การทดลองที่ 5. แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ ($\vec{B}_H$) โดยใช้แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์

ทฤษฎี

เมื่อกระแสไฟฟ้า (i) ไหลในขดลวดวงกลมรัศมี (R) กระแสดังกล่าวจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวด สนามแม่เหล็กนี้มีทิศตั้งฉากกับระนาบของขดลวดโดยขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กสามารถพิจารณาได้จากกฎของบีโอต์-ซาวารต์ (Biot-Savart law) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} i \int \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \tag{5.1}$$

เมื่อ $d\vec{\ell}$ คือ เวกเตอร์ที่ชี้ตามทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวด
$\vec{r}$ คือ ระยะกระจัดที่ชี้จากส่วนของเส้นลวด ($d\vec{\ell}$) ไปยังจุดที่ต้องการหาสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$)
μ_0 คือ ค่าสภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ (magnetic permeability) มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{Wb/A \cdot m}$

จากสมการ (5.1) ในกรณีของขดลวดวงกลมรัศมี R ซึ่งมีกระแส i ไหลในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อมองเข้ามาทาง $+x$ ดังรูปที่ 5.1 พบว่าที่จุดศูนย์กลาง ของขดลวด (จุด 0) ขนาดของสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ จะมีค่าดังสมการ

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\ell R \sin\theta}{R^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\ell \sin\theta}{R^2} \tag{5.2}$$

เนื่องจากสนามแม่เหล็กอยู่ในทิศตั้งฉาก ($\theta = 90^\circ$) ในขณะที่กระแสไฟฟ้า (i) และรัศมีของขดลวด (R) มีค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 i}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} d\ell \\ &= \frac{\mu_0 i}{4\pi R^2} 2\pi R \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงได้ขนาดของสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม เป็น

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \tag{5.3}$$

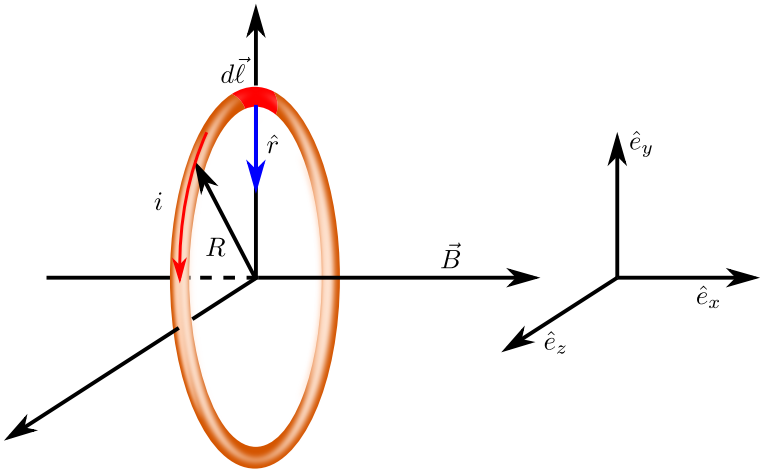
เมื่อ B คือ ขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็ก ($\mathrm{Wb/m^2}$ หรือ T)
i คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด (A)
R คือ รัศมีของขดลด (m)

ขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) แปรผันกับจำนวนรอบขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหล หากมีขดลวดจำนวน n รอบ ขนาดของความเข็มสนามแม่เหล็ก มีค่าเป็น

$$B = \frac{\mu_0 n i}{2R} \tag{5.4}$$

เมื่อพิจารณาผลคูณแบบเวกเตอร์ (vector product) ทิศทางของสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) จะมีทิศตามแนวแกน X ดังนั้น

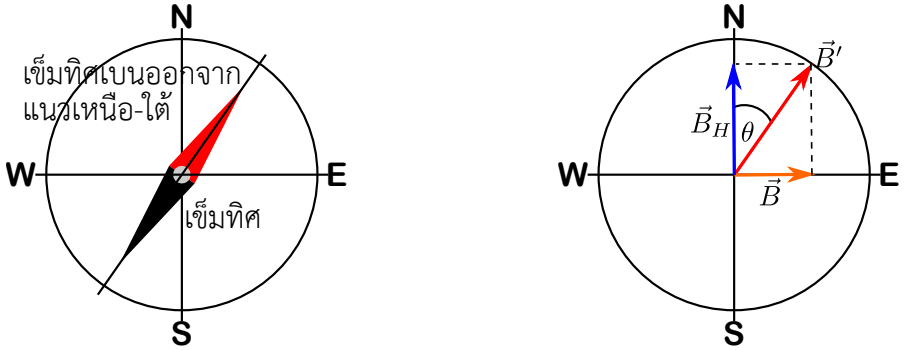
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 n i}{2R}\hat{e}_x \tag{5.5}$$



รูปที่ 5.1 กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดในทิศทวนเข็มนาฬิกา ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) ในทิศตามแนวแกน x

จากรูปที่ 5.2 ระนาบของหน้าปัดแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ขนานกับสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ เนื่องจากระนาบของหน้าปัดแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์วางตั้งฉากกับระนาบของขดลวด เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่จุดศูนย์กลางของขดลวด สนามแม่เหล็กนี้จะมีผลทำให้เข็มของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เบนออกจากแนวเดิม โดยมีสนามแม่เหล็กรวม ($\vec{B}'$) เท่ากับ

$$\vec{B}' = \vec{B} + \vec{B}_H \tag{5.6}$$



(ก) การเบนของเข็มแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ (ข) ความเข้มสนามแม่เหล็กรวม ($\vec{B}'$)

รูปที่ 5.2 การเบนของเข็มแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด

กรณีที่ระนาบของขดลวดขนานกับระนาบ yz และสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบชี้ในทิศ $-z$ ดังรูปที่ 5.2 ถ้ากระแส ไหลในขดลวดในทิศทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองเข้ามาจากทางทิศ $+x$ เข็มทิศบนหน้าปัดของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์จะเบนไปจากแนวเมอริเดียนเป็นมุม θ โดยที่

$$\tan\theta = \frac{B}{B_H}$$

ดังนั้นขนาดของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดจึงมีค่าเป็น

$$B = B_H \tan\theta \tag{5.7}$$

เมื่อแทนสมการ (5.3) ในสมการ (5.7) จะได้สมการของกระแสในขดลวด คือ

$$\boxed{i = \left(\frac{2RB_H}{n\mu_0}\right)\tan\theta} \tag{5.8}$$

จากสมการ (5.8) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (i) กับมุมที่เข็มแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เบนออกจากแนวเดิม ($\tan\theta$) ได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน (G) มีค่าเป็น

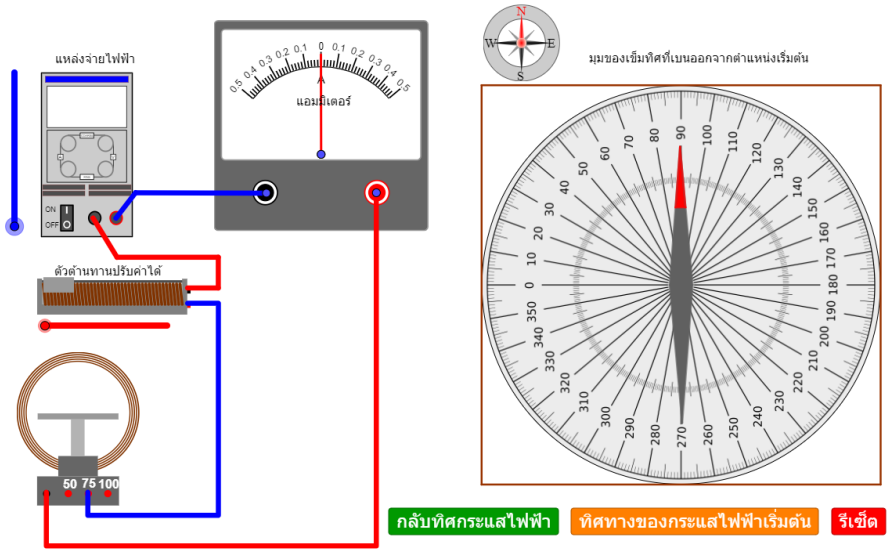
$$\boxed{G = \frac{2RB_H}{n\mu_0}} \tag{5.9}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. แทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ (tangent galvanometer) รัศมีขดลวด $15.5\,\mathrm{cm}$
2. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Rheostat)
3. เครื่องกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply)
4. แอมมิเตอร์ (Ampmeter)

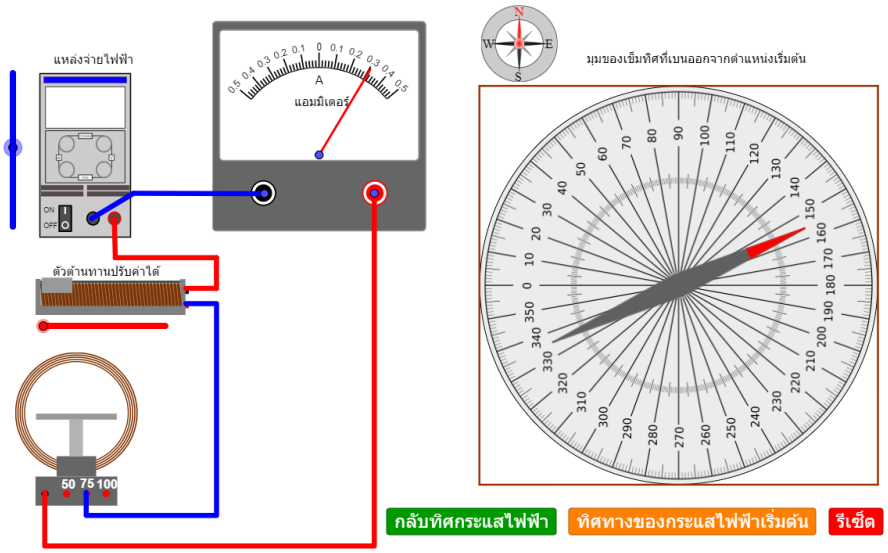
วิธีการทดลอง

1. คลิ๊กลิงค์ https://www.geogebra.org/m/vswuwvme ปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่ำสุด ให้เข็มของแทนชี้ในทิศเหนือ-ใต้ (N−S) (เข็มชี้ 90 องศา) ดังรูปที่ 5.3 บันทึกค่าจำนวนขดลวด (n)

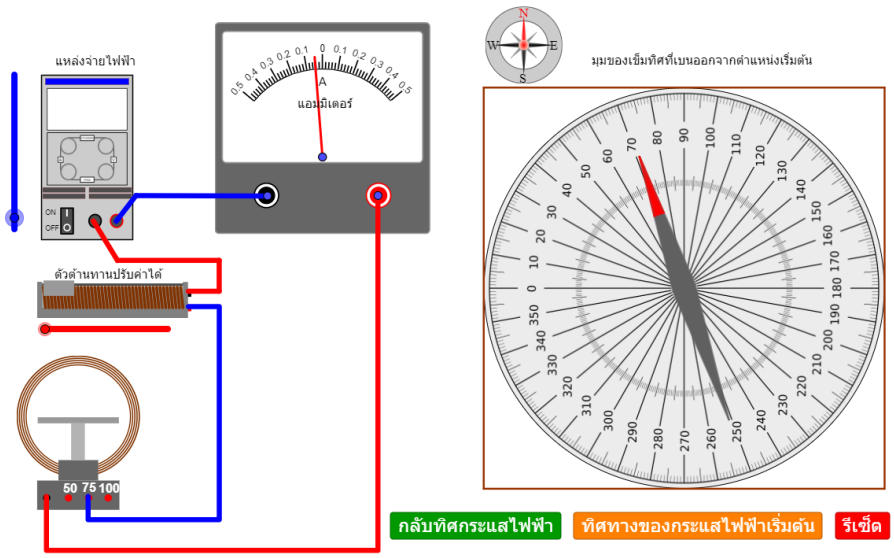


รูปที่ 5.3 การต่ออุปกรณ์การทดลองแทนเจนต์แกลวานอมิเตอร์

2. คลิ๊กที่ปุ่ม **ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเริ่มต้น** ปรับเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อให้กัลวานอมิเตอร์อ่านกระแสไฟฟ้าได้ $0.05\,\mathrm{A}$ บันทึกค่ามุมที่เข็มของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์เบนออกจากแนวเดิม ดังรูปที่ 5.4ก บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและค่ามุมของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์โดยกำหนดให้เป็นมุม θ_1 และ θ_2 คนละฝั่งของแกนหมุน
3. ทำซ้ำข้อ 2 โดยเพิ่มกระแสครั้งละ $0.05\,\mathrm{A}$ ด้วยการเพิ่มหรือลดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายหรืออาจปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ อ่านค่ามุม θ_1 และ θ_2 และค่ากระแสไฟฟ้า และทำซ้ำจนกระทั่งค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ $0.40\,\mathrm{A}$
4. ทำซ้ำข้อ 2 และ 3 แต่เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยคลิ๊กที่ปุ่ม **กลับทิศกระแสไฟฟ้า** อ่านค่ากระแสไฟฟ้าและมุมของแทนเจนต์กัลวานอมิเตอร์ ดังรูปที่ 5.4ข บันทึกค่ามุมโดยกำหนดเป็นมุม θ_3 และ θ_4
5. คำนวณค่ามุมเฉลี่ย (θ) จากค่ามุม θ_1 θ_2 θ_3 และ θ_4 และค่าแทนเจนต์ของมุมเฉลี่ย ($\tan\theta$) บันทึกในตารางบันทึกผลการทดลอง
6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (i) และค่า $\tan\theta$
7. คำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ (B_H) จากความชันของกราฟโดยใช้สมการ (5.9)
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



(ก) กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



(ข) กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

รูปที่ 5.4 ผลของทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าต่อความเข้มสนามแม่เหล็กรวม