

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi  
Fizik Bölümü  
Temel Elektronik Laboratuvarı

## Deney-8

# Türev ve İntegral Alabilen Olarak Kullanılan Temel Op-amp Devreleri

### Hazırlayanlar:

Arş. Gör. Mustafa HARBUTOĞLU  
Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN

# 1. Türev Alıcı Devre

## 1.1 Deneyin Amacı

Op-amp'ların (İşlemsel Kuvvetlendiricilerin) Türev alıcı fonksiyonlar olarak nasıl çalıştıklarını öğrenmek.

## 1.2 Teorik Bilgi

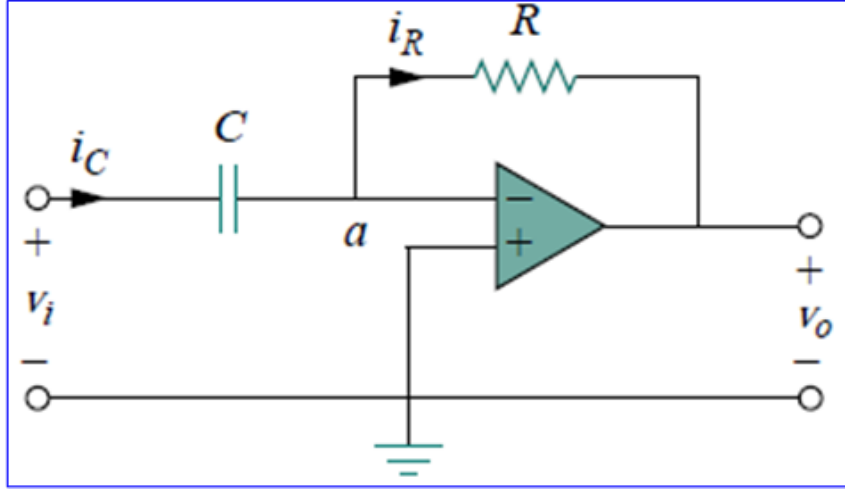
Türev alıcı devresi, genel olarak bir eviren yükselteç özelliğindedir. Girişe uygulanan işaretin türevini alarak çıkışa aktaran bir işlemsel yükselteç uygulamasıdır. Matematiksel alanda türev fonksiyonun herhangi bir noktadaki değişim hızını gösterir. Türev alıcı devrelerde girişte verilen sinyalin türevini alarak çıkışta elde edilen dalganın değeri aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$v_0 = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

Formüldeki (-) işareti, devrenin faz çeviren yükselteç yapısında olduğunu, girişle çıkış arasında 180° faz farkı bulunduğunu belirtir. Matematiksel alanda türev fonksiyonun herhangi bir noktadaki değişim hızını gösterir. Türev alıcı devrenin girişine üçgen dalga uygulandığında çıkışında kare dalga oluşur. İntegral alma işleminin tersi türev alma olduğu için, integral devresindeki direnç ve kondansatörün yer değiştirilmesiyle türev alıcı devre elde edilir. Bu devrede kapasite giriş elemanı, direnç ise geri besleme elemanı olarak kullanılır.

Genel bir türev alıcı devresi Şekil 1.1'de verilmiştir. Bu devrede kapasite giriş elemanı, direnç ise geri besleme elemanı olarak kullanılır. Girişte kullanılan kondansatör, AC işaretleri geçiren fakat DC işaretleri geçirmeden üzerinde bloke eden bir devre elemanıdır. Dolayısı ile DC işaretler için türev alma söz konusu değildir. Gerçekte DC işaretler için türev alıcı çıkışı  $V_o = 0$ 'dır. Türev alıcı devrenin girişine üçgen dalga uygulandığında çıkışında kare dalga oluşur. Girişine üçgen dalga uygulandığında çıkışından kare dalga, kare dalga uygulandığında ise çıkışından sivriltilmiş dalga elde edilir.

Op-Amp devresinin giriş empedansı çok yüksek olduğundan "a" noktasındaki gerilim yaklaşık şase potansiyelindedir (0 Volt). (Op-Amp'ların girişlerindeki virtual ground olayı).



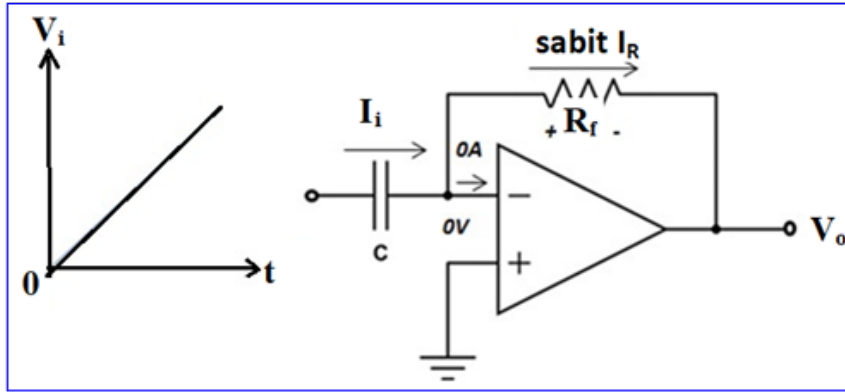
Şekil 1.1 Türev Alan Devre.

Türev alıcı devrenin çalışmasını anlamak için, giriş olarak pozitif-yükselen rampa işareti uygulayalım. Bu durumda kondansatör üzerinden akacak akım giriş akımı olup;

$$I_C = I_i$$

$$V_C = V_i$$

olacaktır. Burada  $V_C$  = kapasite üzerindeki gerilim ve  $I_C$  = kapasite akımıdır.



Şekil 1.2 Rampa İşaret Girişli Türev Alıcı.

Şekil 1.2'deki girişteki kapasite üzerinde Q kadar yük olabilmesi, akım ( $I_C$ ) ve zaman (t) ile orantılı olarak gerçekleşir. Kapasite üzerindeki yük,

$$dQ = I_C dt$$

ile ifade edilir. Gerilim ise

$$dQ = C dV_C$$

ile verilir. Bu iki eşitlik ifadesi kullanılarak, kapasite gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$dV_C = \left(\frac{I_C}{dt}\right)$$

Bir doğrunun genel formülü " $y = mx + b$ " olduğundan burada gerilim " $y = V_C$ ", " $m = I_C/C$ " eğim ve " $x = t$ " geriliminin zamanla değişimi ile temselsel edilir. Bu eşitlikten kapasite akımı

$$I_C = \left(\frac{dV_C}{dt}\right)C$$

şeklinde elde edilir. Ters alan girişteki akım ihmal edilebilecek kadar az olduğundan

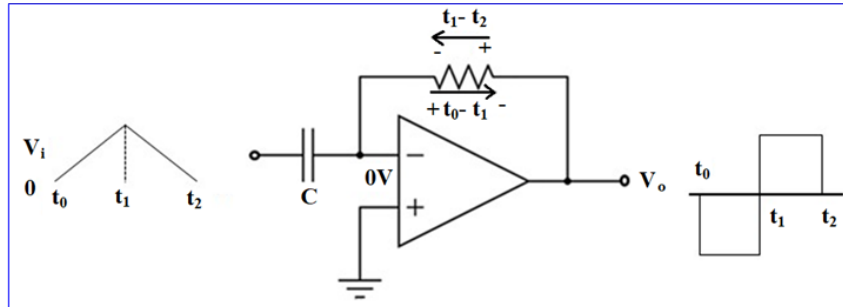
$$I_R = I_C$$

olur. Kapasite üzerindeki gerilimin eğimi " $dV_C/dt$ " sabit olduğu için bu iki akım da sabittir. Çıkış gerilimi de sabittir ve  $R_f$  üzerinden geçen gerilime eşittir. Buna göre çıkış gerilimi

$$V_O = -I_R R_f = I_C R_f$$

$$V_O = -R_f C \left(\frac{dV_C}{dt}\right)$$

olarak da yazılabilir (a noktası yaklaşık 0 V olduğundan). Şekil 1.3'de görüldüğü gibi giriş artan rampa işareti olduğunda, çıkış negatif bir işaret olurken; giriş azalan rampa işareti olduğunda, çıkış pozitif bir işaret olur.

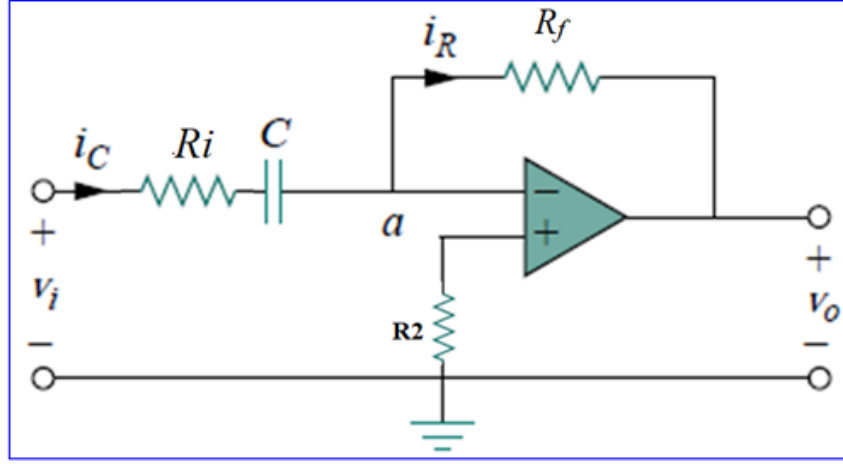


**Şekil 1.3** Üçgen Dalga Giriş Olarak Verildiğinde Devre Çıkışında Kare Dalga Elde Edilmesi.

Yukarıdaki şekilde girişin pozitif eğimi sırasında, kapasite giriş kaynağından dolar ve sabit akım geri besleme direncine doğru olur. Girişin negatif eğimi sırasında akım ters yönde

oluşur. Bunun nedeni kapasitenin boşalmasıdır.

Şekil 1.1'deki devre uygulamada bu haliyle yeterli değildir çünkü C kondansatörü yüksek frekanslardaki işaretlerde kısa devre gibi davranacağından yükseltecin kazancı artar, çıkış gerilimi bu frekanslar için yüksek değerlere ulaşır.  $V_i$  işaretinin frekansı yüksek olmasa bile beraberinde gürültü mevcut olabilir. Gürültü işareti çok geniş frekans tayfına sahip olduğundan Şekil 1.1'deki devre gürültünün yüksek frekans bölümü olduğu gibi yükseltebilir. Bu ise istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle op-amp devresi kazancına yüksek frekanslar için bir sınır koymak gerekir. Bu işlem Şekil 1.4'de görüldüğü gibi bir  $R_i$  direncinin eklenmesi ile sağlanabilir. Artık devrenin maksimum kazancı  $R_f/R_i$  olarak sınırlandırılmıştır.



Şekil 1.4 Kazancı Sınırlandırılmış Türev Alıcı Devre.

Bu devrenin türevleyici olarak çalışması için iki şartı yerine getirmesi gereklidir.

1. Giriş işaret frekansı;

$$f_i \leq \frac{1}{2\pi R_i C_i} = f_C$$

olmalıdır. Bu değerden büyük işaretler için devre türevleyici olarak çalışmaz.

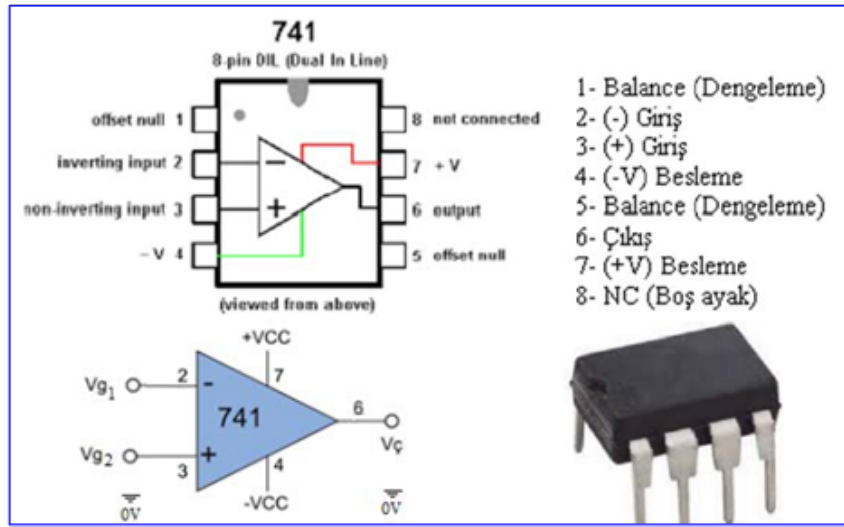
2. Devrede,  $R_F \times C_i$  çarpımı “*zaman sabitesi*” olarak isimlendirilir. Giriş işaretinin periyodu yaklaşık bu değer civarında olmalıdır.

### 1.3 Deney Hazırlığı

1. İşlemsel yükselteçler hakkındaki teorik bilgilerinizi anımsayınız.
2. Bir işlemsel yükselteçli türev alıcı devrenin çalışma mantığını inceleyiniz.
3. Bir işlemsel yükselteçli integral alıcı devrenin çalışma mantığını da inceleyerek bu iki devreyi karşılaştırınız.
4. Türev alıcı devrede kapasitenin nasıl dolduğunu inceleyiniz.
5. Deney sorularının çözümlerini araştırınız.

## 1.4 Deneyde Kullanılan Malzemeler

- 1 adet 15V luk Simetrik DC güç kaynağı
- 1 adet 741 tipi OP-AMP (Şekil 1.5)
- Direnç 1 adet 220  $\Omega$ , 2 adet 12k $\Omega$
- Kondansatör 100 nF
- 1 adet Sinyal Jeneratörü
- 1 adet Osiloskop



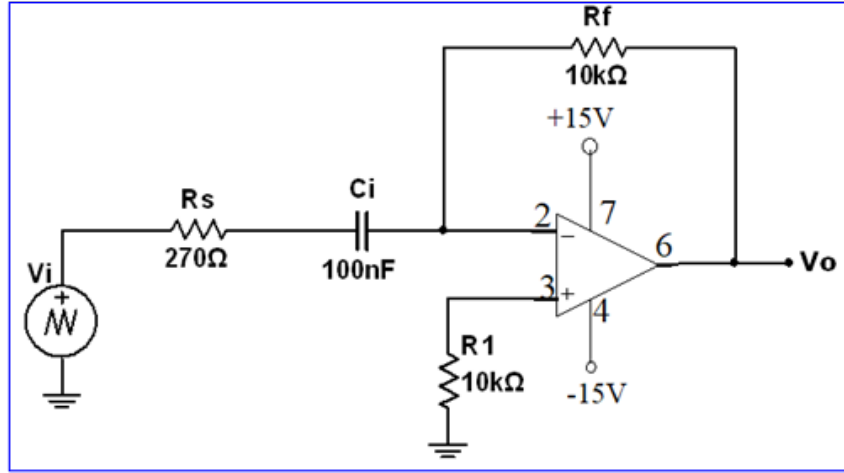
Şekil 1.5 İntegral Alıcı Devre.

1. Şekil 1.6'daki devreyi kurunuz.
2. Op-amp'ın DC kutuplamasını  $\pm 15$  V ile yapınız.
3.  $V_i$  giriş sinyalini frekansı 1 kHz ve genliği  $2V_{pp}$  olan üçgen dalga olacak şekilde ayarlayınız.
4. Osiloskobun birinci kanalını (CH1) girişe, ikinci kanalını (CH2) çıkışa bağlayınız. Osilaskopta sinyalleri rahat görebilecek şekilde V/Div ve T/Div komütatörlerini ayarlayınız.
5.  $V_i$  ve  $V_o$  işaretlerini birlikte gözleyip aralarındaki farkları not ediniz. Devre türev alıcı olarak çalışmış mıdır?
6. Tabloda verilen frekansları uygulayarak  $V_o$  çıkış voltajının tepe genliğini ölçüp kaydediniz.
7. Girişe uygulanan üçgen dalganın genliği aynı kalmak koşuluyla frekansını 10KHz yapınız. Çıkış işaret şeklinde değişiklik oldu mu? Neden?

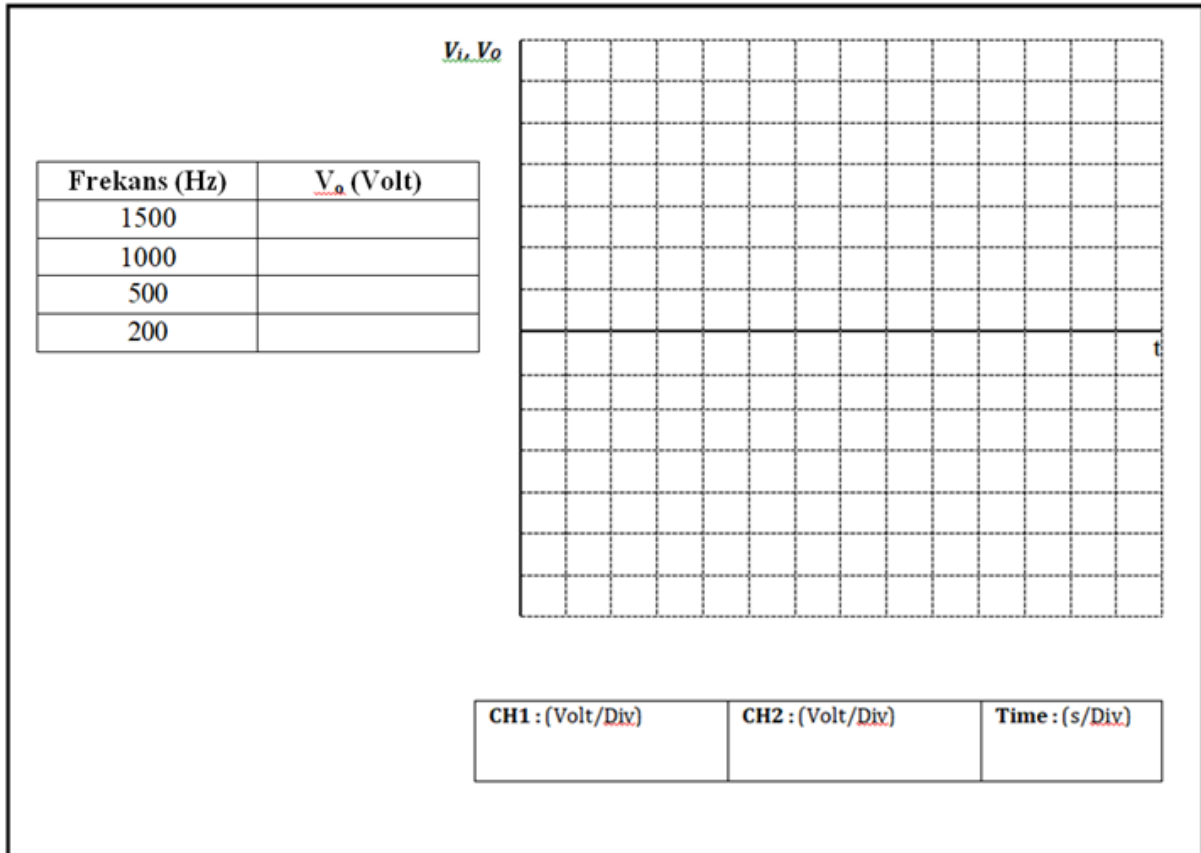
8. Devrenin kazancı ne kadar? Devreye sadece eviren yükselteç gibi bakılabilir mi? Neden? Açıklayınız.

A=.....  
.....

9.  $R_f$  direncine paralel bir  $10k\Omega$  direnç bağlayarak çıkışı gözlemleyiniz. Nelerin değiştiğini açıklayınız.



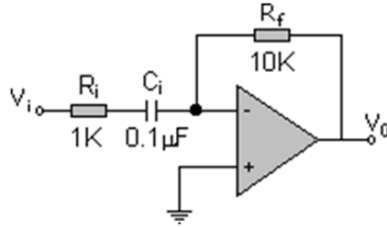
Şekil 1.6 Kazancı Sınırlandırılmış Türev Alıcı Devre.



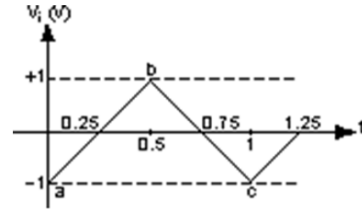
Şekil 1.7 Türev Alıcı Devreye Ait Giriş ve Çıkış Sinyalleri.

## 1.5 Çalışma Soruları

1. Şekil a'daki devre girişine Şekil b'deki işaret uygulandığında devre türevleyici olarak çalışır mı?  $F_C$  ve  $F_i$  frekanslarını ve devrenin zaman sabiti ile  $T_i$  değerini karşılaştırarak cevabı bu sonuçlara dayandırınız.

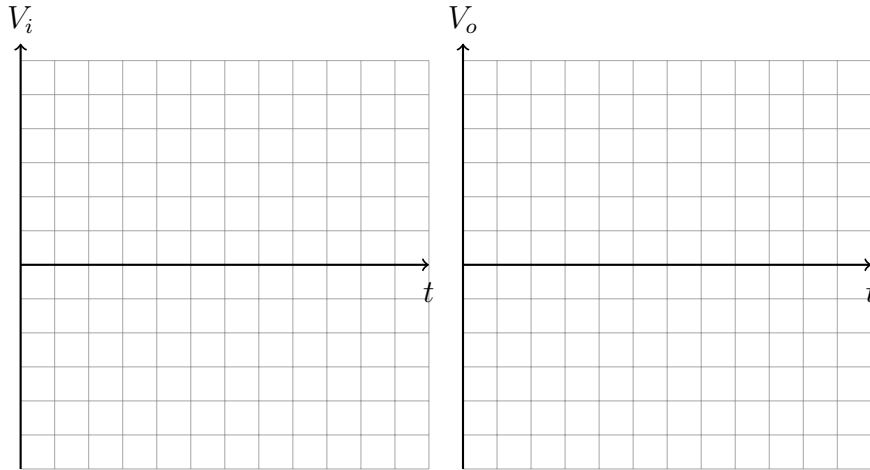


Şekil a. Türev alıcı devre



Şekil b. Giriş sinyali

2. Şekil a'daki devre girişine Şekil b'deki işaret uygulandığında çıkış işaretinin şekli, frekansı ve genliği ne olur? Açıklayınız.  $V_i$  ve  $V_o$  işaretlerini çiziniz.



## 2. İntegral Alıcı Devre

### 2.1 Deneyin Amacı

Op-amp'ların (işlemsel kuvvetlendiricilerin) integral alıcı fonksiyonlar olarak nasıl çalıştıklarını öğrenmek.

### 2.2 Teorik Bilgi

Elektronik integral alan devre, girişi uygulanan sinyalin integral alarak çıkışa aktaran bir işlemsel yükselteç uygulamasıdır. Matematiksel anlamda integral, bir eğrinin altında

kalan toplam alana karşı gelir. İntegral alıcı devrenin eşitliği;

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_i dt$$

ile verilmektedir. İntegral alan devrenin girişine kare dalga uygulandığını devrenin çıkışından üçgen dalga elde edilir. Çünkü, kare dalganın integrali üçgen dalgadır. Giriş palorma akımlarının eşit olmayışından dolayı meydana gelebilecek ofset gerilimini ve bu gerilimin etkilerini gidermek amacıyla op-amp'ın faz çevirmeyen (+) girişiyle şase arasına R gibi bir direnç bağlanır.

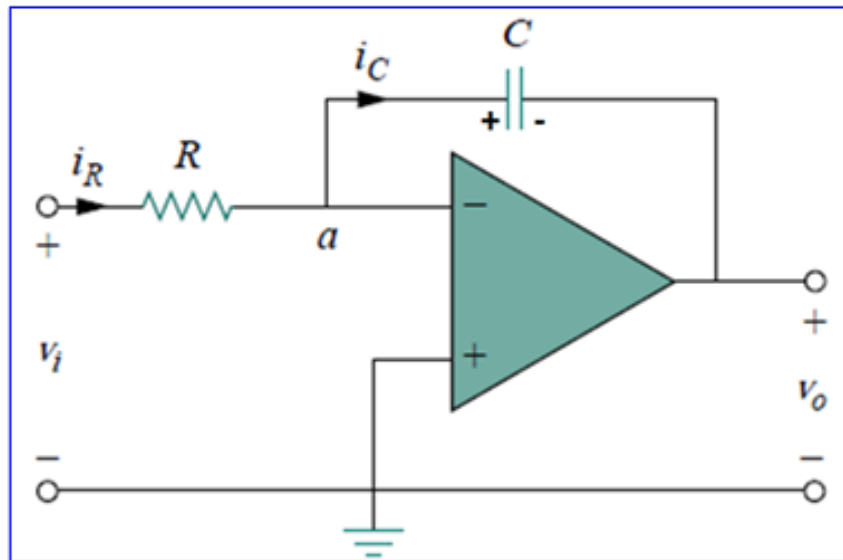
İdeal integral alıcı devre Şekil 2.1'de verilmiştir. Dikkat edilecek olursa, Şekil 1.1 ile verilen türev alıcı devresindeki direnç ve kondansatörlerin yerlerini değiştirmek suretiyle integral alıcı devresi elde edilmiş ve kapasitör geri besleme elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu kapasite giriş direnci ile birlikte RC devresini oluşturur.

Örnek olarak, integral alıcı devre girişine kare dalga uygulandığında çıkış olarak üçgen dalga elde edilir.

Türev alıcıda elde edilen temel formül;

$$V_C = \left(\frac{I_C}{C}\right)t$$

Bu ifade “ $y = mx + b$ ” benzer olduğundan “ $y = V_C$ ”, “ $m = I_C/C$ ” eğim ve “ $x = t$ ” geriliminin zamanla değişimi ile temsel edilir.



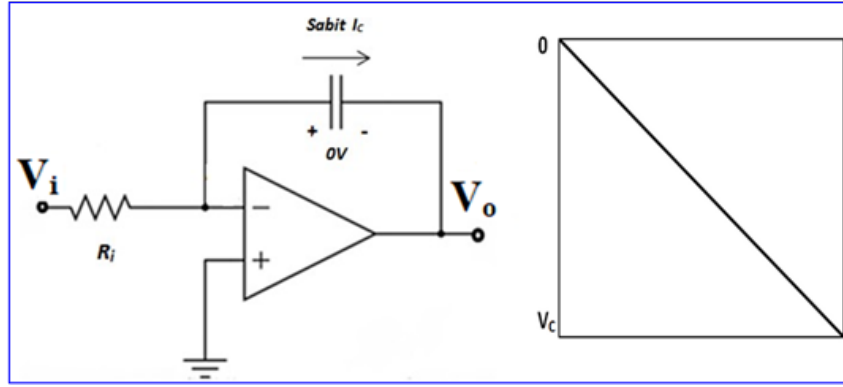
Şekil 2.1 İntegral Alan Devre.

Şekil 2.2’de, “a” noktasındaki gerilim işlemsel yükseltecin ters (eviren) alan girişi sanal topraktır (yani şase potansiyelinde: 0V). Böylece  $R_i$  direnci üzerindeki gerilim  $V_i$ ’ye eşit olur. Bu nedenle giriş akımı;

$$I_C = -I_i$$

$I_i$  sabit olduğu için,  $I_C$ ’de sabit olur. Sabit  $I_C$  kapasiteyi doğrusal olarak doldurur ve C üzerinde doğrusal bir gerilim oluşturur. Kapasitenin pozitif tarafı işlemsel yükseltecin sanal toprağı tarafından 0V’ da tutulur.

Kapasitenin negatif tarafı işlemsel yükseltecin çıkış gerilimidir. Kapasite dolarken 0’dan başlayarak doğrusal olarak azalır. Bu gerilime negatif rampa gerilimi denir ve sabit pozitif girişin sonucudur. Bu durum Şekil 2.2’da gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kapasite Üzerinde Oluşan Negatif Rampa Gerilimi.

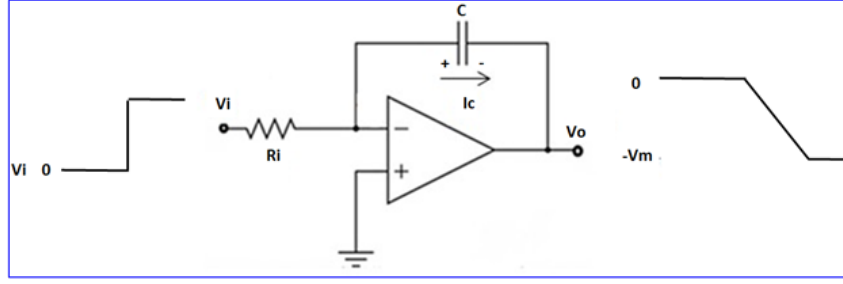
$V_o$  kapasitenin negatif tarafı ile aynı gerilime sahiptir. Sabit pozitif giriş gerilimi uygulandığında, çıkışta oluşacak olan rampa, işlemsel yükselteç doyum noktasına ulaşana kadar negatif olarak azalır. Burada doyum noktası  $V_m$  ile ifade edilmiştir.

$$I_C = \frac{V_i}{R_i}$$

olduğu için, çıkış geriliminin değişim oranı veya çıkış geriliminin eğimi “ $\Delta V_o / \Delta t$ ” olur. Şekildeki gibi çıkışta oluşacak rampa işaretinin eğimi “ $I_C / C$ ” oranı ile setlenir.

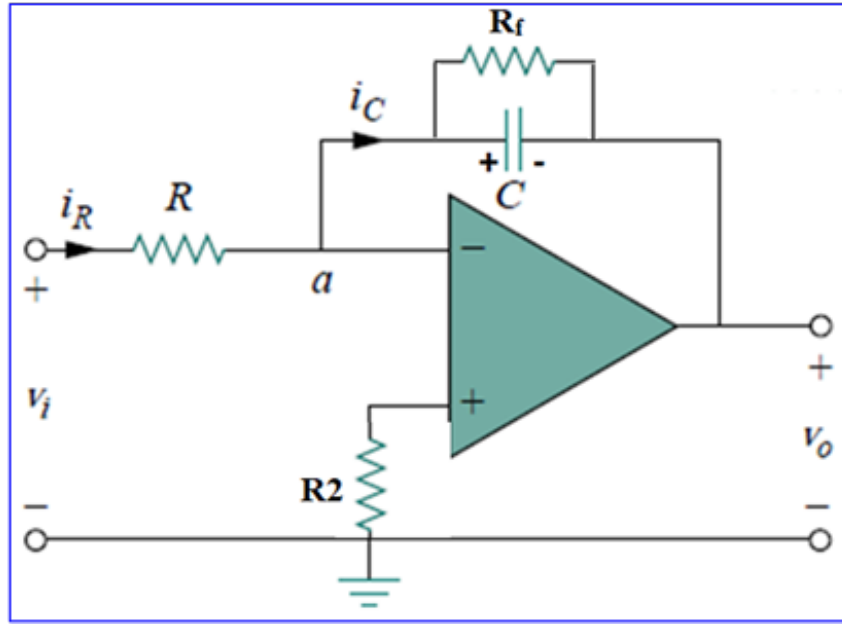
$$\frac{\Delta V_o}{\Delta t} = -\frac{V_i}{R_i C}$$

$$V_o = -\frac{1}{R_i C} \int V_i dt$$



**Şekil 2.3** Sabit Giriş Gerilimi ile Çıkış Olarak Rampa İşaretinin Elde Edilmesi.

Bilindiği gibi integral anlam olarak bir eğrinin altında kalan alana karşılık gelmektedir. Op-amp devresindeki giriş ofset geriliminin giderek op-amp'ı doyuma götürmesini önlemek için Şekil 2.1'deki devre de değişiklik yapmak gerekir. Bu değişiklik C kondansatörüne paralel bir  $R_f$  direnci bağlanarak yapılır (Şekil 2.4). Giriş polarma akımlarının eşit olmasından doğacak ofset gerilimini ve dolayısıyla bu gerilimin etkilerini gidermek amacıyla Şekil 2.4'de görüldüğü üzere  $R_2$  direnci kullanılır.



**Şekil 2.4** İntegral alıcı devre.

Devrenin bir integratör olarak görev yapabilmesi için girişine uygulanan işaretin frekansı ( $f_i$ );

$$f_i = f_C = \frac{1}{2\pi R_i C_f}$$

olmalıdır.  $f_i \leq f_C$  olduğunda, devre eviren yükselteç olarak çalışır. Ayrıca devrenin zaman  $\left(\frac{1}{2\pi R_i C_f}\right)$  ile girişe uygulanan işaretin periyodu birbirlerine yakın değerde olmalıdırlar.

## 2.3 Deney Hazırlığı

1. İşlemsel yükselteçler hakkındaki teorik bilgilerinizi anımsayınız.
2. Bir işlemsel yükselteçli türev alıcı devrenin çalışma mantığını inceleyiniz.
3. Bir işlemsel yükselteçli integral alıcı devrenin çalışma mantığını da inceleyerek bu iki devreyi karşılaştırınız.
4. İntegral alıcı devrede kapasitenin nasıl dolduğunu inceleyiniz.
5. Deney sorularının çözümlerini araştırınız.

## 2.4 Deneyde Kullanılan Malzemeler

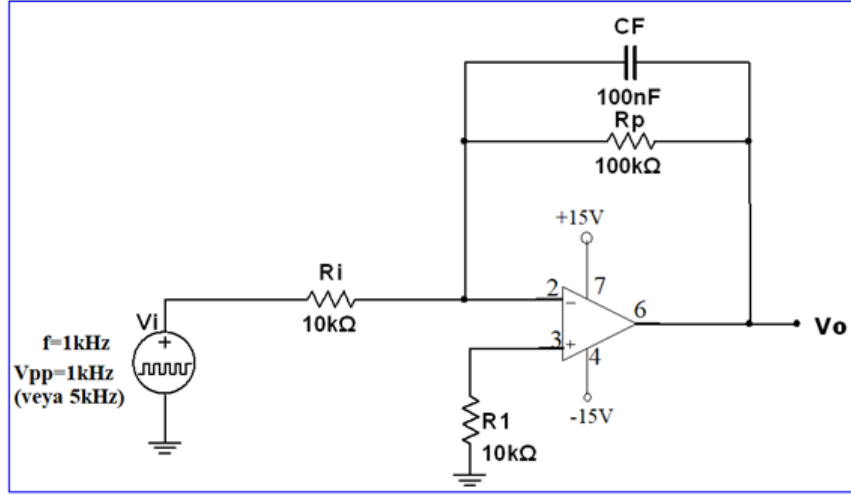
- 1 adet 15V luk Simetrik DC güç kaynağı
- 1 adet 741 tipi OP-AMP (Şekil 1.5)
- Direnç 1 adet 100 k $\Omega$ , 2 adet 12k $\Omega$
- Kondansatör 100 nF
- 1 adet Sinyal Jeneratörü
- 1 adet Osiloskop

## 2.5 Deney Devresi

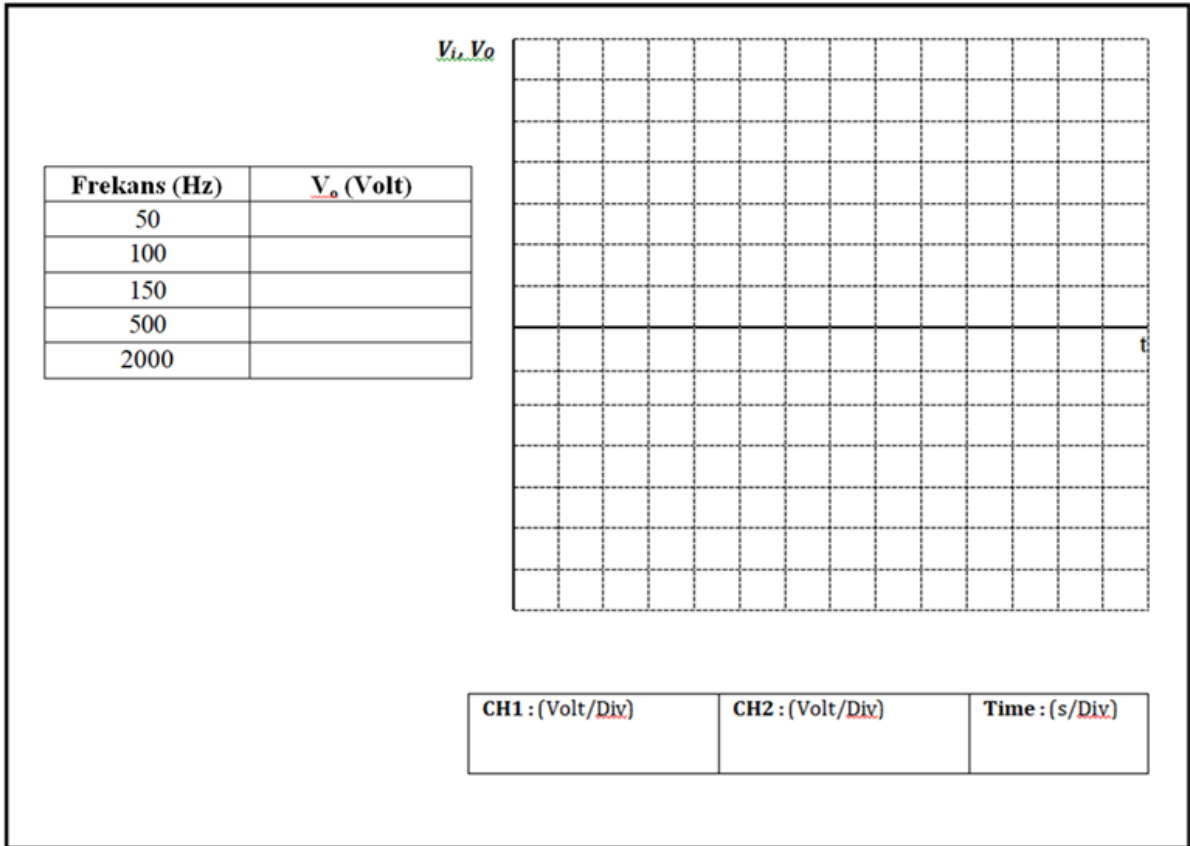
1. Şekil 2.5'deki devreyi kurunuz.
2. Op-amp'ın DC kutuplamasını 15 V ile yapınız.
3.  $V_i$  giriş sinyalini frekansı 1 kHz (veya 10 kHz) ve genliği  $2V_{pp}$  olan üçgen dalga olacak şekilde ayarlayınız.
4. Osiloskobun birinci kanalını (CH1) girişe, ikinci kanalını (CH2) çıkışa bağlayınız. Osiloskopta sinyalleri rahat görebilecek şekilde V/Div ve T/Div komütatörlerini ayarlayınız.
5.  $V_i$  ve  $V_o$  işaretlerini birlikte gözleyip aralarındaki farkları not ediniz. Devre integral alıcı olarak çalışmış mıdır?
6. Tabloda verilen frekansları uygulayarak  $V_o$  çıkış voltajının tepe genliğini ölçüp kaydediniz.
7. Girişe uygulanan kare dalganın genliği aynı kalmak koşuluyla frekansını 50 Hz yapınız. Çıkış işaret şeklinde değişiklik oldu mu? Neden?

8. Devrenin kazancı ne kadar? Devreye sadece eviren yükselteç gibi bakılabilir mi? Neden? Açıklayınız.

A=.....  
 .....



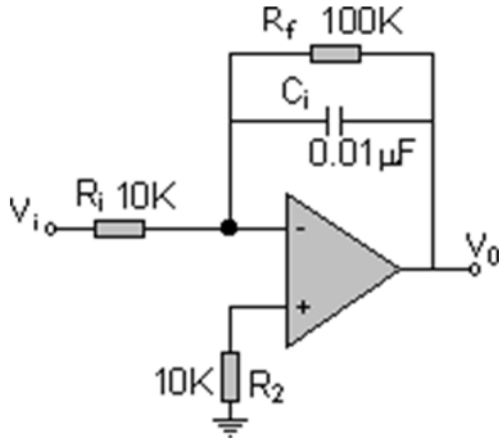
Şekil 2.5 İntegral alıcı devre.



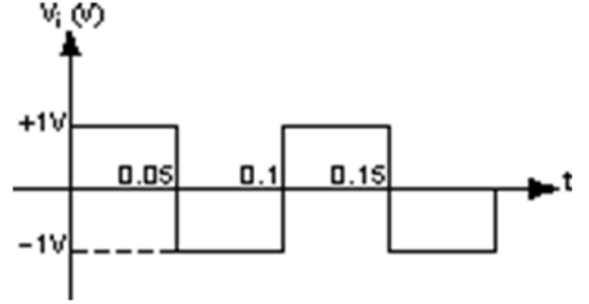
Şekil 2.6 İntegral Alıcı Devreye Ait Giriş ve Çıkış Sinyalleri.

## 2.6 Çalışma Soruları

1. Şekil a'daki devre girişine Şekil b'deki işaret uygulandığında devre türevleyici olarak çalışır mı?  $F_C$  ve  $F_i$  frekanslarını ve devrenin zaman sabiti ile  $T_i$  değerini karşılaştırarak cevabı bu sonuçlara dayandırınız.

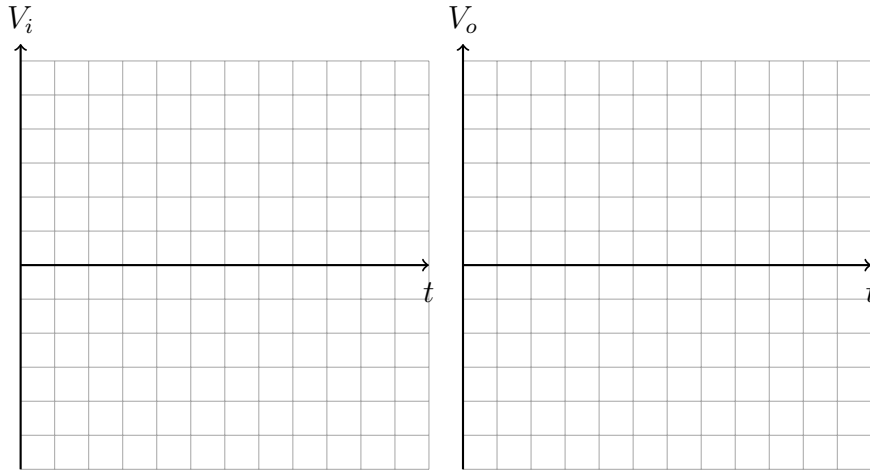


Şekil a. İntegral alıcı devre

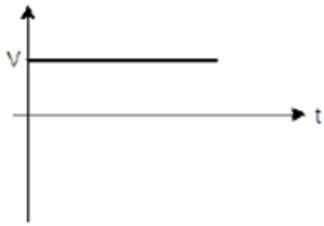
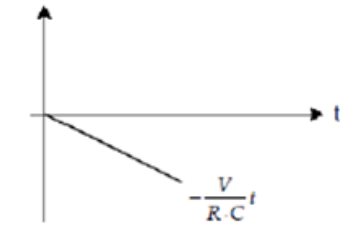
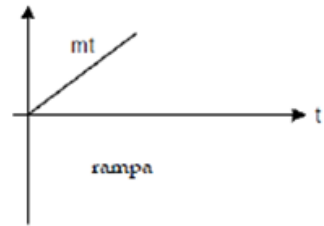
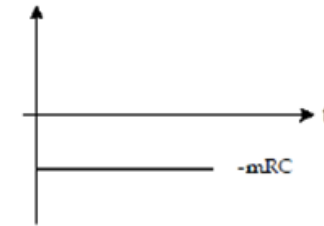
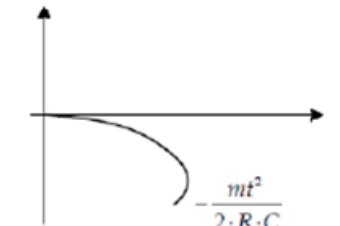
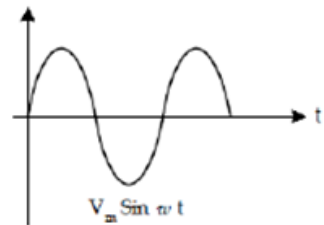
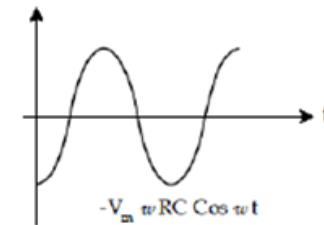
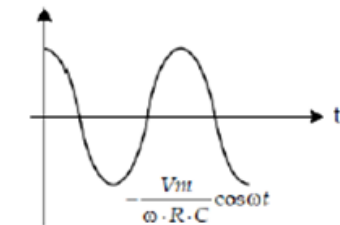
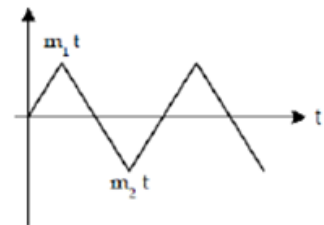
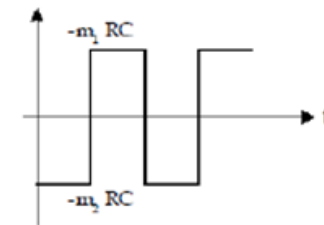
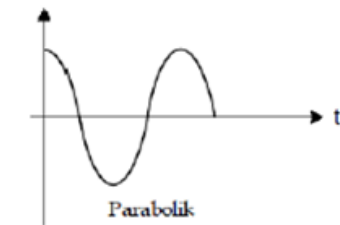
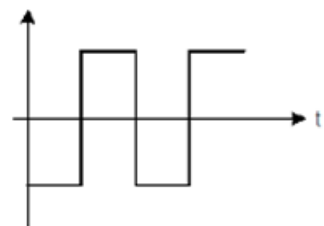
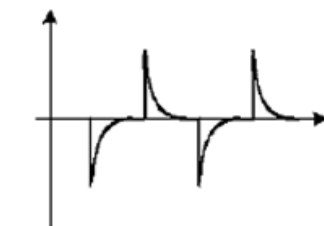


Şekil b. Giriş sinyali

2. Şekil a'daki devre girişine Şekil b'deki işaret uygulandığında çıkış işaretinin şekli, frekansı ve genliği ne olur? Açıklayınız.  $V_i$  ve  $V_o$  işaretlerini çiziniz.



Şekil 2.7'de girişlerine uygulanan sinyallerin türev veya integral olarak çıkışlarında ne tür dala üreteceği gösterilmektedir.

| Giriş İşareti Dalga Şekli                                                           | Opamp'la Türevi ( $dV/dt$ )                                                         | Opamp'la İntegrali                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |
|    |    |    |
|   |   |   |
|  |  |  |
|  |  |  |

Şekil 2.7 Türev Alan ve İntegral Alan Devrelerde Girişe Uygulanan Sinyalin Çıkıştaki Görünümü.