

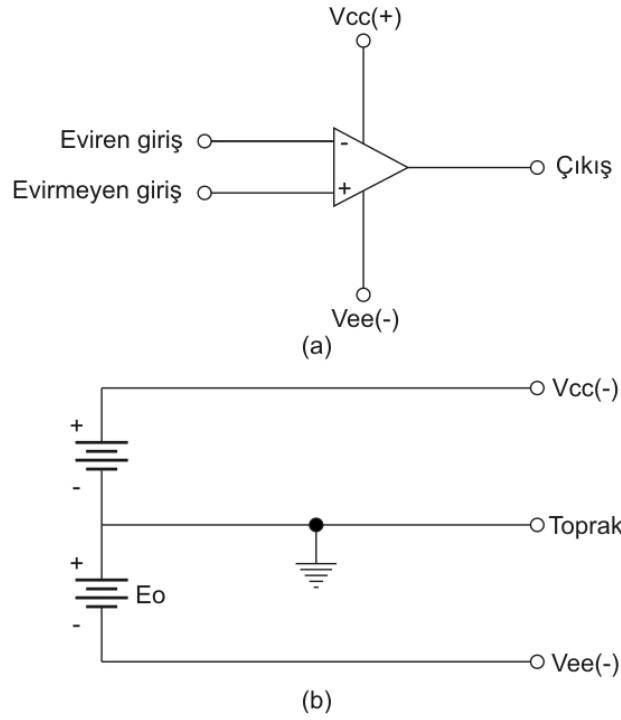
BÖLÜM 6

BİYOELEKTRİK YÜKSELTEÇLER

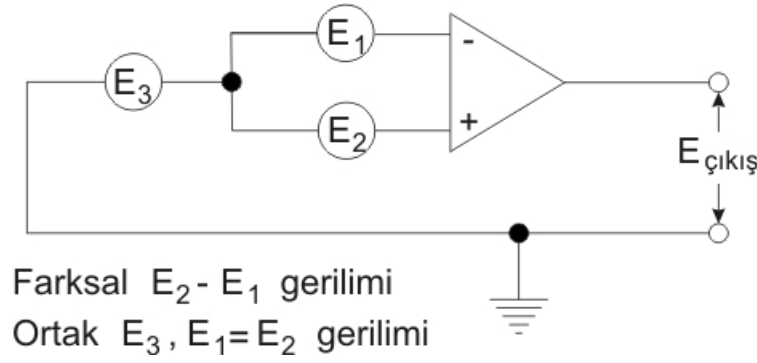
6.1 Biyoelektrik Yükselteçler

- Biyopotansiyelleri işlemekte kullanılan yükselteçlere biyoelektrik yükselteç adı verilir.
- Kazanç; (x10, x100, x1000 - x10000)
ac ve dc kuplajlı
frekans cevabı dc'den (veya dc'ye yakın 0,05 Hz) 100 KHz
- Biyoelektrik yükselteçlerde, özellikle yüksek ve orta kazançlı yükselteçlerde, iki önemli parametre **gürültü** ve **kayma**dır.
- Kayma, çalışma sıcaklığındaki değişimlerden dolayı (giriş işaretindeki değişimlerin haricinde) çıkış gerilimindeki istenmeyen değişimlerdir.
- Gürültü ise direnç ve yarıiletken elemanlarda sıcaklıktan dolayı üretilen ısı gürültüdür.

6.2 İşlemsel Yükselteçler



- İşlemsel yükselteç, iki girişe sahiptir: **eviren** ve **evirmeyen** girişler. Bunlar sırasıyla (-) ve (+) işaretleriyle gösterilmişlerdir.
- Eviren giriş, çıkışta girişe göre 180° faz farklı bir işaret oluşturur.
- Bir işlemsel yükseltecin **ortak işaret bastırma oranı (CMRR)**, idealdeki ortak modlu bir işaretin çıkış üzerinde etkisinin olmaması durumunun ne kadar sağlandığını gösteren bir ifadedir.



Şekil 6.2 İşaret gerilim kaynakları

6.2.1 İdeal İşlemsel Yükseltecin Özellikleri

◆ İşlemsel yükselteç aşağıdaki ideal özellikleri gözönünde bulundurarak analiz edilebilir:

1. Sonsuz açık devre (yani geribeslemesiz) gerilim kazancı ($A_{vol} = \infty$)
2. Sıfır çıkış empedansı ($Z_o = 0$)
3. Sonsuz giriş empedansı ($Z_i = \infty$)
4. Sonsuz frekans cevabı
5. Sıfır gürültü katkısı
6. Her iki girişin de geribesleme altında birbirini izleme özelliği. Yani negatif geribeslemeli bir devrede bir girişe uygulanan gerilim diğer girişte de aynen görülüyormuş gibi kabul edebiliriz ($V_{G+} = V_{G-}$)

Sonsuz açık devre gerilim kazancı:

- Herhangibir yükseltecin açıkdevre kazancı (A_{vol}) o yükseltecin geribeslemesiz kazancıdır.

- İdeal işlemsel yükselteçte bu kazanç sonsuz olarak tanımlanmıştır.
- Bu özelliğin bir etkisi, devrenin kapalı devre karakteristiğinin tamamıyla geribesleme devresi tarafından belirlenmesidir.

Sıfır çıkış empedansı:

- $Z_o=0$ olması demek, çıkış bir ideal gerilim kaynağı gibi çalışıyor demektir.

Sonsuz giriş empedansı:

- Giriş empedansının sonsuz olması demek, girişlerin bağlandığı devrede herhangi bir şekilde yük olmadığını, bağlandığı devreden ne akım çektiğini ne de devreye akım verdiğini söylemektedir.

Devre analizi için önemli olan 6. özellik, girişler birbirini takip etme eğilimindedirler:

- Bu demektir ki girişler sanki aynı potansiyeldelermiş gibi ele alınacaktır.

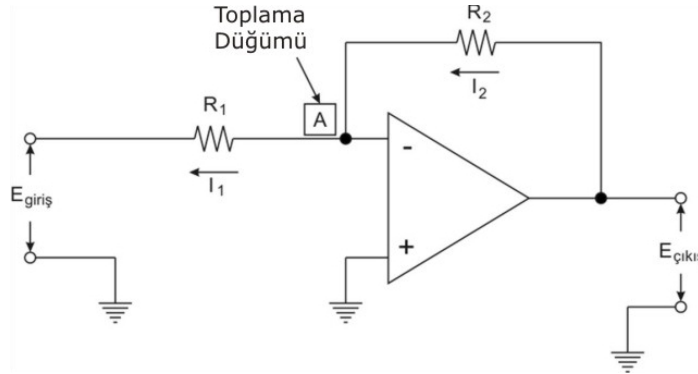
Bu konu boyunca işlemsel yükselteci 6. özelliğe sahip bir karekutu gibi ele alacağız.

6.3 Temel Yükselteç Bağlantıları

- o eviren takipçi,
- o evirmeyen kazanç yükselteci
- o birim kazançlı evirmeyen takipçi

6.3.1 Eviren İşlemsel Yükselteç Devresi

- Devre bir işlemsel yükselteçten, bir giriş direncinden (R_1) ve bir geribesleme direncinden (R_2) oluşmaktadır.



Şekil 6.3 Eviren takipçi

a) Kirşofun akım kanunundan,

$$-I_1 = I_2$$

6.1

b) Ohm kanunundan,

$$I_1 = (E_{\text{giriş}}/R_1)$$

6.2

$$I_2 = (E_{\text{çıkış}}/R_2) \quad 6.3$$

(6.2) ve (6.3) eşitliklerini (6.1) eşitliğinde yerlerine koyarsak,

$$-(E_{\text{giriş}}/R_1) = (E_{\text{çıkış}}/R_2) \quad 6.4$$

(6.4) eşitliğini $E_{\text{çıkış}}/E_{\text{giriş}}$ transfer fonksiyonu için çözersek eviren takipçinin gerilim kazancını bulabiliriz:

$$E_{\text{çıkış}}/E_{\text{giriş}} = -(R_2/R_1) = -A_v \quad 6.5$$

- Burada R_2/R_1 oranı bize gerilim kazancının büyüklüğünü verirken, eksi işareti 180° 'lik bir faz farkının söz konusu olduğunu söylemektedir.

→ Gerilim yükseltmesi veya kazanç ifadesi genellikle A_v sembolüyle gösterilir.

(6.5) eşitliği aynı zamanda iki farklı fakat eşdeğer biçimde de görünür;

$$E_{\text{çıkış}} = -E_{\text{giriş}}(R_2/R_1) \quad 6.6$$

ve

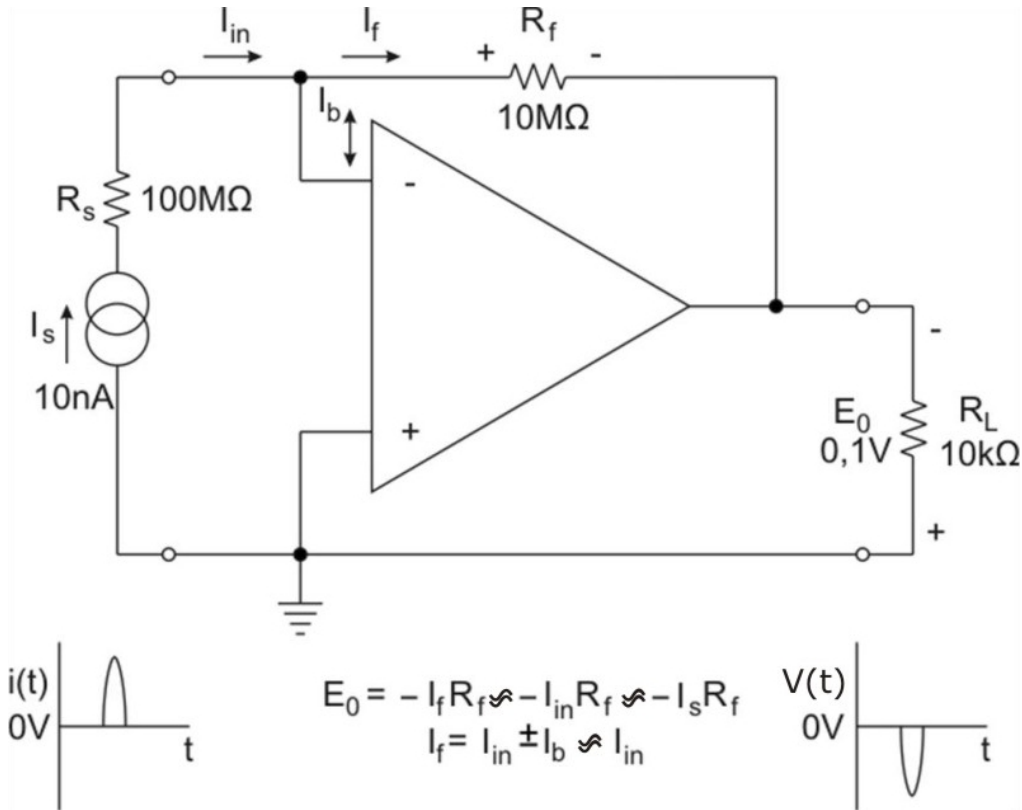
$$E_{\text{çıkış}} = -E_{\text{giriş}} A_v \quad 6.7$$

Örnek 6.1 : Geribesleme direncinin (R_2) $120\text{ k}\Omega$ ve giriş direncinin (R_1) $5.6\text{ k}\Omega$ olması durumunda eviren takipçinin kazancını hesaplayınız.

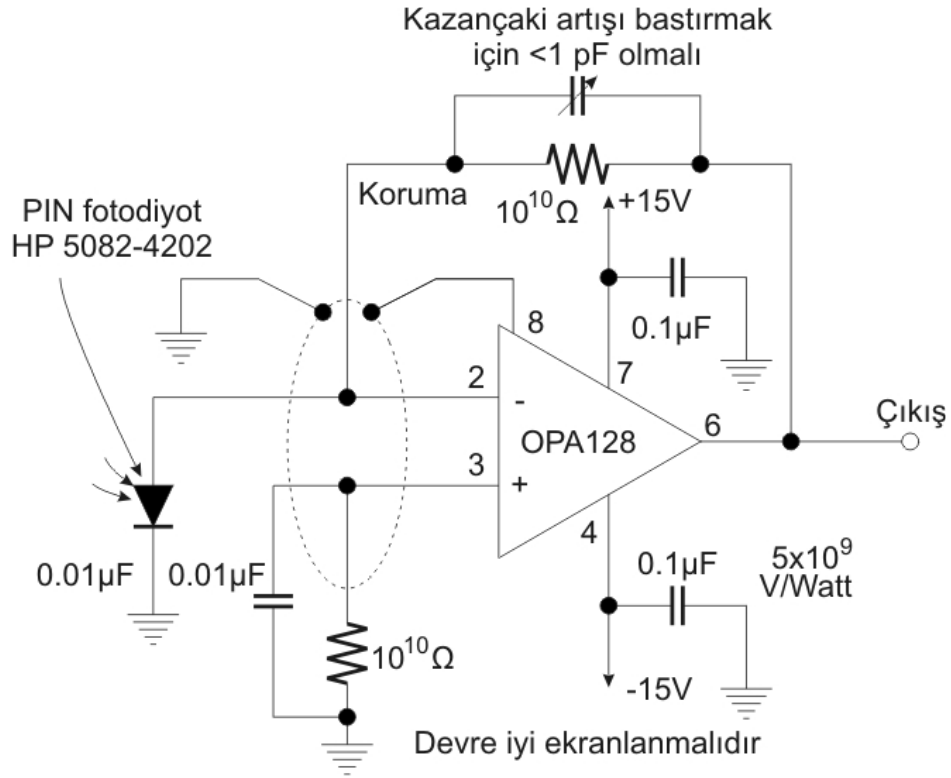
Çözüm:

$$A_v = - (R_2/R_1) = - (120\text{ k}\Omega) / (5.6\text{ k}\Omega) = -21$$

Biyotıp enstrümantasyonda sıkça kullanılan özel bir eviren işlemsel yükselteç devresi Şekil 6.4'te görülen **transempedans** yükselteci veya **akımı gerilime** çevirici devredir. Bu devre bir akım kaynağından sağlanan I_s giriş akımını alır ve onu işlemsel yükselteç çıkışında bir E_o gerilimine dönüştürür.



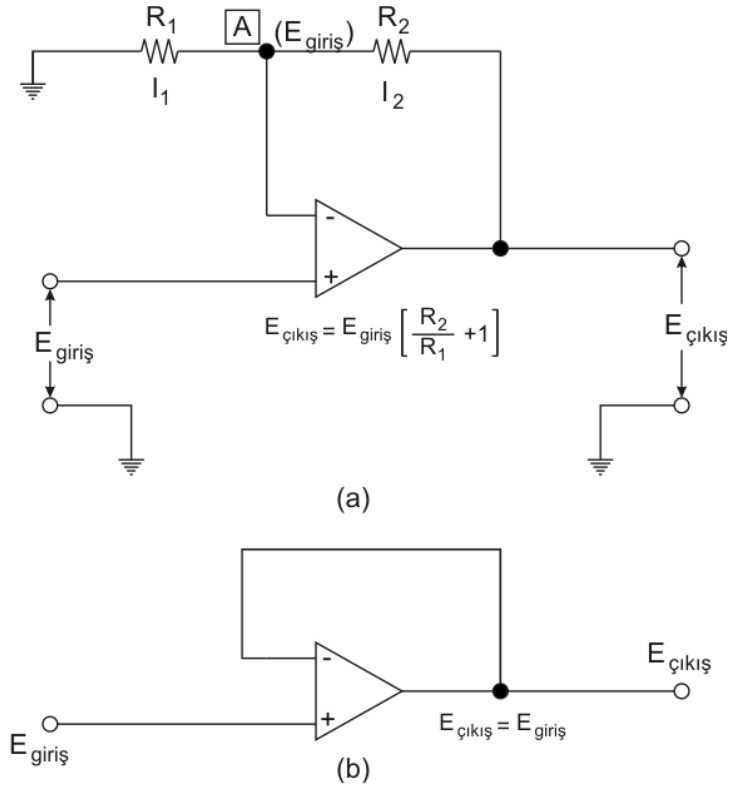
Şekil 6.4 Temel transempedans yükselteci



Şekil 6.5 Hassas fotodiyot yükselteci

- Fotodedektörlü devreler insan kanındaki oksijen seviyesini ölçen oksimetrelerde, kan şekerini ölçen optik glikoz ölçerlerde ve kandaki plazma elemanlarını ölçmek için kullanılan tıbbi laboratuvar spektrofotometrelerinde kullanılırlar.

6.3.2 Evirmeyen Yükselteçler



Şekil 6.6 Evirmeyen yükselteç devreleri a) yüksek kazançlı b) birim kazançlı

Kirşofun akım kanunundan;

$$I_1 = I_2 \quad 6.8$$

Ohm kanunundan;

$$I_1 = (E_{\text{giriş}} / R_1) \quad 6.9$$

$$I_2 = [(E_{\text{çıkış}} - E_{\text{giriş}}) / (R_2)] \quad 6.10$$

(6.9) ve (6.10) eşitliklerini (6.8) eşitliğinde yerine koyarsak;

$$(E_{\text{giriş}}/R_1) = [(E_{\text{çıkış}} - E_{\text{giriş}}) / (R_2)] \quad 6.10A$$

$$(E_{\text{giriş}} / R_1) = (E_{\text{çıkış}} / R_2) - (E_{\text{giriş}} / R_2) \quad 6.10B$$

$$(E_{\text{giriş}} / R_1) + (E_{\text{giriş}} / R_2) = (E_{\text{çıkış}} / R_2) \quad 6.10C$$

$$(E_{\text{giriş}} R_2 / R_1) + (E_{\text{giriş}} R_2 / R_2) = E_{\text{çıkış}} \quad 6.10D$$

$$(R_2 / R_1) + 1 = (E_{\text{çıkış}} / E_{\text{giriş}}) = A_v \quad 6.11$$

Örnek 6.2 : $R_2=10 \text{ k}\Omega$ ve $R_1=2,2 \text{ k}\Omega$ olması durumunda evirmeyen yükseltecin gerilim kazancını hesaplayınız.

Çözüm:

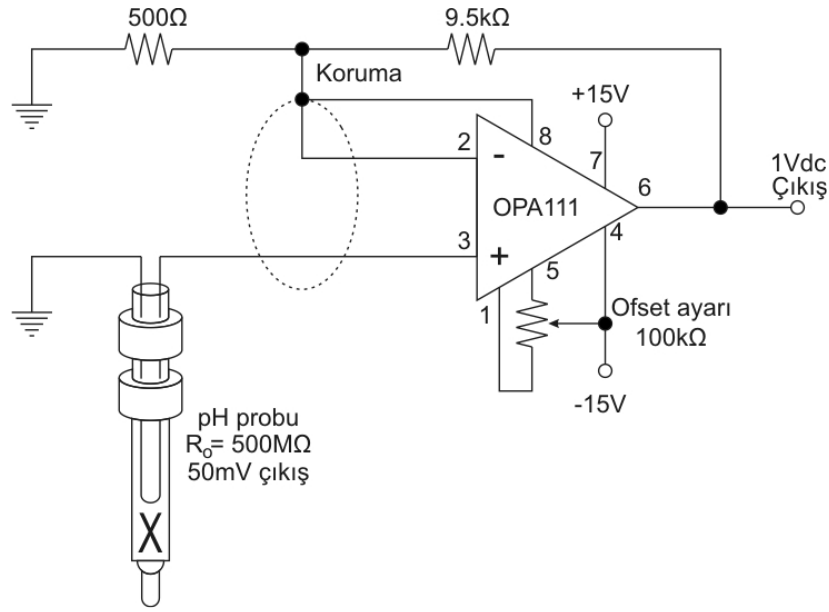
$$A_v = (R_2 / R_1) + 1$$

$$A_v = (10 \text{ k}\Omega / 2,2 \text{ k}\Omega) + 1$$

$$A_v = 4,6 + 1 = 5,6$$

- Yüksek kazançlarda eviren ve evirmeyen yükselteçlerin kazançları birbirlerine çok yakındır, fakat düşük kazançlarda bir fark meydana gelmektedir.

- Çok genel bir biyoelektrik evirmeyen yükselteç uygulaması pH prob yükseltecidir.
- kazancı 20
- 50 mV 1V elde etmek üzere yükseltilmektedir.
- 100k Ω 'luk ofset ayar potansiyometresi ofset gerilimi (250 μ V)

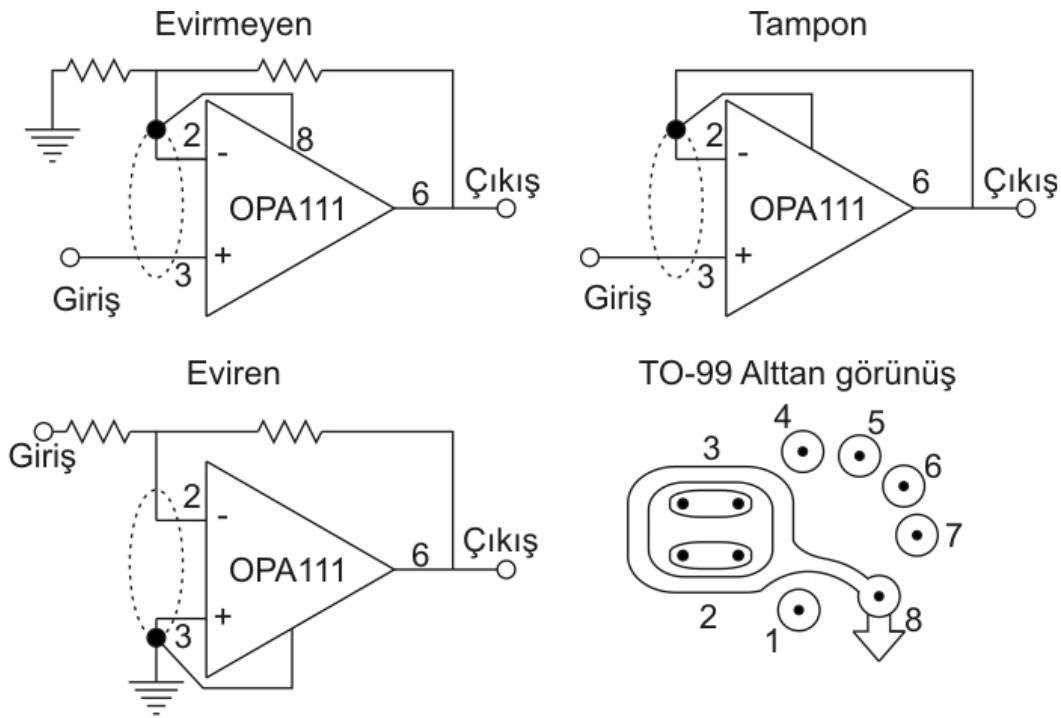


Şekil 6.7 Yüksek empedanslı (10^{14} Ω) pH prob yükselteci

► Gerçek işlemsel yükselteç devrelerini tartışırken 3 önemli varsayım kendini sürekli olarak ortaya koyar; **kutuplama akımı**, **gerilim gürültüsü** ve **gürültü toplaması**.

- Kutuplama akımı sıcaklıkla beraber artar.

- **Gürültü 3 bileşenden oluşur:** 1) işlemsel yükselteç gerilim gürültüsü 2) işlemsel yükselteç akım gürültüsü ile kaynak direncinin çarpımı 3) direnç gürültüsü (dirençler masanızın üzerinde öylece dururken bile gürültü üretirler). Bazen gürültü Johnson veya ısı gürültü diye adlandırılır çünkü malzemelerin içindeki yüklerin harekete geçirilmesinden kaynaklanır.
- Üçüncü önemli varsayım, gürültü toplamasıdır. Şekil 6.8’da görülen evirmeyen yükselteç devresinde gürültüyü düşük tutmak için 2 ve 3 nolu giriş bacaklarının korunması veya ekranlanması gerekmektedir.

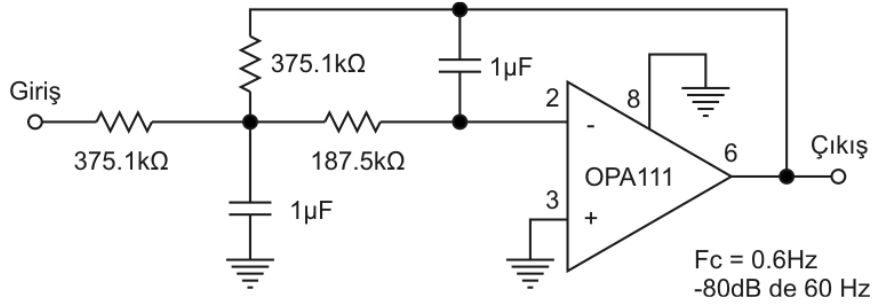


Giriş koruması için baskı devre tasarımı, plaketin alt ve üstünü koruma alternatif yöntem, hassas giriş uçlarında teflon yalıtım kullanın

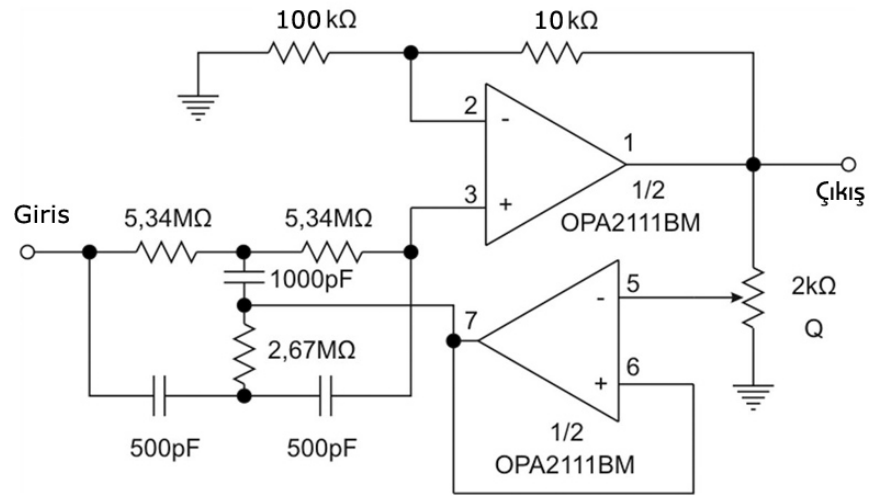
Şekil 6.8 Baskı devre çizimi ve girişlerin korumaya alınması.



Eviren ve evirmeyen op-amp devreleri biyomedikal cihazlarda sıkça kullanılan filtre devrelerini kurmak ta da yardımcı olurlar.

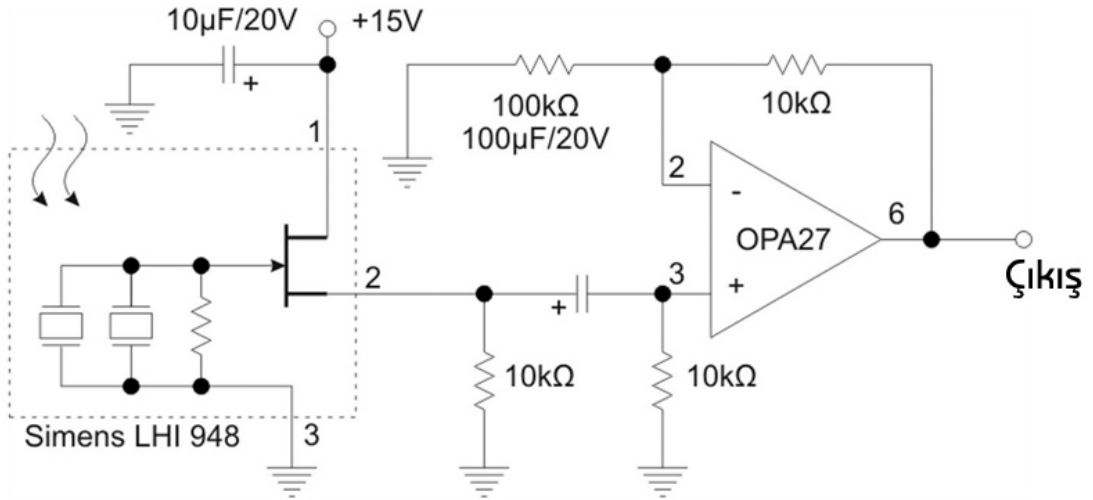


Şekil 6.9 Çift kutuplu 0,6 Hz (ikinci dereceden) alçak geçiren filtre

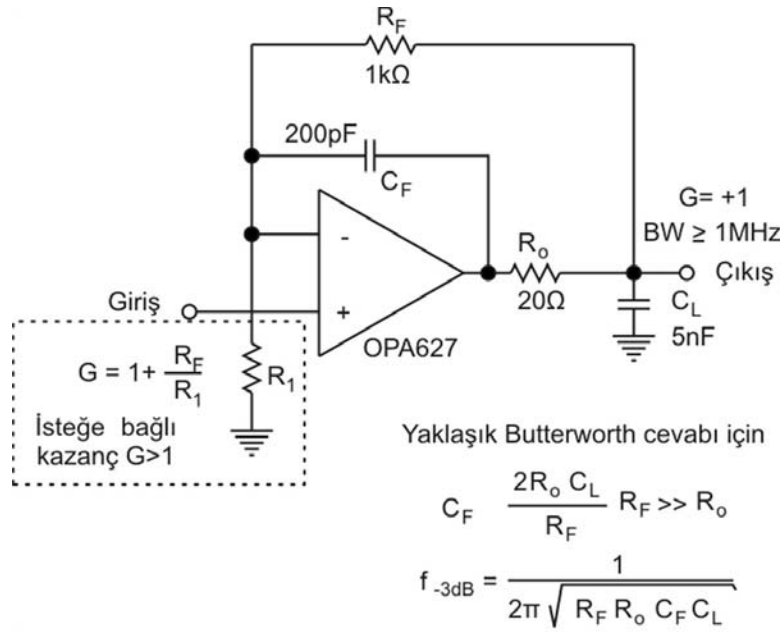


50 Hz'de kullanmak için 3.16 Mohm ve
6.37 Mohm kullanın
Kazanç=101

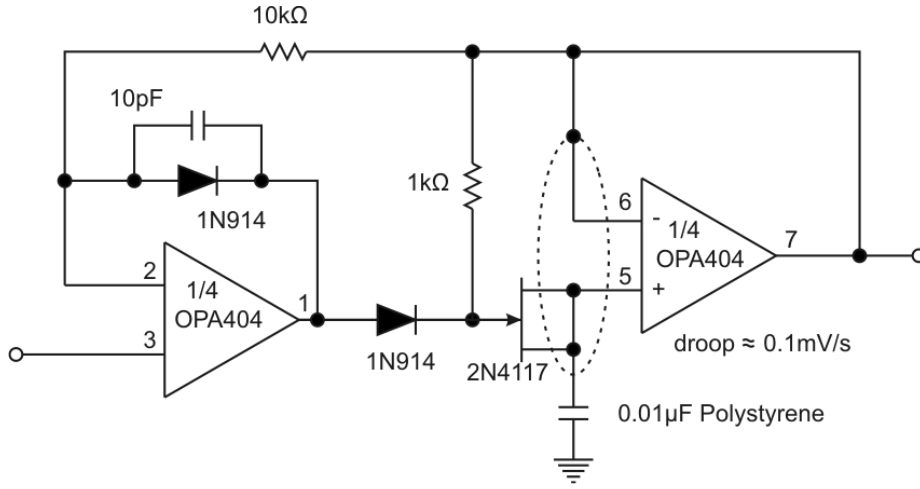
Şekil 6.10 Yüksek empedanslı 60 Hz bastırma filtresi.



Şekil 6.11 Dengeli piroelektrik kızılaltı (ısı) dedektörü.



Şekil 6.12 Büyük kapasitif yüklerin sürülmesi.



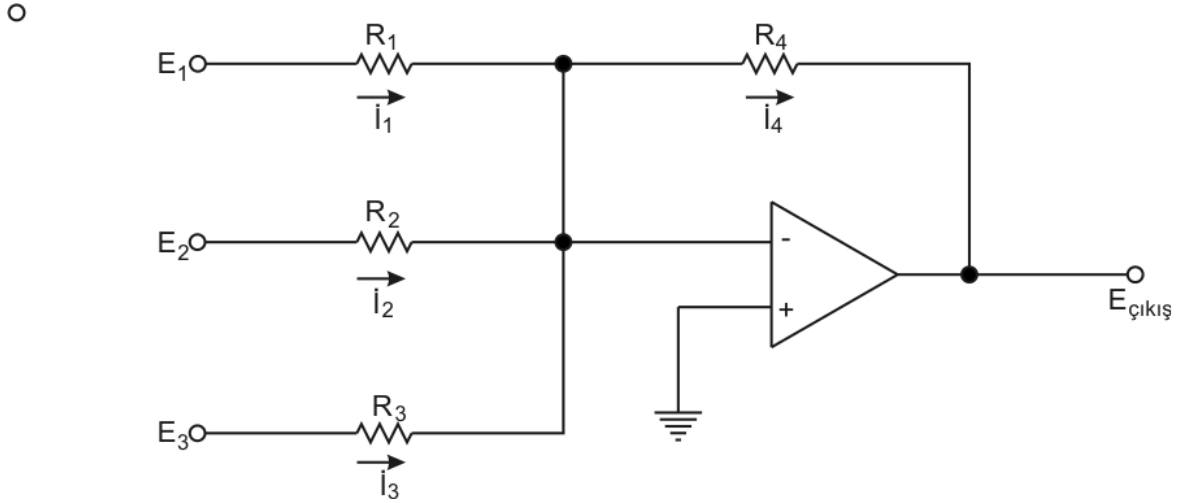
Şekil 6.13 Düşük kayıp oranlı pozitif tepe dedektörü.

6.4 Çok Girişli Devreler

- Bir op-amp devresinde birden fazla giriş devresi kullanılabilir ve çıkış gerilimi giriş akımlarının bir toplamını verir.

$$E_{out} = -R_4 \times \left(\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \dots + \frac{E_n}{R_n} \right)$$

6.12



Şekil 6.14 Çok girişli yükselteç.

Örnek 6.3: Şekil 6.14'daki gibi bir devrede $R_1=R_2=R_3=10k\Omega$ ve $R_4=22k\Omega$ ise ve $E_1=100mV$, $E_2=500mV$ ve $E_3=75mV$ ise çıkış gerilimini bulunuz.

Çözüm:

$$E_{out} = -R_4 \times \left(\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} \right)$$

$$E_{out} = -22k\Omega \times \left(\frac{100mV}{10k\Omega} + \frac{500mV}{10k\Omega} + \frac{75mV}{10k\Omega} \right)$$

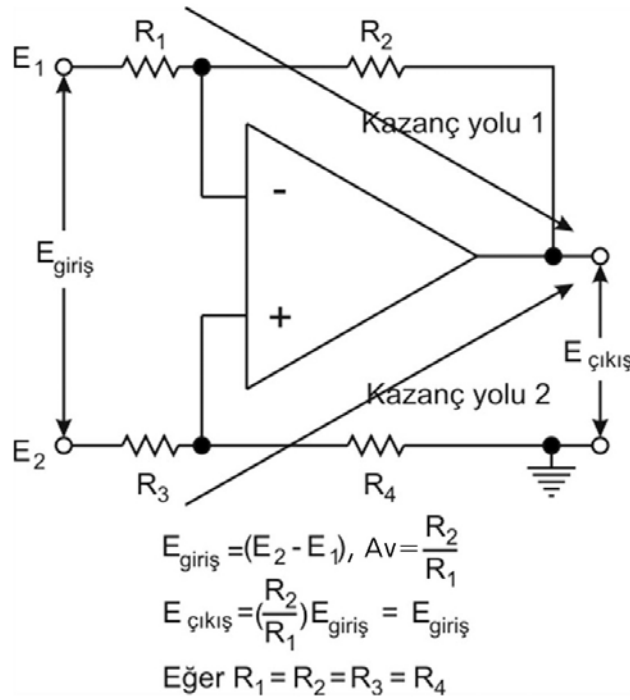
$$E_{out} = -\frac{22k\Omega}{10k\Omega} \times (100mV + 500mV + 75mV)$$

$$E_{out} = -2.2 \times 675mV = -1490mV = -1.49V$$

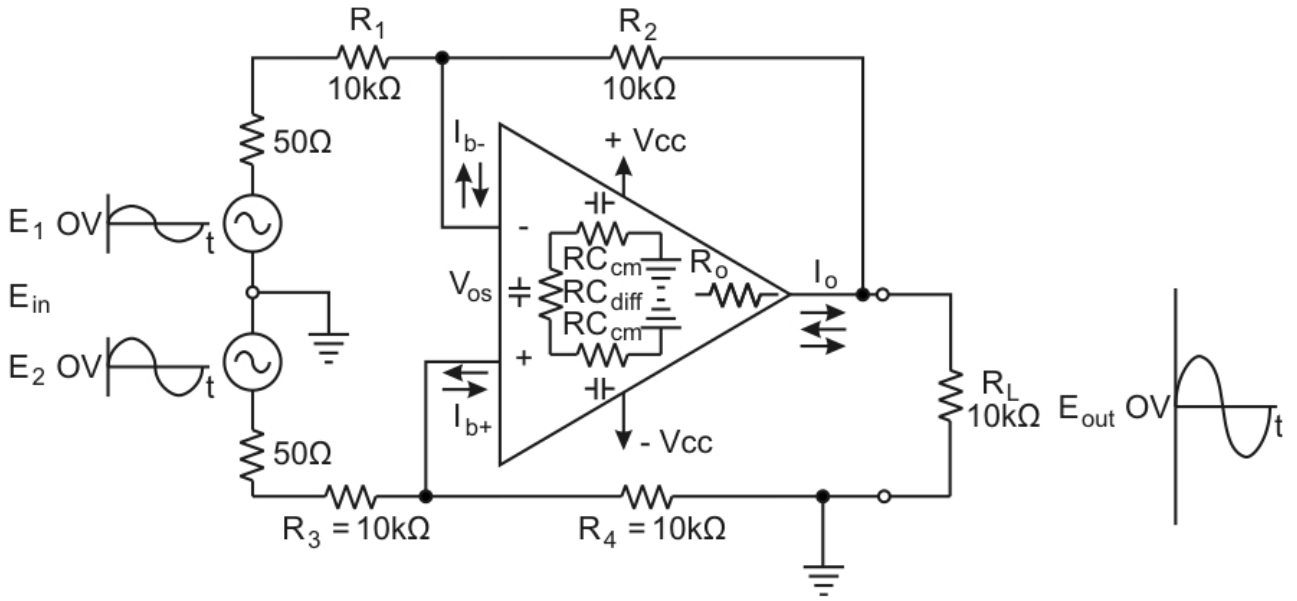
- Şekil 6.14'daki gibi devreler çoğu biyotıp cihazda birkaç farklı girişten bir değeri hesaplamak için kullanılır.
- Evirmeyen giriş de giriş olarak kullanılabilir. Bu durumda (6.14) e şitliğinin de değişiklikleri yansıtacak şekilde değiştirilmesi gerekir.

6.5 Fark Yükselteçleri

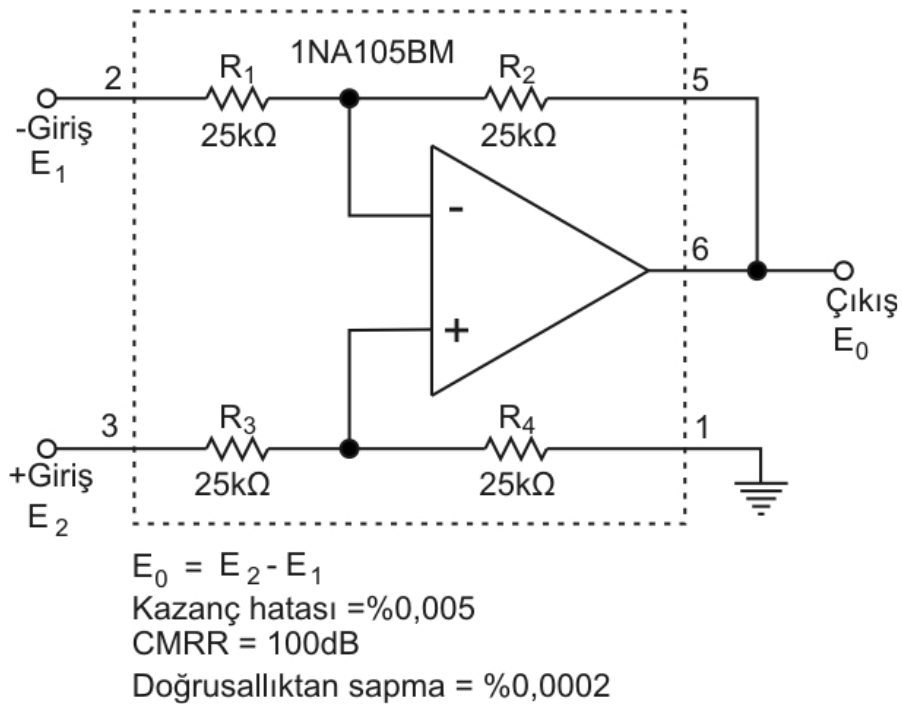
- Bir fark yükselteci, iki giriş ucuna uygulanan gerilimlerin farkıyla orantılı bir çıkış gerilimi üreten yükselteçtir.
- Şekil 6.15'te görüldüğü gibi dc fark yükseltecinin en temel tipinde sadece tek bir işlemsel yükseltece ihtiyac vardır. Şekildeki bu özel devrede fark işaretleri için gerilim kazancı $R_2/R_1=R_4/R_3$ eşitliği sağlandığı müddetçe eviren yükselteçlerle aynıdır. Bu eşitliği sağlamanın pratik bir yolu $R_1=R_3$ ve $R_2=R_4$ olarak dirençleri seçmektir. Bu durumda birinci kazanç yolu ile ikincisi birbirine eşit olur.



Şekil 6.15 Temel fark yükselteci (Tek uçlu çıkış)



Şekil 6.16 Fark yükseltecinin ayrıntılı açıklaması



Şekil 6.17 Tek entegreli hassas birim kazançlı fark yükselteç devresi.



Fark yükselteçlerinin faydası istenilen fark işaretlerini yükseltirken ortak işaretleri bastırmalarıdır.

6.5.1 Enstrümantasyon Yükselteçleri

- İki giriş yükselteci (A_1 ve A_2) evirmeyen takipçi şeklinde bağlanmışken, üçüncü yükselteç fark yükselteci şeklinde bağlanmıştır. Devreyi analiz etmeye, A_3 'ün kazancını birim kazanca ayarlamakla ($R_4=R_5=R_6=R_7$) başlayalım.
- E_1 ve E_2 gerilimleri 6. özellik dolayısıyla aynen eviren girişlerde de görülür.
- E_3 ve E_4 gerilimlerine katkıda bulunan iki kaynak vardır. E_3 gerilimi;

$$E_3 = E_2 \times \left(\frac{R_3}{R_1} + 1 \right) - \left(E_1 \times \frac{R_3}{R_1} \right) \quad 6.13$$

- E_4 gerilimi;

$$E_4 = E_1 \times \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - \left(E_2 \times \frac{R_2}{R_1} \right) \quad 6.14$$

- Eğer $R_2=R_3$ olarak alırsak (şart değildir ancak analizi kolaylaştırır) ve (6.13) ile (6.14) eşitliklerini birleştirirsek;

$$(E_3 - E_4) = (E_2 - E_1) \times \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + (E_2 - E_1) \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$(E_3 - E_4) = (E_2 - E_1) \times \left[\left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \right]$$

$$(E_3 - E_4) = (E_2 - E_1) \times \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right)$$

6.15

Böylece;

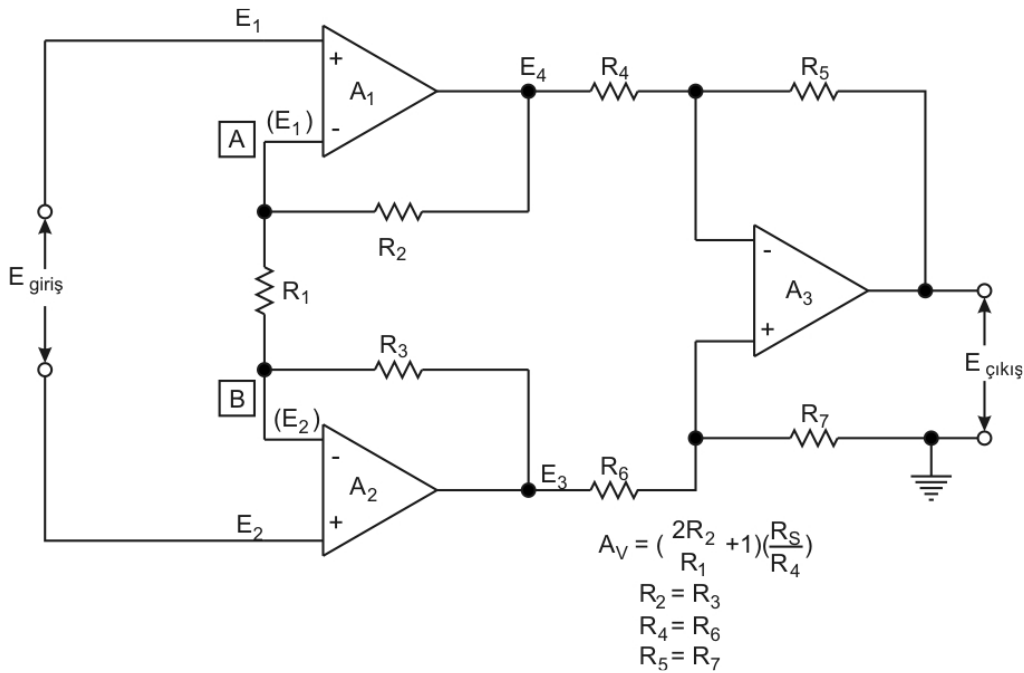
$$Av = \frac{2R_2}{R_1} + 1$$

6.16

Şekil 6.18'deki gibi bir EY'nin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$Av = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \left(\frac{R_5}{R_4} \right)$$

6.17



Şekil 6.18 Enstrümantasyon yükselteç (EY)

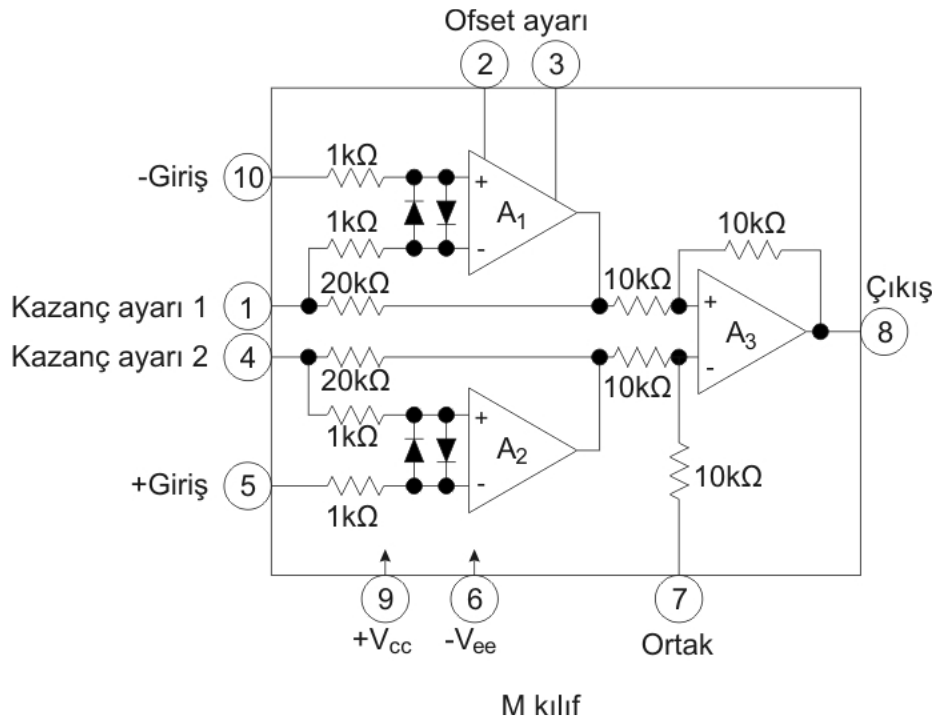
Örnek 6.4: Şekil 6.18'deki gibi bir enstrümantasyon yükseltecinde, $R_2=10K$, $R_1=500$ $R_4=100K$ ise kazancı hesaplayınız.

Çözüm :

$$A_v = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \left(\frac{R_5}{R_4} \right)$$

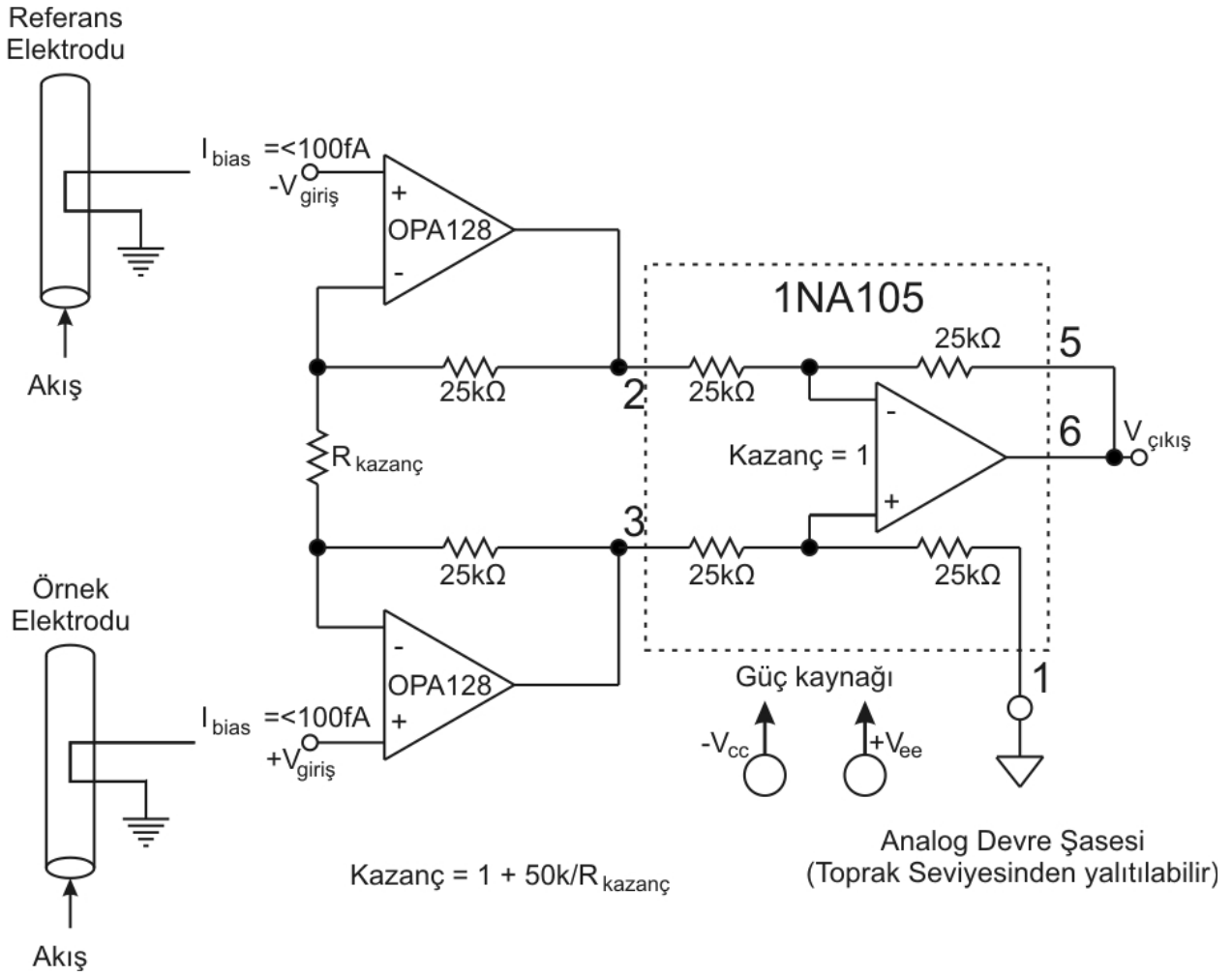
$$A_v = \left(\frac{2 \times 10k\Omega}{0.5k\Omega} + 1 \right) \left(\frac{100k\Omega}{10k\Omega} \right) = (40 + 1)(10) = 410$$

- Genel uygulamada, $R_2= R_3$, $R_4= R_6$, $R_5= R_7$ şeklinde alınır. R_2 ve R_3 değerlerindeki bir farklılık OİBO'nını etkilemez fakat bir fark kazanç hatasına neden olur.
- Şekil 6.19'da ticari olarak bulunabilen ve 3 işlemsel yükselteçle ile dirençlerin tek bir silikon tabana yerleştirildiği tek taş bir EY devresi görülmektedir.



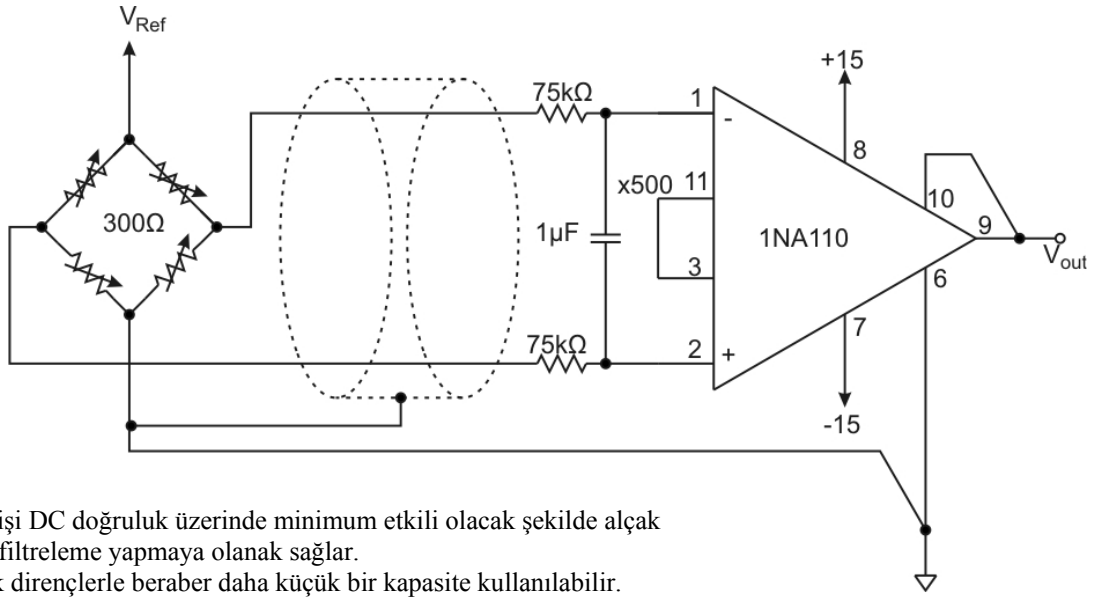
Şekil 6.19 Tek taş hassas EY entegre devresi, INA 101.

6.5.2 Enstrumantasyon Yükselteç Uygulamaları

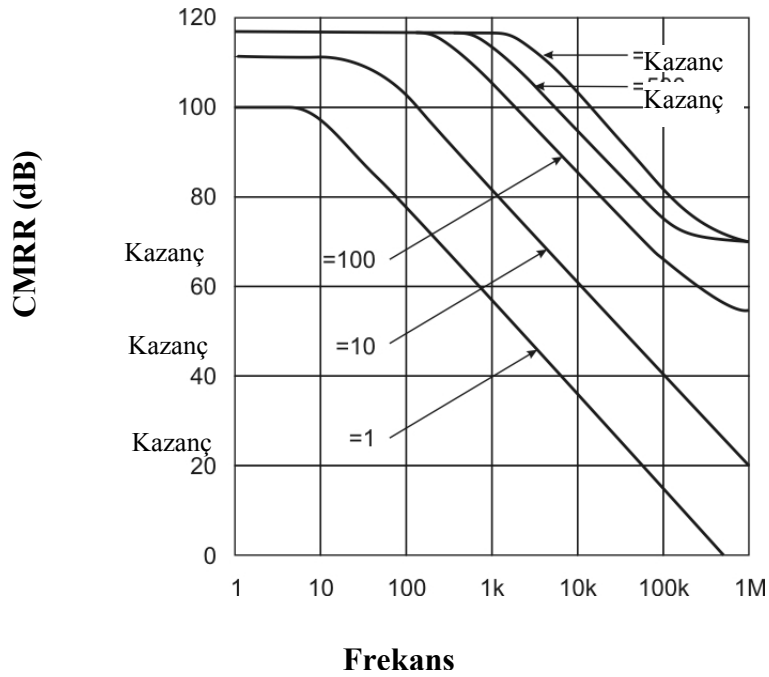


Şekil 6.20 pH probu elektrometre enstrümantasyon yükselteci

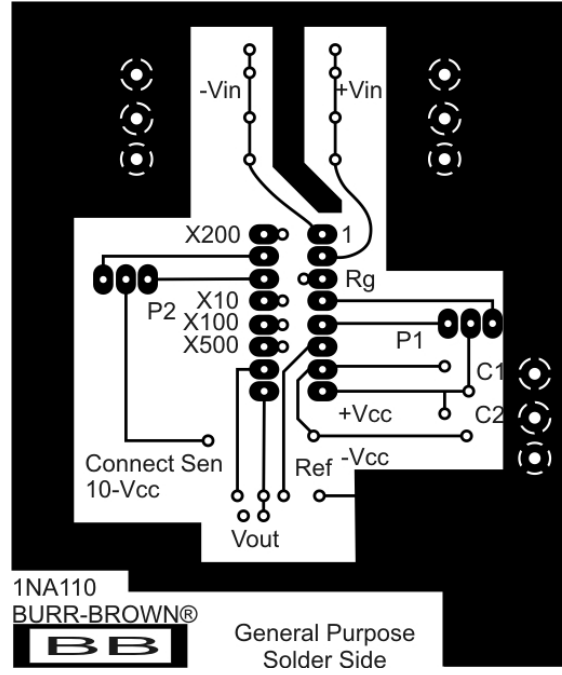
- EY'ler aynı zamanda Weston köprülerinden gelen fark gerilimlerini ölçmek için de kullanılır (Şekil 6.21). Kaynak direnci 300 gibi bir değerde olduğundan tasarımcı 20nA civarında bir kutuplama akımına sahip bipolar girişli EY kullanabilir.



Şekil 6.21 1Hz alçak geçiren fitreli köprü yükseltici



Şekil 6.22 Frekansın OİBO üzerindeki etkisi



Şekil 6.23 INA110 EY için baskı devre planı

- Şekil 6.24 de görülen kızgın flamanlı anemometre, gaz ve sıvıların kütle akış hızını belirlemekte olup endüstriyel uygulamalarda, bilimsel araştırmalarda ve tıbbi ortamlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu devre hastaların solunum parametrelerini ölçmek üzere yapay solunum cihazlarında da sıkça kullanılır.

6.6 Analog İşaret İşleme Devreleri

Birkaç özel amaçlı işlemsel yükselteç devresi, tıbbi cihaz teknolojisinde sıkça kullanılmaktadır. Bunlar **integratörler**, **türev alıcılar**, **logaritmik** ve **antilogaritmik** yükselteçlerdir. İntegratörler ve türev alıcılar, integral ve türev alma gibi matematiksel işlemleri gerçekleştiren analog devrelerdir.

6.6.1 İntegratörler

İntegral, bir fonksiyonun altında kalan bölgenin alanını hesaplamamıza imkan veren bir matematiksel işlemdir.

$$E_{\text{çıkış}} = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int_0^t E_{\text{giriş}} dt + E_{ic} \quad 6.18$$

Burada,

$E_{\text{çıkış}}$: Çıkış gerilimi (V)

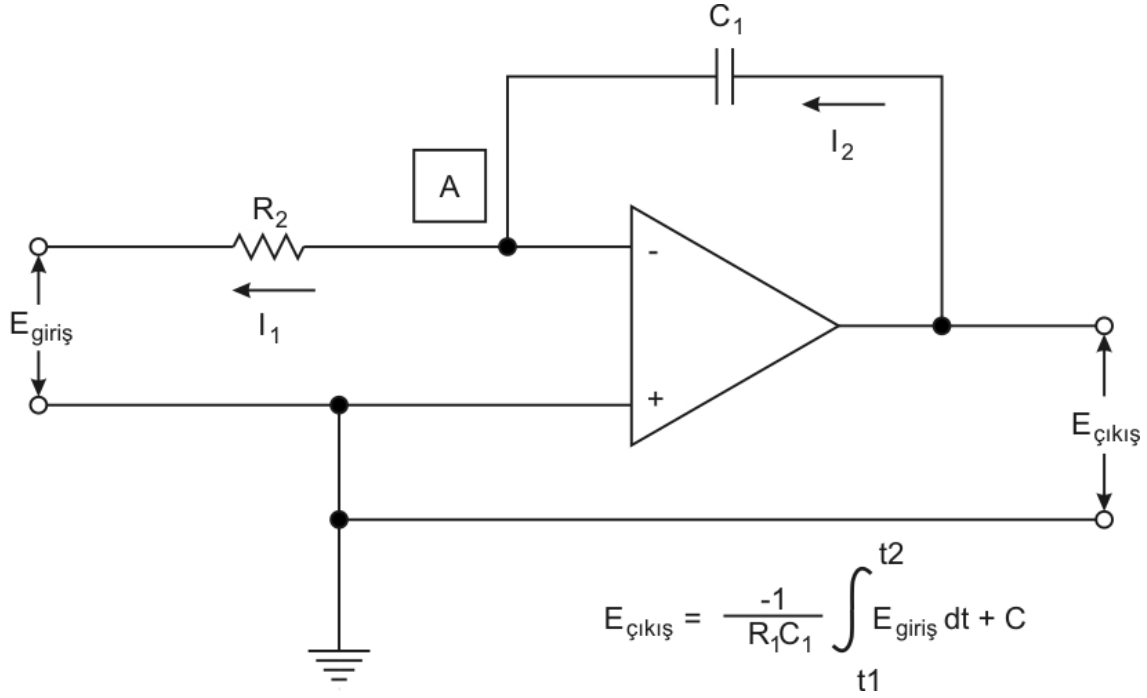
$E_{\text{giriş}}$: Giriş gerilimi (V)

R_1 : Giriş direnci (Ω)

C_1 : Geribesleme kapasitesi (F)

t : zaman (sn)

E_{ic} : $E_{\text{giriş}}$ 'in integral almaya başladığı anda ($t=0$) çıkışta bulunan başlangıç gerilimidir.



Şekil 6.27 İntegratör devresi

Örnek 6.5: Bir analog integratör (Şekil 6.27) $1 \text{ M}\Omega$ 'luk bir direnç ve $0,2 \mu F$ 'lık bir kondansatörden oluşmaktadır. Giriş gerilimi sabit $0,5 \text{ V}$ ise 1 saniye sonra çıkış gerilimini bulunuz.

Çözüm :

$$E_{\text{çıkış}} = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int_0^t E_{\text{giriş}} \cdot dt + E_{ic}$$

$$E_{\text{çıkış}} = -\frac{1}{(10^6 \Omega)(2 \times 10^{-7} F)} \int_0^1 (0,5) dt + 0$$

$$E_{\text{çıkış}} = (-5)(0.5) = -2.5V$$

- İntegratörün kazancı $-1/R_1C_1$ faktörü tarafından belirlenmektedir ve eğer R_1 , $10^6 \Omega$ ’ dan daha küçükse kazanç çok çabuk bir şekilde artar. Direnç $10^5 \Omega$ ve kapasite de 10^{-10} F olursa, kazanç 10^5 olmaktadır.

▶ İntegratör girişine bir gerilim uygulandığında, bir I_2 akımı üretilir ve C_1 kondansatörünü şarj etmeye başlar. Çıkıştaki gerilim C_1 kondansatörü şarj oldukça artmaya başlar (6. özelliği hatırlayınız, C_1 ’in A noktası tarafı toprak seviyesinde tutulmaktadır). $E_{giriş}$ tarafından belirlenen şekilde şarj işlemi devam eder.

- İntegratörler, aynı zamanda, alçak geçiren filtreler olarak çalışırlar. Bu durum C_1 ’in frekansa bağımlı olan kapasitif reaktansından kolaylıkla çıkarılabilir. Bazı medikal cihazlarda, integratörler gerçek fonsiyonları integral alma olsa bile alçak geçiren filtre olarak etkilendirilmektedirler.

6.6.2 Türev Alıcılar

- Türev alıcı devre, giriş işaretinin zamanla değişme oranıyla orantılı bir gerilim çıkışı verir.

$$E_{çıkış} = -R_1C_1 \frac{d(E_{giriş})}{dt} \quad 6.19$$

Burada,

$E_{çıkış}$ = Türev alıcı devre çıkış gerilimi (V)

$E_{giriş}$ = Giriş gerilimi (V)

R_1 = Geribesleme direnci (Ω)

C_1 = Giriş kapasitesi (F)

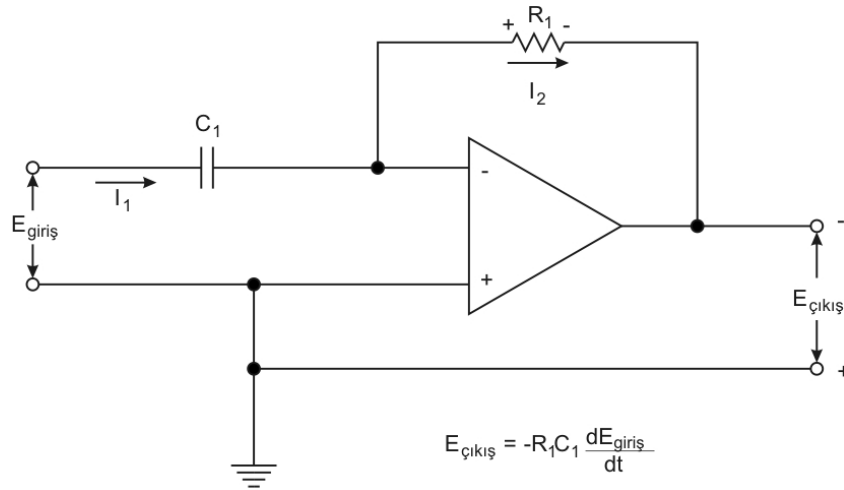
Örnek 6.6 : Şekil 6.28’ deki gibi bir türev alıcı devrede $R_1 = 100 \text{ K}\Omega$, $C_1 = 0,5 \mu\text{F}$ ve $E_{\text{giriş}}$ ’ in sabit eğimli (yani merdiven şekilli) 400 V / sn ’lik bir gerilim olması durumunda çıkış geriliminin ne olacağını bulunuz.

Çözüm :

$$E_{\text{çıkış}} = -R_1 C_1 \frac{d(E_{\text{giriş}})}{dt}$$

$$E_{\text{çıkış}} = -(10^5 \Omega)(5 \times 10^{-7} \text{ F})(400 \text{ V/s})$$

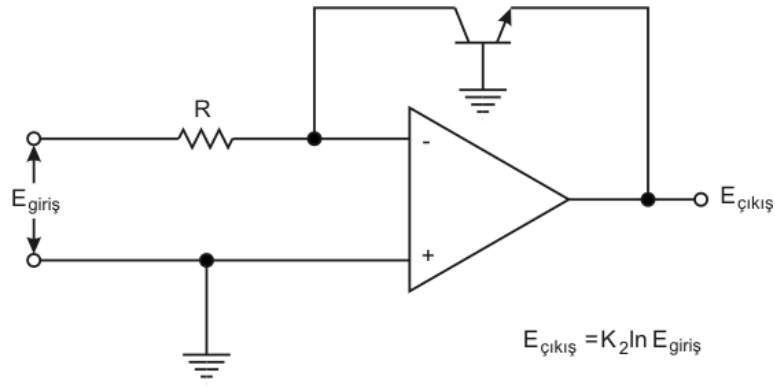
$$E_{\text{çıkış}} = - (5 \times 10^{-2} \text{ s})(400 \text{ V/s}) = 20 \text{ V}$$



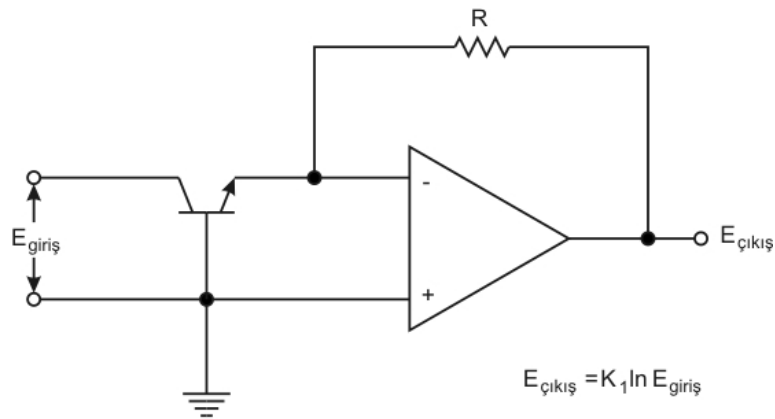
Şekil 6.28 Türev alıcı devresi

6.6.3 Logaritmik ve Antilogaritmik Yükselteçler

- Şu ana kadar anlatılanlardan işlemsel yükselteçler kullanılarak çok çeşitli transfer fonksiyonları elde edilebilir. Bu noktada tasarımcıların tek bilmesi gereken şey negatif geri besleme devresinin özelliklerini en doğru bir şekilde yorumlamak için gerekli bilgilerdir. Sıcaklık dönüştürücüleri ile ilgili, transistörün baz-emiter geriliminin, kollektör akımı I_c ' nin doğal logaritması ile orantılı olması tartışmasını hatırlayınız. Kollektör akımının bu logaritmik bağımlılığı, Şekil 6.29a' daki gibi bir devrede işlenerek bir logaritmik yükselteç yapmaya imkan sağlar.
- Benzer şekilde, bir antilog yükselteç (Şekil 6.29b) transistörü giriş devresi ile işlemsel yükseltecin eviren girişi arasına bağlamak suretiyle elde edilebilir.
- Logaritmik yükseltecin önemi giriş işaretinin dinamik alanının oldukça yüksek olduğu (birkaç derecelik bir büyüklüğe sahip) uygulamalarda ortaya çıkar. Böyle bir durumda cihazın ön katında logaritmik olmayan bir işlemsel yükselteç devresi kullanılsaydı, yüksek genlikli işaretleri incelemek için düşük genlikli işaretleri feda etmek gerekecekti. Ters bir durumda kazancı düşük seviyeli işaretleri de geçirebilecek şekilde yüksek tuttuğumuzda, yüksek seviyeli işaretler tarafından doyuma giden yükselteç yüzünden kırpmaya meydana gelecekti.



(a)



(b)

Şekil 6.29 a) Logaritmik b) Antilog yükselteç devreleri

6.7 Pratik İşlemsel Yükselteçlerde Bazı Problemler

- Pratik işlemsel yükselteçler daha önce bahsettiğimiz ideal özellikleri göstermezler.
- Kazanç sonsuz değildir ($2 \times 10^4 - 5 \times 10^4$, pahalı İY $10^5 - 10^6$).
- Sıfır çıkış empedansı olmaz (pratikte 200Ω 'un altında).
- Giriş empedansı sonsuz olmaz (ucuz tiplerde 10^5 , MOSFET girişli 10^{12} , bazılarında $1,5 \times 10^{15}$).

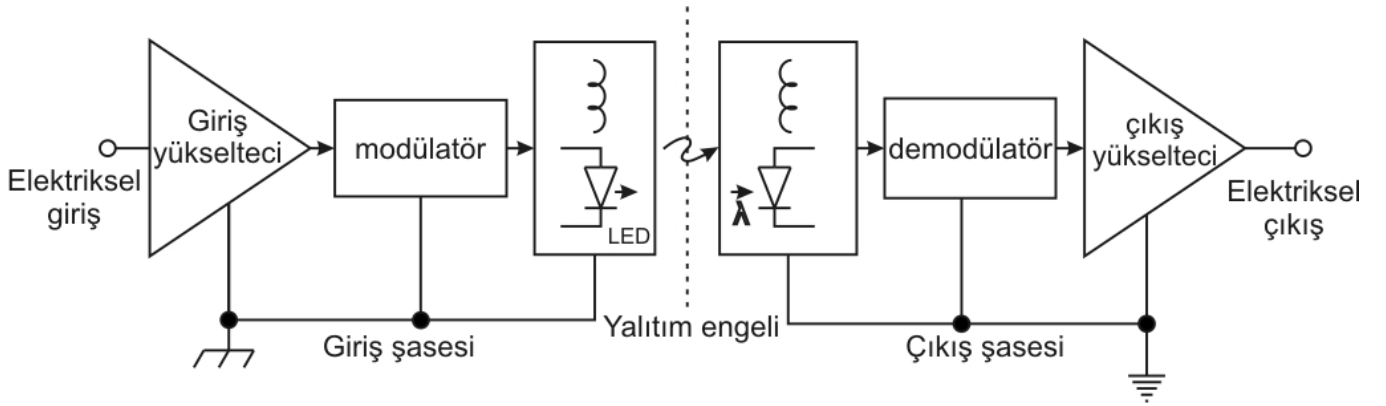
6.8 Biyoelektrik Yükselteçlerin Problemleri

Bir biyoelektrik yükselteçte arzulanan özellikler şunlardır;

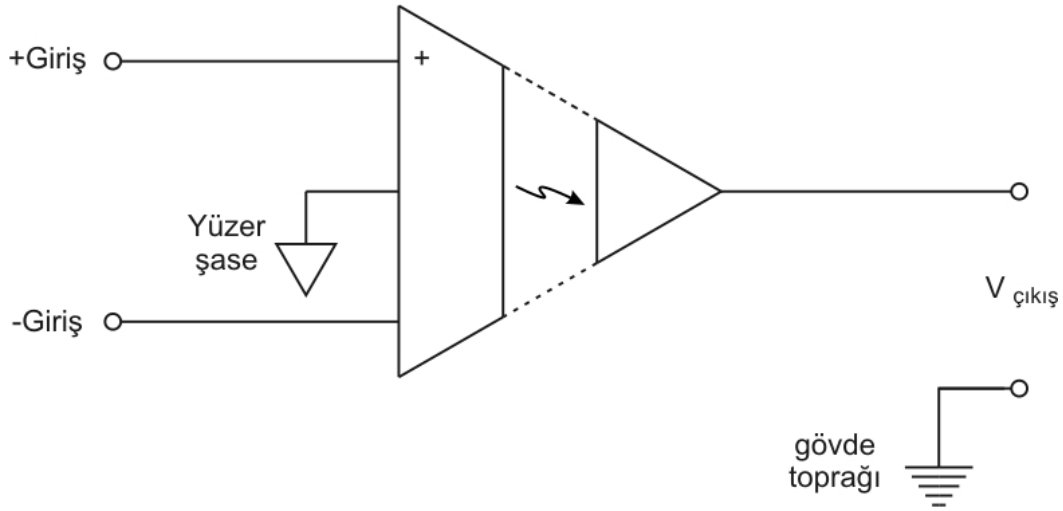
1. Tek uçlu çıkış, genellikle fark girişi,
2. Yüksek ortak işaret bastırma oranı,
3. Çok yüksek giriş empedansı,
4. İstenilen işi yapmaya uygun olacak şekilde değişken kazanç. Genellikle şu üç sınıf kullanılır; düşük kazanç (1-10 arası), orta kazanç (10-1000 arası), yüksek kazanç (1000'in üstü).
5. Uygulamaya uygun frekans cevabı. Genel amaçlı bir biyoelektrik yükselteç kullanılması durumunda, frekans cevabı anahtarlarla seçilebilmelidir.
6. Sıfır bastırması: Bu işaretle doğal olarak bulunan ofsetlerin sıfırlanması ile sıfır eksenini etrafında işaretin salınmasını sağlayan isteğe bağlı bir özelliktir. Bu özellik büyük bir dc ofset üzerine bindirilmiş küçük bir işaretin yükseltecin tüm kazancı kullanılarak yükseltilmesini sağlayan bir özelliktir. Örneğin 10mV'luk bir sinüs dalgası +1500mV'luk bir işaret üzerine bindirilmiş olabilir. Bu, -1500mV'luk bir ofset uygulanarak sadece 10mV'luk bir sinüs dalgasına dönüştürülebilir.

6.9 İzolasyon Yükselteçleri

- Normal şartlarda zararsız kabul edilen seviyedeki 50 Hz'lik küçük akımlar bazı şartlar altında bir hasta için öldürücü olabilir.
- Modern biyoelektrik yükselteçlerde, her ihtimale karşı dahili kardiyak şok olayını önlemek için direkt hasta bağlantısında, özellikle EKG takibi esnasında, yalıtım yükselteci (isolation amplifier) kullanılmaktadır. Bu yükselteçler hasta bağlantısı ile ac güç hattı arasında $10^{12} \Omega$ 'a kadar varan yalıtımlar sağlayabilirler.



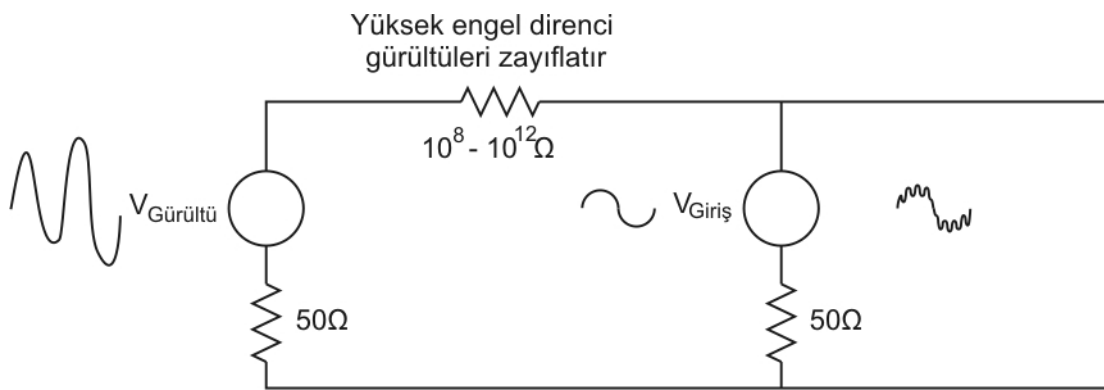
Şekil 6.31 Yalıtım yükseltecinin yapısı



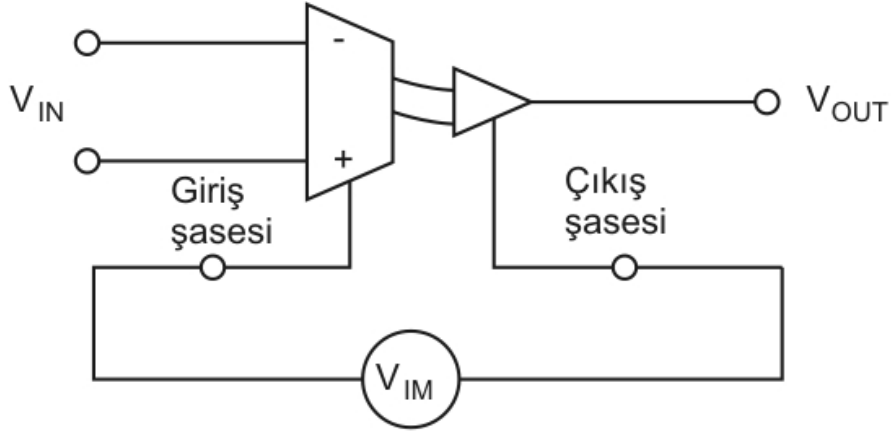
Şekil 6.32 Yalıtım yükseltecinin şematik sembolü



Yalıtım yükselteçleri zayıflatma prensibine göre çalışmaktadırlar. Şekil 6.33’de görüldüğü gibi yüksek engel empedansı ($<10^{12}\Omega$) giriş ile çıkış arasında seri bağlanmıştır. Dolayısıyla bir yalıtım modlu gerilim (IMV), çıkıştan girişteki işarete ulaşabilmek için yüksek engel direncinden geçmek zorundadır. Karıştırıcı gürültü işaretinin çoğu yüksek engel direnci üzerinde düştüğünden dolayı çok azı girişteki işareti bozar.



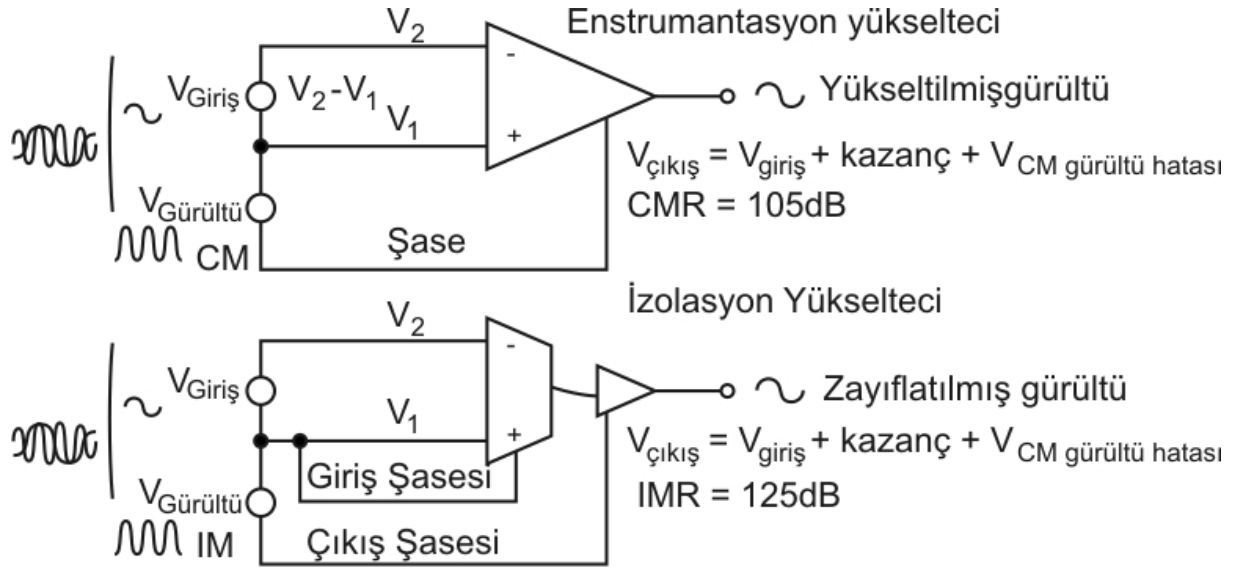
Şekil 6.33 Bir enstrumantasyon yükseltecinde girişimin zayıflatılması iptal işlemi ile olurken, bir yalıtım yükseltecinde zayıflatma yoluyla olur.



$$V_{OUT} = (V_{IN} + \frac{V_{IM}}{IMR}) \times \text{Kazanç} = \underbrace{(V_{IN} \times \text{Kazanç})}_{\text{Sinyal}} + \underbrace{(\frac{V_{IM}}{IMR} \times \text{Kazanç})}_{\text{Hata}}$$

Burada $IMR = 20 \text{ LOG } IMR$
(dB) (V/V) oranı

Şekil 6.34 IMR hatası



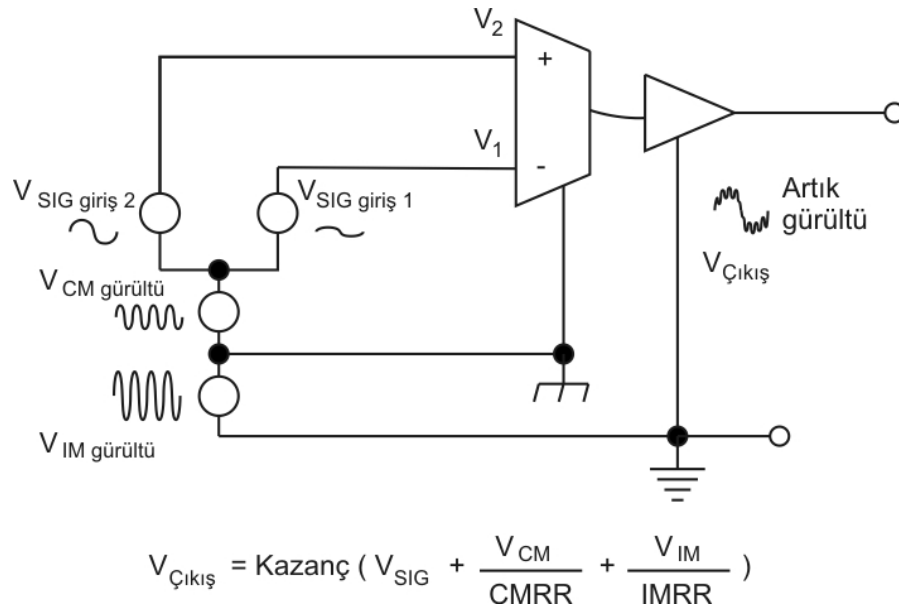
Sonuç : ISO yükselteçler gürültüyü daha iyi bastırır, Çünkü $IMR \gg CMR$

Şekil 6.35 Ortak İşaret Oranının (OİO) Yalıtım Mod Oranı (IMR) ile karşılaştırılması

- Bir yalıtım yükseltecinin IMRR'si onun gürültüyü veya girişimi ne derecede zayıflattığını gösterir.
- Bunu yüksek engel empedansı sayesinde gerçekleştirir.
- Bazen bir yalıtım yükselteci, IM geriliminin yanı sıra bir ortak mod gerilimine de maruz kalabilir. V_{cm} , giriş ortak ucuna göre her bir girişteki ortak mod gerilimini göstermektedir. V_{ym} gerilimi çıkış ortak ucuna göre gürültü gerilimini göstermektedir. Eğer yalıtım yükselteci içerisinde bir EY de olsaydı IM'nin yanı sıra ortak mod (CM) girişimi de zayıflatılmış olacaktı.

Burada,

$$V_{\text{çıkış}} = \text{kazanç} (V_{\text{sig}} + V_{\text{cm}} / \text{CMRR} + V_{\text{im}} / \text{IMRR}) \quad 6.20$$



Şekil 6.36 Yalıtım yükselteci engel üzerinde bir IM gürültüsü bulundurmanın yanı sıra, girişinde bir CM gürültüsüne de sahip olabilir.

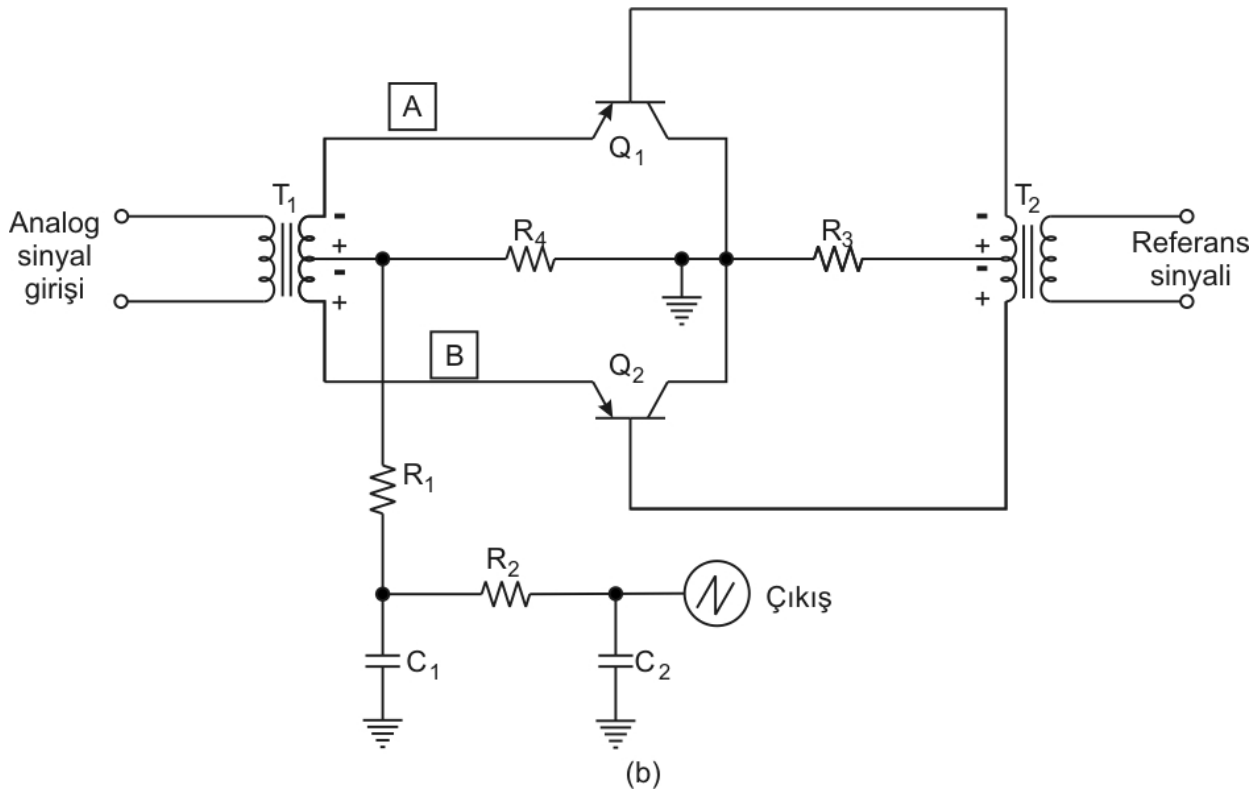
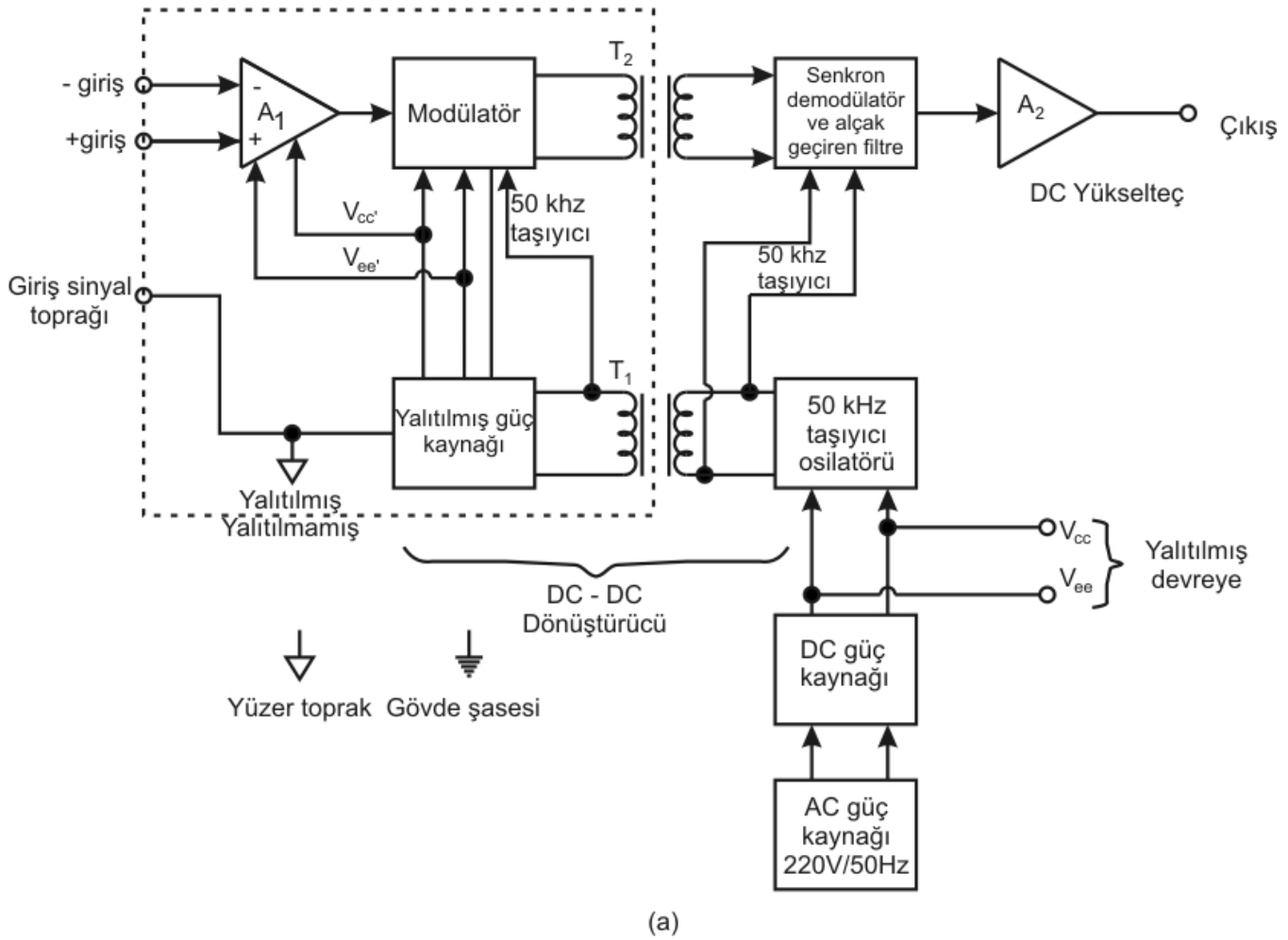
- Özet olarak modern yalıtım yükselteçleri 3 amaca hizmet ederler;
 - 1. Toprak çevrimlerini birbirinden ayırarak iki uyumsuz devreyi bir araya bağlarken gürültüyü zayıflatmak
 - 2. İnsanların ve cihazların zarar görmesine neden olacak kaçak akımları engellerken sinyalleri yükseltmek
 - 3. İnsanları devreleri ve cihazları korumak üzere çok yüksek gerilimlere dayanabilmek.
- İzolasyon yükselteçlerinin tasarımında birkaç yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar; Bataryalı, taşıyıcılı, optik bağlantılı ve akım yüklemeli yaklaşımlardır.

6.9.1 Bataryalı

- Bu tip cihazlarda biyoelektirik yükselteç ac beslemeli bir modeldekinin tam aynısıdır. Tek farklılık sistemin bir batarya ile beslemesidir. Bu tip cihazlar tamamı ile tek başına kullanılabilir olmalıdır. Eğer herhangi bir harici cihaz (örneğin osilaskop, rulo kağıt kaydedeci, oran ölçer veya batarya şarj cihazı gibi) bağlanacaksa diğer yalıtım yöntemlerinden birisi kullanılmalıdır.

6.9.2 Taşıyıcılı Yalıtım Yükselteçleri

- Şekil 6.37a'da taşıyıcı tekniğini kullanan bir yalıtım yükselteci görülmektedir. Noktalı çizgiler içindeki kısım ac besleme hattından yalıtılmış kısmı, diğer tüm devre ise ac beslemeye bağlı olan kısımları göstermektedir. Çoğu durumda yalıtılmış olan yükselteç kısmının kazancı orta bölgededir (10-50 arası).



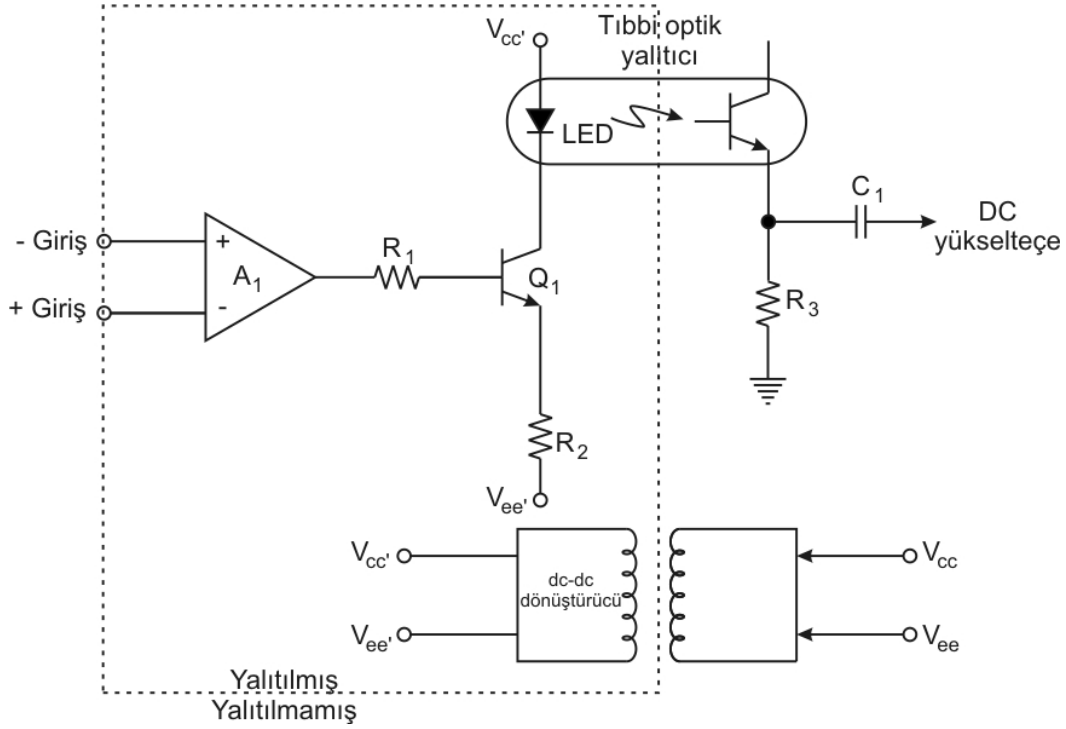
Şekil 6.37 a) Taşıyıcılı tip yalıtım yükselteci b) Senkron demodülatör

- ▶ İki bölüm arasındaki yalıtım, toprak, güç ve işaret hatları T_1 ve T_2 transformatörleri ile sağlanır. Bu transformatörlerin çekirdekleri 50 Hz'de verimi düşük fakat 20 kHz ile 250 kHz arasında oldukça yüksek olan özel bir maddeden yapılmıştır. Bu özellik, transformatörlerin taşıyıcı frekans bandındaki işaretleri kolayca geçirirken 50 Hz frekansındaki işaretleri bastırmasını sağlar.
- ▶ Girişe uygulanan bir analog sinyal A_1 tarafından yükseltilmekte ve sonra da modülatör katının bir girişine verilmektedir. Bu kat işareti, taşıyıcı üzerine genlik modüleli olarak bindirir.
- ▶ T_2 tarafosu, bu işareti, devrenin yalıtılmamış kısmında bulunan demodülatör katının girişine iletir. Zarf demodülasyonu veya senkron demodülasyon kullanılabilir.

6.9.3 Optik Kuplaj

- Elektronik optokuplörler (aynı zamanda optoizolatörler diye de adlandırılırlar) bazen istenilen yalıtım işlemini sağlamak için kullanılır. Modern tasarımlarda LED ve fototransistörleri tek bir paket içinde saklayan entegre devreler kullanılmaktadır.

- Optik kuplajda birkaç farklı yaklaşım bulunmaktadır. İki çok kullanılan yöntem taşıyıcı ve direkt kuplaj metotlarıdır.

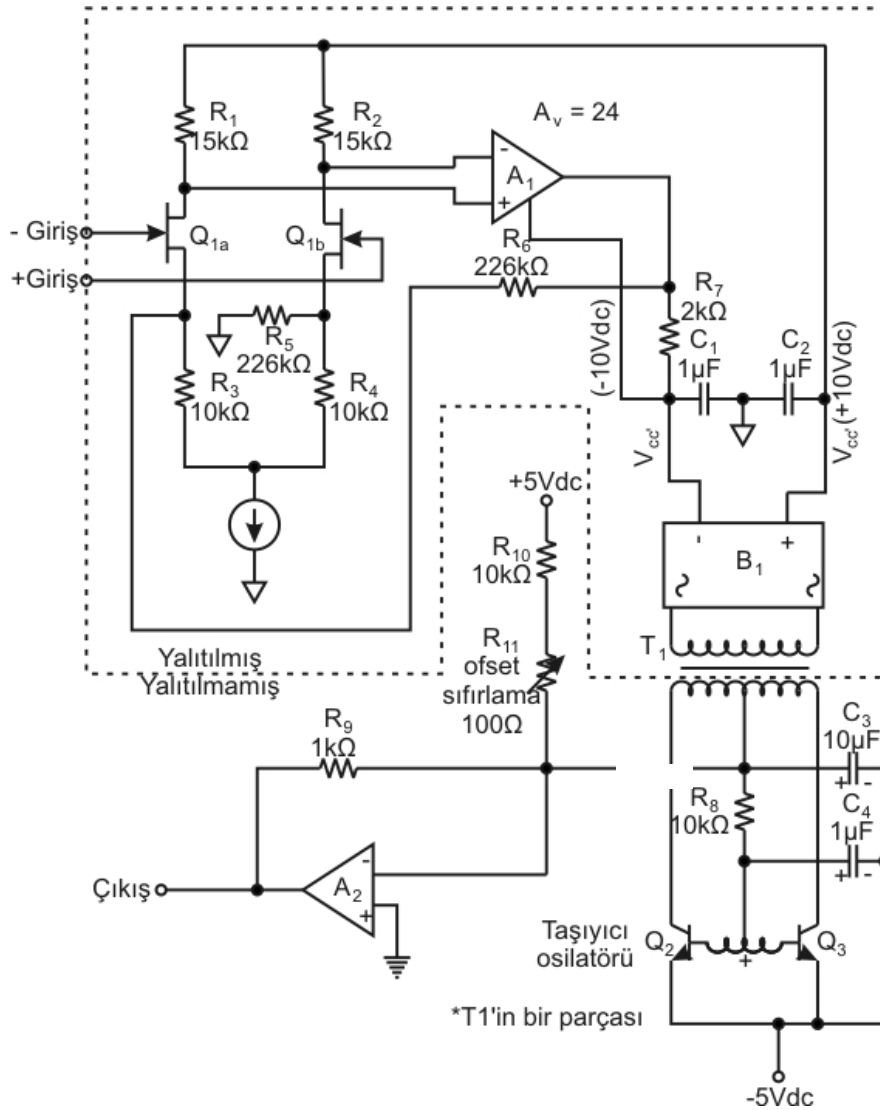


Şekil 6.38 Optik kuplajlı yalıtım yükselteci

- Optokuplördeki LED A_1 yükseltecinin çıkışı tarafından sürülmektedir. Q_1 transistörü, LED'in parlaklığını analog işaretle orantılı olarak değiştiren bir seri anahtar gibi çalışır. Q_1 transistörü LED'i doğrusal çalışma bölgesine çekecek kadar bir akımı kolektörden akıtır. Fototransistörün çıkışı, yalıtılmamış taraftaki yükselteçlere ac kuplajlı olarak bağlanmıştır. Böylece LED'in kutuplanmasından kaynaklanan dc ofset ortadan kaldırılmış olur.

6.9.4 Akım Yüklemeli

- A_1 'in çıkışı yalıtılmış V_{cc} besleme ucuna bağlanmıştır. ($-10 V_{dc}$ beslemeye R_7 direnci üzerinde bağlı) bu güç kaynağı 250 kHz'de çalışan bir dc-dc dönüştürücüdür. T_1 transformatörü yalıtılmış taraftaki topraklanmamış besleme kaynakları ile yalıtılmamış taraftaki şehir şebeke arasında yalıtım görevini görür.

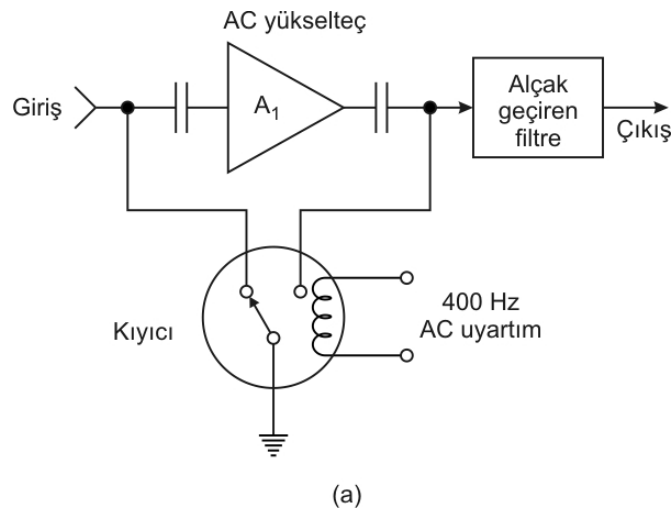


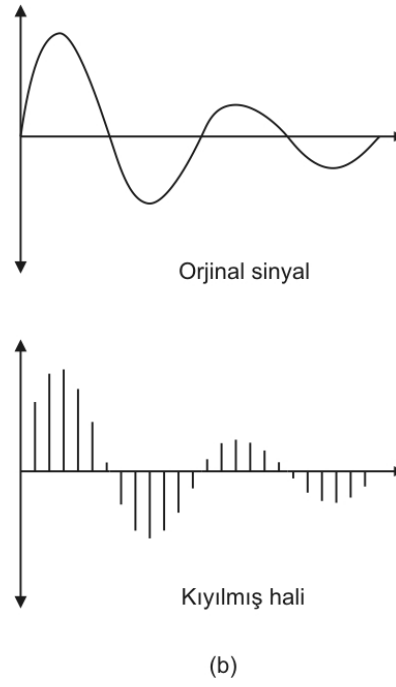
Şekil 6.39 Akım yüklemeli izolasyon yükseltici

- Bir giriş işareti (EKG gibi) A_1 çıkışının değişmesine ve böylece yüzen güç kaynağının yüklenmesinin ($B_1 / C_1 / C_2$) R_7 direnci üzerinden değişmesine neden olur.
- Yüzen güç kaynağındaki yükleme, T_1 trafosunun primer tarafındaki akımın da analog olarak değişmesine neden olur. Akımdaki bu değişim A_2 yükselteci tarafından gerilim işaretine dönüştürülür. Analog giriş işareti sıfır olduğunda akmaya devam eden sukunet akımının ofset etkisini ortadan kaldırmak için A_2 devresinde bir ofset sıfırlama ayarı (R_{11}) konulmuştur.

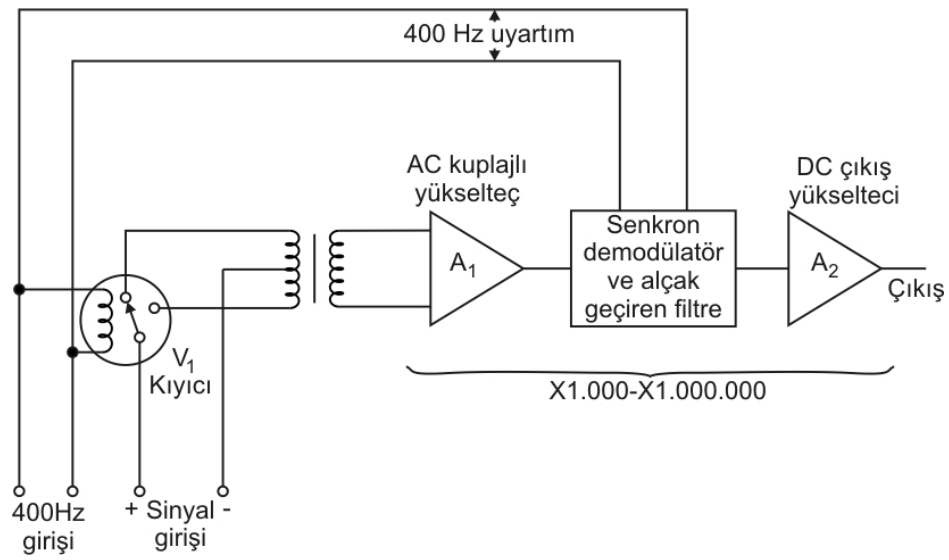
6.10 Kararlı Kıyıcı Yükselteçler

- Küçük düzeyli biyopotansiyelleri (EEG) ölçerken **gürültü** ve **dc kayma** şeklinde iki problem ortaya çıkar. Çok küçük biyopotansiyelleri okunabilir seviyelere yükseltmekte kullanılan yüksek kazançlı yükselteçler bu durumu daha da kötüleştirirler.





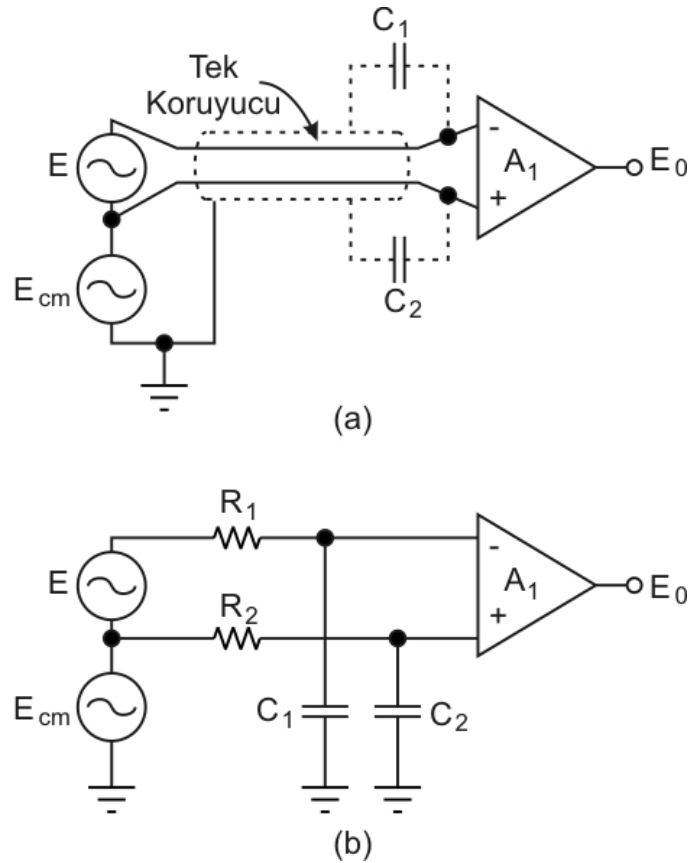
Şekil 6.42 Kıyıcı yükselteç a) Basitleştirilmiş devre b) Orijinal ve kıyılmış dalga şekilleri.



Şekil 6.43 Fark girişli kıyıcı yükselteç.

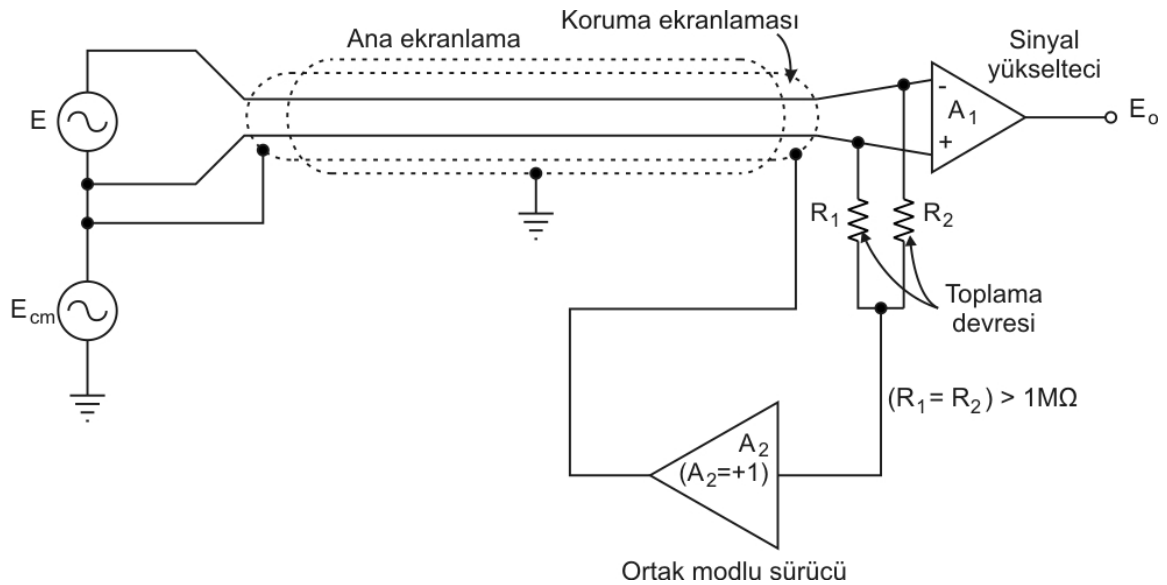
6.11 Giriş Koruması

- Fizyolojik işaretler oldukça düşük genliklere sahiptirler. -80 mV'luk aksiyon potansiyeli, 1 mV'luk EKG ile 50 μ V'luk EEG dalgasekilleri ile karşılaştırıldığında çok yüksek kalmaktadır. Fizyolojik işaretlerin büyük çoğunluğu ortak mod işaretlerle beraber bulunurlar. Alçak düzeyli fizyolojik işaretleri algılamak üzere tasarlanmış bir biyoelektrik yükseltecin girişinde birkaç yüz milivoltluk 50 Hz ortak mod gürültü işareti bulunur.



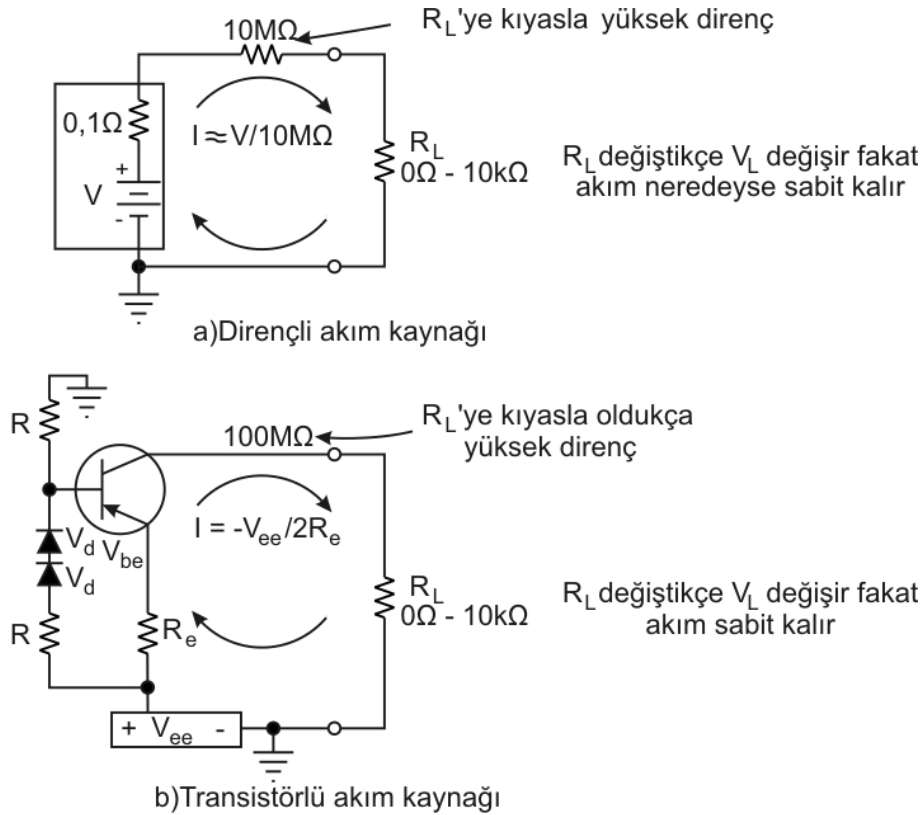
Şekil 6.44 Biyoelektrik yükseltecin giriş devresi a) Gerçek devre b) Eşdeğer devre

- R_1 ve R_2 dirençleri kablo dirençleri ile kaynak empedansının toplamına eşittir. C_1 ve C_2 kondansatörleri ise ekranlı kablonun kapasitesini göstermektedir. R_1/C_1 ve R_2/C_2 devrelerinin etkisi $R_1=R_2$ ve $C_1=C_2$ olmak şartıyla önemli değildir. Fakat bu eşitlikler sağlanamadığı takdirde girişler toprağa göre dengesiz hale gelirler. Bu durumda devre bir fark işareti üretir.
- Bu problemin çözümü için Şekil 6.45’de görülen giriş koruması uygulanır. Buradaki anafikir ekran ucunu C_1 ve C_2 kondansatörlerinin her iki tarafını da aynı ortak mod gerilimine maruz kalacak şekilde ortak mod işaret seviyesine vermektir.



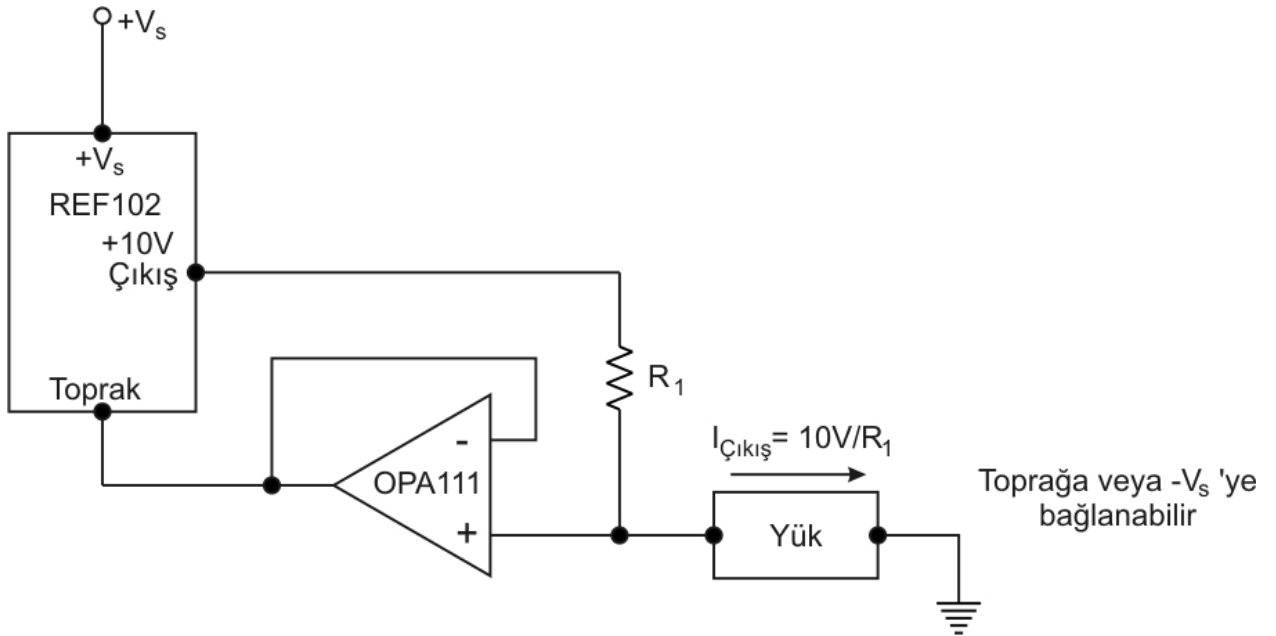
Şekil 6.45 Giriş korumalı devre

- Şimdiye kadar çeşitli dönüştürücülerden gelen işaretlerin değerlendirilmesinde kullanılan pek çok biyoelektrik yükselteç türü incelenmiştir. Bazı işaretler insan vücudundan gelen biyofiziksel işaretlerdir. Diğerleri ise Weston köprülerinden gelen basınç ile sıcaklık işaretleridir. Optik ve kimyasal elemanlardan gelen işaretler de vardır.
- Şekil 6.47a'da düşük dirençli bir gerilim kaynağı ile ona seri bağlı yüksek bir dirençten meydana gelmiş olan temel akım kaynağı devresi görülmektedir. Akım sabittir, çünkü yük $0\ \Omega$ 'dan $10\text{k}\Omega$ 'a kadar değiştikçe akımda önemli bir değişiklik olmaz. Bunun sebebi $10\text{k}\Omega$ 'un $10\text{M}\Omega$ yanında çok küçük kalmasıdır. Şekil 6.47b'deki devre çok daha iyidir çünkü transistör seri direnci $10\text{M}\Omega$ yerine $100\text{M}\Omega$ 'a yükseltir.



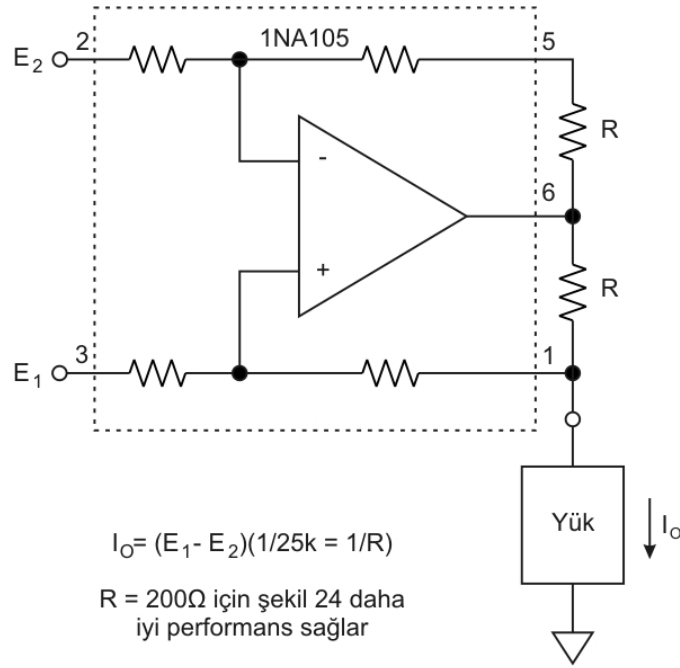
Şekil 6.47 Temel akım kaynağı a) Dirençli akım kaynağı b) Transistörlü akım kaynağı

- Şekil 6.48’de ticari entegrelerle bir akım kaynağının nasıl elde edileceği görülmektedir. +10V’luk referansa dikkat ediniz. Bu referans R_1 üzerinden yüke sabit bir akım sağlamaktadır. Yük, R_1 direncinden çok daha küçüktür. Gerilim takipçisi referansın toprak ucunu yük gerilimine eşit tutmaya çalışır. Böylece R_1 direnci üzerindeki gerilim her zaman tam 10V olur. Çıkış akımı $I_{out}=10V/R_1$ ’den kolayca hesaplanabilir.



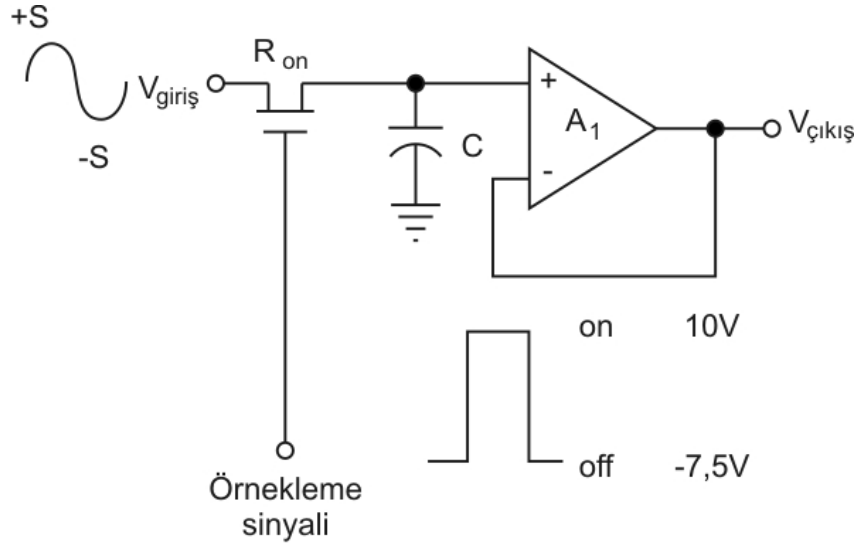
Şekil 6.48 Gerilim referansı ve opamp kullanan akım kaynağı

- Şekil 6.49’da fark girişine sahip bir gerilim kontrollü akım kaynağı görülmektedir. Girişlerden birisini topraklamak suretiyle eviren veya evirmeyen bir transfer fonksiyonu elde edilebildiğinden oldukça kullanışlıdır.



Şekil 6.49 Fark girişine ve bipolar çıkışa sahip gerilim kontrollü akım kaynağı

- Biyotıp enstrümantasyonda A/D dönüştürücü girişindeki işaretin dönüşüm esnasında sabit kaldığından emin olmak için S/H yükselteçleri kullanılır.

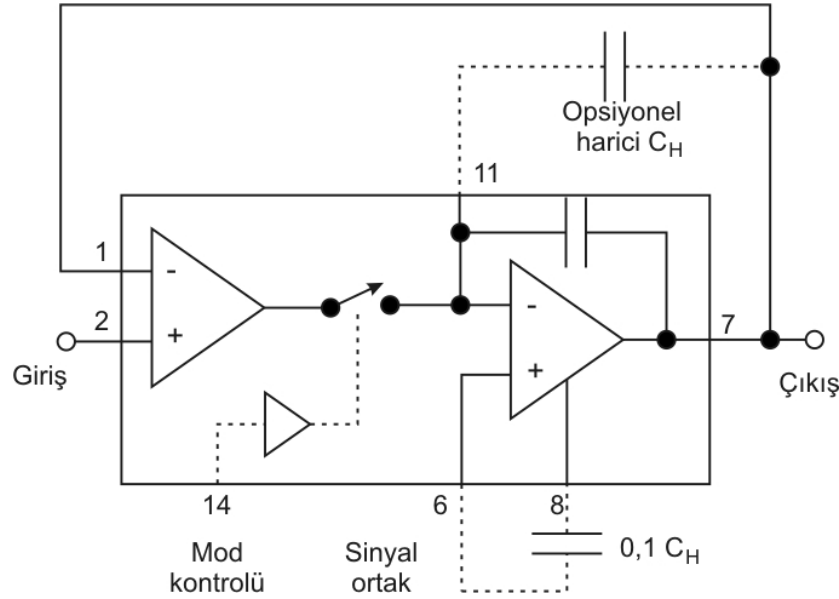


$$f_o = \text{Sinyal bandgeniřlięi} = \frac{1}{2\pi R_{on} C}$$

$$1000\Omega \text{ ve } 500\text{pF} \text{ için } f_o = 318\text{kHz}$$

Şekil 6.50 Temel örnekle ve tut (S/H) yükselteci.

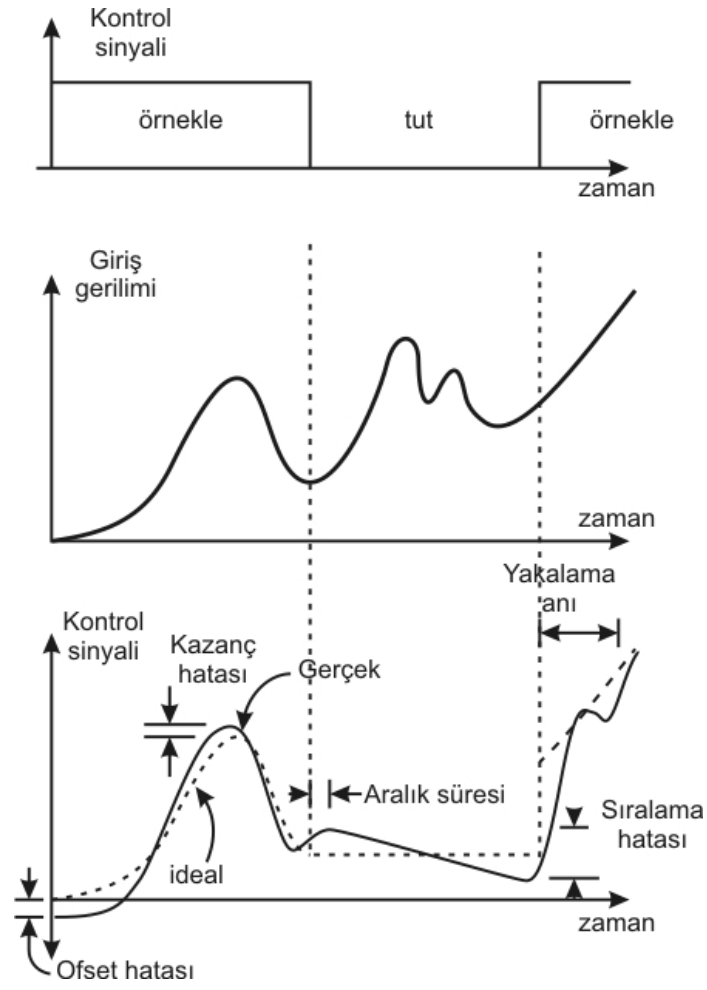
- Modern S/H yükselteçlerde entegreler tercih edilir. Şekil 6.51’de endüstride çok kullanılan bir örnekle tut entegresi görülmektedir. Tutma kapasitesi çıkış yükseltecinin geribesleme çevriminde yer almaktadır. Çıkıştaki gerilim düşmesini azaltmak için harici bir tutma kapasitesi eklenebilir $Düşme[V]_{sn} = I_{deşarj} (pA) / C_{tutma} (pF)$. Bu durumda daha fazla filtreleme sağlandığından gürültü de azaltılmış olur.



Şekil 6.51 Evirmeyen birim kazançlı örnekle tut devresi, SHC5320

- S/H fonksiyon ve zamanlamasını gösteren grafikler Şekil 6.52’de yer almaktadır. S/H yükseltecinde 4 durum vardır: 1) yakalama zamanı 2) gecikme aralığı 3) belirsizlik aralığı 4) çıkış yükselteci durulma zamanı. Üstteki kontrol işareti örnekleme ve tut gibi iki durum ile işlemi başlatır ve durdurur. Örnekleme veya izleme durumunda, ikinci grafikte görülen giriş işareti tutma kapasitesini sürekli şarj eder. Bu ilk duruma yakalama zamanı denir çünkü kapasite işareti yakalamaktadır.

- S/H yükseltecinde de ofset ve kazanç hatalarına neden olan kusurlar vardır. Bu durum, yakalanan işaretin orjinalden farklı olmasına neden olsa da bu fark genellikle çok küçüktür.
- Kontrol işareti tutma konumuna geçtiği anda gecikme aralığı olarak nitelenen ikinci durum başlar. Bunun meydana gelmesinin nedeni örnekleme anahtarının verilen komuta anında cevap verememesidir. Örneğin Şekil 6.51'deki eleman için anahtar 25 nanosaniyelik bir gecikme sonunda açılmaya başlar. Belirsizlik aralığı adı verilen üçüncü durum otomatik olarak devreye girer. Giriş işaretleri çok hızlı değişiyorsa bu durum S/H yükseltecinin çıkışında genlik gürültüsüne neden olur. Dördüncü durum çıkış yükselteci oturma süresi veya daha genel adıyla örneklemeden tutmaya geçiş süresidir. S/H yükselteçleri tıbbi cihazlarda yoğunlukla kullanılmaktadır.



Şekil 6.52 Örnekle/Tut fonksiyonunun zamanlaması