

หน่วยที่ 10

ตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า

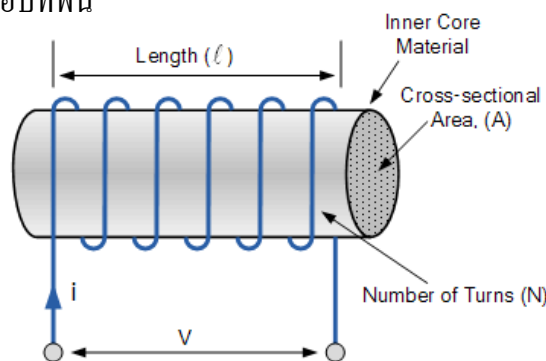
ตัวเหนี่ยวนำ หรือ อินดักเตอร์ (Inductor) ในบางครั้งเราอาจจะเรียกตัวอินดักเตอร์ว่า “คอยล์” (Coils) หรือ “แอล” (L) แทนก็ได้ เป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ประกอบอยู่ในวงจรเครื่องรับ-ส่งวิทยุ, วงจรเครื่องรับโทรทัศน์, วงจรเลือกความถี่และวงจรอื่นๆ ที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำ

11.1 ตัวเหนี่ยวนำ

คุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำจะอยู่มี 2 สถานะคือ จะให้กำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ขึ้นมา เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในตัวเหนี่ยวนำ และจะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce Electro Motive Force ; EMF) ขึ้นมา เมื่อมีสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวเหนี่ยวนำ

11.1.1 โครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งาน มีหลายขนาดและหลายรูปแบบแตกต่างกัน เส้นลวดตัวนำเมื่อนำมาพันเป็นขดลวด จะส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวดตัวนำเกิดการเสริมแรงกัน เกิดเป็นสนามแม่เหล็กขึ้นรอบขดลวด และสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีความเข้มเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนรอบที่พัน



รูปที่ 11.1 แสดงโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ

ที่มา : <https://www.electronics-tutorials.ws>

รูปที่ 11.1 แสดงโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ คือการนำเอาลวดตัวนำทองแดงมาพันเป็นขดจำนวนหลายๆ รอบบนแกนอากาศ หรือแกนวัสดุอื่นก็ได้ ซึ่งขดลวดทองแดงนี้จะแสดงคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน โดยการเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

11.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเหนี่ยวนำ

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ไป ย่อมจะมีค่าของความเหนี่ยวนำอยู่ทุกหนทุกแห่ง แต่จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. จำนวนรอบหรือความยาวของเส้นลวดตัวนำ การพันขดลวดให้มีจำนวนมากรอบ ค่าความเหนี่ยวนำที่ปรากฏก็จะมีค่ามาก ถ้าการพันให้ขดลวดมีจำนวนน้อยรอบ ค่าความเหนี่ยวนำก็จะปรากฏน้อยตาม ไปด้วย โดยปกติค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองของจำนวนรอบที่พัน (N^2)

2. พื้นที่หน้าตัดของแกน (A) ที่ขดลวดพันอยู่ ถ้าแกนที่ใช้ในการพันขดลวดเป็นแกนชนิดเดียวกัน ค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนนี้

3. ค่าความซึมซาบของแกน (permeability : μ_r) ที่ใช้ในการพันขดลวด เช่น แกนเหล็กจะมีผลทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มมากขึ้น เพราะแกนเหล็กเป็นทางที่นำเส้นแรงแม่เหล็กได้ดีกว่าแกนคอยล์ชนิดอื่นใด อย่างเช่น ขดลวดที่ใช้แกนอากาศ โดยปกติขดลวดที่ใช้แกนอากาศจะมีค่าความซึมซาบ (μ_r) ของแกนเท่ากับ 1

4. ความยาวของแกนและระยะห่างของการพันขดลวด เมื่อกำหนดให้จำนวนรอบของขดลวดที่พันเท่ากัน การพันบนแกนที่ยาวจะทำให้มีระยะห่างระหว่างรอบมาก ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อย แต่ถ้าพันขดลวดบนแกนที่มีความยาวสั้น ขดลวดจะพันรอบชิดกัน จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความเหนี่ยวนำสูงมากขึ้น

11.1.3 หน่วยของค่าความเหนี่ยวนำ

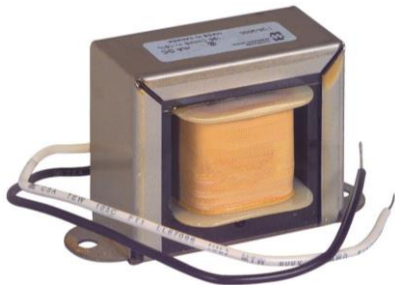
หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) คือ เฮนรี (Henry) ใช้ตัวย่อว่า H ซึ่งได้มาจากชื่อนักฟิสิกส์ชาวอเมริกา คือ ท่าน โยเซฟ เฮนรี (Joseph Henry ค.ศ. 1797-1878) เป็นผู้ทำการทดลองเรื่องแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี (H) คือ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในขดลวดตัวนำเปลี่ยนแปลง 1 แอมป์/วินาที ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลต์

$$\begin{aligned} 1 \text{ Henry (H)} &= 1,000 \text{ milli Henry (mH)} = 10^3 \text{ mH} \\ &= 1,000,000 \text{ micro Henry (uH)} = 10^6 \text{ uH} \\ 1 \text{ milli Henry (mH)} &= 1,000 \text{ micro Henry (uH)} = 10^3 \text{ uH} \end{aligned}$$

11.1.4 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ คือเส้นลวดทองแดงอบน้ำยาเคลือบฉนวนพันเป็นคอยล์ เพื่อใช้ในการกรองกระแส หรือการเชื่อมต่อวงจรต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของตัวเหนี่ยวนำได้ตามชนิดของแกนนั่นเอง



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 11.2 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเหล็ก

ที่มา : <https://www.active123.com>

รูปที่ 11.2 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเหล็ก เป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงมาก คือประมาณ 10-30 H เพื่อใช้สำหรับวงจรกรองกระแสความถี่ต่ำ หรือวงจรย่านความถี่เสียง (AF: Audio Frequency) บางที่เราอาจจะเรียกตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้ได้ว่า เอ.เอฟ. ไซค์ (A.F. Choke)



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 11.3 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ

ที่มา : <https://www.active123.com>

รูปที่ 11.3 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในย่านความถี่วิทยุ (RF: Radio Frequency) บางที่จะเรียกตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้ว่า อาร์ เอฟ ไซค์ (RF Choke) ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศนี้จะมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย ใช้งานกับเครื่องรับวิทยุ และเครื่องรับโทรทัศน์



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

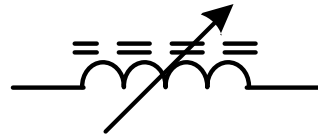
รูปที่ 11.4 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเฟอร์ไรท์

ที่มา : <https://nanfangdianqi.en.made-in-china.com>

รูปที่ 11.4 เป็นรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเฟอร์ไรท์ เป็นตัวเหนี่ยวนำชนิดหนึ่งที่ใช้แกนเฟอร์ไรท์ (Ferite Core) หรือแกนผงเหล็กอัด (powdered iron) แทนแกนอากาศ ซึ่งจะทำให้มีค่าของความเหนี่ยวนำได้ปานกลาง บางครั้งอาจเรียกตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้ว่า ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 11.5 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดเปลี่ยนค่าได้

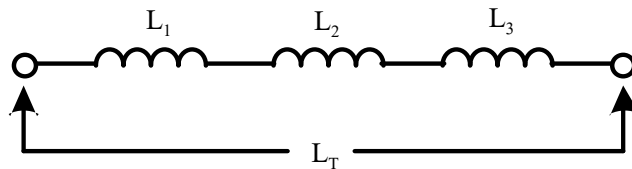
ที่มา : <https://www.flickr.com>

รูปที่ 11.5 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดเปลี่ยนค่าได้ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ฐานรองขดลวดมีแกนเฟอร์ไรท์มีร่องเกลียวสัมผัสอยู่กับตอนกลางของฐานรอง แกนเฟอร์ไรท์สามารถปรับเคลื่อนที่ได้ การปรับแกนเฟอร์ไรท์เป็นการปรับเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำให้มากขึ้นหรือน้อยลงได้ตามต้องการ นำไปใช้งานกับความถี่สูงย่านความถี่วิทยุ (RF) เช่น ในวงจรเครื่องรับวิทยุ วงจรเครื่องรับโทรทัศน์ และวงจรเครื่องรับส่งวิทยุ เป็นต้น

11.1.5 การต่อตัวเหนี่ยวนำ

การต่อตัวเหนี่ยวนำ คือการนำตัวเหนี่ยวนำมาต่อกัน เพื่อปรับเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำให้ได้ตามต้องการ

แบบอนุกรม เป็นการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอันดับเรียงกันไป ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มมากขึ้นเท่ากับค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวมารวมกัน



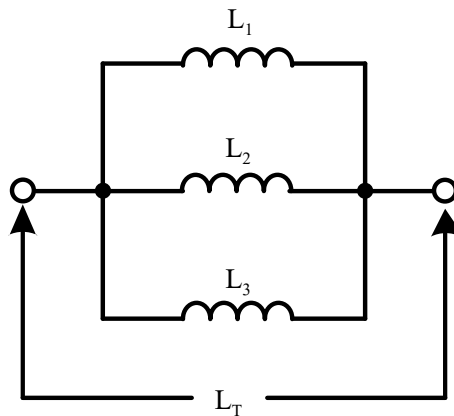
รูปที่ 11.6 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครี้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 11.6 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำในวงจรอนุกรม เป็นการต่อในลักษณะท้ายของตัวเหนี่ยวนำตัวแรกต่อเข้าหัวตัวเหนี่ยวนำตัวที่สอง และท้ายของตัวเหนี่ยวนำตัวที่สองต่อเข้าหัวตัวเหนี่ยวนำตัวที่สาม ต่อเช่นนี้เรื่อยไป เขียนเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad \text{..... (11.1)}$$

แบบขนาน เป็นวิธีการเอาตัวเหนี่ยวนำมาต่อขนานหรือคร่อมกันไป ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรจะลดลง



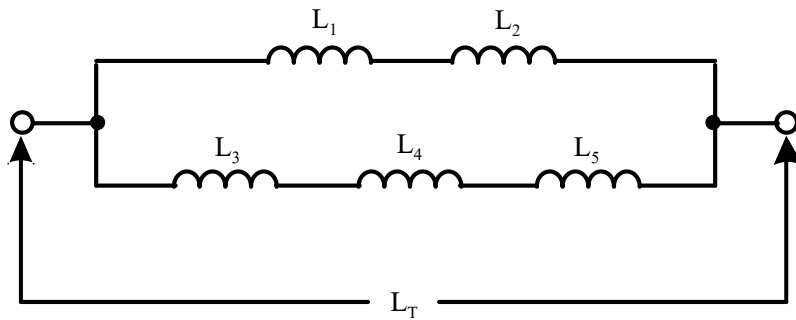
รูปที่ 11.7 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครี้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 11.7 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน เป็นการต่อตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวในลักษณะคร่อมขนานร่วมกันทุกตัว เขียนเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์จะเขียนได้ว่า

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad \text{..... (11.2)}$$

แบบผสม เป็นการเอาลักษณะของวงจรอนุกรมกับวงจรขนานมาต่อร่วมกัน



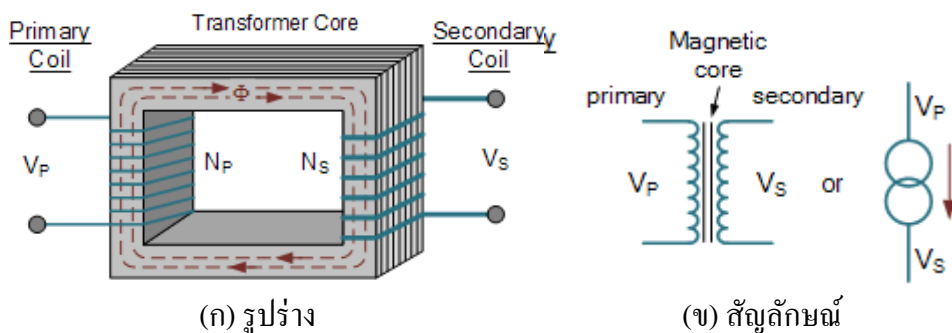
รูปที่ 11.8 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบผสม
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 11.8 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบผสม จากวงจรเราจะเห็นได้ว่า L_1 และ L_2 ต่ออนุกรมกันชุดหนึ่ง L_3, L_4 และ L_5 ต่ออนุกรมกันอีกชุดหนึ่ง แล้วนำเอาตัวเหนี่ยวนำแต่ละชุดมาต่อขนานกันอีกทีหนึ่ง

11.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยขดลวดตั้งแต่ 2 ขดขึ้นไป มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าด้วยความถี่เท่าเดิมจากระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งๆ ไปยังระบบไฟฟ้าอีกระบบหนึ่ง

11.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 11.9 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา : <https://www.electronics-tutorials.ws>

รูปที่ 11.9 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวด 2 ขดพันอยู่บนแกนเหล็ก ขดลวดที่ต่อกับต้นกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดลวดที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary winding)

11.2.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อสังเกตดูให้ดีจะเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ขดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่ได้ต่อกันเลย แต่มันสามารถเชื่อมต่อวงจรกันได้โดยอำนาจของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ซึ่งอาศัยหลักการเหนี่ยวนำร่วมกันระหว่างขดลวดทั้งสองขด (Mutual Inductance) หม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่ใช่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า หากเป็นเพียงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานจากขดปฐมภูมิไปสู่ขดทุติยภูมิได้โดยการเหนี่ยวนำ



รูปที่ 11.10 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแกนเหล็ก

ที่มา : <https://www.jaycar.us>

รูปที่ 11.10 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแกนเหล็ก จะใช้กับงานทางด้านความถี่ต่ำ คือใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามความต้องการ ดังเช่น

- **Step up transformer** คือ หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางเอาต์พุต ในขดทุติยภูมิให้สูงเพิ่มมากกว่าทางอินพุตในขดปฐมภูมิ โดยการพันจำนวนรอบทางขดทุติยภูมิให้มีจำนวนมารอบ

- **Step down transformer** คือ หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตในขดทุติยภูมิให้น้อยกว่าทางด้านอินพุตในขดปฐมภูมิ โดยการพันจำนวนรอบของขดทุติยภูมิให้มีจำนวนน้อยรอบ

- **Power transformer** คือ หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีลักษณะของการพันขดลวดหลายๆ ขด อยู่บนแกนเดียวกัน ซึ่งจะเป็นทั้งแบบ Step up หรือ Step down อยู่ในตัวเดียวกัน

- **Auto transformer** คือ หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดเพียงขดเดียว พันบนแกนเหล็ก แล้วแต่ขดลวดออกมาใช้งานให้มีระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามต้องการ



รูปที่ 11.11 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแกนทอรอยด์

ที่มา : <http://myelectronic.lnwshop.com>

รูปที่ 11.11 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแกนทอรอยด์ (Toroid Transformer) จัดเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีการสูญเสียในตัวมันขณะที่ไม่มีโหลดน้อยกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าธรรมดาประมาณ 70-80% การรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายในตัวน้อยและป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอกได้ดี แต่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีราคาสูง



รูปที่ 11.2 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดปรับแรงดันไฟฟ้าได้

ที่มา : <https://www.jaycar.us>

รูปที่ 11.12 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดปรับแรงดันไฟฟ้าได้ (Variable Transformer) หรือ เรียกย่อๆ ว่า VARIAC ปกติจะมีแรงดันขาเข้า 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออกจะปรับได้ตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึงค่าแรงดันขาเข้าสูงสุด

สรุป

ตัวเหนี่ยวนำ หรือ อินдукเตอร์ (Inductor) ในบางครั้งเราอาจจะเรียกตัวอินдукเตอร์ว่า “คอยล์” (Coils) หรือ “แอล” (L) แทนก็ได้ เป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ประกอบอยู่ในวงจรเครื่องรับ-ส่งวิทยุ, วงจรเครื่องรับโทรทัศน์, วงจรเลือกความถี่และวงจรอื่นๆ ที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำ

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเหนี่ยวนำ ได้แก่

1. จำนวนรอบหรือความยาวของเส้นลวดตัวนำ
2. พื้นที่หน้าตัดของแกน (A)
3. ค่าความซึมซาบของแกน (Permeability : μ_r)
4. ความยาวของแกนและระยะห่างของการพันขดลวด

หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) คือ เฮนรี (Henry) ใช้ตัวย่อว่า H ซึ่งได้มาจากชื่อนักฟิสิกส์ชาวอเมริกา คือ ท่าน โยเซฟ เฮนรี เป็นผู้ทำการทดลองเรื่องแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยขดลวดตั้งแต่ 2 ขดขึ้นไป มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าด้วยความถี่เท่าเดิมจากระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งๆ ไปยังระบบไฟฟ้าอีกระบบหนึ่ง

หม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวด 2 ขด พันอยู่บนแกนเหล็ก ขดลวดที่ต่อกับต้นกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดลวดที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary winding)