



อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

Power Electronics



สาขัณต์ ชีณอาร์มย์

125.-

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics)

รหัสวิชา 30104 - 2101

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาไฟฟ้า
หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเลือก
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ



เรียบเรียงโดย

สายันต์ ชื่นอารมย์



อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics)

คำอธิบายรายวิชา เพื่อให้

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของการแปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง อุปกรณ์พาสซีฟและวัสดุแม่เหล็ก วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบใช้ไดโอด และแบบควบคุมเฟสชนิดเฟสเดียว และหลายเฟส การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อินเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงกระแสตรงเป็นกระแสสลับ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ การประยุกต์ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...



บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร 0-2472-3293-5 โทรสาร 0-2891-0742 Mobile : 08-8585-1521

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

http://www.wangaksorn.com ID Line : @wangaksorn



พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาต

เป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้

เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างอิงความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด



คำนำ

วิชา **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง** รหัสวิชา **30104 - 2101** จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเลือก สาขางานไฟฟ้าการควบคุมทางอุตสาหกรรม ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาไฟฟ้า **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563** และใช้ได้กับหลักสูตรปริญญาตรี นำเสนอเนื้อหาที่เข้าใจง่าย มีลำดับขั้นตอน มีภาพประกอบ และแบบฝึกหัดท้ายบท เพื่อให้นักศึกษาค้นคว้า และทำความเข้าใจเพิ่มเติม โดยผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 9 บทเรียน และได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียน มุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ และส่วนที่เป็นทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจาก ผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกการยอมรับความคิดเห็นร่วมกัน สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานได้ โดยจะต้องมีความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) และเหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จริยธรรม และมีจรรยาบรรณต่อวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) สร้างภูมิคุ้มกันเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจอุตสาหกรรมทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

หากหนังสือเล่มนี้เป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและบุคคลทั่วไปที่สนใจ ผู้เขียนขอขอบด้วย ความระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครู อาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้เขียนไว้ ณ โอกาสนี้



สายนต์ ชื่นอารมย์



สารบัญ



บทที่ 1 หลักการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

บล็อกไดโอดแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	1
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น	2
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น	3
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้	16
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	18
ใบงานที่ 1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น	21
ใบงานที่ 1.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 – 30 V	25



บทที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์

บทนำ	29
บล็อกไดโอดแกรมวงจรอินเวอร์เตอร์	30
วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ 555	30
วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ 555 กับไอซีเบอร์ 4013	31
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	33
ใบงานที่ 2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ 555	40
ใบงานที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ 555 กับไอซีเบอร์ 4013	45



บทที่ 3 อุปกรณ์พาสซีฟ

บทนำ	52
ตัวต้านทาน	53
ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	53
ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า	56
หม้อแปลงไฟฟ้า	61
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	63
ใบงานที่ 3.1 ค่ามาตรฐานของตัวต้านทาน	66
ใบงานที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้าในเครื่องอินเวอร์เตอร์	69



บทที่ 4 วัสดุแม่เหล็ก (1) โครงสร้างและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

70

บทนำ	71
โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	71
ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	75
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	79
ใบงานที่ 4.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	82
ใบงานที่ 4.2 การซ่อมบำรุงและดูแลรักษา	82



บทที่ 5 วัสดุแม่เหล็ก (2) หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

83

บล็อกไดอะแกรมเบื้องต้นหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	84
หลักการทำงานเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า	85
สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของหม้อแปลงไฟฟ้า	87
อัตราส่วนการผันแปรของหม้อแปลงไฟฟ้า	89
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	98
ใบงานที่ 5.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	101



บทที่ 6 หลักการพื้นฐานของการแปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

102

บทนำ	103
แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงเบื้องต้น	103
วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	113
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	116
ใบงานที่ 6.1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดคงที่	120
ใบงานที่ 6.2 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าได้	122



บทที่ 7 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า 3 เฟส วงจรผลิตสัญญาณพัลส์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความถี่

124

บทนำ	125
วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า 3 เฟส	125
วงจรผลิตสัญญาณพัลส์	126
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความถี่	134

แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	143
ใบงานที่ 7.1 ออกแบบวงจรผลิตสัญญาณพัลส์	148
ใบงานที่ 7.2 การแปลงผันความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	148



บทที่ 8 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประยุกต์ใช้งาน (1) อุปกรณ์ไทรสเตอร์

บทนำ	149
เอสซีอาร์ (SCR)	150
ไตรแอค (Triac)	159
ไดแอค (Diac)	166
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	170
ใบงานที่ 8.1 วงจรไฟฟ้ากระแสตรงของเอสซีอาร์	173
ใบงานที่ 8.2 วงจรหรีลลอดไฟฟ้า	175



บทที่ 9 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประยุกต์ใช้งาน (2) มอสเฟตและไอจีบีที

บทนำ	177
มอสเฟต	178
ไอจีบีที	184
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	188
ใบงานที่ 9.1 ทดสอบและวัดตำแหน่งขามอสเฟตและไอจีบีที	191
ใบงานที่ 9.2 ทดสอบการทำงานของมอสเฟต	191
ใบงานที่ 9.3 ทดสอบการทำงานของไอจีบีที	191
ใบงานที่ 9.4 วงจรหรีลลอดไฟฟ้าโดยใช้มอสเฟต	192



คำถามเพื่อการทบทวน

194



คำศัพท์

198



บรรณานุกรม

203

บทที่ 1

หลักการการทำงานของวงจร แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

แนวคิด

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Power Supply Circuit) หมายถึง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงใกล้เคียงกับแบตเตอรี่จ่ายเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และวงจรได้ทำงานดี เหมาะสม ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมี 2 ชนิด คือ ค่าคงที่และปรับค่าได้

สาระการเรียนรู้

1. บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
2. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น
3. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น
4. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้

สมรรถนะประจำบท

1. วัด ทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าจากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 - 30 V

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เขียนบล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
2. ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น
3. สาธิตการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น
4. อธิบายหลักการการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตระหว่าง 0 - 30 V



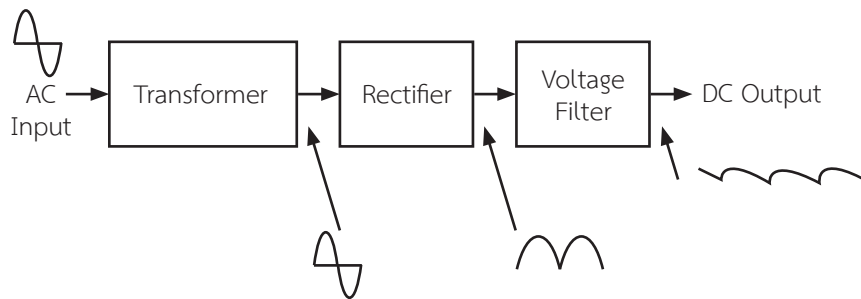
บทที่ 1

หลักการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง



บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Power Supply) ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ทำงานตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแสดงในรูปที่ 1.1 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุต 220 V เข้ามาทางขดลวดปฐมภูมิ แล้วแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง (Step Down Transformer) ปรากฏทางขดลวดทุติยภูมิ ส่งไปที่วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า

2. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) ทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยหลักการทำงานของไดโอดและอุปกรณ์ภายนอกต่อรวม ซึ่งวงจรเรียงกระแสไฟฟ้ามีทั้งแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น

3. วงจรกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ (Voltage Filter) มีหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบ ใกล้เคียงกับแบตเตอรี่ (Battery) โดยมีตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ (Filter Capacitor) ชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor) มาทำหน้าที่นี้ จากนั้นวงจรกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบจะส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต จ่ายให้กับโหลด (Load) หรือภาระไฟฟ้าได้ทำงานอย่างถูกต้องและเหมาะสม

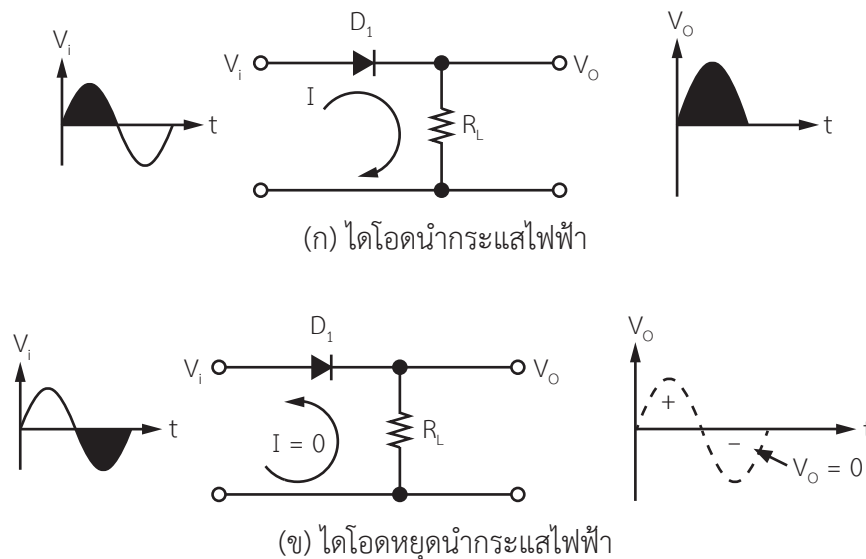


วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น



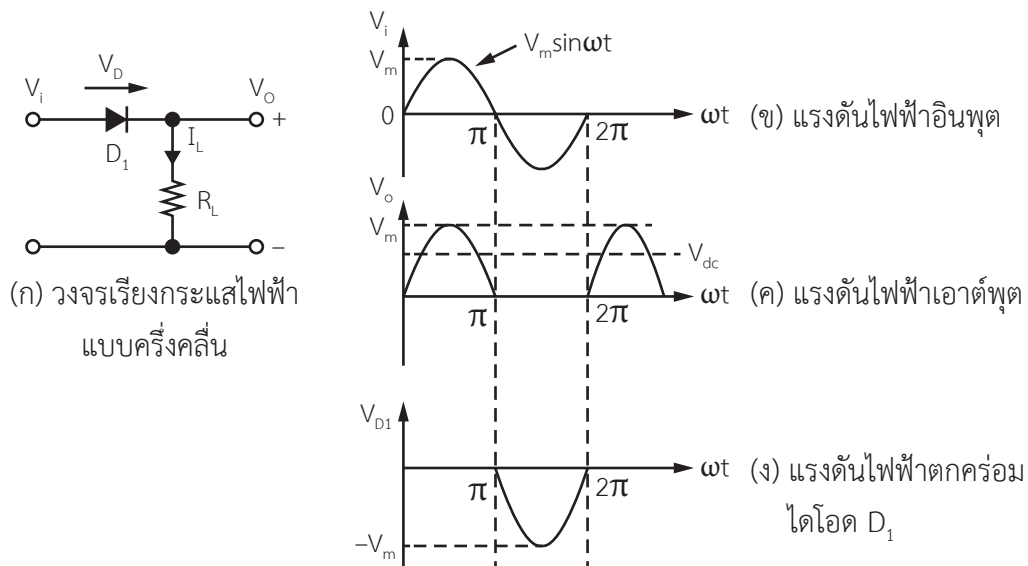
หลักการทำงานโดยทั่วไป

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นอาศัยหลักการทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) แสดงในรูปที่ 1.2 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น

1. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นจะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 ไซเคิล (Cycle) หรือ 1 วงรอบทางด้านอินพุต ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุตโดยมีรูปคลื่นครึ่งไซเคิล
2. พิจารณาแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตเฟสบวกที่เข้าทางอินพุตในรูปที่ 1.2 (ก) จะทำให้ไดโอด D_1 ได้รับการไบแอสตรง (Forward Bias) เปรียบเสมือนไดโอด D_1 ถูกลัดวงจร จึงมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด D_1 ได้ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเคิลบวกไปปรากฏที่โหลด (Load) หรือภาระไฟฟ้า R_L
3. ตรงกันข้าม เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสลบเข้าทางอินพุตในรูปที่ 1.2 (ข) จะทำให้ไดโอด D_1 ได้รับการไบแอสกลับ (Reverse Bias) เปรียบเสมือนไดโอด D_1 ขาดวงจร จึงทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด R_L มีค่าเป็นศูนย์
4. เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่เป็นรูปคลื่นไซน์ $V_i = V_m \sin \omega t$ ถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น จะเกิดรูปคลื่นตกคร่อมไดโอดและภาระไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นและรูปคลื่นต่าง ๆ

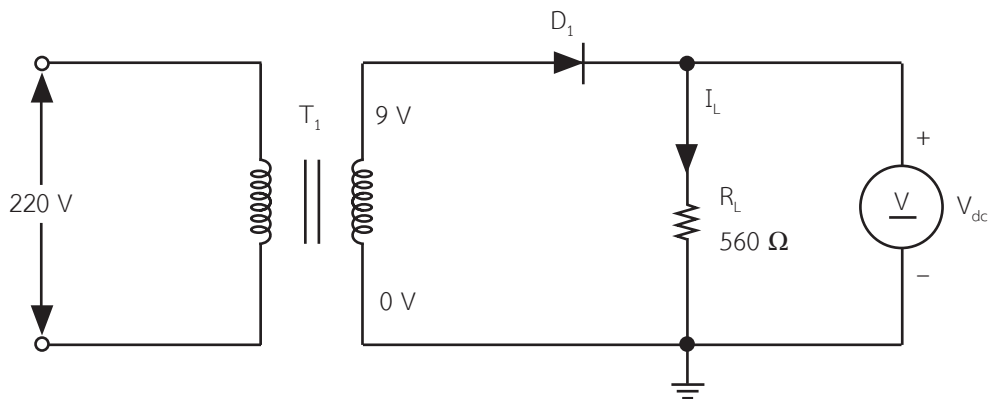
5. พิจารณารูปที่ 1.3 พบว่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางเอาต์พุต (V_{dc}) เป็นค่าเฉลี่ยของรูปคลื่น โดยวัดได้จากมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltmeter)

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง } (V_{dc}) &= V_o \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{2\pi} \left(-\cos \omega t \right) \Big|_0^{\pi} \\
 &= -\frac{V_m}{2\pi} (\cos \pi - \cos 0^\circ) \\
 &= -\frac{V_m}{2\pi} (-1 - 1) \\
 &= \frac{2V_m}{2\pi} \\
 &= \frac{V_m}{\pi} \\
 &= 0.318 V_m \\
 \therefore \text{แรงดันไฟฟ้า} \quad V_o &= V_{dc} \\
 &= 0.318 V_m \quad \dots\dots\dots (1.1)
 \end{aligned}$$



6. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด R_L คือ I_L คำนวณได้จาก $I_L = \frac{V_{dc}}{R_L}$ ซึ่งกระแสไฟฟ้า I_L จะกำหนดให้ไดโอดทนกระแสไฟฟ้านี้ให้ได้ นอกจากนี้ การเลือกไดโอดมาใช้งานต้องพิจารณาค่า PIV (Peak Inverse Voltage, PIV) หรือค่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับสูงสุดให้กับไดโอดด้วย ซึ่งค่า PIV ของไดโอด คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดพังทลาย (V_{BRO}) ของไดโอด โดยการเลือกใช้งานของไดโอด จะต้องเลือก PIV ให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับที่เกิดขึ้น เมื่อไดโอดได้รับการไบแอสกลับ

ตัวอย่างที่ 1.1 จากวงจรในรูปที่ 1.4 แสดงวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นจากหม้อแปลงไฟฟ้า 220 V/9 V ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากคิซีโวลต์มิเตอร์ และค่ารายละเอียดต่ำสุดของไดโอดที่นำมาใช้กับวงจรชุดนี้



รูปที่ 1.4 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.1

วิธีทำ 1. เนื่องจากตัวเลขแรงดันไฟฟ้า (9 V กับ 0 V) ที่ปรากฏบนหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏ (V_{rms}) เรียกว่า **ค่าอาร์เอ็มเอส (Root Mean Square Value, rms)** หมายถึง ค่าที่ได้จากการถอดรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยจากกระแสไฟฟ้า (I_{rms}) หรือ แรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) เป็นค่าใช้งานที่ก่อให้เกิดกำลังงานที่แน่นอนของโหลดหรือภาระไฟฟ้าในรูปแบบของการสูญเสีย

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏ } (V_{rms}) &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \int_0^{2\pi} V_m (\sin\theta)^2 d\theta \\
 &= \frac{V_m}{\sqrt{2} \times \pi} \int_0^{2\pi} V_m \sin^2\theta d\theta \quad \dots\dots\dots (1.2)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ (1.2) พิจารณา } \int_0^{2\pi} \sin^2\theta \, d\theta &= \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} (1 - \cos 2\theta) \, d\theta \leftarrow \sin^2\theta \\
 &= \frac{1}{2} (1 - \cos 2\theta) \\
 &= \frac{1}{2} \left[\int_0^{2\pi} d\theta - \int_0^{2\pi} \cos 2\theta \, d\theta \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left[\theta \Big|_0^{2\pi} - \frac{\sin 2\theta}{2} \Big|_0^{2\pi} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left[(2\pi - 0) - \left(\frac{\sin 4\pi}{2} - \frac{\sin 0^\circ}{2} \right) \right] \\
 &= \frac{1}{2} \times (2\pi - 0 - 0 + 0)
 \end{aligned}$$

$$\therefore \int_0^{2\pi} \sin^2\theta \, d\theta = \pi$$

$$\text{นำ } \int_0^{2\pi} \sin^2\theta \, d\theta = \pi \text{ แทนในสมการ (1.2)}$$

$$\text{จะได้ } V_{\text{rms}} = \frac{V_m \times \pi}{\sqrt{2} \times \pi}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore V_{\text{rms}} &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \\
 &= 0.707 V_m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{นั่นคือ } V_{\text{rms}} &= 0.707 V_m \\
 V_m &= V_p \\
 &= \frac{V_{\text{rms}}}{0.707}
 \end{aligned}$$

$$\therefore V_p = \sqrt{2} \times V_{\text{rms}}$$

เมื่อ V_m (Maximum Voltage) คือ V_p (Peak Voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ } V_p &= \sqrt{2} \times V_{\text{rms}} \\
 &= 1.414 \times 9 \\
 &= 12.73 \, \text{V}
 \end{aligned}$$



อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1



2. แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{dc} คือ V_O เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากดีซีโวลต์มิเตอร์ (DC Voltmeter)

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{V_m}{\pi} \\ &= \frac{V_p}{\pi} \\ &= \frac{12.73}{\left(\frac{22}{7}\right)} \\ &= \frac{7 \times 12.73}{22} \\ &= 4.05 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น ดีซีโวลต์มิเตอร์จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 V

$$\begin{aligned} 3. \text{ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด คือ } I_D &= I_L \\ &= \frac{V_{dc}}{R} \\ &= \frac{4.05}{560} \\ &= 7.23 \text{ mA} \end{aligned}$$

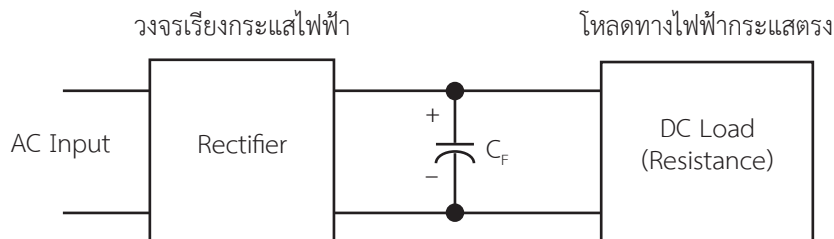
นั่นก็หมายความว่า ต้องเลือกอัตราทนกระแสไฟฟ้าของไดโอดไม่น้อยกว่า 7.23 mA และค่า PIV ของไดโอดต้องไม่น้อยกว่า 12.73 V

ตอบ

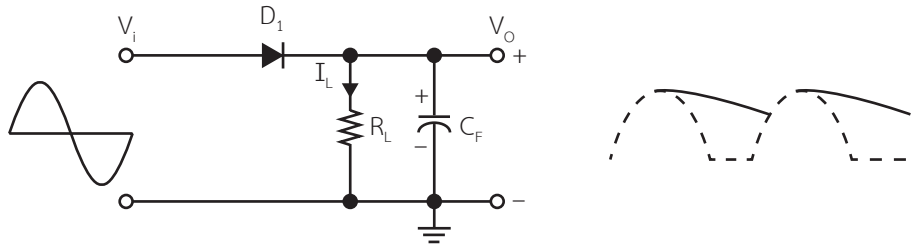


การกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น

การกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ (Filter) จากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น จะช่วยให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแบตเตอรี่ ซึ่งวงจรกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor) ต่อขนานกับโหลด แสดงในรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6

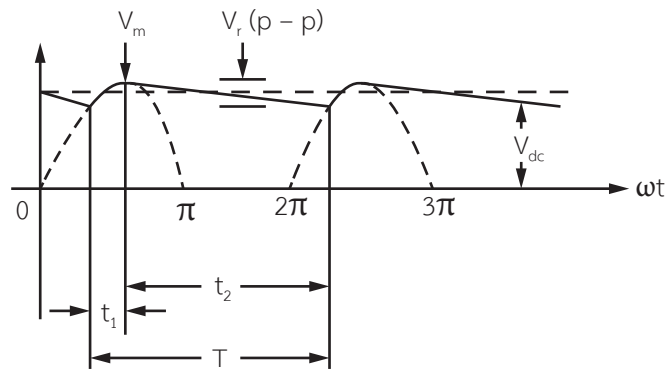


รูปที่ 1.5 นำตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อขนานกับโหลด



รูปที่ 1.6 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นที่มีการกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบโดย C_F

เมื่อพิจารณารูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นที่มีการกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง แสดงในรูปที่ 1.7 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1.7 รูปคลื่นเอาต์พุตจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นที่มีการกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ

1. ในช่วงเวลาของ t_1 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_F จะประจุไฟฟ้า (Charge) จากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น และตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_F จะคายประจุไฟฟ้า (Discharge) ผ่านโหลด R_L ในช่วงเวลาของ t_2 ทำให้ช่วงระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าของ C_F ยาวนานกว่าในช่วงระยะเวลาที่ประจุไฟฟ้า

2. กำหนดให้

- t คือ เวลาประจุไฟฟ้าหรือคายประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวินาที (Second, s)
- C คือ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด (Farad)
- Q_c คือ ประจุไฟฟ้าที่ประจุให้กับตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulomb)
- I_c คือ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)
- V_c คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt)

$$\text{จะได้ } Q_c = CV_c \text{ และ } Q_c = tI_c$$

$$\text{ดังนั้น } \Delta Q_c = C\Delta V_c \text{ และ } \Delta Q_c = \Delta tI_c$$



$$\begin{aligned}\text{นั่นคือ } \Delta V_c &= \frac{\Delta Q_c}{C} \\ &= \frac{\Delta t I_c}{C} \dots\dots\dots (1.3)\end{aligned}$$

3. ค่า ΔV_c คือ แรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมจากยอดถึงยอด (Ripple Voltage) V_r (p - p) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 1.7 โดยกระแสไฟฟ้า I_c มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้า I_L ส่วน Δt คือ ช่วงเวลาของ C_F ที่คายประจุไฟฟ้า (ช่วงเวลา t_2)

จากสมการที่ (1.3) นำ ΔV_c แทนด้วย V_r (p - p), I_c แทนด้วย I_{dc} และ Δt แทนด้วย t_2

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } V_r \text{ (p - p)} &= \frac{t_2 I_{dc}}{C} \\ &= \frac{t_2 I_L}{C} \dots\dots\dots (1.4)\end{aligned}$$

ค่าเวลา t_2 ประมาณใกล้เคียงกับเวลา T ใน 1 วงรอบ ($T = \frac{1}{f}$; $f = 50 \text{ Hz}$) จะได้

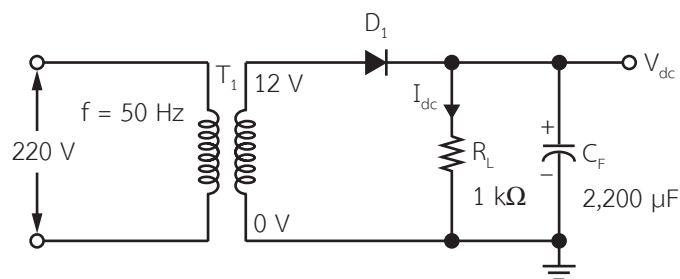
$$\text{แรงดันไฟฟ้า } V_r \text{ (p - p)} = \frac{I_{dc}}{Cf} \dots\dots\dots (1.5)$$

$$\text{จากรูปที่ 1.7 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คือ } V_{dc} = V_m - \frac{V_r \text{ (p - p)}}{2} \dots\dots\dots (1.6)$$

$$\text{จากสมการที่ (1.6) จะได้ } V_{dc} = V_m - \frac{I_{dc}}{2fc} \text{ เมื่อ } I_{dc} = \frac{V_{dc}}{1R_L} \dots\dots\dots (1.7)$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{แรงดันไฟฟ้าตรงเอาต์พุต } V_O &= V_{dc} \\ &= \frac{2V_m R_L C f}{1 + 2R_L C f} \dots\dots\dots (1.8)\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.2 จากรูปที่ 1.8 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และค่าแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอดของแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อม



รูปที่ 1.8 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.2



วิธีทำ

$$\begin{aligned} 1. \text{ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด } V_m &= \sqrt{2}V_{rms} \\ &= 1.414 \times 12 \\ &= 16.97 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง } V_{dc} &= \frac{2V_m R_L C_f}{1 + 2R_L C_f} \\ &= \frac{2(16.97)(1 \times 10^3)(2,200 \times 10^{-6})(50)}{1 + [(2)(1 \times 10^3)(2,200 \times 10^{-6})(50)]} \\ &= \frac{3,733.40}{1 + 220} \\ &= 16.89 \text{ V} \\ \therefore V_{dc} &= 16.89 \text{ V} \end{aligned}$$

3. กระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเอาต์พุต คือ I_{dc}

$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{V_{dc}}{R_L} \\ &= \frac{16.89}{1 \times 10^3} \\ &= 16.89 \text{ mA} \end{aligned}$$

4. แรงดันไฟฟ้ากระแสเพี้ยนจากยอดถึงยอด คือ $V_r (p - p)$

$$\begin{aligned} V_r (p - p) &= \frac{I_{dc}}{C_f} \\ &= \frac{(16.89 \times 10^{-3})}{(2,200 \times 10^{-6})(50)} \\ &= 153.55 \text{ mV}(p - p) \end{aligned}$$

ตอบ



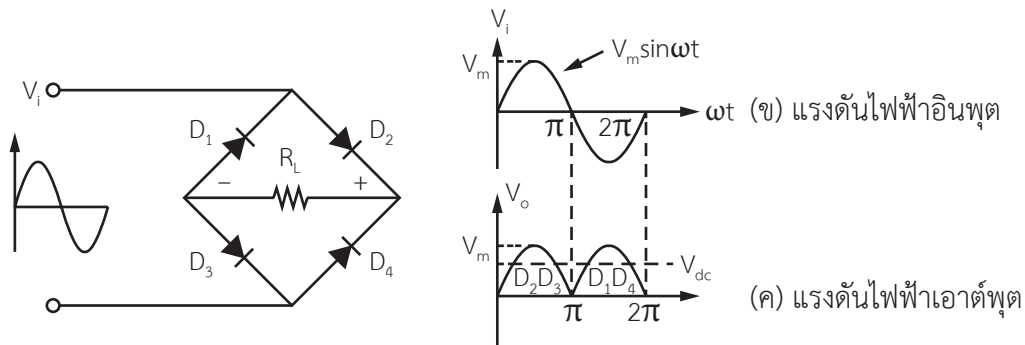
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น อาศัยหลักการทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) จะให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นสำคัญ



หลักการทางานโดยทั่วไป

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่นที่เป็นวงจรบริดจ์ให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่แสดงในรูปที่ 1.9 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1.9 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์และรูปคลื่นต่าง ๆ

1. พิจารณาแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสบวกเข้าทางอินพุตของวงจร ทำให้ไดโอด D_2 กับ D_3 ได้รับไบแอสตรงจึงนำกระแสไฟฟ้าทั้งคู่ ขณะเดียวกันไดโอด D_1 กับ D_4 ได้รับไบแอสกลับด้วยขนาดแรงดันไฟฟ้ายอดสูงสุดเท่ากับ $-V_m$ ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตกคร่อมโหลด R_L

2. พิจารณาแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสลบเข้าทางอินพุตของวงจร ทำให้ไดโอด D_1 กับ D_4 ได้รับไบแอสตรงจึงนำกระแสไฟฟ้าทั้งคู่ ขณะเดียวกันไดโอด D_2 กับ D_3 ได้รับไบแอสกลับด้วยขนาดแรงดันไฟฟ้ายอดสูงสุดเท่ากับ $-V_m$ ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตกคร่อมโหลด R_L

$$\begin{aligned}
 3. \text{ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง } V_{dc} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} \left(-\cos \omega t \right) \Big|_0^{\pi} \\
 &= -\frac{V_m}{\pi} (\cos \pi - \cos 0^\circ) \\
 &= -\frac{V_m}{\pi} (-1 - 1) \\
 &= \frac{2V_m}{\pi} \\
 &= 0.636 V_m \\
 \therefore V_{dc} &= 0.636 V_m \quad \dots\dots\dots (1.9)
 \end{aligned}$$



กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด R_L คือ I_L

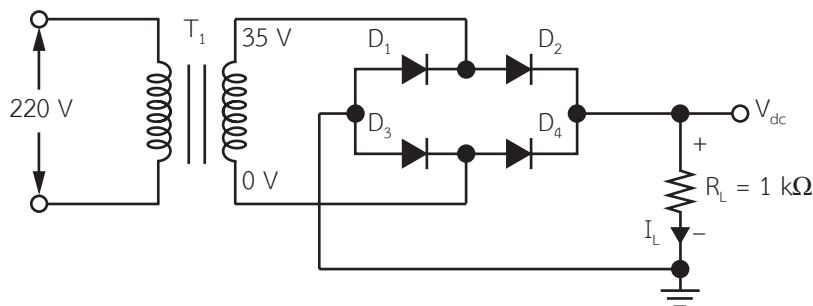
$$\begin{aligned} I_L &= \frac{V_{dc}}{R_L} \\ &= \frac{0.636 V_m}{R_L} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

4. กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดแต่ละตัว พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรง (Forward Bias) ครึ่งละ 2 ตัว ในแต่ละครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบ คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย I_D

$$\begin{aligned} \text{กระแสไฟฟ้า } I_D &= \frac{V_m}{\pi R_L} \\ &= \frac{0.318 V_m}{R_L} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

$$I_D = \frac{I_L}{2} \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

ตัวอย่างที่ 1.3 จากรูปที่ 1.10 แสดงวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นจากหม้อแปลงไฟฟ้า 220 V/ 35 V ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จงคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากดีซีโวลต์มิเตอร์ และค่ารายละเอียดต่ำสุดของไดโอดที่นำมาใช้กับวงจรชุดนี้



รูปที่ 1.10 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.3

วิธีทำ

$$\begin{aligned} 1. \text{ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด } V_m &= V_p \\ &= \sqrt{2} \times V_{rms} \\ &= 1.414 \times 35 \\ &= 49.49 \text{ V} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง } V_{dc} &= 0.636 \times V_m \\ &= 0.636 \times 49.49 \\ &= 31.48 \text{ V}\end{aligned}$$

ดังนั้น ดีซีโวลต์มิเตอร์อ่านแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับ 31.48 V (ค่าเฉลี่ย)

2. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด R_L คือ I_L

$$\begin{aligned}I_L &= \frac{V_{dc}}{R_L} \\ &= \frac{31.48}{1 \times 10^3} \\ &= 31.48 \text{ mA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_D &= \frac{I_L}{2} \\ &= \frac{31.48 \times 10^{-3}}{2} \\ &= 15.74 \text{ mA}\end{aligned}$$

ดังนั้น รายละเอียดไดโอดทั้ง 4 ตัว ต้องเลือกอัตราทนกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 31.48 mA และไดโอดจะต้องมีค่า PIV ไม่น้อยกว่า V_m คือ 49.49 V

ตอบ



การกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบจากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบบริดจ์ จะช่วยให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแบตเตอรี่ โดยทั่วไป การกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ จะนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดอิเล็กโทรไลต์ติดต่อกับโหลด R_L แสดงในรูปที่ 1.11 มีรายละเอียดดังนี้

