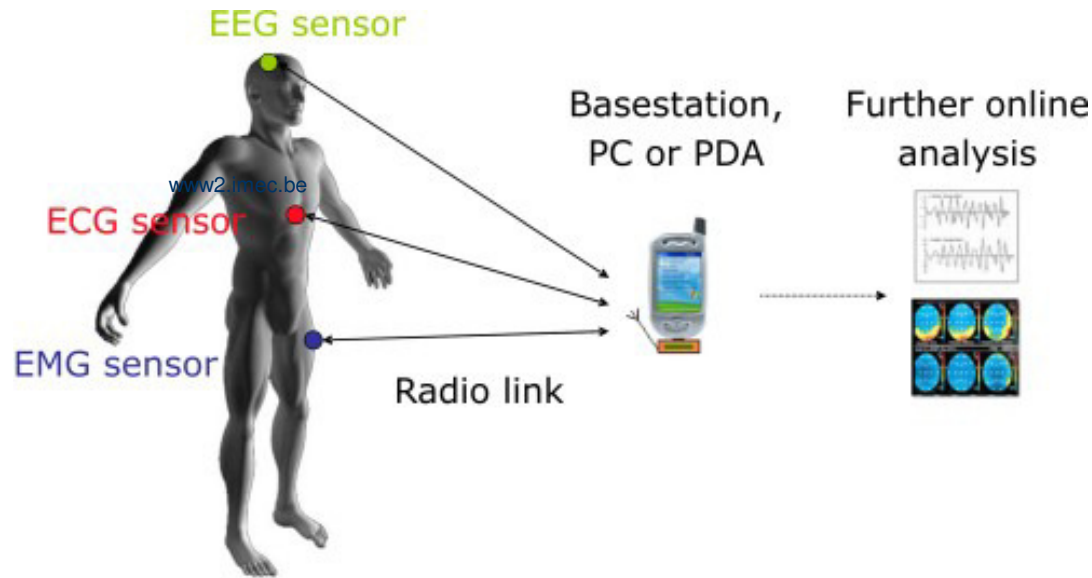


Biyolojik İşaretler ve Dönüştürücüler



*Düzenleme: Araş. Gör. Vedat Taşkın
(Hazırlayan: Dr. Zafer İşcan)*

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Tıbbi Enstrumantasyon Tasarım & Uygulamaları

(20.02.2013)



Sunum Planı

Biyolojik İşaretler
EKG, EMG, EEG, MEG...

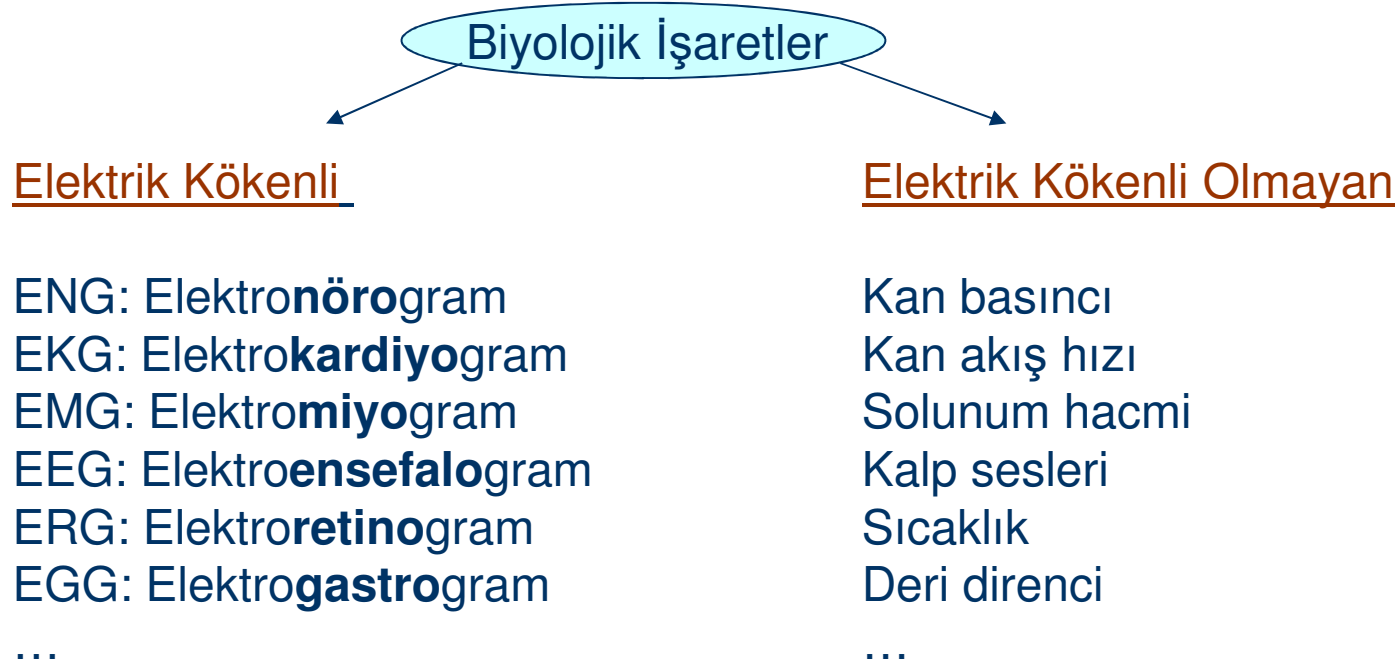
- **Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler**
Evirici, İzleyici, Aralık Karşılaştırıcı, Fark Kuvvetlendirici,
Enstrumantasyon Kuvvetlendiricisi
- **Dönüştürücüler**
Rezistif, Kapasitif, Endüktif...
- **Elektriksel Güvenlik**





Biyolojik İşaretler

Canlı vücutundan dönüştürücüler aracılığıyla algılanan işaretlerdir.





Biyolojik İşaretler

Elektrik kökenli biyolojik işaretlerin özellikleri:

Özellik	İhtiyaç
Elektrotlar aracılığıyla canlı vücudundan algılanırlar	Yalıtım
Genlikleri küçüktür: (1 μ V - 1 mV)	Yüksek Kazançlı Kuvvetlendirici
Fark işareti şeklinde bulunurlar	Fark Kuvvetlendiricisi
Spektrumları alçak frekanslar bölgesindedir (0,1 Hz – 2 kHz)	Alçak Geçiren Süzgeç
Gürültülü işaretlerdir: (50 Hz'lik şebeke gürültüleri, diğer biyolojik işaret kaynakları)	Filtreleme



Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Biyopotansiyel Kuvvetlendiricilerin Gereksinimleri

- Giriş empedansı yüksek ($\sim M\Omega$)
- Girişlerde akımı sınırlamak için izolasyon ve koruma devreleri
- Düşük çıkış empedansı
- İlgilenilen band genişliğinde yüksek kazanç ($\sim 1,000 - 10,000$)
- Ortak İşareti Bastırma Oranı (CMRR) yüksek (~ 100 dB)
- Kalibrasyon için ayarlanabilir, bilinen bir kazanç

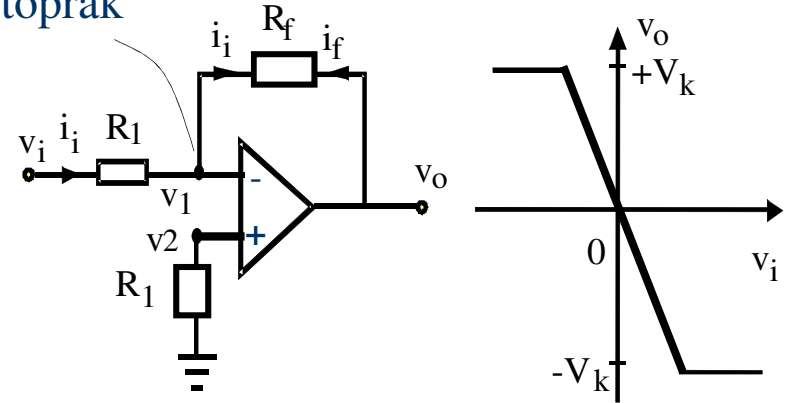
Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Evirici (Negatif Kazançlı Kuvvetlendirici)

$$\text{Kazanç: } \frac{v_o}{R_f} = -\frac{v_i}{R_1} \rightarrow v_o = -\frac{R_f}{R_1} v_i$$

Isıl kararlılık açısından '+' girişine seri R_1 direnci konur. Bu direnç, '-' girişindeki direnç kadar olmalıdır.

Görünürde toprak

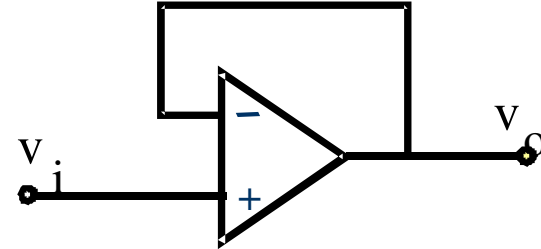


Evirici ve giriş-çıkış özeliğisi

Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

İzleyici (Tampon kuvvetlendirici)

- Daha çok giriş katlarında, empedans dönüştürücüsü olarak kullanılır.
- **Giriş empedansı çok büyük,** Çıkış empedansı ise küçüktür.



$$v_o = v_i$$

Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Fark kuvvetlendiricisi

$$v_{g2} = v_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

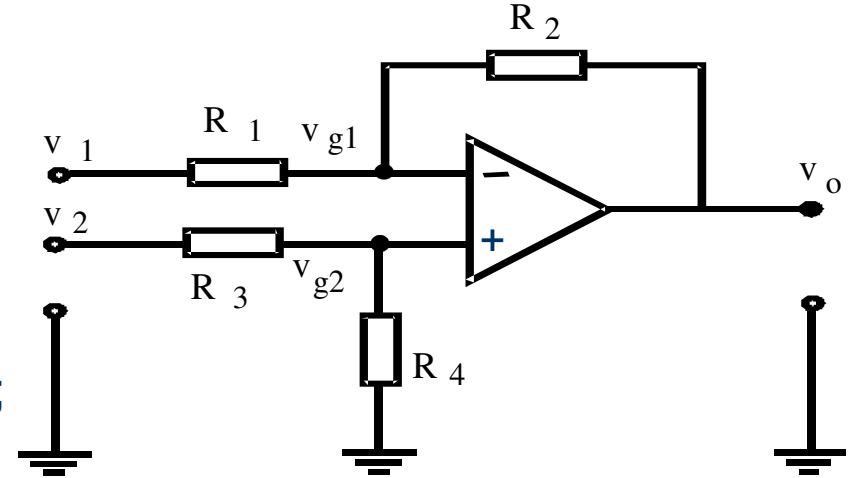
$$v_{g1} = v_o + R_2 \frac{v_1 - v_o}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o$$

- $v_{g1} = v_{g2}$ olduğuna göre, çıkış gerilimi;

$$v_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left\{ \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1 \right\}$$

- $R_1 = R_3$ ve $R_2 = R_4$ iken,

$$v_o = \frac{R_4}{R_3} (v_2 - v_1) \rightarrow \text{Fark kazancı (Kf)}$$

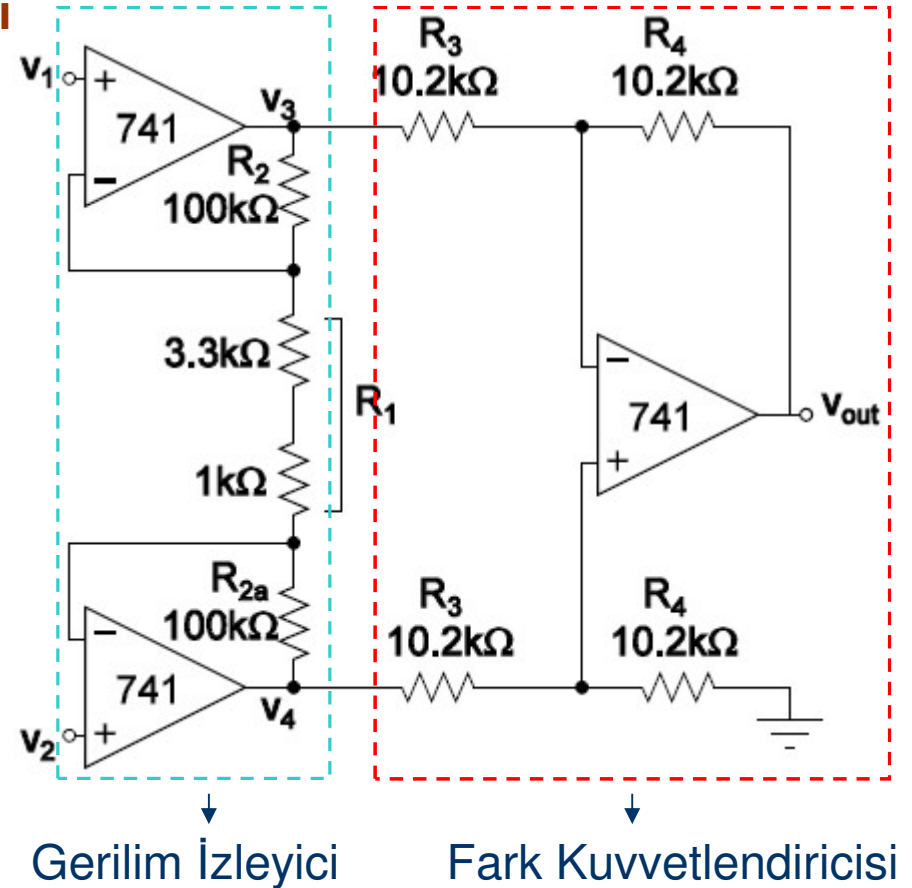


- $v_2 = v_1$ iken $v_o = 0$
Ortak mod kazancı ($K_{om} = 0$)
- $CMRR = \infty$ (K_f / K_{om})
- Giriş empedansı küçük

Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Enstrumantasyon Kuvvetlendiricisi

- Giriş empedansı yüksek ✓
- Düşük çıkış empedansı ✓
- Çok kararlı yüksek kazanç ✓
- CMRR'si yüksek fark kuvvetlendirme ✓
- Kalibrasyon için ayarlanabilir, bilinen bir kazanç ✓
- Girişlerde akımı sınırlamak için izolasyon ve koruma devreleri X

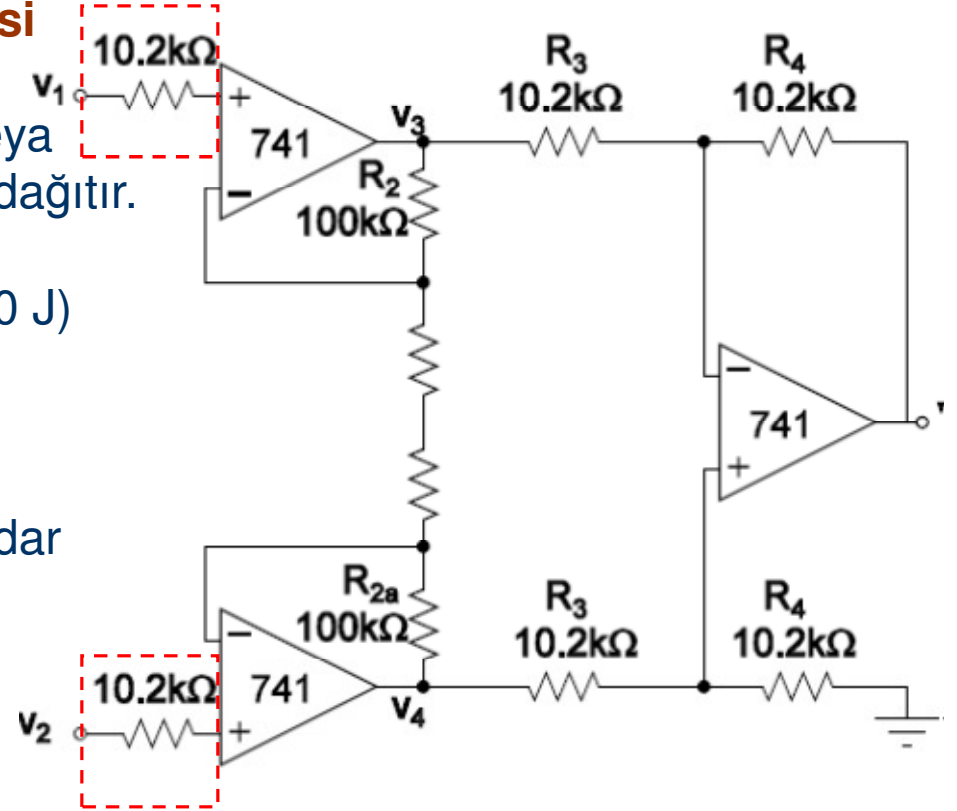


Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Enstrumantasyon Kuvvetlendiricisi

- Girişlerdeki dirençler defibrilatör veya statik şoklardan ileri gelen enerjiyi dağıtır.
- Defibrilatör şokları (maksimum: 360 J)
- Giriş empedansı yüksek ($\sim 1\text{G}\Omega$).
- Dirençler, enerjiyi dağıtabilecek kadar büyük, cihazın giriş direncine etki etmeyecek kadar küçük olmalıdır.

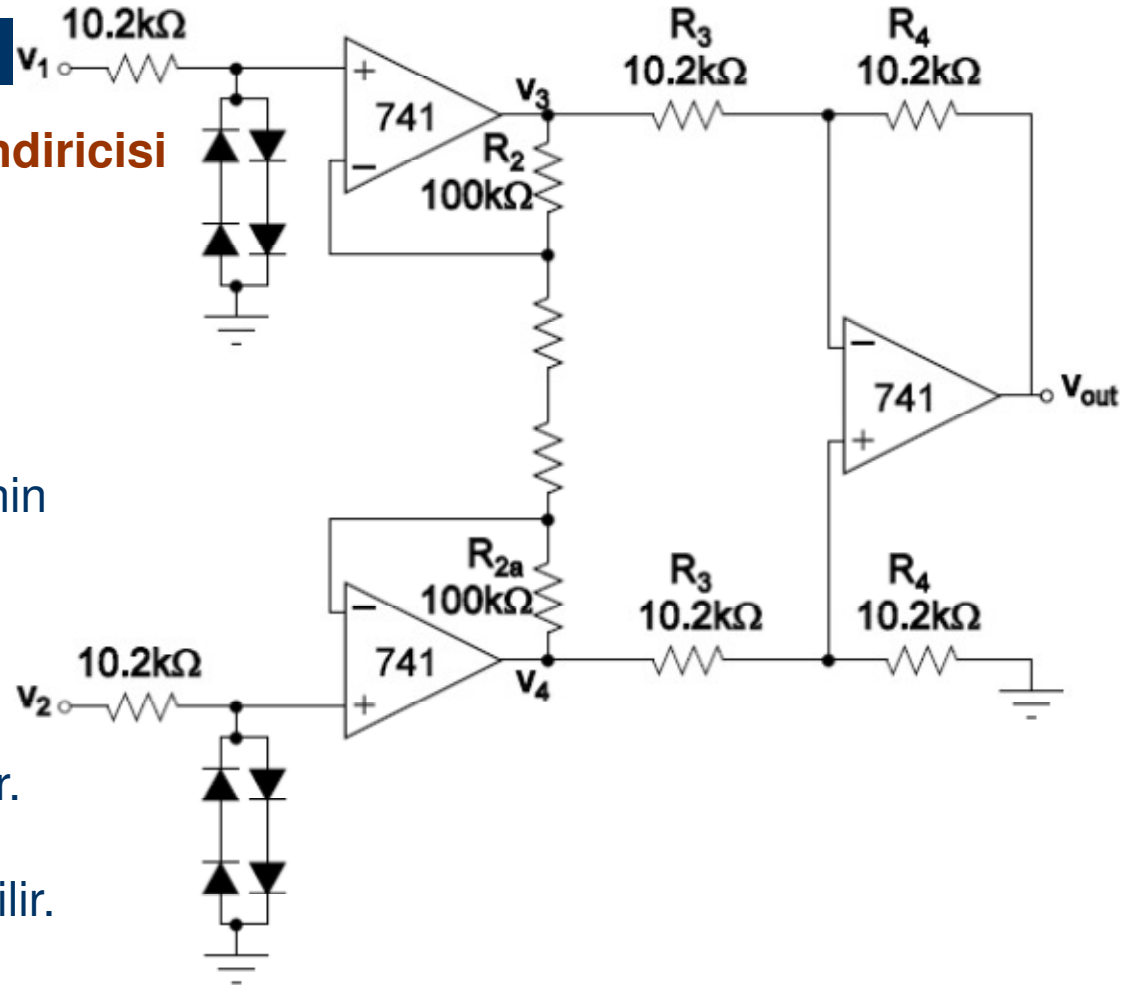
Genelde $10\text{k}\Omega < R < 47\text{k}\Omega$



Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Enstrumantasyon Kuvvetlendiricisi

- Giriş gerilimleri, girişe diyod konularak sınırlandırılabilir.
- Bu teknikte giriş gerilimleri, diyotların çalışma gerilimlerinin 2 katıdır ($\sim 1.4V$)
- Ters kutuplanmış diyodlar, negatif gerilimlere karşı korur.
- Zener diyodları da kullanılabilir.

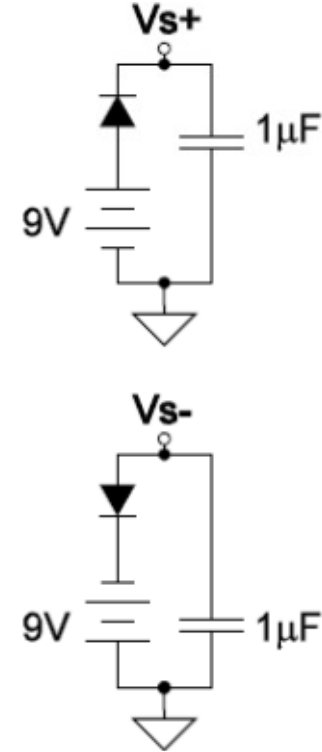




Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Enstrumantasyon Kuvvetlendiricisi

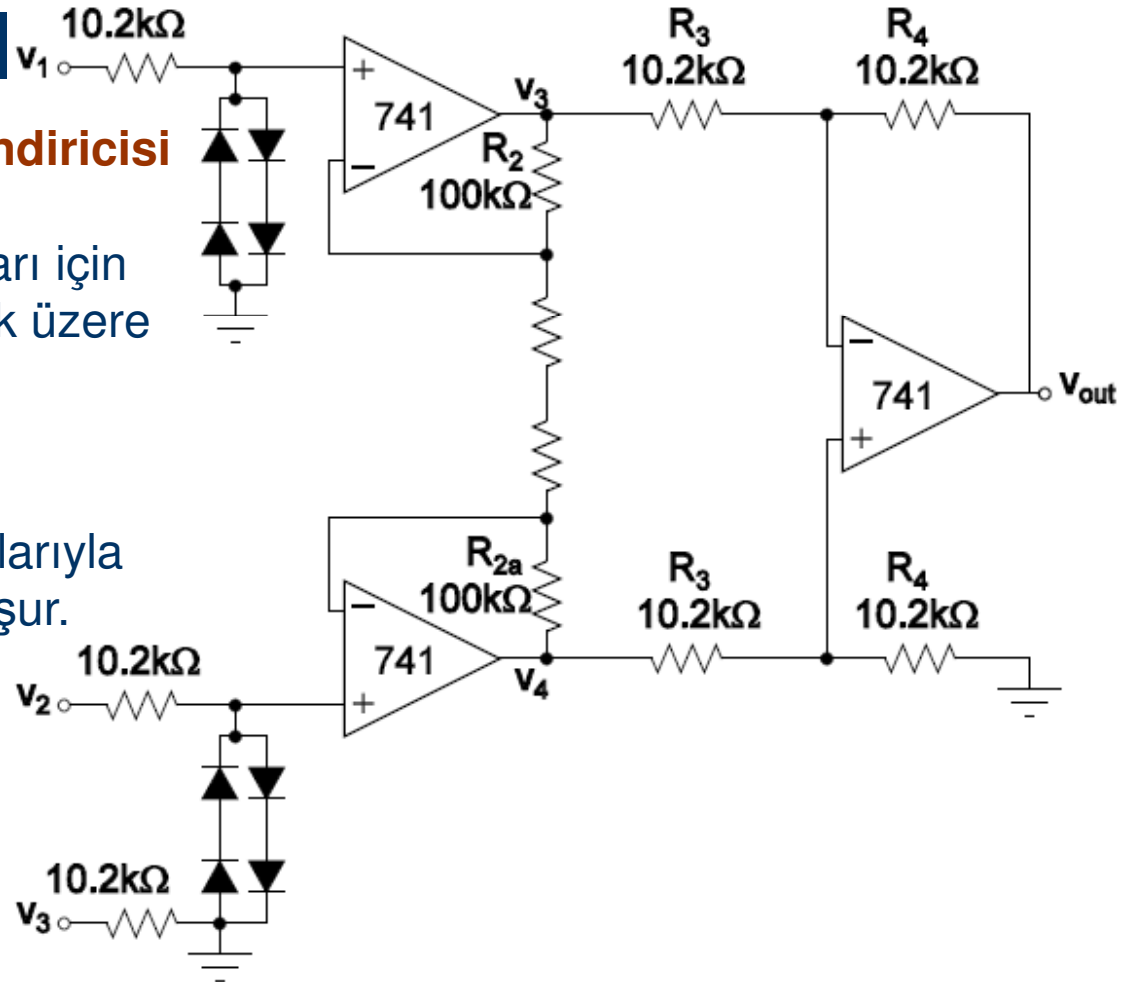
- Hastanın izolasyonu için kuvvetlendirici pille beslenebilir.
- Piller ortak uca bağlanmaktadır. (Toprağa değil!)
- Diyod, ters kutuplama geriliminden korumak için konmuştur.
- Kapasite, kuvvetlendiricideki ani gerilim yükselmelerinden korumaktadır.



Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

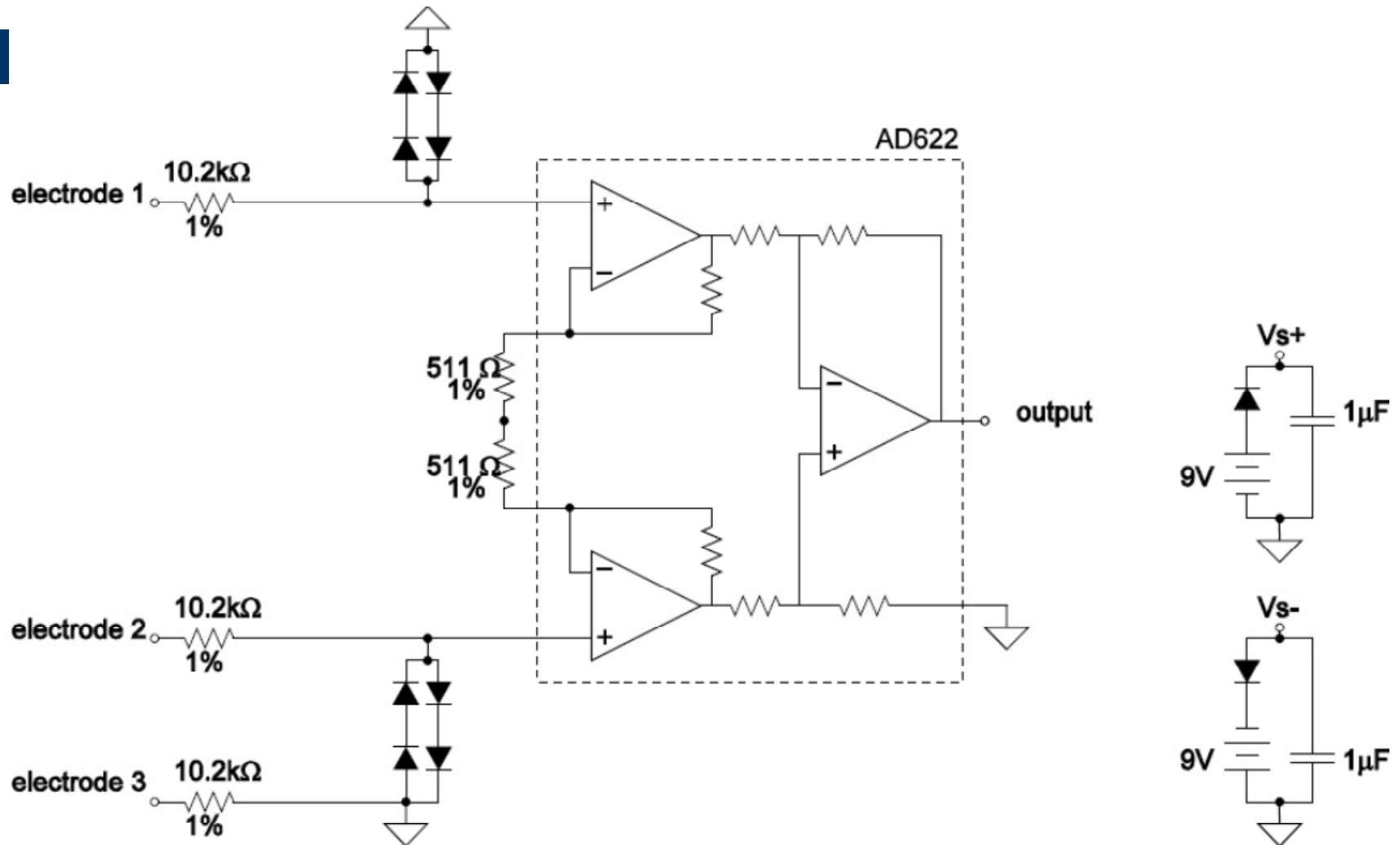
Enstrumantasyon Kuvvetlendiricisi

- 3. elektrot deplasman akımları için düşük direnç yolu oluşturmak üzere topraklanmıştır.
- Deplasman akımları güç hatlarıyla kapasitif kuplaj nedeniyle oluşur.
- Topraklı elektrot olmadan id akımı daha büyük ortak mod işareti oluşturacaktır.





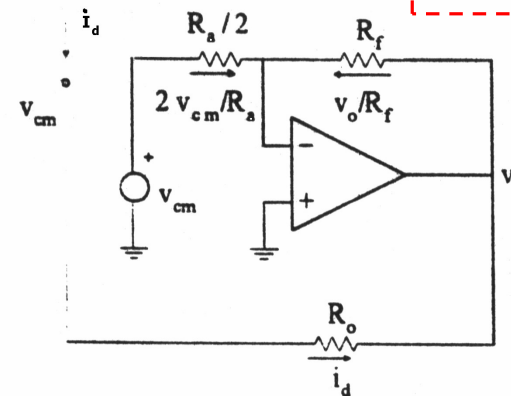
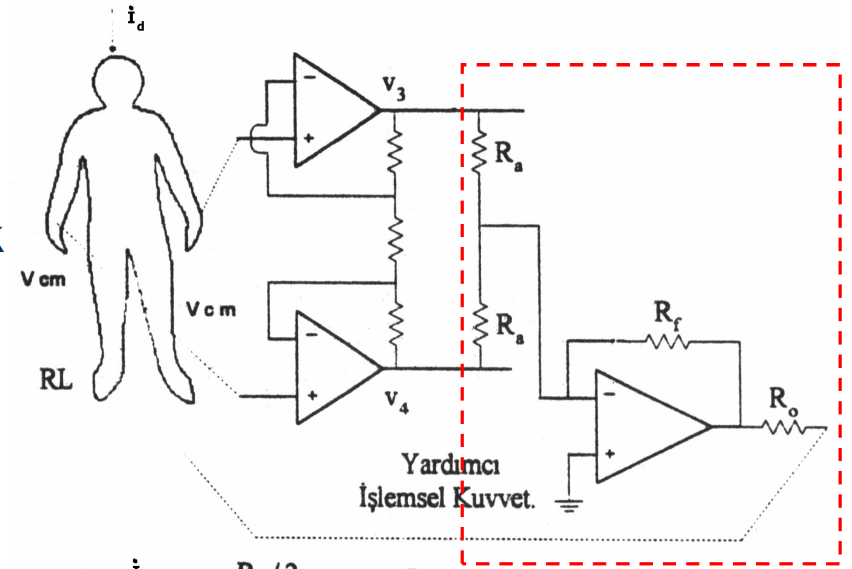
Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler



Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Sağ Bacak Sürücüsü

- “Sağ Bacak Sürücüsü” sistemi, ortak mod işaretini daha da azaltmak için kullanılır.
- Bu gerilim, ters fazda kuvvetlendirilip Vücuda geri verilmektedir.
- En çok EKG ölçümlerinde kullanılır.



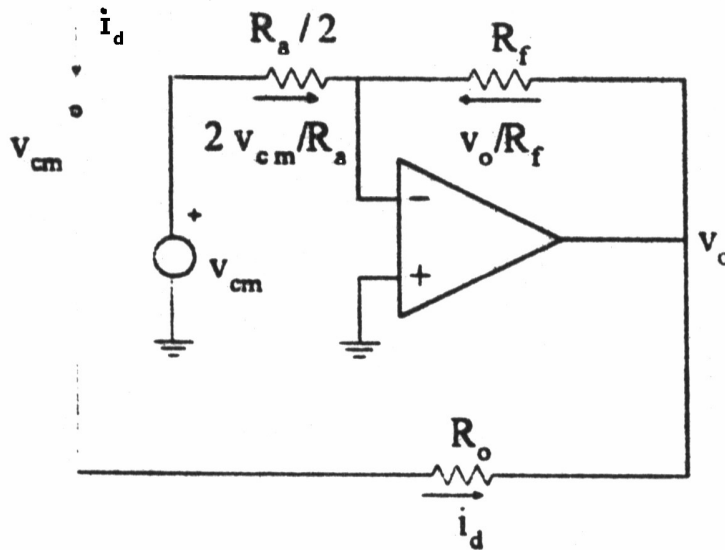
Sağ Bacak Sürücüsü Eşdeğer Devresi



Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Sağ Bacak Sürücüsü

- Ortak Mod gerilimini (V_{cm}) bulmak için Sağ Bacak Sürücüsü eşdeğer devresi kullanılabilir.
- Deplasman akımı: $i_d = 0.2 \mu A$, $R_a = 25k\Omega$, $R_f = R_o = 5M\Omega$ olsun.



$$\frac{2v_{cm}}{R_a} + \frac{v_o}{R_f} = 0$$

$$v_o = -\frac{2R_f}{R_a}v_{cm}$$

$$v_{cm} = R_o i_d + v_o$$

$$V_{cm} = i_d \frac{R_o}{1 + 2 \frac{R_f}{R_a}}$$

$$V_{cm} = 2.5 \text{ mV}$$



Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

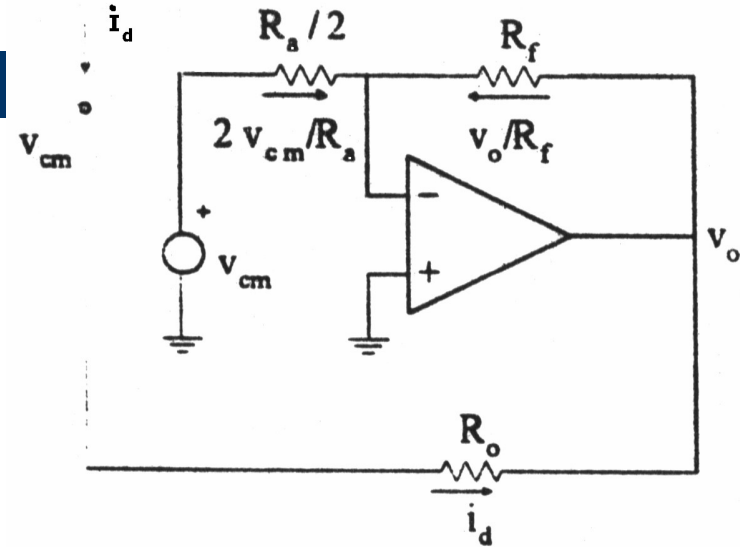
Sağ Bacak Sürücüsü

- Büyük bir geçici V_{cm} oluştuğunda, kuvvetlendirici doymaya girecektir.

$V_o =$ Doyma gerilimi

R_f ve R_o paralel olarak hastaya gelen akımı sınırlandırmaktadır. Bu yüzden büyük seçilmeleri gerekir.

Aksi takdirde, toprağa giden direnç: $\longrightarrow R_{eff} = \frac{R_o}{1 + 2 \frac{R_f}{R_a}}$



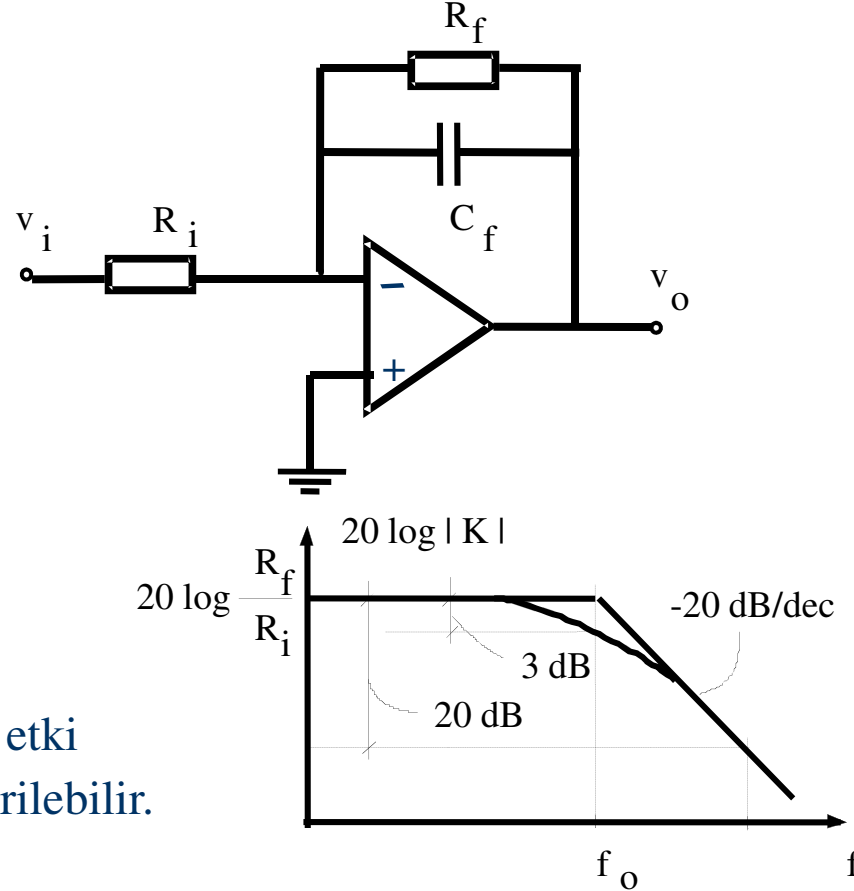
Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Alçak Geçiren Süzgeç

$$K(j\omega) = -\frac{R_f}{1 + j\omega \cdot C_f \cdot R_f} \cdot \frac{1}{R_i}$$
$$= -\frac{R_f}{R_i} \cdot \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

$$\tau = R_f \cdot C_f$$

- ◆ C_f değiştirilerek DA kazancına etki etmeden kesim frekansı değiştirilebilir.



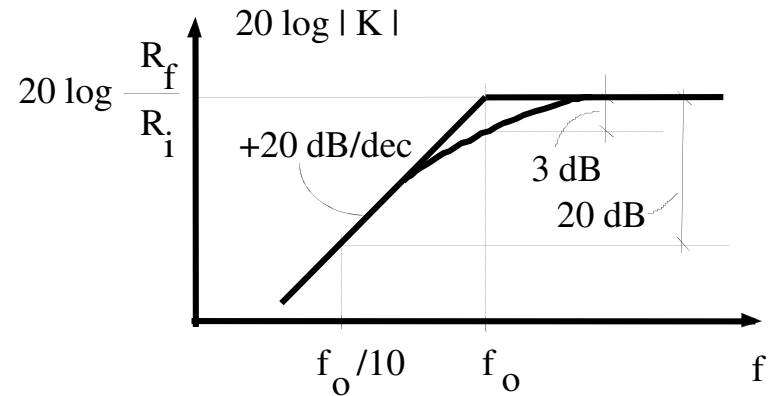
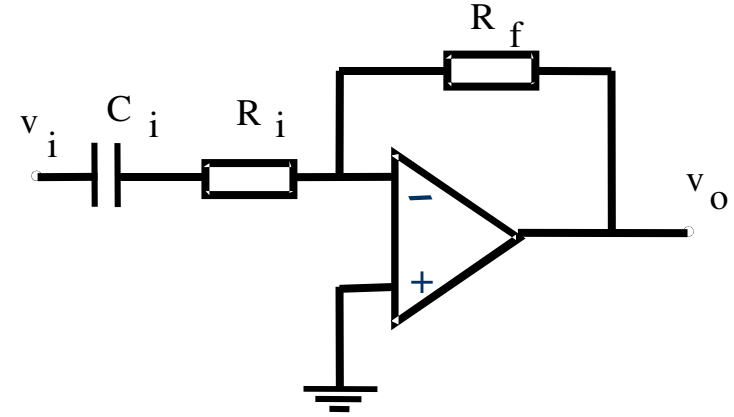


Biyopotansiyel Kuvvetlendiriciler

Yüksek Geçiren Süzgeç

$$K(j\omega) = -\frac{R_f}{R_i} \frac{j\omega\tau}{1+j\omega\tau}$$

$$\tau = R_i \cdot C_i$$





Dönüştürücüler

Dönüştürücü: Ölçülen büyüklüğü algılayan ve enerjiyi bir biçimden başka bir biçime dönüştüren elemandır.

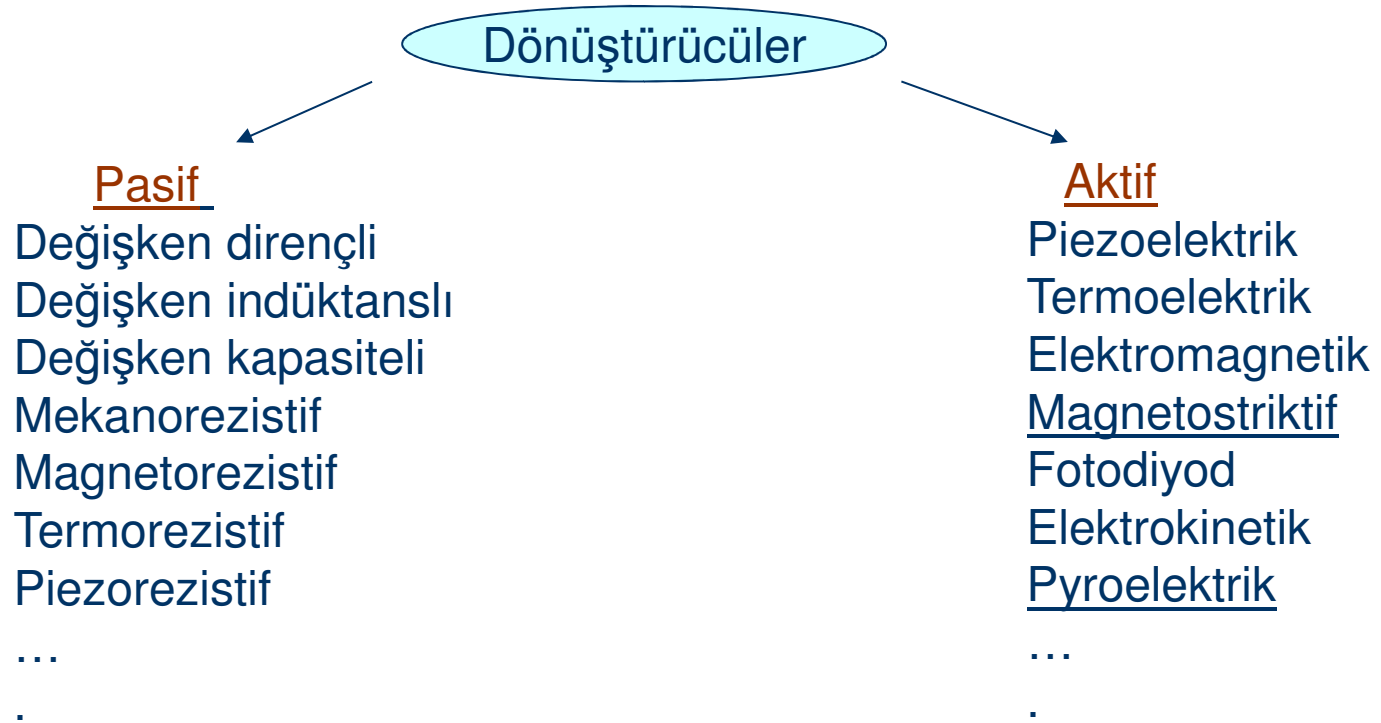
Elektrodlar: Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

Pasif Dönüştürücü: Dönüştürücü güç kaynağı ile beslenmek zorundadır.

Aktif Dönüştürücü: Dönüştürücünün beslenmesine gerek yoktur.



Dönüştürücüler



Dönüştürücüler

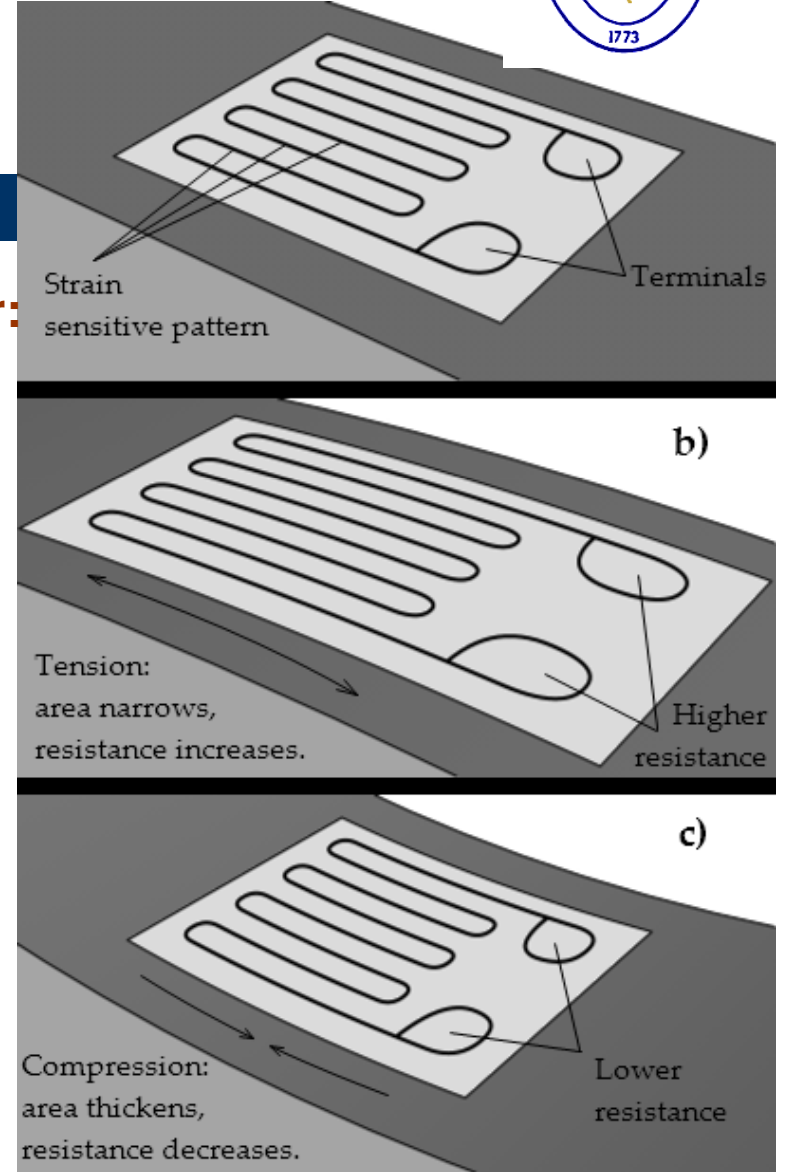
Değişken dirençli(rezistif) dönüştürücüler:

Fizyolojik büyüklük olarak

- yer değiştirme,
- hareket ve
- kuvveti direnç değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.

- Soluk hızı ölçerler,
- Karbon mikrofonlar (kalp sesleri için),
- Nem ölçerler,
- Hacim (göğüs hacmi değişikliği) ölçerler
- Bolometreler bu tip dönüştürücü kullanırlar.

Ör) Potansiyometreler, gerinim ölçerler.





Dönüştürücüler

Sıcaklık dönüştürücüleri:

Pasif (termorezistif) veya aktif (termoelektrik) tipleri vardır.

Değişken indüktanslı (indüktif) dönüştürücüler:

- Pasif tiptendir. Tek bobinli ve çok bobinli olanları vardır.
- Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, basınç, kuvvet ve ivmeyi indüktans değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.

Değişken kapasiteli (kapasitif) dönüştürücüler:

- Pasif tiptendir.
- Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, basınç, kuvvet ve ses titreşimlerini kapasite değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.



Dönüştürücüler

Piezoelektrik dönüştürücüler:

Mekanik uyarı karşısında doğrudan elektrik çıkışı veren dönüştürücüdür.

Kullanılma yerleri:

- Kalp sesi ölçümleri için mikrofonlar,
- Titreşim ölçerler için ivme algılayıcıları,
- Kan akış hızı ölçümleri için ultrasonik hız ölçerler,
- Ultrasonik görüntüleme, cerrahi, diyatermi (doku ısıtıcı) cihazları,
- Piezoelektrik kalbe destek cihazlar,
- Sterilizatör (temizleyici) cihazları,
- Fizik tedavi cihazları...



Dönüştürücüler

Elektromanyetik dönüştürücüler:

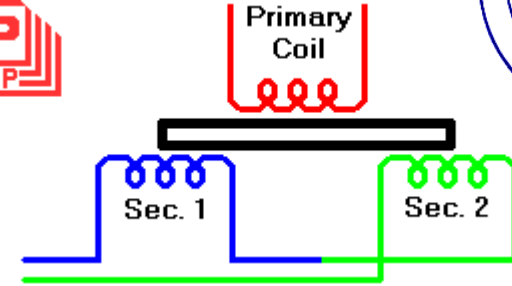
"Manyetik alanı kesen hareketli bir iletkende gerilim endüklenir"
(Faraday Yasası)

- Hareketi gerilime veya gerilimi harekete dönüştürür.
- Ortamda manyetik alan oluşturmak amacıyla elektriksel olarak beslenmeleri gereken pasif dönüştürücülerdir.

Kullanım alanları:

- Kan akış hızı ve soluk hızı ölçmeleri,
- Göğüs mikrofonları olarak,
- Balistokardiyograf cihazları için

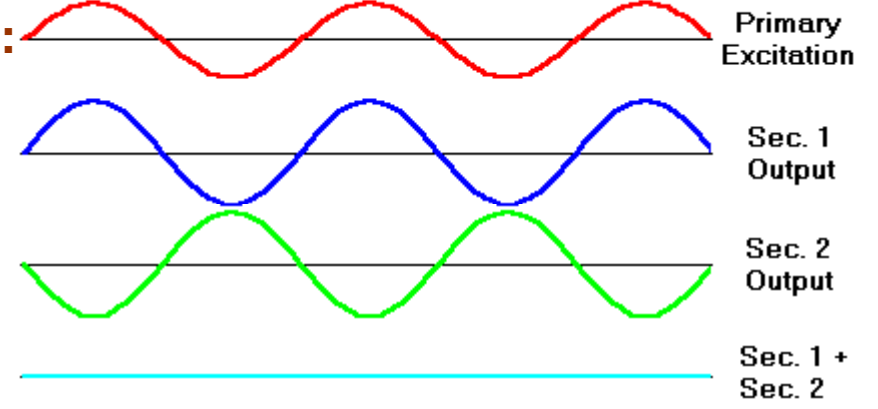
Dönüştürücüler



Değişken indüktanslı dönüştürücüler:

Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, basınç, kuvvet ve ivmeyi indüktans değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.

- Tek bobinli
- Çok bobinli

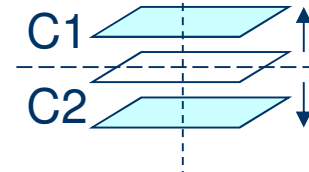


LVDT

Değişken kapasiteli (kapasitif) dönüştürücüler:

Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, basınç, kuvvet ve ses titreşimlerini kapasite değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.

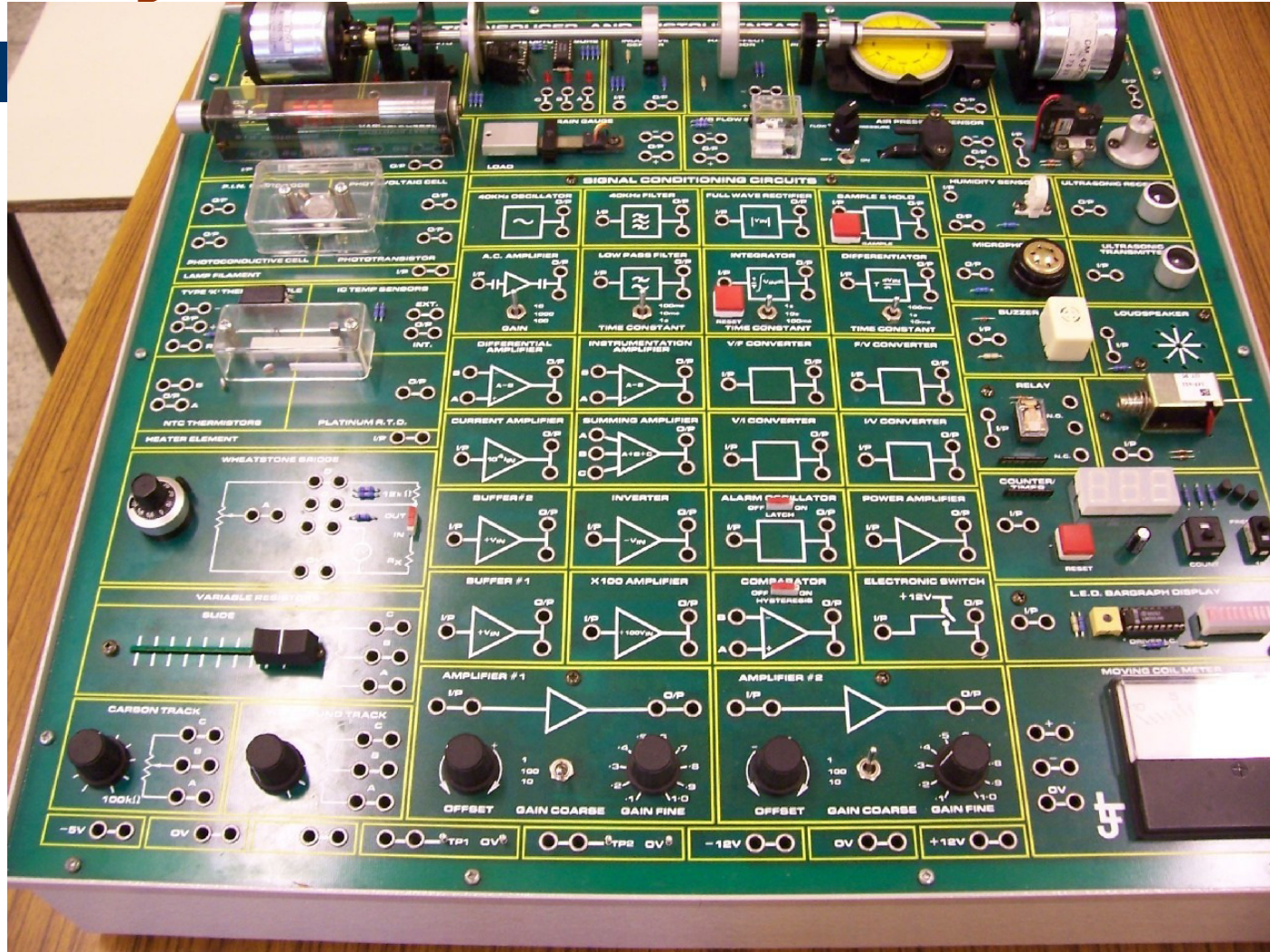
- İki plakalı
- İki'den fazla plakalı



$$C_{1,2} = \frac{\epsilon A}{d \pm x}$$

Dönüştürücüler

DIGIAC 1750



Elektriksel Güvenlik!

- Elektrik akımı insan vücudunda ciddi yaralanmalara ve ölümlere yol açabilir.
- Yaralanmanın şiddeti, akan akımın;
 - şiddetine,
 - frekansına,
 - insan vücudu boyunca aldığı yola ve
 - akımın şekline (- , ~) bağlıdır.





Elektriksel Güvenlik!

Akım şiddeti (mA)	Etki
0 - 0.5	Vücut akımı algılayamaz
0.5 – 10	Önemsiz gıdıklanmalar hissedilebilir.
10 – 100	Akımın geçtiği bölgede kas kasılmaları oluşur. Solunum problemleri ortaya çıkabilir. Eller bir şeyleri bırakma yeteneğini kaybeder Sağlıklı durumda, bu akım hâlâ zararsızdır
100 – 200	Akan akımın süresi önemlidir. Akım yeteri kadar çabuk kesilirse, sağlık üzerinde herhangi bir etkisi olmaz.
200 – 500	Fibrilasyon, kalp durma...vb. olasılıklarında artış
> 500 mA	Vücut kimyasal etkilerle zehirlenir. (Ölüm birkaç gün sonra bile gerçekleşebilir).

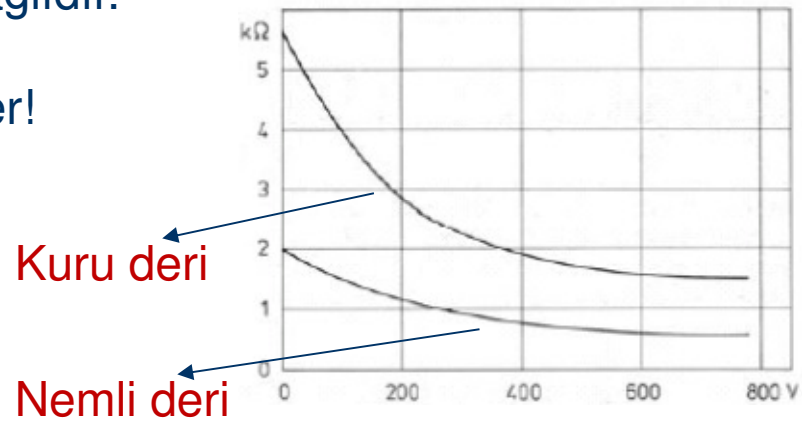
Elektriksel Güvenlik!

- Genelde Doğru Akım daha az tehlikelidir, ancak tanımlanan tüm etkileri daha yüksek değerlerde gösterir.
- Pratikte maksimum zararsız dokunma gerilimini bilmek gereklidir. Bu gerilim için kesin bir değer yoktur: (R(insan): 600 - 6000Ω)
- Vücut direnci, derinin nemine bağlıdır.
- Gerilim yükseldikçe, direnç düşer!

Alman standartlarında;

<120V (-)

< 50V (~) zararsız





Elektriksel Güvenlik!

Yarıiletken elemanların tutulması:

- Hassas elektronik devreler ve elemanlara özenle dokunulmalıdır.
- Uygun şekilde tutulmayan elektronik bileşene zarar verilebilir.

Devrenin arızalanma nedenleri:

- Aşırı (devrenin güvenli çalışma sınırları dışında) akım geçmesi
- Aşırı ısınma
- Ters kutuplama
- ESD (Elektrostatik boşalma)

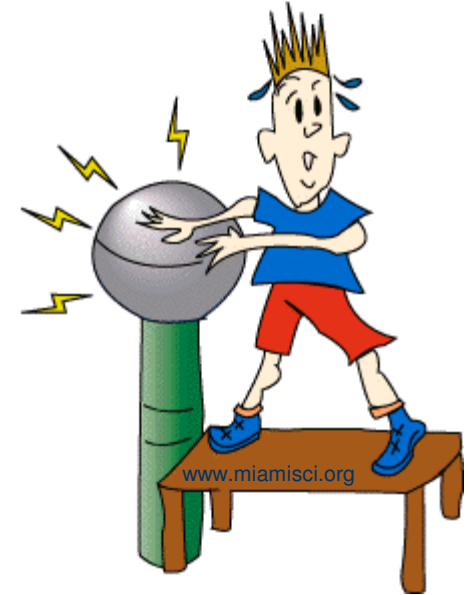
Elektriksel Güvenlik!

ESD (Elektrostatik Boşalma):

- ESD, yükün elektriksel nötrlüğü sağlamak üzere bir nesneden diğerine hızlı transferi neticesinde oluşur.
- Elektrostatik yüklenme en yaygın olarak, elektriksel olarak yalıtkan olan iki maddenin birbirine temas edip ayrılması neticesinde oluşur.
- Yükün cinsi (+ / -) ve miktarı bu işlemde yer alan maddelere bağlıdır.

Bazı statik elektrik kaynakları:

- Plastik torbalar, Paket bantları
- Plastik malzemeler, Strafor parçaları





Elektriksel Güvenlik!

ESD Kontrolü

Topraklama: Kişisel topraklama cihazı ya da bilek kayışı kullanarak statik yüklerin boşaltılmasıdır.

İzolasyon: Depolama ya da taşıma esnasında elemanların paketlenmesi.

Tedbirler:

- Ortamı temiz ve gereksiz eşyalardan (özellikle plastiklerden) uzak tutmak,
- ESD duyarlı elemanları, aktif olarak kullanılmadıkları zamanlarda, ESD-koruyucu muhafazalarında tutulmalıdır.
- Yarıiletken malzemeler (diyot, transistör, entegre devreler) gibi ESD duyarlı elemanlar, elbise üzerinde tutulmamalıdır.
- Duyarlı elemanlara (Ör: MOSFET, OPAMP, Lojik kapı) dokunulmamalı



Kaynaklar

- “Tıp Elektronîği”, Ertuğrul Yazgan, Mehmet Korürek, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, 1996.
- <http://www.rdpe.com/>
- <http://www.wikipedia.org/>
- “Safety Instructions”, Electronics Lab, Advanced Electrical Engineering Lab Course II, Spring 2006, International University Bremen.
- Winter and Webster, “Reduction of Interference Due to Common Mode Voltage in Biopotential Amplifiers,” IEEE Tran. on BME, vol. 30(1), 1983.
- Winter and Webster, “Driven-right-leg circuit design,” IEEE Tran. on BME, vol. 30(1), 1983.
- Thakor and Webster, “Ground free ECG recording with two electrodes,” IEEE Tran. on BME, vol. 27(12), 1980.
- Van Rijn, et al, “High quality recording of bioelectric events. Part I: Interference reduction, theory and practice,” Medical and Biological Engineering and Computing, vol. 28, 1990.
- Dobrev, et al, “Simple two-electrode biosignal amplifier,” Medical and Biological Engineering and Computing, vol. 43, 2005.