



Analog Haberleşme Laboratuvarı

2.İKİNCİ DERECEDEDEN FİLTRELER

2.1 AMAÇ

1. Filtrelerin karakteristiklerinin anlaşılması.
2. Aktif filtrelerin avantajlarının anlaşılması.
3. İntegratör devresi ile ikinci dereceden filtrelerin gerçekleştirilmesi

2.2 TEMEL KAVRAMLARIN İNCELENMESİ

Hemen hemen haberleşme sistemlerinin tümünde bulunan filtreler, belli bir frekans bandının geçmesine izin verirken bu band dışında kalan frekansların ise zayıflatılmasını sağlarlar ve bu amaç için tasarlanırlar.

Filtreler genellikle, filtreleme aralığına göre, pass-band'deki frekans cevabına göre ve devre elemanlarına göre sınıflandırılırlar. Filtreleme aralığına göre sınıflandırmada, dört çeşit filtre mevcuttur: Alçak geçiren(low-pass), yüksek geçiren(high-pass), band geçiren(band-pass), ve de band durduran(band-reject) filtreler. Pass-band'deki frekans cevabına göre iki çeşit filtre mevcuttur: Butterworth ve Chebyshev filtreleri. Devre elemanlarına göre sınıflandırmada ise iki çeşit filtre mevcuttur: aktif ve pasif filtreler.

Pasif filtreler, devrelerinde sadece pasif elemanlar(direnç, kapasite ve bobin) bulunduran yapılardır. Aktif filtreler, yapılarında aktif malzemeler(tranzistör yada işlemsel kuvvetlendirici) ve ayrıca direnç, bobin, kapasite içeren devrelerdir. Aktif filtreler, modern haberleşme sistemlerinde geniş bir biçimde kullanılmaktadırlar. Aşağıdaki avantajlara sahiptirler:

1. İşlemsel kuvvetlendiricinin yüksek giriş empedansı ve düşük çıkış empedansına sahip olmasından dolayı, filtre devresi mükemmel izolasyon karakteristiğine sahip ve kas kat yapılar içinde son derece uygundur.
2. Aktif elemanlar kuvvetlendirme sağlayacaklarından dolayı, kazançla sahiptirler

İkinci Dereceden Alçak Geçiren Filtreler

Alçak geçiren filtre, DC'den(0 frekansından) kesim frekansına kadar sabit bir çıkış gerilimine sahip olan elektronik bir devredir. Frekans, kesim frekansının üzerine çıkmaya başladıkça, çıkış gerilimi zayıflamaya başlayacaktır. Kesim frekansı, diğer bir deyişle 0.707 frekansı, 3dB frekansı yada köşe frekansı, çıkış geriliminin pass-band değerine göre 0.707 kat düştüğü frekanstır. Fig. 2-1'de tipik bir aktif alçak geçiren filtre devresi gösterilmektedir. Buna daha çok, evirici integrator (inverting integrator) yada Miller integratöründe denilmektedir. Transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir :

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = -\frac{1}{SC} = -\frac{1}{RC} = -\frac{\omega_0}{S} \quad (2-1)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

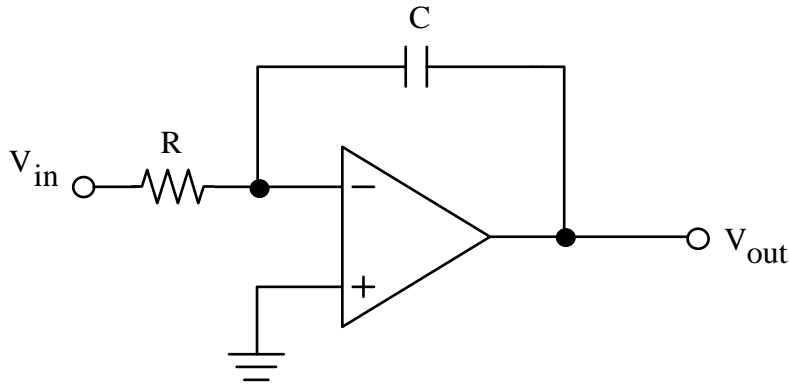


Fig. 2-1 Miller integratörü

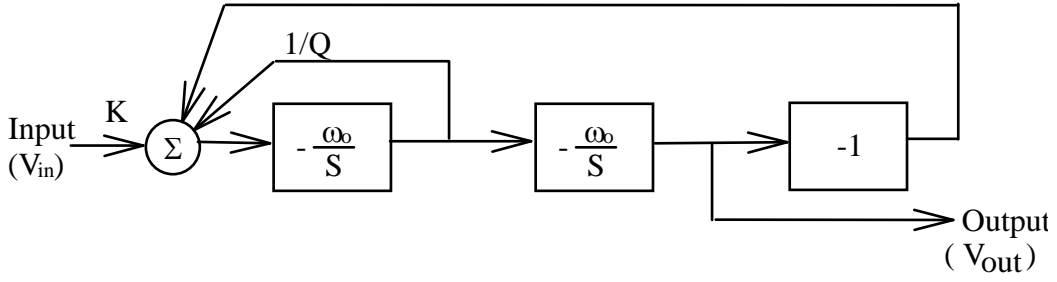


Fig. 2-2 İkinci dereceden bir alçak geçiren filtrenin blok diyagramı

İki miller integratör devresi ve bir tane evirici kuvvetlendiriciyi kaskat bağlayarak ikinci dereceden bir alçak geçiren filtreyi kolayca oluşturabiliriz.

Fig. 2-2'de ikinci dereceden bir alçak geçiren filtrenin blok diyagramı gösterilmektedir. Filtre, iki miller integratör, birim kazançlı bir evirici kuvvetlendirici ve toplayıcıdan oluşmaktadır. Transfer fonksiyonu şu şekildedir :

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{Kw_0^2}{S^2 + (\frac{w_0}{Q})S + w_0^2} \quad (2-2)$$

Bu, ikinci dereceden alçak geçiren filtrenin genel formudur. Bu blok diyagram izlenerek, pratik bir ikinci dereceden alçak geçiren filtre Fig. 2-3'de gösterilmiştir. Bu devrede, U_1 :A işlemsel kuvvetlendiricisi hem toplayıcı hem de Fig. 2-2'deki birinci Miller integratörü olarak görev görmektedir. Eğer,

$$C_1=C_2=C$$

$$R_6=R_5=R_4 \text{ ise,}$$

transfer fonksiyonu şu şekilde olacaktır;

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{\frac{R_3}{R_1} \frac{1}{R_3 R_4 C^2}}{S^2 + \frac{1}{CR_2} S + \frac{1}{R_3 R_4 C^2}} = \frac{\frac{R_3}{R_1} \frac{1}{R_3 R_4 C^2}}{S^2 + \frac{\sqrt{R_3 R_4}}{R_2} \frac{1}{C \sqrt{R_3 R_4}} S + \frac{1}{R_3 R_4 C^2}} \quad (2-3)$$

(2-2) ve (2-3) denklemlerini karşılaştırırsak şu denklemleri elde ederiz,

$$K = \frac{R_3}{R_1} \quad (2-4)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_3R_4}} \quad (2-5)$$

$$Q = \frac{R_2}{\sqrt{R_3R_4}} \quad (2-6)$$

Fig. 2-3 devresinde, R_1 , R_2 , R_3 , C_1 ve $U_{1:A}$ elemanları ağırlık toplayıcı fonksiyonu olan Miller integratörünü oluştururlar. Toplayıcı, giriş işareti ile geri besleme işaretini toplayarak $U_{1:A}$ çıkışına vermek için kullanılır.

R_4 , C_2 , ve $U_{1:B}$ elemanlarının oluşturduğu kombinasyon ikinci Miller integratörünü oluşturmaktadır. R_5 , R_6 , ve $U_{1:C}$ elemanlarının oluşturduğu kombinasyon ise birim kazançlı eviren kuvvetlendiriciyi oluşturmaktadır. Devre tasarımı, Butterworth kriterini sağladığı için pass-band'deki cevap eğrisi düzdür ve herhangi bir salınım(ripple) yoktur.

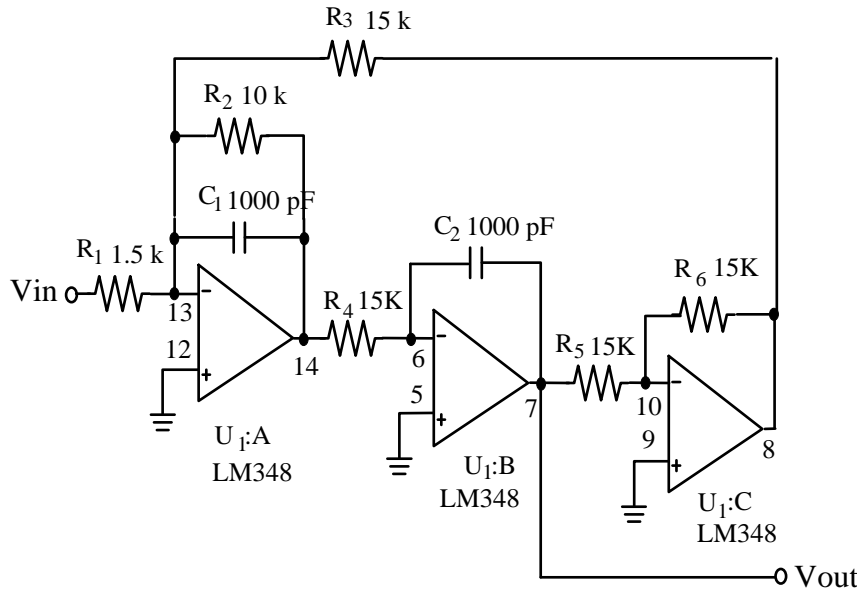


Fig. 2-3 İkinci dereceden alçak geçiren filtre devresi

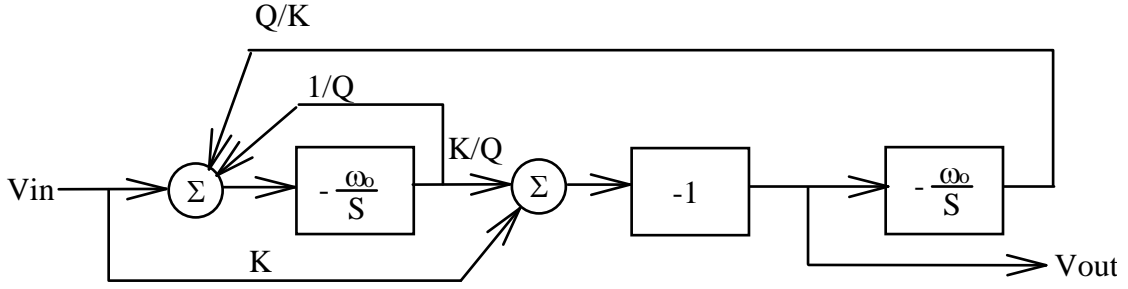


Fig. 2-4 İkinci dereceden yüksek geçiren bir filtrenin blok diyagramı

İkinci Dereceden Yüksek Geçiren Filtre

İkinci dereceden yüksek geçiren filtrenin frekans cevabı, ikinci dereceden alçak geçiren filtrenin frekans cevabının tersidir. Yüksek geçiren filtre, kesim frekansının altındaki tüm frekanslar için çıkış gerilimini zayıflatan bir filtredir. Kesim frekansının üstündeki frekanslar için, çıkış geriliminin genliği sabittir. Fig. 2-4 'deki blok diyagram ikinci dereceden bir yüksek geçiren filtredir. Bu filtre, iki Miller integratörü, bir evirici kuvvetlendirici ve de iki toplayıcıdan oluşmaktadır. Filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir;

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{-KS^2}{S^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)S + \omega_0^2} \quad (2-7)$$

Bu, ikinci dereceden yüksek geçiren bir filtrenin genel yapısıdır. Bu blok diyagram izlenerek, pratik bir ikinci dereceden yüksek geçiren filtre Fig. 2-5'de gösterilmiştir.

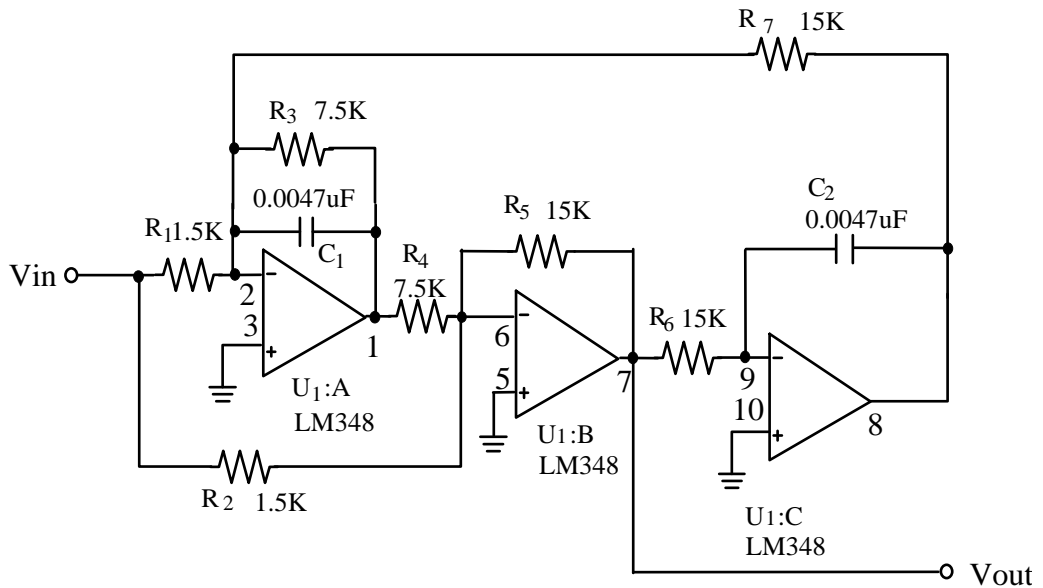


Fig. 2-5 İkinci dereceden yüksek geçiren filtre devresi



Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Bu iki figürü karşılaştıralım. U_1 :A, birinci Miller integratörü ve toplayıcı görevi görmektedir. U_1 :B, ikinci toplayıcı ve birim kazançlı eviren kuvvetlendirici görevi görmektedir. Eğer,

$$C_1=C_2=C$$

$$R_7=R_6=R_5 \text{ ise,}$$

transfer fonksiyonu şu şekilde olacaktır;

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{-\frac{R_5}{R_2} S^2 - \frac{R_5}{CR_2} \left(\frac{1}{R_3} - \frac{R_2}{R_1 R_4} \right)}{S^2 + \frac{1}{R_3 C} S + \frac{1}{R_4 R_5 C^2}} \quad (2-8)$$

ve eğer,

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad \text{ise}$$

transfer fonksiyonu şu şekilde olur,

$$\begin{aligned} \frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} &= \frac{-\frac{R_5}{R_2} S^2}{S^2 + \frac{1}{R_3 C} S + \frac{1}{R_4 R_5 C^2}} \\ &= \frac{-\frac{R_5}{R_2} S^2}{S^2 + \frac{\sqrt{R_4 R_5}}{R_3} \times \frac{1}{C \sqrt{R_4 R_5}} + \frac{1}{R_4 R_5 C^2}} \end{aligned} \quad (2-9)$$

(2-7) denklemi ile (2-9) denklemini karşılaştırsak şu formülleri elde ederiz;

$$K = \frac{R_5}{R_2} \quad (2-10)$$

$$w_0 = \frac{1}{C \sqrt{R_4 R_5}} \quad (2-11)$$

$$Q = \frac{R_3}{\sqrt{R_4 R_5}} \quad (2-12)$$



Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Fig. 2-5 devresinde, R_1 , R_3 , R_7 , C_1 ve $U_{1:A}$, ağırlık toplayıcısı görevindeki birinci Miller integratörünü oluşturacak şekilde bağlanmışlardır. Toplayıcı, $U_{1:C}$ çıkış işaretini giriş işaretine toplamak için kullanılır. R_2 , R_4 , R_5 , ve $U_{1:B}$ 'nin oluşturduğu ikinci toplayıcı, giriş işareti ile $U_{1:A}$ çıkışındaki işareti toplamak için kullanılır. R_6 , C_2 ve $U_{1:C}$, ikinci Miller integratör devresini oluştururlar. Bu devre tasarımı Butterworth kriterini sağladığı için, pass-band'deki cevap eğrisi düzdür ve herhangi bir salınım(no ripple) yoktur.

Yukarıda bahsedilen tüm filtreler ikinci dereceden filtrelerdir. Eğer istenirse, daha yüksek dereceden filtreler, bu filtreler birbirlerine kaskat bağlanarak ve eleman değerleri modifiye edilerek sağlanabilir. Eleman değerleri modifiye edilirken, Butterworth yada Chebyshev kriterleri sağlanacak şekilde modifikasyon yapılır. Deney devrelerinde kullandığımız işlemsel kuvvetlendirici LM348'dir. LM348 içerisinde dört tane OP AMP içermektedir ve LM348'in birim kazanç band genişliği 1MHz'dir. İkinci dereceden yüksek geçiren filtre devresinde, yüksek frekans bandındaki filtre cevabını(response) iyileştirmek için, LM348 yerine LM318 kullanılabilir. LM318'in birim kazanç band genişliği 15MHz'dir.

2.3 GEREKLİ EKİPMANLAR

1. KL-96001 Modülü
2. KL-93001 Modülü
3. Osiloskop

2.4 DENEYLER VE KAYITLAR

Deney 2-1 İkinci Dereceden Alçak Geçiren Filtre

- 1. KL-93001 Modülü üzerine ikinci dereceden alçak geçiren filtreyi yerleştiriniz. $C_1=C_2=0.001\mu F$ elde etmek için J1 ve J2'ye bağlantı konnektörlerini bağlayınız.
- 2. Girişe(I/P), 100mVp-p genlikli 10Hz'lik sinüs işaret bağlayınız. Osiloskop kullanarak, çıkış işaretini gözlemleyin ve çıkış genliğini Tablo2-1'de kaydediniz.
- 3. 100Hz, 1KHz, 2KHz, 5KHz, 8KHz, 10KHz, 20KHz, 50KHz ve 100KHz giriş frekansları için çıkış genliklerini gözlemleyin ve Tablo 2-1'e kaydediniz.



- 4. Her giriş frekansı için gerilim kazancını hesaplayın ve Tablo 2-1'e kaydedin.
- 5. Tablo 2-1 sonuçlarını kullanarak Fig. 2-6 üzerinde gerilim kazancının Bode diyagramını çizin.
- 6. $C_3=C_4=0.01\mu F$ elde etmek için, J1 ve J2'den bağlantı konnektörlerini sökün ve J3, J4'e bağlayın.
- 7. 10Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 800Hz, 1KHz, 2KHz, 5KHz, 10KHz ve 100KHz giriş frekansları için çıkış genliklerini gözlemleyin ve Tablo 2-2'ye kaydediniz.
- 8. Her giriş frekansı için gerilim kazancını hesaplayın ve Tablo 2-2'ye kaydedin.
- 9. Tablo 2-2 sonuçlarını kullanarak Fig. 2-7 üzerinde gerilim kazancının Bode diyagramını çizin.

Deney 2-2 İkinci Dereceden Yüksek Geçiren Filtre

- 1. KL-93001 modülü üzerine ikinci dereceden yüksek geçiren filtre devresini yerleştirin. $C_1=C_2=0.0047\mu F$ elde etmek için J1 ve J2'ye bağlantı konnektörlerini bağlayınız.
- 2. Girişe(I/P), 100mVp-p genlikli 10Hz'lik sinüs işaret bağlayınız. Osiloskop kullanarak, çıkış işaretini gözlemleyin ve çıkış genliğini Tablo2-3'e kaydediniz.
- 3. 100Hz, 1KHz, 2KHz, 5KHz, 8KHz, 10KHz, 20KHz, 50KHz ve 100KHz giriş frekansları için çıkış genliklerini gözlemleyin ve Tablo 2-3'e kaydediniz.
- 4. Her giriş frekansı için gerilim kazancını hesaplayın ve Tablo 2-3'e kaydedin.
- 5. Tablo 2-3 sonuçlarını kullanarak Fig. 2-8 üzerinde gerilim kazancının Bode diyagramını çizin.



- 6. $C_3=C_4=0.015\mu F$ elde etmek için, J1 ve J2'den bağlantı konnektörlerini sökün ve J3, J4'e bağlayın.
- 7. 10Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 800Hz, 1KHz, 2KHz, 5KHz, 10KHz ve 100KHz giriş frekansları için çıkış genliklerini gözlemleyin ve Tablo 2-4'e kaydediniz.
- 8. Her giriş frekansı için gerilim kazancını hesaplayın ve Tablo 2-4'e kaydedin.
- 9. Tablo 2-4 sonuçlarını kullanarak Fig. 2-9 üzerinde gerilim kazancının Bode diyagramını çiziniz.



Tablo 2-1

($C_1 = C_2 = 0.001\mu\text{F}$)

Giriş Frekansı (Hz)	10	100	1k	2k	5k	8k	10k	20k	50k	100k
Çıkış Genliği (mV)										
Gerilim Kazancı (dB)										



Fig.2-6



Tablo 2-2

($C_1 = C_2 = 0.01\mu F$)

Giriş Frekansı (Hz)	10	100	200	500	800	1k	2k	5k	10k	100k
Çıkış Genliği (mV)										
Gerilim Kazancı (dB)										

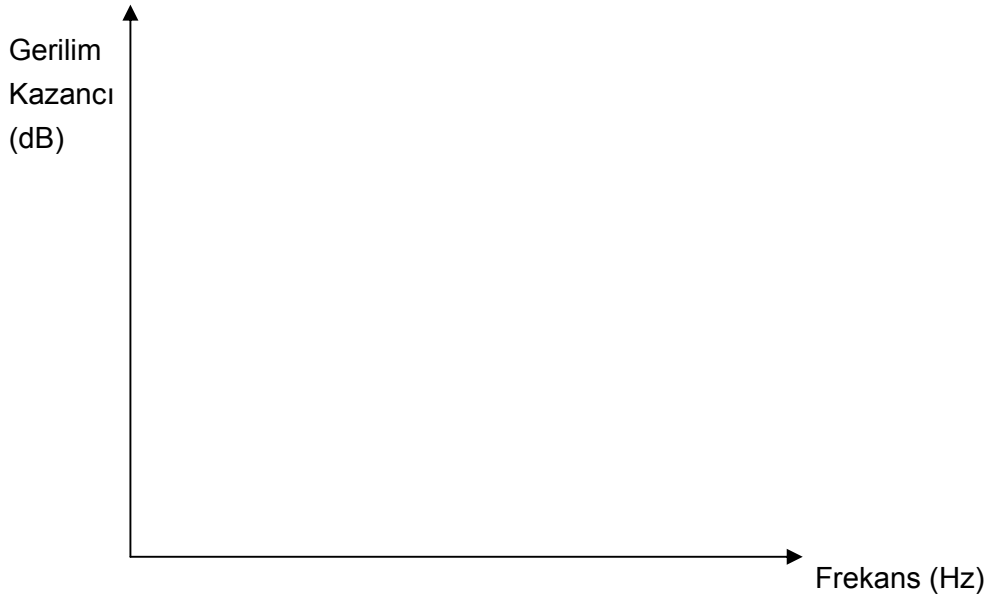


Fig.2-7



Tablo 2-3

($C_1 = C_2 = 0.0047\mu\text{F}$)

Giriş Frekansı (Hz)	10	100	1k	2k	5k	8k	10k	20k	50k	100k
Çıkış Genliği (mV)										
Gerilim Kazancı (dB)										



Fig.2-8

Tablo 2-4

($C_1 = C_2 = 0.015\mu\text{F}$)

Giriş Frekansı (Hz)	10	100	200	500	800	1k	2k	5k	10k	100k
Çıkış Genliği (mV)										
Gerilim Kazancı (dB)										



Fig.2-9

2.5 SORULAR

1. Fig. 2-2 devresinden (2-2) denklemini elde ediniz.
2. Fig. 2-5'de, eğer $R_1 = R_4 = R_2 = R_3$, $C_1 = C_2 = C$ ve $R_5 = R_6 = R_7$ ise, (2-9) denkleminin transfer fonksiyonunu elde ediniz.
3. OP Amp'lı aktif filtrelerin avantajları nelerdir?
4. (2-5) ve (2-11) denklemlerini inceleyin, filtre band genişliğini değiştirmek için hangi elemanlar kolayca değiştirilebilir?
5. Eğer Fig. 2-3'deki filtrenin band genişliğini 5KHz'e değiştirmek istersek C_1 ve C_2 kapasitelerinin değerleri ne olmalıdır?