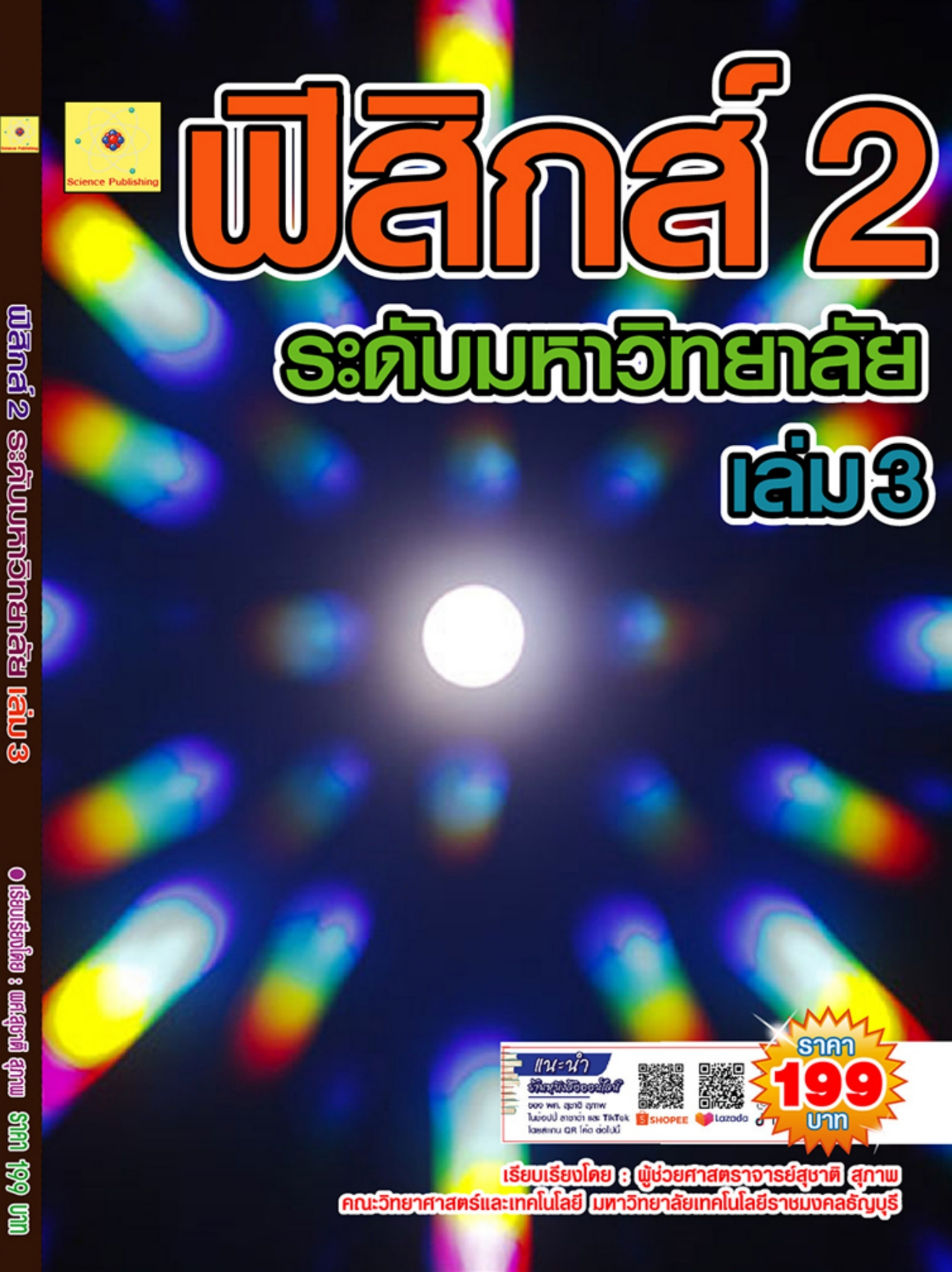
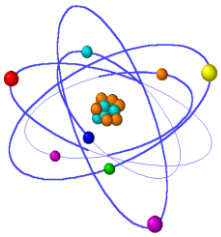


ฟิสิกส์ 2 ระดับมหาวิทยาลัย เล่ม 3
เรียบเรียงโดย : ผศ.สุชาติ สุภาพ ราคา 199 บาท



ฟิสิกส์ 2

ระดับมหาวิทยาลัย เล่ม 3

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ 2 (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก. sps 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพ ฯ 10230

คำนำ

หนังสือ ฟิสิกส์ ๒ ระดับมหาวิทยาลัย เล่ม ๓ นี้ มีเนื้อหาในหมวดไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทัศนศาสตร์ ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของเทคโนโลยีในยุคปัจจุบัน เนื้อหาในเล่มมี ๕ บท ได้แก่

- ตัวเหนี่ยวนำและความเหนี่ยวนำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพลังงานในสนามแม่เหล็ก และเป็นหัวใจของอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น หม้อแปลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ที่พบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน ทั้งในบ้าน โรงงาน และระบบพลังงานไฟฟ้า ซึ่งอธิบายการทำงานของตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุในระบบกระแสสลับ
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นคลื่นที่สามารถเดินทางผ่านอวกาศได้โดยไม่ต้องใช้ตัวกลาง และเป็นพื้นฐานของการสื่อสาร การมองเห็น และเทคโนโลยีไร้สาย
- ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต ที่อธิบายการสะท้อนและหักเหของแสงในเชิงเส้นตรง เหมาะกับการวิเคราะห์เลนส์ กระจก และการสร้างภาพ
- ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ ซึ่งเจาะลึกพฤติกรรมของแสงในลักษณะคลื่น เช่น การแทรกสอด การเลี้ยวเบน และโพลาไรซ์ ที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดแบบรังสี

ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะช่วยจุดประกายความเข้าใจในปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่อยู่รอบตัว และสร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่แข็งแรงสำหรับผู้เรียน เพื่อเตรียมพร้อมสู่การศึกษาในระดับที่สูงขึ้นหรือต่อยอดสู่การประยุกต์ใช้อย่างสร้างสรรค์ในโลกยุคใหม่

หรือถ้านักศึกษาสนใจหนังสือนี้ในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ ,MEB , อุ๊กบี, ซีเอ็ด , haytexts และศูนย์หนังสือจุฬาฯ

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้ (ที่ช้อปปี้มีหนังสือมากที่สุด)

สุชาติ สุภาพ

มือถือ 083-920-3825

สารบัญ

หน้า

บทที่ 10 ตัวเหนี่ยวนำและความเหนี่ยวนำ 5

10.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง 6

10.2 วงจรอนุกรม RL 14

10.3 พลังงานของตัวเหนี่ยวนำ 24

10.4 ความเหนี่ยวนำร่วม 30

10.5 การแกว่งทางไฟฟ้าในวงจร LC 34

10.6 วงจร RLC 42

บทที่ 11 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 45

11.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และแผนภาพเฟสเซอร์ 45

11.2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแต่ตัวต้านทาน เพียงอย่างเดียว 48

11.3 พลังงงานจากไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสตรง เมื่อแรงดันเฉลี่ยเท่ากัน 49

11.4 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแต่ตัวเหนี่ยวนำ เพียงอย่างเดียว 52

11.5 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแต่ตัวเก็บประจุ เพียงอย่างเดียว 55

11.6 วงจร RLC ที่ต่อกันแบบอนุกรม 63

11.7 การกำทอนในวงจร RLC ที่ต่อกันแบบอนุกรม 75

11.8 วงจร RLC ที่ต่อกันแบบขนาน 79

11.9 กำลังไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 83

11.10 หม้อแปลงไฟฟ้า และการส่งกำลังงาน 89

บทที่ 12 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 92

12.1 กฎต่างๆของแม่เหล็กและไฟฟ้า 93

12.2 สมการแมกซ์เวลล์ 96

12.3 การถอดสมการแมกซ์เวลล์ และคลื่นระนาบ 98

12.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบระนาบ 103

12.5 พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 106

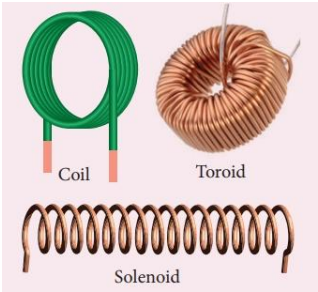
12.6 โมเมนตัมและความดันของการแผ่รังสี 112

สารบัญ

หน้า

12.7 อัตราส่วนระหว่างการถ่ายถอดพลังงานและการถ่ายทอดโมเมนตัม 115
12.8 การผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยสายอากาศ 117
12.9 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 119
บทที่ 13 ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต 122
13.1 ธรรมชาติของแสง 122
13.2 การประมาณรังสีด้านแสงเชิงเรขาคณิต 123
13.3 การสะท้อนและการหักเห 124
13.4 ดัชนีหักเหของแสง 128
13.5 การสะท้อนกลับหมด 132
13.6 หลักของฮอยเกนส์ 133
13.7 ภาพที่เกิดจาก กระจกเงาราบ 134
13.8 ภาพที่เกิดจากกระจกโค้ง 136
13.9 ภาพที่เกิดจากการหักเหของแสง 143
13.10 เลนส์บาง 148
13.11 ความคลาดของเลนส์ 154
13.12 ทัศนอุปกรณ์ 156
13.13 นัยน์ตาและการมองเห็น 164
บทที่ 14 ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ 166
14.1 การแทรกสอดของแสงที่ผ่านสลิตคู่ 167
14.2 การเลี้ยวเบนของแสง 199
14.3 เกรตติงเลี้ยวเบน 212
14.4 การโพลาไรซ์ของคลื่นแสง 224
14.5 การทำแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ 226
14.6 กฎของมาลุส หรือกฎโคไซน์กำลังสอง 230

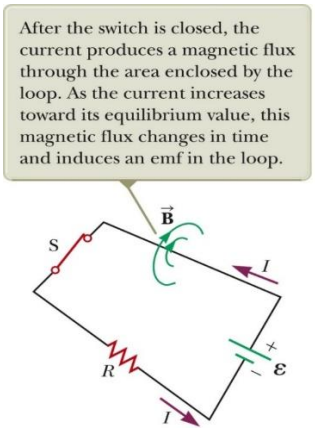
บทที่ 10
ตัวเหนี่ยวนำ และความเหนี่ยวนำ



ในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ อุปกรณ์หนึ่งที่มีบทบาทสำคัญไม่แพ้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ก็คือ "ตัวเหนี่ยวนำ" อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสนามแม่เหล็กและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจร เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะเกิดสนามแม่เหล็กล้อมรอบขึ้น และหากกระแสในขดลวดเปลี่ยนแปลง สนามแม่เหล็กนั้นก็จะเปลี่ยนตาม ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสนั้นเอง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ความเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของตัวเหนี่ยวนำ ตัวเหนี่ยวนำมีบทบาทอย่างมากในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC), วงจรกรองสัญญาณ (filters), หม้อแปลงไฟฟ้า รวมถึงเครื่องกำเนิดและมอเตอร์ไฟฟ้า ความเข้าใจเรื่องตัวเหนี่ยวนำจึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์และออกแบบระบบไฟฟ้า บทเรียนนี้จะพานักศึกษาไปทำความรู้จักกับแนวคิดของความเหนี่ยวนำ หน่วยของมัน หลักการทำงานของตัวเหนี่ยวนำ การเหนี่ยวนำตัวเอง และการเหนี่ยวนำร่วมพร้อมทั้งตัวอย่างการใช้งานจริงในเทคโนโลยีรอบตัวเรา

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในขดลวดอุปกรณ์ที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในตัวเองได้ ตัวเหนี่ยวนำมีแนวโน้มจะขัดขวางการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแส โดยถ้ากระแสเพิ่มขึ้น ก็จะเกิดการต่อต้านการไหลของอิเล็กตรอน แต่ถ้ากระแสลดลง ตัวเหนี่ยวนำก็จะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา หน่วยของตัวเหนี่ยวนำ คือ เฮนรี่ ตัวเหนี่ยวนำจะเป็นขดลวด

เมื่อปิดวงจรไฟฟ้าใดๆ ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลทันทีทันใด แต่กระแสไฟฟ้ายังไม่ได้มีค่าสูงสุดในทันทีทันใด ถึงแม้ว่าช่วงเวลาที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มจากศูนย์เป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดจะใช้เวลาที่สั้นมาก ๆ ก็ตาม แต่จำเป็นต้องกล่าวถึง



รูป 10.1 เมื่อปิดวงจร กระแสไฟฟ้าจะไม่ได้มีค่าสูงสุดในทันทีทันใด

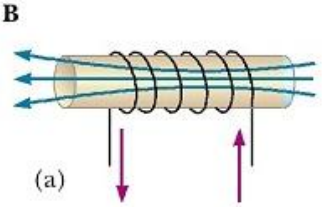
ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น เนื่องจากเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรไฟฟ้าก็จะมีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมาจากสายไฟฟ้านั้น สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้ก็จะตัดผ่านเส้นลวดทั้งหมดที่เป็นส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้า (มองวงจรไฟฟ้าเป็นเสมือนขดลวด 1ลูป) สนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดก็จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในทิศที่ต้านกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าหลัก ดังรูป 10.1 เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้มีค่าขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าในวงจร ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้จึงมีค่ามากที่สุดขณะปิดวงจร และเมื่อเวลาผ่านไปจนเกิดสมดุลทางไฟฟ้าแล้ว แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะมีค่าเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรก็จะมีเพียงกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าโดยที่กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นหลังจากเกิดสมดุลทางไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าก็จะมีค่าสูงสุด

ความเหนี่ยวนำเป็นคุณสมบัติของขดลวดตัวนำ ที่จะต้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งหลักพื้นฐานของความเหนี่ยวนำจะอาศัยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆตัวเหนี่ยวนำเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ตัวเหนี่ยวนำมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า คอยล์ (Coil) หรือ โชค (Choke)

10.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง (Self-induced Electromotive Force)

ในวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดหรือสายตัวนำยาว ๆ จะเกิด สนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เมื่อกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเพิ่มหรือลด สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็เปลี่ยนแปลงตาม และนั่นทำให้เกิดปรากฏการณ์สำคัญอย่างหนึ่งที่เรียกว่า “แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง” แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำหรือขดลวดเอง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจรเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจาก กฎของฟาราเดย์ ว่าด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และสอดคล้องกับ กฎของเลนซ์ ที่ระบุว่า แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำจะมีทิศทาง “ต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสต้นเหตุ” เสมอ ปรากฏการณ์นี้มีความสำคัญอย่างมาก เพราะมันคือพื้นฐานของการทำงานของ ตัวเหนี่ยวนำ และส่งผลต่อการออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยเฉพาะวงจรที่มีกระแสสลับ หรือวงจรที่ต้องการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าให้ราบรื่น หัวข้อนี้จะพานักศึกษา ทำความเข้าใจว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองเกิดขึ้นได้อย่างไร มีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้อง และสามารถคำนวณได้จากสมการทางฟิสิกส์อย่างไร พร้อมตัวอย่างการใช้งานจริงในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ามา หรือเมื่อมีการหยุดไหลของกระแสไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ามาในขดลวด หรือการที่กระแสไฟฟ้าหยุดไหลทันทีทันใด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองในทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศของกระไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น เมื่อเราชักปลั๊กเครื่องใช้ฟ้าขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่จะเกิดประกายไฟเป็นต้น ในบางกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอาจมีค่าสูงกว่าเดิมมาก



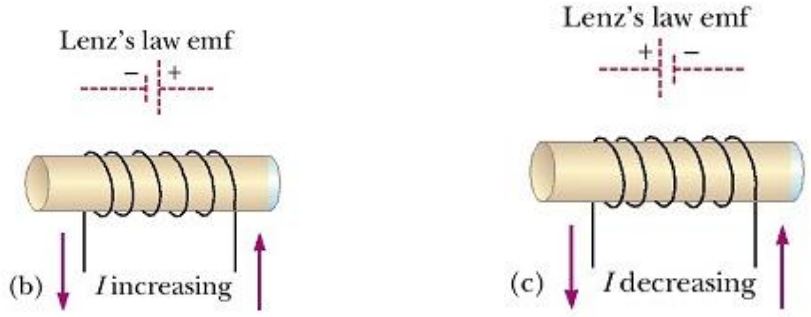
รูป 10.2 มีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดโซลินอยด์แกนโลหะ

รูป 10.2 เป็นขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดจะทำให้มีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมาจากขดลวด ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยการขยายตัวของ

สนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากจุดกึ่งกลางของขดลวด การเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กนี้ จะเสมือนว่ามีการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวดที่อยู่กับที่ ดังนั้น จึงส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด การที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้ามาในขดลวด แล้วทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในขดลวดนี้ เรียกว่า " ความเหนี่ยวนำตัวเอง " การเหนี่ยวนำตัวเองของขดลวดทำให้เกิด " แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (back emf.) "

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง หมายถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าในขดลวดนั้นมีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น เมื่อเปิดวงจรกระแสในขดลวดหยุดไหลมีผลให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด ในบางกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้มีค่าสูงกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป

ถ้าให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด มีการเปลี่ยนแปลง รูป 10.3 (b) กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น รูป 10.3 (c) กระแสไฟฟ้าลดลง กระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าว จะเหนี่ยวนำให้เกิด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองขึ้นในขดลวด ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองจะเป็นไปตามกฎของเลนซ์ ดังรูป 10.3



รูป 10.3 ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองมีทิศตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเดิม และมีค่าขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยเวลา และจำนวนรอบของขดลวด(N) หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\varepsilon_L = -N\frac{d\phi_B}{dt}$$

และเพื่อให้ง่ายในการศึกษา จะพิจารณาขดลวดที่มีขดเดียว ดังนั้นจะได้ว่า

$$\varepsilon_L = -\frac{d\phi_B}{dt} \qquad (10-1)$$

สมการ (10 - 1) มีความหมายว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองมีค่าขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กในหนึ่งหน่วยเวลา

เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ_B) มีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวด และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด ดังนั้น

$$\phi_B = LI \qquad (10-2)$$

เมื่อ L คือค่าคงตัว ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวด มีชื่อเรียกว่า " ค่าความเหนี่ยวนำตัวเองของขดลวด " แทนสมการ (10 - 2) ในสมการ (10 - 1) ได้

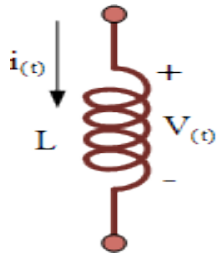
$$\varepsilon_L = -L\frac{dI}{dt} \qquad (10-3)$$

สมการ (10 - 3) มีความหมายว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำตัวเองของขดลวด และการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในหนึ่งหน่วยเวลา

$$L = -\frac{\mathcal{E}_L}{\frac{dI}{dt}}$$ โวลต์.วินาที ต่อแอมแปร์

ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี

ความเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ต่อวินาที ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลต์



รูป 10.4 ขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

การเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด เช่นถักปลั๊กออก หรือปิดวงจรไฟฟ้าทันทีทันใดของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบสำคัญ จะทำให้ $\frac{dI}{dt}$ มีค่าสูงมาก จึงเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (back emf) ที่มีค่าสูง จนอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นชำรุดเสียหายได้ (ปัจจุบันมีการป้องกัน back emf โดยต่อไดโอดคร่อมตัวเหนี่ยวนำ)

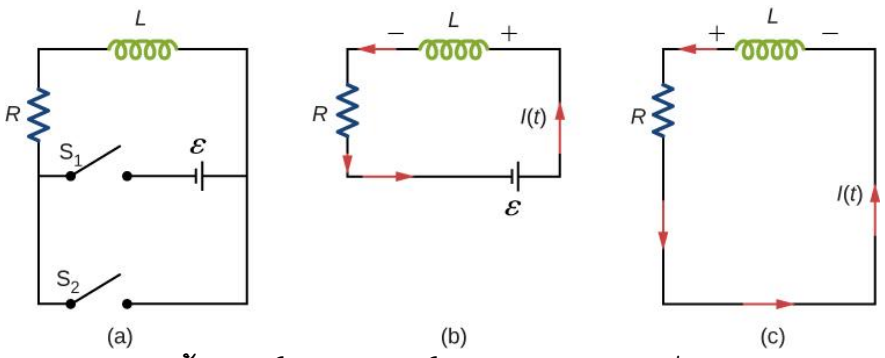
จากสมการ (10 - 2) ถ้าขดลวดมีจำนวน N รอบ จะได้ว่า

$$N\phi_B = LI$$

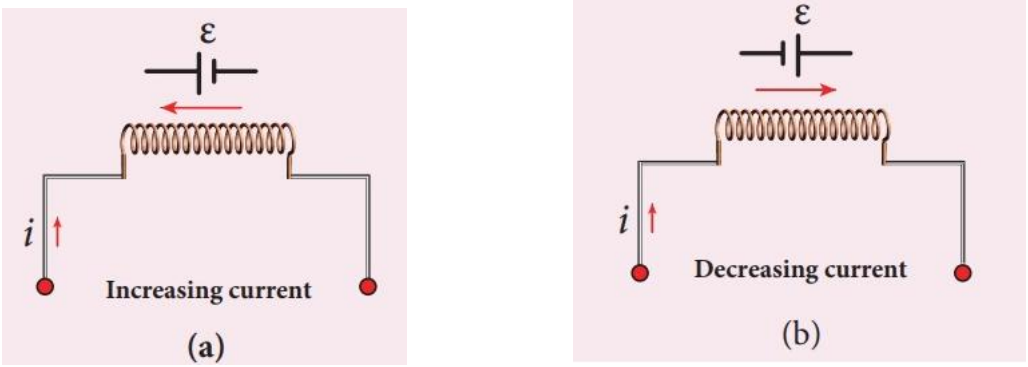
หรือ $$L = \frac{N\phi_B}{I}$$ (10 - 4)

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด (N)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด จะมีทิศต้านกับกระแสไฟฟ้า

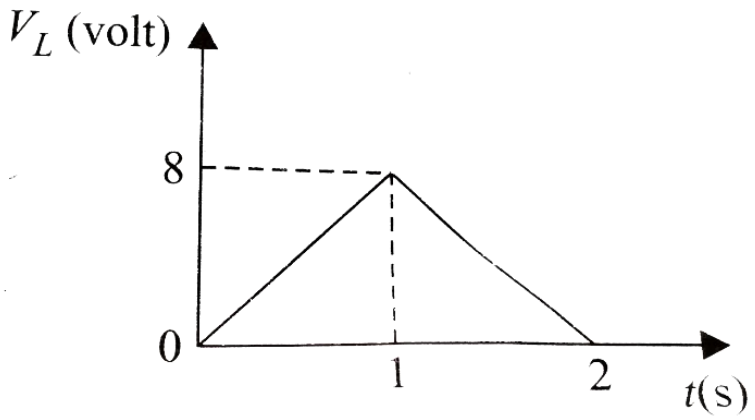


(a) วงจร RL พร้อมสวิตช์ S_1 และสวิทช์ S_2 (b) วงจรสมมูลเมื่อ S_1 ปิดและ S_2 เปิด
(c) วงจรสมมูลเมื่อ S_1 เปิดและ S_2 ปิด



แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด จะมีทิศต้านกับกระแสไฟฟ้า

ตัวอย่าง ถ้าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ 4 เฮนรีมีลักษณะดังรูป จงหากระแสไฟฟ้าเมื่อ t = ๒ วินาที



วิธีทำ จาก

$$V_L = \frac{Ldi}{dt}$$

$$\frac{V_L}{L}dt = di$$

$$\frac{1}{L}\int_0^2 V_L dt = \int_0^I di$$

$$\frac{1}{L}\int_0^2 V_L dt = \left[I-0\right]_0^1$$