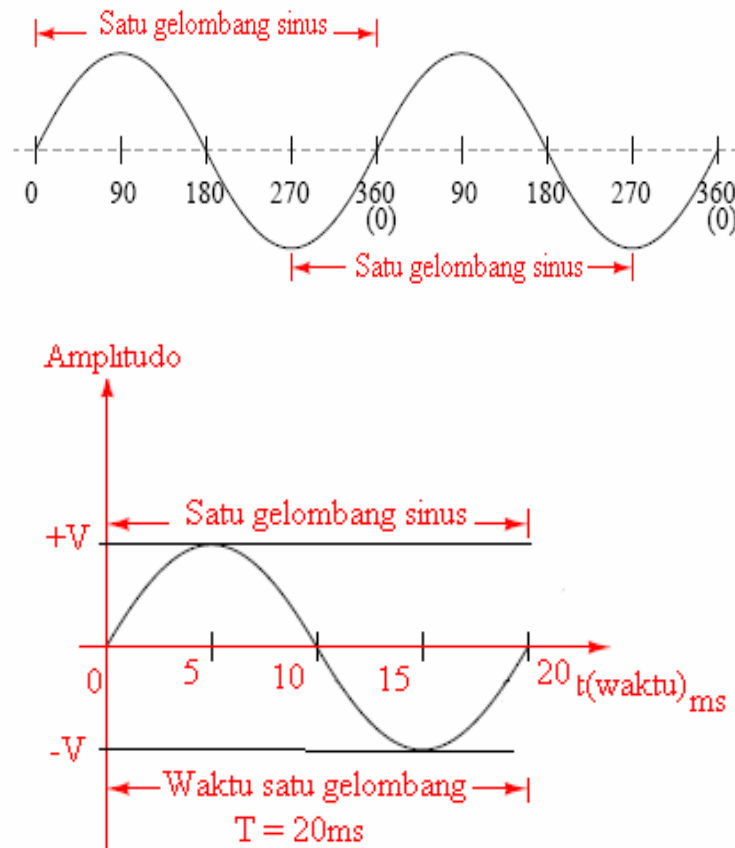


Filter Frekuensi

Dalam kehidupan kita sehari-hari kita banyak menjumpai filter, filter dari kata itu sendiri adalah penyaring. Filter sendiri bermacam-macam, ada filter udara untuk menyaring udara kotor agar menjadi bersih, filter/saringan kopi dan teh untuk menyaring ampas kopi atau teh, dan lain sebagainya. Kesemuanya diatas bertujuan satu yaitu menyaring sesuatu agar mendapatkan apa yang kita inginkan. Di elektronik kita pun mengenal filter. Filter disini adalah filter frekuensi, dari namanya terlihat bahwa filter ini akan menyaring frekuensi. Frekuensi yang ada kita saring sehingga hanya mendapatkan frekuensi yang kita inginkan. Alat-alat listrik di sekitar kita membutuhkan sumber tegangan agar dapat bekerja, sumber tegangan sendiri dibagi menjadi dua yaitu sumber AC(Alternating Current) atau Arus Bolak-Balik dan sumber DC(Direct Current) atau Arus Searah. Frekuensi pada sumber tegangan DC adalah nol(0), sedangkan pada sumber AC terdapat frekuensi yang berbeda-beda tergantung dari sumbernya. Sumber listrik di rumah kita adalah AC, dengan tegangan 220V dan frekuensi 50Hz. Sinyal AC berbentuk gelombang sinusoidal, dimana untuk menempuh satu gelombang sinyal dibutuhkan waktu tertentu. Banyaknya gelombang dalam satu detik itulah yang dinamakan frekuensi. Untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah.



Pada gambar diatas untuk menempuh satu gelombang sinus dibutuhkan waktu 20ms(0.02s) maka untuk mencari frekuensi sinyal diatas digunakan rumus

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20} = 50Hz$$

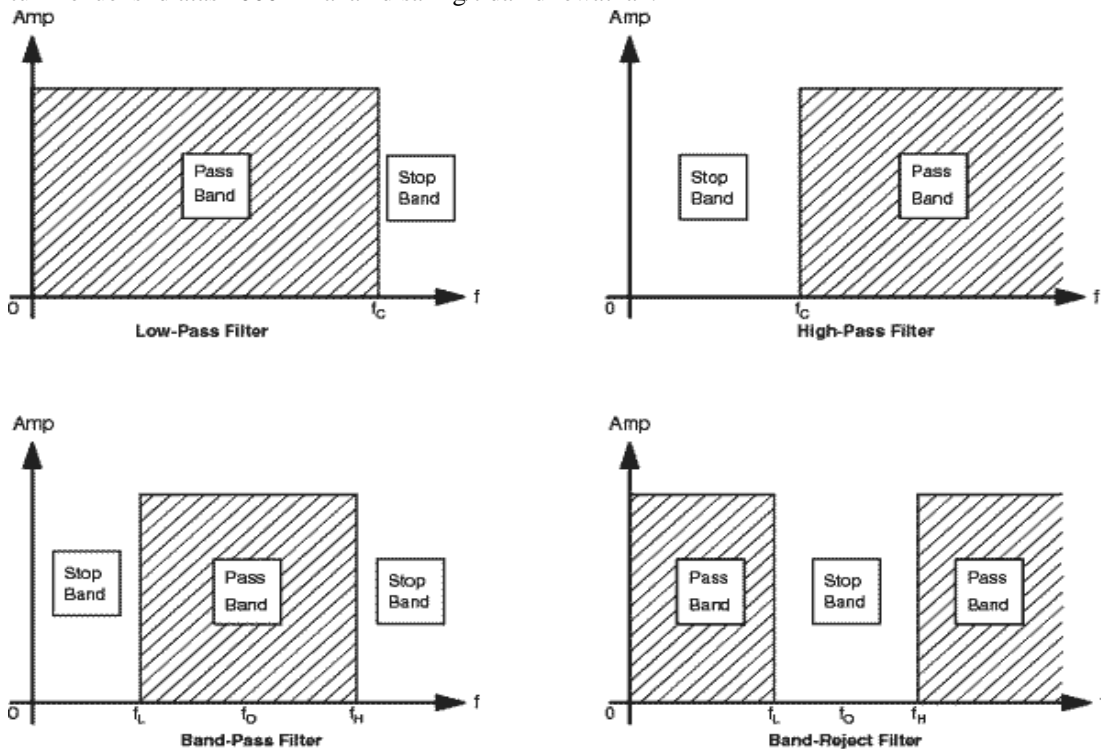
Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa sinyal sinus diatas mempunyai frekuensi 50 Hz, untuk mencari waktu yang dibutuhkan untuk satu gelombang kita hanya membalik rumus diatas menjadi

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02s = 20ms$$

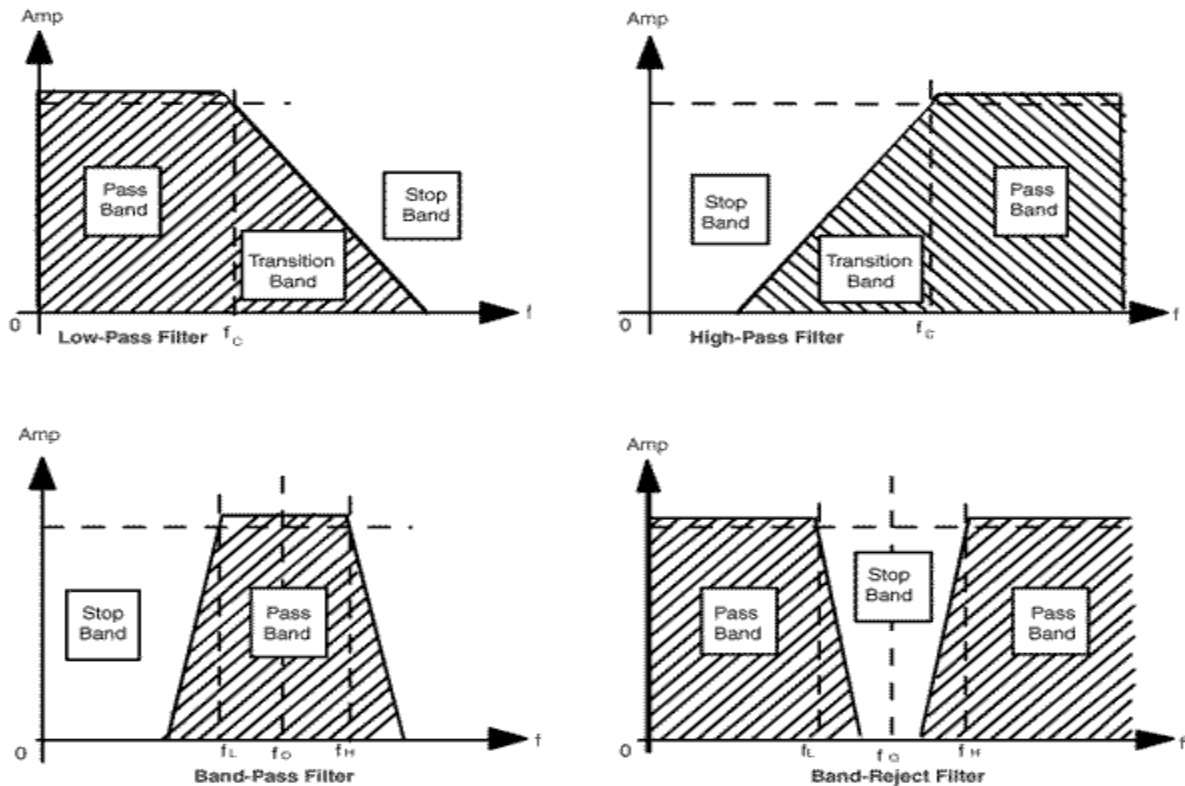
Filter frekuensi sendiri dibagi menjadi dua, yaitu filter aktif dan filter pasif. Filter aktif disini adalah rangkaian filter dengan menggunakan komponen-komponen elektronik pasif dan aktif seperti operational amplifier(OP-AMP), transistor, dan komponen lainnya. Filter pasif adalah rangkaian filter yang menggunakan komponen-komponen pasif saja, dimana komponen pasif itu adalah resistor, kapasitor dan induktor. Perbedaan dari komponen aktif dan pasif adalah pada komponen aktif dibutuhkan sumber agar dapat bekerja (op-amp dan transistor membutuhkan sumber lagi agar dapat bekerja/digunakan), sedangkan komponen pasif tidak membutuhkan sumber lagi untuk digunakan/bekerja.

Beberapa keuntungan dan kerugian dari filter aktif dan pasif ialah pada filter aktif dapat mengolah sinyal dengan amplitudo yang kecil, dapat diatur penguatan outputnya(diperkuat atau diperlemah), kualitas/respon yang lebih baik dari filter pasif, mempunyai impedansi input yang tinggi dan impedansi output yang rendah(system yang baik impedansi input tinggi dan impedansi output rendah), sedangkan kerugiannya adalah pada komponen dihasilkan panas, perlu sumber agar dapat bekerja, terdapatnya pembatasan frekuensi dari komponen yang digunakan sehingga pengaplikasian untuk frekuensi tinggi terbatas. Pada filter pasif keuntungan adalah tidak membutuhkan sumber untuk bekerja, tidak menghasilkan panas, tidak begitu banyak noise(sinyal gangguan yang tidak diinginkan) karena tidak adanya penguatan, karena tidak adanya pembatasan frekuensi maka pada filter pasif dapat diaplikasikan pada frekuensi tinggi sedangkan kerugiannya adalah tidak dapat menguatkan sinyal, sulit untuk merancang filter yang kualitasnya/responnya baik, impedansi input dan output tidak tentu dan berbeda-beda, sehingga kurang baik dalam aplikasi.

Pada kesempatan kali ini saya akan membahas tentang filter pasif, terdapat beberapa filter frekuensi yaitu LPF(Low Pass Filter) yaitu filter yang hanya melewatkan frekuensi rendah, HPF(High Pass Filter) yaitu filter yang hanya melewatkan frekuensi tinggi, BSF(Band Stop Filter) atau terkadang disebut Band Reject Filter(BRF) yaitu filter yang memilih frekuensi tertentu untuk tidak dilewatkan dan melewatkan frekuensi lain, BPF(Band Pass Filter) yaitu filter yang melewatkan frekuensi tertentu dan tidak melewatkan frekuensi lain(kebalikan dari BSF), APF(All Pass Filter) yaitu filter yang melewatkan semua frekuensi, fungsi filter ini hanya merubah fase dari input. Yang akan saya bahas disini adalah LPF, HPF, BSF dan BPF. Pada filter ada yang disebut frekuensi cut off, dimana frekuensi ini adalah frekuensi yang menjadi batas untuk melewatkan atau menghalangi sinyal masukan yang mempunyai frekuensi yang lebih tinggi maupun frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cutoff. Contoh pada LPF jika diketahui bahwa frekuensi cut off adalah 1000Hz maka filter ini hanya melewatkan frekuensi dari 0 Hz hingga 1000 Hz, untuk frekuensi diatas 1000 Hz akan disaring/tidak dilewatkan.



Gambar diatas adalah respon untuk filter ideal (lewat dari frekuensi cut off sinyal langsung hilang)



Gambar diatas adalah respon untuk filter praktis (lewat dari frekuensi cut off sinyal tidak langsung hilang)

Pada filter kita menggunakan Induktor dan Kapasitor, kedua komponen ini hambatannya tergantung dari frekuensi, sifat ini lah yang dimanfaatkan untuk membuat filter. Filter menggunakan prinsip pembagi tegangan. Dari pembagian tegangan inilah jika kita gambarkan responnya akan terbentuk filter.

Hamabatan Kapasitor dapat dicari dengan rumus dibawah ini

$$X_c = \frac{1}{2p \cdot f \cdot C}$$

Dimana :

X_c = hambatan kapasitor(Reaktansi Kapasitif)

f = frekuensi

$p = 3.14$

C = besaran kapasitor(dalam Farad)

Dari rumus diatas terlihat bahwa hambatan kapasitor berbanding terbalik dengan frekuensi, semakin kecil frekuensi, semakin besar hambatan kapasitor, demikian pula sebaliknya semakin besar frekuensi semakin kecil nilai dari hambatan kapasitor.

Hamabatan Induktor dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

Dimana :

X_L = hambatan Induktor (Reaktansi Induktif)

f = frekuensi

$p = 3.14$

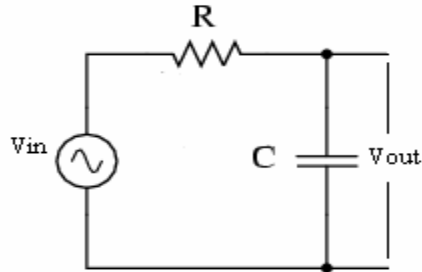
L = besaran Induktor(dalam Henry)

$$X_L = 2p \cdot f \cdot L$$

Dari rumus diatas terlihat bahwa hambatan induktor berbanding lurus dengan frekuensi, semakin kecil frekuensi, semakin kecil hambatan induktor, demikian pula sebaliknya semakin besar frekuensi semakin besar nilai dari hambatan induktor.

Contoh rangkaian-rangkaian filter pasif (rangkaiannya hanya untuk penjelasan filter dan tidak dapat diaplikasikan langsung sebagai filter) :

- LPF(Low Pass Filter)
Low Pass Filter adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi rendah, aplikasi dari rangkaian ini adalah pada speaker untuk digunakan sebagai output frekuensi rendah atau woofer.
- LPF dengan RC



$$V_o = \frac{X_c}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

Jika pada frekuensi 0 maka hambatan kapasitor adalah :

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{0} = \infty$$

$$V_o = \frac{X_c}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{\infty}{\sqrt{\infty^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = V_{in}$$

Jika pada frekuensi ∞ maka hambatan kapasitor adalah :

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\infty} = 0$$

$$V_o = \frac{X_c}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{0}{\sqrt{0^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = 0 \cdot V_{in}$$

$$V_o = 0$$

Dari hasil perhitungan diatas terlihat bahwa pada saat frekuensi rendah maka seluruh tegangan akan jatuh di kapasitor dan pada saat frekuensi tinggi maka tegangan kapasitor akan sama dengan nol(0). Frekuensi cut off pada rangkaian diatas terjadi pada saat $X_c = R$, dari sini kita dapat menghitung persamaan untuk mencari frekuensi cut off, sehingga didapatkan frekuensi cut off adalah :

$$X_c = R$$

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

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

Pada saat frekuensi cut off untuk filter aktif maka akan dihasilkan penguatan sebesar 0.707 dari sinyal input yang dalam desibell penguatannya -3 dB jika, $X_c = R$

$$V_o = \frac{X_c}{\sqrt{X_c^2 + X_c^2}} \cdot V_{in} \quad \text{Penguatan}(A) = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$V_o = \frac{X_c}{\sqrt{2X_c^2}} \cdot V_{in} \quad \frac{V_o}{V_{in}} = 0.707$$

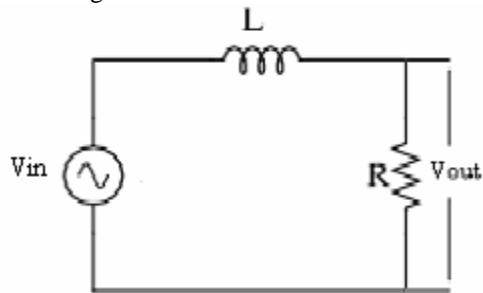
$$A = 0.707$$

$$V_o = \frac{X_c}{X_c \sqrt{2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = 0.707 \cdot V_{in}$$

- LPF dengan LR



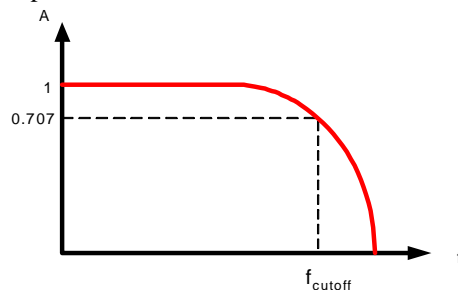
Untuk rangkaian diatas frekuensi cut off adalah :

$$X_L = R$$

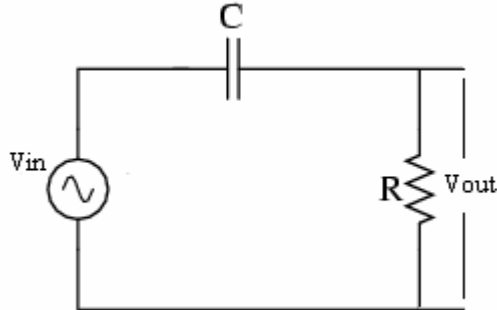
$$2\pi \cdot f \cdot L = R$$

$$f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

Jika kita gambarkan respon rangkaian diatas berdasarkan frekuensi maka akan didapat gambar seperti dibawah ini



- HPF(High Pass Filter)
High Pass Filter adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi tinggi. Aplikasi dari filter ini adalah pada speaker untuk digunakan sebagai output dari frekuensi tinggi atau tweeter.
- HPF dengan RC



$$V_o = \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

Jika pada frekuensi 0 maka hambatan kapasitor adalah :

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{0} = \infty$$

Jika dicari dengan rumus pembagi tegangan diatas maka:

$$V_o = \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{R}{\sqrt{\infty^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{R}{\infty} \cdot V_{in}$$

$$V_o = 0$$

Jika pada frekuensi ∞ maka hambatan kapasitor adalah :

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\infty} = 0$$

Jika dicari dengan rumus pembagi tegangan maka:

$$V_o = \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{R}{\sqrt{0^2 + R^2}} \cdot V_{in}$$

$$V_o = \frac{R}{R} \cdot V_{in}$$

$$V_o = V_{in}$$

Dari hasil perhitungan diatas akan terlihat bahwa pada HPF akan sama dengan LPF yaitu bahwa pada saat frekuensi rendah maka seluruh tegangan akan jatuh di kapasitor dan pada saat frekuensi

tinggi maka tegangan kapasitor akan sama dengan nol(0). Hanya saja pada rangkaian ini kita mengambil output pada resistor. Frekuensi cut off pada rangkaian diatas terjadi pada saat $X_c = R$, sehingga didapatkan rumus frekuensi cut off yang sama dengan LPF yaitu :

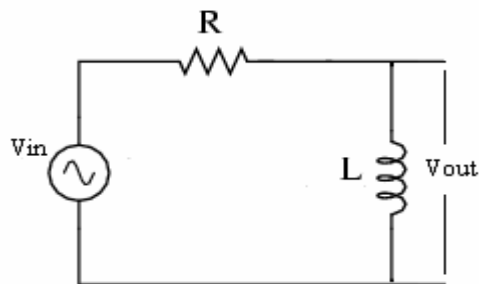
$$X_c = R$$

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

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

Pada HPF pada saat frekuensi cut off juga akan menghasilkan penguatan sebesar 0.707 dari sinyal input.

- HPF dengan LR



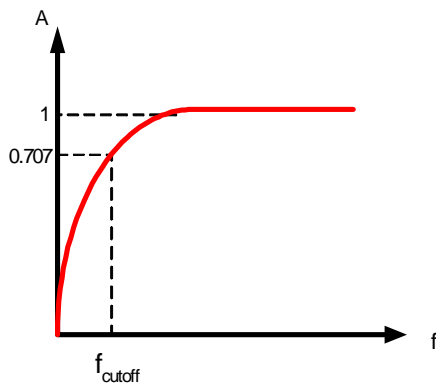
Untuk rangkaian diatas frekuensi cut off sama dengan LPF yaitu :

$$X_L = R$$

$$2\pi \cdot f \cdot L = R$$

$$f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

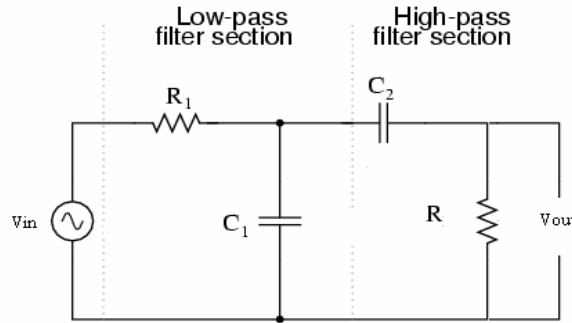
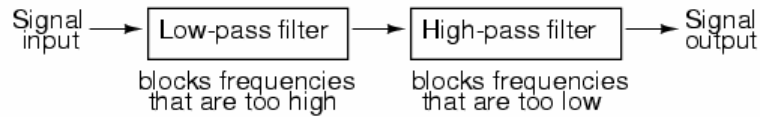
Jika kita gambarkan respon rangkaian diatas berdasarkan frekuensi maka akan didapat gambar seperti dibawah ini



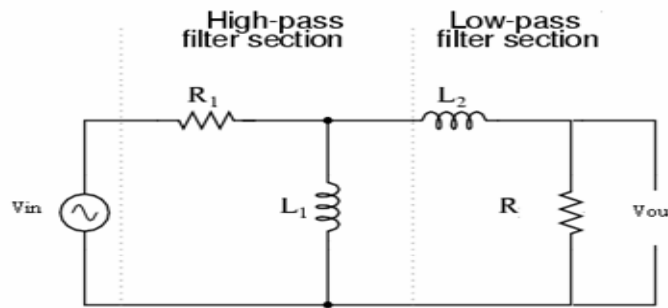
- BPF(Band Pass Filter)

Band Pass Filter dapat dibuat dengan menggabungkan rangkaian LPF dan HPF secara seri, filter ini hanya melewatkan jangkauan frekuensi tertentu yaitu antara frekuensi cut off bawah dan frekuensi cut off atas. Selisih antara frekuensi cut off atas dengan bawah dinamakan bandwidth, aplikasi dari rangkaian ini digunakan pada radio untuk menerima frekuensi tertentu.

- BPF dengan penggabungan dari LPF dan HPF

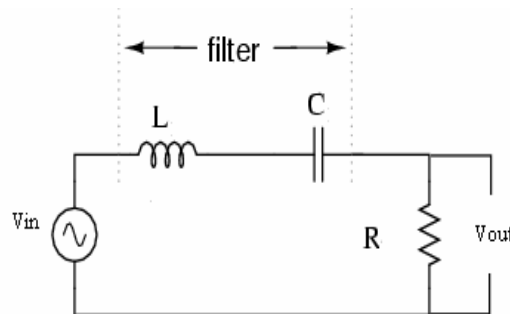


frekuensi cutoff pada rangkaian diatas LPF harus lebih besar dari frekuensi cutoff rangkaian HPF



frekuensi cutoff pada rangkaian diatas HPF harus lebih besar dari frekuensi cutoff rangkaian LPF

- BPF dengan menggunakan RLC seri dan parallel(memanfaatkan resonansi pada saat $X_L = X_C$)
 Pada rangkaian LPF dan HPF diatas kita menggunakan Kapasitor atau Induktor, tidak pernah kita menggunakan keduanya sekaligus. Seperti yang kita ketahui bahwa induktor dan kapasitor mempunyai hambatan yang berbeda-beda tergantung frekuensi, pada suatu frekuensi maka hambatan induktor dan kapasitor dapat memiliki nilai hambatan yang sama, frekuensi pada saat terjadinya hambatan induktor sama dengan kapasitor dinamakan frekuensi resonansi. Berdasarkan keadaan inilah maka nilai frekuensi resonansi ini dimanfaatkan untuk merancang BPF ataupun BSF



Rangkaian BPF dari RLC seri

Pada rangkaian diatas, hambatan total atau impedansi total adalah $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, karena pada saat terjadi frekuensi resonansi besar $X_L = X_C$ maka jika kita masukkan nilai pada saat resonansi akan didapatkan.

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Dari penurunan rumus diatas kita dapat merancang suatu rangkaian BPF dengan frekuensi yang kita inginkan, jika kita masukkan nilai hambatan induktor dan kapasitor pada saat resonansi ke dalam rumus hambatan total maka akan kita dapatkan bahwa :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ karena } X_L = X_C$$

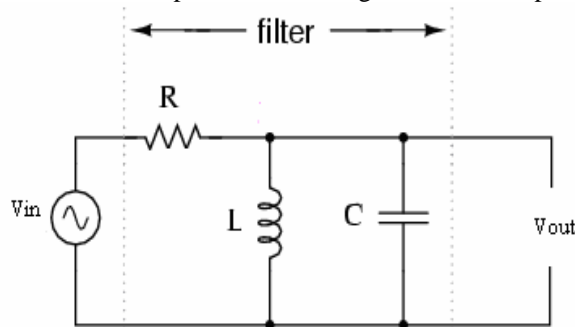
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + 0}$$

$$Z = R$$

Maka hambatan total adalah R, oleh karena itu pada saat resonansi hampir seluruh tegangan input jatuh di resistor sehingga tegangan output akan mendekati tegangan input. Sedangkan pada frekuensi lain selain resonansi hambatan L dan C akan saling bertolak belakang(pada saat X_L besar maka X_C kecil, sebaliknya X_C besar maka X_L kecil, karena L dan C dihubung seri maka hambatan total akan lebih besar dibandingkan dengan R, sehingga selain frekuensi resonansi sebagian besar tegangan akan jatuh di L dan C.

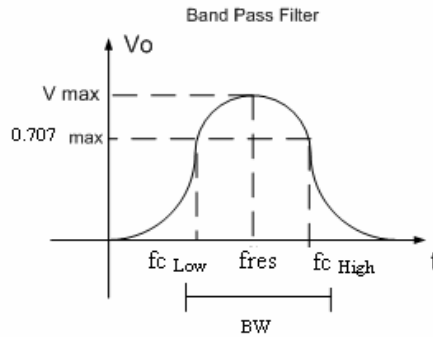
Jika menggunakan RLC secara paralel maka rangkaian adalah seperti dibawah ini



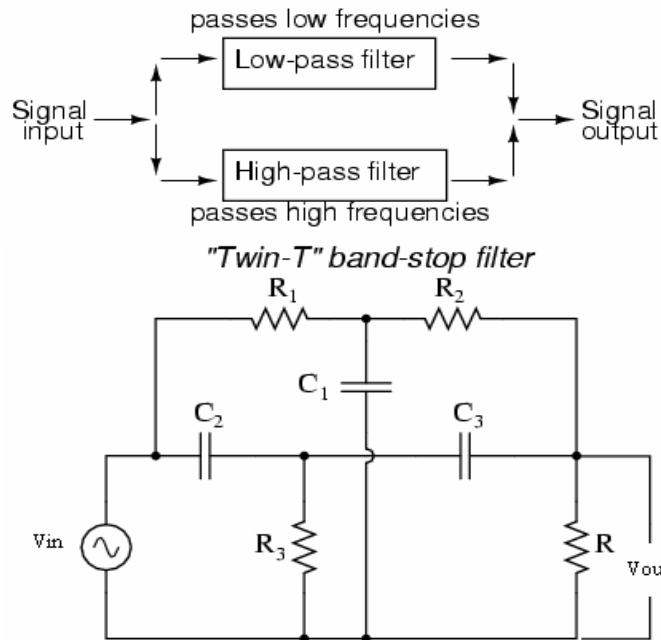
Rangkaian BPF dari RLC paralel

Pada saat resonansi maka hambatan dari induktor dan kapasitor lebih besar jika dibandingkan dengan R maka sebagian besar tegangan input jatuh di LC sehingga mendekati tegangan output mendekati tegangan input. Sedangkan untuk frekuensi lain selain resonansi maka hambatan L dan C akan saling bertolak belakang(pada saat X_L besar maka X_C kecil, sebaliknya X_C besar maka X_L kecil, karena L dan C dihubung paralel maka hambatan total akan lebih kecil dibandingkan dengan R, sehingga selain frekuensi resonansi sebagian besar tegangan akan jatuh di R dan tegangan output akan mendekati tegangan input.

Respon tegangan output dari BSF terhadap frekuensi dapat kita lihat dari gambar dibawah ini.



- BSF(Band Stop Filter)
Band Stop Filter sering juga disebut dengan Band Rejection Filter atau Band Elimination atau Notch filter. BSF juga dapat dibuat dengan menggabungkan LPF dan HPF secara parallel, filter ini menahan/tidak melewatkan jangkauan frekuensi tertentu, yaitu antara frekuensi cut off bawah dan frekuensi cut off atas. Selisih antara frekuensi cut off atas dengan bawah dinamakan bandwidth, aplikasi dari rangkaian ini digunakan untuk menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan, misalnya rangkaian kita menghasilkan noise pada frekuensi 10 KHx maka untuk menghilangkan noise tersebut kita dapat menggunakan BSF agar noise hilang.
- BSF dengan penggabungan dari LPF dan HPF



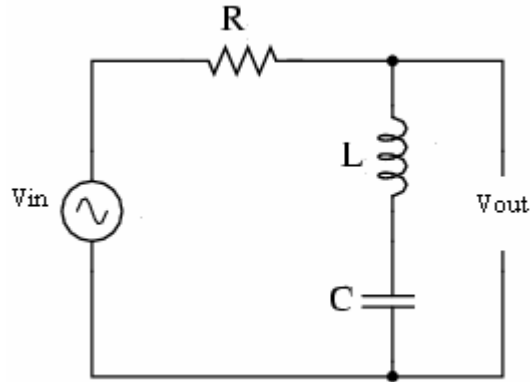
Karena bentuknya yang seperti huruf T pada bagian atas dan bagian bawahnya, maka filter ini juga sering disebut sebagai Twin T(T kembar). Syarat rangkaian diatas adalah frekuensi cutoff LPF harus lebih kecil daripada frekuensi cut off HPF.

Pada rangkaian diatas jika memenuhi nilai-nilai yang terdapat dibawah ini :

- $R_1=R_2=2(R_3)$
- $C_2=C_3=0.5(C_1)$
- Jika nilai-nilai sesuai diatas maka kita dapat mendapatkan rumus untuk menghitung frekuensi rejection/notch(frekuensi yang ditahan) dengan rumus :

$$\S \quad f_{notch} = \frac{1}{4pC_3 R_3}$$

- BSF dengan menggunakan RLC seri dan parallel(memanfaatkan resonansi, pada saat $X_L = X_C$)
Sama halnya pada BPF pada BSF dengan menggunakan rangkaian RLC seri maupun parallel rangkaiannya sama dengan BPF, hanya saja pengambilan output berlawanan dengan BPF. Untuk lebih jelasnya lihat gambar dan penjelasan dibawah ini



BSF dengan RLC seri

Pada rangkaian diatas sebelumnya telah kita ketahui bahwa hambatan total adalah

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

, pada saat resonansi maka $X_L = X_C$ sehingga jika kita masukkan rumus

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ @ } X_L = X_C$$

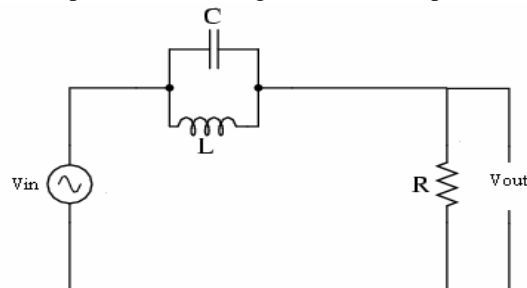
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + 0}$$

$$Z = R$$

Karena kita mengambil output pada LC, pada saat resonansi sebagian besar tegangan input jatuh ke R, sehingga tegangan pada LC akan mendekati nol, karena itu pada saat frekuensi resonansi maka tegangan output akan mendekati nol. Untuk frekuensi lain selain resonansi maka hambatan L dan C akan saling bertolak belakang(pada saat X_L besar maka X_C kecil, sebaliknya X_C besar maka X_L kecil, karena L dan C dihubung seri maka hambatan total akan lebih besar dibandingkan dengan R, sehingga selain frekuensi resonansi sebagian besar tegangan akan jatuh di LC dan output akan mendekati tegangan input.

Jika menggunakan RLC secara parallel maka rangkaian adalah seperti dibawah ini



BSF dengan RLC parallel

Pada saat resonansi maka hambatan dari induktor dan kapasitor lebih besar jika dibandingkan dengan R maka sebagian besar tegangan input jatuh di LC sehingga tegangan output pada R nol. Sedangkan untuk frekuensi lain selain resonansi maka hambatan L dan C akan saling bertolak

belakang(pada saat X_L besar maka X_C kecil, sebaliknya X_C besar maka X_L kecil, karena L dan C dihubung parallel maka hambatan total akan lebih kecil dibandingkan dengan R, sehingga selain frekuensi resonansi sebagian besar tegangan akan jatuh di R dan tegangan output akan mendekati input.

Respon tegangan output dari BSF terhadap frekuensi dapat kita lihat dari gambar dibawah ini.

