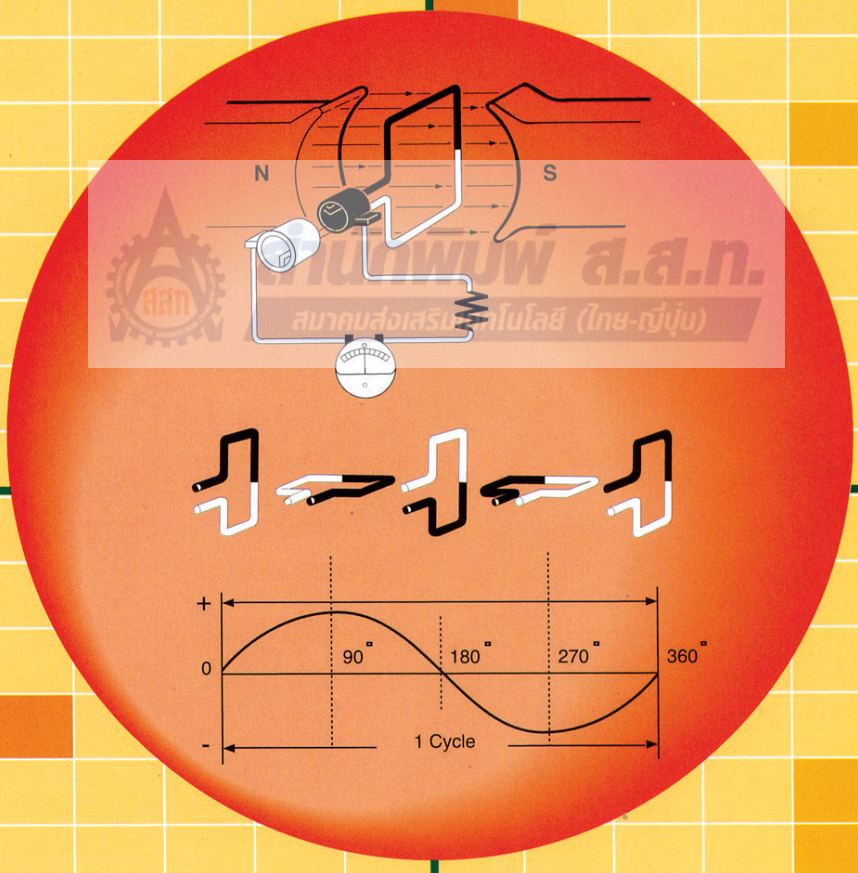
พิมพ์ครั้งที่ 9

ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

สำหรับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

◆ บรรจง จันทมาศ



สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

หนังสือที่ได้รับรางวัลยอดนิยมของ ส.ส.ท.

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ทฤษฎีวงจร
ไฟฟ้ากระแสสลับ

โดย

บรรจง จันทมาศ

โครงการความร่วมมือจัดพิมพ์ตำราตามหลักสูตรของกรมอาชีวศึกษา
ระหว่าง
กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ
และ
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ISBN : 974-8324-13-3

ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

โดย บรรจง จันทมาศ

ราคา 135 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 3	กันยายน	2539	จำนวนพิมพ์	3,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 4	พฤศจิกายน	2540	จำนวนพิมพ์	3,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 5	มิถุนายน	2541	จำนวนพิมพ์	3,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 6	พฤษภาคม	2542	จำนวนพิมพ์	3,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 7	สิงหาคม	2543	จำนวนพิมพ์	3,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 8	พฤศจิกายน	2544	จำนวนพิมพ์	3,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 9	พฤศจิกายน	2547	จำนวนพิมพ์	1,000	เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
ห้ามลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

จัดพิมพ์โดย

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

5-7 ซอยสุขุมวิท 29 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทร. 0-2258-0320 (6 เลขหมายอัตโนมัติ), 0-2259-9160 (10 เลขหมายอัตโนมัติ)
http://www.tpabookcentre.com

ออกแบบปกและรูปเล่ม : ***งานออกแบบสิ่งพิมพ์ ส่วนตำราฯ***

จัดจำหน่ายโดย

บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด
15/234 ซอยเสือใหญ่อุทิศ ถนนรัชดาภิเษก แขวงจันทร์เกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร. 0-2541-7375, 0-2930-6215 โทรสาร 0-2541-7377, 0-2930-7733
E-mail : dktoday@inet.co.th

พิมพ์ที่ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที. เอส. บี. โปรดักส์ โทร. 0-2536-6085 โทรสาร : 0-2536-6087

"ถ้ามีข้อผิดพลาดเนื่องจากการพิมพ์ ให้นำมาแลกเปลี่ยนได้ที่สมาคมฯ"
โทร. 0-2258-0320, 0-2259-9160 ต่อ 1560, 1570

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ติดตามหนังสือออกใหม่ของ สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ได้ที่
www.facebook.com/
tpabook
www.twitter.com/
Tpa_publishing
สอบถามเพิ่มเติม
Book4u@tpa.or.th

คำนำของอธิบดีกรมอาชีวศึกษา

กรมอาชีวศึกษาตระหนักถึงคุณค่าและความสำคัญของตำราเรียนสาขาอาชีพ ตามหลักสูตรอาชีวศึกษาเป็นอย่างยิ่งเพราะตำราเรียนเป็นสื่อการเรียนการสอนขั้นพื้นฐานที่ใช้ร่วมกันทั้งครูและนักเรียน แต่ในปัจจุบันนี้ อาจกล่าวได้ว่าตำราเรียนภาษาไทยที่มีคุณภาพและมาตรฐานยังขาดแคลน จำเป็นต้องส่งเสริมสนับสนุนครูอาจารย์และนักวิชาการของกรมอาชีวศึกษา ให้สนใจเขียนตำราเรียนเพื่อใช้ในการเรียนการสอนโดยเร่งด่วน กรมอาชีวศึกษาและสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) จึงร่วมมือกันจัดทำโครงการตำราทางด้านเทคนิคอุตสาหกรรมสำหรับหลักสูตรอาชีวศึกษาและช่างอุตสาหกรรมขึ้น

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อส่งเสริมการเขียนตำราด้านช่างอุตสาหกรรม ตามหลักสูตรอาชีวศึกษา ที่มีคุณภาพและมาตรฐาน สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนในสถานศึกษา สำหรับช่างโรงงาน และผู้สนใจทั่วไป

กรมอาชีวศึกษามีความมั่นใจว่า ตำราที่ผลิตขึ้นภายใต้โครงการความร่วมมือนี้ เป็นตำราที่มีมาตรฐานเชื่อถือได้มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตำราประกอบการเรียนการสอนและการปฏิบัติงานโดยทั่วไป

ขอขอบคุณสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้ความร่วมมืออย่างดีจนบรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และขอขอบคุณผู้เขียน ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่ทุ่มเทกำลังกายกำลังใจและกำลังความคิด จนทำให้ตำราชุดนี้สำเร็จขึ้นมาเป็นประโยชน์ต่อการอาชีวศึกษาและประเทศชาติ

(นายจรูญ ชูลาภ)
อธิบดีกรมอาชีวศึกษา

คำนำนายกสมาคม

โครงการจัดทำตำราทางด้านเทคนิคอุตสาหกรรมสำหรับหลักสูตรอาชีวศึกษาและช่างอุตสาหกรรม ด้วยความร่วมมือระหว่างกรมอาชีวศึกษาและสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) เป็นโครงการที่ตั้งขึ้น เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการเขียนตำราทางด้านเทคโนโลยีสาขาต่าง ๆ เป็นภาษาไทย สำหรับให้นักศึกษาระดับอาชีวศึกษา ช่างโรงงาน และผู้ที่สนใจทั่วไป ได้มีตำราประกอบการเรียนและการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเพื่อให้นักวิชาการและนักปฏิบัติการ ได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานของตนเองให้แพร่หลายออกไปในวงกว้าง ซึ่งจะยังผลให้เกิดการส่งเสริมและการเผยแพร่เทคโนโลยีออกไปสู่ระดับอาชีวศึกษา ช่างอุตสาหกรรม และผู้ที่สนใจทั่วไป

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) โดยส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรมเอง ก็มีนโยบายพื้นฐานในการที่จะจัดทำและจัดพิมพ์หนังสือหรือตำราทางเทคนิคและงานวิจัยทางวิชาการอื่น ๆ เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศอีกด้วย

สมาคมฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือหรือตำราที่ผลิตขึ้นภายใต้โครงการความร่วมมือนี้ จะเป็นประโยชน์และมีส่วนช่วยยกระดับมาตรฐานการศึกษาทางเทคโนโลยีของประเทศไทยเราให้สูงขึ้น อีกทั้งช่วยสร้างสรรค์ให้เกิดความคิดริเริ่ม ความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้อง อันจะเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ

อนึ่ง สมาคมฯ ใคร่ขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อผู้เขียน คณะผู้จัดทำ และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของกรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่ได้ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งจนทำให้ตำราชุดนี้สำเร็จขึ้นมาได้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

(นายสุพงศ์ ชยุตสาหกิจ)
นายกสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1

1.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1
1.2 รูปคลื่นไซน์ 6
1.3 คาบเวลาและความถี่ 7
1.4 ค่าสูงสุด 10
1.5 ค่าพีค-ทู-พีค 10
1.6 ค่าชั่วขณะใดขณะหนึ่ง 11
1.7 ค่าเฉลี่ย 11
1.8 ค่าที่วัดได้หรือค่าที่ใช้งาน 12
1.9 ปริมาณเวกเตอร์ 13
1.10 เฟสเซอร์ไดอะแกรม 14
1.11 มุมเฟส 14
1.12 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 20
แบบฝึกหัดบทที่ 1 23

บทที่ 2 จำนวนเชิงซ้อน 25

2.1 การคอนจูเกทจำนวนเชิงซ้อน 28
2.2 การบวกและลบจำนวนเชิงซ้อน 30
2.3 การคูณจำนวนเชิงซ้อน 30
2.4 การหารจำนวนเชิงซ้อน 31
2.5 การยกกำลังจำนวนเชิงซ้อน 33
แบบฝึกหัดบทที่ 2 40

บทที่ 3 ความต้านทาน, ความเหนี่ยวนำ, ความจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า 43

3.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยความต้านทานเพียงอย่างเดียว 44
3.2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยความเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว 50

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

3.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยความจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว 57
3.4 วงจรอนุกรมที่ประกอบด้วยความต้านทานและความเหนี่ยวนำ 60
3.5 วงจรอนุกรมที่ประกอบด้วยความต้านทานและความจุไฟฟ้า 73
3.6 วงจรอนุกรมที่ประกอบด้วยความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า 85
3.7 รีโซแนนซ์ในวงจรอนุกรม 100
3.8 แอดมิทแตนซ์, คอนดักแตนซ์ และซัซเซฟแตนซ์ 105
3.9 วงจรขนานที่ประกอบด้วยความต้านทานและความเหนี่ยวนำ 114
3.10 วงจรขนานที่ประกอบด้วยความต้านทานและความจุไฟฟ้า 122
3.11 วงจรขนานที่ประกอบด้วยความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า 130
3.12 รีโซแนนซ์ในวงจรขนาน 145
3.13 กำลังไฟฟ้าและการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ 148
3.14 วงจรแบบผสม 165
แบบฝึกหัดบทที่ 3 183

บทที่ 4 ระบบไฟฟ้าสามเฟส 193
4.1 การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามเฟส 193
4.2 การต่อขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส 196
4.3 การลำดับเฟส 202
4.4 การคำนวณโหลดสามเฟสในสภาวะสมดุล 206
4.5 การคำนวณโหลดสามเฟสในสภาวะไม่สมดุล 211
แบบฝึกหัดบทที่ 4 217

เฉลยคำตอบแบบฝึกหัดบทที่ 1–4 221
บรรณานุกรม 227
ภาคผนวก 229

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

1 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Generation)

ไฟฟ้ากระแสสลับ คือไฟฟ้าที่มีลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา คือ ขณะหนึ่งจะมีค่าเป็น 0 แล้วจะเพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดในทิศทางบวกแล้วลดลงเป็น 0 ต่อจากนั้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกจนถึงค่าสูงสุดในทิศทางลบแล้วจะลดลงเป็น 0 อีก จะสลับกันไปตลอดเวลา ถ้าไฟฟ้ากระแสสลับมีความถี่คงที่ กระแสไฟฟ้าที่ไหลก็จะเปลี่ยนทิศทางคงที่ตามไปด้วย

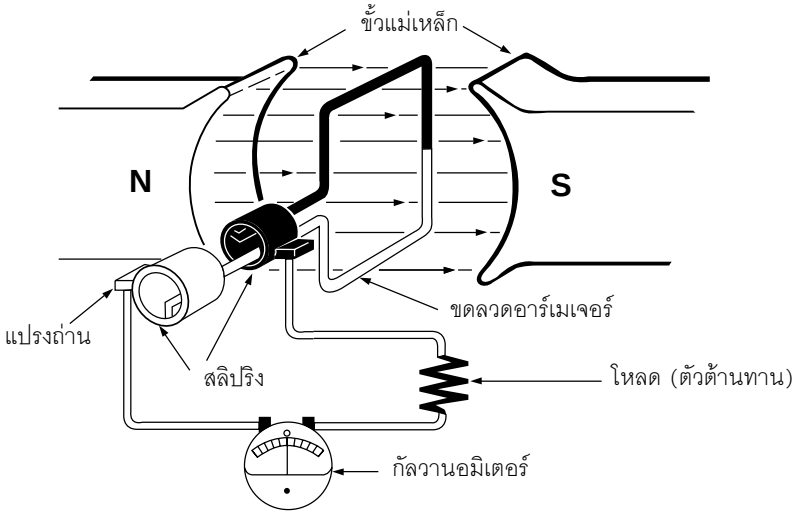
สำนักพิมพ์ ส.ส.น.
สถาบันการอาชีวศึกษาเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

1.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

แรงเคลื่อนไฟฟ้า จะเกิดการเหนี่ยวนำได้นั้นจะต้องประกอบด้วยความสัมพันธ์กัน 3 อย่าง คือ

1. เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Field)
2. ขดลวดตัวนำ (Conductor)
3. การหมุนหรือการเคลื่อนที่ (Rotation)

ถ้าให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กหรือให้เส้นแรงแม่เหล็กมีการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดตัวนำ ซึ่งขดลวดตัวนำนี้มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยอะตอมจำนวนมากมาย ในแต่ละอะตอมก็จะมีอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron)อยู่ด้วย ดังนั้น ถ้าให้ขดลวดตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก จึงเท่ากับพาอิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้เคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก จึงเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอนอิสระทั้งหมดในขดลวดตัวนำนั้น และผลของแรงกระทำที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายทั้งสองของขดลวดตัวนำได้ เราเรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นว่า **“แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ”**



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเบื้องต้น

ในกรณีที่เป็นวงจรปิด คือมีกระแสไฟฟ้าไหล กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เรียกว่า **"กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ"**

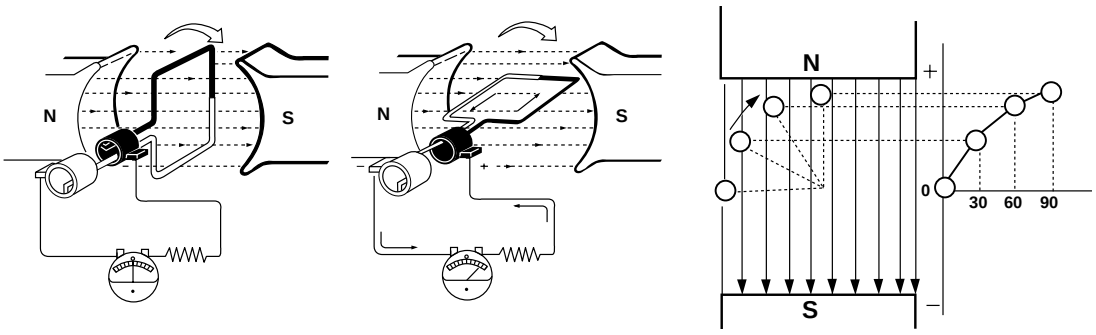
จากหลักการดังกล่าวในทางปฏิบัติใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า **"เครื่องกำเนิดไฟฟ้า"** ซึ่งใช้ได้ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย

- แม่เหล็กมี 2 ขั้ว คือขั้วเหนือและขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้
- ขดลวดตัวนำ ซึ่งมีขดเดียวที่หมุนในสนามแม่เหล็ก เรียกขดลวดตัวนำนี้ว่า อาร์เมเจอร์ (Armature) ปลายของขดลวดอาร์เมเจอร์ต่ออยู่กับวงแหวน เรียกว่า "สลิปริง" (Slipring) สองวง ซึ่งหมุนไปพร้อมขดลวด มีแปรงถ่านแตะอยู่กับสลิปริง เพื่อนำเอากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ไปยังวงจรภายนอก

เมื่อนำขดลวดหรืออาร์เมเจอร์ให้เคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็กหรือให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดหรืออาร์เมเจอร์แล้ว ผลจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดตัวนำนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดเคลื่อนที่ตัดภายในเวลาหนึ่งหน่วยเวลา

ถ้าขดลวดเคลื่อนที่ตัดกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กมาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่ามาก ถ้าขดลวดเคลื่อนที่ตัดกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กน้อย แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อย ส่วนทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดนั้น ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

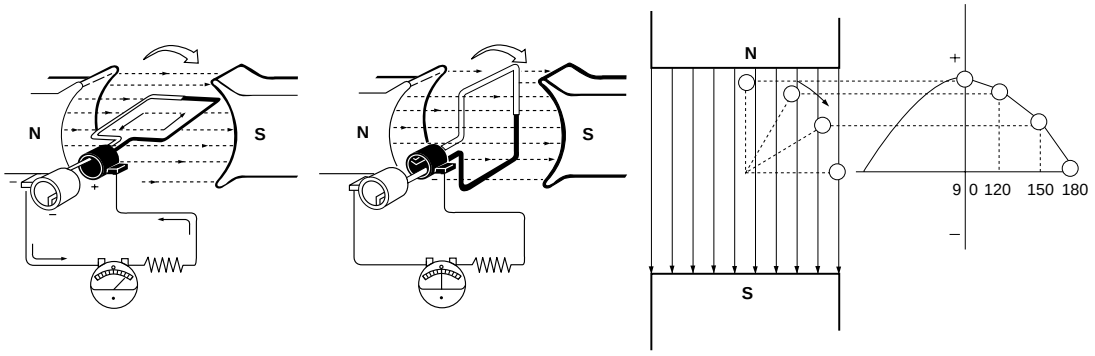


(ก) ตำแหน่ง A 0 องศา (ข) ตำแหน่ง B 90 องศา (ค) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจาก 0 ถึงค่าสูงสุด

รูปที่ 1.2 แสดงขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูปที่ 1.2 (ก) แสดงให้เห็นขดลวด 1 ขด เริ่มต้นเคลื่อนที่หมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาที่ตำแหน่ง A ซึ่งเป็นมุม 0 องศา ขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ส่วนที่เป็นสีขาวกับสีดำจะขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งทั้งสองส่วนของขดลวดนี้ไม่ได้ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กเลย จึงไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นทั้งสองส่วนของขดลวดนั้น ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลผ่านไปยังวงจรภายนอก เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะชี้ที่ 0

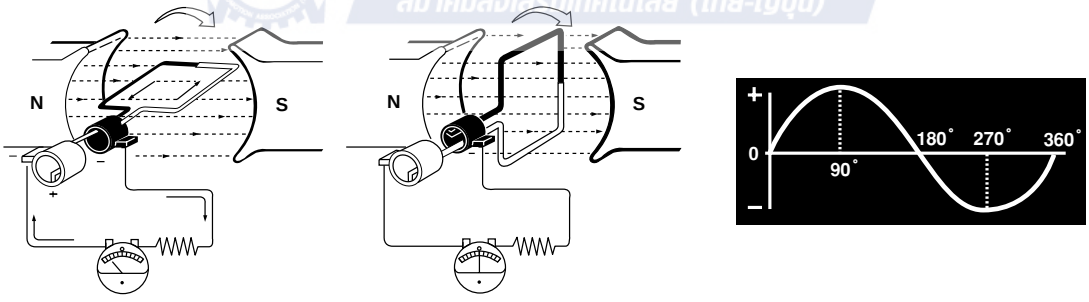
เมื่อขดลวดหมุนเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไปตำแหน่ง B คือ จากมุม 0 องศา เคลื่อนที่ไปที่มุม 90 องศา ดังรูปที่ 1.2 (ก) และรูปที่ 1.2 (ข) ส่วนของขดลวดส่วนดำและขาวจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุดที่จุดกึ่งกลางขั้ว ซึ่งทำมุม 90 องศา (ตำแหน่ง B) นั่นคือ ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจาก 0 ถึงค่าสูงสุด (ทางบวก) เพราะส่วนดำของขดลวดจะเคลื่อนที่ตัดจากส่วนบนลงสู่ส่วนล่างและในเวลาเดียวกันส่วนขาวของขดลวดจะตัดจากส่วนล่างขึ้นข้างบน ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงเสริมกัน เป็นผลทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างแปรงถ่านทั้งสองเท่ากับผลบวกของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองส่วนของขดลวดหรือเท่ากับสองเท่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละส่วนเพราะแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละส่วนเท่ากัน ส่วนกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไหลผ่านไปยังวงจรภายนอกนั้นจะเปลี่ยนแปลง เหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเช่นเดียวกัน คือมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่ง A ไป B ซึ่งแสดงให้เห็นด้วยรูปคลื่น ดังรูปที่ 1.2 (ค)



(ก) ตำแหน่ง B 90 องศา (ข) ตำแหน่ง C 180 องศา (ค) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงเป็น 0

รูปที่ 1.3

เมื่อขดลวดหมุนเคลื่อนที่จากตำแหน่ง B ไปตำแหน่ง C คือจากมุม 90 องศา เคลื่อนที่ไปที่มุม 180 องศา ดังรูปที่ 1.3 (ก) และรูปที่ 1.3 (ข) ขดลวดสีดำและขาวจะตัดเส้นแรงแม่เหล็กลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมาถึงมุม 180 องศา (ตำแหน่ง C) ขดลวดทั้งสองจะขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะลดลงจนถึง 0 และกระแสไฟฟ้าก็ลดลงด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 1.3 (ค)



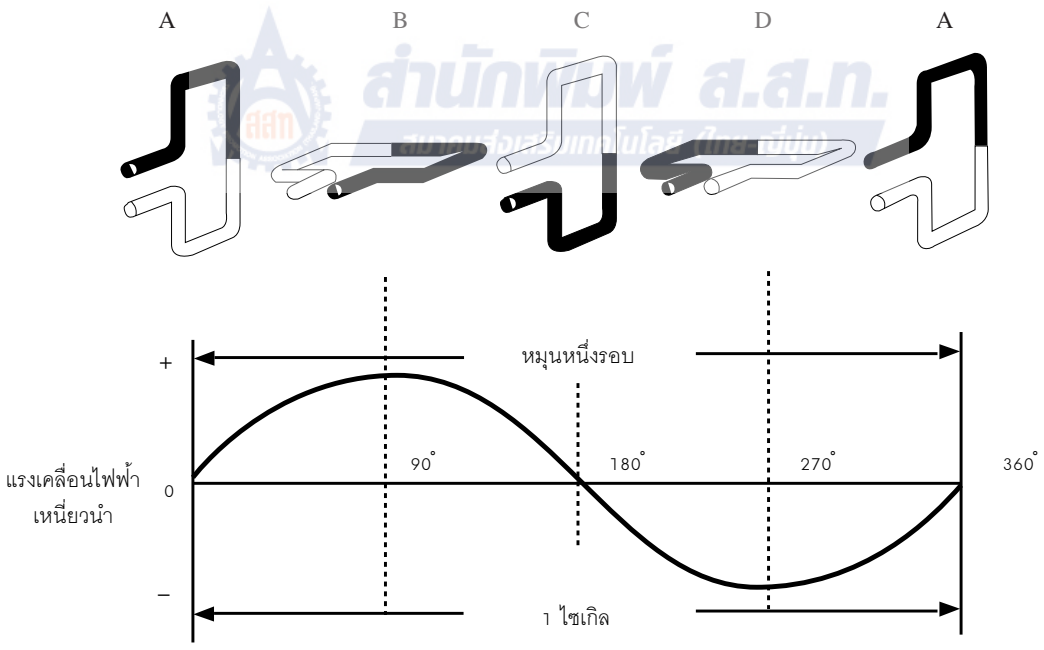
(ก) ตำแหน่ง D 270 องศา (ข) ตำแหน่ง A 360 องศา (ค) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 ไซเกิล

รูปที่ 1.4

เมื่อขดลวดหมุนเคลื่อนที่จากตำแหน่ง C ไปตำแหน่ง D คือจากมุม 180 องศา เคลื่อนที่ไปมุม 270 องศา ดังรูปที่ 1.4 (ก) ขดลวดจะเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กมากขึ้น คือส่วนขดลวดสีดำจะเคลื่อนที่ตัดจากส่วนล่างขึ้นข้างบน และส่วนสีขาวจะตัดจากบนลงข้างล่าง ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองส่วนจึงเสริมกันและมากที่สุดที่จุดกึ่งกลางขั้วทำมุม 270 องศา (ตำแหน่ง D) นั่นคือระหว่าง 180 องศา ถึง 270 องศา จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจาก 0 ถึงสูงสุด (ทางลบ) เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ต่อไปจะอยู่ใน

ตำแหน่งเดิมคือตำแหน่ง A ดังรูปที่ 1.4 (ข) ซึ่งหมุนครบ 1 รอบคือ 360 องศา แรงเคลื่อนจะลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าเป็น 0 ส่วนกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและไหลผ่านไปยังวงจรภายนอกนั้นจะเปลี่ยนแปลงเหมือนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเช่นเดียวกัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ดังรูปคลื่น รูปที่ 1.4 (ค)

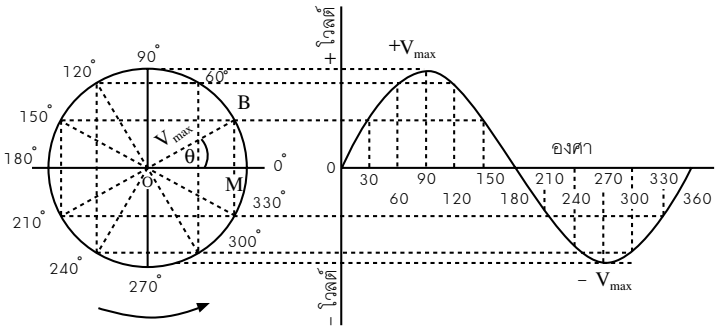
จากที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนั้นจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามตำแหน่งที่ขดลวดเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ดังเช่นเมื่อตำแหน่ง A ที่ 0 องศา ขดลวดตัวนำไม่ได้เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กเลย แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเป็น 0 พอเคลื่อนที่ไปตำแหน่ง B ที่ 90 องศา ขดลวดเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าสูงสุดทางบวก เมื่อเคลื่อนที่ไปตำแหน่ง C ที่ 180 องศา ขดลวดจะขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเป็น 0 พออยู่ตำแหน่ง D ที่ 270 องศา ขดลวดจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุดอีก แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าสูงสุดทางลบ พอเคลื่อนไปอยู่ตำแหน่ง A เดิม หมุน 1 รอบ 360 องศา แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเป็น 0 อีก นั่นคือ ขดลวดตัวนำหมุน 1 รอบ 360 องศา จะเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 ไซเกิล (Cycle) ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากตำแหน่ง A ไปตำแหน่ง D

1.2 รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

รูปคลื่นไซน์ หมายถึง คลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่เปลี่ยนแปลงตามค่าของมุมไซน์ (Sine)



รูปที่ 1.6 รูปคลื่นไซน์

พิจารณาจากรูปที่ 1.6

จะได้ OB = รัศมีของวงกลมมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Voltage) หรือ V_{max}

BM = แรงเคลื่อนไฟฟ้าชั่วขณะใดขณะหนึ่ง แทนค่าด้วย v ซึ่งเคลื่อนที่เป็นมุม θ

จากสามเหลี่ยม OBM จะได้

$$\sin \theta = \frac{BM}{OB}$$

$$= \frac{v}{V_{max}}$$

$$v = V_{max} \sin \theta$$

จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าชั่วขณะใดขณะหนึ่งขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดและค่ามุมไซน์ ถ้าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 1 โวลต์

จะได้ $v = 1 \sin \theta$

$$= \sin \theta$$

ซึ่งนำเอาสูตรนี้มาเขียนรูปคลื่น จะได้ดังรูปที่ 1.7 เมื่อขดลวดหมุน 1 รอบ คือ 360 องศา จะได้ 1 ไซเกิล หรือรูปคลื่นไซน์ เพราะแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำออกมาจะเปลี่ยนไปตามค่าของมุมไซน์