



**T.C.**

**Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi**

**Teknoloji Fakültesi**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü**

## **DEVRE ANALİZİ-II DERSİ LABORATUARI**

### **DENEY 7 OPAMP'LI AKTİF FİLTRE UYGULAMASI**

**Dersin öğretim Üyesi**

**Dr. Öğrt. Üyesi Tuna GÖKS**

**Dr.Öğrt. Üyesi Ali ŞENTÜRK**

**Deneyi yaptıran Öğretim Elemanı**

**Arş. Gör. Dr. Hatice AKMAN**

**Arş. Gör. Samet YALÇIN**

**Arş. Gör. Yusuf Erkan Görgülü**

## UYULMASI GEREKEN KURALLAR

- Laboratuvar ortamında kendinin, arkadaşının, laboratuvarda ders işleyen veya yardımcı olan öğretim elemanının ve teknisyenlerin hayatını tehlikeye atacak şekilde şakalaşmak, alet ve cihazları kullanarak şaka yapmak ve benzeri davranışlar kesinlikle yasaktır.
- Öğrenci deney sırasında öğretim elemanlarının ve laboratuvar sorumlusunun talimatlarını yerine getirmek ve sorularını cevaplamak zorundadır.
- Laboratuvar kurallarına uymayanlar ortaya çıkan mali ve hukuki sorumlulukları üstlenmiş sayılırlar. İlaveten Üniversite Disiplin Yönetmeliğine göre cezalandırılırlar. Bu kişiler laboratuvar uygulamalarından da sıfır not alırlar.
- Laboratuvarı düzenli olarak bırakmak herkesin sorumluluğudur. Gerekli bağlantı iletkenleri ve ölçü aletleri yerlerine konur, laboratuvardaki araç-gereç düzenli bırakılır.
- Her grup, kendi raporunu hazırlayacak, diğer grupların raporları ile aynı olmayacaktır. Sonuçları aynı bile olsa, sunuş ve tartışmanın aynı olamayacağı açıktır.
- Öğrenci deney föylerinin deney öncesi bilgiler kısmını çalışarak gelmek zorundadır.
- Deney raporu titizlikle hazırlanmalı, defterden koparılmış sayfa olmamalıdır.
- Raporunuzun kapak sayfası bilgileri tam olmalı, kapak sayfası imzalı olmalıdır. **İmzasız raporlar değerlendirilmez.**
- Raporunuz kendi üretiminiz olan bilgiler içermeli, başka kaynaklardan alınmış yazıcı çıktısı veya diğer raporlardan ve föylerden alıntılar içermemelidir.
- **Raporunuz zımbalanmalı, naylon poşet kullanılmamalıdır.**
- Raporlar deneyin yapılışından bir sonraki haftada **ders saati içerisinde teslim edilmelidir.** Zamanında teslim edilmeyen raporlar dikkate alınmaz.
- **Deneye gelmeyen öğrencinin raporu geçersizdir.** Dolayısı ile yapmadığı deneylerin raporlarından da sıfır alır.
- Her Öğrenci **ilan edilen gününde ve saatinde gelmelidir.**
- Özel bir nedenden dolayı laboratuvar zamanı değişikliği yapmak isteyen öğrenciler ilan edilen laboratuvar zamanından önce laboratuvar sorumlusu öğretim elemanına bilgi vermesi gerekmektedir.
- Laboratuvara **zamanında gelmeyen öğrenciler yok yazılır.**
- **2 haftadan fazla devamsızlık yapan öğrenci dersten devamsızlık alır.**
- Öğrenciler laboratuvara gelirken yapılacak olan deneyin raporunu hazırlayıp gelmesi gerekmektedir, uygulamayı tamamladıktan sonra sonuç kısmını yazıp raporunu teslim etmelidir. Raporunu getirmeyen öğrenci laboratuvara alınmaz.
- Laboratuvar uygulamasında ve raporunu yazmasında en fazla 2 öğrenci grup çalışması yapabilir.

## DENEY NO: 7

### OPAMP'LI AKTİF FİLTRE UYGULAMASI

**DENEYİN AMACI:** 1. dereceden alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre ve 2. dereceden bant geçiren filtrelerin aktif elemanlar ile gerçekleştirilmesi.

**DENEY MALZEMESİ:** *Opamp:* 1 x LM324

*Direnç:* 2 x 15kΩ, 2 x 7.5kΩ

*Kapasite:* 2 x 10 nF, 2 x 4.7 nF

**6.1. ÖN BİLGİ:** Elektrik devrelerinde çok kullanışlı yapılar olan analog devrelerin başında filtreler gelir. Filtre yapıları elektriksel işaretlerin frekans spektrumlarına biçim vermek amacıyla kullanılan devrelerdir. Pasif R, L, C elemanlarıyla gerçekleştirilen bu devreler aynı zamanda aktif elemanlarla (transistör, opamp vs.) birlikte sadece R veya C elemanları veya bunların her üçünü birden kullanarak da gerçekleştirilebilir. Filtreler elektronik ve haberleşme sistemlerinde oldukça geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Özellikle, sisteme uygulanan frekanslardan yalnızca istenenlerinin geçirilmesi amacıyla kullanılırlar. Gerçeklenen transfer fonksiyonunun frekansla değişimine bağlı olarak alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren, bant söndüren türden filtreler söz konusudur. Kesim frekansı, kalite faktörü, geçirme bandı kazancı ise önemli filtre parametrelerindendir. Pasif filtrelerde direnç, kapasite ve bobin kullanılır. RC filtrelerinde transfer fonksiyonunun kökleri reel olur. Bu tip filtrelerde değer katsayısının küçük olduğu görülür. Büyük kalite faktörü elde edilmek istendiğinde LC filtreleri kullanmak daha uygun olur. Ancak düşük frekanslarda gerekli bobin indüktanslarının büyük olması gerekeceğinden hem devrenin kapladığı alan hem de maliyet artar. Bu nedenle düşük frekanslarda daha çok aktif filtreler tercih edilir. Aktif filtrelerin en önemli avantajları küçük ve hafif olmalarıdır. Ayrıca güvenilirlikleri yüksek, seri üretim nedeniyle ucuz ve küçük boyutları nedeniyle de parazitleri düşüktür. Buna karşın, aktif elemanın sonlu bant genişliği nedeniyle erişilebilecek kutup frekansları sınırlıdır. Ayrıca filtre karakteristiğinin keskinliğini belirleyen kalite faktörü ile kutup frekansı ters orantılıdır. Dolayısıyla optimum bir çözümün bulunması söz konusudur. Bunun dışında aktif filtrelerde, karakteristiklerinin eleman değerlerindeki değişimlere duyarlılığı daha yüksektir ve aktif eleman nedeniyle ayrıca bir besleme devresi gerektirirler.

#### 6.1.1. Filtre Türünün Tespiti

Genel olarak filtre transfer fonksiyonlarının limitini  $s \rightarrow \infty$  ve  $s \rightarrow 0$  için alarak ne tür filtreye ait oldukları bulunabilir. AGF'nin transfer fonksiyonunu limit işlemi uygulanırsa;

$$\lim_{s \rightarrow 0} H_{AGF}(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K}{s + w_c} = \frac{K}{0 + w_c} = A$$

$$\lim_{s \rightarrow w_c} H_{AGF}(s) = \lim_{s \rightarrow w_c} \frac{K}{s + w_c} = \frac{K}{w_c + w_c} = 0.707A$$

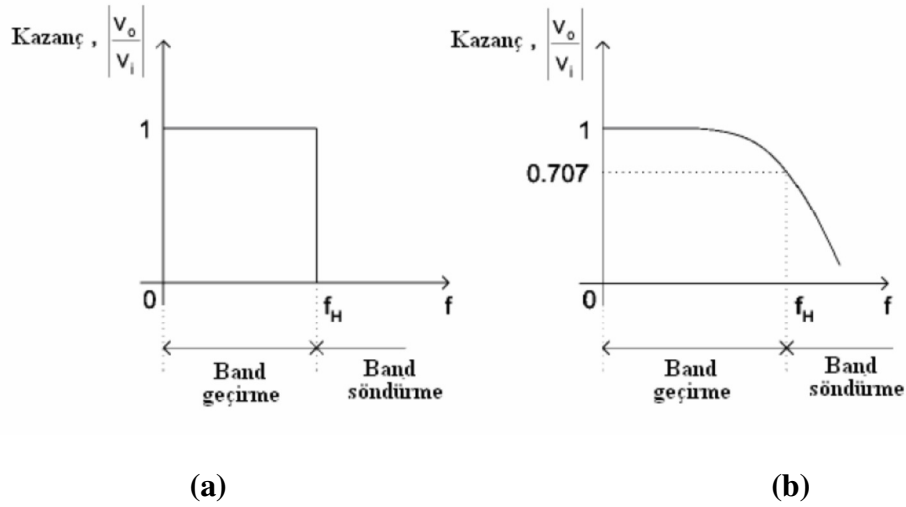
$$\lim_{s \rightarrow \infty} H_{AGF}(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{K}{s + w_c} = \frac{K}{\infty + w_c} = 0$$

Burada A filtrenin maksimum kazancıdır. Limit işleminden görüldüğü gibi yüksek frekanslarda filtrenin kazancı sıfır olmakta, düşük frekanslarda ise maksimum kazanca ulaşmaktadır. Diğer filtrelerin transfer fonksiyonlarına basit bir limit işlemi ile analiz edilebilir.

### 6.1.2. Filtre Karakteristikleri

#### 6.1.2.a. 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 3 dB azalır. 0 Hz ile kesim frekansı ( $f_H$ ) arasındaki frekanslar bant geçirme frekansı,  $f_H$  'dan büyük frekanslar ise bant söndürme frekansıdır. Bant söndürme frekansında kazanç oldukça azalır.

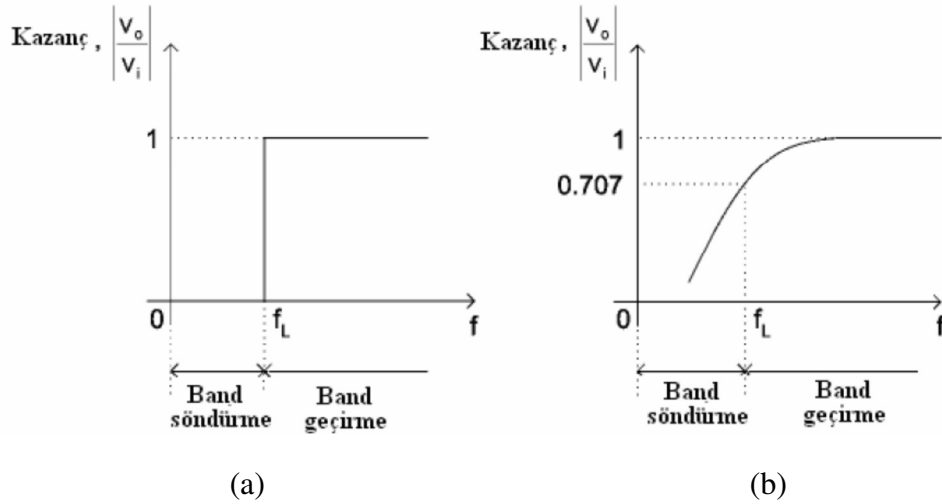


Şekil 6.1. Alçak Geçiren Filtre Karakteristikleri

a) İdeal Filtre b) Pratik Filtre

#### 6.1.2.b. 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 bant söndürme frekansı,  $f_L$  'den büyük frekanslar ise bant geçirme frekansıdır. Bant söndürme frekansında kazanç oldukça azalır.

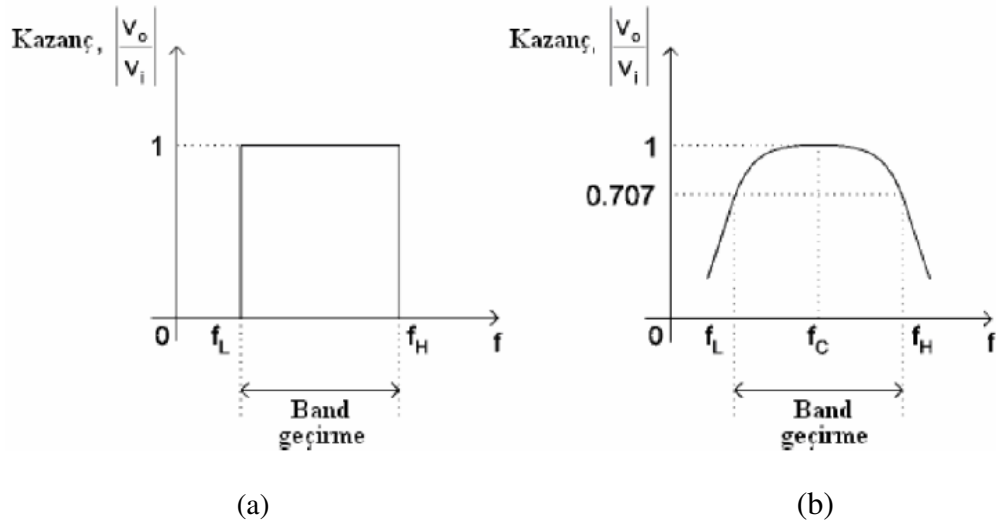


Şekil 6.2 Yüksek Geçiren Filtre Karakteristikleri

a) İdeal Filtre b) Pratik Filtre

### 6.1.2.c. Bant Geçiren Filtre Karakteristikleri

Bant geçiren filtre, sadece belirli frekans aralığını geçirir, diğerlerini söndürür. Bant geçirme aralığı, kesim frekansları ( $f_H$ ,  $f_L$ ) arasında kalan bölgeyi ifade eder. Filtrenin bant genişliği ( $\beta = f_H - f_L$ ) olarak ifade edilir.



Şekil 6.3 Bant Geçiren Filtre Karakteristikleri

a) İdeal Filtre b) Pratik Filtre

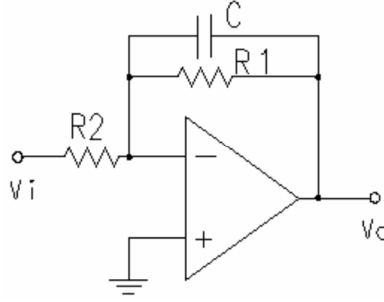
### 6.1.3. Filtre Transfer Fonksiyonları ve Devrelerinin Analizi

#### 6.1.3.a 1.Dereceden Alçak Geçiren Filtre

Birinci dereceden alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$H_{AGF}(s) = \frac{K}{s + w_c}$$

Burada K kazanç,  $w_c$  AGF'nin kesim frekansıdır. Şekil 6.4'de verilen alçak geçiren filtrenin analizi yapıp, transfer fonksiyonu devre elemanlarına bağlı olarak elde edilmiştir.



**Şekil 6.4.** Birinci Derece Alçak Geçiren Filtre

$$\frac{V_o}{V_i}(s) = -\frac{\frac{1}{R_2 C}}{s + \frac{1}{R_1 C}}$$

Burada K ve  $w_c$  eşitlikleri bulunabilir.

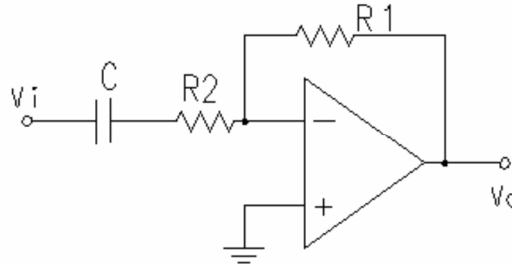
$$K = \frac{1}{R_2 C} \quad w_c = \frac{1}{R_1 C}$$

#### 6.1.3.b 1.Dereceden Yüksek Geçiren Filtre

Birinci dereceden yüksek geçiren filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$H_{YGF}(s) = K \frac{s}{s + w_c}$$

Burada K kazanç,  $w_c$  YGF'nin kesim frekansıdır. Şekil 6.5'de verilen alçak geçiren filtrenin analizi yapıp, transfer fonksiyonu devre elemanlarına bağlı olarak elde edilmiştir.



**Şekil 6.5** Birinci Derece Yüksek Geçiren Filtre

$$\frac{V_o}{V_i}(s) = -\frac{R_1}{R_2} \frac{s}{s + \frac{1}{R_2 C}}$$

Burada K ve  $w_c$  eşitlikleri bulunabilir.

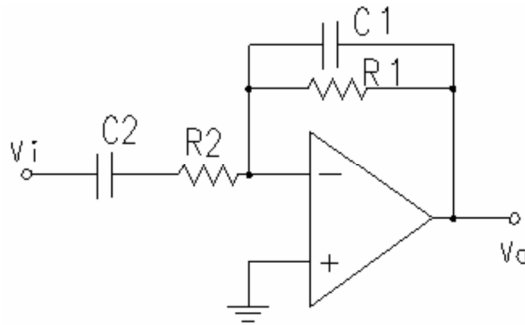
$$K = \frac{R_1}{R_2} \quad w_c = \frac{1}{R_2 C}$$

### 6.1.3.c. Bant Geçiren Filtre

İkinci derece bir bant geçiren filtrenin genel ifadeyle transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_i}(s) = -\frac{R_1}{R_2} \frac{s}{s + \frac{1}{R_2 C}}$$

Burada K kazanç,  $\beta$  bant genişliği ve  $w_0$  BGF'nin merkez frekansıdır. Bant genişliği  $\beta = w_0/Q$  olarak tanımlıdır. Burada  $Q$  kalite faktörüdür. Kalite faktörü ne kadar büyük olursa devrenin bant genişliği azalacak, kazancı artacaktır.



Şekil 6.6. Bant Geçiren Filtre

$$\frac{V_o}{V_i}(s) = -\frac{1}{R_2 C_1} \left[ \frac{1}{s + \frac{1}{R_2 C_2}} \frac{s}{s + \frac{1}{R_1 C_1}} \right]$$

$$\frac{V_o}{V_i}(s) = -\frac{\frac{1}{R_2 C_1} s}{s^2 + \left( \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_1 C_1} \right) s + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

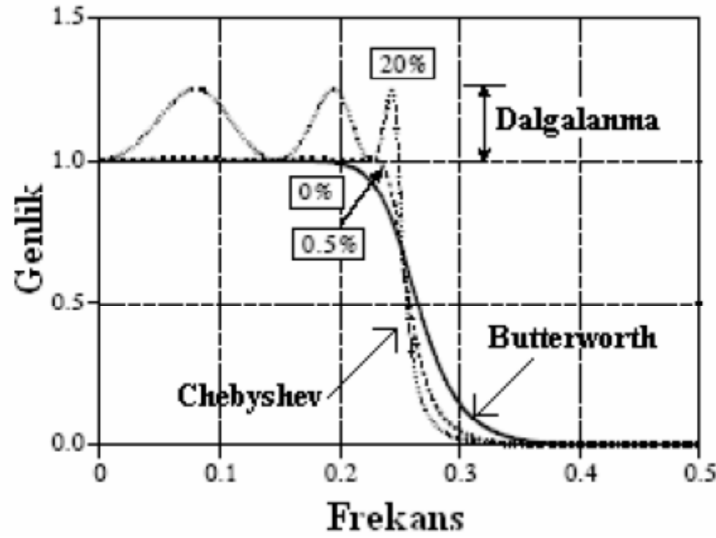
Burada alt kesim frekansı ( $f_L$ ), üst kesim frekansı ( $f_H$ ) ve band genişliği ( $\beta$ ) aşağıdaki eşitlikler ile bulunabilir.

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad f_L = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad \beta = f_H - f_L$$

#### 6.1.4. Filtre Tasarım Kriterleri

##### 6.1.4.a Kazanç (Band-pass gain)

Aktif filtreler kullanılarak 1'den yüksek kazanç elde etmek mümkündür. Birçok aktif filtre yapısı filtrenin kazancını belirleyen kazanç katsayısı içerirler. Düz bant geçirme kazancına sahip filtreler sıklıkla kullanılır. Bu karakteristiğe sahip filtreler, Butterworth filtre olarak adlandırılır. Diğer bir sınıf olan Chebyshev filtreler ise bant geçirme kazancında dalgalanmaya (ripple, overshoot) sebep olurlar.



Şekil 6.7. Butterworth vs. Chebyshev

##### 6.1.4.b Kesim frekansları (Cut-off frequencies)

Kesim frekansları ( $f_H$ ,  $f_L$ ) filtre devresindeki kapasite ve direnç değerleri ile belirlenir.

##### 6.1.4.c Frekans eğrisinin düşme eğimi (Roll-off rate)

Frekans eğrisinin düşme eğimi, filtre kazancının bant söndürme bölgesindeki değişim oranıdır. Bu oranın yüksek olması, frekans seçimini iyileştirmesini sağlar. Şekil 6.4'te de görüldüğü üzere Chebyshev filtre yapısında bu oran Butterworth filtre yapısına göre daha yüksektir. Frekans eğrisinin düşme eğimini, filtrenin derecesi belirler. Örneğin, 1. Derece filtrede 20dB/decade değerinde bir eğim varken, 2.derece bir filtrede bu değer 40dB/decade olur.



#### 6.1.4.d Kalite Faktörü (Quality Factor)

Band geçiren filtreler için  $Q$  (kalite faktörü), merkez frekansın ( $f_o$ ), band genişliğine ( $\beta$ ) oranıdır.

$$Q = \frac{f_o}{\beta}$$

Alçak geçiren ve yüksek geçiren filtreler için  $Q$ , kutup kalitesini gösterir. Yüksek kalite faktörleri grafiksel olarak 0 dB çizgisi ile filtrenin kazanç cevabının tepe noktası arasındaki mesafe olarak gösterilebilir.  $Q$  en düşük 1 olarak seçilir.

### 6.2. Ön Hazırlık

1. Deneye gelmeden önce LM324 katalogunu inceleyiniz.
2. Şekil 6.8 ve şekil 6.9’da verilen devreleri simülasyon programlarıyla gerçekleştiriniz.
3. AC analiz yapılarak alçak ve yüksek geçiren filtrelerin kesim frekansını ve maksimum çıkış genliğini, bant geçiren filtrenin merkez frekansını, bant genişliğini ve maksimum çıkış genliğini bulup not alınız.

### 6.3. Deneyin Yapılışı

#### 1- Alçak Geçiren Filtre

1. Şekil 6.8’de verilen 1. devreyi kurunuz.
2. Devrenin girişine  $V_{in-p}=20mV$  uygulayınız. Devredeki Opamp’lar için besleme gerilimleri  $\pm 12V$ ’dur.
3. Devrenin kesim frekansını bulunuz. Giriş işaretinin frekansını tabloda verilen değerlere göre ayarlayınız. Osiloskop ekranında gözlemlediğiniz değerlere göre Tablo 2.1’i doldurunuz.
4. Elde ettiğiniz değerlere göre kazanç(dB)-frekans eğrisini çiziniz (Şekil 6.10).

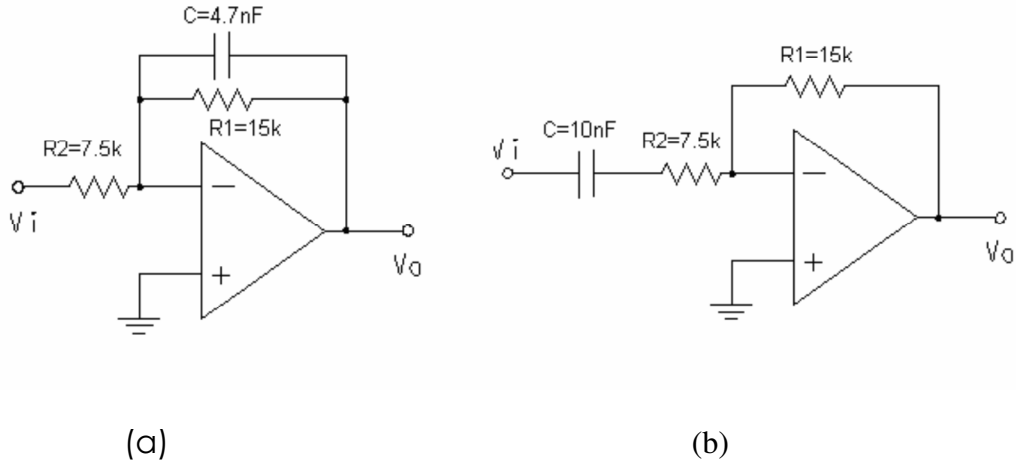
#### 2- Yüksek Geçiren Filtre

1. Şekil 6.8’de verilen 2. devreyi kurunuz.
2. Devrenin girişine  $V_{in-p}=20mV$  uygulayınız. Devredeki Opamp’lar için besleme gerilimleri  $\pm 12V$ ’dur.
3. Devrenin kesim frekansını bulunuz. Giriş işaretinin frekansını tabloda verilen değerlere göre ayarlayınız. Osiloskop ekranında gözlemlediğiniz değerlere göre Tablo 2.2’yi doldurunuz.
4. Elde ettiğiniz değerlere göre kazanç(dB)-frekans eğrisini çiziniz (Şekil 6.11).

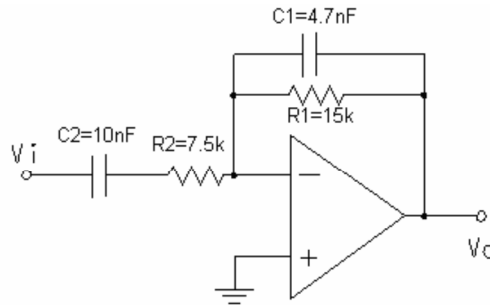
#### 3- Band Geçiren Filtre

1. Şekil 6.9’de verilen devreyi kurunuz.

- Devrenin girişine  $V_{in-p-p}=20mV$  uygulayınız. Devredeki Opamp'lar için besleme gerilimleri  $\pm 12V$ 'dur.
- Devrenin merkez, alt ve üst kesim frekanslarını bulunuz. Giriş işaretinin frekansını tabloda verilen değerlere göre ayarlayınız. Osiloskop ekranında gözlemlediğiniz değerlere göre Tablo 2.3'ü doldurunuz.
- Elde ettiğiniz değerlere göre kazanç(dB)-frekans eğrisini çizin (Şekil 6.12).



**Şekil 6.8 (a)** 1.Derece Alçak Geç. Filtre Dev. **(b)** 1.Derece Yüksek Geç. Filtre Dev.



**Şekil 6.9.** 2.Derece Bant Geçiren Filtre Devresi

**Tablo 2.1** Alçak Geçiren Filtrenin Kazanç Frekans Eğrisi için Elde Edilen Değerler

	Frekans (Hz)	$V_o$ p-p	$A_v$	$A_v$ (dB)
	$0.5f_c$			
	$0.8f_c$			
	$f_c$			
	$1.5f_c$			
	$3f_c$			



**Şekil 6.10.** Alçak Geçiren Filtre için Kazanç(dB)-Frekans eğrisi

**Tablo 6.2** Yüksek Geçiren Filtrenin Kazanç Frekans Eğrisi için Elde Edilen Değerler

	Frekans (Hz)	$V_o$ p-p	$A_v$	$A_v$ (dB)
$0.5f_c$				
$0.8f_c$				
$f_c$				
$1.5f_c$				
$3f_c$				



**Şekil 6.11.** Yüksek Geçiren Filtre için Kazanç(dB)-Frekans eğrisi

**Tablo 6.3** Bant Geçiren Filtrenin Kazanç Frekans Eğrisi için Elde Edilen Değerler

	Frekans (Hz)	$V_o$ p-p	$A_v$	$A_v$ (dB)
$0.8f_L$				
$f_L$				
$f_o$				
$f_H$				
$1.5f_H$				



**Şekil 6.12.** Band Geçiren Filtre için Kazanç(dB)-Frekans eğrisi

#### 6.4. Rapora Eklenecekler

1. Pasif ve aktif filtre devrelerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını sıralayınız.
2. Endüktans elemanının özelliklerini sıralayarak devre içinde kullanımının avantajları ve dezavantajlarını belirtiniz.
3. Alçak geçiren filtre devrelerinin uygulama alanlarını araştırınız.
4. Bant geçiren filtre devrelerinin uygulama alanlarını araştırınız.
5. Bant söndüren filtre devrelerinin uygulama alanlarını araştırınız.
6. Yüksek dereceli alçak geçiren elde etmek için daha düşük dereceli alçak geçiren filtreler nasıl bağlanabilir?
7. Alçak geçiren filtre kullanarak bant geçiren filtre elde etmek için ne yapılmalıdır, açıklayınız.
8. İdeal bir Opamp'ın giriş ve çıkış dirençleri nedir?
9. Opamp kullanarak integratör ve türev alıcı yapıları tasarlayınız. Transfer fonksiyonlarını belirtiniz.