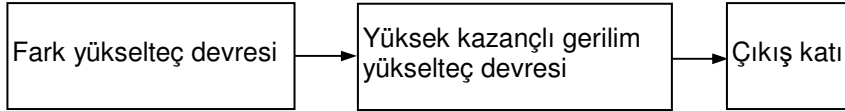
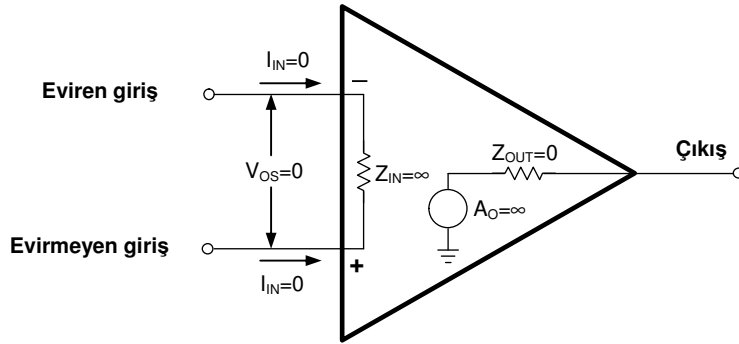


**KONU : OP AMP' IN GENEL ÖZELLİKLERİ****Giriş:**

OP AMP, çok amaçlı kullanılabilen entegre devre elemanıdır. Tek bir paket içinde ikili ve dördü OP AMP' lar da bulunmaktadır. OP AMP' lar yükselteç, osilatör, regülatör, akım/gerilim dönüştürme, doğrultma, arabirim ve çeşitli matematiksel fonksiyonların gerçekleştirilmesi gibi bir çok işlemlerde kullanılabilmektedir. OP AMP' ın blok yapısı şekil 1' de görülmektedir.

**Şekil 1 : OP AMP' ın blok yapısı****Şekil 2 : İdeal OP AMP' ın elektriksel eşdeğeri**

Şekil 2' de ise ideal yapıdaki OP AMP' ın elektriksel eşdeğeri görülmektedir. Bu şekilde ideal OP AMP için bazı temel parametre değerleri verilmiştir. Bu temel parametrelerin açıklaması tablo 1' de görülmektedir.

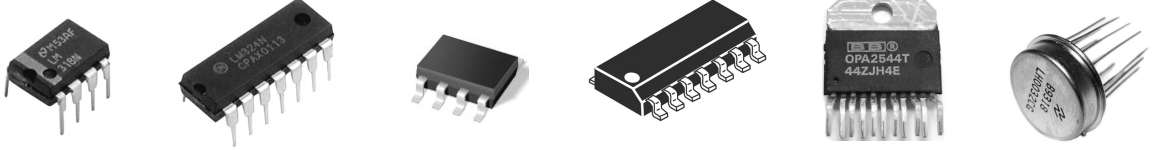
Sembol	Parametre	İdeal Değer	Pratikteki değer
$I_{IN}$	Giriş akımı	0	<500 nA
$V_{OS}$	Giriş ofset gerilimi	0	<10 mV
$Z_{IN}$	Giriş empedansı	$\infty$	>1 M $\Omega$
$Z_{OUT}$	Çıkış empedansı	0	<100 $\Omega$
$A_O$	Açık çevrim kazancı	$\infty$	>10000

**Tablo 1 : Temel OP AMP parametreleri**

Tablo açıklanacak olursa,

- 1- OP AMP girişleri akım çekmez
- 2- OP AMP girişleri zahiri kısa devredir
- 3- OP AMP giriş empedansı çok büyüktür
- 4- OP AMP çıkış empedansı çok küçüktür
- 5- Geribeslemesiz gerilim kazancı çok büyüktür

OP AMP' lar hem dc hem de ac giriş gerilimlerini işleyebilirler. Ancak çıkış geriliminin besleme gerilimini geçemeyeceği dikkate alınmalıdır. Bir diğer önemli nokta, OP AMP' ların simetrik besleme gerilimi ile çalıştığıdır. Ancak bazı düzenlemeler yapılarak tek kaynaktan da besleme yapılabilir. Ancak bazı düzenlemeler yapılarak tek kaynaktan da besleme yapılabilir.



**Şekil 3 : Çeşitli kılıflarda OP AMP görünüşleri**

### **OP AMP PARAMETRELERİ**

#### **Open-Loop Voltage Gain - Açık çevrim gerilim kazancı**

Geribesleme yapılmadığı durumda, çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranı olarak tanımlanır.

#### **Large Signal Voltage Gain - Büyük sinyal gerilim kazancı**

İzin verilen maksimum çıkış geriliminin, bu gerilimi sağlayan giriş gerilimine oranıdır.

#### **Slew rate - Değişim hızı**

Opamp çıkış geriliminin zamana bağlı olarak değişim hızını ifade eder.

#### **Common Mode Rejection Ratio - Ortak mod reddetme oranı**

OP AMP' ın gürültü bastırma kapasitesini göstermekte kullanılır. CMRR genellikle, desibellerde ifade edilir ve CMRR değerinin yükselmesi daha iyi gürültü bastırma kapasitesini ifade eder.

#### **Input Offset Voltage - Giriş kayma gerilimi**

OP AMP çıkışında sıfır gerilim elde etmek için, giriş terminallerine uygulanması gereken dc gerilimlerin farkıdır.

#### **Input Bias Current - Giriş öngerilim akımı**

Sıfır voltluk çıkış gerilimi için iki giriş terminaline ait akımların ortalamasıdır.

#### **Input Offset Current - Giriş kayma akımı**

OPAMP çıkışında sıfır gerilim elde etmek için, giriş uçları arasındaki akımların farkıdır.

#### **Differential Input Impedance - Fark giriş empedansı**

Eviren ve evirmeyen giriş terminalleri arasındaki dirençtir.

#### **Output Impedance - Çıkış empedansı**

Çıkış direncini ifade eden parametredir.

#### **Output offset voltage - Çıkış kayma gerilimi**

Giriş terminallerinin şaseye bağlanması durumunda, çıkış terminalinde görülen gerilimdir.

#### **Output Short-Circuit Current - Kısa devre çıkış akımı**

OP AMP çıkışındaki harici yük direncinin sıfır ohm olması durumunda, çıkış terminalinden akan akım değeridir. Diğer bir ifadeyle, OP AMP çıkışından alınabilecek maksimum akımı gösterir.

#### **Maximum Supply Voltage - Maksimum besleme gerilimi**

OP AMP' a zarar vermeden uygulanabilen maksimum besleme gerilimidir.

#### **Power dissipation - Güç harcaması**

Normal çevre sıcaklığında OP AMP' ın harcayabileceği maksimum gücü ifade eder.

**Maximum Input Voltage - Maksimum giriş voltajı**

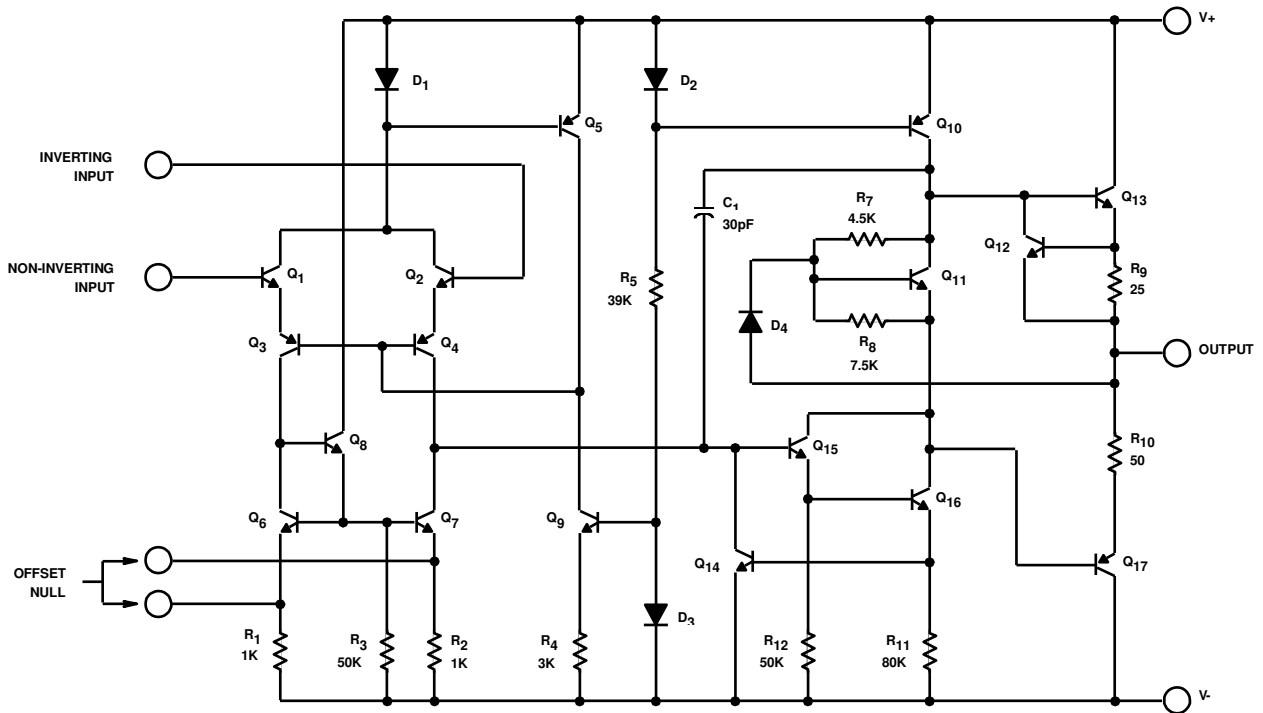
Giriş terminallerine uygulanabilecek maksimum gerilim olup, çoğu OP AMP için besleme gerilimi ile aynı değerdedir.

**Differential Input Voltage - Fark giriş gerilimi**

Eviren ve evirmeyen girişlere uygulanabilecek maksimum fark gerilimidir.

**Maximum Operating Temperature - Maksimum çalışma sıcaklığı**

OP AMP' ın güvenli çalışabileceği maksimum çevre sıcaklığıdır.

**LM 741' in iç yapısı**

OP AMP' lar da diğer yarıiletken elemanlar gibi özel olarak kodlanmaktadır. Kodlamanın ilk bölümü imalatçı firmayı ifade eden genellikle iki harften (örneğin LM) oluşur. Ardından OP AMP' ın seri numarası (örneğin 741) gelir. Bunu takiben ise sıcaklık aralık kodu gelmektedir. Sıcaklık aralığını ifade eden bu kodların anlamı;

C: Ticari uygulamalar 0 °C - 70 °C

I: Endüstriyel uygulamalar -25 °C - 85 °C

M: Askeri uygulamalar -55 °C - 125 °C

Bazı kodlamalarda sıcaklık kodunu takip eden paket kodu bulunmaktadır. Bunlar;

D: Yüzey montajı için (surface mounting) plastik DIP (dual-in-line) kılıf

J: Ceramic DIP kılıf

N,P: Sokete takılabilir plastik DIP kılıf

LM 741' e ait elektriksel parametreler

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 2)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 3)	±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
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L = 2\text{ k}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN}$ $T_A$ $T_{AMAX}$ , $R_L = 2\text{ k}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$ , $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L = 10\text{ k}$	±16									V
	$R_L = 2\text{ k}$	±15									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L = 10\text{ k}$				±12 ±10	±14 ±13		±12 ±10	±14 ±13		V V
	$R_L = 2\text{ k}$										
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN}$ $T_A$ $T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN}$ $T_A$ $T_{AMAX}$ $R_S = 10\text{ k}$ , $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S = 50$ , $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN}$ $T_A$ $T_{AMAX}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$										
	$R_S = 50$	86	96								dB
	$R_S = 10\text{ k}$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain										
			0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		µs %
Bandwidth (Note 5)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/µs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$										
	$V_S = \pm 20\text{V}$		80	150							mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$					50	85		50	85	mW
	$V_S = \pm 20\text{V}$										
	$T_A = T_{AMIN}$			165							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			135							mW
	$V_S = \pm 20\text{V}$										
	$T_A = T_{AMIN}$			150							mW
LM741E	$T_A = T_{AMAX}$			150							mW
LM741	$V_S = \pm 15\text{V}$										
	$T_A = T_{AMIN}$					60	100				mW
	$T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

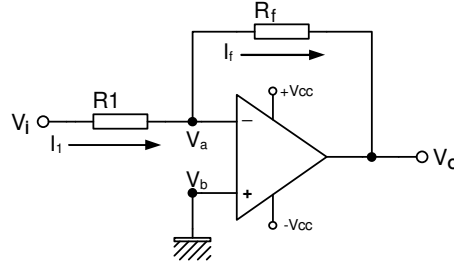
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$										mV
	$R_S = 10\text{ k}$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S = 50$		0.8	3.0							mV
	$T_{AMIN} \quad T_A \quad T_{AMAX}$										mV
	$R_S = 50$			4.0							mV
	$R_S = 10\text{ k}$						6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	$\pm 10$				$\pm 15$			$\pm 15$		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \quad T_A \quad T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \quad T_A \quad T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M
	$T_{AMIN} \quad T_A \quad T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							$\pm 12$	$\pm 13$		V
	$T_{AMIN} \quad T_A \quad T_{AMAX}$				$\pm 12$	$\pm 13$					V

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : EVİREN YÜKSELTEÇ DEVRESİ

**DENEY NO:** 1

**Giriş:**

Şekil 2.1' de eviren yükselteç devresi görülmektedir.



**Şekil 2.1 : Eviren yükselteç devresi**

OP AMP devrelerinin analizinde, OP AMP' ların iki özelliğinden yararlanılacaktır.

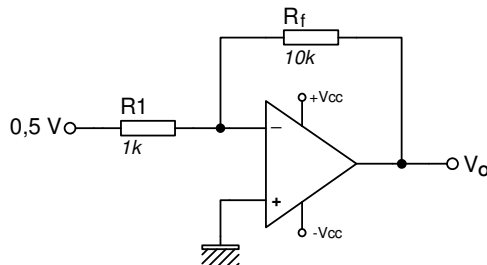
1- OP AMP girişleri zahiri kısa devredir. Buna göre  $V_a = V_b = 0$

2- OP AMP girişleri akım çekmez. Buna göre

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_f \\
 \frac{V_i - V_a}{R_1} &= \frac{V_a - V_o}{R_f} \\
 \frac{V_i - 0}{R_1} &= \frac{0 - V_o}{R_f} \\
 \frac{V_i}{R_1} &= \frac{-V_o}{R_f} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R_1} = A_v \text{ ve } V_o = \frac{-R_f}{R_1} \cdot V_i
 \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi giriş sinyali,  $A_v$  (gerilim kazancı) oranında yükseltilmekte ve fazı  $180^\circ$  terslenmektedir.

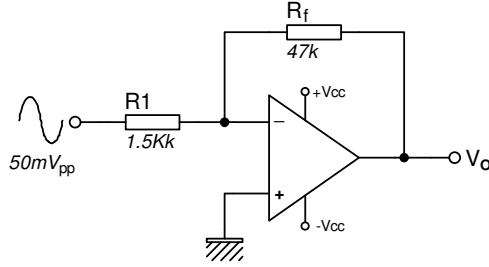
**Örnek 2.1:** Şekildeki devrenin kazancını ve çıkış geriliminin değerini hesaplayın.



$$A_v = \frac{-R_f}{R_1} = \frac{-10}{1} = -10$$

$$V_o = A_v \cdot V_i = -10 \cdot (0,5V) = -5V$$

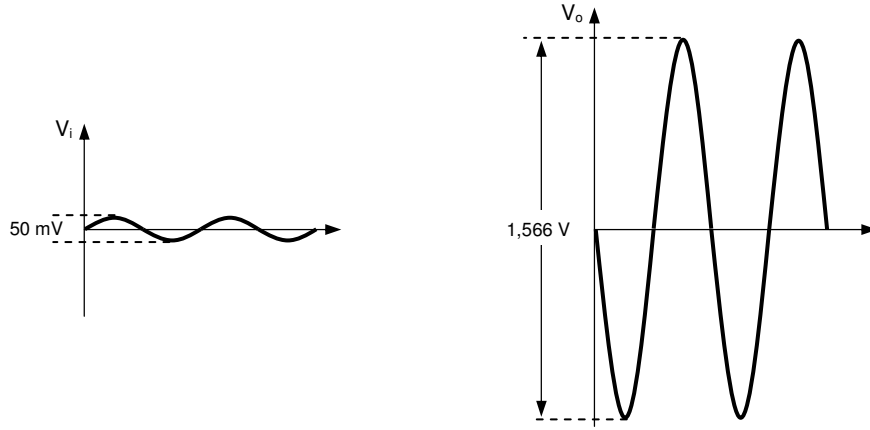
**Örnek 2.2:** Şekildeki devrenin kazancını ve çıkış sinyalinin değerini hesaplayın.



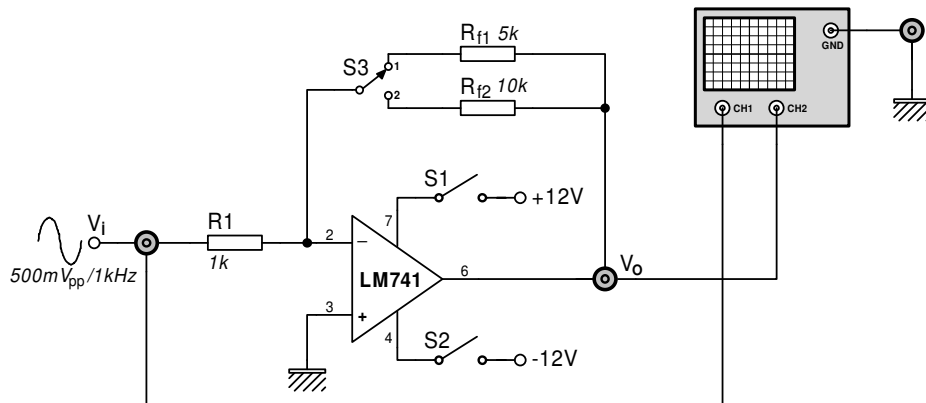
$$A_v = \frac{-R_f}{R_i} = \frac{-47}{1,5} = -31,33$$

$$V_o = A_v \cdot V_i = -31,33 \cdot (50mV_{pp}) = -1,566V_{pp}$$

Çıkıştan, tepeden tepeye 1,566 V' luk bir sinüs sinyal alınacak ve girişle arasında 180° faz farkı olacaktır. Giriş ve çıkış sinyalleri aşağıda görülmektedir.



**Deney Şeması:**



### Deneyin Yapılışı:

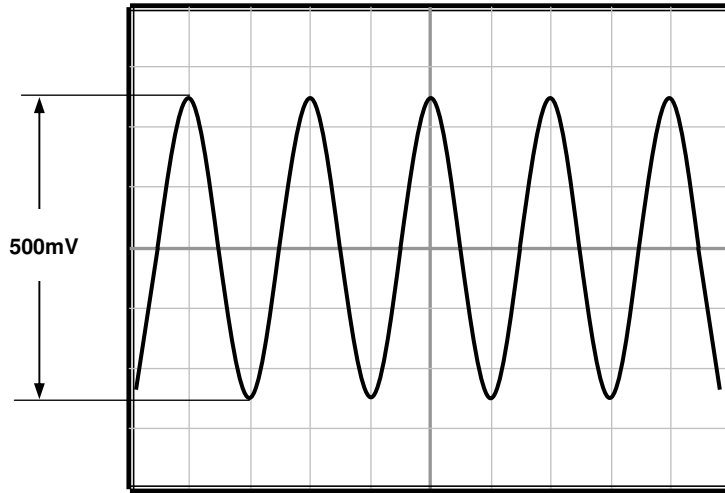
- 1- **OP 2301** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **A** bloğunu bulun.
- 2-  $R_{f1}$  ve  $R_{f2}$  dirençleri için devrenin gerilim kazancını ( $A_V$ ) hesaplayın.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4-  $S_3$  anahtarını 1 nolu konuma alarak devrenin girişine **500mV<sub>pp</sub>/1kHz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 5- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 6- Ölçtüğünüz çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranını hesaplayıp, sonucu kazanç ( $A_V$ ) olarak gözlem tablosuna kaydedin.
- 7-  $S_3$  anahtarını 2 nolu konuma alarak gözlemlerinizi tekrarlayın.
- 8- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

### Gözlem Tablosu:

$V_i$

$V/d: 100mV$

$T/d: 0.5ms$

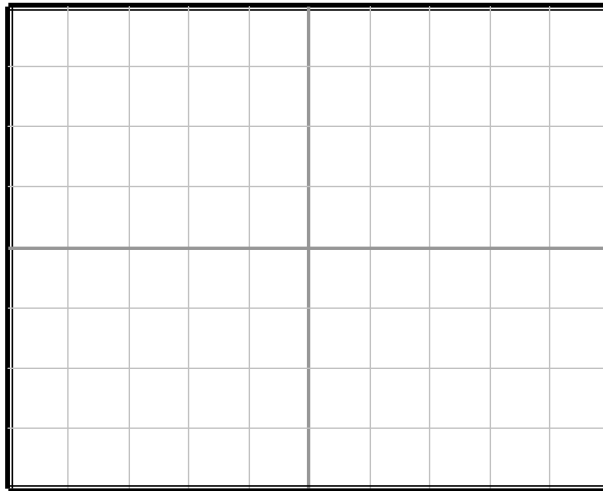


$V_o$

$R_f=5k$

$V/d:$

$T/d:$



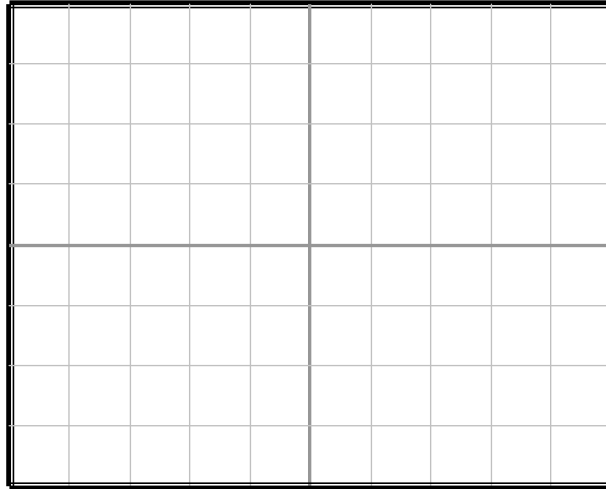


$V_o$

$R_f=10k$

$V/d:$

$T/d:$



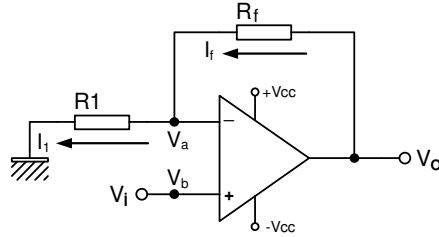
$A_v = V_o/V_i$		
	$R_f=5k$	$R_f=10k$
Hesaplanan		
Ölçülen		

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : EVİRMİYEN YÜKSELTEÇ DEVRESİ

**DENEY NO: 2**

**Giriş:**

Evirmeyen yükselteç devresi şekil 3.1’ de görülmektedir.



**Şekil 3.1 : Terslemeyen yükselteç devresi**

Devrenin analizi yapılacak olursa,

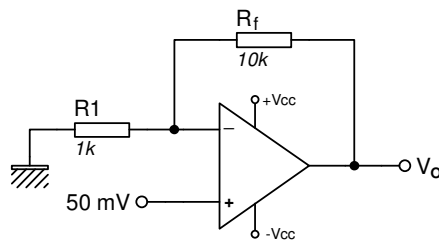
$$V_a = V_b = V_i$$

$$\begin{aligned} I_1 &= I_f \\ \frac{V_i - 0}{R_1} &= \frac{V_o - V_i}{R_f} \\ \frac{V_i}{R_1} &= \frac{V_o - V_i}{R_f} \end{aligned}$$

$$R_f \cdot \frac{V_i}{R_1} = V_o - V_i \Rightarrow V_o = V_i + \frac{R_f}{R_1} \cdot V_i \Rightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot V_i \text{ ve } \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = A_v$$

sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi giriş sinyali,  $A_v$  oranında yükseltilmekte ve fazı değişmemektedir

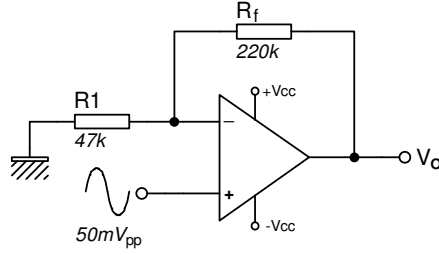
**Örnek 3.1:** Şekildeki devrenin kazancını ve çıkış geriliminin değerini hesaplayın.



$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{10}{1} = 11$$

$$V_o = A_v \cdot V_i = 11 \cdot (50 \text{ mV}) = 550 \text{ mV}$$

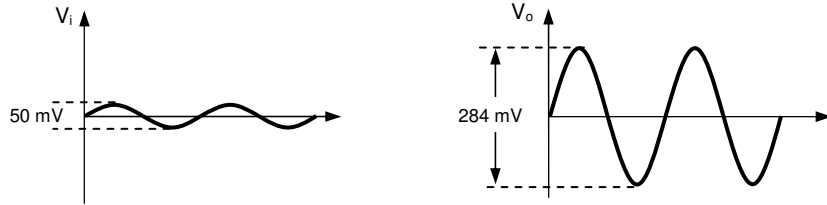
**Örnek 3.2:** Şekildeki devrenin kazancını ve çıkış sinyalinin değerini hesaplayın.



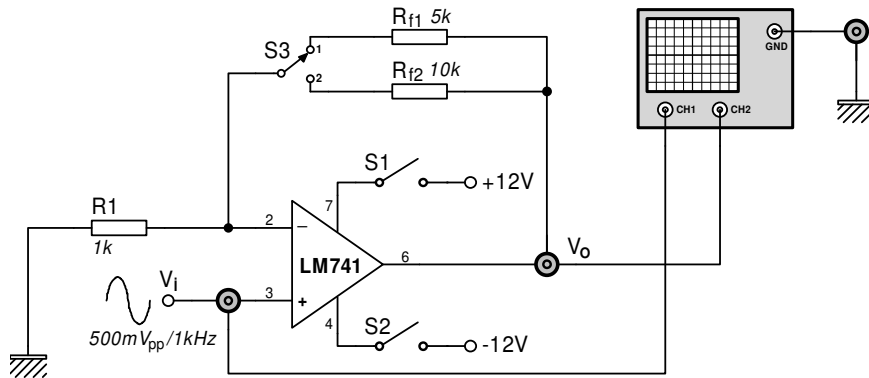
$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{220}{47} = 5,68$$

$$V_o = A_v \cdot V_i = 5,68 \cdot (50mV_{pp}) = 284mV_{pp}$$

Çıkıştan tepeden tepeye 284 mV' luk bir sinüs sinyal alınacak ve girişle arasında faz farkı olmayacaktır. Giriş ve çıkış sinyallerinin şekilleri aşağıda görülmektedir.



#### Deney Şeması:

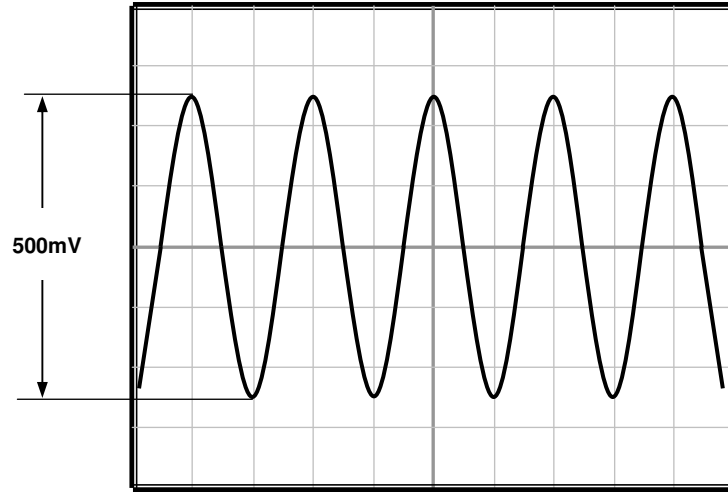


#### Deneyin Yapılışı:

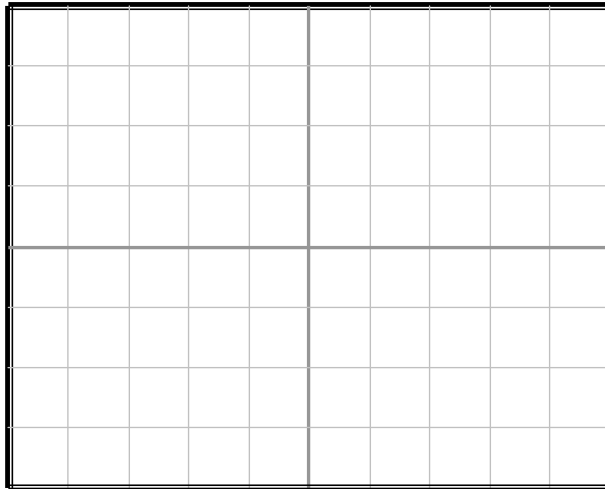
- 1- OP 2301 modülünü ana üniteye yerleştirin ve B bloğunu bulun.
- 2- Rf1 ve Rf2 dirençleri için devrenin gerilim kazancını (Av) hesaplayın.
- 3- S1 ve S2 anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- S3 anahtarını 1 nolu konuma alarak devrenin girişine **500mVpp/1kHz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 5- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çizin.
- 6- Ölçtüğünüz çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranını hesaplayıp, sonucu kazanç (Av) olarak gözlem tablosuna kaydedin.
- 7- S3 anahtarını 2 nolu konuma alarak gözlemlerinizi tekrarlayın.
- 8- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

Gözlem Tablosu:

$V_i$



$V_o$

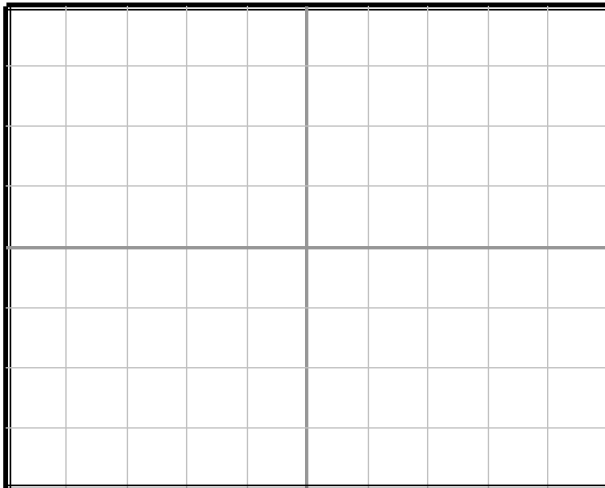


$R_f=5k$

$V/d:$

$T/d:$

$V_o$



$R_f=10k$

$V/d:$

$T/d:$

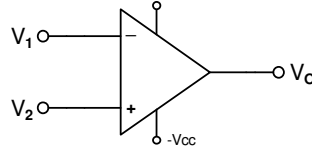
$A_V = V_o / V_i$		
	$R_f = 5k$	$R_f = 10k$
Hesaplanan		
Ölçülen		

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : KARŞILAŞTIRICI DEVRESİ

**DENEY NO: 3**

**Giriş:**

Karşılaştırmalı devresi şekil 7.1' de görülmektedir.



**Şekil 7.1 : Karşılaştırmalı devresi**

Dikkat edilecek olursa şimdiye kadarki OP AMP uygulamalarının aksine sadece bu devrede geribesleme direnci ( $R_f$ ) kullanılmamıştır. OP AMP özelliklerinden hatırlanılacak olursa, geribeslemesiz gerilim kazancı çok yüksektir. Bu nedenle girişler arasındaki birkaç mikro voltluk farklarda bile çıkış gerilimi pozitif veya negatif besleme gerilimine çıkar. Böylece devre iki girişi kıyaslayan çok hassas bir karşılaştırmalı olarak çalışır. Çıkış geriliminin alacağı değerler,

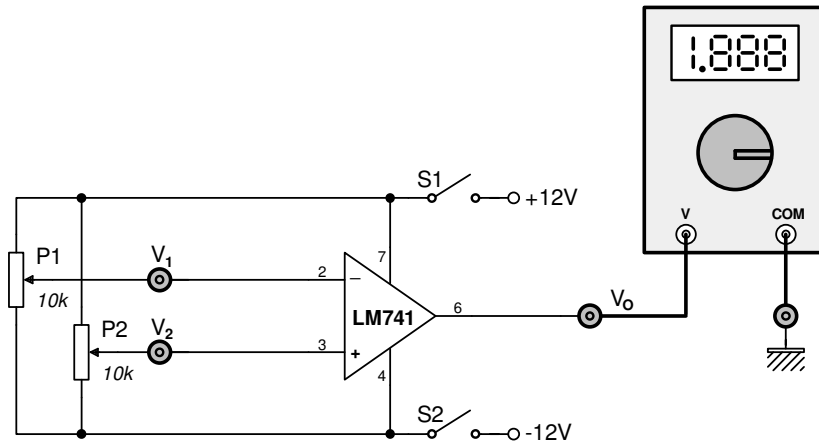
$$V_1 > V_2 \Rightarrow V_o = -V_{cc}$$

$$V_2 > V_1 \Rightarrow V_o = +V_{cc}$$

$$V_1 = V_2 \Rightarrow V_o = 0$$

şeklinde olur. Ancak kısa devre etmek dışında girişlere uygulanan gerilimleri eşit yapmak neredeyse imkânsızdır. Ayrıca çıkış geriliminin sıfır olabilmesi için ayrıca ofset ayarının yapılması da gereklidir. Dolayısıyla eşitlik durumunu çıkışta görmek pek olası değildir.

**Deney Şeması:**



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- **OP 2301** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **C** bloğunu bulun.
- 2- Gözlem tablosunda verilen değerler için çıkış gerilimini hesaplayın. Çıkış geriliminin, besleme gerilimi değerinin 1~2 Volt aşağısına kadar çıkabileceğini dikkate alın.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4-  $P_1$  ve  $P_2$  potansiyometrelerini kullanarak değişik  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerine karşılık gelen  $V_o$  çıkış gerilimlerini voltmetre ile ölçün.
- 5- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

**Gözlem Tablosu:**

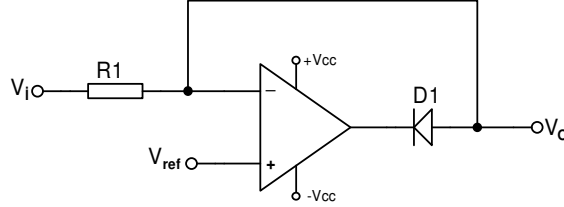
Girişler	$V_1$ (V)										
	$V_2$ (V)										
$V_o$	Hesaplanan										
	Ölçülen										

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : KIRPICİ DEVRESİ

**DENEY NO: 4**

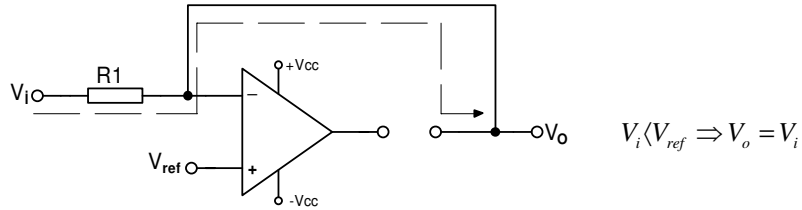
**Giriş:**

Şekil 10.1’ de kırpicı devresi görölmektedir.



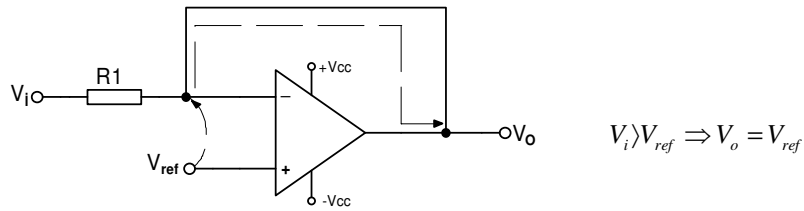
**Şekil 10.1 : Kırpicı devresi**

Devrede,  $V_i$  giriş sinyalinin,  $V_{ref}$  ise kırılma seviyesini belirleyecek referans gerilimini ifade etmektedir.



**Şekil 10.2 :  $V_i < V_{ref}$  durumu için eşdeğer devre**

Giriş gerilimi referans gerilimi seviyesinin altında olduğu sürece OP AMP çıkışı pozitifdir. Katodu anodundan daha pozitif olan  $D_1$  diyotu ters polarıma olacağından kesime gider ve açık devre olur. Bu durumda devrenin çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit olacaktır (şekil 10.2).



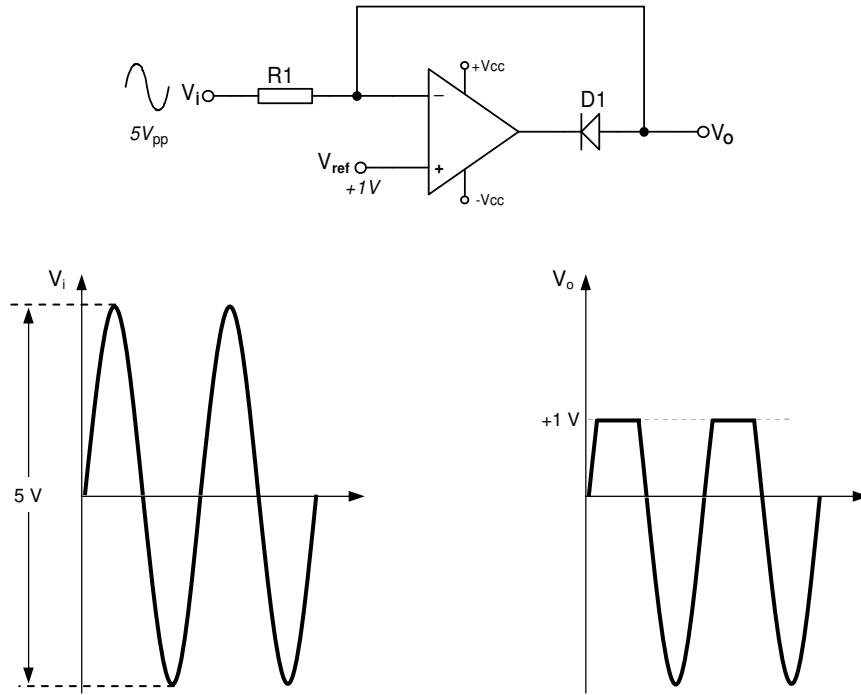
**Şekil 10.3 :  $V_i > V_{ref}$  durumu için eşdeğer devre**

Giriş gerilimi referans gerilimi seviyesinin üzerine çıktığında, diğer bir ifadeyle referans geriliminden daha pozitif olduğunda, OP AMP çıkışı negatif olur. Doğru polarıma alan  $D_1$  diyotu iletme gider ve kısa devre özelliği gösterir. OP AMP çıkıştan girişe negatif geri besleme almaya başlar. Bu durumda OP AMP girişleri zahiri kısa devre özelliği göstereceğinden, eviren girişteki gerilim evirmeyen girişteki referans gerilimine eşit olur. Devre çıkışı da bu noktaya bağlı olduğuna göre çıkış gerilimi referans gerilimine eşit olur (şekil 10.3).

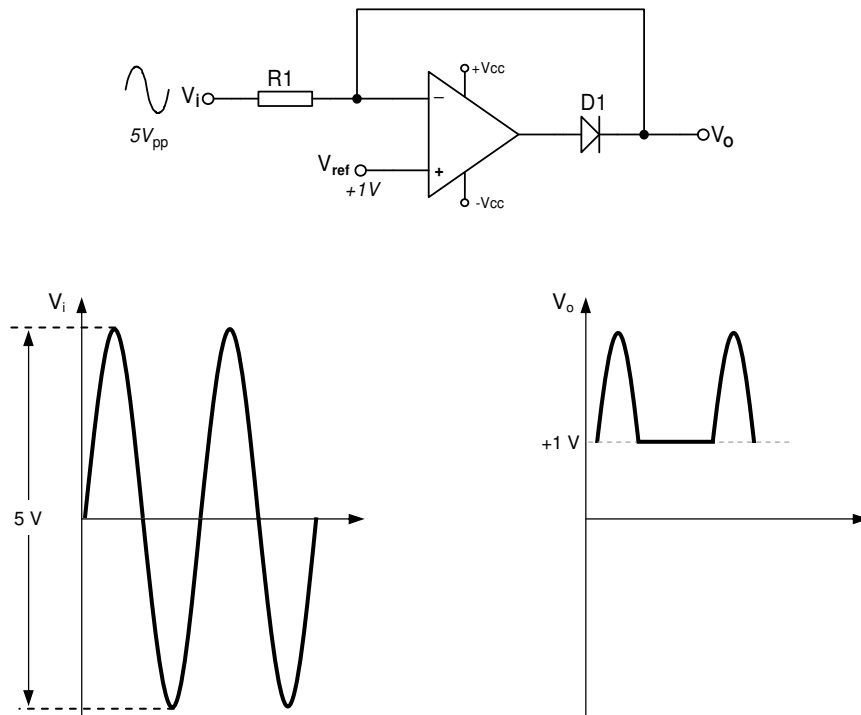
Devre bu haliyle giriş sinyalini üstten kırpmaktadır. Diyotun yönü değiştirilerek devrenin alttan kırpicı olarak çalışması sağlanabilir. Bu kez belirlenen referans gerilimin altında kalan giriş sinyallerinin kırılması sağlanır.



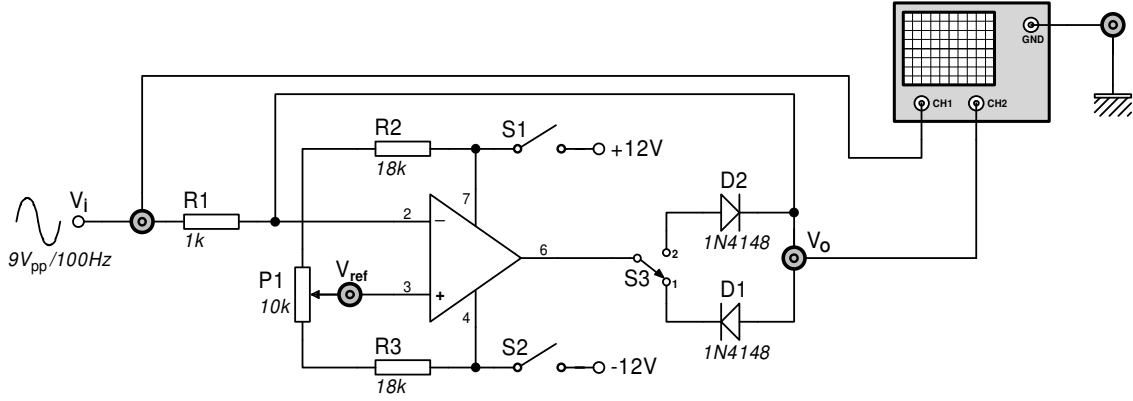
**Örnek 10.1:** Şekildeki devrenin çıkış gerilimini çizin.



**Örnek 10.2:** Şekildeki devrenin çıkış gerilimini çizin.



## Deney Şeması:



## Deneyin Yapılışı:

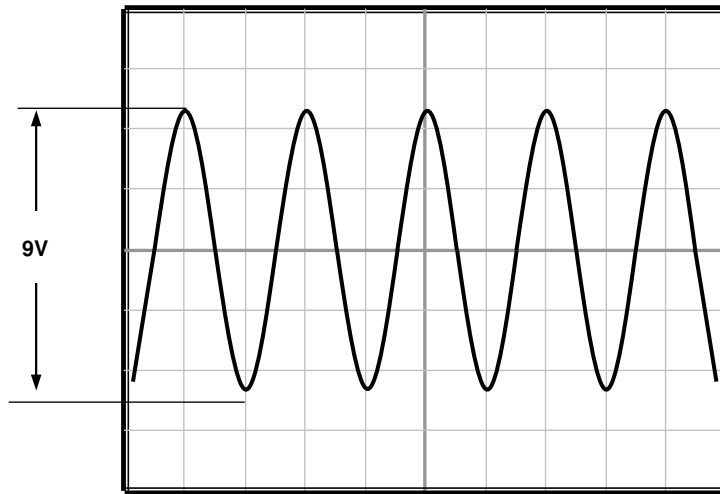
- 1- OP 2301 modülünü ana üniteye yerleştirin ve D bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- S<sub>3</sub> anahtarını 1 nolu konuma alarak devrenin girişine **9V<sub>pp</sub>/100Hz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 4- P<sub>1</sub> potansiyometresi ile referans gerilimini ayarlayıp çıkış gerilimindeki değişimi gözlemleyin.
- 5- Belirleyeceğiniz bir referans gerilimini için devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 6- S<sub>3</sub> anahtarını 2 nolu konuma alarak gözlemlerinizi tekrarlayın.
- 7- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

## Gözlem Tablosu:

V<sub>i</sub>

V/d: 2V

T/d: 5ms

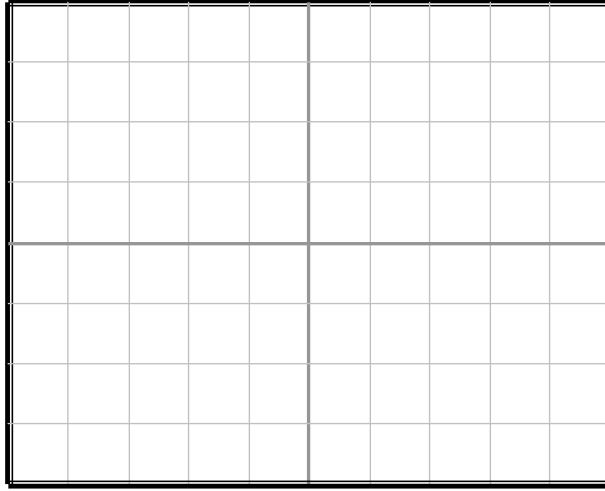


$V_o$

$V_{ref}$ :

$V/d$ :

$T/d$ :



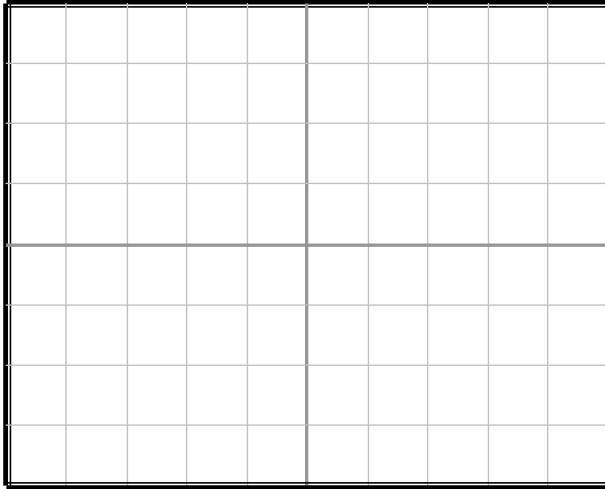
**S<sub>3</sub> anahtarı 1 nolu konumda**

$V_o$

$V_{ref}$ :

$V/d$ :

$T/d$ :



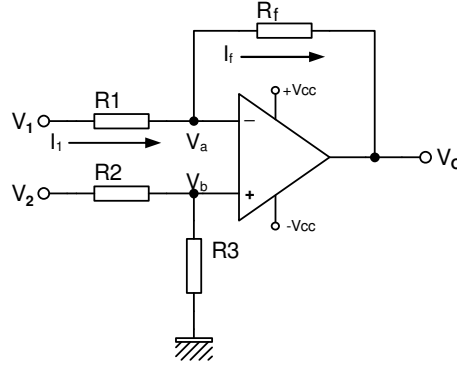
**S<sub>3</sub> anahtarı 2 nolu konumda**

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : ÇIKARMA DEVRESİ

**DENEY NO:** 5

**Giriş:**

Çıkarma devresi şekil 5.1' de görülmektedir.



**Şekil 5.1 : Çıkarma devresi**

Devrenin analizi yapılacak olursa,

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_f = R$$

$$V_a = V_b = \frac{V_2}{2}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= I_f \\ \frac{V_1 - V_a}{R_1} &= \frac{V_a - V_o}{R_f} \end{aligned}$$

$$\frac{V_1 - \frac{V_2}{2}}{R_1} = \frac{\frac{V_2}{2} - V_o}{R_f}$$

$$R_1 = R_f \Rightarrow V_1 - \frac{V_2}{2} = \frac{V_2}{2} - V_o$$

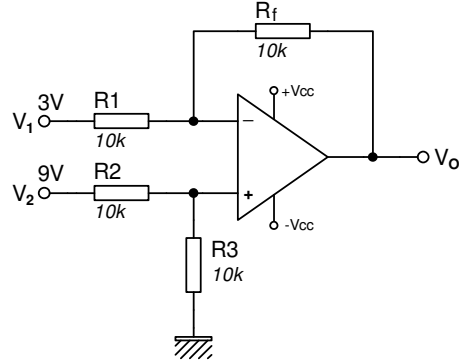
$$\frac{2.V_1 - V_2}{2} = \frac{V_2 - 2.V_o}{2} \Rightarrow 2.V_1 - V_2 = V_2 - 2.V_o$$

$$2.V_1 - V_2 - V_2 = -2.V_o \Rightarrow 2.V_1 - 2.V_2 = -2.V_o$$

$$V_1 - V_2 = -V_o \Rightarrow V_o = -(V_1 - V_2) \Rightarrow V_o = V_2 - V_1$$

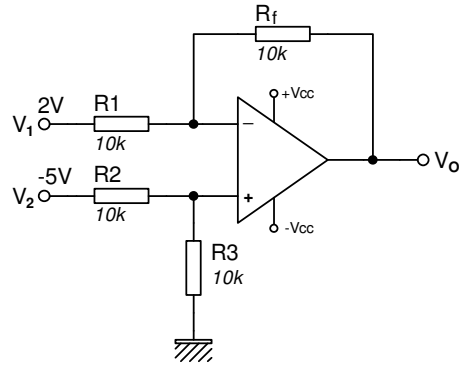
sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi devre, terslemeyen girişe uygulanan gerilimden tersleyen girişe uygulanan gerilimin farkını almaktadır.

**Örnek 5.1:** Şekildeki devrede çıkış geriliminin değerini hesaplayın.



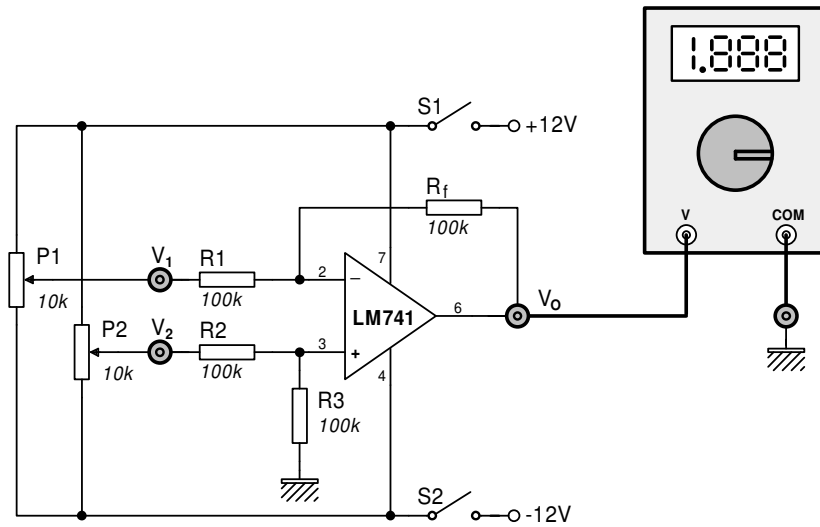
$$V_o = V_2 - V_1 \Rightarrow V_o = 9 - 3 = 6V$$

**Örnek 5.2:** Şekildeki devrede çıkış geriliminin değerini hesaplayın.



$$V_o = V_2 - V_1 \Rightarrow V_o = -5 - 2 = -7V$$

**Deney Şeması:**



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- **OP 2301** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **E** bloğunu bulun.
- 2- Gözlem tablosunda verilen değerler için çıkış gerilimini hesaplayın. Çıkış geriliminin, besleme gerilimi değerinin 1~2 Volt aşağısına kadar çıkabileceğini dikkate alın.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4-  $P_1$  ve  $P_2$  potansiyometrelerini kullanarak değişik  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerine karşılık gelen  $V_o$  çıkış gerilimlerini voltmetre ile ölçün.
- 5- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

**Gözlem Tablosu:**

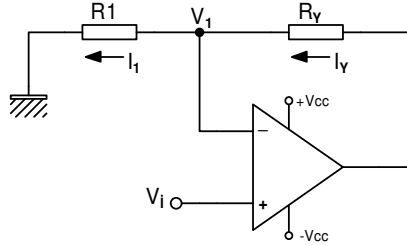
Girişler	$V_1$ (V)										
	$V_2$ (V)										
$V_o$	Hesaplanan										
	Ölçülen										

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : GERİLİM-AKIM DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ

**DENEY NO:** 6

**Giriş:**

Evirmeyen girişli gerilim-akım dönüştürücü devresi şekil 11.1' de görülmektedir.

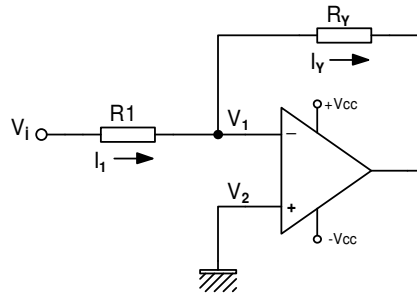


**Şekil 11.1 : Evirmeyen girişli gerilim-akım dönüştürücü devresi**

Hatırlanacağı gibi, OP AMP girişleri akım çekmiyor ve negatif geribesleme durumunda giriş terminalleri zahiri kısa devre etkisi gösteriyordu. Buna göre devrenin analizi yapılacak olursa,

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{in} \\ I_Y &= I_1 \\ I_1 &= \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1} \\ I_Y &= I_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \end{aligned}$$

sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi  $R_Y$  yük direncinden geçen akım, giriş gerilimi ile orantılı olup yükten bağımsızdır.

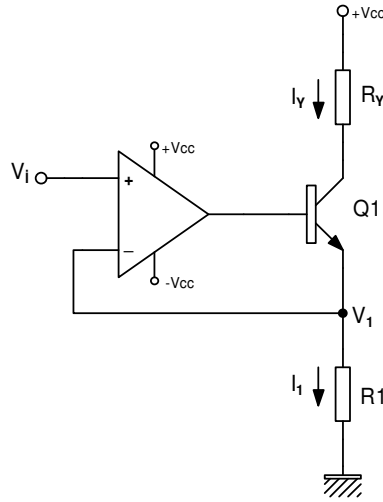


**Şekil 11.2 : Eviren girişli gerilim-akım dönüştürücü devresi**

Eviren girişli gerilim-akım dönüştürücü devresi ise şekil 11.2' de görülmektedir. Devreye ait eşitlikler,

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 = 0 \\ I_Y &= I_1 \\ I_1 &= \frac{V_{in} - V_1}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1} \\ I_Y &= I_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \end{aligned}$$

OP AMP çıkış akımının yetersiz kalabileceği durumlarda, devre çıkışına bir transistör ilave etmek uygun olacaktır. Böylece daha büyük yük akımlarının kontrolü sağlanabilir (şekil 11.3)



Şekil 11.3 : Transistör çıkışlı gerilim-akım dönüştürücü devresi

Bu devreye ait eşitlikler ise,

$$V_1 = V_i$$

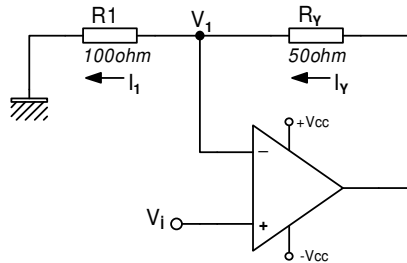
$$I_Y \approx I_1$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_i}{R_1}$$

$$I_Y \approx I_1 = \frac{V_i}{R_1}$$

Not: Transistörün kollektör ve emiter akımlarının birbirine eşit olduğu düşünülmüştür.

**Örnek 11.1:** Şekildeki devrede giriş geriliminin 3V ve 5V değerleri için yük akımını hesaplayınız.



$$V_i = 3V$$

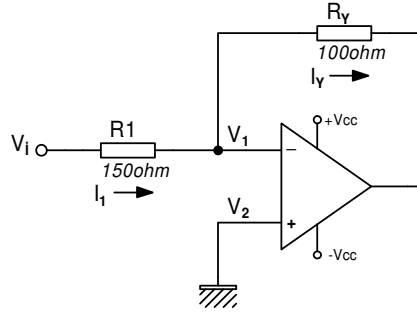
$$V_i = 5V$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1} = \frac{3V}{0,1k} = 30mA$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1} = \frac{5V}{0,1k} = 50mA$$



**Örnek 11.2:** Şekildeki devrede giriş geriliminin 1,5V ve 6V değerleri için yük akımını hesaplayınız.



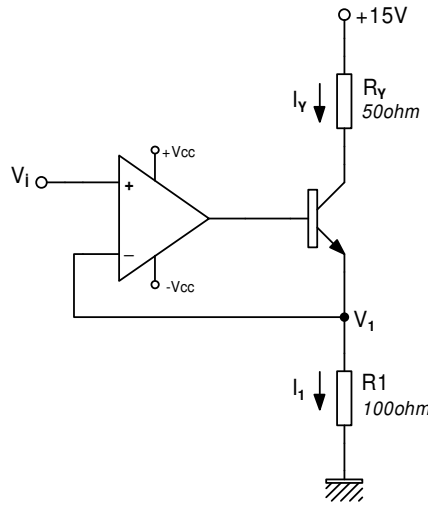
$$V_i = 1,5V$$

$$V_i = 6V$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1} = \frac{1,5V}{0,15k} = 10mA$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1} = \frac{6V}{0,15k} = 40mA$$

**Örnek 11.3:** Şekildeki devrede giriş geriliminin 4V ve 9V değerleri için yük akımını hesaplayınız.



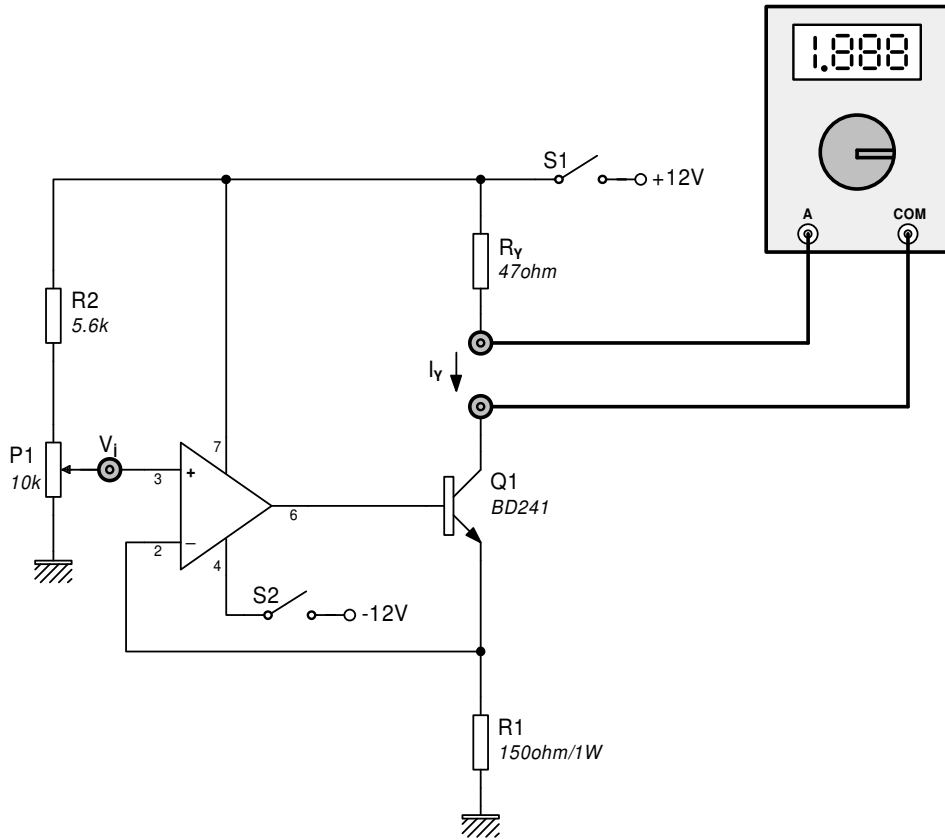
$$V_i = 4V$$

$$V_i = 9V$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1} = \frac{4V}{0,1k} = 40mA$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1} = \frac{9V}{0,1k} = 90mA$$

### Deney Şeması:



### Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2301 modülünü ana üniteye yerleştirin ve F bloğunu bulun.
- 2- Gözlem tablosunda verilen değerler için yük akımını hesaplayın.
- 3- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- P<sub>1</sub> potansiyometresi ile giriş gerilimini gözlem tablosunda verilen değerlere ayarlayın.
- 5- Giriş gerilimine karşılık gelen yük akımı değerlerini ölçerek gözlem tablosuna kaydedin.

### Gözlem Tablosu:

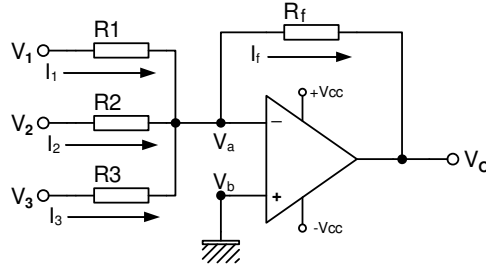
V <sub>i</sub>	0V	1V	2V	3V	4V	5V	6V	7V
Hesaplanan I <sub>y</sub>								
Ölçülen I <sub>y</sub>								

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : TOPLAYICI DEVRESİ

**DENEY NO:** 7

**Giriş:**

Toplayıcı devresi şekil 4.1’ de görülmektedir. Devrede üç giriş kullanılmıştır. Ancak giriş sayısı iki veya daha fazla olabilir.



**Şekil 4.1 : Toplayıcı devresi**

Devrenin analizi yapılacak olursa,

$$V_a = V_b = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_f$$

$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} + \frac{V_2 - V_a}{R_2} + \frac{V_3 - V_a}{R_3} = \frac{V_a - V_o}{R_f}$$

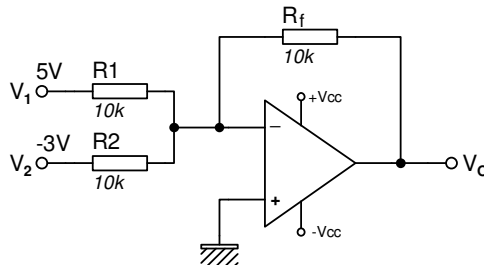
$$\frac{V_1 - 0}{R_1} + \frac{V_2 - 0}{R_2} + \frac{V_3 - 0}{R_3} = \frac{0 - V_o}{R_f}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = \frac{-V_o}{R_f}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_f = R \Rightarrow V_1 + V_2 + V_3 = -V_o \Rightarrow V_o = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

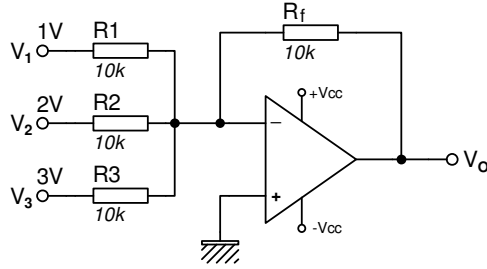
sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi devre, girişine uygulanan gerilimleri toplamaktadır.

**Örnek 4.1:** Şekildeki devrede çıkış geriliminin değerini hesaplayın.



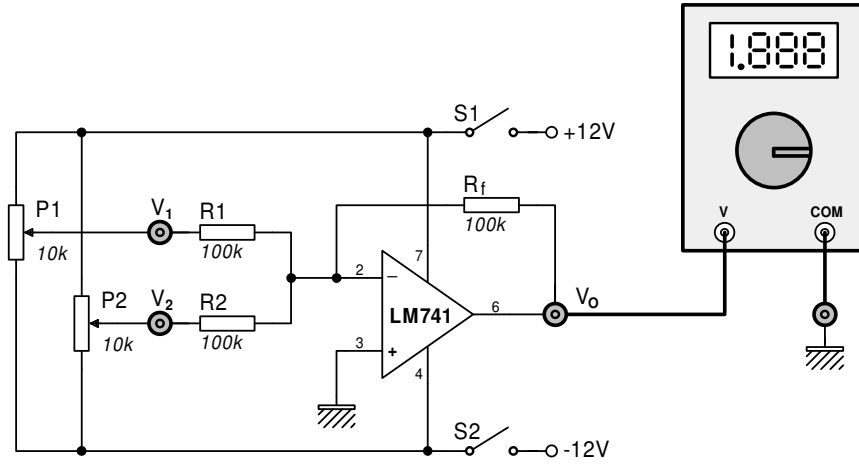
$$V_o = -(V_1 + V_2) \Rightarrow V_o = -(5 + (-3)) = -2V$$

**Örnek 4.2:** Şekildeki devrede çıkış geriliminin değerini hesaplayın.



$$V_o = -(V_1 + V_2 + V_3) \Rightarrow V_o = -(1 + 2 + 3) = -6V$$

**Deney Şeması:**



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- OP 2301 modülünü ana üniteye yerleştirin ve G bloğunu bulun.
- 2- Gözlem tablosunda verilen değerler için çıkış gerilimini hesaplayın. Çıkış geriliminin, besleme gerilimi değerinin 1~2 Volt aşağısına kadar çıkabileceğini dikkate alın.
- 3- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- P<sub>1</sub> ve P<sub>2</sub> potansiyometrelerini kullanarak değişik V<sub>1</sub> ve V<sub>2</sub> gerilimlerine karşılık gelen V<sub>o</sub> çıkış gerilimlerini voltmetre ile ölçün.
- 5- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

**Gözlem Tablosu:**

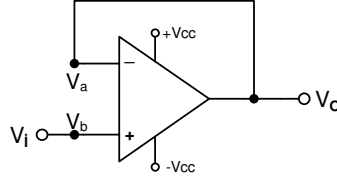
Girişler	V <sub>1</sub> (V)										
	V <sub>2</sub> (V)										
V <sub>o</sub>	Hesaplanan										
	Ölçülen										

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : GERİLİM İZLEYİCİ DEVRESİ

**DENEY NO: 8**

**Giriş:**

Gerilim izleyici devresi şekil 6.1' de görülmektedir.



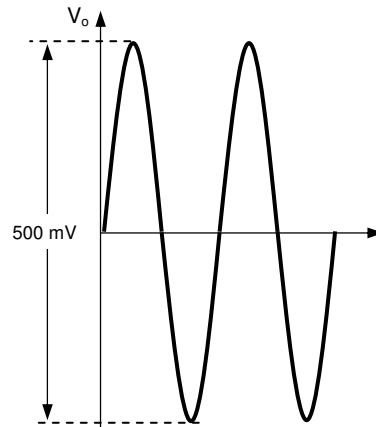
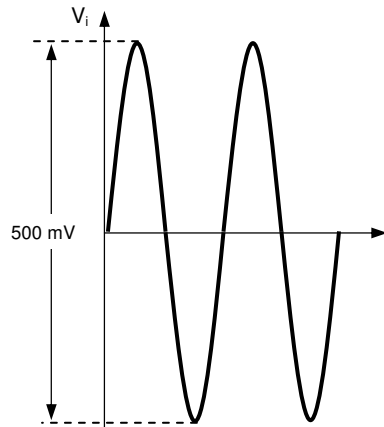
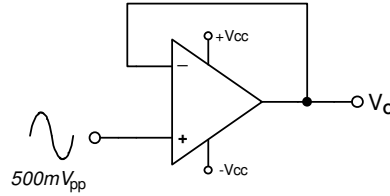
**Şekil 6.1 : Gerilim izleyici devresi**

Devrenin analizi yapılacak olursa,

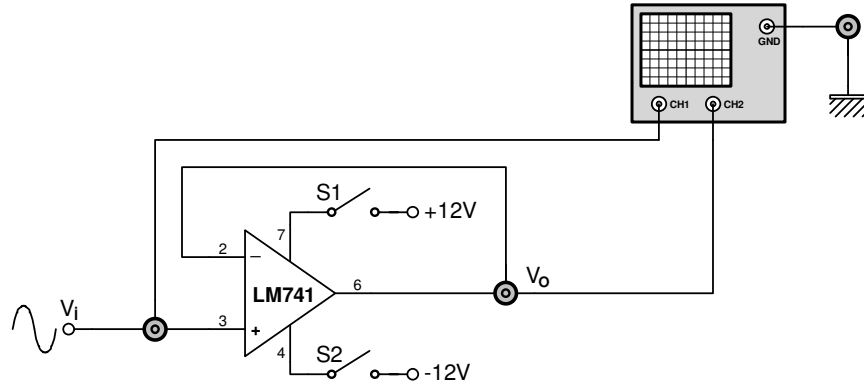
$$\begin{aligned} V_a &= V_b \\ V_a &= V_o \text{ ve } V_b = V_i \\ V_o &= V_i \end{aligned}$$

sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi devre çıkışından, girişe uygulanan sinyalin aynısı alınmaktadır. Gerilim izleyici devresi, iki kat arasında empedans uygunlaştırıcı bir tampon devre özelliği gösterir.

**Örnek 6.1:** Şekildeki devrede çıkış sinyalinin şeklini çiziniz.



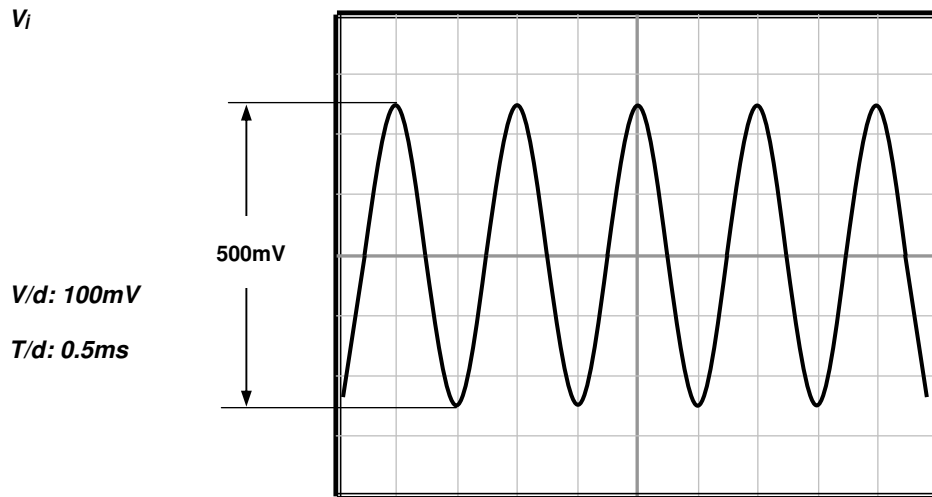
### Deney Şeması:



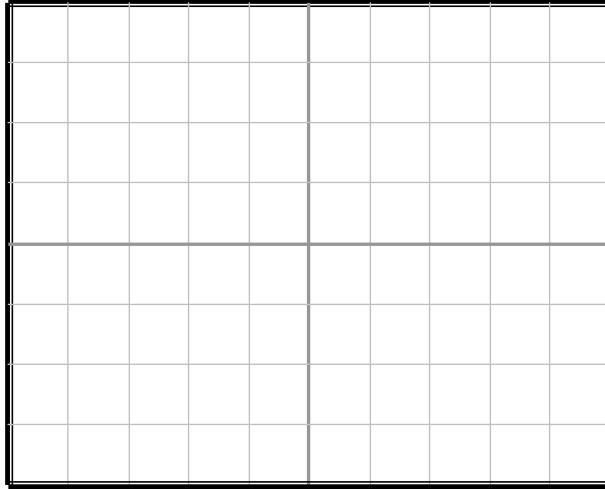
### Deneyin Yapılışı:

- 1- **OP 2301** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **H** bloğunu bulun.
- 2-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3-  $V_i$  girişine  $500\text{ mV}_{pp}/1\text{ kHz}$  değerli sinüs sinyal uygulayın.
- 4- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 5-  $V_i$  girişine  $5\text{ V}_{pp}/1\text{ kHz}$  değerli sinüs sinyal uygulayın.
- 6- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.

### Gözlem Tablosu:



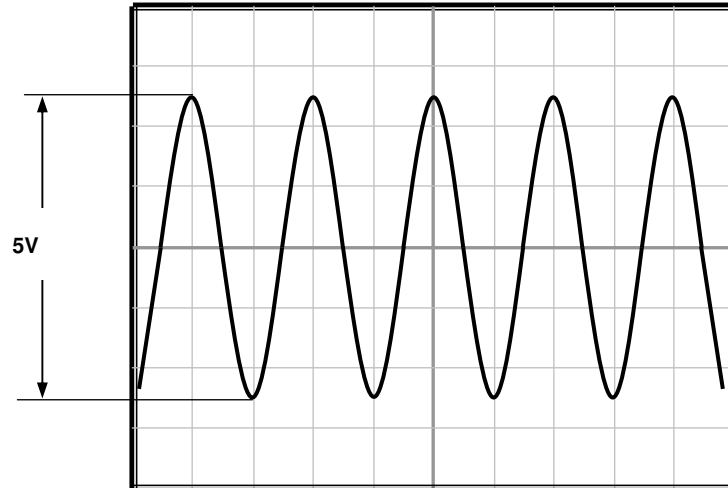
$V_o$



$V/d:$

$T/d:$

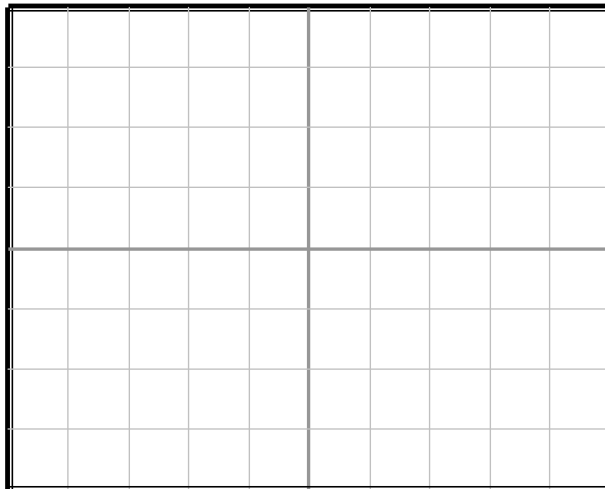
$V_i$



$V/d: 1V$

$T/d: 0.5ms$

$V_o$



$V/d:$

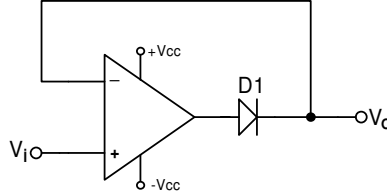
$T/d:$

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : YARIM DALGA DOĞRULTUCU DEVRESİ

**DENEY NO: 9**

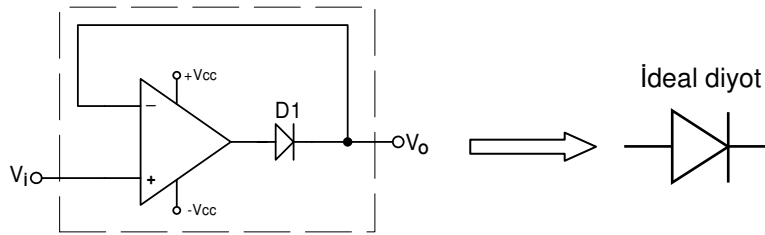
**Giriş:**

Şekil 8.1’ de pozitif çıkışlı yarım dalga doğrultucu devresi görülmektedir.



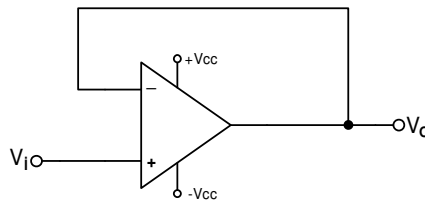
**Şekil 8.1 : Pozitif çıkışlı yarım dalga doğrultucu devresi**

Birçok OP AMP uygulamasında olduğu gibi, yarım dalga doğrultucu devresini de eviren ya da evirmeyen türünde giriş bağlantısıyla yapmak mümkündür. Şekil 8.1’ de görülen devre evirmeyen yapıda ve temelde bir gerilim izleyici devresidir. Bu devreyi gerilim izleyici devresinden ayıran tek nokta ise OP AMP çıkışına bağlanmış olan diyottur. Sadece tek bir diyot kullanmak yerine ilave OP AMP entegresi kullanarak doğrultucu yapma isteği başlangıçta anlamsız görülebilir. Ancak, günümüzde yaygın olarak kullanılan silisyum diyotların iletme gitme seviyesini ifade eden eşik gerilimi yaklaşık 0,6V civarındadır. Bunun anlamı ise, eşik seviyenin altında kalan ac sinyallerin sadece diyot kullanılarak doğrultulamayacak olmasıdır.



**Şekil 8.2 : Eşdeğer yapı ideal diyot gibi davranır**

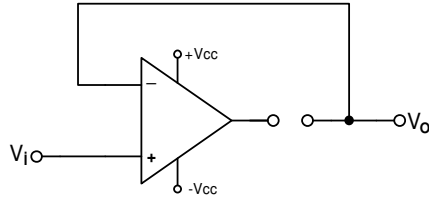
Şekil 8.2’ den görüleceği gibi, devre aslında ideal diyota (precision diyot) yakın bir özellik göstermektedir. Böylece çok küçük genlikli ac sinyallerin doğrulması da yapılabilir.



**Şekil 8.3 : Pozitif alternansta diyot kısa devredir**

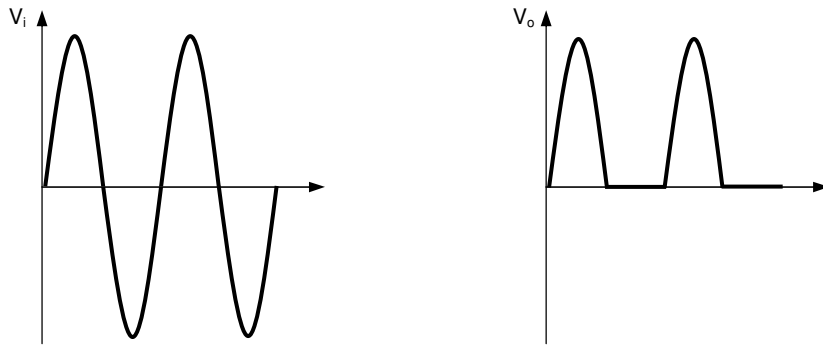
Giriş geriliminin pozitif alternansında, OP AMP çıkışı da pozitif olacağından doğru poları olan diyot iletme giderek kısa devre özelliği gösterir. Devre bu haliyle gerilim izleyici olup, pozitif alternanslarda çıkış gerilimi giriş gerilimine eşittir (şekil 8.3).





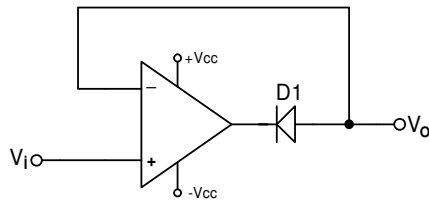
**Şekil 8.4 : Negatif alternansta diyot açık devredir**

Giriş geriliminin negatif alternansında, OP AMP çıkışı da negatif olacağından ters polarma olan diyot kesime giderek açık devre özelliği gösterir. Dolayısıyla girişin negatif alternansları için çıkış gerilimi sıfır olur (şekil 8.4).

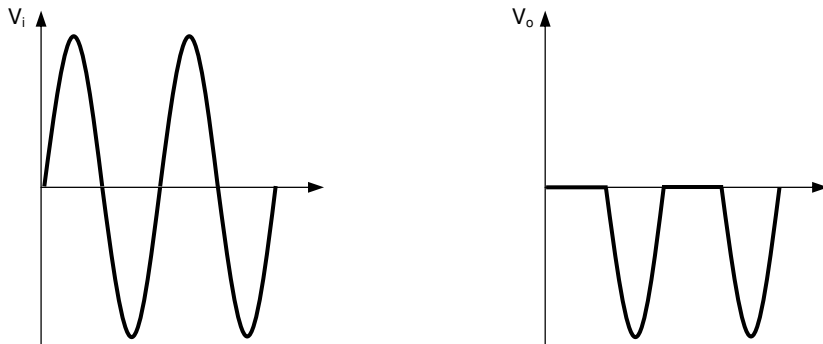


**Şekil 8.5 : Pozitif çıkışlı yarım dalga doğrultucu giriş-çıkış sinyalleri**

Negatif çıkışlı yarım dalga doğrultucu yapmak için diyotun ters çevrilmesi yeterli olacaktır (şekil 8.6).

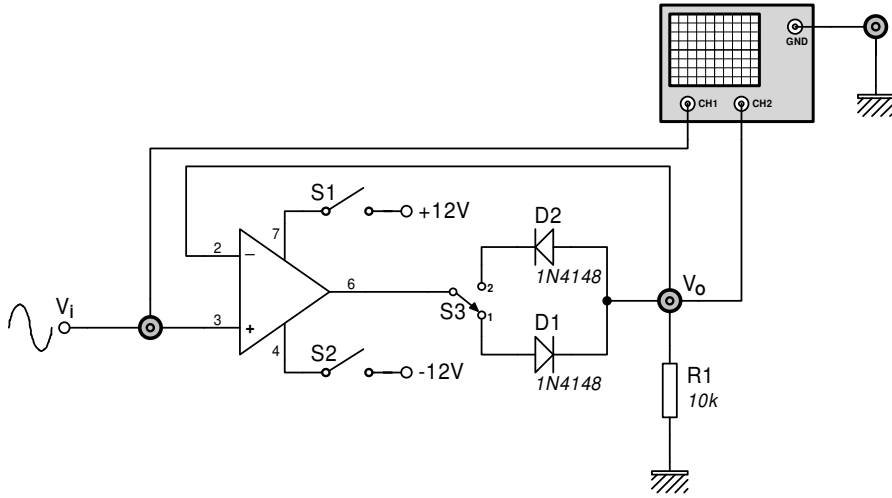


**Şekil 8.6 : Negatif çıkışlı yarım dalga doğrultucu devresi**



**Şekil 8.7 : Negatif çıkışlı yarım dalga doğrultucu giriş-çıkış sinyalleri**

## Deney Şeması:

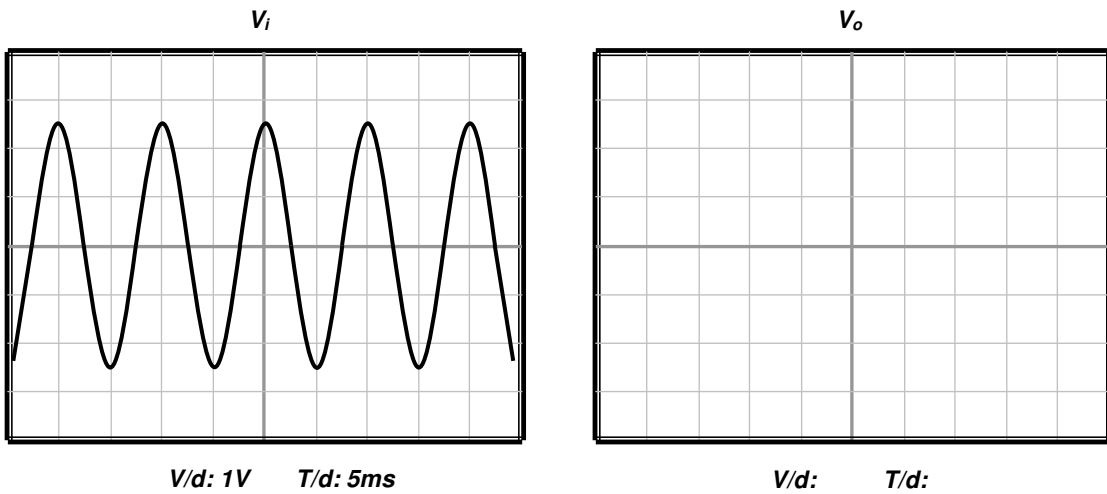


## Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2302 modülünü ana üniteye yerleştirin ve A bloğunu bulun.
- 2-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3-  $S_3$  anahtarını 1 nolu konuma alarak devrenin girişine  $5V_{pp}/100Hz$  sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 4- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 5- Devrenin girişine  $500mV_{pp}/100Hz$  sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 6- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 7-  $S_3$  anahtarını 2 nolu konuma alarak gözlemlerinizi tekrarlayın.

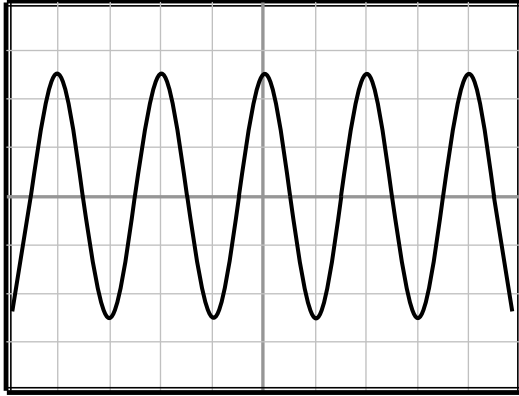
## Gözlem Tablosu:

$S_3$  anahtarı 1 nolu konumda



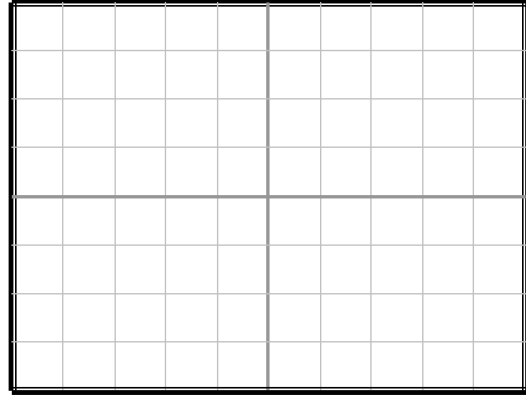
$S_3$  anahtarı 1 nolu konumda

$V_i$



$V/d: 1000mV$   $T/d: 5ms$

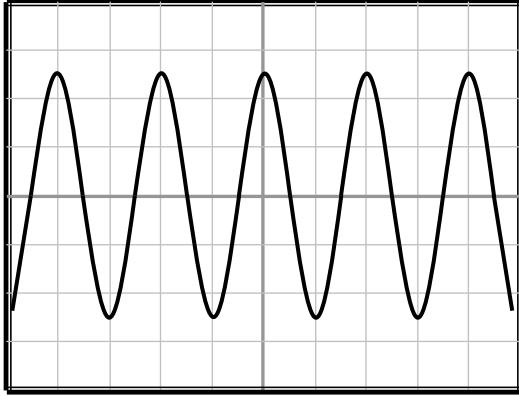
$V_o$



$V/d:$   $T/d:$

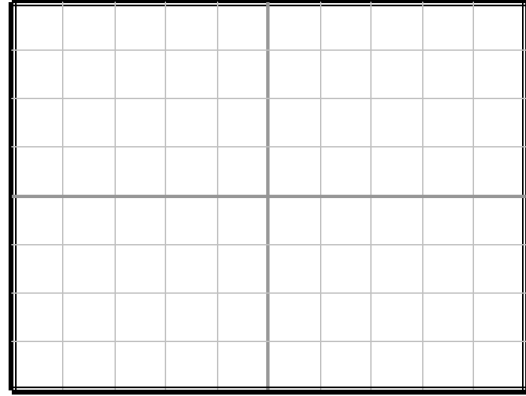
$S_3$  anahtarı 2 nolu konumda

$V_i$



$V/d: 1V$   $T/d: 5ms$

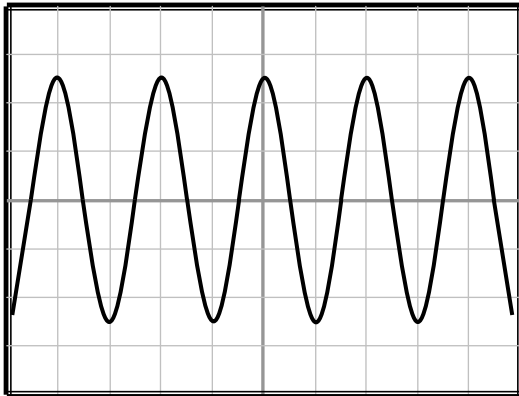
$V_o$



$V/d:$   $T/d:$

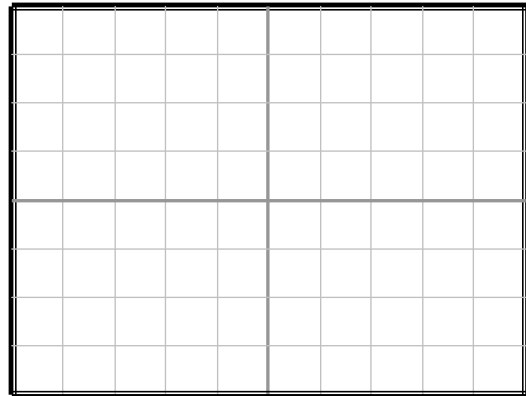
$S_3$  anahtarı 2nolu konumda

$V_i$



$V/d: 100mV$   $T/d: 5ms$

$V_o$



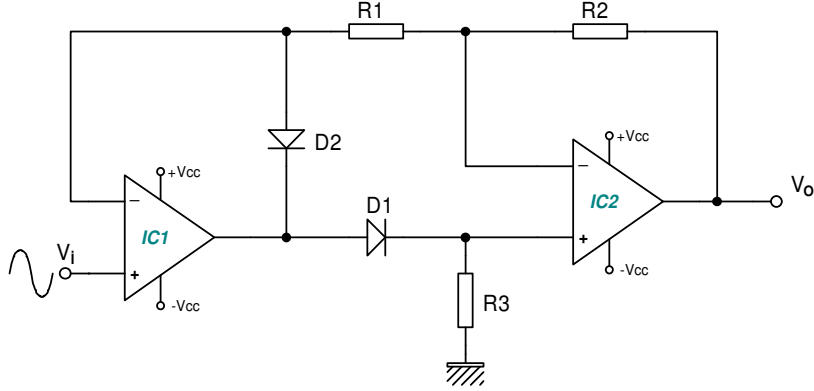
$V/d:$   $T/d:$

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : TAM DALGA DOĞRULTUCU DEVRESİ

**DENEY NO: 10**

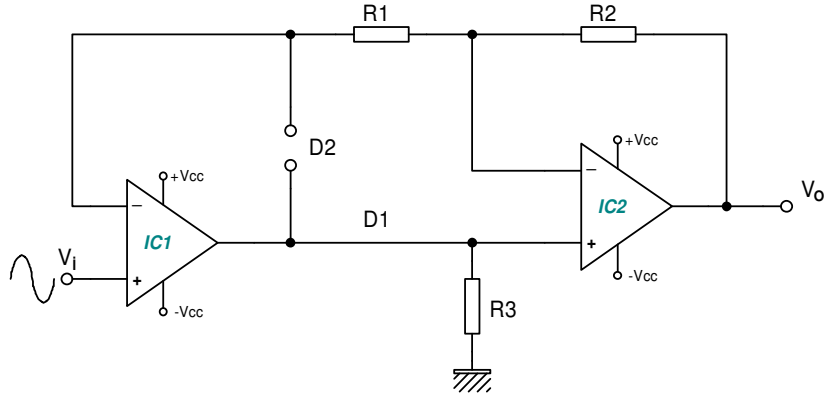
**Giriş:**

Şekil 9.1’ de pozitif çıkışlı tam dalga doğrultucu devresi görülmektedir.



**Şekil 9.1 : Pozitif çıkışlı tam dalga doğrultucu devresi**

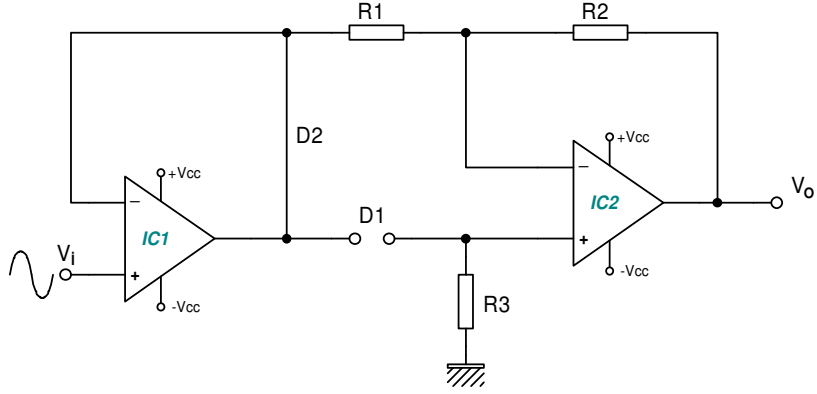
Tam dalga doğrultucu, gerilim izleyici (IC<sub>1</sub>) ve eviren yükselteç (IC<sub>2</sub>) devrelerinin birleşmesinden oluşmuştur. Doğrultma işlemi ise diyotlar tarafından yapılmaktadır.



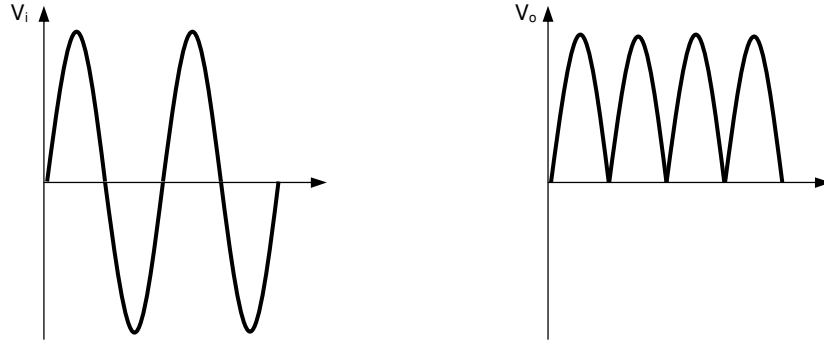
**Şekil 9.2 : Pozitif alternansta D<sub>1</sub> kısa devre, D<sub>2</sub> açık devredir**

Giriş geriliminin pozitif alternansında, IC<sub>1</sub>’ in çıkışı da pozitif olacağından doğru polarma olan D<sub>1</sub> iletime giderek kısa devre ve ters polarma olan D<sub>2</sub> kesime giderek açık devre özelliği gösterir. IC<sub>1</sub> ve IC<sub>2</sub> birlikte gerilim izleyici olarak davranır. Bu nedenle pozitif alternanslarda çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit olur (şekil 9.2).

Giriş geriliminin negatif alternansında, IC<sub>1</sub>’ in çıkışı da negatif olacağından ters polarma olan D<sub>1</sub> kesime giderek açık devre ve doğru polarma olan D<sub>2</sub> iletime giderek kısa devre özelliği gösterir. IC<sub>1</sub>’ den oluşan bölüm gerilim izleyici olarak davranırken, IC<sub>2</sub>’ den oluşan bölüm kazancı -1 olan eviren yükselteç olarak davranır (şekil 9.3). Hemen belirtelim, R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> dirençleri eşit değerli seçilmiştir. IC<sub>1</sub> çıkışında giriş sinyalinin aynısı bulunmakta ve bu sinyal R<sub>1</sub> direnci üzerinden evirmeyen yükseltece uygulanmıştır. Böylece giriş geriliminin negatif alternansları, fazı 180° değiştirilerek çıkışa aktarılır.

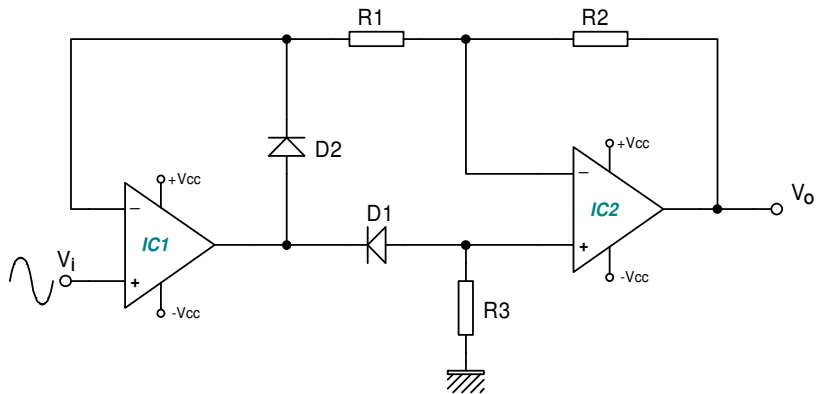


Şekil 9.3 : Negatif alternansta  $D_1$  açık devre,  $D_2$  kısa devredir

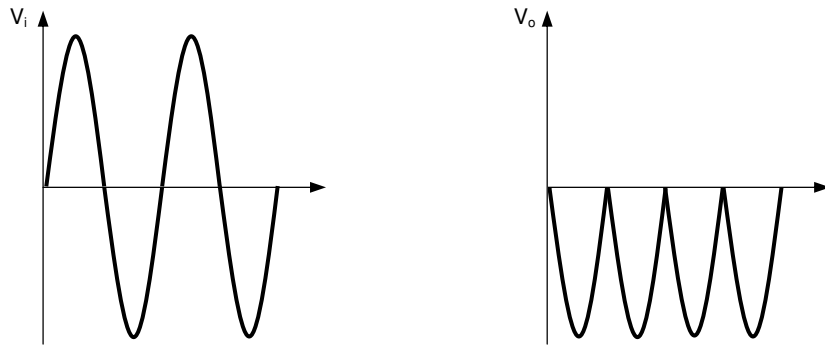


Şekil 9.4 : Pozitif çıkışlı tam dalga doğrultucu giriş-çıkış sinyalleri

$D_1$  ve  $D_2$  diyotlarının yönleri ters çevrilerek negatif çıkışlı tam dalga doğrultucu devresi elde edilebilir (şekil 9.5).

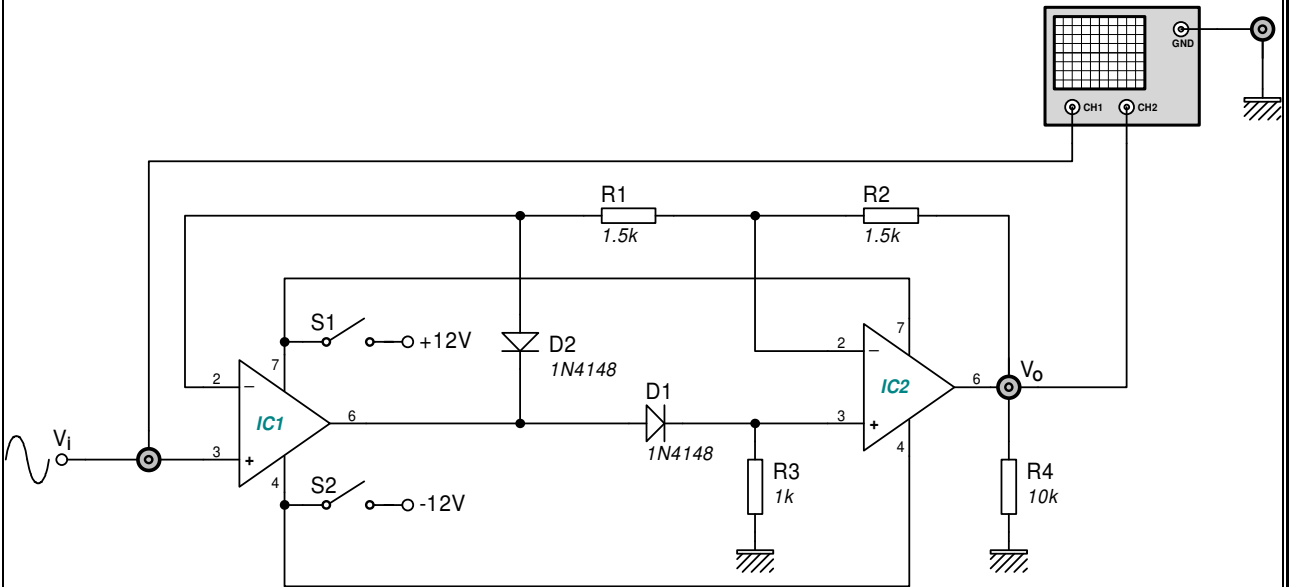


Şekil 9.5 : Negatif çıkışlı tam dalga doğrultucu devresi



Şekil 9.6 : Negatif çıkışlı tam dalga doğrultucu giriş-çıkış sinyalleri

### Deney Şeması:

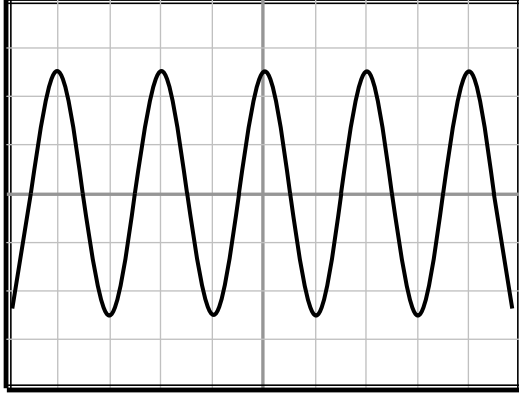


### Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2302 modülünü ana üniteye yerleştirin ve B bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- Devrenin girişine **5V<sub>pp</sub>/100Hz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 4- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çizin.
- 5- Devrenin girişine **500mV<sub>pp</sub>/100Hz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 6- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çizin.

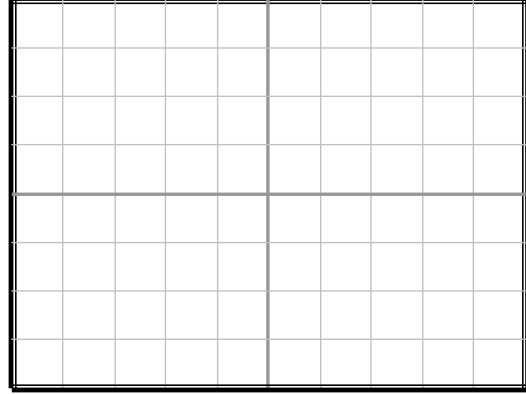
Gözlem Tablosu:

$V_i$



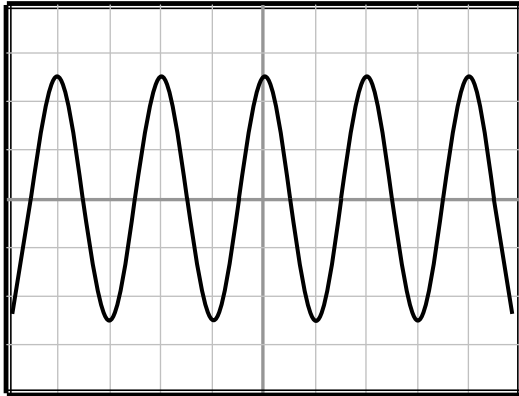
$V/d: 1V$      $T/d: 5ms$

$V_o$



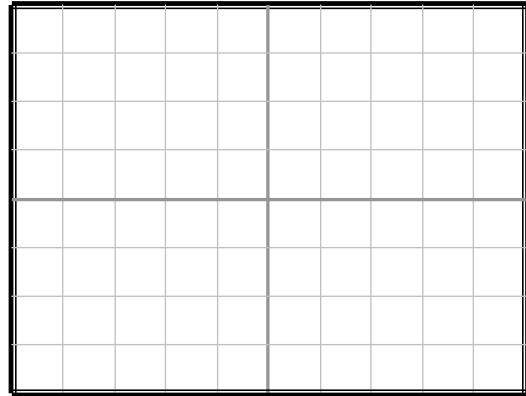
$V/d:$      $T/d:$

$V_i$



$V/d: 100mV$      $T/d: 5ms$

$V_o$



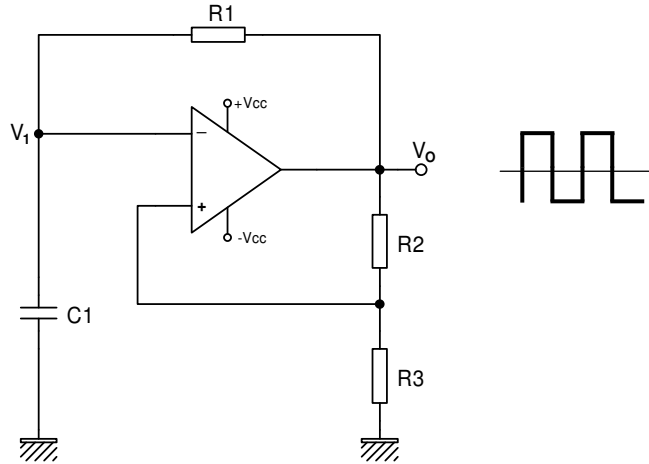
$V/d:$      $T/d:$

**KONU** : OSİLATÖR DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : OP AMP' LI ASTABLE MULTİVİBRATÖR DEVRESİ

**DENEY NO: 11**

### Giriş:

OP AMP' lı astable multivibratör devresi şekil 15.1' de görülmektedir.



**Şekil 15.1 : OP AMP' lı Astable Multivibratör devresi**

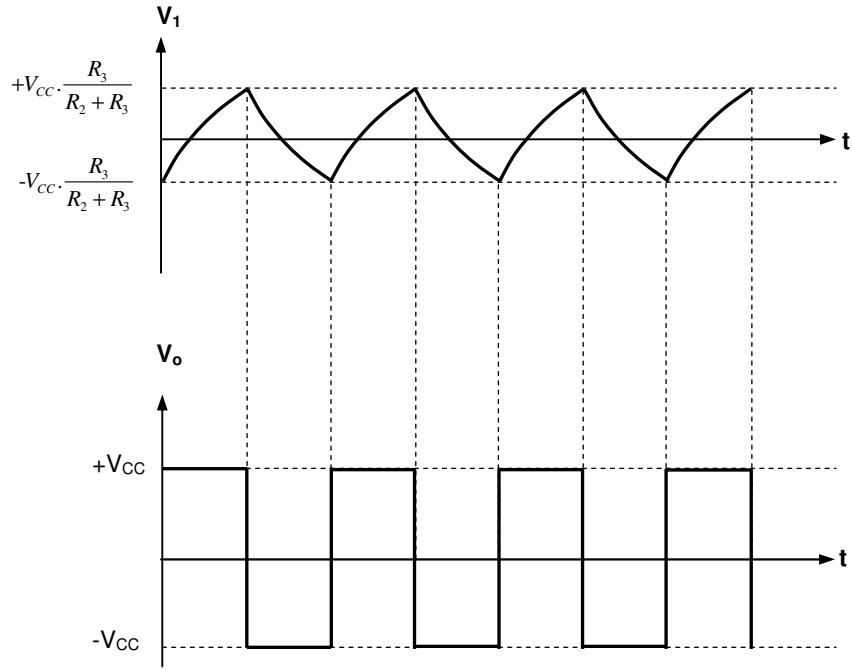
Geribesleme direnci R çok büyük tutularak devrenin bir karşılaştırıcı olarak çalışması sağlanmıştır. Devre çalıştırıldığı ilk anda çıkışın “+V<sub>cc</sub>” olduğu varsayılırsa, R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> bölücü dirençleri üzerinden pozitif bir V<sub>2</sub> gerilimi oluşur. Bu arada C kondansatörü R direnci üzerinden şarj olmaya başlar. V<sub>2</sub>>V<sub>1</sub> olduğundan çıkış “+V<sub>cc</sub>” seviyede kalmaya devam eder. Zamanla C kondansatörü üzerindeki pozitif şarj gerilimi artar ve V<sub>1</sub>>V<sub>2</sub> olur. Bu durumda çıkış “-V<sub>cc</sub>” olur. V<sub>2</sub> gerilimi negatif olurken, C kondansatörü önce deşarj ardından da “-V<sub>cc</sub>” gerilimine şarj olmaya başlar. V<sub>1</sub> gerilimi V<sub>2</sub> geriliminden daha pozitifdir ve V<sub>1</sub>>V<sub>2</sub> olduğundan çıkış “-V<sub>cc</sub>” seviyesinde kalmaya devam eder. Bir süre sonra şarj olan C kondansatörü üzerindeki artan negatif gerilim V<sub>2</sub> seviyesini geçer. V<sub>2</sub>>V<sub>1</sub> olacağından çıkış “+V<sub>cc</sub>” seviyesine gider. Bu olaylar periyodik olarak devam ederken, çıkışta kare dalga bir sinyal oluşmaktadır. Çıkış sinyalinin periyot ve frekans değerleri,

$$T = 2.R_1.C_1.\ln\left(1 + 2.\frac{R_3}{R_2}\right)$$

$$f = \frac{1}{T}$$

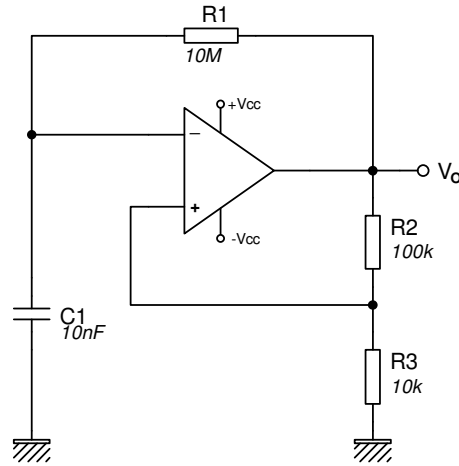
formülleri ile bulunur.





Şekil 15.2 : OP AMP' ı Astable Multivibratör devresine ait sinyaller

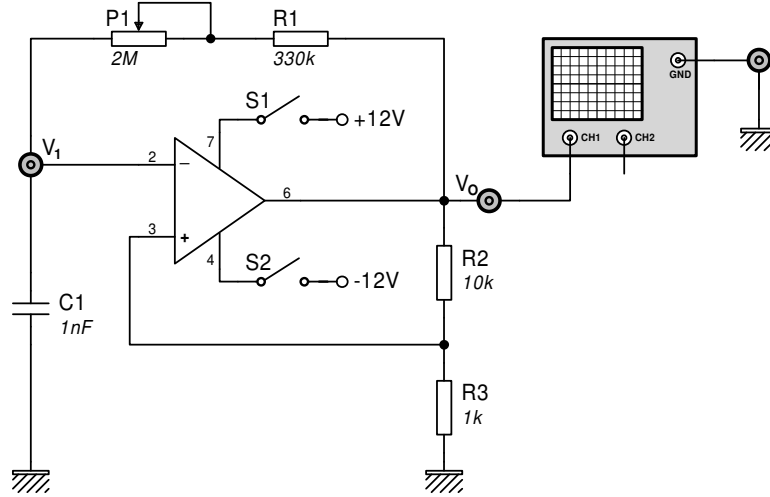
**Örnek 38.1:** Şekilde verilen devrenin osilasyon frekansını hesaplayın.



$$T = 2 \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \ln \left( 1 + 2 \cdot \frac{R_3}{R_2} \right) = 2 \cdot (10 \cdot 10^6) \cdot (10 \cdot 10^{-9}) \cdot \ln \left( 1 + 2 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \right) = 0,0364 \text{ sn}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0364} = 27,47 \text{ Hz}$$

### Deney Şeması:



### Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2302 modülünü ana üniteye yerleştirin ve C bloğunu bulun.
- 2- Devrenin çıkış frekansını hesaplayarak sonucu gözlem tablosuna kaydedin.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- Osilaskopla  $V_1$  ve  $V_0$  sinyallerini gözlemleyin.
- 5- Osilatör çıkış frekansını ölçüp sonucu gözlem tablosuna kaydedin.
- 6- Ölçtüğünüz sinyallerin osilaskop ekranındaki görüntülerini çiziniz.

### Gözlem Tablosu:

$V_1$

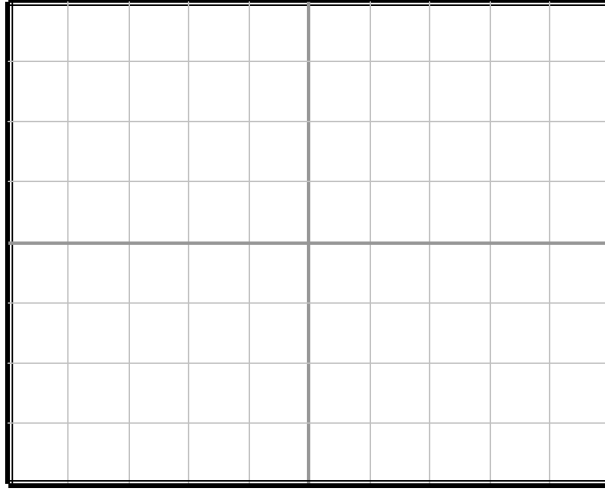
$V/d:$

$T/d:$


$V_o$

$V/d:$

$T/d:$



	$P_1 \text{ min}$	$P_1 \text{ max}$
Hesaplanan frekans		
Ölçülen frekans		

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : LOGARİTMİK YÜKSELTEÇ DEVRESİ

**DENEY NO: 12**

### Giriş:

Bir diyottan geçen ileri yön akımı, diyota uygulanan gerilimle birlikte başka değişkenlere de bağlıdır. Shockley teoremine göre bir pn jonksiyon diyottan geçen akım,

$$I = I_o (e^{qV/kT} - 1) \quad \text{formülü ile ifade edilir.}$$

I :Diyot akımı (A)

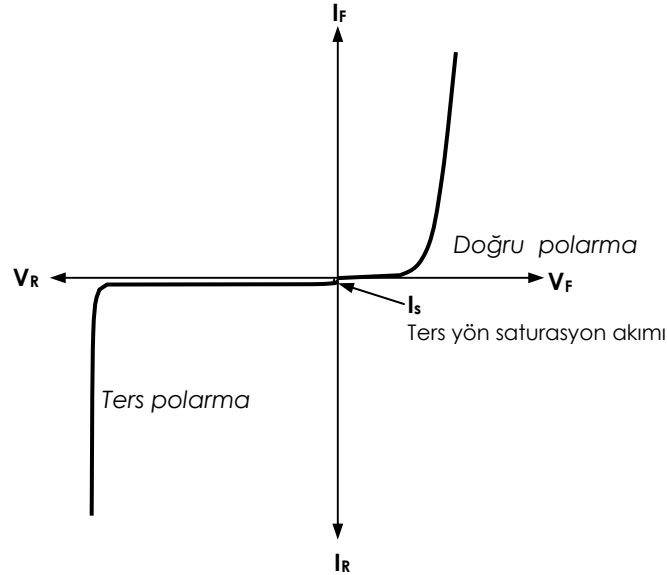
$I_o$  :Ters yön saturasyon akımı (A)

V :Diyot gerilimi (V)

q :Elektron şarjı ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C)

k :Boltzmann sabiti ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K)

T :Kelvin cinsinden sıcaklık



**Şekil 21.1 : Diyot ters yön saturasyon akımı**

Diyot geriliminin 100mV' tan büyük olduğu değerler için ( $V > 100\text{mV}$ ) denklem,

$$I = I_o \cdot e^{qV/kT} \quad \text{şeklinde yazılabilir. Buradan formül düzenlenecek olursa,}$$

$$I = I_o \cdot e^{qV/kT} \Rightarrow \frac{I}{I_o} = e^{qV/kT}$$

$$\ln\left(\frac{I}{I_o}\right) = \ln(e^{qV/kT}) \Rightarrow \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) = \frac{qV}{kT} \ln e \quad \ln e = 1$$

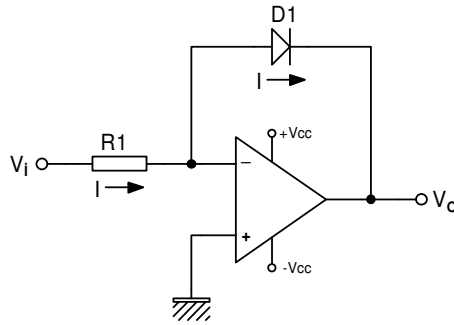
$$\ln\left(\frac{I}{I_o}\right) = \frac{qV}{kT} \Rightarrow V = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_o}\right)$$

$$V = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I}{I_o} \right)$$

$$27^\circ C \text{ sıcaklık değerinde, } \frac{kT}{q} \approx 26mV = 26.10^{-3}V$$

$$V = 26.10^{-3} \ln \left( \frac{I}{I_o} \right)$$

Logaritmik yükselteç devresi şekil 21.2' de görülmektedir.



Şekil 21.2 : Logaritmik yükselteç devresi

Dikkat edilirse devre aslında bir eviren yükselteç devresidir. Farklı olarak geribesleme direnci yerine bir diyot kullanılmıştır. OP AMP girişleri akım çekmediğinden direnç ve diyottan geçen akım eşittir. Bu akımın değeri,

$$I = \frac{V_i}{R_1} \text{ formülü ile hesaplanabilir.}$$

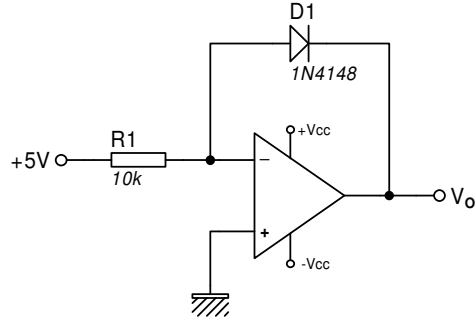
Devrenin çıkış gerilimi aslında diyot uçlarında düşen gerilime eşit olup girişle arasında  $180^\circ$  faz farkı bulunmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alınarak çıkış gerilimine ait eşitlik,

$$V_o = -26.10^{-3} \ln \left( \frac{I}{I_o} \right)$$

$$V_o = -26.10^{-3} \ln \left( \frac{V_i / R_1}{I_o} \right)$$

$$V_o = -26.10^{-3} \ln \left( \frac{V_i}{R_1 I_o} \right) \text{ şeklinde bulunur.}$$

**Örnek 21.1:** Şekildeki devrenin çıkış gerilimini hesaplayın.



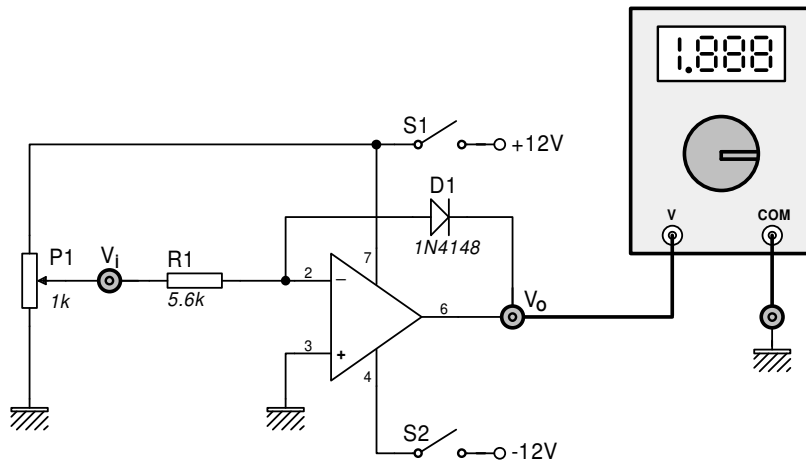
$$1N4148 \text{ için } I_o \approx 0,1pA = 0,1 \cdot 10^{-12} A$$

$$V_o = -26 \cdot 10^{-3} \ln \left( \frac{V_i}{R_1 I_o} \right)$$

$$V_o = -26 \cdot 10^{-3} \ln \left( \frac{5}{(10 \cdot 10^3)(0,1 \cdot 10^{-12})} \right)$$

$$V_o = -26 \cdot 10^{-3} \cdot 22,332 \approx -580mV = -0,58V$$

**Deney Şeması:**



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- **OP 2302** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **D** bloğunu bulun.
- 2- Gözlem tablosunda verilen giriş gerilimi değerleri için devrenin çıkış gerilimini hesaplayın.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4-  $P_1$  yardımıyla devre girişine tabloda verilen giriş gerilimi değerlerini uygulayarak, bunlara karşılık gelen çıkış gerilimlerini ölçün.
- 5- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

**Gözlem Tablosu:**

$V_i$ (V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hesaplanan $V_o$										
Ölçülen $V_o$										

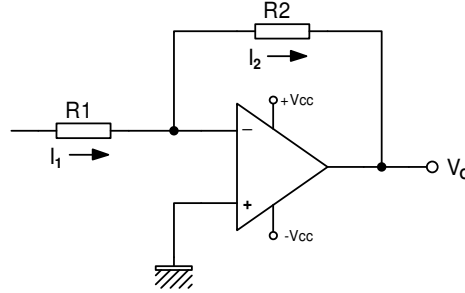
1N4148 için  $I_o \approx 0,1pA = \mathbf{0,1 \cdot 10^{-12} A}$

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : AKIM- GERİLİM DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ

**DENEY NO: 13**

**Giriş:**

Eviren girişli akım-gerilim dönüştürücü devresi şekil 12.1' de görülmektedir.



**Şekil 12.1 : Eviren girişli akım-gerilim dönüştürücü devresi**

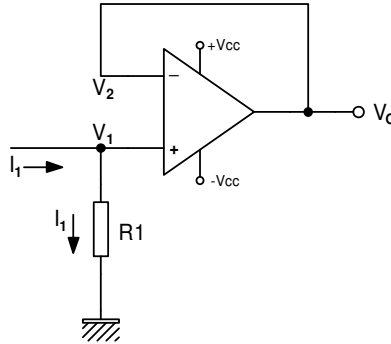
Devre temelde eviren yükselteç olup, devrenin analizindeki hareket noktası, OP AMP girişlerinin akım çekmiyor ve negatif geribesleme durumunda giriş terminallerinin zahiri kısa devre etkisi gösteriyor olmasıdır. Buna göre devrenin analizi yapılacak olursa,

$$V_o = I_2 \cdot R_2$$

$$I_2 = I_1$$

$$V_o = I_1 \cdot R_2$$

sonuçları elde edilir. Devrenin çıkış gerilimi giriş akımına bağlı olup, akım değişimlerini gerilim değişimlerine dönüştürmektedir.



**Şekil 12.2 : Evirmeyen girişli akım-gerilim dönüştürücü devresi**

Eviren girişli akım-gerilim dönüştürücü devresi ise şekil 12.2' de görülmektedir. Devreye ait eşitlikler,

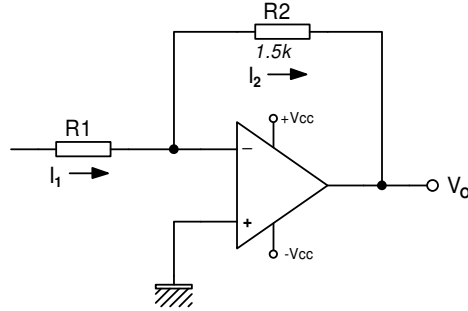
$$V_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$V_o = V_2 = V_1$$

$$V_o = I_1 \cdot R_1$$



**Örnek 12.1:** Şekildeki devrede giriş akımının 1mA ve 5mA değerleri için çıkış gerilimini hesaplayınız.



$$I_1 = 1mA$$

$$V_o = I_1 \cdot R_2$$

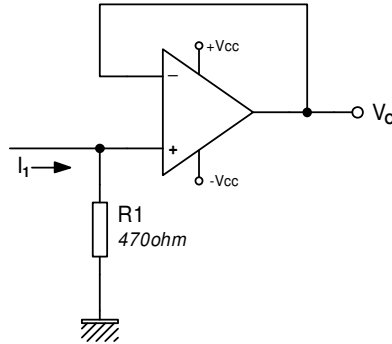
$$V_o = (1mA) \cdot (1,5k) = 1,5V$$

$$I_1 = 5mA$$

$$V_o = I_1 \cdot R_2$$

$$V_o = (5mA) \cdot (1,5k) = 7,5V$$

**Örnek 12.2:** Şekildeki devrede giriş akımının 10mA ve 25mA değerleri için çıkış gerilimini hesaplayınız.



$$I_1 = 10mA$$

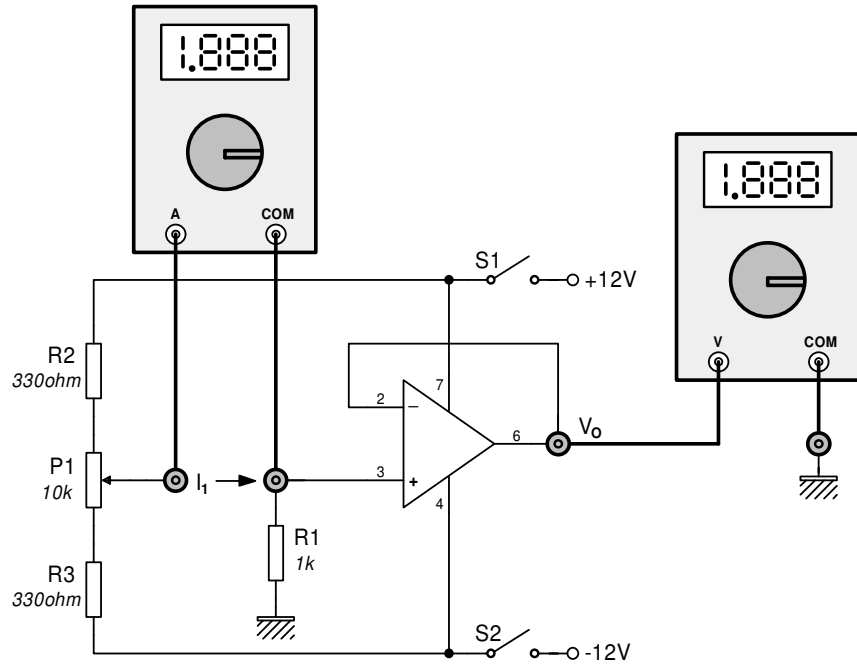
$$V_o = I_1 \cdot R_1$$

$$V_o = (10mA) \cdot (0,47k) = 4,7V$$

$$I_1 = 25mA$$

$$V_o = I_1 \cdot R_1$$

$$V_o = (25mA) \cdot (0,47k) = 11,75V$$

**Deney Şeması:****Deneyin Yapılışı:**

- 1- OP 2302 modülünü ana üniteye yerleştirin ve E bloğunu bulun.
- 2- Gözlem tablosunda verilen değerler için çıkış gerilimini hesaplayın.
- 3- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- P<sub>1</sub> potansiyometresi ile I<sub>1</sub> akımını gözlem tablosunda verilen değerlere ayarlayın.
- 5- I<sub>1</sub> akımına karşılık gelen çıkış gerilimi değerlerini ölçerek gözlem tablosuna kaydedin.
- 6- P<sub>1</sub> potansiyometresi ile I<sub>1</sub> akımının negatif değerler almasını sağlayarak çıkış gerilimini gözlemleyin.

**Gözlem Tablosu:**

I <sub>1</sub>	0	1mA	2mA	3mA	4mA	5mA	6mA	7mA	8mA
Hesaplanan V <sub>o</sub>									
Ölçülen V <sub>o</sub>									

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : ENSTRUMENTASYON YÜKSELTECİ DEVRESİ

**DENEY NO: 14**

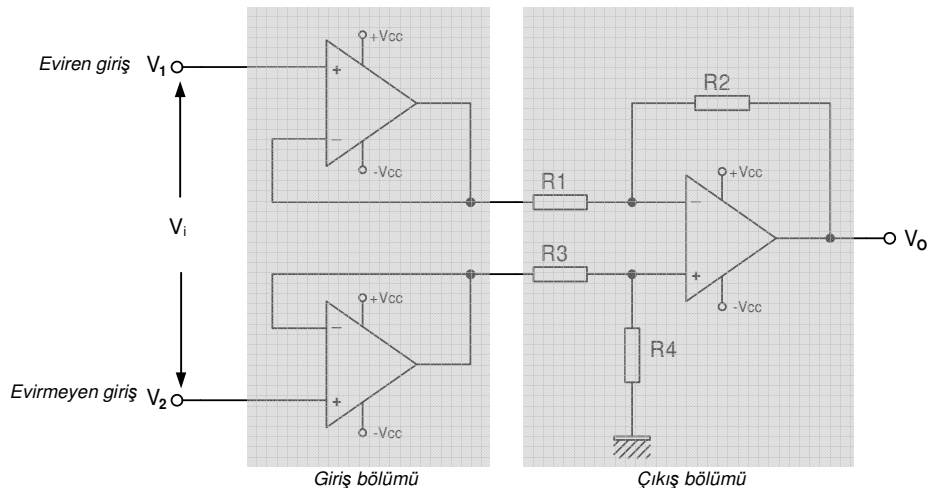
## Giriş:

Sensör ve transduserler, ortamdaki fiziksel değişimleri algılayabilen devre elemanlardır. Algılama sonucunda eleman uçlarından küçük değerli bir gerilim ya da direnç değişimi elde edilir. Dolayısıyla bu küçük değişimlerin daha büyük elektriksel işaretlere dönüştürülmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Enstrumantasyon yükselteçleri bu küçük değişimlerin kuvvetlendirilmesi amacıyla kullanılır.

Enstrumantasyon yükseltici aslında büyük kazançlı bir fark yükselticidir. Bir enstrumantasyon yükselticinin temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

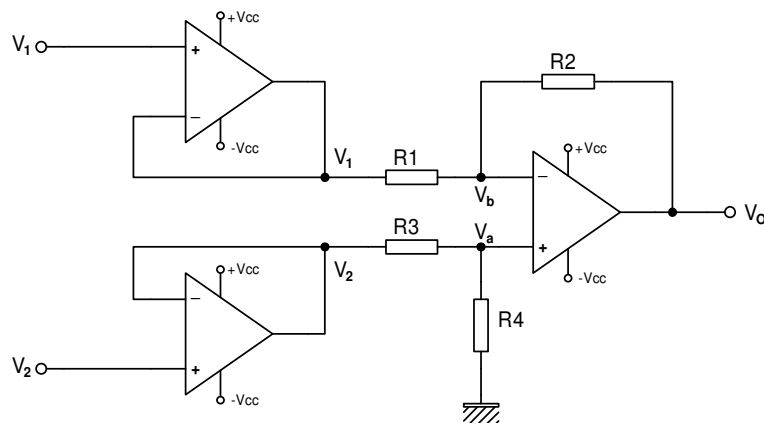
- 1- Kayma gerilimi ve sürüklenme minimize edilmiştir.
- 2- Giriş empedansı çok yüksektir.
- 3- Çıkış empedansı çok düşüktür.
- 4- Kazanç kararlıdır.
- 5- Doğrusal olmayan özellikler en aza indirgenmiştir.
- 6- CMRR çok yüksektir.

Temel enstrumantasyon yükselteci devresi şekil 24.1’ de görülmektedir.



**Şekil 24.1 : Temel enstrumantasyon yükselteci**

Temel enstrumantasyon yükselteci, eviren ve evirmeyen girişler için gerilim izleyici olarak düzenlenmiş giriş bölümü ile fark yükselteç olarak çalışan çıkış bölümünden meydana gelir.



**Şekil 24.2 : Temel enstrumantasyon yükselteci çıkış geriliminin bulunması**

Gerilim izleyici olarak düzenlenmiş giriş bölümündeki OP AMP' ların çıkışında girişlerine uygulanan gerilimler aynen görülür (şekil 24.2). Giriş bölümündeki bu OP AMP' lar için kazanç 1 olmakla beraber, devrenin giriş empedansı oldukça yüksek olacaktır. Devrenin çıkış gerilimi,

$$\frac{V_1 - V_b}{R_1} = \frac{V_b - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_1 - V_b}{R_1} = \frac{V_b - V_o}{R_2}$$

$$V_b = V_a = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\frac{V_1 - V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}}{R_1} = \frac{V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} - V_o}{R_2}$$

$$\left( V_1 - V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) R_2 = \left( V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} - V_o \right) R_1$$

$$V_1 R_2 - V_2 \frac{R_2 R_4}{R_3 + R_4} = V_2 \frac{R_1 R_4}{R_3 + R_4} - V_o R_1$$

$$V_1 R_2 - V_2 \frac{R_2 R_4}{R_3 + R_4} - V_2 \frac{R_1 R_4}{R_3 + R_4} = -V_o R_1$$

$$V_1 R_2 - V_2 R_4 \left( \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) = -V_o R_1$$

$R_1 = R_3$  ve  $R_2 = R_4$  durumunda

$$V_1 R_2 - V_2 R_4 \left( \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) = -V_o R_1$$

$\downarrow$   
 $R_2 \quad 1$

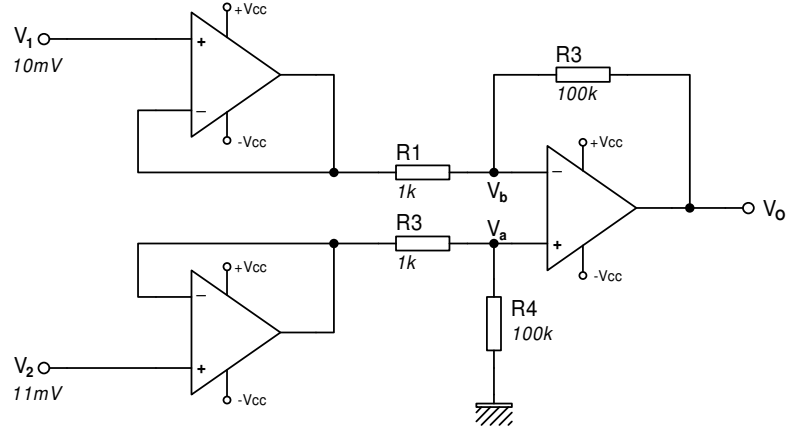
$$V_1 R_2 - V_2 R_2 = -V_o R_1$$

$$V_o R_1 = V_2 R_2 - V_1 R_2$$

$$V_o R_1 = R_2 (V_2 - V_1)$$

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad V_2 - V_1 = V_i \Rightarrow V_o = \frac{R_2}{R_1} V_i$$

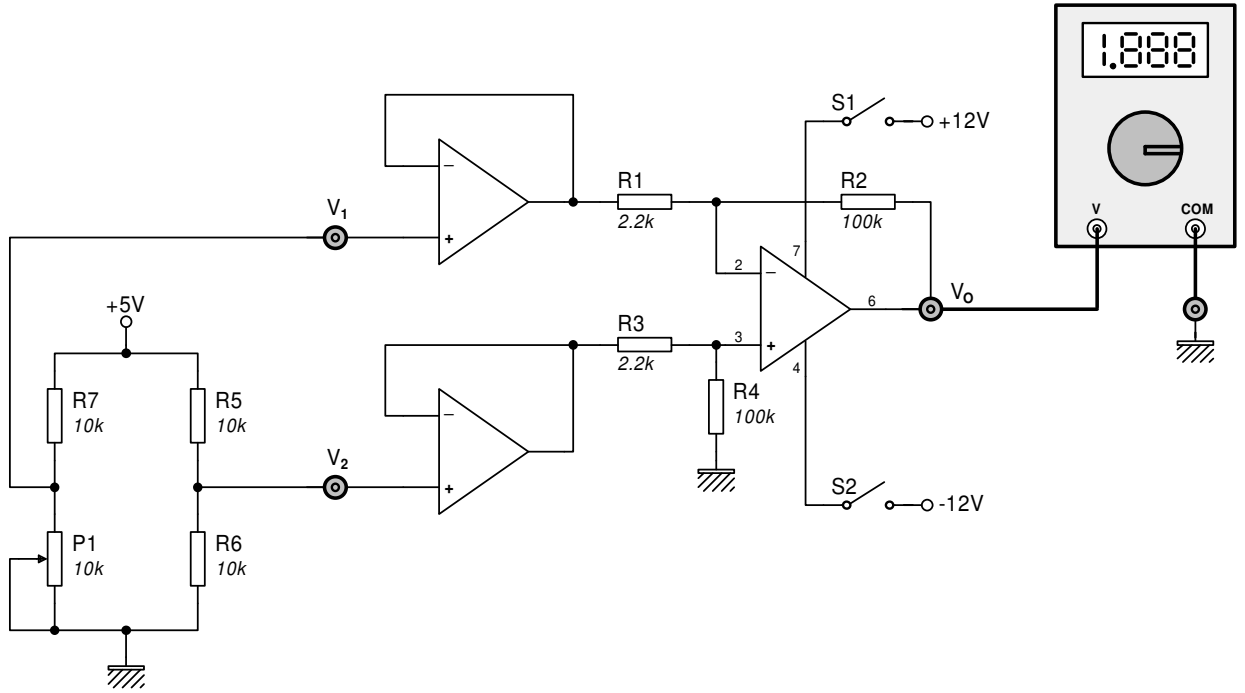
**Örnek 24.1:** Şekildeki devrenin çıkış gerilimini hesaplayın.



$$V_i = (V_2 - V_1) = 11 - 10 = 1mV$$

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} V_i = \frac{100}{1} 1mV = 100mV$$

**Deney Şeması:**



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- **OP 2302** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **F** bloğunu bulun.
- 2-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- Gözlem tablosunda verilen giriş gerilimi değerleri için çıkış gerilimini değerlerini hesaplayın.
- 4-  $P_1$  potansiyometresi yardımıyla giriş gerilimini gözlem tablosunda verilen değerler için ayarlayıp, bu değerlere karşılık gelen çıkış gerilimi değerlerini ölçün.
- 5- Hesaplama ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırın.

**Gözlem Tablosu:**

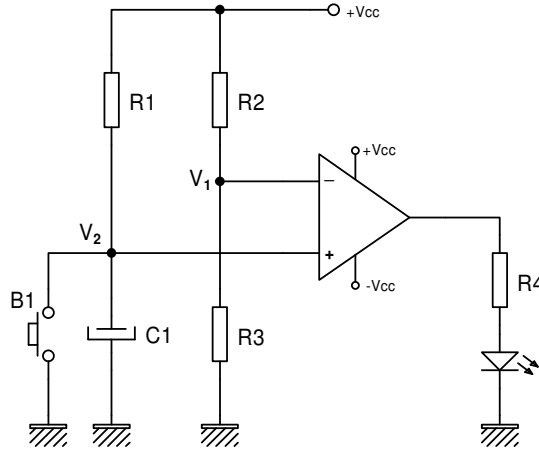
$V_i$	10mV	25mV	50mV	75mV	100mV	150mV	200mV
Hesaplanan $V_o$							
Ölçülen $V_o$							

**KONU** : OSİLATÖR DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : OP AMP' LI ZAMANLAYICI DEVRESİ

**DENEY NO: 15**

### Giriş:

OP AMP' lı zamanlayıcı devresi şekil 16.1' de görülmektedir.



**Şekil 16.1 : OP AMP' lı TURN-ON tipi zamanlayıcı devresi**

OP AMP çıkışından girişe geribesleme yapılmadığı için devre temel olarak bir karşılaştırıcıdır. Çıkış yükünü oluşturan LED' in ışık verebilmesi için,  $V_2 > V_1$  durumunun oluşması gereklidir. B<sub>1</sub> butonuna basılarak zamanlama işlemi başlatılır. Butona basıldığında C<sub>1</sub> kondansatörü hemen deşarj olacağı için V<sub>2</sub> gerilimi şase potansiyelinde olur. Gerilim bölücü R<sub>2</sub> ve R<sub>3</sub> dirençleri üzerinden sağlanan V<sub>1</sub> ise bu dirençlerin değeri tarafından belirlenen pozitif bir değere sahiptir. Bu durumda  $V_2 < V_1$  olacağından, OP AMP çıkışı -V<sub>CC</sub> seviyesindedir ve LED sönmüştür. Butona basıldıktan sonra C<sub>1</sub> kondansatörü şarj olmaya ve V<sub>2</sub> gerilimi artmaya başlamıştır. Zamanla artan V<sub>2</sub> gerilimi bir süre sonra V<sub>1</sub> seviyesine ulaşır ve geçer. Böylece  $V_2 > V_1$  durumu gerçekleşerek, OP AMP çıkışı +V<sub>CC</sub> seviyesine gider ve LED' in yanmasını sağlar. Devre zamanla işlemi başladıktan bir süre sonra yükün çalışmasını sağlaması nedeniyle TURN-ON tipi bir zamanlayıcıdır. Burada zaman gecikme süresini belirleyen değişkenler, V<sub>1</sub> geriliminin seviyesi ile R<sub>1</sub> ve C<sub>1</sub>' in değerleridir.

Devrede butona basıldıktan sonra LED' in yanması için V<sub>2</sub> geriliminin V<sub>1</sub> seviyesine ulaşması gerektiğinden, zaman gecikme süresi,

$$V_2 = V_{CC} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad V_1 = V_{CC} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

$$V_2 = V_1$$

$$V_{CC} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = V_{CC} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$\frac{R_3}{R_2 + R_3} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\frac{R_3}{R_2 + R_3} - 1 = -e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\ln \left( 1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = -\frac{t}{\tau} \cdot \ln e \quad \ln e = 1$$

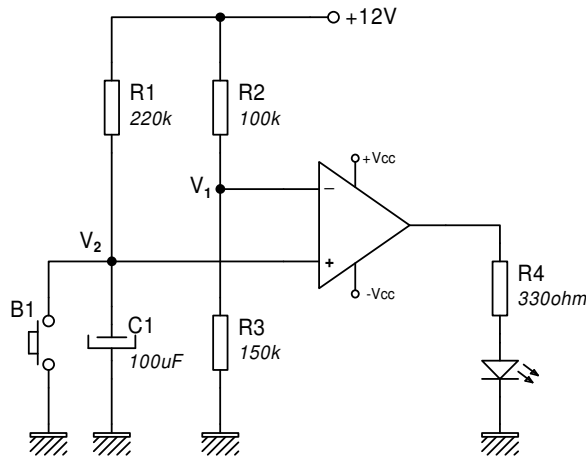
$$\ln \left( 1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = -\frac{t}{\tau}$$

$$-\tau \cdot \ln \left( 1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = t$$

$$\tau = R_1 \cdot C_1$$

$$t = -R_1 \cdot C_1 \cdot \ln \left( 1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

**Örnek 38.1:** Şekilde verilen devrede butona basıldıktan kaç saniye sonra LED' in ışık vereceğini hesaplayın.

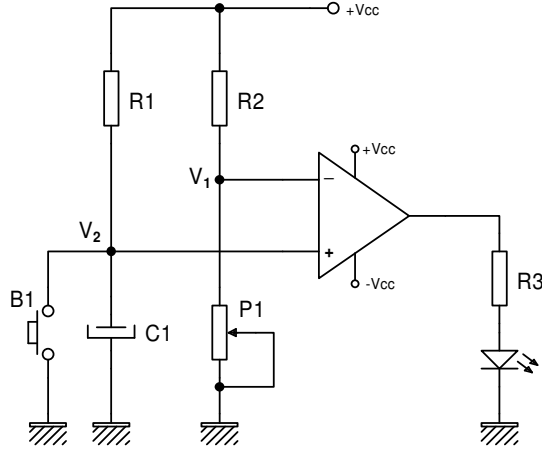


$$t = -R_1 \cdot C_1 \cdot \ln \left( 1 - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$t = -(220 \cdot 10^3) \cdot (100 \cdot 10^{-6}) \cdot \ln \left( 1 - \frac{(150 \cdot 10^3)}{(100 \cdot 10^3) + (150 \cdot 10^3)} \right) = 20,15 \text{ sn}$$

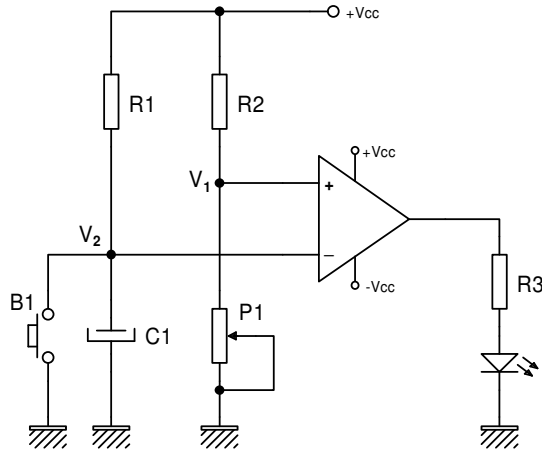


Devrede zaman gecikmesi,  $R_1$  veya  $C_1$  yada her ikisinin değerlerinin artırılmasıyla uzatılabilir. Bunun dışında  $V_1$  referans geriliminin artması da süreyi uzatacaktır. Öyleyse  $V_1$ 'in değiştirilebilir olması sürenin de ayarlanabilir olmasını sağlayacaktır.  $R_2$  veya  $R_3$  sabit dirençlerinden birinin yerine potansiyometre konarak ayarlı bir zamanlayıcı devresi elde edilmiş olur (şekil 16.2).



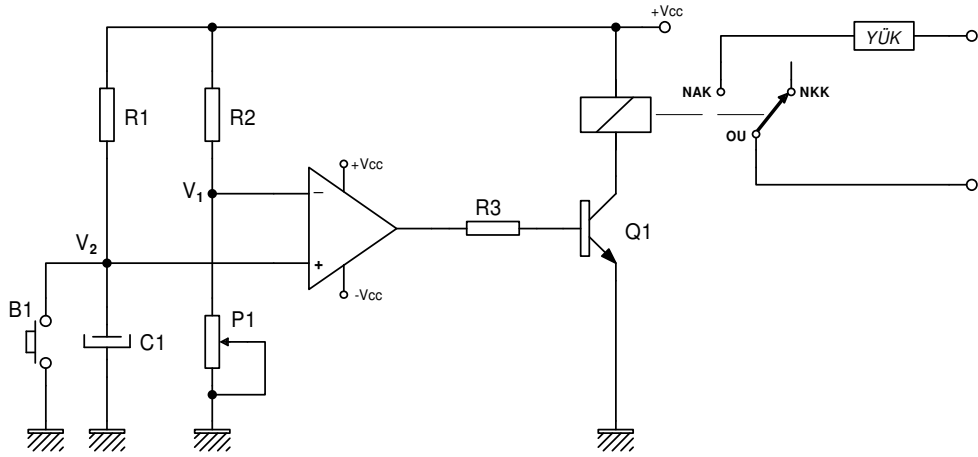
Şekil 16.2 : OP AMP' lı TURN-ON tipi ayarlı zamanlayıcı devresi

Tersi şekilde yani TURN-OFF tipi zamanlayıcı yapmak için, OP AMP girişlerinin yer değişmesi yeterli olacaktır (şekil 16.3). Bu zamanlayıcı devresinde, butona basıldığında LED ışık verecek ve belirlenen süre sonunda LED sönecektir.

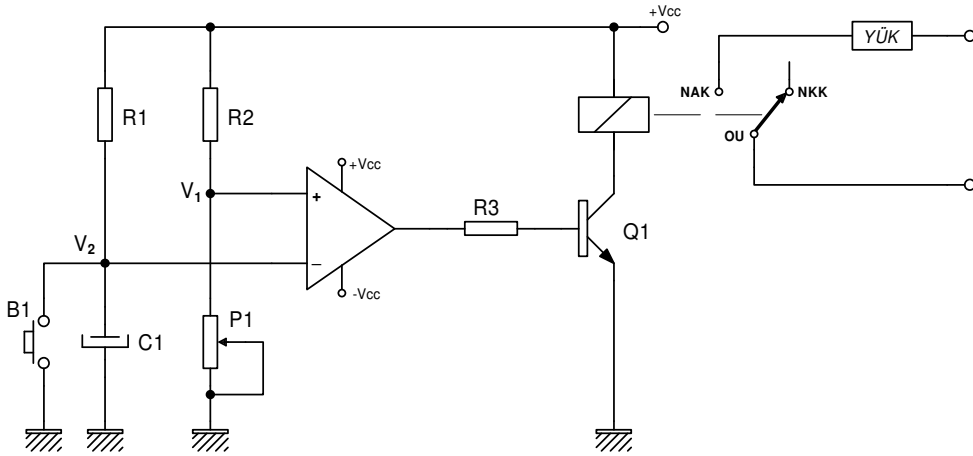


Şekil 16.3 : OP AMP' lı TURN-OFF tipi ayarlı zamanlayıcı devresi

Daha fazla akım çeken veya çalışma gerilimi farklı olan yüklerin kontrol edilmesi gereken devrelerde, OP AMP çıkışına röle bağlanarak yük röle kontakları üzerinden çalıştırılmalıdır. Eğer röle bobininin çektiği akım OP AMP' ın verebileceği çıkış akımından fazla ise bu kez röle OP AMP çıkışına bağlanacak bir transistör üzerinden sürülmelidir (şekil 16.4 ve şekil 16.5).

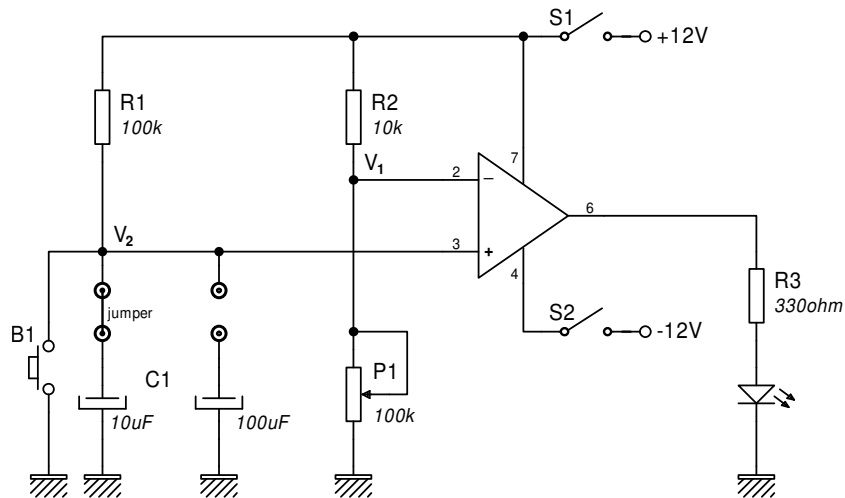


Şekil 16.4 : OP AMP' lı röle çıkışlı TURN-ON tipi ayarlı zamanlayıcı devresi



Şekil 16.5 : OP AMP' lı röle çıkışlı TURN-OFF tipi ayarlı zamanlayıcı devresi

### Deney Şeması:



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- **OP 2302** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **G** bloğunu bulun.
- 2- Bağlantı kablosu kullanarak  $C_1$  kondansatörünü devreye alın.
- 3-  $B_1$  butonuna kısa süreli basarak zamanlama işlemini başlatın.
- 4- Potansiyometrenin minimum ve maksimum konumları için zaman gecikme sürelerini ölçün.
- 5- Bağlantı kablosu kullanarak bu kez  $C_2$  kondansatörünü devreye alın ve gözlemlerinizi tekrarlayın.

**Gözlem Tablosu:**

	$C_1$ devrede		$C_2$ devrede	
	$P_1$ min	$P_1$ max	$P_1$ min	$P_1$ max
Hesaplanan süre				
Ölçülen süre				

**KONU** : AKTİF FİLTRE DEVRELERİ  
**DENEY ADI** : ALÇAK GEÇİREN FİLTRE DEVRESİ

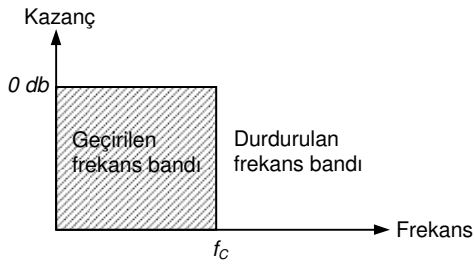
**DENEY NO: 16**

### Giriş:

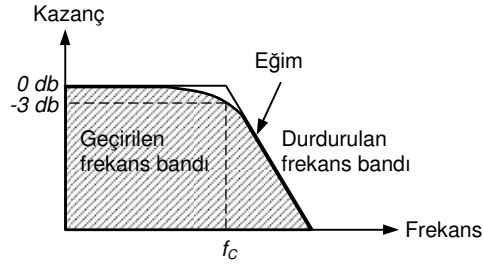
Filtre devreleri, istenilen frekans değerlerindeki sinyalleri geçiren diğerlerini ise zayıflatan devrelerdir. Basit R-C ve L-C bağlantıları ile pasif filtre devreleri yapmak mümkündür. Ancak kendinden sonraki devrelerin yükleme etkisi nedeniyle, pasif filtre devreleri istenilen verimi sağlamaktan uzaktır. Bu nedenle kazancı artırmak ve yükleme etkisini gidermek üzere OP AMP ilavesi ile gerçekleştirilen aktif filtre devreleri daha kullanışlı ve popülerdir. Aktif filtre devreleri birinci dereceden, ikinci dereceden vb. isimlerle anılır. Filtrenin derece numarası arttıkça, devrenin frekans tepkisi de ideale o kadar yaklaşmaktadır.

Alçak geçiren filtre, belirli bir frekans değerinin altındaki sinyalleri geçiren, bu frekans değerinin üzerindeki sinyalleri ise giderek zayıflatan devredir. Zayıflatmanın başladığı frekans *kesim frekansı* (*cut-off frequency*) olarak isimlendirilir ve  $f_c$  sembolü ile gösterilir. Kesim frekansı, kazancın 0,707 değerine düştüğü frekanstır. Kazanç, çıkış geriliminin giriş gerilimine oranıdır.

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 0,707 \quad \text{desibel cinsinden ise} \quad A_v = 20 \cdot \log 0,707 = -3 \text{ db}$$



-a- İdeal değişim

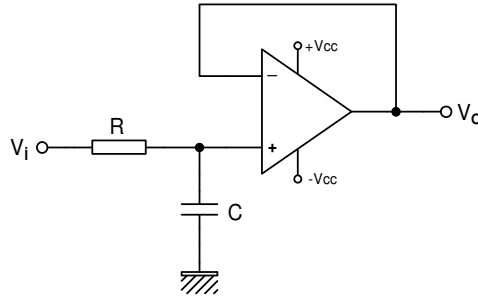


-b- Gerçek değişim

Şekil 18.1 : Alçak geçiren filtrenin frekans-kazanç değişimi

### Birinci dereceden alçak geçiren filtre

Birinci dereceden alçak geçiren filtre devresinde kesim frekansından itibaren kazanç 20db/dekad'lık bir eğimle azalır.

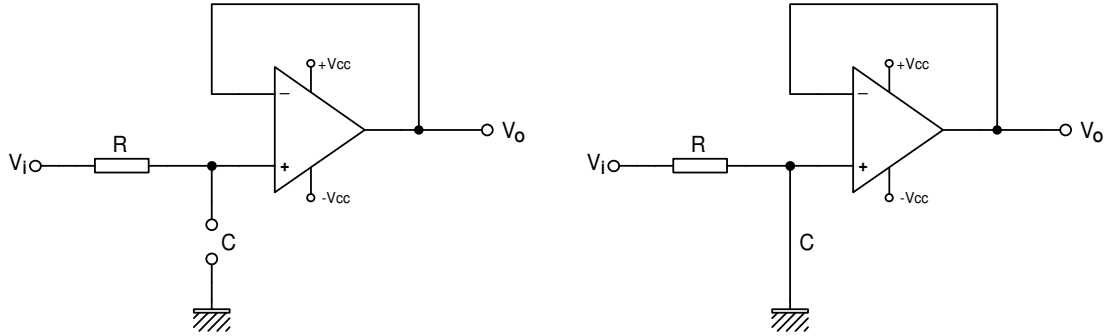


Şekil 18.2 : Birinci dereceden alçak geçiren filtre devresi

Devrenin kesim frekansı,

$$f_c = \frac{1}{2\pi R C} \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

Bilindiği gibi kondansatörler alçak frekanslarda yüksek direnç ve yüksek frekanslarda düşük direnç gösterirler. Bu özelliği “*alçak frekanslar için açık devre ve yüksek frekanslar için kısa devre özelliği gösterir*” şeklinde idealize edersek, devrenin alçak ve yüksek frekanslardaki eşdeğerlerini çizebiliriz. Bu eşdeğer devreler şekil 18.3’ de görülmektedir.



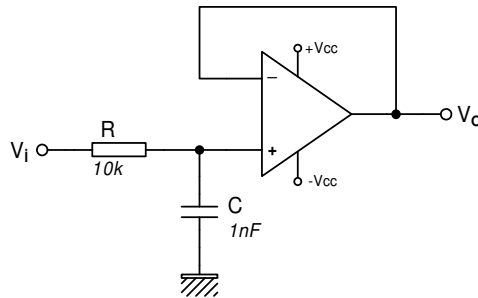
a-Alçak frekans eşdeğeri

a-Yüksek frekans eşdeğeri

Şekil 18.3 : Birinci dereceden alçak geçiren filtre devresinin eşdeğeri

Görüldüğü gibi, alçak frekanslarda devre gerilim izleyici gibi davranıp çıkış gerilimini aynen çıkışa aktarmaktadır. Yüksek frekanslar için, yine gerilim izleyici olarak çalışan devrenin giriş ucu şase potansiyeline çekildiğinden çıkış gerilimi sıfıra düşer.

**Örnek 18.1:** Şekildeki devrenin kesim frekansını hesaplayın.

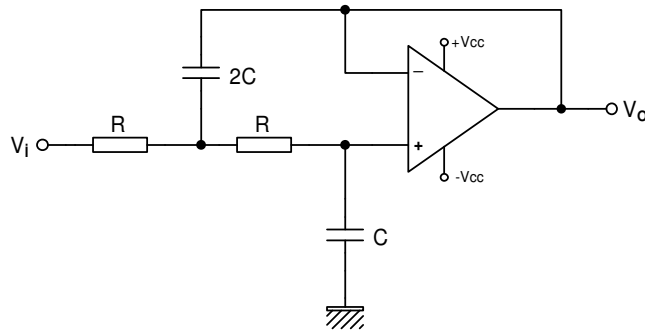


$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot (10 \cdot 10^3) \cdot (1 \cdot 10^{-9})} = 15915 \text{ Hz}$$

Devre, 15915 Hz’ in altındaki giriş sinyallerini geçirecek ve bu frekansın üzerindeki sinyallerde kazanç azalacağından bu sinyalleri zayıflatarak çıkışa aktaracaktır.

#### İkinci dereceden alçak geçiren filtre

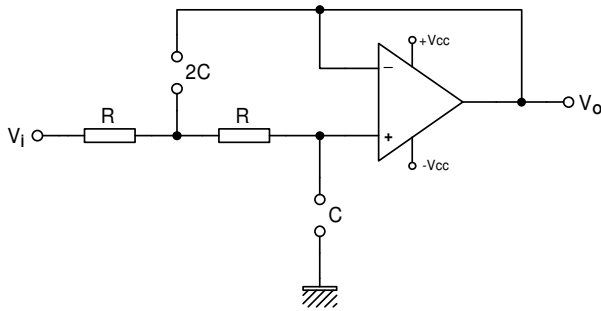
İkinci dereceden alçak geçiren filtre devresinde kesim frekansından itibaren kazanç 40db/dekad’ lık bir eğimle düşer. Bu hızlı düşüş nedeniyle ikinci dereceden filtrenin frekans cevabı ideale daha yakındır.



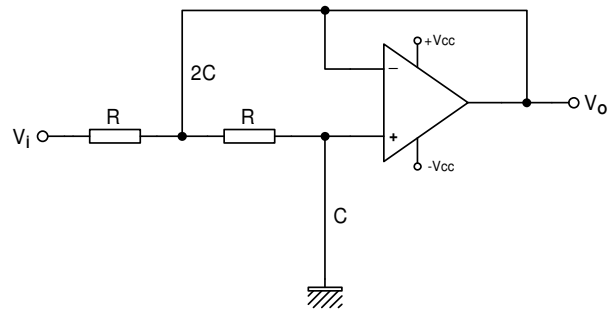
Şekil 18.4 : İkinci dereceden alçak geçiren filtre devresi

Devrenin kesim frekansı,

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi R C} \text{ formülü ile bulunur.}$$



a-Alçak frekans eşdeğeri

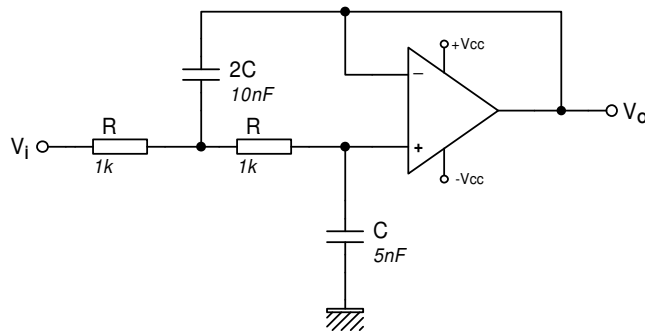


a-Yüksek frekans eşdeğeri

Şekil 18.5 : İkinci dereceden alçak geçiren filtre devresinin eşdeğeri

Devre, alçak frekanslar için kazancı 1 olan gerilim izleyici olarak davranırken, yüksek frekanslarda giriş şase potansiyelinde olduğundan çıkış gerilimi sıfırdır.

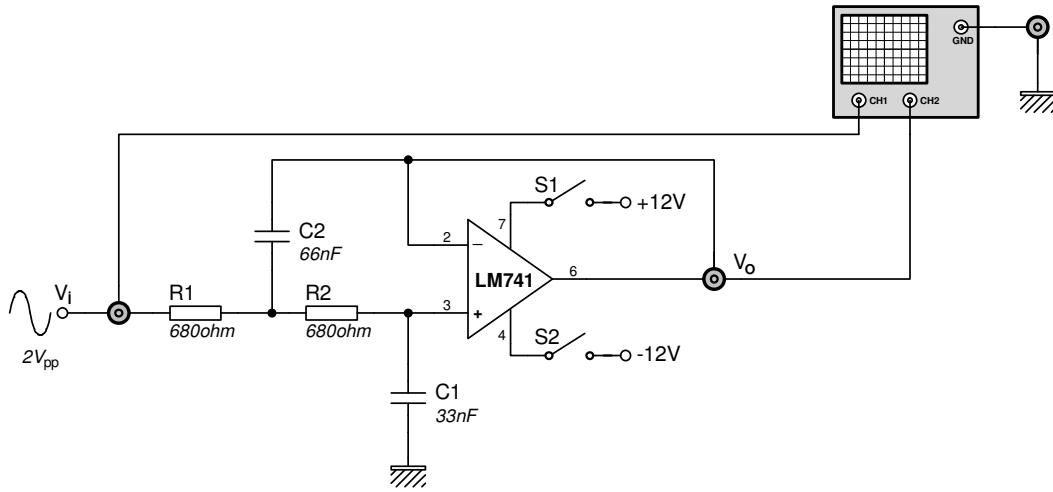
**Örnek 43.2:** Şekildeki devrenin kesim frekansını hesaplayın.



$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi R.C} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi (1.10^3) (5.10^{-9})} = 22508 \text{ Hz}$$

Devre, 22508 Hz'in altındaki giriş sinyallerini geçirecek ve bu frekansın üzerindeki sinyallerde kazanç hızla azalacağından bu sinyalleri zayıflatarak çıkışa aktaracaktır.

### Deney Şeması:



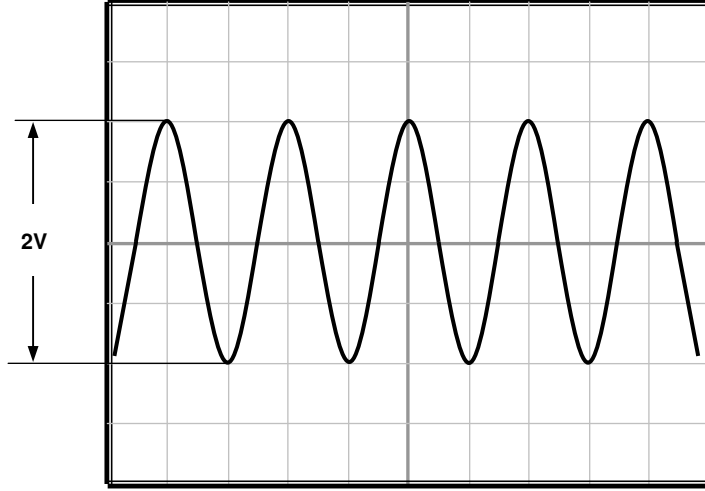
### Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin ve A bloğunu bulun.
- 2- Devrenin kesim frekansını hesaplayın.
- 3- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- Devrenin girişine 2V<sub>pp</sub> sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 5- Sinyalin frekansını gözlem tablosunda verilen değerlere sırasıyla ayarlayın.
- 6- Her bir frekans değeri için çıkış sinyalini ölçün.
- 7- Ölçtüğünüz çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranını hesaplayıp, sonucu kazanç (A<sub>v</sub>) olarak gözlem tablosuna kaydedin.
- 8- Bulduğunuz kazanç değerlerini kullanarak devreye ait frekans-kazanç değişim eğrisini çizin.
- 9- Giriş sinyalinin frekansını kazancın -3db seviyesine düştüğü değere kadar artırın. Giriş sinyalinin bu frekansını kesim frekansı olarak belirleyin.
- 10- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

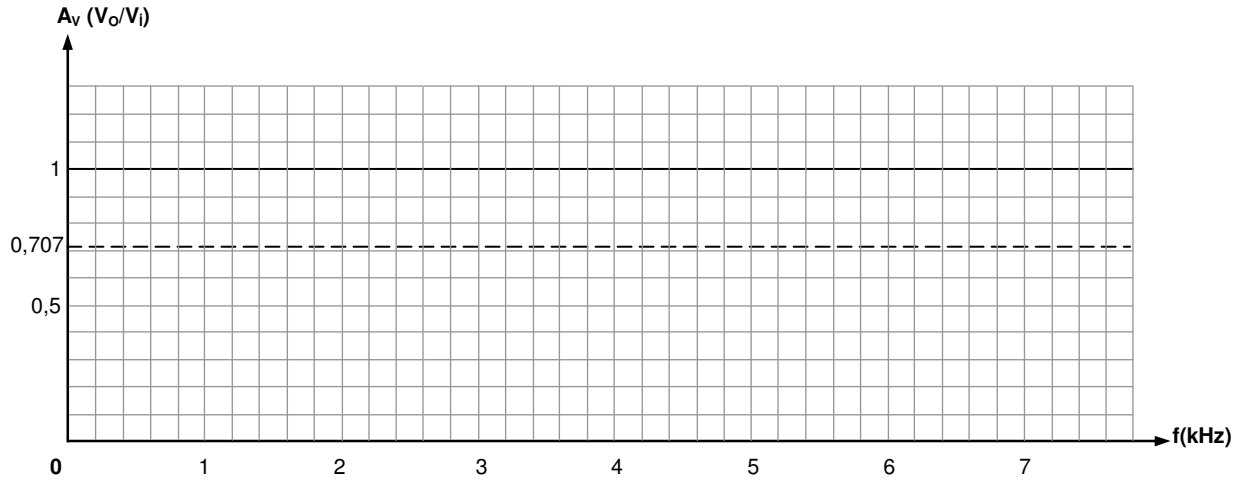
Gözlem Tablosu:

$V_i$

$V/d:0.5V$



Frekans	100 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	6 kHz	7 kHz
$V_i$									
$V_o$									
$A_v = V_o/V_i$									
dB ( $20 \log A_v$ )									



	Kesim frekansı ( $f_c$ )
Hesaplanan	
Ölçülen	

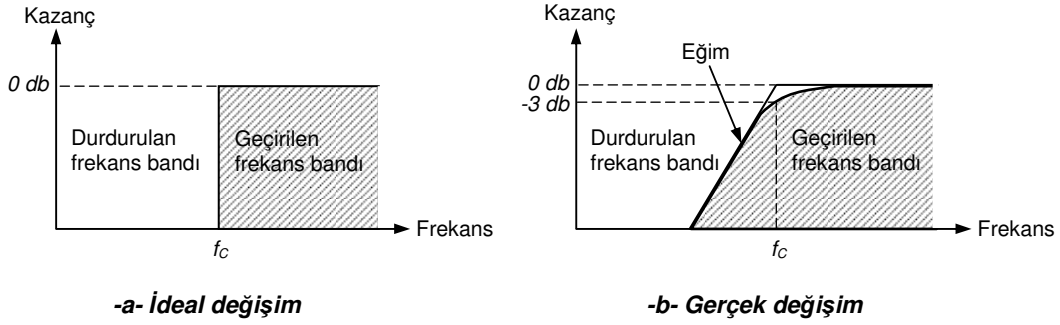


**KONU** : AKTİF FİLTRE DEVRELERİ  
**DENEY ADI** : YÜKSEK GEÇİREN FİLTRE

**DENEY NO: 17**

### Giriş:

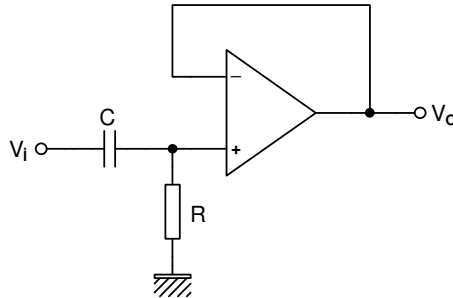
Yüksek geçiren filtre, belirli bir frekans değerinin üzerindeki sinyalleri geçiren, bu frekans değerinin altındaki sinyalleri ise giderek zayıflatan devredir. Kesim frekansı, tıpkı alçak geçiren filtre devresinde olduğu gibi, kazancın 0,707 değerine düştüğü frekanstır.



**Şekil 44.1 : Yüksek geçiren filtrenin frekans-kazanç değişimi**

### Birinci dereceden yüksek geçiren filtre

Birinci dereceden yüksek geçiren filtre devresinde kesim frekansından itibaren kazanç 20db/dekad'lık bir eğimle azalır.

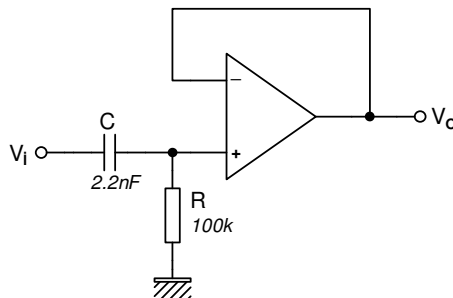


**Şekil 44.2 : Birinci dereceden yüksek geçiren filtre devresi**

Devrenin kesim frekansı,

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

**Örnek 44.1:** Şekildeki devrenin kesim frekansını hesaplayın.

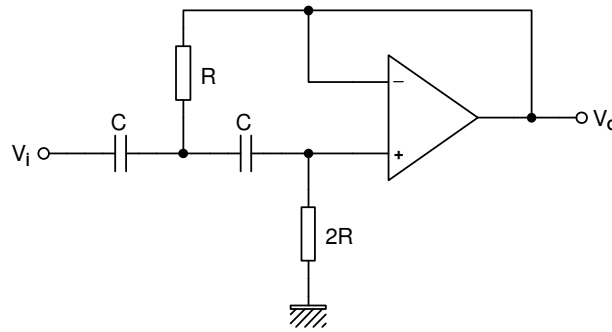


$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot (100 \cdot 10^3) \cdot (2,2 \cdot 10^{-9})} = 723 \text{ Hz}$$

Devre, 723 Hz' in üzerindeki giriş sinyallerini geçirecek ve bu frekansın altındaki sinyallerde kazanç azalacağından bu sinyalleri zayıflatarak çıkışa aktaracaktır.

#### İkinci dereceden yüksek geçiren filtre

İkinci dereceden yüksekgeçiren filtre devresinde kesim frekansından itibaren kazanç 40db/dekad'lık bir eğimle düşer. Bu hızlı düşüş nedeniyle ikinci dereceden filtrenin frekans cevabı ideale daha yakındır.

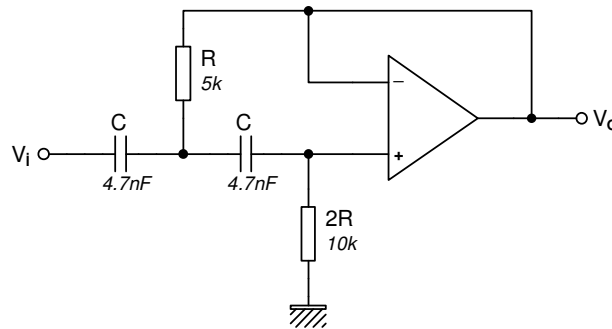


Şekil 44.3 : İkinci dereceden yüksek geçiren filtre devresi

Devrenin kesim frekansı,

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi \cdot R \cdot C} \text{ formülü ile bulunur.}$$

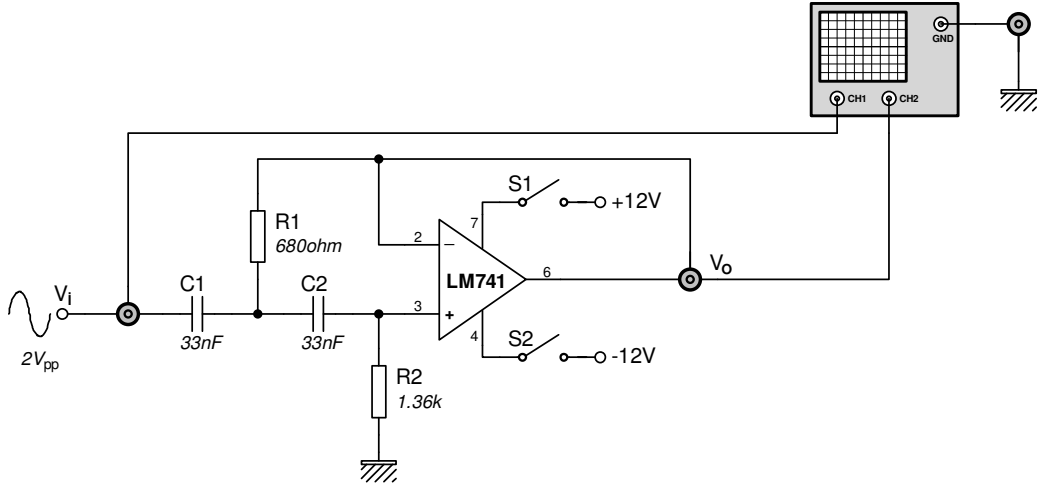
**Örnek 43.2:** Şekildeki devrenin kesim frekansını hesaplayın.



$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi \cdot (5 \cdot 10^3) \cdot (4,7 \cdot 10^{-9})} = 4789 \text{ Hz}$$

Devre, 4789 Hz'in üzerindeki giriş sinyallerini geçirecek ve bu frekansın altındaki sinyallerde kazanç hızla azalacağından bu sinyalleri zayıflatarak çıkışa aktaracaktır.

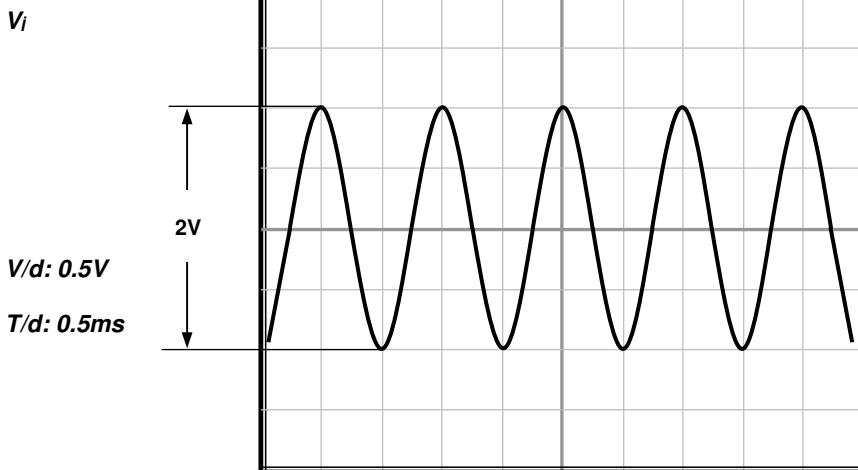
## Deney Şeması:



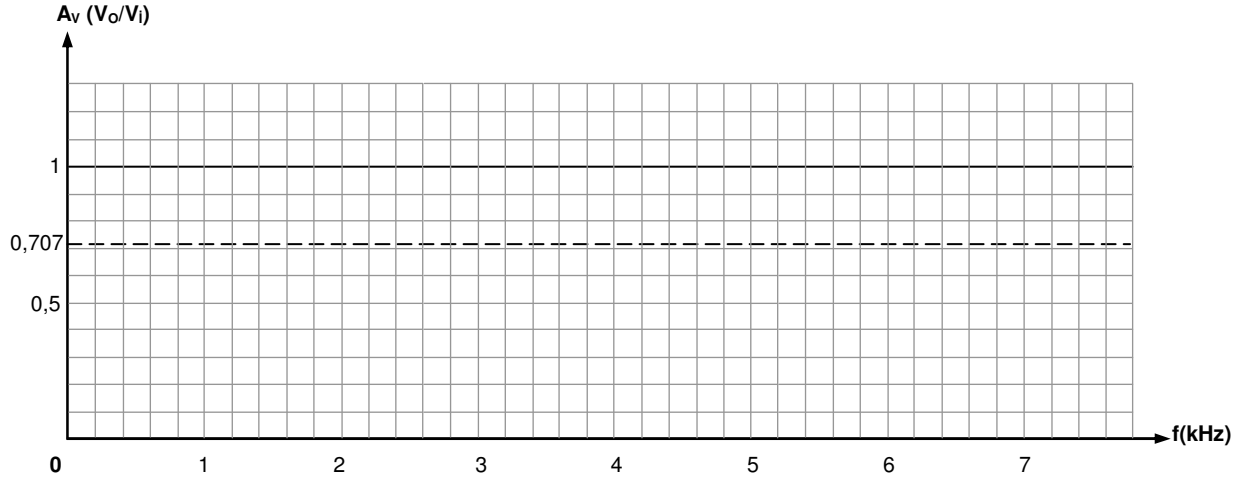
## Deneyin Yapılışı:

- 1- **OP 2303** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **B** bloğunu bulun.
- 2- Devrenin kesim frekansını hesaplayın.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- Devrenin girişine  $2V_{pp}$  sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 5- Sinyalin frekansını gözlem tablosunda verilen değerlere sırasıyla ayarlayın.
- 6- Her bir frekans değeri için çıkış sinyalini ölçün.
- 7- Ölçtüğünüz çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranını hesaplayıp, sonucu kazanç ( $A_v$ ) olarak gözlem tablosuna kaydedin.
- 8- Bulduğunuz kazanç değerlerini kullanarak devreye ait frekans-kazanç değişim eğrisini çizin.
- 9- Giriş sinyalinin frekansını kazancın -3db seviyesine düştüğü değere kadar azaltın. Giriş sinyalinin bu frekansını kesim frekansı olarak belirleyin.
- 10- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

## Gözlem Tablosu:



Frekans	7 kHz	6 kHz	5 kHz	4 kHz	3 kHz	2 kHz	1 kHz	500 Hz	100 Hz
$V_i$									
$V_o$									
$A_v = V_o/V_i$									
dB ( $20 \log A_v$ )									



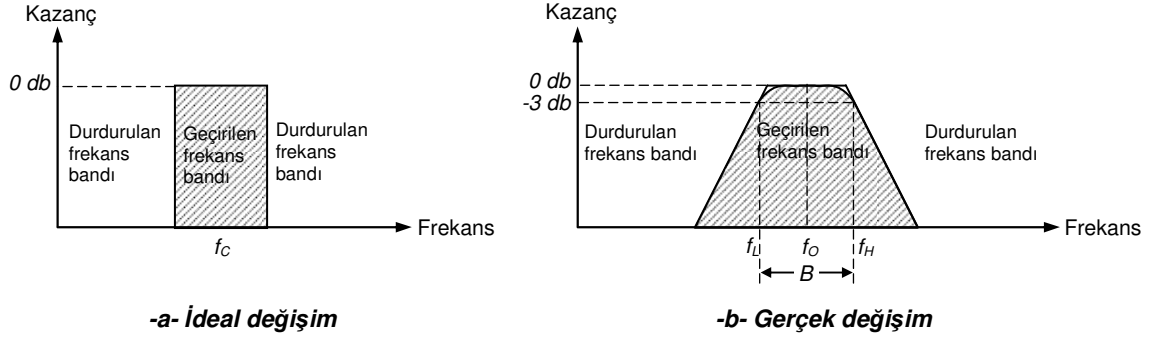
	Kesim frekansı ( $f_c$ )
Hesaplanan	
Ölçülen	

**KONU** : AKTİF FİLTRE DEVRELERİ  
**DENEY ADI** : BAND GEÇİREN FİLTRE

**DENEY NO: 18**

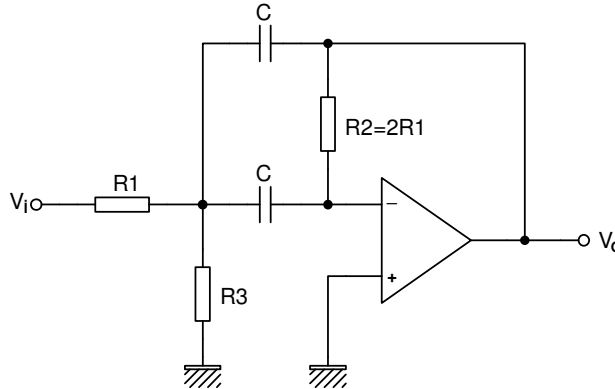
### Giriş:

Band geçiren filtre, belirli bir frekans bandındaki sinyalleri geçiren, bu band dışındaki sinyalleri ise giderek zayıflatan devredir. Kesim frekansı, tıpkı diğer filtre devrelerinde olduğu gibi, kazancın 0,707 değerine düştüğü frekanstır. Farklı olarak, band başında ( $f_L$ ) ve band sonunda ( $f_H$ ) olmak üzere iki tane kesim frekansı ve kazancın maksimum olduğu merkez frekansı ( $f_O$ ) bulunmaktadır.



**Şekil 20.1 : Band geçiren filtrenin frekans-kazanç değişimi**

### Multiple feedback band geçiren filtre (ikinci dereceden)



**Şekil 20.2 : Multiple feedback band geçiren filtre devresi**

Devrenin merkez frekansı,

$$f_O = \sqrt{f_L \cdot f_H} \text{ olup devre elemanlarına bağlı olarak aldığı değer, } f_O = \frac{1}{2\pi \cdot C} \cdot \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}} \text{ olmaktadır.}$$

Devrenin merkez frekansındaki kazancı,

$$A_v = -\frac{R_2}{2R_1} = -1 \text{ dir.}$$

Devrenin band genişliği,

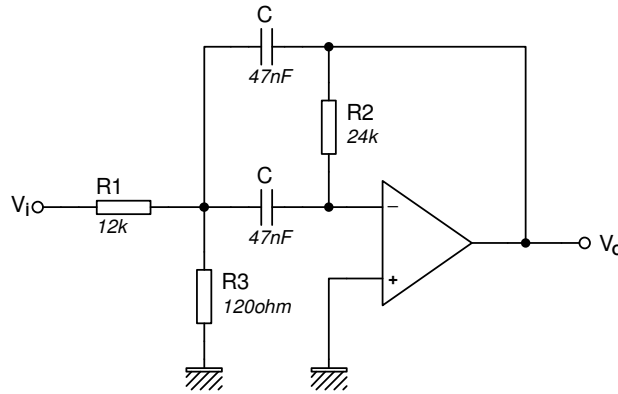
$$B = f_H - f_L \text{ olup devre elemanlarına bağlı olarak aldığı değer, } B = \frac{1}{\pi \cdot R_2 \cdot C} \text{ olmaktadır.}$$

Devrenin kalite faktörü ise,

$$Q = \frac{f_o}{B} = \frac{f_o}{f_H - f_L} \text{ olup devre elemanlarına bağlı olarak aldığı değer, } Q = \pi \cdot f_o \cdot R_2 \cdot C \text{ olmaktadır.}$$

Kalite faktörü büyüdükçe devrenin geçirdiği frekans bandı daralacak ve daha kesin bir seçicilik sağlayacaktır.

**Örnek 20.1:** Şekildeki devrenin  $f_o$ ,  $B$ ,  $f_L$  ve  $f_H$  değerlerini hesaplayın.



$$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot C} \cdot \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}} = \frac{1}{2\pi \cdot (47 \cdot 10^{-9})} \cdot \sqrt{\frac{(12 \cdot 10^3) + (120)}{(12 \cdot 10^3) \cdot (24 \cdot 10^3) \cdot (120)}} = 2005 \text{ Hz}$$

$$B = \frac{1}{\pi \cdot R_2 \cdot C} = \frac{1}{\pi \cdot (24 \cdot 10^3) \cdot (47 \cdot 10^{-9})} = 282 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{f_o}{B} = \frac{2005}{282} = 7,1$$

$$f_o = \sqrt{f_L \cdot f_H} \Rightarrow \sqrt{f_L \cdot f_H} = 2005 \Rightarrow f_L \cdot f_H = 2005^2 \Rightarrow f_H = \frac{2005^2}{f_L}$$

$$B = f_H - f_L \Rightarrow f_H - f_L = 282$$

$$\frac{2005^2}{f_L} - f_L = 282 \Rightarrow \frac{2005^2 - f_L^2}{f_L} = 282 \Rightarrow 2005^2 - f_L^2 = 282 \cdot f_L$$

$$f_L^2 + 282 \cdot f_L - 2005^2 = 0$$

İkinci dereceden bir bilinmeyenli bu denklem çözülerek  $f_L$  ve  $f_H$  frekansları bulunur.

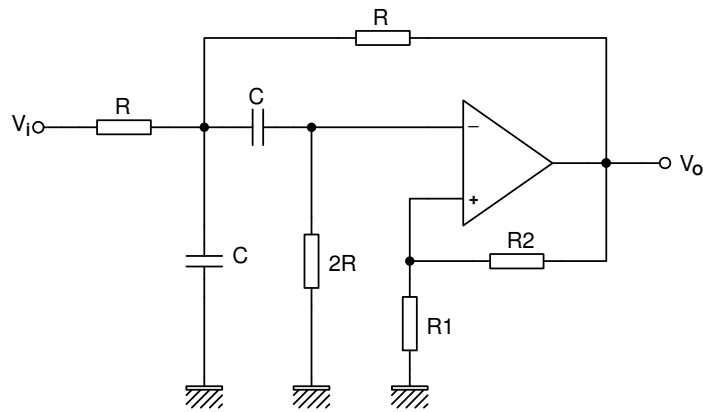
$$f_L^2 + 282.f_L - 2005^2 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4.a.c \Rightarrow \Delta = 282^2 - 4.1.(-(2005^2)) = 16159624$$

$$f_L = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2.a} = \frac{-282 + \sqrt{16159624}}{2.1} = \frac{-282 + 4020}{2} = 1869 \text{ Hz}$$

$$B = f_H - f_L \Rightarrow 282 = f_H - 1869 \Rightarrow f_H = 282 + 1869 = 2151 \text{ Hz}$$

### Sallen-Key band geçiren filtre (ikinci dereceden)



Şekil 20.3 : Sallen-Key band geçiren filtre devresi

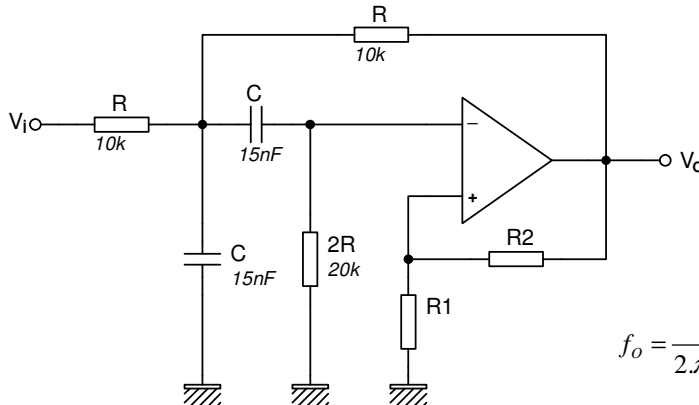
Devrenin merkez frekansı,

$$f_o = \frac{1}{2.\pi.R.C} \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

Devrenin iç kazancı

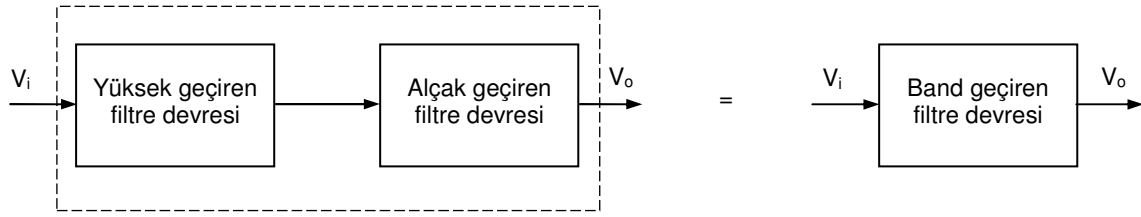
$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{olup merkez frekansındaki kazanç,} \quad A_v = \frac{G}{3-G} \quad \text{dir.}$$

**Örnek 20.2:** Şekildeki devrenin merkez frekansını hesaplayın.

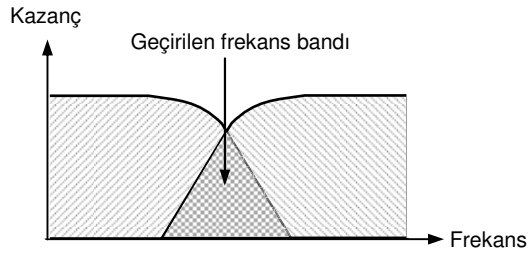


$$f_o = \frac{1}{2.\pi.R.C} = \frac{1}{2.\pi.(10.10^3).(15.10^{-9})} = 1061 \text{ Hz}$$

## Alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerle band geçiren filtre yapımı

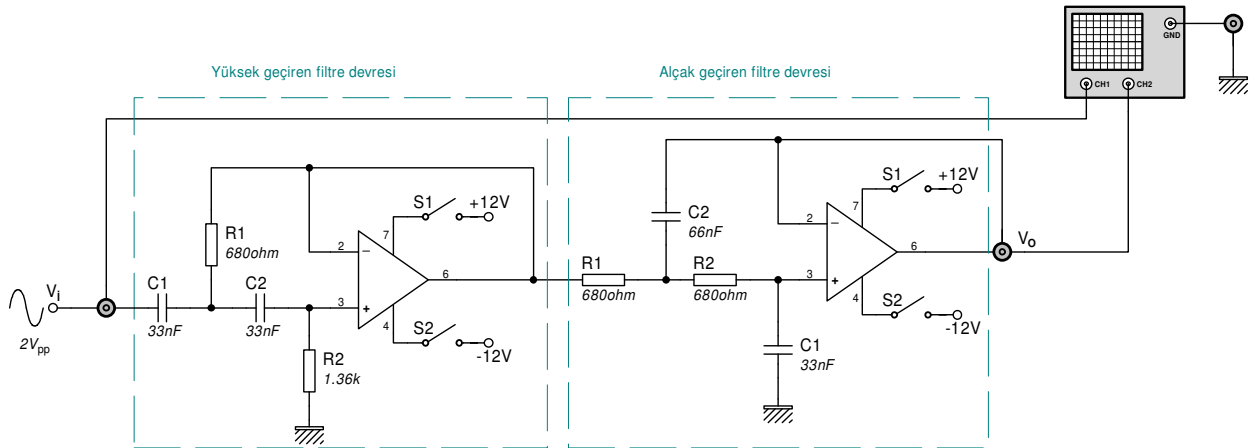


Şekil 20.4 : Yüksek ve alçak geçiren filtrelerle band geçiren filtre elde edilmesi



Şekil 20.5 : Band geçiren filtrenin frekans-kazanç değişimi

## Deney Şeması:



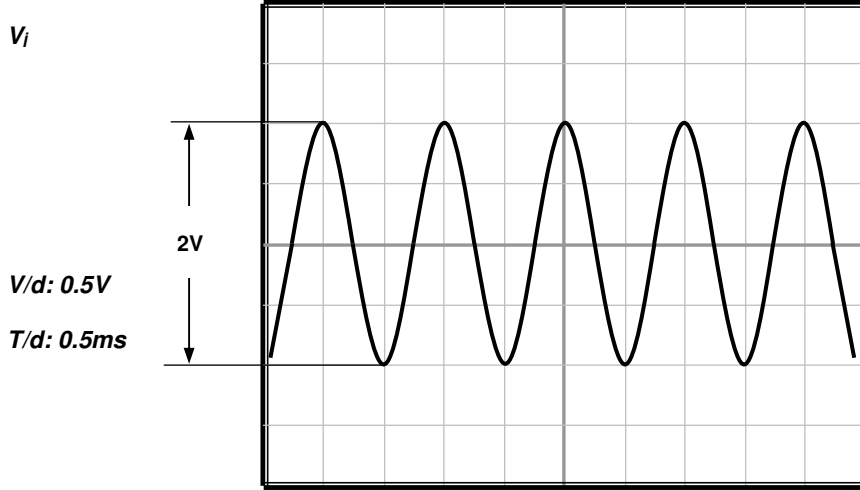
## Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin. A ve B bloğunu bulun.
- 2- Devrenin merkez frekansını ( $f_0$ ) ve band genişliğini (B) hesaplayın.
- 3-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 4- Devrenin girişine  $2V_{pp}$  sinüs dalga sinyali uygulayın.
- 5- Sinyalin frekansını çıkış sinyali genliğinin maksimum olduğu seviyeye ayarlayarak bu değeri  $f_0$  olarak kaydedin.



- 6- Giriş sinyalinin frekansını, çıkış sinyalinin maksimum seviyesinin 0,707' sine düştüğü değerlere kadar band başı ve band sonu için ayarlayın. Giriş sinyalinin bu frekans değerlerini  $f_L$  ve  $f_H$  olarak belirleyin.
- 7- Merkez frekansın altında ve üstünde değişik frekans değerleri için çıkış sinyalini ölçün.

**Gözlem Tablosu:**



Frekans							$f_o = \dots$						
$V_o$													

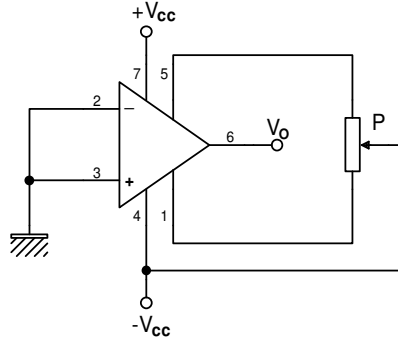
$f_L$	$f_o$	$f_H$	$B = f_H - f_L$

**KONU** : İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER  
**DENEY ADI** : OFSET AYARININ YAPILMASI

**DENEY NO: 19**

### Giriş:

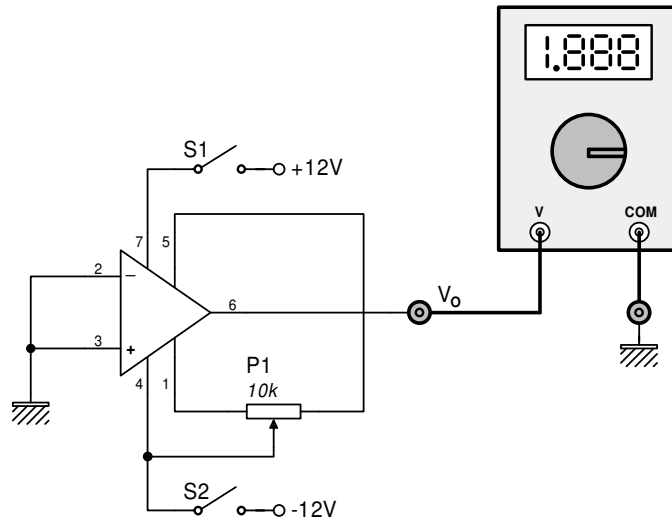
Geri beslemesiz OP AMP kazancının çok yüksek olması nedeniyle, girişlerin eşit olduğu durumda dahi çıkış gerilimi sıfır olmayabilir. Çoğu uygulama için çok önemli olmayan bu durum, hassas ölçüm gerektiren işlemler için sorun oluşturur. Bu sorunu gidermek amacıyla OP AMP ofset ayarının yapılması gerekir.



**Şekil 1.1 : Ofset ayar devresi**

Görüldüğü gibi OP AMP girişleri birleştirilerek şaselenmiştir. Giriş gerilimleri eşit ve sıfır olduğuna göre, OP AMP' ın çıkış gerilimi de sıfır olmalıdır. Potansiyometre, OP AMP çıkış gerilimi sıfıra düşene dek ayarlanır.

### Deney Şeması:



**Deneyin Yapılışı:**

- 1- **OP 2303** modülünü ana üniteye yerleştirin ve **C** bloğunu bulun.
- 2-  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- OP AMP çıkış gerilimini ölçün.
- 4-  $P_1$  yardımıyla OP AMP çıkış gerilimini sıfıra ayarlayın.
- 5- Ölçüm ve hesaplama sonuçlarını karşılaştırın.

**Gözlem Tablosu:**

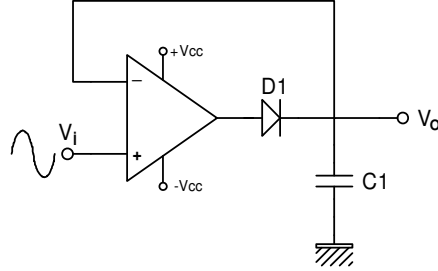
OP AMP çıkış gerilimi	
Ofset ayarından önce	Ofset ayarından sonra

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : PEAK DEDEKTÖR DEVRESİ

**DENEY NO:** 20

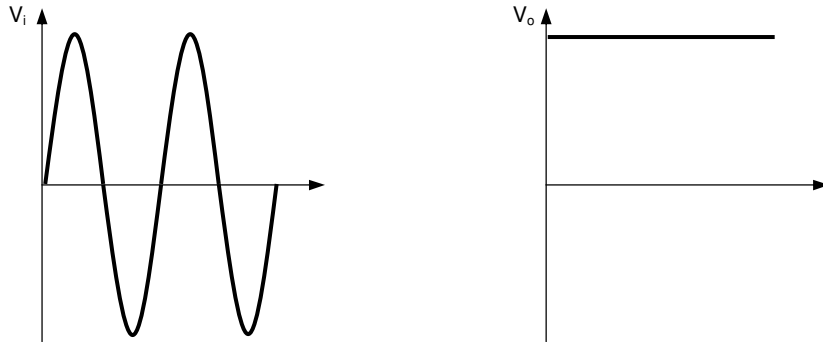
**Giriş:**

Şekil 17.1’ de peak (tepe) dedektör devresi görülmektedir.



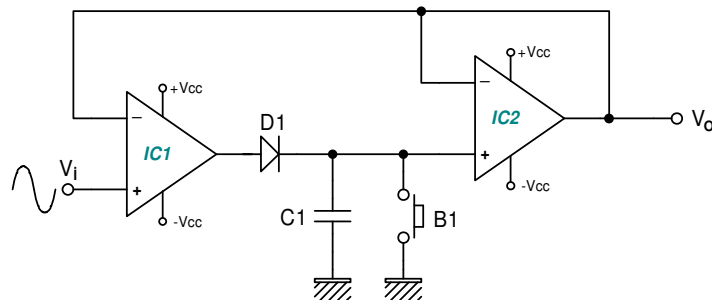
**Şekil 17.1 : Pozitif tepe dedektör devresi**

Bir ac sinyalin tepe değerini ölçmek ve bu sonucu tutmak için peak (tepe) dedektör devreleri kullanılır. Şekil 17.1’ de görülen devre temelde pozitif çıkışlı yarım dalga doğrultucudur. Doğrultucu çıkışına ilave edilmiş olan  $C_1$  kondansatörü giriş gerilimi pozitif alternansının tepe değerine şarj olur ve negatif alternans boyunca bu değeri tutar (şekil 17.2).



**Şekil 17.2 : Pozitif tepe dedektör giriş-çıkış sinyalleri**

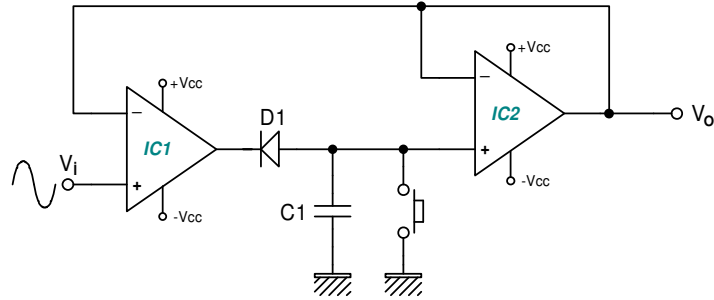
Ancak çıkışa bağlanacak yükün çekeceği akım neticesinde  $C_1$  kondansatörü deşarj olmaya başlayacağından, devrenin çıkış gerilimi, giriş gerilimi tepe değerinin altına iner. Bu sakıncayı gidermek üzere şekil 17.1’ deki devrenin çıkışına tampon amaçlı gerilim izleyici devresi ilave edilir (şekil 17.3).



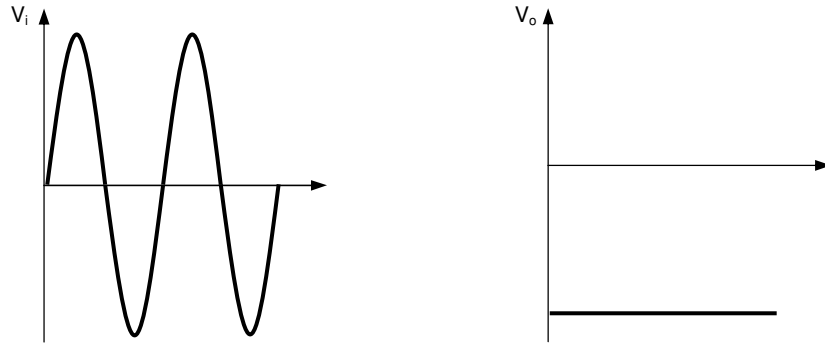
**Şekil 17.3 : Pozitif tepe dedektör devresi (tampon çıkışlı)**

Şekil 17.3' de görüldüğü gibi devrede iki tane OP AMP kullanılmıştır. IC<sub>1</sub>, ve D<sub>1</sub> elemanlarından oluşan bölüm aslında pozitif çıkışlı yarım dalga doğrultucudur. Giriş geriliminin pozitif alternansında D<sub>1</sub> iletimdedir ve C<sub>1</sub> kondansatörü pozitif tepe değerine şarj olur. Bundan sonra giriş gerilimi düşse dahi C<sub>1</sub> kondansatörü mevcut tepe değerini tutmaya devam eder. IC<sub>2</sub> entegresi ise C<sub>1</sub> ile çıkış arasında tampon oluşturarak C<sub>1</sub>' in deşarjını önler. C<sub>1</sub>' in istenildiği zaman deşarj edilmesini sağlamak üzere B<sub>1</sub> butonu kullanılmıştır.

Devrede kullanılan diyotun yönü değiştirilerek negatif tepe dedektör devresi elde edilebilir. Bu kez devre giriş geriliminin negatif tepe değerini tutma işlemini gerçekleştirir. Böyle bir devre şekil 17.4' de ve devreye ait sinyal şekilleri şekil 17.5' de görülmektedir.

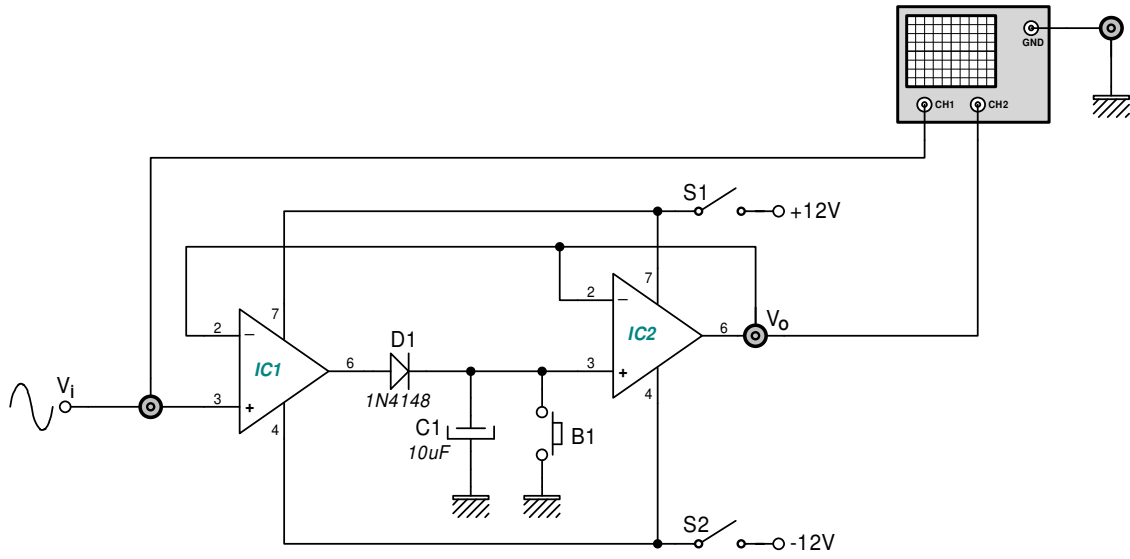


Şekil 17.4 : Negatif tepe dedektör devresi (tampon çıkışlı)



Şekil 17.5 : Negatif tepe dedektör giriş-çıkış sinyalleri

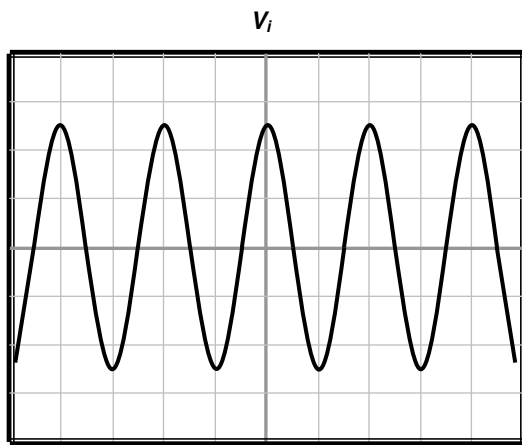
## Deney Şeması:



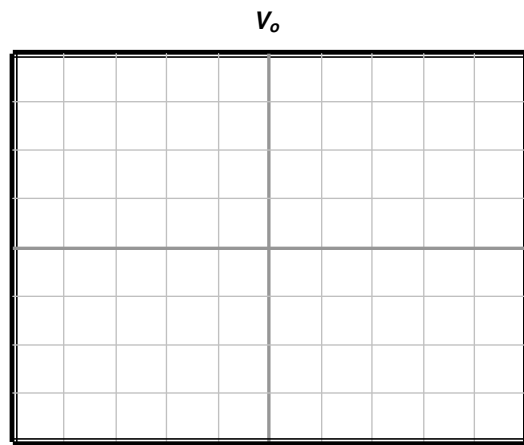
## Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin ve D bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- S<sub>3</sub> anahtarını 1 nolu konuma alarak devrenin girişine **10V<sub>pp</sub>/100Hz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 4- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 5- Giriş sinyalinin genliğini **1V<sub>pp</sub>/100Hz** e düşürerek çıkış sinyalini izlemeye devam edin. Çıkış sinyalinde değişim olup olmadığını gözlemleyin.
- 6- B<sub>1</sub> butonuna kısa süreli basarak devreyi resetleyin. Çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.

## Gözlem Tablosu:

Giriş 10V<sub>pp</sub>/100Hz

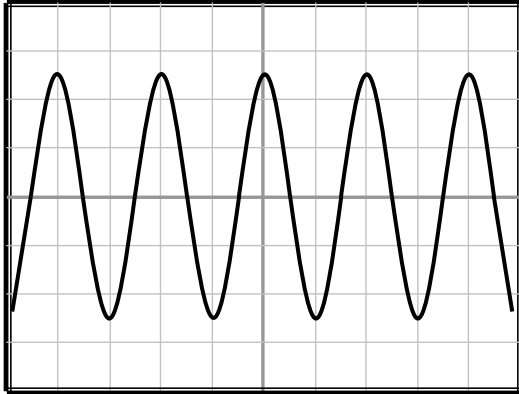
V/d: 2V T/d: 5ms



V/d: T/d:

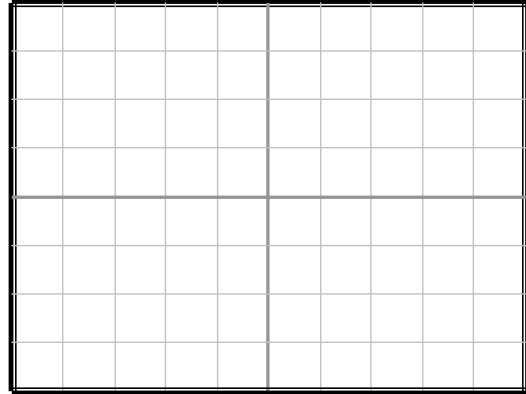
Giriş  $1V_{pp}/100Hz$ ' e düşürüldüğünde (butona basılmamış)

$V_i$



$V/d: 0.2V$   $T/d: 5ms$

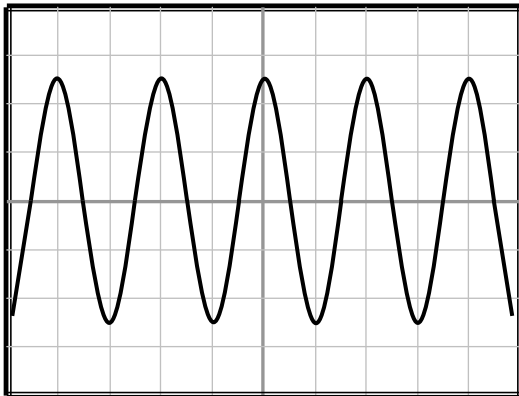
$V_o$



$V/d:$   $T/d:$

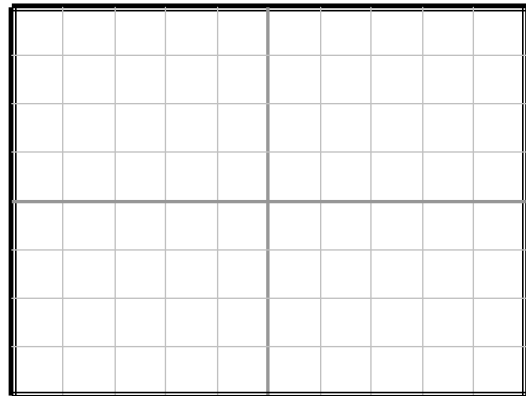
Giriş  $1V_{pp}/100Hz$ ' e düşürülüp butona basıldıktan sonra

$V_i$



$V/d: 0.2V$   $T/d: 5ms$

$V_o$



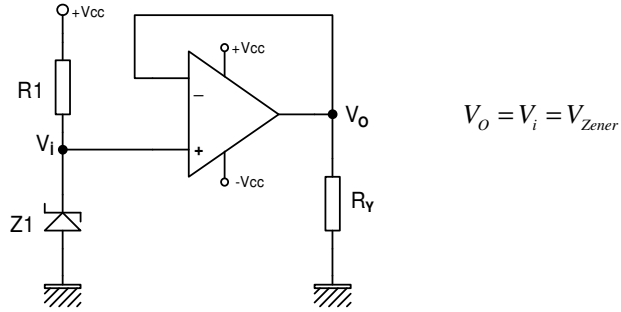
$V/d:$   $T/d:$

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : SABİT GERİLİM DEVRESİ

**DENEY NO: 21**

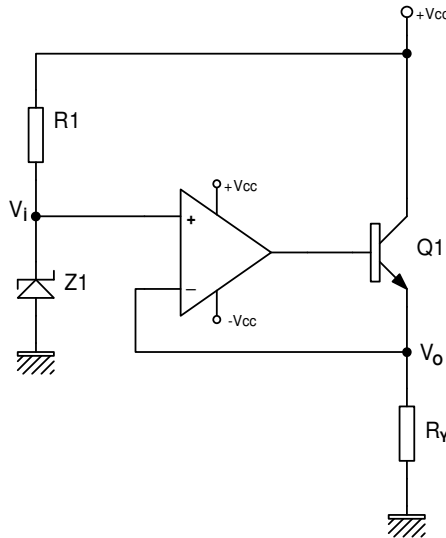
**Giriş:**

Sabit gerilim devresi devresi şekil 13.1’ de görülmektedir.



**Şekil 13.1 : Sabit gerilim devresi**

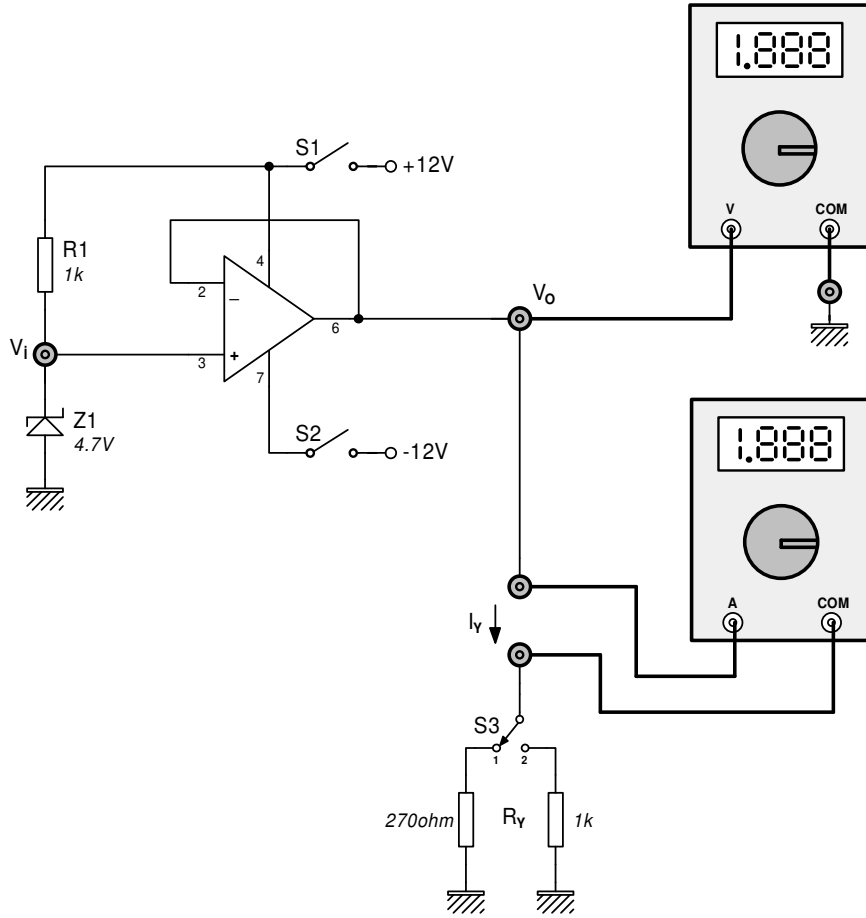
Sabit gerilim devresi, gerilim regülasyonu sağlamak için kullanılır. Bu devre, çıkışındaki gerilimi besleme gerilimi ve yükün çektiği akımdaki değişimlere karşı sabit tutmaktır. Devre temelde gerilim izleyici olup, çıkış gerilimi evirmeyen girişteki zener gerilimi değerine eşit olacaktır. Çıkışa bağlanan yük direncinin çekeceği akım değişimleri (OP AMP’ ın verebileceği maksimum akım sınırı içinde) devrenin çıkış gerilimini etkilemeyecektir. OP AMP çıkışına transistör ilave edilerek, devrenin daha büyük yük akımlarını karşılaması sağlanabilir (şekil 13.2).



**Şekil 13.2 : Transistör çıkışlı sabit gerilim devresi**



### Deney Şeması:



### Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin ve E bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- S<sub>3</sub> anahtarını 1 nolu konuma alın.
- 4- Yük akımı ve çıkış gerilimi değerlerini ölçerek gözlem tablosuna kaydedin.
- 5- S<sub>3</sub> anahtarını 2 nolu konuma alarak gözlemlerinizi tekrarlayın.
- 6- Yük direnci (R<sub>Y</sub>) değerinin değişmesi çıkış gerilimini etkiliyor mu? Gözlemleyin.

### Gözlem Tablosu:

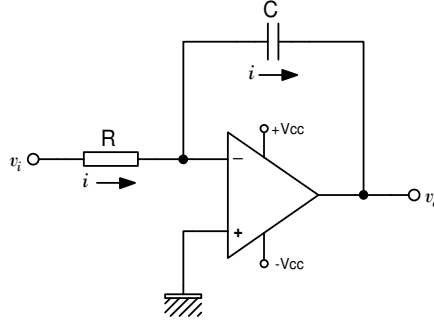
	V <sub>o</sub>	I <sub>Y</sub>
R <sub>Y</sub> =270ohm		
R <sub>Y</sub> =1k		

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : İNTEGRAL DEVRESİ

**DENEY NO: 22**

**Giriş:**

İntegral devresi şekil 22.1’ de görülmektedir.



**Şekil 22.1 : İntegral devresi**

OP AMP girişleri akım çekmediğinden, devredeki direnç ve kondansatör üzerinden geçen akımlar birbirine eşittir.

$$i = \frac{v_i}{R} \quad \text{ve} \quad i = C \frac{dv_c}{dt}$$

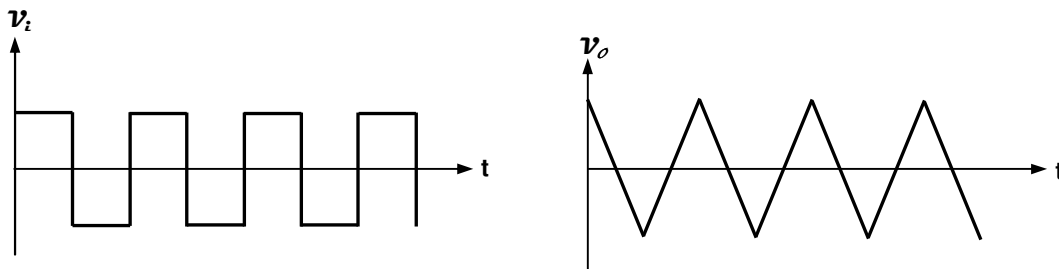
Devrenin çıkış gerilimi kondansatör üzerindeki gerilime eşit olup  $180^\circ$  faz farklıdır. Buna göre devrenin çıkış gerilimi,

$$v_c = -v_o$$

$$\frac{v_i}{R} = -C \frac{dv_o}{dt}$$

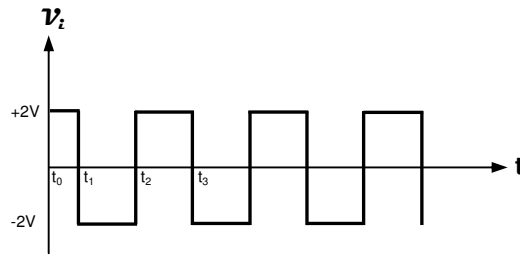
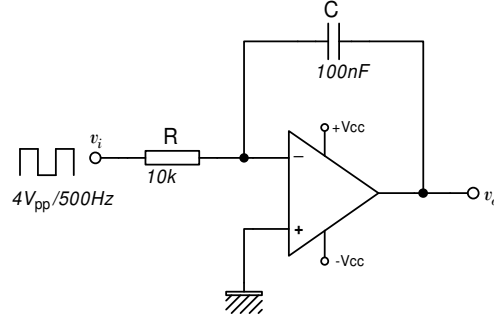
$$v_o = -\frac{1}{RC} \int v_i dt + v_{o(\text{ilk})} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Görüldüğü gibi çıkış gerilimi, hem giriş geriliminin genliğine (yükseklik) hem de zamana (genişlik) bağlıdır. Dolayısıyla bu bir grafiğin alan ölçümüdür. Devre, girişine uygulanan kare dalgayı üçgen dalgaya çevirirken, girişine uygulanan üçgen dalgayı ise sinüse çevirir. Ayrıca girişe uygulanan sinüs dalga sinyaller için alçak geçiren filtre olarak çalışır.



**Şekil 22.2 : İntegral devresi giriş-çıkış sinyalleri**

**Örnek 22.1:** Şekildeki devrenin çıkış sinyalini çiziniz.



Devre girişine uygulanan kare dalga sinyalin frekansı 500Hz olduğuna göre, periyodu

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 0,002s = 2ms$$

$t_0$ - $t_1$  aralığı, bir alternansın yarısı yani bir periyodun dörtte biri olup 0,5ms' dir.

$t_0 \leq t \leq t_1$  aralığı için

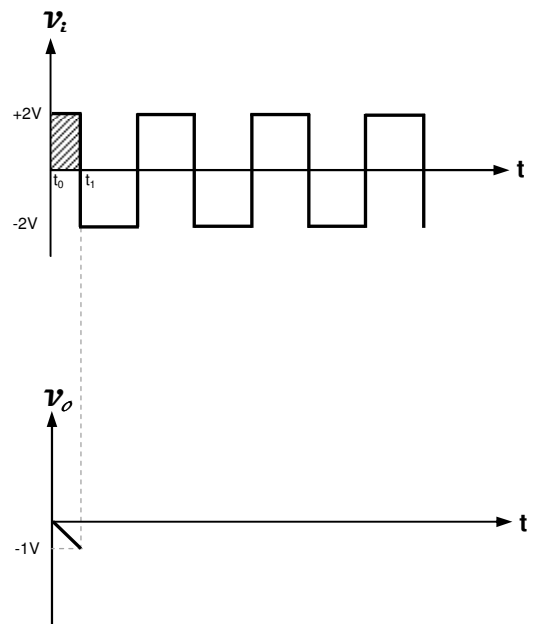
$$v_{o(t_1)} = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} v_i dt + v_{o(t_0)}$$

$$v_{o(t_1)} = -\frac{1}{RC} \cdot v_i (t_1 - t_0) + v_{o(t_0)}$$

$$v_{o(t_1)} = -\frac{v_i (t_1 - t_0)}{RC} + v_{o(t_0)}$$

$$v_{o(t_1)} = -\frac{+2(0,5 \cdot 10^{-3})}{(10 \cdot 10^3)(100 \cdot 10^{-9})} + 0$$

$$v_{o(t_1)} = -1V$$



$t_1$ - $t_2$  aralığı, bir alternans yani bir periyodun yarısı olup 1ms' dir.

$t_1 \leq t \leq t_2$  aralığı için

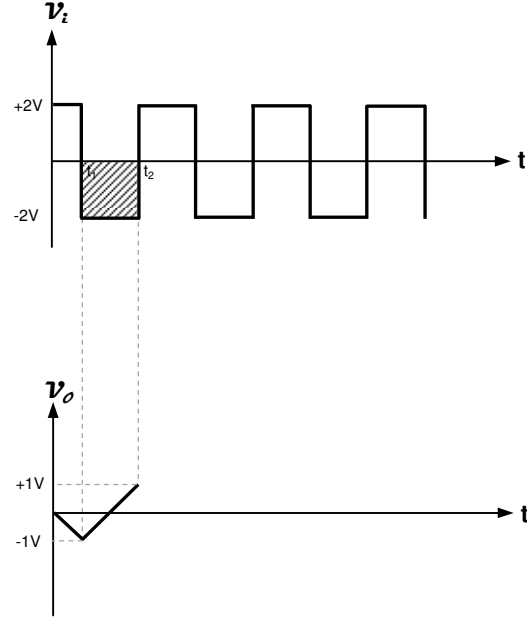
$$v_{o(t_2)} = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} v_i dt + v_{o(t_1)}$$

$$v_{o(t_2)} = -\frac{1}{RC} \cdot v_i (t_2 - t_1) + v_{o(t_1)}$$

$$v_{o(t_2)} = -\frac{v_i (t_2 - t_1)}{RC} + v_{o(t_1)}$$

$$v_{o(t_2)} = -\frac{-2(1.10^{-3})}{(10.10^3)(100.10^{-9})} + (-1)$$

$$v_{o(t_2)} = +1V$$



$t_2$ - $t_3$  aralığı, bir alternans yani bir periyodun yarısı olup 1ms' dir.

$t_2 \leq t \leq t_3$  aralığı için

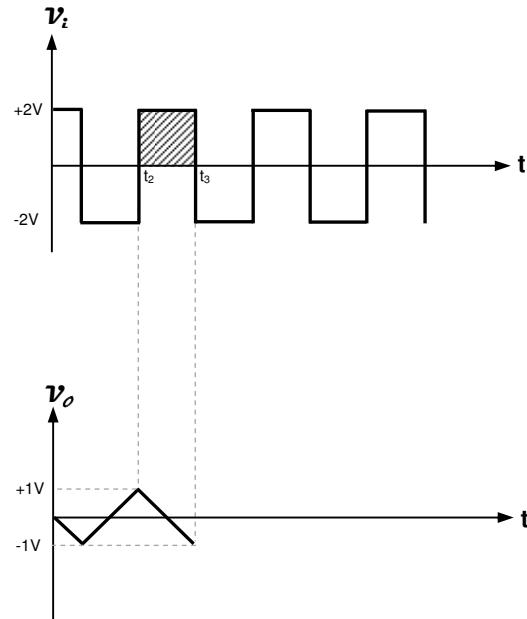
$$v_{o(t_3)} = -\frac{1}{RC} \int_{t_2}^{t_3} v_i dt + v_{o(t_2)}$$

$$v_{o(t_3)} = -\frac{1}{RC} \cdot v_i (t_3 - t_2) + v_{o(t_2)}$$

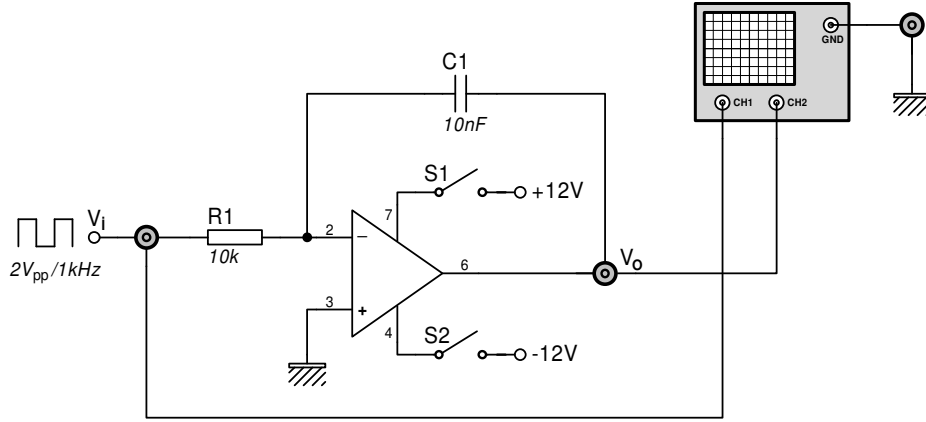
$$v_{o(t_3)} = -\frac{v_i (t_3 - t_2)}{RC} + v_{o(t_2)}$$

$$v_{o(t_3)} = -\frac{+2(1.10^{-3})}{(10.10^3)(100.10^{-9})} + (+1)$$

$$v_{o(t_3)} = -1V$$



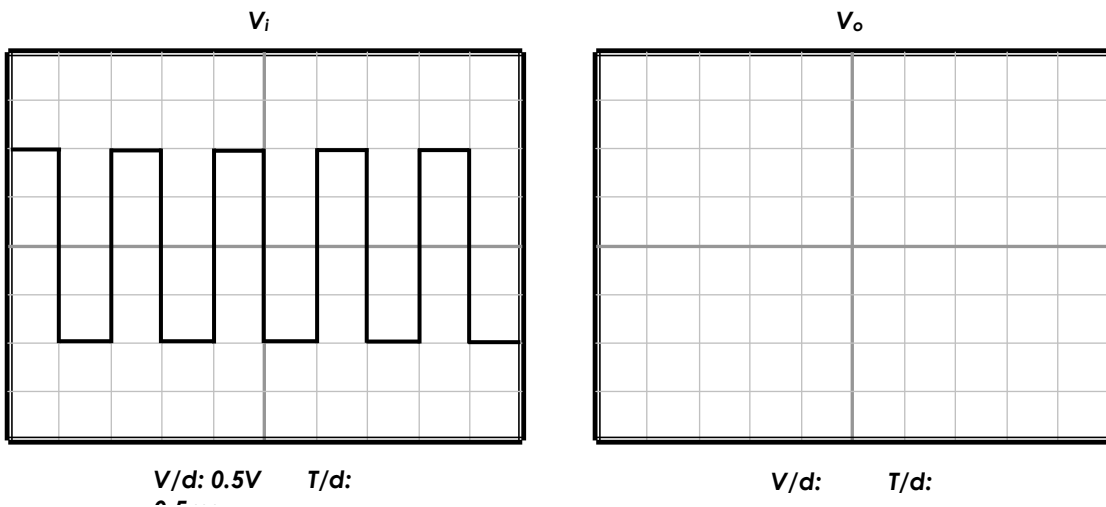
## Deney Şeması:



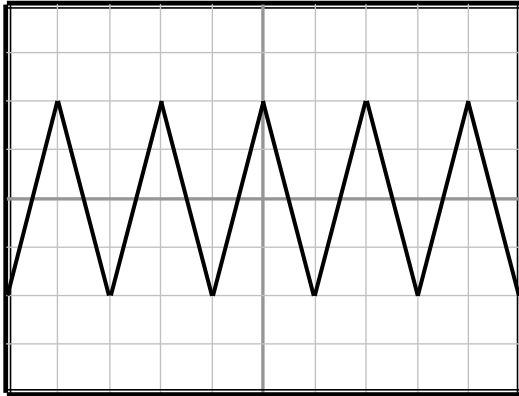
## Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin ve F bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- Devrenin girişine **2V<sub>pp</sub>/1kHz** kare dalga sinyal uygulayın.
- 4- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 5- Giriş sinyalinin frekansını arttırarak çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.
- 6- Devrenin girişine **2V<sub>pp</sub>/1kHz** üçgen dalga sinyal uygulayın.
- 7- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 8- Giriş sinyalinin frekansını arttırarak çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.
- 9- Devrenin girişine **2V<sub>pp</sub>/1kHz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 10- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 11- Giriş sinyalinin frekansını arttırarak çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.

## Gözlem Tablosu:

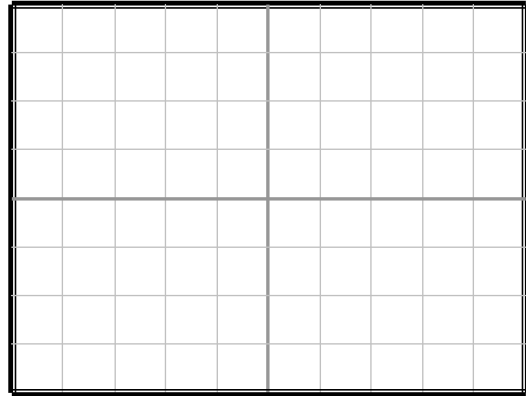


$V_i$



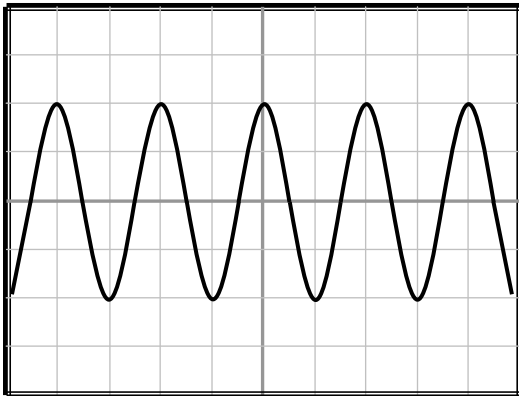
$V/d: 0.5V$   $T/d:$

$V_o$



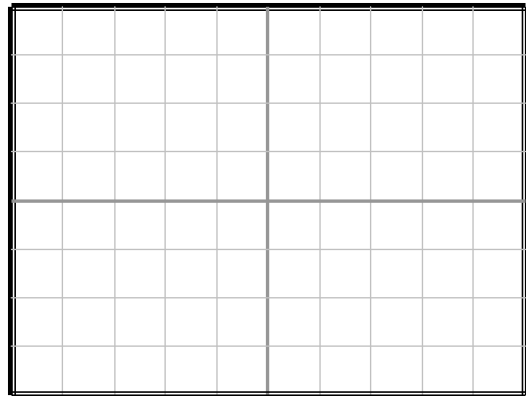
$V/d:$   $T/d:$

$V_i$



$V/d: 0.5V$   $T/d:$

$V_o$



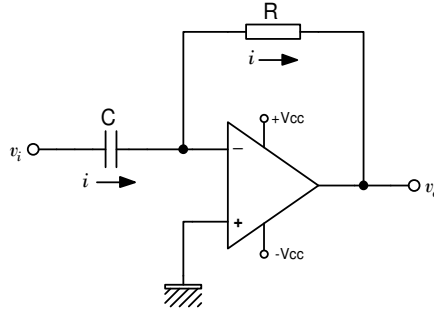
$V/d:$   $T/d:$

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : TÜREV DEVRESİ

**DENEY NO: 23**

**Giriş:**

Türev devresi şekil 23.1' de görülmektedir.



**Şekil 23.1 : Türev devresi**

OP AMP girişleri akım çekmediğinden, devredeki direnç ve kondansatör üzerinden geçen akımlar birbirine eşittir.

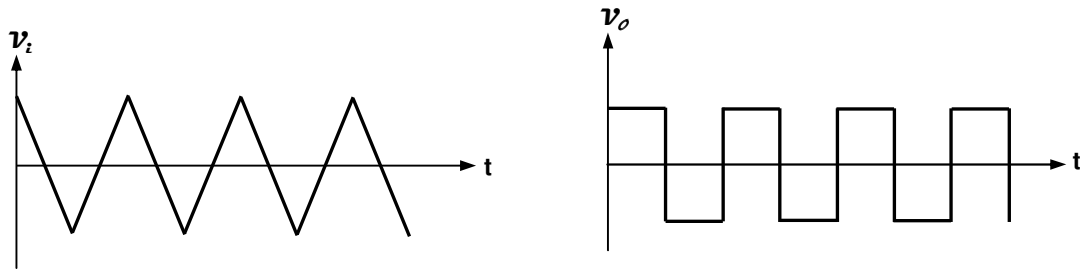
$$i = C \frac{dv_i}{dt}$$

Devrenin çıkış gerilimi direnç üzerindeki gerilime eşit olup  $180^\circ$  faz farklıdır. Buna göre devrenin çıkış gerilimi,

$$v_o = -R.i$$

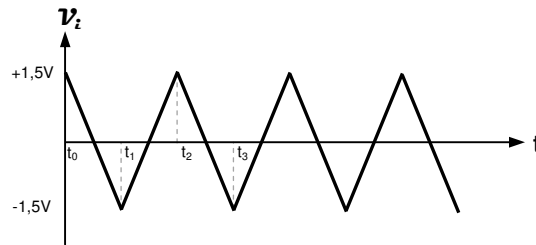
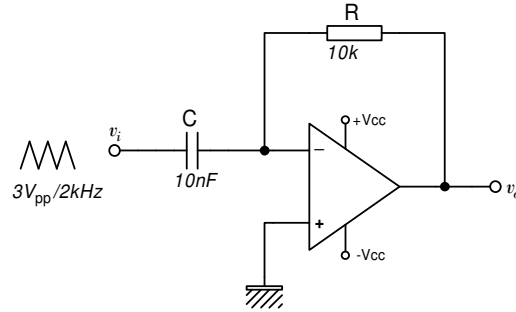
$$v_o = -R.C \frac{dv_i}{dt} \quad \text{olarak bulunur.}$$

$dv_i/dt$  ifadesi giriş sinyalinin türevi olup, çıkış gerilimini doğrudan belirlemektedir. Devre, girişine uygulanan üçgen dalgayı kare dalgaya çevirirken, girişine uygulanan kare dalgayı ise pozitif ve negatif palslere çevirmektedir. Ayrıca girişe uygulanan sinüs dalga sinyaller için yüksek geçiren filtre olarak çalışır.



**Şekil 23.2 : Türev devresi giriş-çıkış sinyalleri**

**Örnek 23.1:** Şekildeki devrenin çıkış sinyalini çiziniz.



Devre girişine uygulanan üçgen dalga sinyalin frekansı 2kHz olduğuna göre, periyodu

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2000} = 0,0005s = 0,5ms$$

$t_0-t_1$  aralığı, bir periyodun yarısı olup 0,25ms' dir.

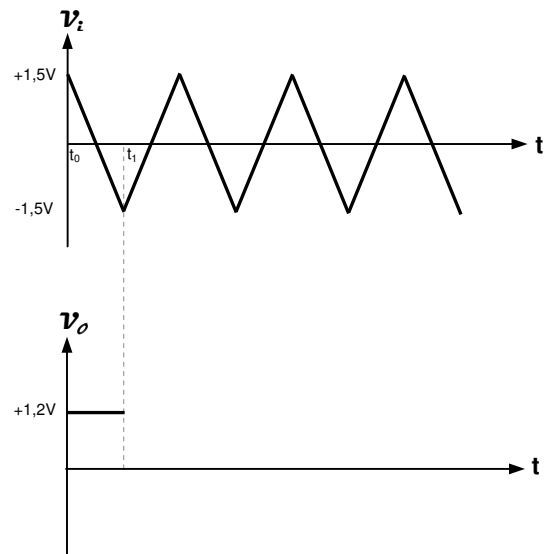
$t_0 \leq t \leq t_1$  aralığı için

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = \frac{v_{i(t_1)} - v_{i(t_0)}}{t_1 - t_0} = \frac{(-1,5 - 1,5)}{0,25 \cdot 10^{-3}} = -12000$$

$$v_{o(t_1)} = -R \cdot C \frac{dv_i}{dt}$$

$$v_{o(t_1)} = -(10 \cdot 10^3)(10 \cdot 10^{-9})(-12000)$$

$$v_{o(t_1)} = +1,2V$$





$t_1$ - $t_2$  aralığı, bir periyodun yarısı olup 0,25ms' dir.

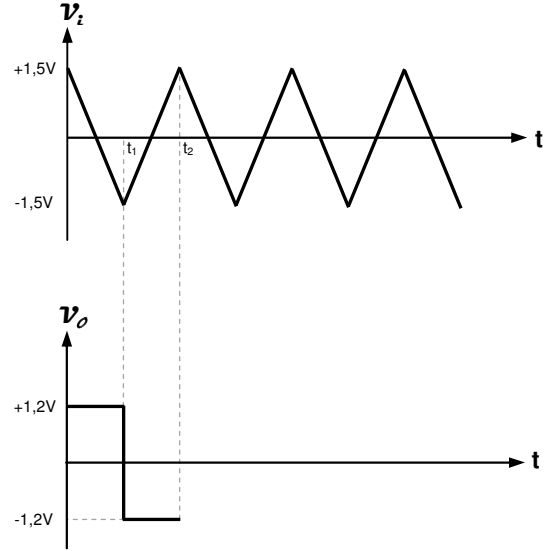
$t_1 \leq t \leq t_2$  aralığı için

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = \frac{v_{i(t_2)} - v_{i(t_1)}}{t_2 - t_1} = \frac{(1,5 - (-1,5))}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 12000$$

$$v_{o(t_2)} = -R.C \frac{dv_i}{dt}$$

$$v_{o(t_2)} = -(10 \cdot 10^3)(10 \cdot 10^{-9})(12000)$$

$$v_{o(t_2)} = -1,2V$$



$t_2$ - $t_3$  aralığı, bir periyodun yarısı olup 0,25ms' dir.

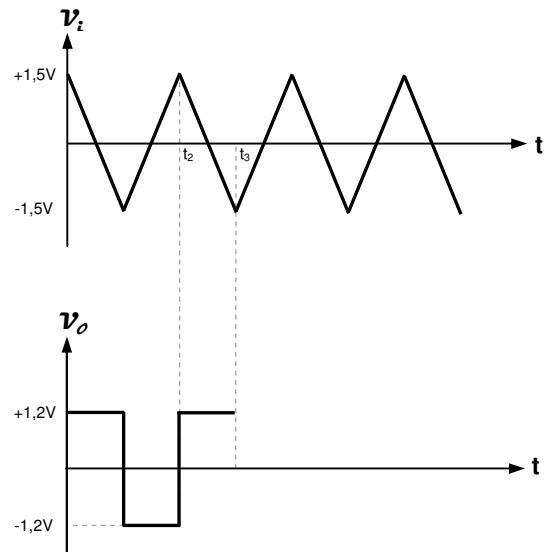
$t_2 \leq t \leq t_3$  aralığı için

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = \frac{v_{i(t_3)} - v_{i(t_2)}}{t_3 - t_2} = \frac{(-1,5 - 1,5)}{0,25 \cdot 10^{-3}} = -12000$$

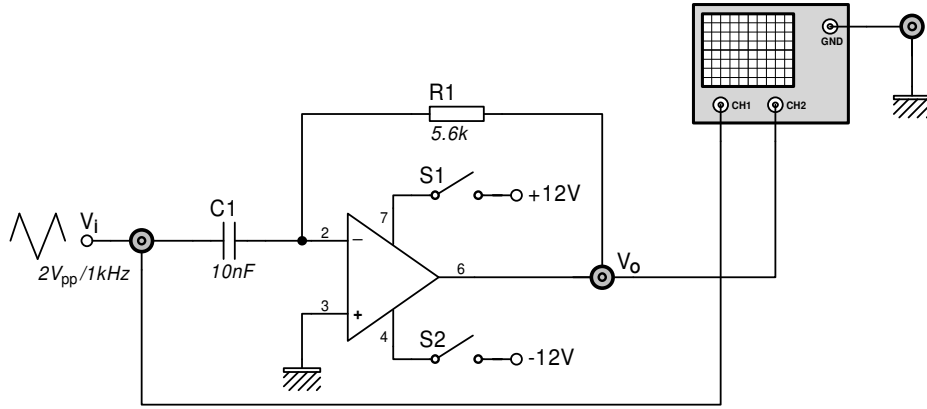
$$v_{o(t_3)} = -R.C \frac{dv_i}{dt}$$

$$v_{o(t_3)} = -(10 \cdot 10^3)(10 \cdot 10^{-9})(-12000)$$

$$v_{o(t_3)} = +1,2V$$



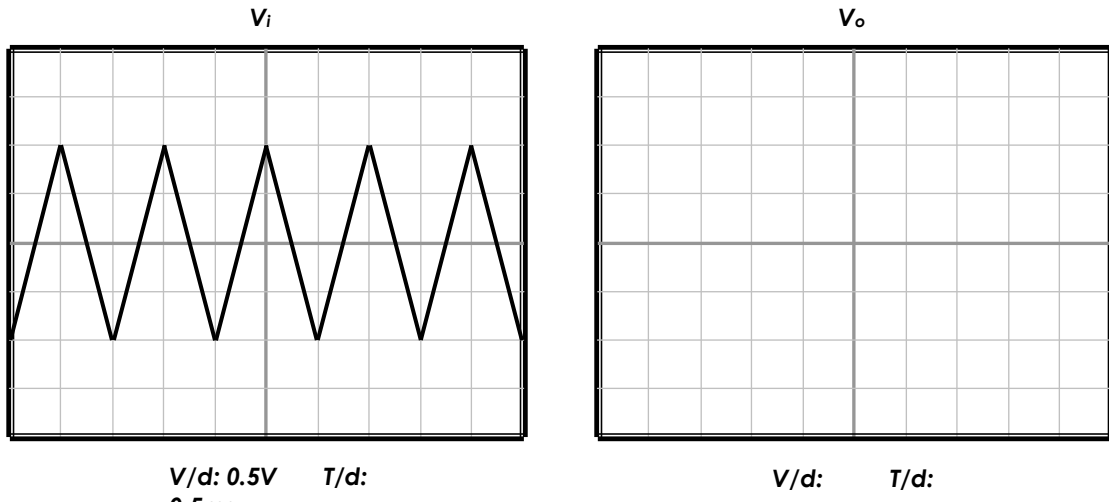
## Deney Şeması:



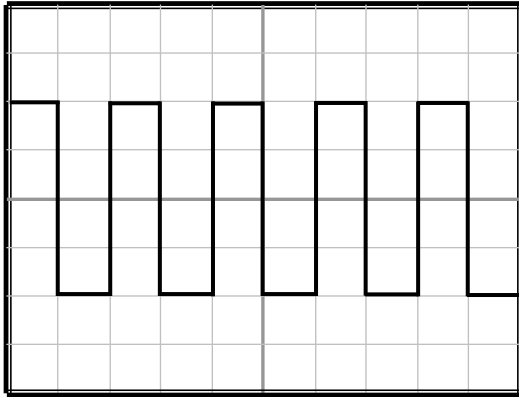
## Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin ve G bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- Devrenin girişine **2V<sub>pp</sub>/1kHz** üçgen dalga sinyal uygulayın.
- 4- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 5- Giriş sinyalinin frekansını arttırarak çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.
- 6- Devrenin girişine **2V<sub>pp</sub>/1kHz** kare dalga sinyal uygulayın.
- 7- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 8- Giriş sinyalinin frekansını arttırarak çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.
- 9- Devrenin girişine **2V<sub>pp</sub>/1kHz** sinüs dalga sinyal uygulayın.
- 10- Devrenin çıkışını osilaskopla ölçerek, çıkış sinyalini çiziniz.
- 11- Giriş sinyalinin frekansını arttırarak çıkış sinyalindeki değişimi gözlemleyin.

## Gözlem Tablosu:

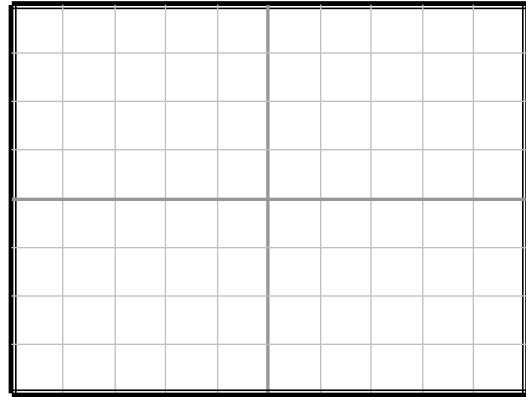


$V_i$



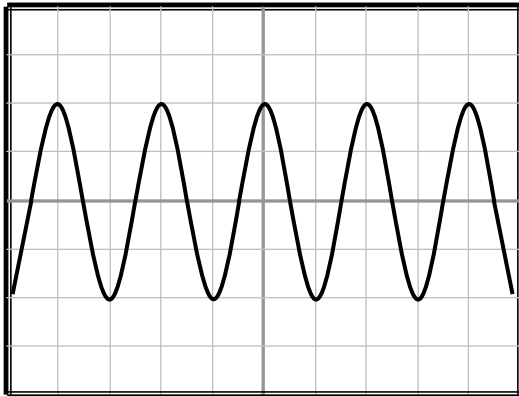
$V/d: 0.5V$   $T/d:$

$V_o$



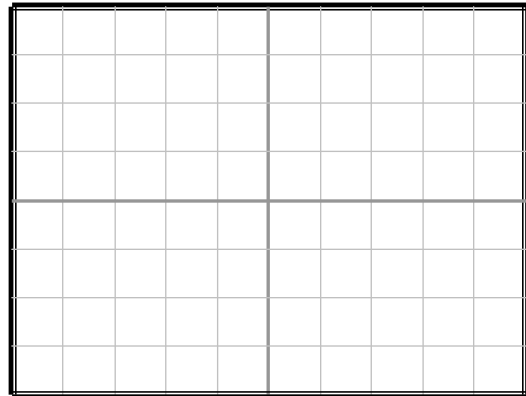
$V/d:$   $T/d:$

$V_i$



$V/d: 0.5V$   $T/d:$

$V_o$



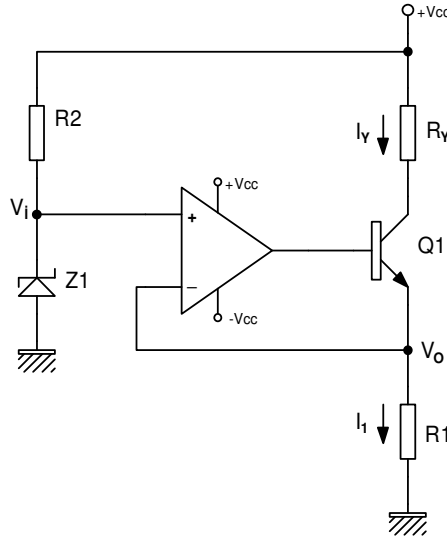
$V/d:$   $T/d:$

**KONU** : OP AMP DENEYLERİ  
**DENEY ADI** : SABİT AKIM DEVRESİ

**DENEY NO: 25**

**Giriş:**

Sabit akım devresi devresi şekil 14.1' de görülmektedir.



**Şekil 14.1 : Sabit akım devresi**

Sabit akım devresi, herhangi bir yükten geçen akımın istenilen değerde sabit tutulması için kullanılmaktadır. Şekil 14.1' de görülen devrede, zener diyot sabit gerilim elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Temelde gerilim izleyici olarak çalışan bu devrede çıkış gerilimi yaklaşık olarak zener gerilimine eşittir. Zener gerilimi sabit olduğuna göre, çıkış gerilimi de sabit olacak ve buna bağlı olarak  $R_1$  direncinden sabit değerli bir akım geçecektir. Bir transistörde kolektör akımının hemen hemen emiter akımına eşit olduğu hatırlanacak olursa, devreye ait eşitlikler,

$$I_1 = \frac{V_0}{R_1}$$

$$V_0 \approx V_i = V_{Zener}$$

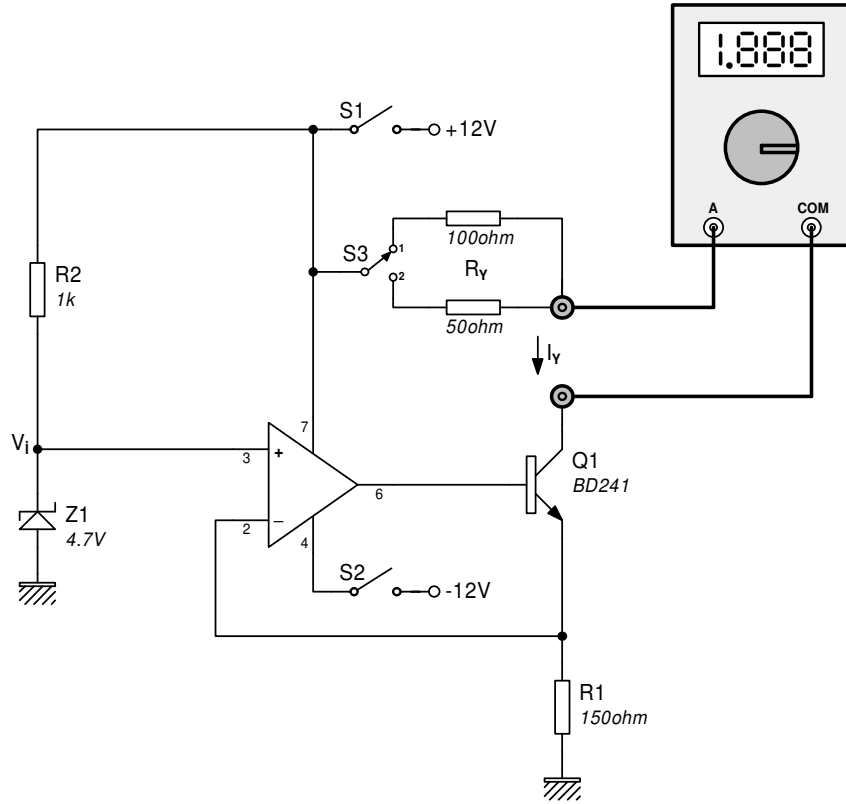
$$I_1 = \frac{V_i}{R_1}$$

$$I_Y \approx I_1$$

$$I_Y = \frac{V_i}{R_1}$$

Görüldüğü gibi yük direncinden geçen akım giriş geriliminin  $R_1$  direncine oranına eşit olup sabittir. Transistörün kolektör terminaline bağlanacak yükün direnci, transistörün emiter akımını ve buna bağlı olarak kendi üzerinden geçen akımı etkilemeyecektir. Ancak burada hatırlanmalı ki, saturasyon durumuna sebep olabilecek yanlış bir eleman seçimi, devrenin çalışma şartlarını olumsuz yönde etkileyecek ve beklenen sonuçların alınmasını engelleyecektir.

### Deney Şeması:



### Deneyin Yapılışı:

- 1- OP 2303 modülünü ana üniteye yerleştirin ve H bloğunu bulun.
- 2- S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> anahtarlarını kapatarak devreye enerji verin.
- 3- S<sub>3</sub> anahtarını 1 nolu konuma alın.
- 4- Yük akımının değerini ölçerek gözlem tablosuna kaydedin.
- 5- S<sub>3</sub> anahtarını 2 nolu konuma alarak gözlemlerinizi tekrarlayın.
- 6- Yük direnci (R<sub>y</sub>) değerinin değişmesi yük akımını etkiliyor mu? Gözlemleyin.

### Gözlem Tablosu:

I <sub>y</sub>		
	Hesaplanan	Ölçülen
R <sub>y</sub> =100ohm		
R <sub>y</sub> =50ohm		