

หน่วยที่ 2

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

สาระสำคัญ

วงจรเรียงกระแส (Rectifier) เป็นวงจรที่ใช้ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นนั้น จะเป็นการเรียงกระแสโดยใช้ไดโอดเพียงหนึ่งตัวทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแส โดยไดโอดจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ให้ไหลได้เพียงทิศทางเดียว ค่าของแรงดันไฟตรงและกระแสไฟตรงทางเอาต์พุตของวงจรที่ได้จะออกมาในรูปของค่าเฉลี่ย และเนื่องจากสัญญาณไฟตรงที่ได้ทางเอาต์พุตยังไม่เรียบ จึงต้องทำการกรองสัญญาณให้เรียบ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณ

เรื่องที่จะศึกษา

- 2.1 บทนำ
- 2.2 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น
- 2.3 การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์การสอน

1. จุดประสงค์ทั่วไป

- 1.1 เพื่อให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น
- 1.2 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ
- 1.3 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการต่อวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น
- 1.4 เพื่อให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ทั้งในด้านการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัด และรู้คุณค่า

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

- 2.1 บอกคุณลักษณะและการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นได้

2.2 คำนวณหาค่าแรงดันไฟตรงของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นได้

2.3 บอกลักษณะและการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เมื่อมีตัวเก็บประจุกรองสัญญาณได้

2.4 สามารถต่อวงจรการทดลองหาค่าลักษณะของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นได้

คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

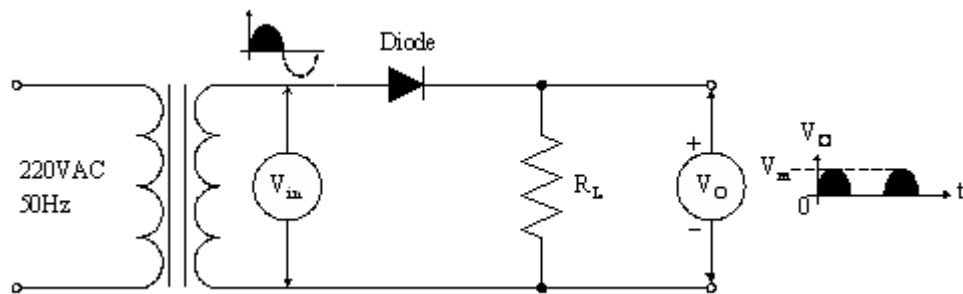
1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

2.1 บทนำ

จากคุณลักษณะของไดโอดที่มันยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้เพียงทิศทางเดียว ดังนั้น เราจึงสามารถนำไดโอด ไปใช้ในงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และเรียกวงจรที่ใช้ไดโอดมาเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงว่า วงจรเรียงกระแส (Rectifier) โดยวงจรเรียงกระแสมี 2 แบบ คือ แบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น

2.2 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier) เป็นวงจรที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยการใช้ไดโอดหนึ่งตัวทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแส



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นสัญญาณไซน์ด้านบวกอยู่ที่แอนโอด

การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.1 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ด้านบวกปรากฏที่ด้านแอนโอดของไดโอด ซึ่งลักษณะเช่นนี้ไดโอดเสมือนอยู่ในสภาวะได้รับไบแอสตรงสัญญาณไซน์ด้านบวกสามารถเคลื่อนที่ผ่านไดโอดไปปรากฏที่เอาต์พุตและตกคร่อมที่โหลด R_L

โดยปกติทั่วไปค่าแรงดันไฟที่เอาต์พุตของหม้อแปลงจะเป็นค่าใช้งาน (V_{rms}) แต่สัญญาณรูปคลื่นที่เอาต์พุตจะแสดงค่าสูงสุด (Peak or Maximum value) เราสามารถเปลี่ยนค่าใช้งานเป็นค่าสูงสุดได้ดังนี้คือ

$$V_p = 1.414 V_{rms} \dots\dots\dots 2.1)$$

เมื่อ $V_p = V_m =$ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$V_{rms} =$ ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

จากรูปที่ 2.1 ถ้าใช้ D.C. Voltmeter วัดค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งเอาต์พุต จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่เอาต์พุต ($V_{O_{avg}}$) หาได้จาก

$$\begin{aligned} V_{O_{avg}} &= \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_s \, d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \, d\omega t \\ &= \frac{V_m}{2\pi} \int_0^\pi \sin \omega t \, d\omega t \end{aligned}$$

แต่ $\int_0^\pi \sin \omega t \, d\omega t = [-\cos \omega t]_0^\pi$

$$\begin{aligned} \therefore V_{O_{avg}} &= \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_0^\pi \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [-(\cos \pi - \cos 0)] ; \pi = 180^\circ \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [-(-1 - 1)] \\ &= \frac{V_m}{\pi} \\ &= 0.318V_m \dots\dots\dots 2.2) \end{aligned}$$

และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจรหาได้จาก

$$I_{O_{avg}} = \frac{V_{O_{avg}}}{R_L} = 0.318 \frac{V_m}{R_L} \dots\dots\dots (2.3)$$

เมื่อ $V_{O_{avg}}$ = ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุต มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$I_{O_{avg}}$ = ค่ากระแสไฟตรงเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นแอมแปร์(A)

อย่างไรก็ตาม แม้จะได้แรงดันไฟฟ้าทางเอาต์พุตเป็นไฟตรงแล้วก็ตาม รูปคลื่นสัญญาณทางเอาต์พุตยังคงลักษณะของรูปคลื่นไซน์อยู่ ดังนั้นมันจึงยังคงมีลักษณะของค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานอยู่ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน สามารถพิจารณาหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{O_{rms}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} (V_m \sin \omega t)^2 \, d\omega t} \\ V_{O_{rms}}^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t \\ &= \frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d\omega t \\ &= \frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t) \, d\omega t \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} (\int_0^\pi d\omega t - \int_0^\pi \cos 2\omega t \, d\omega t) \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left(\omega t \int_0^\pi - \frac{1}{2} \int_0^\pi \cos 2\omega t \, d\omega t \right) \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left((\pi - 0) - \frac{1}{2} [\sin 2\omega t]_0^\pi \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{V_m^2}{4\pi} \left[\pi - \frac{1}{2} (\sin 2\pi - \sin 0) \right]$$

$$\therefore V_{O_{rms}}^2 = \frac{V_m^2}{4\pi}$$

ดังนั้น $V_{O_{rms}} = \frac{V_m}{2} = 0.5V_m \dots \dots \dots (2.4)$

$$I_{O_{rms}} = \frac{V_{O_{rms}}}{R_L} = \frac{0.5V_m}{R_L} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$P_{dc} = V_{O_{avg}} I_{O_{avg}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$= \frac{V_{O_{avg}}^2}{R_L} = \frac{(0.318V_m)^2}{R_L} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$= I_{O_{avg}}^2 R_L = \left(\frac{0.318V_m}{R_L} \right)^2 R_L \dots \dots \dots (2.8)$$

$$P_{ac} = V_{O_{rms}} I_{O_{rms}} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$= \frac{V_{O_{rms}}^2}{R_L} = \frac{(0.5V_m)^2}{R_L} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$= I_{O_{rms}}^2 R_L = \left(\frac{0.5V_m}{R_L} \right)^2 R_L \dots \dots \dots (2.11)$$

เมื่อ $V_{O_{rms}}$ = ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานด้านเอาต์พุต มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$I_{O_{rms}}$ = ค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานที่ไหลผ่านตัวต้านทาน มีหน่วยเป็น แอมแปร์(A)

P_{dc} = กำลังไฟฟ้าไฟตรงที่ได้ทางด้านเอาต์พุต มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

P_{ac} = กำลังไฟฟ้าไฟสลับที่ได้ทางด้านเอาต์พุต มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

$$\text{ประสิทธิภาพของวงจร } (\eta) = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \times 100\%$$

ค่าฟอร์มแฟกเตอร์ (Form factor, FF) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าใช้งานกับค่าเฉลี่ย

$$FF = \frac{V_{O_{rms}}}{V_{O_{avg}}} = \frac{0.5V_m}{0.318V_m}$$

$$= 1.57$$

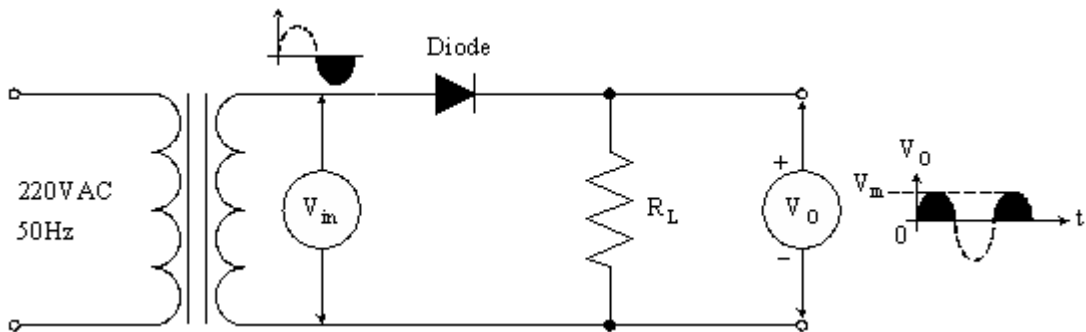
ค่า Peak Inverse Voltage ของไดโอด (PIV) หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอดขณะไบแอสกลับ

$$PIV = -V_m$$

สมมติว่าแรงดันเอาต์พุตของหม้อแปลงมีขนาด $9 V_{rms}$ ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้ทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าประมาณ

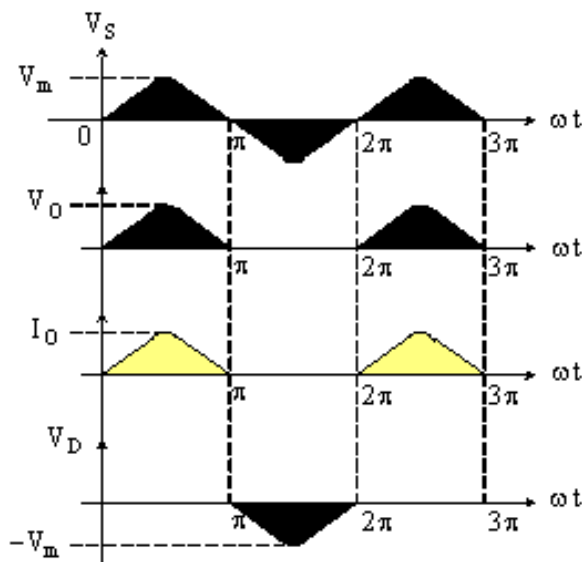
$$V_O = 1.414 \times 9 \times 0.318$$

$$= 4V$$



รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นสัญญาณไซน์ด้านลบอยู่ที่แอโนด

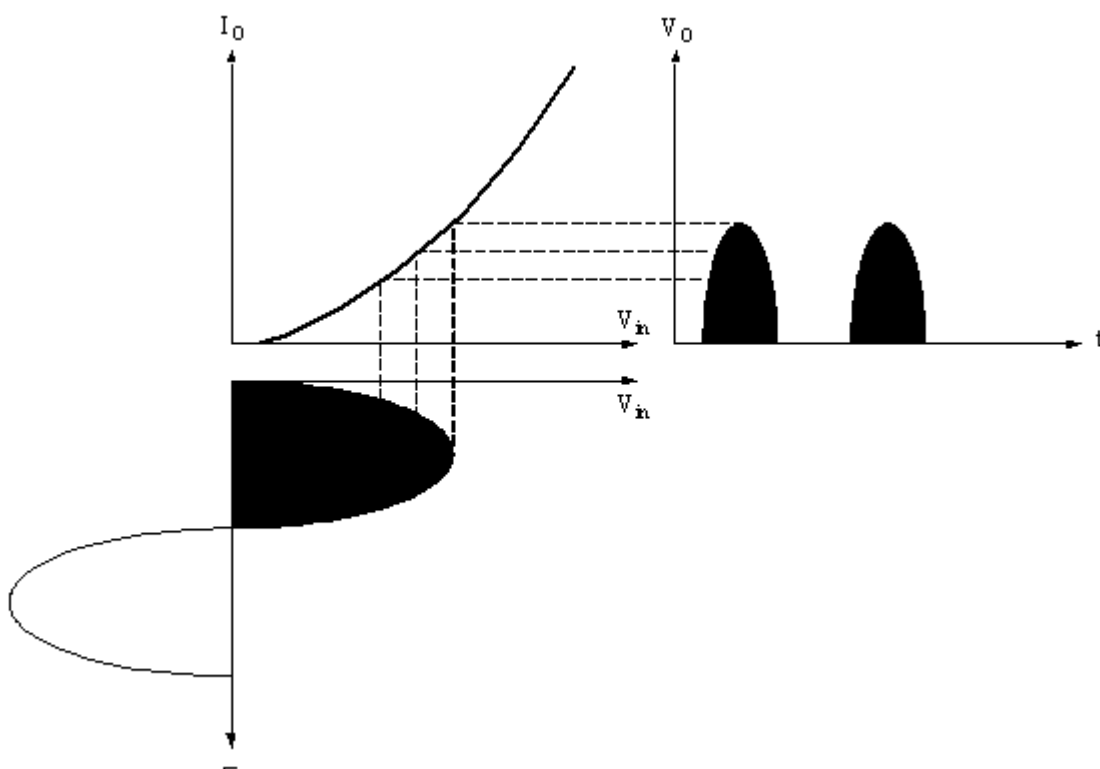
การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.2 เมื่อสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ด้านลบที่แอโนดหมดไป จะปรากฏสัญญาณไซน์ด้านลบ ซึ่งก็หมายความว่าในขณะนี้เสมือนสัญญาณด้านลบ ไปปรากฏ ทางด้านแคโทดของไดโอดเทียบกับด้านแอโนด ไดโอดจึงเสมือนได้รับไบแอสกลับกันสัญญาณ ไม่ให้ผ่าน สัญญาณไซน์ด้านลบจึงตกคร่อมค้างอยู่ที่ไดโอด ทำให้สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตไม่มี เนื่องจากไดโอดไม่นำกระแส จนกว่าเมื่อใดที่สัญญาณด้านบวกไปปรากฏที่ขั้วแอโนดอีกครั้งหนึ่ง จึงจะเกิดสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตขึ้นมาใหม่ ดังรูปคลื่นเอาต์พุตของสัญญาณตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

ในรูปที่ 2.3 จะเป็นการแสดงให้เห็นรูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ที่พิจารณาตลอดทั้งไซเคิล โดยเมื่อสัญญาณรูปคลื่นไซน์อินพุตด้านบวกปรากฏขึ้นและไปปรากฏที่ขาแอนโอดของไดโอด สัญญาณเอาต์พุต (V_o) ก็จะปรากฏให้เห็นและมีขนาดเป็นไปตามสมการที่ (2.2) สัญญาณรูปคลื่นของกระแสเอาต์พุต (I_o) ก็จะปรากฏให้เห็นเช่นกัน แต่เมื่อสัญญาณรูปคลื่นไซน์อินพุตด้านลบปรากฏขึ้นและไปปรากฏที่ขาแอนโอดของไดโอด เมื่อพิจารณาตามรูปก็คือตั้งแต่ช่วง $\pi-2\pi$ จะเห็นว่าสัญญาณด้านลบจะไม่ปรากฏที่เอาต์พุตแต่จะไปปรากฏที่ไดโอด ซึ่งก็คือแรงดันไฟฟ้าด้านลบจะตกคร่อมอยู่ที่ตัวไดโอดนั่นเองมีขนาดที่ประมาณ $-V_m$

จากลักษณะการนำกระแสและกั้นกระแสของไดโอดที่ผ่านมาในเบื้องต้น เรามักจะให้ความสนใจต่อแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุต แต่ก็จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางด้านอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้ แต่เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุตไม่เป็นเชิงเส้น จึงเป็นการยากที่จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันทางเอาต์พุตในรูปของสมการพีชคณิต แต่จะใช้วิธีการกำหนดค่าความสัมพันธ์ในลักษณะของรูปกราฟ และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า “ลักษณะสมบัติถ่ายทอด” (Transfer characteristic) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



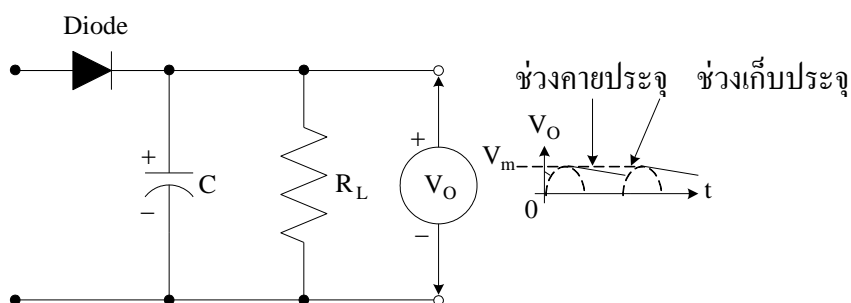
รูปที่ 2.4 รูปกราฟลักษณะสมบัติการถ่ายทอด

จากรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงกราฟคุณลักษณะสมบัติการถ่ายทอด โดยการเขียนแบบร่างลงที่ละจุดบนกราฟ กำหนดให้ค่าแรงดันเอาต์พุตอยู่ในตำแหน่งแกนตั้ง ส่วนแรงดันอินพุตจะอยู่ในตำแหน่งแกนนอน ค่าแรงดันเอาต์พุตสามารถคำนวณหาได้จากผลคูณของกระแสในวงจรกับค่าของความต้านทานโหลด เราสามารถนำกราฟลักษณะสมบัติการถ่ายโอนนี้มาหาลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตโดยมีข้อแม้ว่าต้องทราบลักษณะของสัญญาณอินพุตเสียก่อน

จะสังเกตเห็นได้ว่า วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ดึงกำลังงานไปจ่ายโหลดได้เพียงครึ่งไซเคิลบวก ทำให้มีข้อจำกัดในการจ่ายกระแสให้โหลด โดยบางขณะมีสัญญาณปรากฏทางด้านเอาต์พุต บางขณะไม่มีสัญญาณปรากฏ จึงดูเหมือนว่าเอาต์พุตจ่ายไฟในลักษณะเป็นพัลส์(Pulse) จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับโหลดที่ต้องการกระแสจำนวนมาก อีกทั้งการจ่ายกระแสจะจ่ายได้ที่ครึ่งไซเคิล เป็นผลให้แกนเหล็กของหม้อแปลงอิ่มตัวได้ง่าย ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะต่ำลง ค่าแรงดันและกระแสที่เอาต์พุตก็จะมีกระแสกระเพื่อม (Ripple) สูง ส่วนใหญ่จึงมักนำไปใช้สำหรับวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery charger)

2.3 การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ(Capacitor filter)

จากการที่สัญญาณแรงดันเอาต์พุตมีลักษณะเป็นไซน์เฉพาะด้านบวก ถึงแม้จะเป็นไฟตรงที่กระแสไหลได้เพียงทางเดียวแต่สัญญาณยังไม่มีระเบียบแบบไฟตรงทั่วไป วิธีการที่จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตเรียบและเป็นไฟตรงสมบูรณ์ขึ้น นิยมใช้ตัวเก็บประจุมาทำการกรองสัญญาณให้เรียบ โดยการนำตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ มาต่อขนานกับโหลด ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตเมื่อต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ

พิจารณารูปที่ 2.5 เมื่อทำการต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลดและสัญญาณไซน์ครึ่งไซเคิลทางซีกบวกสามารถผ่านไดโอดจากด้านแอนโอดมายังแคโทด สัญญาณรูปคลื่นไซน์ด้านบวกที่ไหลผ่าน

ไดโอดมาได้ จะถูกทำการประจุเข้าไปยังตัวเก็บประจุจนถึงค่าสูงสุด(V_p หรือ V_m) ครั้นเมื่อสัญญาณไซน์ด้านบวกเริ่มลดจากค่าสูงสุดลงมาเป็นศูนย์ ตัวเก็บประจุก็จะทำการคายประจุออกมาจ่ายให้กับโหลด แต่ทว่าการคายประจุจะเป็นไปในลักษณะช้ากว่าสัญญาณไซน์จากแหล่งจ่าย ดังนั้น จึงมีแรงดันจากตัวเก็บประจุมาตกคร่อมโหลด R_L ในลักษณะที่แรงดันตกคร่อมโหลด R_L จะค่อย ๆ ลดลง และถ้าหากปรากฏมีสัญญาณไซน์ด้านบวกในครึ่งไซเคิลใหม่ผ่านไดโอดมา ตัวเก็บประจุก็จะทำการประจุสัญญาณเข้าไปใหม่ เป็นเช่นนี้ตลอดเรื่อยไปของช่วงการทำงานของวงจรในทุกรอบของรูปคลื่นไซน์

หลักการพิจารณาในการเลือกหรือคำนวณหาตัวเก็บประจุสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. จะต้องทราบขนาดแรงดันใช้งานด้านเอาต์พุตของหม้อแปลง และขนาดแรงดันไฟตรงทางด้านเอาต์พุตที่ต้องการใช้งาน

2. ต้องทราบพิกัดกระแสสูงสุดด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงที่สามารถจ่ายได้

3. ตัวเก็บประจุจะกรองสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ให้เรียบเท่ากับค่าแรงดันสูงสุด(V_m หรือ V_p)

ตัวอย่างเช่น วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นมีค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งาน 220/12 V – 0 – 12 V จ่ายกระแสได้สูงสุด 2 A โดยถ้าหากว่าในวงจรนั้นมีการกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุค่าแรงดันไฟสูงสุดด้านอินพุตของวงจรเรียงกระแส (V_p หรือ V_m) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

$$V_{dc(\text{no-load})} = V_m = 1.414V_{rms} = 1.414 \times 12V \cong 17V$$

ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้ด้านเอาต์พุต (ขณะไม่มีตัวเก็บประจุ)

$$\begin{aligned} V_{O_{avg}} &= 0.318 V_m \\ &= 0.318 \times 17 \\ &\cong 5.4 V \end{aligned}$$

ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกรองสัญญาณหาได้จาก

$$\begin{aligned} C &= \frac{I}{20V_{dc(\text{no-load})}} \dots\dots\dots(2.12) \\ &= \frac{2}{20 \times 17} \\ &= 5.882 \times 10^{-3} F \\ &= 5.882 \mu F \end{aligned}$$

เลือกค่าที่ใกล้เคียงที่สุดมาต่อใช้งาน

เมื่อต่อโหลดให้กับวงจรค่าแรงดันที่เอาต์พุตจะลดลงซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{\text{loss}} &= \frac{I}{200 \times C} \dots\dots\dots (2.13) \\ &= \frac{2}{200 \times 5.882 \times 10^{-3}} \\ &= 1.7\text{V} \end{aligned}$$

ดังนั้นไฟตรงที่เอาต์พุตเมื่อจ่ายโหลดเต็มที่ (Full load)

$$\begin{aligned} V_{O(\text{full-load})} &= V_{O(\text{no-load})} - V_{\text{loss}} \dots\dots\dots (2.14) \\ &= 17\text{V} - 1.7\text{V} \\ &= 15.3\text{V} \end{aligned}$$