

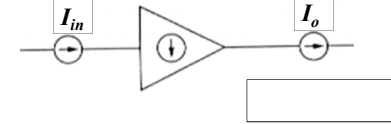
Elektronik-2 Filtre Devreleri

Kaynak: Sunumda «Filtreler Devreleri» konu başlığı için aşağıda linklerden yararlanılmıştır.

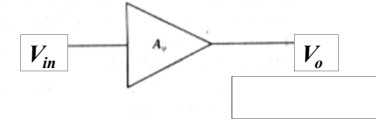
http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_5.html
<http://users.rowan.edu/~polikar/>

Desibel hesaplanması için temel denklemler

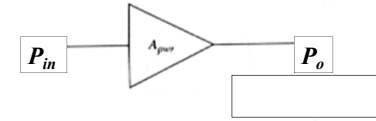
$$dB = 20 \log \left(\frac{I_o}{I_{in}} \right)$$



$$dB = 20 \log \left(\frac{V_o}{V_{in}} \right)$$

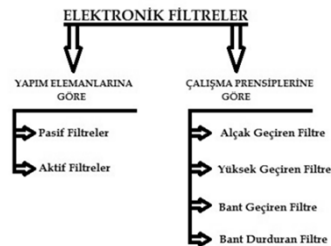


$$dB = 10 \log \left(\frac{P_o}{P_{in}} \right)$$

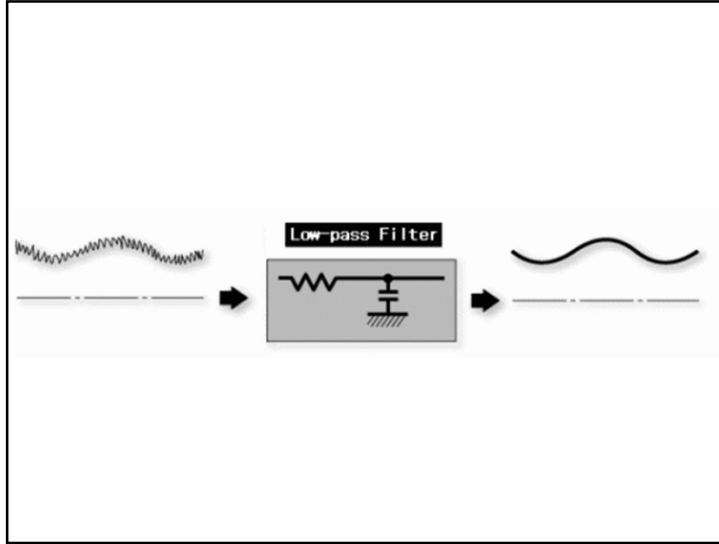


ELEKTRONİK FİLTRELER

Öncelikle filtreler aşağıdaki tabloda görüldüğü yapım elemanları ve çalışma prensipleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Filtreler yapım elemanlarına göre ise de pasif filtreler ve aktif filtreler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Pasif filtre devreleri direnç, kondansatör ve bobin gibi temel devre elemanlarından oluşurken aktif filtre devreleri ise pasif filtrelerden farklı olarak güç kaynağı, op-amp veya mikroislemci bulunan devrelerdir. Çalışma prensiplerine göre filtrelerse alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran olmak üzere 4'e ayrılırlar. Alçak geçiren filtreler belirli frekansın altındaki sinyalleri geçirirler, yüksek geçirenlerse belirli frekansların üzerindeki sinyalleri geçirirler. Devre belirli bir frekans aralığındaki sinyalleri geçiriyorsa bant geçiren, belirli frekans aralığındaki frekansları bastırıyorsa bant durduran devredir.



- **Neden Filtreler kullanılır?**
- **Belirli bir frekans bandını geçirmek, bunun dışında kalan frekansları zayıflatmak amacı ile filtre devreleri kullanılır.**
- **Filtreler; aktif ve pasif olmak üzere iki temel tipte tasarlanırlar.** Pasif filtre tasarımında; direnç, kondansatör ve bobin (self) gibi pasif devre elemanları kullanılır.
- Aktif filtrelerde ise pasif devre elemanlarına ilaveten transistör ve tümdevre gibi yarıiletken devre elemanları da kullanılır.

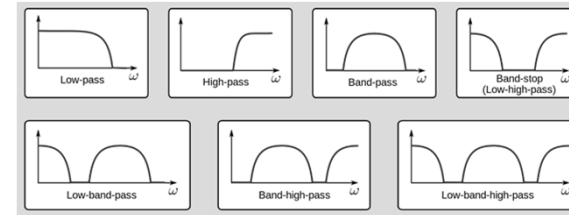


Aktif Filtrelerin özellikleri

- **Aktif filtre devrelerinin çıkış empedansı çok düşük, giriş empedansı ise oldukça yüksektir.** Bu nedenle, aktif filtrelerin girişlerine veya çıkışlarına bağlanacak devre veya devre elemanlarının etkilenmesi söz konusu değildir.
- **Aktif filtrelerde, filtrenin geçiren olduğu frekanslarda herhangi bir zayıflatma olmaz.** Çünkü aktif filtre tasarımında kullanılan opamp, filtre edilen işaretleri yükselterek çıkışına aktarabilir.
- Pasif filtreler herhangi bir besleme gerilimine gereksinim duymazlar. Fakat aktif filtrelerin her zaman **besleme gerilimine gereksinimleri** vardır.
- **Aktif filtre tasarımında kullanılan opampların band genişlikleri sınırlı olduğundan her frekansta aktif filtre tasarlamak oldukça zordur.**
- Aktif filtre devrelerinde tümdevre üretim teknolojilerinden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle self (bobin) elemanı kullanılamaz. Bu eleman yerine negatif empedans dönüştürücülerden yararlanılarak kondansatörden self elde edilebilir.

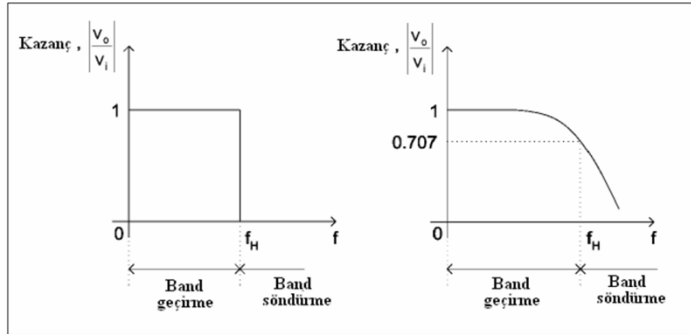
- Bir Op-amp yardımıyla oluşturulan filtreler, aktif filtre olarak adlandırılır. Bir aktif filtre genellikle, bir frekans seçici geri besleme devresiyle birlikte sadece bir op-amptan oluşur. Devredeki frekans seçici geribesleme kısmı, op-ampın frekans cevap eğrisini şekillendirir.

Filtre Çeşitleri



1) Alçak Geçiren Filtre Karakteristikleri:

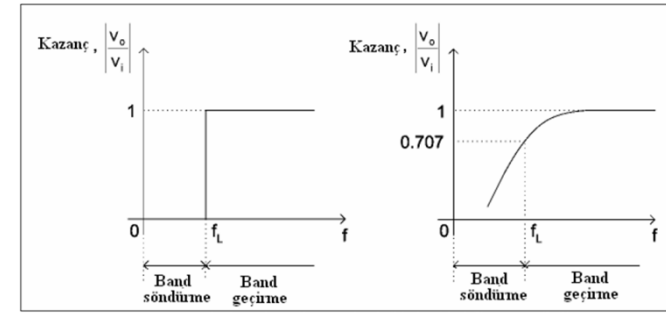
Alçak geçiren filtre yapısında 0 Hz ile kesim frekansı (f_H) arasında sabit bir kazanç vardır (genellikle birim kazanç). Kesim frekansında, alçak frekans kazancı 3dB azalır. 0 Hz ile kesim frekansı (f_H) arasındaki frekanslar band geçirme frekansı, f_H 'dan büyük frekanslar ise band söndürme frekansıdır. Band söndürme frekansında kazanç oldukça azalır.



Alçak Geçiren Filtre Karakteristikleri a) ideal filtre b) pratik filtre

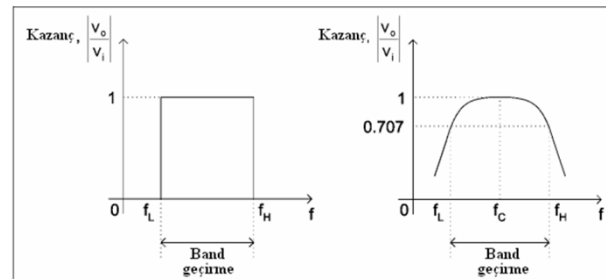
2) Yüksek Geçiren Filtre Karakteristikleri:

Yüksek geçiren filtre yapısında kesim frekansından (f_L) daha büyük frekanslarda sabit bir kazanç vardır (genellikle birim kazanç). Kesim frekansında, yüksek frekans kazancı 3dB azalır. 0 Hz ile kesim frekansı (f_L) arasındaki frekanslar band söndürme frekansı, f_L 'den büyük frekanslar ise band geçirme frekansıdır. Band söndürme frekansında kazanç oldukça azalır.



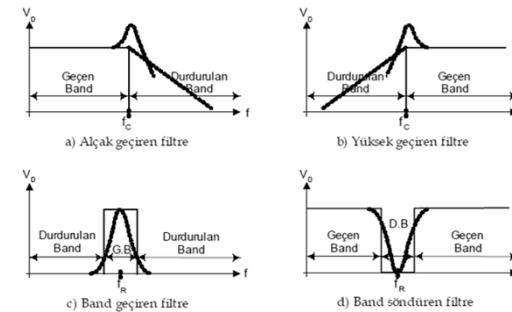
Yüksek Geçiren Filtre Karakteristikleri a) ideal filtre b) pratik filtre

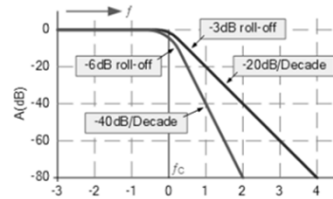
3)Band Geçiren Filtre Karakteristikleri: Band geçiren filtre, sadece belirli frekans aralığını geçirir, diğerlerini söndürür. Band geçirme aralığı, kesim frekansları (f_H, f_L) arasında kalan bölgeyi ifade eder. Filtrenin band genişliği ($f_H - f_L$) olarak ifade edilir.



Band Geçiren Filtre Karakteristikleri a) ideal filtre b) pratik filtre

Aktif filtrelerin frekans tepkileri





Second Order Filters

Second Order Filters which are also referred to as VCVS filters, because the op-amp is used as a Voltage Controlled Voltage Source amplifier, are another important type of active filter design because along with the active first order RC filters we looked at previously, higher order filter circuits can be designed using them.

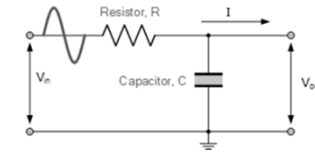
FİLTRE ÇEŞİTLERİ

1-Pasif Alçak Geçiren Filtreler

Bir elektronik filtrede temel görev elektrik sinyalindeki istenmeyen frekansları bastırmak, istenen frekanslardaki sinyalleri geçirmek için sinyali yeniden şekillendirmektir.

Düşük frekanslı devrelerde (<100 kHz) pasif filtreler genellikle basit bir RC (Direnç-Kondansatör) devresinden oluşmaktadır. Bunun yanında yüksek frekanslı devrelerde ise (>100 kHz) genellikle direnç, kondansatör ve bobin içeren devrelerdir (RLC devresi).

Basit bir pasif alçak geçiren devre aşağıda görüldüğü gibi kolayca bir kondansatör ve direncin bağlanmasıyla elde edilebilir.



RC ALÇAK GEÇİREN FİLTRE

RC Alçak Geçiren Filtre Devresi

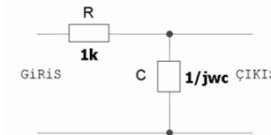
Bu tip bir filtrenin düzenlenmesinde giriş gerilimi (V_{in}) seri bağlanmış direnç ve kondansatöre bağlanırken çıkış gerilimi (V_{out}) gerilimi kondansatörün iki ucundan alınır. Bu şekilde tasarlanmış RC filtreleri genellikle birinci dereceden filtre ya da tek kutuplu filtreler olarak anılırlar çünkü devrede sadece bir adet reaktif bileşen (Kondansatör) vardır.

Kondansatörün reaktansı değişkendir ve frekans ile ters orantılı olarak değişir. Düşük frekanslarda kondansatörün kapasitif reaktansı (X_C), devredeki direncin değeri ile karşılaştırıldığında çok büyük olacaktır. Bu ise kondansatör üzerine düşen gerilimin (V_C), direnç üzerinde oluşan gerilim düşümünden (V_R) daha büyük olması demektir. Yüksek frekanslarda ise bu olayın tersi doğrudur yani kapasitif reaktans değerindeki değişim sebebiyle kondansatör üzerine düşen gerilim direnç üzerine düşen gerilimden daha küçüktür. Alçak geçiren filtre devresi yukarıdaki gibi kuruluyken devre, frekansı değişken olan bir gerilim bölücü devresi olarak da görülebilir. RC birinci dereceden filtrenin çıkış gerilimi ise aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = V_{in} \frac{X_C}{Z}$$

Örneğin 4.7 KΩ'lık bir direnç ve 47nF'lik bir kondansatörden oluşan alçak geçiren filtre devresinin girişine 100 Hz ve 10 kHz'lık iki ayrı frekansa sahip gerilimlerin ayrı ayrı uygulandığını düşünelim. Hesaplamalar yapıldığında 100 Hz'lik frekanslı gerilim uygulandığında çıkıştan 9.9 volt gerilim ölçüleceği, 10 kHz'lık frekanslı gerilim uygulandığında ise çıkıştan 0.718 volt gerilim ölçüleceği görülmektedir.

Alçak Geçiren Filtre Analizi



Gerilim bölümünden çıkışta göreceğimiz işaretimiz Vçıkış:

$$V_{çıkış} = \frac{1}{\frac{1}{jwC} + R} \cdot V_{giris}$$

$$\left| \frac{1}{1+jwRC} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

$$\left| \frac{1}{1+jwRC} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+w^2 \cdot R^2 \cdot C^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

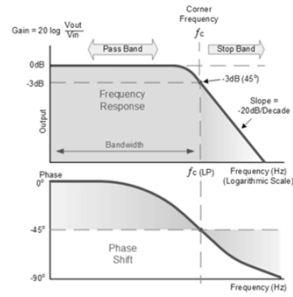
$$w^2 \cdot R^2 \cdot C^2 = 1$$

$$w = \frac{1}{RC}$$

$$f_{kırıl} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

RC (1. Dereceden) Filtre Devresinin Frekans Cevabı

Yukarıdaki sonuçlardan görüleceği üzere devreye uygulanan gerilimin frekansı yükseldikçe çıkıştan alınan gerilim değerinin 0,718 volta kadar düştüğü gözlemlenmektedir. Devrenin girişinde uygulanan gerilimin frekansındaki değişime karşın çıkış geriliminin logaritmik değişiminin grafiği aşağıdaki gibidir.

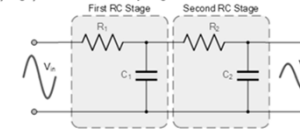


$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 4700 \times 47 \times 10^{-9}} = 720 \text{ Hz}$$

$$\text{Phase Shift } \phi = -\arctan(2\pi fRC)$$

RC(2.dereceden) AG Filtre

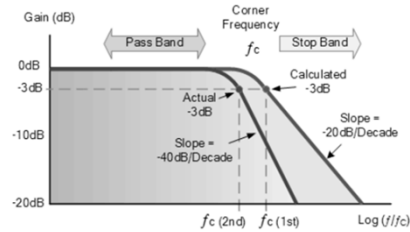
Şimdiye kadar basit yapıtı alçak geçiren filtre devresini inceledik. Birinci dereceden alçak geçiren filtre bazı sinyallerin bastırılması için yeterli olmayabilir ve bu durumda ikinci dereceden filtre kullanılır. Şimdi ise devrede iki reaktif bileşen bulunan devreleri yani ikinci dereceden alçak geçiren filtreleri inceleyeceğiz.



Yukarıdaki devrede görüldüğü gibi ikinci dereceden alçak geçiren filtre iki adet birinci dereceden (RC) alçak geçiren filtrenin seri olarak bağlanmasıyla oluşur. Buradan da birinci dereceden alçak geçiren filtrelerle ikinci dereceden alçak geçiren filtre elde edilebileceği görülmektedir. İkinci dereceden alçak geçiren filtrenin (Cut-Off) kesim frekansı ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \text{ Hz}$$

RC (2.Dereceden) Filtre Devresinin Frekans Cevabı (1. ve 2. dereceden filtrelerin karşılaştırması)



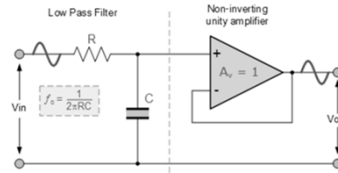
Yukarıdaki grafikte 2. dereceden alçak geçiren devrenin kesim frekansının 1. dereceden alçak geçiren devreye göre daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca grafiğin kesim frekansından sonraki eğiminden de anlaşılacağı gibi 2. dereceden alçak geçiren devrelerin kesimlerinin, birinci dereceden devrelere göre frekans bandında çok daha az aralıkta gerçekleştiği görülmektedir.

AKTİF FİLTRELER

Aktif Alçak Geçiren Filtre

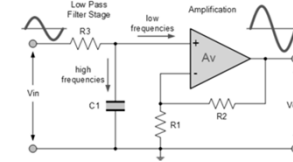
Yukarıda elektronik filtrelerin temeli olan pasif filtre devrelerini gördük. Pasif filtrelerin aktif filtrelerle göre en büyük dezavantajı çıkış sinyalinin genişliğinin giriş sinyalinin genişliğinden küçük olmasıdır. Şimdi ise devrede temel devre elemanları dışında elemanların da bulunduğu aktif filtre devrelerini inceleyeceğiz. İlk olarak aktif alçak geçiren filtreleri ele alalım. Aktif filtre devreleri adından anlaşılacağı gibi içerisinde transistör, FET gibi aktif devre elemanları bulunduran filtrelerdir. Güçlerini harici bir güç kaynağından elde ederler.

En yaygın ve anlaşılır devreye sahip olan aktif filtreler alçak geçiren aktif filtrelerdir. Aktif alçak geçiren filtrenin çalışma prensibi ve frekans cevabı daha önce anlattığımız pasif filtrelerle aynıdır. Aralarındaki tek fark aktif filtrede verim kontrolü ve yükselteç için op-amp kullanılmaktadır. Aktif alçak geçiren filtrenin en yalın formu eviren ya da evirmeyen bir yükselteçle pasif alçak geçiren filtrenin seri olarak bağlanmasıyla oluşur.



Aktif Alçak Geçiren Filtre-Kazanç Ayarlama

Birinci derece alçak geçiren aktif filtre, basit bir RC pasif filtresinin evirmeyen bir işlemel yükseltece düşük frekans sağlamasıyla oluşur. Buradaki yükselteç (Op-amp), DC kazancı veren voltaj takipçisi olarak yapılandırılmıştır. Yukarıda oluşturulmuş devrenin avantajı düşük çıkış empedansına sahip filtrenin, cut-off frekansındaki empedans değişimlerinin oluşturduğu etkiler engellenirken filtrenin çıkışındaki op-ampın yüksek giriş empedansındaki aşırı yüklemeler de önlenir. Ayrıca bu yapı filtre devresinde yüksek kararlılığın oluşmasını sağlasa da devrede voltaj kazancının değeri hiçbir zaman birli aşamaz. Bu ise en büyük dezavantajlardan biridir. Eğer devrede gerilim kazancının birden yüksek bir değer olması isteniyorsa aşağıdaki gibi bir filtre devresi kullanılmalıdır.



Yukarıdaki devrenin frekans cevabı pasif RC filtresinin cevabı ile aynı olacaktır ayrıca çıkış genliği, yükseltecin geçiş bandı kazancı $(A_f = 1 + R_2/R_1)$ sayesinde arttırılır. Evirmeyen yükselteç devresinde, voltaj kazancının büyüklüğü, geri beslemeli R2 direncinin, giriş direncine kabul eden R1 direncine bölünmesiyle elde edilmiş bir fonksiyondan oluşur ve aşağıdaki DC gerilim kazancı aşağıdaki gibidir.

$$\text{DC gain} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Magnitude of Voltage Gain in (dB)

$$A_v(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \right)$$

$$\therefore -3\text{dB} = 20 \log_{10} \left(0.707 \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \right)$$

Active Low Pass Filter Example No1

Design a non-inverting active low pass filter circuit that has a gain of ten at low frequencies, a high frequency cut-off or corner frequency of 159Hz and an input impedance of 10kΩ.

The voltage gain of a non-inverting operational amplifier is given as:

$$A_f = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10$$

Assume a value for resistor R1 of 1kΩ rearranging the formula above gives a value for R2 of

$$R_2 = (10 - 1) \times R_1 = 9 \times 1\text{k}\Omega = 9\text{k}\Omega$$

then, for a voltage gain of 10, R1 = 1kΩ and R2 = 9kΩ. However, a 9kΩ resistor does not exist so the next preferred value of 9kΩ is used instead.

converting this voltage gain to a decibel dB value gives:

$$R_2 = (10 - 1) \times R_1 = 9 \times 1\text{k}\Omega = 9\text{k}\Omega$$

then, for a voltage gain of 10, R1 = 1kΩ and R2 = 9kΩ. However, a 9kΩ resistor does not exist so the next preferred value of 9kΩ is used instead.

converting this voltage gain to a decibel dB value gives:

$$\text{Gain in dB} = 20 \log A = 20 \log 10 = 20\text{dB}$$

The cut-off or corner frequency (fc) is given as being 159Hz with an input impedance of 10kΩ. This cut-off frequency can be found by using the formula:

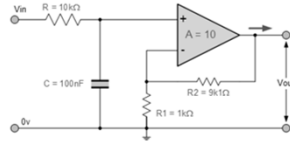
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz} \quad \text{where } f_c = 159\text{Hz and } R = 10\text{k}\Omega.$$

then, by rearranging the above formula we can find the value for capacitor C as:

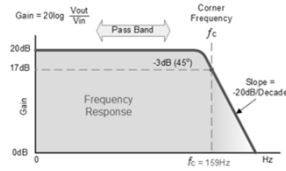
$$C = \frac{1}{2\pi f_c R} = \frac{1}{2\pi \times 159 \times 10\text{k}\Omega} = 100\text{nF}$$

Then the final circuit along with its frequency response is given below as:

Low Pass Filter Circuit.



Frequency Response Curve



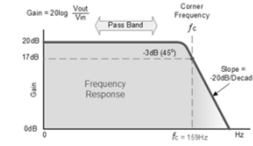
Aktif Alçak Geçiren Filtre-Kazanç Ayarlama

Birinci dereceden aktif alçak geçiren filtrenin kazancı ise aşağıdaki gibidir:

$$\text{Voltage Gain, (Av)} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_F}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$$

Af:Filtrenin geçiş bantı kazancı
f:Vin voltajının frekansı
Fc:Kesim frekansı

Aktif Alçak Geçiren Devresinin Frekans Cevabı

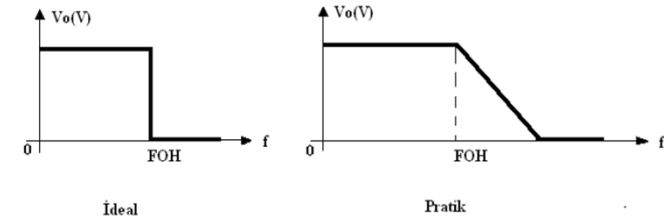
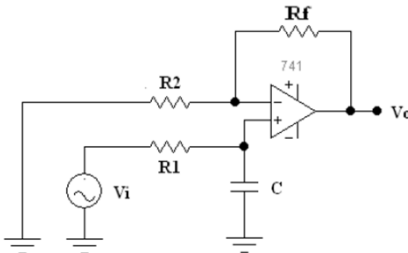


Eğer devrede dış empedans devrenin girişlerini değişimine bağlıysa, bu değişim ayrıca filtrenin köşe frekansını yani Fc'yi etkiler. Bu etkileşimden kaçınmak için devredeki kondansatör geri beslemeli olan R2 direncine paralel bağlanmalıdır. Grafikte Fc kesim frekansını belirlemek için kullanılan formül ise pasif RC alçak geçiren filtrenin kesim frekansının formülüyle aynıdır.

$$f_c = \frac{1}{2\pi C R_2} \text{ Hertz}$$

Op-amp'ın filtre olarak kullanılması

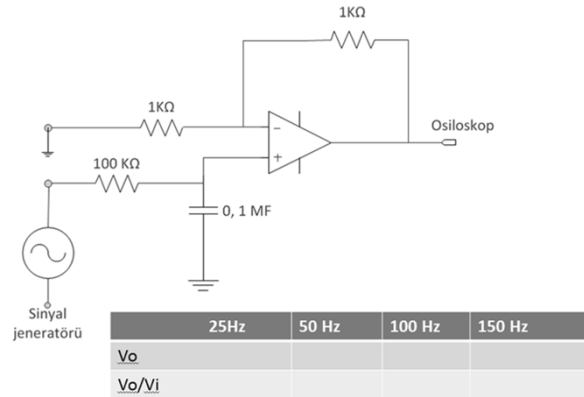
ALÇAK GEÇİREN FİLTRE



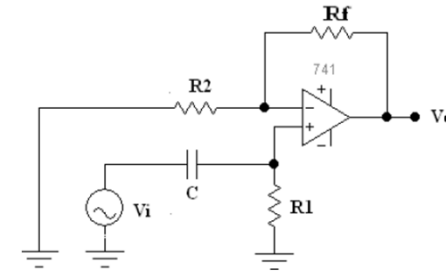
$$\begin{aligned} R1 &= XC \\ XC &= 1/2\pi f.C \\ FOH &= 1/2\pi.R1.C \end{aligned}$$

FOH: Üst Kesim Frekansı

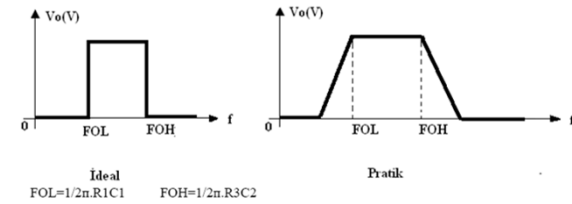
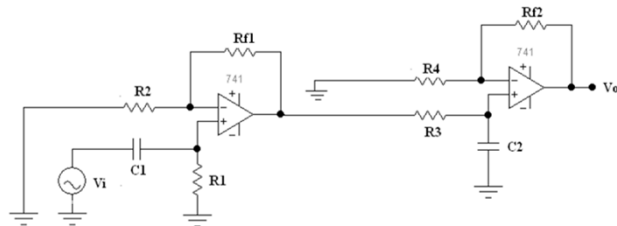
Alçak geçiren filtre uygulaması



YÜKSEK GEÇİREN FİLTRE



BANT GEÇİREN FİLTRE



$$FOL = 1/2\pi.R1C1 \quad FOH = 1/2\pi.R3C2$$

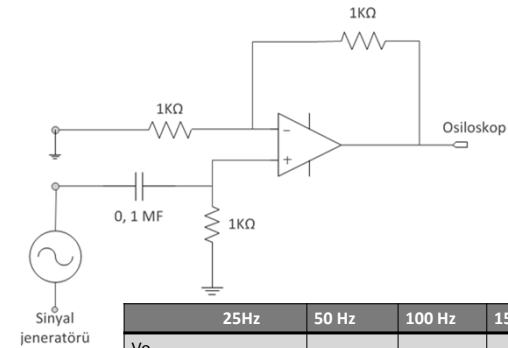
Örnek: $R1=R3=10K$, $C1=0.01\mu f$ ve $C2=0.001\mu f$ olduğuna göre bant geçiren filtrenin alt kesim frekansını(Hz) ve üst kesim frekansını(KHz) hesaplayınız.

Çözüm:

$$FOL = 1/2.3.14.10.10^3.0.01.10^{-6} = 1592.3Hz$$

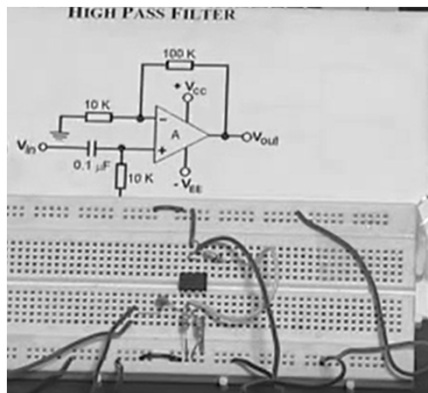
$$FOH = 1/2.3.14.10.10^3.0.001.10^{-6} = 15.92KHz$$

Yüksek geçiren filtre uygulaması



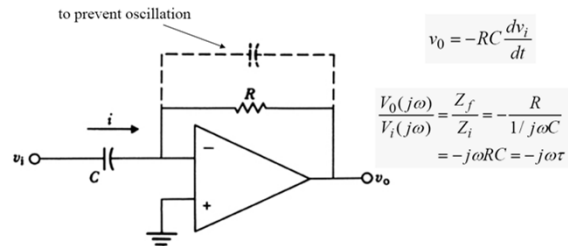
	25Hz	50 Hz	100 Hz	150 Hz
Vo				
Vo/Vi				

Aktif Yüksek Geçiren Filtre

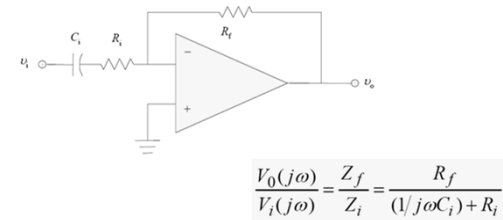


DİKKATİ ÇEKEN BAZI UYGULAMALAR

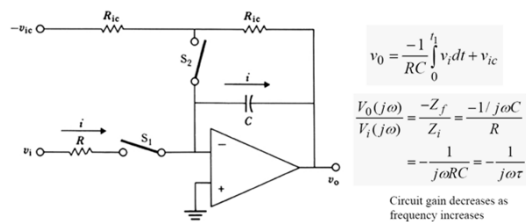
Türev Alıcı-Differentiator



Aktif Yüksek Geçiren Filtre

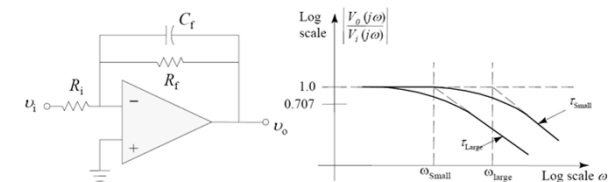


İntegral Alıcı-Integrator



A three-mode integrator With S_1 open and S_2 closed, the dc circuit behaves as an inverting amplifier. Thus $v_o = v_{ic}$ and v_o can be set to any desired initial conduction. With S_1 closed and S_2 open, the circuit integrates. With both switches open, the circuit holds v_o constant, making possible a leisurely readout.

Aktif Alçak Geçiren Filtre

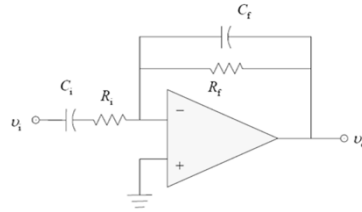


$$\frac{V_0(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{-Z_f}{Z_i} = -\frac{(R_f + j\omega C_f R_f)}{(1/j\omega C_f) + R_i} = \frac{-R_f}{(1 + j\omega R_f C_f) R_i}$$

$\omega \gg 1/\tau \rightarrow \text{integrator}$
 $\omega \ll 1/\tau \rightarrow \text{inv. amp}$

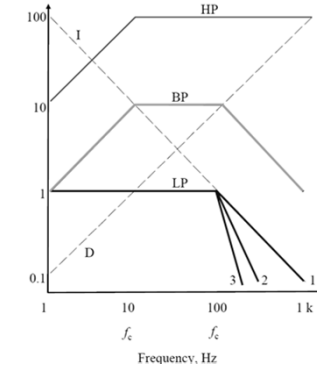
What is τ (time constant) ?

Aktif Band Geçiren Filtre



Filtrelerin Frekans Karakteristiği BODE diyagramı

Bode plot (gain versus frequency) for various filters. Integrator (I); differentiator (D); low pass (LP), 1, 2, 3 section (pole); high pass (HP); bandpass (BP). Corner frequencies f_c for high-pass, low-pass, and bandpass filters.

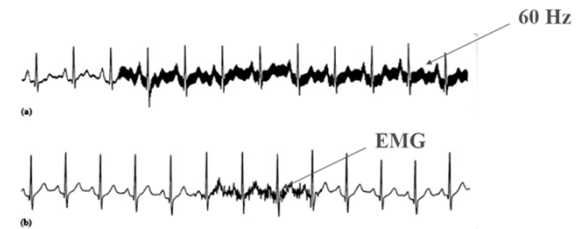


Biyomedikal Uygulamalar

Measurement	Range	Frequency, Hz	Method
Blood flow	1 to 300 mL/s	0 to 20	Electromagnetic or ultrasonic
Blood pressure	0 to 400 mmHg	0 to 50	Catheter, Cuff or strain gage
Cardiac output	4 to 25 L/min	0 to 20	Fick, dye dilution
Electrocardiography	0.5 to 4 mV	0.05 to 150	Skin electrodes
Electroencephalography	5 to 300 μ V	0.5 to 150	Scalp electrodes
Electromyography	0.1 to 5 mV	0 to 10000	Needle electrodes
Electroretinography	0 to 900 μ V	0 to 50	Contact lens electrodes
pH	3 to 13 pH units	0 to 1	pH electrode
$p\text{CO}_2$	40 to 100 mmHg	0 to 2	$p\text{CO}_2$ electrode
$p\text{O}_2$	30 to 100 mmHg	0 to 2	$p\text{O}_2$ electrode
Pneumotachography	0 to 600 L/min	0 to 40	Pneumotachometer
Respiratory rate	2 to 50 breaths/min	0.1 to 10	Impedance
Temperature	32 to 40 $^{\circ}\text{C}$	0 to 0.1	Thermistor

Girişim-Distorsiyon [EKG] (Interference-Distortion)

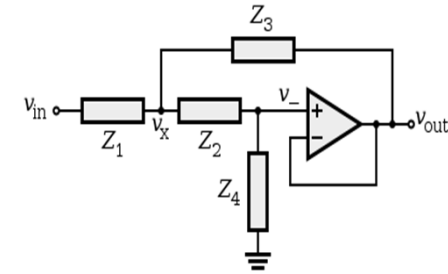
- The power lines that provide the power to the ECG as well as to a multitude of other devices run throughout the room and cause significant interference at 60Hz.
- Other devices / signals may also cause interference



2. Derece(pole)/Çok dereceli FİLTRELER

- Butterworth
- Chebyshev
- Bessel
- Sallen Key

SALLEN KEY Filtre Topolojisi



Sallen Key Alçak Geçiren Filtre

