

T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



# MEGEP

(MESLEKÎ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN  
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

**ELEKTRİK ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ**

**İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER**

ANKARA 2007

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. İŞLEMSEL YÜKSELTECİN YAPISI.....	3
1.1. Yükselteçlerin Genel Özellikleri.....	3
1.1.1. Kazanç .....	5
1.1.2. Giriş Direnci .....	5
1.1.3. Çıkış Direnci .....	6
1.2. İşlemsel Yükselteçlerin Özellikleri .....	6
1.2.1. İşlemsel Yükselteçlerin Kullanım Alanları.....	8
1.2.2. İşlemsel Yükseltecin Yapısı ve Çalışması .....	9
1.2.3. İdeal İşlemsel Yükseltecin Özellikleri.....	12
1.2.4. Pratik İşlemsel Yükseltecin Özellikleri .....	12
1.2.5. İşlemsel Yükseltecin Sembölü ve Ayak Bağlantıları .....	18
1.2.6. İşlemsel Yükselteçlerin Beslenmesi.....	20
1.2.7. İşlemsel Yükselteçlerin Kılıf Şekilleri .....	21
1.2.8. Ürün Bilgi Sayfaları .....	21
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	24
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	25
2. İŞLEMSEL YÜKSELTEÇ UYGULAMALARI.....	25
2.1. Geri Besleme .....	25
2.1.1. Pozitif Geri Besleme .....	25
2.1.2. Negatif Geri Besleme .....	26
2.1.3. Negatif Geri Besleme Prensipleri, Avantaj ve Dezavantajları.....	27
2.2. İşlemsel Yükseltecin Eviren Yükselteç Olarak Kullanılması .....	30
2.2.1. Eviren Yükseltecin İncelenmesi.....	33
2.3. İşlemsel Yükseltecin Karşılaştırmacı Açık Döngü Kullanımı.....	37
2.3.1. Karşılaştırmacı Devrenin İncelenmesi .....	37
2.3.2. Karşılaştırmacı Yükselteç Uygulaması .....	39
2.3.3. Karşılaştırmacının Kontrol Devresi Olarak Kullanılması .....	41
2.3.4. Karşılaştırmacının Isı-Işık Kontrol Devresi Olarak Kullanılması .....	42
2.4. İşlemsel Yükseltecin Evirmeyen Yükselteç Olarak Kullanılması .....	44
2.4.1. Evirmeyen Yükseltecin İncelenmesi .....	45
2.4.2. İşlemsel Yükselteç İle Yapılan Evirmeyen Yükselteç Uygulaması .....	45
2.5. İşlemsel Yükseltecin Toplayıcı Olarak Kullanılması .....	48
2.5.1. Toplayıcı Devrenin İncelenmesi .....	49
2.5.2. İşlemsel Yükselteç İle Yapılan Toplayıcı Devresi Uygulaması.....	50
2.6. İşlemsel Yükseltecin Gerilim İzleyici Olarak Kullanılması .....	51
2.6.1. Gerilim İzleyici Devrenin İncelenmesi .....	51
2.6.2. İşlemsel Yükselteç İle Gerilim İzleyici Uygulaması .....	52
2.7. İşlemsel Yükseltecin Fark Yükselteci Olarak Kullanılması .....	54
2.7.1. Fark Yükseltecinin İncelenmesi.....	55
2.7.2. İşlemsel Yükselteç İle Fark Yükselteci Uygulaması .....	55
2.8. İşlemsel Yükseltecin Aktif Filtre Olarak Kullanılması .....	57
2.8.1. Aktif Filtre Devrelerinin İncelenmesi .....	57
2.8.2. İşlemsel Yükselteç İle Alçak Geçiren Filtre Uygulaması.....	58

2.8.3. İşlemsel Yükselteç ile Yüksek Geçiren Filtre Devresi Uygulaması .....	61
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	64
MODÜL DEĞERLENDİRME.....	65
CEVAP ANAHTARLARI .....	66
KAYNAKLAR .....	68

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>523EO0009</b>
<b>ALAN</b>	<b>Elektrik Elektronik Teknolojisi</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Alan Ortak</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>İşlemsel Yükselteçler</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Elektrik Elektronik Teknolojisi alanında yaygın olarak kullanılan İşlemsel Yükselteçlerin temellerinin anlatıldığı ve uygulama faaliyetlerinin yer aldığı öğrenme metaryelidir.
<b>SÜRE</b>	40/32
<b>ÖN KOŞUL</b>	
<b>YETERLİK</b>	İşlemsel yükselteçleri elektronik devrelerde kullanmak.
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Küçük-orta ve büyük ölçekli işletmelerde TSE, ISO, işletme standartlarına ve şartnamelere uygun olarak işlemsel yükselteçleri tanıyıp kurabileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. İşlemsel yükselteçlerin genel yapısı ve fiziksel özelliklerini tanıyıp ürün bilgi sayfasındaki özellikler doğrultusunda devreye uygun işlemsel yükselteci seçebileceksiniz.</li><li>2. İstenen çalışmayı gerçekleştiren işlemsel yükselteç devresinin tasarımını ve uygulamasını yapabileceksiniz.</li></ol>
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam</b> Yeterli derecede aydınlatılmış ve iş güvenliği tedbirleri alınmış, atölye, labaratuvar, işletme, sınıf, çalışma odası <b>Donanım</b> İşlemsel yükselteçler, deney setleri, portatif montaj setleri, osilaskop, sinyal kaynağı, güç kaynağı, avometre, çalışma masası, bilgisayar, internet.
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra, verilen ölçme araçlarıyla kazandığınız bilgileri ölçerek kendi kendinizi değerlendirebileceksiniz. Öğretmeniniz, modül sonunda size çeşitli ölçme araçları (kısa soru uzun cevap, proje çalışması, uygulamalı sınav, çoktan seçmeli test, doğru yanlış vb.) ile modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri değerlendirecektir.



# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

Elektrik akış teorisini ortaya koyan Amerikalı bilim adamı Benjamin Franklin (1706-1790)' dan günümüze, elektrik elektronik teknolojisi baş döndürücü bir şekilde gelişmiş ve hayatımızın her alanına hükmetmeyi başarmıştır. Bugün farkında olmadan yaşamımızın bir parçası haline gelen pek çok sistemin arka planında kusursuz çalışan elektronik devreler bulunmaktadır.

Bir an için bilgisayar, telefon, televizyon, radyo, tıbbi cihazlar, internet, hesap makinası, elektronik saatler, ulaşım araçlarındaki elektronik devreler, endüstriyel otomasyon sistemleri, elektronik uçuş sistemleri vb. elektronik sistemlerin olmadığını düşünelim. Hayatımızın elektrik-elektronik teknolojisi sayesinde ne kadar kolaylaştığını ve bu sistemlerin hayatımızın vazgeçilmez birer parçaları olduğunu anlayabiliriz.

Elinizdeki modül, elektroniğin harika çocukları diyebileceğimiz “İşlemsel Yükselteçleri” (Op-Amp) incelemektedir. Harika çocuk dedik çünkü, işlemsel yükselteçler, sadece bir yükselteç (Amplifikatör) değildir. Toplama, çıkarma gibi basit aritmetik işlemlerden türev, integral, logaritma alma gibi ileri matematik işlemlerine, regülatörden, osilatöre ve karar devrelerine kadar çok geniş bir kullanım alanına sahip programlanabilir, analog bilgisayar işlemleri yapabilen devrelerdir.

Bu modülde “İşlemsel Yükselteçler”in temelleri ve yaygın kullanımları incelenmektedir. Birinci bölümde işlemsel yükselteçlerin yapısı ve temel özellikleri incelenmiştir. İkinci bölümde ise ağırlıklı olarak uygulama faaliyetlerine yer verilmiştir.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

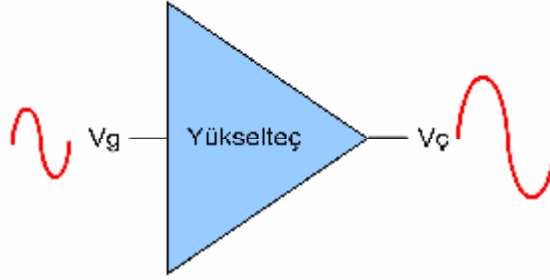
Bu faaliyette verilen bilgiler doğrultusunda işlemsel yükselteçlerin genel yapısı ve temel özelliklerini tanıyıp, ürün bilgi sayfasındaki özellikler doğrultusunda devreye uygun işlemsel yükselteci seçebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Ø Bilgisayara Giriş dersinde, bilgisayarların sayısal ve analog bilgisayar olarak sınıflandırıldıklarını hatırlayınız. Analog bilgisayarlar hakkında bir ön araştırma yapınız. Bilgisayar kavramının dilimize İngilizce Computer kelimesinin karşılığı olarak geçtiğini ve bu kelimenin aslında hesaplayıcı anlamına geldiğini hatırlayınız. Çevrenizde kullanılan hesaplama araçları hakkında bilgi toplayınız. Ne tür hesaplamalar yaptığının bir listesini hazırlayınız. **Analog Devre Elemanları** modülündeki **Transistörlü Yükselteçler** hakkında aldığınız bilgileri hatırlayınız. Yükselteç devrelerinde transistör dışında kullanılan devre elemanlarını araştırınız. Hazırladığınız raporu arkadaşlarınızla tartışınız.

## 1. İŞLEMSEL YÜKSELTECİN YAPISI

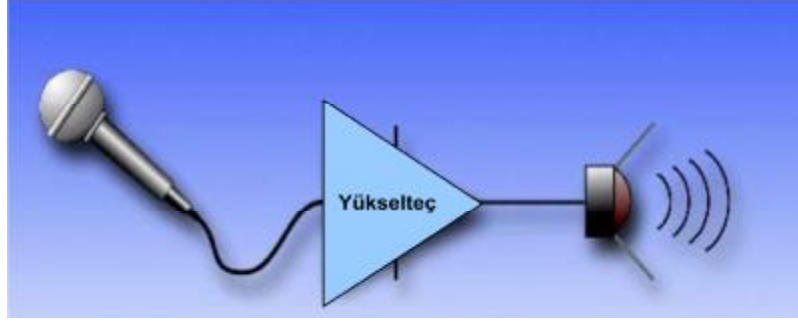
### 1.1. Yükselteçlerin Genel Özellikleri



Şekil 1.1: Yükselteç sembolü ve yükseltme

Elektronik sistemlerle işlenecek sinyallerin hemen hepsi düşük genlikli yani zayıf sinyallerdir. Örneğin insan vücudundan alınan biyoelektrik sinyaller ya da cep telefonumuza ulaşan elektromanyetik dalgalar son derece zayıf elektriksel sinyallerdir. Elektronik sistemlerin pek çoğunda yeterli derecede yükseltilmiş elektriksel sinyallere ihtiyaç duyulur. Elektriksel sinyallerin istenilen derecede kuvvetlendirilmesi için yükselteç (amplifikatör) devreleri kullanılır. Yükselteçler akım ya da gerilim, dolayısıyla güç kazancı sağlamak amacıyla kullanılan devrelerdir. Şekil 1.1'de bir yükseltecin sembolü görülmektedir.

Yükselteç, girişine uygulanan küçük elektriksel sinyalleri, kaynaktan aldığı enerjiyi de kullanarak, devresindeki aktif devre elemanları yardımıyla çıkışına büyütülmüş olarak aktarır. Bunu yaparken güç kaynağından almış olduğu enerjiyi giriş sinyaliyle aynı özellikte, fakat güçlendirilmiş bir çıkış sinyali elde etmek üzere işler. Yani yükseltecin çıkışından alınan elektriksel sinyalin gücü, girişine uygulanan sinyalin gücünden daha büyüktür.



**Şekil 1.2: Ses yükseltme işlemi**

Bir spor salonunda oynanan maçla ilgili anonsların kalabalık bir seyirci topluluğuna duyurulabilmesi amacıyla ses yükselteçleri kullanılır. Ses yükselteçleri mikrofon ile hoparlör arasında çalışır ve herkes tarafından duyulabilmesi için ses gücünü yükseltir. Yükselteçler girişlerine uygulanan sinyalin akım ya da gerilimini yükseltmek suretiyle çıkışta bir güç kazancı sağlar. Şekil 1.2’de bir ses yükseltecinin çalışma prensibi canlandırılmıştır.

Elektrik elektronik teknolojisinde ihtiyaca göre pek çok türden yükselteç kullanılmaktadır. Çalışma şekline göre, kullanım şekline göre, bağlantı şekline göre, frekans durumuna göre, yükün rezonans durumuna göre yükselteçleri sınıflandırabiliriz.

- Ø Düşük frekans yükselteçleri
- Ø Ses frekans yükselteçleri
- Ø Ultrasonik yükselteçler
- Ø Radyo frekans yükselteçleri
- Ø Geniş band yükselteçleri
- Ø Video yükselteçleri
- Ø Enstrümantasyon yükselteçleri
- Ø Küçük sinyal yükselteçleri
- Ø Büyük sinyal yükselteçleri

Her sistemin çalışma standartlarını ifade eden bazı özellikleri vardır. Bu özellikler sistemin tanımlanmasında kolaylıklar sağlamaktadır.

### 1.1.1. Kazanç

Yükseltecin girişine uygulanan sinyalin çıkışta ne kadar yükseltildiği “kazanç katsayısı” ile ifade edilir. Kazanç katsayısı ürün bilgi sayfalarında G (gain) ya da Av (Amplitude voltage) olarak gösterilmekte olup, bundan sonraki bölümlerde biz K olarak kullanacağız. Kazanç bir sisteme verilen girdinin çıkışta ne kadar arttığını ifade eden bir katsayıdır ve birimsizdir. Herhangi bir sistemin kazanç katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

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

**Örnek:** Bir elektronik parça satıcısı 5 YTL ye almış olduğu entegre devreyi 10 YTL ye satmaktadır. Satıcının kazanç katsayısı/oranı nedir.

$$K = \frac{10 \text{ YTL}}{5 \text{ YTL}} = 2$$

YTL para biriminin hem bölen hem de bölünen kısımda olduğuna dikkat ediniz. Bölme sonucunda YTL’ ler birbirini götürür, sonuç bir katsayıdan ibarettir ve birimsizdir.

Kazanç katsayısı 2 olan satıcı bu entegreleri 7 YTL’ ye aldığına kaç YTL’ ye satması gerekir.

$$\text{Çıkış} = \text{Giriş} * K$$

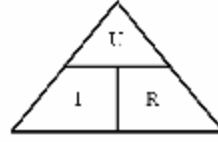
$$\text{Çıkış} = 7 \text{ YTL} * 2 = 14 \text{ YTL}$$

**NOT:** Yükselteçlerle ilgili ayrıntılı bilgi için “Analog Devre Elemanları” modülüne bakınız.

### 1.1.2. Giriş Direnci

Birden fazla elektronik devre art arda bağlandığında, kaynak devrenin çıkışından, 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.

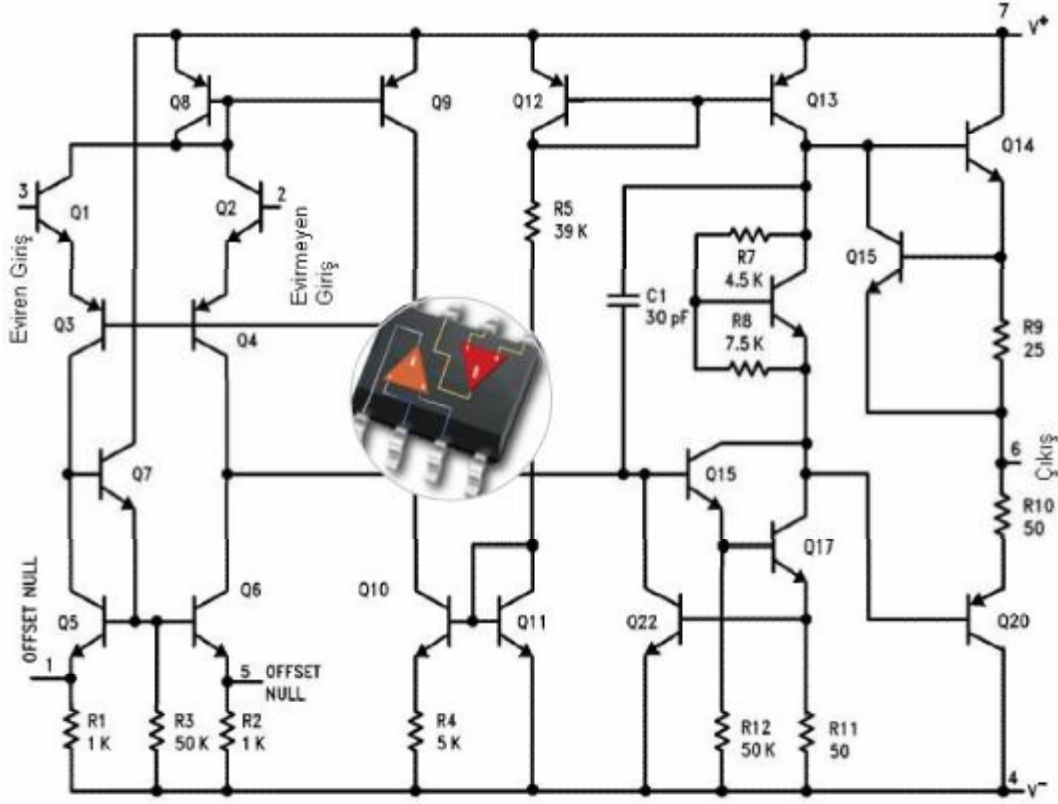
### 1.1.3. Çıkış Direnci

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 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  $R_c$  olarak kullanacağız.

## 1.2. İşlemsel Yükselteçlerin Özellikleri

İşlemsel yükselteçlerin temel özellikleri arasında, son derece yüksek gerilim kazancı, yüksek giriş direnci ve düşük çıkış direnci, sayılabilir. İç devre yapısı tek bir yonga üzerine bir ila dört adet işlemsel yükselteç oluşturabilmek için, yüzlerce son derece küçük transistör ve devre elemanından oluşur. Bu devreler sadece BJT (bipolar junction transistor), JFET (junction field effect transistor) ya da MOSFET (metal oxide semiconductor FET) kullanılarak yapılabilir. Günümüzde yüksek giriş dirençleri nedeniyle JFET işlemsel yükselteçler yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.3' te en çok kullanılan LM741 işlemsel yükseltecinin iç devre şeması görülmektedir.



Şekil 1.3: LM741 işlemsel yükseltecinin iç devre şeması

İşlemsel yükselteçler 1940'lı yıllardan beri bilinmektedir. Ancak, bu devrelerin yapımında direnç, kondansatör, transistör gibi pek çok devre elemanı gerektiğinden ve iç devrelerinin oldukça karmaşık olmasından dolayı çok gerekmedikçe kullanılmamışlardır. 1960'lı yılların sonlarına doğru entegre teknolojisinin gelişimiyle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır. Bugün artık işlemsel yükselteç denildiğinde tümeşik devre halinde olanlar akla gelmektedir.

İşlemsel yükselteç İngilizceden dilimize "operational amplifier" kelimelerinin karşılığı olarak geçmiştir ve kısaca op-amp olarak kullanılmaktadır. Biz bundan sonraki bölümlerde işlemsel yükselteç ifadesini kullanacağız. İşlemsel yükselteçler yüksek kazançlı, kazancı geri besleme ile ayarlanabilen, iki ayrı girişi olan yükselteçlerdir. Çok amaçlı kullanılan devreler olduğundan işlemsel (Operational) denilmiştir. İşlemsel yükselteç üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, giriş devresini oluşturan diferansiyel (fark) devresi, gerilim yükselteci ve çıkış yükselteç devreleridir.

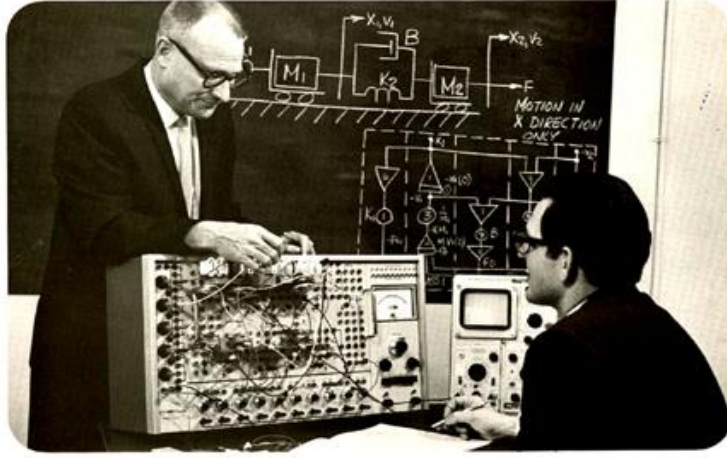
Genel olarak işlemsel yükselteç, çok yüksek (teorik olarak sonsuz) kazançlı bir DC yükselteçtir. Bu entegrelere dışarıdan bağlanan direnç ve kondansatör gibi bir kaç devre elemanı ile kazancı kontrol edilebilmektedir. İşlemsel yükselteçler ile uygun tasarım metotları ve devre elemanları kullanıldığında hemen hemen yapılamayacak devre yok gibidir.

### 1.2.1. İşlemsel Yükselteçlerin Kullanım Alanları

İşlemsel yükselteçlerin kullanım alanları oldukça geniş bir yelpazeye dağılmakta ve elektronğin her dalında çeşitli tip ve özellikteki işlemsel yükselteçler kullanılmaktadır. Başlıklar halinde kullanıldıkları alanları inceleyecek olursak,

#### Ø Analog Bilgisayar İşlemleri

Toplama, çıkarma, bölme, çarpma, türev alma, integral alma, logaritma alma, üs alma ve trigonometrik fonksiyonlardır. Şekil 1.4. SD-3300 analog bilgisayar, yapımında 6 yükselteç, 5 integral alıcı, 1 toplayıcı, 15 potansiyometre kullanılmış, çıkış birimi ise bir voltmetreden oluşmaktaydı. <http://dcoward.best.vwh.net/analog/> web sitesini ziyaret ederek analog bilgisayarlar hakkında ayrıntılı bilgi edinebilirsiniz.



Şekil 1.4: Systron Donner Concord, California SD-3300 eğitim amaçlı analog bilgisayar

#### Ø Yükselteç İşlemleri

Enstrumantasyon (ölçme) yükselteci, ses frekans yükselteci, motor kontrol yükselteçleri ve basit yükselteç devreleridir.

#### Ø Dalga Şekillendirici İşlemleri

Kırpıcı, sinüs - kare dalga dönüştürücü, kare - üçgen dalga dönüştürücü ve kenetleyicilerdir.

#### Ø Regülasyon İşlemleri

Voltaj regülasyon işlemleri (RMS),-DC dönüştürücü, gerilim çoklayıcı işlemleri ve konvertisör işlemleridir.

#### Ø Veri Transfer İşlemleri

Gerilim frekans dönüştürücü ve kablolu veri transfer devreleridir.

#### Ø Sinyal Analiz İşlemleri

Özel karşılaştırma işlemleri, pencere karşılaştırıcı, tepe dedektörü ve gerilim dağıtıcı.

### Ø Sinyal Üreteç İşlemleri

Wien köprü osilatörü, kare dalga ve üçgen dalga üretici, testere dişi ve darbe üretici, merdiven dalga üretici, gerilim kontrollü frekans üretici işlemleri, modülasyon işlemleri ve zamanlama devreleri.

### Ø Test ve Ölçme İşlemleri

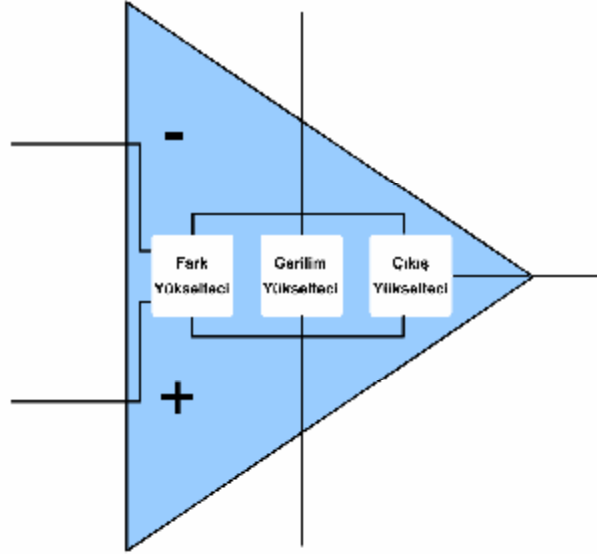
Akım, gerilim, direnç, frekans, faz, kapasite, güç, transistör test, opamp test, ısı ve diğer fiziksel büyüklükler ölçme devreleri.

### Ø Filtre İşlemleri

Aktif filtre işlemleri, alt geçiren, üst geçiren, band geçiren filtre, işlemleri.

İşlemsel yükselteçlerin kullanım alanları burada listelenen konularla sınırlı olmayıp, uygulamada pek çok alanda kullanılmaktadır. İşlemsel yükselteçlerin kullanım alanları sadece tasarımların hayal gücü ile sınırlıdır.

## 1.2.2. İşlemsel Yükseltecin Yapısı ve Çalışması



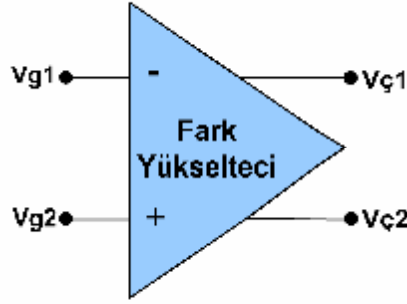
Şekil 1.5: İşlemsel yükseltecin fonksiyonel blok şeması

Şekil 1.3'te de görüldüğü gibi işlemsel yükselteçlerin iç yapıları 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.

### 1.2.2.1. 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 1.6'da iki girişli temel bir fark yükseltici devresi görülmektedir. Bu devrelere fark yükseltici denmesinin nedeni, girişlerine uygulanan iki sinyalin farkıyla orantılı bir çıkış sinyali üretmeleridir.

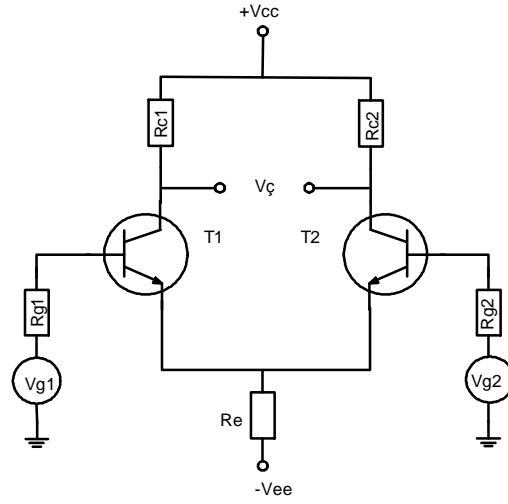
Şekil 1.7'de ise temel fark yükselticinin açık devre şeması görülmektedir. Açık devre şemasında gördüğümüz gibi girişler iki ayrı transistörün beyzine uygulanır. Çıkışlar ise transistörlerin kollektör uçlarından alınmıştır.



Şekil 1.6: Fark yükseltici sembolü

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 1.7'deki devreyi tam olarak dengelenmiş yani bütün devre elemanlarının ideal ve eş değer olduklarını düşünmemiz gerekir.





**Şekil 1.7: 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  $V_{ç}=0$  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 kollektörlerindeki gerilimler birbirine eşit olduğundan iki uç arasında bir potansiyel fark bulunmayacaktır. Dolayısıyla bir voltmetre ile kollektörden kollektöre gerilimi ölçtüğümüzde 0 V görürüz. Bu duruma devrenin denge hali denir.

Devrenin giriş gerilimlerini değiştirirsek, örneğin  $V_{g2}$  sabit tutulup  $V_{g1}$  değiştirilirse çıkış gerilimi  $V_{ç}$  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  $V_{ç}$   $V_{g2}$  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.

### 1.2.2.2. Gerilim Yükseltici

Gerilim yükseltici istenilen yüksek kazancı sağlayabilmek için art arda bağlanmış birkaç yükselteç devresinden oluşur. Gerilim yükseltici 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 devrelerde bulunur.

### 1.2.2.3. 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.

### 1.2.3. İdeal İşlemsel Yükseltecin Özellikleri

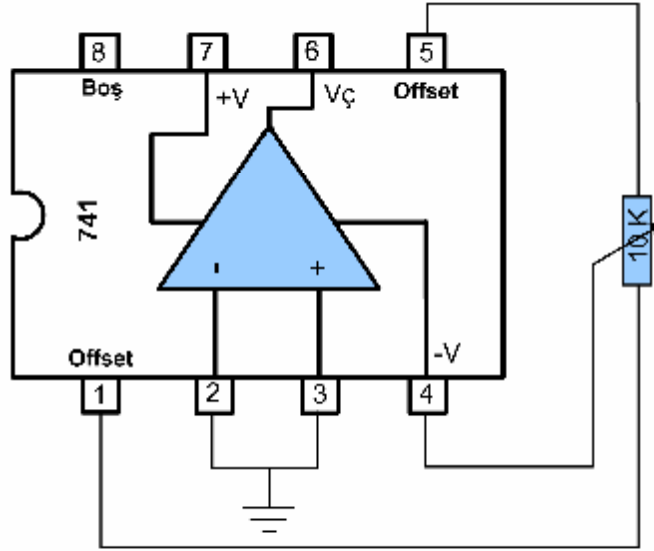
- Ø İdeal bir işlemsel yükselteçten beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir:
- Ø Açık çevrim (geri beslemesiz) kazancı sonsuzdur. ( $K=\infty$ )
- Ø Bant genişliği sonsuzdur. ( $BG=\infty$ )
- Ø Gürültüsü yoktur.
- Ø Hem iki giriş arası hem de her girişle toprak arası direnç sonsuzdur. ( $Rg=\infty$ )
- Ø Çıkış direnci sıfırdır. ( $Rç=0$ )
- Ø Çıkış direnci sıfır olduğu için sonsuz akım sürebilir.
- Ø Gerilim kaldırma kapasitesi sonsuzdur. Yani her gerilimde çalışır.
- Ø 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.

### 1.2.4. Pratik İşlemsel Yükseltecin Özellikleri

Elektronik devre elemanları kullanılacakları sistemler dikkate alınarak belli toleranslar dahilinde üretilir. İdeal değerler ile üretim teknolojisi, hammadde ve diğer etkenlerden dolayı ürün belli bir miktar hata payı ile ortaya çıkabilir. Dolayısıyla işlemsel yükselteçlerin idealde istenen özellikleriyle, ortaya çıkan ürünün özellikleri arasında farklılıklar vardır. Bu özellikler üreticilerin ürün bilgi sayfalarında (data sheet) ayrıntılı olarak verilir. Ürün bilgi sayfalarında verilen bazı önemli özellikler aşağıda başlıklar halinde incelenmektedir.

### 1.2.4.1. Giriş Dengesizlik Gerilimi



Şekil 1.8: Giriş dengesizlik gerilimi ayarı

Fark yükselteci konusunda da incelendiği gibi, ideal durumda ( $V_{g2}-V_{g1}=0$  V) olması gerekir. Yani giriş gerilimlerinin birbirine eşit olduğu durumda çıkış geriliminin ( $V_{ç}=0$  V) olması istenir. Ancak işlemsel yükseltecin girişinde bulunan fark yükselteci devresindeki transistör çiftleri tam olarak eş değer özelliklerde üretilemeyebilir. Bu durumda fark devresindeki transistörlerin beyz emiter gerilimleri az da olsa değişiklik gösterir. Bu değişiklik, işlemsel yükseltecin içindeki yükselteçler tarafından kuvvetlendirilerek çıkışa ulaşır. Sonuçta ( $V_{g1}=V_{g2}=0$ ) yapıldığında çıkış gerilimi ( $V_{ç} \neq 0$ ) 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 ( $V_{ç}=0$ ) 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.

Uygulamada dengesizlik gerilimi, Şekil 1.8'de görüldüğü gibi kolaylıkla ayarlanabilir. LM741 entegresi için, 10 K'lık bir potansiyometre, orta ucu  $-V_{cc}$  ye (4 nu' lu ayak) ve 1 ile 5 numaralı ayaklar arasına bağlanır. Giriş uçları doğrudan ya da  $50 \Omega$  dirençler üzerinden toprağa bağlanır ve çıkış gerilimi voltmetreden  $V_{ç} = 0$  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  $15 \mu V/oC$  olarak verilmektedir.

#### 1.2.4.2. Giriş Dengesizlik Akımı

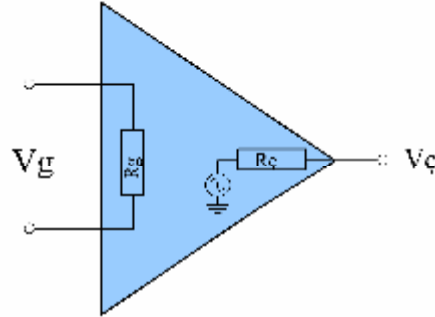
$V_{\text{ç}}=0$  iken işlemsel yükseltecin girişlerindeki akımların farkı olarak tanımlanır. LM741 için bu akımın tipik değeri 20 nA ve sıcaklıkla bu akımdaki kayma miktarı en fazla 0,5 nA/°C dir.

#### 1.2.4.3. Giriş Kutuplama Akımı

İdeal işlemsel yükseltecin girişinden akan akım 0'dır, ancak giriş transistörlerinin normal çalışma bölgelerine getirebilmek için beyz akımlarının belli değerlere getirilmesi gerekir. Giriş kutuplama akımı, giriş katlarını uygun bir şekilde çalıştırabilmek için gerekli DC akım değerlerinin ortalaması olarak tanımlanır. LM741 için giriş kutuplama akımı yaklaşık 80 nA'dır.

#### 1.2.4.4. Giriş Direnci

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 1.9: İşlemsel yükseltecin giriş ve çıkış direnci

#### 1.2.4.5. Çıkış Direnci

İşlemsel yükseltecin çıkış terminali ile toprak arasında görülen direnç olarak tanımlanır. Tipik olarak 100  $\Omega$  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.

### Ø 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.

#### 1.2.4.6. Çıkış Kısa Devre Akımı

Çalışmalarımız sırasında, özellikle tasarım aşamasında veya deneysel çalışmalarda yapmış olduğumuz işle ilgili olarak kısa devreler ile karşılaşmamız her zaman olasıdır. Bunun yanında kullanılmakta olan bir cihazda da kısa devreler oluşabilir. Elektronik devre elemanlarının üretiminde bu gibi sıra dışı çalışma koşulları öngörülerek bazı koruyucu önlemler alınır. LM741 in çıkışı da toprakla veya kaynakla kısa devre olduğunda, zarar görmeyecek şekilde korunmuştur.

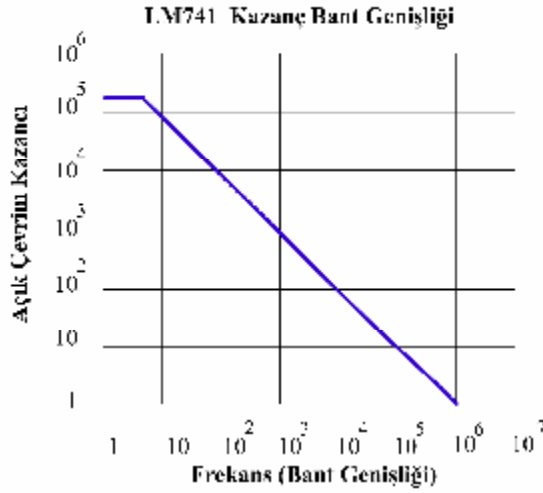
Çıkış kısa devre akımı özelliği, işlemsel yükseltecin çıkış ucu kaynak ya da toprakla kısa devre olduğunda ya da aşırı yüklendiğinde verebileceği maksimum akımı ifade eder. Bu aynı zamanda devreden alınabilecek en fazla çıkış akımını da gösteren bir parametredir.

LM741 için kısa devre durumundaki çıkış akımının tipik değeri yaklaşık 25 mA en fazla 40 mA' dir.

#### 1.2.4.7. Açık Çevrim Gerilim Kazancı

İdeal bir işlemsel yükselteç için sonsuz olarak tanımlanmış olan bu parametre pratikte 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.

#### 1.2.4.8. Bant Genişliği



Şekil 1.10: İşlemsel yükseltecin frekans bant genişliği

Bant genişliği, işlemsel yükseltecin kazancının 1'e düştüğü noktadaki üst frekans değerini belirtir. İdeal işlemsel yükselteçlerin özellikleri tanımlanırken bant genişliğinin sonsuz olduğu belirtilmişti. Sonsuz bant genişliğine sahip bir devre elemanının her frekansta aynı kazancı vermesi gerektiği düşünülebilir. Ancak pratikte işlemsel yükselteçler frekansa bağımlı devre elemanlarıdır. İşlemsel yükselteçlerin iç yapısında, yüksek frekanslarda osilasyon yapmamaları için, devrenin uygun yerlerinde kondansatörler kullanılır. Bu kondansatörler nedeniyle kazanç frekansa bağlı olarak azalır. İşlemsel yükselteç devresine uygulanan sinyalin frekansı yükseldikçe açık çevrim kazancı düşmektedir. Şekil 1.10'da kazancın frekansa göre değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Dikkat edilecek olursa (kazanç \* 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.

#### 1.2.4.9. Ortak İşareti Bastırma Oranı (CMRR)

İşlemsel yükselteçlerin giriş devresinde kullanılan fark yükselteçlerinin en önemli özelliklerinden biri de istenmeyen sinyalleri bastırma yeteneğidir. Bu istenmeyen sinyallere "gürültü" denir. Gürültü; topraklama sorunlarından, manyetik alanlardan veya güç kaynağının meydana getirdiği gerilim dalgalanmalarından dolayı ortaya çıkabilir.

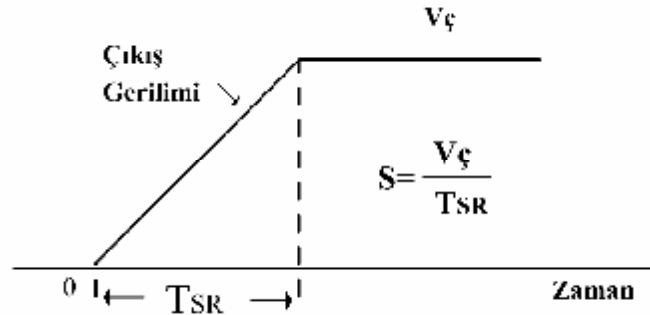
Fark yükselteçlerinin bir başka önemli özelliği de, gürültü sinyallerinin her iki girişte de aynı polaritede görülmesidir. Aynı polaritede olan ya da her iki girişte de ortak olarak görülen bu sinyaller gürültü olarak algılanır ve giriş fark yükselteci tarafından önemli ölçüde bastırılır. Şekil 1.11'de bu olay canlandırılmaktadır.



Şekil 1.11: CMRR istenmeyen sinyalleri bastırır

İşlemsel yükselteç ile yükseltilecek olan sinyal ya sadece bir girişte, ya da her iki girişte birden fakat ters polaritede görülür. Ortak işareti 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 devrenin CMRR oranıdır. Bu oran ürün bilgi sayfalarında genellikle dB (desibel) cinsinden verilir. Örneğin: CMRR oranı 80 dB olan bir işlemsel yükselteç yükseltmek istenen sinyalleri, gürültü olarak kabul edilen sinyallerden 10.000 kat daha fazla kuvvetlendirir. Ürün bilgi sayfalarında LM741 için CMRR oranı 90 dB olarak verilmektedir.

#### 1.2.4.10. Çıkış Değişim Hızı



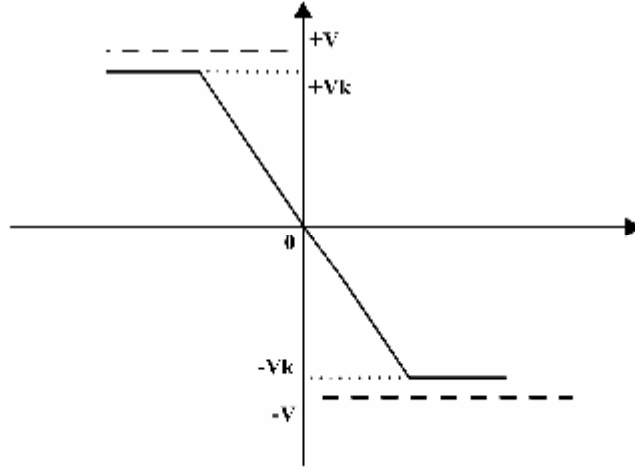
Şekil 1.12: Çıkış değişim hızı

İdeal olarak çıkış geriliminin 0 V'tan maksimum değerine ulaşması için geçen sürenin 0 olması istenir, ancak bu değişim zamana bağlı olarak belli bir sürede gerçekleşir. Çıkış değişim hızı (Slew Rate), işlemsel yükseltecin girişine büyük genlikli bir darbe gerilimi uygulandığında, çıkış geriliminin ne kadar hızlı değiştiğini gösteren bir özelliktir. Grafikte çıkış geriliminin en üst değerine TSR kadar sürede ulaştığı görülmektedir. Çıkış değişim hızı ise çıkış geriliminin değişim süresine oranı olarak  $V/S_n$  cinsinden ifade edilir. Tipik değişim hızları 0.5 – 50 V/ $\mu$ s arasında değişmektedir. Bu değer büyük olması işlemsel yükseltecin daha hızlı çalıştığının bir göstergesidir. LM741 için Slew-Rate  $S = 0.5$  V/ $\mu$ s olarak verilmektedir.

#### 1.2.4.11. Kanal Ayrımı

LM747 gibi bazı entegrelerin içinde birbirinden bağımsız birden fazla işlemsel yükselteç bir arada bulunmaktadır. Bu tür entegrelerde işlemsel yükselteçlerden birinin girişine uygulanan işaret, diğerinin çıkışında çok düşük de olsa istenmeyen bir işaret oluşturur. Bu işaret ne kadar düşükse, kanal ayrımı o kadar iyidir. Genellikle dB cinsinden oran ifadesi kullanılır.

#### 1.2.4.12. En Fazla İzin Verilen Çıkış Gerilimi Değişimi



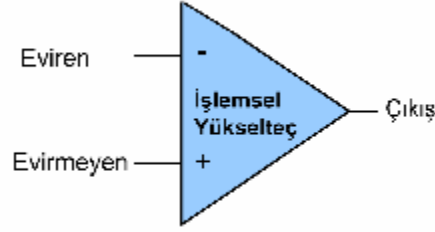
Şekil 1.13: En fazla izin verilen çıkış gerilimi

İdeal bir işlemsel yükselteç de  $V_c$  çıkış gerilimi değeri,  $+V$  ve  $-V$  kaynak gerilimi değerlerine kadar çıkabilmelidir. Oysa pratikte çıkış gerilimi hiçbir zaman kaynak gerilimi değerlerine ulaşamaz. Şekil 1.13'te görüldüğü gibi en fazla izin verilen çıkış gerilimi değişim  $+V_k$  ve  $-V_k$  değerleri arasında kalmaktadır.  $V_c$  gerilimi alttan  $-V_k$  ve üstten  $+V_k$  değerleri kadar kırılmaktadır. Çıkış gerilimi değişimi LM741 için 13 V dur. Bunun anlamı LM741 entegresine  $\pm 15$  V besleme gerilimi uygulandığında, çıkış geriliminin en fazla  $\pm 13$  V seviyesine kadar çıkabileceğidir.

#### 1.2.5. İşlemsel Yükseltecin Sembolü ve Ayak Bağlantıları

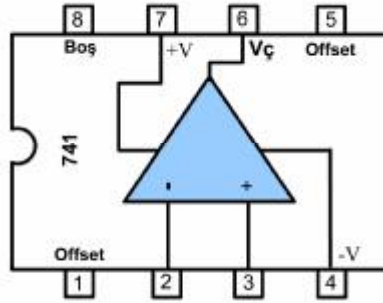
Şekil 1.14' te görüldüğü gibi işlemsel yükselteç iki girişli tek çıkışlı bir yükselteç sembolü ile gösterilir. “-“ işaretinin bulunduğu uç işlemsel yükseltecin eviren girişini “+” işaretli olan uç ise evirmeyen girişini işaret etmektedir. Bazı işlemsel yükselteç sembollerinde besleme giriş uçlarında gösterilirken, çoğu zaman bu uçlar sembol üzerinde verilmez.





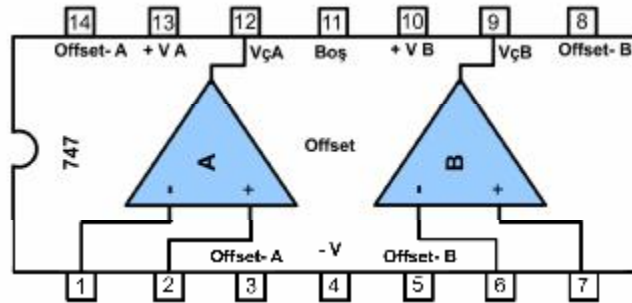
Şekil 1.14: İşlemsel yükseltecin sembolü

İşlemsel yükselteçler kullandıkları devrelere, çalıştırıldıkları frekansa, kullanım amacına, montaj şekline bağlı olarak çok çeşitli karakteristik özelliklerde ve farklı kılıf tiplerinde üretilir. Biz 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 1.15: LM 741 iç yapısı ve ayak bağlantıları

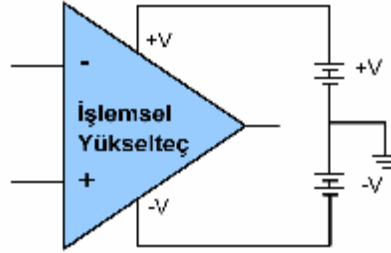
Şekil 1.15'te görüldüğü gibi LM741 işlemsel yükselteci 8 uçlu, genellikle plastik bir kılıf içinde bulunmaktadır. 2 nu' lu uç eviren giriş, 3 nu' lu uç evirmeyen giriş, 6 nu' lu uç ise çıkış ucudur. 7 nu' lu uç +V ve 4 nu' lu uç -V besleme gerilimi için kullanılmıştır. 1 ve 5 numaralı uçlar giriş dengesizlik gerilimi ayarı için kullanılmaktadır. 1 ve 5 nu' lu uçlar gerekmedikçe kullanılmaz ve boş bırakılır. 8 nu' lu uç ise kullanılmamaktadır.



Şekil 1.16: LM747 nin iç yapısı ve ayak bağlantıları

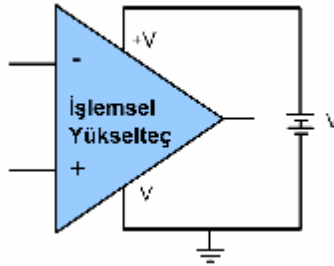
Şekil 1.16'da içinde iki adet LM741 işlemsel yükselteci bulun LM747 entegresi görülmektedir. Her bir işlemsel yükselteç için ayrı ayrı uçlar kullanılmış olup yalnızca “-“ besleme gerilimi ortak kullanılmıştır. Yine her bir işlemsel yükseltecin giriş dengesizlik gerilimi ayarı için ayrı ayrı uçlar bulunmaktadır.

### 1.2.6. İşlemsel Yükselteçlerin Beslenmesi



Şekil 1.17: İşlemsel yükseltecin simetrik kaynaktan beslenmesi

İşlemsel yükselteç sembolünde +V ve -V uçları, besleme kaynağının bağlandığı uçlardır. Bir işlemsel yükseltece  $\pm 5$  V,  $\pm 12$  V,  $\pm 15$  V,  $\pm 18$  V gibi besleme gerilimi uygulanabilir. Entegrenin hangi gerilimlerde çalışabileceği ürün bilgi sayfalarında ayrıntılı olarak yer almaktadır. Devrenize çalışma gerilimini vermeden önce kullandığınız entegre ile ilgili ürün bilgi sayfalarından çalışma gerilimini öğrenmeniz yarar vardır. İşlemsel yükselteçli devrelerin çalışma gerilimleri genellikle simetrik kaynaktan sağlanır. Şekil.1.17'de bir işlemsel yükseltecin simetrik kaynaktan beslendiği devre bağlantısı görülmektedir. İşlemsel yükselteç olarak 741 entegresi kullanılacaksa, entegrenin 7 nu' lu ucuna pozitif besleme, 4 nu' lu ucuna ise negatif besleme gerilimi uygulanır. Besleme gerilimi bir pilden elde ediliyorsa pillerin birleşim noktası toprak olarak kullanılır.

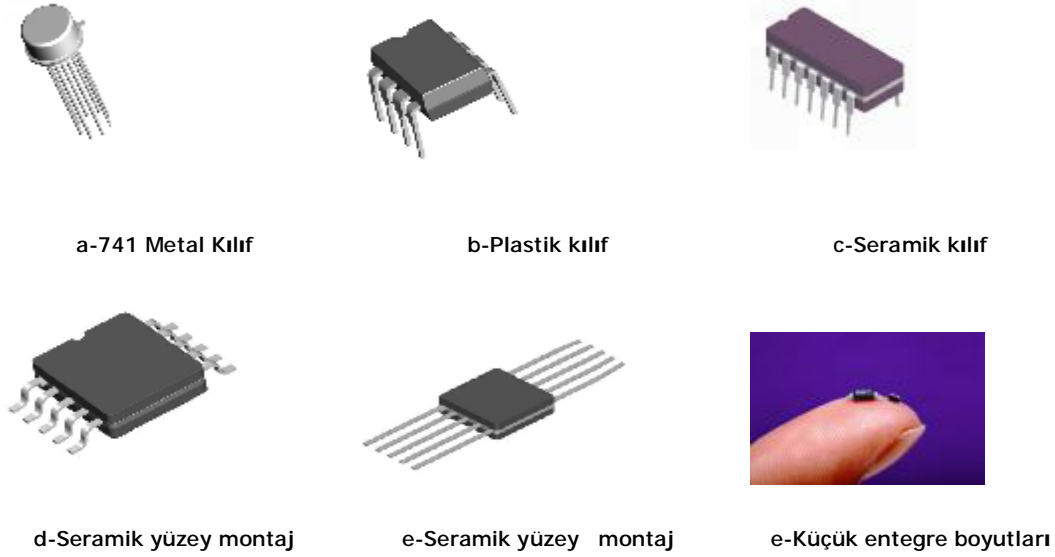


Şekil 1.18: İşlemsel yükseltecin tek kaynaktan beslenmesi

İşlemsel yükseltecin AC sinyal yükselteci olarak kullanıldığı durumlarda tek güç kaynağı kullanmak yeterlidir. Şekil 1.18'de ise işlemsel yükseltecin tek kaynaktan beslendiği devre şeması verilmiştir.

### 1.2.7. İşlemsel Yükselteçlerin Kılıf Şekilleri

Şekil 1.19’da LM741 entegresi için National Semiconductor firması internet sitesinden alınan kılıf şekilleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi işlemsel yükselteç entegreleri ihtiyaca göre çok çeşitli boyut ve kılıf şekillerinde üretilebilmektedirler. 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 1.19: İşlemsel yükselteç kılıf şekilleri ve boyutları

### 1.2.8. Ürün Bilgi Sayfaları

Üretici firmalar ürünlerinin en etkin ve doğru bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla, tasarımcıların yararlanacağı ayrıntılı ürün bilgi sayfaları hazırlar. Bu sayfalarda ürün hakkında genel açıklamalar, kılıf şekilleri ve uç bağlantıları, tipik uygulamalar ve örnekleri, varsa özel uygulama devreleri, çalıştırılma koşulları, elektriksel karakteristikleri, ürün karşılaştırma tabloları, karakteristik eğrileri, iç devre şeması, her bir kılıf şekli için ayrıntılı fiziksel ölçüleri ve üretici ile irtibat kurmak için gerekli adres, telefon, web adresi gibi bilgiler bulunur.

Ürün bilgi sayfaları belirli aralıklarla üretici firmalar tarafından güncelleştirilerek kataloglar halinde dağıtıldığı gibi, internet üzerinden de yayımlanmaktadır. Örneğin, [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com) gibi bazı internet siteleri sadece ürün bilgi sayfaları dağıtım hizmeti vermektedir.

Aşağıda LM741 için ürün bilgi sayfalarından bazı bölümlere yer verilmiştir. National Semiconductor tarafından üretilen LM741 entegre sinin ürün bilgi sayfasına ulaşmak için [www.national.com/pf/LM/LM741.html](http://www.national.com/pf/LM/LM741.html) adresini kullanabilirsiniz.

**National Semiconductor** November 1984

## LM741 Operational Amplifier

### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations. The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to -70°C temperature range, instead of -55°C to -125°C.

### Schematic Diagram

Q10 Q11 Q12 Q13

Şekil 1.20: LM741 ürün bilgi sayfası, genel açıklamalar

Şekil 1.20'de LM741 ürün bilgi sayfalarında giriş bölümünde, ürünle ilgili genel açıklamalara yer verilmiş. Bunu yanında entegrenin iç devre şeması ve ofset ayarının nasıl yapılacağını gösteren örnek bir devre mevcuttur.

<b>Absolute Maximum Ratings</b>				
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 5)				
	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C

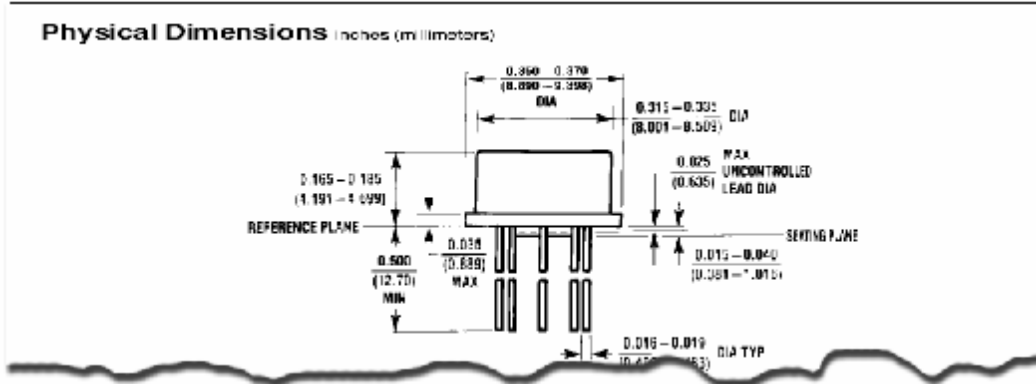
Şekil 1.21: LM741 ürün bilgi sayfası, sınır değerler

Bu bölüm entegreye uygulanabilecek sınır değerleri göstermektedir. Örneğin besleme gerilimi, kısa devre akımı, çalışma sıcaklığı, kılıf tipine göre lehimleme sıcaklıkları gibi değerler karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Ayrıca askeri veya uzay uygulamaları için firma ile irtibata geçilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)										
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$									
	$R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$	$\pm 16$								V V
Output Short Circuit Current	$V_S = \pm 15V$									
	$R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L > 2 k\Omega$				$\pm 12$ $+10$	$\pm 14$ $+13$	$\pm 12$ $+10$	$\pm 14$ $+13$		V V
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$	10	25	35	25		25			dB
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $R_S \leq 10 k\Omega$ $V_{CM} = +12V$	10		40						dB

Şekil 1.22: LM741 ürün bilgi sayfası, elektriksel karakteristیکler

Şekil 1.22’de LM741 için elektriksel karakteristیکleri farklı modeller için karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Parameter sütununda, ele alınan özellik yer almaktadır. Conditions sütunu verilen değerlerin hangi koşullarda elde edilebileceği, diğer üç sütunda LM741 in farklı modelleri için en az tipik ve en fazla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Son olarak units sütununda ise verilen değerlere ait birimler gösterilmiştir.



Şekil 1.23: LM741 ürün bilgi sayfası, kılıf şekilleri ve fiziksel ölçüler

Şekil 1.23’te ise LM 741’e ait çeşitli kılıf şekilleri ve ayrıntılı fiziksel ölçüleri yer almaktadır.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF ÖLÇME SORULARI

1. Aşağıdakilerden hangisi yükseltecin görevlerinden değildir?  
A) Akım kazancı sağlamak      B) Gerilim kazancı sağlamak  
C) Güç kazancı sağlamak      d) Frekans kazancı sağlamak
2. Aşağıdakilerden hangisi ideal işlemsel yükseltecin özelliklerinden değildir?  
A) Giriş direnci sonsuzdur      B) Açık çevrim kazancı sonsuzdur  
C) Çıkış direnci sonsuzdur      D) Bant genişliği sonsuzdur
3. Ürün bilgi sayfalarında aşağıdakilerden hangisi bulunmaz?  
A) Fiziksel ölçüler      B) Üretici adres bilgileri  
C) Fiyat bilgileri      D) Teknik özellikler
4. Bir yükseltecin yükseltme miktarı ..... ile ifade edilir.

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

5. ( ) LM741 in bant genişliği sonsuzdur.
6. ( ) İşlemsel yükselteçler analog bilgisayar işlemleri yapabilir.
7. ( ) İdeal bir işlemsel yükseltecin giriş uçları kısa devre edildiğinde çıkış gerilimi 0 V olur.
8. ( ) Çıkış gerilimleri hiçbir zaman besleme gerilimine ulaşmaz.
9. ( ) Giriş direnci eviren ve evirmeyen giriş uçlarından ohmmetre ile ölçülür.
10. ( ) CMRR oranı çıkış sinyalini zayıflatma ölçüsüdür.

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız ve doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetiyle ilgili bilgileri başarı ile tamamladığınızda, istenen çalışmayı gerçekleştiren işlemsel yükselteç devrelerini tasarlayabilecek, entegre standartları, iş güvenliği standardı ve şartnamelere uygun işlemsel yükselteçli devreler kurup çalıştırabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Ø Çevrenizde karşılaştığınız ısı ve ışık duyarlı sistemlerin nasıl çalıştığını araştırınız. Bu sistemlerin nasıl çalıştıkları konusundaki fikirlerinizi arkadaşlarınızla tartışınız. Çevrenizdeki elektronik devre elemanı satıcısından işlemsel yükselteç entegresi satın alınız ve ürün bilgi sayfalarından yararlanarak elinizdeki ürünün özellikleriyle ilgili bir rapor hazırlayıp arkadaşlarınızla tartışınız.

## 2. İŞLEMSEL YÜKSELTEÇ UYGULAMALARI

OPAMP uygulamalarını iki alt başlıkta toplayabiliriz. 1.Açık döngü 2. Kapalı döngü. Kapalı döngünün içerisinde geri besleme ve çeşitlerini verelim:

### 2.1. Geri Besleme

Geri besleme (feedback) elektronik alanında sık karşılaşılan bir kavramdır. Genel olarak elektriksel geri besleme bir devrenin çıkışından alınan sinyalin işlendikten aynı devrenin girişine uygulanmasıdır.

Pek çok ortamda karşılaştığımız klimaların ortam sıcaklığını ayarlama şekli geri besleme prensibini açıklamak için güzel bir örnektir. Ortam sıcaklığı istenen sıcaklıktan yüksek ise soğutucu devreye girerek ortam sıcaklığını düşürür. Ortam sıcaklığı istenen sıcaklıktan düşükse ısıtıcı devreye girerek ortam sıcaklığını yükseltir. Isıtma işlemi ortama yapılan pozitif geri besleme, soğutma işlemi de negatif geri besleme olarak düşünebiliriz. Sıcaklık düştüğünde ortam sıcaklığını artırıcı yönde ortama ısı verilir. Sıcaklık yükseldiğinde ise ortam sıcaklığını azaltıcı yönde bir ısı verilir.

#### 2.1.1. Pozitif Geri Besleme

Pozitif geri besleme daha çok osilatör devrelerinde karşılaşılan bir geri besleme türü olup çıkış sinyalinin girişe aynı fazda uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Pozitif geri beslemede çıkıştan alınan sinyal giriş ile aynı fazda, giriş sinyalini arttırıcı yönde ve katkıda bulunmak

amacıyla tekrar girişe uygulanır. Pozitif geri besleme de kazancın 1 veya daha fazla olması yükseltecin salınma başlamasına ve bir osilatör olarak çalışmasına neden olur.

Osilatör çalışmasına örnek olarak, seslendirme düzeneklerinden çıkan ısıklık sesini verebiliriz. Mikrofon ve hoparlörün karşı karşıya gelmesi durumunda, mikrofona ulaşan çok küçük ses sinyalleri yükselteçte yükseltilerek hoparlörden çıkmakta, bu yükseltilmiş ses sinyali tekrar mikrofona ulaşır yükselteçte yeniden yükseltilmektedir. Pozitif geri besleme ve kazancın 1'den büyük olması nedeniyle giderek yükselen bir ısıklık sesi duyulmaktadır. Bu yükselteç devresi mikrofon ve hoparlörün karşı karşıya gelmesiyle meydana gelen pozitif geri besleme nedeniyle osilatör olarak çalışmaktadır.

### 2.1.2. Negatif Geri Besleme

Negatif geri besleme, çıkıştan alınan sinyalin girişe, giriş sinyalini zayıflatıcı yönde uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu zayıflatmayı gerçekleştirebilmek için geri besleme sinyali ile giriş sinyali arasında 180 o faz farkı olmalıdır. Bu geri besleme türü yükseltecin toplam gerilim kazancını azaltır. Bunun yanında aşağıda listelenen bazı önemli faydalar sağlar.

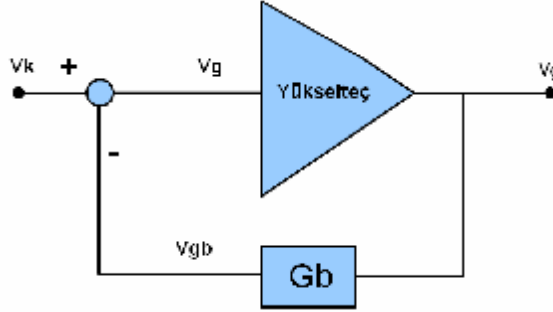
Yükselteç devrelerinde negatif geri besleme:

- Ø Daha kararlı bir gerilim kazancı,
- Ø Daha iyi bir frekans tepkisi,
- Ø Daha fazla doğrusal çalışma,
- Ø Daha yüksek giriş direnci,
- Ø Daha düşük çıkış direnci,
- Ø Daha az gürültü, elde etmek amacıyla kullanılır.

Elbette yukarıda sayılan özellikleri elde etmek için kazancın bir kısmından fedakarlık gerekmektedir. Ancak bu olumsuz bir şey değil aksine, geri besleme sayesinde devrenin daha kararlı çalışması sağlanmış olur.



### 2.1.3. Negatif Geri Besleme Prensipleri, Avantaj ve Dezavantajları



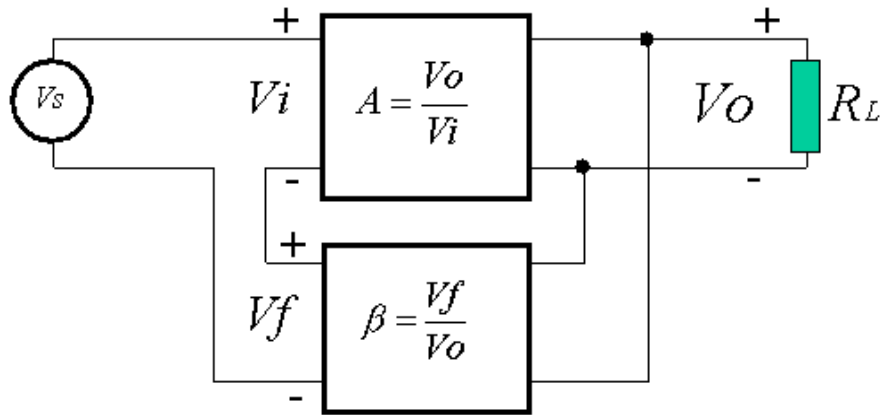
Şekil 2.1: Geri besleme prensibi

Şekil 2.1’de genel bir geri besleme sisteminin prensip devresi görülmektedir. Devrenin girişinde karıştırıcı ya da toplayıcı da diyebileceğimiz bir bağlantı vardır. Devrenin girişine  $V_k$  (kaynak) sinyali uygulanmıştır. Devrenin çıkışındaki  $V_ç$  sinyalinin (küçük) bir kısmı alınarak  $V_{gb}$  olarak geri verilir. Devredeki  $G_b$  kutusu geri besleme devresini temsil etmektedir. Geri besleme devresinde bir kazanç olmayıp bir zayıflatma söz konusudur. Burada negatif geri besleme için en önemli nokta geri besleme devresinden gelen  $V_{gb}$  sinyali ile devrenin girişine bağlanan  $V_k$  sinyalinin fazları birbirine ters olmalıdır. Yani birbirlerini zayıflatmaları gerekir. Bu durumu sağlamak için ya devredeki yükselteç "eviren" cinsten olmalı ya da geri besleme devresi çıkış sinyalinin işaretini ters çevirmelidir. Genellikle yükseltecin eviren cinsten olması tercih edilir. Yükseltecin girişine uygulanan sinyal  $V_g$ ,  $V_k$  ve  $V_{gb}$  sinyallerinin farkıdır. Bu da devrenin toplam kazancının azalmasına yol açar. Bu azalma bir kayıptan ziyade bir iyileşme olarak düşünülmelidir.

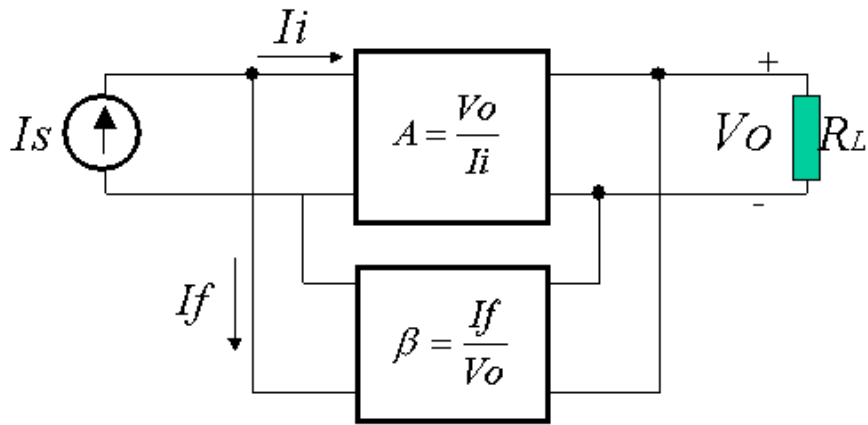
Gerçekleşmeyi gerçekleştirmek üzere hem gerilim hem de akım girişe seri ya da paralel olarak uygulanabilir. Negatif geri besleme bağlantı türlerine göre dörde ayrılır.

Bunlar;

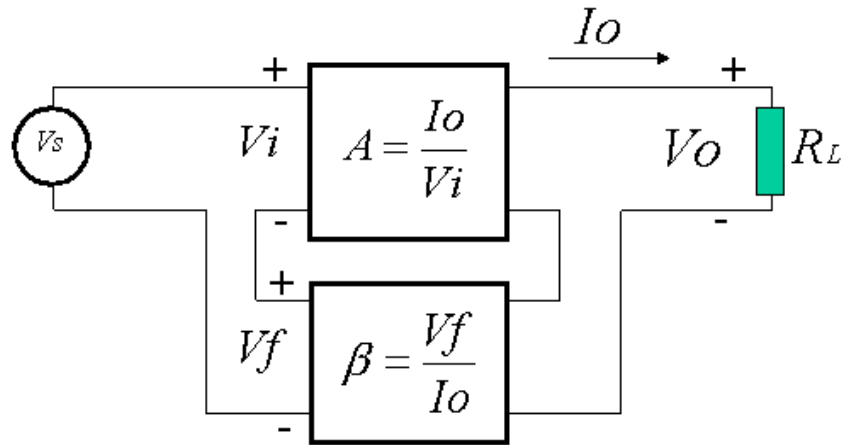
- Ø Seri gerilim geri beslemesi,
- Ø Paralel gerilim geri beslemesi,
- Ø Seri akım geri beslemesi,
- Ø Paralel akım geri beslemesidir.



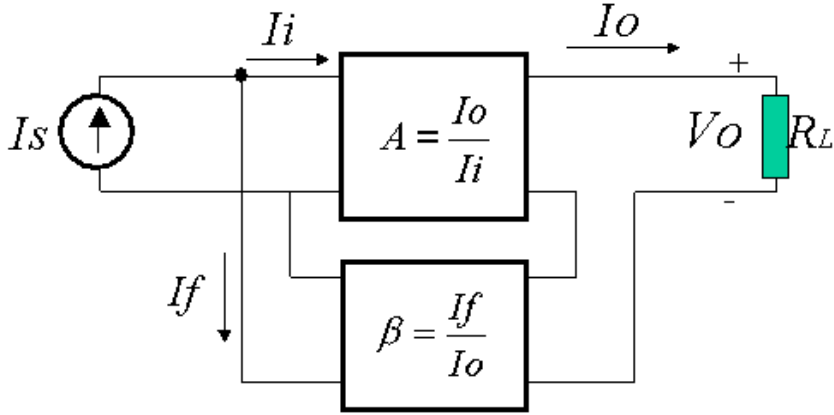
Şekil 2.2: Seri gerilim geri besleme



Şekil 2.3: Paralel gerilim geri besleme



Şekil 2.4: Seri akım geri besleme



Şekil 2.5: Paralel akım geri besleme

Bu bağlantı türlerinin değişik anlam ve özellikleri vardır. Seri sözcüğü, geri besleme sinyalinin giriş sinyali ile seri bağlandığını; paralel sözcüğü, geri besleme sinyalinin giriş sinyali ile paralel bağlandığını; gerilim sözcüğü, geri besleme devresinin girişine çıkış geriliminin bağlandığını; akım sözcüğü ise, geri besleme devresinin girişine, çıkış akımının bir kısmının girdiğini gösterir.

Paralel geri beslemeli devrelerde giriş empedansı düşük; akım geri beslemeli devrelerde çıkış empedansı yüksek; seri geri beslemeli devrelerde giriş direnci yüksek ve gerilim geri beslemeli devrelerde çıkış empedansı düşük özellikler gösterir.

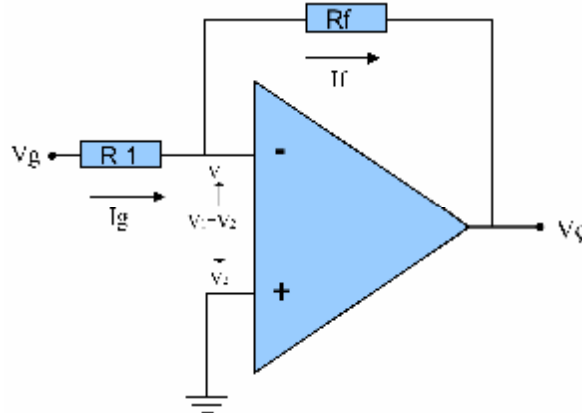
Yükselteçlerde genellikle giriş empedansının yüksek, çıkış empedansının düşük olması istenir. Bu özellik seri ve gerilim geri beslemesi kullanılarak sağlanır.

## 2.2. İşlemsel Yükseltecin Eviren Yükselteç Olarak Kullanılması

Bu yükselteç türüne eviren denmesinin nedeni, girişine uygulanan herhangi bir sinyali  $180^\circ$  faz çevirerek çıkışına yükseltilmiş olarak aktarmasıdır. Sonraki konularda açıklanacağı gibi bu devre aynı zamanda bir çarpma veya bölme devresi olarak da kullanılabilir.

Şekil 2.6'daki devrede giriş sinyali işlemsel yükseltecin (-) ucu olan eviren girişine uygulandığı için devreye "eviren yükselteç" adı verilmiştir. Bu 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.

Şekil 2.6'da bir eviren yükselteç devresi görülmektedir. Özellikle Rf direncine dikkat ediniz, bunun önceki konularda da üzerinde durduğumuz geri besleme direnci olduğunu hemen hatırlayacaksınız. Bu direnç eviren (-) girişe uygulanan ve çıkışta  $180^\circ$  faz çevrilmiş sinyali tekrar girişe uygulayan geri besleme direncidir. Yükseltecin eviren tip olması nedeniyle yapılan geri besleme negatif geri beslemedir.



Şekil 2.6: 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  $V1=V2$  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 voltaj farkı da sıfır olacaktır. Bundan dolayı işlemsel yükselteçlerde devreye uygulanan akımın, elemana girmediği kabul edilir. Şekil 2.6'da akım yönleri bu kurala göre çizilmiştir.

İşlemsel yükseltecin evirmeyen (+) girişinin toprağa bağlı olduğuna dikkat edin. İşlemsel yükseltecin özelliğinden dolayı  $V1=V2$  olduğundan, V1 noktasındaki potansiyel 0 Volt 'tur ( $V1 = 0$ ).

Kirchoff 'un akımlar kanununa 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.

$$\text{R1 direncinden geçen akım} \quad I_g = \frac{V_g - V_1}{R_1} \quad (V_1 = 0 \text{ Volt olduğundan})$$

$$I_g = \frac{V_g}{R_1} \quad \text{olur.} \quad I_f = \frac{V_1 - V_{\checkmark}}{R_f} \quad (V_1 = 0 \text{ Volt olduğundan})$$

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

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

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

$$-V_{\checkmark}.R_1 = V_g.R_f \quad \text{elde edilir.} \quad \frac{V_{\checkmark}}{V_g} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Bu formülde çıkış geriliminin, giriş gerilimine oranı yükseltecin gerilim kazancını vereceği için;

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

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

$$K = -\frac{R_f}{R_1} \quad \text{formülüne göre eğer } R_f = R_1 \text{ olarak seçilirse yükseltecin kazancı } -1 \text{ 'e eşit olur. Bu durumda yükselteç, girişine uygulanan sinyali yükseltmeden sadece giriş işaretinin polaritesini } 180^\circ \text{ çevirerek çıkışa aktarır.}$$

**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  $180^\circ$  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 kararlıdır.

### Ø Örnek Tasarım

Bir ısı algılayıcısının çıkışından elde edilen  $300 \text{ mV}$  ile  $500 \text{ mV}$  arasındaki sinyalin genliği,  $3 \text{ V}$  ile  $5 \text{ V}$  arasındaki sinyallerle çalışan devrede işlenmek üzere yükseltilecektir. 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 hatırlayın.

$$V_ç = 5 \text{ V} = 5000 \text{ mV}, \quad V_g = 0,5 \text{ V} = 500 \text{ mV}$$

$$K = \frac{V_ç}{V_g} \quad \text{den} \quad K = \frac{5000}{500} = 10 \quad K = 10 \text{ olarak elde edilir.}$$

Kazancı 10 olan bir devre tasarlamamız gerekiyor. Bu durumda seçilecek dirençlerin  $10/1$  oranını sağlaması gerekir. Eğer  $R_f = 10 \text{ K}$  seçilirse,  $R_1$  in  $1 \text{ K}$ ,  $R_f = 100 \text{ K}$  seçilirse,  $R_1$  in  $10 \text{ K}$  seçilmesi gerekir.

$R_f$  için elimizde bulunan dirençlerden  $33 \text{ K}$ ' yi seçtiğimizi düşünürsek;

$$K = - \frac{R_f}{R_1} \quad \text{den} \quad 10 = - \frac{33 \text{ K}}{R_1} \quad \text{olur.}$$

$$R1 = \frac{33 \text{ K}}{10} = 3,3 \text{ K}$$

Buradan R1' i çekersek

olarak bulunur.

### 2.2.1. Eviren Yükseltecin İncelenmesi

#### Ø 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 osilaskop kullanarak inceleyebileceksiniz.

#### Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

Eviren yükselteç ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyin. Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.

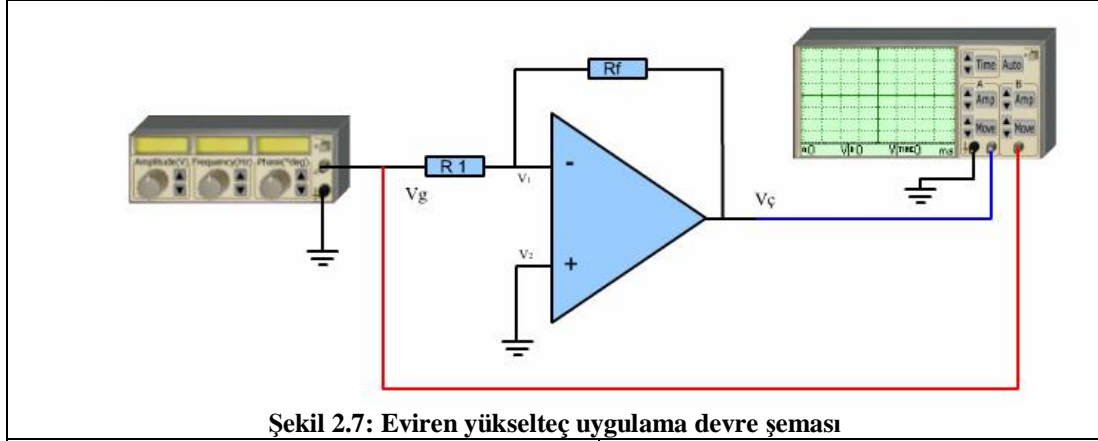
Eviren yükselteç kullanarak tasarlayacağınız bir devrede çıkış işaretinin giriş ile aynı fazda olması için ne yapmanız gerektiğini araştırınız. (Kazancı -1 olan ikinci bir eviren yükselteç devresini çıkışa bağlayarak çıkış ile giriş aynı fazda yapılabilir.)

#### Ø Kullanılacak Araç ve 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

## 2.2.2. Eviren Yükseltç Uygulaması

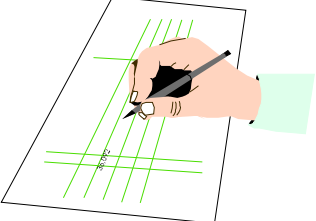
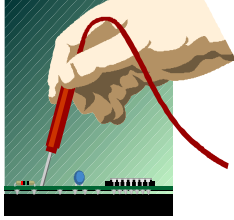
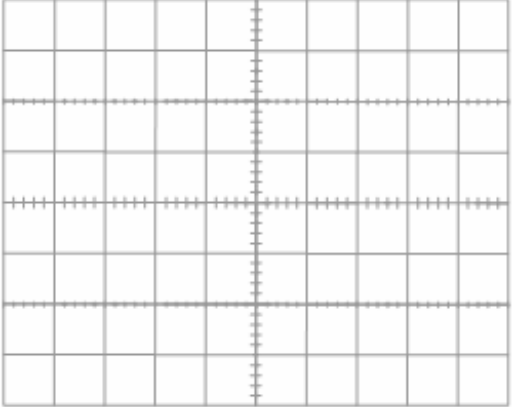
### Ø İşlemsel Yükseltç İle Yapılan Eviren Yükseltcin Kurulup Çalıştırılması



Şekil 2.7: Eviren yükseltç uygulama devre şeması

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>Ø Şekil 2.7. deki devreyi montaj seti üzerine kur. <math>R_1 = 1 \text{ K}</math>, <math>R_f = 10 \text{ K}</math> olarak seçiniz.</li><li>Ø Sinyal jeneratörünün canlı ucunu <math>R_1</math> in ucuna bağlayınız.</li><li>Ø Osilaskobun 1. kanalını sinyal jeneratörü çıkışına bağlayınız.</li><li>Ø Osilaskobun 2. kanalını 741 in 6 nu' lu çıkış ucuna bağlayınız.</li><li>Ø Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ø Eviren, evirmeyen girişlerin ve +V (7 nu' lu uç), -V (4 nu' lu uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz.</li><li>Ø Cihazların toprak bağlantılarını ve evirmeyen giriş ucunun tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız.</li><li>Ø Planlı, düzenli, temiz ve titiz çalışınız.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Ø Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız.</li><li>Ø Sinyal jeneratörünü 0,5 V 100 Hz Sinüs dalga formuna ayarlayınız.</li><li>Ø Simetrik güç kaynağını, <math>\pm 10 \text{ V}</math> a ayarla.</li><li>Ø Osilaskobun Time/Div kademesini 5 ms/Div, 1. kanalı giriş sinyali için 200 mV/Div, 2. kanalı çıkış sinyali için 2 V/Div olarak ayarlayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ø Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız sabırlı olun, cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin basılmamış, probleminizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Ø Güç kaynağını aç devreye enerji uygula, devreyi çalıştırınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ø Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.</li></ul>



<p>Devrenin çalışmasını osilaskop ekranından takip ediniz.</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>Osilaskop ekranındaki dalga şeklini aşağıdaki boş osilaskop ekranına 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>
	<p>Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.</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 kaydedin ve yorumlayın**

## KONTROL LİSTESİ

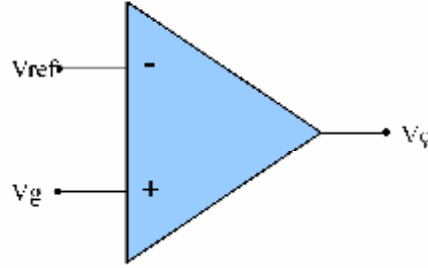
DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Elde edilen dalga şekli doğru çizilmiştir.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		

**Tablo 2.2: Kontrol listesi**

### Ø 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.

## 2.3. İşlemsel Yükseltecin Karşılaştırmalı Açık Döngü Kullanımı



**Şekil 2.8: İşlemsel yükselteç ile yapılan karşılaştırmalı devresi**

Karşılaştırmalı, 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.

Karşılaştırmalı devrenin çalışmasını anlayabilmek için fark yükselteci ile ilgili anlatılanları göz önünde bulundurmakta yarar vardır. Karşılaştırmalı 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 haliyle, evirmeyen karşılaştırmalı olarak çalışmaktadır. Eğer  $V_{ref}$  referans işareti evirmeyen giriş ucuna,  $V_g$  işareti de eviren giriş ucuna uygulanırsa işlemsel yükselteç, eviren karşılaştırmalı olarak çalışır.

Her akşam kendiliğinden yanan sokak lambalarını hatırlayın. Bu lambalar giriş devresine bağlı ışık algılayıcı elemanın algıladığı ışık seviyesinin belli bir referans değerinin altına düşmesi durumunda karşılaştırmalı 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.

### 2.3.1. Karşılaştırmalı Devrenin İncelenmesi

#### Ø Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,  
İşlemsel yükselteç ile yapılan sinüs dalgayı kare dalgaya dönüştüren karşılaştırmalı devresini kurup çalıştırabileceksiniz.

Bir referans sinyal ile değişken bir gerilimi karşılaştıran kontrol devresi kurup çalıştırabileceksiniz.

Karşılaştırmacı devreyi kullanarak farklı algılayıcılarla yapılan kontrol devreleri tasarlayabileceksiniz.

### Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

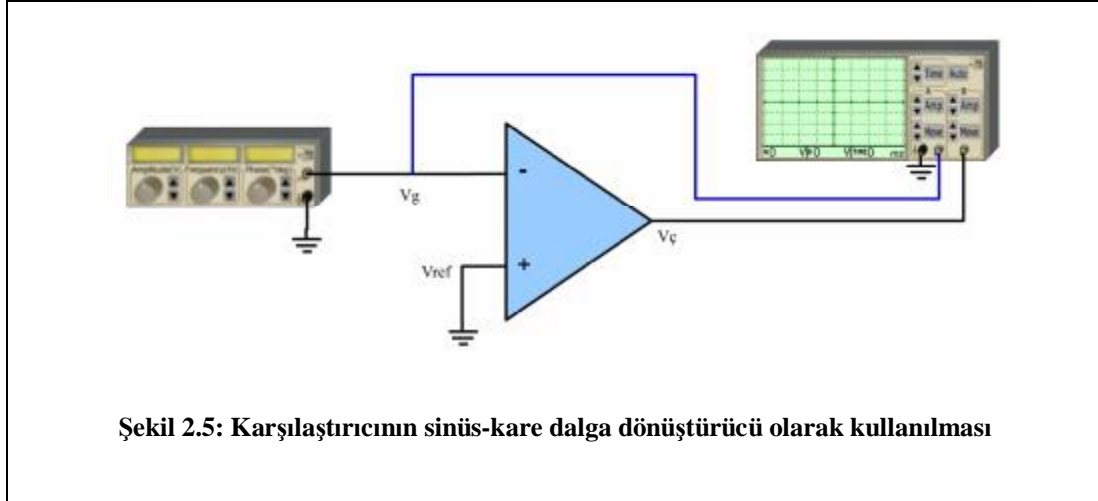
Çevrenizdeki ısı duyarlı, ışık duyarlı cihazları inceleyin, çalışma prensiplerini araştırın ve nasıl çalıştıkları ile ilgili vardığınız sonuçları arkadaşlarınızla tartışınız.

### Ø Kullanılacak Araç ve 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

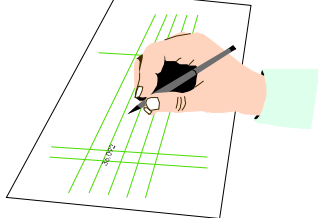
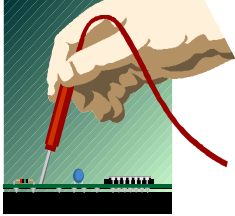
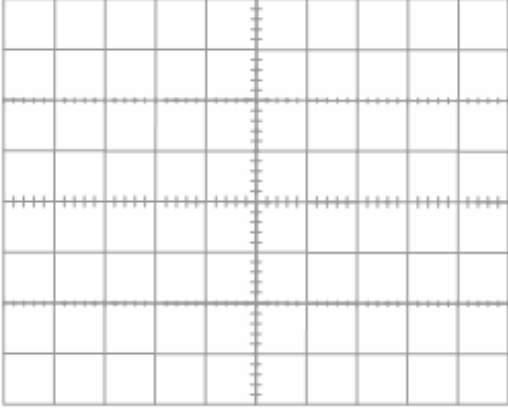
## 2.3.2. Karşılaştırıcı Yükselteç Uygulaması

### İşlemsel Yükselteç İle Yapılan Karşılaştırıcının Kurulup Çalıştırılması



Şekil 2.5: Karşılaştırıcının sinüs-kare dalga dönüştürücü olarak kullanılması

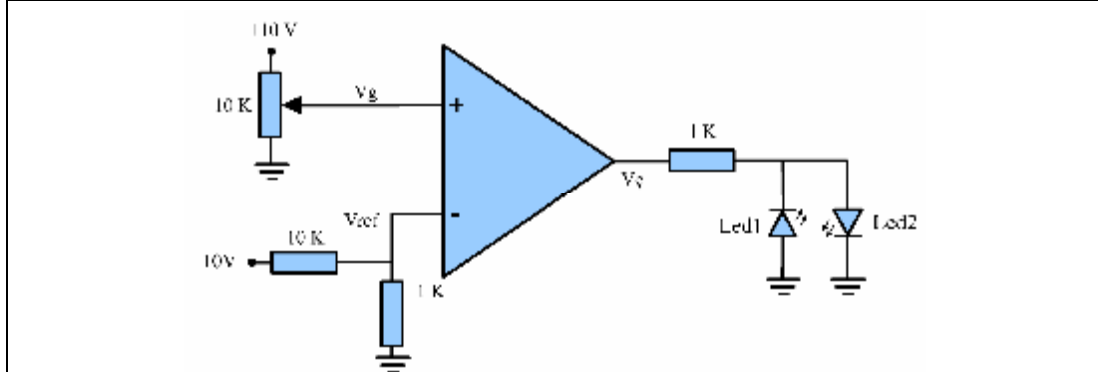
İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Şekil 2.4. deki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Sinyal jeneratörünün canlı ucunu eviren giriş ucuna bağlayınız. Osilaskobun 1. kanalını sinyal jeneratörü çıkışına bağlayınız. Osilaskobun 2. kanalını 741 in 6 nu' lu çıkış ucuna bağlayınız. Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.</p>	<p>Eviren, evirmeyen girişlerin ve +V (7 nu' lu uç), -V (4 nu' lu uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz. Cihazların toprak bağlantılarını ve evirmeyen giriş ucunun tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.</p>
<p>Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız. Sinyal jeneratörünü 1 V 100 Hz Sinüs dalga formuna ayarlayınız. Simetrik güç kaynağını, <math>\pm 10</math> V a ayarlayınız. Osilaskobun Time/Div kademesini 5 ms/Div, 1. kanalı giriş sinyali için 1 V/Div, 2. kanalı çıkış sinyali için 10 V/Div olarak ayarlayınız.</p>	<p>Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin basılmamış, problemlerinizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz.</p>
<p>Güç kaynağını aç devreye enerji uygulayarak devreyi çalıştırınız.</p>	<p>Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.</p>

<p>Osilaskop ekranındaki dalga şeklini aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz.</p>	
<p>Sinyal jeneratörünün çıkış genliğini sırayla 500 mV, 1 V, 1.5 V, 2 V kademelerine ayarlayın, çıkış gerilimlerini tablo 2.2'ye kaydediniz. Çıkış gerilimi giriş sinyal değişiminden etkilenmekte midir? Yorumlayarak arkadaşlarınızla tartışınız. Çıkış gerilimi besleme gerilim değerine ulaşıyor mu?</p>	 <p>Osilaskop ile gerilim ölçme hakkında elektriksel büyüklüklerin ölçülmesi modülünde almış olduğunuz bilgileri hatırlayınız.</p>
	<p>Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.</p>

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

Tablo 2.3: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın

### 2.3.3. Karşılaştırıcının Kontrol Devresi Olarak Kullanılması



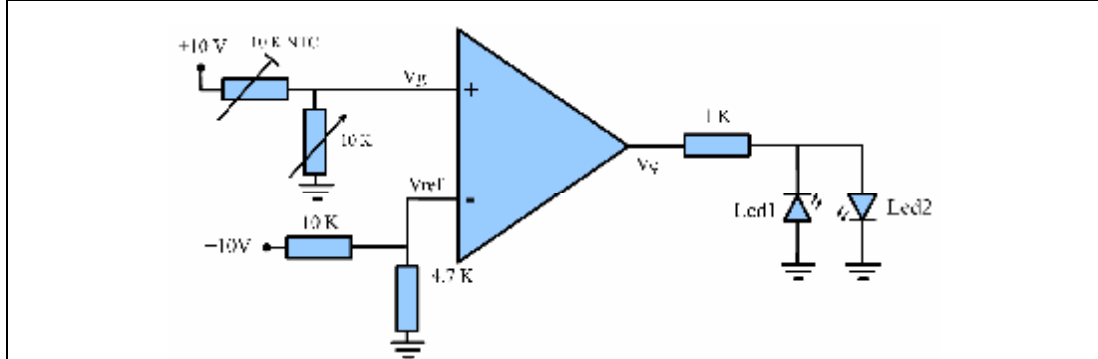
Şekil 2.6: Karşılaştırıcının kontrol devresi olarak kullanılması

Şekil 2.6'daki devreyi montaj seti üzerine kurunuz.	Potansiyometre orta ucunu doğrudan 3 nu' lu 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 ayarla, Vç gerilimini tabloya kaydediniz.	
Vg gerilimin Vref geriliminden küçük olduğu durumda hangi led yanmaktadır, tabloya kaydedip, yorumlayınız.	
0 V dan başlayarak Vg gerilimini arttırmamız.	
Vg gerilimi Vref geriliminden büyük olduğunda hangi led yanmaktadır tabloya kaydet, yorumlayınız.	
Çıkış gerilimini ölçerek tabloya kaydediniz.	
Hangi gerilim değerine ulaştığında ikinci led yanmıştır? Gerilim değerini tabloya kaydet ve yorumlayınız.	

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

Tablo 2.4:.. Sonuç değerlerini kaydedin ve ulaştığımız sonuçları yorumlayın.

### 2.3.4. Karşılaştırıcının Isı-Işık Kontrol Devresi Olarak Kullanılması



Şekil 2.7: Karşılaştırıcının ısı-ışık kontrollü devre olarak kullanılması

Şekil 2.7'deki devreyi montaj seti üzerine kurunuz.	
Vref gerilimini ölçerek tabloya kaydediniz.	
Voltmetreyi potansiyometrenin orta ucuna (Vg) bağlayınız.	
Oda sıcaklığında Led1 yanık Led2 Sönük oluncaya kadar potansiyometreyi ayarlayınız. Led2 söndüğü anda Vg gerilimini ölçerek tabloya kaydediniz.	Led2 söndüğü anda ayarlamayı durdurunuz.
Bir ısı kaynağı kullanarak NTC yi ısıtınız.	Isıtıcı olarak bir havya kullanabilirsiniz.
Led2 yandığı andaki Vg gerilimini ölçerek tabloya kaydet Yorumlayınız	Temastan kaçınınız NTC zarar görebilir.
Isıtıcıyı uzaklaştırarak NTC nin soğumasını bekle, Led2 söndüğü anda Vg gerilimini ölçerek tabloya kaydediniz.	
NTC yerine LDR bağlayınız	
LDR ışık alırken hangi led yanmaktadır? Yorumlayınız.	
LDR'yi ışık almayacak şekilde kapatıp, kapattığınız hangi led yanmaktadır? Yorumlayınız.	



Koşul		Özellik	Değer	Yorum
		V <sub>ref</sub>		
NTC	Soğuk	V <sub>g</sub>		
		V <sub>ç</sub>		
	Sıcak	V <sub>g</sub>		
		V <sub>ç</sub>		
LDR	Karanlık	V <sub>g</sub>		
		V <sub>ç</sub>		
	Aydınlık	V <sub>g</sub>		
		V <sub>ç</sub>		

**Tablo 2.5: Sonuç değerlerini kaydedin ve ulaştığınız sonuçları yorumlayınız**

### Kontrol Listesi

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		

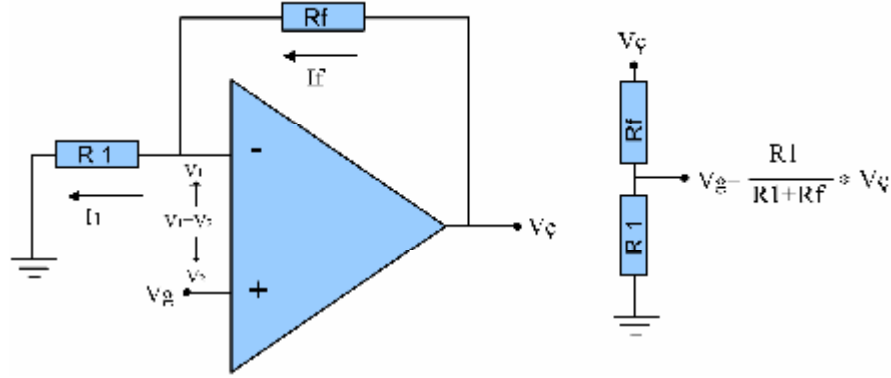
**Tablo 2.6: Kontrol listesi**

### Ø Ek Çalışma

NTC ve LDR yerine başka ne tür algılayıcılar kullanabileceğinizi araştırın, ne tür kontrol işlemleri yapabileceğinizi arkadaşlarınızla tartışınız.

Led yerine hangi devre elemanları bağlayarak büyük güçlü yükleri kontrol edebileceğinizi araştırın, arkadaşlarınızla tartışınız.

## 2.4. İşlemsel Yükseltecin Evirmeyen Yükselteç Olarak Kullanılması



Şekil 2.8: Evirmeyen yükselteç

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi giriş sinyali, işlemsel yükseltecin evirmeyen (+) girişine uygulanmıştır. Dolayısıyla çıkış sinyali ile giriş sinyali arasında faz farkı bulunmaz. İdeal bir işlemsel yükseltecin giriş direnci sonsuzdur, evirmeyen (+) ve eviren (-) giriş uçlarından akan akım 0 olduğundan, (+) ve (-) giriş uçları arasındaki potansiyel farkı 0 voltur.

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

$$I_f = I_1$$

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

$R_f * V_g = V_{\check{c}} - V_g * R_1$  elde edilir. Formül yeniden düzenlendiğinde,

$(R_1 + R_f) * V_g = V_{\check{c}} * R_1$  elde edilir.  $V_{\check{c}}$  ve  $V_g$  yi bir tarafa toplarsak,

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

Sonuç olarak evirmeyen yükseltecin kazancı eviren yükselteçten 1 fazla olarak elde

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

## 2.4.1. Evirmeyen Yükseltecin İncelenmesi

### Ø Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda, İşlemsel yükselteç ile yapılan evirmeyen yükselteç devresini kurup çalıştırabileceksiniz.

Giriş çıkış sinyallerini osilaskop kullanarak inceleyebileceksiniz.

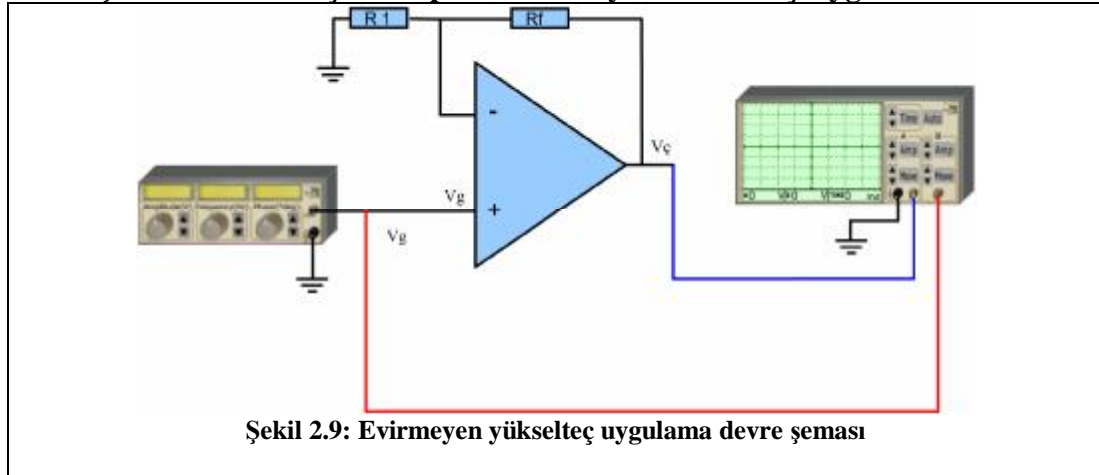
### Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

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

### Ø Kullanılacak Araç ve Gereçler

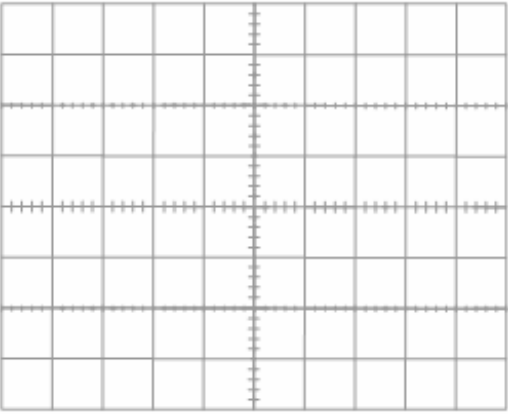
- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 2 adet 10 K direnç
- 1 er adet 1 K, 3,3 K direnç
- Çift ışıklı osilaskop
- Sinyal Jeneratörü
- Avo metre
- $\pm 15$  V Simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları

## 2.4.2. İşlemsel Yükselteç İle Yapılan Evirmeyen Yükselteç Uygulaması



Şekil 2.9: Evirmeyen yükselteç uygulama devre şeması

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Şekil 2.9. daki devreyi montaj seti üzerine kur. <math>R1 = 10</math> K, <math>Rf = 10</math> K olarak seçiniz.</p> <p>Sinyal jeneratörünün canlı ucunu <math>R1</math> in ucuna bağlayınız.</p> <p>Osilaskobun 1. kanalını sinyal jeneratörü çıkışına bağlayınız.</p>	<p>Eviren, evirmeyen girişlerin ve <math>+V</math> (7 nu' lu uç), <math>-V</math> (4 nu' lu uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olun.</p> <p>Kullanmadığınız zamanlarda</p>

<p>Osilaskobun 2. kanalını 741 in 6 nu' lu çıkış ucuna bağlayınız. Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.</p>	<p>cihazları kapatmayı unutmayın. Planlı, düzenli, temiz ve titiz çalışınız.</p>
<p>Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız. Sinyal jeneratörünü 1 V 100 Hz Sinüs dalga formuna ayarlayınız. Simetrik güç kaynağını, <math>\pm 10</math> V a ayarlayınız. Osilaskobun Time/Div kademesini 5 ms/Div, 1.ve 2. kanalı 0,5 V/Div olarak ayarlayınız.</p>	<p>Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.</p>
<p>Güç kaynağını aç devreye enerji uygula, devreyi çalıştırınız.</p>	<p>Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.</p>
<p>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.</p>	<p>Osilaskobunuzdan sinyal alamıyorsanız sabırlı olunuz, cihazın açık, Y pos düğmesinin uygun konumda, güç hariç tüm düğmelerin basılmamış, problemlerinizin sağlam ve cihazın kalibre edilmiş olduğundan emin olunuz.</p>
<p>Aşağıdaki tabloda verilen dirençleri devreye bağla, giriş ve çıkış işaretlerinin genliklerini osilaskop ile ölçerek tablo 2.1'e kaydet.</p>	<p>Osilaskop ile gerilim ölçme hakkında elektriksel büyüklüklerin ölçülmesi modülünde almış olduğunuz bilgileri hatırlayınız.</p>
	<p>Bilgileri hatırlayınız.</p>
	<p>Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.</p>

<b>R1</b> <b>KΩ</b>	<b>Rf</b> <b>KΩ</b>	<b>Kazanç</b> <b>1+Rf/R1</b>	<b>Vg Volt</b>	<b>Vç Volt</b>	<b>Yorum</b>
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

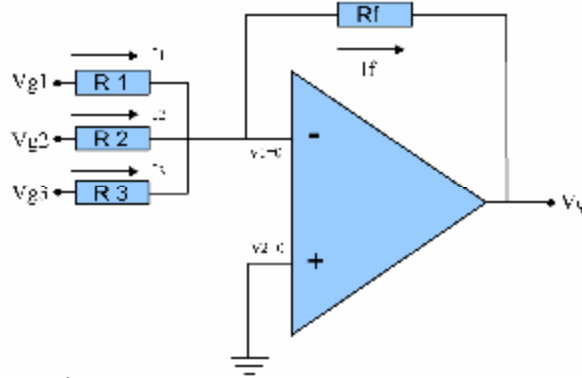
**Tablo 2.7: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın.**

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

<b>DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Elde edilen dalga şekli doğru çizilmiştir.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		

**Tablo 2.8: Kontrol listesi**

## 2.5. İşlemsel Yükseltecin Toplayıcı Olarak Kullanılması



Şekil 2.10: İşlemsel yükseltecin toplayıcı olarak çalışması

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi devre, eviren yükselteç gibi çalışmaktadır.  $R_f$  geri besleme direncinden geçen akıma  $I_f$ ,  $R_1$  direncinden geçen akıma  $I_1$ ,  $R_2$  direncinden geçen akıma  $I_2$ ,  $R_3$  direncinden geçen akıma  $I_3$  dersek, işlemsel yükseltecin giriş direncinin çok yüksek olması nedeniyle girişten akım akmayacağından, kirchoff akımlar kanununa göre;

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_f \text{ olur.}$$

İşlemsel yükseltecin eviren giriş  $V_1$  ucundaki gerilimin, evirmeyen giriş  $V_2$  ucundaki gerilime eşit olduğunu hatırlayın. Evirmeyen giriş ucu, toprağa bağlı olduğundan  $V_2=0V=V_1$  olmaktadır. Bu durumda:

$$I_1 = \frac{V_{g1}}{R_1}$$

ohm kanununa göre  $I_1$  yerine yazabiliriz,

$$\frac{V_{g1}}{R_1} + \frac{V_{g2}}{R_2} + \frac{V_{g3}}{R_3} = -\frac{V_{\check{c}}}{R_f} \text{ olur.}$$

$$V_{\check{c}} = -\left( \frac{R_f}{R_1} * V_{g1} + \frac{R_f}{R_2} * V_{g2} + \frac{R_f}{R_3} * V_{g3} \right)$$

Formül : olarak düzenlenebilir.

Eğer dirençler birbirine eşit olarak seçilirse  $R_1=R_2=R_3=R_f$

$V_{\check{c}} = -(V_{g1}+V_{g2}+V_{g3})$  olarak elde edilir.

“-“ işareti devrenin eviren yükselteç olarak çalışmasından kaynaklanmaktadır.

Eğer  $V_{\text{ç}} = V_{g1} + V_{g2} + V_{g3}$  istenirse çıkışa kazancı -1 olan bir eviren yükselteç eklenebilir.

### Ø Uygulama

$$V_{\text{ç}} = \frac{2V_{g1} + \frac{1}{2} V_{g2}}{3}$$

olan devreyi tasarlayın.

### Ø Yöntem

Tasarım  $V_{g1}$  gerilimini 2 ile çarpan, buna  $V_{g2}$  geriliminin yarısını ekleyen ve sonucu, kazancı  $K = -1/3$  olan bir eviren yükselteçle 3'e bölen iki işlemsel yükselteçli bir devre olmalı.

## 2.5.1. Toplayıcı Devrenin İncelenmesi

### Ø Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda, işlemsel yükselteç ile yapılan toplayıcı devreyi kurup çalıştırabileceksiniz.

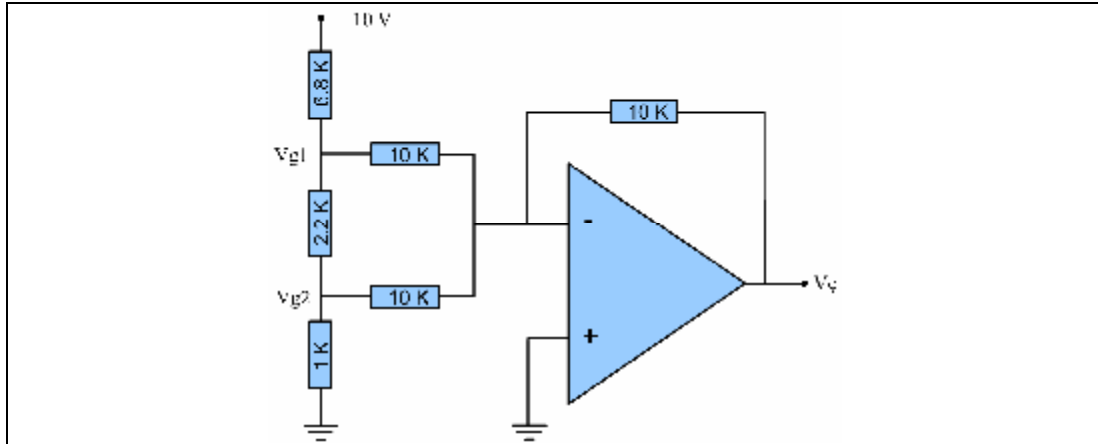
### Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

Analogdan sayısal dönüştürücü devrelerin çalışma prensiplerini araştırın ve bu devrelerin işlemsel yükselteçler ile nasıl yapılabileceğini arkadaşlarınızla tartışın.

### Ø Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 4 adet 10 K direnç
- 1 adet 1 K direnç
- 1 adet 2.2 K direnç
- 1 adet 6.8 K direnç
- Avometre
- $\pm 15$  V Simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları

## 2.5.2. İşlemsel Yükselteç İle Yapılan Toplayıcı Devresi Uygulaması



Şekil 2.11: İşlemsel yükseltecin toplayıcı devre olarak kullanılması

İşlem Basamakları		Öneriler	
Şekil 2.11'deki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.		+V (7 nu' lu uç), -V (4 nu' lu uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz.	
Güç kaynağını açarak devreye enerji uygulayarak devreyi çalıştırınız.		Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.	
Vg1, Vg2 ve Vç noktalarındaki gerilimleri ölçerek tabloya kaydediniz. Vç = - (Vg1+Vg2) oluyor mu? Yorumlayınız.			
Geri besleme direncini 20 K yapınız. Vg1, Vg2 ve Vç gerilimlerini tabloya kaydediniz. Vç gerilimi ile Vg gerilimleri arasındaki ilişkiyi yorumlayınız. Çıkış gerilimi geri besleme direncinden nasıl etkilenmiştir? Yorumlayınız. Vç=Vg1+Vg2 olması için ne yapılmalıdır?		20 K elde etmek için 2 adet 10 K direnci seri bağlayabilirsiniz.	
Koşul	Özellik	Değer	Yorum
Rf 10 K	Vg1		
	Vg2		
	Vç		
	Kazanç		
Rf 20 K	Vg1		
	Vg2		
	Vç		
	Kazanç		

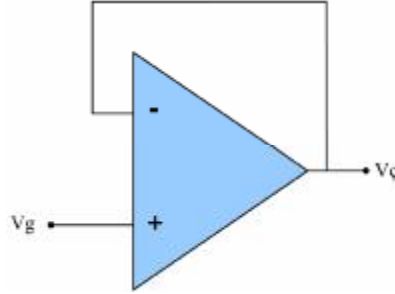
Tablo2.9: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın.



DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		

Tablo 2.10: Kontrol listesi

## 2.6. İşlemsel Yükseltecin Gerilim İzleyici Olarak Kullanılması



Şekil 2.12: Gerilim izleyici

Gerilim izleyici devre, gerilim kazancının 1 ve giriş, çıkış işaretlerinin aynı fazda olduğu bir yükselteçtir. Şekil 2.12’de 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. 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 olarak kullanılır.

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

### 2.6.1. Gerilim İzleyici Devrenin İncelenmesi

#### Ø Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda,  
İşlemsel yükselteç ile yapılan gerilim izleyici devresini kurup çalıştırabileceksiniz.  
Giriş ve çıkış sinyallerini osiloskop kullanarak inceleyebileceksiniz.

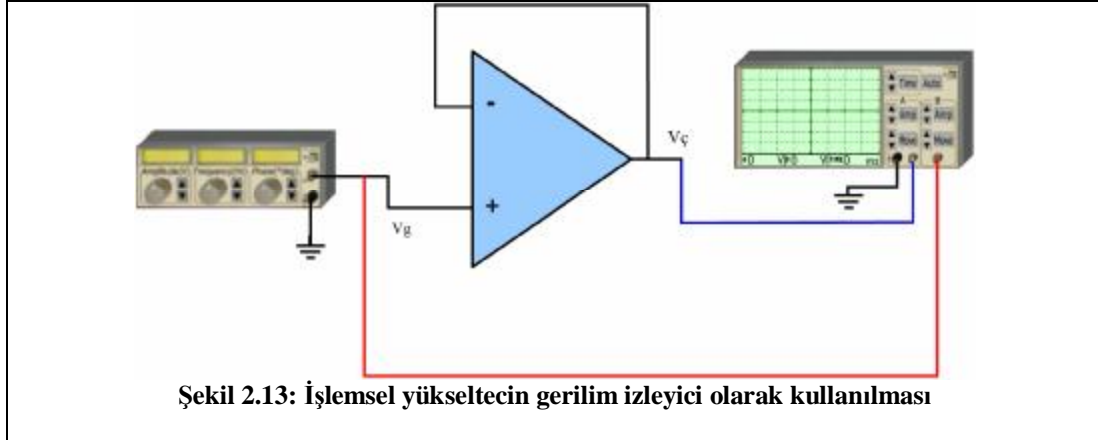
## Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

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.

### Ø Kullanılacak Araç ve Gereçler

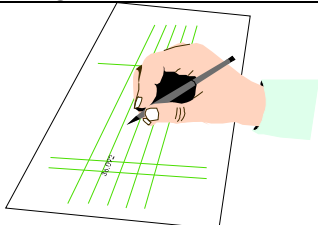
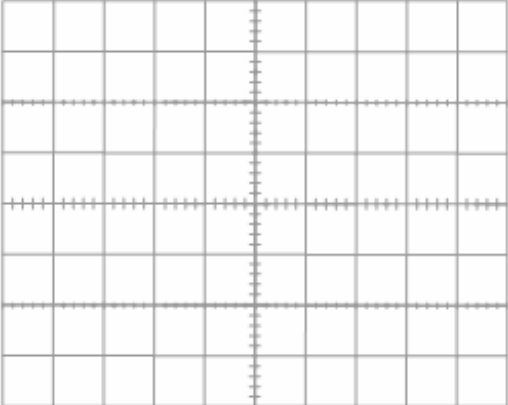
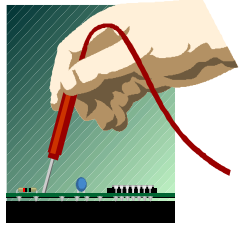
- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- Çift ışıklı osilaskop
- Sinyal Jeneratörü
- $\pm 15$  V Simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları

### 2.6.2. İşlemsel Yükselteç ile Gerilim İzleyici Uygulaması



Şekil 2.13: İşlemsel yükseltecin gerilim izleyici olarak kullanılması

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Şekil 2.13' teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Sinyal jeneratörünün canlı ucunu eviren giriş ucuna bağlayınız.</p> <p>Osilaskobun 1. kanalını sinyal jeneratörü çıkışına bağlayınız.</p> <p>Osilaskobun 2. kanalını 741 in 6 nu' lu çıkış ucuna bağlayınız.</p> <p>Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.</p>	<p>+V (7 nu' lu uç), -V (4 nu' lu uç) gerilimlerinin bağlantılarını doğru yaptığınızdan emin olunuz.</p>
<p>Devreye enerji vermeden önce aşağıdaki cihazların ayarlarını yapınız.</p> <p>Sinyal jeneratörünü 1 V 100 Hz sinüs dalga formuna ayarlayınız.</p> <p>Simetrik güç kaynağını, <math>\pm 10</math> V' a ayarlayınız.</p> <p>Osilaskobun Time/div kademesini 5 ms/div, 1. kanalı</p>	<p>Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.</p>

giriş sinyali için 0,5 V/Div, 2. kanalı çıkış sinyali için 0,5 V/Div olarak ayarlayınız.	
Devreye enerji uygulayarak çalıştırınız.	Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.
Giriş ve çıkış genliklerini ölçerek tabloya kaydediniz. Devrenin kazancını hesaplayınız. Ekrandaki sinyali aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiz. Devrenin çalışmasını yorumlayınız.	 $K = V_{\text{ç}} / V_{\text{g}}$
	 Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz.

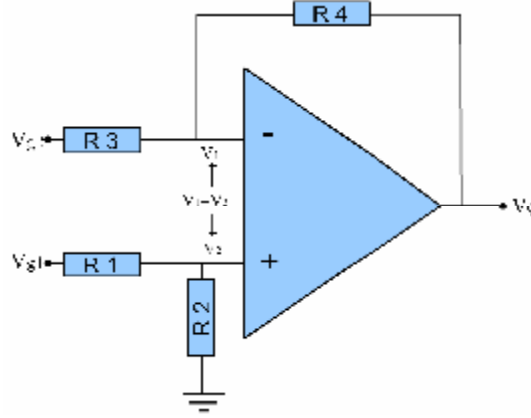
V <sub>g</sub> Volt	V <sub>ç</sub> Volt	Kazanç V <sub>ç</sub> /V <sub>g</sub>	Yorum

Tablo 2.11: Sonuçları kaydedin ve yorumlayın

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Elde edilen dalga şekli doğru çizilmiştir.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		

Tablo 2.12: Kontrol listesi

## 2.7. İşlemsel Yükseltecin Fark Yükselteci Olarak Kullanılması



Şekil 2.14: Fark yükselteci

Şekil 2.14'te prensip şeması görülen çıkarma devresi olarak da isimlendirebileceğimiz fark devresi, (+) ve (-) girişlerine uygulanan sinyallerin farkını alır, çıkarma işlemini yapar. 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:

$$V_1 \text{ noktasındaki gerilim } V_1 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} * V_{g1} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} * V_{ç} \text{ olur.}$$

$$V_2 \text{ noktasındaki gerilim ise } V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{g1} \text{ olarak elde edilir.}$$

Çıkış gerilim denklemi ise;

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

Eğer bütün dirençler eşitlenirse çıkış gerilimi denklemi  $V_{ç} = V_{g1} - V_{g2}$  olur.

## 2.7.1. Fark Yükseltecinin İncelenmesi

### Ø Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda, İşlemsel yükselteç ile yapılan fark yükselteci devresini kurup çalıştırabileceksiniz. Giriş ve çıkış sinyallerini avometre kullanarak ölçebileceksiniz.

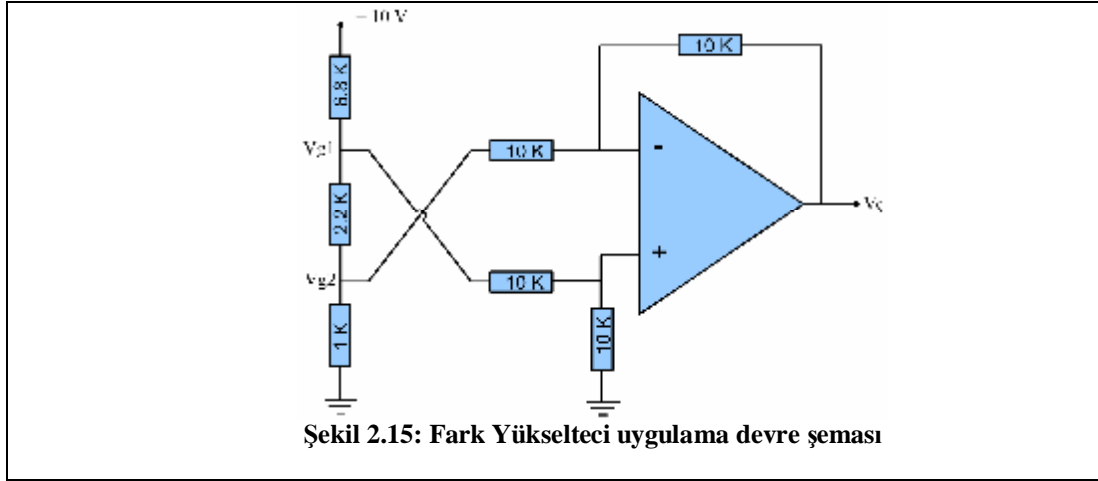
### Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

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

### Ø Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 4 adet 10 K direnç
- 1'er adet 1 K, 2.2 K, 6.8 K direnç
- Avo metre
- $\pm 15$  V Simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları

## 2.7.2. İşlemsel Yükselteç ile Fark Yükselteci Uygulaması



Şekil 2.15: Fark Yükselteci uygulama devre şeması

İşlem Basamakları	Öneriler
Şekil 2.15' teki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.	Cihazların toprak bağlantılarının tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız.

Simetrik güç kaynağını, $\pm 10$ V a ayarlayınız.	Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz.
Güç kaynağını aç devreye enerji uygula, devreyi çalıştırınız.	Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.
$V_{g1} > V_{g2}$ iken, Avometre kullanarak $V_{g1}$ , $V_{g2}$ ve $V_{\checkmark}$ gerilimlerini ölçerek tabloya kaydedip, sonuçları yorumlayınız. Devre fark yükseltici olarak çalışıyor mu?	
$V_{g1} < V_{g2}$ olacak şekilde eviren ve evirmeyen giriş uçlarını yer değiştiriniz. Avometre kullanarak $V_{g1}$ , $V_{g2}$ ve $V_{\checkmark}$ gerilimlerini ölçerek tabloya kaydedip, sonuçları yorumlayınız. Devre fark yükseltici olarak çalışmış mıdır? Yorumlayınız.	

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

Tablo2.13. Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		

Tablo 2.14: Kontrol listesi

## 2.8. İşlemsel Yükseltecin Aktif Filtre Olarak Kullanılması

Filtrenin kelime anlamı süzgeçtir. Geçmesini istediğimiz niceliklere izin verir, istemediklerimizi ise engeller. En bilinen filtre mutfaklarımızda kullandığımız çay süzgecidir ve çayın sıvısını geçirirken posasını geçirmezler. Elektronik filtrelerde benzer şekilde çalışır ve istenen elektrik sinyallerinin geçmesine izin verirken istenmeyen sinyalleri engeller.

Eğer bir filtre belli bir kesim (cut-off) frekansının altındaki frekansları geçiriyor, üstündekileri zayıflatıyorsa bu filtre türüne, alçak geçiren(low pass) filtre denir. Yüksek geçiren (high pass) filtreler ise belli bir kesim frekansının üstündeki frekansların geçmesine izin verirken bu frekansın altında kalan frekansları zayıflatır. Belli bir frekans aralığındaki sinyalleri geçiren filtrelere bant geçiren (bant pass), belli bir frekans aralığındaki sinyalleri engelleyen filtrelere ise bant tıkayan filtre denir. Bant tıkayan filtrelerin çalışma frekansları çok dar hatta tek bir frekans için ayarlanabilir. Bant tıkayan filtreler genellikle şebeke geriliminden kaynaklanan parazitlerin giderilmesi amacıyla kullanılır.

Basit bir direnç R ve kondansatör C [ve bobin L ] kullanarak bir filtre yapılabilir. Devresinde direnç, kondansatör gibi pasif devre elemanları kullanılan ve çalıştırılması için enerji gerektirmeyen filtrelere pasif filtre denir. Devresinde transistör, tümdevre gibi aktif devre elemanları kullanılan ve çalıştırılması için enerji gereken filtrelere de aktif filtreler denir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere işlemsel yükselteçler ile yapılan filtre devreleri aktif filtrelerdir.

Aktif filtrelerin pasif filtrelere göre bazı önemli üstünlükleri vardır. Aktif filtrelerde filtrenin geçirgen olduğu bölgede herhangi bir sinyal zayıflaması olmaz. Yapısında bobin kullanılmadığından ucuz ve kolayca oluşturulabilir. Giriş empedansları yüksek olduğundan giriş ve çıkışlarına bağlanan devreleri etkilemez.

Önemli zayıf yönleri ise çalışmalarını için bir besleme gerilimine ihtiyaç duymaları ve işlemsel yükseltecin bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle her frekans için filtre oluşturma zorluğudur.

İşlemsel yükselteçli aktif filtre devreleri tasarımı National Semiconductor firması web sitesinde Webbench programı yardımıyla online olarak gerçekleştirilebilmektedir. ([http://www.national.com/appinfo/webench/scripts/my\\_webench.cgi/](http://www.national.com/appinfo/webench/scripts/my_webench.cgi/))

### 2.8.1. Aktif Filtre Devrelerinin İncelenmesi

#### Ø Amaç

Bu uygulama faaliyetini başarı ile tamamladığınızda, İşlemsel yükselteç ile yapılan aktif alçak geçiren filtre devresini kurup çalıştırabileceksiniz.

İşlemsel yükselteç ile yapılan aktif yüksek geçiren filtre devresini kurup çalıştırabileceksiniz.

Giriş ve çıkış sinyallerini osilaskop kullanarak ölçebileceksiniz.

### Ø Araştırma ve Hazırlık Faaliyetleri

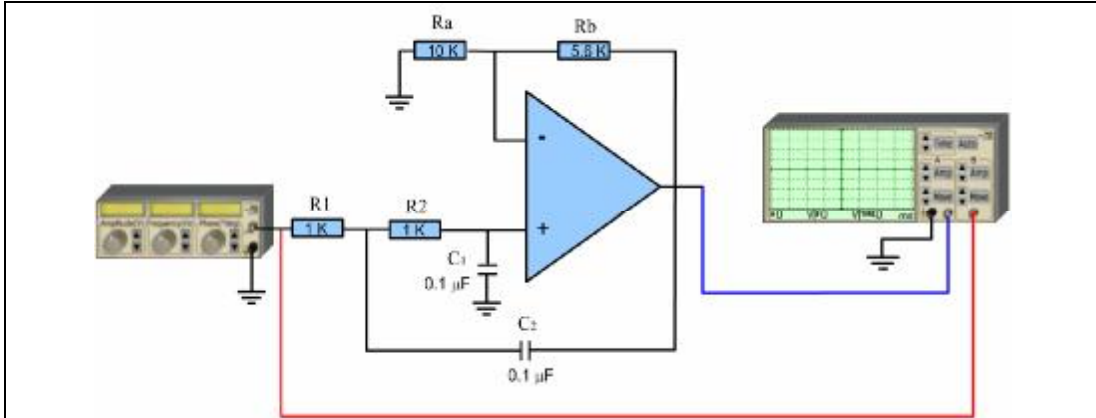
Filtre devreleri ile ilgili olarak yukarıda verilen temel bilgileri inceleyiniz. Elektronik simülasyon programları ile devrenin çalışmasını inceleyiniz.

Evlerinizde kullandığınız müzik cihazlarındaki baz, tiz kontrol devresi ve ekolayzer devrelerinin çalışmasını araştırınız.

### Ø Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 1 adet LM741 işlemsel yükselteç
- 2 adet 1 K direnç
- 1'er adet 10 K, 5.6 K direnç
- 2 adet 0.1  $\mu$ F kondansatör
- Çift ışıklı osilaskop
- Sinyal jeneratörü
- $\pm 15$  V Simetrik güç kaynağı
- Elektronik devre montaj seti
- Bağlantı kabloları

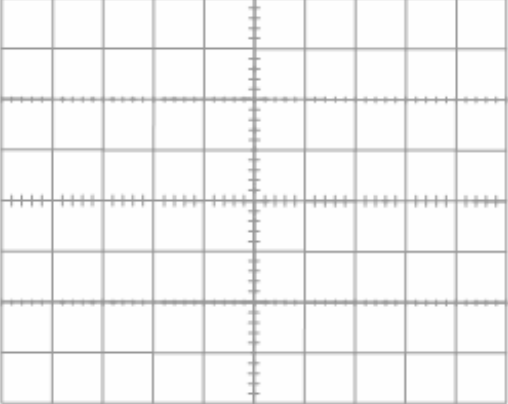
## 2.8.2. İşlemsel Yükselteç ile Alçak Geçiren Filtre Uygulaması

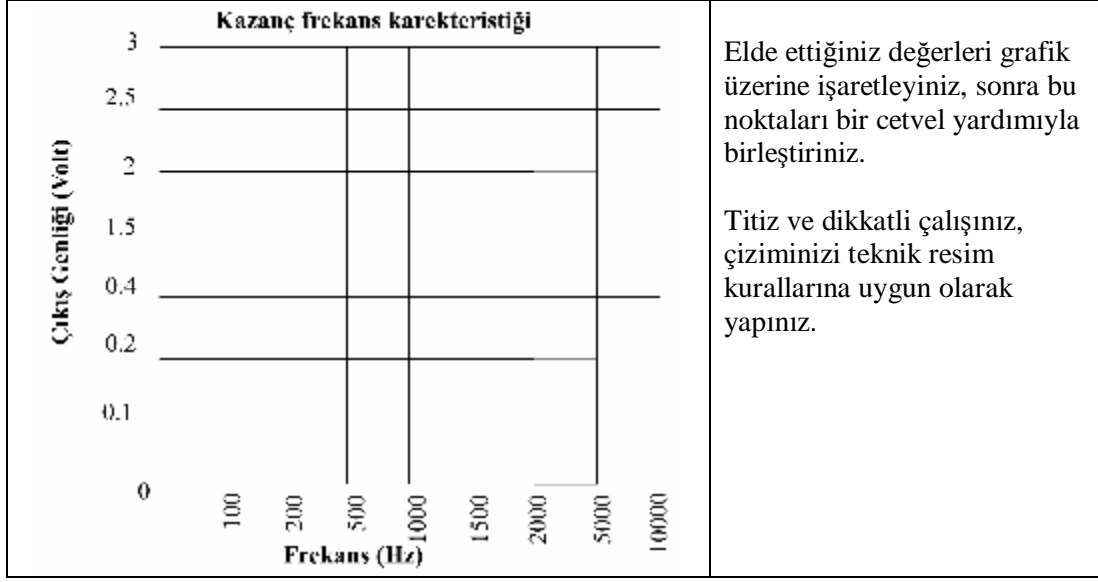


Şekil 2.16: Alçak geçiren filtre uygulama devre şeması

İşlem Basamakları	Öneriler
Şekil 2.16'daki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Güç kaynağının + ucunu 741 de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.	Cihazların toprak bağlantılarının tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. Kullanmadığınız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayın. Planlı, düzenli, temiz ve titiz çalışınız.



<p>Simetrik güç kaynağını, <math>\pm 10\text{ V}</math> a ayarlayınız. Sinyal jeneratörünü 100 Hz, 2 V, sinüs dalga formuna ayarlayınız. Osilaskobun Time/Div kademesini 5 ms/div, 1. kanalı giriş sinyali için 1 V/Div, 2. kanalı çıkış sinyali için 1 V/Div olarak ayarlayınız.</p>	<p>Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz. Osilaskop genlik ve frekans kalibrasyonunun doğru yapıldığından emin olunuz.</p>
<p>Osilaskop 1. kanalını sinyal jeneratörü çıkışına, 2. kanalını işlemsel yükseltecin 6 nu' lu ucuna bağlayınız.</p>	
<p>Güç kaynağını aç devreye enerji uygulayıp, devreyi çalıştırınız.</p>	<p>Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.</p>
<p>Devrenin kazancını hesaplayıp, tablo 2.16'ya kaydediniz.</p>	<p><math>K=1+R_b/R_a</math> formülünü kullanabilirsiniz.</p>
<p>Şemada verilen devre elemanlarıyla kesim frekansını hesaplayıp, tablo 2.16'ya kaydediniz.</p>	<p><math display="block">F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}</math> formülünü kullanabilirsiniz.</p>
<p>Osilaskop ekranındaki sinyalleri aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. Giriş ve çıkış sinyalleri arasında faz farkı var mı? Neden?</p>	
	<p>Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz. Frekans arttıkça osilaskop ekranındaki sinyal sıklaşacağından uygun Time/Div kademesini seçiniz.</p>
<p>Sinyal jeneratörünün frekansını Tablo 2.15' te verilen değerlere ayarlayıp, çıkış genliğini ve kazancı tabloya kaydediniz. Tabloda elde edilen değerleri kullanarak aşağıdaki karakteristik eğriyi çiziniz. Hesapladığınız kesim frekansı ile karakteristik egride oluşan durum birbiri ile örtüşüyor mu? Yorumlayınız. Devrenin bant genişliğini bulup, Tablo 2.16'ya kaydediniz. Devrenin alçak geçiren filtre olarak çalıştığı bölgenin ortalama kazancını bulup, tablo 2.16'ya kaydediniz. Sonuçları yorumlayınız.</p>	<p>Sinyal jeneratörü çıkış genliğinin 2 V sabit kalmasına dikkat ediniz. <math>F_c</math> kesim frekansı <math>V_c</math> genliğinin normal değerinin üçte ikisine indiği andaki frekans değeridir. <math>V_c</math>'nin normal değeri 3 V' tur.</p>



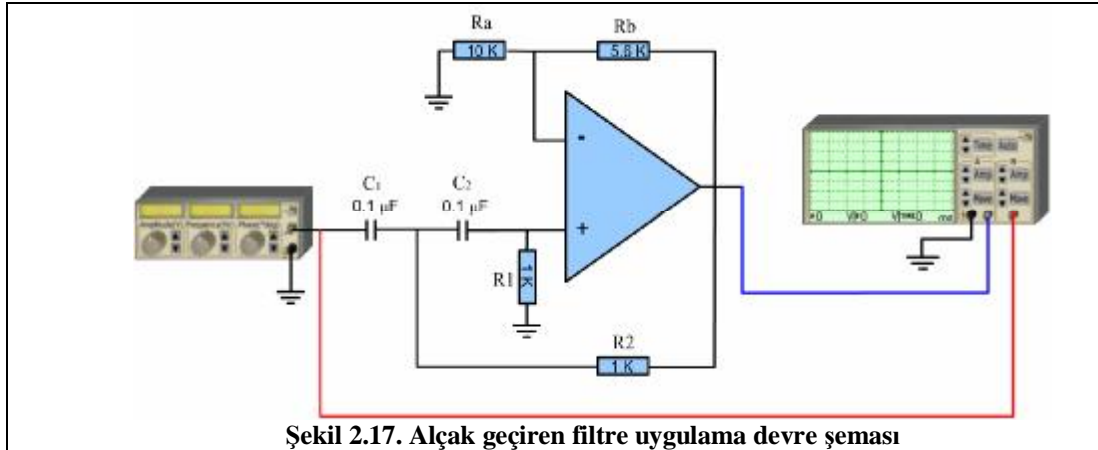
Frekans (Hz)	V <sub>ç</sub>	Kazanç (V <sub>ç</sub> /V <sub>g</sub> )	Yorum
100			
200			
500			
1000			
1500			
2000			
5000			
10000			

Tablo2.15: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın.

$K=1+R_b/R_a$	Geçirgen Bölge Ortalama Kazancı	$F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$	F <sub>c</sub> (grafikten)	Bant Geniliği(BG) F(üst)-F(alt)

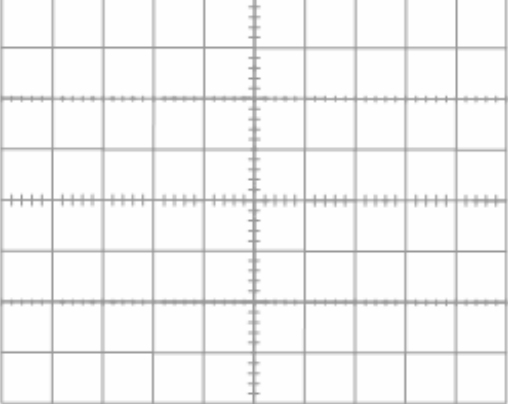
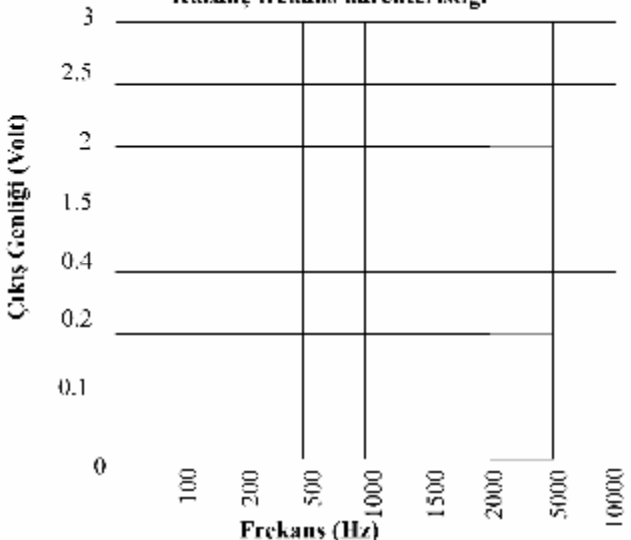
Tablo2.16: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayınız

### 2.8.3. İşlemsel Yükselteç ile Yüksek Geçiren Filtre Devresi Uygulaması



Şekil 2.17. Alçak geçiren filtre uygulama devre şeması

İşlem Basamakları	Öneriler
Şekil 2.17'deki devreyi montaj seti üzerine kurunuz. Güç kaynağının + ucunu 741' de 7 nu' lu uca, - ucunu 4 nu' lu uca, toprak ucunu 3 nu' lu uca ve diğer cihazların toprak ucuna bağlayınız.	Cihazların toprak bağlantılarının tek bir noktada birleştirileceğini unutmayınız. Kullanmadığımız zamanlarda cihazları kapatmayı unutmayınız. Planlı, düzenli, temiz ve titiz çalışınız.
Simetrik güç kaynağını, $\pm 10\text{ V}$ ' a ayarlayınız. Sinyal jeneratörünü 100 Hz, 2 V, sinüs dalga formuna ayarlayınız. Osilaskobun Time/div kademesini 5 ms/div, 1. kanalı giriş sinyali için 1 V/div, 2. kanalı çıkış sinyali için 1 V/Div olarak ayarlayınız.	Besleme geriliminin doğru ayarlandığından ve kısa devre olmadığından emin olunuz. Osilaskop genlik ve frekans kalibrasyonunun doğru yapıldığından emin olunuz.
Osilaskop 1. kanalını sinyal jeneratörü çıkışına, 2. kanalını işlemsel yükseltecin 6 nu' lu ucuna bağlayınız.	
Güç kaynağını aç devreye enerji uygulayıp, devreyi çalıştırınız.	Devrede ısınan parça olup olmadığını kontrol ediniz.
Devrenin kazancını hesaplayıp, tablo 2.18'e kaydediniz.	$K=1+R_b/R_a$ formülünü kullanabilirsiniz.
Şemada verilen devre elemanlarıyla kesim frekansını hesaplayıp, Tablo 2.18'e kaydediniz.	$F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ formülünü kullanabilirsiniz.
Osilaskop ekranındaki sinyalleri aşağıdaki boş osilaskop ekranına çiziniz. Giriş ve çıkış sinyalleri arasında faz farkı var mı? Neden?	

	<p>Giriş sinyalini üste, çıkış sinyalini alta çiziniz. Frekans arttıkça osilaskop ekranındaki sinyal sıklaşacağından uygun Time/div kademesini seçiniz.</p>
<p>Sinyal jeneratörünün frekansını tablo 2.17’de verilen değerlere ayarlayıp, çıkış genliğini ve kazancı tabloya kaydediniz.</p> <p>Tabloda elde edilen değerleri kullanarak aşağıdaki karakteristk eğriyi çiziniz.</p> <p>Hesapladığınız kesim frekansı ile karakteristk eğride oluşan durum birbiri ile örtüşüyor mu? Yorumlayınız.</p> <p>Devrenin bant genişliğini bulup, tablo 2.18’e kaydediniz.</p> <p>Devrenin yüksek geçiren filtre olarak çalıştığı bölgenin ortalama kazancını bulup, tablo 2.18’e kaydediniz.</p>	<p>Sinyal jeneratörü çıkış genliğinin 2 V sabit kalmasına dikkat ediniz.</p> <p>Fc kesim frekansı <math>V_c</math> genliğinin normal değerinin üçte ikisine indiği andaki frekans değeridir. <math>V_c</math>’nin normal değeri 3 V’ tur.</p> <p>Yüksek geçiren filtrede üst frekans sınırının işlemsel yükseltecin kendi bant genişliği ile ilgili olduğunu unutmayınız.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Kazanç frekans karakteristiği</b></p> 	<p>Elde ettiğiniz değerleri grafik üzerine işaretleyiniz, sonra bu noktaları bir cetvel yardımıyla birleştiriniz.</p> <p>Titiz ve dikkatli çalışınız, çiziminizi teknik resim kurallarına uygun olarak yapınız.</p>

Frekans (Hz)	V <sub>ç</sub>	Kazanç (V <sub>ç</sub> /V <sub>g</sub> )	Yorum
100			
200			
500			
1000			
1500			
2000			
5000			
10000			

**Tablo 2.17: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın.**

$K=1+R_b/R_a$	Geçirgen Bölge Ortalama Kazancı	$F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$	F <sub>c</sub> (grafikten)	Bant Genişliği(BG) F(üst)-F(alt)

**Tablo 2.18: Sonuç değerlerini kaydedin ve yorumlayın.**

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
Araştırma faaliyetleri yapılmıştır.		
Devre elemanları doğru olarak seçilmiştir.		
Gerekli cihazlar temin edilmiştir.		
Devre montajı şemaya uygun ve düzenli yapılmıştır.		
Cihazlar uygun değerlere ayarlanmıştır.		
Devre öngörülen şekilde çalışmıştır.		
Ölçme işlemleri doğru olarak yapılmıştır.		
Sonuç tablosu eksiksiz doldurulmuştur.		
Elde edilen dalga şekli doğru çizilmiştir.		
Karakteristik eğri doğru olarak çizilmiştir.		

**Tablo 2.16: Kontrol listesi**

Bu modülde yer almayan işlemsel yükselteç uygulamaları ve ayrıntılı bilgi için kaynaklar sayfasında verilen internet adreslerini ziyaret ediniz. İnternet arama motorlarından “[www.google.com.tr](http://www.google.com.tr), [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com)” arama formuna “işlemsel yükselteç, işlemsel kuvvetlendirici, operasyonel amplifikatör, operational amplifier, opamp, op-amp, LM741, analog computer” gibi anahtar kelimeler yazarak işlemsel yükselteçler hakkında detaylı araştırma yapabilirsiniz.

İnternette demo versiyonlarını edinebileceğiniz Crocodile Clips-<http://www.crocodile-clips.com>, Electronic Workbench, Edison - <http://www.edisonlab.com>, Virtual Breadboard, [www.virtualbreadboard.com](http://www.virtualbreadboard.com) gibi programları kullanarak devrelerinizi bilgisayar ortamında deneyebilirsiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF ÖLÇME SORULARI

1. Aşağıdakilerden hangisi bir geri besleme tekniğidir?  
A) Pozitif direnç  
B) Negatif frekans  
C) Seri gerilim  
D) Seri frekans
2. Pozitif geri beslemeli bir yükseltecin kazancı 1 den büyük olursa yükselteç nasıl olmalıdır?  
A) Çıkışı  $180^\circ$  faz farklıdır.  
B) Çıkış direnci sonsuzdur.  
C) Osilatör olarak çalışır.  
D) Daha kararlı çalışır.
3. Gerilim izleyici devre için hangisi yanlıştır?  
A) Tampon olarak kullanılır.  
B) Yüksek giriş direncine sahiptir.  
C) Kazancı ayarlanabilir.  
D) Negatif geri beslemelidir.
4. Çıkarma devresinde  $V_{g1} > V_{g2}$  olduğunda çıkış ne olur?  
A)  $V_{g1} + V_{g2}$  olur  
B)  $V_{g1} - V_{g2}$  olur  
C) 0 V olur  
D)  $-V_{cc}$  olur

**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 karşılaştırıcı devresi motor kontrolü için programlanabilir.
8. ( ) Bir toplayıcı devre sayısal sinyalleri analog sinyallere dönüştürmek için kullanılabilir.
9. ( ) Filtreler belirli frekansları engellemek için kullanılır.
10. ( ) Bir işlemsel yükselteçli aktif filtre her frekansta kullanılabilir.

## MODÜL DEĞERLENDİRME

1. Bir karşılaştırıcı devresinin her iki girişine aynı polaritede eşit genlikte sinyaller uygulanmakta iken çıkış genliği -  $V_{max}$  olmaktadır. Sonucu yorumlayın. Eğer bu bir sorun ise çözüm önerinizi belirtiniz.
2.  $R_1 = 10\text{ K}$ ,  $K = -5$  olan devreyi tasarlayınız.
3.  $R_f = 47\text{ K}$ ,  $R_1 = 33\text{ K}$  olan evirmeyen yükseltecin girişine  $50\text{ mV}$  sinyal uygulanmaktadır.  $V_{ç}$ 'yi hesaplayınız.
4.  $V_{ç} = 3V_{g1} + 2V_{g2} - V_{g3} - 1/2V_{g4}$  olan devreyi tasarlayınız.
5.  $V_g = 100\text{ mV}$  ve  $V_{ç} = 1,5\text{ V}$  olan devrenin  $R_f$  ve  $R_1$  değerlerini hesaplayınız.
6.  $100\text{ mV}$  ile  $1\text{ V}$  arasında değişen bir testere dışı sinyalden çıkışı  $0\text{ V}$  ile  $5\text{ V}$  arasında değişen bir kare dalga sinyal elde edilecektir. LM741 kullanarak devreyi tasarlayınız.
7. Bir sıvı tankındaki sıvı seviyesi  $0-500\text{ mV}$  gerilim kademesini ölçen bir analog voltmetre skalasından izlenecektir. Sıvı seviyesi  $10\text{ K}$ 'lık potansiyometrenin miline bağlı bir şamandıranın mili hareket ettirmesiyle algılanacaktır.
  - Ø Kullanılabilecek devre türünü belirleyiniz.
  - Ø Devreyi LM741 işlemsel yükselteci kullanarak tasarlayınız.
  - Ø Devreyi kurup çalıştırınız.
8. Bir ses yükseltecinin çıkış transistörlerinin bağlı soğutucu hız kontrollü en fazla  $12\text{ V}$  ile çalışan bir DC motora bağlı fan ile soğutulacaktır. Soğutucu yüzeyine bağlanan bir NTC ile sıcaklık algılanacak ve sıcaklık arttıkça fan daha hızlı dönerek daha fazla soğutma işlemi yapılacaktır.
  - Ø Kullanılabilecek devre türünü belirleyiniz.
  - Ø Devreyi LM741 işlemsel yükselteci kullanarak tasarlayınız.
  - Ø Devreyi kurup çalıştırınız.
9.  $R_1 = 10\text{ K}$ ,  $C_1 = 10\text{ nF}$  olan yüksek geçiren filtre devresinin kesim frekansını hesaplayınız.
10. Kesim frekansı  $10\text{ Khz}$  olan bir alçak geçiren filtre için kullanılabilecek direnç ve kondansatör değerlerini hesaplayınız.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1 CEVAP ANAHTARI

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

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2 CEVAP ANAHTARI

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

## MODÜL DEĞERENDİRME CEVAP ANAHTARI

1. Devrenin çıkış dengesizlik gerilim ayarı yapılmamıştır. Dengesizlik gerilim ayarı yapılarak sorun çözülebilir.

$$K = - \frac{R_f}{R_1}$$

2. Devre bir eviren yükselteç olup kazancı  $K = - \frac{R_f}{R_1}$  olduğundan,  $R_f = K \cdot R_1$  olur.  $R_f = -5 \cdot 10K = -50K$  olur. Direnç, "-" işareti olamayacağından  $R_f = 50K$  olarak seçilir.

$$K = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad K = 1 + \frac{47}{33} = 2.42$$

3. Devrenin kazancı  $K = 1 + \frac{R_f}{R_1}$  dir.  $K = 2.42$  kazancı yaklaşık olarak 2.5 alırsak.  $V_{\text{ç}} = 2.5 \cdot 50\text{mV} = 125\text{mV}$  olarak buluruz.

4. Devre 2 kademeli bir toplayıcı devresi olup 1. işlemsel yükseltecin çıkışı kazancı 1 olan 2. işlemsel yükseltecin girişine uygulanır. "+" işaretli sinyaller 1. işlemsel



yükseltece, “-“ işaretli sinyaller 2. işlemsel yükseltece uygulanır. Vg1 için K=3, Vg2 için K=2, Vg3 için K=1 ve Vg4 için K=1/2 yapacak değerler hesaplanır.

5. Vg=100 mV iken Vç = 1.5 ise devre bir evirmeyen yükselteç devresi olup kazancı

$$K=1+\frac{R_f}{R_1} \quad \text{formülü ile bulunur. Devrenin kazancı} \quad K=\frac{V_{\check{c}}}{V_g} \quad \text{olduğundan}$$

$$K=\frac{1500}{100}=15 \quad \text{olarak bulunur. Kazanç} \quad K=1+\frac{R_f}{R_1} \quad \text{olduğundan } R_f/R_1 \text{ oranının}$$

14 olması gerekir. R1=1 K seçilirse Rf = 14 K olmalıdır.

6. Vref gerilimi 100 mV a kalibre edilmiş, ofset ayarı yapılmış evirmeyen karşılaştırıcı devresi 5 V tek kaynak kullanılarak devre gerçekleştirilebilir.

7. Bir ucu toprağa bağlı 10 K potansiyometre ile +V kaynak gerilimi arasına seri olarak 10 K direnç bağlandığında, potansiyometre uçları arasında 5 V gerilim düşümü elde edilir. Potansiyometrenin orta ucu kazancı 1/10 olan bir yükselteç devresi ile doğrudan Voltmetreye bağlanarak çıkış izlenebilir.

8. 12 V kaynak gerilimi kullanıldığında, toprağa bağlı 1 K lık bir seri direnç ve +V ye bağlı NTC ile gerilim bölücü oluşturulur. Direncin ucundan alınan gerilim evirmeyen yükselteç yada gerilim izleyici girişine uygulanır. Oda sıcaklığında yaklaşık 10 K direnci olan NTC uçlarında yaklaşık 10,5 V, direnç ucunda ise 1,5 V gerilim düşümü olur. Sıcaklık arttıkça NTC direnci azalacağından 1 K ucundaki gerilim düşümü artacaktır. Dolayısıyla işlemsel yükselteçli devrenin çıkış gerilimi de artacaktır. Bu gerilim beyzi toprak bir transistör bağlantısıyla motoru çalıştırmak için kullanılabilir.

9.  $F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$  formülünde değerleri yerine koyarak kesim frekansı hesaplanabilir.

10. C1 değeri yaklaşık bir değer seçilip  $F_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$  formülünden R1 hesaplanır.

## KAYNAKÇA

- Ø EFE Mustafa, **Ders Notları**, Gebze Anadolu Teknik Lisesi Tıp Elektronik Bölümü Öğretmeni, 1990.
- Ø DUTAR Celal., **Transistör Esasları**, Ders Kitabı, İZMİR, 1990.
- Ø TAPLAMACIOĞLU M. Lami, **Elektronik Mühendisliği Cilt 1-2. MEB Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları**, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları, ANKARA, 1976
- Ø KORÜREK. Mehmet, **Tıp Elektronikinde Kullanılan Kuvvetlendiriciler ve Dönüştürücüler**, İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Yayınları, 1988.
- Ø ASELSAN, **OP-AMP Prensipleri**, Askeri Elektronik Sanayi ve Tic. A.Ş. ANKARA, 1985.
- Ø KURTULDU Şaban, **İleri Elektronik Dijital 1 Ders Kitabı**, Çınarlı ATL ve EML, İZMİR, 1991.
- Ø Boylestad R, Nashelsky L, **Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi**, MEB, ANKARA, 1994.
- Ø Wong, Yu Jen, Ott, William E., **Function Circuits**, Burr-Brown Research Corporation, Kingsport Press, USA, 1976.
- Ø Graeme Jerald G., **Designing With Operational Amplifiers**, Burr-Brown Research Corporation, Kingsport Press, USA, 1977.
- Ø KÜÇÜK Serdar, **Elektronik Ders Kitabı**, Yüce Yayınları, İSTANBUL, 2003.
- Ø TUBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi Web Sitesi  
<http://www.biltek.tubitak.gov.tr>
- Ø Silisyum.net Web Sitesi  
<http://www.silisyum.net/html/opamp/opamp.htm>
- Ø Ankara Telsiz ve Radyo Amatörleri Cemiyeti Web Sitesi  
<http://www.antrak.org.tr/gazete/102000/sahin.htm>
- Ø National Semiconductor Web Sitesi  
[www.national.com](http://www.national.com)
- Ø Georgia State University Web Sitesi  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/opampcon.html>
- Ø Online Op-Amp tasarım sitesi  
<http://www.vwlowen.demon.co.uk/java/opamp.htm>
- Ø Tony Van Roons 741 Op-Amp Tutorial  
<http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/741/741.html>
- Ø E-circuit center  
<http://www.ecircuitcenter.com/Circuits.htm>
- Ø Analog Computer Museum and History Center  
<http://dcoward.best.vwh.net/analog/>
- Ø Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü EDT laboratuvarı Web Sitesi  
<http://www.ehm.yildiz.edu.tr/EDTlab.html>