บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

โครงการการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้ เป็นการสร้างอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่ผลิตขึ้นเองสำหรับการเรียนการสอนฟิสิกส์เรื่อง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงและขดลวดโซลินอยด์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะห่างจากเส้นลวดตัวนำตรง อธิบายได้ด้วยกฎของบิโอท์-ซาวาร์ท ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาว่าสนามแม่เหล็กมีค่าแปรผกผันกับระยะห่างเป็นไปตามกฎของ บิโอท์-ซาวาร์ทที่กล่าวไว้หรือไม่ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกับกระแสไฟฟ้าเมื่อให้จำนวนขดลวดคงที่ อธิบายได้ด้วยกฎของแอมแปร์ ความเข้มสนามแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าตามที่กล่าวไว้หรือไม่ โดยมีหลักดำเนินการและขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

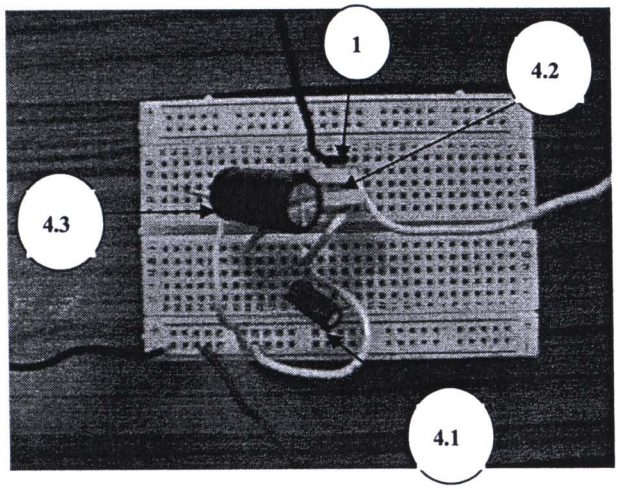
1) ศึกษาทฤษฎี สำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องและขอบเขตของโครงงาน
2) สร้างอุปกรณ์หัววัดฮอลล์
3) ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น โดยการทดลองเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณแรงดันฮอลล์กับความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง
4) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
5) ปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาด
6) ทำการทดลองอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นกับลวดตัวนำตรงและขดลวดโซลินอยด์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และหาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) เทียบกับค่าคงที่มาตรฐานที่เป็นค่าอ้างอิง

3.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์หัววัดฮอลล์

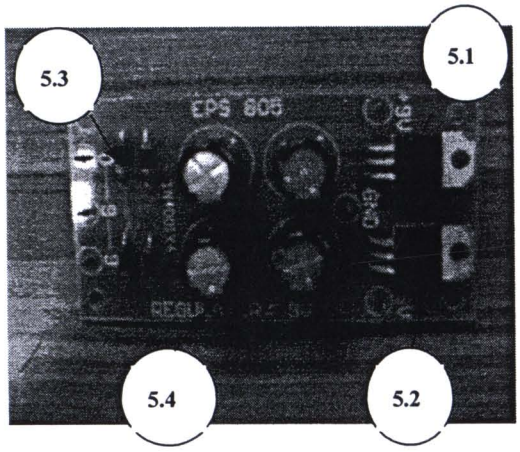
การออกแบบอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ โดยอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์และใช้ในการสร้างอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ ขั้นตอนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ดังนี้

3.1.1 อุปกรณ์การสร้างหัววัดฮอลล์

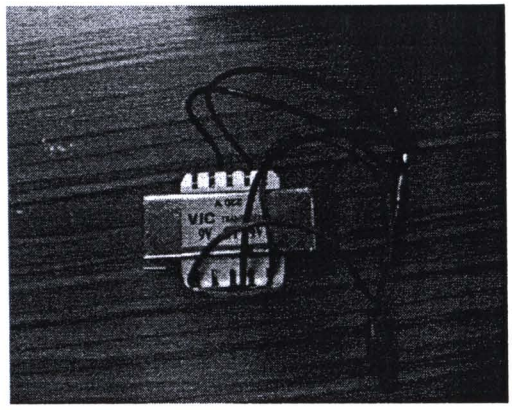
1) Ratiometric Linear Hall Effect Sensors เบอร์ UGN3503U	2 ตัว
2) ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 kΩ	1 ตัว
3) ตัวต้านทานค่าคงที่ 1 kΩ	9 ตัว
4) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบวงจรฮอลล์ได้แก่	
4.1) ตัวเก็บประจุ 1 μF	1 ตัว
4.2) ตัวเก็บประจุ 0.01 μF	2 ตัว
4.3) ตัวเก็บประจุ 470 μF 50 V	1 ตัว
5) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชุดวงจรเร็กติไฟร์	
5.1) IC Regulator เบอร์ 7805	1 ตัว
5.2) IC Regulator เบอร์ 7905	1 ตัว
5.3) ไดโอด	4 ตัว
5.4) ตัวเก็บประจุ 470 μF 30 V	4 ตัว
6) หม้อแปลง 9 โวลต์	1 ลูก



(ก)



(ข)



(ค)

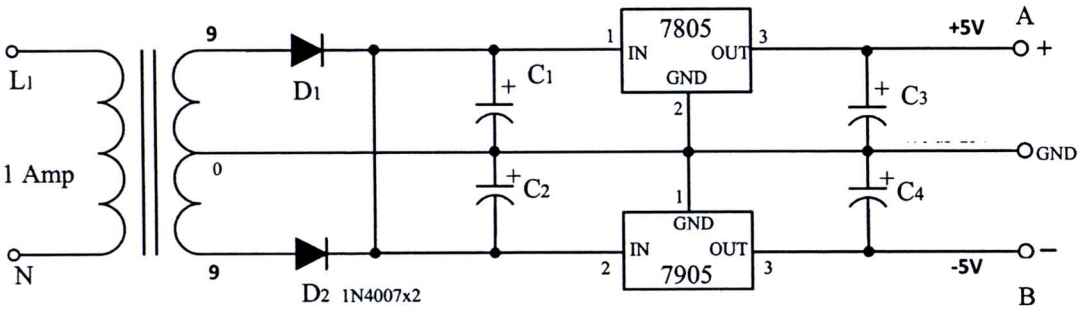
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ (ก) หัววัดฮอลล์และชุดวงจรไฟเลี้ยง (ข) ชุดวงจรเร็กติไฟร์ และ (ค) หม้อแปลง

3.1.2 การออกแบบและประกอบชุดวงจรฮอลล์

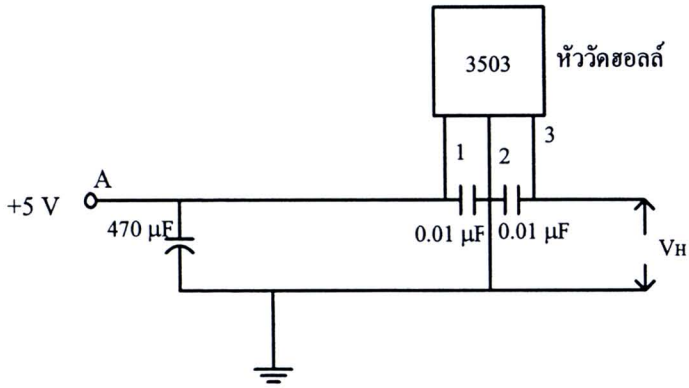
เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของตัวรับรู้ฮอลล์จากตารางที่ 2.1 ที่จะนำมาใช้งานแบบเชิงเส้นจะเห็นถึงข้อมูลสำคัญสามประการด้วยกันที่จะทำการออกแบบ และสร้างวงจรประกอบได้แก่ (1) แหล่งจ่ายไฟ (Supply voltage) 4.5 V - 6.0 V ที่กระแสสูงสุด 13 mA (2) Quiescent Output Voltage 2.5 V (3) sensitivity 1.3 mV/G

1) ออกแบบวงจรหัววัดฮอลล์

ในการออกแบบวงจรหัววัดฮอลล์ ทำการต่อชุดไฟเลี้ยง (+5 V) จากวงจรเร็กติไฟร์เข้ากับหัววัดฮอลล์ เบอร์ UGN 3503U ซึ่งเป็นตัวรับรู้ฮอลล์ ดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3

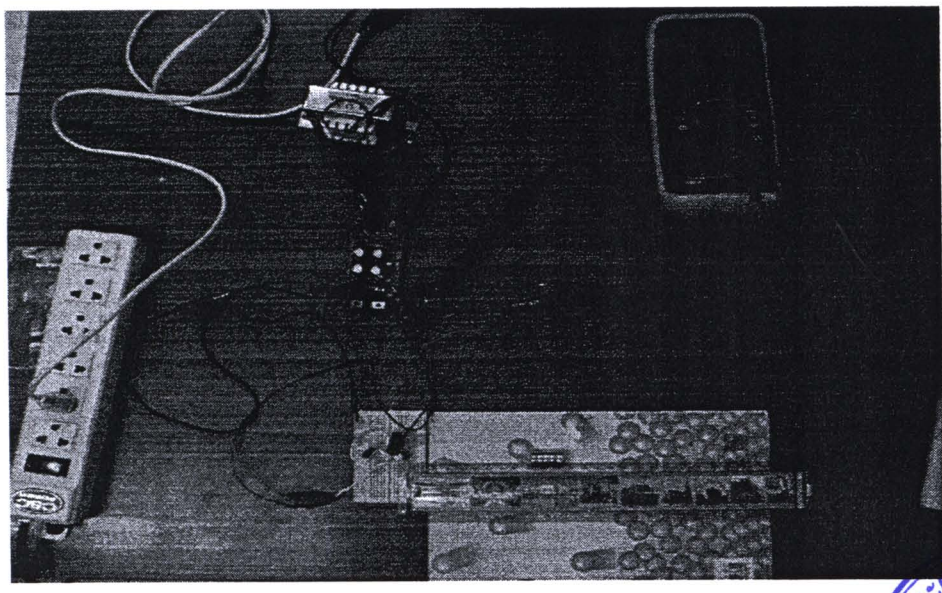


รูปที่ 3.2 วงจรเร็กติไฟร์



รูปที่ 3.3 วงจรหัววัดฮอลล์

นำวงจรตามรูปที่ 3.3 ไปต่อเข้ากับวงจรเร็กติไฟร์ตามรูปที่ 3.2 โดยต่อที่จุด A และต่อกราวด์ (GND) จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของหัววัดโดยใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดัน (V_H) และหาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจากหัววัดอ้างอิง (B_{ref}) กับแรงดันฮอลล์ (V_H) ในขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก แรงดันฮอลล์จะมีค่า 2.5 โวลต์ จากนั้นนำแท่งแม่เหล็กถาวรเข้าไปใกล้หัววัดสนามแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.4 ให้หันขั้วเหนือเข้าหาด้านตัวอักษรของหัววัด สังเกตว่าแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มสนามแม่เหล็ก จากนั้นทำการลดระยะห่างระหว่างหัววัดกับแท่งแม่เหล็ก แล้วอ่านค่าแรงดันเอาต์พุต จากการลดระยะห่างของหัววัด แรงดันเอาต์พุตจะลดลงตามระยะที่เพิ่มขึ้น

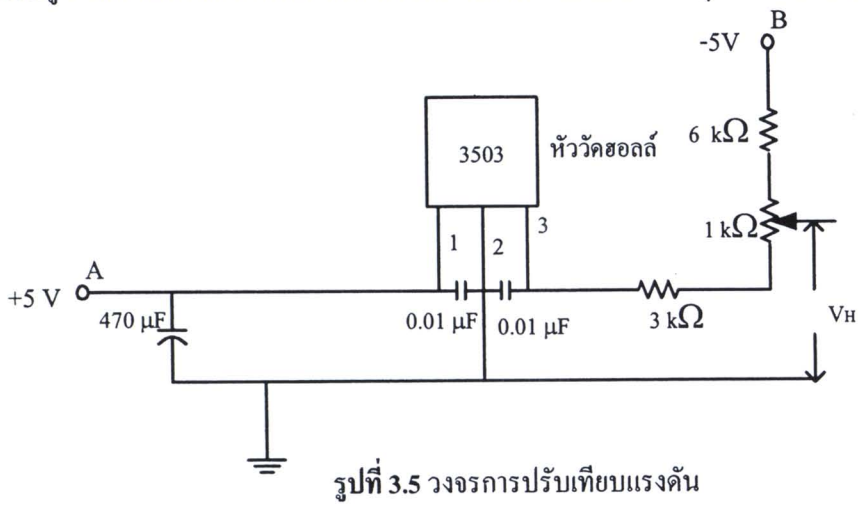


สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.4 แสดงการวัดสนามแม่เหล็ก

2) การออกแบบการปรับเทียบแรงดันของวงจร

ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากตัวรับรู้ฮอลล์ขณะที่ยังไม่มีสนามแม่เหล็ก มีค่าเท่ากับ 2.5 โวลต์ ในการสร้างชุดหัววัดนี้ จะต้องออกแบบให้ความต่างศักย์ในขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กมีค่าแรงดันฮอลล์เป็นศูนย์ (V_H = 0 V) จึงต้องออกแบบให้มีตัวลดทอนสัญญาณความต่างศักย์นี้ให้เป็นศูนย์โดยต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 kΩ เป็นค่าความต้านทานในช่วงที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.5 นำวงจรตามรูปที่ 3.5 ไปต่อเข้ากับวงจรเร็กติไฟร์ตามรูปที่ 3.2 โดย +5 V ต่อเข้ากับจุด A และ -5 V ต่อเข้ากับจุด B ซึ่งจะเป็นการปรับเทียบแรงดันของวงจร ทำให้ค่าความต่างศักย์เป็นบวกในกรณีที่เส้นแรงสนามแม่เหล็กพุ่งเข้าตัวรับรู้ฮอลล์และความต่างศักย์เป็นลบในกรณีเส้นแรงสนามแม่เหล็กพุ่งออกจากตัวรับรู้ฮอลล์

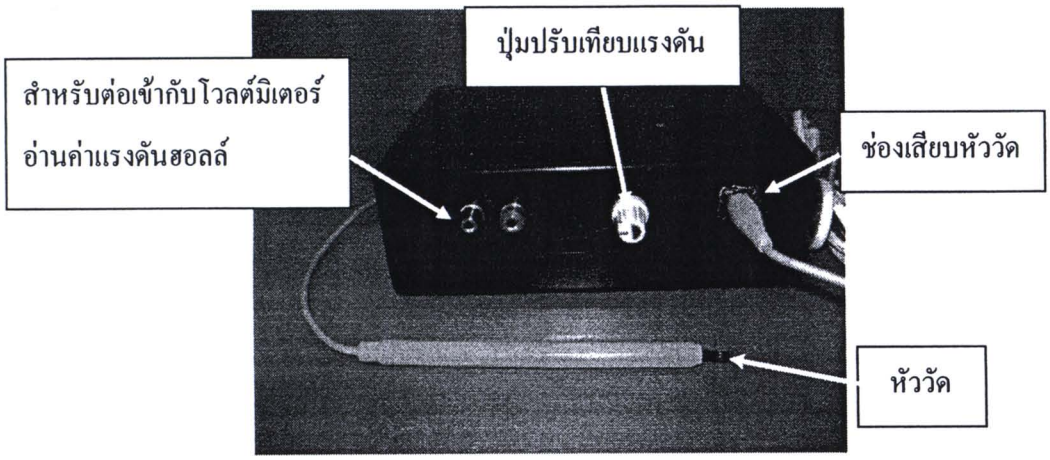


รูปที่ 3.5 วงจรการปรับเทียบแรงดัน

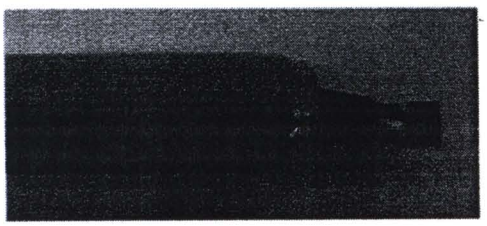
เมื่อต่อวงจรตามรูปที่ 3.5 เข้ากับวงจรเร็กติไฟร์ตามรูปที่ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของหัววัดโดยใช้โวลต์มิเตอร์ วัดแรงดันฮอลล์ (V_H) เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กอยู่ใกล้บริเวณหัววัดสามารถทำการปรับปุ่มปรับเทียบแรงดัน ให้ $V_H = 0$ V ได้ และพบว่าเมื่อนำขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือเคลื่อนเข้าหาหัววัด V_H จะมีค่าเป็นบวกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำขั้วใต้เข้าหาหัววัด V_H จะมีค่าเป็นลบในปริมาณที่มากขึ้นตามความเข้มสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถระบุขั้วแม่เหล็กได้

3) การประกอบอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ลงในกล่อง

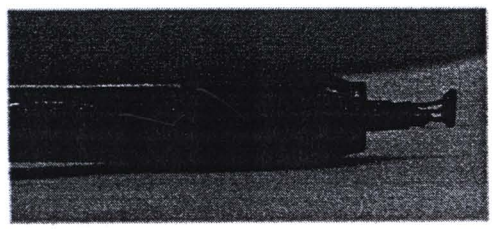
เมื่อทำการประกอบวงจรและทดสอบอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นแล้วนั้น เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานในการทดลอง จึงทำการประกอบอุปกรณ์ลงในกล่องและต่อเชื่อมหัววัดฮอลล์ (Hall probe) เพื่อใช้ในการวัด ซึ่งหัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นมี 2 หัววัด คือ หัววัดที่ใช้สำหรับวัดตามขวางใช้ในการทดลองวัดกับลวดตัวนำตรง และหัววัดที่ใช้สำหรับวัดตามยาวใช้ในการวัดกับขดลวดโซลินอยด์ ซึ่งใช้ IC เบอร์ UGN 3503U เหมือนกัน แสดงดังรูปที่ 3.6



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 (ก) กล่องอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ (ข) หัววัดฮอลล์แบบตามขวาง และ (ค) หัววัดฮอลล์แบบตามยาว

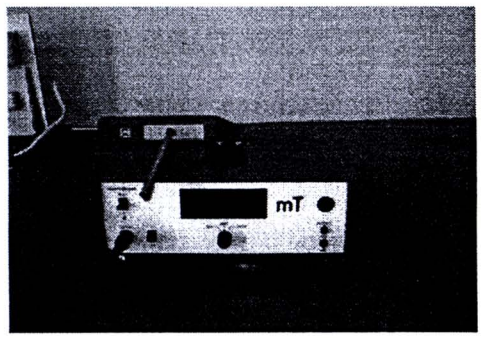
3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น

ในการทดสอบประสิทธิภาพของหัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นเป็นการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตจากอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น (Hall sensor) กับความเข้มสนามแม่เหล็กจากเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) ได้ทำการออกแบบการทดลองวัดกับแท่งแม่เหล็กถาวร โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์ในการดำเนินงาน

1) อุปกรณ์หัววัดฮอลล์
2) มัลติมิเตอร์
3) แท่งแม่เหล็ก
4) ขาตั้งยึดหัววัด
5) เทสลามิเตอร์ บริษัท LEYBOLD DIDACTIC รุ่น WA 0013612
6) ไม้บรรทัด

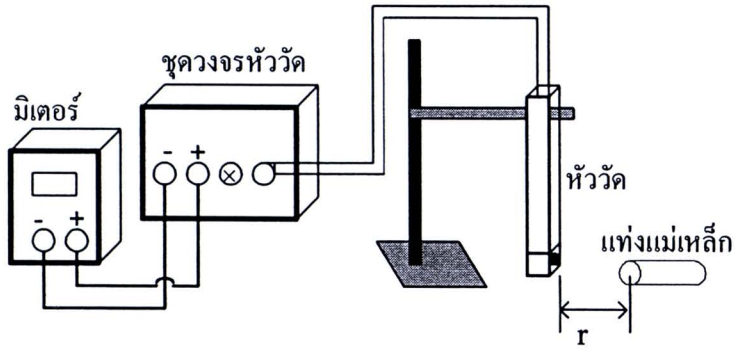
รูปที่ 3.7 มัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.8 เทสลามิเตอร์

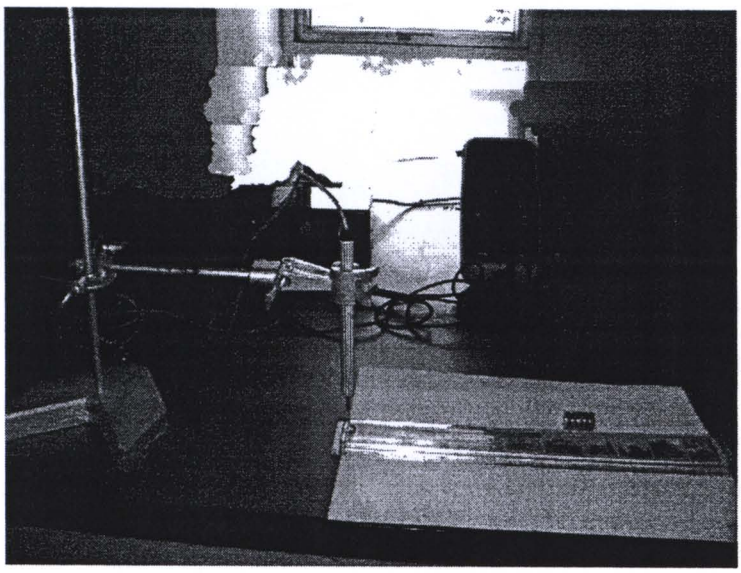
3.2.2 ออกแบบการทดลองในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น

1) ออกแบบการทดลองในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น หัววัดที่ใช้เป็นหัววัดแบบตามขวาง โดยวางหัววัดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก แสดงในรูปที่ 3.9



⊗ ปุ่มปรับเทียบแรงดัน

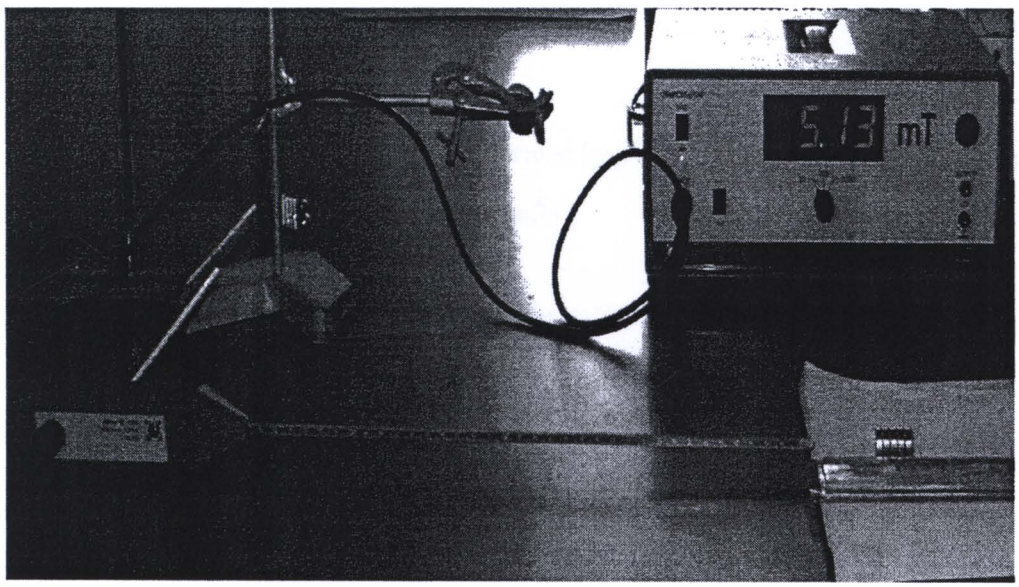
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบการทดลองในการวัดแรงดันฮอลล์ของอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น (ก) การต่ออุปกรณ์การทดลอง และ (ข) การทดลองวัดแรงดันฮอลล์ของอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น

2) วัดแรงดันฮอลล์ (V_H) โดยการนำแท่งแม่เหล็กถาวรเข้าไปใกล้หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นให้หันขั้วเหนือเข้าหาด้านตัวอักษรของหัววัดฮอลล์ อ่านค่าแรงดันเอาต์พุต จากนั้นทำการลดระยะห่างระหว่างหัววัดกับแท่งแม่เหล็ก แล้วอ่านค่าแรงดันเอาต์พุตจากการลดระยะห่างของหัววัดกับแท่งแม่เหล็กทำการบันทึกผล จากนั้นกลับขั้วสนามแม่เหล็กโดยการหันขั้วใต้เข้าหาหัววัด อ่านค่าแรงดันเอาต์พุตและทำการลดระยะห่าง บันทึกผล และทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะต่างๆจากเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) โดยหัวขั้วเหนือและขั้วใต้เข้าหาหัววัด แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การวัดความเข้มสนามแม่เหล็กของหัววัดอ้างอิงจากแท่งแม่เหล็ก

3) หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันฮอลล์กับความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ผลจากความสัมพันธ์ที่ได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

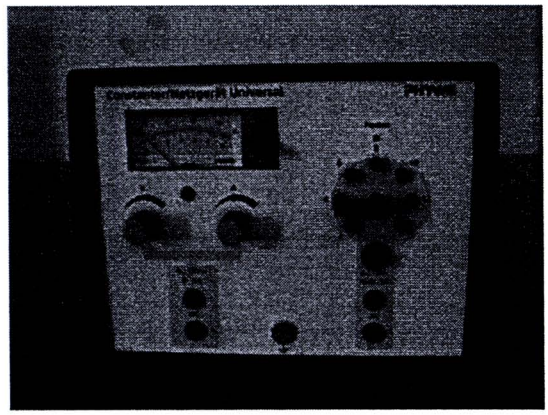
3.3 การทดลองหาค่า μ_0 จากอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองหาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหัววัด เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
2) ออกแบบการทดลองหาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) จากลวดตัวนำตรงและจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
3) ทำการทดลองวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจากลวดตัวนำตรงและขดลวดโซลินอยด์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
4) หาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) นำมาเทียบกับค่าคงที่มาตรฐานที่เป็นค่าอ้างอิงและหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

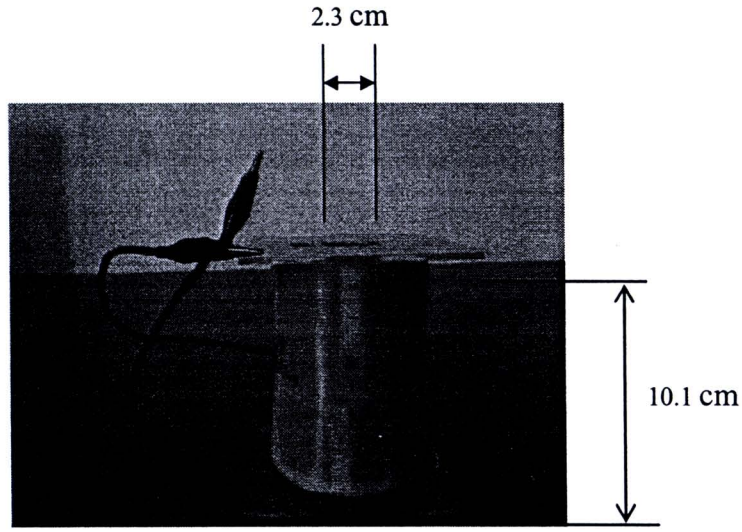
3.3.1 อุปกรณ์ในการดำเนินงาน

1) อุปกรณ์หัววัดฮอลล์
2) มัลติมิเตอร์
3) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC-Power Supply) 0-18 V 5 A บริษัท PHYWE รุ่น 13501.93
4) ขาตั้ง
5) เทสลามิเตอร์ บริษัท LEYBOLD DIDACTIC รุ่น WA 0013612
6) ไม้บรรทัด
7) เส้นลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 cm ยาว 112.4 cm
8) ขดลวดโซลินอยด์ จำนวน 2,800 รอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกน 2.3 cm ยาว 10.1 cm



รูปที่ 3.11 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 0 – 18 V

รูปที่ 3.12 เส้นลวดทองแดง

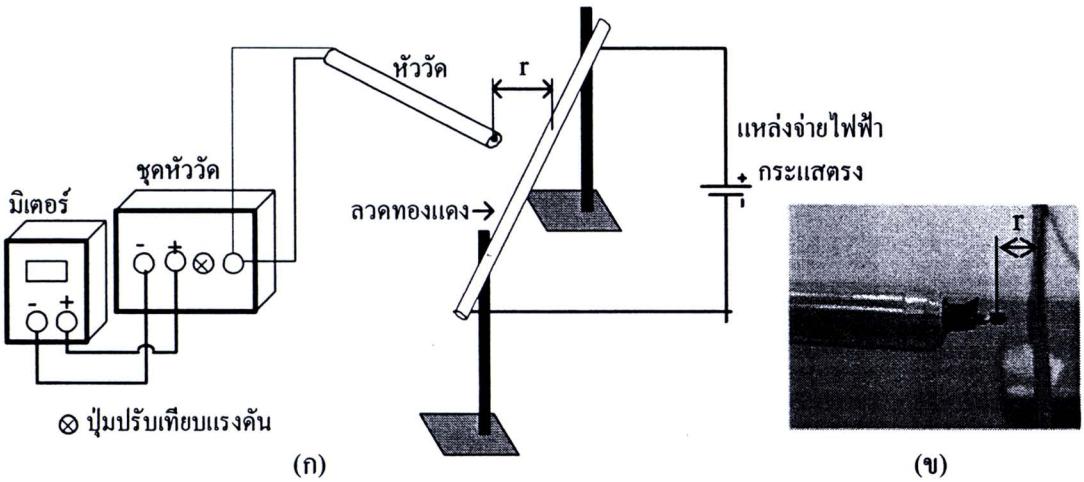


รูปที่ 3.13 ขดลวดโซลินอยด์จำนวน 2,800 รอบ

3.3.2 การทดลองหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) จากเส้นลวดตัวนำตรงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

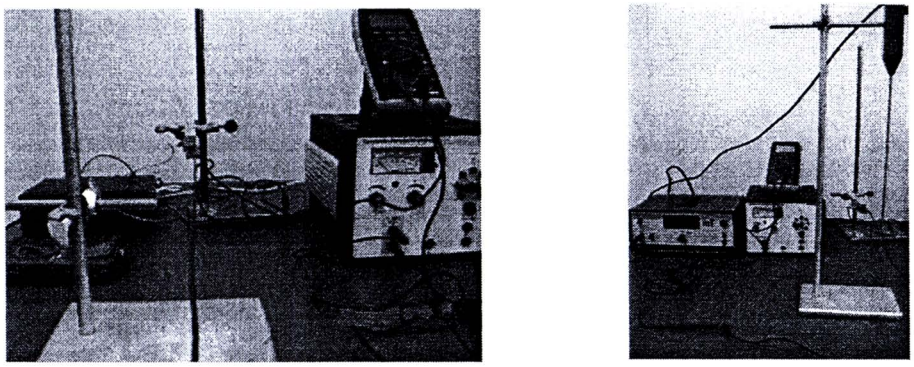
การทดลองเพื่อหาค่า μ_0 ของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นโดยทำการทดลองวัดค่าแรงดันฮอลล์จากอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น (Hall sensor) และวัดความเข้มสนามแม่เหล็กจากเครื่องมือวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) ของลวดตัวนำตรงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จากนั้นทำการเปลี่ยนแรงดันฮอลล์เป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้สมการแบบเชิงเส้นตามสมการที่ (4.2) นำค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหนึ่งส่วนระยะห่าง (1/r) กับความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) และหาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) จากสมการของบิโอท์-ซาวาร์ท สมการที่ (2.21) เทียบกับค่าคงที่มาตรฐานเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) การทดลองหาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงจากอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (Tesla meter) เป็นเครื่องวัดอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 3.14 การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้น ในการทดลองจะวัดความเข้มสนามแม่เหล็กจากอุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นและทิศของสนามแม่เหล็กที่ระยะต่างๆ เพื่อเทียบกับความเข้มสนามแม่เหล็กที่อ่านได้จากเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) ที่ระยะห่างจุดเดียวกัน



รูปที่ 3.14 (ก) แสดงการต่อชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรง และ (ข) ลักษณะการวางหัววัด

2) ต่อเส้นลวดทองแดงเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) 0 - 18 V 5 A ดังรูปที่ 3.14 โดยให้แนวเส้นลวดทองแดงอยู่ในแนวตะวันออก–ตะวันตก และการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.15



(ก) (ข)

รูปที่ 3.15 การทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรง (ก) การทดลองวัดค่าแรงดันฮอลล์จากอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น และ (ข) การทดลองวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิงจาก เทสลามิเตอร์

3) ต่อชุดอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น โดยให้หัววัดฮอลล์ตามขวางตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในเส้นลวดทองแดง และต่อมิเตอร์เข้ากับชุดหัววัดที่สร้างขึ้น
4) ทำการปรับเทียบศักย์ไฟฟ้าของหัววัดที่สร้างขึ้นขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กจะมีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์
5) เปิดสวิตซ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้กับเส้นลวด โดยปรับปุ่มปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า และปรับปุ่มปรับกระแสไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลในลวดทองแดง 4 A
6) ทำการวัดแรงดันฮอลล์ (V_H) ที่ระยะห่างของหัววัดกับเส้นลวดทองแดงในระยะต่าง ๆ ทำการทดลอง 3 ครั้ง และบันทึกผล
7) ทำการวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_{ref}) โดยใช้เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (Tesla meter) และทำการวัดเช่นเดียวกับการวัดโดยใช้ชุดอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น
8) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า (V_H) เป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_H)
9) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะ (r) จากเส้นลวดทองแดงและสนามแม่เหล็ก
10) จากข้อมูลเขียนกราฟระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) กับส่วนกลับระยะห่าง (1/r)

11) นำค่าความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณหาค่า μ_0 ตามสมการที่ (2.19)

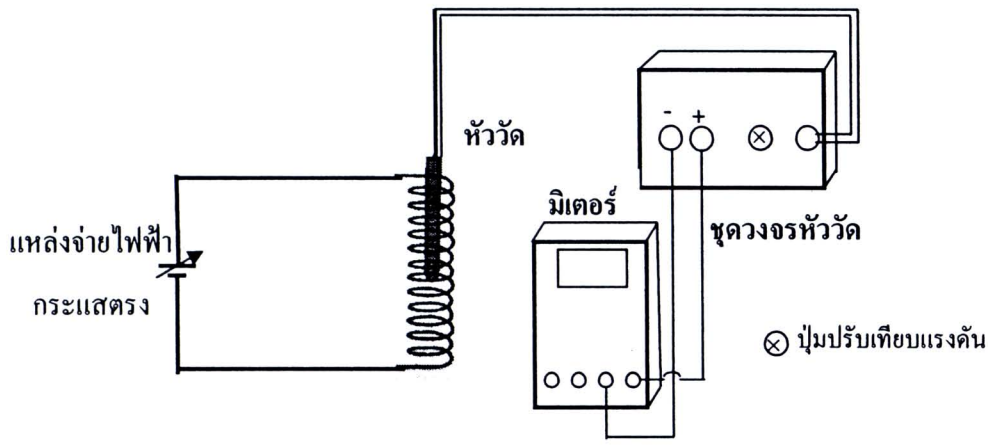
12) วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาค่า μ_0 ตามที่ได้ออกแบบการทดลองนั้น นำค่า μ_0จากการทดลองมาเทียบกับค่าคงที่มาตรฐาน และหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้นตามสมการที่ (4.5)

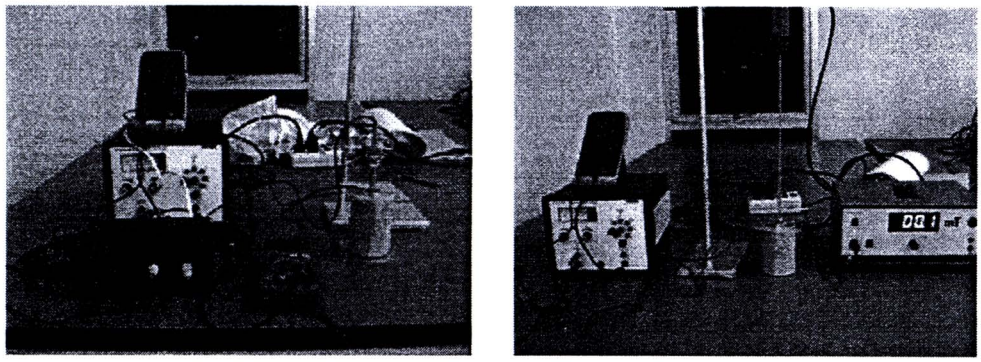
3.3.2 การทดลองหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) จากขดลวดโซลินอยด์

การทดลองเพื่อใช้อุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่สร้างขึ้นวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศจากขดลวดโซลินอยด์ ในการทดลองนี้จะวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์โดยใช้อุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น (Hall sensor) และความเข้มสนามแม่เหล็กที่อ่านจากเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ในช่วง 0.1 - 1.0 แอมแปร์ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองคำนวณหาค่าความซึมได้ทางแม่เหล็กของอากาศ (μ_0) นำค่าที่คำนวณได้มาเทียบกับค่าคงที่มาตรฐานที่เป็นค่าอ้างอิง และหาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า การออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ ดังนี้

1) ต่อขดลวดโซลินอยด์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) 0 - 18 V 5 A ดังรูปที่ 3.16 พร้อมทั้งติดตั้งหัววัดสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นไว้ที่กึ่งกลางแกนของขดลวดโซลินอยด์ (ใช้หัววัดแบบวัดตามยาว) และการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 แสดงรายละเอียดการต่อชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์



(ก) (ข)

รูปที่ 3.17 การทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ (ก) การทดลองวัดค่าแรงดันฮอลล์จากอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น และ (ข) การทดลองวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิงจากเทสลามิเตอร์

2) ต่อชุดหัววัดฮอลล์แบบตามยาวที่สร้างขึ้น โดยให้หัววัดตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดโซลินอยด์ และต่อมิเตอร์เข้ากับชุดหัววัดที่สร้างขึ้น
3) ทำการปรับเทียบศักย์ไฟฟ้าของหัววัดที่สร้างขึ้นขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กจะมีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์
4) เปิดสวิตซ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้กับขดลวดโซลินอยด์ โดยปรับปุ่มปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า และปรับปุ่มปรับกระแสไฟฟ้าไว้ที่ตำแหน่งศูนย์
5) ทำการวัดแรงดันฮอลล์ (V_H) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ 0.1 - 1.0 แอมแปร์ โดยปรับปุ่มปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า และปรับปุ่มปรับกระแสไฟฟ้า ทำการทดลอง 3 ครั้งและบันทึกผล
6) ทำการวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_{ref}) โดยใช้เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กเทสลามิเตอร์ และทำการวัดเช่นเดียวกับการวัดโดยใช้ชุดหัววัดที่สร้างขึ้น
7) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า (V_H) เป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_H)
8) จากข้อมูลการทดลองเขียนกราฟระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) กับกระแสไฟฟ้า(I)
9) นำค่าความชันที่ได้มาคำนวณหาค่า μ_0 ตามสมการที่ (2.31)
10) วิเคราะห์ผลและสรุปผล

จากการทดลองหาค่า μ_0 ตามที่ได้ออกแบบการทดลอง นำค่า μ_0 ที่คำนวณได้จากการทดลองมาเทียบกับค่าคงที่มาตรฐาน หาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น กับเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กเทสลามิเตอร์ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) กับกระแสไฟฟ้า (I)

3.4 การศึกษาหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกน

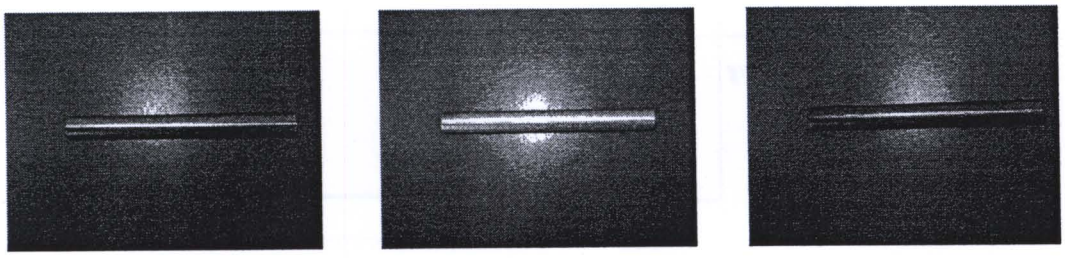
การทดลองนี้เพื่อวัดความเข้มสนามแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์ที่เป็นแกนอากาศ แกนเหล็ก แกนอะลูมิเนียม และแกนทองแดง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ที่มีขนาดคงที่ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกน ในการทดลองนี้จะวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ที่เป็นแกนอากาศ แกนเหล็ก แกนอะลูมิเนียม และแกนทองแดงโดยใช้อุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น (Hall sensor) และความเข้มสนามแม่เหล็กที่อ่านจากเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ในช่วง 0.2-1.0 แอมแปร์ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกนมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.1 อุปกรณ์ในการดำเนินงาน

1) อุปกรณ์หัววัดฮอลล์
2) โวลต์มิเตอร์
3) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC-Power Supply) 0 - 18 V 5A บริษัท PHYWE รุ่น 13501.93
4) ขาตั้ง
5) เทสลามิเตอร์ บริษัท LEYBOLD DIDACTIC รุ่น WA 0013612
6) ขดลวดทองแดง จำนวนรอบ 2,800 รอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกน 2.3 cm ยาว 10.1 cm
7) แท่งเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ยาว 10 cm

8) แท่งอะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ยาว 10 cm

9) แท่งทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ยาว 10 cm



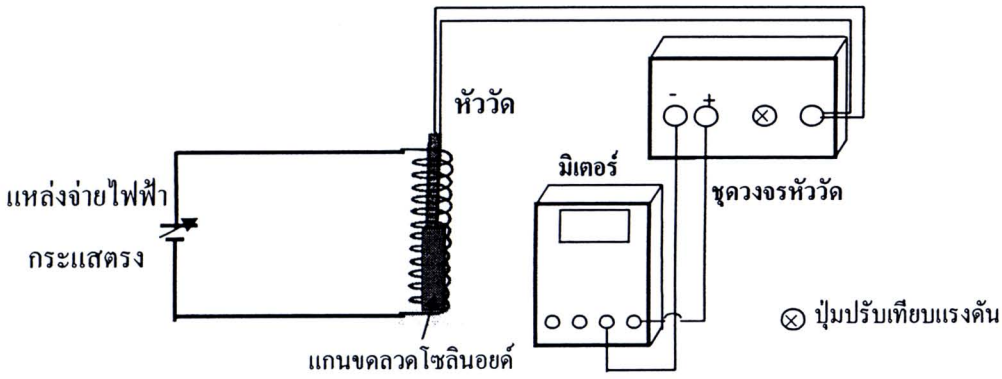
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.18 (ก) แท่งเหล็ก (ข) แท่งอะลูมิเนียม และ (ค) แท่งทองแดง

3.4.2 การออกแบบการทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกน

การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่าง ๆ เป็นแกน โดยการออกแบบการทดลองวัดค่าแรงดันฮอลล์ (V_H) จากอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น (Hall sensor) และวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_{ref}) จากเครื่องวัดสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Tesla meter) ของขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกน เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในช่วง 0.2 - 1.0 แอมแปร์ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกนการออกแบบการทดลอง ดังนี้

1) ต่อขดลวดโซลินอยด์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) 0 - 18 V 5 A ดังรูปที่ 3.19 พร้อมทั้งติดตั้งหัววัดสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นไว้ที่ปลายแกนเหล็ก (ใช้หัววัดแบบวัดตามยาว)



รูปที่ 3.19 แสดงรายละเอียดการต่อชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกน

รูปที่ 3.20 การทดลองหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ที่มีวัสดุต่างๆ เป็นแกน (ก) การทดลองวัดค่าแรงดันฮอลล์จากอุปกรณ์หัววัดที่สร้างขึ้น และ (ข) การทดลองวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอ้างอิงจากเทสลามิเตอร์

2) ต่อชุดหัววัดฮอลล์แบบตามยาวที่สร้างขึ้นโดยให้หัววัดตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดโซลินอยด์ และต่อมิเตอร์เข้ากับชุดหัววัดที่สร้างขึ้น
3) ทำการปรับเทียบศักย์ไฟฟ้าของหัววัดที่สร้างขึ้นขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กจะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_H) เป็นศูนย์
4) เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้กับขดลวดโซลินอยด์ โดยปรับปุ่มปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า และปรับปุ่มปรับกระแสไฟฟ้าไว้ที่ตำแหน่งศูนย์
5) ทำการวัดแรงดันฮอลล์ (V_H) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ 0.2 - 1.0 แอมแปร์ โดยปรับปุ่มปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า และปรับปุ่มปรับกระแสไฟฟ้าทำการทดลอง 3 ครั้งและบันทึกผล

6) ทำการวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_{ref}) โดยใช้เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กเทสลามิเตอร์ และทำการวัดเช่นเดียวกับการวัดโดยใช้ชุดหัววัดที่สร้างขึ้น
7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนจากแกนเหล็กเป็นแกนอะลูมิเนียม แกนทองแดง และแกนอากาศตามลำดับ
8) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็ก เพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า (V_H) เป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก (B_H)

จากข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบความเข้มสนามแม่เหล็กและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของวัสดุแต่ละชนิด คือ เฟอร์โรแมกเนติก พาราแมกเนติก และ ไดอะแมกเนติก วิเคราะห์ผลและสรุปผลจากการทดลอง