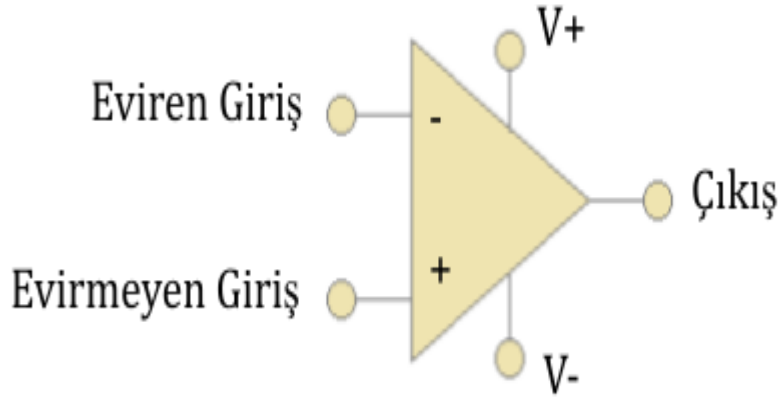


## İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER

Kasım 2024

Bu deneyde amacımız, İşlemsel yükselteç özelliklerinin incelenmesi ve çeşitli devrelerde kullanılmasıdır.



Şekil.4.1. İşlemsel Yükselteç ve Besleme uçları

**TEORİ:** İşlemsel yükselteçler(operation amplifier), fark yükselteci türünde giriş özelliği olan, kazançları çok yüksek devreler devrelerdir. İki giriş ve bir çıkış ucu bulunur. Simgesel gösterimi aşağıda verilmektedir. Giriş ve çıkış voltajlarının birbirleriyle bağlantısı K ile verilir ve kazanç değeri K,  $e_c = K(e_2 - e_1)$  ile verilir.

İç yapısı ise, ayrımsal bir yükseltecin çıkışlarından birinin daha sonra yükseltilecek toplam devrenin çıkışını oluşturduğu düşünülerek anlaşılabilir. İşlemsel yükselteçlerde kazanç (K) çok yüksektir. Girişlerden biri topraklanıp diğerinden sinyal verildiğinde çıkışta bu sinyal K kere büyümüş olarak görülür.

Sinyal (-) girişten (eviren girişten/inverting) verilirse çıkış girişle 180o farklı evrede olacaktır. İşlemsel yükselteçlerin çok önemli bir özelliği de çok yüksek giriş empedansı ve çok düşük çıkış empedansı olmasıdır. İşlemsel yükselteçlerin besleme bağlantıları şekilde verilmiştir. Bu beslemeler devre elemanının çalışabilmesi için şarttır.

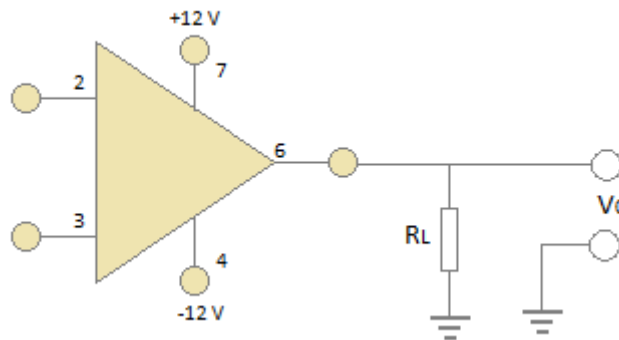
Aşağıdaki şekilde ideal bir işlemsel yükseltecin ve gerçekte var olan yükselteçlerin bazı özellikleri verilmiştir.

Özellik	İdeal Opamp	Gerçek Opamp (LM741)
Giriş Direnci; $R_i$ (Input Impedance)	Sonsuz	Yüksek ( $\geq 1M\Omega$ )
Çıkış Direnci; $R_o$ (Output Impedance)	Sıfır	Düşük ( $< 500\Omega$ )
Açık Çevrim Gerilim Kazancı; (Open-Loop Gain)	Sonsuz	Çok Büyük ( $\geq 10^4$ )
Açık Çevrim Bant Genişliği; BW	Sonsuz	Etkin Kutup (10-100Hz)
Ortak Mod Zayıflatma Oranı; CMRR	Sonsuz	Yüksek (70dB)
Giriş Kutuplama akımları (Input Bias Current)	Sıfır	Düşük ( $< 0.5\mu A$ )
Ofset gerilim ve akımları; $V_{IO}$ , $I_{IO}$ (Input Offset Voltage and Current)	Sıfır	Düşük ( $< 10mV$ , $< 0.2nA$ )
Sıcaklıkla Karakteristiklerinin değişimi	Değişmez	Az ( $5\mu V/0C$ , $0.1nA/0C$ )
Giriş Gerilimleri; $V_1=V_2$ ise	$V_0=0$	$V_0 \neq 0$ olabilir.
Besleme Gerilimi		$\pm 5V \dots \pm 15V$
Maksimum Çıkış Akımı		20mA

4.2 İdeal ve gerçek opamp (işlemsel yükselteçlerin) özelliklerinin karşılaştırılması (Ref.1)

### İşlemsel Yükselteçlerin Beslenmesi

İşlemsel Yükselteçler simetrik besleme gerilimlerine ihtiyaç duyarlar. Genel olarak  $\pm 5V, \pm 18V$  gibi değerlerde besleme yapılır. Bunun yanı sıra tek bir besleme gerilimine ihtiyaç duyan işlemsel yükselteçlerde olabilir. Şekil 4.3'de  $+V, -V$  besleme gerilimleridir. İşlemsel yükselteçlerde çıkış akımı kataloglarla belirtilir ve belli bir maksimum akım değeri ile sınırlıdır.



Şekil.4.3 İşlemsel yükselteçlerde giriş ve çıkış terminallerinin gösterimi

Besleme gerilimi uygulanan bir işlemsel yükseltecin, giriş uçlarına uygulanan gerilime ve işlevine bağlı olarak çıkış gerilimi üretir. Bir işlemsel yükseltecin çıkışından alınabilecek maksimum çıkış gerilimi, besleme geriliminden birkaç volt daha küçüktür.

Genel olarak bir opamp (işlemsel yükselteç) doyum gerilimleri pozitif değerler için besleme geriliminden 1 V daha düşük, negatif değerler için 2V kadar düşüktür.

Bir devrede çıkışın girişi belirli bir biçimde etkilenmesine **geri besleme** denir. Çıkışın girişe belirli bir işlev ile bağımlı olduğu yükselteç devrelerde buna ek olarak çıkış ucu ile giriş ucu dışarıdan bir öge ile bağlanırsa geri besleme sağlanmış olur.

İşlemsel yükselteçlerde çıkış ile giriş arasında geri besleme yapılamaz. Böyle bir durum işlemsel yükseltici doyuma ya da salınımına geçirir. Çıkış ile **eksi giriş** arasında geri besleme yapılırsa çok kullanışlı bazı özellikler elde edilir.

İşlemsel yükselteçlerde eğer çıkış ucu giriş uçlarından birine bağlanmamışsa opamp "**açık çevrim**" altında çalışmaktadır denilir. Açık çevrim kazancı teorikte sonsuzdur, pratikte ise yüksek değerler alır. Çıkış gerilimi  $V_0$ , burada  $K_A$  opampın açık devre kazancını verir. Burada İşlemsel yükselteçlerin eviren girişi  $V_-$  ve evirmeyen girişi  $V_+$  girişlerine uygulanan işaretler için

$V_+ > V_-$  ise..... Opamp girişi "+ $V_{doyma}$ "

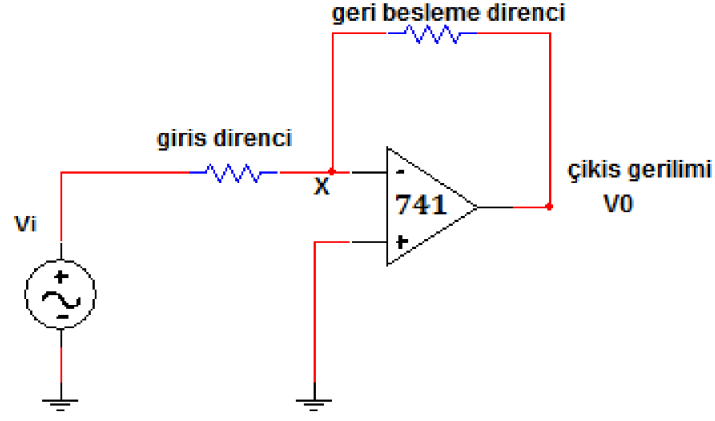
$V_+ < V_-$  ise..... Opamp girişi "- $V_{doyma}$ " değerlerini alır.

$$V_0 = (V_+ - V_-) K_A$$

İşlemsel yükselteçlerin açık çevrimde çalışmasının çok fazla uygulaması yoktur, hemen doyuma geçer ve bu noktada İşlemsel yükselteçlerin davranışını kestirmek zordur.

### **İşlemsel yükselteçlerin kapalı çevrim çalışması:**

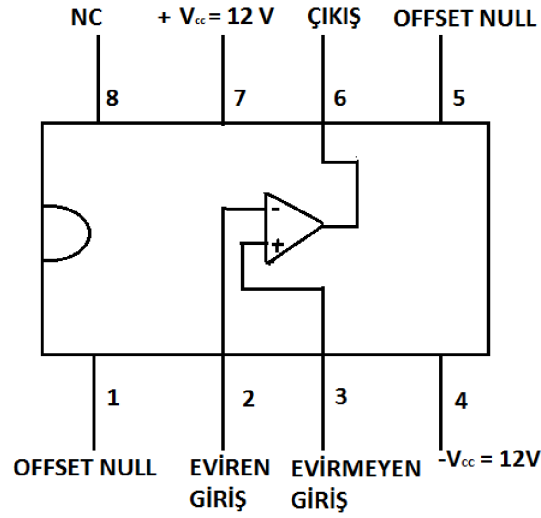
Negatif geri besleme yapıldığı durumlar kapalı çevrim durumu olarak adlandırılır. Bu durumda opampın (+) ve (-) giriş uçları arasındaki potansiyel farkı "**sıfır volt**"tur.



Şekil 4.4 İşlemsel yükselteçler geri besleme şeması

### İşlemsel Yükselteç Entegrelerin iç yapısı:

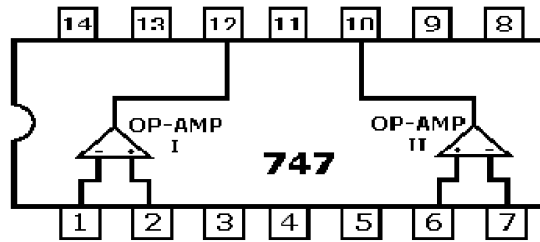
Tek bir işlemsel yükselteç bulunduran LM 741 entegresinin iç yapısı şekilde verilmiştir.



Şekil.4.5 İşlemsel yükselteç LM 741 iç yapısı

### LM 741 ayak bağlantıları:

- 1- Offset sıfırlama
- 2- OPAMP 'ın tesleyen giriş ucu
- 3- OPAMP 'ın terslemeyen giriş ucu
- 4- (-) V, negatif besleme voltajı
- 5- Offset sıfırlama
- 6- OPAMP çıkışı
- 7- (+) V, pozitif besleme voltajı
- 8- Boş uç



Şekil.4.6 iki işlemsel yükselteç bulunduran LM 747 entegresi

- 1- OPAMP I 'in tersleyen giriş ucu
- 2- OPAMP I 'in terslemeyen giriş ucu
- 3- OPAMP I 'in offset sıfırlama ucu
- 4- (-) V, negatif besleme voltajı (İki OPAMP için ortak)
- 5- OPAMP II 'nin offset sıfırlama ucu
- 6- OPAMP II 'nin terslemeyen giriş ucu
- 7- OPAMP II 'nin tersleyen giriş ucu
- 8- OPAMP II 'nin offset sıfırlama ucu
- 9- OPAMP II 'nin +V besleme voltaj girişi
- 10- OPAMP II 'nin çıkışı
- 11- Boş uç
- 12 OPAMP I 'nin çıkışı
- 13- OPAMP I 'nin +V besleme voltajı
- 14- OPAMP I 'nin offset sıfırlama ucu

## İŞLEMSSEL YÜKSELTEÇLERLE DÖRT İŞLEM

### 1. Tersleyen Yükselteç:

Geri besleme durumunda opampın (+) ve (-) giriş uçları arasındaki gerilim farkı 0 V olduğundan dolayı X noktasındaki gerilim değeri de sıfırdır. Bu şekilde  $V_x=0$  dır. Opamplarda giriş empedansı çok yüksek olduğundan bu uçlardan akan akım ancak nanoamper seviyesindedir. Bu değer ihmal edilebilir.  $R_1$  giriş girenci,  $R_f$  geri besleme direncidir. Düğüm noktasında KGY uygulanırsa;

$$I_i = (V_i - V_x) / R_1$$

$$V_x = 0$$

$$I_i = V_i / R_1$$

$$I_f = (V_x - V_o) / R_f$$

$$V_x = 0$$

$$I_f = -V_o / R_f$$

Düğüm noktasında akımlar birbirlerine eşit olduğu için;

$$I_f = (V_x - V_0) / R_f$$

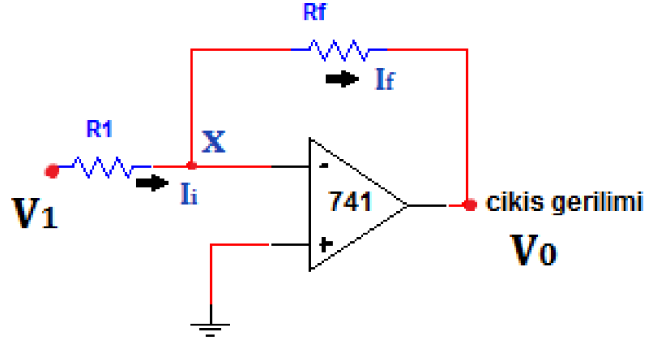
$$V_x = 0$$

$$V_i / R_1 = -V_0 / R_f$$

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_1} V_i$$

Yükseltecin gerilim kazancı; formüldeki eksi(-) işareti 180° faz farkının oluştuğunu gösterir.

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



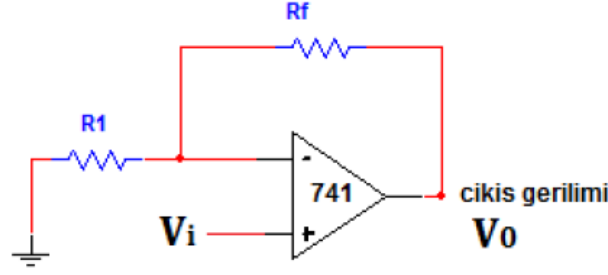
Şekil 4.7 Tersleyen (Eviren)Yükselteç Devresi

## 2.Terslemeyen Yükselteç:

Bu durumda giriş sinyali faz değiştirmeyen (+) uca uygulanmıştır. Faz farkı oluşturmaz. Geri besleme yüzünden giriş ve çıkış gerilimleri arası fark sıfırdır böylece  $V_{in}$  gerilimi  $R_1$  üzerinde düşen gerilime eşittir;

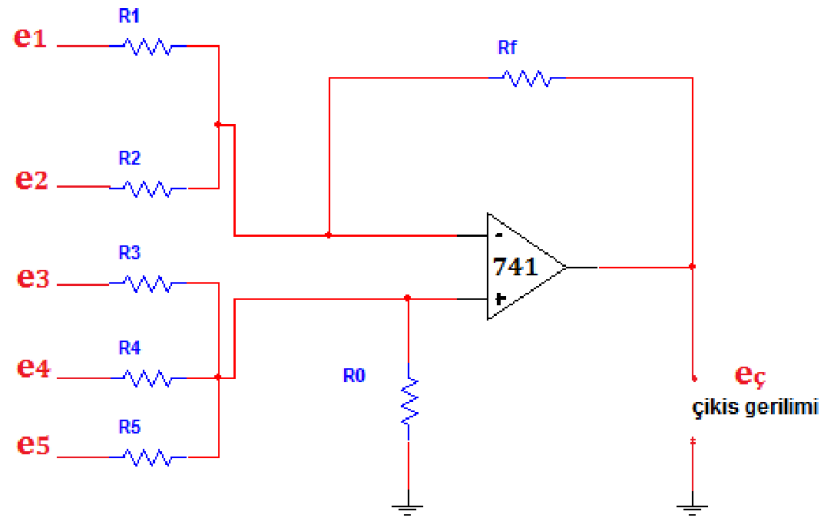
$$V_{in} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} V_0$$

$$K_v = \frac{V_0}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$



Şekil 4.8 Terslemeyen (Evirmeyen) İşlemsel Yükselteç Devresi

### 3. Toplama ve Çıkarma Yükselteç Devresi:



Şekil 4.9 Toplama Ve Çıkarma İşlemi Yapan İşlemsel Yükselteç

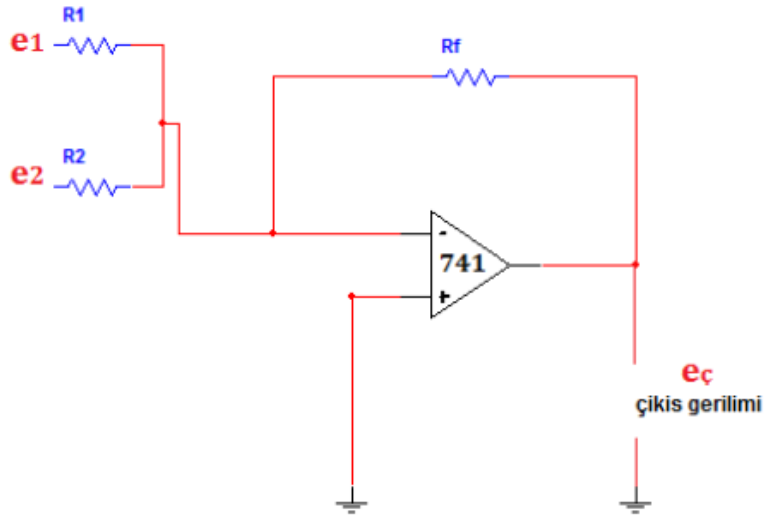
Verilen devrede çıkış potansiyeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$e_{\phi} = \alpha_3 \cdot e_3 + \alpha_4 \cdot e_4 - \alpha_1 \cdot e_1 - \alpha_2 \cdot e_2$$

$$\alpha_3 = \frac{R_f}{R_3}, \alpha_4 = \frac{R_f}{R_4}, \alpha_5 = \frac{R_f}{R_5}, \alpha_1 = \frac{R_f}{R_1}, \alpha_2 = \frac{R_f}{R_2},$$

$$\alpha_3 = \frac{R_3 // R_4 // R_5 // R_0}{R_1 // R_2 // R_f}$$

Burada belirtilen e1, e2, ..., e5 değerleri uygulanan giriş sinyalleri e<sub>ç</sub> ise çıkış sinyalidir. Sadece toplama işlemi yapan bir devre oluşturmak için işlemsel yükseltecin tek bir girişine giriş sinyali uygulanır.



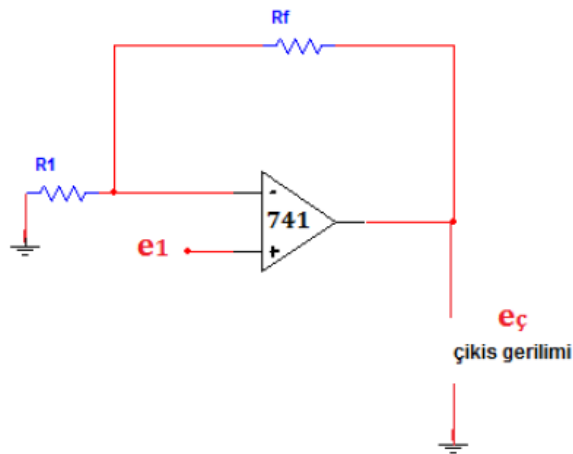
Şekil 4.10 Toplama İşlemi Yapan İşlemsel Yükselteç

Burada oluşacak olan çıkış gerilimi ifadesi ise;

$$e_c = -\frac{R_f}{R_1} e_1 - \frac{R_f}{R_2} e_2$$

Eğer besleme tek bir girişten (+) yapılıyorsa devrenin kazancı için;

$$K = \frac{e_c}{e_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$



Şekil 4.11 Pozitif Girişli İşlemsel Yükselteç



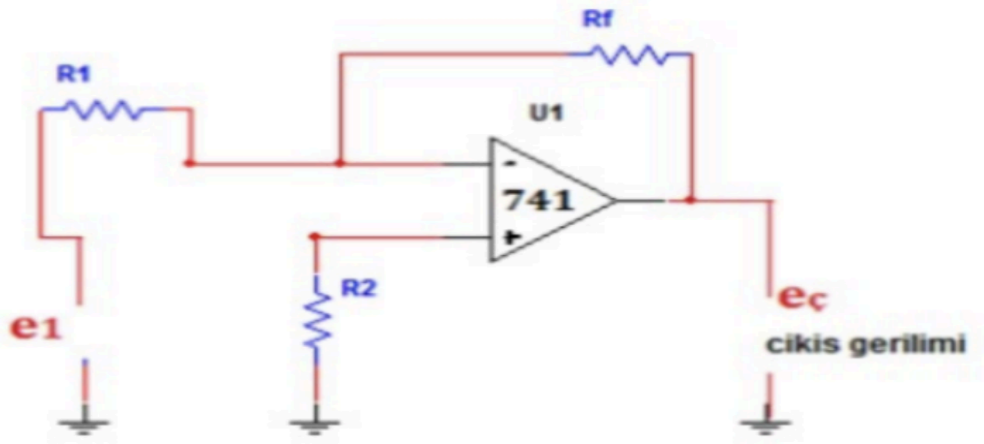
## DENEYİN KURULUMU:

### **Kullanılacak Malzemeler:**

1. Sinyal jeneratörü(Osilatör)
2. Osiloskop
3. İki adet DC güç kaynağı
4. LM 741 entegresi
5. 10k $\Omega$  luk direnç (1 tane)
6. 1k $\Omega$  luk direnç (2 tane)
7. Breadboard
8. Bağlantı kabloları(BNC uçlu kablolar ve T BNC bağlantı girişi)

## DENEYİN YAPILIŞI:

### **Tersleyen Yükselteç Devresinin Kurulumu:**



Şekil 4.12 Deney Devresi

1. Şekil 4.12'deki devreyi kurun. Burada belirtilen dirençler;

$R1=R2=1\text{ k}\Omega$  ,  $Rf= 10\text{ k}\Omega$  dur. Gerçek değerlerini ölçüp kaydedin.

$R1=.....$

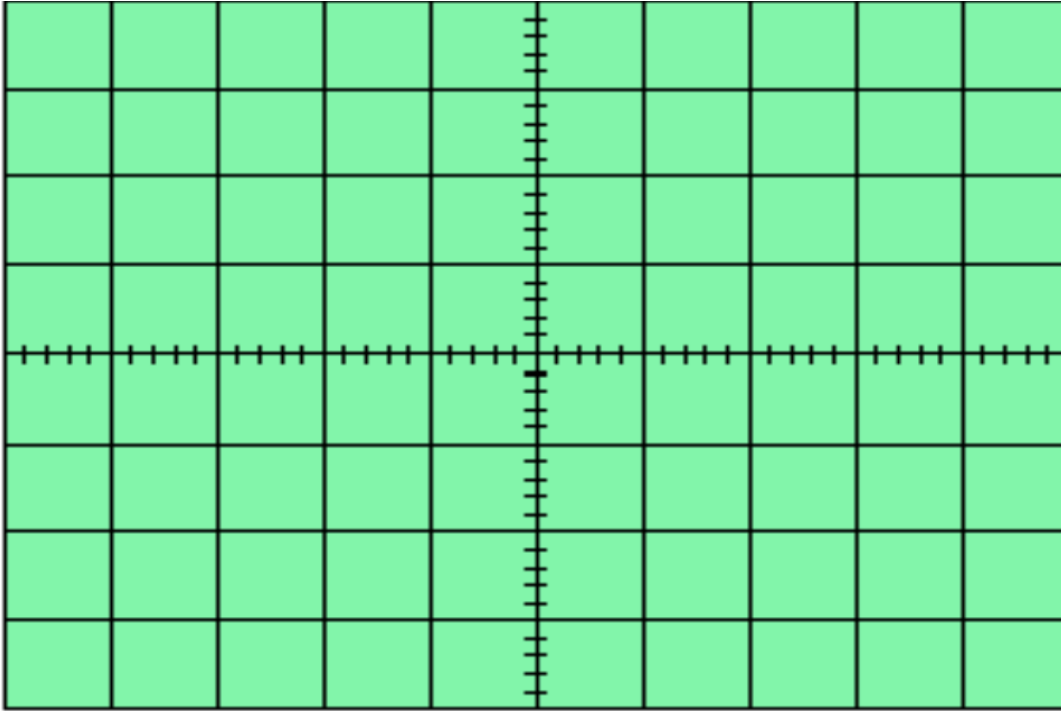
$R2=.....$

$Rf=.....$

2. Giriş gerilimi olarak 2 V(tepeden-tepeye) giriş sinyalini uygulayın.

3. Uyguladığınız giriş sinyalinin frekansını 1kHz ayarlayın. İşlemsel yükselteç için besleme gerilimini ise 12 V olarak seçebilirsiniz.

4. Giriş ve çıkış gerilimini osiloskop üzerinde gözlemleyin ve aşağıya çizin. Giriş ve çıkış sinyalinizin hangisi olduğunu ve kullandığınız ölçekte 1 kutucuğun kaç Volta denk geldiğini belirtin.



5. Gözlemlediğiniz çıkış sinyalinin değeri nedir?

6.  $e_{\phi}$ 'yi teorik olarak hesaplayın.

7. Çıkış sinyalinin teorik ve deneysel olarak bulduğunuz sonuçlarını karşılaştırın.

7. Giriş ve çıkış sinyallerinin değerleri ve fazlarında değişim var mı?

## **Sonuçlar ve Yorumlar**

**Katkı****Referanslar:**

- 1. Marmara Üniversitesi Fizik Bölümü Elektronik Lab II eski f6y**
- 2. ECE65 Lecture Notes (F. Najmabadi), Winter 2006**
- 3. İşlemsel Yükselteç Ders Notları (Hazırlayan: Öğr. Gör. Bora D6ken)**