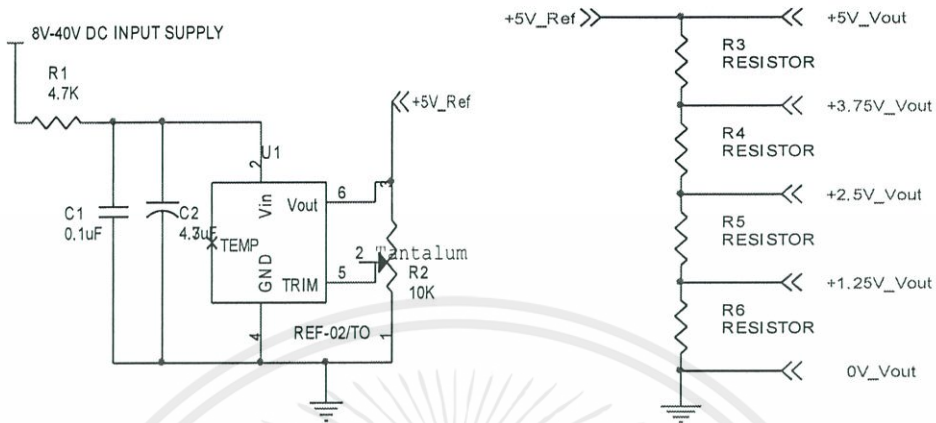
กระทำ

สมบัติพื้นฐานของฮอลล์เซนเซอร์เบอร์ A1302 ที่แรงดันไฟฟ้าฮอลล์เปลี่ยนแปลงตามมุมของสนามแม่เหล็กกระทำเป็นปัญหาสำหรับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กดังนั้น การศึกษาคุณสมบัติและข้อจำกัดพื้นฐานสามารถนำข้อมูลจากการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการลดข้อจำกัดนี้ลง ในการทดลองทำการหมุนแม่เหล็กรอบฮอลล์เซนเซอร์เพื่อปรับมุมของสนามแม่เหล็กที่กระทำ แล้วบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์

3.3.2 การทดสอบระบบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC)

สำหรับระบบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) ที่ทำการออกแบบขึ้นเพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ต้องมีความแม่นยำ จึงต้องมีการสอบเทียบให้อ่านค่าให้ถูกต้อง โดยการสอบเทียบกับเครื่องมือตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน ซึ่งใช้วิธีสอบเทียบแบบ 5 จุด(The five point test) ที่ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0-5 โวลต์ (0 V, 1.25 V, 2.5 V, 3.75 V, และ 5.0 V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง

3.3.3 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าฮอลล์กับสมการตรีโกณมิติสำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็ก

ในการแก้ปัญหาเพื่อลดข้อจำกัดที่ขึ้นกับมุมของฮอลล์เซนเซอร์ด้วยหลักการทางด้านตรีโกณมิติจึงทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่วางตั้งฉากกันขณะมีสนามแม่เหล็กกระทำที่มุมต่างๆ ตลอดจนการทดลองเพื่อให้เห็นถึงความสอดคล้องกันกับหลักการทางตรีโกณมิติในลักษณะของวงกลมหนึ่งหน่วย ในการทดสอบทำการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ทั้งสองเมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมสนามแม่เหล็กที่กระทำด้วยชุดแทนหมุน 360 องศา เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางด้านตรีโกณมิติ

3.3.4 การทดลองหาค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าโดยไม่ขึ้นกับมุมที่ความเข้มสนามแม่เหล็กต่างๆ

เพื่อทดสอบสมมติฐานและพิสูจน์ให้เห็นถึงวิธีการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ไม่ขึ้นกับทิศทางในสองมิติ สามารถทำการทดลองได้จากการหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เซนเซอร์สองตัวที่วางตั้งฉากกัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กกระทำที่มุมต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางตรีโกณมิติแก้ไขข้อจำกัดของฮอลล์เซนเซอร์ แสดงชุดทดลองพิสูจน์เพื่อหาค่าคงที่ของระบบในการทดลองทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ เพื่อหาค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กค่าต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มสนามแม่เหล็กมาตรฐาน และนำผลมาวิเคราะห์ในการแก้สมการทางตรีโกณมิติ

3.3.5 การทดสอบความแม่นยำของวิธีการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ขึ้นกับทิศทาง

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบระบบที่สร้างขึ้นโดยใช้ผลของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์คองที่ แล้วทำการแก้สมการตรีโกณมิติเพื่อหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรมแลบวิวในการคำนวณและแสดงผลเพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของของวิธีการวัดสนามแม่เหล็กที่ไม่ขึ้นกับทิศทางในสองมิติ โดยทำการสอบเทียบระหว่างระบบที่ได้สร้างขึ้นกับเครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กมาตรฐานอ้างอิง (BELL-5170) แสดงในรูปของความแม่นยำในช่วงของการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งช่วงการวัดค่าสนามแม่เหล็กอยู่ที่ 0-1800 เกาส์ ใช้เทคนิคการสอบเทียบแบบ 5 จุด ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการวัดนั้นจะทำการเปรียบเทียบแสดงให้ถึงค่าความแม่นยำในการอ่านค่าความเข้มฟลักซ์ แม่เหล็กเทียบกับเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กมาตรฐานอ้างอิงด้วยการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำดังสมการ

$$\text{Accuracy}(\%) = \frac{\text{Deviation}}{\text{span}} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่

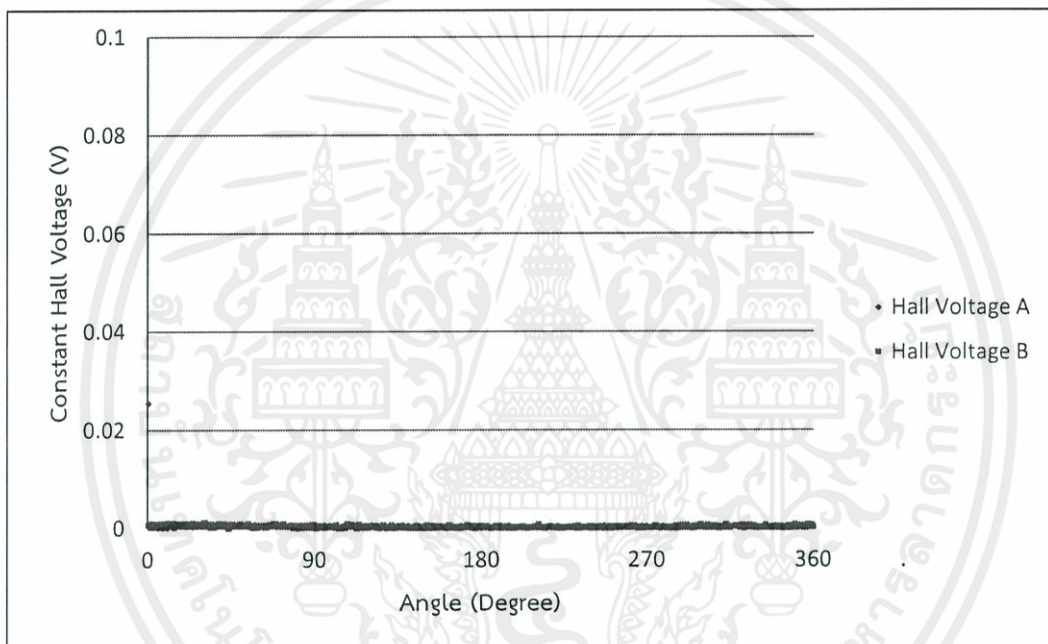
Deviation คือ ค่าที่วัดได้ลบด้วยค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่ามาตรฐานอ้างอิง
Span คือ ค่าช่วงของการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

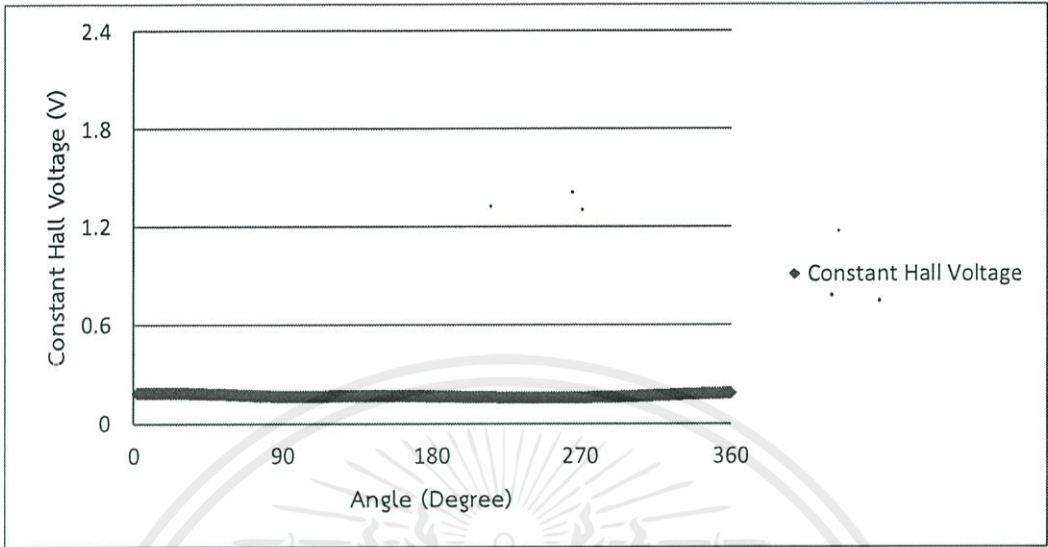
ผลการทดลอง

ลักษณะเฉพาะของแรงดันฮอลล์ของฮอลล์เซนเซอร์ทั้งสองตัวขึ้นอยู่กับมุมที่กระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กในลักษณะของฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ที่สอดคล้องกับสมการตรีโกณมิติในวงกลมหนึ่งหน่วย ดังนั้นเราสามารถคำนวณค่าแรงดันฮอลล์คงที่ของสนามแม่เหล็กโดยไม่อาศัยทิศทางได้ โดยให้ค่าของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0, 118, 237, 356 และ 475 เกาส์ ที่มุม 0 ถึง 360 องศา ดังที่แสดงในรูปที่ 5.1

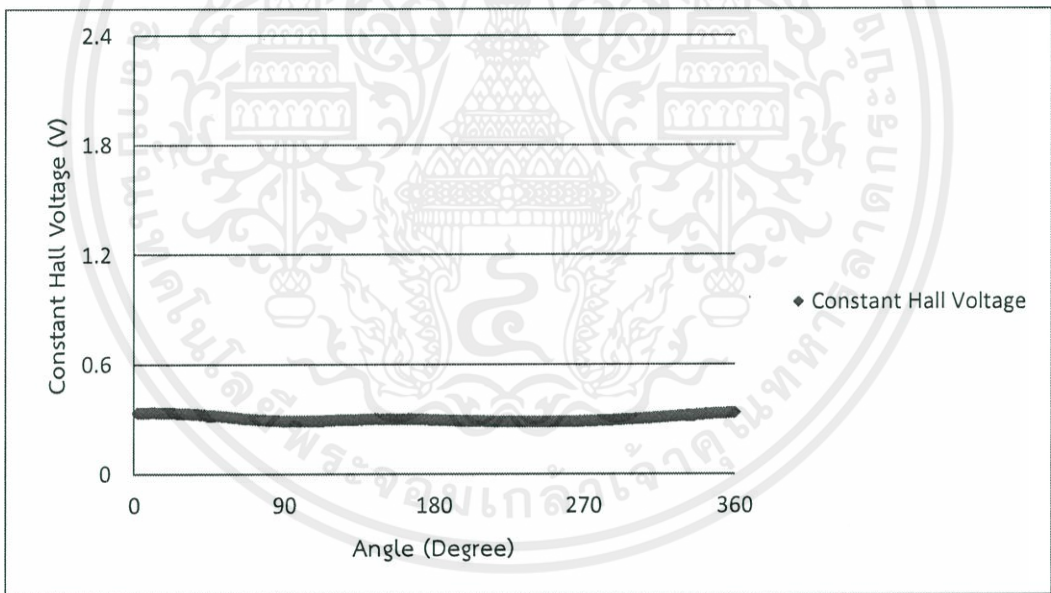


รูปที่ 4.1 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ A และ ฮอลล์ B ในสนามแม่เหล็กที่ 0 เกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

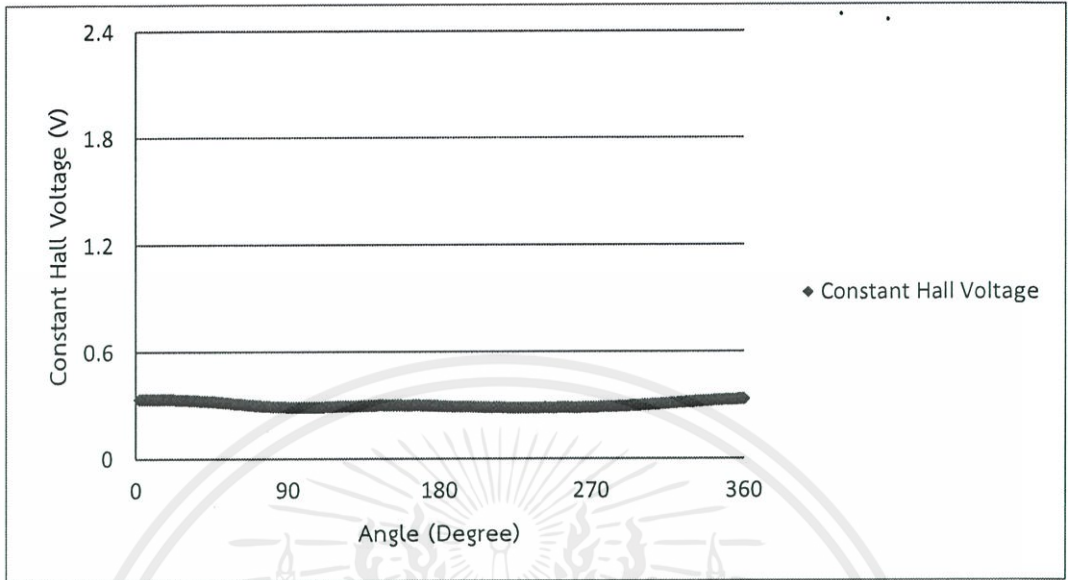


รูปที่ 4.2 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 118 เกาส์

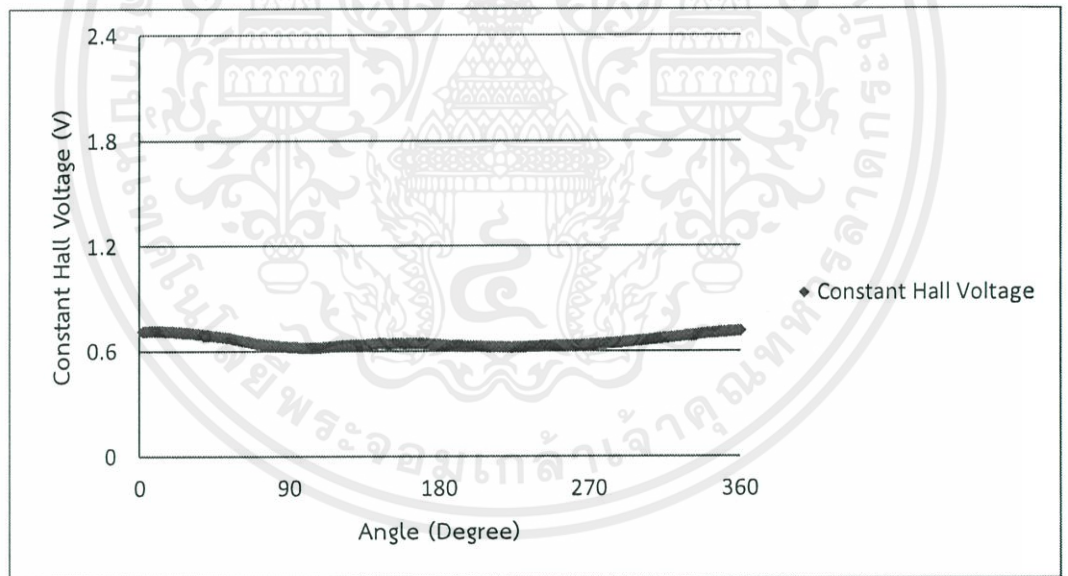


รูปที่ 4.3 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 237 เกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 356 เกาส์



รูปที่ 4.5 ค่าแรงดันคงที่ของฮอลล์ ในสนามแม่เหล็กที่ 475 เกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Edward Ramsden.//2006.//”Hall Effect Sensors Theory and Application”.//Newsnes.
- [2] Richard S. Muller.//2002.//”Device Electronics for Intergrated Circuits”.//John Wiley & Sons.
- [3] อธิโรจน์ มะโน.//2555.//”เทคนิคการวัดสนามแม่เหล็กโดยไม่ขึ้นกับทิศทางในสองมิติ”.//วศ.ม. (วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] <http://www.kmitl.ac.th/~kssomkia/semi1/7.pdf>
- [5] http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub_lesson/8_2.htm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้