

T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

BİYOMEDİKAL CİHAZ TEKNOLOJİLERİ

BİYOPOTANSİYEL YÜLSELTEÇLER

ANKARA 2008

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	iii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. BİYOPOTANSİYEL YÜKSELTEÇLER	3
1.1. Yükseltecin Tanımı	3
1.2. Biyopotansiyel Yükseltecin Tanımı	4
1.3. Yükselteçlerin Genel Özellikleri	6
1.3.1. Kazanç	7
1.3.2. Giriş Direnci	7
1.3.3. Çıkış Direnci	8
1.4. İşlemsel Yükseltecin Sembolü	9
1.5. İşlemsel Yükseltecin Yapısı ve Çalışması	9
1.5.1. Fark Yükselteci	11
1.5.2. Gerilim Yükselteci	12
1.5.3. Çıkış Katı	12
1.6. İşlemsel Yükseltecin İdeal Özellikleri	12
1.7. Kılıf Şekilleri	13
1.8. Ayak Bağlantıları	13
1.9. Beslenmesi	14
1.10. İşlemsel Yükselteçlerin İdeal Olmayan Özellikleri	15
1.10.1. Giriş Empedansı	15
1.10.2. Çıkış Empedansı	16
1.10.3. Gerilim Kazancı	16
1.10.4. Bant Genişliği	16
1.10.5. Frekans Eğrisi	17
1.10.6. Ofset Ayarı	18
1.10.7. Frekans Kompanzasyonu	19
1.10.8. CMRR Ortak İşareti Bastırma Oranı	20
1.10.9. Güç Tüketimi	21
1.11. Ürün Bilgi Sayfalarının Kullanımı	22
1.12. On-Line Katalog Kullanımı	29
UYGULAMA FAALİYETİ	37
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	39
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	40
2. BİYOPOTANSİYEL YÜKSELTEÇ UYGULAMALARI	40
2.1. Eviren Yükselteç Devresinin İncelenmesi	41
2.1.1. Eviren Yükseltecin Kurulup Çalıştırılması	43
2.2. Evirmeyen Yükselteç Devresinin İncelenmesi	46
2.2.1. Evirmeyen Yükseltecin Kurulup Çalıştırılması	47
2.3. Gerilim İzleyici Devresinin İncelenmesi	50
2.3.1. Gerilim İzleyici Devrenin Kurulup Çalıştırılması	51
2.4. Fark Yükselteç Devresinin İncelenmesi	53
2.4.1. Fark Yükseltecinin Kurulup Çalıştırılması	54
2.5. Enstrümantasyon Yükseltecinin İncelenmesi	56
2.5.1. Türleri	57

2.5.2. Kullanım Alanları	59
2.5.3. Enstrümantasyon Yükseltecinin Kurulup Çalıştırılması.....	60
2.6. İzolasyon Yükseltecinin İncelenmesi.....	63
2.6.1. Kaçak Gerilimlere Karşı Hasta Güvenliği ve Yalıtımın Önemi	63
2.6.2. İzolasyon Yükselteci Türleri.....	65
2.6.3. İzolasyon Yükselteçlerinin Kullanım Alanları	67
2.6.4. İzolasyon Yükseltecinin Kurulup Çalıştırılması.....	67
2.7. Karşılaştırmalı Devrenin İncelenmesi	71
2.7.1. Karşılaştırmalı Devrenin Kurulup Çalıştırılması	72
2.7.2. Karşılaştırmalı Devrenin Kontrol Devresi Olarak Kullanılması	75
2.8. Logaritmik Yükseltecin İncelenmesi	77
2.8.1. Logaritmik Yükseltecin Kurulup Çalıştırılması	77
2.9. Türev ve İntegral Alıcı Devrelerin İncelenmesi.....	79
2.9.1. İntegral Alıcı Devre	79
2.9.2. Türev Alıcı Devresi	82
2.10. Negatif Giriş Kapasiteli Yükselteçler	84
2.10.1. Elektrot Kaçak Kapasitesinin Biyopotansiyel Sinyallere Etkisi	84
2.10.2. Çalışması	85
UYGULAMA FAALİYETİ	86
ÖLÇME DEĞERLENDİRME.....	88
MODÜL DEĞERLENDİRME	89
CEVAP ANAHTARLARI.....	91
ÖNERİLEN KAYNAKLAR.....	92
KAYNAKÇA	93

AÇIKLAMALAR

KOD	522EE0155
ALAN	Biyomedikal Cihaz Teknolojileri
DAL/MESLEK	Alan Ortak
MODÜLÜN ADI	Biyopotansiyel Yükselteçler
MODÜLÜN TANIMI	Biyomedikal cihazlarda kullanılan biyopotansiyel yükselteç devrelerini tasarlama ve kurma bilgi ve becerisini kazandırıldığı öğrenme birimidir.
SÜRE	40/24
ÖN KOŞUL	
YETERLİK	Biyopotansiyel yükselteç uygulamaları yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında standartlara (TSE, ISO, işletme ve kurum standartlarına ve şartnamelerin kullanıldığı küçük, orta ve büyük ölçekli işletmeler ile özel ve devlet hastanelerinin teknik servislerinde) uygun olarak biyopotansiyel yükselteç uygulamalarını yapabileceksiniz. Amaçlar Gerekli ortam ve koşullar sağlandığında; <ol style="list-style-type: none">1. Biyopotansiyel yükselteçleri seçebileceksiniz.2. Biyopotansiyel yükselteç devrelerini çalıştırabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Sistem analizi atölyesi, ölçme ve işaret işleme atölyesi, hastane teknik servisleri, biyomedikal teknik servisleri Donanım: Yükselteç deney setleri, elektronik devre elemanları, tıbbi cihaz yükselteç devreleri, sinyal jeneratörü, teknik sözlük, katalog kitapları, internet, teknik belgeler, Sağlık Bakanlığı Tıbbi Cihaz Yönetmeliği, ölçü aletleri, osiloskop, board ve diğer ders araç gereç ve belgeleri
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Her öğrenme faaliyetinin sonunda, verilen ölçme araçlarıyla (test, çoktan seçmeli, doğru yanlış vb.) kazandığımız bilgileri ölçerek kendinizi değerlendireceksiniz. Ayrıca modül sonunda, öğretmeniniz size, öğrenme faaliyetleri, uygulamalar ve araştırmalar sonucunda kazandığımız bilgi ve becerileri ölçmek için bir yeterlik testi uygulayacaktır.

GİRİŞ

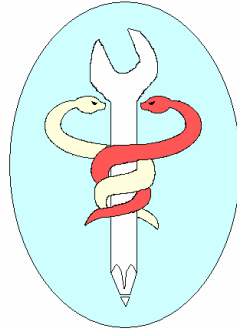
Sevgili Öğrenci,

Biyomedikal cihazların asıl amacı insanın sağlığını bozan, yaşam kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerin belirlenmesi, yani hastalığa tanı konulmasıdır. Tanının ilk aşaması olan şikâyetlerin dinlenmesi, belirtilerin incelenmesi sonrasında, güvenilir yöntemlerle şikâyete konu olan hastalık hakkında kanıt toplanması, yani birtakım tetkiklerin yapılması gerekir. Günümüzde geleneksel dinleme, elle yoklama, belirtileri gözleme yöntemlerinin yanı sıra tanı koymada hekimlere karar desteği sağlayan gelişmiş modern cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar hasta vücudunda meydana gelen çeşitli fizyolojik olayları, elektriksel olayları, şekil bozukluklarını, dokulardaki biyolojik değişimleri algılayarak hekimlerin normal olaylar ve dokularla karşılaştırmasına, tedavinin şekli konusunda karar vermelerine yardımcı olur.

İnsan vücudunda meydana gelen bu olayların gerek algılanmasında, gerekse elde edilen verilerin işlenmesinde pek çok elektronik düzeneklerden yararlanır. Son derece küçük elektriksel işaretler, vücut dokularından yansiyarak dönen ultrases dalgaları, dokulardaki manyetik alana karşı verilen tepkiler veya vücut dokularından geçen radyasyon tıbbi cihazların hassas algılayıcıları tarafından algılandıktan sonra çeşitli devreler tarafından işlenir. Ancak bu işaretlerin işlenmeden önce pek çok bozucu etkiden arındırılması, işlem devrelerinin işleyebileceği düzeyde yükseltilmesi veya yeniden şekillendirilmesi gerekir.

Bu aşamada elektronik sistemlerin en önemli bölümünü oluşturan yükselteçlerden yararlanır. Yükselteçler sadece zayıf sinyallerin kuvvetlendirilmesi amacıyla değil, aynı zamanda bozucu sinyalleri filtre etmek, matematiksel işlemler yapmak, dalga şekillendirmek, regülasyon yapmak gibi amaçlarla da kullanılabilir. İşlemsel yükselteçler sahip oldukları pek çok olumlu özellik nedeniyle biyopotansiyel işaretlerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan devre elemanlarıdır.

Bu modülde biyopotansiyel yükselteçlerin tasarımında yaygın olarak tercih edilen işlemsel yükselteçler ve çeşitli uygulama devreleri incelenecektir. İşlemsel yükselteçlerin iyi bir şekilde anlaşılması, elektronik ile ilgilenen herkes için önemli bir avantaj sağlayacaktır. Zira işlemsel yükselteçlerin uygulama alanları, bu modülde ele alınan konularla sınırlı olmayıp hemen her alanda yaygın bir kullanıma sahiptir.



ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarı ile tamamladığınızda, biyopotansiyel yükselteçleri seçebileceksiniz.

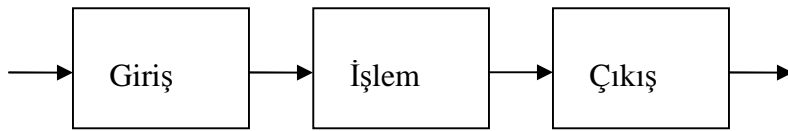
ARAŞTIRMA

- İnsan vücudunun çalışması sırasında kas, kalp ve beyin gibi bölgelerinde ne tür elektriksel sinyallerin oluştuğunu araştırınız.
- Bu elektriksel sinyallerin genlik düzeyleri hakkında bilgi toplayarak raporlayınız.
- Bu sinyallerin bir monitöre veya kâğıt üzerine çizilebilmesi için neler yapılmalıdır?

1. BİYOPOTANSİYEL YÜKSELTEÇLER

1.1. Yükseltecin Tanımı

Elektronik sistemler genellikle son derece düşük genlik ve akım seviyelerinde çalıştırılır. Her sistemde olduğu gibi elektronik sistemlerinde bir giriş, bir işlem ve bir de çıktı birimi bulunur. Elektronik sistemlerin tasarım amacı genellikle giriş bilgisini algılamak, algılanan bilgiyi çıkış birimlerinin kullanabileceği şekle dönüştürmek üzere işlemek ve sonuçta çıkış biriminde ses, görüntü, çizim ya da elektriksel sinyal şeklinde kullanmak olarak özetlenebilir.



Şekil 1.1: Genel bir sistemin blok diyagramı

Sinyal kaynağı doğadaki fiziksel, kimyasal değişimler olabileceği gibi çeşitli sistemler tarafından üretilen elektriksel işaretler de olabilir. Bunlar mekanik bir hareket, ışık şiddeti, ısı değişimi, gerilme, ağırlık, elektromanyetik sinyaller veya insan vücudundaki elektriksel potansiyeller gibi son derece zayıf genlik ve akım seviyelerindeki sinyallerdir. Bu sinyallerin elektronik sistemlerde işlenebilmesi için, uygun algılayıcılar ile algılanması ve devrelerin işleyebileceği düzeyde güçlendirilmesi zorunludur.

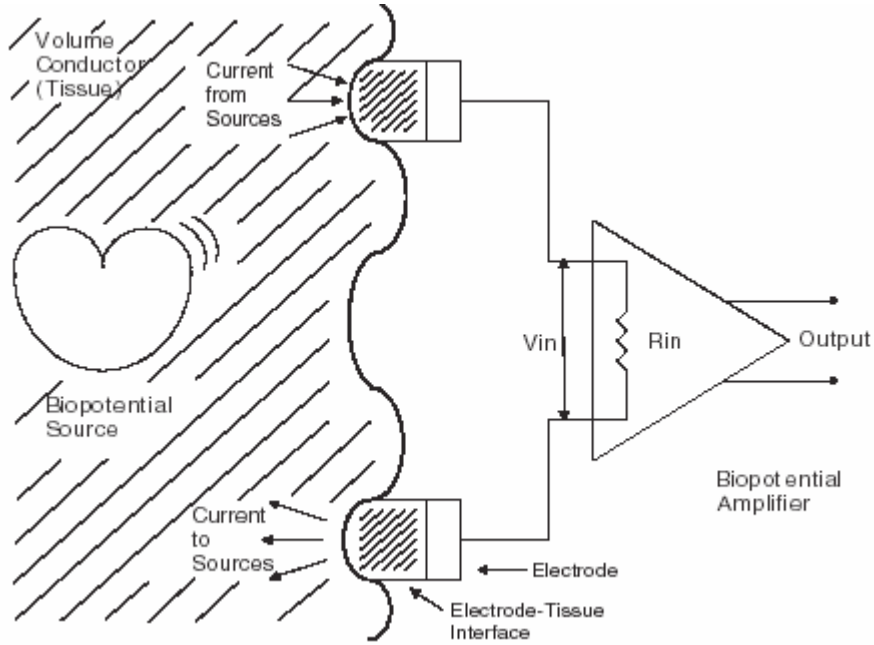
İnsan vücudu normal çalışması sırasında μV mertebesinde elektrik sinyalleri üretir. Bu sinyallerin EKG, EEG, hastabaşı monitörleri, defibrilatör gibi cihazlarda kullanılabilmesi için öncelikle istenilen seviyede kuvvetlendirilmesi gerekir.

İşte bu noktada yükselteçler devreye girer. Bir yükselteç, girişine uygulanan sinyali istenen düzeyde kuvvetlendirmek için kullanılır. Yükselteç akım ya da gerilim kazancı sağlayan elektronik bir düzendir.

Günümüzde yükselteç yapımında aktif devre elemanı olarak genellikle yarı iletken transistörler ve tümeleşik devreler ve bunların türevleri kullanılmaktadır. Hâlen yaygın olarak kullanılmakta olan yükselteç türlerinin başında sahip olduğu önemli üstünlüklerden dolayı işlemsel yükselteçler (OP-AMP) gelmektedir.

1.2. Biyopotansiyel Yükseltecin Tanımı

Biyopotansiyel işaretlerin (biyoelektrik ve fizyolojik) hemen hemen hepsi küçük genliktedir ve fark işaretleri şeklindedir. Şekil 1.2' de görüldüğü gibi insan vücudunun herhangi iki noktası arasındaki potansiyel fark her iki noktanın toprağa göre olan potansiyel farkı ile aynı değildir. İnsan vücudundan elde edilen bu fark işaretlerinin işlenmesi, görüntülenmesi ve saklanması için kuvvetlendirilmesi gerekir. Bu amaçla kullanılan yükselteçlere biyopotansiyel yükselteçler denir. Çoğu zaman bu amaçla kullanılan yükselteçlerin temel elemanını işlemsel yükselteçler oluşturur.



Şekil 1.2: Biyopotansiyel işaret kaynağı

Yükseltilecek olan işaretlerin genlikleri çok küçük ($1 \mu\text{V} - 100 \text{ mV}$) olduğundan bunların gürültü işaretlerinden arındırılmış olarak yükseltilmeleri çok önemlidir.

Biyoelektrik işaretlerin (EKG, EEG, EMG, EOG) frekans değerleri çok düşük frekans bölgelerine kadar indiğinden biyopotansiyel yükselteçler genellikle DC kuplajlı olur ve yükseltilecek olan işarete göre de üst kesim frekansları 100 KHz ' e kadar çıkabilir. EKG yükselteçleri gibi elektrot kullanan yükselteçlerde, elektrotlarda oluşan (DC) gerilimin büyük kazançlı yükselteci doyuma sokmaması için (AC) kuplajı kullanılır. Bu durumda yükseltecin alt kesim frekansı $0,04 \text{ Hz}$ ' e çıkarılmış olur. Yükselteçlerin frekans karakteristiği filtrelerle üst frekans bölgesi içinde sınırlandırılır. Böylece yüksek frekanslı bozucu (gürültü) işaretlerin olumsuz etkilerinden arındırılmış sinyaller elde edilir.

Biyopotansiyel yükseltecin üst kesim frekansı, genellikle yükseltilecek sinyallerin en büyük frekanslı bileşeninin frekansı kadar yapılmaya çalışılır. Bazı durumlarda esas sinyaldeki şebeke frekanslı (50 Hz) bozucu işaretleri zayıflatılmak için özellikle EKG yükselteçlerinde özel filtreler (Notch-Çentik filtresi) de kullanılır.

EKG ve EMG sinyalleri insan vücudundan elektrotlar yardımı ile elde edilir. Yüzeysel elektrotlarının empedansları $200-5000 \Omega$ civarında olduğundan bunların yükseltilmesi için herhangi bir önlem almaya gerek kalmadan normal yükselteçler kullanılabilir. Ancak iğne tip elektrotlar kullanıldığında, bunların yüzeyleri daha küçük olduğundan empedansları $1 \text{ M}\Omega$ mertebesine kadar çıkar. Bu durumda kullanılacak yükselteçlerin, yüksek giriş empedansına sahip FET' li türleri tercih edilir. İğne tipi elektrot kullanıldığında elde edilen sinyalin genliği daha büyük olacağından bu durumda yükseltecin kazancının büyük olmasına gerek kalmaz. Bunun yanı sıra EEG işaretlerinin genlikleri EKG ve EMG işaretlerinden en az on kat daha küçük olduğundan, EEG yükselteçlerinin kazançları oldukça büyük olmalıdır. Bu tür işaretleri algılamak için kullanılan elektrotlar iğne tipi veya çok küçük yüzeyli olduklarından EEG yükselteçlerinin giriş empedanslarının çok büyük olması gerekir. Yüksek kazanç ve yüksek giriş empedansı gürültüye zemin hazırladığından bu tip yükselteçlerin daha az gürültü faktörüne sahip olmasına özen gösterilir.

Bazı biyopotansiyel işaretlerin (EMG işaretleri gibi) mutlak değerleri alınarak işlenmeleri gerektiğinden, işaretler yükseltilirken doğrultulmaları da gerekir. Bazı biyopotansiyel işaretlerin (EKG işaretleri gibi) ise belli bir gerilim seviyesinden geçişleri (örneğin kalp vuru hızı veya ST zaman aralığı ölçümünde) önemli olur ve bu durum için ise gerilim karşılaştırıcıları kullanılır.

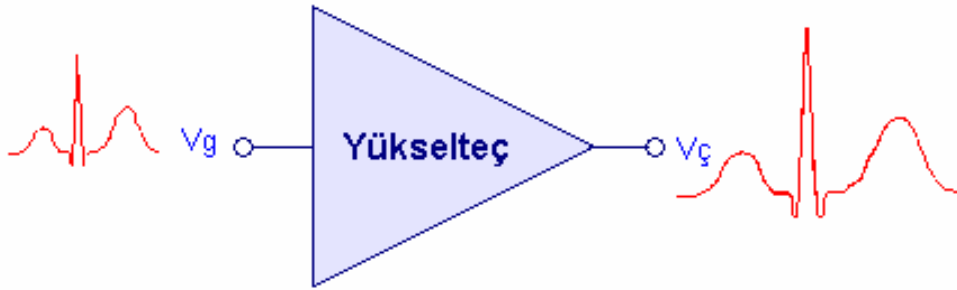
Yükselteçler, biyopotansiyel işaretlerin yükseltilmesi dışında tıpta vücut hareketlerinin, vücut parça ve organ şekillerinin çıkarılmasında, vücut sıcaklığı ölçülmesinde, kan akış hızı, kan basıncı ölçülmesi ve başkaca kontrol, koruma ve uyarma gibi amaçlar için de kullanılmaktadır.

Bir biyopotansiyel yükselteçte arzulanan özellikler şunlardır:

- Yüksek kazanç
- İstenilen işi yapmaya uygun, değişken kazanç
- Düşük gürültü
- Yüksek CMRR ortak işaret bastırma oranı
- Çok yüksek giriş empedansı
- Tek uçlu çıkış, genellikle farksal giriş
- Uygulamaya uygun frekans cevabı
- Sıcaklık ve gerilim dalgalanmalarına karşı kararlılık
- Elektriksel izolasyon ve defibrilasyona karşı güvenlik

1.3. Yükselteçlerin Genel Özellikleri

Yükselteçler, kullanım amaçları gereği girişlerine uygulanan düşük güçlü sinyalleri güçlendirir. Bu işlem için, içyapısındaki aktif devre elemanları yardımıyla güç kaynağından almış olduğu enerjiyi giriş sinyaliyle aynı özellikte, fakat güçlendirilmiş bir çıkış sinyali elde etmek üzere işler. Sonuçta giriş ile aynı özelliklere sahip güçlü bir çıkış sinyali elde edilmiş olur. Yükselteçler girişine uygulanan sinyalin akım ya da gerilimini yükselterek bir güç kazancı sağlayan devrelerdir. Şekil 1.3'te yükseltecin sembolü görülmektedir.



Şekil 1.3: Yükselteç sembolü

Bazı durumlarda amaç sadece sinyalin güçlendirilmesi olmayabilir. Yükselteçler elektronik sistemlerde empedans uygunlaştırmak, faz farkı elde etmek, sinyalleri filtre etmek, dalga şekillendirmek gibi özel amaçlar için de kullanılabilir.

1.3.1. Kazanç

Kazanç, yükselteç girişine uygulanan sinyalin çıkışta hangi oranda kuvvetlendirildiğini ifade eden bir kat sayıdır ve birimsizdir. Kazanç kat sayısı ürün bilgi sayfalarında G (Gain) ya da Av (Amplitude voltage) olarak gösterilmekte olup bundan sonraki bölümlerde biz K olarak kullanacağız. Herhangi bir sistemde kazanç çıkışın giriş oranı olarak aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$K = \frac{\text{Çıkış Değeri}}{\text{Giriş Değeri}}$$

Örnek: Bir yükselteç devresinin girişine uygulanan 100 mV genlikli sinyal çıkışta 400 mV olarak elde edilmektedir. Bu yükseltecin kazancı ne kadardır.

$$K = 400 \text{ mV} / 100 \text{ mV} = 4$$

mV gerilim biriminin hem bölen hem de bölünen tarafta olduğuna dikkat ediniz. Bölme sonucunda 4 kalır, sonuç bir kat sayıdan ibarettir ve birimsizdir.

Kazanç kat sayısı 10 olan yükselteç girişine uygulanan 50 mV genlikli sinyal yükselteç çıkışından kaç mV olarak elde edilir?

$$\text{Çıkış} = \text{Giriş} * K$$

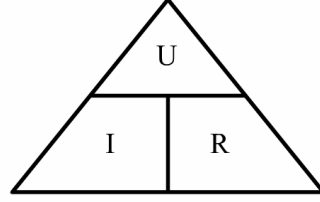
$$\text{Çıkış} = 50 \text{ mV} * 10 = 500 \text{ mV}$$

1.3.2. Giriş Direnci

En basit tanımıyla giriş direnci bir yükseltecin giriş terminaliyle toprak arasındaki direnç olarak ifade edilebilir. Ancak bu direnç giriş terminali ile toprak arasına doğrudan bir ohm metre bağlanarak ölçülebilen direnç değerinden ibaret değildir.

Bazı durumlarda uygun seviyede kazanç elde etmek üzere birden fazla yükselteç art arda bağlanabilir veya farklı görevleri olan devreler birbirine sinyal aktarımı gerçekleştirebilir. Bu durumda bir önceki devrenin çıkışına bağlanan alıcı devrenin girişine doğru bir akım akışı olur. Bu akımın miktarı kaynak devrenin çıkış direnci ve alıcı devrenin giriş direncine bağlıdır. Giriş direnci, bir devrenin kendinden önce gelen devrenin çıkış akımına karşı ne kadar zorluk göstereceği ya da kendinden önce gelen devreden ne kadar akım çekeceğini ifade eden bir özelliğidir. Ohm kanunu ile ilgili bilgilerinizi hatırlayınız. Ürün bilgi sayfalarında Ri olarak gösterilen bu özelliği biz Rg olarak kullanacağız.

$$\text{Akım} = \frac{\text{Gerilim}}{\text{Direnç}}$$



Bir devrenin giriş direncinin düşük olması, kendisinden önce gelen devreden, yani kendisine sinyal sağlayan devreden fazla akım çekmesi, anlamına gelir. Bu durum önceki devrenin yeteri kadar akım verebilmesi, yeteri kadar güçlü olmasını gerektirir.

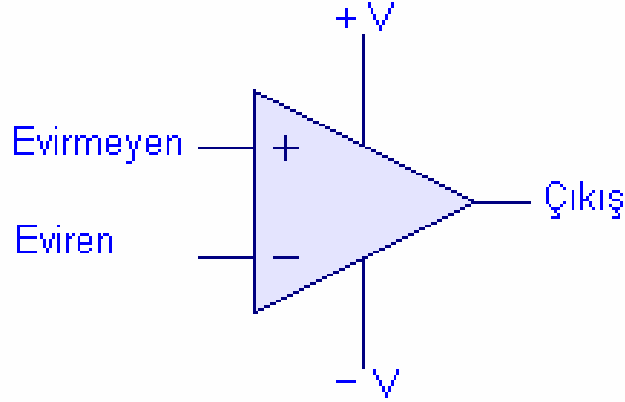
Yüksek giriş direncine sahip bir devre ise, kendinden önce gelen devreden az miktarda akım çekerek önceki devrenin aşırı yüklenmesine ve bundan dolayı sinyal bozulmalarına neden olmaz. Dolayısıyla bu tür devrelerin girişine, düşük çıkış gücüne sahip başka devreleri herhangi bir yükseltme işlemine gerek kalmaksızın bağlayabiliriz.

1.3.3. Çıkış Direnci

Bir devrenin çıkış direnci devrenin çıkışından ne kadar akım çekilebileceğinin, bir başka anlatımla devrenin ne kadar akım verebileceğinin bir göstergesidir. Çıkış direnci aynı zamanda, bir devrenin çıkış terminali ile toprak arasında görülen direnç olarak da tarif edilebilir.

Maksimum güç transferi ile ilgili bilgilerinizi hatırlayınız. Bilindiği gibi bir devreden maksimum enerji çekebilmek için devrenin çıkış direnci ile alıcı devrenin giriş direncinin eşit olması gerekir. Eğer önceki devrenin çıkış direnci yük devresinin giriş direnci ile uyumlu değilse, bu durumda önceki devrenin çalışmasında sorunlar ortaya çıkacaktır. Kaynak devre bir osilatör ise, çalışma frekansında kayma ya da tamamen osilasyonun durması, bir yükselteç ise kazançta değişme gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Bu tür sorunlar ile karşılaşmamak için kaynak devrenin çıkış direnci ile yük devresinin giriş direncinin birbirine eşit olması hedeflenir. Bu özellik ürün bilgi sayfalarında R_o olarak ifade edilmektedir, biz bundan sonra $R_ç$ olarak kullanacağız.

1.4. İşlemsel Yükseltecin Sembolü



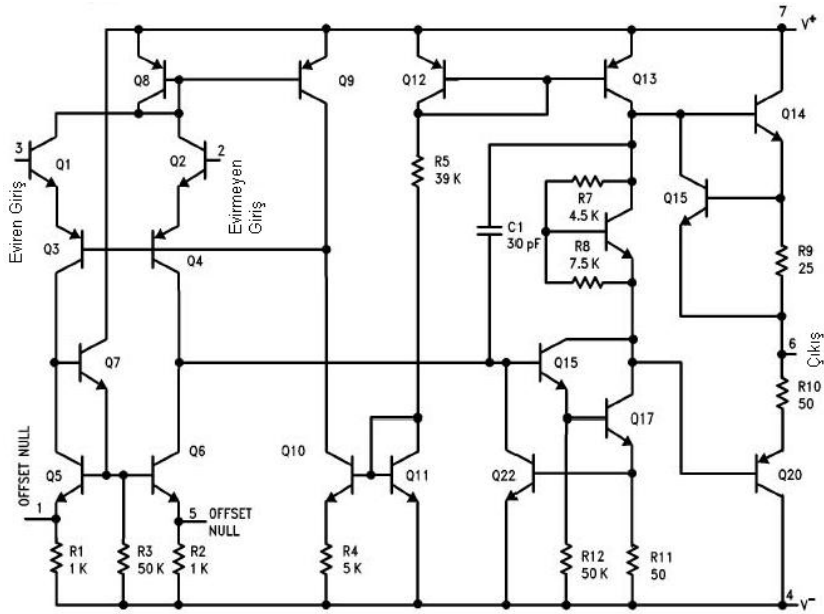
Şekil 1.4: İşlemsel yükseltecin sembolü

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi işlemsel yükselteç iki girişli tek çıkışlı ok başı şeklindeki bir üçgen ile sembolize edilmektedir. Sembol üzerinde genellikle besleme uçları gösterilmemektedir. Bazı işlemsel yükselteç sembollerinde besleme uçları da gösterilirken çoğu zaman bu uçlar sembol üzerinde verilmez. İşlemsel yükseltecin iki giriş ucu + ve - olarak işaretlenmiştir. Bunlardan - işaretinin bulunduğu uç işlemsel yükseltecin eviren girişini + işaretli olan uç ise evirmeyen girişini işaret etmektedir. Çıkış ucu ise sembolde ok başının gösterdiği tarafta yer almaktadır.

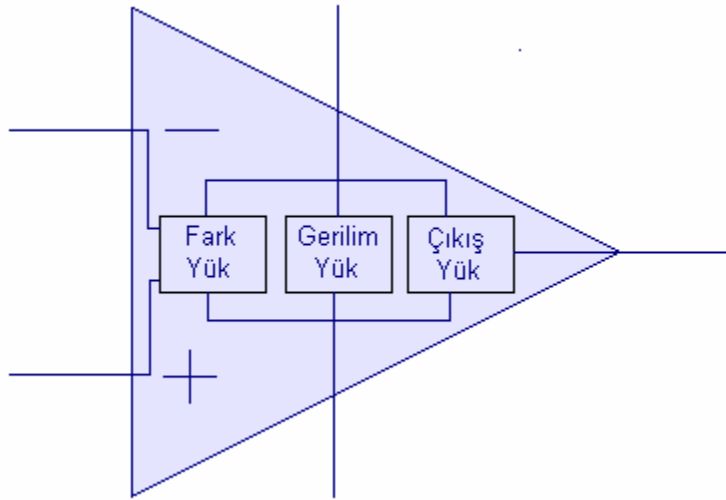
1.5. İşlemsel Yükseltecin Yapısı ve Çalışması

Birçok devre tasarımında, transistör ile yapılan yükselteçler hem gereksiz hesaplarla uğraşmaya hem de fazla sayıda eleman kullanmaya neden olduğundan biyopotansiyel yükselteçlerin yapımında yaygın olarak işlemsel yükselteçler kullanılmaktadır. Özellikle fark işaretleri şeklinde olan biyopotansiyel işaretleri, fark girişlerine sahip olan işlemsel yükselteçlerle kuvvetlendirmek oldukça pratiktir.

İç devre yapısı tek bir yonga üzerine bir ila dört adet işlemsel yükselteç oluşturabilmek için, çok sayıda transistör ve devre elemanından oluşur. Bu devreler sadece BJT (Bipolar Junction Transistör), JFET (Junction Field Effect Transistör) ya da MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET) kullanılarak yapılabilir. Günümüzde yüksek giriş dirençleri nedeniyle JFET işlemsel yükselteçler yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 1.5: LM741 içyapısı

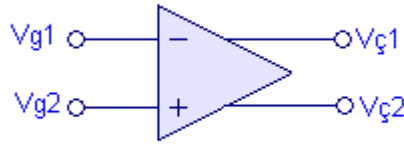


Şekil 1.6: İşlemsel yükseltecin fonksiyonel blok şeması

İşlemsel yükselteçlerin içyapıları oldukça karmaşıktır. Ancak bunları kullanabilmek için içyapılarının ayrıntılarını bilmeye gerek yoktur. İşlemsel yükselteci kullanmak için, dış devre bağlantılarını, temel bazı özelliklerini ve nerede kullanılacağını bilmek yeterlidir. Temel olarak işlemsel yükselteç üç ana bölümden oluşur. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi bunlar giriş devresindeki fark yükselteci, kazancı sağlayan gerilim yükselteci ve çıkış yükselteci devreleridir. Bu bölümler aşağıda kısaca incelenmiştir.

1.5.1. Fark Yükseltici

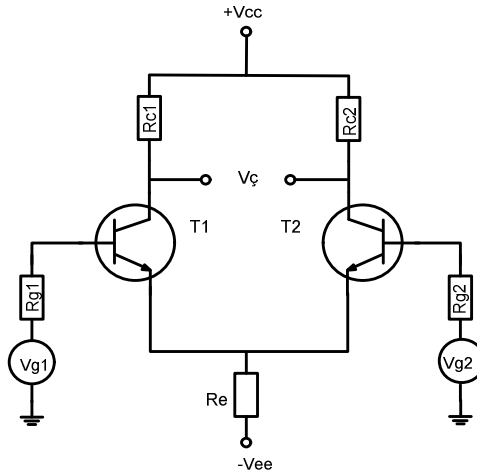
İşlemsel yükselteçlerin çalışmasını anlayabilmek için öncelikle fark (diferansiyel) yükselteçlerini kısaca incelemek daha doğru olacaktır. Fark yükselteçleri işlemsel yükselteçlerin giriş devresinde bulunan en önemli parçasıdır ve çok çeşitli uygulamalarda kullanılan özel bir devre türüdür. Şekil 1.7’de iki girişli temel bir fark yükseltici devresi görülmektedir. Bu devrelere fark yükseltici denmesinin nedeni, girişlerine uygulanan iki sinyalin farkıyla orantılı bir çıkış sinyali üretmeleridir.



Şekil 1.7: Fark yükseltici sembolü

Şekil 1.8’de ise temel fark yükselticinin açık devre şeması görülmektedir. Açık devre şemasında gördüğümüz gibi girişler iki ayrı transistörün beyzine uygulanır. Çıkışlar ise transistörlerin kolektör uçlarından alınmıştır.

Devrenin çalışabilmesi için negatif ve pozitif gerilim verebilen yani simetrik güç kaynağı kullanılmıştır. Ancak yükselteç tek bir güç kaynağıyla da çalışabilir. Devreye uygulanan iki ayrı giriş gerilimine bağlı olarak iki girişin farklarıyla orantılı ve birbirinden 180° faz farklı çıkış gerilimi alınabilir. Bu tip montaj şekli hem DC hem de AC yükselteç olarak birkaç MHz’ e kadar olan giriş sinyallerinin farkını kuvvetlendirebilir. Şekil 1.8’deki devreyi tam olarak dengelenmiş yani bütün devre elemanlarının ideal ve eş değer olduklarını düşünmemiz gerekir.



Şekil 1.8: Temel fark yükseltici devresi

Devredeki giriş V_{g1} ve V_{g2} gerilimleri birbirine eşit ya da sıfır olduğunda, transistörlerden geçen akımlar da birbirine eşit olacağından çıkış gerilimi $V_{\text{ç}}=0$ volt olur. Eş değer transistörlerin eşit gerilimle sürülmesi durumunda içlerinden geçen akım miktarı eşit olacak dolayısıyla uçlarında düşen gerilimler de birbirine eşit olacaktır. Her iki transistörün de kolektörlerindeki gerilimler birbirine eşit olduğundan iki uç arasında bir potansiyel fark bulunmayacaktır. Dolayısıyla bir voltmetre ile kolektörden kolektöre gerilimi ölçtüğümüzde 0 V görürüz. Bu duruma **devrenin denge hâli** denir.

Devrenin giriş gerilimlerini değiştirirsek, örneğin V_{g2} sabit tutulup V_{g1} değiştirilirse çıkış gerilimi $V_{\text{ç}}$ de V_{g1} ile aynı yönde değişir. Bu nedenle V_{g1} kaynağının bağlı olduğu uca "non-inverting" ya da evirmeyen uç adı verilir. Eğer V_{g1} sabit tutulup V_{g2} değiştirilirse, çıkış gerilimi $V_{\text{ç}}$ V_{g2} ' ye ters yönde değişir. Bu nedenle de V_{g2} ' nin bağlı olduğu uca "inverting" ya da eviren uç adı verilir. Çıkış sinyali girişlerden hangisinin genliği büyükse onun işaretini alır.

1.5.2. Gerilim Yükselteci

Gerilim yükselteci istenilen yüksek kazancı sağlayabilmek için art arda bağlanmış birkaç yükselteç devresinden oluşur. Gerilim yükselteci katı giriş ve çıkış direnci oldukça yüksek ve yüksek kazançlı bir devredir. Ayrıca bu katın çıkışı ile çıkış yükselteci katları arasında tampon yükselteçleri ve seviye kaydırıcı devreler de bulunur.

1.5.3. Çıkış Katı

İşlemsel yükselteçlerin çıkış katlarında düşük çıkış direncini elde etmek amacıyla simetrik kolektörü şase yükselteç devreleri kullanılır. Bu düşük çıkış direnci sayesinde yeterli yük akımları elde edilebilir.

1.6. İşlemsel Yükseltecin İdeal Özellikleri

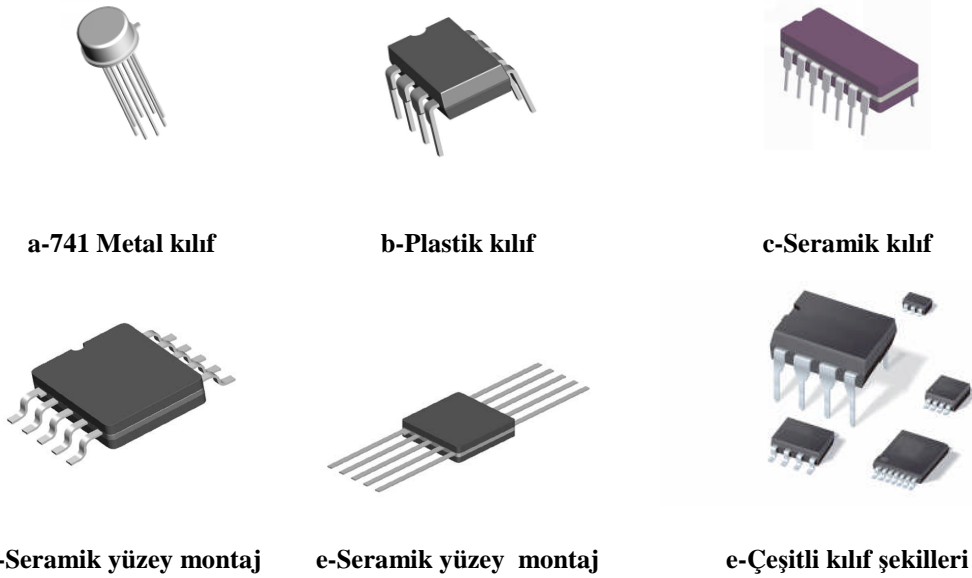
İdeal bir işlemsel yükselteçten beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Açık çevrim (geri beslemesiz) kazancı sonsuzdur ($K=\infty$).
- Bant genişliği sonsuzdur ($BG=\infty$).
- Gürültüsü yoktur.
- Hem iki giriş arası hem de her girişle toprak arası direnç sonsuzdur ($R_g=\infty$).
- Çıkış direnci sıfırdır ($R_{\text{ç}}=0$).
- Çıkış direnci sıfır olduğu için sonsuz akım sürebilir.
- Gerilim kaldırma kapasitesi sonsuzdur. Yani her gerilimde çalışır.
- Yukarıdakilerin hepsi her sıcaklıkta doğrudur.

Yukarıda ideal bir işlemsel yükseltece ait özellikler sıralanmıştır. Ancak çoğu zaman ideal bir sistemin uygulamada aynı özellikleri göstermeyebileceği bir gerçektir. İşlemsel yükselteçler için de bu kural geçerlidir ve ideal işlemsel yükselteç ile pratik işlemsel yükselteç arasında farklılıklar vardır. "Bu durum iyi midir, kötü müdür?" gibi bir soru aklımıza takılabilir. Ancak işlemsel yükseltecin ideal özellikleri ile yapamayacağımız bazı şeyleri, ideal olmayan özelliklerinden yararlanarak gerçekleştirmemiz mümkündür.

1.7. Kılıf Şekilleri

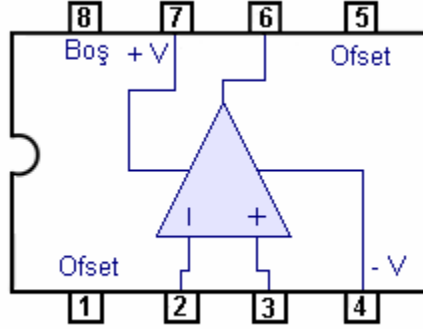
Şekil 1.9'da çeşitli işlemsel yükselteç entegreleri için National Semiconductor firması internet sitesinden alınan kılıf şekilleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi işlemsel yükselteç entegreleri ihtiyaca göre çok çeşitli boyut ve kılıf şekillerinde üretilebilmektedir. Örneğin genel amaçlı ya da eğitim amaçlı kullanılacak devre elemanları için plastik kılıflı entegreleri tercih edebileceğimiz gibi, otomatik makineler tarafından montajı yapılacak ya da cep telefonu gibi son derece sıkışık alanlarda çalışmak gerektiğinde yüzey montajlı küçük entegreler tercih edilir.



Şekil 1.9: İşlemsel yükselteç kılıf şekilleri ve boyutları

1.8. Ayak Bağlantıları

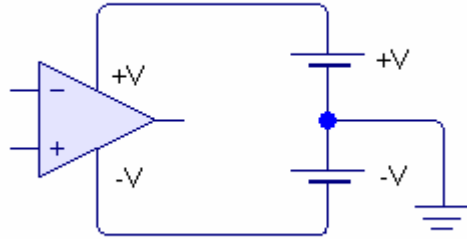
İşlemsel yükselteçler yukarıda da görüldüğü gibi çalıştırıldıkları frekansa, kullanım amacına, montaj şekline bağlı olarak çok çeşitli karakteristik özelliklerde ve farklı kılıf tiplerinde üretilir. Burada çok yaygın olarak kullanılan ve üretici firmaya göre adı LM741 ya da UM741 gibi adlarla anılan 741 kodlu işlemsel yükseltece ait kılıf şekilleri ve bağlantı şemasını inceleyeceğiz. Bunun yanında yine yaygın olarak kullanılan ve içinde 2 adet LM741 işlemsel yükselteci bulunan LM747 entegresi de verilmiştir.



Şekil 1.10: LM 741 iç yapısı ve ayak bağlantıları

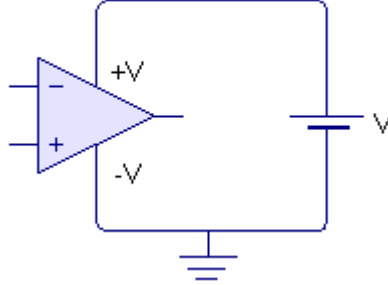
Şekil 1.10'da görüldüğü gibi LM741 işlemsel yükselteci 8 uçlu, genellikle plastik bir kılıf içinde bulunmaktadır. 2 nu.lı uç eviren giriş, 3 nu.lı uç evirmeyen giriş, 6 nu.lı uç ise çıkış ucudur. 7 nu.lı uç +V ve 4 nu.lı uç -V besleme gerilimi için kullanılmıştır. 1 ve 5 numaralı uçlar giriş dengesizlik gerilimi ayarı için kullanılmaktadır. 1 ve 5 nu.lı uçlar gerekmedikçe kullanılmaz ve boş bırakılır. 8 nu.lı uç ise kullanılmamaktadır.

1.9. Beslenmesi



Şekil 1.11: İşlemsel yükseltecin simetrik kaynaktan beslenmesi

İşlemsel yükselteç sembolünde +V ve -V uçları, besleme kaynağının bağlandığı uçlardır. Bir işlemsel yükseltece ± 5 V, ± 12 V, ± 15 V, ± 18 V gibi besleme gerilimi uygulanabilir. Entegrenin hangi gerilimlerde çalışabileceği ürün bilgi sayfalarında ayrıntılı olarak yer almaktadır. Devrenize çalışma gerilimini vermeden önce kullandığımız entegre ile ilgili ürün bilgi sayfalarından çalışma gerilimini öğrenmeniz yarar vardır. İşlemsel yükselteçli devrelerin çalışma gerilimleri genellikle simetrik kaynaktan sağlanır. Şekil.1.11'de bir işlemsel yükseltecin simetrik kaynaktan beslendiği devre bağlantısı görülmektedir. İşlemsel yükselteç olarak 741 entegresi kullanılacaksa, entegrenin 7 nu.lı ucuna pozitif besleme, 4 nu.lı ucuna ise negatif besleme gerilimi uygulanır. Besleme gerilimi bir pilden elde ediliyorsa, pillerin birleşim noktası toprak olarak kullanılır.



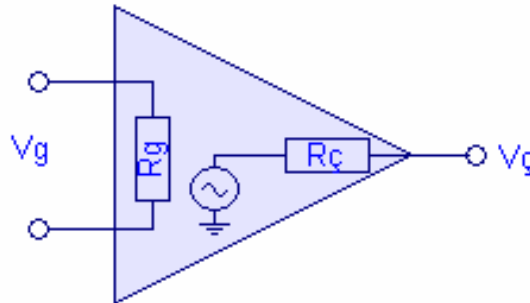
Şekil 1.12: İşlemsel yükseltecin tek kaynaktan beslenmesi

İşlemsel yükseltecin AC sinyal yükselteci olarak kullanıldığı durumlarda tek güç kaynağı kullanmak yeterlidir. Şekil 1.12’de ise işlemsel yükseltecin tek kaynaktan beslendiği devre şeması verilmiştir.

1.10. İşlemsel Yükselteçlerin İdeal Olmayan Özellikleri

1.10.1. Giriş Empedansı

İşlemsel yükseltecin fark girişleri arasında görülen ya da girişlerden herhangi biri ile toprak arasında görülen direnç olarak tanımlanır. Bu değer genellikle ürün bilgi sayfalarında sadece giriş direnci olarak verilir. İdeal işlemsel yükselteçte bu direnç sonsuz olarak ifade edilmekle birlikte pratikte giriş direnci LM741 için $R_g = 2 \text{ M}\Omega$ kadardır. FET girişli LM13741 işlemsel yükselteci için giriş direnci $R_g = 5 \times 10^{11}$ kadardır. Çok yüksek olan bu giriş direnci nedeniyle işlemsel yükseltecin girişine ihmal edilebilecek düzeyde küçük akımlar akmaktadır. Bu da işlemsel yükseltecin kendinden önce gelen devrelerden çok az akım çekeceği, yani yüklemeyeceği anlamına gelir.



Şekil 1.13: İşlemsel yükseltecin giriş ve çıkış direnci

1.10.2. Çıkış Empedansı

İşlemsel yükseltecin çıkış terminali ile toprak arasında görülen direnç olarak tanımlanır. Tipik olarak 100 Ω olan çıkış direnci, çıkış sinyalini yüke uygulamak için kullanılan çıkış katına bağlı olarak gösterilir. İdeal işlemsel yükselteçte sıfır olarak tanımlanan bu parametre pratikte çok düşük bir değerde olup LM741 için yaklaşık $R_c = 75 \Omega$ 'dur.

Giriş ve Çıkış Direnci Nasıl Ölçülür?

Giriş direncinin ölçülmesi işlemi Ohmmetre ile yapılan bir ölçme işlemi değildir. Giriş direnci, giriş gerilimi değişiminin girişlerden birinin toprağa göre ölçülen akımındaki değişime oranı ile bulunur.

Aynı şekilde çıkış direnci de çıkış gerilimindeki değişimin, çıkış akımına oranı ile bulunur.

1.10.3. Gerilim Kazancı

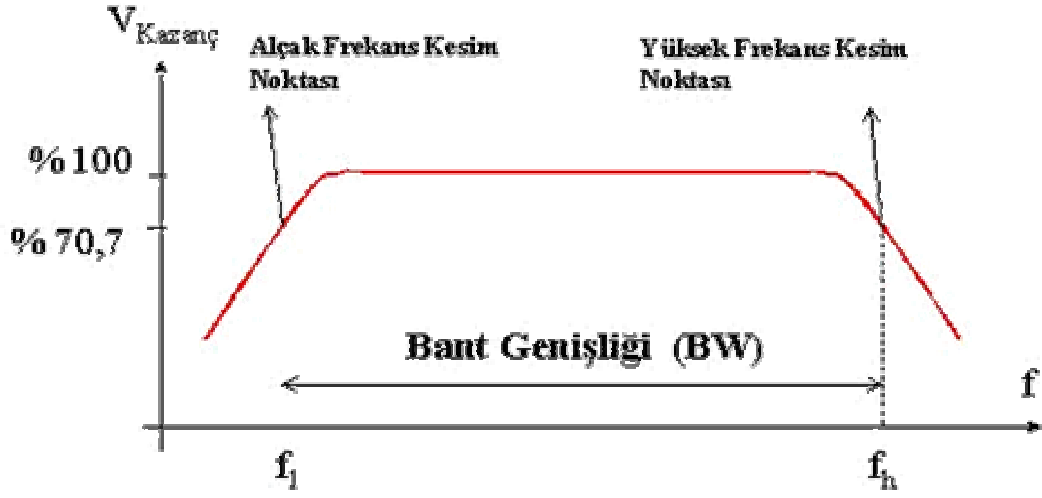
Önceki konularda da belirtildiği üzere kazanç bir yükseltecin girişine uygulanan işaretin çıkışta hangi oranda yükseltildiğinin ifadesi olan bir kat sayıdır. İdeal bir işlemsel yükseltecin açık çevrim kazancı sonsuzdur.

Pratikte kazanç, çok yüksek olmakla birlikte sonsuz değildir. LM741 için açık çevrim kazancı 200.000 (200 V/mV) olarak verilmektedir. Buna göre birkaç milivoltluk bir giriş gerilimi uygulanan işlemsel yükselteç birkaç Volt düzeyinde çıkış gerilimi üretir. Bu derecede yüksek kazançlı bir devrenin daha büyük giriş gerilimleriyle kullanılabilmesi için geri besleme devresi ile kazancının sınırlandırılması gerekir. Açık çevrim kazancı ürün bilgi sayfalarında Avd başlığı altında V/mV cinsinden verilir.

1.10.4. Bant Genişliği

Bir biyopotansiyel yükseltecin bant genişliği, ilgilenilen fizyolojik sinyallerin tümünün zayıflamaya uğramadan yükseltebilecek kadar geniş olmalıdır. Bu ne anlama gelmektedir? İnsan vücudundan alınarak incelenmek istenen sinyallerin hangi frekans aralığında bulunduğu bellidir. Örneğin bu sinyallerin frekansı EMG'lerde 10 Khz' e kadar çıkabilmektedir. Bu değer EKG'ler için ise 150 Hz kadardır. O hâlde bir EKG yükseltecinin 0,04 Hz (bk. biyopotansiyel yükseltecin tanımı) ile 150 Hz arasındaki sinyalleri kusursuz olarak yükseltebilmesi gerekmektedir. Bu durumda bir EKG yükseltecinin bant genişliğinin 150 Hz olması gerektiğini söyleyebiliriz.

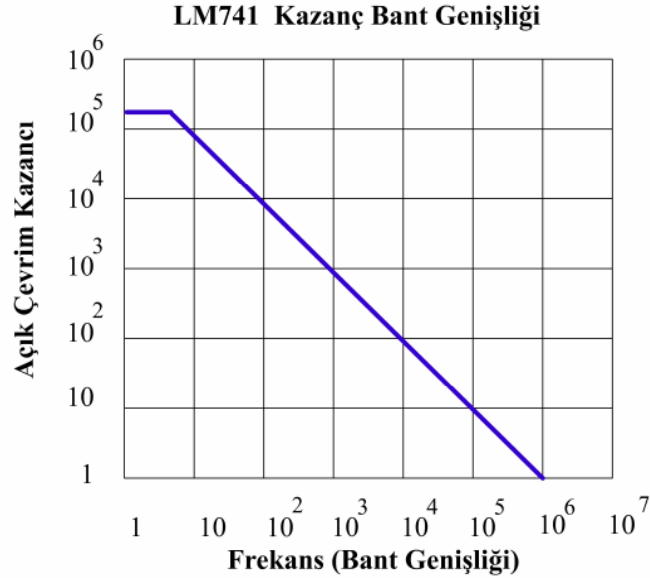
Herhangi bir yükseltecin bant genişliği Şekil 1.14' te görüldüğü gibi, üst kesim frekansı f_2 ile alt kesim frekansı f_1 arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Yükselteç, girişine uygulanan bu frekans aralığındaki sinyalleri büyük bir kazanç oranında yükseltirken, bu frekans aralığı dışında kalan sinyalleri daha küçük bir kazanç oranında kuvvetlendirir, hatta zayıflatabilir.



Şekil 1.14: Bant genişliği

1.10.5. Frekans Eğrisi

Pratikte işlemsel yükselteçler frekansa bağımlı devre elemanlarıdır. İşlemsel yükselteçlerin içyapısında, yüksek frekanslarda osilasyon yapmamaları için, devrenin uygun yerlerinde kondansatörler kullanılır. Bu kondansatörler nedeniyle kazanç frekansa bağlı olarak azalır.

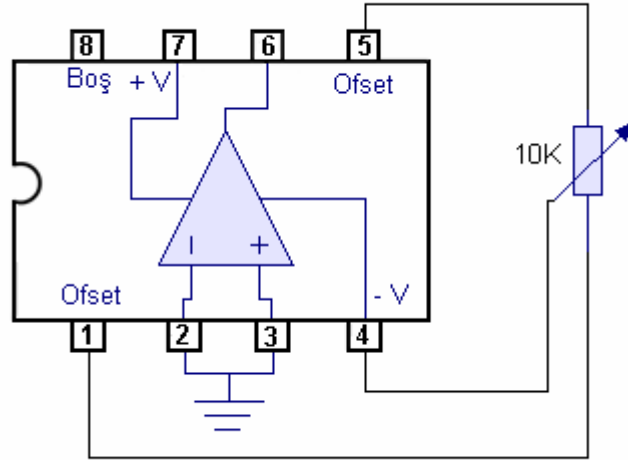


Şekil 1.15: İşlemsel yükseltecin frekans bant genişliği

İşlemsel yükselteç devresine uygulanan sinyalin frekansı yükseldikçe açık çevrim kazancı düşmektedir. Şekil 1.15'te kazancın frekansa göre değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Dikkat edilecek olursa (kazanc * bant genişliği = sabit) olmaktadır. Bu sabite 1 Mhz'dir. Grafikte görüldüğü gibi 5-6 Hz frekansa kadar açık çevrim kazancı yaklaşık 200.000 iken, frekans yükseldikçe kazancın doğrusal olarak azaldığı ve 1 Mhz civarında kazancın yaklaşık 1 olduğu görülmektedir. Sonuç olarak işlemsel yükselteç düşük frekans uygulamalarında yüksek kazanç sağlamakta yüksek frekanslarda ise kazanç düşmektedir.

1.10.6. Ofset Ayarı

Bir işlemsel yükseltecin girişlerine uygulanan sinyallerin genlikleri birbirine eşit olduklarında çıkışın $V_{\text{ç}}=0\text{V}$ olması istenir. Ancak işlemsel yükseltecin girişinde bulunan fark yükselteci devresindeki transistörlerin üretim farklılıklarından dolayı beyz emiter gerilimleri az da olsa farklılık gösterir. Bu fark, işlemsel yükseltecin içindeki yükselteçler tarafından kuvvetlendirilerek çıkışa ulaşır. Sonuçta ($V_{g1}=V_{g2}=0$) yapıldığında çıkış gerilimi ($V_{\text{ç}} \neq 0$) olur ki, bu istenmeyen bir durumdur. Çıkıştaki bu gerilime Çıkış Dengesizlik (ofset) gerilimi adı verilir. İşlemsel yükselteçlerde giriş dengesizlik gerilimi özelliği daha çok kullanılır ve bu gerilim, çıkışı ($V_{\text{ç}}=0$) olmasını sağlayacak olan ($V_{g2}-V_{g1}$) fark giriş gerilimi olarak tanımlanır. Giriş dengesizlik gerilimi National Semiconductor firması tarafından üretilen ve popüler bir işlemsel yükselteç olan LM741 için yaklaşık 1 mV'dur.



Şekil 1.16: Giriş dengesizlik gerilimi ayarı

Uygulamada dengesizlik gerilimi, Şekil 1.16'da görüldüğü gibi kolaylıkla ayarlanabilir. LM741 entegresi için, 10 K'lık bir potansiyometre, orta ucu $-V_{cc}$ ye (4 nu.lı ayak) ve 1 ile 5 numaralı ayaklar arasına bağlanır. Giriş uçları doğrudan ya da 50Ω dirençler üzerinden toprağa bağlanır ve çıkış gerilimi Voltmetreden $V_{\text{ç}} = 0 \text{ V}$ oluncaya kadar ayarlanır. Eğer uygulamada geri besleme kullanılıyorsa, dengesizlik gerilimi ayarı geri beslemeli durumda yapılmalıdır.

Sıcaklıktaki değişmeler, giriş katındaki transistörlerin beyz emiter gerilimlerini birbirinden farklı olarak değiştirir. Bu sebeple işlemsel yükseltecin dengesizlik gerilimi ayarı bozulabilir. LM741 için dengesizlik gerilimi kayması en fazla 15 $\mu\text{V}/\text{oC}$ olarak verilmektedir.

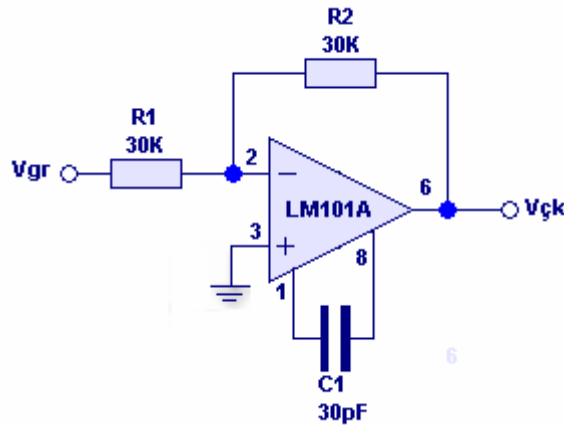
1.10.7. Frekans Kompanzasyonu

Kompanzasyon kelime anlamıyla telafi etmek, yerine koymak anlamındadır. Frekans kompanzasyonu ise negatif geribeslemeli yükselteçlerde kullanılan bir tasarım tekniğidir. Frekans kompanzasyonunun amacı negatif geribeslemeli bir yükselteçte geribeslemenin pozitif kaymasını engellemektir. Bir başka amaç ise çalışma frekans bandını genişletmektir.

İşlemsel kuvvetlendiriciler, genellikle, negatif geribesleme uygulanarak çalıştırılır. Negatif geribesleme ile çalışmada en önemli sorun kararlılık sorunudur. İdeal işlemsel kuvvetlendiricide bant genişliğinin sonsuz ve bu nedenle kuvvetlendiriciye osilasyon tehlikesi olmaksızın istenildiği kadar negatif geribesleme uygulanabilmesine karşılık, gerçek bir işlemsel kuvvetlendiricide durum değiştir. Gerçek işlemsel kuvvetlendiricinin frekans bant genişliği sonsuz değildir. Devrenin kararlı kalabilmesi için uygulanan negatif geribeslemenin hiçbir şekilde pozitif dönmemesi istenir.

Uygulamada iki tür frekans kompanzasyon tekniği kullanılır. Bunlardan biri "lead", diğeri "lag" kompanzasyonudur. Lead kompanzasyonu özellikle biyomedikal yazıcı, çizici gibi aygıtların işlenecek işaretlerin bandına göre dar olan frekans bandını üstten genişletmek, yükselteç girişi kapasite ve direncinin meydana getirdiği kutupları yok etmek veya dönüştürücülerin frekans karakteristiğini iyileştirici olarak kullanılabilir.

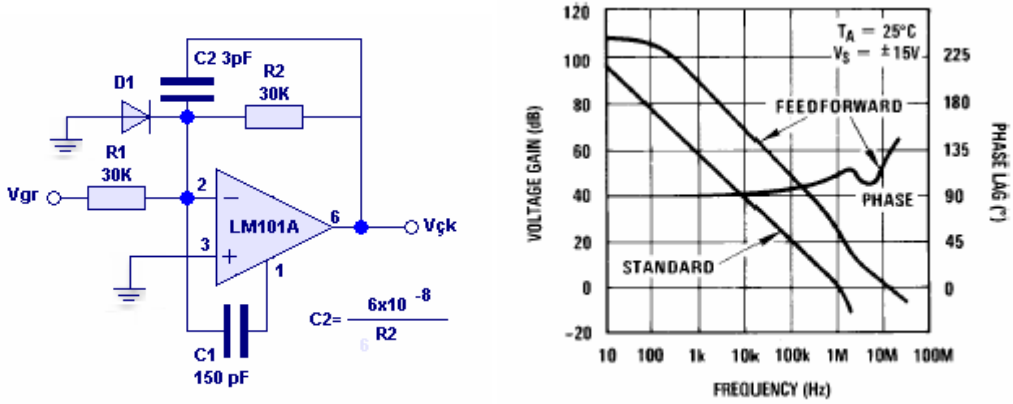
Lead- lag kompanzasyon türleri genellikle dâhili olarak kompanze edilmemiş işlemsel yükselteçlerde uygulanır. Günümüzde TI-LM118, NS-LM318 gibi işlemsel yükselteçlerin iç devresinde dâhili kompanzasyon devreleri bulunmaktadır. Bu işlemsel yükselteçler, dış devresine bir kondansatör ilave edilmek suretiyle kolayca kompanze edilebilmektedir.



Şekil 1.17: NS-LM101A işlemsel yükselteci standart kompanzasyon devresi

Şekil 1.17' de LM101A işlemsel yükseltecine ait standart "feedforward" kompanzasyon devresi görülmektedir. Devrede 1 ve 8 nu.lı bacaklar arasında bağlanan 30 pF' lik kondansatör kompanzasyon kondansatörüdür. Bu kompanzasyon şekli eviren yükselteç uygulamasında slew rate değerini 0,5 V/µS' den 10V/ µS' ye yükseltmektedir. LM101A işlemsel yükseltecinde PNP transistörler kullanılmıştır. Bunun yanında yükseltecin tasarım özellikleri yaklaşık 1MHz' lik bir bant genişliğine imkân tanımaktadır.

Şekil 1.18' de eviren giriş (2 nu.lı uç) ve kompanzasyon uçlarından biri olan 1 numaralı uç arasında 150 pF' lik bir kondansatör bağlanarak bant genişliği 10 MHz ve slew rate 10 V/ µS' ye yükseltilmiştir. Giriş ucuna bağlanan diyot ise yüksek frekanslı darbelerle karşı bir önlem olarak kullanılmaktadır. Karakteristik eğride feedforward kompanzasyonuna ait kazanç frekans bant genişliği gösterilmiştir.



Şekil 1.18: NS-LM101A feedforward kompanzasyon devresi ve frekans cevabı

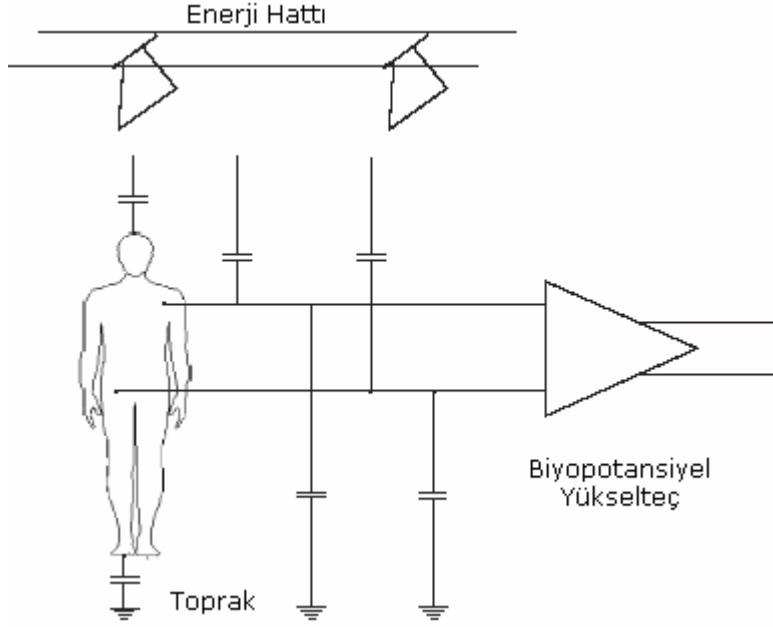
1.10.8. CMRR Ortak İşareti Bastırma Oranı

İnsan vücudu iyi bir iletkenidir, bu nedenle ortama yayılan elektromanyetik sinyalleri toplayan bir anten gibi çalışır. Bunu basitçe test etmek için osiloskop probunun canlı ucuna parmağınızla dokunarak ekrandaki değişimleri izleyiniz. Bu elektromanyetik radyasyon enerji şebekesinden ve güç kablolarından 50/60 Hz ve onun harmonikleri şeklinde gelir. Bunun yanında floresan lambalar, elektrik motorları, bilgisayarlar, otomobil bujileri ve bunlar gibi başka elektrikli cihazlarda elektromanyetik radyasyon yayılımına sebep olur. İstenmeyen bu işaretler gürültü olarak adlandırılır.

Hastanın vücudu tarafından toplanan bu elektromanyetik radyasyon gerekli önlem alınmadığı takdirde hastaya bağlı elektrotlardan geçerek cihazlara ulaşır ve istenmeyen karmaşık işaretlerin oluşmasına neden olur.

İşlemsel yükselteçlerin giriş devresinde bulunan fark yükselteçlerinin en önemli özelliklerinden biri istenmeyen sinyalleri bastırma yeteneğidir. İşlemsel yükselteç ile yükseltilecek olan sinyal ya sadece bir girişte ya da her iki girişte birden fakat ters polaritede görülür. Bunun tersine gürültü sinyalleri, fark yükselteçlerinin her iki girişinde de aynı polaritede görülür. Aynı polaritede olan ya da her iki girişte de ortak olarak görülen bu sinyaller gürültü olarak algılanır ve giriş fark yükselteci tarafından önemli ölçüde bastırılır.

Ortak İşareti Bastırma Oranı CMRR işlemsel yükseltecin farklı polaritedeki giriş sinyallerini yükseltirken aynı polaritedeki giriş sinyallerini bastırma oranı olarak sayısal bir değerle ifade edilir. Bu durumda, CMRR oranı ne kadar yüksekse, devrenin gürültü sinyallerini o kadar iyi bastırabileceğini söyleyebiliriz. Dolayısıyla işlemsel yükselteçlerin dikkate alınması gereken önemli özelliklerinden birisi de işlemsel yükseltecin CMRR oranıdır. Bu oran ürün bilgi sayfalarında genellikle dB (desibel) cinsinden verilir.



Şekil 1.19:Gürültü kaynakları

Örneğin: CMRR oranı 80 dB olan bir işlemsel yükselteç yükseltilmek istenen sinyalleri, gürültü olarak kabul edilen sinyallerden 10.000 kat daha fazla kuvvetlendirir. Ürün bilgi sayfalarında LM741 için CMRR oranı 90 dB olarak verilmektedir.

1.10.9. Güç Tüketimi

İşlemsel yükselteç normal çalışmasını gerçekleştirirken kendi içinde yapmış olduğu güç tüketimine **Disipasyon Gücü (Pdis)** adı verilir. Bu güç tüketimi yapılan işten değil, yükseltecin kendi iç devrelerinin güç tüketimidir. Bu parametre LM741 işlemsel yükselteci için yaklaşık Pdis= 0,5 W kadardır. Özellikle mobil cihazların tasarımında kullanılacak yükseltecin bu özelliğinin dikkate alınmasında yarar vardır.

1.11. Ürün Bilgi Sayfalarının Kullanımı

Biyopotansiyel yükselteç tasarımında en önemli aşamalardan birisi amaca uygun devre elemanı seçimidir. İşlemsel yükselteçler sağladıkları pek çok avantajlar nedeniyle biyopotansiyel yükselteç tasarımında tercih edilen devre elemanlarıdır. Bu elemanların biyomedikal cihazlarda doğru olarak kullanılabilmesi için çalışma koşulları, karakteristik özellikleri, elektriksel özellikleri, kılıf şekilleri gibi birtakım özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi gerekir. Ancak bu sağlandığında amaca uygun çalışan biyomedikal cihazlar tasarlamak mümkün hâle gelebilir.

GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION
- REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709

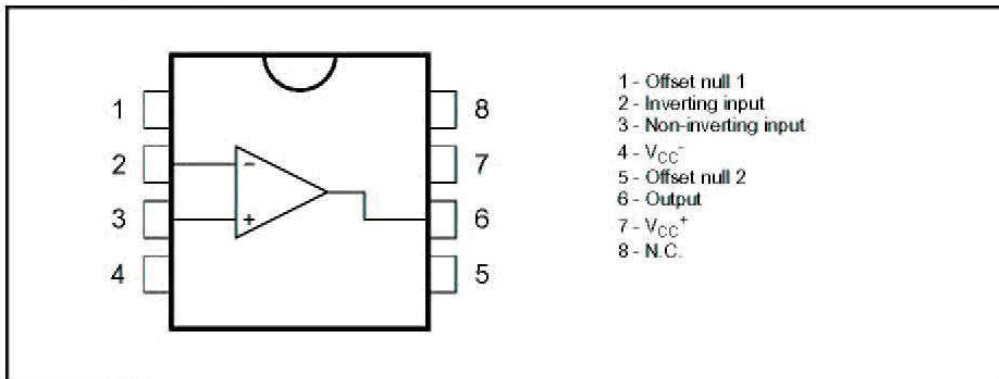
DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intended for a wide range of analog applications.

- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

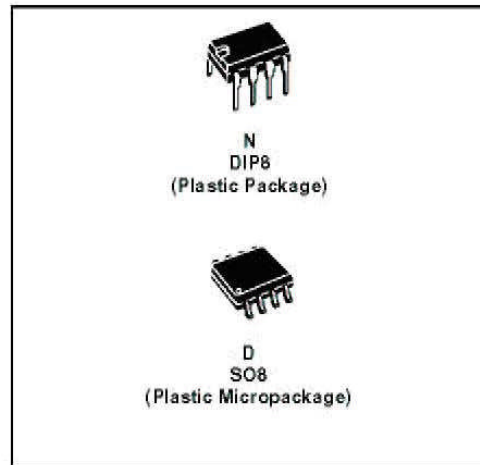
The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB/octave) insures stability in closed loop circuits.

PIN CONNECTIONS (top view)



November 2001

1/5



ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
UA741C	0°C, +70°C	•	•
UA741I	-40°C, +105°C	•	•
UA741M	-55°C, +125°C	•	•

Example : UA741CN

N= Dual in Line Package (DIP)
 D= Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

Şekil 1.20: UA741 ürün bilgi sayfası sayfa 1

Örneğin yüksek empedanslı iğne tip elektrotlarla yapılan EEG ölçümlerinde düşük giriş empedansına sahip devre elemanları kullanılan bir biyopotansiyel yükseltecin çalışabilmesi için girişinden görece büyük bir akımın sağlanması gerekir. Ancak yüksek empedanslı iğne tip elektrotlar bu akımı sağlayamayacakları için devre doğru ölçüm yapamayacaktır. Bu devrede kullanılacak yükseltecin çok yüksek giriş empedansına sahip JFET devre elemanları ile yapılması gerekmektedir.

Devre elemanlarının seçiminde üretici firmalar tarafından sağlanan ürün bilgi sayfalarından yararlanılır.

Ürün bilgi sayfaları belirli aralıklarla üretici firmalar tarafından güncelleştirilerek kataloglar hâlinde dağıtıldığı gibi, internet üzerinden de yayımlanmaktadır. Üretici firmalar ürünlerinin en etkin ve doğru bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla, tasarımcıların yararlanacağı ayrıntılı ürün bilgi sayfaları hazırlar.

Örnek olarak UA741 ürün bilgi sayfasının giriş bölümünde, ürüne ait genel bilgiler, kılıf şekilleri, uygulama alanları, ayak bağlantı şekli verilmiştir.

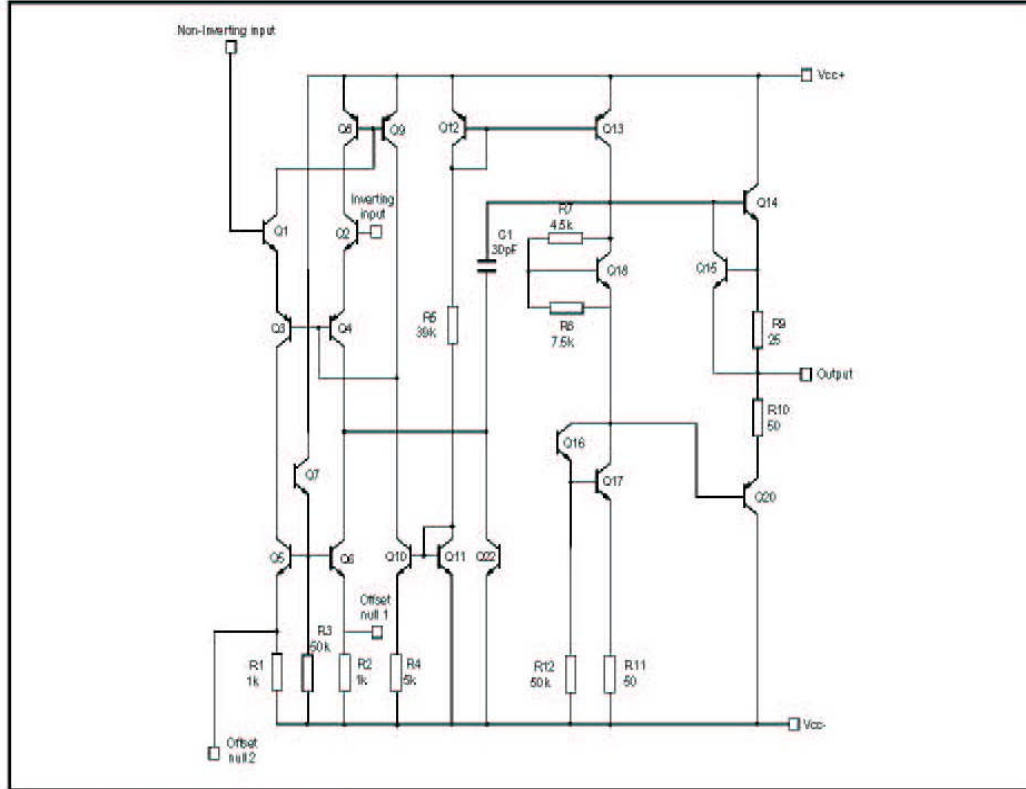
İkinci sayfada iç devre şeması ve uygulanabilecek sınır değerleri gösterilmektedir. Örneğin besleme gerilimi, kısa devre akımı, çalışma ve depolama sıcaklığı, güç tüketimi gibi.

Üçüncü sayfada ürüne ait ayrıntılı elektriksel karakteristik özellikleri verilmektedir. 1. sütun kullanılan sembolü, 2. sütun anılan özelliği ve bu özelliğin hangi koşullarda sağlandığını, 3, 4, 5. sütunlar en düşük, tipik ve en yüksek değerleri, son olarak 6 sütun ise kullanılan birimi göstermektedir.

Yine tablonun başında bu değerlerin hangi besleme gerilimi ve sıcaklıkta geçerli oldukları belirtilmiştir.

UA741

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M	UA741I	UA741C	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±22			V
V_{id}	Differential Input Voltage	±30			V
V_i	Input Voltage	±15			V
P_{tot}	Power Dissipation ¹⁾	500			mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (T_j) is not exceeded.

Şekil 1.21: UA741 ürün bilgi sayfası sayfa 2

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

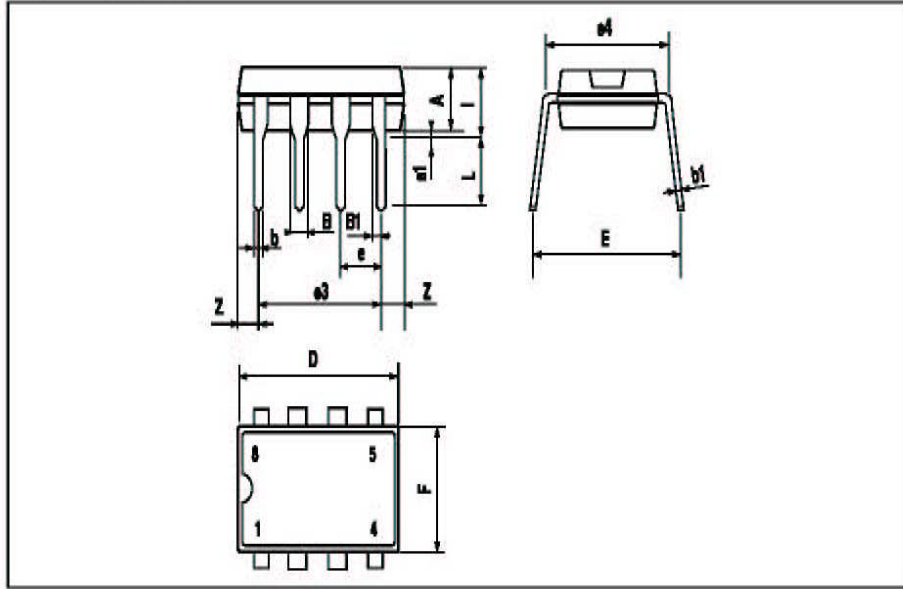
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5 6	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 70	nA
I_{ib}	Input Bias Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10	100 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($V_o = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	77 77	90		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.7	2.8 3.3	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	± 12 ± 12			V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	90		dB
I_{OS}	Output short Circuit Current	10	25	40	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$	12 10 12 10	14 13		V
SR	Slew Rate $V_i = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain	0.25	0.5		V/ μs
t_r	Rise Time $V_i = \pm 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain		0.3		μs
K_{ov}	Overshoot $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity Gain		5		%
R_i	Input Resistance	0.3	2		M Ω
GBP	Gain Bandwidth Product $V_i = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	0.7	1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_o = 2V_{pp}$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^\circ C$		0.06		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$, $R_s = 100\Omega$		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		50		Degrees

EM&I

Şekil 1.22: UA741 ürün bilgi sayfası sayfa 3

UA741

PACKAGE MECHANICAL DATA 8 PINS - PLASTIC DIP

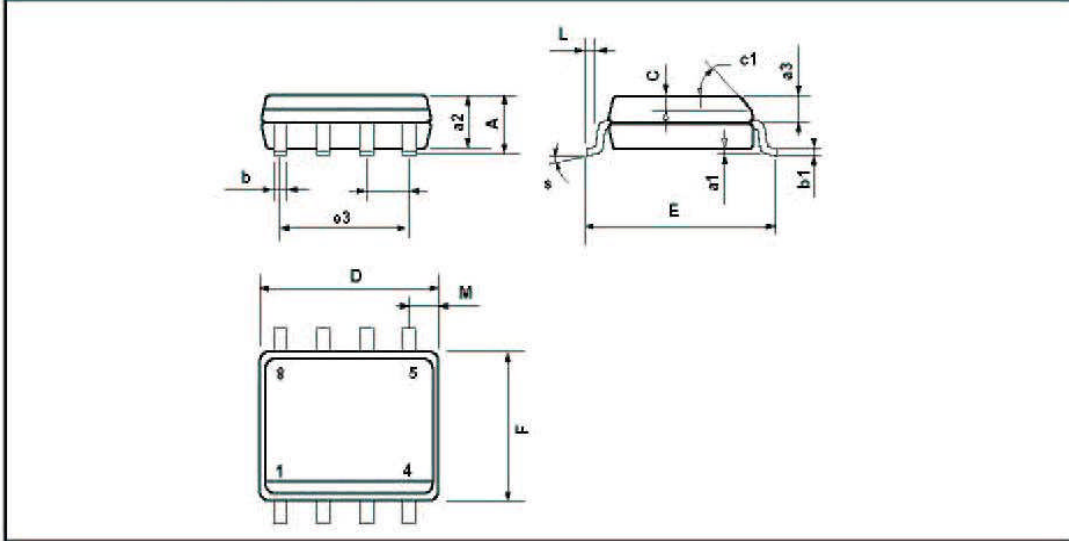


Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

Şekil 1.23: UA741 ürün bilgi sayfası sayfa 4

Dördüncü sayfada 8 uçlu plastik kılıf için mekanik ölçüler verilmiştir. Devre tasarımı sırasında cihazın yerleşiminin ve fiziksel ölçülerinin belirlenmesinde mekanik ölçülerin dikkate alınmasında yarar vardır.

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

Bu kısımda genellikle firma adresleri, logo bilgileri, internet bağlantıları verilmektedir.

EM&İ

5/5

Şekil 1.24: UA741 ürün bilgi sayfası sayfa 5

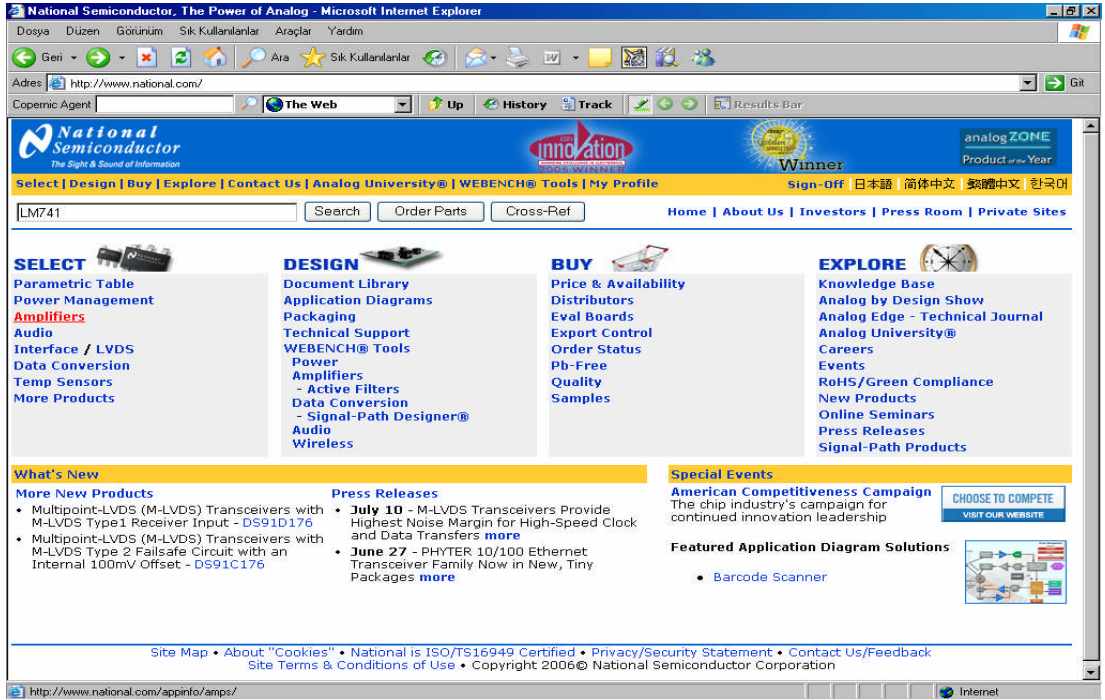
UA741 ürün bilgi sayfalarının son sayfasında ise yine 8 uçlu yüzey montaj mikrokılıf için mekanik bilgiler ve üretici firma bilgileri yer almaktadır.

1.12. On-Line Katalog Kullanımı

İnternet hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olma yolunda önemli mesafeler kat etmiştir. İnternet sayesinde bir iletişim devrimi gerçekleşmiştir ve hayatımız asla eskisi gibi olmayacaktır. Günümüzde haberleşme, bankacılık ve finans işlemleri, tanıtım, reklam, pazarlama, eğitim, sağlık gibi daha pek çok alanda internet etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Başınız ağrıdığına nasıl hareket etmeniz gerektiğini, herhangi bir hastalık hakkında nasıl bilgi edineceğinizi, uzman hekimlerin hangi hastanelerde görev yaptıklarını, ne tür cihazlar kullandıklarını, ihtiyaç duyduğunuz herhangi bir ürünü, hafta sonu tatilinizi geçireceğiniz şehirdeki hava durumunu ve daha pek çok şeyi büyük bilge internete soruyorsunuz.

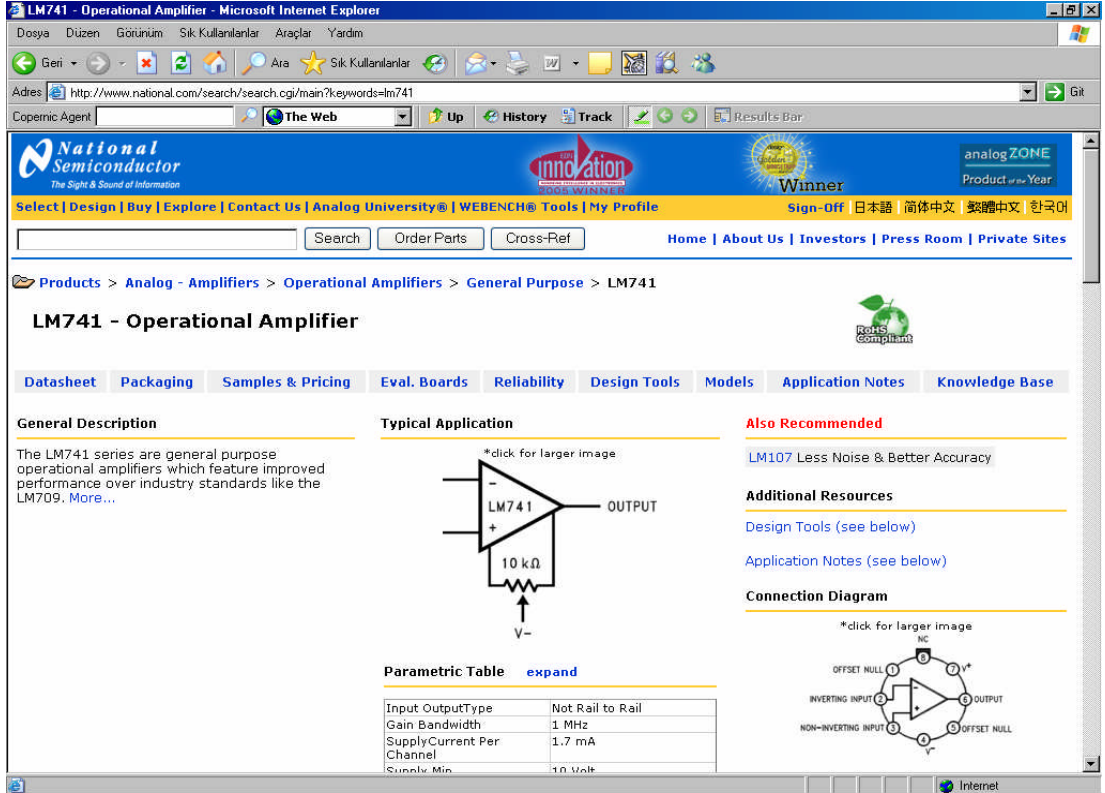
Tüm yukarıda saydıklarımızdan haberdar olan internetin birkaç entegre devreden habersiz olması da mümkün değildir elbette. İnternet HTML' nin sağladığı çoklu ortam özelliklerinin ötesinde etkileşimli yapısı nedeniyle tüm yazılı, görsel ve işitsel medyadan daha önemli üstünlüklere sahiptir. Bu etkileşimli ortamda sorularınızı sorar, cevaplarınızı alırsınız. Sadece istediğiniz bilgilere ulaşır, istemediklerinizle zaman kaybetmez, yapılan işin bir parçası olursunuz.



Şekil 1.25: National Semiconductor Web Sitesi Giriş Sayfası

Dünyada, özellikle Avrupa, Amerika ve Uzakdoğu' da pek çok elektronik devre elemanı üreticisi bulunmaktadır. Firmalar ürünlerini pazarlamak amacıyla pek çok yöntem kullanmaktadırlar. Üretici firmaların ürünlerini tanıtmak, pazarlamak, kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla hazırladıkları internet siteleri tasarımcılara yönelik pek çok hizmetler sağlamaktadır.

National Semiconductor firmasına ait web sitesi ürünlere ait pek çok bilginin yanı sıra online katalog ve tasarım araçları ile tasarımcıların işlerini oldukça kolaylaştırmaktadır. www.national.com sitesine girdiğinizde Şekil 1.25' teki ekran görüntüsü ile karşılaşılırsınız. Bu sayfadaki search butonunun solundaki boşluğa aradığınız bir devre elemanının adını, örneğin LM741 yazarak search butonuna bastığınızda, arama motoru sizi doğrudan LM741 sayfasına yönlendirir.



LM741 - Operational Amplifier

General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. [More...](#)

Typical Application

*click for larger image

OUTPUT

10 k.Ω

V-

Parametric Table [expand](#)

Input Output Type	Not Rail to Rail
Gain Bandwidth	1 MHz
Supply Current Per Channel	1.7 mA
Supply Min.	1.0 Volt

Also Recommended

[LM107 Less Noise & Better Accuracy](#)

Additional Resources

[Design Tools \(see below\)](#)

[Application Notes \(see below\)](#)

Connection Diagram

*click for larger image

NC

OFFSET NULL

INVERTING INPUT

NON-INVERTING INPUT


OUTPUT

OFFSET NULL

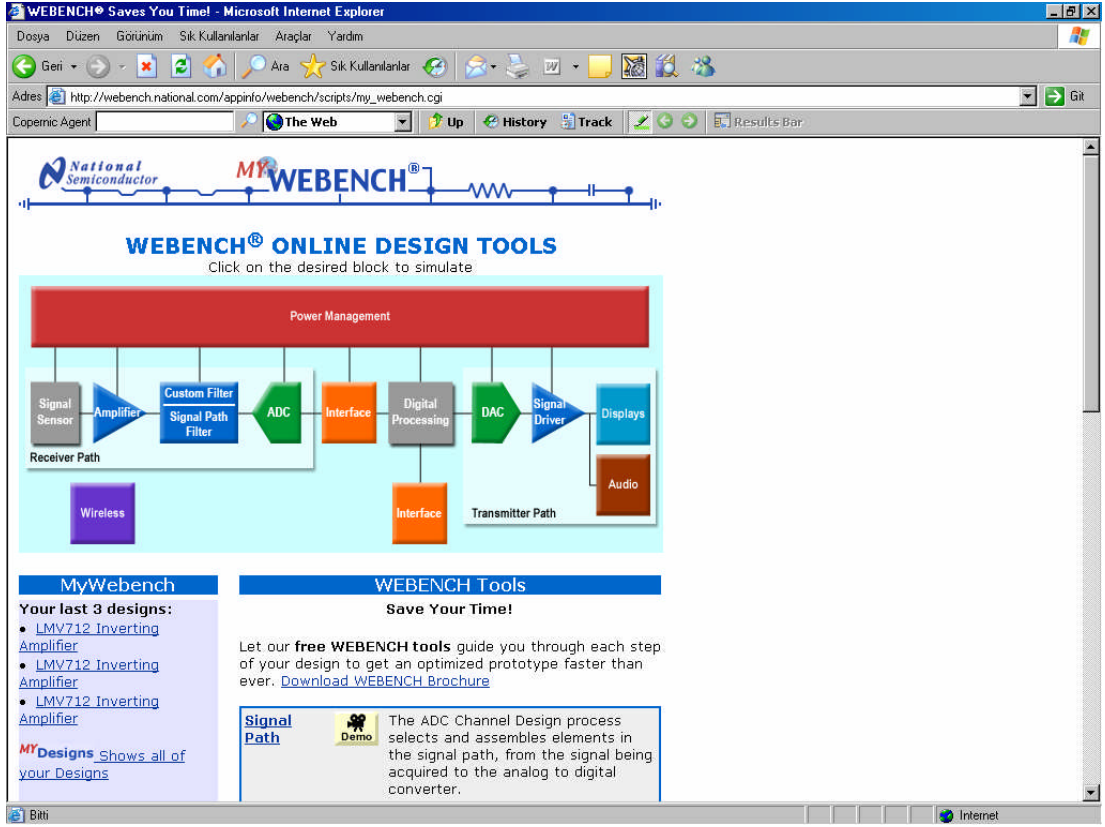
V+

Şekil 1.26: LM741 sayfası

Sayfayı aşağı doğru kaydırduğunuzda karşınıza ürüne ait detaylı belgelerin bulunduğu bölüm çıkacaktır. Bu belgeleri online olarak görüntüleyebileceğiniz gibi, bilgisayarınıza indirebilir ya da kendi e-posta adresinize gönderebilirsiniz. Design Tools bağlantısına tıklayarak Yükselteç Seçim Kılavuzu (Amplifier Selection Guide) programını bilgisayarınıza indirerek çalıştırabilirsiniz.

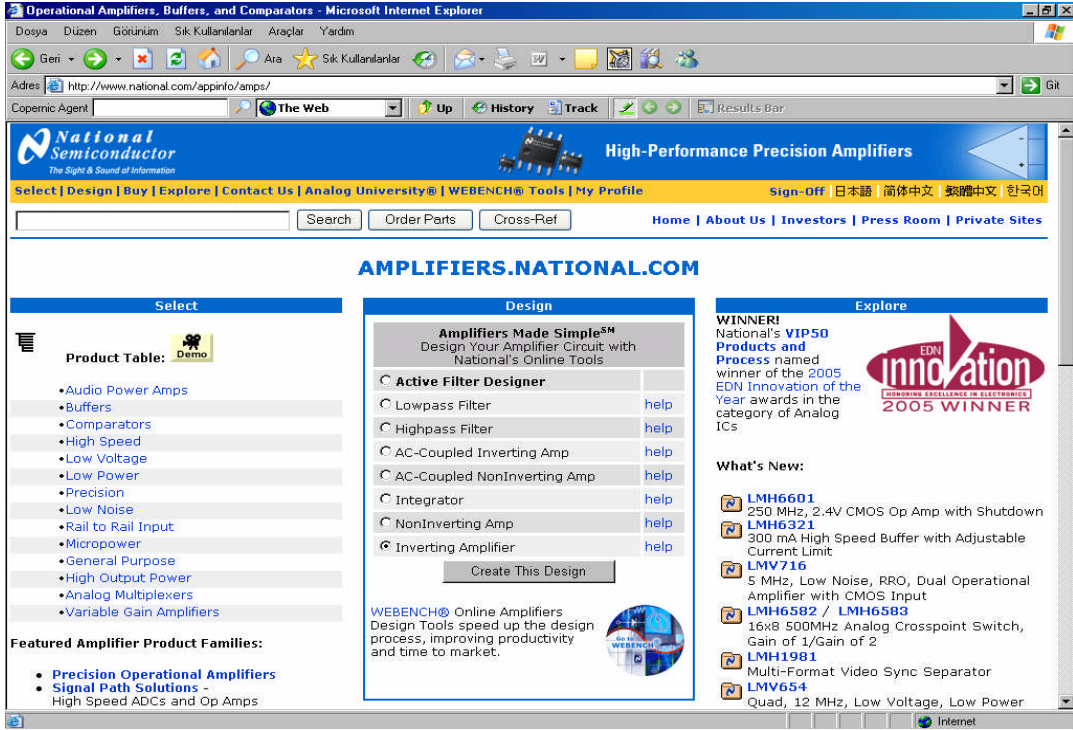
Bunun yanında  butonunu gördüğünüz ürünlerden ücretsiz örnek isteyebilirsiniz.

Ayrıca National Semiconductor web sitesinde WEBENCH adlı kullanışlı bir tasarım aracından yararlanabilirsiniz. WEBENCH çeşitli kategorilerde sınıflandırılmış pek çok devre türünün tasarımında yardım sağlamakta, devre elemanı önerisinde bulunmakta ve simülasyon yapmanıza imkân sağlamaktadır.

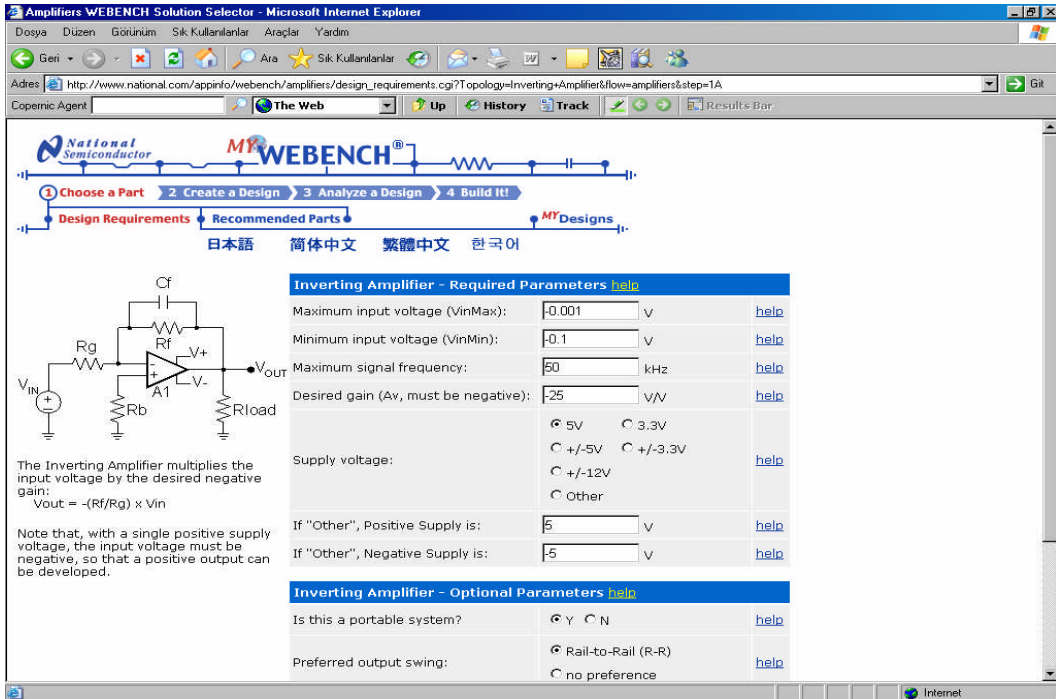


Şekil 1.27: Online tasarım sayfası

Giriş sayfasında bulunan Amplifiers bağlantısına tıklayarak online tasarım araçlarından yararlanabilirsiniz. Bu bölüme girdiğinizde ilk sayfada tasarlanacak devre türü seçimi yapılır ve Create This Design butonuna basılarak WEBENCH uygulama sayfasına geçilir. Aşağıdaki örnekte Eviren Yükselteç seçilmiştir.



Şekil 1.28: Sitesi yükselteç tasarım sayfası



Şekil 1.29: Yükselteç tasarım sayfası 2. adım

Sonraki aşamada artık devreye ait özelliklerin belirtilmesi gerekmektedir. Bu özellikler en az ve en fazla giriş gerilimleri, en fazla frekans değeri, besleme gerilimi değeri, eğer formda belirtilenler dışında bir besleme gerilimi kullanılacaksa, değerleri ve sistemin sabit ya da taşınabilir bir sistem olup olmadığı sorgulanmaktadır. Sayfanın sol tarafında ise eviren yükseltecin prensip devre şeması verilmiştir. Sayfanın altında yer alan

→ RECOMMENDED PARTS

butonu ile tasarıma devam edilir. Bu sayfada karşımıza belirlenen özelliklere uyan devre elemanlarının bir listesi çıkacaktır. Listelenen ürünlerden herhangi birinin seçimi radyo butonu ile gerçekleştirilir.

Optional Parameters

Is this a portable system? Y
Preferred output swing: Rail-to-Rail (R-R)

Recommended Parts

Product Folder Datasheet 24 Hour Samples Samples Buy Now

NOTE: An attribute highlighted in **RED** indicates that this product is not a direct match.

Part Number	Pkg	Bandwidth at Closed Loop Gain of 20 (MHz)	Feedback Type (voltage or current)	Min. Closed Loop Gain (V/V)	Max. Supply Voltage (V)	Min. Supply Voltage (V)	Min. Supply Voltage (V)	Input Offset Voltage, max at 25C (mV)	Number of Channels	Supply Current typ per channel (mA)	Low Power Device?	Shtdwn	1K Price (US\$)	Select
LMV712BL LMV711.MOD See Warning		0.25	VFB	1	5.5	2.7	2.7	3	2	1.17	Y	Y	0.76	
LMV712MM LMV711.MOD See Warning		0.25	VFB	1	5.5	2.7	2.7	3	2	1.17	Y	Y	0.62	
LMV712LD LMV711.MOD See Warning		0.25	VFB	1	5.5	2.7	2.7	3	2	1.17	Y	Y	0.76	
LMH6647MF LMH6647.MOD		2.75	VFB	1	12	2.5	2.5	3	1	0.725	Y	Y	0.85	
LMH6647MA LMH6647.MOD		2.75	VFB	1	12	2.5	2.5	3	1	0.725	Y	Y	0.85	
LMH6645MF LMH6645.MOD See Warning		2.75	VFB	1	12	2.5	2.5	3	1	0.725	Y	N	0.75	
LMH6645MA LMH6645.MOD		2.75	VFB	1	12	2.5	2.5	3	1	0.725	Y	N	0.75	

Şekil 1.30: Yükselteç tasarım sayfası önerilen parça listesi

Seçilen ürüne ait satırın en sağında yer alan simgeye tıklanarak simülasyon sayfasına geçilir.

balonun işaret ettiği

Sonraki sayfada verilen parametreler doğrultusunda listelenen ürünler incelenebilir ya da tavsiye edilen her bir elemanın en sağdaki sütununda bulunan simgeye tıklanarak tasarım simüle edilebilir.

Bu aşamada istenirse Select Alternate Part seçeneği ile her bir devre elemanı yeniden belirlenebilir. Click to start your electrical simulation bağlantısına tıklanarak simülasyon başlatılır.

Required Parameters

Maximum input voltage (VinMax):	-0.001 V
Minimum input voltage (VinMin):	-0.1 V
Maximum signal frequency:	50 kHz
Desired gain (Av, must be negative):	-25 V/V
Supply voltage:	5V

Optional Parameters

Is this a portable system?	Y
Preferred output swing:	Rail-to-Rail (R-R)

Part	Manufacturer	Part#	Attributes
A1	National Semiconductor	LMV712	Select Alternate Part
Cf	Vishay-Vitramon	VJ1206A3R9JXAAT	Select Alternate Part
Rb	Yageo America	9C12063A9531FKHFT	Select Alternate Part
Rf	Yageo America	9C12063A2493FKHFT	Select Alternate Part
Rg	Yageo America	9C12063A1002FKHFT	Select Alternate Part
Rload	Yageo America	9C12063A1002FKHFT	Select Alternate Part

Şekil 1.31: Yükselteç tasarım sayfası tasarım sonucu

Electrical Simulation

Step 1: Select Simulation Type
Closed Loop Freq Res

Step 2
Start New Simulation
View Past Sims

Scale: 70

Next steps:
Start New Simulation
or
Hover over BOM compone
or
Click on instrument comp

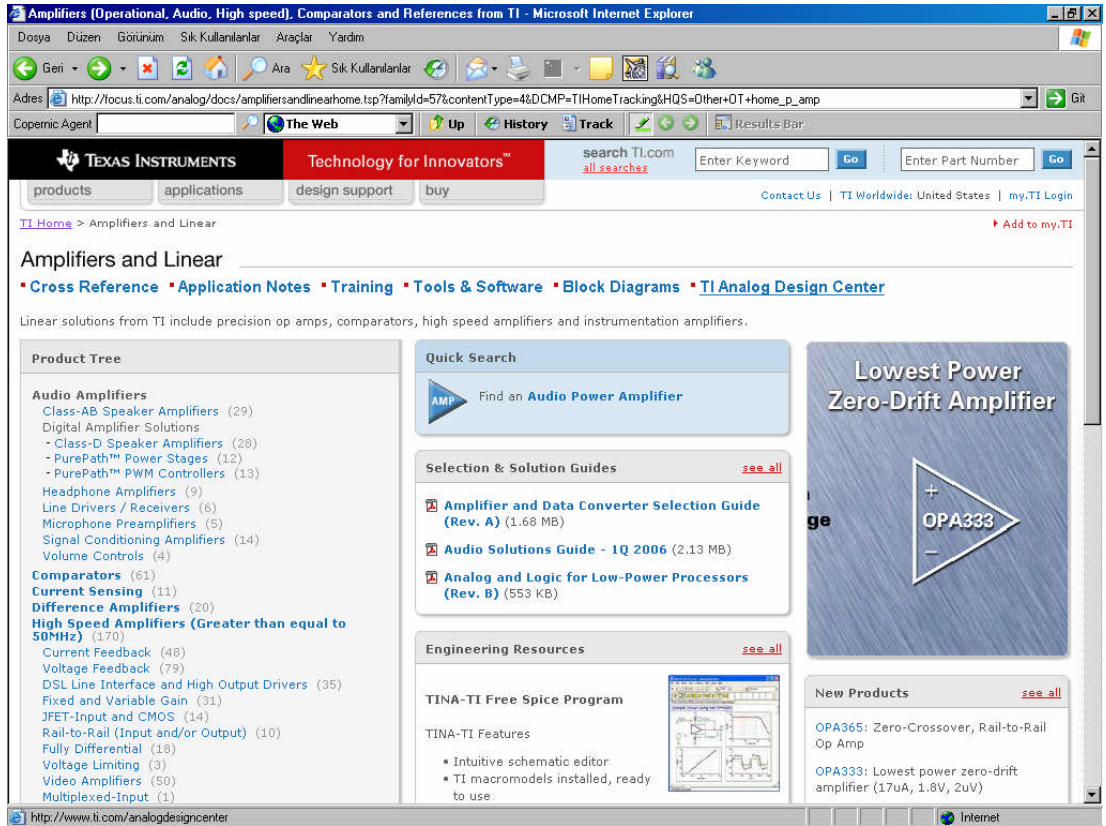
Rload

BOM Component
Click to select alternate comp. or enter custom values.
DC Volt: 200
Manufacturer: Yageo America
PartNumber: 9C12063A1002FKHFT
Tolerance: 1
Quantity: 1
Power: 0.250000
Resistance: 10000
Rload

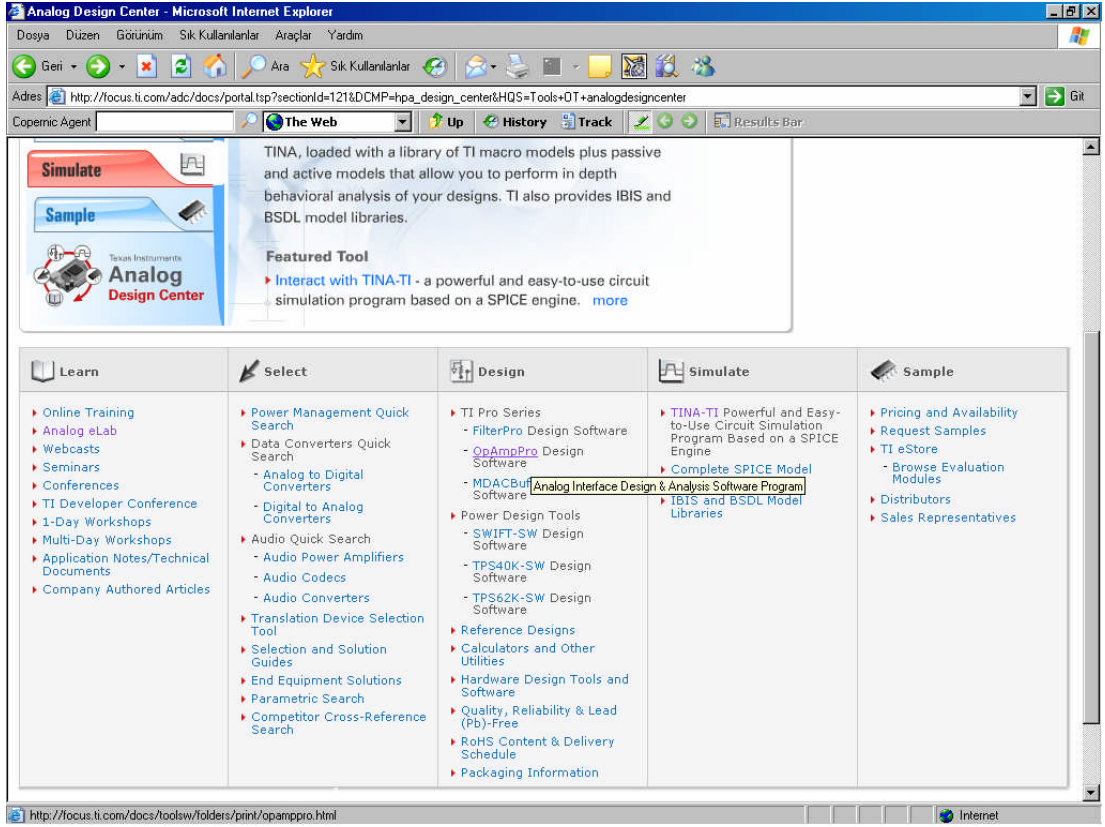
Şekil 1.32: Yükselteç tasarım simülasyon sayfası

Bu sayfada seçilen simülasyon türüne göre devreye ait çeşitli parametreler ve devre elemanlarının değerleri gösterilir. Bu değerleri inceleyebilmek için imleci her bir devre elemanının ya da test noktasının üzerinde bekletmeniz gerekir. Select Simulation Type ile simülasyonu tipi seçilebilir.

Yine bir başka önde gelen üretici Texas Instruments firmasının web sitesinde de tasarımcılar için önemli araçlar yer almaktadır. Bu sayfada TINA-TI simülasyon programı ücretsiz olarak verilmektedir. Bunun yanında TI-Analog Design Center da pek çok online tasarım aracı ve ücretsiz programlar yer almaktadır.



Şekil 1.33: Texas Instruments Web sitesi giriş sayfası



Şekil 1.34: Texas Instruments analog tasarım merkezi

Bu sayfada Design bölümünde OpAmpPro gibi çeşitli tasarım araçları bulunmaktadır. Bu araçları kullanarak işlemsel yükselteçli devre uygulamaları yapılabilir. Tasarlanan devrelerin simülasyonları yapılabilir ve çeşitli devre elemanı önerilerine ulaşılabilir. www.ti.com adresinden Texas Instruments firmasının web sitesine ulaşılabilir.

UYGULAMA FAALİYETİ

LM358, OP07 yükselteç entegrelerinin katalog bilgilerini bularak aralarındaki farkları belirtiniz.

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none">➤ Kataloglardan belirtilen entegreleri bulunuz.➤ Giriş empedanslarını bulunuz.➤ Giriş dengesizlik (Ofset) gerilimlerini bulunuz.➤ Çalışma frekanslarını bulunuz.➤ Çıkış gürültü (S/N oranı) seviyelerini bulunuz.➤ Bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.➤ Bu değerlerin uygulama alanlarına etkilerini belirtiniz.➤ Sonuçları raporlayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ İnternet üzerinde farklı firmaların kataloglarını karşılaştırınız.➤ Değerleri tablo hâlinde karşılaştırmalı kaydediniz.➤ Kataloglarda belirtilen kullanım alanlarını inceleyiniz.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Aşağıda hazırlanan değerlendirme ölçeğine göre yaptığınız çalışmayı değerlendiriniz. Gerçekleşme düzeyine göre “Evet / Hayır“ seçeneklerinden uygun olan kutucuğu işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ		Evet	Hayır
1	Kataloglardan belirtilen entegreleri buldunuz mu?		
2	Giriş empedanslarını buldunuz mu?		
3	Giriş dengesizlik (Ofset) gerilimlerini buldunuz mu?		
4	Çalışma frekanslarını buldunuz mu?		
5	Çıkış gürültü (S/N oranı) seviyelerini buldunuz mu?		
6	Bulduğunuz değerleri karşılaştırdınız mı?		
7	Bu değerlerin uygulama alanlarına etkilerini belirttiniz mi?		
8	Bir rapor hâlinde sundunuz mu?		

DEĞERLENDİRME

Uygulama faaliyetinde yapmış olduğunuz çalışmayı kontrol listesine göre değerlendiriniz.

Yapmış olduğunuz değerlendirme sonunda eksikler varsa, faaliyete dönerek ilgili konuyu tekrarlayınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

1. Aşağıdakilerden hangisi yükseltecin görevlerindedir?

I. Güç kazancı sağlamak

II. Empedans uygunlaştırmak

III. Faz çevirmek

IV. Frekans kazancı sağlamak

A) I.IV

B) I. II. III.

C) I. II. D) I. III. IV

2. Aşağıdakilerden hangisi biyopotansiyel yükselteçten beklenen özelliklerden değildir?

A) Yüksek giriş empedansı

B) Yüksek CMRR

C) Duyarlılık

D) Kararlılık

3. Ürün bilgi sayfalarında aşağıdakilerden hangisi bulunmaz?

A) Fiziksel ölçüler

B) Üretici adres bilgileri

C) Fiyat bilgileri

D) Teknik özellikler

Aşağıdaki boşluğu uygun kelime ile doldurunuz.

4. Bir yükseltecin yükseltme miktarıile ifade edilir.

5-10. Sorular Doğru Yanlış ifadeleri olarak düzenlenmiştir. Önlerinde bırakılan boşluklara ifade doğru ise “D” yanlış ise “Y” harfini yazınız.

5. () EKG sinyalleri 10-50 KHz seviyesindedir.

6. () Ofset ayarı yapılmayan bir yükselteçte kazanç çok düşüktür.

7. () Giriş devreleri FET ile yapılan işlemsel yükselteçlerin giriş empedansları yüksektir.

8. () Biyopotansiyel sinyaller çoğunlukla fark sinyallerinden oluşur.

9. () EMG işaretleri düşük frekanslı olduklarından DC kuplaj tercih edilir.

10. () Yüksek CMRR oranı kazancı olumlu yönde etkiler.

DEĞERLENDİRME

Verdiğiniz cevapları arka sayfadaki cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Bilemediğiniz sorular için öğrenme faaliyetinin ilgili bölümlerini tekrar ediniz.

Eğer başarılı olduysanız bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz. Başarısız iseniz bu öğrenme faaliyetini tekrar ediniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

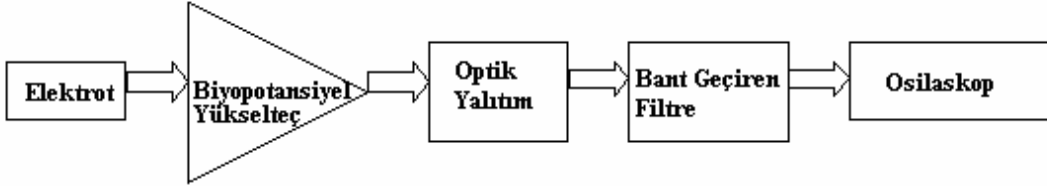
Bu öğrenme faaliyeti ile ilgili eğitim öğretim faaliyetini başarı ile tamamladığınızda, biyopotansiyel yükselteç devrelerini çalıştırabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- EKG, EEG gibi insan vücudunun ürettiği sinyalleri işleyen cihazların içyapısında ne tür devreler ve devre elemanları kullanıldığını araştırınız.
- İnternet üzerindeki arama motorlarına “ECG Circuit”, “ECG Project” ve diğer tıbbi cihazların devre şemaları ile ilgili anahtar kelimeler yazarak bulduğunuz devre şemalarını inceleyiniz.

2. BİYOPOTANSİYEL YÜKSELTEÇ UYGULAMALARI

Bu bölümde, insan vücudu tarafından üretilen çeşitli biyoelektrik sinyallerin buldukları yerden alınarak elektronik sistemlerle işlenebilmesi için olmazsa olmazlarından biyopotansiyel yükselteçlerin nasıl kullanıldıkları açıklanacaktır.



Şekil 2.1: EKG blok diagramı

Yukarıdaki şekilde bir EKG devresinin blok yapısı görülmektedir. Elektrotlardan elde edilen biyopotansiyel sinyaller işlemsel yükselteçlerden oluşan biyopotansiyel yükselteçler tarafından yeteri kadar kuvvetlendirildikten sonra, hasta ve kullanıcı güvenliği açısından optik olarak yalıtılmış ve bir bant geçiren filtreden geçirilerek sadece istenen frekanstaki sinyallerin osilaskop ekranında görüntülenmesi sağlanmıştır.

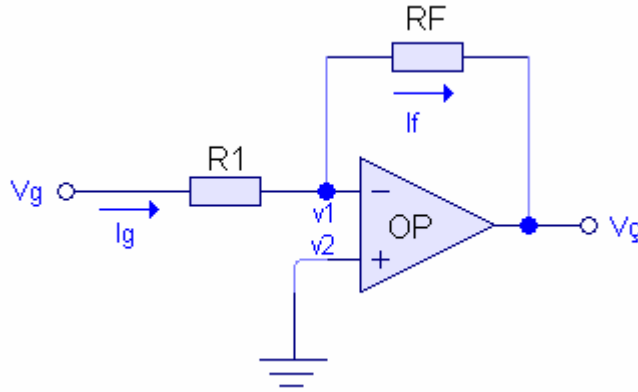
Blok yapıda gerek giriş devresinde yer alan enstrümantasyon yükselteçleri gerek kazanç için kullanılan güç yükselteçleri ve gerekse filtrelerin tasarımında genellikle işlemsel yükselteçler tercih edilir. Aşağıdaki bölümde işlemsel yükselteçlerin yaygın kullanımını içeren bazı devre örnekleri incelenecektir. Bu örneklerin pek çoğu tıbbi cihazların tasarımında kullanılmakta olan devrelerdir.

2.1. Eviren Yükselteç Devresinin İncelenmesi

İşlemsel yükselteçlerin tipik uygulamalarından biri olan eviren yükselteç devresi faz çeviren bir yükselteçtir. Bu devre türüne eviren yükselteç denmesinin sebebi giriş sinyalinin işlemsel yükseltecin eviren (-) girişine uygulanması ve çıkıştan elde edilen yükseltilmiş sinyalin 180° faz farklı olmasıdır.

Şekildeki 2.2'de bir eviren yükselteç devresi görülmektedir. Devrede R1 direnci giriş, Rf direnci ise geri besleme direncidir. İşlemsel yükseltece harici dirençler bağlandığı için, bu yükselteç açık çevrim kazancından bağımsız bir kapalı çevrim kazancına sahiptir. Kapalı çevrim kazancı harici olarak bağlanan dirençlerin değerine bağlıdır.

Devrede Rf direncine dikkat ediniz, bu direnç eviren (-) girişe uygulanan ve çıkışta 180° faz çevrilmiş sinyali tekrar girişe uygulayan geri besleme direncidir. Unutmayınız, işlemsel yükselteçlerde geri besleme genellikle eviren girişe uygulanır.



Şekil 2.2: Eviren yükselteç

İşlemsel yükseltecin en önemli özelliklerinden biri de (+) ve (-) giriş uçları arasındaki potansiyel farkın 0 V olmasıdır. Diğer bir ifadeyle eviren giriş ile evirmeyen giriş uçlarındaki (uçların işlemsel yükseltece bağladığı nokta) gerilim $V_1=V_2$ birbirine eşittir. Çünkü işlemsel yükselteçlerin giriş empedansları çok yüksek olduğundan (+) ve (-) giriş uçlarından akan akım pratikte nanoamper seviyesindedir ve 0 kabul edilebilir. İdeal bir işlemsel yükselteçte (+) ve (-) giriş uçlarından akım akmadığı kabul edilirse (+) ve (-) giriş uçlarındaki potansiyel fark da sıfır olacaktır. Bundan dolayı işlemsel yükselteçlerde devreye uygulanan akımın, elemana girmediği kabul edilir. Şekil 2.2 'de akım yönleri bu kurala göre çizilmiştir.

İşlemsel yükseltecin evirmeyen (+) girişinin toprağa bağlı olduğuna dikkat ediniz. İşlemsel yükseltecin özelliğinden dolayı $V_1=V_2$ olduğundan, V_1 noktasındaki potansiyel 0 Volt 'tur ($V_1 = 0$). Kirchoff 'un Akımlar Kanunu'na göre bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, giden akıma eşit olduğu için $I_g = I_f$ 'dir. Dolayısıyla R1 'den akan akım Rf 'den de akacaktır.

$$I_g = \frac{V_g - V_1}{R_1} \quad (V_1 = 0 \text{ Volt olduğundan})$$

$$I_g = \frac{V_g}{R_1} \text{ olur.}$$

$$I_f = \frac{V_1 - V_{\checkmark}}{R_f} \quad (V_1 = 0 \text{ Volt olduğundan})$$

$$I_f = -\frac{V_{\checkmark}}{R_f} \text{ olur.}$$

I_g ve I_f akımları birbirine eşit olduğundan $I_g = I_f$

$$\frac{V_g}{R_1} = -\frac{V_{\checkmark}}{R_f} \text{ olur. İçler dışlar çarpımı yaparsak}$$

$-V_{\checkmark}.R_1 = V_g.R_f$ elde edilir. $\frac{V_{\checkmark}}{V_g} = -\frac{R_f}{R_1}$ Bu formülde çıkış geriliminin, giriş gerilimine oranı yükseltcin gerilim kazancını vereceği için;

$$K = -\frac{R_f}{R_1} \text{ kazanç denklemi elde edilir.}$$

Çıkış gerilimi ise $V_{\checkmark} = V_g.K$ dır. Yani bu devrede giriş gerilimi kazanç ile çarpılıp yükseltilecek çıkışa verilir. $R_f > R_1$ seçilmesi durumunda devre bir çarpma ya da yükselteç devresi olarak çalışır. Eğer $R_f < R_1$ seçilirse, devre bir bölme devresi yani zayıflatıcı olarak çalışır.

$K = -\frac{R_f}{R_1}$ formülüne göre eğer $R_f = R_1$ olarak seçilirse, yükseltcin kazancı -1'e eşit olur. Bu durumda yükselteç, girişine uygulanan sinyalin genliğini yükseltmeden sadece giriş işaretinin polaritesini 180° çevirerek çıkışa aktarır.

Örnek: $R_f = 10 \text{ K}$, $R_1 = 100 \text{ K}$ seçilmiş olsun. $K = -\frac{R_f}{R_1}$ formülünden

$$K = -\frac{10}{100} = -0,1 \text{ olur.}$$

$V_g = 10 \text{ V}$ olduğunda $V_ç = -10 \cdot 0.1 = -1 \text{ V}$ olarak elde edilir. Yani giriş gerilimi 10' a bölünmüştür.

Son olarak elde edilen formüldeki (-) işareti giriş ile çıkış arasında 180° faz farkı olduğunu gösterir. R_f ve R_1 dirençleri ile yükseltecin kazancı ayarlanabilir. Bu bağlantı şeklinde kapalı çevrim kazancı, açık çevrim kazancından küçüktür. Fakat devrenin çalışması, daha kararludur.

Örnek Tasarım:

Deneysel bir EKG elektrodundan elde edilen 1 mV genlikli sinyalin genliğinin grafik yazıcıya gönderilmeden önce ilk aşamada 50 mV' a yükseltilmesi istenmektedir. Kazanç devresinin tasarımını işlemsel yükselteç kullanarak gerçekleştiriniz.

Tasarlayacağımız devrenin kazancını tespit etmek için, öncelikle devrenin çıkışından almak istediğimiz sinyal değerini, girişe uygulayacağımız sinyal değerine böleriz. Herhangi bir sistemde kazancın çıkış/giriş olduğunu hatırlayınız.

$$V_ç = 50 \text{ mV} , V_g = 1 \text{ mV}$$

$$K = \frac{V_ç}{V_g} \quad \text{den } K = 50/1 = 50 \quad K = 50 \text{ olarak elde edilir.}$$

Kazancı 50 olan bir devre tasarlamamız gerekiyor. Bu durumda seçilecek dirençlerin 50/1 oranını sağlaması gerekir. Eğer $R_f = 50 \text{ K}$ seçilirse, R_1 ' in 1 K, $R_f = 100 \text{ K}$ seçilirse, R_1 ' in 2 K seçilmesi gerekir.

R_f için elimizde bulunan dirençlerden 330 K' yı seçtiğimizi düşünürsek;

$$K = - \frac{R_f}{R_1} \quad \text{den } 50 = 330 \text{ K} / R_1 \text{ olur.}$$

Buradan R_1 ' i çekersek $R_1 = 330 \text{ K} / 50 = 6,6 \text{ K}$ olarak bulunur.

2.1.1. Eviren Yükseltecin Kurulup Çalıştırılması

Amaç:

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

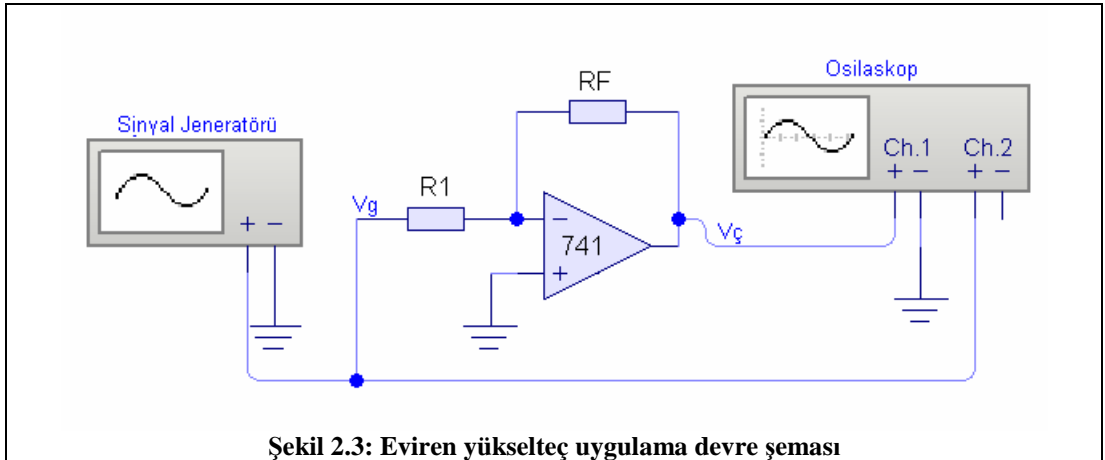
- İşlemsel yükselteç ile yapılan eviren yükselteç devresini kurup çalıştırabileceksiniz.
- Eviren yükselteç devresini çarpıcı ve bölücü olarak kullanabileceksiniz.
- Giriş ve çıkış sinyallerini osiloskop kullanarak inceleyebileceksiniz.

Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri:

- Eviren yükselteç ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyiniz. Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.
- Eviren yükselteç kullanarak tasarlayacağınız bir devrede çıkış işaretinin giriş ile aynı fazda olması için ne yapmanız gerektiğini araştırınız (Kazancı -1 olan ikinci bir eviren yükselteç devresini çıkışa bağlayarak çıkış ile giriş aynı fazda yapılabilir.).

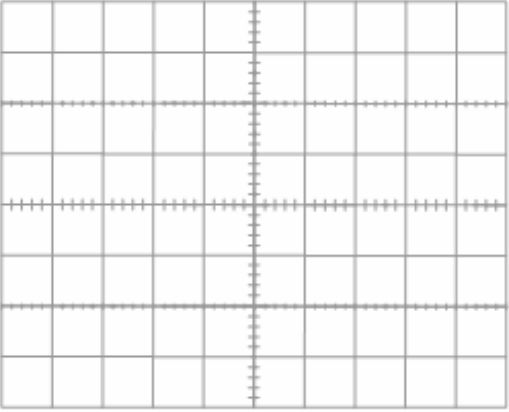
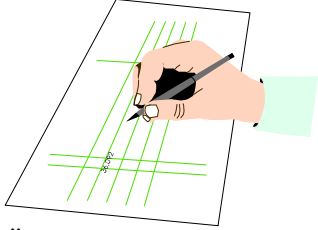
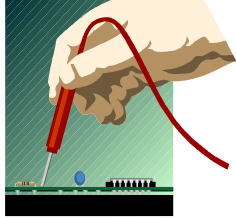
Kullanılacak Araç Gereçler:

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 2 adet 10 K direnç
- 1'er adet 1 K, 3,3 K direnç
- Çift ışınlı osilaskop
- Sinyal jeneratörü
- Avo metre
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



Şekil 2.3: Eviren yükselteç uygulama devre şeması

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
R1 = 1 K, Rf = 10 K olarak seçiniz. Şekil 2.3' teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Diğer cihazları ve güç kaynağını bağlayınız.	Cihazların toprak bağlantılarını ve evirmeyen giriş ucunun tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. Planlı, düzenli, temiz ve titiz çalışınız.
Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız. Sinyal jeneratörünü 0,5 V 100 Hz sinüs, Simetrik güç kaynağını, ± 10 V,	Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız sabırlı olunuz, cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin

<p>Osilaskop Time/Div 5 ms/Div, Volt/Div 1. kanal giriş 200 mV/Div, 2. kanal çıkış 2 V/Div olarak ayarlayınız.</p>	<p>basılmamış, problemlerinizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz.</p>
<p>Güç kaynağını açınız, devreye enerji uygulayınız, devreyi çalıştırınız.</p>	<p>Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.</p>
<p>Devrenin çalışmasını osilaskop ekranından takip ediniz. Osilaskop ekranındaki dalga şeklini aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz.</p> 	<p>Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz. Osilaskobun 2. kanalının 2.V/Div, çıkış sinyalinin dikey olarak yaklaşık 2,5 kare alan kaplaması gerektiğine dikkat ediniz. Farklılık varsa bunun osilaskobun kalibrasyon ayarı ile ilgisi olabilir.</p>  <p>Ölçülere dikkat ediniz. Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.</p>
<p>Tablo 2.1’de verilen direnç değerlerini devreye bağlayınız.</p> <p>Giriş ve çıkış işaretlerinin genliklerini osilaskop ile ölçerek tablo 2.1’e kaydediniz. Sonuçları yorumlayınız.</p>	 <p>Osilaskop ile gerilim ölçme hakkında Elektriksel Büyüklüklerin Ölçülmesi modülünde almış olduğunuz bilgileri hatırlayınız.</p>

R1 KΩ	Rf KΩ	Kazanç Rf/R1	V giriş (Vg) Volt	V çıkış (Vç) Volt	Yorum
1 K	10 K	- 10	0,5V 100Hz	5 V 100 Hz	
1 K	3,3 K		0,5V 100Hz		
10 K	1 K		1V 100 Hz		
10 K	10 K		+ 5V DC		Avo
10 K	10 K		- 5V DC		Avo

Tablo 2.1: Sonuç değerlerini kaydediniz ve yorumlayınız.

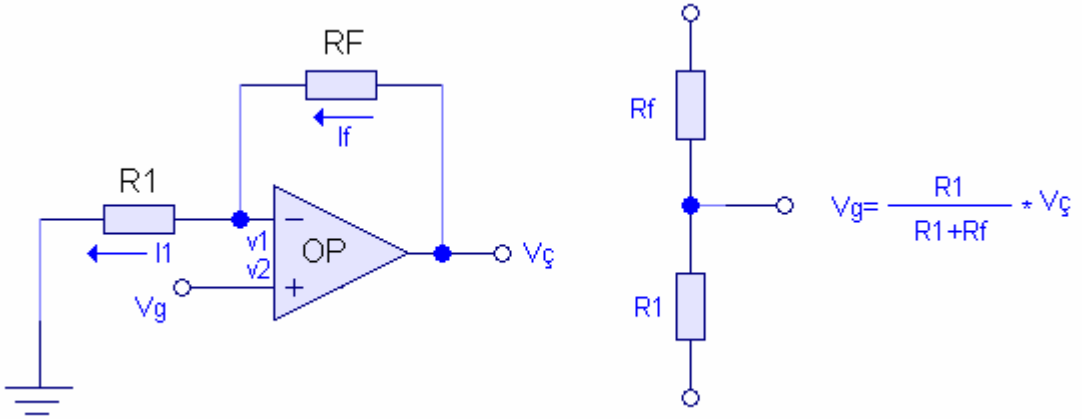
Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devre öngörülen şekilde çalıştı mı?		
7. Elde edilen dalga şeklini doğru çizidiniz mi?		
8. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptınız mı?		
9. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

Ek çalışma:

1 ile 3 V arasındaki gerilimleri 3 ile çarpan devreyi tasarlayınız.
Giriş gerilimini 2' ye bölen bir eviren yükselteç tasarlayınız.
Eviren yükseltecin farklı uygulama örneklerini araştırınız.

2.2. Evirmeyen Yükselteç Devresinin İncelenmesi



Şekil 2.4: Evirmeyen yükselteç

Eviren yükselteçten farklı olarak evirmeyen yükselteç devresinde giriş sinyali işlemsel yükseltecin evirmeyen (+) girişine uygulanmıştır. Dolayısıyla çıkış sinyali ile giriş sinyali arasında faz farkı bulunmaz. İşlemsel yükselteçlerle yapılan bu devre türü EKG, EEG gibi biyopotansiyel sinyal izleyen cihazlarda elektrotlardan elde edilen biyopotansiyel sinyallerin kuvvetlendirilmesi amacıyla kullanılır.

İdeal bir işlemsel yükseltecin giriş direnci sonsuzdur, evirmeyen (+) ve eviren (-) giriş uçlarından akan akım 0 olduğundan (+) ve (-) giriş uçları arasındaki potansiyel farkı 0 Volttur.

Devrenin analizinde yine akımlardan yola çıkacak olursak, işlemsel yükseltecin giriş direncinin çok yüksek olmasından dolayı giriş akım akmayacağından $I_f = I_1$ olacağından

$$I_f = I_1$$

I_f ve I_1 yerine $\frac{V_{\checkmark} - V_g}{R_f} - \frac{V_g}{R_1}$ yazılabilir. İçler dışlar çarpımı yapıldığında,

$$R_f * V_g = V_{\checkmark} - V_g * R_1 \quad \text{elde edilir. Formül yeniden düzenlendiğinde,}$$

$$(R_1 + R_f) * V_g = V_{\checkmark} * R_1 \quad \text{elde edilir. } V_{\checkmark} \text{ ve } V_g' \text{ yi bir tarafa toplarsak,}$$

$$\frac{V_{\checkmark}}{V_g} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \quad \text{elde edilir.} \quad K = \frac{V_{\checkmark}}{V_g} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \text{olur.}$$

Sonuç olarak evirmeyen yükseltecin kazancı eviren yükselteçten 1 fazla olarak elde

$$K = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

edilir.

2.2.1. Evirmeyen Yükseltecin Kurulup Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

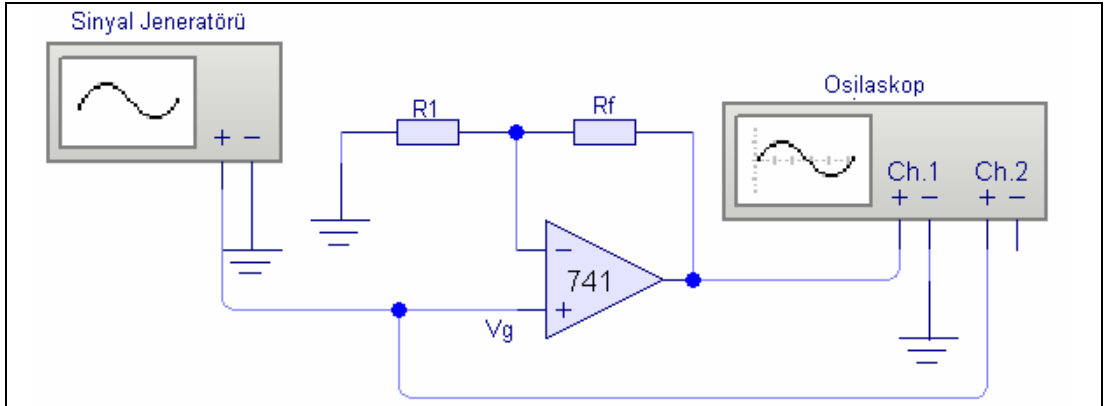
- İşlemsel yükselteç ile yapılan evirmeyen yükselteç devresini kurup çalıştırabileceksiniz.
- Giriş çıkış sinyallerini osiloskop kullanarak inceleyebileceksiniz.

➤ Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

- Evirmeyen yükselteç ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyiniz.
- Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.

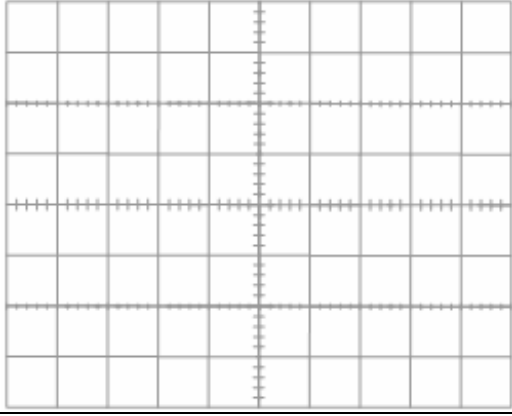
➤ **Kullanılacak Araç Gereçler**

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 2 adet 10 K direnç
- 1'er adet 1 K, 3,3 K direnç
- Çift ışınli osilaskop
- Sinyal jeneratörü
- Avo metre
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



Şekil 2.5: Evirmeyen yükselteç uygulama devre şeması

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none">➤ $R1 = 10$ K, $Rf = 10$ K olarak seçiniz.➤ Şekil 2.5' teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz.➤ Diğer cihazları devreye uygun şekilde bağlayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Eviren, evirmeyen girişlerin ve +V (7 nu.lı uç), -V (4 nu.lı uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz.➤ Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.➤ Planlı, düzenli, temiz ve titiz çalışınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız.➤ Sinyal jeneratörü 1 V 100 Hz sinüs➤ Simetrik güç kaynağını, ± 10 V➤ Osilaskop Time/Div 5 ms/Div➤ 1.ve 2. kanal 0,5 V/Div	<ul style="list-style-type: none">➤ Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Güç kaynağını açınız, devreye enerji uygulayınız, devreyi çalıştırınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devrenin çalışmasını osilaskop ekranından takip ediniz. ➤ Osilaskop ekranındaki dalga şeklini aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. ➤ Giriş işareti ile çıkış işareti arasında faz farkı var mı? Yorumlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız sabırlı olunuz, cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin basılmamış, probleminizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aşağıdaki tabloda verilen dirençleri devreye bağlayınız, giriş ve çıkış işaretlerinin genliklerini osilaskop ile ölçerek Tablo 2.1'e kaydediniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop ile gerilim ölçme hakkında Elektriksel Büyüklüklerin Ölçülmesi modülünde almış olduğunuz bilgileri hatırlayınız.
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.

R1 KΩ	Rf KΩ	Kazanç $1+Rf/R1$	Vg Volt	Vç Volt	Yorum
10 K	10 K		1 V 100Hz		
1 K	3,3 K		1 V 100Hz		
10 K	1 K		1 V 100 Hz		
10 K	10 K		+ 5 V DC		Avo
10 K	10 K		- 5 V DC		Avo

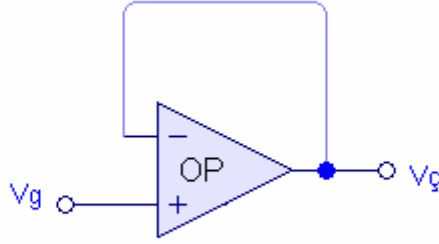
Tablo2.2: Sonuç değerlerini kaydediniz ve yorumlayınız.

Elde ettiğiniz sonuçları eviren yükselteç çalışmasında elde ettiğiniz sonuçlarla karşılaştırarak arkadaşlarınızla tartışınız.

Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devreyi öngörülen şekilde çalıştırdınız mı?		
7. Elde edilen dalga şeklini doğru çizdiniz mi?		
8. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptınız mı?		
9. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

2.3. Gerilim İzleyici Devresinin İncelenmesi



Şekil 2.6: Gerilim izleyici

Gerilim izleyici devre, gerilim kazancının 1 ve giriş, çıkış işaretlerinin aynı fazda olduğu bir yükselteçtir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi herhangi bir ilave devre elemanına gerek olmadan bir gerilim izleyici devre kurulabilir. Bu devre türü daha çok yüksek çıkış direncine sahip bir devre ile düşük giriş direncine sahip devrelerin bağlantısının yapılacağı durumlarda tampon olarak kullanılır.

Biyomedikal cihazlarda genellikle EKG, EEG gibi cihazlarda, yüksek dirençli biyopotansiyel sinyal kaynaklarından alınan sinyallerin düşük dirençli devrelere uygulanması sırasında empedans uygunlaştırıcı bir tampon olarak kullanılır. Bilindiği gibi işlemsel yükselteçlerin giriş dirençleri yüksek, çıkış dirençleri düşüktür. Katlar arasında maksimum güç transferinin gerçekleştirilebilmesi için bir katın çıkış direnci ile diğer katın giriş direncinin eşit olması gerekir. Gerilim izleyici iki devre arasındaki direnç uyumsuzluğunu ortadan kaldırmak üzere tampon görevi yapar.

Gerilim izleyici aynı zamanda bir sinyalin özelliklerini bozmadan birden fazla çıkış terminaline dağıtılması için de kullanılabilir. Bir gerilim izleyicinin çıkışına istenilen çıkış sinyali kadar gerilim izleyici paralel olarak bağlanabilir. Bu durumda birbirinin aynı ancak birbirinden yalıtılmış sinyaller elde edilebilir.

2.3.1. Gerilim İzleyici Devrenin Kurulup Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

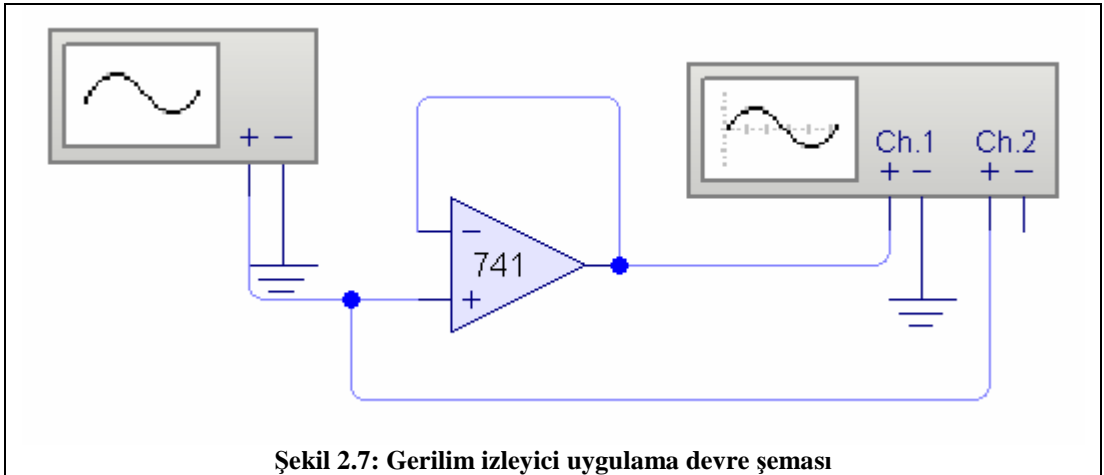
- İşlemsel yükselteç ile yapılan gerilim izleyici devresini kurup çalıştırabileceksiniz.
- Giriş ve çıkış sinyallerini osilaskop kullanarak inceleyebileceksiniz.

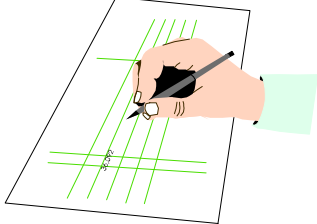
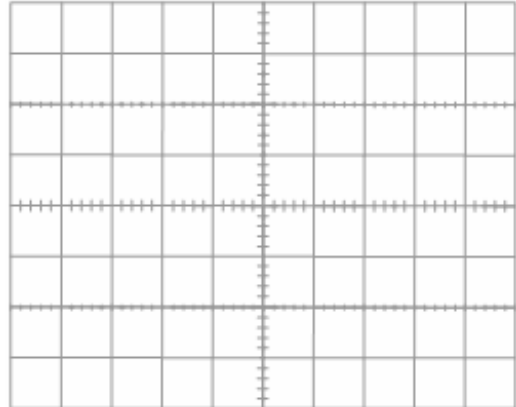
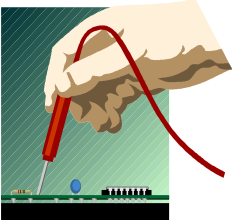
➤ Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

- Gerilim izleyici ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyiniz.
- Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.
- Çok katlı yükselteçlerde katlar arasındaki bağlantının nasıl yapıldığını araştırınız.

➤ Kullanılacak Araç Gereçler

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- Çift ışınlı osilaskop
- Sinyal jeneratörü
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekil 2.7'deki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ +V (7 nu.lı uç), -V (4 nu.lı uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız. ➤ Sinyal jeneratörü 1 V 100 Hz ➤ Simetrik güç kaynağını, ± 10 V ➤ Osilaskop Time/Div 5 ms/Div ➤ 1. ve 2. kanal 0,5 V/Div 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devreye enerji uygulayarak çalıştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş ve çıkış genliklerini ölçerek tabloya kaydediniz. ➤ Devrenin kazancını hesaplayınız. ➤ Ekrandaki sinyali aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. ➤ Devrenin çalışmasını yorumlayınız. 	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çizimde ölçülere dikkat ediniz.
<div style="text-align: center;">  </div>	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.

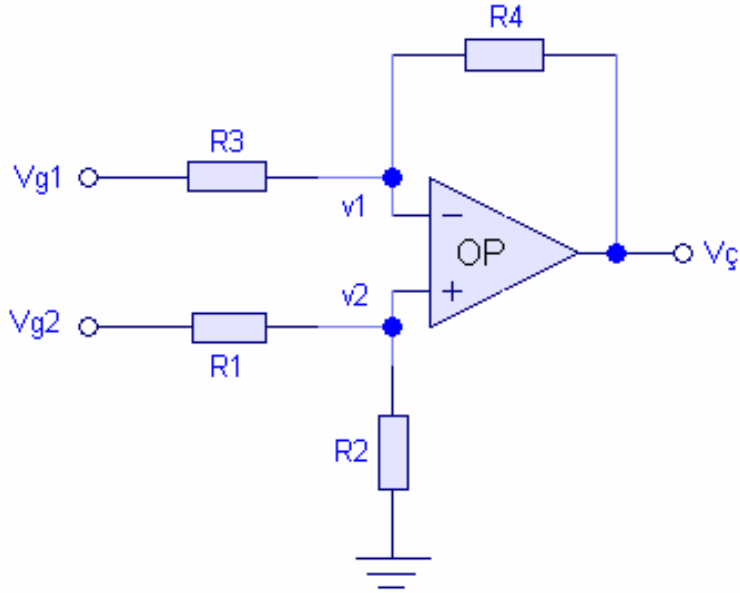
Vg Volt	Vç Volt	Kazanç Vç/Vg	Yorum

Tablo 2.3: Sonuçları kaydediniz ve yorumlayınız.

Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devreyi öngörülen şekilde çalıştırdınız mı?		
7. Elde edilen dalga şeklini doğru çizdiniz mi?		
8. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptınız mı?		
9. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

2.4. Fark Yükselteç Devresinin İncelenmesi



Şekil 2.8: Fark yükselteci

Şekil 2.8’de prensip şeması görülen çıkarma devresi olarak da isimlendirebileceğimiz fark devresi, (+) ve (-) girişlerine uygulanan sinyallerin farkını alır, çıkarma işlemini yapar. Biyopotansiyel işaretlerin özellikle fark işaretleri şeklinde oldukları önceki konularda belirtilmişti. Bu özellikleri nedeniyle fark yükselteçleri biyopotansiyel yükselteçlerin tasarımında yaygın olarak kullanılan devre türleridir. Devre analizinde, girişlerden birisi yok sayılıp diğeri var sayılarak "süperpozisyon teoremi" uygulanacaktır.

Hep üzerinde durduğumuz gibi işlemsel yükseltecin eviren ve evirmeyen giriş uçlarındaki V1 ve V2 gerilimleri birbirine eşittir. V1 ve V2 noktalarındaki gerilimleri bulmak için V1 noktasına göre bakıp V2' yi yok sayarak süperpozisyon teoremini uygulayacak olursak:

$$V_1 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} * V_{g1} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} * V_{\zeta}$$

V₁ noktasındaki gerilim olur.

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{g1}$$

V₂ noktasındaki gerilim ise olarak elde edilir.
Çıkış gerilim denklemini ise;

$$V_{\zeta} = \left[\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) * V_{g1} \right] - \left[\frac{R_4}{R_3 + R_4} * \frac{R_3 + R_4}{R_3} * V_{g2} \right]$$

Eğer bütün dirençler eşitlenirse, çıkış gerilimi denklemini $V_{\zeta} = V_{g1} - V_{g2}$ olur.

2.4.1. Fark Yükseltecinin Kurulup Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda;

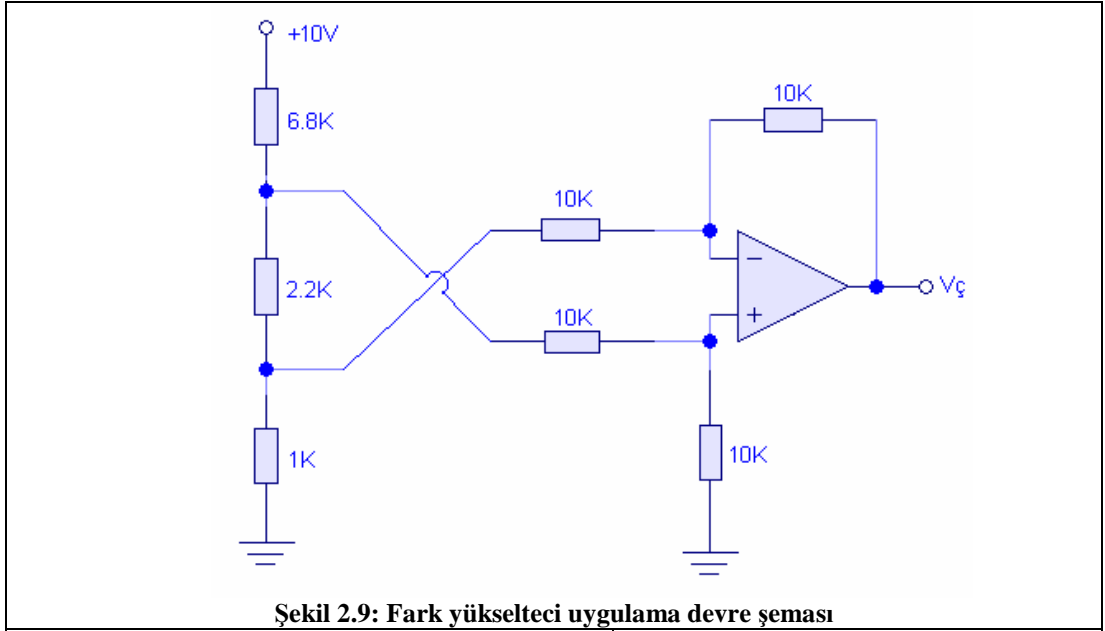
- İşlemsel yükselteç ile yapılan fark yükselteci devresini kurup çalıştırabileceksiniz.
- Giriş ve çıkış sinyallerini Avometre kullanarak ölçebileceksiniz.

➤ Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

- Fark yükselteci ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyiniz.
- Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.

➤ Kullanılacak Araç Gereçler

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 4 adet 10 K direnç
- 1'er adet 1 K, 2.2 K, 6.8 K direnç
- Avometre
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



Şekil 2.9: Fark yükseltici uygulama devre şeması

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekil 2.9' daki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cihazların toprak bağlantılarının tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. ➤ Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Simetrik güç kaynağını, $\pm 10 \text{ V}$' a ayarlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Güç kaynağını açınız, devreye enerji uygulayınız ve devreyi çalıştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ $V_{g1} > V_{g2}$ iken Avometre kullanarak V_{g1}, V_{g2} ve $V_{ç}$ gerilimlerini ölçünüz, tabloya kaydediniz, sonuçları yorumlayınız. ➤ Devre fark yükseltici olarak çalışıyor mu? Yorumlayınız. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ $V_{g1} < V_{g2}$ olacak şekilde eviren ve evirmeyen giriş uçlarını yer değiştiriniz. ➤ Avometre kullanarak V_{g1}, V_{g2} ve $V_{ç}$ gerilimlerini ölçerek tabloya kaydediniz, sonuçları yorumlayınız. ➤ Devre fark yükseltici olarak çalışmış mıdır? Yorumlayınız. 	

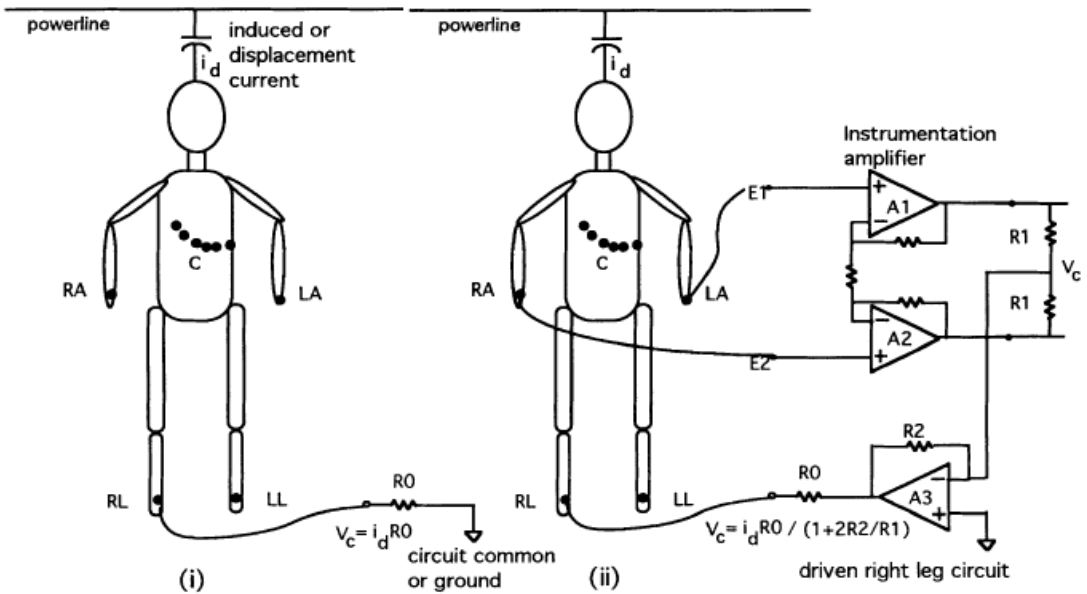
Koşul	Özellik	Değer	Yorum
$V_{g1} > V_{g2}$	V_{g1}		
	V_{g2}		
	V_c		
$V_{g1} < V_{g2}$	V_{g1}		
	V_{g2}		
	V_c		

Tablo2.4: Sonuç değerlerini kaydediniz ve yorumlayınız.

Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devreyi öngörülen şekilde çalıştırdınız mı?		
7. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptınız mı?		
8. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

2.5. Enstrümantasyon Yükseltecinin İncelenmesi



Şekil 2.10: Fark işaretleri ve enstrümantasyon yükselteci uygulaması

Enstrümantasyon yükselteçleri, yüksek performanslı voltaj yükselteçleridir. Aynı zamanda bu yükselteçler, yüksek kazançlı, yüksek giriş empedanslı ve düşük çıkış empedansı gösteren fark yükselteçleridir. Kelime anlamı, yardımcı yükselteçlere karşılık gelmektedir. Enstrümantasyon yükselteçler, negatif geri beslemeden dolayı daha kararlı bir devre karakteristiğine sahiptir. Geri beslemeli kazanç daima açık çevrim kazancından (geri beslemesiz kazanç) daha kararlıdır.

Enstrümantasyon yükselteçleri, düşük direnç değerleriyle yüksek kazançlar elde edilebilmesi, oldukça yüksek giriş empedansı ve ortak modlu sinyalleri bastırma kabiliyetinin yüksek olması gibi bazı sebeplerden dolayı biyomedikal uygulamalarda tercih edilir. Enstrümantasyon yükselteçleri pek çok endüstriyel uygulamada yaygın olarak algılayıcılardan gelen sinyalleri yükseltmek amacıyla kullanılır.

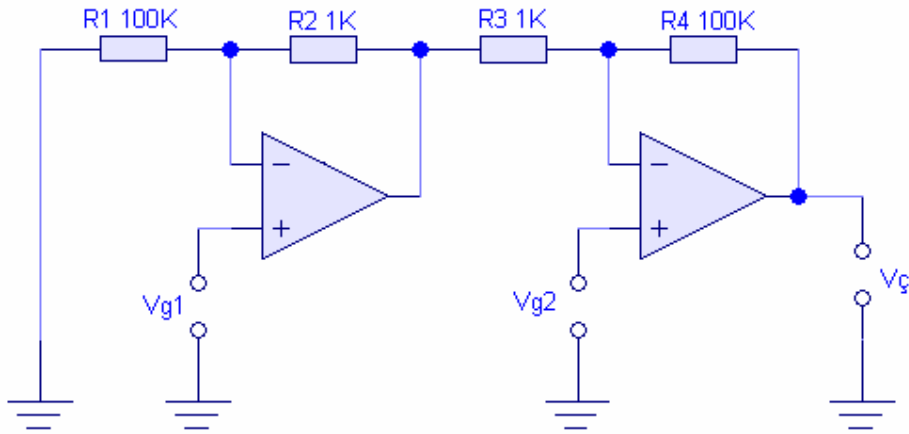
2.5.1. Türleri

Enstrümantasyon yükselteçleri kullanıldıkları yere göre farklı özelliklerde tasarlanır. Başlıca kullanılan türleri;

- Yüksek Giriş Empedanslı Versiyonu
- Yüksek Giriş Voltajlı Versiyonu
- Yüksek Ortak Mod Tepki Oranlı Versiyonu

2.5.1.1. Yüksek Giriş Empedanslı Versiyonu

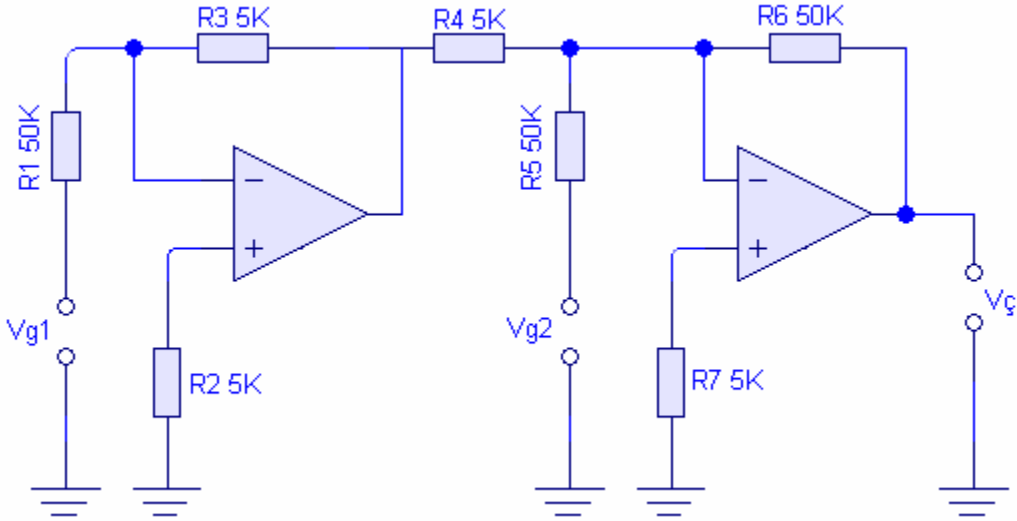
Yüksek giriş empedanslı enstrümantasyon yükselteç, iki adet OP-AMP 'tan oluşur. V_{g1} ve V_{g2} olmak üzere iki giriş kaynağı bulunur. Buradaki V_{g1} ve V_{g2} kaynakları, OP-AMP 'ların giriş empedansından daha büyük dirence sahip olduğundan bu devrenin çok yüksek bir giriş empedansı vardır. Bu devrenin çıkış voltajı $V_{ç} = V_{g1} + V_{g2}$ formülü ile bulunur.



Şekil 2.11: Yüksek giriş empedanslı enstrümantasyon yükselteci

2.5.1.2. Yüksek Giriş Voltajlı Versiyonu

Şekil 2.12 'deki versiyonda, inverting modda çalışan 2 adet OP-AMP kullanılmıştır. Bu devre çıkışında, V_{g1} ve V_{g2} giriş voltajlarından küçük bir fark sağlar. Yani, iki büyük giriş voltajı arasında küçük bir fark sağlar. Çıkış voltaj değeri $V_{\text{ç}} = V_{g1} - V_{g2}$ formülü ile bulunur. Devre aslında bir fark yükseltici gibi çalışır.



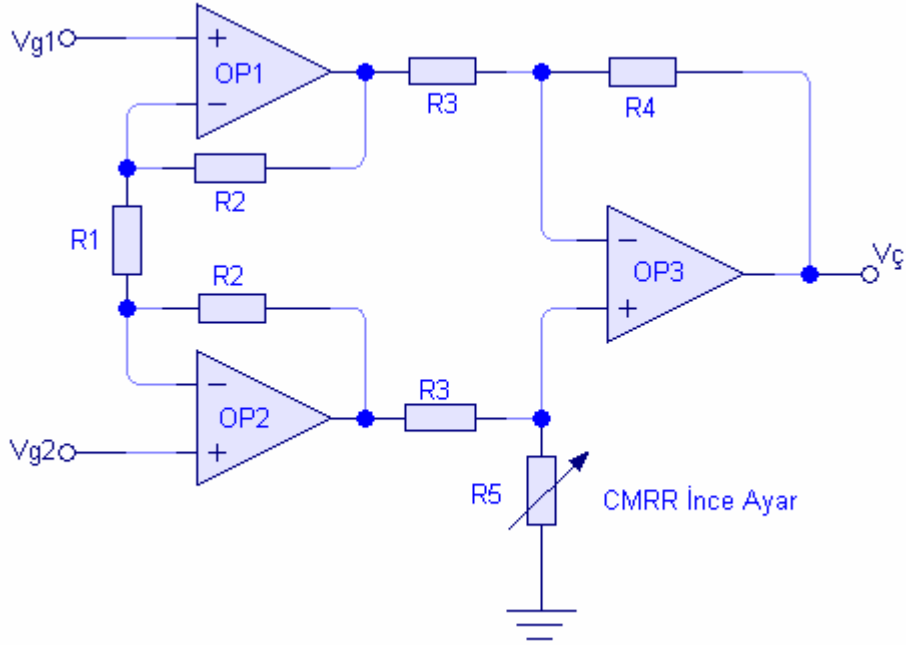
Şekil 2.12: Yüksek giriş voltaj versiyonlu enstrümantasyon yükseltici

2.5.1.3. Yüksek Ortak Mod Tepki Oranlı Versiyonu

Şekil 2.13 'te enstrümantasyon yükselteçlerden en fazla kullanılanı gösterilmiştir. OP-AMP 'larda ortak mod tepki oranı (common-mode rejection ratio -CMRR), her iki girişinde de ortak olan giriş sinyalini reddetme özelliğidir. Faz çeviren (-) ve çevirmeyen (+) girişe aynı anda uygulanan işaretin, çıkış işaretine oranına eşittir. CMRR'nin birimi dB'dir. Bu versiyondaki enstrümantasyon yükselteçlerde, parazit ve gürültüleri bastırma oranı da büyüktür.

Şekil 2.13 'teki enstrümantasyon yükselteçte V_{g1} ve V_{g2} girişleri OP-AMP 'ların faz çevirmeyen (+) girişlerine uygulanmıştır. İlk iki OP-AMP çıkışından alınan sinyal fark yükselticine uygulanmıştır.

Bu yükselteç tasarımında R3 direnciyle devrenin kazancı kontrol edilebilir. Tümleşik olarak ticari enstrümantasyon yükselteçlerinde R1 direnci kılıf dışına terminallerle taşınarak ayarlı bir kazanç elde edilmesi mümkün hâle getirilmiştir. Aynı şekilde yüksek CMRR oranı elde etmek için R5 potansiyometresi ile girişe yüksek genlikli bir ortak işaret (gürültü) uygulandığında çıkış minimum olacak şekilde ayarlanır.



Şekil 2.13: Yüksek ortak mod tepki oranlı enstrümantasyon yükselteci

Devrenin kazancı $K_1 = 1 + 2 \frac{R_2}{R_1}$ ve $K_2 = -\frac{R_4}{R_3}$ formülleri ile bulunur. Toplam kazanç $K = K1 * K2$ olarak elde edilir.

2.5.2. Kullanım Alanları

Yüksek fark kazancı, düşük ortak mod kazancı, yüksek CMRR ve yüksek giriş empedansı gerektiren yerlerde kullanılır.

Enstrümantasyon yükselteçlerinin bu yüksek CMRR' li versiyonu tüm biyopotansiyel ölçümlerde anahtar tasarımıdır.

Bazı biyomedikal cihazların uygulamadaki özel gereklilikleri aşağıda kısaca ele alınmıştır.

2.5.2.1. EKG Yükselteçleri

- Düşük köşe frekansı 0.05 Hz, en fazla 100Hz
- Sızıntı akımları güvenlik standardının altında $10 \mu A$ ' den küçük olmalıdır.
- Toprak hattından ve enerji hattından izole olmalıdır.
- Yüksek defibrilasyon gerilimlerine karşı korumalı olmalıdır.

2.5.2.2. EEG Yükselteçleri

- Kazanç mikrovolt ve daha düşük seviyelerde kararlı olmalıdır.
- Baştan sona tüm elektronik devre elemanları düşük ısı ve elektronik gürültü kat sayısına sahip olmalıdır.
- Diğer özellikler EKG' ye benzer.

2.5.2.3. EMG Yükselteçleri

- Son derece düşük frekanslı sinyalleri yükseltecek bant genişliği
- Diğer yardımcı işlem devrelerinin de aynı özelliklere sahip olması gerekir (integrator gibi).

2.5.2.4. EOG Yükselteçleri

- Çok düşük frekanslarda ve DC' de yüksek kazanç ve frekans cevabı
- DC sürüklenme → Elektrotlar çok dikkatli seçilmelidir.
- Genellikle DC filtre ve sürüklenme düzeltme devreleri gereklidir.

2.5.3. Enstrümantasyon Yükseltecinin Kurulum Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

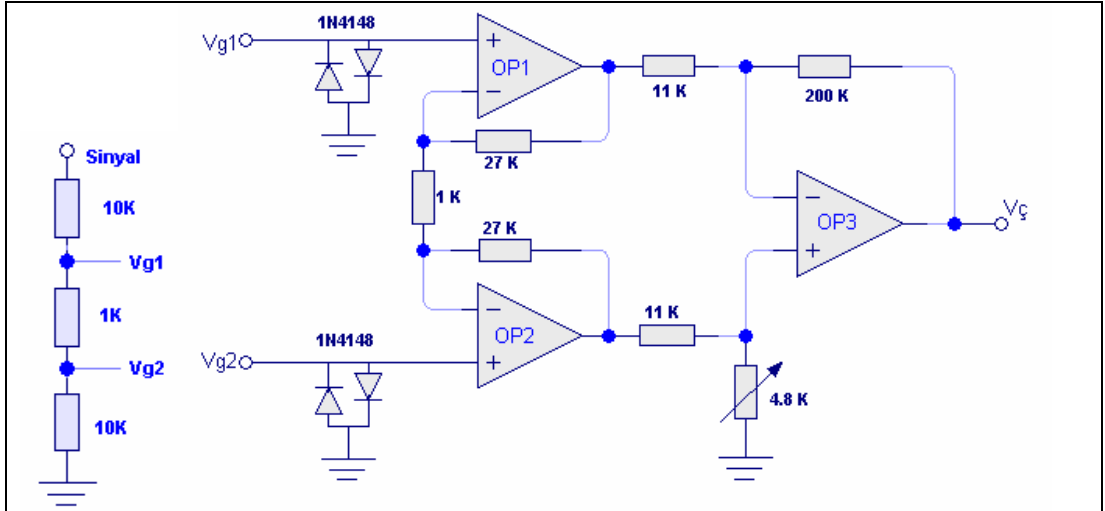
- İşlemsel yükselteç ile yapılan enstrümantasyon yükselteci devresini kurup çalıştırabileceksiniz.
- Giriş ve çıkış sinyallerini ölçebileceksiniz.

➤ Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

- Enstrümantasyon yükselteci ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyiniz.
- Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.

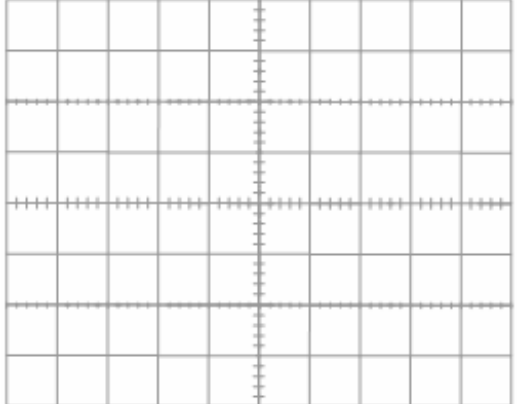
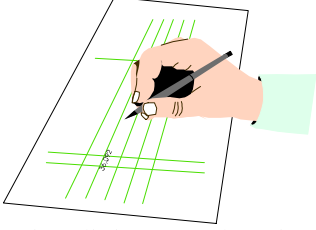
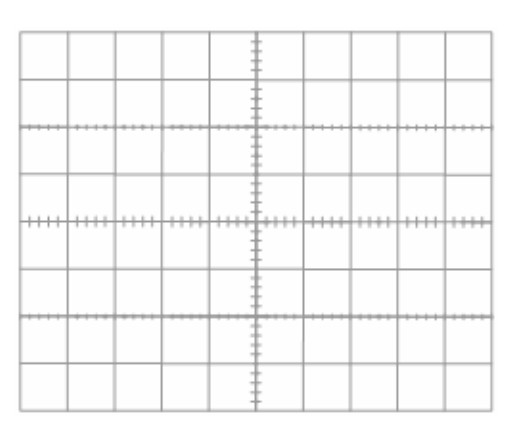
➤ Kullanılacak Araç Gereçler

- 3 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 4 adet 1N4148 diyot
- 2 adet 11 K direnç
- 2 adet 27 K direnç
- 1'er adet 1 K, 200 K direnç
- 1 adet 4.8 K potansiyometre
- 3 adet EKG elektrodu
- Sinyal jeneratörü
- Osilaskop
- Avometre
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



Şekil 2.14: Enstrümantasyon yükseltici uygulama devre şeması

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekil 2.14' teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. ➤ Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız. ➤ Sinyal jeneratörü 10 mV 50 Hz sinüs ➤ Simetrik güç kaynağı, ± 12 V ➤ Osilaskop Time/Div kademesi 5 ms/Div ➤ 1. kanal girişi 10 mV/Div 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eviren, evirmeyen girişlerin ve +V (7 nu.lı uç), -V (4 nu.lı uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz. ➤ Cihazların toprak bağlantılarını ve evirmeyen giriş ucunun tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. ➤ Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Güç kaynağını açınız, devreye enerji uygulayarak devreyi çalıştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz. ➤ Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin basılmamış, problemlerinizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vg1 ve Vg2 uçlarını kısa devre yaparak sinyal jeneratörüne bağlayınız. ➤ Vç ucunu osilaskoba bağlayınız. ➤ 4.8 K potansiyometreyi çıkış sinyali 0 oluncaya kadar ayarlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal jeneratörünün toprak ucunu devre toprağına bağlamayı unutmayınız. ➤ CMRR ince ayarı yaparak ortak işaretleri yok etmelisiniz.

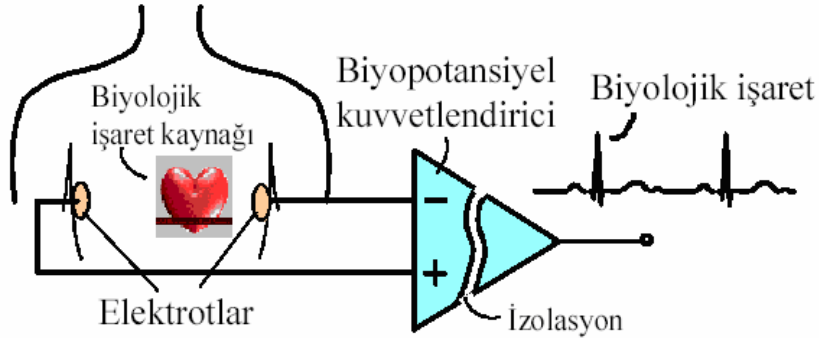
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal jeneratörünü gerilim bölücü sinyal girişine bağlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toprak uçlarını irtibatlamayı unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop ekranındaki dalga şeklini aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. 	
	 <ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz. ➤
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gerilim bölücü devre ve sinyal jeneratörünü devreden ayırınız. ➤ EKG elektrotlarını sağ ve sol bileklerinizin iç kısmına yapıştırınız. ➤ Sol bileği Vg1, sol bileği Vg2 uçlarına bağlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kullandığımız cihazlarda kaçak gerilim olmadığından ve topraklama yapıldığından emin olunuz. ➤ Daha iyi iletkenlik sağlayabilmek için bileklerinizi tuzlu su ile silebilirsiniz. Kendinden yapışan elektrotlar iyi iletkenlik sağlamak üzere tasarlanmıştır.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop ekranında gördüğünüz sinyalleri aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. 	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyaller EKG sinyallerine benziyor mu? Gözlemleyiniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sonuçları karşılaştırmamız ve yorumlayınız. 	

Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devreyi öngörülen şekilde çalıştırdınız mı?		
7. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptırıldınız mı?		
8. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

2.6. İzolasyon Yükseltecinin İncelenmesi

2.6.1. Kaçak Gerilimlere Karşı Hasta Güvenliği ve Yalıtımın Önemi



Şekil 2.15: Biyolojik işaretlerin algılanması

Hastalar, hastane ortamı içerisinde ya elektriksel cihazlara bağlanmış ya da elektriksel cihazlarla çevrelenmişlerdir. Bazı hastalar, fiziksel durumlarının gereği olarak veya tıbbi gereklilikler nedeniyle düşük düzeyde elektriksel tehlikelere maruz kalabilir. Bunun dışında cihazların normal çalışmaları sırasında ortaya çıkan kaçaklar nedeniyle de istenmeyen kaçak akımlara maruz kalmaları söz konusu olabilir. Bazı hastalar elektriksel şok tehlikesine özellikle açıktır. Normal şartlarda zararsız kabul edilen seviyedeki 50 Hz'lik küçük akımlar bile bazı şartlar altında bir hasta için öldürücü olabilir.

Kaçak akım, bir cihazın metal şasisine, enstrüman veya aletin enerji içeren elektriksel kısmından doğal olarak sızan düşük değerli elektriksel akım olarak tanımlanır. Tüm elektriksel olarak işleyen ekipmanlar bir kaçak akıma sahiptir. Bu akım arıza sonucunda oluşmaz, elektriksel donanımın doğal bir sonucudur.

Kaçak akım kapasitif ve rezistif olmak üzere iki ana ögeye sahiptir. Kapasitif kaçak akım bir metal şasi ve bir tel arasında veya iki tel arasında dağıtılmış kapasiteden dolayı oluşur.

Rezistif kaçak akım, güç hattını çevreleyen izolasyonun direncinden ve transformatör primerinden çıkar.

Cihazların normal çalışması nedeniyle ortaya çıkan bu kaçak akımların cihaz tasarımı sırasında göz önünde bulundurularak gerekli önlemlerin alınması ilgili yasalar ve yönetmelikler gereği bir zorunluluktur.

Elektrik akımları, insan vücudu üzerinde çeşitli olumsuz etkiler meydana getirir. Elektrik akımının bu olumsuz etkileri meydana getirebilmesi için;

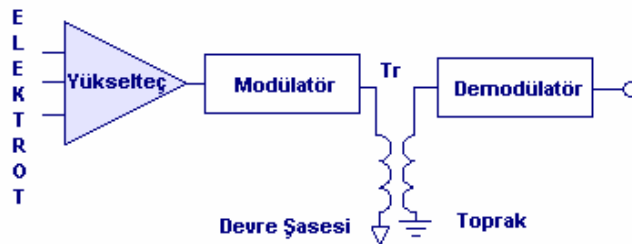
- Bir elektriksel potansiyel farkının bulunması,
- Hastanın elektriksel devrenin bir elemanı olması ve vücut üzerinden elektrik akımının akması gerekmektedir.

Bütün bu koşullar sağlandıktan sonra insan vücudundan geçen elektrik akımının gerçek etkisi, akımın geçtiği yer ile geçen akım miktarına bağlıdır. İnsan vücudunda koldan kola uygulanan 50 Hz'lik alternatif akımın çeşitli seviyelerde 1 saniyelik uygulamalar altındaki fizyolojik etkileri şöyle özetlenebilir:

- Vücut içerisinde elektrik akımının bir etki oluşturabilmesi için 1 mA'lık düşük bir akım seviyesi yeterli olmaktadır.
- 100 mA'lık bir akım seviyesi ölümlü de sonuçlanabilecek oldukça tehlikeli sonuçlar doğurabilecektir (Kalpte karıncık fibrilasyonu, solunum felci, yorgunluk, ağrı gibi).
- 3-10 A'lık akım seviyeleri ise yukarıda belirtilen etkilerin yanında sürekli miyokardiyum kasılması, yanık ve yaralanmalara neden olacaktır.

Modern biyoelektrik üreteçleri, muhtemel dâhili kardiyak şoku önlemek için, direkt hasta bağlantısında izolasyon yükselteci (iso-amp) kullanmaktadır. Bu tip yükselteçler hasta bağlantısı ile ac güç hattı arasında 1012 Ω 'a kadar çıkan izolasyonlar sağlayabilir.

Bir izolasyon yükseltecinin temel tasarımı Şekil 2.16'da görülmektedir.

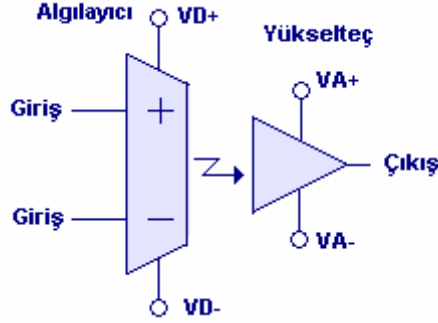


Şekil 2.16: Temel izolasyon yükselteci

Genellikle bir giriş yükseltici, bir çeşit modülatör, bir izolasyon engeli, bir demodülatör ve bir çıkış yükselticiden oluşur. Modülasyon tipleri arasında, genlik, gerilimden frekansa dönüştürme, görev çevirimi, darbe genişliği, akım yükleme tipleri sayılabilir. Engeller; optik, manyetik transformatör, kapasitif hatta ısıl olabilir. Giriş ve çıkışın birbirinden izole edilmiş ayrı ayrı ortak uçları olduğuna dikkat ediniz. İzolasyon yükseltici, aslında bir enerji dönüştürücüdür. Modülatör tarafındaki elektriksel enerji, engelde elektriksel olmayan bir enerji formunda demodülatör tarafına gönderilir ve burada tekrar elektriksel bir enerjiye dönüştürülür.

Bunun tipik örnekleri transformatörler ve optokuplörlerdir.

İzolasyon yükselticinin sembolü Şekil 2.17’de görülmektedir. Bu sembol standartlaşmamıştır, dolayısı ile bazı üreticiler kendi devre sembollerini kullanmaktadırlar.



Şekil 2.17: İzolasyon yükselticinin sembolü

2.6.2. İzolasyon Yükseltici Türleri

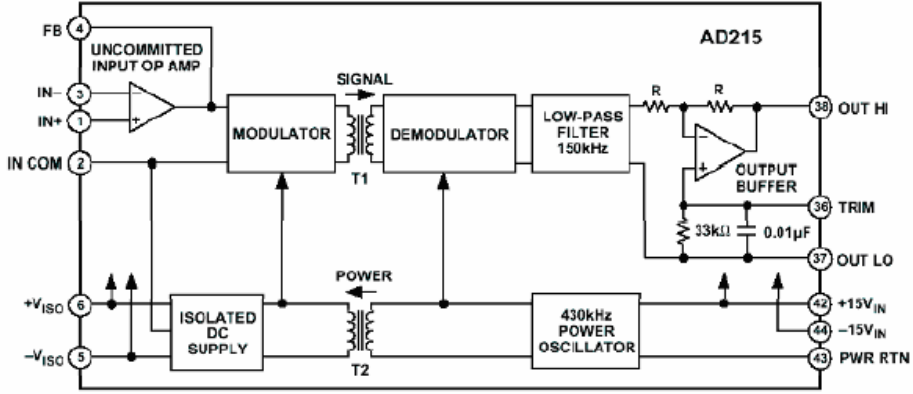
İzolasyon yükselticilerinin tasarımında birkaç yaklaşım kullanılmaktadır: Bataryalı, taşıyıcı, optik bağlantılı ve akım yüklemeli.

2.6.2.1. Bataryalı

Bu yaklaşım belki de yapılması en kolay olan yöntemdir. Fakat bataryanın bakımı dolayısıyla müşteri açısından en uygun yol değildir. Kardiyak çıkış bilgisayarlarının hemen tümünde bu yaklaşım benimsenmektedir. Eğer herhangi bir harici cihaz (örneğin osiloskop, rulo kâğıt kaydedeci, oran ölçer veya batarya şarj cihazı gibi) bağlanacaksa, diğer yalıtım yöntemlerinden birisi kullanılmalıdır.

2.6.2.2. Taşıyıcı İzolasyon Yükseltici

Şekil 2.18’de taşıyıcı tekniğini kullanan AD215 izolasyon yükseltici görülmektedir. Çoğu durumda yalıtılmış olan yükselticinin kazancı orta bölgededir (x10’dan x50’e kadar).



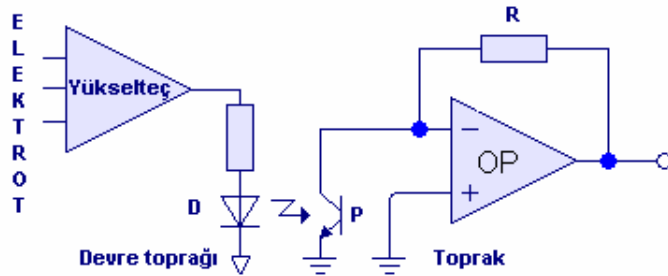
Şekil 2.18: AD215 izolasyon yükselteci

Yalıtım, toprak, güç ve sinyal hatlarını iki bölüm arasında ayıran T1 ve T2 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 sinyalleri kolayca geçirirken 50 Hz frekansındaki sinyalleri bastırmasını sağlayarak filtre görevi görür.

Çoğu model 50 ile 60 KHz arasındaki taşıyıcı sinyallerini kullanırken birkaç çeşit izolasyon yükselteci 20 KHz’den 250 KHz’e kadar olan aralıkta hemen herhangi bir frekans kullanılabilir. Taşıyıcı osilatör sinyali T2 transformatörü aracılığı ile yalıtılmış olan katlara iletilir. T2 trafosunun sekonderinden gelen enerjinin bir kısmı modülatör katına giderken, kalanı doğrultulup filtrelenerek yalıtılmış katta dc besleme gerilimi olarak kullanılır.

Girişe uygulanan bir analog sinyal giriş yükselteci tarafından yükseltilmekte ve sonra da modülatör katının girişine verilmektedir. Modülatör, giriş sinyalini taşıyıcı sinyal üzerine genlik modüleli olarak bindirir. T1 transformatörü üzerinden izole edilmiş kata aktarılan modüleli sinyal, demodülatör tarafından orijinal şekline dönüştürülür.

2.6.2.3. Optik Kuplajlı İzolasyon Yükselteci



Şekil 2.19: Optik izolasyon prensip şeması

Elektronik optokuplörler (Aynı zamanda optoizolatörler diye de adlandırılır.) bazen istenilen yalıtım işlemini sağlamak için kullanılır. Bu tip izolasyon sisteminin ilk şekillerinde bir ışık yayan diyot (LED) ile beraber bir fotodirenç veya fototransistör kullanılmaktaydı. Modern tasarımlarda LED ve fototransistörler tek bir DIP paket içinde saklayan entegreler kullanılmaktadır. Optik kuplajda birkaç farklı yaklaşım bulunmaktadır. İki çok kullanılan yöntem taşıyıcı ve direkt kuplaj metotlarıdır. Taşıyıcı metodu bir önceki bölümün aynısıdır, yalnızca T1 transformatörü yerini bir optokuplör kullanılmıştır. Taşıyıcı metodu, optik kuplajlı yükselteçlerde pek yaygın değildir, çünkü optokuplörlerin frekans cevabı pek iyi değildir. Yalnızca modern optokuplörlerde bu problemler kısmen çözülmüştür.

2.6.2.4.Akım Yükleme

Akım yüklemeli izolasyon tekniği tektronix tarafından imal edilen portatif ECG monitörlerde kullanılmıştır.

2.6.3. İzolasyon Yükselteçlerinin Kullanım Alanları

İzolasyon yükselteçleri hastalara bağlanan tüm tıbbi cihazlarda kullanılır. Bunun dışında çok sayıda farklı endüstriyel uygulama alanları mevcuttur. Özellikle ölçüm ve cihaz güvenliğinin gerekli olduğu endüstriyel uygulamalarda motor kontrol devrelerinde, veri iletim devrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

İzolasyon yükselteçleri genel olarak 3 amaç için kullanılır:

- Toprak çevrimlerini birbirinden ayırarak iki uyumsuz devreyi bir araya bağlarken gürültüyü zayıflatmak
- İnsanların ve cihazların zarar görmesine neden olacak kaçak akımları engellerken sinyalleri yükseltmek
- İnsanları, devreleri ve cihazları korumak üzere çok yüksek gerilimlere dayanabilmek

2.6.4. İzolasyon Yükseltecinin Kurulum Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

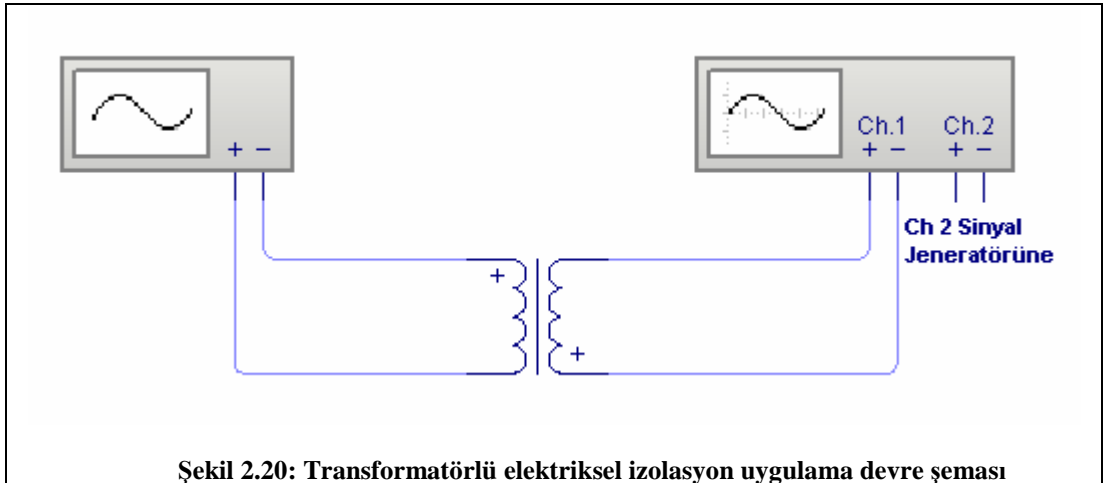
- İzolasyon yükselteçlerinde elektriksel olarak yalıtım sağlayan transformatörlü ve optik bileşenlerin çalışmasını inceleyerek bir elektriksel izolasyon devresini kurup çalıştırabileceksiniz.

➤ Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

- Bir transformatör ve optokuplörün çalışma prensibini araştırınız.
- Işığa duyarlı devre elemanları hakkında bilgi toplayınız.

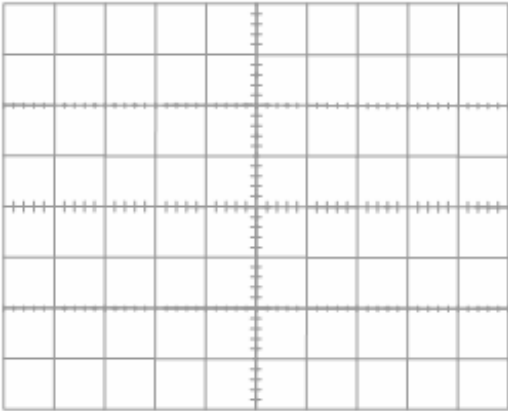
➤ **Kullanılacak Araç Gereçler**

- 2 metre 0.5 mm² bobin teli
- 1 adet 8-10 cm boyunda 3-4 mm çapında demir çubuk veya çivi
- 1 adet 10 K direnç
- 1 adet LDR
- 1 adet kızıl ötesi LED
- 1 adet sinyal jeneratörü
- 1 adet osilaskop
- Laboratuvar güç kaynağı
- Avometre
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



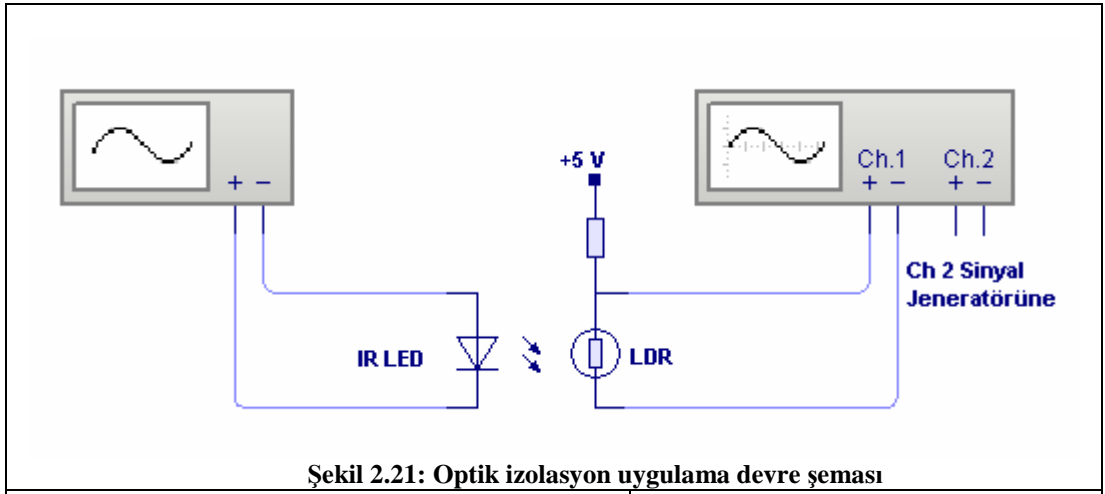
Şekil 2.20: Transformatörlü elektriksel izolasyon uygulama devre şeması

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
➤ Bobin telini 1'er metrelik iki eşit parçaya kesiniz.	➤ Teli ortadan 2' ye katlayabilirsiniz.
➤ Her bir parçanın uçlarının izolasyon verniği ile kaplanmış olan kısımlarını 1 cm kadar kazıyarak iletken kısmı açığa çıkarınız.	➤ Kesici aletlerle çalışırken dikkatli olunuz.
➤ Açtığımız uçları ohmmetre ile ölçerek iletkenlik kontrolü yapınız.	➤ Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.
➤ Önce bir teli sol elinizde tuttuğunuz demir çubuk veya çivinin üzerine soldan sağa doğru iletkenler arasında boşluk kalmayacak şekilde sarınız.	➤ Teli üst üste sarmayınız. Çubuğun boyu yetersiz gelirse, kalan kısmı sol başa döndükten sonra sarmaya devam ediniz.

<p>➤ Aynı şekilde ikinci teli soldan sağa doğru ilkinin üzerine düzenli bir şekilde sarınız.</p>	<p>➤ Sarma işleminin sonunda bobinin açılmaması için bir parça izolasyon bandı ile yapıştırabilirsiniz.</p>
<p>➤ Elde ettiğiniz transformatörün altta kalan bobinini primer üstte kalanı sekonder olarak belirleyiniz.</p>	<p>➤ Sarma esnasında uçları karıştırdıysanız, ohm metre ile ilk kısa devre okuduğunuz iki ucu sola, diğerlerini sağa ayırınız.</p>
<p>➤ Primer ile sekonder uçlarından birer tanesini ve iletkenler ile demir çubuk arasını ohmmetre ile ölçerek elektriksel iletkenlik olup olmadığını kontrol ediniz.</p>	<p>➤ Ohm metre ile herhangi bir direnç okunmaması gerekir. Primer ve sekonder elektriksel olarak birbirinden yalıtılmış olmalıdır.</p>
<p>➤ Sinyal jeneratörünü 1kHz 10 V çıkış değerine ayarlayarak primer uçlarına bağlayınız.</p>	<p>➤ Toprak ucunu bağlamayı unutmayınız.</p>
<p>➤ Osilaskobun bir kanalını giriş sinyali için sinyal jeneratörüne diğer kanalını sekonder uçlarına bağlayınız.</p>	
<p>➤ Osilaskop ekranında izlenebilir sinyal elde edinceye kadar Time/Div ve Volt/Div kademelerini ayarlayınız.</p>	<p>➤ Ekranda sinyal göremiyorsanız güç hariç bütün düğmelerin basılmamış olduğundan emin olunuz ve Y Pos düğmesiyle sinyali uygun konuma getiriniz.</p>
<p>➤ 10 Hz' den başlayarak giriş ve çıkış işaretleri eşit oluncaya kadar frekansı artırınız.</p>	<p>➤ Yaklaşık 3 KHz' de iki sinyalin birbirine eşit olduğu izlendi.</p>
<p>➤ Osilaskopta gördüğünüz dalga şeklini aşağıdaki boş ekran üzerine çiziniz.</p>	
	<p>➤ Giriş işaretini üste, çıkış işaretini alta çiziniz, ölçeğe dikkat ediniz.</p>

Aşağıdaki soruları cevaplandırınız.

- Primer ve sekonder arasında ohm metre ile yaptığınız iletkenlik testi sonucuna göre elektriksel iletim var mıdır?
- Düşük frekanslarda transformator nasıl tepki vermektedir?
- Yüksek frekanslarda transformator nasıl tepki vermektedir?
- Transformator giriş ile çıkış arasında izolasyon sağlamış mıdır?
- Düşük frekanslı biyopotansiyel işaretler için nasıl bir izolasyon yöntemi kullanılabilir?



Şekil 2.21: Optik izolasyon uygulama devre şeması

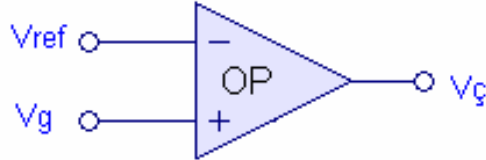
İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
➤ Elinizdeki devre elemanlarını şekildeki gibi bağlayınız.	➤ IR LED ile LDR' nin birbirini görecek şekilde sabitlemeniz yararlı olur.
➤ Sinyal jeneratörünü 10 Hz sinüs, 5 V, + V DC Ofset konumuna ayarlayınız.	➤ Bu durumda çıkış sinyali sadece pozitif değerli olacak, negatif alternansa kaymayacaktır. Aksi hâlde IR LED doğrultma görevi yaparak sinyalin negatif alternanslarını kırpacaktır.
➤ Cihazları açın, IR LED'i LDR' ye yaklaştırınız.	➤ LDR ile IR LED' in karşılıklı birbirini görmesine ve arada bir engel olmamasına dikkat ediniz.
➤ Osilaskop ekranında sinüs sinyalini görünceye kadar uygun kademeye ayarlayınız.	➤ Düşük frekanslarda sinyal izlemek sorun olabilir.
➤ Sinyal jeneratöründen frekansı 1 Khz' ye kadar yavaş yavaş artırınız.	➤ Sinyalde problemlerin kapasitif etkisinden dolayı bozulmalar olabilir.
➤ LDR il IR LED arasına bir engel koyarak sinyaldeki değişimi izleyiniz.	➤ Sinyal osilaskop ekranından kaybolmalıdır.

Aşağıdaki soruları cevaplandırınız.

- IR LED ile LDR arasında herhangi bir elektriksel iletim var mıdır?
- Kurduğunuz devre sinyal jeneratörü ile osilaskop arasında elektriksel izolasyon sağlamış mıdır? Açıklayınız.
- Biyopotansiyel işaretlerin hastadan alınması sırasında, cihaz gövdesindeki elektrik kaçaklarının hastaya ne tür etkilerinin olabileceğini tartışınız.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devreyi öngörülen şekilde çalıştırdınız mı?		
7. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptınız mı?		
8. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

2.7. Karşılaştırıcı Devrenin İncelenmesi



Şekil 2.22: İşlemsel yükselteç ile yapılan karşılaştırıcı devresi

Karşılaştırıcı, bir referans gerilimi ile bir giriş gerilimini karşılaştıran devredir. Çıkış gerilimi giriş sinyalinin referans sinyalinin altında ya da üstünde olması durumuna bağlı olarak yaklaşık pozitif ve negatif kaynak gerilimi arasında değişir. Çıkış gerilimini istenilen bir değerde sınırlamak için çıkışa bir seri direnç ve zener diyot bağlanarak regülasyon yapılabilir.

Karşılaştırıcı devrenin çalışmasını anlayabilmek için fark yükselteci ile ilgili anlatılanları göz önünde bulundurmakta yarar vardır. Karşılaştırıcı uygulamasında işlemsel yükselteç çoğunlukla açık çevrim durumunda çalıştırılır. Hatırlanacağı gibi işlemsel yükselteç geri beslemesiz olarak çalıştırıldığında kazancı 200.000 gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Devrede V_{ref} referans sinyali eviren girişe, V_g giriş sinyali evirmeyen girişe uygulanmıştır. $V_g > V_{ref}$ olursa, çıkıştan yaklaşık $+V$ değeri alınır. $V_g < V_{ref}$ olursa, çıkıştan yaklaşık $-V$ değeri alınır. Devre bu hâliyle, evirmeyen karşılaştırıcı olarak çalışmaktadır. Eğer V_{ref} referans işareti evirmeyen giriş ucuna, V_g işareti de eviren giriş ucuna uygulanırsa, işlemsel yükselteç eviren karşılaştırıcı olarak çalışır.

Her akşam kendiliğinden yanan sokak lambalarını hatırlayınız. Bu lambalar giriş devresine bağlı ışık algılayıcı elemanın algıladığı ışık seviyesinin belli bir referans değerinin altına düşmesi durumunda karşılaştırıcı devre çıkışının konum değiştirmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu tür devreleri işlemsel yükselteçler ile kolayca tasarlayabilir, herhangi bir fiziksel büyüklüğün durumuna göre bir yük devresini kontrol edebiliriz.

2.7.1. Karşılaştırıcı Devrenin Kurulup Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

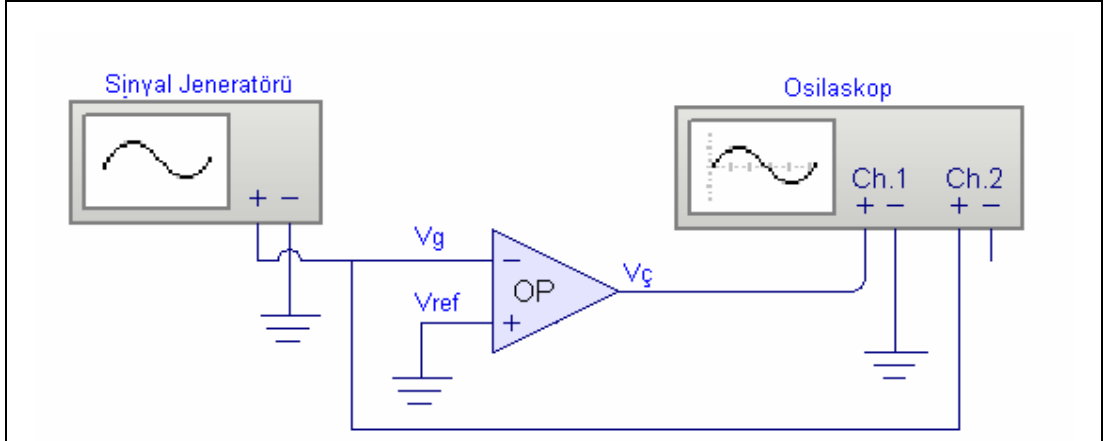
- İşlemsel yükselteç ile yapılan sinüs dalgayı kare dalgaya dönüştüren karşılaştırıcı devresini kurup çalıştırabileceksiniz.
- Bir referans sinyal ile değişken bir gerilimi karşılaştıran kontrol devresi kurup çalıştırabileceksiniz.
- Karşılaştırıcı devreyi kullanarak farklı algılayıcılarla yapılan kontrol devreleri tasarlayabileceksiniz.

➤ Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

- Çevrenizdeki ısı duyarlı, ışık duyarlı cihazları inceleyiniz, çalışma prensiplerini araştırınız ve nasıl çalıştıkları ile ilgili vardığınız sonuçları arkadaşlarınızla tartışınız.

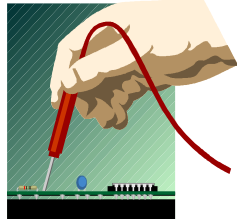
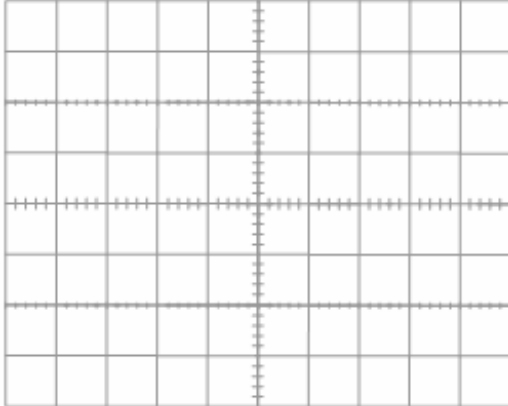
➤ Kullanılacak Araç Gereçler

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 1 adet 10 K direnç
- 2 adet 1 K direnç
- 1 adet 10 K potansiyometre
- 1 adet LDR
- 1 adet NTC(10 K)
- 2 adet farklı renklerde LED
- Sinyal jeneratörü
- Avometre
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



Şekil 2.23: Karşılaştırıcının sinüs-kare dalga dönüştürücü olarak kullanılması

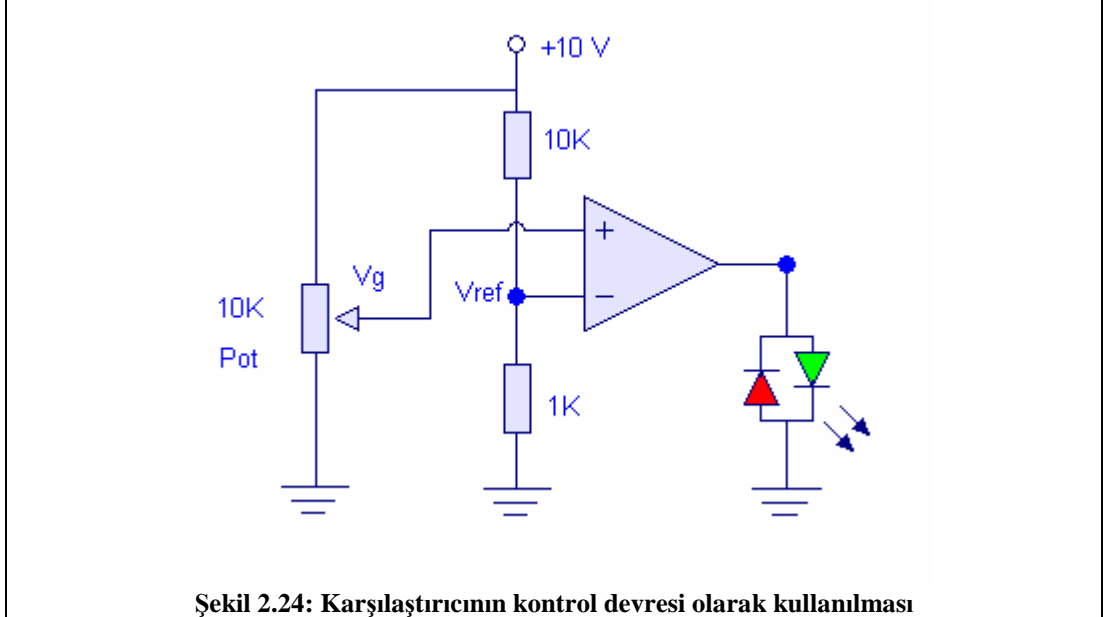
İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekil 2.23' teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eviren, evirmeyen girişlerin ve +V (7 nu.lı uç), -V (4 nu.lı uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz. ➤ Cihazların toprak bağlantılarını ve evirmeyen giriş ucunun tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. ➤ Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız. ➤ Sinyal jeneratörü 1 V 100 Hz sinüs ➤ Simetrik güç kaynağı, ± 10 V ➤ Osilaskop Time/Div kademesi 5 ms/Div ➤ kanal giriş 1 V/Div ➤ 2. kanal çıkış 10 V/Div 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin basılmamış, probleminizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz. ➤
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Güç kaynağını açınız, devreye enerji uygulayarak devreyi çalıştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop ekranındaki dalga şeklini aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. 	

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal jeneratörünün çıkış genliğini sırayla 500 mV, 1 V, 1.5 V, 2 V kademelerine ayarlayınız, çıkış gerilimlerini Tablo 2.2'ye kaydediniz. ➤ Çıkış gerilimi giriş sinyal değişiminden etkilenmekte midir? Yorumlayınız ve arkadaşlarınızla tartışınız. ➤ Çıkış gerilimi besleme gerilim değerine ulaşıyor mu? Nedenini araştırınız. 	 <ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop ile gerilim ölçme hakkında Elektriksel Büyüklükler ve Ölçülmesi modülünde almış olduğunuz bilgileri hatırlayınız.
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.

V giriş (Vg) Volt	V çıkış (Vç) Volt	Yorum
500 mV		
1 V		
1.5 V		
2 V		

Tablo 2.5: Sonuç değerlerini kaydediniz ve yorumlayınız.

2.7.2. Karşılaştırıcının Kontrol Devresi Olarak Kullanılması



Şekil 2.24: Karşılaştırıcının kontrol devresi olarak kullanılması

➤ Şekil 2.24'teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz.	➤ Potansiyometre orta ucunu doğrudan 3 nu.lı uca bağlayınız.
➤ Vref gerilimini ölçerek tabloya kaydediniz.	➤ Analog Voltmetre kullanıyorsanız, kalibrasyon yapmayı unutmayınız
➤ Voltmetreyi potansiyometrenin orta ucuna (Vg) bağlayınız.	
➤ Vg 0 V oluncaya kadar potansiyometreyi ayarlayınız, Vç gerilimini tabloya kaydediniz.	
➤ Vg gerilimin Vref geriliminden küçük olduğu durumda hangi LED yanmaktadır, tabloya kaydediniz, yorumlayınız.	
➤ 0 V' dan başlayarak Vg gerilimini artırınız.	
➤ Vg gerilimi Vref geriliminden büyük olduğunda hangi LED yanmaktadır tabloya kaydediniz ve yorumlayınız.	
➤ Çıkış gerilimini ölçerek tabloya kaydediniz.	
➤ Hangi gerilim değerine ulaşıldığında ikinci LED yanmıştır, gerilim değerini tabloya kaydediniz ve yorumlayınız.	

Koşul	Özellik	Değer	Yorum
	Vref		
Vg<Vref	Vg		
	Vç		
	Yanan LED		
Vg>Vref	Vg		
	Vç		
	Yanan LED		

Tablo 2.6: Sonuç değerlerini kaydediniz ve yorumlayınız.

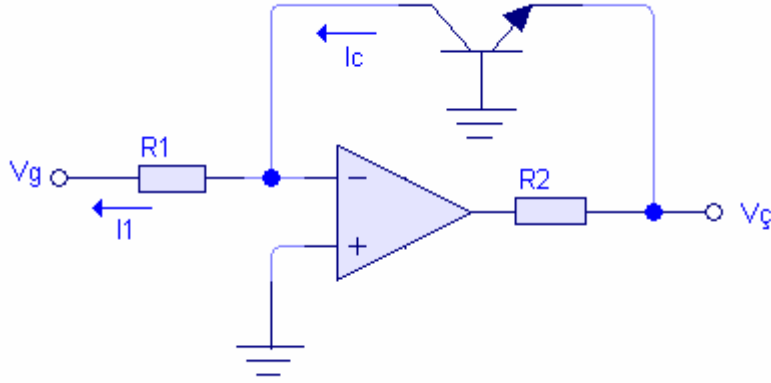
Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Araştırma faaliyetlerini yaptınız mı?		
2. Devre elemanlarını doğru olarak seçtiniz mi?		
3. Gerekli cihazları temin ettiniz mi?		
4. Devre montajını şemaya uygun ve düzenli yaptınız mı?		
5. Cihazları uygun değerlere ayarladınız mı?		
6. Devreyi öngörülen şekilde çalıştırdınız mı?		
7. Ölçme işlemlerini doğru olarak yaptınız mı?		
8. Sonuç tablosunu eksiksiz doldurdunuz mu?		

Ek çalışma:

LED yerine, hangi devre elemanlarını bağlayarak büyük güçlü yükleri kontrol edebileceğinizi araştırınız ve arkadaşlarınızla tartışınız.

2.8. Logaritmik Yükseltecin İncelenmesi



Şekil 2.25: Logaritmik yükselteç

OP - AMP ile gerçekleştirilen logaritmik yükselteçler, analog bilgisayarlarda matematiksel işlemleri gerçekleştirmede kullanılır. Şekil 2.25 'teki, logaritmik yükselteç aynı zamanda faz çeviren yükselteç yapısındadır. Geri besleme elemanı olarak bir transistör kullanılmaktadır. Burada, transistörün beyz-emiter ekleminden faydalanılarak logaritma işlemi yapılmaktadır. Yükseltme işleminin logaritmik olması, transistörün beyz-emiter ekleminden ileri gelmektedir. Devrede transistör ve R1 direncinin yerleri değiştirilerek antilogaritmik yükselteç de yapmak mümkündür.

Logaritmik yükselteç devresinde;

$$V_o = V_{BE} = (60 \text{ mV}) \cdot \log(I_c / I_o) \text{ olmaktadır.}$$

I_o değeri sabit olup oda sıcaklığında 10^{-13} Amper değerindedir. Logaritmik yükselteçte, V_i giriş gerilimindeki ve dolayısıyla I_c akımındaki doğrusal değişmeler, çıkışta ve B-E eklemine logaritmik bir artışa neden olmaktadır. Formüldeki logaritma 10 tabanlı logaritmadır. V_i gerilimindeki 10 kat artış kolektör akımında da 10 katlık bir artışa neden olur. $\log 10 = 1$ olduğundan çıkışta da 10 katlık bir artışa neden olur. V_i giriş gerilimi 100 kat artırıldığında, çıkışta $60 \times 2 = 120 \text{ mV}$ 'luk bir artışa sebep olacaktır.

2.8.1. Logaritmik Yükseltecin Kurulup Çalıştırılması

➤ Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,

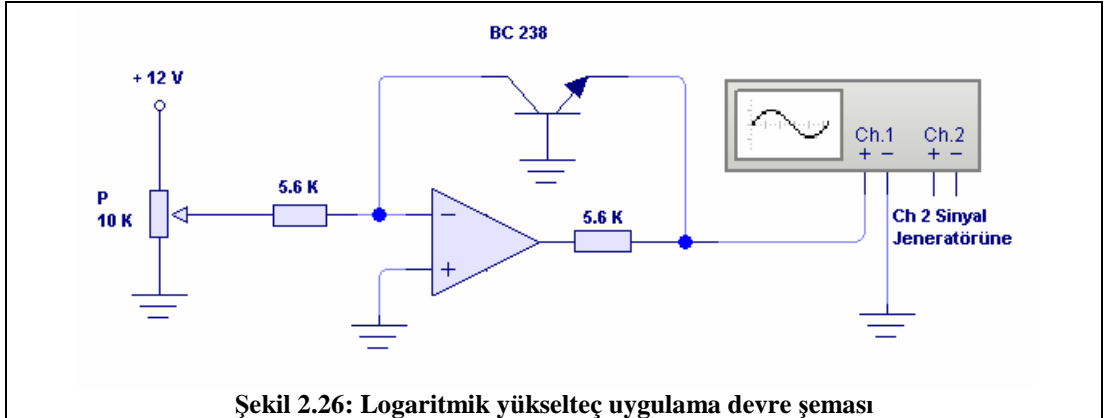
- İşlemsel yükselteç ile yapılan logaritmik yükselteç devresini kurup çalıştırabileceksiniz.

➤ **Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri**

- Analog bilgisayarlarda logaritma işleminin nasıl yapıldığını araştırınız.

➤ **Kullanılacak Araç Gereçler**

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 1 adet 10 K potansiyometre
- 2 adet 5.6 K direnç
- 1 adet BC238B transistör
- Avometre
- ± 15 V simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları



Şekil 2.26: Logaritmik yükselteç uygulama devre şeması

➤ Şekil 2.26'daki devreyi montaj seti üzerine kurunuz ($\Omega\mu$).	➤ Transistörün ayak bağlantıları için bir kataloğa bakınız.
➤ Besleme gerilimini ± 12 V' a ayarlayınız.	➤ Simetrik güç kaynağı kullanınız.
➤ P potansiyometresini Tablo 1' deki değerleri elde etmek üzere ayarlayınız.	➤ Çok turlu potansiyometre kullanarak daha hassas ayar yapabilirsiniz.
➤ Her bir giriş değeri için çıkış değerlerini ölçerek tabloya kaydediniz.	
➤ $\log 2=0.30$, $\log 4 = 0.60$, $\log 6 = 0.78$, $\log 8 = 0.90$, $\log 10 = 1$ olduğuna göre devrenin logaritmik yükselteç olarak çalışıp çalışmadığını yorumlayınız.	➤ Hesaplama yaklaşık değerleri kullanabilirsiniz.
➤ P potansiyometresini Tablo 2' deki değerleri elde etmek üzere ayarlayınız.	
➤ Her bir giriş değeri için çıkış değerlerini ölçerek tabloya kaydediniz.	➤ Analog ölçü aleti kullanıyorsanız, zemin ve kalibrasyon özelliklerini dikkate alınız.

➤ 10 ve 20 Volt arasındaki V_g değerleri için $V_ç$ sabit kalıyor mu? Yorumlayınız.	
➤ Devre bir gerilim regülatörü olarak çalıştı mı? Kontrol ediniz.	➤ Bir regülatör çıkış gerilimini sabit tutar.
➤ R1 direncini 2.2 K olarak değiştiriniz.	➤ Devrenin enerjisini kesmeyi unutmayınız.
➤ $V_ç$ geriliminde değişme oldu mu? Neden ve sonucunu yorumlayınız.	

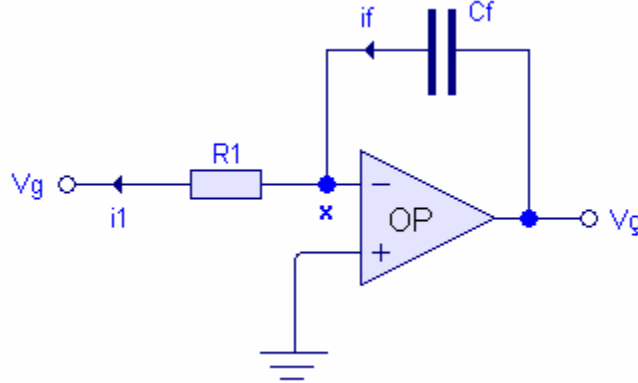
V giriş (V_g) Volt	V çıkış ($V_ç$) Volt
0.056	
0.56	
1.12	
2.24	
4.48	
5.6	

V giriş (V_g) Volt	V çıkış ($V_ç$) Volt
10	
12	
16	
18	
20	

Tablo 2.7: Sonuç değerlerini kaydediniz ve yorumlayınız.

2.9. Türev ve İntegral Alıcı Devrelerin İncelenmesi

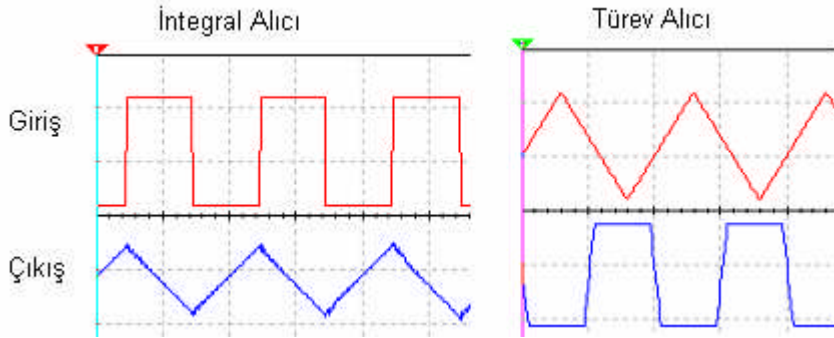
2.9.1. İntegral Alıcı Devre



Şekil 2.27: İntegral alıcı devre

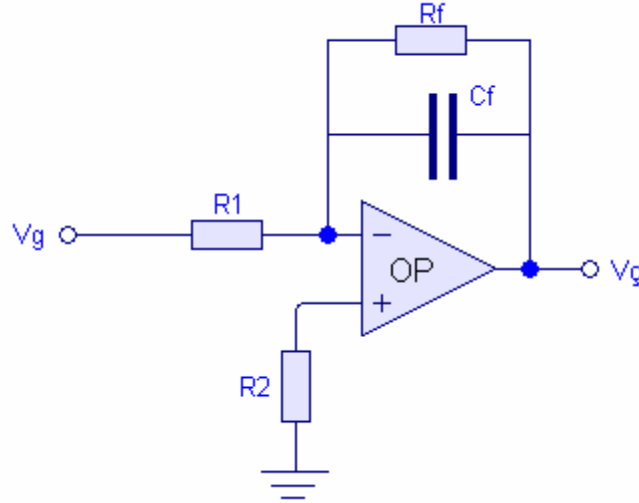
İşlemsel yükselteçlerin ilk tasarım amaçlarından birisi analog bilgisayarlarda matematiksel işlemler yapmaktır. Bunlar; toplama, çıkartma, çarpma, bölme, logaritma, türev, integral gibi işlemlerdir.

Matematiksel olarak integral, bir fonksiyonun, eğrinin alanının bulunmasıdır. İntegral devresinin girişine kare dalga uygulandığında devrenin çıkışından üçgen dalga elde edilir. Kare dalga sinyalini, zaman ekseninde çok küçük dilimlere ayırıp bunları art arda toplarsak doğrusal olarak yükselen bir eğri elde ederiz. Kare dalga sinyalinin negatif alternansında ise bu eğri doğrusal olarak azalacaktır. Ortaya çıkan şekil bir üçgen dalgadır.



Şekil 2.28: İntegral ve türev devresi multisim 7 programı giriş-çıkış sinyalleri

OP-AMP devresindeki, giriş ofset geriliminin OP-AMP 'ın doyuma götürmesini engellemek için Şekil 2.28 'deki gibi geri besleme kondansatörüne paralel bir R_f direnci bağlanır.



Şekil 2.29: Uygulanabilir integral alıcı devre

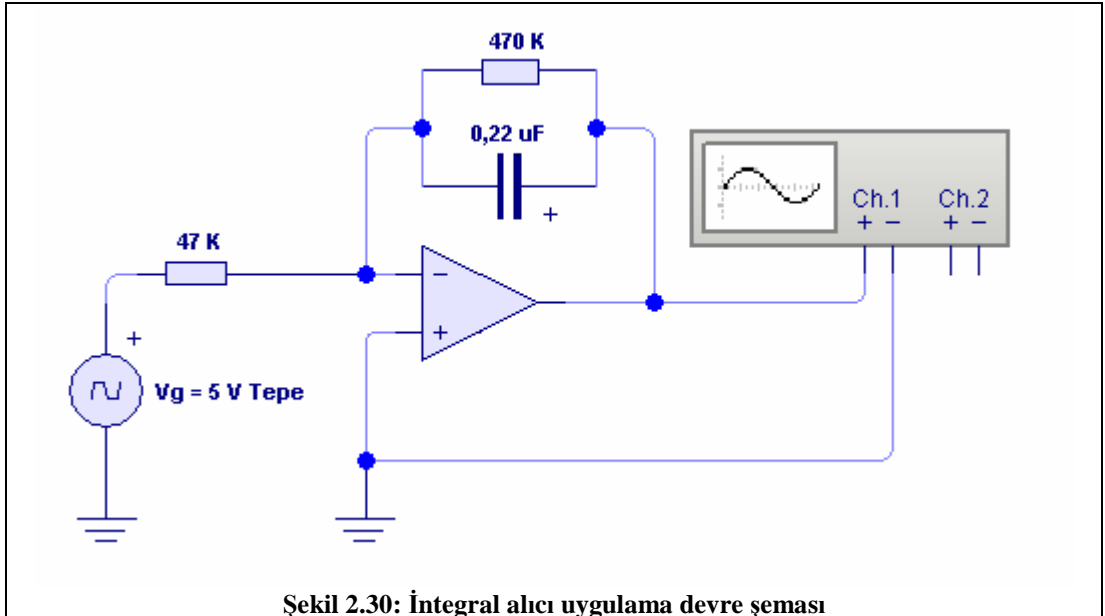
Giriş polarma akımlarının eşit olmayışından dolayı meydana gelebilecek ofset gerilimini ve bu gerilimin etkilerini gidermek amacıyla Şekil 2.29 'daki gibi OP-AMP 'ın faz çevirmeyen (+) girişine şase arasına R_2 gibi bir direnç bağlanır. Aynı zamanda Şekli 2.29 pratikte kullanılan integral alıcı bir devredir. R_2 direncinin değeri,

$$R_2 = R_1 // R_f \text{ olarak bulunur.}$$

İntegral alıcı bir devrenin, girişine uygulanan işaretin integralini alabilmesi için yani devrenin integratör olarak çalışabilmesi için;

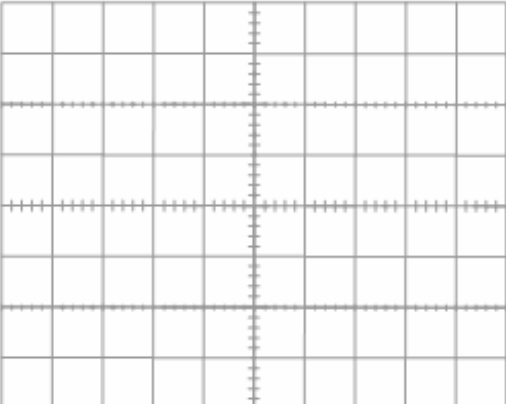
1. $f_{giriş} \geq f_c = 1 / 2\pi R_f C_f$ olmalıdır. (Girişe uygulanan sinyalin frekansı, f_c kritik frekanstan büyük veya eşit olmalıdır.).
2. Devrenin zaman sabitesi ($T = R_1.C_f$) ile girişe uygulanan sinyalin periyodu birbirine eşit veya yakın bir değerde olmalıdır.

Eğer, devrede bu şartlardan birisi veya ikisi sağlanmıyorsa, devre girişine uygulanan sinyalin integralini alamaz, tersleyen (faz çeviren, inverting) yükselteç olarak çalışır. Bu hâliyle devrenin kazancı $-R_f / R_1$ olur.

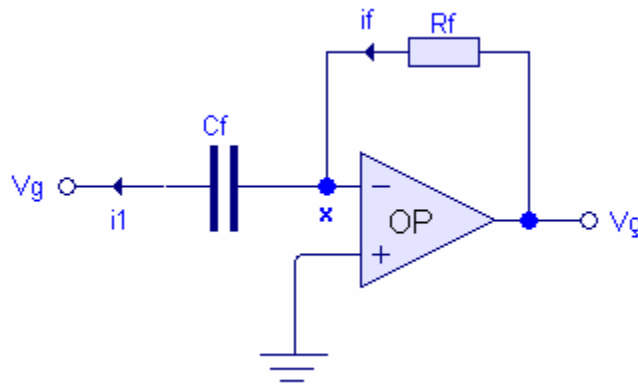


Şekil 2.30: İntegral alıcı uygulama devre şeması

➤ Şekil 2.30'daki devreyi montaj seti üzerine kurunuz.	
➤ Sinyal jeneratörü 10 KHz, 1 V tepe, kare dalga olacak şekilde ayarlayınız. ➤ Besleme gerilimi +, - 10 V	➤ Analog voltmetre kullanıyorsanız, kalibrasyon yapmayı unutmayınız.
➤ Devreye enerji uygulayarak çalıştırınız.	
➤ Giriş ve çıkış sinyallerini osiloskopta izleyerek aşağıdaki boş ekrana çiziniz.	➤ Sinyal alamıyorsanız, bağlantıları ve cihaz ayarlarını kontrol ediniz.

	
<p>➤ Giriş işaretinin frekansını 5 KHz' ye ayarlayınız.</p>	
<p>➤ Osilaskop ekranındaki sinyalleri izleyiniz, ilk elde ettiklerinizle karşılaştırınız.</p>	
<p>➤ Giriş sinyalini 100 Hz' e ayarlayınız.</p>	
<p>➤ Osilaskop ekranındaki sinyalleri izleyiniz. devrenin gerilim kazancını hesaplayarak ekrandaki sonuçla karşılaştırınız. Kazanç, hesaplama ile elde ettiğiniz sonuçla uyumlu mu? Neden?</p>	<p>➤ $A_v = R_f/R_1$ formülünü kullanabilirsiniz.</p>
<p>➤ Devre hangi durumlarda integral alıcı olarak çalışmıştır? Yorumlayınız.</p>	

2.9.2. Türev Alıcı Devresi



Şekil 2.31: Türev alıcı devre

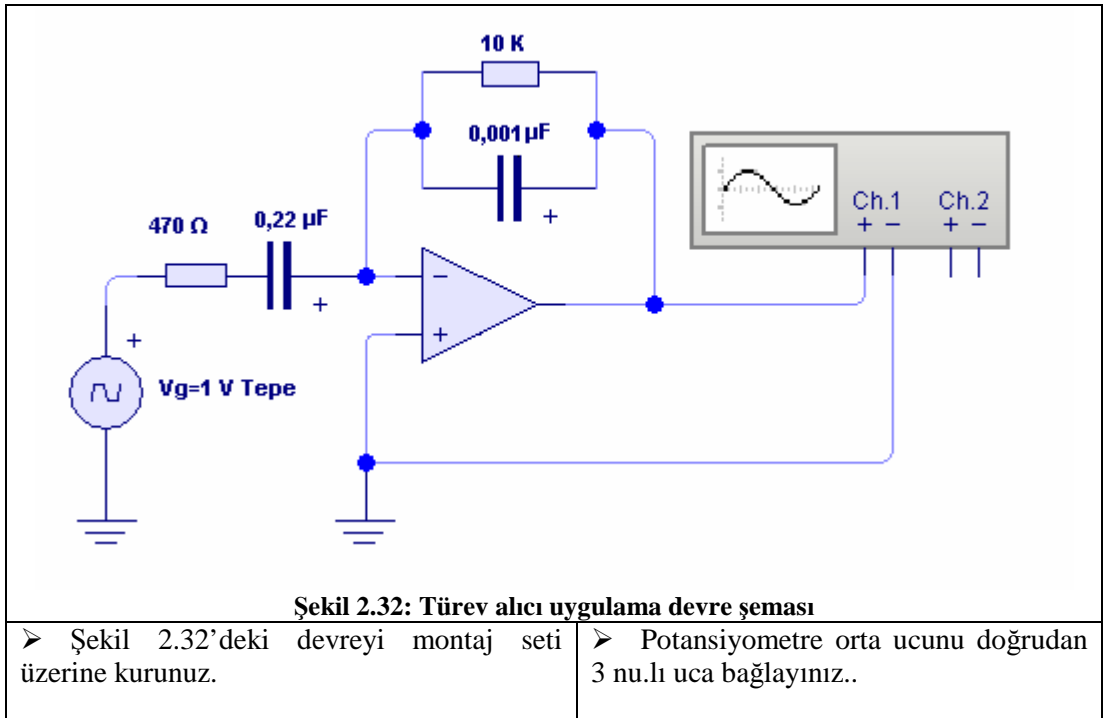
Türev alan devre, girişine uygulanan sinyalin türevini alarak çıkışa aktaran bir devredir. Türev alan devrenin girişine üçgen dalga uygulandığında çıkışından kare dalga, kare dalga uygulandığında ise çıkışından sivriltilmiş dalga elde edilir.

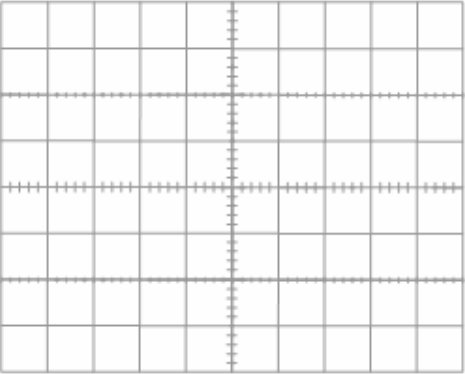
O hâlde, elektronikte üçgen dalganın türevi kare dalga, kare dalganın türevi ise sivriltilmiş dalgadır. İntegral alma işleminin tersi türev alma olduğu için, Şekil 2.27 'deki devrede görüldüğü gibi integratör devredeki direnç ile kondansatörün yeri değiştirilerek Şekil 2.31 'deki gibi bir türev alıcı devre gerçekleştirilir.

Şekil 2.31 'deki devre pratik uygulamalarda kullanılmaya elverişli değildir. Çünkü C1 kondansatörü, yüksek frekanslı giriş sinyallerinde kısa devre özelliği göstererek üzerindeki gerilim düşümü en az seviyede olur ve yükseltecin kazancı artar. Yüksek frekanslı giriş sinyallerinde çıkış işareti maximum seviyeye ulaşır. Vi giriş sinyalinde gürültü mevcut ise devre gürültünün yüksek frekans bölümünü olduğu gibi yükseltir. Bu istenmeyen durumu engellemek için Şekil 2.32' de görüldüğü gibi girişe R1 direnci eklenir. Böylece, devre kazancına yüksek frekanslarda R_f / R_1 oranı gibi bir sınır getirilmiştir. Türev alıcı devrenin, girişine uygulanan işaretin türevini alabilmesi için yani devrenin türevleyici olarak çalışabilmesi için,

1. $f_{giriş} \leq f_c = (1 / 2\pi R_1 C_1)$ olmalıdır. (Girişe uygulanan sinyalin frekansı, f_c kritik frekanstan küçük veya eşit olmalıdır.)
2. Devrenin zaman sabitesi ($T = R_f C_1$) ile girişe uygulanan sinyalin periyodu birbirine eşit veya yakın bir değerde olmalıdır.

Eğer, devrede bu şartlardan birisi veya ikisi sağlanmıyorsa, devre girişine uygulanan sinyalin türevini alamaz, tersleyen (faz çeviren, inverting) yükselteç olarak çalışır. Devrenin kazancı $-R_f / R_1$ olur.



<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal jeneratörü 1 Khz, 1 V tepe, testere dişi dalga olacak şekilde ayarlayınız. ➤ Besleme gerilimi +, - 10 V 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Analog voltmetre kullanıyorsanız, kalibrasyon yapmayı unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devreye enerji uygulayarak çalıştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş ve çıkış sinyallerini osilaskopta izleyerek aşağıdaki boş ekrana çiziniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal alamıyorsanız, bağlantıları ve cihazların ayarlarını kontrol ediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş sinyali frekansını 500 Hz' e ayarlayınız. Giriş çıkış sinyallerini izleyiniz. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Giriş sinyali frekansını 10 Khz' e ayarlayınız, çıkış sinyalini izleyerek diğer sinyallerle karşılaştırınız. 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devrenin gerilim kazancını hesaplayınız, deneyde elde ettiğiniz sonuç ile karşılaştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ $A_v = R_f/R_1$ formülünü kullanabilirsiniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devre hangi durumlarda türev alıcı olarak çalışmıştır? Neden? 	

2.10. Negatif Giriş Kapasiteli Yükselteçler

Elektrotlar biyoelektrik sinyallerin algılanmasında kullanılan, genellikle vücuda yapıştırılabilir veya batırılabilir türdeki algılama elemanlarıdır. Elektrotlar veri alınan dokular ve ölçüm yapan cihazla birlikte bir elektrik devresinin parçasıdır.

2.10.1. Elektrot Kaçak Kapasitesinin Biyopotansiyel Sinyallere Etkisi

Elektrotların elektriksel özellikleri ölçüm yapan devre için oldukça önemlidir. Elektrodun veri alınacak dokuya yapıştırılması veya batırılması durumunda doku ile elektrot plakası arasında bir kaçak kapasite meydana gelir. Bunun yanı sıra elektrot bağlantı kabloları arasında da benzer şekilde bir kaçak kapasite meydana gelmektedir. Bu durumda düşük giriş dirençli bir yükseltece bağlanan elektrot kaçak kapasitelerin etkisi nedeniyle yüksek geçiren bir filtre gibi davranır. Bu da özellikle düşük frekanslı EKG, EMG gibi biyomedikal cihazlarda izlenmek istenen sinyallerde bozulmaya istenmeyen gürültü sinyallerinin ölçüme dâhil olmasına neden olur. Kaçak kapasiteden kaynaklanan olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için negatif giriş kapasiteli yükselteçler kullanılır.

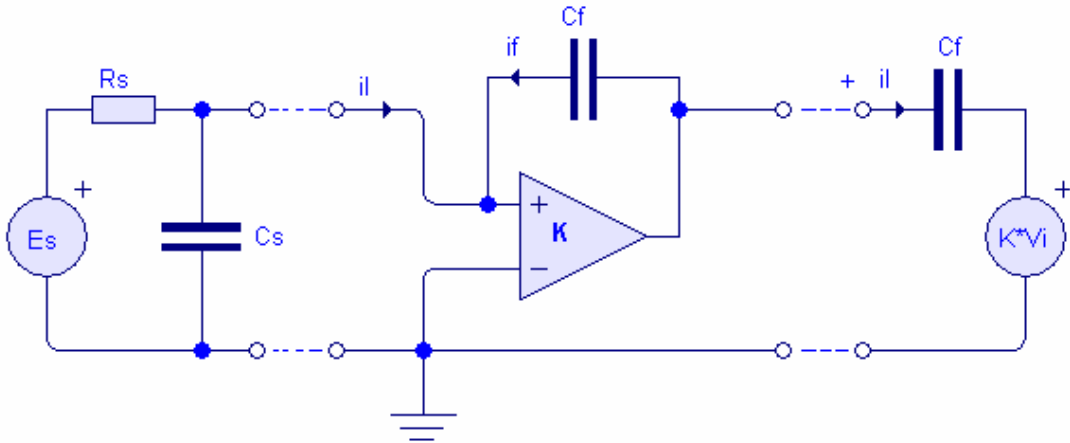
2.10.2. Çalışması

EMG işaretlerinin frekans bandı oldukça geniş olduğundan ve vücut içine batırılır tipten olan mikroelektrotların eş değer devresindeki kapasitenin bir yüksek geçiren filtre görevi görmesinden dolayı, bu işaretlerin kuvvetlendirilmesi sırasında gerek elektrodun gerekse elektrot bağlantı kablosunun eş değer kapasitelerinden kurtulmak gerekir. Bu nedenle negatif giriş kapasiteli kuvvetlendiriciler kullanılır. Şekil 2.33'te negatif giriş kapasiteli bir yükseltecin prensip devresi görülmektedir.

Bu devre aslında bir kompanzasyon devresi olarak da düşünülebilir. Yapılan iş, elektrot ve kablolarından kaynaklanan eş değer kapasiteyi devrenin giriş kapasitesi ile kompanze etmektir.

Devrenin çıkış gerilimi $V_{\text{ç}} = K \cdot V_{\text{g}}$ olarak yazılabilir, eviren girişin toprağa bağlı olması nedeniyle $i_1 = i_f$ olur. Devrede giriş kapasitesi $C_i = -(K-1) \cdot C_f$ ' dir. Devrenin amacı elektrotlardan kaynaklanan kaçak kapasite C_s ' nin ortadan kaldırılması olduğuna göre $C_s + C_i = 0$ eşitliğinin sağlanması gerekir. Bu durumda uygun bir C_f kapasitesi kullanılarak bu eşitlik sağlanmaya çalışılır. Uygun C_f kapasitesi $C_f = C_s / (K-1)$ denklemi ile tespit edilebilir.

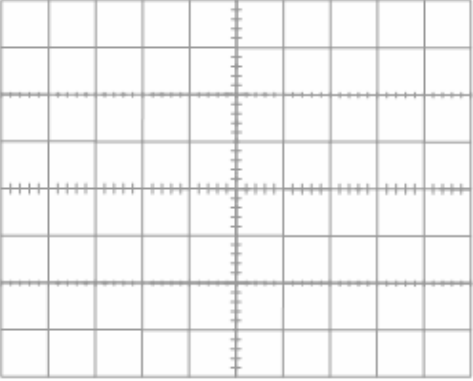
Ancak C_f kapasitesinin pozitif geri besleme yolunda olması ve kazancın $K > 1$ olması nedeniyle kuvvetlendiricinin osilasyon yapma tehlikesi vardır. Bu durumda $C_s + C_i = 0$ şartı osilasyondan kaçınmak için tam olarak yerine getirilemeyebilir. Yine bu pozitif kapasite nedeniyle yükselteç çıkışı gürültüdür. Ancak EMG işaretleri nispeten büyük genlikli olduklarından bu işaretlerin algılanmasında gürültünün fazla etkisi olmaz.



Şekil 2.33: Elektrot kaçak kapasitesinin kompanzasyonu

UYGULAMA FAALİYETİ

İki eviren yükselteç kullanarak devre uygulaması yapmak

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none">➤ Eviren yükselteç devresini seçiniz.➤ Devre elemanlarını seçiniz.➤ Elemanların sağlamlık kontrollerini yapınız.➤ Birinci eviren devreyi board üzerine kurunuz.➤ Devrenin beslemesine uygun güç kaynağına bağlayarak enerji veriniz.➤ Giriş çıkış sinyallerini osilaskop ve multimetre ile ölçünüz.➤ İkinci eviren devresini board üzerine kurunuz.➤ Devrenin beslemesine uygun güç kaynağına bağlayarak enerji veriniz.➤ Giriş çıkış sinyallerini osilaskop ve multimetre ile ölçünüz.➤ Birinci devresin çıkışını, ikinci devre girişine uygulayınız.➤ Birinci devre girişi ile ikinci devre çıkışını ölçünüz. 	<ul style="list-style-type: none">➤ İki eviren devresi için X2 malzeme sayısı temin ediniz.➤ Devre dizaynında besleme verilen noktaları, bağlantı noktalarını düzenli yerleştiriniz.➤ Tasarımın sadece devreyi çalıştırmak değil, görünüş, maliyet, incelik hatta sanat içerdiğini unutmayınız.➤ Çıkış dalga şekillerini alt alta çizmeyi unutmayınız.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Aşağıda hazırlanan değerlendirme ölçeğine göre yaptığınız çalışmayı değerlendiriniz. Gerçekleşme düzeyine göre “Evet / Hayır“ seçeneklerinden uygun olan kutucuğu işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ		Evet	Hayır
1	Eviren yükselteç devresini seçtiniz mi?		
2	Devre elemanlarını seçtiniz mi?		
3	Elemanların sağlamlık kontrollerini yaptınız mı?		
4	Birinci eviren devreyi board üzerine kurdunuz mu?		
5	Devrenin beslemesine uygun güç kaynağına bağlayarak enerji verdiniz mi?		
6	Giriş çıkış sinyallerini osilaskop ve multimetre ile ölçtünüz mü?		
7	İkinci eviren devresini board üzerine kurdunuz mu?		
8	Devrenin beslemesine uygun güç kaynağını bağlayarak enerji verdiniz mi?		
9	Giriş çıkış sinyallerini osilaskop ve multimetre ile ölçtünüz mü?		
10	Birinci devrenin çıkışını, ikinci devre girişine uyguladınız mı?		
11	Birinci devre girişi ile ikinci devre çıkışını ölçtünüz mü?		

DEĞERLENDİRME

Uygulama faaliyetinde yapmış olduğunuz çalışmayı kontrol listesine göre değerlendiriniz.

Yapmış olduğunuz değerlendirme sonunda eksikler varsa, faaliyete dönerek ilgili konuyu tekrarlayınız.

ÖLÇME DEĞERLENDİRME

1. Gerilim izleyici devre için hangisi yanlıştır?
A) Tampon olarak kullanılır. B) Yüksek giriş direncine sahiptir.
C) Kazancı ayarlanabilir. D) Negatif geri beslemelidir.
2. İzolasyon yükselteçlerinde hangi tür izolasyon tercih edilir?
A) Optik B) Kapasitif C) Omik D) Termik
3. Eviren yükselteç devresi için hangisi yanlıştır?
A) Kazancı dirençlerle ayarlanır. B) Yüksek giriş direncine sahiptir.
C) Bölücü ve çarpıcı yapılabilir. D) Pozitif geri beslemelidir.
4. Sinüs sinyali kare dalgaya dönüştürmek için hangi işlemsel yükselteçli devre kullanılabilir?
A) Evirmeyen B) Türev C) Logaritma D) Karşılaştırıcı

5-10. sorular doğru yanlış ifadeleri olarak düzenlenmiştir. Önlerinde bırakılan boşluklara ifade doğru ise “D” yanlış ise “Y” harfini yazınız.

5. () Eviren yükselteç devresinde kazanç sonsuzdur.
6. () Evirmeyen yükselteci bir bölme devresi olarak programlayabiliriz.
7. () Bir integral devresi kare dalgayı üçgen dalgaya çevirebilir.
8. () İzolasyon yükselteçlerinin hasta güvenliği açısından önemi yoktur.
9. () Enstrümantasyon yükselteçlerinde CMRR oranı düşüktür.
10. () 100 mA'lık bir akım hastanın ölümüne sebep olabilir.

DEĞERLENDİRME

Sorulara verdiğiniz cevaplar ile cevap anahtarını karşılaştırınız, cevaplarınız doğru ise modül değerlendirmeye geçiniz. Yanlış cevap verdiyseniz öğrenme faaliyetinin ilgili bölümüne dönerek konuyu tekrar ediniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başındaki boşluğa, ifade doğru ise (D) yanlış ise (Y) koyunuz.

1. () Yükselteçler, girişine uygulanan sinyalin akım ya da gerilimini yükselterek bir güç kazancı sağlayan devrelerdir.
2. () İntegral devresinin girişine kare dalga uygulandığında devrenin çıkışından üçgen dalga elde edilir.
3. () Türev alan devre, girişine uygulanan sinyali evirerek çıkışa aktaran bir devredir.
4. () Kapasitif kaçak akım bir metal şasi ve bir tel arasında veya iki tel arasında dağıtılmış kapasiteden dolayı oluşur.
5. () Logaritmik yükselteç devresinde geri besleme elemanı olarak bir bobin kullanılmaktadır.
6. () Düşük giriş dirençli bir yükseltece bağlanan elektrot kaçak kapasitelerin etkisi nedeniyle yüksek geçiren bir filtre gibi davranır.
7. () İşlemsel yükselteç geri beslemesiz olarak çalıştırıldığında kazancı 10 gibi alçak değerlere iner.
8. () Bir biyopotansiyel yükseltecin bant genişliği, ilgilenilen fizyolojik sinyallerin tümünün zayıflamaya uğramadan yükseltebilecek şekilde dar olmalıdır.
9. Aşağıdakilerden hangisi biyopotansiyel yükselteçte arzulanan özelliklerindendir?
I-Yüksek kazanç
II-İstenilen işi yapmaya uygun, değişken kazanç
III-Düşük gürültü
VI-Yüksek CMRR ortak işaret bastırma oranı
V-Çok düşük giriş empedansı
A) I, II, III B) I,VI, V C) I,II, III, V D) I,II, III, IV

YETERLİK TESTİ

Modül ile kazanılan yeterliği aşağıdaki ölçütlere göre değerlendiriniz.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Biyolojik işaretleri analog işleyen devreleri kullanım amacına göre seçebilme		
1. Yükselteç ve görevlerini tanımlayabildiniz mi?		
2. Biyopotansiyel yükselteci tanımlayabildiniz mi?		
3. Biyopotansiyel yükselteçten beklenen özellikleri açıklayabildiniz mi?		
4. Yükselteçlerde kazancı tanımlayabildiniz mi?		
5. Giriş ve çıkış direncini açıklayabildiniz mi?		
6. İşlemsel yükseltecin bağlantı terminallerini doğru gösterebildiniz mi?		
7. İşlemsel yükseltecin ideal -ideal olmayan özelliklerini sayabildiniz mi?		
8. Farklı kılıf şekillerini ayırt edebildiniz mi?		
9. Bant genişliği ve biyopotansiyel işaretlerin ilişkisini açıklayabildiniz mi?		
10. Ofset ayarının önemini açıklayabildiniz mi?		
11. Gürültü ve bastırılmasının önemini açıklayabildiniz mi?		
12. Ürün bilgi sayfalarının kullanımını açıklayabildiniz mi?		
13. Online katalog ve kaynakları kullanabildiniz mi?		
Biyolojik işaretleri analog işleyen devreleri kurabilme, çalıştırabilme ölçümler alabilme		
1. Belirtilen özellikte yükselteç tasarlayabildiniz mi?		
2. Modülde verilen yükselteç devrelerini kurup çalıştırabildiniz mi?		
3. Modülde verilen devrelerin özelliklerini açıklayabildiniz mi?		
4. İzolasyon ve hasta güvenliğinin önemini açıklayabildiniz mi?		
5. Elektrot kaçak kapasitelerin biyopotansiyel sinyallere etkisini açıklayabildiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızın tamamı Evet ise modülü tamamladınız. Yanlışlarınız için faaliyetin ilgili konularını tekrar ediniz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1 CEVAP ANAHTARI

1	B
2	C
3	C
4	KAZANÇ
5	Y
6	Y
7	D
8	D
9	D
10	Y

ÖĞRENME FAALİYETİ-2 CEVAP ANAHTARI

1	C
2	A
3	D
4	D
5	Y
6	Y
7	D
8	Y
9	Y
10	D

MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

1	D
2	D
3	Y
4	D
5	Y
6	D
7	Y
8	Y
9	D

ÖNERİLEN KAYNAKLAR

- ISBN 0-7506-7844-5, Analog Devices, Inc, 2005.
- TAPLAMACIOĞLU, M, Lami, **Elektronik Mühendisliği Cilt 1-2**, MEB
- KURTULDU Şaban, **İleri Elektronik Dijital 1**, Ders Kitabı, Çınarlı ATL ve EML, İzmir, 1991.
- DUTAR Celal, **Transistör Esasları**, Ders Kitabı, İzmir, 1990.
- KÜÇÜK Serdar, **Elektronik**, Ders Kitabı, Yüce Yayınları, İstanbul, 2003.
- <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>, Silisyum.net Web Sitesi

KAYNAKÇA

- Cristalli C., Manzoni A. “**Basics of Blood Gas Instrumentation.**”**The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition.** Ed. Joseph D. Bronzino Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- Jung, Walter **G.Op Amp applications handbook**/by Walt Jung. p.cm –(Analog Devices series)
- ISBN 0–7506–7844–5, Analog Devices, Inc, 2005.
- **Handbook Of Operational Amplifier Applications**, Texas Instruments, 2001.
- Op-Amp For Everyone, Texas Instruments, 2002.
- David Prutchi, Michael Norris, Design And Development Of Medical Electronic, Instrumentation, John Wiley & Sons, Inc. 2005.
- EFE Mustafa, **Ders Notları**, Gebze Anadolu Teknik Lisesi Tıp Elektroniği Bölümü Öğretmeni, 1990.
- DUTAR Celal, **Transistör Esasları**, Ders Kitabı, İzmir, 1990.
- TAPLAMACIOĞLU M, Lami, **Elektronik Mühendisliği Cilt 1–2**, MEB Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları, Ankara, 1976.
- KORÜREK Mehmet, **Tıp Elektroniğinde Kullanılan Kuvvetlendiriciler ve Dönüştürücüler**, İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Yayınları, 1988.
- ASELSAN **OP-AMP Prensipleri**, Askeri Elektronik Sanayi ve Tic. AŞ Ankara, 1985.
- KURTULDU Şaban, **İleri Elektronik Dijital 1**, Ders Kitabı, Çınarlı ATL ve EML, İZMİR, 1991.
- Boylestad R, Nashelsky L, **Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi**, MEB, Ankara, 1994.
- Wong Yu Jen, Ott, William E., Function Circuits, Burr-Brown Research Corporation, Kingsport Press, USA, 1976.
- Graeme Jerald G. Designing With Operational Amplifiers, Burr-Brown Research Corporation, Kingsport Press, USA, 1977.

- KÜÇÜK Serdar, **Elektronik**, Ders Kitabı, Yüce Yayınları, İstanbul, 2003.
- TUBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi Web Sitesi
- <http://www.silisyum.net/htm/opamp/opamp.htm>, Ankara Telsiz ve Radyo Amatörleri Cemiyeti Web Sitesi
- <http://www.antrak.org.tr/gazete/102000/sahin.htm>, National Semiconductor Web Sitesi
- www.national.com, Georgia State University Web Sitesi
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/opampcon.html>, Online Op-Amp tasarım sitesi
- <http://www.vwlowen.demon.co.uk/java/opamp.htm>, Tony Van Roons 741 Op-Amp Tutorial
- <http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/741/741.html>, Ecircuit center
- <http://www.ecircuitcenter.com/Circuits.htm>, Analog Computer Museum and History Center
- <http://dcoward.best.vwh.net/analog/>, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü EDT laboratuvarı Web Sitesi
- <http://www.ehm.yildiz.edu.tr/EDTlab.html>