การทดลอง 18
แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเกิดสนามแม่เหล็กของขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
2. หาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ
3. ดัดแปลงแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ให้เป็นแอมมิเตอร์

อุปกรณ์

1. แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ พร้อมเข็มทิศ 1 ชุด
2. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 1 เครื่อง
3. กล่องชุดตัวต้านทาน มิลลิแอมมิเตอร์ และสวิตช์กลับขั้ว 1 กล่อง
4. สายไฟต่อวงจร 4 เส้น
5. VOM 1 เครื่อง

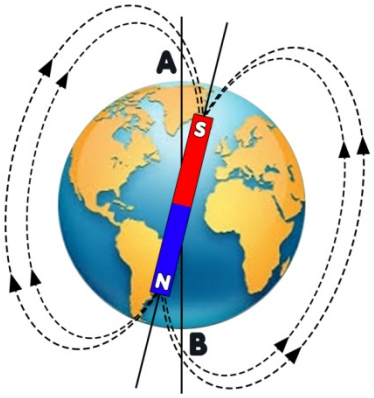
ทฤษฎี

แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้หาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ และสามารถดัดแปลงไปเป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าได้ด้วย โดยมีลักษณะของเครื่องมือเป็นดังรูปที่ 1

รูปที่1 ลักษณะของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์

แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ประกอบด้วยขดลวดพันรอบกรอบพลาสติกซึ่งมีรัศมี 7.45 เซนติเมตร เป็นจำนวน 75 รอบ มีตลับเข็มทิศวางอยู่บนแท่นตรงจุดศูนย์กลางของขดลวดพอดี อุปกรณ์ข้างต้นถูกจัดตั้งอยู่บนแผ่นพลาสติกสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีน็อต 4 ตัวใช้ปรับระดับและมีขั้วไฟฟ้าอยู่ 2 ขั้ว ซึ่งเป็นปลายของเส้นลวดที่พันอยู่รอบกรอบพลาสติกวงกลม

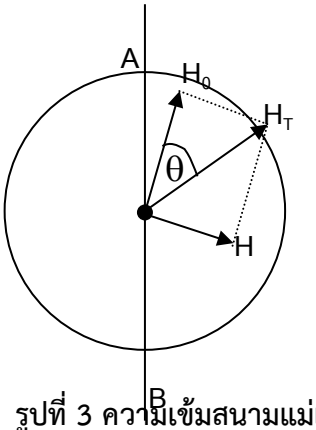
นักวิทยาศาสตร์พบว่า โลกของเราเสมือนมีแท่งแม่เหล็กแท่งใหญ่ที่เรียกว่าแม่เหล็กโลกฝังอยู่ภายในโลก โดยมีขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กโลกชี้ไปทางทิศใต้ทางภูมิศาสตร์ และมีขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กโลกชี้ไปทางขั้วเหนือทางภูมิศาสตร์ โดยแนวแกนของแท่งแม่เหล็กโลกเอียงทำมุมเล็กน้อยกับแนวเหนือ-ใต้ทางภูมิศาสตร์ ดังรูปที่ 2



A = ขั้วเหนือทางภูมิศาสตร์ B = ขั้วใต้ทางภูมิศาสตร์

รูปที่ 2 ลักษณะของสนามแม่เหล็กโลกตามแนวคิดนักวิทยาศาสตร์

ดังนั้นเมื่อนำเข็มทิศไปวาง ณ ที่ต่างๆ บนผิวโลก จะทำให้ขั้วเหนือของเข็มทิศชี้ไปทางขั้วเหนือทางภูมิศาสตร์ และขั้วใต้ของเข็มทิศชี้ไปทางขั้วใต้ทางภูมิศาสตร์ เพราะขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันจะดูดกัน ต่อมาเมื่อนำแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ไปวางให้ระนาบของขดลวดอยู่ในแนวเดียวกับการวางตัวของเข็มทิศ นั่นคือระนาบของขดลวดอยู่ในแนวเหนือใต้ตามแนวแท่งแม่เหล็กโลกประกอบกับถ้าให้กระแสไฟฟ้ากับขดลวดจะเกิดความเข้มสนามแม่เหล็กจากขดลวดซึ่งมีทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ ดังรูปที่3



H = ความเข้มสนามแม่เหล็กของขดลวดที่มีกระแสไหล
H_0 = ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ
H_T = ความเข้มสนามแม่เหล็กลัพธ์

รูปที่ 3 ความเข้มสนามแม่เหล็กลัพธ์ (H_T) ซึ่งเกิดจากความเข้มสนามแม่เหล็กจากขดลวด (H) กับความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ (H_0)

ความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะทำให้เข็มทิศของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เบี่ยงเบนไปตามแนวความเข้มของสนามแม่เหล็กลัพธ์ซึ่งทำมุม θ กับความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ

พิจารณาจากรูปที่ 3 จะได้ว่า

$$\tan\theta = \frac{H}{H_0}$$

$$H = H_0 \tan\theta \qquad \text{.....(1)}$$

เนื่องจากความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้า I ไหลผ่านในขดลวดจำนวน N รอบ และมีรัศมี r มีค่าดังนี้

$$H = \frac{NI}{2r} \qquad \text{.....(2)}$$

และค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (B) ดังสมการ

$$B = \mu_0 H \qquad \text{.....(3)}$$

เมื่อ μ_0 คือ magnetic permeability constant= $4\pi\times10^{-7}$เวเบอร์/แอมแปร์-เมตร

เมื่อแทนค่าสมการ (2) ในสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{NI}{2r} = H_0 \tan\theta$$

$$I = \left(\frac{2r}{N}\right) H_0 \tan\theta$$

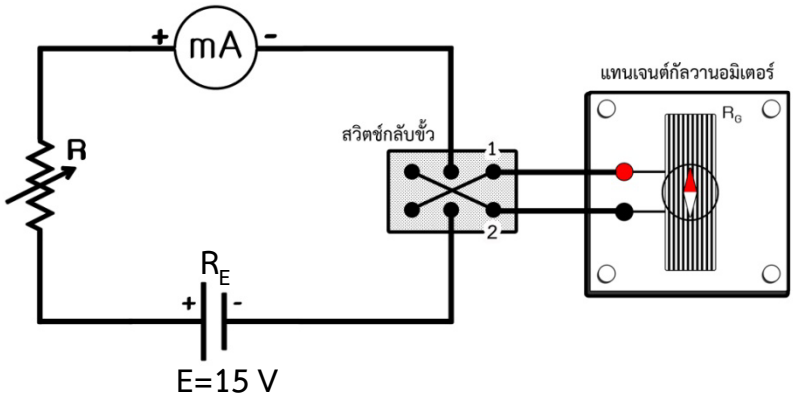
ถ้าให้

$$K = \left(\frac{2r}{N}\right) H_0 \qquad \text{.....(4)}$$

$$I = K \tan\theta \qquad \text{.....(5)}$$

จากความจริงทราบว่า ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ ณ ที่แห่งหนึ่งๆ มีค่าคงที่ และค่า N กับ r ต่างก็มีค่าคงที่ ดังนั้นค่า K จึงเป็นค่าคงที่ของเครื่องมือแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ จากการที่ทราบค่า K และ θ ซึ่งอ่านได้จากการเบนของเข็มทิศ ก็จะสามารถหาค่ากระแสฟ้า I ที่ไหลในขดลวดได้ วิธีการนี้จึงสามารถใช้แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าได้โดยคำนวณจากสมการ (5)

วิธีการหาค่า K ของเครื่องมือแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ ทำได้โดยต่อวงจรดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรที่ใช้หาค่า K ของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์

เมื่อให้กระแสไฟฟ้า I จากเครื่องจ่ายไฟฟ้าซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า E และมีความต้านทานภายใน R_E ผ่านความต้านทานปรับค่าได้ R เข้าไปในขดลวดของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ ซึ่งมีความต้านทานภายในเป็น R_G จะทำให้ได้สมการเป็นดังนี้

$$I = \frac{E}{R + R_E + R_G} \qquad \text{.....(6)}$$

จากสมการ (5) และ (6) จะได้ว่า

$$K\tan\theta = \frac{E}{R + R_E + R_G}$$

$$R + R_E + R_G = \left(\frac{E}{K}\right)\cot\theta$$

$$R = \left[\left(\frac{E}{K}\right)\cot\theta\right] - (R_E + R_G) \qquad \text{.....(7)}$$

จากสมการ (7) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\cot\theta$ กับ R จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งมีความชันเป็น E/K และตัดแกน R ที่ R = – (R_E +R_G)

ในกรณีที่ขดลวดมีจำนวนรอบมากๆ พบว่าR_E<< R_Gซึ่งทำให้ได้ว่า R = - R_G ดังนั้นจากกราฟระหว่าง $\cot\theta$ กับ R จึงทำให้หาค่า K ของเครื่องแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ได้จากค่าความชันของกราฟ และสามารถหา R_G ได้จากจุดตัดของเส้นกราฟบนแกน R จึงนำแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์นี้ไปเป็นแอมมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ และอาศัยค่า K ที่หาได้ไปคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบได้จากสมการ (4)

รูปที่ 5 การต่ออุปกรณ์การทดลอง

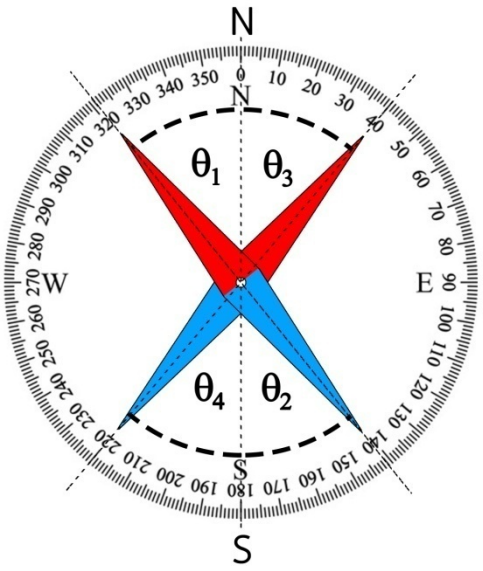
<u>วิธีการทดลอง</u>

ต่อวงจรตามรูปที่ 5 และปรับฐานของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ให้ขนานกับพื้นโดยหมุนสกรูปรับระดับทั้ง 4 ตัว จากนั้นหมุนเข็มทิศให้แนวเหนือ-ใต้ (หรือสเกล 0 และ 180 องศา) อยู่ตรงกับแนวของขดลวด แล้วหมุนแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ให้ขั้วเหนือของเข็มชี้ (ปลายสีแดง) ชี้ที่สเกล 0 องศา

<u>ตอนที่ 1</u> การหาค่า K ของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์

1. หลังจากต่อวงจรตามรูปที่5 ให้เลือกใช้ค่าความต้านทาน R = 100 โอห์ม และใช้ VOM ตั้งค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ 15 โวลต์ โดยจะใช้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้คงที่ตลอดการทดลอง

2. เปิดเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และสับสวิตช์กลับขั้วไปทางด้าน A จะสังเกตเห็นว่าเข็มทิศเบี่ยงเบนไปจากเดิม อ่านค่ามุมเบี่ยงเบนของเข็มทิศที่เบนไปจากแนวเหนือใต้ของแท่งแม่เหล็กโลก (θ) โดยอ่านที่ปลายของเข็มทิศทั้ง 2 ข้าง ซึ่งทำให้อ่านค่ามุม θ ได้ 2 ค่าเป็น θ_1 กับ θ_2 ตามลำดับ และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากมิลลิแอมมิเตอร์ในวงจรเป็น i_1
3. กลับทิศกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด โดยสับสวิตช์กลับขั้วไปทางด้าน B จากนั้นอ่านค่ามุมเบี่ยงเบนของเข็มทิศที่ปลายทั้ง 2 ข้าง ได้ค่าเป็น θ_3 และ θ_4 (ค่า θ_1, θ_2, θ_3 และ θ_4 ควรมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าค่าแตกต่างกันมากให้ตรวจสอบการจัดวางและตำแหน่งของขดลวดใหม่) พร้อมกับอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากมิลลิแอมมิเตอร์อีกครั้งหนึ่งเป็น i_2



รูปที่ 6 ตัวอย่างการอ่านค่ามุม θ_1 - θ_4

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 และ 3 โดยเลือกใช้ค่าความต้านทาน R เป็น 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 โอห์ม ตามลำดับ

5. คำนวณค่ามุมเบี่ยงเบนเฉลี่ย ($\bar{\theta}$) โดยที่

$$\bar{\theta} = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4}{4}$$

พร้อมทั้งหาค่าของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในวงจร ($\bar{i}$)

$$\bar{i} = \frac{i_1 + i_2}{2}$$

6. คำนวณค่าของ $\cot\bar{\theta}$
7. เขียนกราฟระหว่างค่า $\cot\bar{\theta}$ กับ R โดยให้ R เป็นแกนตั้ง และ $\cot\bar{\theta}$ เป็นแกนนอนพร้อมทั้งหาความชันของกราฟ
8. จากค่าความชันและตำแหน่งที่เส้นกราฟตัดแกน R ให้คำนวณค่า K และ R_G จากสมการ (7)

$$\text{ค่าความชัน} = \frac{E}{K}$$

$$\left|\text{ตำแหน่งที่เส้นกราฟตัดแกน R}\right| \cong R_G$$

<u>ตอนที่ 2</u> หาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ (H_0) และค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กโลกตามแนวราบ (B_0) โดยอาศัยผลจากการทดลองตอนที่ 1

1. บันทึกค่ารัศมี (r) ของขดลวดและจำนวนรอบ (N) ของขดลวด
2. คำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ (H_0) จากค่า K ที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 โดยอาศัยสมการ (4) ซึ่งเขียนใหม่ได้เป็น

$$H_0 = \frac{NK}{2r}$$

3. คำนวณค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กโลกตามแนวราบ (B_0) โดยอาศัยสมการ

$$B_0 = \mu_0 H_0$$

4. หาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า B_0 เมื่อกำหนดให้ความเหนี่ยวนำแม่เหล็กโลกบริเวณจังหวัดนครปฐม มีค่าเป็น 0.41×10^{-4} เวเบอร์/เมตร^2

<u>ตอนที่ 3</u> การดัดแปลงแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยวงจรเดิมที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1

1. ให้คัดลอกค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้ ($\bar{i}$) และค่าของมุมเบี่ยงเบนเฉลี่ย ($\bar{\theta}$) จากการทดลองในตอนที่1เมื่อ R = 100, 200, 300, 400 และ 500 โอห์มตามลำดับลงในตาราง
2. คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าสำหรับมุมเบี่ยงเบนแต่ละค่าจากสมการ

$$I = K\tan\theta$$

โดยใช้ค่า K จากการทดลองตอนที่ 1

3. คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าจากค่าที่คำนวณได้ (I) กับค่าที่ได้จากการวัดด้วยมิลลิแอมมิเตอร์ ($\bar{i}$) ตามสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left|\frac{I-\bar{i}}{\bar{i}}\right|\times100$$