

วงจรกรองความถี่และเรโซแนนซ์

Filter Circuits and Resonance

Arnon Isaramongkolrak

Department of Electrical Engineering

Nakhon Pathom Rajabhat University

หัวข้อการเรียนรู้การสอน

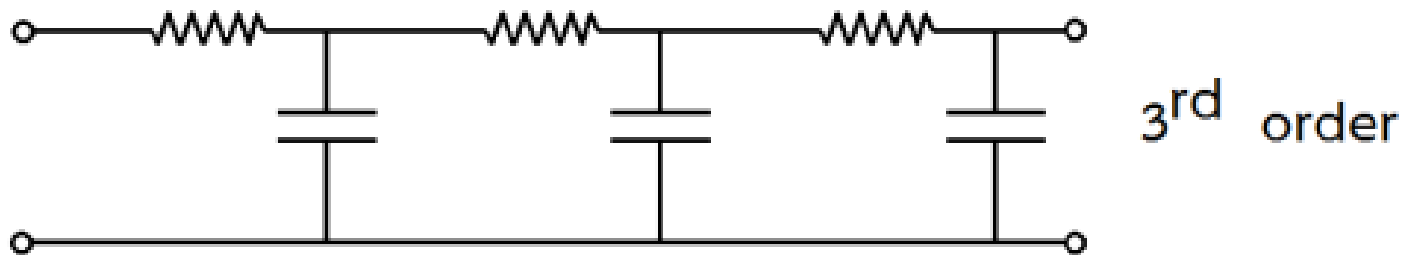
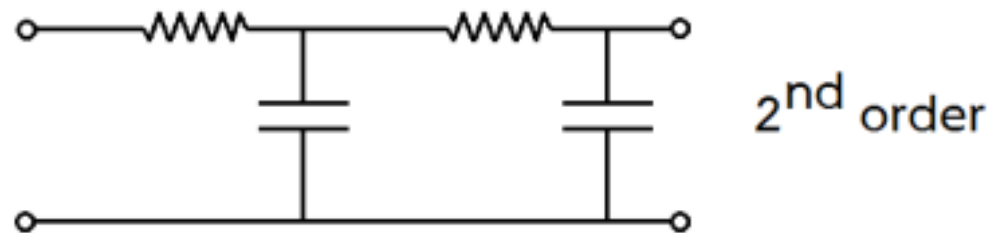
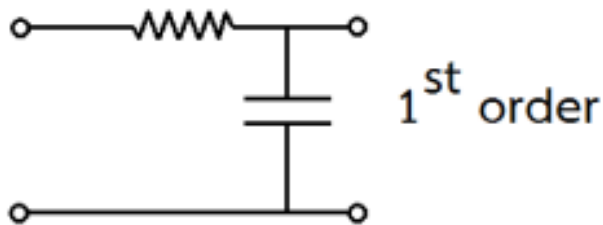
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter Circuit)
- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass Filter Circuit)
- วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band pass Filter Circuit)
 - วงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบ (Narrow band pass filter circuit)
 - วงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงกว้าง (Wide band pass filter circuit)
- วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band reject Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่

- เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าผ่านได้บางช่วงเท่านั้น
- ความถี่อื่นๆ จะถูกลดทอนหรือตัดออกไปเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการเท่านั้น
- แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ
 - วงจรความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter circuit)
 - วงจรความถี่สูงผ่าน (High pass filter circuit)
 - วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band pass filter circuit)
 - วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band reject filter circuit)

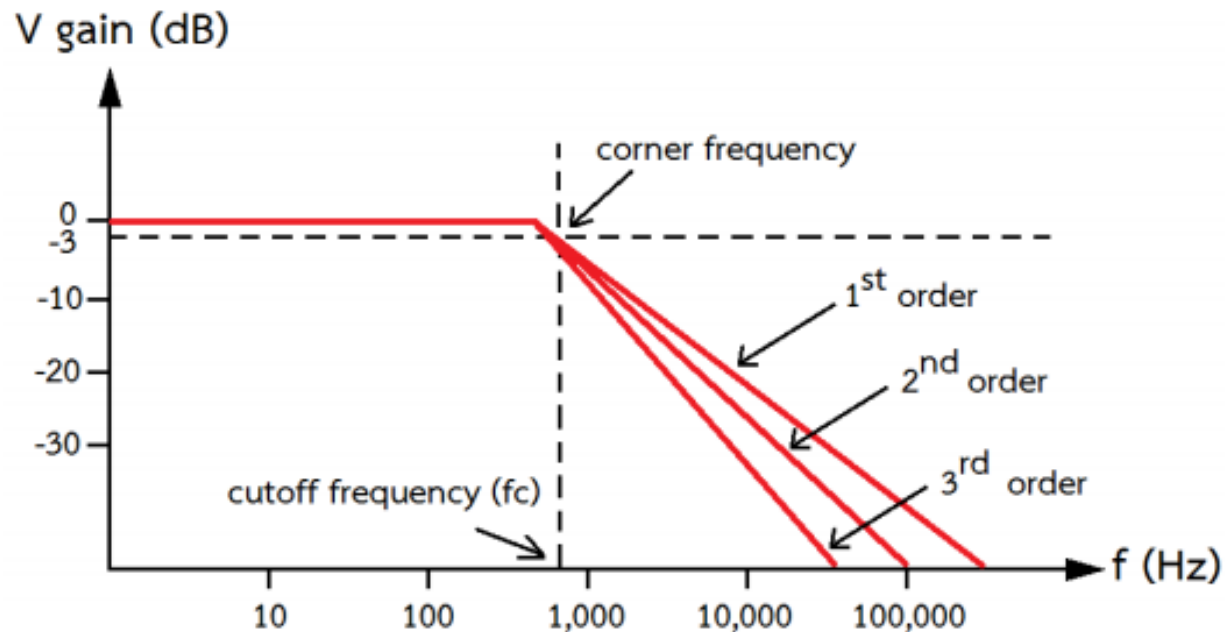
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

- เป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้
- ความถี่ที่สูงกว่านั้น จะถูกลดทอนไปตามลำดับ
- ทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ดังรูป



วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (ต่อ)

- สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวงจรเหล่านี้ สามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังนี้



วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (ต่อ)

- การคำนวณหา cutoff frequency ของวงจรกรองความถี่ต่ำสามารถทำได้โดย

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c$$

ω_c คือ ความถี่ cutoff เชิงมุม มีหน่วยเป็น rad/s

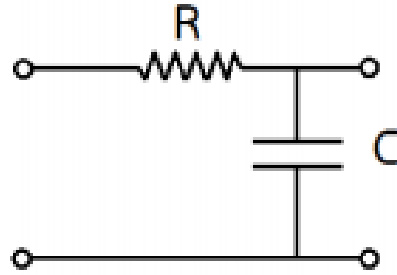
f_c คือ ความถี่ cutoff เชิงเส้น มีหน่วยเป็น Hz

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าสมมูล มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

C คือ ความจุไฟฟ้ารวม มีหน่วยเป็น ฟารัด

ตัวอย่างที่ 1 จากรูปวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง จงคำนวณหาค่า

Cutoff frequency เมื่อกำหนดให้ $R = 10k\Omega$ และ $C = 0.001\mu F$



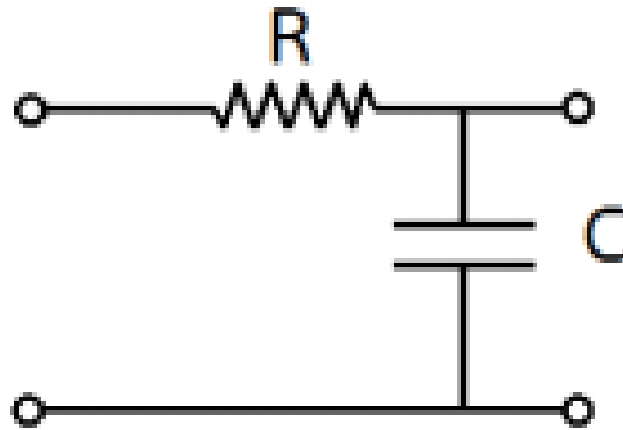
วิธีทำ จากสมการ $\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c$

แทนค่าจะได้ $\omega_c = \frac{1}{RC} = \frac{1}{(10 \times 10^3)(0.001 \times 10^{-6})} = 100 \text{krad} / \text{s}$

หรือ $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{100 \times 10^3}{2\pi} = 15.9 \text{kHz}$

โจทย์ปัญหา1 จากรูปในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ถ้าต้องการความถี่ cutoff

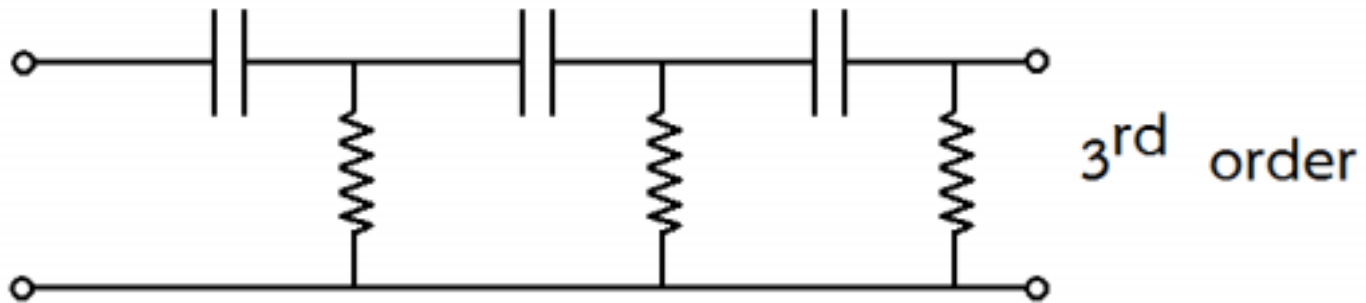
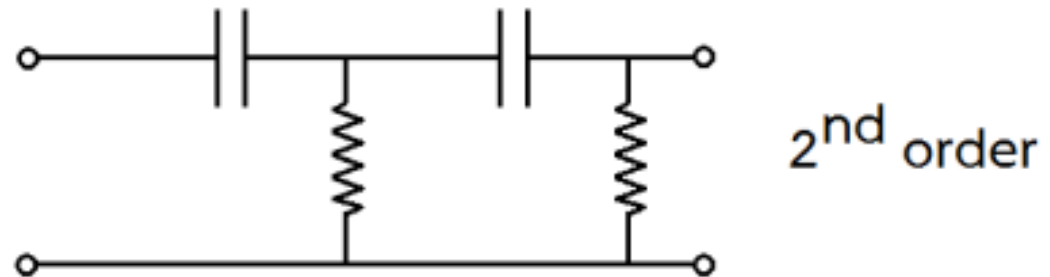
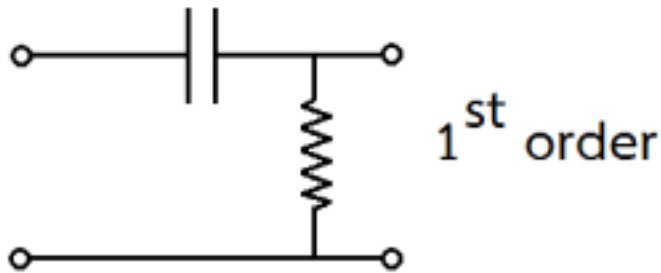
2 kHz โดยกำหนดให้ $C = 0.005\mu F$ จงหาว่าต้องใช้ค่าความต้านทานในวงจรเท่าไร



(15.9k Ω)

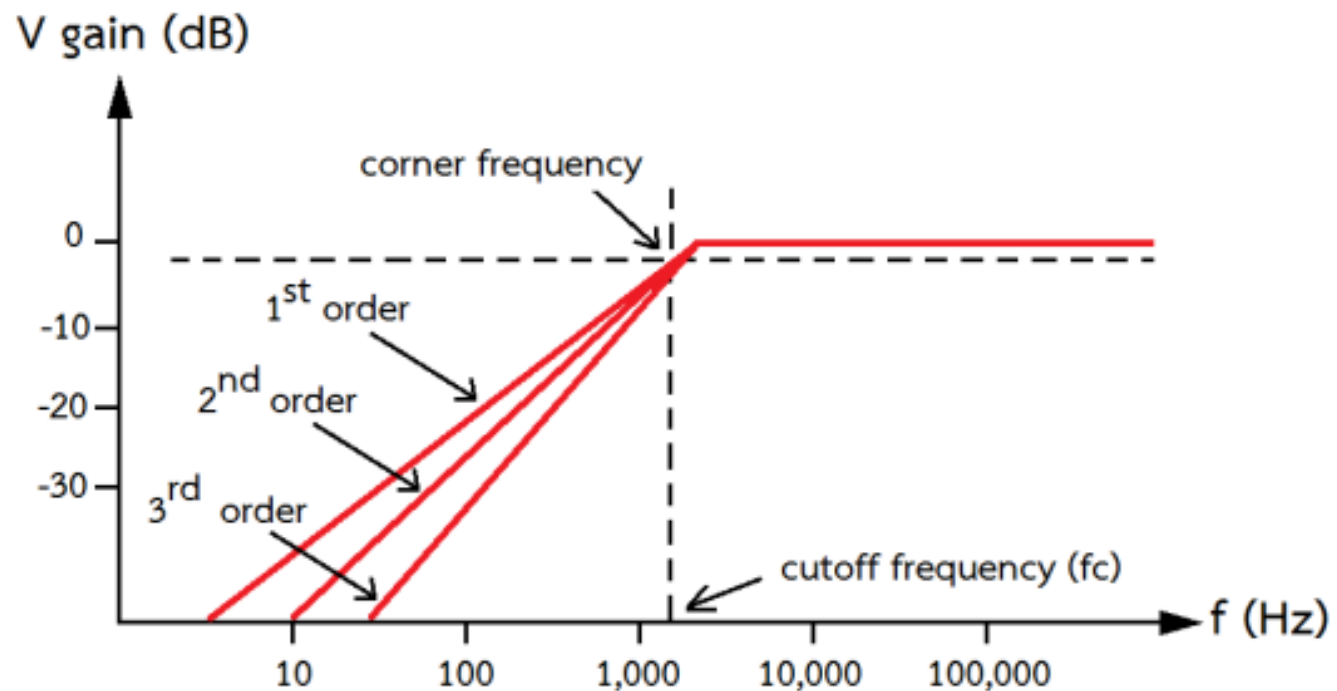
วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

- เป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้
- ความถี่ที่ต่ำกว่านั้นจะถูกลดทอนไปตามลำดับ
- ทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน ทาน และตัวเก็บประจุ ดังรูป



วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (ต่อ)

- สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวงจรเหล่านี้ สามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังนี้



วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (ต่อ)

- การคำนวณหา cutoff frequency ของวงจรกรองความถี่สูงสามารถทำได้โดย

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c$$

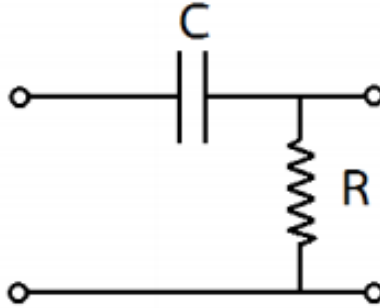
ω_c คือ ความถี่ cutoff เชิงมุม มีหน่วยเป็น rad/s

f_c คือ ความถี่ cutoff เชิงเส้น มีหน่วยเป็น Hz

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าสมมูล มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

C คือ ความจุไฟฟ้ารวม มีหน่วยเป็น ฟารัด

ตัวอย่างที่ 2 จากรูปวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับหนึ่ง จงคำนวณหาค่าความต้านทาน เมื่อต้องการตัดความถี่ cutoff ที่ 10kHz และ $C = 0.001\mu F$



วิธีทำ จากสมการ

$$R = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

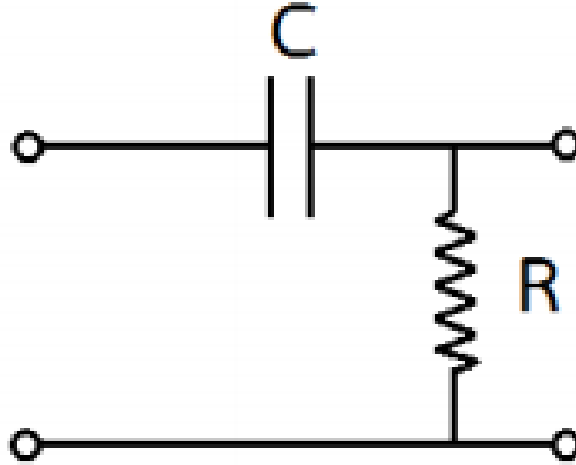
แทนค่าจะได้

$$R = \frac{1}{2\pi (10 \times 10^3) (0.001 \times 10^{-6})}$$

$$R = 7.961 \text{ k}\Omega$$

โจทย์ปัญหา2 จากรูปในวงจรกรองความถี่สูงผ่าน จงคำนวณหาความถี่ cutoff

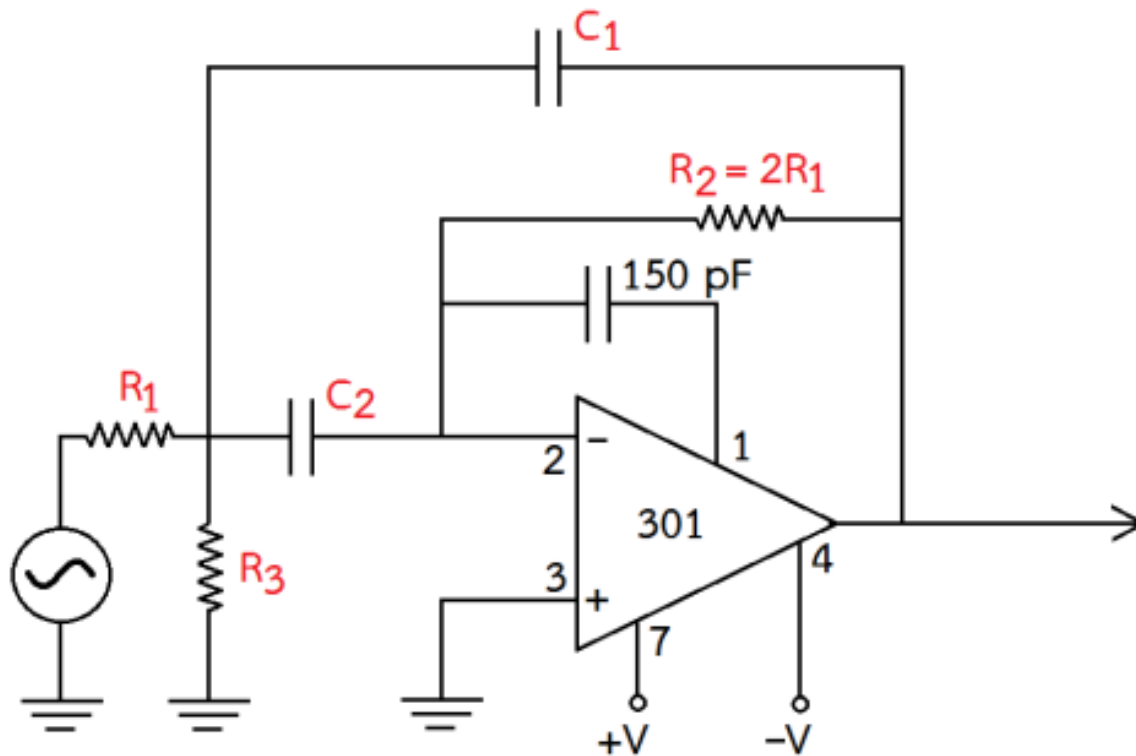
โดยกำหนดให้ $C = 0.01\mu F$ และ $R = 22k\Omega$



(724kHz)

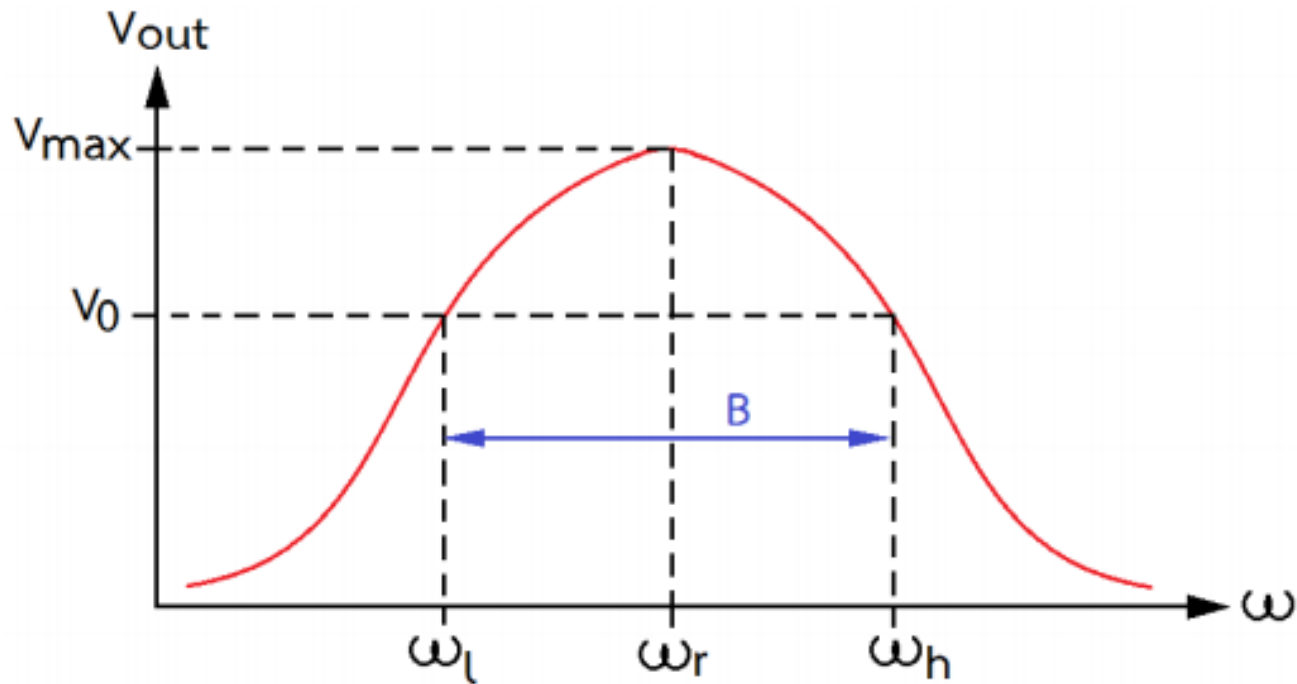
วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่

- เป็นวงจรที่ยอมให้ช่วงสัญญาณความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้
- ความถี่ที่ไม่ได้อยู่ในช่วงจะถูกลดทอนจนหมดไป
- เปรียบเสมือนกับการนำวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรกรองความถี่สูงผ่านมาต่อรวมกัน

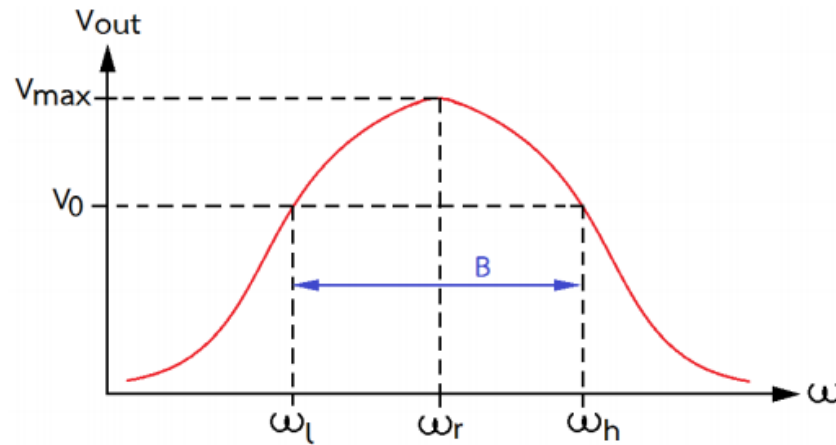


วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (ต่อ)

- สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวงจรนี้ สามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังนี้

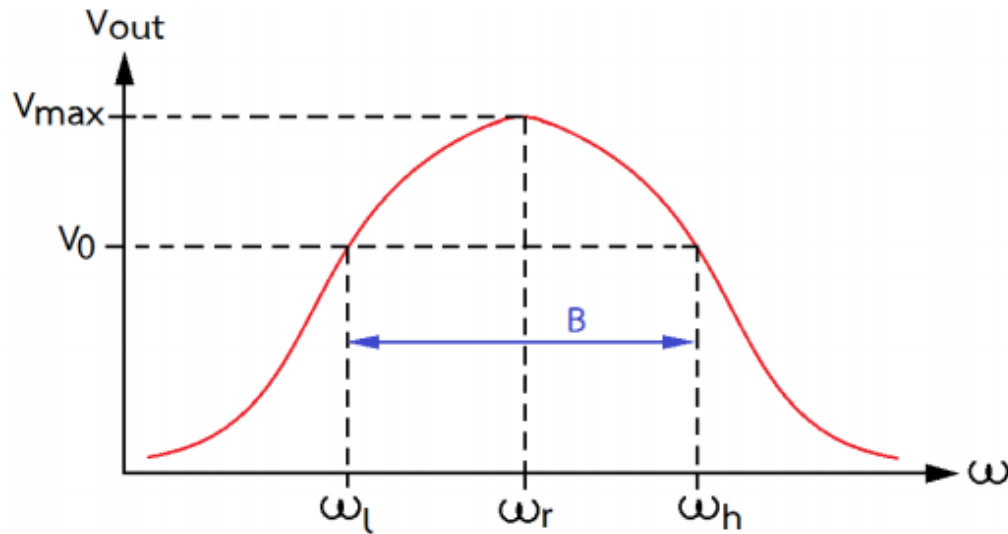


วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (ต่อ)



- ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) จะเกิดขึ้นเฉพาะช่วงความถี่เท่านั้น เรียกว่า **ความถี่เรโซแนนซ์**
- ตำแหน่งที่มีแรงดันไฟฟ้าลดลง (V_0) มี 2 ความถี่คือ
 - ความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ เรียกว่า “higher cutoff frequency”
 - ความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ เรียกว่า “lower cutoff frequency”

วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (ต่อ)



- ช่วงผลต่างระหว่าง ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ และ ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ เรียกว่า แบนวิธ (Bandwidth)

$$B = \omega_h - \omega_l$$

วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (ต่อ)

- อัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนซ์กับแบนวิธ เรียกว่า “ตัวประกอบคุณภาพ (Quality factor : Q)” บางครั้งนิยมเรียกสั้นๆ ว่า Q-Factor
- Q-Factor ใช้เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ ค่าตัวประกอบคุณภาพนี้ไม่มีหน่วย
- Q-Factor มีค่าสูง หมายความว่า วงจรจะสามารถเลือกความถี่ได้ดีมากยิ่งขึ้น
 - ความถี่ช่วงแคบ (narrow band) จะมีค่า $B < 0.01$ และ $Q > 10$
 - ความถี่ช่วงกว้าง (wide band) จะมีค่า $B > 0.01$ และ $Q < 10$

$$Q = \frac{\omega_r}{B}$$

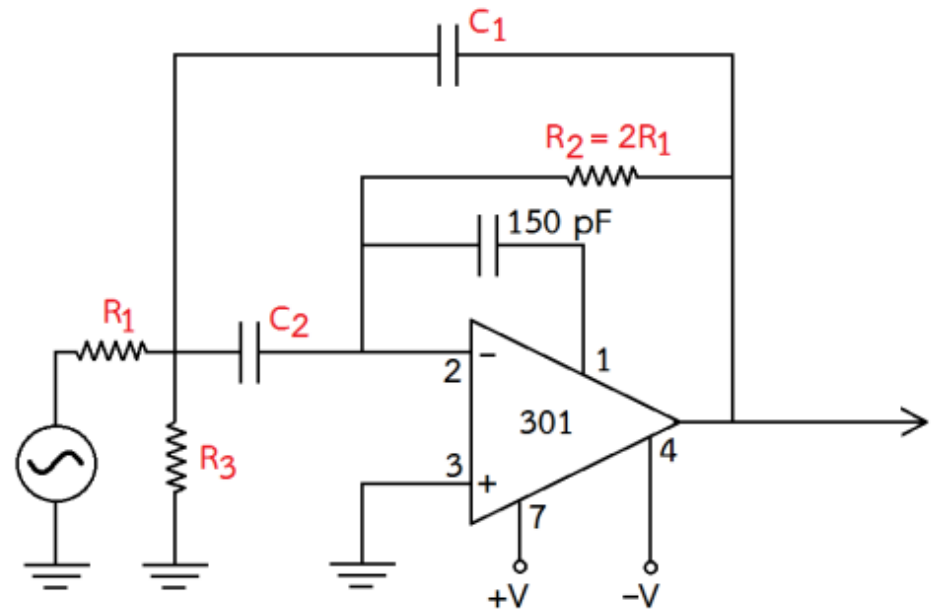
วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบ

- การออกแบบสามารถทำได้โดยการต่อวงจรตามรูป แต่ต้องกำหนดค่าแบบวิธีที่ต้องการ รวมถึงค่าตัวประกอบคุณภาพ จากสมการ $Q = \frac{\omega_r}{B}$
- จากนั้นคำนวณหาค่าอุปกรณ์อื่นๆ
- โดยกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ ให้เหมาะสม

$$R_2 = \frac{2}{BC}$$

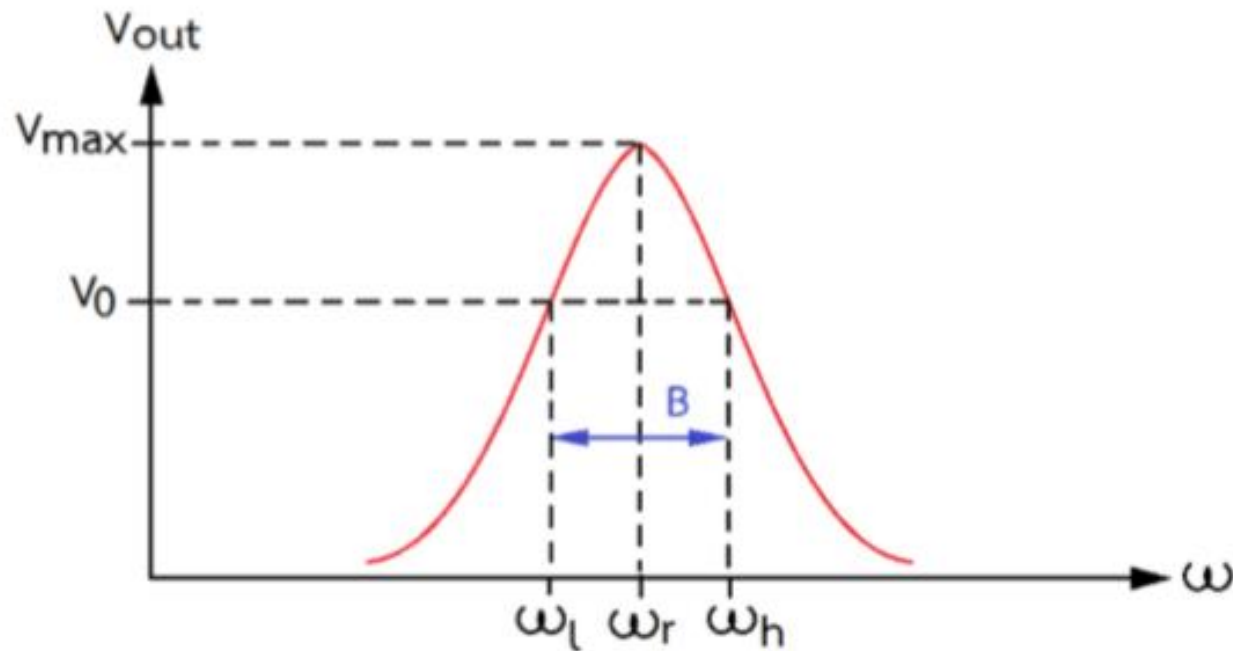
$$R_1 = \frac{R_2}{2}$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2}$$



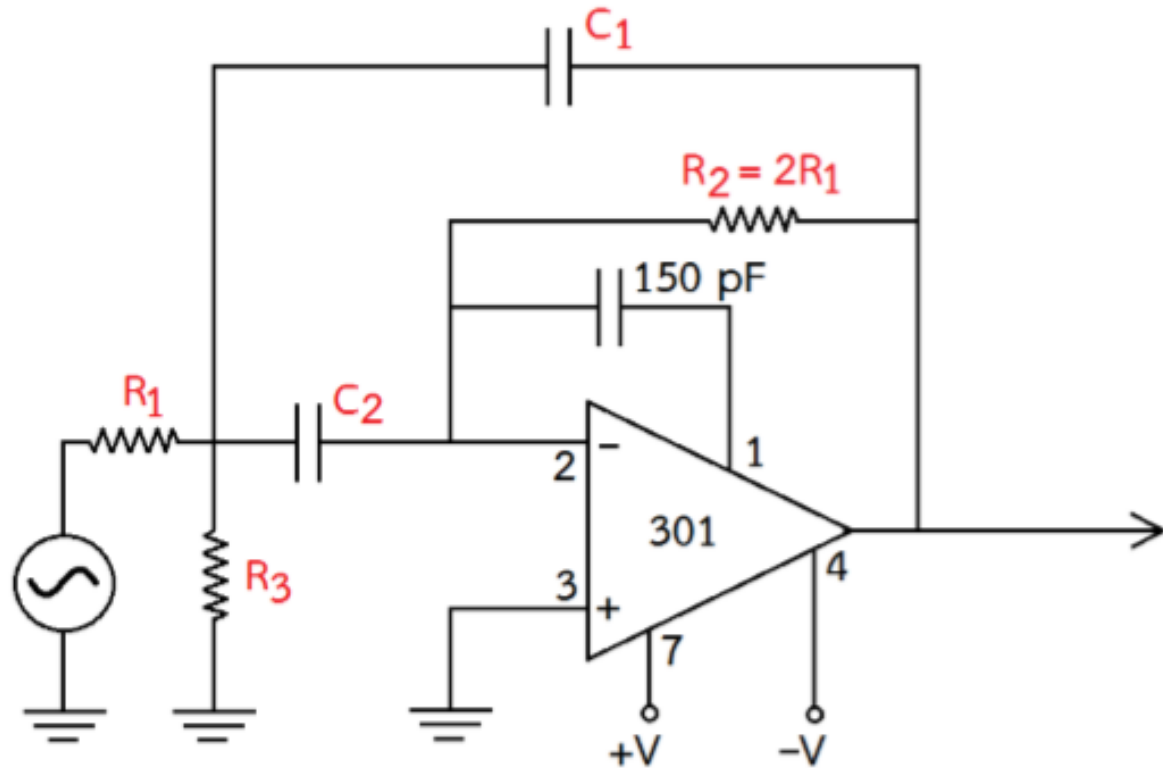
วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบ(ต่อ)

- สัญญาณที่ออกมาจากวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบนี้ สามารถนำมาเขียนแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ดังนี้



ตัวอย่างที่ 3 จงหาค่า R_1, R_2, R_3 จากวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ดังรูป

โดยกำหนดให้ $f_r = 1,590 \text{ kHz}$ และ $C_1 = C_2 = C = 0.01 \mu\text{F}$



ตัวอย่างที่ 3 จงหาค่า R_1, R_2, R_3 จากวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ดังรูป

โดยกำหนดให้ $f_r = 1,590 \text{ kHz}$ และ $C_1 = C_2 = C = 0.01 \mu\text{F}$

วิธีทำ หาค่าแบนวิธจาก $Q = \frac{\omega_r}{B} \longrightarrow B = \frac{\omega_r}{Q}$

$$B = \frac{\omega_r}{Q} \Rightarrow B = \frac{10 \times 10^3}{10} = 1 \text{ krad / s} = 159.23 \text{ Hz}$$

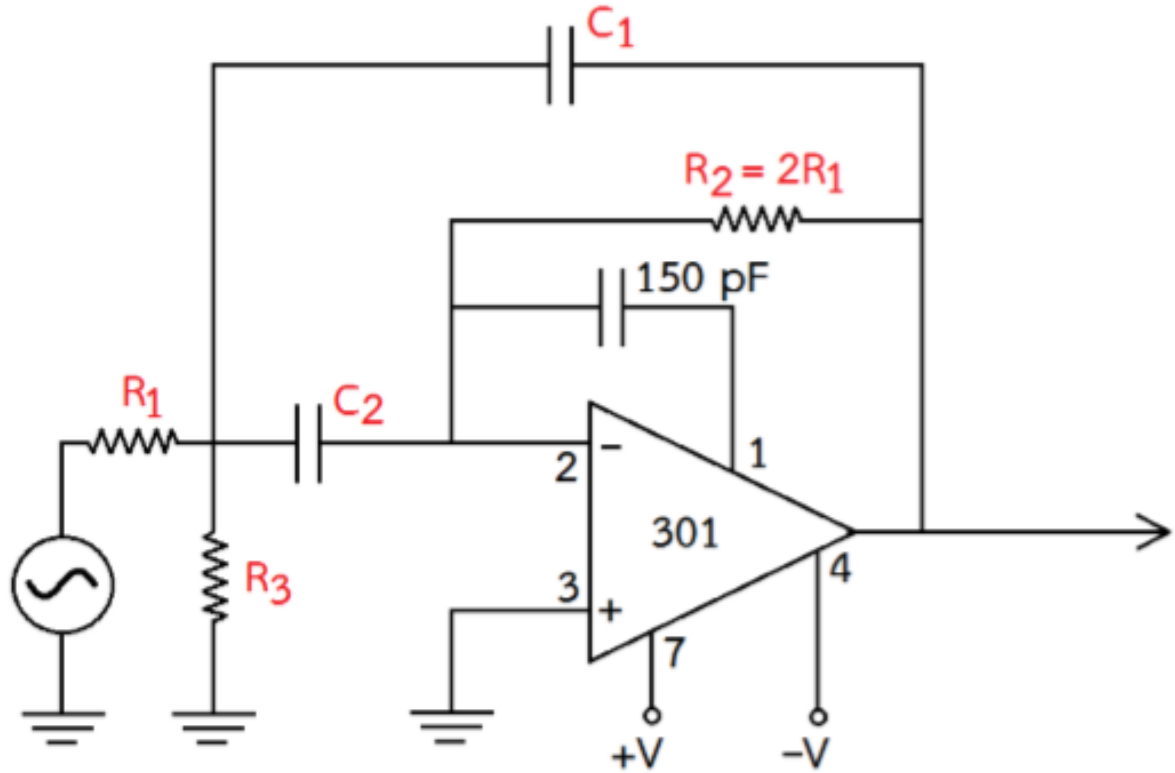
หาค่า R_1, R_2, R_3 จะได้ว่า $R_2 = \frac{2}{BC} = \frac{2}{1 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} = 200 \text{ k}\Omega$

$$R_1 = \frac{R_2}{2} = \frac{200 \times 10^3}{2} = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2} = \frac{200 \times 10^3}{4 \times 10^2} = 0.5 \text{ k}\Omega$$

โจทย์ปัญหา3 จากตัวอย่างที่ 3 ถ้าต้องการให้แบนวิธมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 krad / s

จงหาค่า Q, R_1, R_2, R_3



$(Q = 5, R_1 = 50k\Omega, R_2 = 100k\Omega, R_3 = 1k\Omega,)$

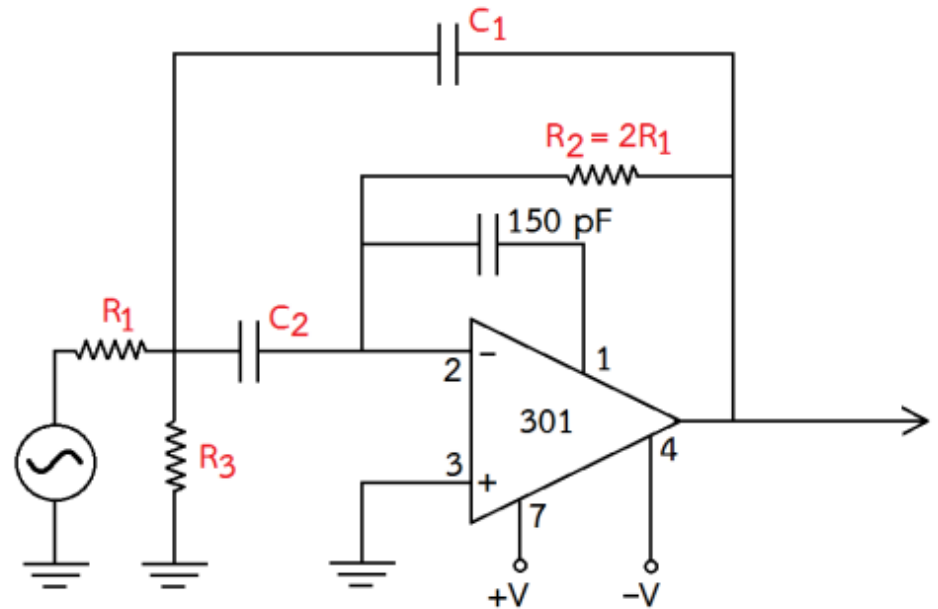
วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่เฉพาะความถี่ช่วงกว้าง

- การออกแบบสามารถทำได้โดยการต่อวงจรตามรูป แต่ต้องเลือกให้ตัวประกอบคุณภาพ (Q-factor) มีค่าน้อยกว่า 10
- การออกแบบนั้นจะเหมือนกับวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบทุกประการ

$$R_2 = \frac{2}{BC}$$

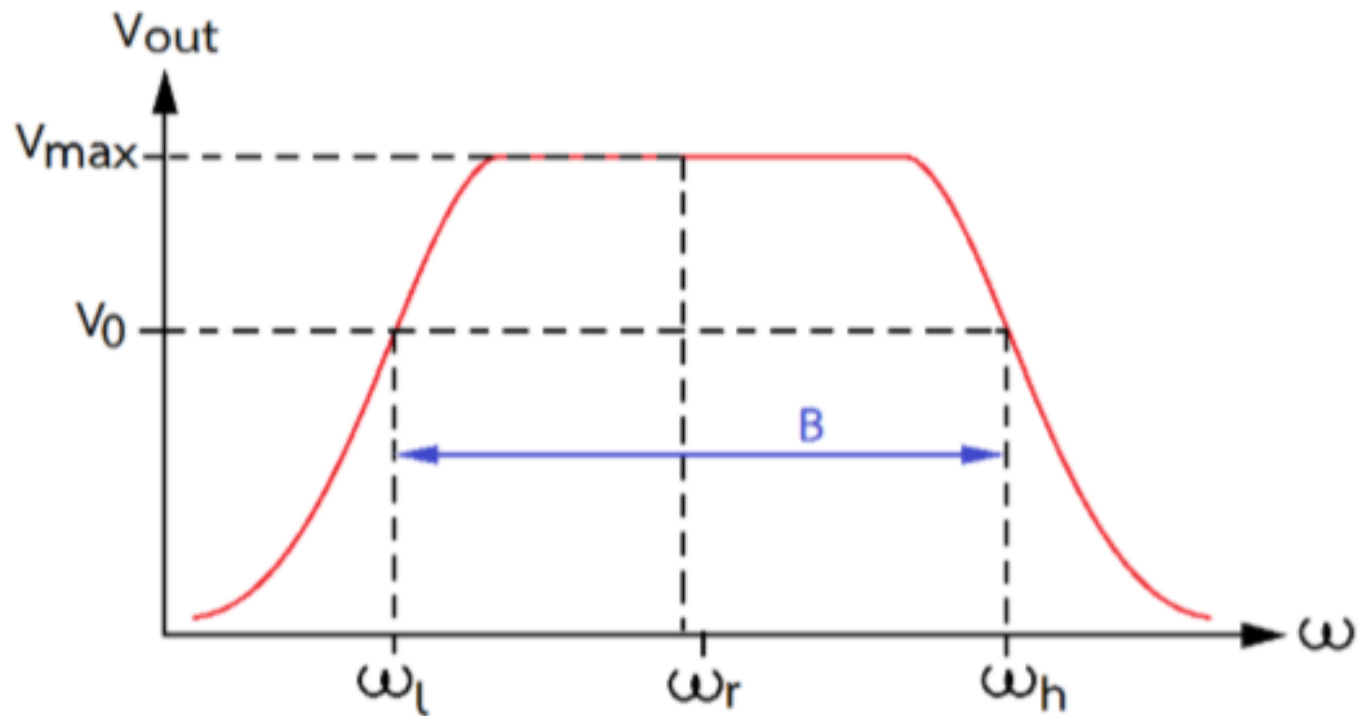
$$R_1 = \frac{R_2}{2}$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2}$$



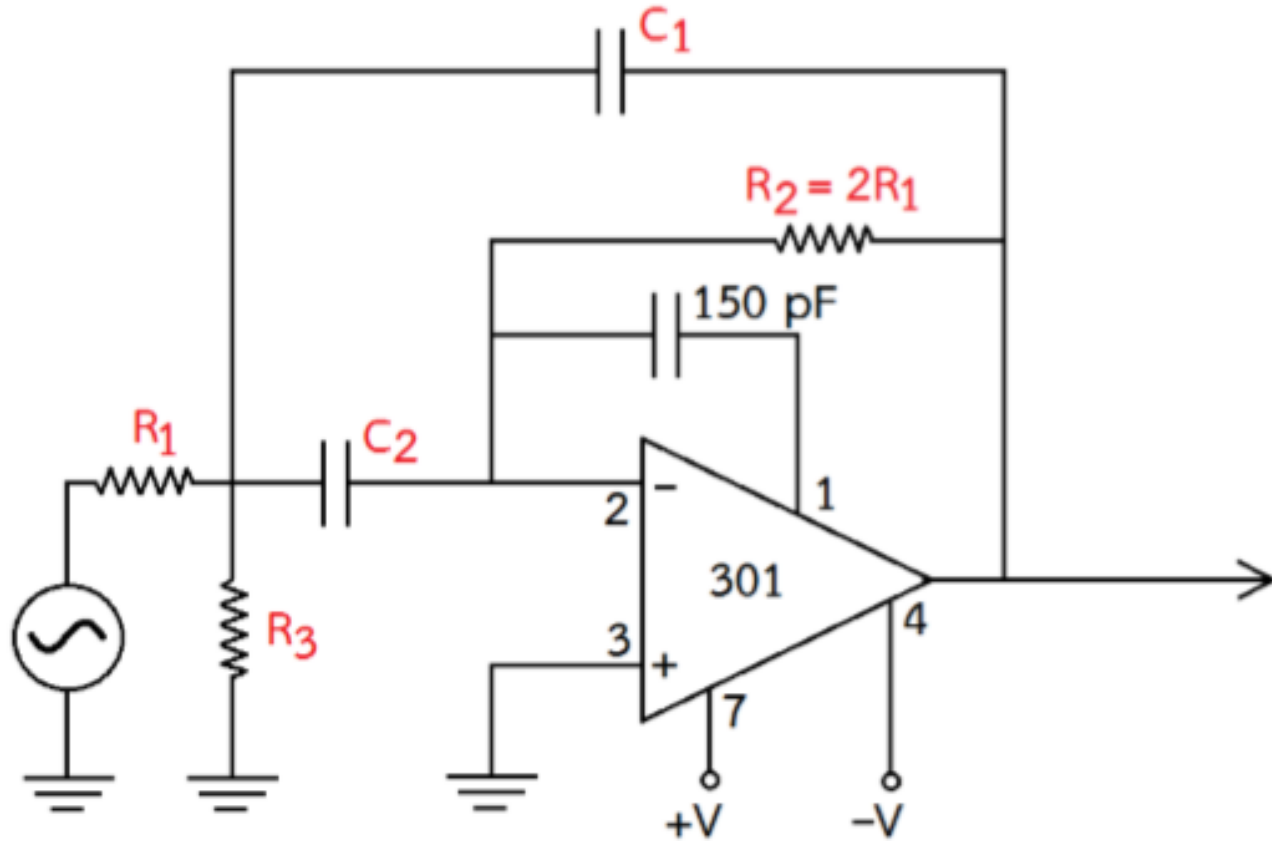
วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่เฉพาะความถี่ช่วงกว้าง(ต่อ)

- สัญญาณที่ออกมาจากวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงกว้างนี้ สามารถนำมาเขียนแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ดังนี้



ตัวอย่างที่ 4 จงหาค่า R_1, R_2, R_3 จากวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ดังรูป

โดยกำหนดให้ $f_r = 3,181 \text{ Hz}$ และ $C_1 = C_2 = C = 0.01 \mu\text{F}$ และ $Q = 5$



ตัวอย่างที่ 4 จงหาค่า R_1, R_2, R_3 จากวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ดังรูป

โดยกำหนดให้ $f_r = 3,181 \text{ Hz}$ และ $C_1 = C_2 = C = 0.01 \mu F$ และ $Q = 5$

วิธีทำ หาค่าแบนวิธจาก $Q = \frac{\omega_r}{B} \longrightarrow B = \frac{\omega_r}{Q}$

$$B = \frac{\omega_r}{Q} \Rightarrow B = \frac{20 \times 10^3}{5} = 4 \text{ krad / s} = 636 \text{ Hz}$$

หาค่า R_1, R_2, R_3 จะได้ว่า

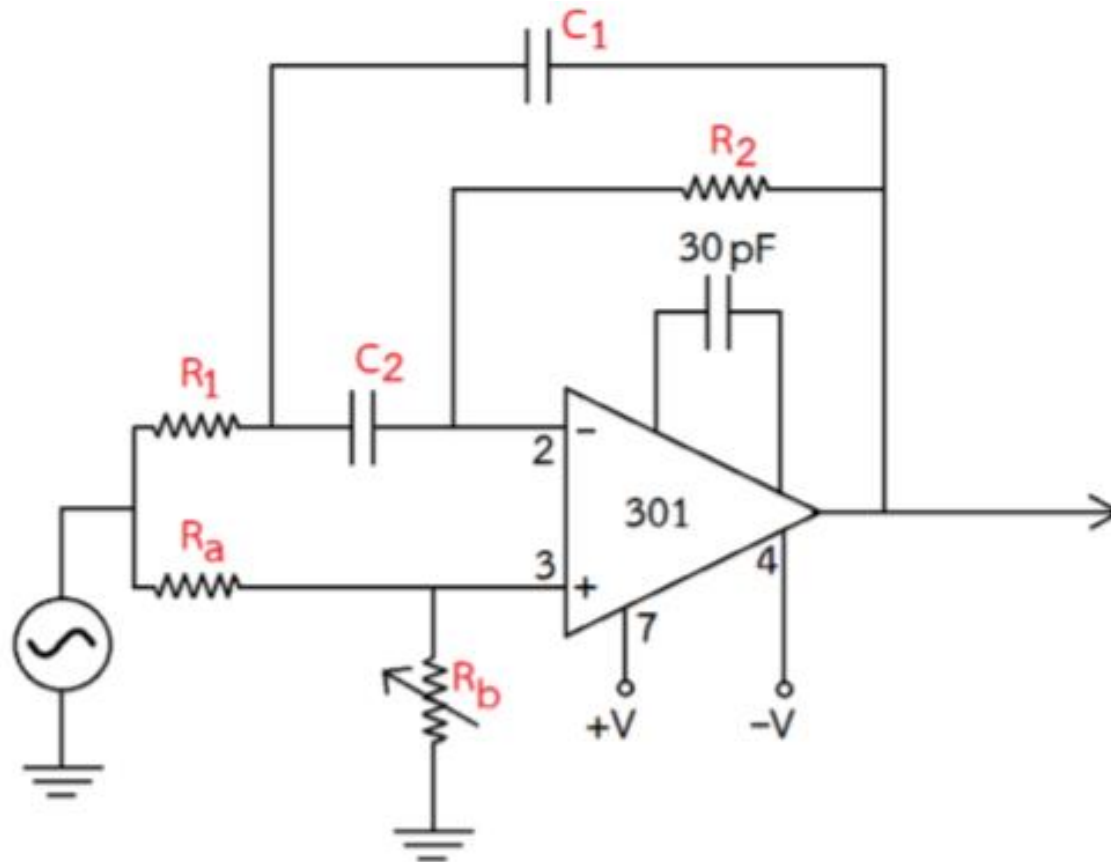
$$R_2 = \frac{2}{BC} = \frac{2}{4 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{R_2}{2} = \frac{50 \times 10^3}{2} = 25 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2} = \frac{50 \times 10^3}{4 \times 5^2} = 500 \Omega$$

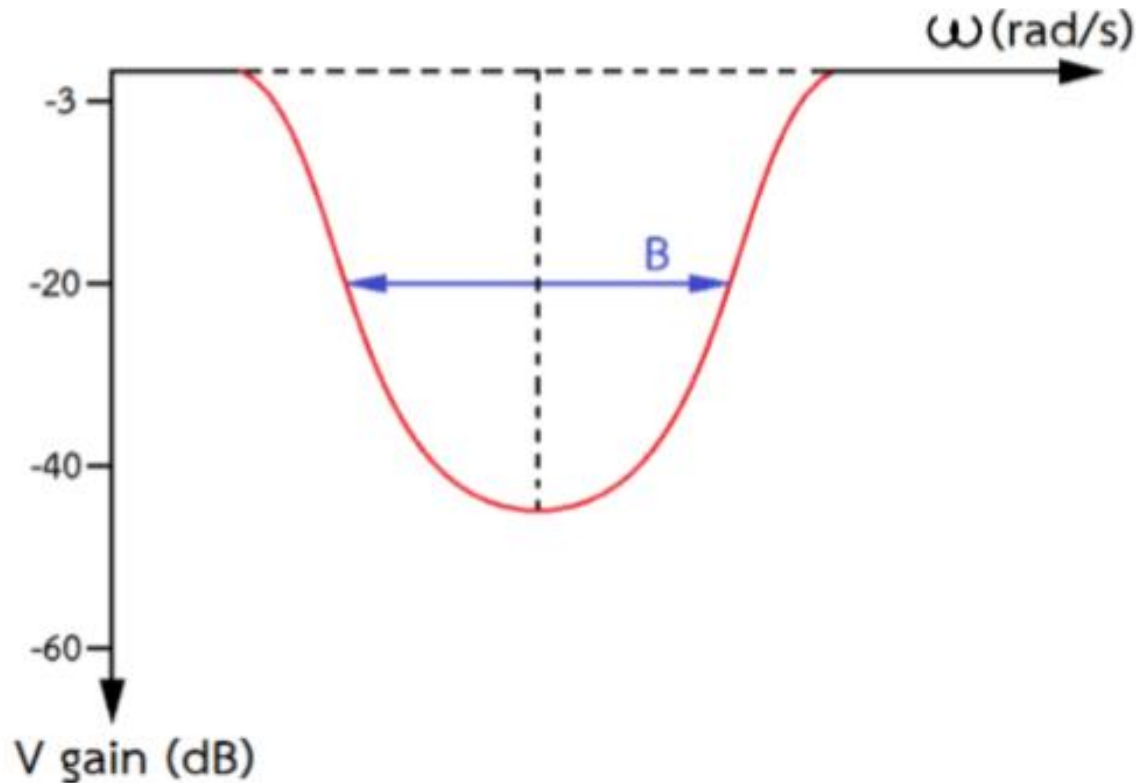
วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter)

- เป็นวงจรที่กำจัดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการบางช่วงออกไป
- สามารถทำได้โดยการต่อวงจรดังนี้



วงจรถอดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter)

- สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังนี้



วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter)

- ในขั้นตอนการออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ ทำคล้ายวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่
- เพื่อความสะดวกจะกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ อยู่ในช่วงระหว่าง 100pF - 0.1uF
- สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานต่างๆ ได้ดังนี้

$$R_2 = \frac{2}{BC}$$

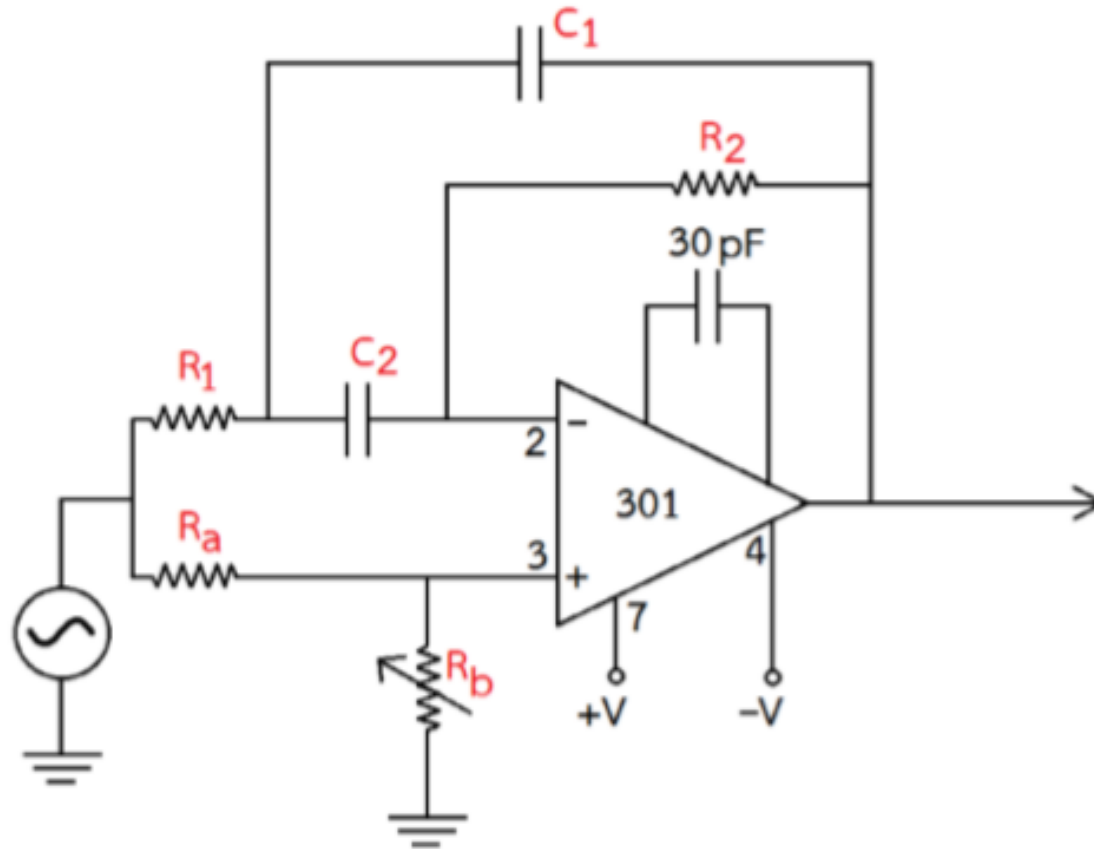
$$R_1 = \frac{R_2}{4Q^2}$$

$$R_a \approx 1k\Omega$$

$$R_b = 2Q^2 R_a$$

โจทย์ปัญหา4 จากรูปจงออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ที่มี

$$f_r = 400\text{Hz} \text{ และ } Q = 5 \text{ และ } C_1 = C_2 = C = 0.01\mu\text{F}$$



$$(R_1 = 4k\Omega, R_2 = 400k\Omega, R_b = 50k\Omega,)$$