

หน่วยที่ 3

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง

สาระสำคัญ

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท่งกลางจะใช้ไดโอด 2 ตัว ในการเรียงกระแสร่วมกับหม้อแปลงมีแท่งกลางเพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุต ทั้งจากครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบ ขนาดแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุตจะมากกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นประมาณ 2 เท่า สัญญาณรูปคลื่นที่ได้ทางเอาต์พุตจะมีความต่อเนื่องมากกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

เรื่องที่จะศึกษา

- 3.1 บทนำ
- 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง
- 3.3 การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์การสอน

1. จุดประสงค์ทั่วไป

- 1.1 เพื่อให้นักเรียนได้มีความรู้ มีความเข้าใจเกี่ยวกับ วงจรและการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง
- 1.2 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ
- 1.3 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการต่อวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง
- 1.4 เพื่อให้นักเรียน มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง ทั้งในด้านการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัดและรู้คุณค่า

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ
- 2.1 บอกคุณลักษณะและการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง ได้

2.2 กำหนดหาค่าแรงดันไฟตรง ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นคลื่นใช้หม้อแปลง มีแท็ปกลางทั้งขณะไม่มีตัวเก็บประจุและขณะมีตัวเก็บประจุกรองสัญญาณได้

2.3 สามารถต่อวงจรเพื่อทำการทดลองหาค่าคุณลักษณะ ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลางได้

คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

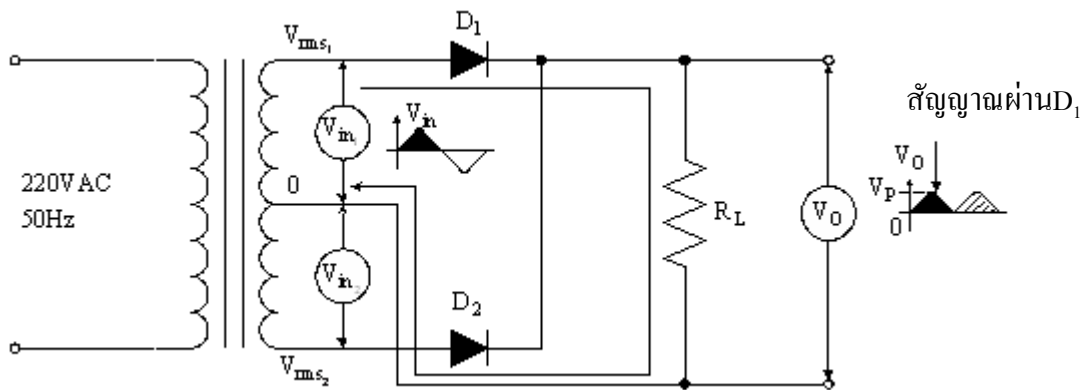
1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

3.1 บทนำ

จากข้อจำกัดในเรื่องอัตราการทำกระแสให้กับโหลด ของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จึงจำเป็นต้องหาวงจรเรียงกระแสที่สามารถตอบสนองความต้องการของโหลด ที่ต้องการกระแสไฟฟ้าจำนวนมาก วิธีการหนึ่งก็คือ การเพิ่มจำนวนไดโอดให้มากกว่าเดิมขึ้นอีกหนึ่งตัว เพื่อให้ไดโอดแต่ละตัว สามารถกวาดรูปคลื่นสัญญาณทั้งซีกบวกและซีกลบให้มาปรากฏทางด้านเอาต์พุต อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องหาหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแท็ปกลาง(Center tap) มาใช้งานร่วมกับไดโอด เพื่อให้สามารถเรียงกระแสได้อย่างเต็มรูปคลื่นไซน์ตามต้องการ

3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง(Full wave rectifier)

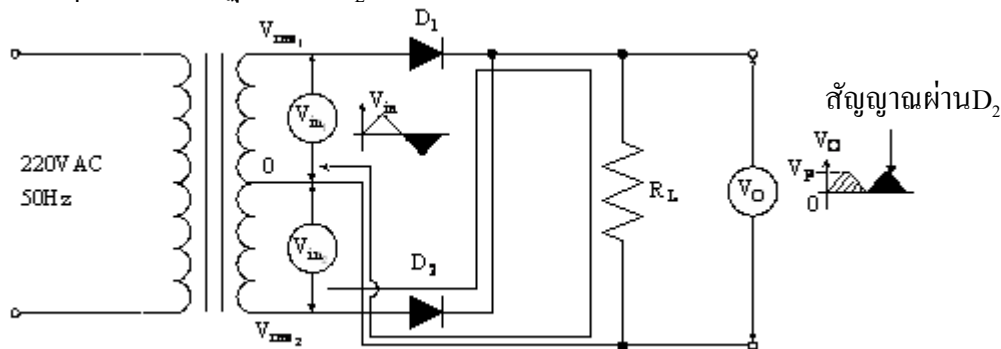
วงจรเรียงกระแสแบบนี้ จะต้องใช้ไดโอดสองตัวทำหน้าที่เรียงกระแส เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยไดโอดแต่ละตัวจะทำหน้าที่เป็นตัวผ่านกระแสไฟให้กับโหลดของวงจรตัวละครึ่งไซเคิล ดังนั้น เอาต์พุตของวงจรจึงมีความต่อเนื่องกว่าแบบครึ่งคลื่นอีกทั้งยังสามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้มากกว่า



รูปที่ 3.1 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

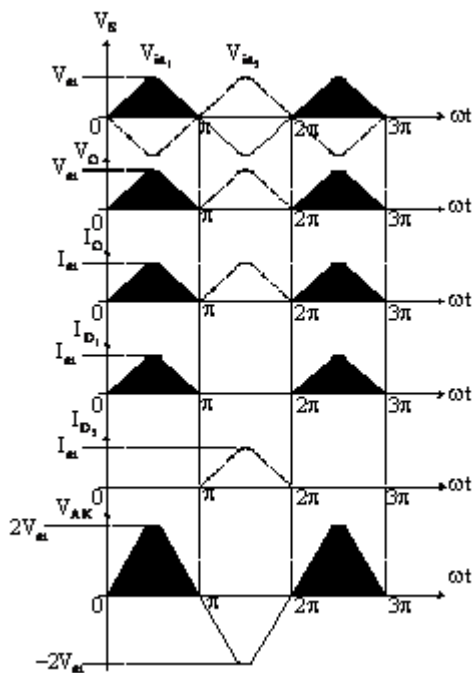
การทำงานของวงจรในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าแท็ปกลางของหม้อแปลง คือ ตำแหน่งศูนย์ ส่วนอินพุตของวงจรจะมีแรงดันกระแสสลับเป็นค่าใช้งานสองค่าคือ V_{ms1} และ V_{ms2} เมื่อมีแรงดันไฟสลับ 220V 50Hz ป้อนเข้ามาทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ โดยแรงดันระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะมีเฟสตรงข้ามกัน คือ จะต่างเฟสกัน 180° แรงดันไฟด้านขดลวดทุติยภูมิซึ่งจะเป็นอินพุตของวงจรเรียงกระแสครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นที่ขั้ว V_{ms1} กับจุด 0 ส่วนอีกครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นที่ขั้ว V_{ms2} กับจุด 0 ถ้าหากสัญญาณรูปคลื่นไซน์ด้านบวกปรากฏที่ด้าน V_{in1} หรือด้าน V_{ms1} ซึ่งหมายความว่าขั้วแอนโอดของ D_1

เป็นบวกเมื่อเทียบกับแอโนด D_2 (แอโนด D_2 เป็น 0) สัญญาณไซน์ด้านบวกจะผ่านไดโอด D_1 ไปยังโหลด R_L (ผ่าน D_2 ไม่ได้เพราะขณะนี้ เป็นลักษณะไปแอสกลับ) แรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณไซน์ด้านบวกจึงไปตกคร่อมโหลด R_L ซึ่งเป็นค่าแรงดันเอาต์พุต (V_o) ส่วนที่ไดโอด D_1 จะมีแรงดันตกคร่อมน้อยมากประมาณ 0.6 V นั่นก็คือสภาวะนี้เสมือนไดโอดได้รับไบแอสตรงเกิดการนำกระแส สัญญาณเอาต์พุตจึงไปปรากฏที่โหลด R_L



รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสที่สัญญาณเอาต์พุตผ่านมาจากด้านไดโอด D_2

พิจารณารูปที่ 3.2 เมื่อสัญญาณไซน์ด้านบวกหายไป สัญญาณไซน์ด้านลบก็จะเกิดขึ้นมาแทนที่ ซึ่งนั่นหมายความว่าขณะนี้แอโนดของไดโอด D_1 มีค่าแรงดันเป็นศูนย์ แต่ด้านแอโนดของไดโอด D_2 จะปรากฏเป็นสัญญาณไซน์ด้านบวกขึ้นมาแทน นั่นหมายความว่า ขณะนี้สัญญาณด้าน V_{in2} หรือด้าน V_{ms2} ปรากฏเป็นสัญญาณด้านบวกบ้าง ทำให้ขั้วแอโนดของไดโอด D_2 ได้รับไบแอสตรง ดังนั้นสัญญาณไซน์ที่แอโนดของไดโอด D_2 จึงผ่านไดโอด D_2 ไปตกคร่อมที่โหลด R_L ทิศทางเดียวกันกับสัญญาณไซน์ที่ผ่านมาจากไดโอด D_1 ที่ปรากฏในครั้งแรกสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ จึงมีตำแหน่งทิศทางอยู่ในด้านเดียวกันจึงอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณอินพุตทั้งด้านไซเกิลบวกและด้านลบจะถูกกวาดให้ปรากฏตกคร่อมที่โหลด R_L ที่เอาต์พุตทั้งหมด โดยการผ่านไดโอด D_1 และ D_2 ซึ่งสามารถพิจารณาลักษณะที่ปรากฏรูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นให้หม้อแปลงมีแท่งกลางได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นการรวมสัญญาณทั้งหมดที่ปรากฏขึ้นที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง ก่อนอื่นจะต้องเข้าใจเสียก่อนว่า การกำหนดรูปคลื่นสัญญาณเป็นด้านบวกและด้านลบนั้น ความจริงแล้วค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเป็นบวกเสมอ ค่าที่อยู่ด้านบวกและด้านลบนั้น คือค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าค่าเดียวกัน หรือลบเป็นเพียงการกำหนดทิศทาง การกำหนดทิศทางด้านบวกเป็นการกำหนดว่าสัญญาณขณะนี้ปรากฏขึ้นที่ขั้วหม้อแปลงด้านหนึ่ง ต่อมาเมื่อปรากฏสัญญาณด้านลบหมายความว่าขั้วหม้อแปลงเดิมที่มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าบวกเกิดอยู่นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าบวกไปปรากฏที่ขั้วหม้อแปลงฝั่งตรงข้ามเป็นการสลับกัน ซึ่งความจริงแล้วก็คือค่าแรงดันบวกค่าเดียวกันนั่นเอง ขั้วหม้อแปลงทั้งสองขั้วจึงมีค่าแรงดันเกิดขึ้นและมีค่าเป็นศูนย์สลับกันไปมา

เมื่อพิจารณาตั้งแต่รูปคลื่นสัญญาณอินพุตด้านบวกที่ปรากฏขึ้น เมื่อไดโอด D_1 มีสัญญาณแรงดันปรากฏที่ขั้วแอโนดเป็นบวกเทียบกับขั้วแคโทด ไดโอด D_1 เกิดการนำกระแสเพราะเสมือนได้รับไบแอสตรงและจะมีแรงดันตกคร่อมที่ตัวไดโอด D_1 น้อยมาก ประมาณ $0.6V$ จนอาจตัดทิ้งไปได้ ส่วนที่ขั้วแอโนดของไดโอด D_2 จะยังคงมีค่าแรงดันเป็นศูนย์ ไดโอด D_2 จึงยังไม่นำกระแสเสมือนยังได้รับไบแอสกลับอยู่ รูปคลื่นของสัญญาณแรงดันที่ปรากฏทางด้านเอาต์พุต จึงมีค่า

อยู่ในระหว่าง $0-\pi$ เหมือนสัญญาณอินพุตด้านบวกและรูปคลื่นสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ปรากฏก็จะมีค่าประมาณเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดด้านบวก (V_m)

ครั้งต่อมาเมื่อปรากฏรูปคลื่นสัญญาณอินพุตด้านลบ ซึ่งหมายความว่าขณะนี้ที่ขั้วแอโนดของไดโอด D_1 มีค่าแรงดันเป็นศูนย์ แต่ที่ขั้วแอโนดของไดโอด D_2 มีค่าแรงดันสูงสุดเป็นบวก การนำกระแสจึงกลับกัน เพราะขณะนี้รูปคลื่นสัญญาณอินพุตเกิดอยู่ในระหว่าง $\pi-2\pi$ ไดโอด D_2 เกิดการนำกระแสเพราะเสมือนได้รับไบแอสตรงและจะมีแรงดันตกคร่อมที่ตัวไดโอด D_2 น้อยมากประมาณ 0.6V จนอาจตัดทิ้งไปได้เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นที่ไดโอด D_1 และที่ขั้วแอโนดของไดโอด D_1 ก็ยังคงมีค่าแรงดันเป็นศูนย์ ไดโอด D_1 จึงยังไม่นำกระแสเพราะเสมือนยังได้รับไบแอสกลับอยู่ รูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่ปรากฏทางด้านเอาต์พุตจึงมีค่าอยู่ในระหว่าง $\pi-2\pi$ เหมือนสัญญาณอินพุตด้านลบและรูปคลื่นสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ปรากฏ ก็จะมีค่าประมาณเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดด้านลบ ($-V_m$) ดังนั้นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่เอาต์พุตจึงมีความต่อเนื่องเพราะไดโอด D_1 และ D_2 จะช่วยกันกวาดสัญญาณทั้งด้านบวกและด้านลบให้ไปปรากฏที่เอาต์พุตนั่นเอง

ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้ทางด้านเอาต์พุต จะมีค่ามากกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นประมาณ 2 เท่า เนื่องจากทุก ๆ ช่วงระยะ π จะปรากฏสัญญาณเอาต์พุต ปกติค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยและค่าแรงดันไฟใช้งานจะได้จากการใช้ Voltmeter วัดค่าออกมา แต่เราก็สามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่เอาต์พุตได้จาก

$$\begin{aligned}
 V_{O_{avg}} &= \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \cdot d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} \int_0^\pi \sin \omega t \cdot d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-\cos \omega t]_0^\pi \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-(\cos \pi - \cos 0)] \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-(-1-1)] \\
 V_{O_{avg}} &= \frac{2V_m}{\pi} = 0.637V_m \dots\dots\dots(8.1)
 \end{aligned}$$

$$I_{O_{avg}} = \frac{V_{O_{avg}}}{R_L} = 0.637 \frac{V_m}{R_L} \dots\dots\dots(8.2)$$

$$\begin{aligned}
 V_{O_{rms}} &= \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d\omega t} \\
 V_{O_{rms}}^2 &= \frac{V_m^2}{\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \cdot d\omega t \\
 &= \frac{V_m^2}{\pi} \int_0^\pi \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t) \cdot d\omega t
 \end{aligned}$$

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

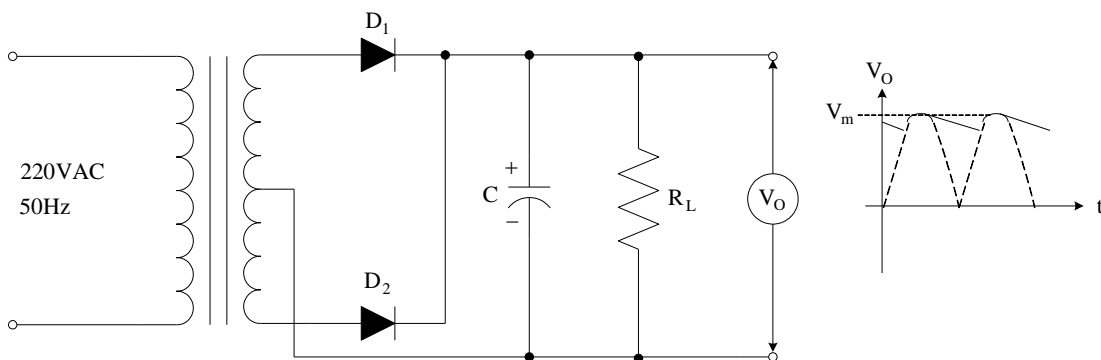
∴ $V_{O_{rms}}^2 = \frac{V_m^2}{2}$

ดังนั้น $V_{O_{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m \dots\dots\dots 6.3)$

$I_{O_{rms}} = \frac{V_{O_{rms}}}{R_L} = 0.707 \frac{V_m}{R_L} \dots\dots\dots 6.4)$

- 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} = อินพุตที่ 1 หรืออินพุตที่ 2 (V_{in_1}, V_{in_2}) ซึ่งจะเลือกใช้เพียงอินพุตเดียวเพราะค่าแรงดันอินพุตทั้งสองมีขนาดเท่ากัน

3.3 การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor filter)



รูปที่ 3.4 การกรองสัญญาณด้านเอาต์พุตด้วยตัวเก็บประจุ

พิจารณารูปที่ 3.4 เป็นการทำให้ได้สัญญาณทางเอาต์พุตเป็นไฟตรงที่สมบูรณ์แบบ คือให้มีความเรียบสม่ำเสมอ ยังคงนิยมใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เช่นเดียวกับวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น และตัวเก็บประจุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการกรองสัญญาณนิยมใช้แบบอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะมีขั้วบวกและลบบอกไว้ ดังนั้น เมื่อนำตัวเก็บประจุเข้ามาต่อขนานกับโหลดที่เอาต์พุต จึงต้องระมัดระวังเรื่องขั้วให้ดี โดยจะต้องต่อขั้วบวกที่ได้จากวงจรเรียงกระแสเข้ากับขั้วบวกของตัวเก็บประจุและขั้วลบเข้ากับขั้วลบ

อย่างไรก็ตามในการนำตัวเก็บประจุมาต่อเพื่อกรองสัญญาณ(Filter) ควรมีหลักการพิจารณาเลือกขนาดของตัวเก็บประจุให้ถูกต้องเหมาะสม เพราะถ้าเลือกผิดขนาดไปเลือกตัวเก็บประจุที่มีค่า reactance ใกล้ศูนย์อาจทำให้เกิดการลัดวงจร (Short circuit) ที่เอาต์พุตได้

หลักการพิจารณาในการเลือกหรือคำนวณหาตัวเก็บประจุสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. จะต้องทราบขนาดแรงดันใช้งานด้านเอาต์พุตของหม้อแปลง และขนาดแรงดันไฟตรงทางด้านเอาต์พุตที่ต้องการใช้งาน

2. ต้องทราบพิกัดกระแสสูงสุดด้านเอาต์พุตของหม้อแปลงที่สามารถจ่ายได้

3. ตัวเก็บประจุจะกรองสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ให้เรียบเท่ากับค่าแรงดันสูงสุด(V_m หรือ V_p)

ตัวอย่างเช่น วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง และมีค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า 220/12 V – 0 – 12 V จ่ายกระแสได้สูงสุด 1 A โดยถ้าหากในวงจรมีการกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุค่าแรงดันไฟสูงสุดด้านอินพุตของวงจรเรียงกระแส (V_p หรือ V_m) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

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

ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้ด้านเอาต์พุต (ขณะไม่มีตัวเก็บประจุ)

$$\begin{aligned} V_{O_{avg}} &= 0.637 V_m \\ &= 0.637 \times 17 \\ &\cong 10.83 V \end{aligned}$$

ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกรองสัญญาณหาได้จาก

$$\begin{aligned} C &= \frac{I}{20V_{dc(no-load)}} \dots\dots\dots(3.5) \\ &= \frac{1}{20 \times 17} \\ &= 2.941 \times 10^{-3} F \\ &= 2,941 \mu F \end{aligned}$$

เลือกค่าที่ใกล้เคียงที่สุดมาต่อใช้งาน

เมื่อต่อโหลดให้กับวงจรค่าแรงดันที่เอาต์พุตจะลดลงซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{\text{loss}} &= \frac{I}{200 \times C} \dots\dots\dots (3.6) \\ &= \frac{1}{200 \times 2.941 \times 10^{-3}} \\ &= 1.7\text{V} \end{aligned}$$

ดังนั้นไฟตรงที่เอาต์พุตเมื่อจ่ายโหลดเต็มที่ (Full load)

$$\begin{aligned} V_{O(\text{full-load})} &= V_{O(\text{no-load})} - V_{\text{loss}} \dots\dots\dots (3.7) \\ &= 17\text{V} - 1.7\text{V} \\ &= 15.3\text{V} \end{aligned}$$