

หน่วยที่ 4

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

สาระสำคัญ

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์(Bridge rectifier) จัดเป็นวงจรเรียงกระแสที่สมบูรณ์-แบบที่สุด ใช้ไดโอดทำหน้าที่เรียงกระแสครึ่งไซเคิลละ 2 ตัว ทำให้เราสามารถเลือกใช้ไดโอดที่ไม่ต้องทนต่อแรงดันสูงมากนักมาใช้งานได้ เพราะไดโอดสองตัวจะทำหน้าที่แบ่งแรงดันกันตัวละครึ่งหนึ่งของแรงดันที่แหล่งจ่ายจ่ายให้กับวงจร อีกทั้งหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็ไม่ต้องมีแท็ปกลาง ส่วนการกรองสัญญาณยังคงนิยมใช้ตัวเก็บประจุเหมือนวงจรเรียงกระแสอื่น ๆ

เรื่องที่จะศึกษา

- 4.1 บทนำ
- 4.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
- 4.3 การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์การสอน

1. จุดประสงค์ทั่วไป

- 1.1 เพื่อให้ให้นักเรียน มีความรู้ ความเข้าใจ วงจรและการทำงาน ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ตลอดถึงการกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ
- 1.2 เพื่อให้ให้นักเรียน มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ วิธีการต่อวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
- 1.3 เพื่อให้ให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับ วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ทั้งในด้านการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัด และรู้คุณค่า

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

2.1 บอกคุณลักษณะและการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ได้

2.2 คำนวณหาค่าแรงดันไฟตรงของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ทั้งขณะไม่มีตัวเก็บประจุและขณะมีตัวเก็บประจุกรองสัญญาณได้

2.3 สามารถต่อวงจรการทดลองหาคคุณสมบัติของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ได้

คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

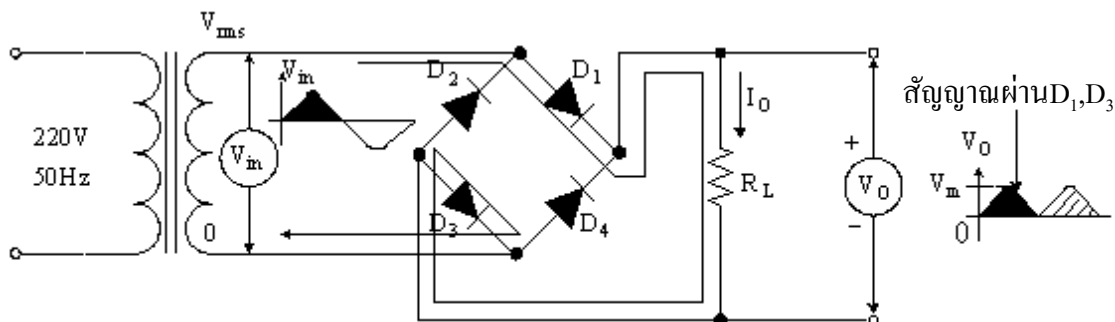
1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

4.1 บทนำ

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากอีกแบบหนึ่ง จะใช้ไดโอดสี่ตัวต่อกันในลักษณะบริดจ์ โดยไดโอดสองตัวจะทำหน้าที่ในการเรียงกระแสครึ่งไซเคิลบวก และอีกสองตัวเรียงกระแสในครึ่งไซเคิลลบ ค่าแรงดันไฟตรงที่ได้ทางเอาต์พุตจะมีลักษณะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท่งปกลาง จะต่างกันก็แต่วิธีการในการต่อวงจรเพื่อใช้งาน อีกทั้งการเลือกไดโอดมาต่อใช้งานสามารถเลือกใช้ไดโอดแต่ละตัวทนแรงดันได้เพียงแค่ครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร ทั้งนี้เนื่องจากไดโอดสองตัวจะแบ่งแรงดันกันตัวละครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย

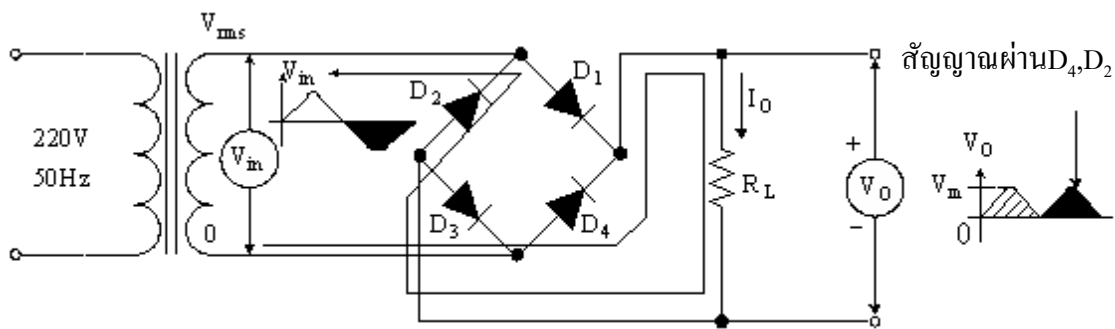
4.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบนี้ จะใช้ไดโอดทำหน้าที่เรียงกระแสครึ่งไซเคิลละสองตัว ส่วนค่าของแรงดันไฟตรงเฉลี่ยทางเอาต์พุตของวงจรที่ได้ จะมีขนาดเท่ากับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบที่ใช้หม้อแปลงมีแท่งปกลาง



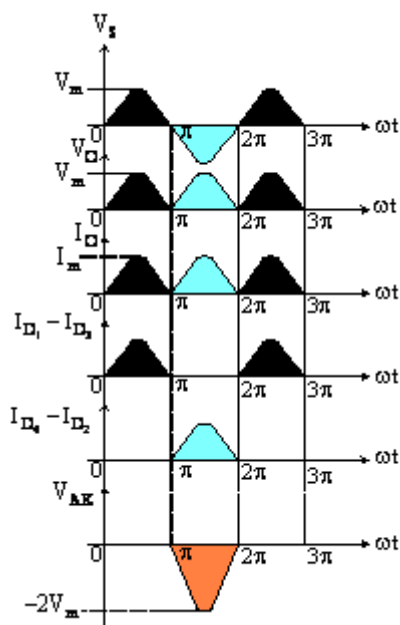
รูปที่ 4.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์สัญญาณครึ่งไซเคิลบวกผ่าน

การทำงานของวงจรในรูปที่ 4.1 เมื่อสัญญาณอินพุตครึ่งไซเคิลด้านบวกปรากฏที่ด้าน V_{ms} สัญญาณครึ่งไซเคิลบวกจะผ่านไดโอด D_1 ไปตกคร่อมโหลดความต้านทาน (R_L) และมีทิศทางไหลจากขั้วด้านบน (ขั้วบวก) ผ่านความต้านทาน R_L ไปหาขั้วด้านล่าง (ขั้วลบ) จากนั้นก็จะไหลผ่านไดโอด D_3 และครบวงจรที่ขั้วอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลง (ด้าน 0) ซึ่งในขณะนี้ไดโอด D_1 และ D_3 จะมีแรงดันตกคร่อมน้อยมากเพราะว่าอยู่ในลักษณะไบแอสตรง ดังนั้นไดโอด D_1 และ D_3 จึงทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์ต่อวงจร รูปคลื่นสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน $R_L (V_0)$ จึงถูกจัดเรียงไว้ทางด้านบวกของเอาต์พุต นั่นคือเกิดการไหลของกระแสผ่านได้ทิศทางเดียว



รูปที่ 4.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์สัญญาณครึ่งไซเคิลกลับผ่าน

พิจารณาวงจรรูปที่ 4.2 เมื่อสัญญาณด้านครึ่งไซเคิลบวกหมดไป และปรากฏสัญญาณด้านครึ่งไซเคิลกลับ หมายความว่าขณะนี้ ขั้วหม้อแปลงที่เป็นอินพุตของวงจรเรียงกระแสด้านที่เป็นศูนย์จะปรากฏมีแรงดันไฟเป็นบวกขณะที่ขั้วด้านบน (V_{rms} เดิม) จะมีค่าเป็นศูนย์แทนสลับกันกับรูปที่ 4.1 ดังนั้นไดโอด D_4 จะเสมือนได้รับไบแอสตรง สัญญาณรูปคลื่นของกระแสและแรงดันจะไหลผ่านไดโอด D_4 ไปตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน R_L และสังเกตได้ว่าจะมีทิศทางไหลจากขั้วด้านบน (ขั้วบวก) ผ่านความต้านทาน R_L ไปหาขั้วด้านล่าง (ขั้วลบ) เหมือนกันกับเมื่อครึ่งครึ่งไซเคิลบวกผ่าน หลังจากนั้นจะไหลผ่านไดโอด D_2 ครบวงจรที่ขั้วอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลง รูปคลื่นสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน $R_L (V_0)$ จึงถูกจัดเรียงไว้ด้านเดียวกัน คือให้กระแสผ่านได้ทิศทางเดียว



รูปที่ 4.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงรูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ตลอดทั้งรอบของรูปคลื่นสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต โดยพิจารณาในหนึ่งรอบ คือตั้งแต่ระยะ $0-2\pi$ เพราะในทุก ๆ รอบจะมีระยะและสัญญาณที่เท่ากัน จะเห็นว่าที่ระยะ $0-\pi$ สัญญาณไซน์ด้านอินพุตเป็นสัญญาณด้านบวก ซึ่งที่ผ่านมารูปที่ 4.1 นั้น ไดโอด D_1 และ D_3 จะทำหน้าที่เสมือนสวิตช์ต่อวงจรให้สัญญาณผ่านไปยังโหลด R_L และสัญญาณด้านเอาต์พุต (V_O) ก็จะไปปรากฏที่โหลด R_L ตั้งแต่ระยะ $0-\pi$ เช่นกันเพราะถือว่าแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดมี D_1 และ D_3 ในขณะนี้มีค่าน้อยมากเหมือนสวิตช์ทั่วไปจนอาจตัดทิ้งออกไปได้ และเมื่อพิจารณาที่โหลดเป็นตัวต้านทาน สัญญาณรูปคลื่นของกระแสที่ได้ทางด้านเอาต์พุต (I_O) ซึ่งขณะนี้ก็ คือ $(I_{D1} - I_{D3})$ ก็จะมีรูปร่างและมีระยะเดียวกันกับสัญญาณแรงดันเอาต์พุตหรืออินเฟสกันนั่นเอง

ต่อมาเมื่อสัญญาณไซน์ด้านอินพุตปรากฏด้านลบซึ่งที่ผ่านมารูปที่ 4.2 นั้น ไดโอด D_4 และ D_2 จะเปลี่ยนมาทำหน้าที่เสมือนสวิตช์ต่อวงจรให้สัญญาณผ่านไปยังโหลด R_L และสัญญาณด้านเอาต์พุต (V_O) ก็จะไปปรากฏที่โหลด R_L ตั้งแต่ระยะ $\pi-2\pi$ เช่นกันและค่าแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดมี D_4 และ D_2 ขณะนี้ก็มีค่าน้อยมากเหมือนสวิตช์ทั่วไปเช่นกันจนตัดทิ้งออกไปได้ อีกทั้งโหลดยังคงเป็นตัวต้านทานตัวเดิม สัญญาณรูปคลื่นของกระแสที่ได้ทางด้านเอาต์พุต (I_O) ซึ่งขณะนี้ก็ คือ $(I_{D4} - I_{D2})$ ก็จะมีรูปร่างและอินเฟสกันเหมือนกับช่วง $0-\pi$ เช่นกัน สัญญาณที่เกิดในระยะ $0-\pi$ และระยะ $\pi-2\pi$ จะถูกกำหนดทิศทางโดยลักษณะการต่อวงจรให้ไปปรากฏต่อเนื่องทางด้านเดียวกันซึ่งพิจารณาตามรูปที่ 4.3 ก็คืออยู่ด้านบวกนั่นเอง

ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้ทางด้านเอาต์พุตจะมีลักษณะเหมือนกับของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น แบบใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง นั่นคือ

$$\begin{aligned}
 V_{O_{avg}} &= \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \cdot d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} \int_0^\pi \sin \omega t \cdot d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-\cos \omega t]_0^\pi \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-(\cos \pi - \cos 0)] \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-(-1-1)] \\
 V_{O_{avg}} &= \frac{2V_m}{\pi} = 0.637V_m \dots\dots\dots(4.1)
 \end{aligned}$$

$$I_{O_{avg}} = \frac{V_{O_{avg}}}{R_L} = 0.637 \frac{V_m}{R_L} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$V_{O_{rms}} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d\omega t}$$

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

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

ดังนั้น $V_{O_{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m \dots\dots\dots(4.3)$

$$I_{O_{rms}} = \frac{V_{O_{rms}}}{R_L} = 0.707 \frac{V_m}{R_L} \dots\dots\dots(4.4)$$

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

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

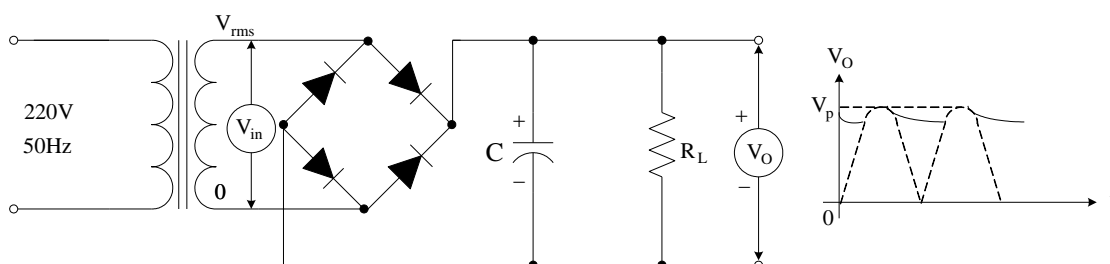
$V_{O_{rms}}$ = ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานด้านเอาต์พุต มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

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

$V_m = V_p$ = ค่าแรงดันสูงสุด มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) = 1.414 V_{rms}

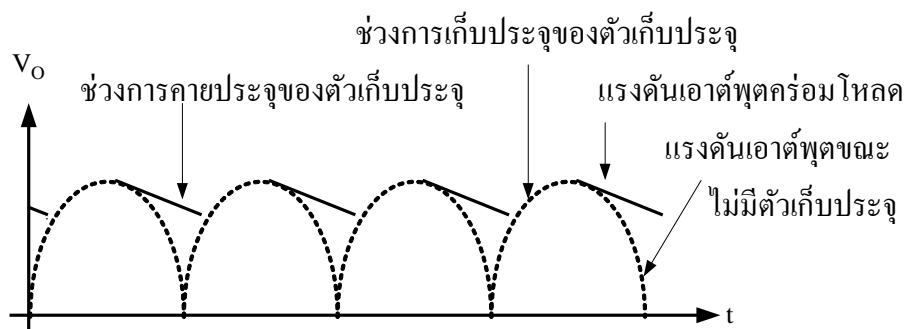
V_{rms} = ค่าแรงดันใช้งานด้านเอาต์พุตของหม้อแปลง มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

4.3 การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor filter)



รูปที่ 4.4 การกรองสัญญาณเอาต์พุตด้วยตัวเก็บประจุ

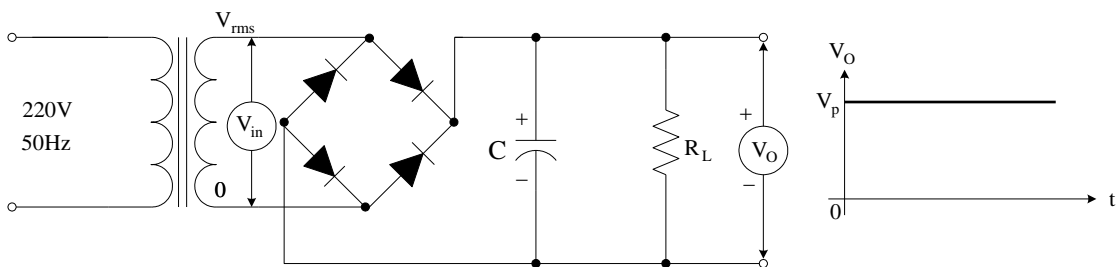
การกรองสัญญาณด้านเอาต์พุต เพื่อให้ได้แรงดันไฟที่เรียบสม่ำเสมอเป็นไฟตรงที่สมบูรณ์ตามรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงให้เห็นสัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุตในภาพรวมทั้งในขณะที่ไม่ได้ต่อตัวเก็บประจุและในขณะที่เมื่อต่อตัวเก็บประจุเพื่อทำการกรองสัญญาณทางเอาต์พุต ซึ่งยังคงนิยมใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์มาทำการกรองสัญญาณ เนื่องจากติดตั้งใช้งานได้ง่ายและกินพื้นที่น้อยกว่าการกรองสัญญาณด้วยวิธีอื่น



รูปที่ 4.5 การกรองสัญญาณเอาต์พุตด้วยตัวเก็บประจุที่มีขนาดยังไม่เหมาะสม

พิจารณารูปที่ 4.5 ถ้าหากเลือกใช้ตัวเก็บที่มีขนาดไม่เหมาะสม ค่าความจุอาจน้อยเกินไป ลักษณะสัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุตจะยังไม่เรียบเป็นเส้นตรง ยังคงมีการกระเพื่อมของสัญญาณอยู่ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า การคายประจุจะเป็นไปอย่างช้า ๆ เปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีตัวเก็บประจุแล้ว แรงดันเอาต์พุตคร่อมโหลดจะไม่ลดลงมาถึงค่าศูนย์ ในขณะที่แรงดัน

เอาต์พุตขณะไม่มีตัวเก็บประจุจะลดลงมาถึงค่าศูนย์ ถ้าทำการเพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุให้มีค่ามากขึ้น สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ก็จะยังมีความเรียบมากขึ้น ค่าความชันในช่วงของการคายประจุของตัวเก็บประจุก็จะมีค่าลดต่ำลง และถ้าเพิ่มค่าความจุให้เหมาะสมจะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มค่าความจุมากเกินไปก็อาจเป็นอันตรายต่อวงจรเรียงกระแส เพราะจะมีกระแสไหลในวงจรมากขึ้นจนอาจทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้



รูปที่ 4.6 วงจรกรองสัญญาณที่ใช้ตัวเก็บประจุเหมาะสม

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าการกรองสัญญาณให้เรียบ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะทำหน้าที่กรองสัญญาณที่ค่าแรงดันสูงสุดหรือที่ค่ายอดคลื่น (Peak voltage, V_p หรือ Maximum voltage, V_m) ถ้าใช้ตัวเก็บประจุขนาดและเหมาะสม ค่าสัญญาณแรงดันไฟตรงที่ได้ทางเอาต์พุตจะมีความเรียบเป็นเส้นตรง ทำให้การกระเพื่อม (Ripple) มีค่าน้อยมากหรือแทบไม่มี

ดังนั้น สิ่งที่จะละทิ้งไม่ได้ในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อกรองสัญญาณ คือขนาดของตัวเก็บประจุต้องถูกต้องเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อวงจร หลักในการพิจารณาเลือกใช้ตัวเก็บประจุก็ยังคงเหมือนในวงจรเรียงกระแสต่าง ๆ ที่ผ่านมา คือ

1. ต้องทราบขนาดค่าแรงดันใช้งานด้านเอาต์พุตของหม้อแปลง และแรงดันไฟตรงด้านเอาต์พุตที่ต้องการใช้งาน
2. ต้องทราบกระแสพิคคสูงสุดด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงที่สามารถจ่ายได้

ตัวอย่าง วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ต้องการแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุต 12 โวลต์ จ่ายกระแสให้วงจรได้ 0.5 แอมแปร์ ให้หา

- 1) ขนาดแรงดันไฟที่เอาต์พุตของหม้อแปลง (V_{rms})
- 2) ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้กรองสัญญาณ
- 3) ค่าแรงดันไฟตรงเอาต์พุตเมื่อภาระเต็ม(Full load)

วิธีคิด

1) เมื่อมีการต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ ตัวเก็บประจุจะกรองสัญญาณให้เรียบที่ระดับยอดคลื่น

$$\text{นั่นคือ } V_{\text{dc}} = V_m = 12\text{V}$$

$$\text{จาก } V_{\text{rms}} = 0.707V_m = 0.707V_{\text{dc}}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{\text{rms}} &= 0.707V_m = 0.707 \times 12\text{V} \\ &= 8.484\text{V} \cong 9\text{V} \end{aligned}$$

เลือกใช้หม้อแปลงมีแรงดันเอาต์พุตใช้งานที่ประมาณ 9 โวลต์

2) เมื่อเลือกขนาดแรงดันหม้อแปลง 9 โวลต์ จะได้แรงดันไฟตรงที่กรองสัญญาณขณะไม่ได้ต่อโหลดดังนี้

$$\begin{aligned} V_{\text{dc}(\text{no-load})} &= \frac{9\text{V}}{0.707} = 12.7298\text{V} \\ C &= \frac{I}{20V_{\text{dc}(\text{no-load})}} = \frac{0.5}{20 \times 12.7298} \\ &= 1.964 \times 10^{-3}\text{F} = 1,964\mu\text{F} \end{aligned}$$

เลือกใช้ขนาดตัวเก็บประจุกรองสัญญาณที่ประมาณ 2,000 μF 25V

3) เมื่อต่อภาระหรือโหลดเข้าไปในวงจร แรงดันไฟตรงที่เอาต์พุตจะลดลง เกิดการสูญเสียไปจำนวนหนึ่ง ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{\text{loss}} &= \frac{I}{200C} = \frac{0.5}{200 \times 1.964 \times 10^{-3}} \\ &= 1.27\text{V} \\ \therefore V_{\text{O}(\text{full-load})} &= 12.7298 - 1.27 \\ &= 11.4598\text{V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันไฟตรงเมื่อภาระเต็มมีค่าที่ประมาณ 11.4598 โวลต์