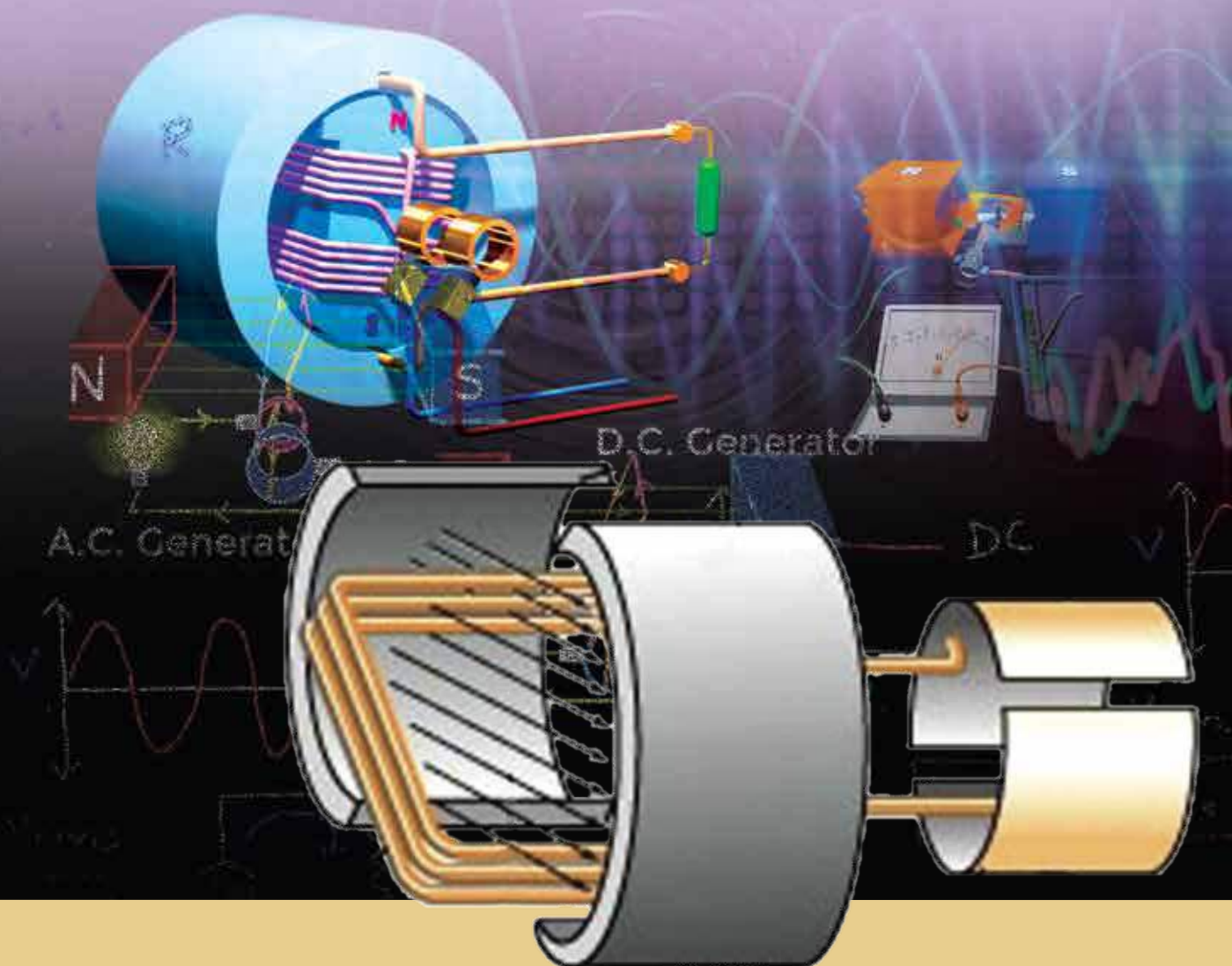


วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

(AC Electric Circuits)

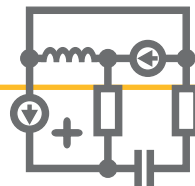
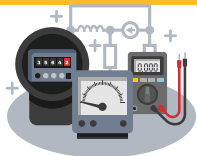


ไวพจน์ ศิริธัญ

120.-



วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Electric Circuits)



กลุ่มอาชีพพลังงาน ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

ISBN 978-616-495-340-6

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2569

จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม



เรียบเรียงโดย
ไวพจน์ ศรีธัญ

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย...



บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-4

Mobile 08-8585-1521

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com

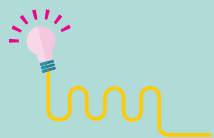
<http://www.wangaksorn.com>

ID Line : wangaksorn



สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์เพิ่มเติม พ.ศ. 2565
ห้ามมิให้ทำการคัดลอก ดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนไม่ว่ารูปแบบใด
ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้ เป็นลิขสิทธิ์โดยชอบด้วยกฎหมาย
ของเจ้าของแต่ละราย บริษัทฯ มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

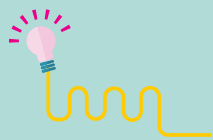


ตารางกำหนดการจัดการเรียนรู้ วิชา วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ครั้งที่	รายการ		จำนวนชั่วโมง		
	ทฤษฎี	ปฏิบัติ	ท	ป	รวม
1 - 2	บทเรียนที่ 1 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	- ใบงานที่ 1.1 การวัดคาบเวลาและคำนวณหาค่าความถี่ของรูปคลื่น - ใบงานที่ 1.2 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน	2	6	8
3	บทเรียนที่ 2 เฟสและเฟสเซอร์ไดอะแกรม		2	-	2
4	บทเรียนที่ 3 ปริมาณเชิงซ้อน	-	2	-	2
5 - 8	บทเรียนที่ 4 พารามิเตอร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	- ใบงานที่ 4.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว - ใบงานที่ 4.2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว - ใบงานที่ 4.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว - ใบงานที่ 4.4 การหาค่า C เมื่อต่อแบบขนานและแบบอนุกรม - ใบงานที่ 4.5 การหาค่า L เมื่อต่อแบบขนานและต่อแบบอนุกรม	4	16	20
9 - 11	บทเรียนที่ 5 วงจร RLC อนุกรม	- ใบงานที่ 5.1 วงจร RL อนุกรม - ใบงานที่ 5.2 วงจร RC อนุกรม - ใบงานที่ 5.3 วงจร RLC อนุกรม	2	10	12



ครั้งที่	รายการ		จำนวนชั่วโมง		
	ทฤษฎี	ปฏิบัติ	ท	ป	รวม
12 - 13	บทเรียนที่ 6 วงจร RLC ขนาน	- ใบงานที่ 6.1 วงจร RL ขนาน - ใบงานที่ 6.2 วงจร RLC ขนาน	2	6	8
14	บทเรียนที่ 7 วงจร RLC ผสม	-	2	-	2
15	บทเรียนที่ 8 วงจรรีโซแนนซ์	- ใบงานที่ 8.1 วงจรรีโซแนนซ์อนุกรม - ใบงานที่ 8.2 วงจรรีโซแนนซ์ขนาน	2	4	6
16	บทเรียนที่ 9 กำลังไฟฟ้าและการปรับปรุง เพาเวอร์แฟกเตอร์	- ใบงานที่ 9.1 การวัดกำลังไฟฟ้าและ การปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์	2	2	4
17	บทเรียนที่ 10 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	-	4	-	4
18	ประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา		1	3	4
รวม			25	47	72



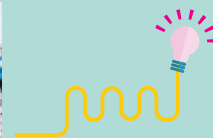
คำนำ

บริษัท วังอักษร จำกัด ได้จัดทำหนังสือวิชา **วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Electric Circuits)** เพื่อใช้บูรณาการและประกอบการเรียนการสอน ตามหลักสูตรอาชีวศึกษา (สอศ.) หลักสูตรส่งเสริมการเรียนรู้ (สกร.) และหลักสูตรอุดมศึกษา ผู้สนใจในการพัฒนาการเรียนรู้และทักษะ

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาสาระ ใบบาง แบบฝึกหัด แบบทดสอบคู่ขนาน มีจุดประสงค์ในการยกระดับผู้เรียนให้เรียนทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อเสริมสร้างทักษะ ประสบการณ์ และการประยุกต์ใช้ได้จริง โดยเน้นกระบวนการเรียนรู้ที่มีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ และกิจนิสัยในการทำงาน เพื่อสร้างสมรรถนะตามความต้องการของสถานประกอบการ เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 10 บทเรียน คือ **บทเรียนที่ 1 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ บทเรียนที่ 2 เฟสและเฟสเซอร์ไดอะแกรม บทเรียนที่ 3 ปริมาณเชิงซ้อน บทเรียนที่ 4 พารามิเตอร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ บทเรียนที่ 5 วงจร RLC อนุกรม บทเรียนที่ 6 วงจร RLC ขนาน บทเรียนที่ 7 วงจร RLC ผสม บทเรียนที่ 8 วงจรรีโซแนนซ์ บทเรียนที่ 9 กำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ บทเรียนที่ 10 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส**

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาที่ทันสมัยตามแผนการพัฒนาศึกษาด้านอาชีพพลังงาน ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและแผนการศึกษาแห่งชาติ เพื่อให้ผู้เรียนมีผลลัพธ์การเรียนรู้และสมรรถนะตามหลักสูตร

ไวพจน์ ศรีธัญ



สารบัญ

บทเรียนที่ 1 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

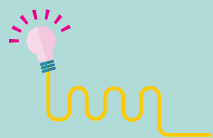
1

1.1 การเกิดรูปคลื่นไซน์	2
1.2 ความเร็วเชิงมุม	4
1.3 คาบเวลา	5
1.4 ความถี่	5
1.5 ค่าสูงสุด	6
1.6 ค่าจากยอดถึงยอด	7
1.7 ค่าชั่วขณะ	7
1.8 ค่าเฉลี่ย	8
1.9 ค่าอาร์.เอ็ม.เอส	9
1.10 ฟอर्मแฟกเตอร์	10
1.11 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ	10
ใบงานที่ 1.1 การวัดคาบเวลาและคำนวณหาค่าความถี่ของรูปคลื่น	20
ใบงานที่ 1.2 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน	23
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 1	26

บทเรียนที่ 2 เฟสและเฟสเซอร์ไดอะแกรม

29

2.1 เฟส	30
2.2 เฟสนำหน้าหรือล้าหลัง	31
2.3 การอินเฟส	31
2.4 เฟสด้านกลับ	31
2.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรม	32
2.6 การเขียนสมการชั่วคราวและสมการเฟสเซอร์	33
2.7 มุมต่างเฟสของรูปคลื่น	38
2.8 ตัวอย่างการคำนวณ	39
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 2	48



บทเรียนที่ 3 ปริมาณเชิงซ้อน

51

3.1 องค์ประกอบของปริมาณเชิงซ้อน	52
3.2 รูปแบบปริมาณเชิงซ้อน	53
3.3 การทำคอนจูเกตของปริมาณเชิงซ้อน	55
3.4 การกระทำระหว่างปริมาณเชิงซ้อน	56
3.5 การแปลงรูปฟอร์มของปริมาณเชิงซ้อน	59
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 3	63

บทเรียนที่ 4 พารามิเตอร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

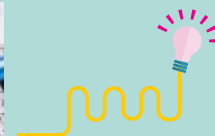
66

4.1 ความต้านทาน	67
4.2 ความนำไฟฟ้า	67
4.3 อิมพีแดนซ์	67
4.4 แอดมิตแตนซ์	68
4.5 รีแอกแตนซ์	69
4.6 ซัสเซปแตนซ์	69
4.7 ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าและตัวเก็บประจุไฟฟ้า	70
ใบงานที่ 4.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว	90
ใบงานที่ 4.2 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว	95
ใบงานที่ 4.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว	100
ใบงานที่ 4.4 การหาค่า C เมื่อต่อแบบขนานและแบบอนุกรม	105
ใบงานที่ 4.5 การหาค่า L เมื่อต่อแบบขนานและต่อแบบอนุกรม	108
แบบฝึกหัดหน่วยที่ 4	111

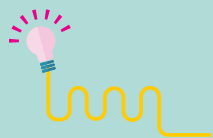
บทเรียนที่ 5 วงจร RLC อนุกรม

115

5.1 วงจร RL อนุกรม	116
5.2 วงจร RC อนุกรม	123
5.3 วงจร RLC อนุกรม	128
ใบงานที่ 5.1 วงจร RL อนุกรม	136
ใบงานที่ 5.2 วงจร RC อนุกรม	140
ใบงานที่ 5.3 วงจร RLC อนุกรม	144
แบบฝึกหัดหน่วยที่ 5	149



บทเรียนที่ 6 วงจร RLC ขนาน	153
6.1 วงจร RL ขนาน	154
6.2 วงจร RC ขนาน	159
6.3 วงจร RLC ขนาน	164
ใบงานที่ 6.1 วงจร RL ขนาน	172
ใบงานที่ 6.2 วงจร RLC ขนาน	177
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 6	182
บทเรียนที่ 7 วงจร RLC ผสม	185
7.1 ตัวอย่างการคำนวณ	186
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 7	197
บทเรียนที่ 8 วงจรรีโซแนนซ์	201
8.1 วงจรรีโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonance)	202
8.2 การหาค่า L หรือ C ในวงจรอนุกรม	206
8.3 วงจรรีโซแนนซ์ขนาน (Parallel Resonance)	207
8.4 การหาค่า L หรือ C ในวงจรขนาน	211
8.5 การประยุกต์ใช้งานวงจรรีโซแนนซ์	212
8.6 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)	213
ใบงานที่ 8.1 วงจรรีโซแนนซ์อนุกรม	218
ใบงานที่ 8.2 วงจรรีโซแนนซ์ขนาน	221
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 8	226
บทเรียนที่ 9 กำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์	228
9.1 กำลังไฟฟ้า	229
9.2 เพาเวอร์ไทรแองเกิล	230
9.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์	231
9.4 คอมเพล็กซ์เพาเวอร์	250
9.5 ประโยชน์ของการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์	255
ใบงานที่ 9.1 การวัดกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์	258
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 9	264



บทเรียนที่ 10 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 268

10.1	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส	269
10.2	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	270
10.3	การลำดับเฟสของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	271
10.4	การต่อขดลวดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส	274
10.5	ตัวอย่างการคำนวณวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในสภาวะโหลดสมดุล	282
10.6	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในสภาวะโหลดไม่สมดุล	289
	แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 10	297

บรรณานุกรม 300

การกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ



หัวเรื่องหลัก

- | | |
|--|---------------------|
| 1.1 การเกิดรูปคลื่นไซน์ | 1.2 ความเร็วเชิงมุม |
| 1.3 คาบเวลา | 1.4 ความถี่ |
| 1.5 ค่าสูงสุด | 1.6 ค่าจากยอดถึงยอด |
| 1.7 ค่าชั่วขณะ | 1.8 ค่าเฉลี่ย |
| 1.9 ค่า อาร์.เอ็ม.เอส | 1.10 ฟอर्मแฟกเตอร์ |
| 1.11 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ | |



แนวคิดหลัก

การแสดงการเกิดรูปคลื่นไซน์จำนวน 1 ลูกคลื่น หรือ 1 ไซเคิล (Cycle) ประกอบด้วยลูกคลื่นในซีกบวกและซีกลบ โดยจะเรียกความกว้างของแต่ละช่วงย่อยที่เกิดรูปซ้ำกันนี้ว่า **คาบ (Period)** การคำนวณในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับส่วนใหญ่จะแทนด้วยรูปคลื่นไซน์ เนื่องจากเป็นฟังก์ชัน (Function) ที่มีจุดเริ่มต้นที่ 0 (ศูนย์) หรือมีการเคลื่อนของรูปคลื่นผ่านจุดศูนย์และมีรูปร่างเป็นรูปคลื่นไซน์ไม่เปลี่ยนแปลง

ฟอर्मแฟกเตอร์ (Form Factor) หมายถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้บอกขนาดรูปร่างของรูปคลื่นสัญญาณ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของค่า rms กับ

ค่าเฉลี่ยสำหรับรูปคลื่นไซน์จะมีค่าเท่ากับ 1.11 โดยเป็นตัวคูณคงที่ของมิเตอร์แบบเรกติไฟเออร์ (Rectifier) เพื่อให้ได้ค่าใช้งานหรือค่าที่วัดได้



สมรรถนะการเรียนรู้

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
2. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ของรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายหลักการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของรูปคลื่นไซน์ (Peak, Average, RMS)
2. ปฏิบัติการใช้เครื่องมือวัดเพื่ออ่านค่าคาบเวลาและความถี่จากรูปคลื่นสัญญาณจริง
3. ปฏิบัติงานด้วยความละเอียดรอบคอบในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดและบันทึกผลตามความเป็นจริง
4. นำความรู้เรื่องค่า RMS ไปใช้ในการเลือกขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าให้รองรับแรงดันไฟฟ้าใช้งานได้ อย่างถูกต้อง

e-book 4 สี



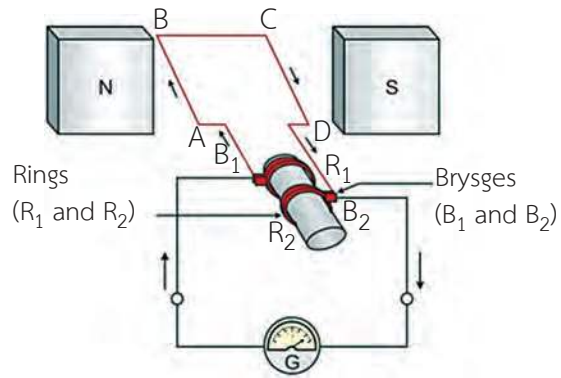


เนื้อหาสาระ

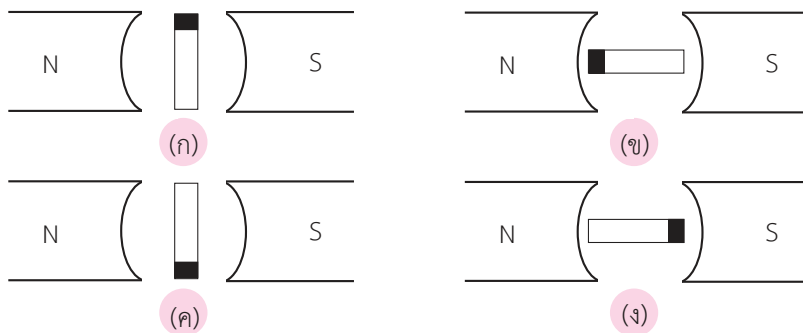
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันในปัจจุบัน เกิดจากการค้นคว้า ทดลอง และค้นพบของนักวิทยาศาสตร์ เมื่อประมาณพุทธศักราช 2374 คือ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) และ โจเซฟ เฮนรี (Joseph Henry) โดยใช้วิธีการหมุนขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก จะมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำปรากฏที่ปลายของขดลวดตัวนำ ต่อมาเมื่อนำกัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) มาต่อเข้ากับปลายของขดลวดตัวนำ และให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกไปอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงข้ามกัน กระแสไฟฟ้าที่ไหลกลับไปกลับมาดังกล่าว คือ หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Generator) นั่นเอง

1.1 การเกิดรูปคลื่นไซน์

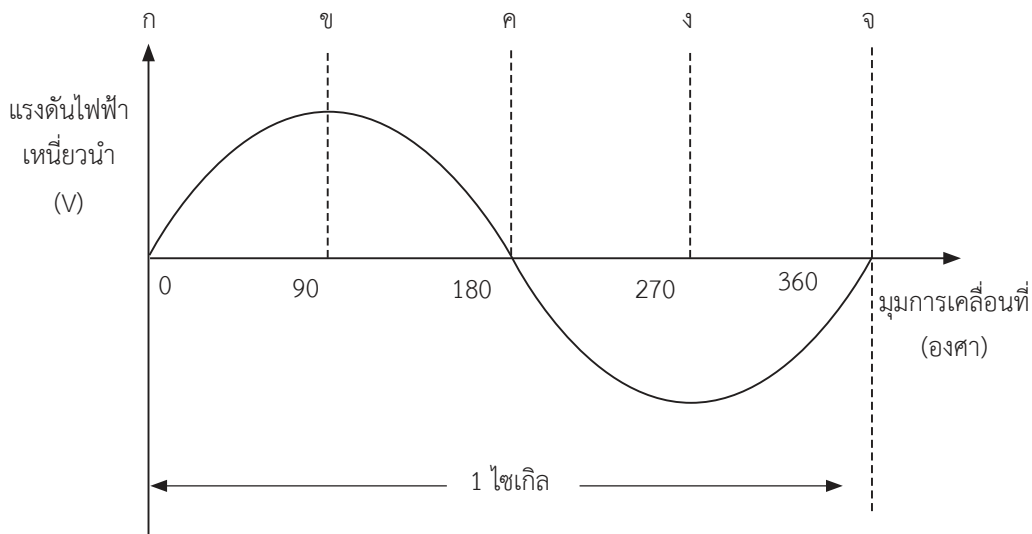
ในสภาวะปกติเส้นแรงแม่เหล็กจะเคลื่อนที่จากขั้วเหนือ (North ; N) ไปยังขั้วใต้ (South ; S) โดยจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางขั้ว (Pole) ดังนั้น เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางขั้ว จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุด จากรูปที่ 1.1 แสดงสภาวะที่ขดลวดตัวนำวางขนานกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก กล่าวคือ ยังไม่เคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ดังนั้น จึงไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ ซึ่งสอดคล้องกับการอธิบายในรูปที่ 1.2 (ก) ขณะนี้ยังไม่เกิดรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ดูรูปที่ 1.3 ตำแหน่ง (ก)



รูปที่ 1.1 หลักการเบื้องต้นของการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 1.2 แสดงการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำตัดผ่านความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

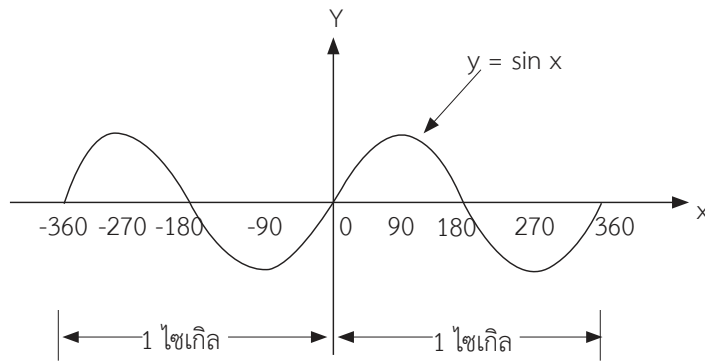


รูปที่ 1.3 แสดงการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำรูปคลื่นไซน์ 1 ไซเคิล

ถ้าให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ขดลวดตัวนำจะเริ่มตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) ไปยังขั้วใต้ (S) ดังนั้นจึงเริ่มเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปถึง 90° ดังรูปที่ 1.2 (ข) จะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งมีความเข้มมากที่สุด จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุดเป็นรูปคลื่นไซน์ทางด้านซีกบวก (Positive) ดังรูปที่ 1.3 ตำแหน่ง ข. ต่อมาเมื่อขดลวดเคลื่อนที่ต่อไปจนครบ 180° ดังรูปที่ 1.2 (ค) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 1.3 ตำแหน่ง ค. เมื่อให้ลวดตัวนำหมุนต่อไปอีกลักษณะ ดังรูปที่ 1.2 (ง) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทางด้านซีกลบ (Negative) จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่ง 270° ดังรูปที่ 1.3 ตำแหน่ง ง.

จากรูปที่ 1.2 (ง) ถ้าหากขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ต่อไปอีกจนครบ 360° จะมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 1.2 (ก) คือ ขดลวดตัวนำจะอยู่ในลักษณะขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงเป็นศูนย์อีกครั้ง ดังรูปที่ 1.3 ตำแหน่ง จ. ซึ่งซ้ำกับตำแหน่ง ก. (ที่ศูนย์องศา)

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการแสดงการเกิดรูปคลื่นไซน์จำนวน 1 ลูกคลื่น หรือ 1 ไซเคิล (Cycle) ซึ่งประกอบด้วยลูกคลื่นในซีกบวกและซีกลบ โดยจะเรียกความกว้างของแต่ละช่วงย่อยที่เกิดรูปซ้ำกันนี้ว่า **คาบ (Period)** ดังนั้น การคำนวณในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับส่วนใหญ่จึงแทนด้วยรูปคลื่นไซน์ เนื่องจากเป็นฟังก์ชัน (Function) ที่มีจุดเริ่มต้นที่ 0 (ศูนย์) หรือมีการเคลื่อนที่ของรูปคลื่นผ่านจุดศูนย์ และมีรูปร่างเป็นรูปคลื่นไซน์ไม่เปลี่ยนแปลง มีสมการ คือ $y = \sin x$ เขียนเป็นกราฟของรูปคลื่นไซน์ (ฟังก์ชันไซน์) ได้ ดังรูปที่ 1.4 สำหรับรูปคลื่นโคไซน์ (Cosine Wave) จะต่างเฟสกับรูปคลื่นไซน์เท่ากับ 90° และไม่เคลื่อนที่ผ่านจุดศูนย์



รูปที่ 1.4 กราฟของรูปคลื่นไซน์

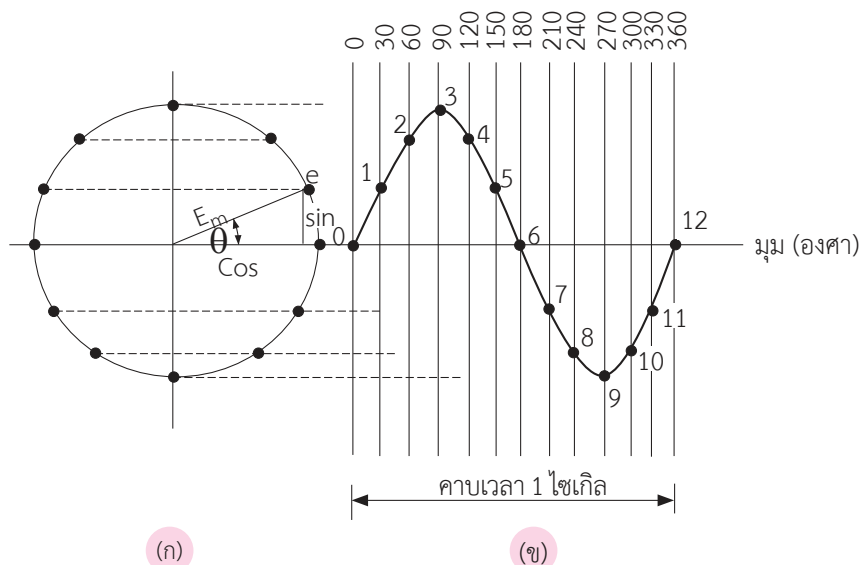
1.2 ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity)

การที่ลวดตัวนำหมุนไปในสนามแม่เหล็กสามารถอธิบายวิธีการคำนวณหาขนาดของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ โดยใช้รูปวงกลม ดังรูปที่ 1.5 (ก) ซึ่งแบ่งย่อยให้แต่ละส่วนมีมุมเท่ากับ 30° ส่วนรูปที่ 1.5 (ข) จะแบ่งสเกลแนวอนอนให้แทนค่าของมุมเป็นองศา (θ) หรือเรเดียน (Radian ; Rad) โดยที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่มุมใด ๆ จะหมายถึงระยะห่างระหว่างเส้นตั้งฉากที่ลากจากแกนอนจนสัมผัสกับผิวของวงกลม ตัวอย่างเช่น

$$e = E_m \sin \theta$$

เมื่อ e = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำชั่วขณะที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำ

E_m = ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



(ก)

(ข)

รูปที่ 1.5 แสดงขนาดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มุมใด ๆ

การที่ลวดตัวนำหมุนไปในสนามแม่เหล็กถือว่าเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) ดังนั้น แรงดันที่เกิดขึ้นจึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ความเร็วเชิงมุม จึงหมายถึงอัตราการหมุนรอบวงกลม มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (Radian Per Second ; Rad/s) เนื่องจากการหมุนในแต่ละรอบ ดังรูปที่ 1.5 จะมีค่าเท่ากับ 360° หรือเท่ากับ 2π เรเดียน (อ่านว่า สองพายเรเดียน) และเมื่อ f คือ ความถี่ของการหมุนรอบวงกลม

$$\text{ดังนั้น } \omega = 2\pi f$$

$$\text{เมื่อ } \omega = \text{ความเร็วเชิงมุม (rad/s)}$$

$$\pi = \text{ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ } 22/7 \text{ หรือประมาณ } 3.14$$

$$f = \text{ความถี่ หน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz ; Hz)}$$

เนื่องจากความเร็วเชิงมุมเป็นอัตราการหมุนที่ทำให้ค่าของมุม (θ) เปลี่ยนแปลงไปในเวลา (Time ; t) แต่ละวินาที (Second)

$$\text{นั่นคือ } \omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\text{หรือ } \theta = \omega t$$

$$\text{เมื่อ } \theta = \text{มุม หน่วยเป็นเรเดียน (rad)}$$

$$t = \text{เวลาหน่วยเป็นวินาที (s)}$$

ดังนั้น ค่าแรงดันที่มุมใด ๆ จึงมีค่าเท่ากับ

$$e = E_m \sin \theta$$

$$\text{หรือ } e = E_m \sin \omega t$$

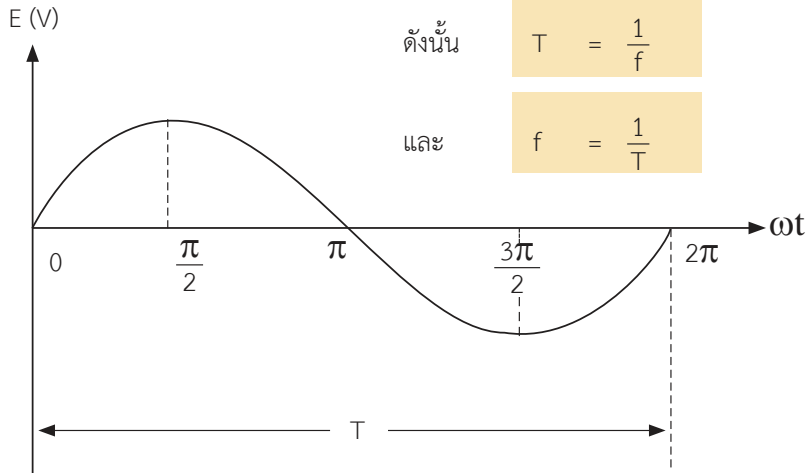
1.3 คาบเวลา

คาบเวลา (Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่เกิดรูปคลื่นครบ 1 ไซเคิล (ทั้งซีกบวกและซีกลบ) แสดงดังรูปที่ 1.6 คาบเวลาใช้สัญลักษณ์ T มีหน่วยเป็นวินาที (Second ; s) แต่ในทางปฏิบัติโดยทั่วไป อาจจะใช้หน่วยที่มีขนาดเล็กลง ได้แก่ Milli Second (ms) หรือ Micro Second (μ s) เป็นต้น

1.4 ความถี่

ความถี่ (Frequency) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำกันในเวลา 1 วินาที หรือ เท่ากับจำนวน ไซเคิลที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที ความถี่ใช้สัญลักษณ์ f มีหน่วยเรียกว่า **เฮิรตซ์ (Hz)** คาบเวลาและความถี่ จะมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

เนื่องจากในระยะเวลา 1 วินาที จะมีความถี่เกิดขึ้นเท่ากับ f ไซเคิล ดังนั้น ทุก ๆ ไซเคิลจะใช้ คาบเวลา (T) เท่ากับ $\frac{1}{f}$ วินาที

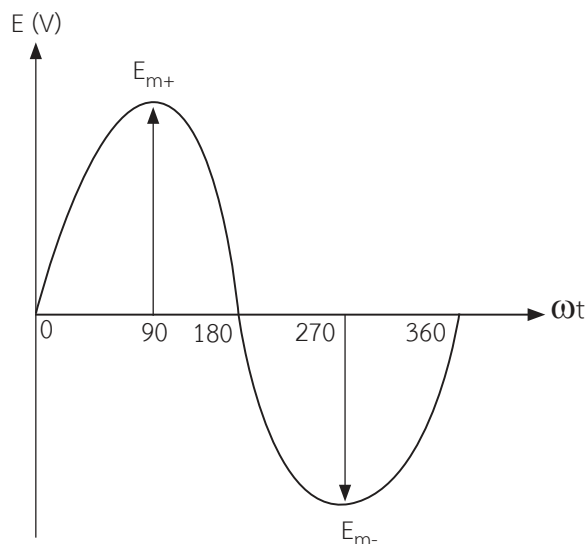


รูปที่ 1.6 รูปคลื่นไซน์เขียนคาบเวลาเป็นเรเดียน

1.5 ค่าสูงสุด

ค่าสูงสุด (Maximum Value) นิยมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่ายอดคลื่น (Peak Value) หมายถึง ค่าที่อยู่ตำแหน่งสูงสุดหรือยอดสุดของรูปคลื่นไซน์ ใน 1 ไซเคิลจะประกอบด้วยค่าสูงสุด จำนวน 2 ค่า คือ ค่าสูงสุดทางบวก (พีกบวกที่มุม 90°) และค่าสูงสุดทางลบ (พีกลบที่มุม 270°) ที่นิยมเรียกขานกันทั่วไป มี 2 ชนิด คือ

1. **รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า** จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $E_{\max}$ หรือ E_m หรือ E_p ดังรูปที่ 1.7 ถ้าหากเป็นค่าทางซีกบวกจะเขียนเป็น E_{m+} หรือ E_{p+} และทางซีกลบจะเขียนเป็น E_{m-} หรือ E_{p-}

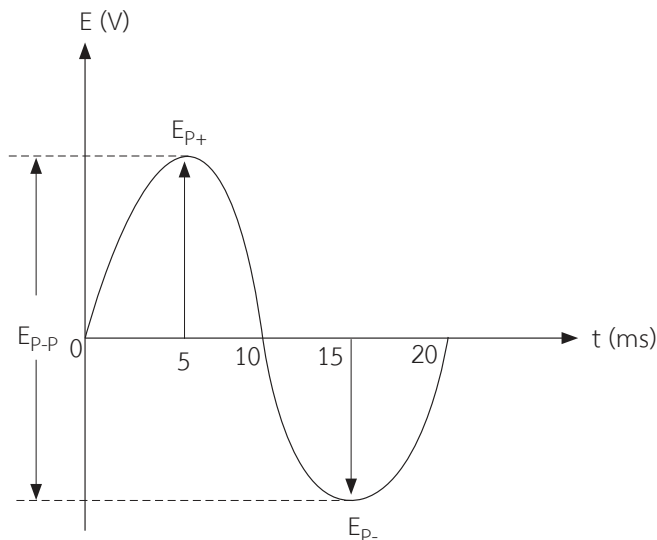


รูปที่ 1.7 ค่าสูงสุดหรือค่ายอดคลื่นของรูปคลื่นไซน์

2. รูปคลื่นกระแสไฟฟ้า การเขียนสัญลักษณ์จะคล้ายกับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า โดยจะเขียนแทนด้วย I_{m+} หรือ I_{m-} เป็นต้น

1.6 ค่าจากยอดถึงยอด

ค่าจากยอดถึงยอด (Peak to Peak Value) หมายถึง ค่าที่วัดจากยอดคลื่นด้านซีกบวกจนถึงยอดคลื่นด้านซีกลบของรูปคลื่น (รูปที่ 1.8) โดยทั่วไปจะนิยมเขียนแทนด้วย E_{p-p} หรือ I_{p-p}



รูปที่ 1.8 ค่าจากยอดถึงยอดของรูปคลื่นไซน์เมื่อคาบเวลา (T) เท่ากับ 20 ms

นั่นคือ

$$E_{p-p} = (E_{p+}) + (E_{p-})$$

$$= 2 E_p$$

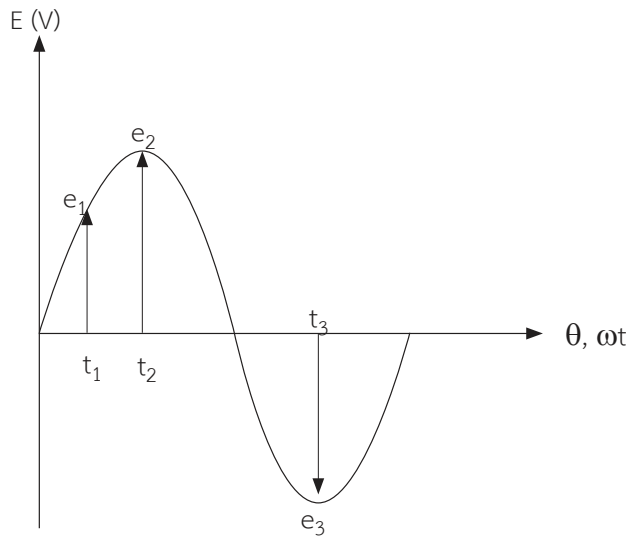
ทำนองเดียวกัน $I_{p-p} = 2 I_p$

1.7 ค่าชั่วขณะ

ค่าชั่วขณะ (Instantaneous Value) หมายถึง ขนาดของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเมื่อพิจารณาที่เวลาใดเวลาหนึ่ง (รูปที่ 1.9) ค่าชั่วขณะมักจะเขียนแทนด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กเทียบกับเวลาใด ๆ เช่น $e(t)$ หรือ $i(t)$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าค่าชั่วขณะและกระแสไฟฟ้าค่าชั่วขณะตามลำดับ จากรูปที่ 1.9 จะได้

$$e(t) = E_m \sin \theta$$

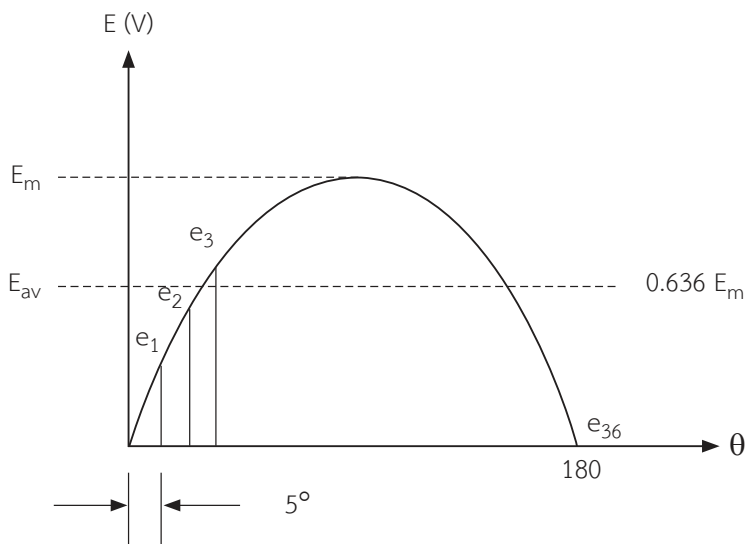
$$= E_m \sin \omega t$$



รูปที่ 1.9 ค่าชั่วขณะใด ๆ ของรูปคลื่นไซน์

1.8 ค่าเฉลี่ย

ค่าเฉลี่ย (Average Value) หมายถึง ค่าที่ได้จากผลรวมค่าชั่วขณะ แต่ละค่าหารด้วยจำนวนครั้งทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 1.10 ใช้สัญลักษณ์ E_{av} (สำหรับค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า) และ I_{av} (สำหรับค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้า) สำหรับค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์จะมีค่าเท่ากับทั้งไซเคิลบวกและไซเคิลลบ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ใน 1 ไซเคิล จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ($E_{av} = 0$) ในทางปฏิบัติจึง ไม่มีการคำนวณค่าเฉลี่ย ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะไซเคิลบวกเท่านั้น ส่วนไซเคิลลบจะพิจารณา ในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 1.10 แสดงการหาค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ (เฉพาะไซเคิลบวก)

จากรูปที่ 1.10 เมื่อแบ่งพื้นที่ใต้เส้นโค้งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ขนาดส่วนละ 5° รวมทั้งหมด 36 ส่วนจะได้

$$E_{av} = \frac{e_1 + e_2 + e_3 + \dots e_{36}}{36}$$

นั่นคือ

$$e_1 = E_m \sin 5^\circ = 0.0872 E_m$$

$$e_2 = E_m \sin 10^\circ = 0.1736 E_m$$

$$e_3 = E_m \sin 15^\circ = 0.2588 E_m$$

⋮

$$e_{36} = E_m \sin 180^\circ = 0$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } E_{av} &= \frac{0.0872E_m + 0.1736E_m + 0.2588E_m + \dots 0}{36} \\ &= 0.636 E_m \end{aligned}$$

นอกจากนี้ อาจจะคำนวณโดยใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงที่เรียกว่า **แคลคูลัส (Calculus)** ซึ่งจะทำให้คำนวณได้ง่ายขึ้น ดังนี้

$$E_{av} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi E_m \sin \theta \, d\theta$$

$$E_{av} = 0.636 E_m$$

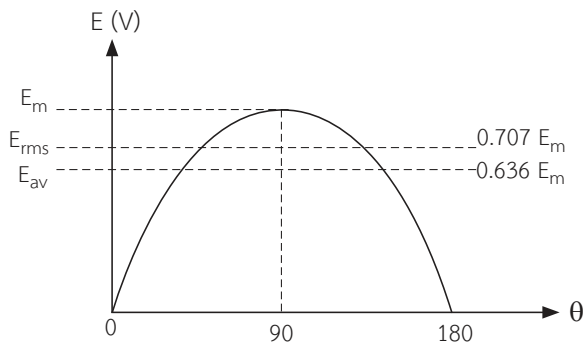
1.9 ค่า อาร์.เอ็ม.เอส

ค่า อาร์.เอ็ม.เอส (Root Mean Square Value ; rms) หมายถึง ค่าที่ได้จากการถอดรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ E_{rms} หรือ I_{rms} (รูปที่ 1.11) โดยจะเป็นค่าใช้งานที่ก่อให้เกิดกำลังงานที่แน่นอนที่โหลดในรูปของการสูญเสีย (Power Loss) ค่า rms มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าประสิทธิภาพ (Effective Value) แต่ส่วนใหญ่จะนิยมเรียกว่าค่า rms. มากกว่า และเนื่องจากเป็นค่าใช้งานที่ใช้กันทั่วไป จึงเขียนแทน E_{rms} และ I_{rms} ด้วย E และ I ตามลำดับจากรูปที่ 1.11 จะเห็นว่า

$$\begin{aligned} E_{rms} &= \sqrt{\sin^2 5^\circ + \sin^2 10^\circ + \sin^2 15^\circ + \dots + \sin^2 180^\circ} \\ &= 0.707 E_m \end{aligned}$$

ถ้าหากนำวิธีแคลคูลัสมาช่วยคำนวณ จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} E_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (E_m \sin \theta)^2 \, d\theta} \\ &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \end{aligned}$$



รูปที่ 1.11 ค่าอาร์.เอ็ม.เอส ของรูปคลื่นไซน์

1.10: ฟอर्मแฟกเตอร์

ฟอर्मแฟกเตอร์ (Form Factor) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้บอกขนาดรูปร่างของรูปคลื่นสัญญาณ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของค่า rms กับค่าเฉลี่ยสำหรับรูปคลื่นไซน์ จะมีค่าเท่ากับ 1.11 โดยเป็นตัวคูณคงที่ของมิเตอร์แบบเรกติไฟเออร์ (Rectifier) เพื่อให้ได้ค่าใช้งานหรือค่าที่วัดได้

$$\begin{aligned}\text{ฟอर्मแฟกเตอร์} &= \frac{\text{ค่า rms}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \\ &= \frac{0.707 E_m}{0.636 E_m} = 1.11\end{aligned}$$

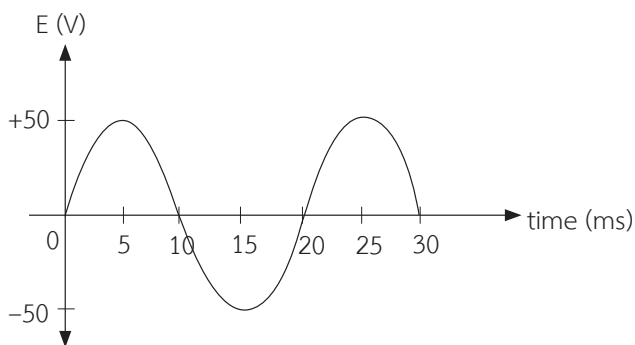
1.11: การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่นิยมสร้างขึ้นมามาเพื่อใช้งานทั่ว ๆ ไป ได้แก่ รูปคลื่นไซน์ (Sine wave) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangle Wave) รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth Wave) โดยมีทั้งรูปคลื่นแบบสมมาตร (Symmetrical Wave) และรูปคลื่นแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Wave) ตัวอย่างการคำนวณมีดังนี้

ตัวอย่างที่ 1.1 จากรูปคลื่นที่กำหนดให้

ดังรูปที่ 1.12 จงหาค่า

1. คาบเวลา (Period)
2. ความถี่ (Frequency)
3. ค่าสูงสุด (Maximum Value หรือ Peak Value)
4. ค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด (Peak to Peak Value)



รูปที่ 1.12 รูปคลื่นไซน์มีแรงดันไฟฟ้ายอดเท่ากับ 50 โวลต์

5. ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เวลา 10 ms และที่เวลา 25 ms

วิธีทำ 1. คาบเวลาใน 1 ไซเคิล เท่ากับ 20 ms

$$2. \text{ ความถี่} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$

$$3. \text{ ค่าสูงสุดด้านบวก} = +50 \text{ V ที่เวลา 5 ms และ 25 ms}$$

$$\text{ค่าสูงสุดด้านลบ} = -50 \text{ V ที่เวลา 15 ms}$$

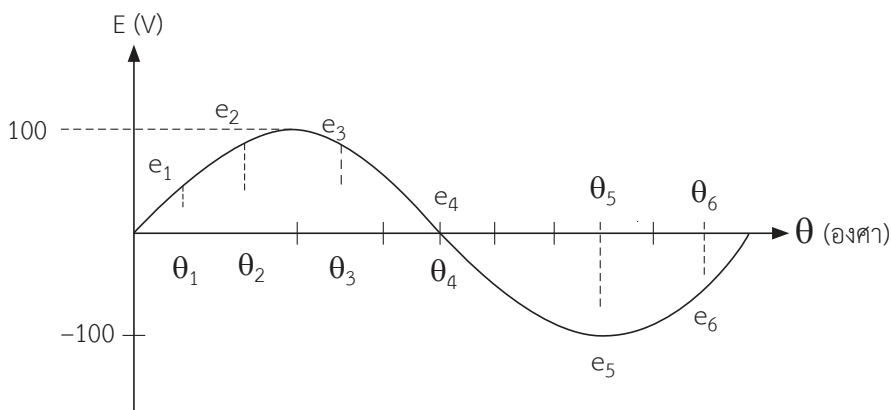
$$4. \text{ ค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด} = \text{ค่าสูงสุดด้านบวกรวมกับค่าสูงสุดด้านลบ (ไม่คิดเครื่องหมาย)} \\ = 50 + 50 = 100 \text{ V}$$

$$5. \text{ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เวลา 10 ms} = 0 \text{ V}$$

$$\text{ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เวลา 25 ms} = +50 \text{ V}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 จากรูปคลื่นที่กำหนดให้ (รูปที่ 1.13) จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่มุม e_1 ถึงมุม e_6



รูปที่ 1.13 คลื่นไซน์มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 100 โวลต์

วิธีทำ 1. $\theta_1 =$ มุม 30°

$$e_1 = E_m \sin \theta_1 = 100 \times \sin 30^\circ = 50 \text{ V}$$

2. $\theta_2 =$ มุม 60°

$$e_2 = E_m \sin \theta_2 = 100 \times \sin 60^\circ = 86.60 \text{ V}$$

3. $\theta_3 =$ มุม 120°

$$e_3 = E_m \sin \theta_3 = 100 \times \sin 120^\circ = 86.60 \text{ V}$$

4. $\theta_4 =$ มุม 180°

$$e_4 = E_m \sin \theta_4 = 100 \times \sin 180^\circ = 0 \text{ V}$$

$$5. \theta_5 = \text{มุม } 270^\circ$$

$$e_5 = E_m \sin \theta_5 = 100 \times \sin 270^\circ = -100 \text{ V}$$

$$6. \theta_6 = \text{มุม } 330^\circ$$

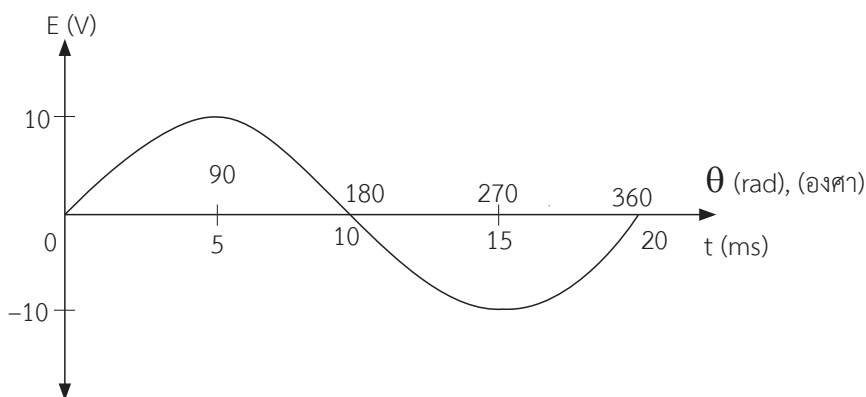
$$E_5 = E_m \sin \theta_6 = 100 \times \sin 330^\circ = -50 \text{ V}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 รูปคลื่นไซน์ดังรูปที่กำหนดให้ (รูปที่ 1.14) จงหาค่ามุม θ เป็นเรเดียน (rad) และเป็นองศาที่เวลาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. 5 ms

2. 7.3 ms



รูปที่ 1.14 คลื่นไซน์ความถี่ 50 เฮิรตซ์

วิธีทำ

จากรูปคลื่น T

$$= 20 \text{ ms}$$

ดังนั้น f

$$= \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$

1. เมื่อ t

$$= 5 \text{ ms}$$

นั่นคือ θ

$$= \omega t = 2\pi f t$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 5 \times 10^{-3} = 1.570 \text{ เรเดียน}$$

แต่ 2π เรเดียนมีค่าเท่ากับ 360°

ดังนั้น 1.570 เรเดียน

$$= \frac{360^\circ \times 1.570}{2\pi} = 90^\circ$$

2. เมื่อ t

$$= 7.3 \text{ ms}$$

นั่นคือ θ

$$= \omega t = 2\pi f t$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 7.3 \times 10^{-3} = 2.293 \text{ เรเดียน}$$

แต่ 2π เรเดียนมีค่าเท่ากับ 360°

ดังนั้น 2.293 เรเดียน

$$= \frac{360^\circ \times 2.293}{2\pi} = 131.45^\circ$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.4 รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้าความถี่ 1 kHz มีค่าสูงสุด 10 V จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Voltage ; e) ที่เวลาต่าง ๆ ดังนี้

1. 0.23 ms 2. 15.2 ms 3. 1 ms

วิธีทำ จากโจทย์ความถี่ $f = 1 \text{ kHz}$

$$\text{ดังนั้น คาบเวลา } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,000 \text{ Hz}} = 1 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ ที่เวลา } t &= 0.23 \text{ ms} = 0.23 \times 10^{-3} \text{ s} \\ e &= E_m \sin \omega t = E_m \sin 2\pi ft \\ &= 10 \text{ v} \times \sin (2 \times 3.14 \times 1,000 \times 0.23 \times 10^{-3}) \\ &= 10 \text{ V} \times \sin 1.445 \text{ เรเดียน} \end{aligned}$$

$$\text{แต่ } 1.445 \text{ rad} = \frac{360^\circ \times 1.445}{2\pi} = 82.83^\circ$$

$$\text{ดังนั้น } e = 10 \text{ V} \times \sin 82.83^\circ = 10 \text{ V} \times 0.992 = 9.92 \text{ V}$$

$$2. \text{ ที่เวลา } t = 15.2 \text{ ms}$$

เนื่องจากใน 1 ไซเคิล เท่ากับ $2\pi \text{ rad}$ แต่ที่เวลา 15.2 ms

$$\begin{aligned} \theta &= \omega t = 2\pi ft \\ &= 2 \times 3.14 \times 1,000 \times 15.2 \times 10^{-3} = 95.46 \text{ เรเดียน} \end{aligned}$$

นั่นคือ ที่เวลา $t = 15.2 \text{ ms}$ จะเกิดรูปคลื่นไซน์ซ้ำ ๆ กัน

$$= \frac{95.46}{2\pi} = 15.20 \text{ รอบ}$$

$$\text{จาก 1 รอบ} = 2\pi \text{ เรเดียน}$$

$$\text{ถ้า 0.20 รอบ} = \frac{2\pi \times 0.20}{1} = 1.256 \text{ เรเดียน}$$

$$= \frac{360^\circ \times 1.256}{2\pi} = 72^\circ$$

$$\text{ดังนั้น } e = E_m \sin 72^\circ = 10 \times 0.951 = 9.51 \text{ V}$$

$$3. \text{ ที่เวลา } t = 1 \text{ ms} = 1 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$\begin{aligned} e &= E_m \sin \omega t = E_m \sin 2\pi ft \\ &= 10 \times \sin (2 \times 3.14 \times 1,000 \times 1 \times 10^{-3}) \\ &= 10 \times \sin 2\pi \text{ เรเดียน} \end{aligned}$$

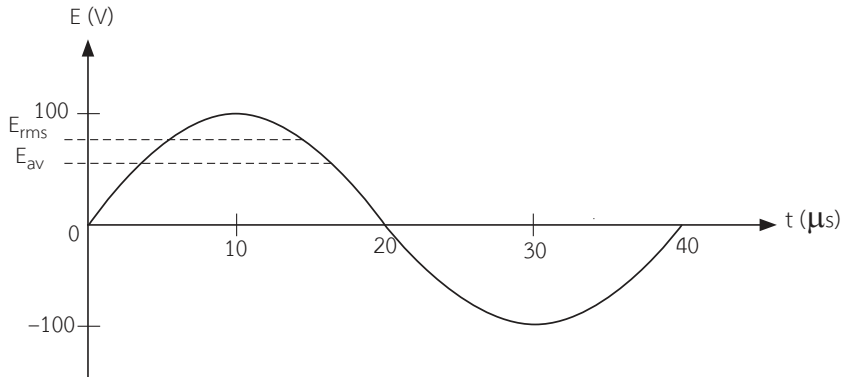
$$\text{แต่ } 2\pi \text{ เรเดียน} = 360^\circ$$

$$\text{ดังนั้น } e = 10 \text{ v} \times \sin 360^\circ = 10 \times 0 = 0 \text{ V}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.15 จงหา

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด
3. ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av})
4. ค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์.เอ็ม.เอส E_{rms}
5. ฟอर्मแฟกเตอร์



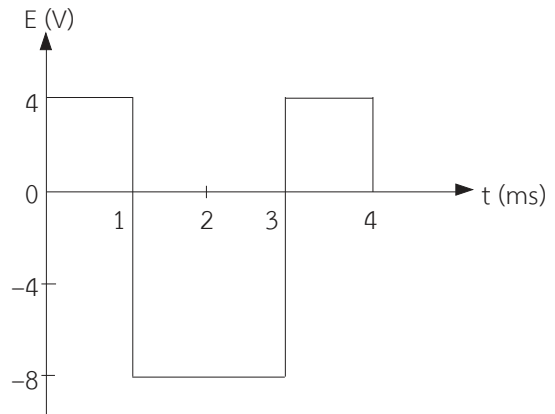
รูปที่ 1.15 คลื่นไซน์มีแรงดันไฟฟ้ายอด 100 โวลต์

- วิธีทำ**
1. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด $E_m = 100 \text{ V}$
 2. ค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด $E_p - p = 2 \times 100 = 200 \text{ V}$
 3. ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย $E_{av} = 0.636 E_m = 0.636 \times 100 = 63.60 \text{ V}$
 4. ค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์.เอ็ม.เอส $E_{rms} = 0.707 E_m = 0.707 \times 100 = 70.70 \text{ V}$
 5. ฟอर्मแฟกเตอร์ $= \frac{E_{rms}}{E_{av}} = \frac{70.70}{63.60} = 1.11$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.6 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.16 จงหาค่า

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด
2. ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทางซีกบวก (ไซเกิลบวก)
3. ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทางซีกลบ (ไซเกิลลบ)
4. ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าใน 1 ไซเกิล
5. ค่าแรงดันไฟฟ้า rms



รูปที่ 1.16 สัญญาณสี่เหลี่ยม

วิธีทำ 1. ค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอด = แรงดันไฟฟ้าทางซีกบวกรวมกับแรงดันไฟฟ้าทางซีกลบ

$$E_{p-p} = 4 + 8 = 12 \text{ V}$$

2. ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทางซีกบวก (ไซเกิลบวก)

$$\begin{aligned} E_{av} (\text{ซีกบวก}) &= \frac{\text{พื้นที่ทางซีกบวก}}{\text{เวลา}} \\ &= \frac{(4 \times 1)}{1} = 4 \text{ V} \end{aligned}$$

3. ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทางซีกลบ (ไซเกิลลบ)

$$\begin{aligned} E_{av} (\text{ซีกลบ}) &= \frac{\text{พื้นที่ทางซีกลบ}}{\text{เวลา}} \\ &= \frac{(-8 \times 2)}{2} = -8 \text{ V} \end{aligned}$$

4. ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าใน 1 ไซเกิล

$$\begin{aligned} E_{av} (1 \text{ ไซเกิล}) &= \frac{\text{พื้นที่ทางซีกบวกรวมกับพื้นที่ทางซีกลบ}}{\text{เวลาใน 1 ไซเกิล}} \\ &= \frac{(4 \times 1) + (-8 \times 2)}{3} \\ &= \frac{4 - 16}{3} = -\frac{12}{3} \\ &= -4 \text{ V} \end{aligned}$$

5. ค่าแรงดันไฟฟ้า rms

คือ ค่าที่ได้จากการถอดรากที่สองของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (ใน 1 ไซเกิล) ยกกำลังสอง

นั่นคือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยทางซีกบวก ยกกำลังสอง = $(4 \text{ V})^2 = 16 \text{ V}^2$

ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยทางซีกลบ ยกกำลังสอง = $(-8 \text{ V})^2 = 64 \text{ V}^2$

ดังนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (ใน 1 ไซเกิล) ยกกำลังสองมีค่าดังนี้

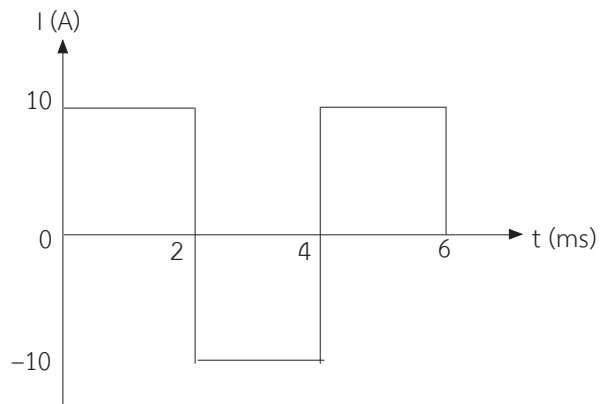
$$\begin{aligned} (E_{av})^2 &= \frac{(16 \text{ V}^2 \times 1 \text{ ms}) + (64 \text{ V}^2 \times 2 \text{ ms})}{3 \text{ ms}} \\ &= \frac{16 \text{ V}^2 \cdot \text{ms} + 128 \text{ V}^2 \cdot \text{ms}}{3 \text{ ms}} = 48 \text{ V}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้า rms คือ

$$E_{rms} = \sqrt{48 \text{ V}^2} = 6.928 \text{ V} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 1.7 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมของ
กระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.17 จงหาค่า

1. ค่ากระแสไฟฟ้าจากยอดถึงยอด
2. ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทาง
ซีกบวก (ไซเกิลบวก)
3. ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทางซีกลบ
(ไซเกิลลบ)
4. ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าใน 1 ไซเกิล
5. ค่ากระแสไฟฟ้า rms



รูปที่ 1.17 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมของกระแสไฟฟ้า

วิธีทำ 1. ค่ากระแสไฟฟ้าจากยอดถึงยอด = กระแสไฟฟ้าทางซีกบวกรวมกับกระแสไฟฟ้าทางซีกลบ

$$I_{p-p} = 10 + 10 = 20 \text{ A}$$

2. ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทางซีกบวก (ไซเกิลบวก)

$$I_{av} (\text{ซีกบวก}) = \frac{10 \times 2}{2} = 10 \text{ A}$$

3. ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทางซีกลบ (ไซเกิลลบ)

$$I_{av} (\text{ซีกลบ}) = \frac{(-10) \times 2}{2} = -10 \text{ A}$$

4. ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าใน 1 ไซเกิล

$$\begin{aligned} I_{av} (1 \text{ ไซเกิล}) &= \frac{(10 \times 2) + ((-10) \times 2)}{4} \\ &= \frac{(20) - (20)}{4} \\ &= \frac{0}{4} = 0 \text{ A} \end{aligned}$$

5. ค่ากระแสไฟฟ้า rms

คือ ค่าที่ได้จากการถอดรากที่สองของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (ใน 1 ไซเกิล) ยกกำลังสอง นั่นคือ

$$\text{ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยทางซีกบวกยกกำลังสอง} = (10\text{A})^2 = 100 \text{ A}^2$$

$$\text{ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยทางซีกลบกยกกำลังสอง} = (-10\text{A})^2 = 100 \text{ A}^2$$

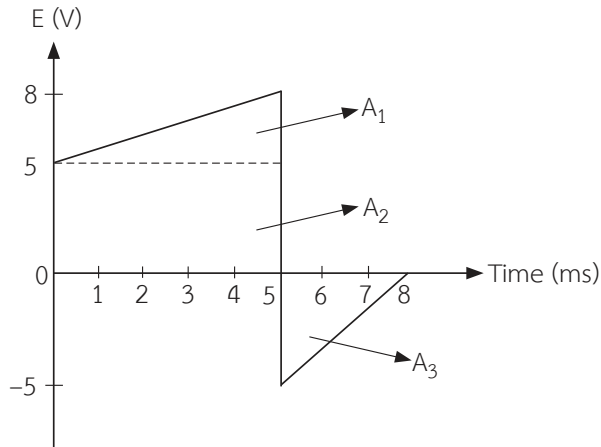
ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (ใน 1 ไซเกิล) ยกกำลังสอง มีค่า

$$\begin{aligned} (I_{av})^2 &= \frac{(100 \text{ A}^2 \times 2 \text{ ms}) + (100 \text{ A}^2 \times 2 \text{ ms})}{4 \text{ ms}} \\ &= \frac{400 \text{ A}^2 \cdot \text{ms}}{4 \text{ ms}} = 100 \text{ A}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้า rms คือ

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{100 \text{ A}^2} = 10 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 1.8 จากรูปที่ 1.18 จงหาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า (E_{av})



รูปที่ 1.18 รูปคลื่นสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม

วิธีทำ แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน คือ พื้นที่ (Area) A_1 , A_2 , A_3

$$\text{สูตรพื้นที่สามเหลี่ยม} = \frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง}$$

$$\text{สูตรพื้นที่สี่เหลี่ยม} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว (หรือ ฐาน} \times \text{สูง)}$$

$$\text{นั่นคือ} \quad A_1 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-3} \times (8 - 5) = 7.5 \text{ V.ms}$$

$$A_2 = 5 \times 10^{-3} \times 5 = 25 \text{ V.ms}$$

$$A_3 = \frac{1}{2} \times [(8 \times 10^{-3}) - (5 \times 10^{-3}) \times (-5)] = -7.5 \text{ V.ms}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad E_{\text{av}} &= \frac{A_1 + A_2 + A_3}{8} = \frac{(7.5 + 25 - 7.5)}{8} \\ &= 3.125 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ



สรุปสาระสำคัญ

1. ในสภาวะปกติเส้นแรงแม่เหล็กจะเคลื่อนที่จากขั้วเหนือ (North ; N) ไปยังขั้วใต้ (South ; S) โดยจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางขั้ว (Pole) ดังนั้น เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางขั้ว จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุด

2. การที่ลวดตัวนำหมุนไปในสนามแม่เหล็กสามารถอธิบายวิธีการคำนวณหาขนาดของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ โดยใช้รูปวงกลม โดยที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่มุมใด ๆ จะหมายถึงระยะห่างระหว่างเส้นตั้งฉากที่ลากจากแกนอน จนสัมผัสกับผิวของวงกลม ตัวอย่างเช่น

$$e = E_m \sin \theta$$

เมื่อ e = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำชั่วขณะที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำ

E_m = ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

3. การที่ลวดตัวนำหมุนไปในสนามแม่เหล็กถือว่าการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) ดังนั้นแรงดันที่เกิดขึ้นจึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ความเร็วเชิงมุม จึงหมายถึงอัตราการหมุนรอบวงกลม มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (Radian Per Second ; Rad/s)

$$\text{ดังนั้น } \omega = 2\pi f$$

เมื่อ ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

π = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $22/7$ หรือประมาณ 3.14

f = ความถี่ หน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz ; Hz)

เนื่องจากความเร็วเชิงมุมเป็นอัตราการหมุนที่ทำให้ค่าของมุม (θ) เปลี่ยนแปลงไปในเวลา (Time ; t) แต่ละวินาที (Second)

$$\text{นั่นคือ } \omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\text{หรือ } \theta = \omega t$$

4. คาบเวลา (Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่เกิดรูปคลื่นครบ 1 ไซเคิล (ทั้งซีกบวกและซีกลบ) คาบเวลาใช้สัญลักษณ์ T มีหน่วยเป็นวินาที (Second ; s)

5. ความถี่ (Frequency) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำกันในเวลา 1 วินาที หรือ เท่ากับจำนวนไซเคิลที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที ความถี่ใช้สัญลักษณ์ f มีหน่วยเรียกว่า **เฮิรตซ์ (Hz)**

6. ค่าสูงสุด (Maximum Value) หมายถึง ค่าที่อยู่ตำแหน่งสูงสุดหรือยอดสุดของรูปคลื่นไซนใน 1 ไซเคิลจะประกอบด้วยค่าสูงสุด จำนวน 2 ค่า คือ ค่าสูงสุดทางบวก (พีคบวกที่มุม 90°) และค่าสูงสุดทางลบ (พีคลบที่มุม 270°)

7. ค่าจากยอดถึงยอด (Peak to Peak Value) หมายถึง ค่าที่วัดจากยอดคลื่นด้านซีกบวก จนถึงยอดคลื่นด้านซีกลบของรูปคลื่น โดยทั่วไปจะนิยมเขียนแทนด้วย E_{p-p} หรือ I_{p-p}

8. ค่าชั่วขณะ (Instantaneous Value) หมายถึง ขนาดของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า เมื่อพิจารณาที่เวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น $e_{(t)}$ หรือ $i_{(t)}$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าค่าชั่วขณะและกระแสไฟฟ้าค่าชั่วขณะตามลำดับ

9. ค่าเฉลี่ย (Average Value) หมายถึง ค่าที่ได้จากผลรวมค่าชั่วขณะ แต่ละค่าหารด้วยจำนวนครั้งทั้งหมด สำหรับค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์จะมีค่าเท่ากันทั้งไซเคิลบวกและไซเคิลลบ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ใน 1 ไซเคิล จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ($E_{av} = 0$)

10. ค่า อาร์.เอ็ม.เอส (Root Mean Square Value ; rms) หมายถึง ค่าที่ได้จากการถอดรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ E_{rms} หรือ I_{rms} โดยจะเป็นค่าใช้งานที่ก่อให้เกิดกำลังงานที่แน่นอนที่โหลดในรูปของการสูญเสีย (Power Loss) ค่า rms มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าประสิทธิผล (Effective Value)

11. ฟอर्मแฟกเตอร์ (Form Factor) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้บอกขนาดรูปร่างของรูปคลื่นสัญญาณ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของค่า rms กับค่าเฉลี่ยสำหรับรูปคลื่นไซน์ จะมีค่าเท่ากับ 1.11 โดยเป็นตัวคูณคงที่ของมิเตอร์แบบเรกติไฟเออร์ (Rectifier) เพื่อให้ได้ค่าใช้งานหรือค่าที่วัดได้

ใบงานที่

1.1

การวัดคาบเวลาและคำนวณหาค่าความถี่ของรูปคลื่น

ชื่อ.....สกุล.....สาขา/ชั้น/กลุ่ม.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลาทดลอง 2 ชม. กำหนดส่งงาน.....

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สามารถใช้งานออสซิลโลสโคปได้ถูกต้อง
2. สามารถใช้งานฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ได้ถูกต้อง
3. วัดและอ่านคาบเวลาของรูปคลื่นได้ถูกต้อง
4. คำนวณค่าความถี่ได้ถูกต้อง



แบบประเมินผล
ใบงานที่ 1.1

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|--|-----------|
| 1. ออสซิลโลสโคป ชนิด 2 เส้นภาพ พร้อมสายวัดสัญญาณ | 1 เครื่อง |
| 2. เครื่องกำเนิดสัญญาณหรือฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. สายต่อวงจร | 1 ชุด |

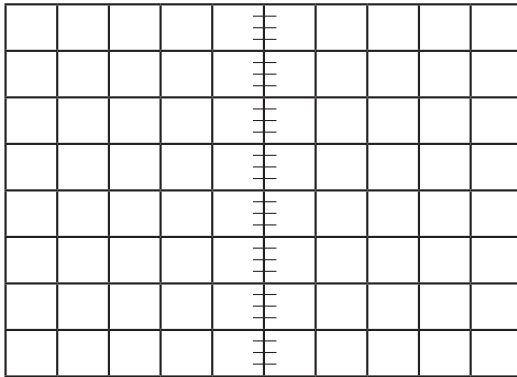
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน



รูปที่ 1.1.1 ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

1. ศึกษาวิธีการใช้งานออสซิลโลสโคป (Oscilloscope ; OSC) ให้เข้าใจและปรับแต่งให้พร้อมที่จะใช้งาน
2. ศึกษาวิธีการใช้งานฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator ; G)
3. ประกอบวงจร ดังรูปที่ 1.1.1 โดยการทำตามขั้นตอน คือ
 - 3.1 ปรับความแรงของสัญญาณหรือแอมพลิจูด (Amplitude) รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave ; ~) ให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งตามที่ต้องการ (ปรับพอประมาณ) และปรับความถี่ (Frequency ; f) เท่ากับ 1 kHz
 - 3.2 ปรับปุ่มควบคุมของออสซิลโลสโคปให้ปรากฏรูปคลื่นไซน์ที่ชัดเจนบนจอภาพ (1 หรือ 2 ไชเกิล)

4. เขียนรูปคลื่นลงบนจอภาพที่กำหนดให้ดังรูปที่ 1.1.2



VOLTS / DIV.....

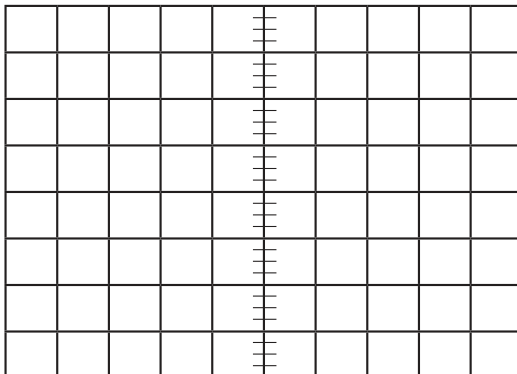
TIME / DIV.....

รูปที่ 1.1.2 คลื่นไซน์

5. ปรับแอมพลิจูดของรูปคลื่นไซน์ให้เปลี่ยนไปจากเดิม (มากขึ้นหรือลดลงจากเดิมตามความต้องการ) พร้อมกับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่น

6. ปรับความถี่ของรูปคลื่นไซน์ (มากขึ้นหรือลดลงจากเดิมตามความต้องการ) พร้อมกับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่น

7. จากการทดลองขั้นตอนที่ 3.1 ให้เปลี่ยนเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave ; $\square$) โดยปรับความถี่ (f) เท่ากับ 2 kHz บันทึกลงบนจอภาพที่กำหนดให้ ดังรูปที่ 1.1.3



VOLTS / DIV.....

TIME / DIV.....

รูปที่ 1.1.3 คลื่นสี่เหลี่ยม

คำถามท้ายการปฏิบัติ

1. จงอธิบายหน้าที่การใช้งานของปุ่มควบคุมต่าง ๆ ของออสซิลโลสโคป ดังนี้

1.1 INTENS

1.2 FOCUS