

DENEY-4

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLERİN DOĞRUSAL UYGULAMALARI

DENEYİN AMACI: Bu deneyde işlemsel kuvvetlendiricinin doğrusal uygulamaları incelenecek, işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak hangi matematiksel fonksiyonların gerçekleştirilebileceği incelenecektir.

ÖN HAZIRLIK

Deneye gelmeden önce temiz bir kağıda aşağıdakilerin yazılması istenmektedir;

- ✓ Şekil 4.5'teki fark kuvvetlendiricisini, (4.1) formülünü kullanarak analiz edin. Bulduğunuz sonucun A değeri sonsuza giderken (4.10) formülüyle aynı olup olmadığını kontrol edin.
- ✓ Aynı devrede (4.9) bağıntısını kullanarak $a=1$, $b=3$ değerleri için direnç değerleri 10K değerini geçmeyecek şekilde E12 direnç serisine ait en uygun dirençleri belirleyin.

Deneye gelmeden önce deney föyü dikkatli bir şekilde okunmalıdır.

GÖZDEN GEÇİRİLMESİ FAYDALI KONULAR

- ✓ İşlemsel kuvvetlendirici nedir ?
- ✓ İşlemsel kuvvetlendiricinin çalışma bölgeleri nelerdir ?

DENEYİN ÖĞRENCİYE KATACAĞI ŞEYLER

- ✓ Bu deneyde işlemsel kuvvetlendiricinin çalışma mantığı öğrenilecektir.
- ✓ İşlemsel kuvvetlendiricinin doğrusal olarak çalıştırıldığında hangi fonksiyonları yerine getirebildiği gözlemlenecektir.

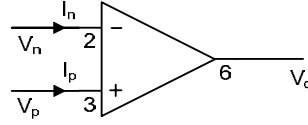
KULLANILACAK MALZEMELER

- ✓ 1 Adet İki bağımsız çıkışlı güç kaynağı
- ✓ 1 Adet Multimetre (standart DC ölçmeler için)
- ✓ 1 Adet Osiloskop (giriş ve çıkış işaretlerini görmek için)
- ✓ 1 Adet 10 k Ω direnç
- ✓ 1 Adet 100 k Ω direnç
- ✓ 1 Adet 10 k Ω ayarlanabilir direnç
- ✓ 1 Adet 100 k Ω ayarlanabilir direnç
- ✓ Ön çalışmada bulduğunuz 3 adet direnç
- ✓ 1 Adet 10 nF kapasite
- ✓ 1 Adet 741 işlemsel kuvvetlendirici
- ✓ Yeterli sayıda kablo ve tel.

1. İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Günümüzde analog elektronik alanında çok kullanılan temel yapılardan biri olan işlemsel kuvvetlendirici (Operational Amplifiers) ilk olarak analog hesap işlemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Bugün düşük frekanslı tüm uygulamalarda, özellikle ölçme, otomatik kontrol, Analog/Dijital ve Dijital/Analog dönüştürücülerde yaygın olarak kullanılmaktalar. Temel mantığı çok basit olan işlemsel kuvvetlendirici, bu basit mantığı sayesinde pek çok işlevi yerine getirebilmektedir.

İdeal işlemsel kuvvetlendirici, gerilim kazancı sonsuz, giriş direnci sonsuz, çıkış direnci sıfır olan ve istendiği kadar geribesleme uygulanabilen yani, mutlak kararlı bir kuvvetlendiricidir. İşlemsel kuvvetlendiriciye ilişkin devre sembolü Şekil-4.1 de gösterilmiştir (Devre gerçekleşirken ya da üzerinde ölçme yapılırken, devrenin beslemeleri de göz önüne alınmalıdır. Deneyde kolaylık olması açısından gösterilecek olmasına rağmen sembolik veya fonksiyonel gösterimde okuyucunun bunu bildiği varsayılarak, devrede sadelik sağlanması açısından besleme uçları gösterilmez.).



Şekil-4.1 İdeal işlemsel kuvvetlendiricinin sembolik gösterimi.
(Beslemeler gösterilmemiştir.)

Yukarıdaki verilen temel özelliklerinin biri dışında tamamı pratikte sağlanması olanaklı olmayan özelliklerdir. Sonsuz giriş empedansı ve gerilim kazancı ve sıfır çıkış empedansı sağlanması fiziksel olarak olanaksız özellikler olup bunların yaklaşık olarak sağlanması da uygulama açısından yeterlidir (Pratikte en az 10.000 civarında gerilim kazancı, birkaç 10 Ω mertebesinde çıkış direnci ve 1M Ω kadar giriş direnci yeterli olur). Ancak işlemsel kuvvetlendiriciler, hemen hemen tüm doğrusal uygulamalarında negatif geribeslemeli olarak kullanıldıklarından, kararlılık tam olarak sağlanması gereken özelliştir.

Şekil-4.1 deki sembol incelenirse, işlemsel kuvvetlendiricinin iki girişi olduğu görülür. İşlemsel kuvvetlendiricinin temel çalışma prensibi bu iki girişin farkını kuvvetlendirmektir. Buna göre A kazanç olmak üzere lineer bölgede çalışan bir işlemsel kuvvetlendiricinin çıkış gerilimi şu şekilde ifade edilebilir:

$$V_o = A(V_p - V_n) \quad (4.1)$$

1.1 Çıkış Gerilimi Sınırları

İşlemsel kuvvetlendiricilerin çıkış gerilimlerinin alabilecekleri değerlerin alt ve üst sınırları vardır. E_{sat+} ve E_{sat-} sırasıyla bu alt ve üst sınırlar olmak üzere işlemsel kuvvetlendiricinin çıkış gerilimi bu sınırlar da dikkate alınarak şu şekilde gösterilebilir:

$$V_O = \begin{cases} E_{sat-} & V_p - V_n < \frac{E_{sat-}}{A} \\ A(V_p - V_n) & \frac{E_{sat-}}{A} < V_p - V_n < \frac{E_{sat+}}{A} \\ E_{sat+} & V_p - V_n > \frac{E_{sat+}}{A} \end{cases} \quad (4.2)$$

Çıkışın sınırlara varmadığı bölge işlemsel kuvvetlendiricinin lineer bölgesi olarak adlandırılır. Bu formülde lineer bölgeye (ikinci denklem) bakılacak olursa A (gerilim kazancı) arttıkça bu bölgede çalışan kuvvetlendirici için giriş fark gerilimi ($V_p - V_n$) değerinin sınırlarının daraldığını, A sonsuza giderken de $V_p - V_n$ değerinin sıfır olduğu görülmektedir. Bu nedenle kazancı yeterince büyük olan işlemsel kuvvetlendiriciler lineer bölgede çalıştıklarında giriş gerilimleri eşit kabul edilir. Lineer bölge sınırları A sonsuza giderken daraldığı için V_p ve V_n girişlerine iki farklı gerilim uygulayarak işlemsel kuvvetlendiricinin lineer bölgede çalışmasını sağlamak pratik olarak mümkün değildir, çünkü yüksek kazançlı işlemsel kuvvetlendiricilerde giriş gerilimindeki çok ufak bir fark bile yüksek değerli kazançla çarpılarak çıkış geriliminin sınırlara varmasını sağlayacaktır. Bu nedenle lineer uygulamalarda işlemsel kuvvetlendirici negatif geribeslemeli olarak çalıştırılır.

İşlemsel kuvvetlendirici, yapısı itibarıyla tek kutuplu olduğu için giriş geriliminin frekansı arttıkça kazancı düşer. Bu nedenle işlemsel kuvvetlendirici devreleri ölçülürken, kurulan devrelerin belirli bir frekanstan daha yüksek frekanslarda çalışmayacağı göz önüne alınmalıdır.

1.2 Dengesizlik Gerilimi

İdeal olmayan işlemsel kuvvetlendiricilerde pozitif giriş ile negatif giriş her anlamda simetrik değildir. Özellikle giriş transistörleri üretilirken bire bir aynı üretilmemesinden kaynaklanan bu asimetriye dengesizlik denir. İşlemsel kuvvetlendiricilerde, dengesizlikten dolayı giriş gerilimlerinin farkı sıfır olduğunda çıkış geriliminin sıfır olmadığı görülür. Bu durumda çıkışın sıfırlanması ancak sıfırdan farklı, belirli bir giriş fark gerilimi uygulandığında sağlanabilir. Çıkışın sıfır olmasını sağlayan bu giriş fark gerilimine “giriş dengesizlik gerilimi” denir.

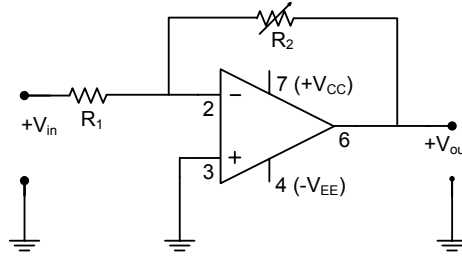
2. FAZ ÇEVİREN KUVVETLENDİRİCİ

Faz çeviren kuvvetlendirici (negatif kazançlı kuvvetlendirici) yapısı Şekil 4.2’te görülmektedir. İşlemsel kuvvetlendiricinin giriş akımı sıfır kabul edilerek eksi ucu (2 numaralı pin) için Kirchhoff akımlar yasası yazılırsa:

$$I_{R1} + I_{R2} = 0 \quad (4.3)$$

olduğu görülür. Bu akımlar direnç ve gerilim değerleri cinsinden ifade edildiğinde şu denklem bulunur:

$$\frac{V_{in} - V_n}{R_1} + \frac{V_{out} - V_n}{R_2} = 0 \quad (4.4)$$



Şekil-4.2 Faz çeviren kuvvetlendirici.

Kazanç sonsuz kabul edilmeden devre şu şekilde analiz edilebilir:

(4.1) denklemi kullanıldığında V_n yerine $\frac{-V_{out}}{A}$ konularak devrenin çıkış gerilimi ve kazancı şu şekilde olacaktır:

$$\frac{V_{in} + \frac{V_{out}}{A}}{R_1} + \frac{V_{out} \left(1 + \frac{1}{A}\right)}{R_2} = 0 \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_2}{R_1 + \frac{1}{A}(R_1 + R_2)} \quad (4.5)$$

Kazanç sonsuz kabul edildiğinde ise devrenin analizi şu şekilde basitleştirilebilir:

A kazancı sonsuz kabul edildiğinde $V_n = \frac{-V_{out}}{A} = 0$ olacağından (4.4) denklemi aşağıdaki gibi kısaltılabilir:

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0 \quad (4.6)$$

Buradan da devrenin kazancı

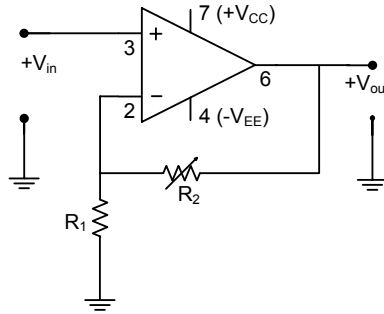
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (4.7)$$

olacaktır. Dikkat edilirse (4.5) denkleminin A sonsuza giderken (4.7) denklemine dönüşmektedir. Deneydeki işlemsel kuvvetlendiricilerde A'nın yeterince büyük olduğu düşünülerek deneydeki devreler daha basit olan ikinci yöntemle analiz edilecektir.

Deney-2.1: İşlemsel kuvvetlendiriciyi ± 15 V besleme kaynaklarına bağlayın. Daha sonra $R_1=10K$ ve $R_2=100K$ dirençlerini bağlayıp çıkışta kırıpılma olmayacak şekilde girişe uygun genlikli sinüs uygulayın. R_2 direncinin değerini 100K, 75K, 50K, 25K ve 10K değerlerine getirerek çıkış genliğinin R_2 ile nasıl değiştiğini kaydedin. (Not: Direnci ölçerek değiştirirken devreye bağlı olmamasına dikkat edin.) Bu ölçümlerden elde edeceğiniz kazanç – R_2 eğrisini ideal eğriyle karşılaştırın.

3. FAZ ÇEVİRMEYEN KUVVETLENDİRİCİ

Faz çevirmeyen (pozitif kazançlı) devre yapısı şekildeki gibidir:



Şekil-4.3 Faz çevirmeyen kuvvetlendirici.

Devre analiz edilecek olursa devrenin kazancının

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.8)$$

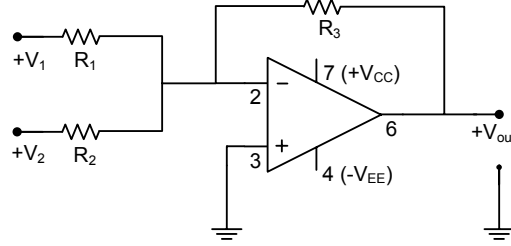
olduğu görülür.

Deney-2.2: Şekildeki devreyi kurarak bir önceki direnç değerleriyle ölçümleri tekrarlayın. Elde edeceğiniz kazanç – R_2 eğrisini ideal eğriyle karşılaştırın.

R_1 direnci sonsuz R_2 direnci sıfır olsaydı devrenin kazancının hangi değeri alacağını, bu durumda devrenin işlevinin ne olacağını araştırın.

4. TOPLAMA VE FARK KUVVETLENDİRİCİLERİ

İşlemsel kuvvetlendiricilerin gerek analog hesaplama gerekse otomatik kontrol devrelerinde kullanılışları genellikle toplama ve fark devreleri biçimindedir. Bu nedenle bu tür uygulamalara örnek olarak Şekil-4.4 de bir toplama ve Şekil-4.5 de ise bir fark alma devresi verilmiştir.

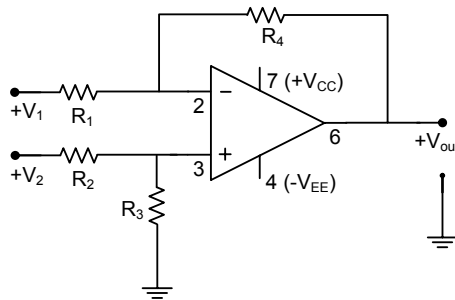


Şekil-4.4 Toplama devresi.

Şekil-4.4 deki toplama devresi esasında iki tane faz çeviren kuvvetlendirici içermektedir. V_2 gerilimi sıfıra getirildiğinde devre V_1 'den V_o 'ya $-\frac{R_3}{R_1}$ kazançlı, V_1 sıfıra getirildiğinde ise devre V_2 'den V_o 'ya $-\frac{R_3}{R_2}$ kazançlı bir faz çeviren kuvvetlendirici gibi davranmaktadır. Bu nedenle toplamsallık ilkesi uygulanırsa devrenin çıkış gerilimi giriş gerilimi cinsinden,

$$V_o = -\left(\frac{R_3}{R_1}V_1 + \frac{R_3}{R_2}V_2\right) = -(aV_1 + bV_2) \quad (4.9)$$

biçiminde ifade edilebilir.



Şekil-4.5 Fark devresi.

Şekil-4.5 de verilen fark kuvvetlendiricisi de hem faz çeviren hem de faz çevirmeyen kuvvetlendirici yapısı içermektedir. Fark devresindeki mantıkla devre analiz edilirse devrenin V_1 'den V_o 'ya $-\frac{R_4}{R_1}$ kazançlı, V_p 'den (işlemsel kuvvetlendiricinin

pozitif girişinden) V_o 'ya $1 + \frac{R_4}{R_1}$ kazançlı bir devre gibi davrandığı görülür. İşlemsel kuvvetlendirici girişinden akım çekmediği için R_2 ve R_3 dirençleri bir gerilim bölücü yaratacaktır. Bu gerilim bölücüden yararlanılarak V_p yerine $V_2 \frac{R_3}{R_2 + R_3}$ konulur ve toplamsallık ilkesi uygulanırsa çıkış gerilimi giriş gerilimleri cinsinden,

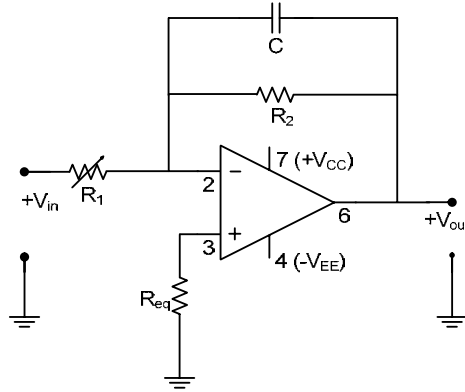
$$V_o = V_2 \frac{R_3}{R_2 + R_3} \left[1 + \frac{R_4}{R_1} \right] - \frac{R_4}{R_1} V_1 = aV_2 - bV_1 \quad (4.10)$$

biçiminde ifade edilir.

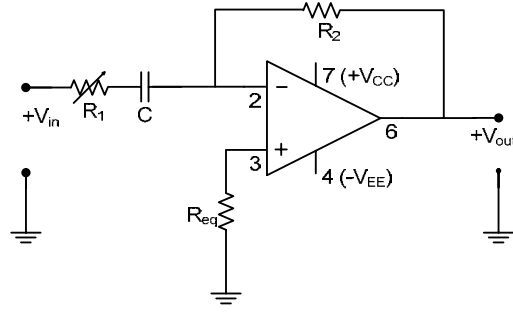
Deney-2.3: V_1 girişine uygun genlikli sinüs, V_2 girişine 5V DC gerilim vererek iki devre için de $a=1$ $b=3$ için bulduğunuz direnç değerlerini kullanarak devreleri kurunuz. İki devrenin de çıkış gerilimini inceleyin.

5. TÜREV VE İNTEGRAL ALICI DEVRELER

Elektronikte türev ve integral işlemini yapmak için dinamik elemanlardan (kapasite ve endüktans elemanlarından) yararlanır. Bir işlemsel kuvvetlendirici yardımıyla bu işlemleri yapmak son derece kolaydır. Şekil-4.6 ve 4.7 de sırasıyla bir integral ve türev alma devresi gösterilmiştir.



Şekil-4.6 İntegral devresi.



Şekil-4.7 Türev devresi.

Uygun çalışma frekanslarında integral devresinde R_2 direncinden akan akım ile türev devresinde R_1 direncinin gerilimi ihmal edilebilir. Böylelikle integral devresi için R_2 sonsuz, türev devresi için R_1 sıfır kabul edilerek ve önceki bölümlerde bahsedilen yöntemler kullanılarak integral devresinin gerilim transfer fonksiyonun,

$$V_o = -\frac{1}{R_1 C} \int V_1 dt + V_{o(t=0)} \quad (4.11)$$

türev devresinin gerilim transfer fonksiyonun,

$$V_o = -R_2 C \frac{dV_1}{dt} \quad (4.12)$$

olduğu kolayca gösterilebilir.

İşlemsel kuvvetlendiricinin kazancının giriş geriliminin frekansı arttıkça azaldığı önceden belirtilmişti. $\sin(\omega t)$ fonksiyonunun türevinin $\omega \cdot \cos(\omega t)$ olduğu göz önüne alınır, türev alıcı devrenin frekansı arttıkça kazancı artan bir devre olduğu görülür. Bu nedenle işlemsel kuvvetlendiricinin diğer lineer uygulamalarıyla karşılaştırıldığında türev alıcı devrenin çalışabildiği frekans aralığı genelde daha düşük kalmaktadır.

Deney-2.4: İntegral alıcı devreyi $R_1=10K$, $R_2=100K$, $C=10nF$, $R_{eq}=10K$ olacak şekilde kurarak girişine uygun frekans ve genlikte asimetrik kare dalga uygulayın, çıkışı gözlemleyip kaydedin.

Türev alıcı devreyi aynı eleman değerleriyle kurarak girişine uygun frekans ve genlikte asimetrik üçgen dalga uygulayın, çıkışı gözlemleyip kaydedin.

Deneyi yaptıran Araş. Gör.:
Oda No: e-mail:

Deneyi yapan öğrencinin
Grup No:
Adı Soyadı:
No:
e-mail:

ÖLÇME SONUÇLARINI İŞLEME KISMI

(Genlik değerlerini tepeden tepeye ölçünüz)

EK-A (DENEY-2.1)

$R_1 = 10K$ Giriş Genliği =

R_2	Çıkış Genliği
100K	
75K	
50K	
25K	
10K	

EK-B (DENEY-2.2)

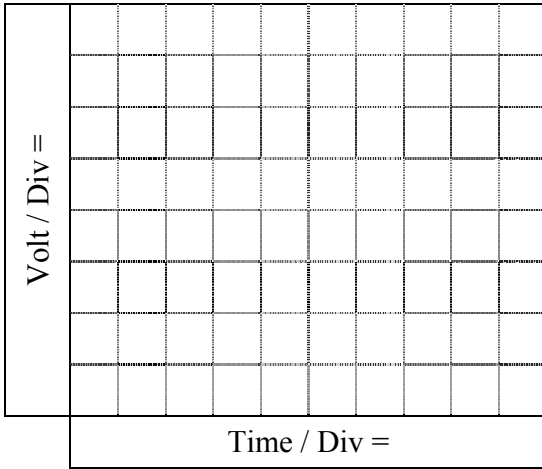
$R_1 = 10K$ Giriş Genliği =

R_2	Çıkış Genliği
100K	
75K	
50K	
25K	
10K	

EK-C (DENEY-2.3)

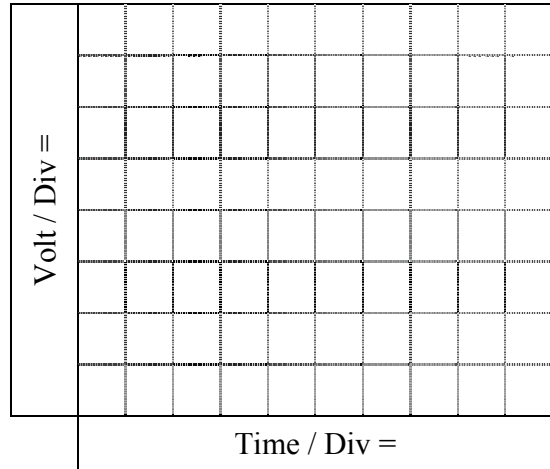
Toplama Kuvvetlendiricisi

Sinüs Genliği =



Fark Kuvvetlendiricisi

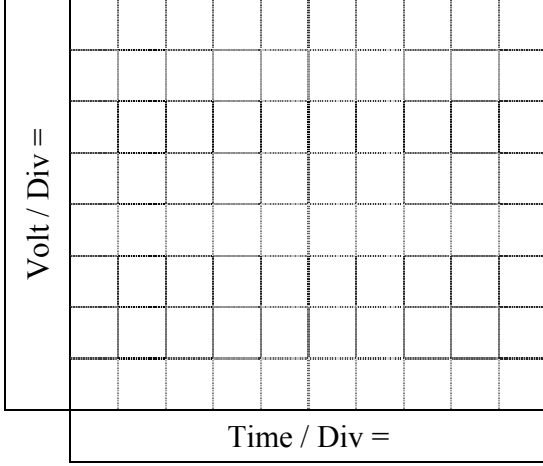
Sinüs Genliği =



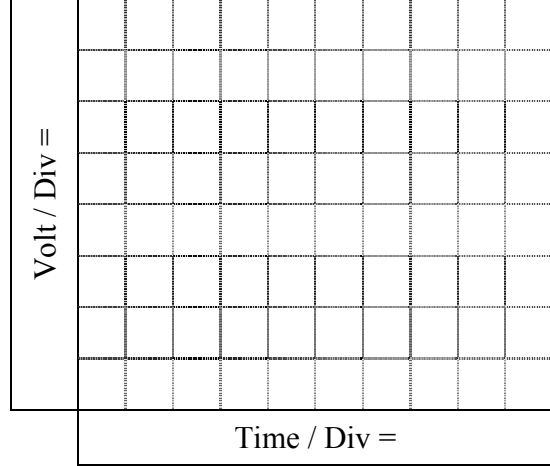
EK-D (DENEY-2.4)

İntegral Alıcı Devre

Giriş İşareti

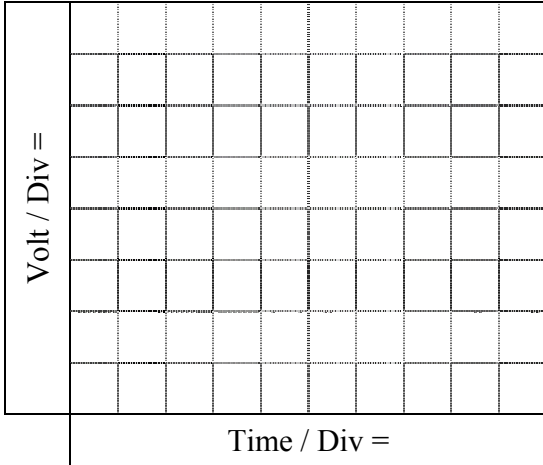


Çıkış İşareti

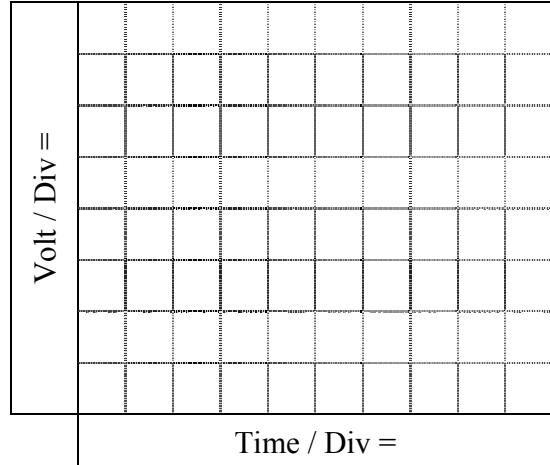


Türev Alıcı Devre

Giriş İşareti

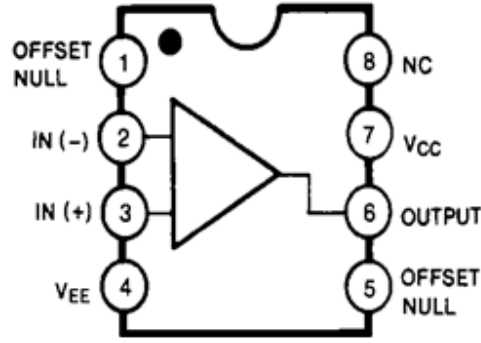


Çıkış İşareti



EK-BİLGİLER

741 İşlemsel Kuvvetlendirici Bağlantıları



DENEY 4 – RAPORDA İSTENENLER

- ✓ Deney 2.1 ve 2.2’de elde ettiğiniz kazanç – R_2 eğrilerini ideal eğrilerle karşılaştırınız.
- ✓ Deney 2.2’de R_1 direncinin sonsuz, R_2 direncinin sıfır olması halinde kazancın hangi değeri alacağını ve bu durumda devrenin işlevinin ne olacağını araştırınız.
- ✓ Aşağıdaki terimlerin anlamlarını araştırınız:
 1. Ortak İşareti Bastırma Oranı (CMRR – Common Mode Rejection Ratio)
 2. Birim Kazanç Bant Genişliği (Unity Gain Bandwidth)
 3. Yükselme Eğimi (SR - Slew Rate)