



ອີເລັກໂຕຣນິກຂັ້ນສູງ

Advanced Electronics

ສອນໂດຍ: ອຈ. ປທ. ແກ້ວກັນລະຍາ ສີຫາລາດ

Tel & WhatsApp: 020 55607618

Email: ke.sihalath.nuol.edu.la

ບົດທີ 5

ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ (Active Filters)

- ຈຸດປະສົງ

- ເພື່ອສຶກສາວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ
 - ປະເພດຂອງວົງຈອນກອງແລະຜົນຕອບສະໜອງຄວາມຖີ່
 - ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບຕໍ່າ/ສູງຜ່ານ
 - ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບອັນດັບທີ 1
 - ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບອັນດັບທີ 2
 - ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບທີ່ມີອັນດັບສູງ
 - ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບຜ່ານແຖບ
 - ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບຈຳກັດແຖບ

5.1 ວົງຈອນກອງ

- ວົງຈອນກອງຄື: ວົງຈອນທີ່ໃຊ້ປັບແຕ່ງສະເປັກຕຣຳຄວາມຖີ່ຂອງສັນຍານທາງໄຟຟ້າໃຫ້ມີລັກສະນະຕາມທີ່ຕ້ອງການ ໂດຍອາໄສໃຫ້ມີສະເພາະສະເປັກຕຣຳຂອງຄວາມຖີ່ຕ່ຳ, ຄວາມຖີ່ສູງ, ຊ່ວງຄວາມຖີ່ບາງຊ່ວງ ປະກົດທີ່ເອົ້າພຸດຂອງວົງຈອນ ຫຼື ຕ້ອງໃຫ້ສະເປັກຕຣຳຂອງບາງສ່ວນຄວາມຖີ່ ບໍ່ສາມາດຜ່ານໄປປະກົດທີ່ເອົ້າພຸດໄດ້

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ສາມາດແບ່ງວົງຈອນກອງ 2 ປະເພດຄື:

ວົງຈອນກອງດິຈິຕອນ (Digital filter) ເປັນການປະຍຸກໃຊ້ Digital Computer ຫຼື Digital hardware ທີ່ມີຄວາມສາມາດພິເສດໃນການຄຳນວນແລະອອກແບບເຊັ່ນ:

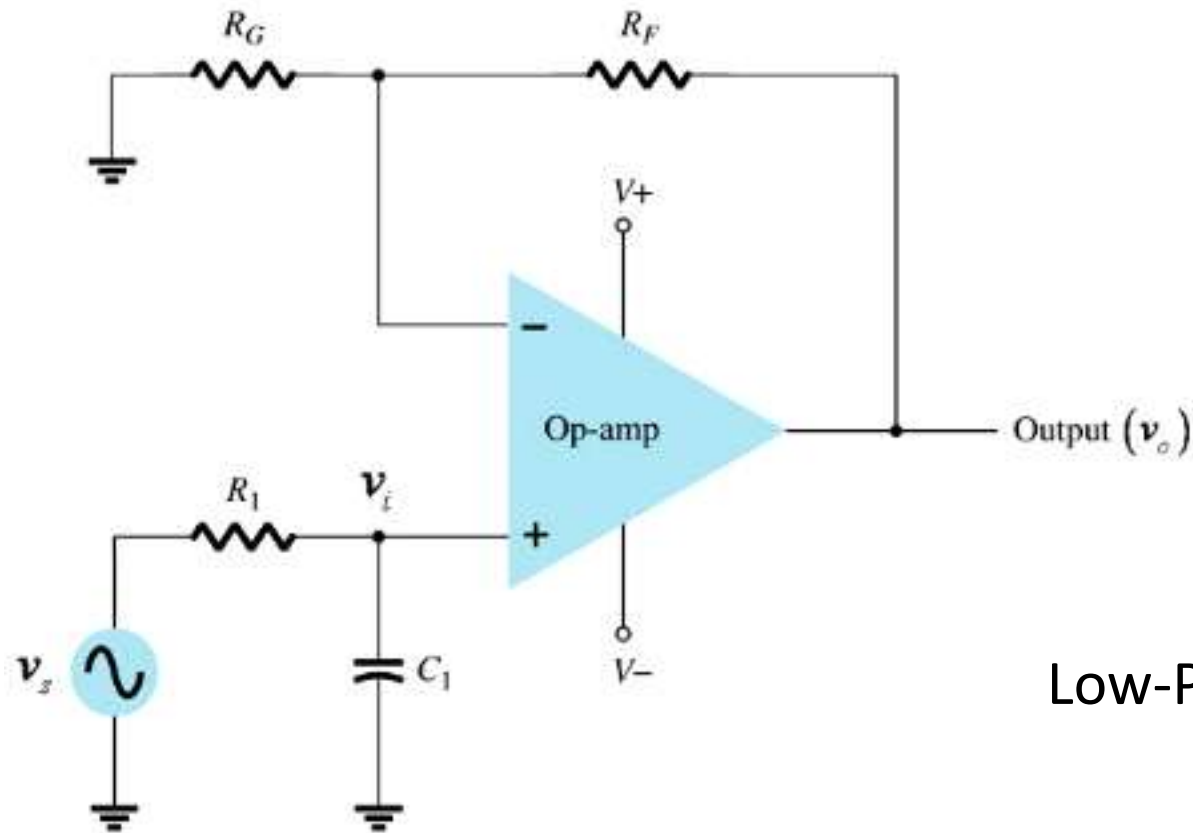
Finite Impulse Response: FIR ແລະ Infinite Impulse Response: IIR

ວົງຈອນກອງອານາລ໌ອກ (Analog filter) ປະກອບໄປດ້ວຍອຸປະກອນ R, L, C ໂດຍທຳງານຮ່ວມກັບ Op-Amp ຫຼື Amplifiers ເຊັ່ນ Ladder filter, Active filter

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ຊະນິດຂອງວົງຈອນກອງອານາລ໌ອກ

Active filter ປະກອບດ້ວຍ R , L , C ແລະ Op-Amp

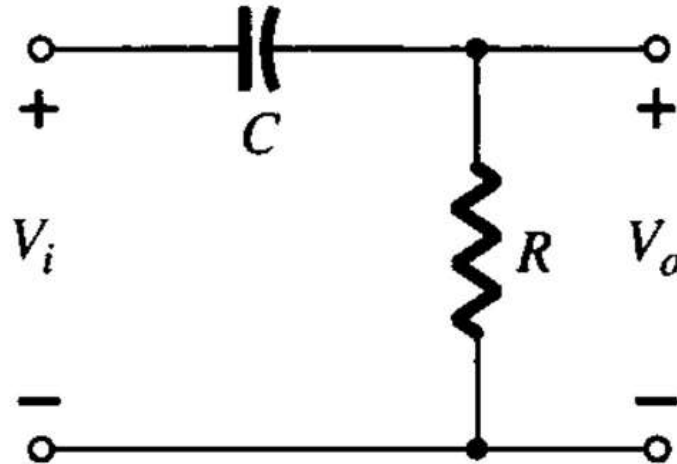


Low-Pass Filter Circuit

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ຊະນິດຂອງວົງຈອນກອງອານາລ໌ອກ

Passive filter ເປັນວົງຈອນປະກອບດ້ວຍ R , L , C ເທົ່ານັ້ນບາງຄັ້ງບໍ່ຈຳເປັນຕ້ອງປະກອບດ້ວຍທັງ 3 ອຸປະກອນ ເຊິ່ງ L ຈະຖືກຍົກເວັ້ນເປັນປະຈຳ ເພາະວ່າມີຂະໜາດໃຫຍ່ແລະລາຄາແພງໂດຍຈະເອີ້ນຊື່ທີ່ປະກອບໃນວົງຈອນເຊັ່ນ RC , RL , RLC



High-Pass RC Circuit

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

ຂໍ້ດີ - ຂໍ້ເສຍ ຂອງວົງຈອນ Active filter

ຂໍ້ດີ

- ນ້ອຍ, ເບົາ
- ອັດຕາຂະຫຍາຍສູງ
- ປັບແຕ່ງຄວາມຖີ່ງ່າຍ
- ຄຸນສົມດັດໃກ້ຄຽງອຸດົມຄະຕິ
- ແຍກວົງຈອນແຕ່ລະໜ່ວຍຈາກກັນບໍ່ໃຫ້ກະທົບກັນໄດ້ງ່າຍ

ຂໍ້ເສຍ

- ຈຳກັດ V , I , ຄວາມຖີ່ໃຊ້ງານ
- ໃຊ້ແຫຼ່ງຈ່າຍ
- ຜົນຈາກອຸປະກອນ active ເຊັ່ນ offset , bias current

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

ຂໍ້ດີ - ຂໍ້ເສຍ ຂອງວົງຈອນ Passive filter

ຂໍ້ດີ

- ອຸປະກອນນ້ອຍຊື່ນ
- ບໍ່ມີແຫຼ່ງຈ່າຍ
- ໃຊ້ງານທີ່ຊ່ວຍຄວາມຖີ່ທີ່ກວ້າງກວ່າ

ຂໍ້ເສຍ

- ມີການສູນເສຍສັນຍານບາງສ່ວນ ເນື່ອງຈາກບໍ່ມີການຊົດເຊີຍ
- ລາຄາແພງ ໃນກໍລະນີທີ່ຕ້ອງການມີຄວາມແມ້ນຍໍ້ສູງ
- ການປັບຄວາມຖີ່ໄດ້ຍາກ
- ມີ Gain ນ້ອຍກວ່າ 1

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ຄວາມຕ້ອງການສໍາຄັນທີ່ຂອງວົງຈອນກອງ
 1. Cutoff frequency
 2. Pass band and Stop band frequency
 3. Pass band (PB)
 4. Stop band (SB)
 5. Pass band and Stop band attenuation
 6. Transition band
 7. Ripple

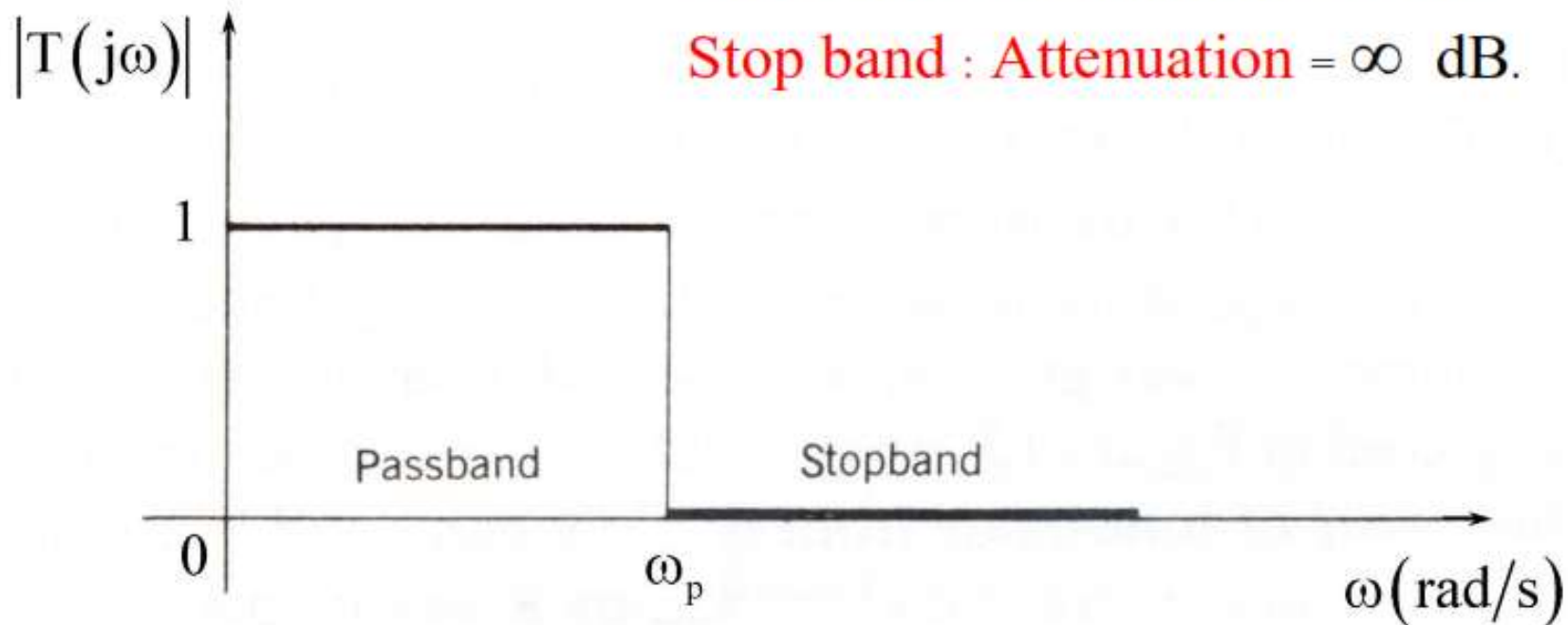
5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ວົງຈອນກອງແບບຜ່ານຕໍ່າ ແບບອຸດົມຄະຕິ (Ideal LPF.)

Transition band = 0 rd/s

Pass band : Attenuation = 0 dB.

Stop band : Attenuation = ∞ dB.



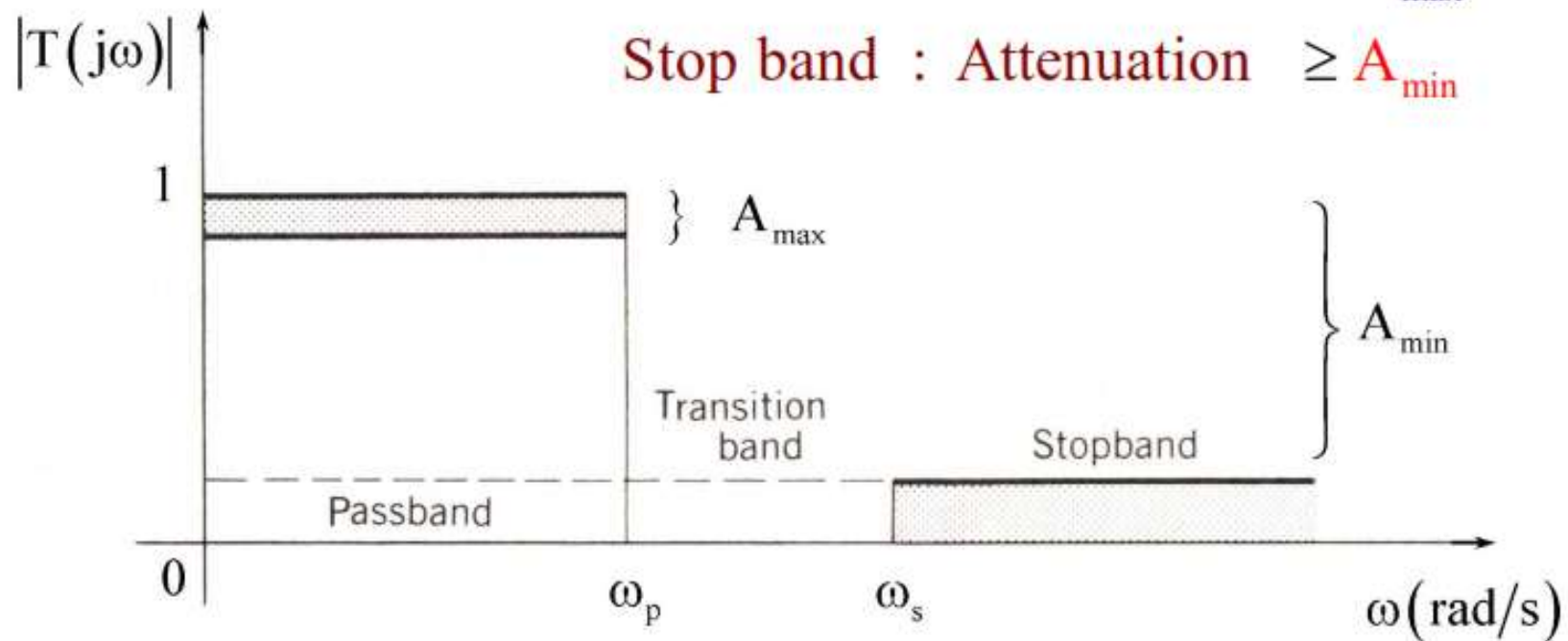
5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ວົງຈອນກອງແບບຜ່ານຕໍ່າ (Low pass Filter)

Transition band = $\omega_p \sim \omega_s$

Pass band : Attenuation $\leq A_{\max}$

Stop band : Attenuation $\geq A_{\min}$



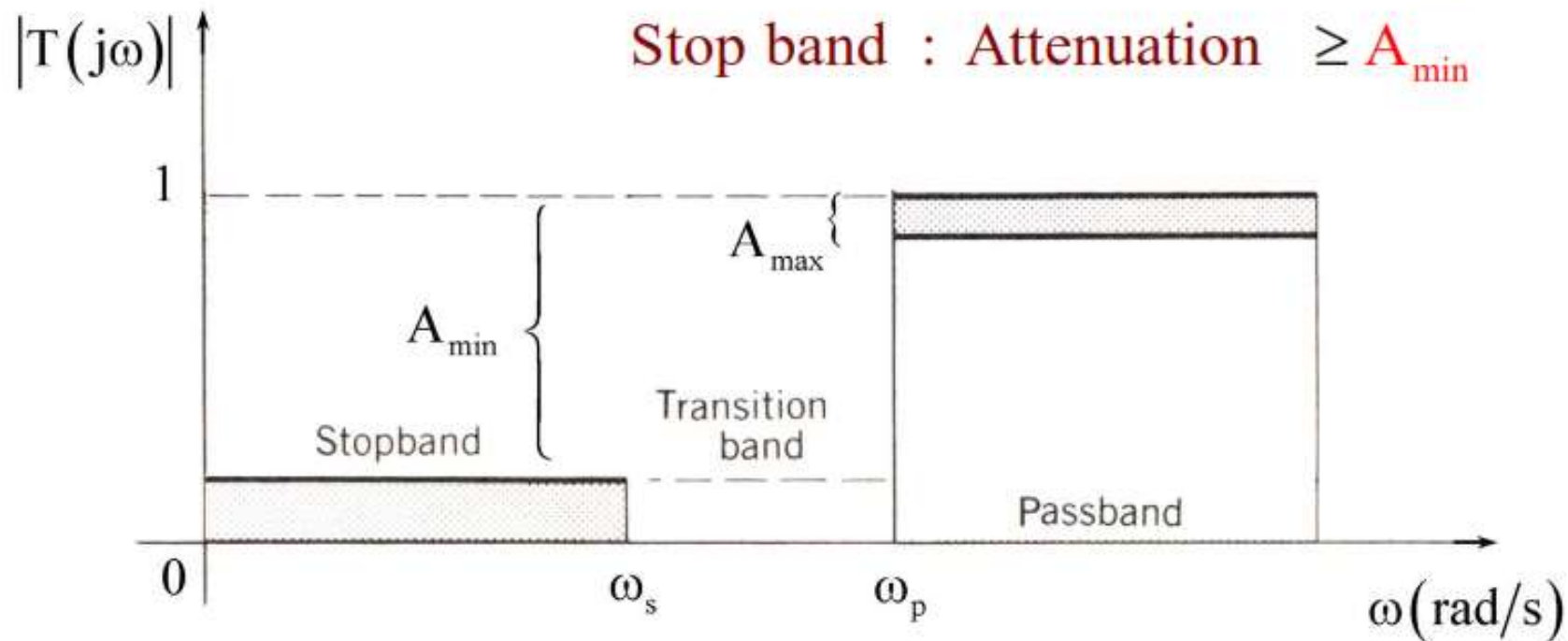
5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ວົງຈອນກອງແບບຜ່ານສູງ (High pass Filter)

Transition band = $\omega_s \sim \omega_p$

Pass band : Attenuation $\leq A_{\max}$

Stop band : Attenuation $\geq A_{\min}$



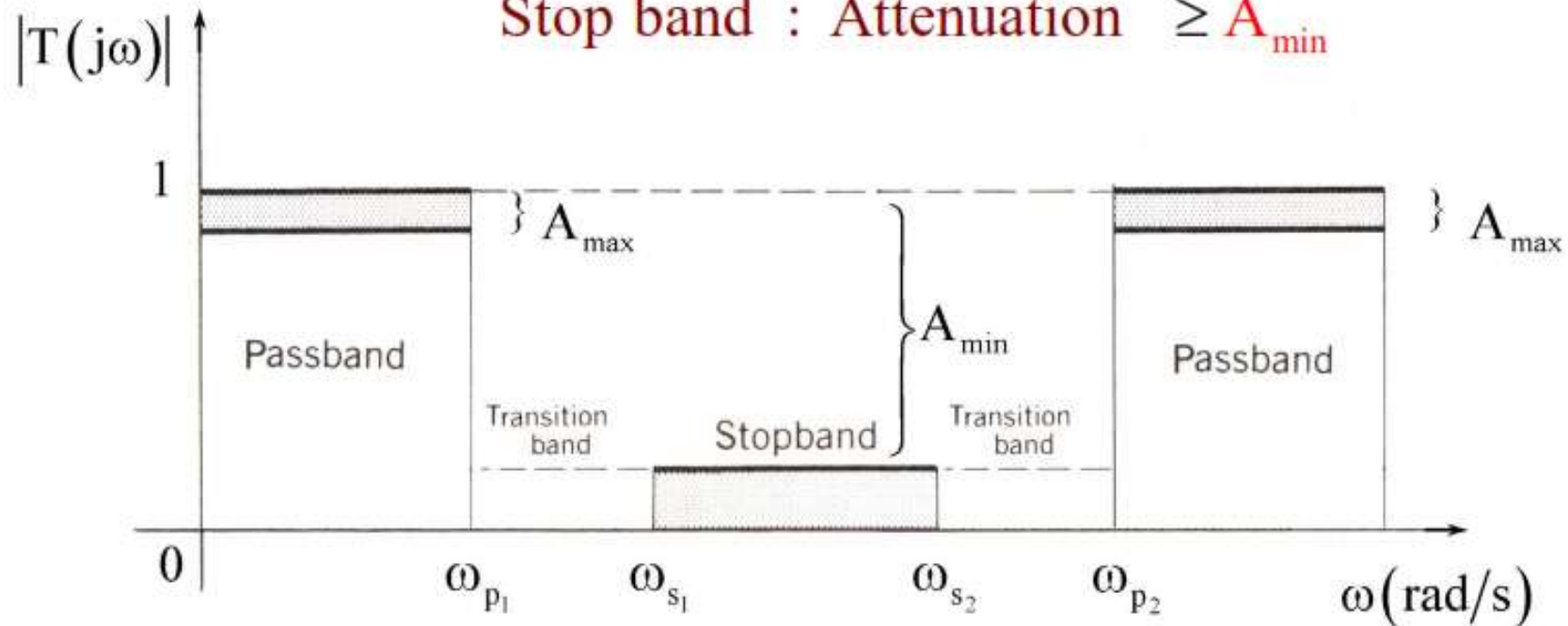
5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ວົງຈອນກອງແບບກຳຈັດແຖບ (Band Elimination Filter) ຫຼື notch

Transition band = $\omega_{p1} \sim \omega_{s1}$, $\omega_{s2} \sim \omega_{p2}$

Pass band : Attenuation $\leq A_{\max}$

Stop band : Attenuation $\geq A_{\min}$



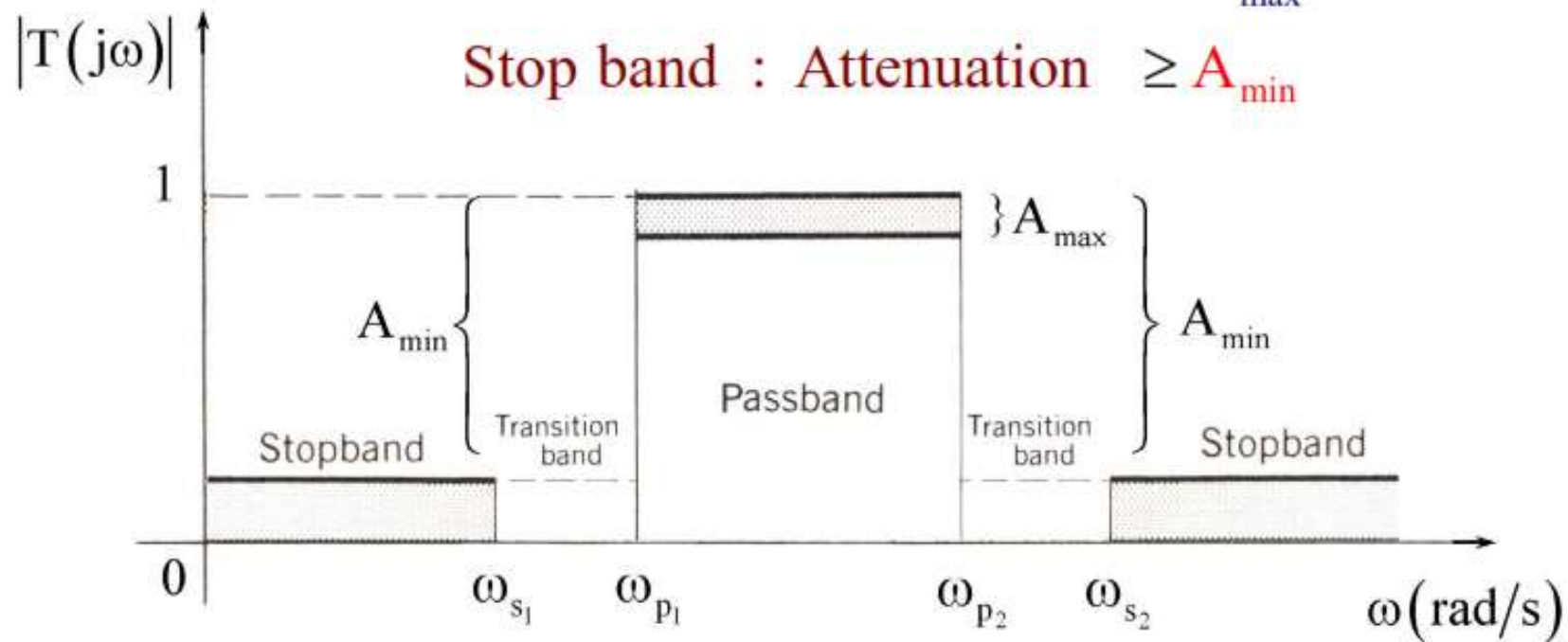
5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ວົງຈອນກອງແບບຜ່ານແຖບ (Band pass Filter)

Transition band = $\omega_{s_1} \sim \omega_{p_1}$, $\omega_{p_2} \sim \omega_{s_2}$

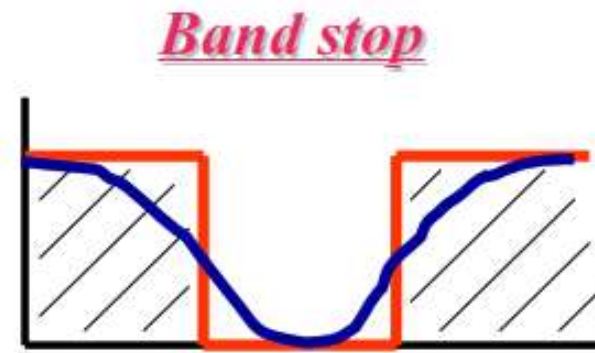
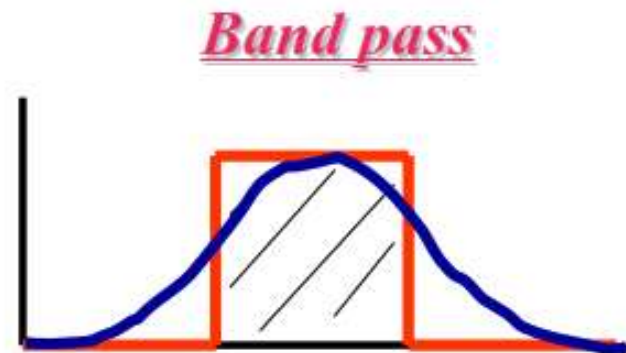
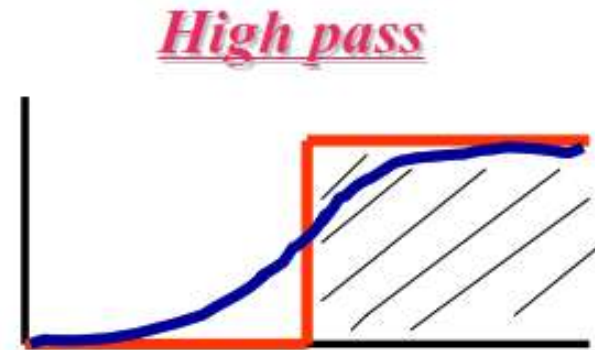
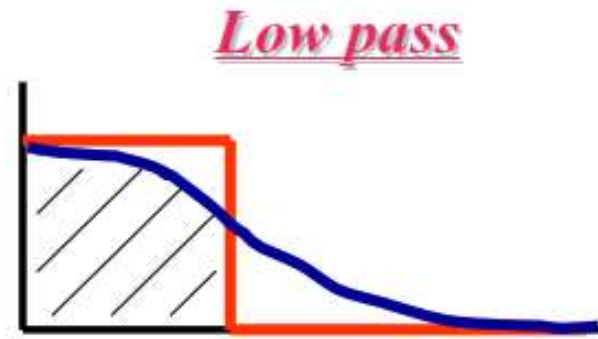
Pass band : Attenuation $\leq A_{\max}$

Stop band : Attenuation $\geq A_{\min}$



5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ຜົນຕອບສະໜອງຄວາມຖີ່ຂອງວົງຈອນກອງໃນທາງປະຕິບັດ



5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

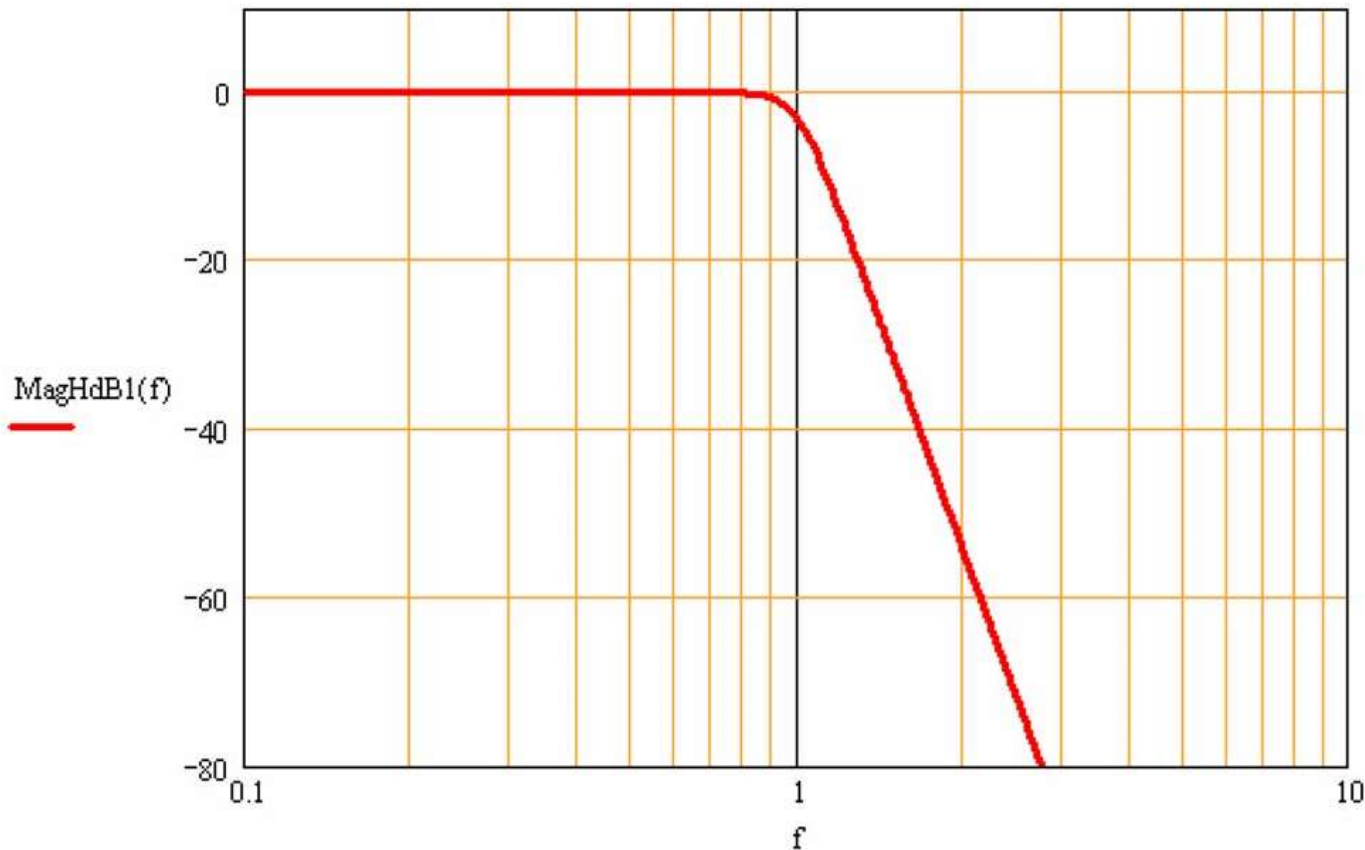
ວິທີກາປະມານຜົນຕອບສະໜອງທາງຄວາມຖີ່

ການປະມານຟັງຊັນຄຸນລັກສະນະຈາກຄວາມຕ້ອງການ (Specification) ໂດຍວິທີ

- ການປະມານແບບລຽບພຽງ (Maximally-fat)
 - ແບບບັດເຕີເວີກ (Butterworth)
- ການປະມານແບບກະພົບ (Equi-ripple)
 - ແບບເຊບີເຊບ (Chebyshev)
 - ແບບເຊບີເຊບປີ້ນກັບ (Inverse Chebyshev)
 - ແບບອີວລິບຕິກ (Elliptic)

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

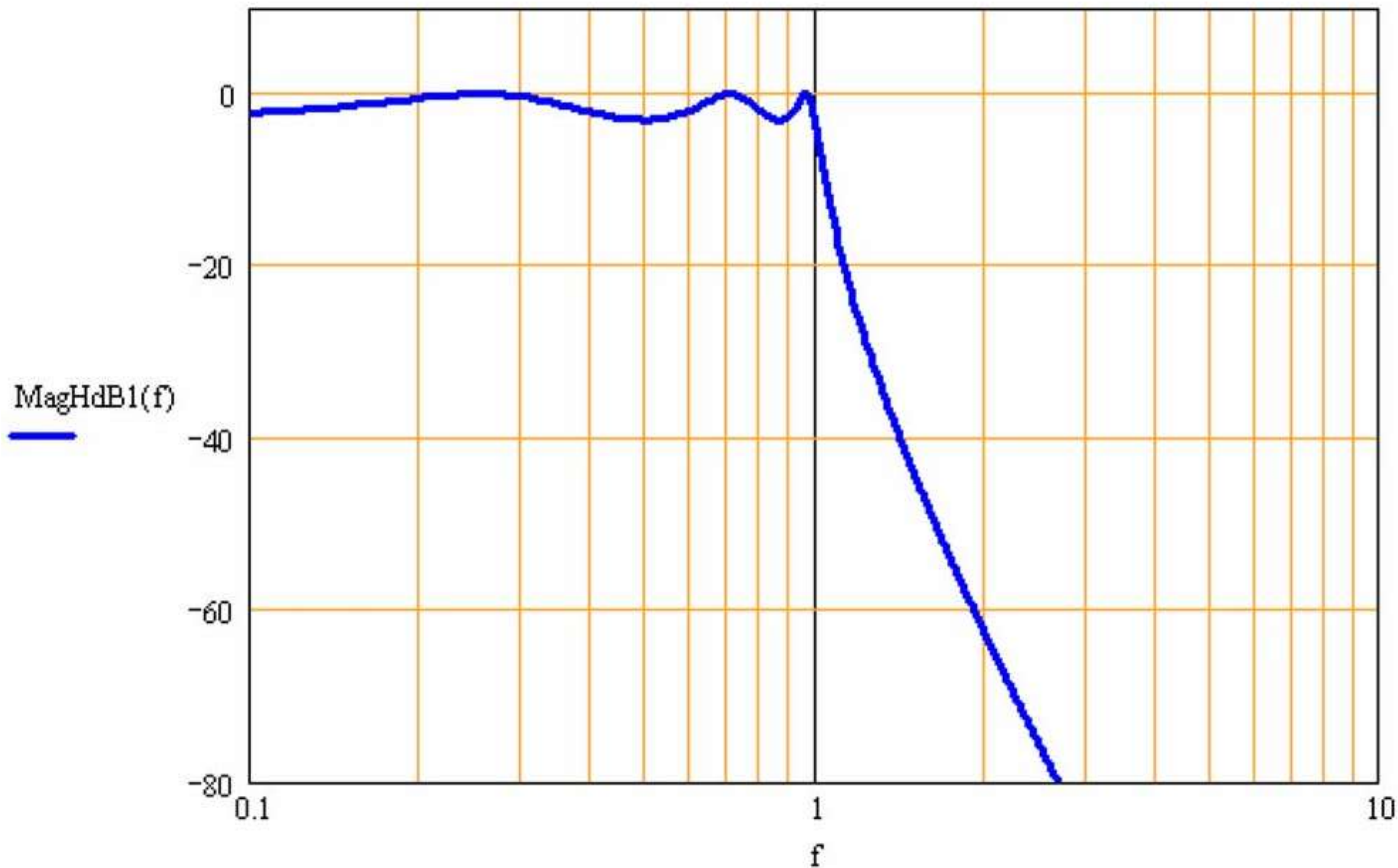
- ການປະມານແບບປັດເຕີເວີກ (Butterworth)



1. Pass band ມີລັກສະນະລຽບພຽມ
2. ມີຜົນຕອບສະໜອງທາງເຟດທີ່ດີ
3. ມີຄຸນນະພາບການກອງປານກາງ
4. ມີລັກສະນະວົງຈອນແບບ All Pole

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

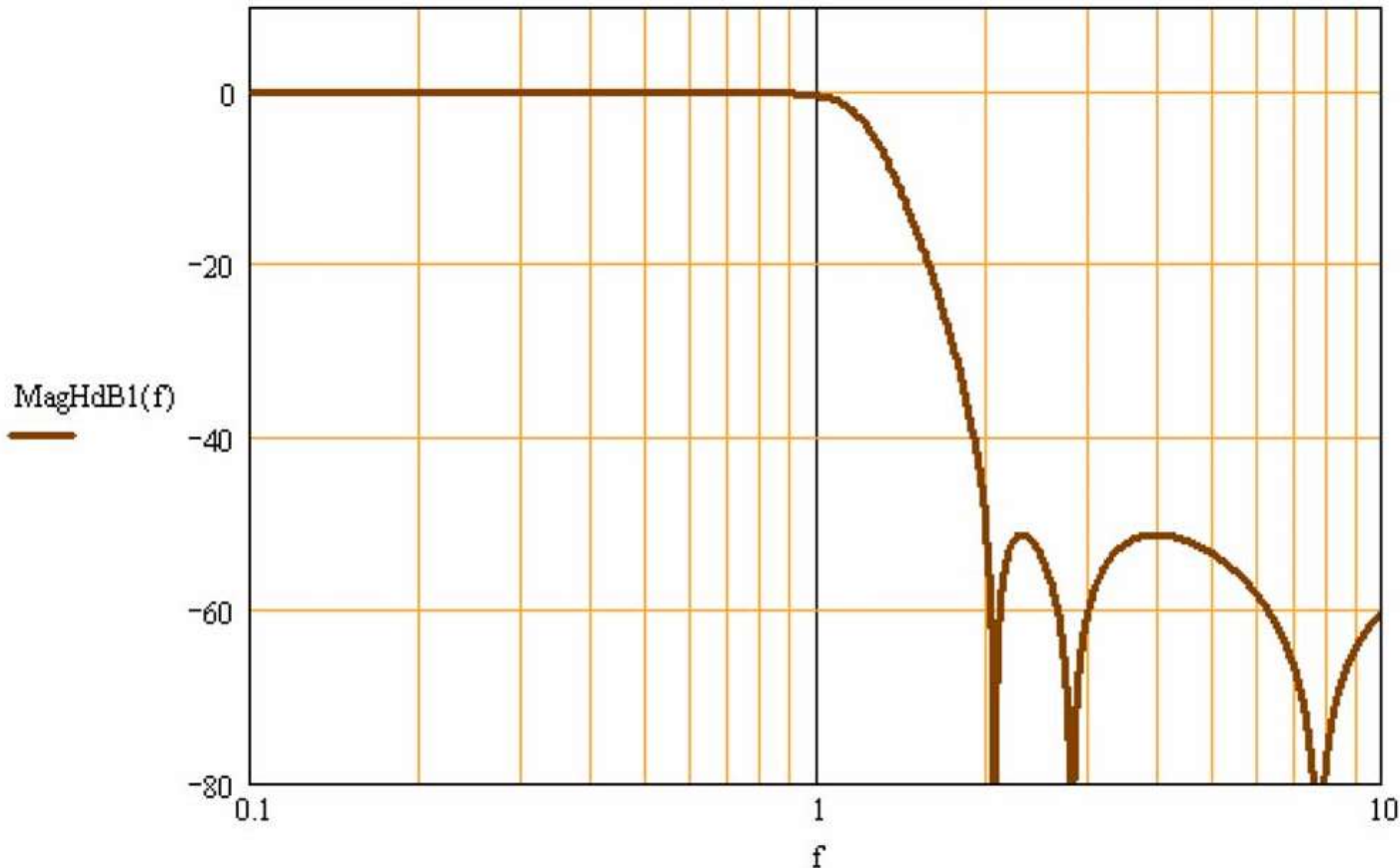
- ການປະມານແບບເຊບີເຊບ (Chebyshev)



1. ຍອມໃຫ້ມີການກະພົບໃນ pass band
2. ມີຜົນຕອບສະໜອງທາງເຟດບໍ່ດີ
3. ມີຄຸນນະພາບການກອງດີ
4. ມີການລຸດທອນຄວາມຊັນກວ່າແບບບັດເຕີເວີກ

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

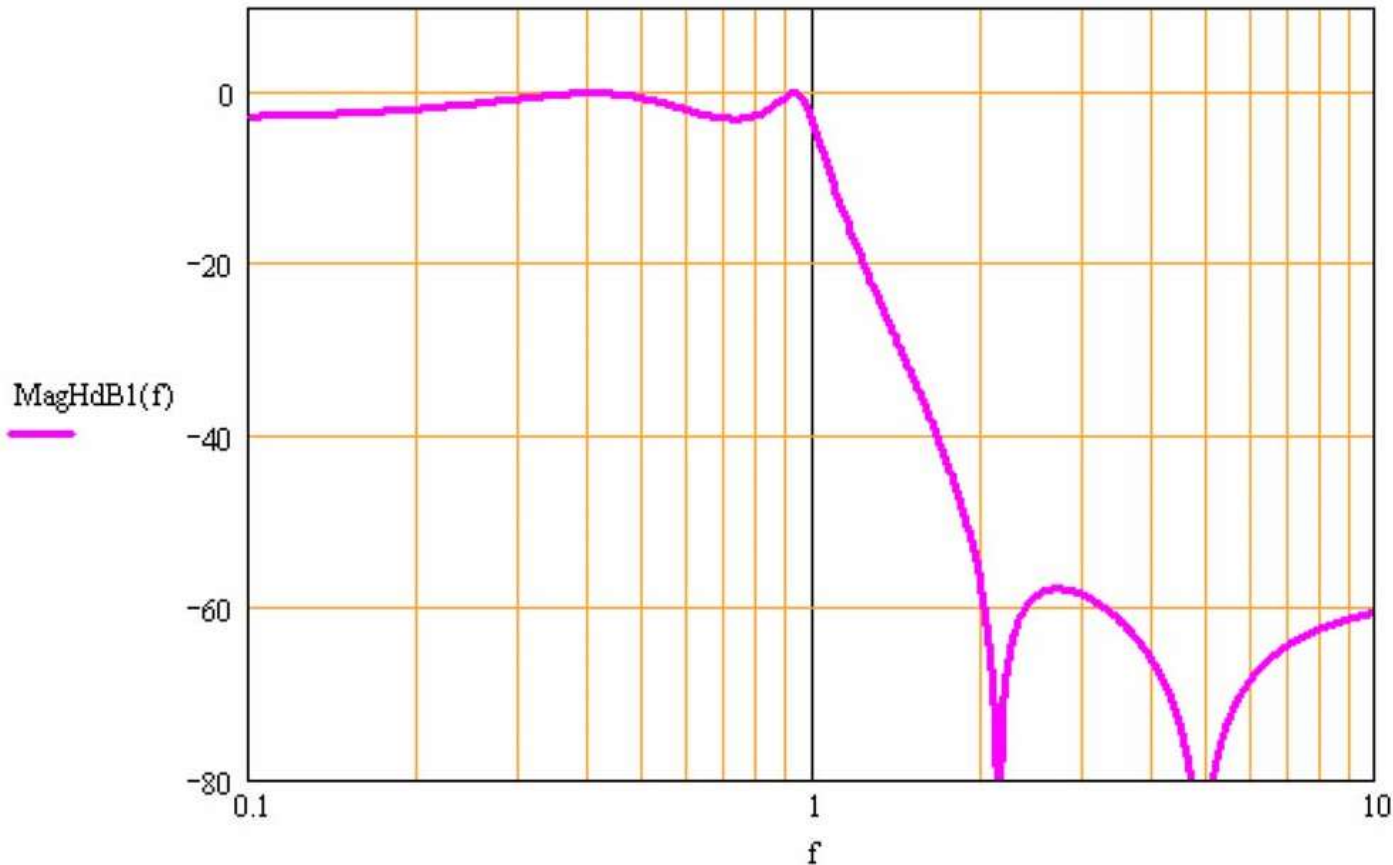
- ການປະມານແບບເຊບີເຊບປີ້ນກັບ (Inverse Chebyshev)



1. ຍອມໃຫ້ມີການກະພົບໃນ stop band
2. ຈຳນວນການກະພົບເພີ່ມຂຶ້ນຕາມຈຳລະດັບ (Order)
3. ມີຜົນຕອບສະໜອງທາງເຟດບໍ່ດີ
4. ມີຄຸນນະພາບການກອງດີ
5. ມີການລຸດທອນຄວາມຊັນກວ່າແບບປັດເຕີເວີກ ແຕ່ນ້ອຍກວ່າເຊບີເຊບ

5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

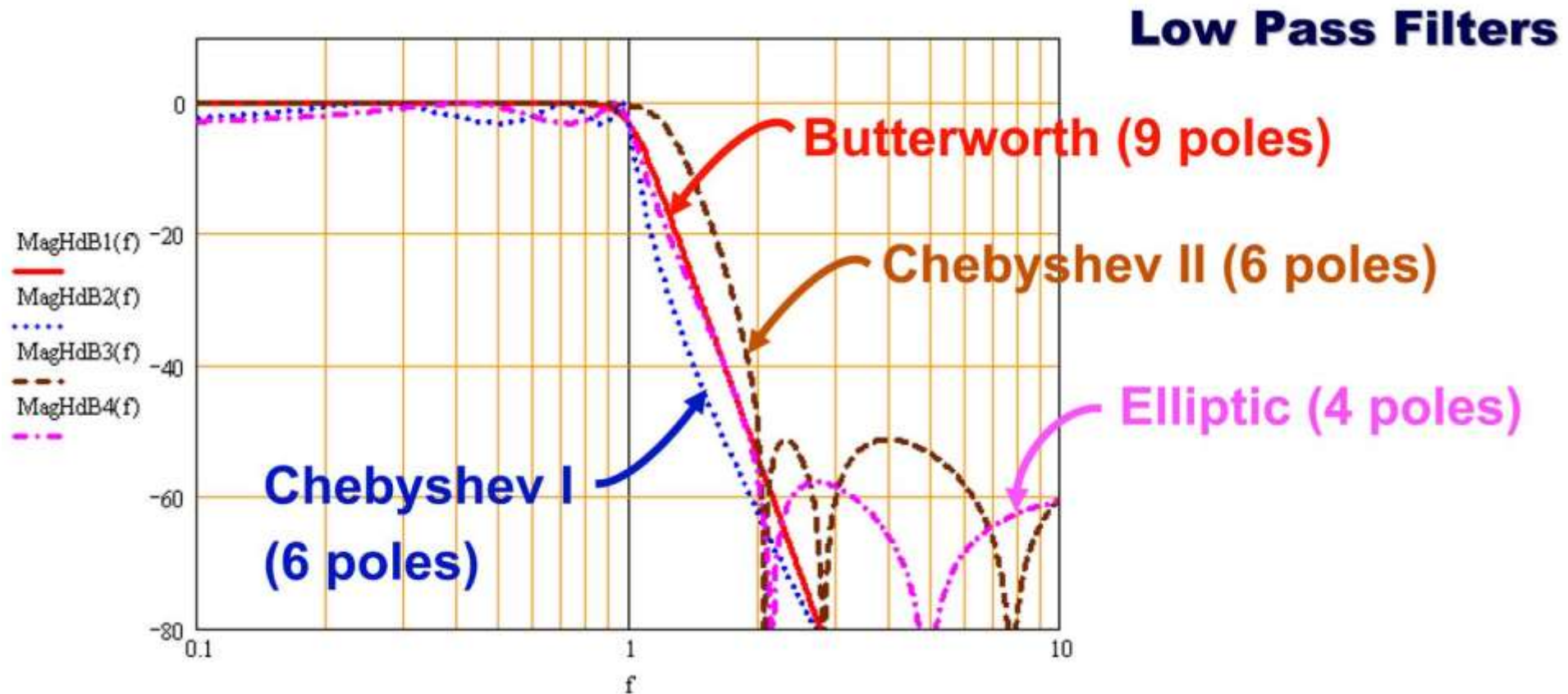
- ການປະມານແບບອິວລິບຕິກ (Elliptic)



1. ຍອມໃຫ້ມີການກະພົບໃນ stop band ແລະ pass band
2. ຈຳນວນການກະພົບເພີ່ມຂຶ້ນຕາມຈຳລະດັບ (Order)
3. ມີຜົນຕອບສະໜອງທາງເຟດບໍ່ດີ
4. ມີຄຸນນະພາບການກອງດີທີ່ສຸດ
5. ມີການລຸດທອນຄວາມຊັນກວ່າທຸກແບບ

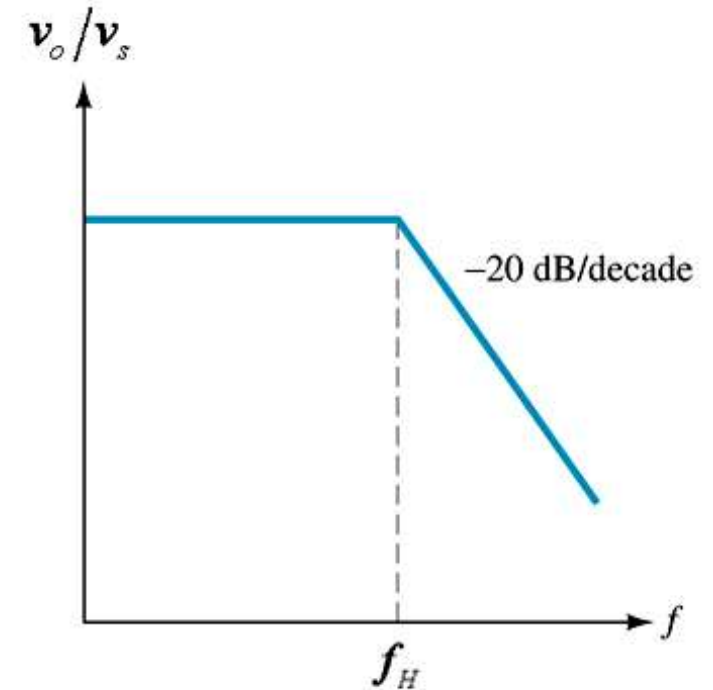
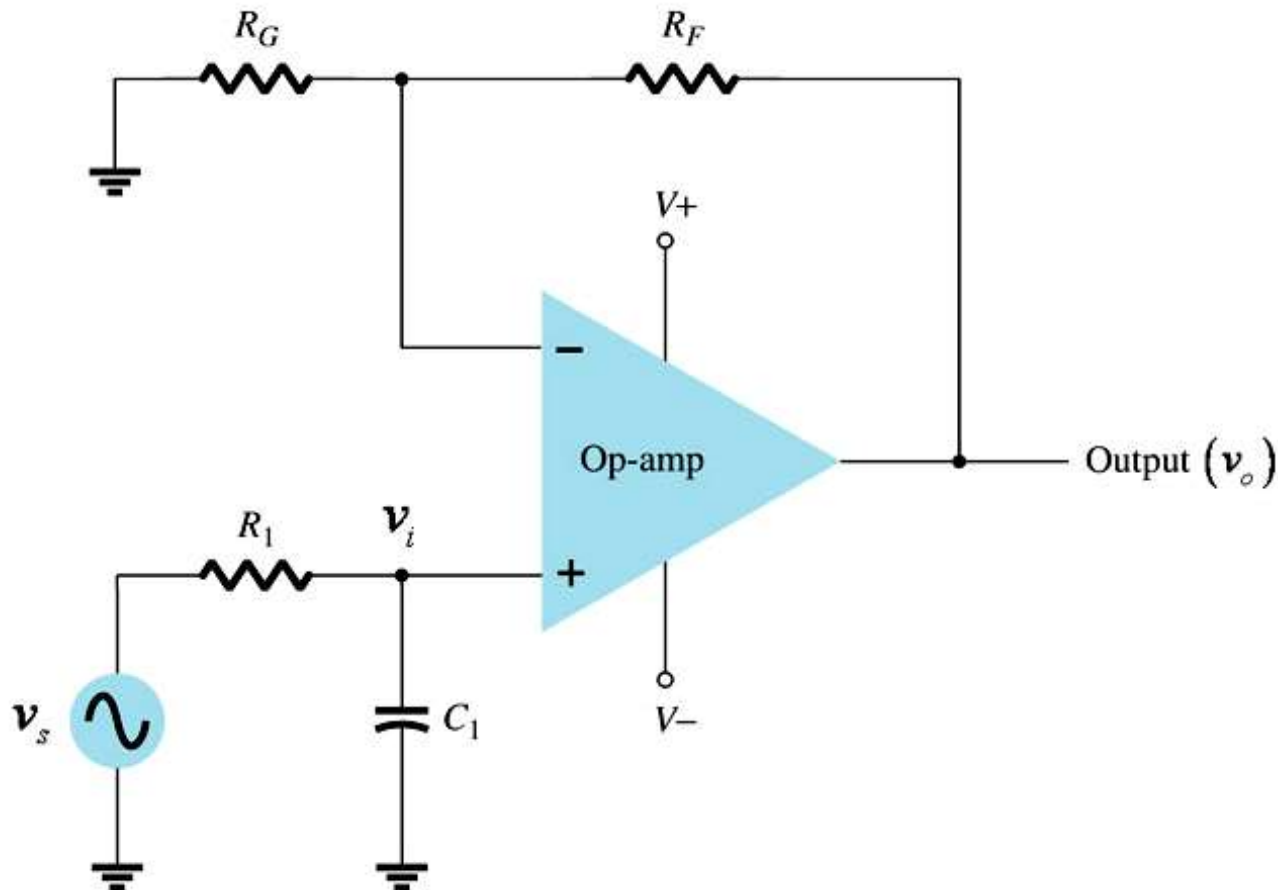
5.2 ວົງຈອນກອງ: ປະເພດຂອງຕົວກອງ

- ການປຸງບທຽບການປະມານແບບຕ່າງໆ



5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ອັນດັບທີ 1: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ

- ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບອັນດັບທີ 1 ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ (First-order low pass Active Filter)



5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: *ອັນດັບ 1: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ*

ແຮງດັນ v_i

$$\begin{aligned} v_i &= v_s \frac{-jx_C}{-jx_C + R} \\ &= v_s \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{-jx_C} \right)} \\ &= v_s \frac{1}{1 + j \left(\frac{R}{x_C} \right)} \\ &= v_s \frac{1}{1 + j2\pi fRC} \\ &= v_s \frac{1}{1 + j(f/f_H)} \end{aligned}$$

$$; f_H = \frac{1}{2\pi RC}$$

ແຮງດັນ v_o

$$\begin{aligned} v_o &= v_i \left(\frac{R_F}{R_G} + 1 \right) \\ &= v_s \frac{\left(\frac{R_F}{R_G} + 1 \right)}{1 + j(f/f_H)} \\ &= v_s \frac{A_{PB}}{1 + j(f/f_H)} \end{aligned}$$

5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: **ອັນດັບ 1:** ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ

ອັດຕາຂະຫຍາຍແຮງດັນ

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_s} = \frac{A_{PB}}{1 + j(f/f_H)} \\ &= \frac{A_{PB}}{\left(1 + (f/f_H)^2\right)^{\frac{1}{2}} \angle \tan^{-1}(f/f_H)} \\ &= A_{PB} \left(1 + (f/f_H)^2\right)^{-\frac{1}{2}} \angle -\tan^{-1}(f/f_H) \end{aligned}$$

ຂະໜາດຂອງ A_v ແທນດ້ວຍ $A_{v(mag)}$

$$A_{v(mag)} = A_{PB} \left(1 + (f/f_H)^2\right)^{-\frac{1}{2}}$$

ເຟດຂອງ v_o

$$\phi = \angle -\tan^{-1}(f/f_H)$$

5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ*

ຄ່າ $A_{v(mag)}$ ໃນເທີມຂອງເດຊີເບວ ($A_{v(dB)}$)

$$\begin{aligned} A_{v(dB)} &= 20 \log |A_{v(mag)}| \\ &= 20 \log \left[A_{PB} \left(1 + (f/f_H)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \\ &= 20 \log A_{PB} + 20 \log \left(1 + (f/f_H)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \\ &= 20 \log A_{PB} - 10 \log \left(1 + (f/f_H)^2 \right) \end{aligned}$$

5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ*

- ດັ່ງຕົວຢ່າງເຊັ່ນເມື່ອ $R_F = 10\text{k}\Omega$, $R_G = 1.1\text{k}\Omega$ ໄດ້ $A_{PB} \cong 10$ ຂຽນໃນເທີມຂອງເດຊິເບວ ($A_{v(dB)}$)

$$\begin{aligned} A_{PB} &= 1 + \frac{R_F}{R_G} = 1 + \frac{10\text{k}\Omega}{1.1\text{k}\Omega} \\ &= 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v(dB)} &= 20 \log(A_{PB}) - 10 \log\left(1 + (f/f_H)^2\right) \\ &= 20 \log(10) - 10 \log\left(1 + (f/f_H)^2\right) \\ &= 20\text{dB} - 10 \log\left(1 + (f/f_H)^2\right) \end{aligned}$$

5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: **ອັນດັບ 1:** ແບບຕໍ່ຜ່ານ

- ດັ່ງຕົວຢ່າງເຊັ່ນເມື່ອ $R_F = 10k\Omega, R_G = 1.1k\Omega$ ໄດ້ $A_{PB} \cong 10$ ຂຽນໃນເທີມຂອງເດຊິເບວ ($A_{v(dB)}$)

$$f/f_H = 0.01: A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (0.01)^2) \cong 20dB \quad : \quad \phi = -0.57^\circ$$

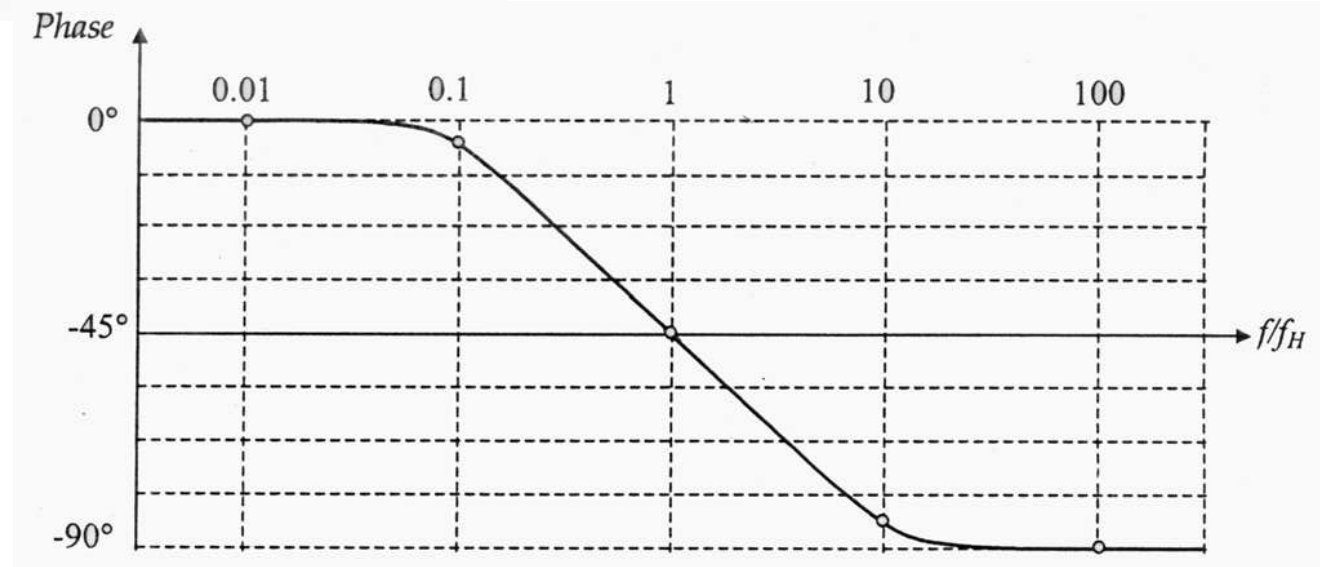
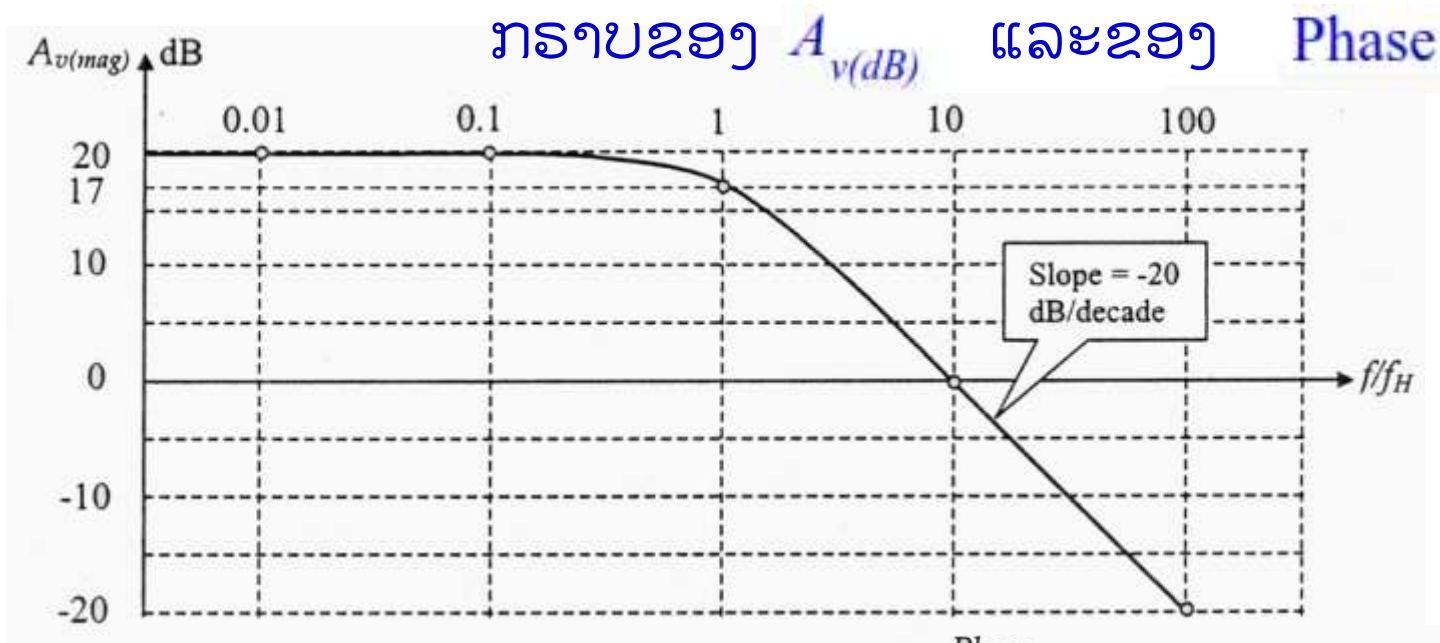
$$f/f_H = 0.1 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (0.1)^2) \cong 20dB \quad : \quad \phi = -5.7^\circ$$

$$f/f_H = 1 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (1)^2) = 17dB \quad : \quad \phi = -45^\circ$$

$$f/f_H = 10 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (10)^2) \cong 0dB \quad : \quad \phi = -84.2^\circ$$

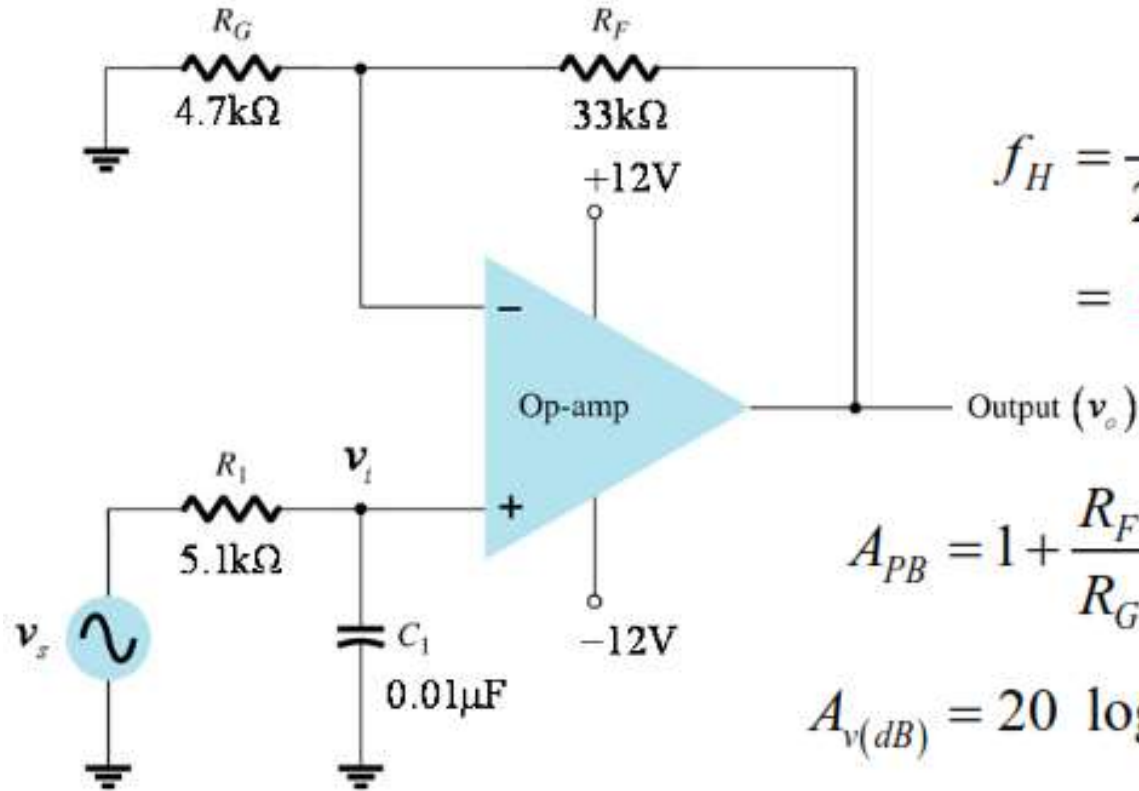
$$f/f_H = 100 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (100)^2) \cong -20dB \quad : \quad \phi = -89.4^\circ$$

5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: *ອັນດັບ 1*: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ



5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ*

- ຕົວຢ່າງ 5:1: ຈາກວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ ຈົ່ງຫາ f_H , A_{PB} ແລະ $A_{v(dB)}$ ທີ່ f_H



$$f_H = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 5.1\text{k}\Omega \times 0.01\mu\text{F}} = 3.2 \text{ kHz}$$

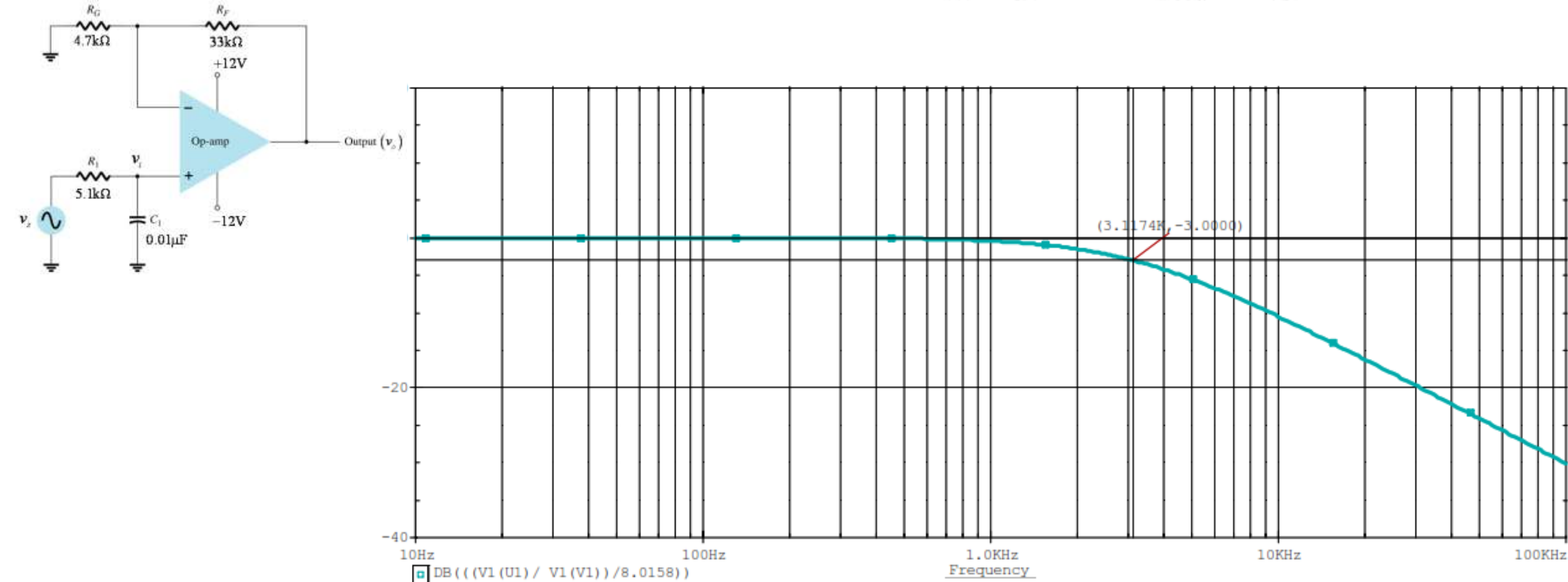
$$A_{PB} = 1 + \frac{R_F}{R_G} = 1 + \frac{33\text{k}\Omega}{4.7\text{k}\Omega} = 8$$

$$A_{v(dB)} = 20 \log(A_{PB}) - 10 \log(1 + (f/f_H)^2)$$

$$A_{v(dB:f_H)} = 20 \log(8) - 10 \log(1 + (f/f_H)^2) = 18\text{dB} - 10 \log(1 + (1)^2) = 15\text{dB}$$

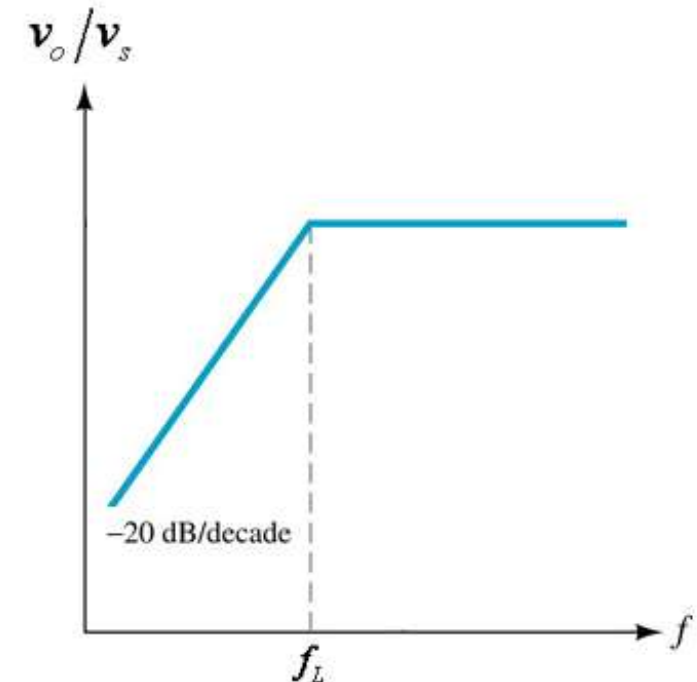
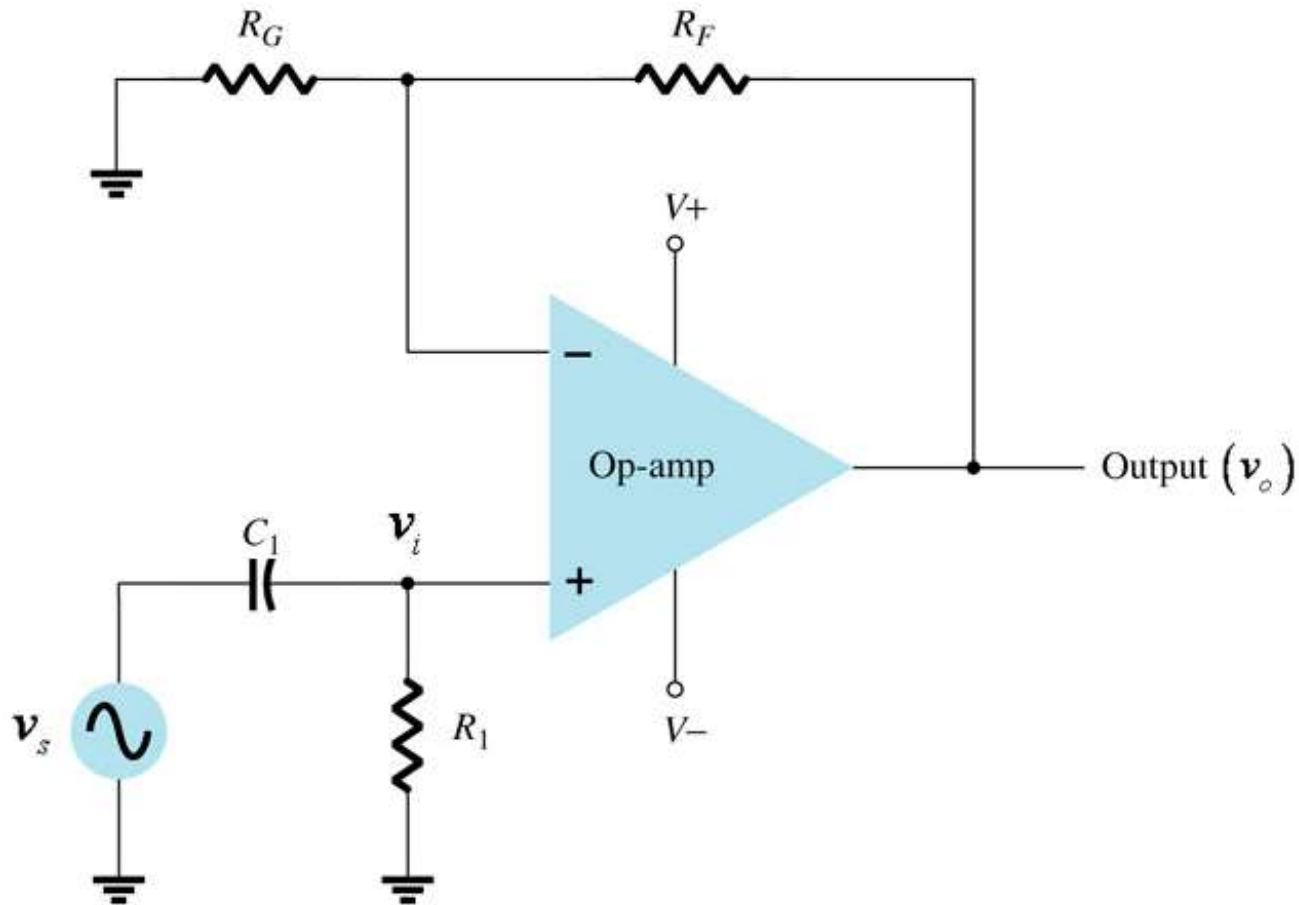
5.3 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບຕໍ່ຳຜ່ານ*

- ຕົວຢ່າງ 5:1: ຈາກວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ ຈົ່ງຫາ f_H , A_{BP} ແລະ $A_{v(dB)}$ ທີ່ f_H



5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ

- ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບອັນດັບທີ 1 ແບບສູງຜ່ານ (First-order high pass Active Filter)



5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ

ແຮງດັນ v_i

$$\begin{aligned} v_i &= v_s \frac{R}{R - jx_C} \\ &= v_s \frac{1}{1 - \left(\frac{jx_C}{R} \right)} \\ &= v_s \frac{1}{1 - j \left(\frac{1}{2\pi fRC} \right)} \\ &= v_s \frac{1}{1 - j(f_L/f)} \quad ; f_L = \frac{1}{2\pi RC} \end{aligned}$$

ແຮງດັນ v_o

$$\begin{aligned} v_o &= v_i \left(\frac{R_F}{R_G} + 1 \right) \\ &= v_s \frac{\left(\frac{R_F}{R_G} + 1 \right)}{1 - j(f_L/f)} \\ &= v_s \frac{A_{PB}}{1 - j(f_L/f)} \end{aligned}$$

5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ

ອັດຕາຂະຫຍາຍແຮງດັນ

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_s} = \frac{A_{PB}}{1 - j(f_L/f)} \\ &= \frac{A_{PB}}{\left(1 + (f_L/f)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \angle \tan^{-1}(f_L/f) \\ &= A_{PB} \left(1 + (f_L/f)^2\right)^{-\frac{1}{2}} \angle + \tan^{-1}(f_L/f) \end{aligned}$$

ຂະໜາດຂອງ A_v ແທນດ້ວຍ $A_{v(mag)}$

$$A_{v(mag)} = A_{PB} \left(1 + (f_L/f)^2\right)^{-\frac{1}{2}}$$

ເຟດຂອງ v_o

$$\phi = \angle + \tan^{-1}(f_L/f)$$

5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ*

ຄ່າ $A_{v(mag)}$ ໃນເທີມຂອງເດຊິເບວ ($A_{v(dB)}$)

$$\begin{aligned} A_{v(dB)} &= 20 \log |A_{v(mag)}| \\ &= 20 \log \left[A_{PB} \left(1 + (f_L/f)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \\ &= 20 \log A_{PB} + 20 \log \left(1 + (f_L/f)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \\ &= 20 \log A_{PB} - 10 \log \left(1 + (f_L/f)^2 \right) \end{aligned}$$

5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ*

- ດັ່ງຕົວຢ່າງເຊັ່ນເມື່ອ $R_F = 10\text{k}\Omega$, $R_G = 1.1\text{k}\Omega$ ໄດ້ $A_{PB} \cong 10$ ຂຽນໃນເທີມຂອງເດຊິເບວ ($A_{v(dB)}$)

$$A_{PB} = 1 + \frac{R_F}{R_G} = 1 + \frac{10\text{k}\Omega}{1.1\text{k}\Omega} = 10$$

$$\begin{aligned} A_{v(dB)} &= 20 \log(A_{PB}) - 10 \log\left(1 + (f_L/f)^2\right) \\ &= 20 \log(10) - 10 \log\left(1 + (f_L/f)^2\right) \\ &= 20\text{dB} - 10 \log\left(1 + (f_L/f)^2\right) \end{aligned}$$

5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: **ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ**

- ດັ່ງຕົວຢ່າງເຊັ່ນເມື່ອ $R_F = 10k\Omega, R_G = 1.1k\Omega$ ໄດ້ $A_{PB} \cong 10$ ຂຽນໃນເທີມຂອງເດຊິເບວ ($A_{v(dB)}$)

$$f_L/f = 0.01: A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (0.01)^2) \cong 20dB \quad : \quad \phi = 0.57^\circ$$

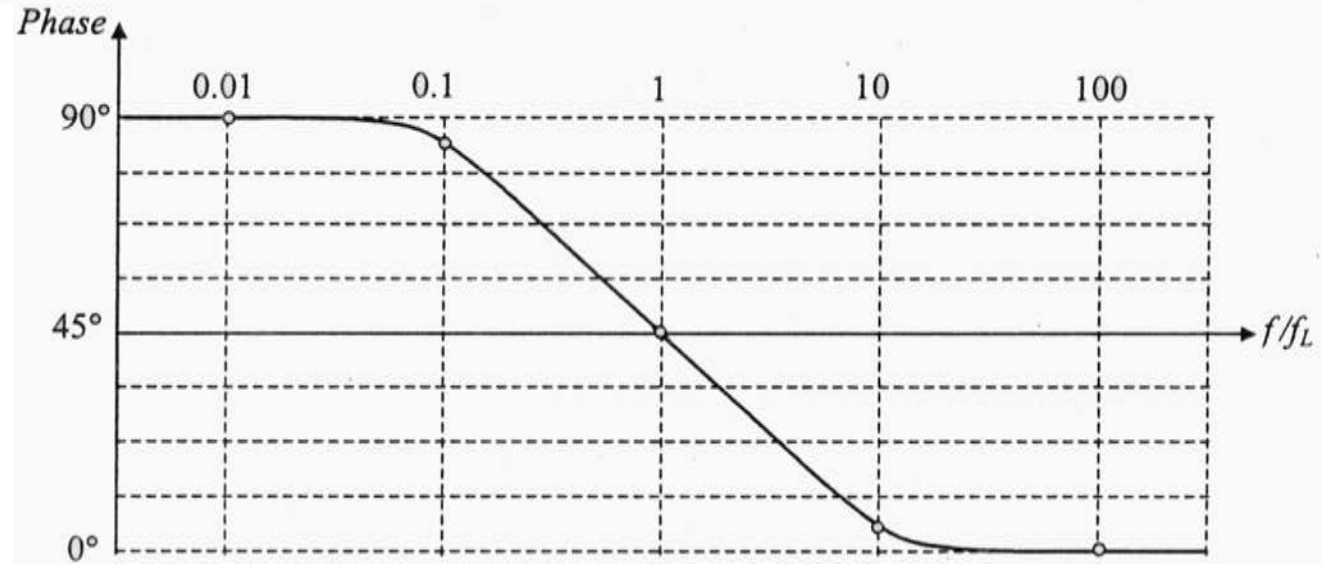
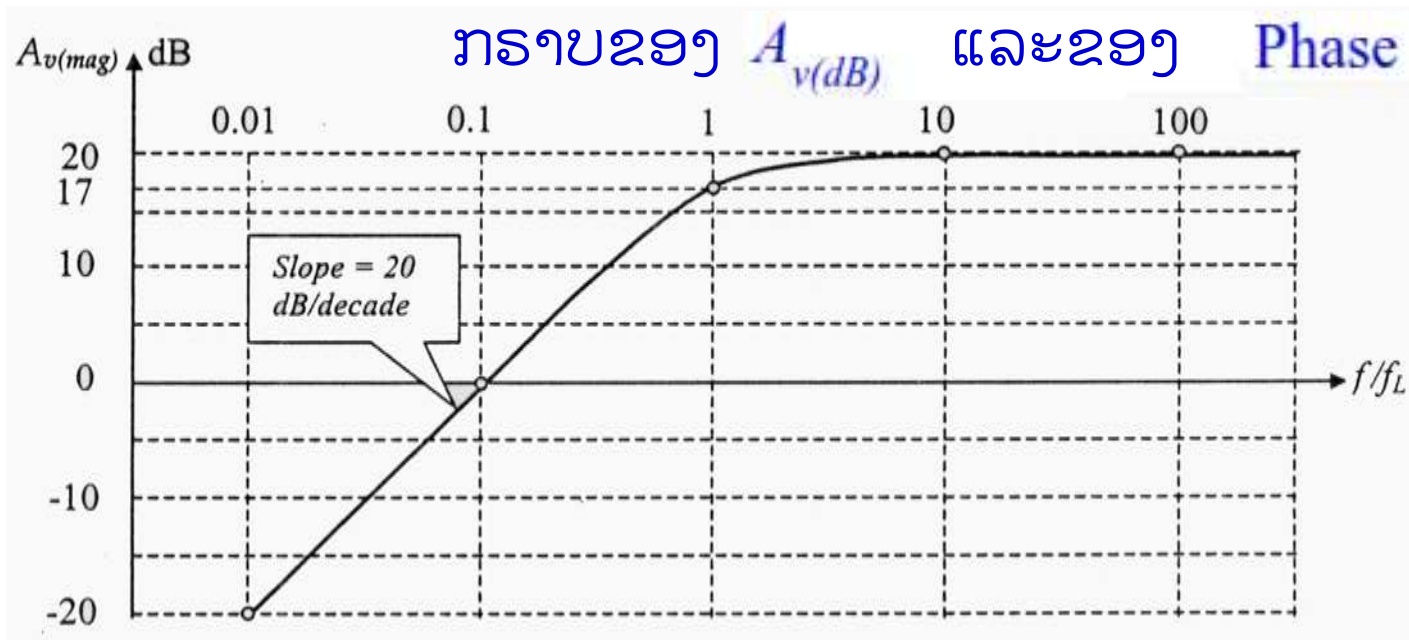
$$f_L/f = 0.1 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (0.1)^2) \cong 20dB \quad : \quad \phi = 5.7^\circ$$

$$f_L/f = 1 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (1)^2) = 17dB \quad : \quad \phi = 45^\circ$$

$$f_L/f = 10 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (10)^2) \cong 0dB \quad : \quad \phi = 84.2^\circ$$

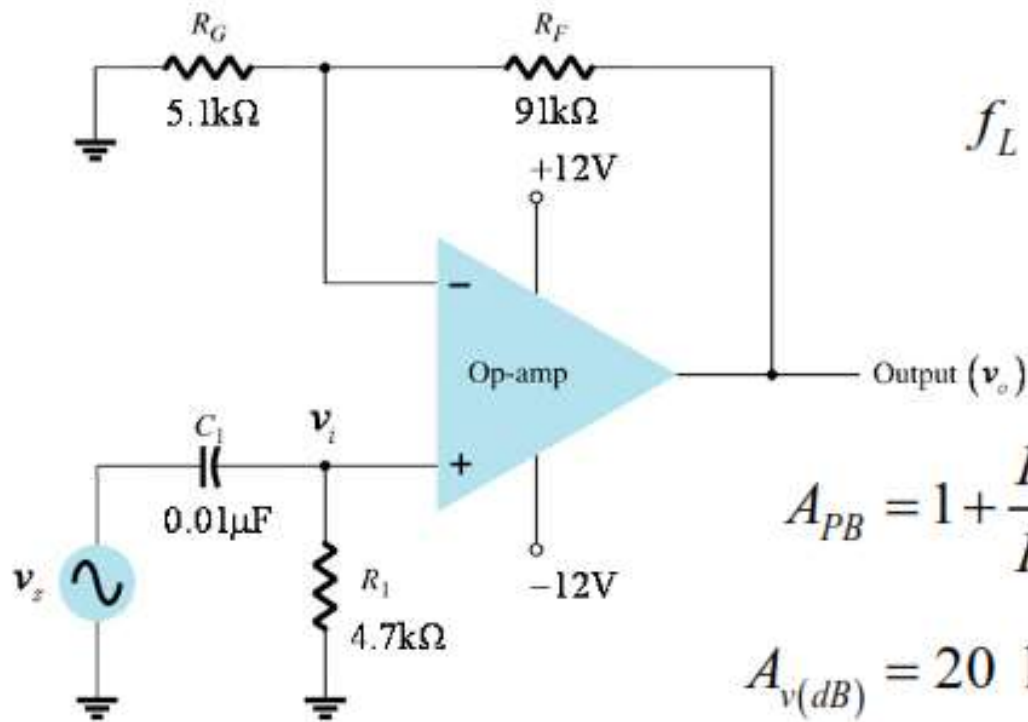
$$f_L/f = 100 : A_{v(dB)} = 20dB - 10 \log(1 + (100)^2) \cong -20dB \quad : \quad \phi = 89.4^\circ$$

5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ



5.4 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ແບບສູງຜ່ານ*

- ຕົວຢ່າງ 5:2: ຈາກວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ ຈົ່ງຫາ f_L , A_{PB} ແລະ $A_{v(dB)}$ ທີ່ f_L



$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 4.7\text{k}\Omega \times 0.01\mu\text{F}} = 3.38 \text{ kHz}$$

$$A_{PB} = 1 + \frac{R_F}{R_G} = 1 + \frac{91\text{k}\Omega}{5.1\text{k}\Omega} = 18.8$$

$$A_{v(dB)} = 20 \log(A_{PB}) - 10 \log\left(1 + (f_L/f)^2\right)$$

$$A_{v(dB:f_L)} = 20 \log(18.8) - 10 \log\left(1 + (f_L/f)^2\right) = 25.5\text{dB} - 10 \log\left(1 + (1)^2\right) = 22.5\text{dB}$$

5.5 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: **ອັນດັບ 1: ການອອກແບບ**

- ການອອກແບບວົງຈອນກອງແບບແອກທິບອັນດັບທີ 1 (Design of first-order Active Filter)

ເມື່ອແທນຄວາມຖີ່ຕັດທັງ f_L ແລະ f_H ດ້ວຍ f_o

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

ໂດຍ

- ເລືອກຄ່າຂອງ $C \leq 0.1 \mu\text{F}$
- ຫາຄ່າຂອງ R ຈາກສົມຜົນ f_o
- ຫາຄ່າຂອງ R_F ແລະ R_G ຈາກຄ່າ gain ທີ່ກຳນົດ

ໂດຍທີ່ Op-amp ມີຄວາມຕ້ານທານທາງ DC ທີ່ຂາອິນພຸດທັງ 2 ເທົ່າກັນ ດັ່ງນັ້ນ

$$R = R_F \parallel R_G = \frac{R_F R_G}{R_F + R_G}$$

5.5 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ການອອແບບ*

ຫາຄ່າ R_F

$$\begin{aligned} R &= \frac{R_F R_G}{R_F + R_G} = \frac{(R_F R_G / R_G)}{(R_F + R_G) / R_G} \\ &= \frac{R_F}{\frac{R_F}{R_G} + 1} = \frac{R_F}{A_{PB}} \\ R_F &= A_{PB} R \end{aligned}$$

ຫາຄ່າ R_G

$$\begin{aligned} A_{PB} &= \frac{R_F}{R_G} + 1 \\ A_{PB} - 1 &= \frac{R_F}{R_G} \\ R_G &= \frac{R_F}{A_{PB} - 1} \end{aligned}$$

5.5 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: *ອັນດັບ 1: ການອອແບບ*

- ຕົວຢ່າງ 5:3: ຈົ່ງອອກແບບວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບຕໍ່າຜ່ານທີ່ມີຄວາມຖີ່ຕັດ (f_L) ເທົ່າກັບ 5 kHz ແລະມີ $A_{PB} = 16 \text{ dB}$

- ຫາຄ່າ A_{PB}

$$16 \text{ dB} = 20 \log A_{PB}$$

$$0.8 = \log A_{PB}$$

$$A_{PB} = 10^{0.8}$$

$$= 6.31$$

- ເລືອກໃຊ້ຄ່າ $C = 0.01 \mu\text{F}$

- ຫາຄ່າ R, R_F, R_G

$$R = \frac{1}{2\pi f_o C} = \frac{1}{2\pi \times 5 \text{ kHz} \times 0.01 \mu\text{F}}$$

$$= 3.18 \text{ k}\Omega$$

$$R_F = A_{PB} R = 6.31 \times 3.18 \text{ k}\Omega$$

$$= 20 \text{ k}\Omega$$

$$R_G = \frac{R_F}{A_{PB} - 1} = \frac{20 \text{ k}\Omega}{6.31 - 1}$$

$$= 3.76 \text{ k}\Omega$$

5.5 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: **ອັນດັບ 1: ການອອແບບ**

- ຕົວຢ່າງ 5:4: ຈົ່ງອອກແບບວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບສູງຜ່ານທີ່ມີຄວາມຖີ່ຕັດ (f_H) ເທົ່າກັບ 10 kHz ແລະມີ $A_{PB} = 26 \text{ dB}$

- ຫາຄ່າ A_{BP}

$$26 \text{ dB} = 20 \log A_{PB}$$

$$1.3 = \log A_{PB}$$

$$\begin{aligned} A_{PB} &= 10^{1.3} \\ &= 19.95 \end{aligned}$$

- ເລືອກໃຊ້ຄ່າ $C = 0.01 \mu\text{F}$

- ຫາຄ່າ R, R_F, R_G

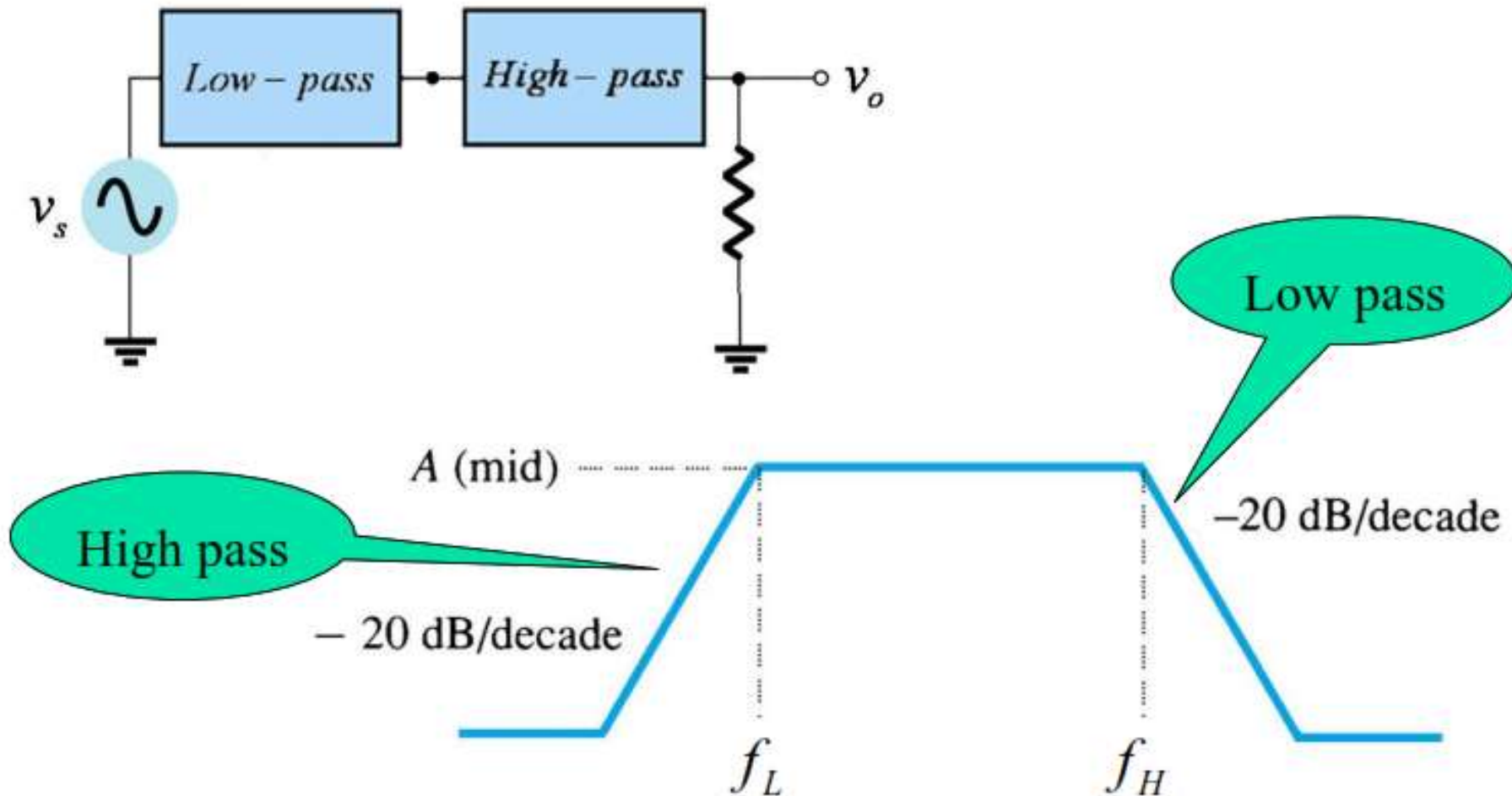
$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2\pi f_o C} = \frac{1}{2\pi \times 10 \text{ kHz} \times 0.01 \mu\text{F}} \\ &= 1.59 \text{ k}\Omega \cong 1.6 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_F &= A_{PB} R = 19.95 \times 1.6 \text{ k}\Omega \\ &= 31.92 \text{ k}\Omega \cong 32 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

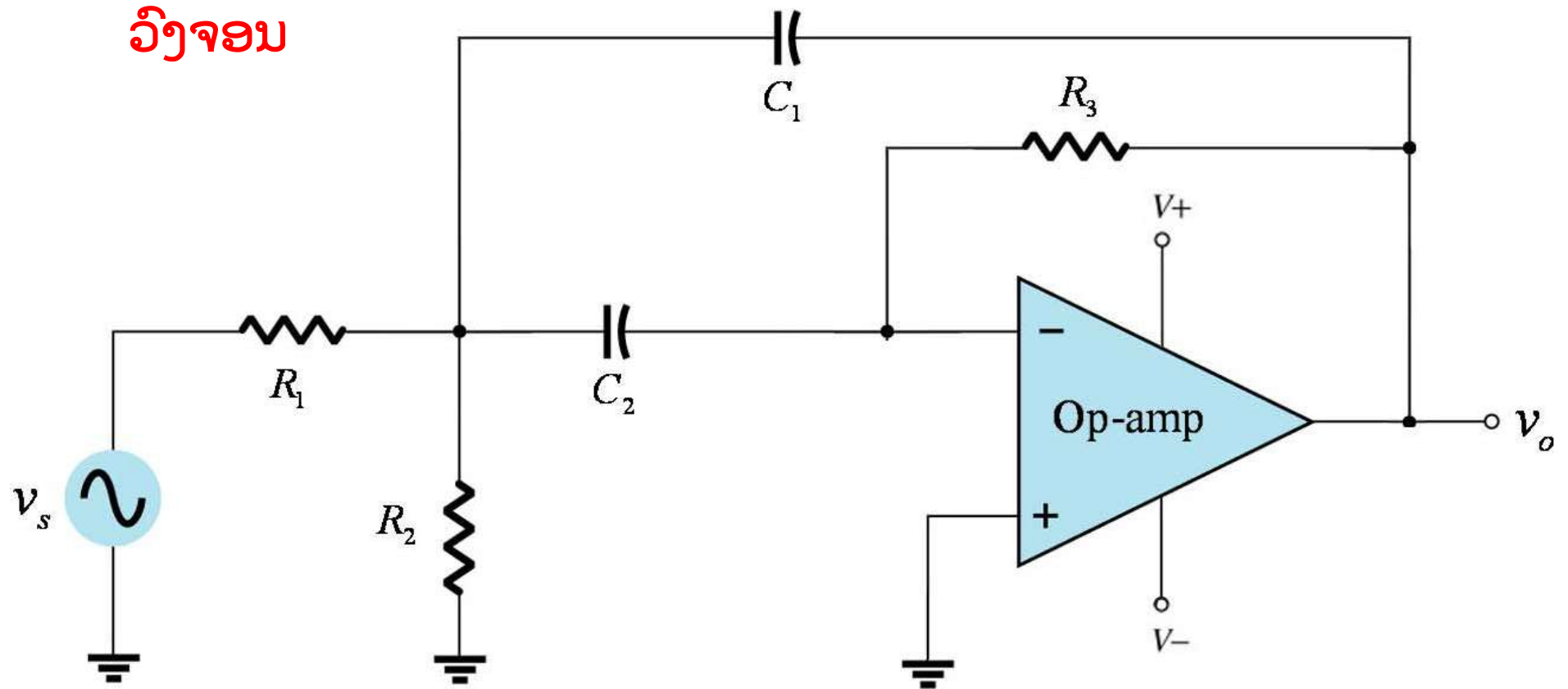
$$\begin{aligned} R_G &= \frac{R_F}{A_{PB} - 1} = \frac{32 \text{ k}\Omega}{19.95 - 1} \\ &= 1.69 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ

- ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບແບບຜ່ານແຖບ (Band-pass Active Filter)

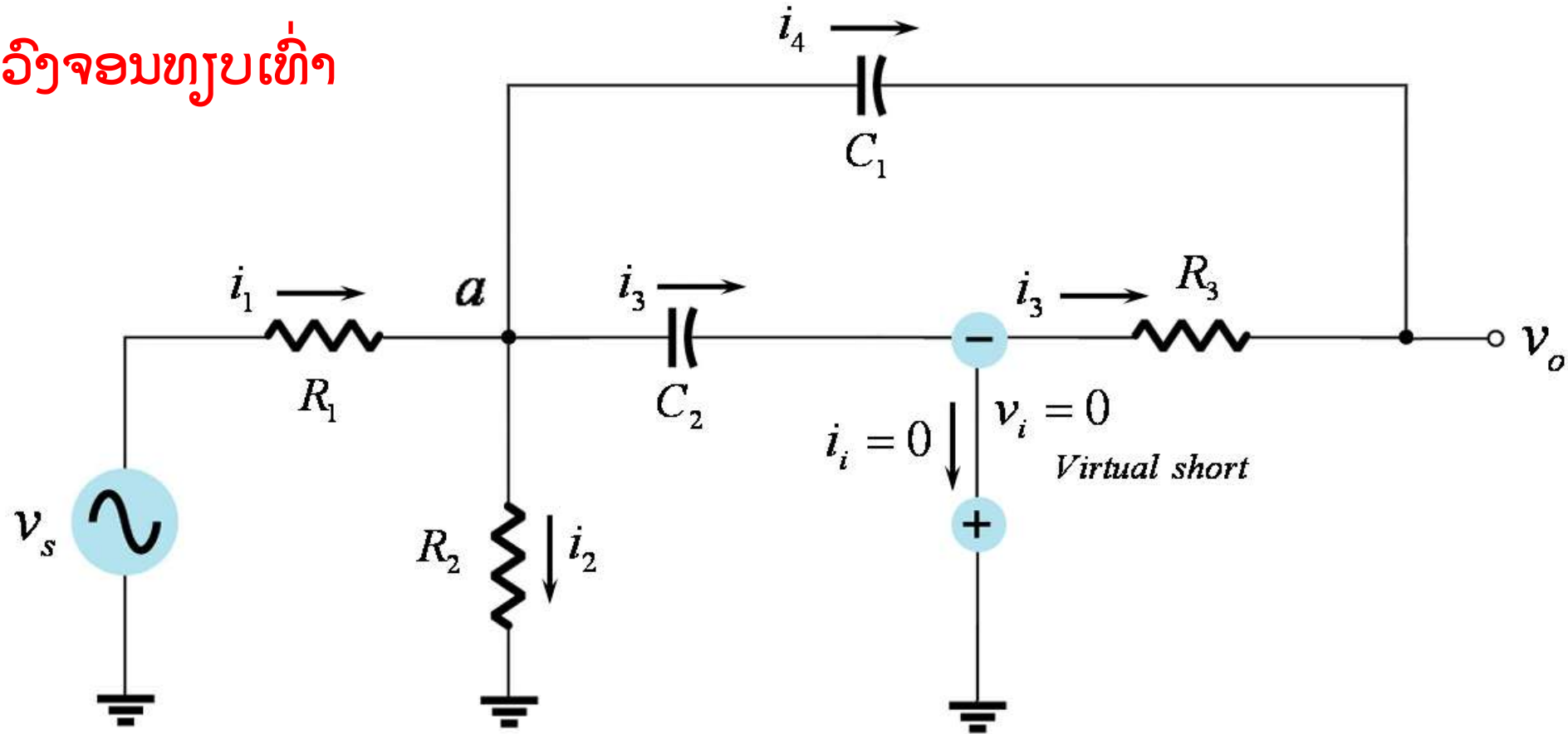


5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ



5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ

ວົງຈອນທຽບເທົ່າ



ເມື່ອ $C_1 = C_2 = C$ ແທນ x_C ໃນ s -domain ໄດ້ $x_C = \frac{1}{sC}$

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ

ການຫາຄ່າ i_1, i_2, i_3, i_4

$$i_3 = -\frac{v_o}{R_3}$$

$$v_a = v_{R_2} = v_{C_2} = i_3 \frac{1}{sC}$$

$$= -\frac{v_o}{R_3 sC}$$

$$i_2 = \frac{v_a}{R_2} = -\frac{v_o}{R_3 R_2 sC}$$

$$i_4 = \frac{v_a - v_o}{(1/sC)} = (v_a - v_o) sC$$

$$= \left(-\frac{v_o}{R_3 sC} - v_o \right) sC$$

$$= -\frac{v_o}{R_3} (1 + R_3 sC)$$

$$i_1 = \frac{v_s - v_a}{R_1} = \frac{v_s}{R_1} - \frac{v_a}{R_1}$$

$$= \frac{v_s}{R_1} + \frac{v_o}{R_1 R_3 sC}$$

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ : Transfer function

Standard Transfer function ban-pass filter

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{A_c (2\xi) \omega_c s}{s^2 + 2\xi \omega_c s + \omega_c^2} = \text{Transfer function}$$

ເມື່ອ ω_c ຄື ຄວາມຖີ່ກາງ

A_c ຄື ອັດຕາຂະຫຍາຍທີ່ຄວາມຖີ່ກາງ

ξ ຄື Damping factor

Q ຄື quality factor

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{1}{2\xi}$$

$Q < 10$ wide band

$Q \geq 10$ narrow band

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ : Transfer function

ການຫາຄ່າ ω_c , A_c , Q ແລະ BW

$$-\frac{1}{R_1 C} = A_c 2\xi \omega_c$$

$$\frac{1}{R_1 C} = 2\xi |A_c| \omega_c$$

$$R_1 = \frac{1}{2\xi |A_c| \omega_c C} = \frac{Q}{|A_c| \omega_c C}$$

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi |A_c| f_c C}$$

$$2\xi \omega_c = \frac{2}{R_3 C}$$

$$\omega_c = \frac{2}{2\xi R_3 C} = \frac{2Q}{R_3 C}$$

$$R_3 = \frac{2Q}{\omega_c C} = \frac{2Q}{2\pi f_c C}$$

$$= \frac{Q}{\pi f_c C}$$

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ : Transfer function

ການຫາຄ່າ ω_c , A_c , Q ແລະ BW

$$A_c 2\xi\omega_c = -\frac{1}{R_1 C}$$

$$A_c \frac{2}{R_3 C} = -\frac{1}{R_1 C}$$

$$A_c = -\frac{R_3 C}{2R_1 C}$$

$$= -\frac{R_3}{2R_1}$$

$$\omega_c^2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C^2}$$

$$\left(\frac{2Q}{R_3 C}\right)^2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C^2}$$

$$\left(\frac{2Q}{R_3 C}\right)^2 R_3 C^2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$\frac{4Q^2}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ : Transfer function

ການຫາຄ່າ ω_c , A_c , Q ແລະ BW

$$\frac{4Q^2}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{4Q^2}{R_3} - \frac{1}{R_1} = \frac{4Q^2 R_1 - R_3}{R_1 R_3}$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_3}{4Q^2 R_1 - R_3}$$

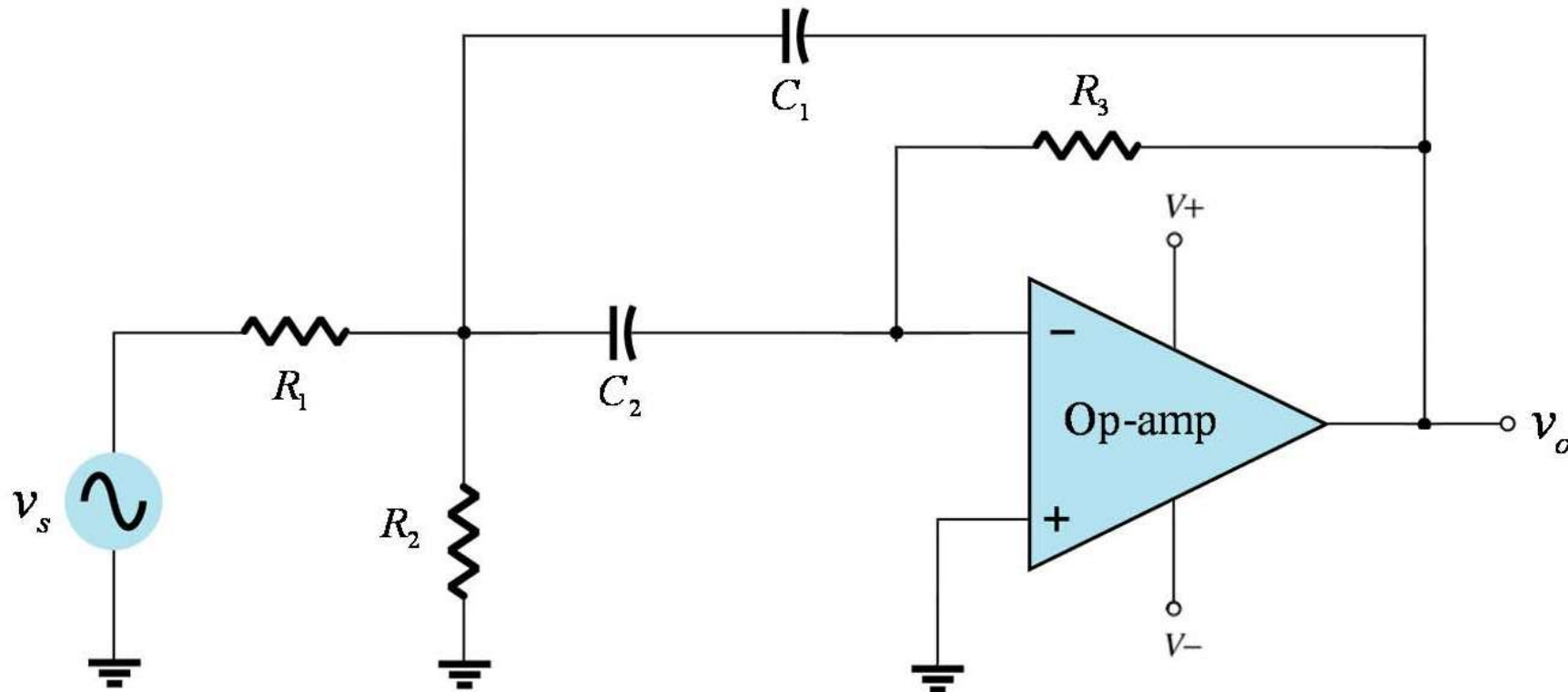
$$BW = \frac{\omega_c}{Q} = \frac{2Q}{R_3 C Q}$$

$$= \frac{2}{R_3 C} \quad (\text{rad / sec})$$

5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: ແບບຜ່ານແຖບ

- ຕົວຢ່າງ 5:5: ຈົ່ງອອກແບບວົງຈອນກອງແບບແອກທິບແບບຜ່ານແຖບ

ໂດຍມີ $f_c = 5 \text{ kHz}$, $A_c = 5$, $Q = 5$ ແລະ $C = 0.01 \mu\text{F}$



5.6 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຜ່ານແຖບ

- ຕົວຢ່າງ 5:5:

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi|A_c|f_c C} = \frac{5}{2\pi \times 5 \times 5\text{kHz} \times 0.01\mu\text{F}} = 3.18\text{k}\Omega \\ \cong 3.1\text{k}\Omega$$

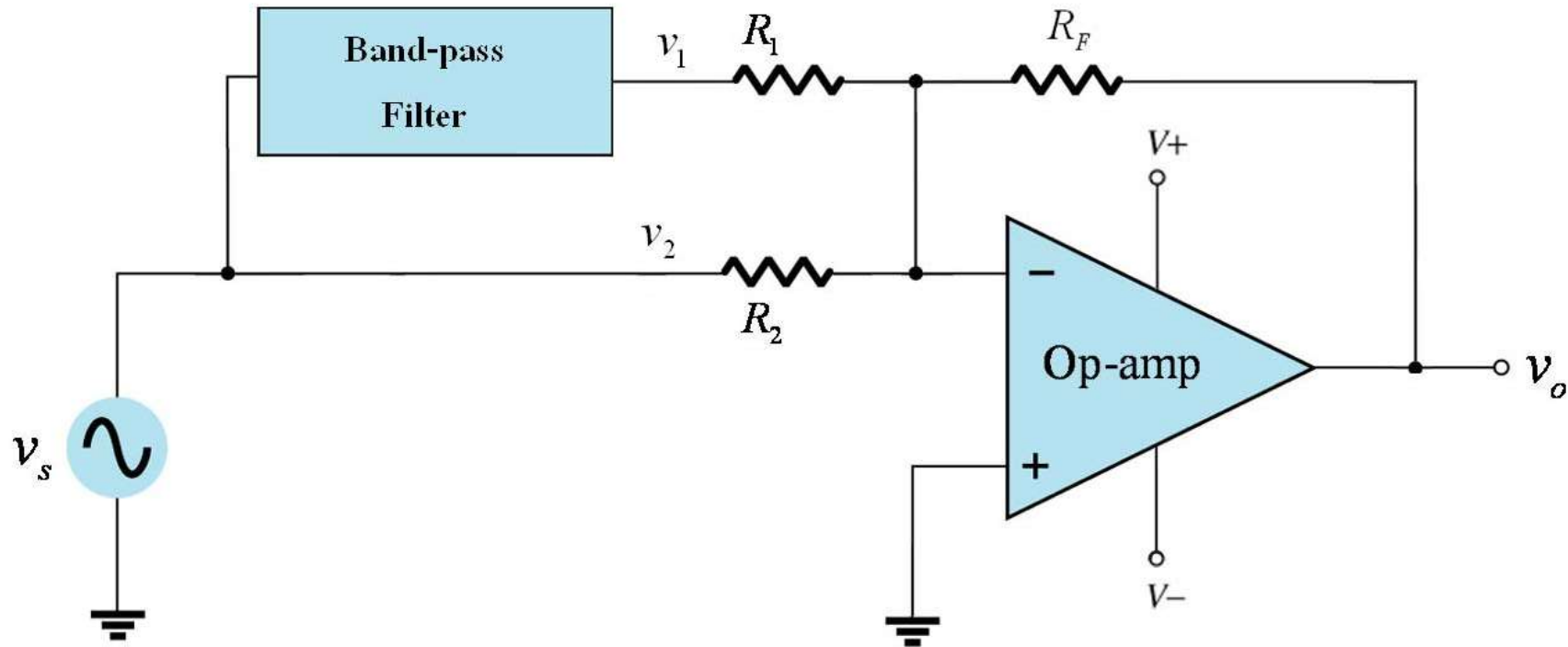
$$R_3 = \frac{Q}{\pi f_c C} = \frac{5}{\pi \times 5\text{kHz} \times 0.01\mu\text{F}} = 31.83\text{k}\Omega \\ \cong 32\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_3}{4Q^2 R_1 - R_3} = \frac{3.1\text{k}\Omega \times 32\text{k}\Omega}{(4 \times 25 \times 3.1\text{k}\Omega) - 32\text{k}\Omega} \\ = 356.8\Omega \cong 360\Omega$$

$$BW = \frac{f_c}{Q} = \frac{5\text{kHz}}{5} = 1\text{kHz}$$

5.7 ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບ: ແບບຈຳກັດແຖບ

- ວົງຈອນກອງແບບແອກທີບແບບ ຈຳກັດແຖບ (Band-stop Active Filter)



ເປັນວົງຈອນກອງທີ່ອາໄສວົງຈອນ Band-pass filter ນຳມາລວມ (Summing) ກັບສັນຍານອື່ນໝູ່ ແລ້ວປ້ອນເຂົ້າໃຫ້ວົງຈອນຂະຫຍາຍແບບປິ້ນເຟດ

5.7 ວົງຈອນກອງແບບແອກທິບ: ແບບຈຳກັດແຖບ

ແຮງດັນ v_1, v_2 ມີຄ່າເປັນ

$$v_1 = -A_c v_s (\text{band pass})$$

$$v_2 = v_s (\text{all pass})$$

ແຮງດັນ v_o ມີຄ່າເປັນ

$$v_o = -\left(v_1 \frac{R_F}{R_1} + v_2 \frac{R_F}{R_2} \right)$$

$$= -\left(-A_c v_s (\text{band pass}) \frac{R_F}{R_1} + v_s (\text{all pass}) \frac{R_F}{R_2} \right)$$

ເພື່ອໃຫ້ສັນຍານທີ່ອິນພຸດຂອງ
ວົງຈອນຂະຫຍາຍແບບປິ້ນເຟດ
ເທົ່າກັນທັງ v_1, v_2 ຕ້ອງເລືອກ
ຄ່າ R_1, R_2 ໃຫ້ເໝາະສົມ ໂດຍ
ພິຈາລະນາ A_c ຂອງ band
pass ດ້ວຍ ($R_1 \gg R_2$)

ຈົບບົດຮຽນທີ 5