

# **Filter Aktif**

Filter → sebuah rangkaian yang dirancang untuk dapat melewatkan Sinyal-sinyal dengan frekuensi dalam band tertentu dan meredam semua sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi diluar band tersebut.

Berdasarkan tipe elemen yang digunakan dibedakan menjadi :

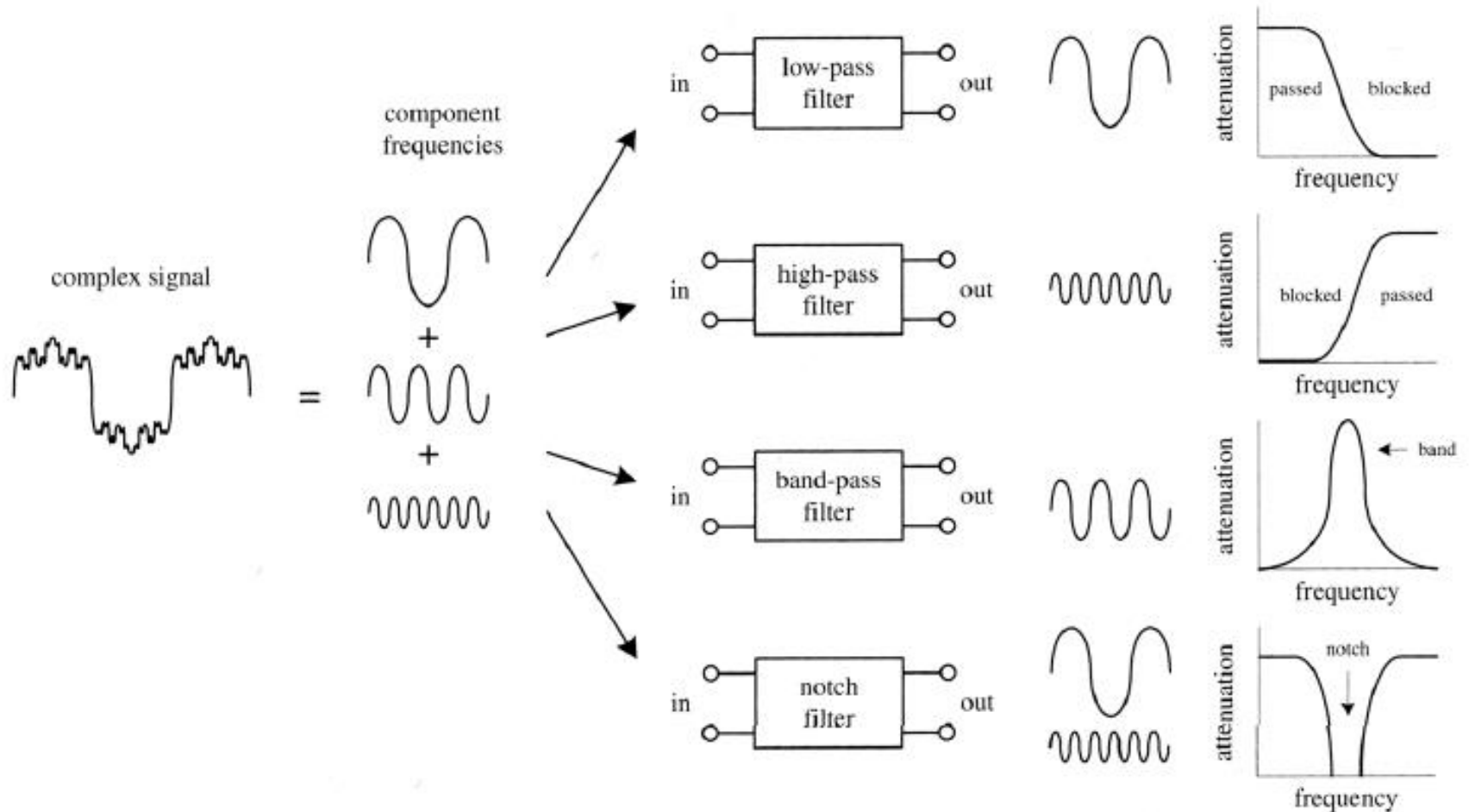
1. Filter pasif → Tahanan, kapasitor dan Induktor  
contoh : filter LC, RC
2. Filter aktif → Transistor atau op-amp sebagai elemen aktifnya,  
Tahanan dan kapasitor sebagai elemen pasifnya

Keuntungan Filter aktif dibandingkan filter pasif yaitu :

1. Penguatan dan frekuensinya mudah diatur
2. Tidak ada masalah beban → karena tahanan input tinggi dan tahanan output rendah. Filter aktif tidak membebani sumber input.
3. Harga, umumnya filter aktif lebih ekonomis dari pada filter pasif, karena pemilihan variasi dari op-amp yang murah dan tanpa induktor yang biasanya harganya mahal.

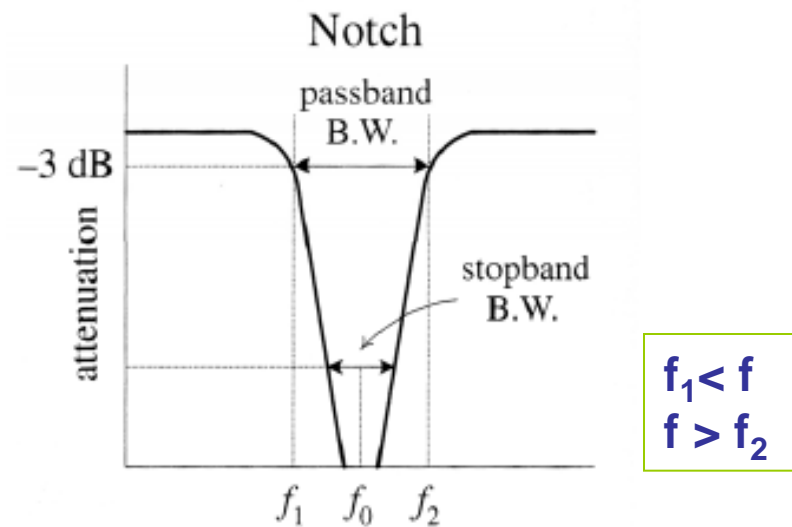
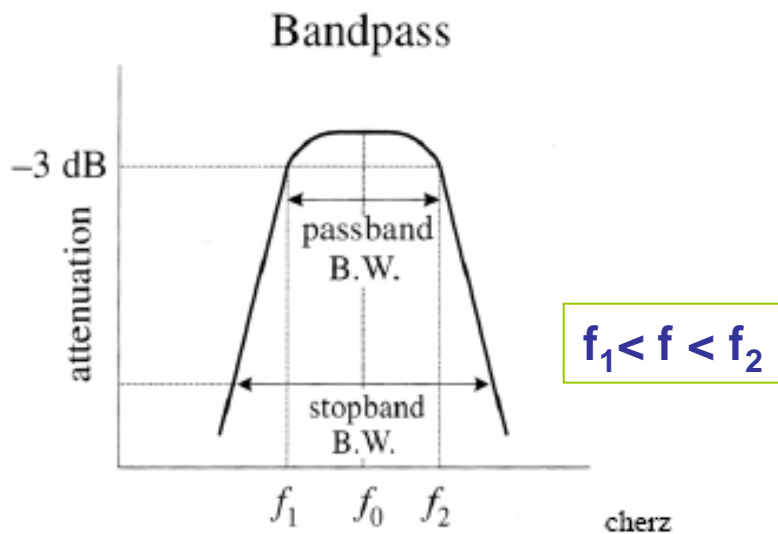
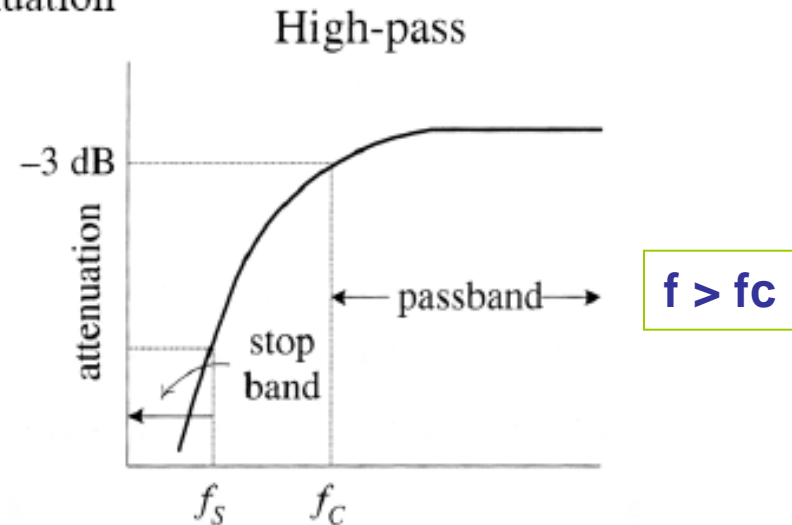
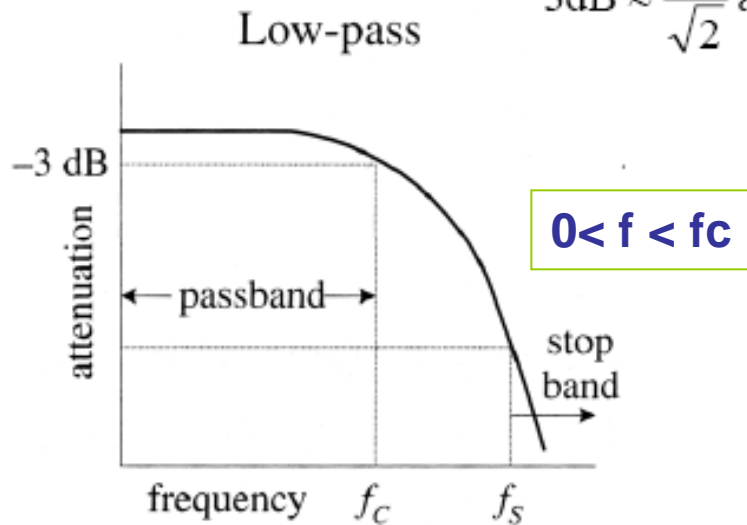
Filter aktif digolongkan menjadi :

1. Low Pass Filter (LPF)
2. High Pass Filter (HPF)
3. Band Pass Filter (BPF) → HPF diseri dengan LPF
4. Band Eliminated Filter (BEF) / Band Reject Filter (Notch) → HPF dipararel dengan LPF



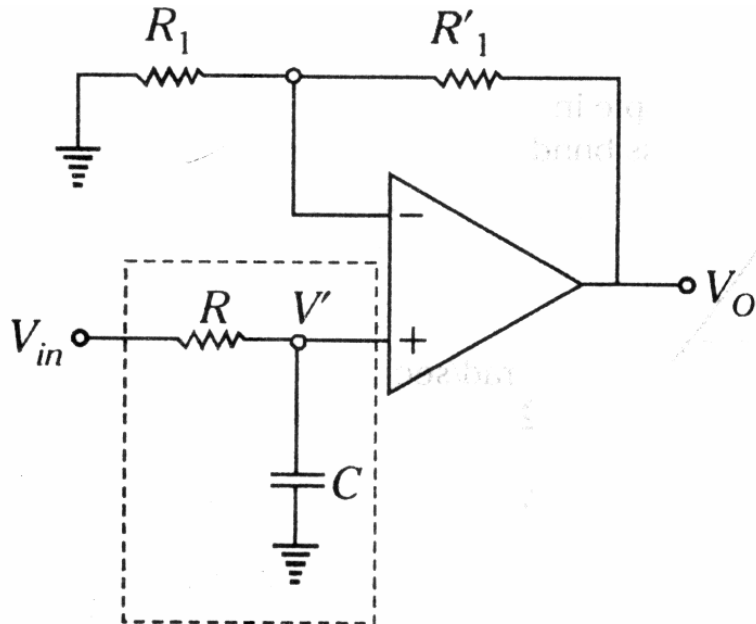
# Dasar Filter

$$3\text{dB} \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ attenuation}$$

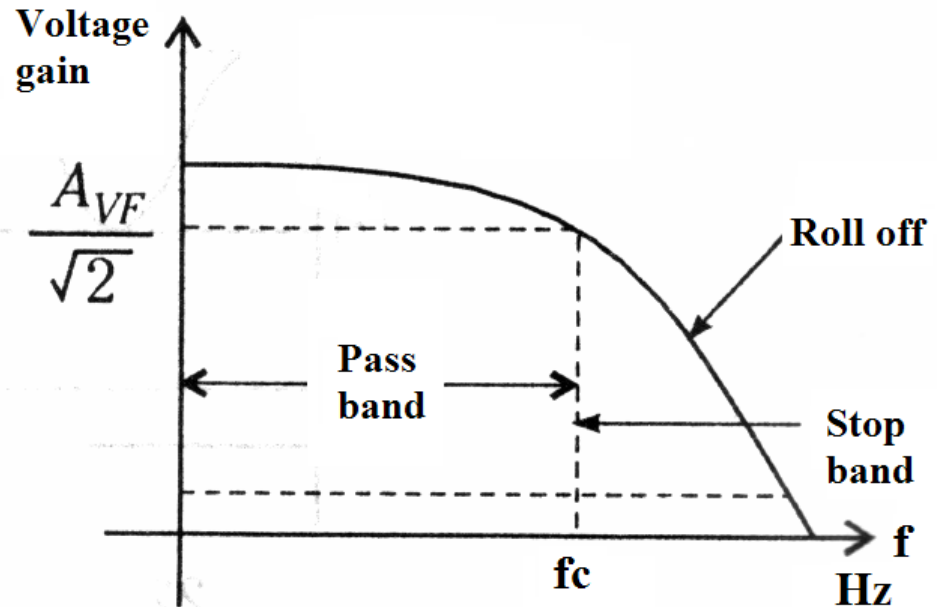


$f_c$  = frekuensi cut off = frekuensi dimana attenuation turun 3 dB

# LPF ORDE 1 - TIPE BUTTERWORTH



**LPF Orde 1**



**Respon Frekuensi**

- RC digunakan sebagai filter
- $R_1$  &  $R'_1$  digunakan untuk mengatur gain
- OP-AMP dikonfigurasi dalam rangkaian non-inverting

Tegangan output :

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_1'}{R_1} = \frac{V_0}{V^1}$$

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_1'}{R_1}\right) V^1 \quad \text{-----} \quad (1)$$

Tegangan pada non-inverting

$$V^1 = \frac{\frac{1}{jX_C}}{R + \frac{1}{jX_C}} V_{in} = \frac{\frac{1}{j2\pi fC}}{R + \frac{1}{j2\pi fC}} V_{in} = \frac{1}{1 + j2\pi fCR} V_{in} \quad \text{-----} \quad (2)$$

Sub (2) — (1)

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_1'}{R_1}\right) \frac{V_{in}}{1 + j2\pi fCR} \quad \longrightarrow \quad V_0 = \left(1 + \frac{R_1'}{R_1}\right) \frac{V_{in}}{1 + j(f/f_c)}$$

$$\left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = \frac{A_{VF}}{1 + j2\pi fCR} \quad \longrightarrow \quad \left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = \frac{A_{VF}}{1 + j(f/f_c)}$$

Dengan :  $\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right|$  = penguatan filter fungsi frekuensi

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_1'}{R_1} = \text{penguatan pass band dari filter}$$

$f$  = frekuensi sinyal input

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \text{cut off frekuensi tinggi dari filter}$$

Sudut fasa yang terjadi pada Low Pass Filter ini adalah :

$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f / f_H)^2}}$$

sehingga sudutnya adalah

$$\Phi = -\tan^{-1}\left(\frac{f}{f_H}\right)$$

Pengoprasian dari Low Pass Filter ini ada 3 macam yaitu :

1. Pada frekuensi yang sangat rendah yaitu :  $f < f_H$ ,

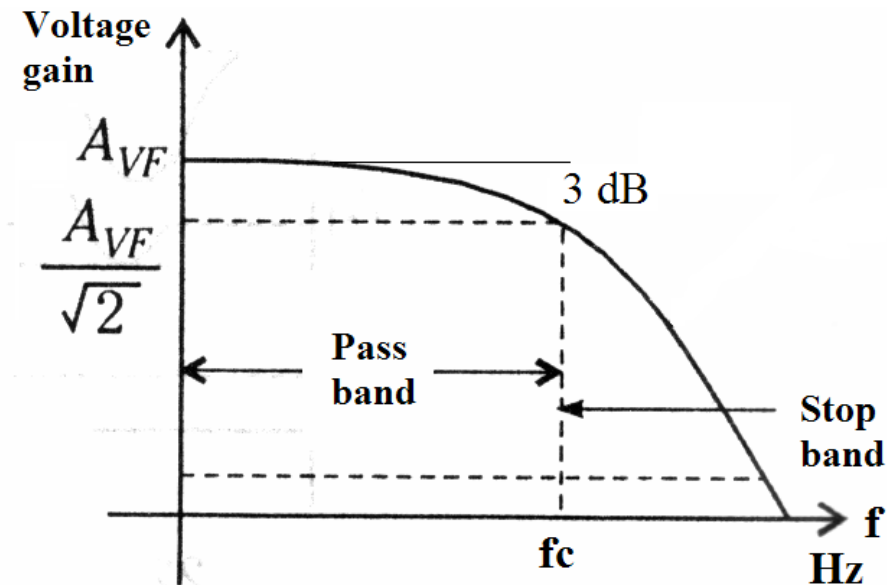
$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| \cong A_F$$

2. Pada  $f = f_H = f_c$ ,

$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{2}} = 0.707 A_F$$

3. Pada  $f > f_H$ ,

$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| < A_F$$



### Jadi LPF

- konstans dari input 0 Hz sampai frekuensi tinggi cut off  $f_c$  .
- Pada  $f_c$  penguatannya menjadi  $0.707 A_{vf}$
- setelah melewati  $f_c$  maka akan menurun sampai konstan dengan seiring penambahan frekuensi



## Perancangan LPF

1. Tentukan frekuensi cut off tigginya ( $f_c$ )
2. Pilih nilai kapasitor C, sama dengan atau lebih kecil dari  $1\mu\text{F}$
3. Hitung nilai resistor menurut persamaan

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

4. Pilih nilai  $R_1$  dan  $R_1'$  tergantung pada besar passband gain  $A_{vf}$  yang diinginkan

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_1'}{R_1}$$

Catatan : Pada orde 1  $\rightarrow$  Frekuensi naik 1 decade maka penguatan tegangan dibagi 10. Dengan kata lain, penguatan turun 20 dB ( $=20 \log 10$ ) setiap kenaikan frekuensi dikali 10

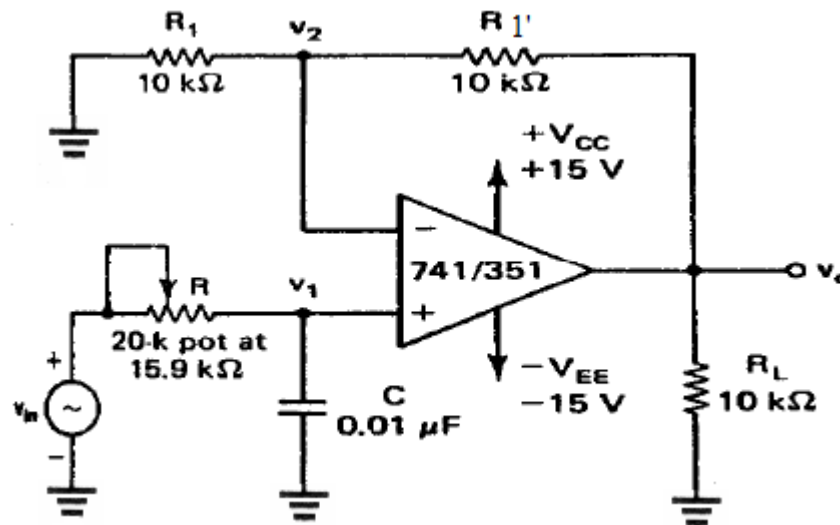
**Contoh soal :**

**Rancanglah LPF dengan cut off 1KHz dan penguatan passband = 2**

**Penyelesaian :**

**Langkah :**

1.  $f_c = 1 \text{ KHz}$
2. Misal  $C = 0.01 \mu\text{F}$
3. Maka  $R = 1/(2\pi)(10^3)(10^{-8}) = 15,9 \text{ K}$  (menggunakan potensio 20K)
4. Karena  $A_{vf} = 2$ , maka  $R_1$  dan  $R_1'$  harus sama, maka  $R_1 = R_1' = 10\text{K}$
5. Gambar rangkaian adalah sebagai berikut :



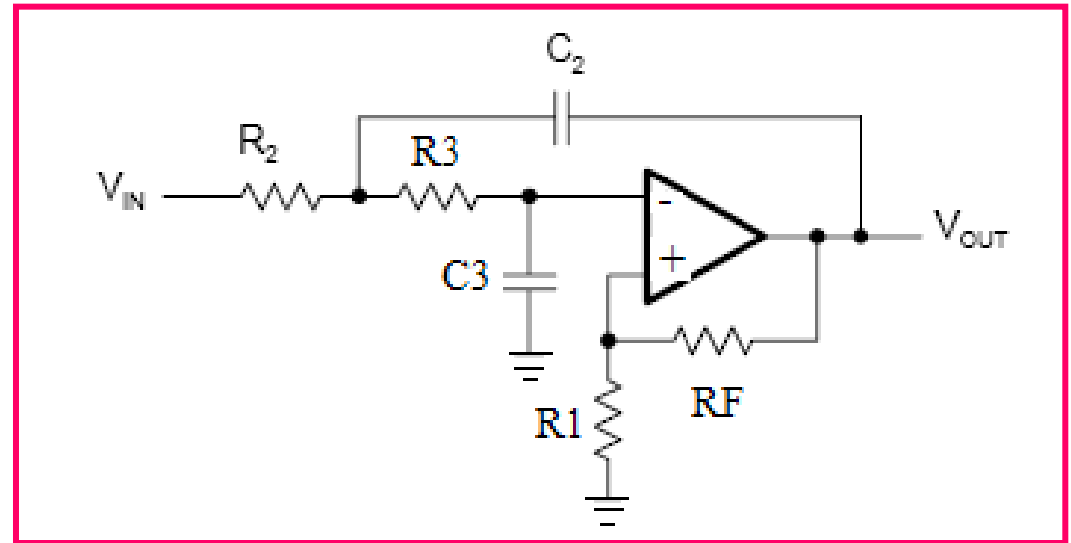
# LPF ORDE 2 - TIPE BUTTERWORTH

- Rangkaian LPF orde 2 memberikan slope  $-40$  dB/dekade (lebih baik responnya).
- LPF orde 2 dapat dibangun dari orde 1 dengan menambahkan 2 komponen pasif R dan C
- Frekuensi cut off ditentukan oleh nilai komponen  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_2$  dan  $C_3$  sbb:

$$f_H = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2 R_3 C_2 C_3}}$$

- Gain LPF ditentukan dari

$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{1 + (f / f_H)^4}}$$



$A_F = 1.586$  (ketentuan Butterworth untuk order kedua)

## Perancangan LPF orde 2

1. Tentukan frekuensi cut off tigginya ( $f_c$ )
2. Untuk rancangan sederhana atur  $R_2=R_3=R$  dan nilai  $C_2=C_3=C \leq 1\mu F$
3. Hitung nilai resistor menurut persamaan

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

4. Karena dipilih  $R_2=R_3$  dan nilai  $C_2=C_3$  maka passband gain sebesar 1,568

Atur  $R_f=0,586 R_1$  dan plih harga  $R_1 \leq 100K\Omega$  lalu hitung  $R_f$

Contoh soal :

Rancanglah LPF dengan order kedua (-40dB) dengan  $f_c = 1$  KHz. Dan gambarkan rangkaiannya

Penyelesaian :

Langkah langkah :

1.  $f_c = 1$  KHz

2. Misal  $C_2 = C_3 = 0.0047 \mu F$

3. Nilai  $R_2 = R_3 = \frac{1}{(2\pi)(10^3)(47)(10^{-10})} = 33.86 K$  , digunakan  $33 K\Omega$

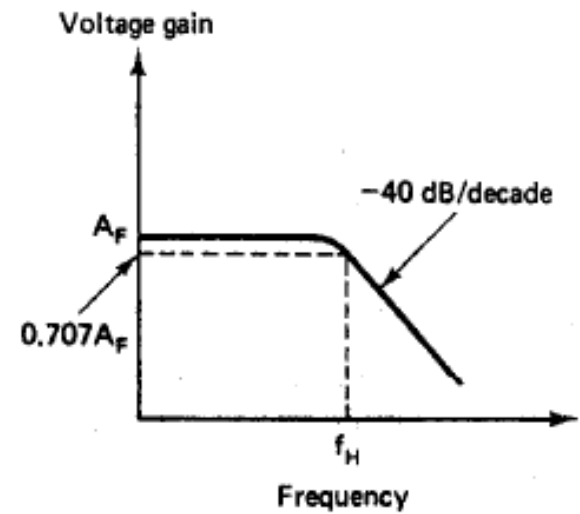
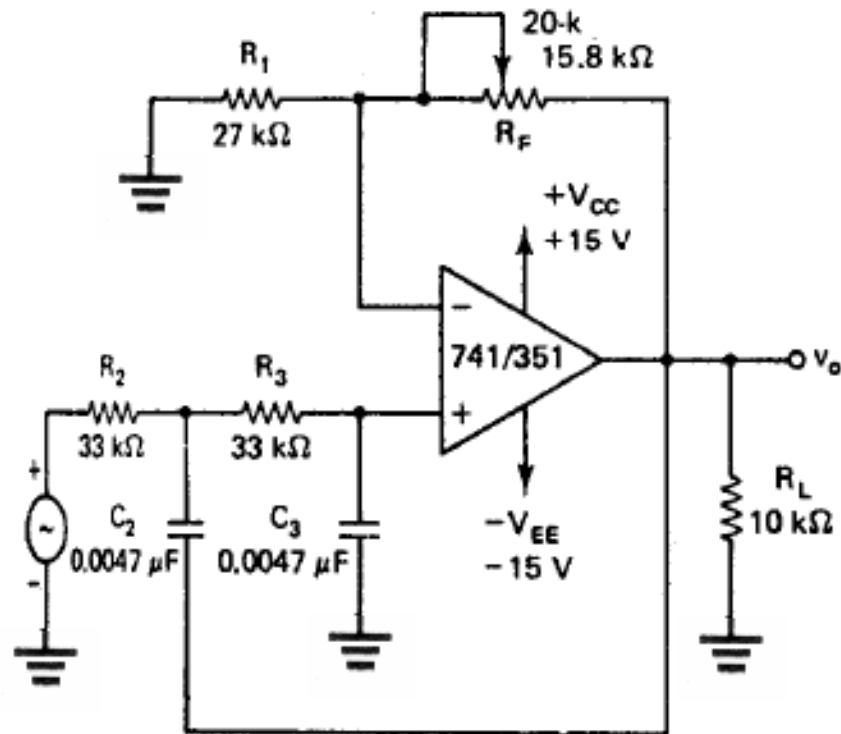
1. Menurut responsi teori **Butterworth** , bahwa **AF = 1,586** untuk order kedua, maka nilai  $R_F$  dan  $R_1$  adalah :

Misal  $R_1 = 27 K$ , maka

$R_F$  dipasang potensiometer sebesar  $20 K$ .

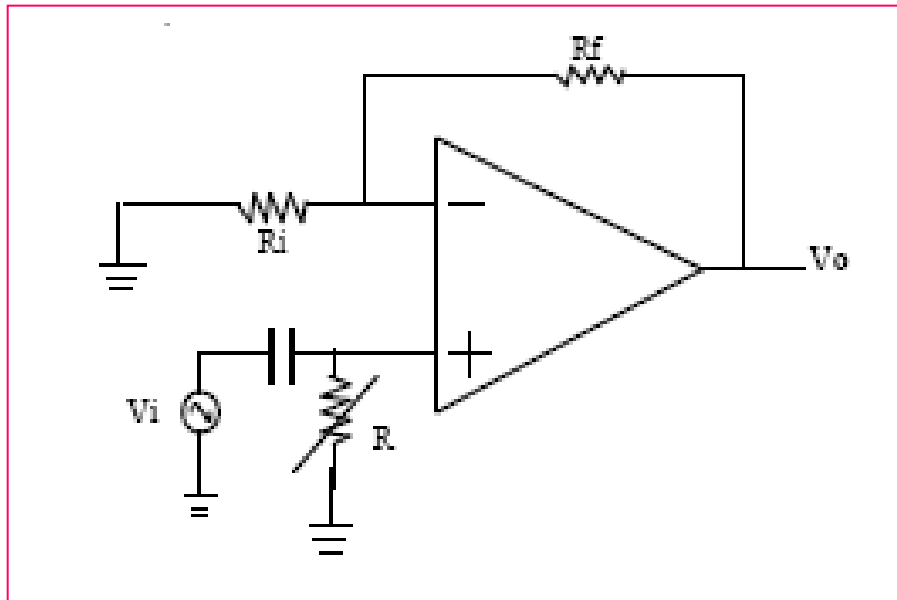
$$\left(1 + \frac{R_F}{27 K\Omega}\right) = 1.586 \text{ sehingga } R_F \text{ menjadi } R_F = (0.586)(27 K) = 15,82 K$$

5. Rangkaian LPF yang dimaksud adalah



# HPF ORDE 1 - TIPE BUTTERWORTH

- Rangkaian HPF dibentuk dengan menukar tempat tahanan dan kapasitor pada LPF orde 1
- Rangkaian HPF orde 1 memberikan slope  $-20$  dB/dekade



## Tegangan output HPF

$$v_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \frac{j2\pi fRC}{1 + j2\pi fRC} v_{in} \quad \text{atau} \quad \frac{v_o}{v_i} = A_F \left[ \frac{j(f/f_L)}{1 + j(f/f_L)} \right]$$

dimana  $A_F = 1 + \frac{R_F}{R_1}$  dan  $f_L = \frac{1}{2\pi RC}$

Penguatan tegangan absolut

$$\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{A_F (f/f_L)}{\sqrt{1 + (f/f_L)^2}}$$

$f_L$  = frekuensi cut off rendah

- Langkah-langkah perancangan LPF orde 1 dapat diterapkan untuk HPF orde 1



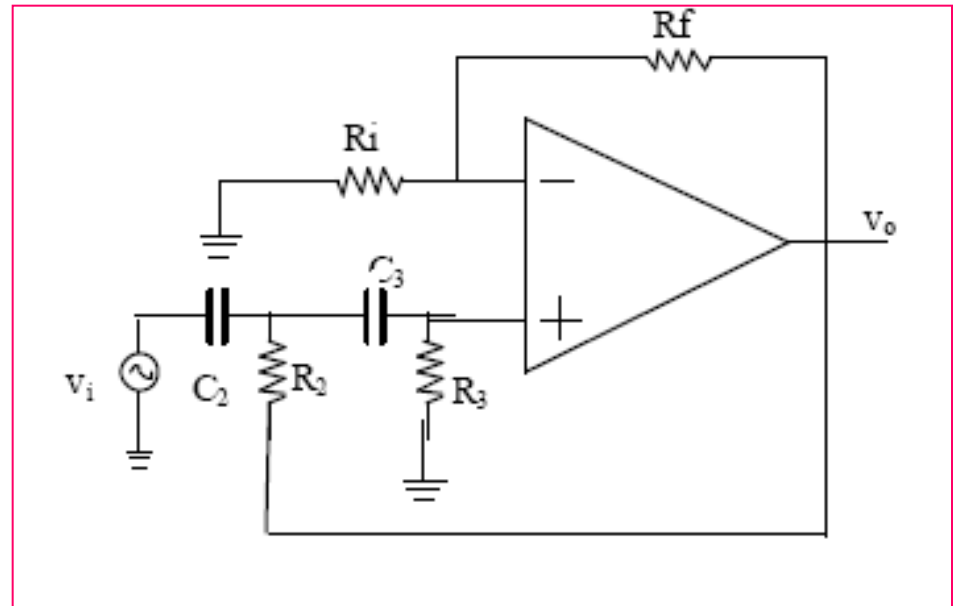
## HPF ORDE 2

- Seperti halnya pada LPF order kedua, HPF order kedua ini cirinya sama, maka persamaanyang terjadi adalah :

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2R_3C_2C_3}}$$

- Persamaan untuk penguatan tegangan absolut adalah :

$$\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = \frac{A_F}{\sqrt{1 + (f_L / f)^4}}$$



**Catatan :**

- **Untuk mendapatkan order dalam filter yang lebih tinggi didapat dari seri dari order satu dengan order dua yang menghasilkan order ketiga.**
- **Sedangkan order dua diseri dengan order dua, maka menghasilkan filter dengan order keempat**

# Band Pass Filter

Ada 2 macam rangkaian yaitu BPF bidang lebar dan BPF bidang sempit. Untuk membedakan kedua rangkaian ini adalah dilihat dari nilai **figure of merit (FOM)** atau **Faktor kualitas (Q)**

Bila  $Q < 10$ , maka digolongkan BPF bidang lebar.

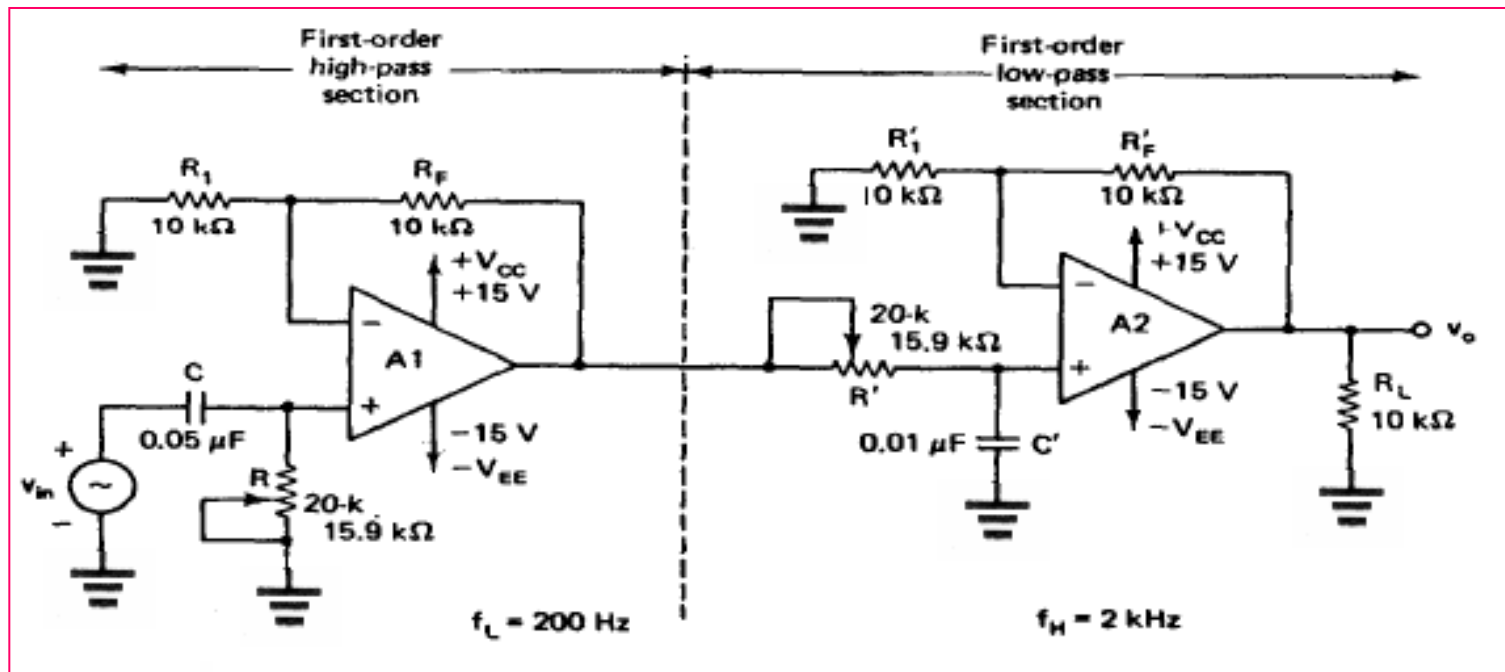
Bila  $Q > 10$ , maka digolongkan BPF bidang sempit

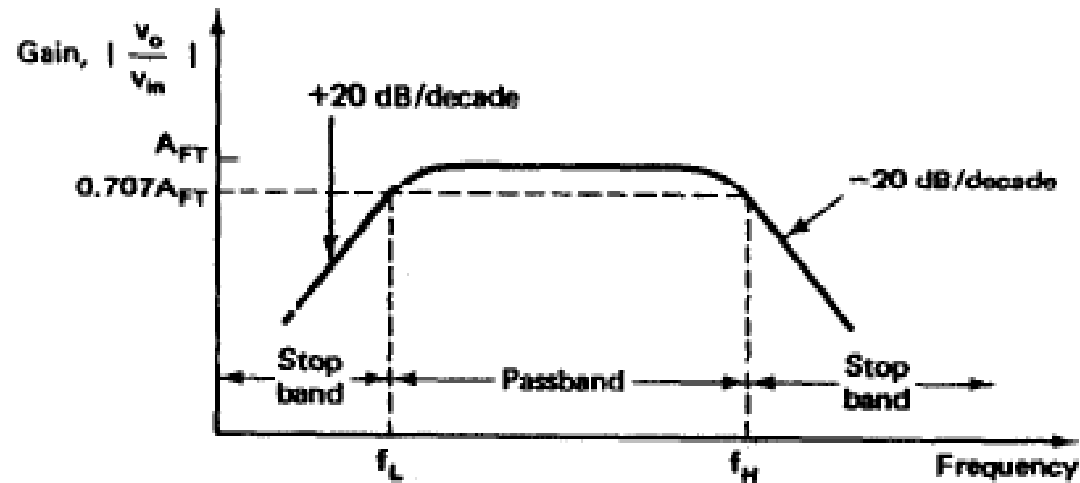
Perhitungan faktor kualitas (Q) adalah  $Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{f_c}{f_H - f_L}$

sedangkan  $f_c = \sqrt{f_H f_L}$

# 1. Band Pass Filter Bidang lebar

- Syarat BPF bidang lebar adalah  $Q < 10$ , biasanya didapat dari 2 rangkaian filter HPF dan LPF yang saling di seri dengan urutan tertentu dan frekuensi cut off harus tertentu. Misalnya urutan seri adalah HPF disusul LPF, dan  $f_L$  dari HPF harus lebih kecil dari  $f_H$  dari LPF
- Contoh:





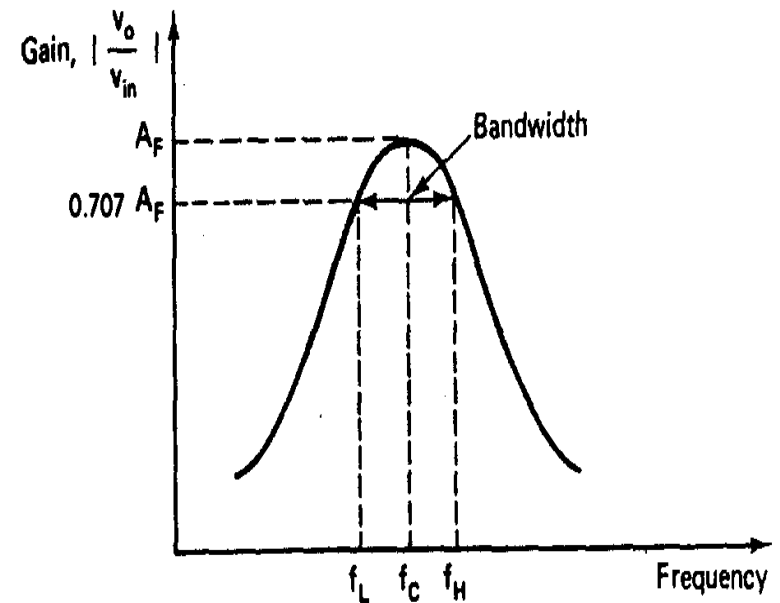
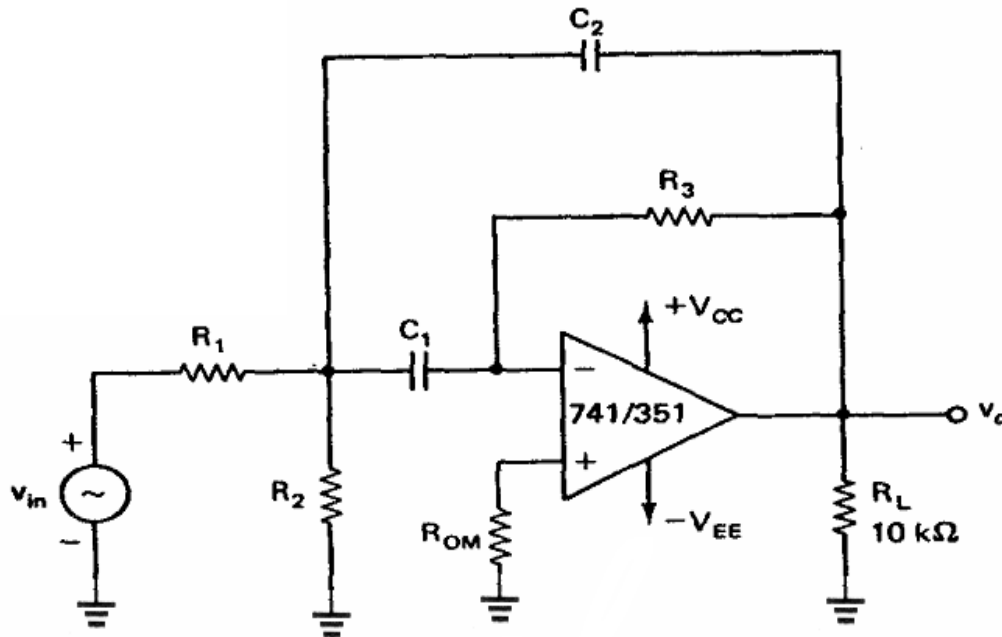
Nilai penguatan tegangan absolutnya adalah :

$$\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{A_{FT} (f / f_L)}{\sqrt{[1 + (f / f_L)^2] [1 + (f / f_H)^2]}}$$

$A_{FT}$  = total passband gain

## 2. Band Pass Filter Bidang sempit

- Syarat BPF bidang sempit adalah  $Q > 10$ .
- Rangkaian ini sering disebut multiplefeedback filter karena satu rangkaian menghasilkan 2 batasan  $f_L$  dan  $f_H$ .



Perhitungan dari rangkain diatas adalah :

Dipilih  $C_1 = C_2 = C$

Hubungan nilai tahanannya adalah :

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

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi f_c C (2Q^2 - A_F)}$$

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

dimana nilai  $A_F$  saat pada  $f_c$  adalah  $A_f = \frac{R_3}{2R_1} < 2Q^2$

Perlu diingat bahwa  $Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{f_c}{f_H - f_L}$  dan  $f_c = \sqrt{f_H f_L}$

Ada keuntungan rangkaian ini adalah bila ingin mengganti frekuensi centernya  $f_c$ , maka tinggal mengganti nilai  $R_2$  saja. Nilai yang baru adalah  $R_2'$

$$R_2' = R_2 \left( \frac{f_c}{f_c'} \right)^2$$

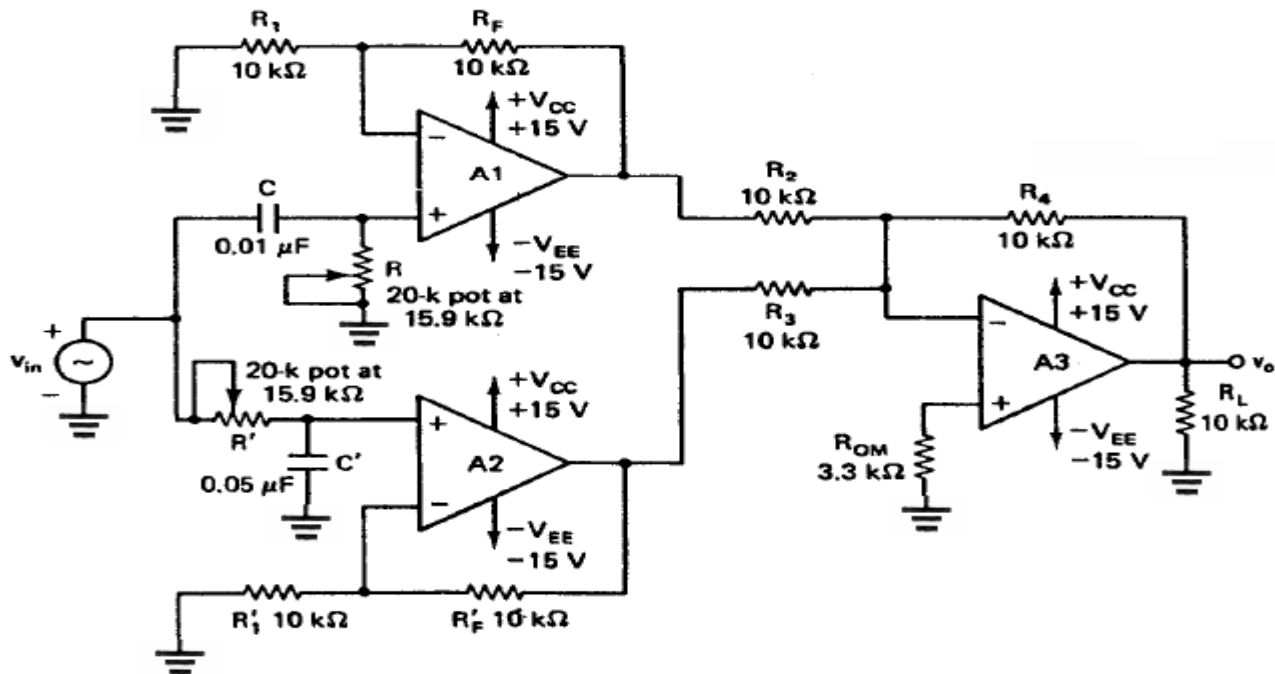
# Band Reject Filter

Rangkaian Band Reject Filter ada 2 macam yaitu

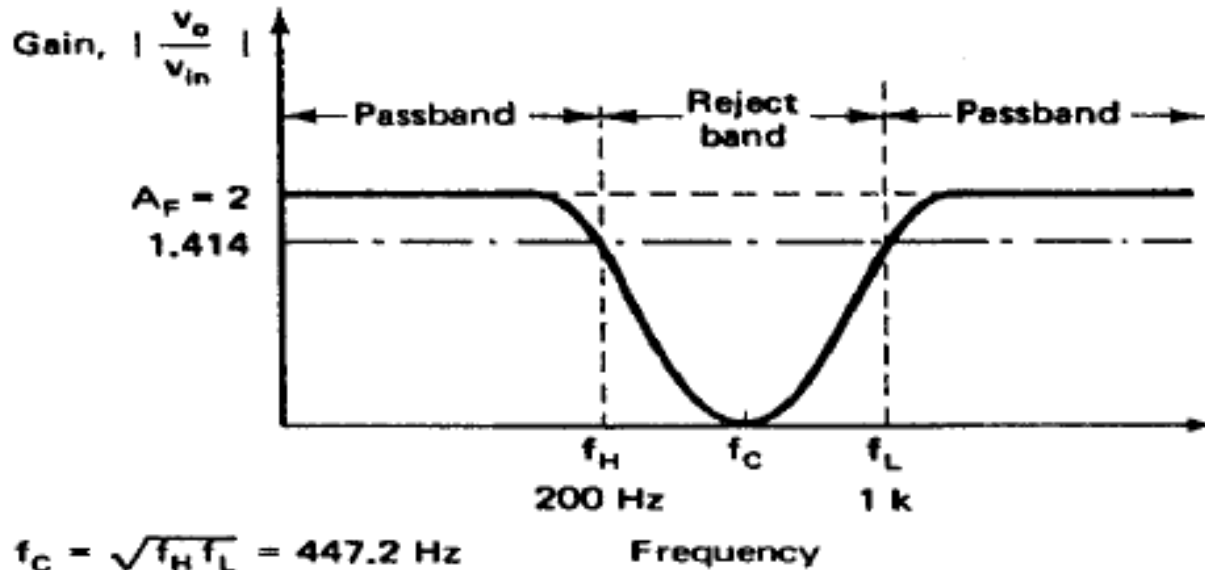
- BRF bidang lebar
- BRF bidang sempit

## 1. Band Reject Filter bidang lebar

- BRF bidang lebar adalah terdiri dari rangkaian HPF dan LPF yang dimasukkan ke rangkaian penjumlah







Rumus rumus untuk LPF dan HPF serta rangkaian penjumlah berlaku untuk menentukan nilai nilai komponen atau elemen pasif yang digunakan untuk rangkaian band reject filter bidang lebar ini.

## 2. Band Reject Filter bidang sempit

- Nama band reject filter bidang sempit ini sering dikenal dengan nama Aktif Notch Filter.
- Rangkaian menggunakan model twin-T circuit
- Rumus untuk rangkaian ini adalah :

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

