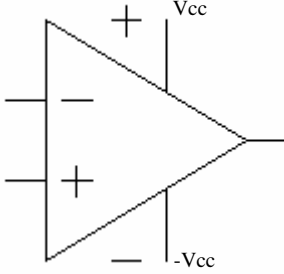


OP-AMP

Op-Ampları İşlemsel Yükselteç (Operational Amplifier)



OP-AMP' lar elektroniğin direkleri olarak görülen direnç, kondansatör, diyot, transistör ve bobinden sonra pek çok elektronik devrede kullanılan bir elemandır. **OP-AMP**' ların bu kadar geniş kullanım alanına sahip olmalarının nedenleri ise;

- 1) Giriş empedansının çok yüksek olması,
- 2) Çıkış empedansının sıfır olması,
- 3) Kazancının sonsuz olması.

Fakat **OP-AMP**' ın bu özellikleri sadece teorik olarak doğrudur. Pratikte bu özelliklere tamamen sahip değildir. Mesela; giriş empedansı mega ohm' lar seviyesindedir ama sonsuz değildir.

OP-AMP' ların beslemesi simetrik ya da tek kaynakla 4 (-) ve 7 (+) pinlerden \pm 5-12 V arasında verilebilir. Çıkış geriliminin maximum değeri ise besleme geriliminin - 1,2 V aşağısıdır.

OP-AMP' ların 2. ve 3. pinleri giriş uçları 6. pini ise çıkış pinidir.

2. pin inverting yani tersleyen giriştir. Bu girişten girilen bilginin 180° 'lik tersi ve istenilen değerdeki yükseltilmiş hali çıkıştan alınır.

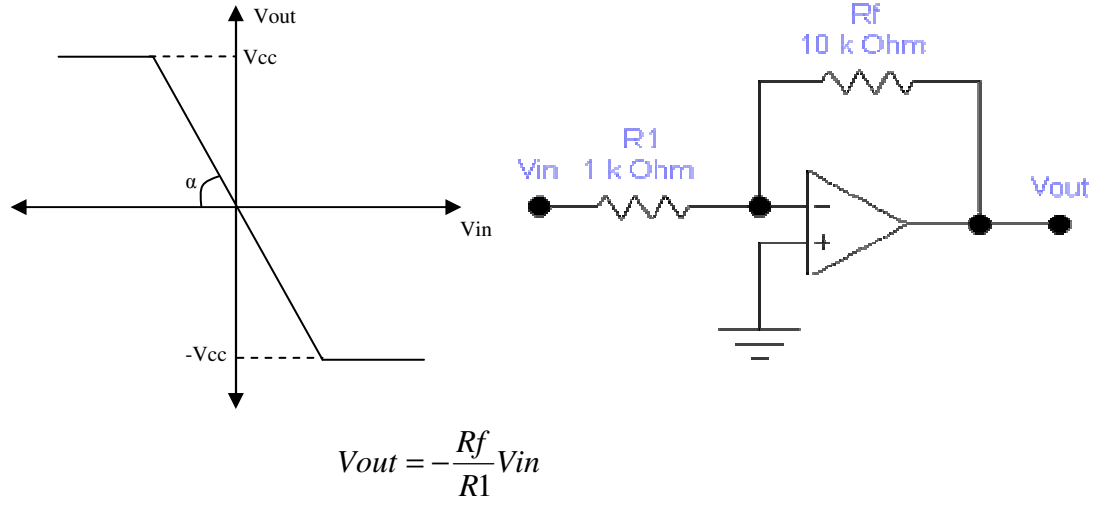
3. pin non-inverting yani terslemeyen giriştir. Bu girişten girilen bilginin istenilen de?erdeki büyütülmüş hali çıkıştan alınır.

OP-AMP' ların en çok kullanıldığı elektronik devreler şunlardır;

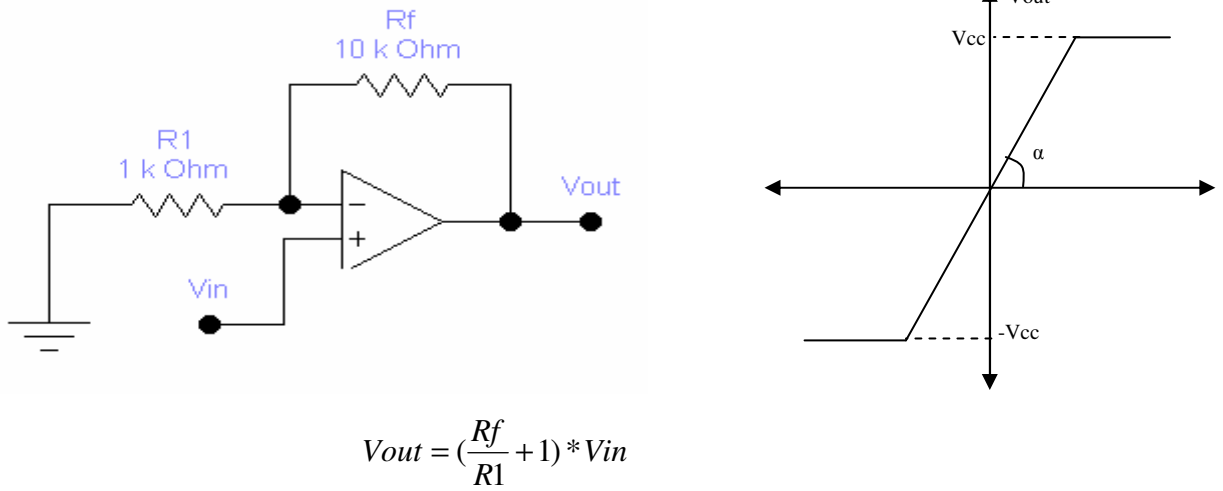
- 1) Inverting yükselteç
- 2) Non-inverting yükselteç
- 3) Gerilim izleyici
- 4) Toplayıcı
- 5) Fark yükseltici
- 6) Karşılaştırıcı
- 7) İntegral alan devre
- 8) Türev alan devre
- 9) Doğrultaç
 - a) Yarım dalga doğrultaç
 - b) Tam dalga doğrultaç
- 10) Logaritmik yükselteç
- 11) Gerilim regülatörü
- 12) Gerilim kontrollü osilatör [1]

Bazı seçilen uygulama devreleri ağıdaki gibidir.

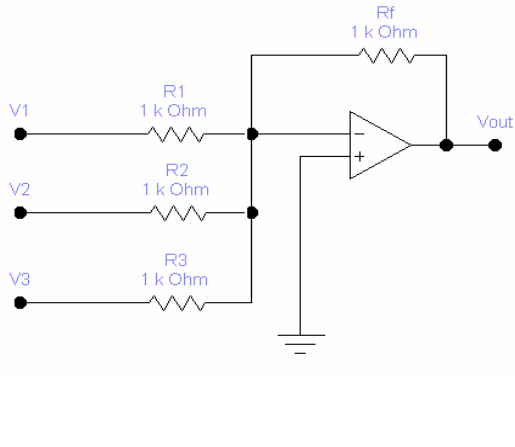
1- Eviren yükselteç olarak Op Amp ın kullanılması



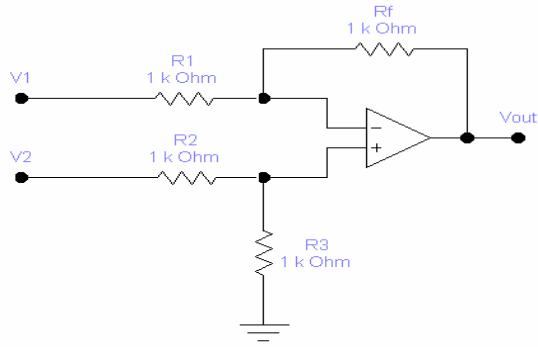
2- Evirmeyen Yükselteç



3- Toplayıcı devre (DAC olarak da kullanılabilir)



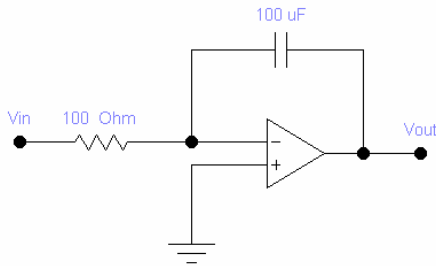
4- Çıkarıcı devre



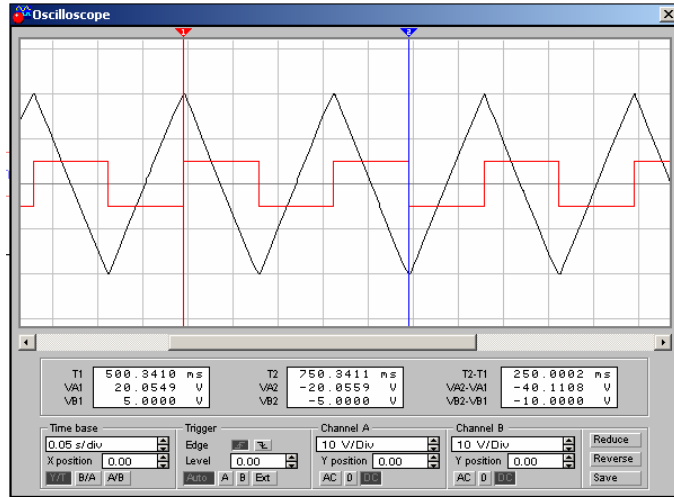
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1} * V_1 + V_2 * \left(\frac{R_3}{(R_2 + R_3)} \right) \left(\frac{(R_1 + R_f)}{R_1} \right)$$

eğer tüm dirençler birbirine eşit seçilirse ;
 $V_{out} = V_2 - V_1$ olur

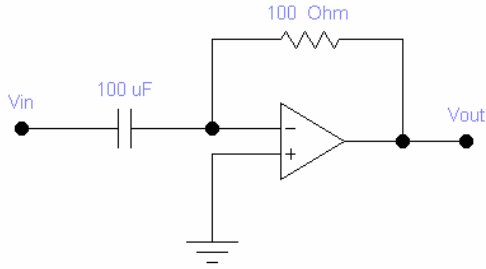
5- İntegratör Devresi



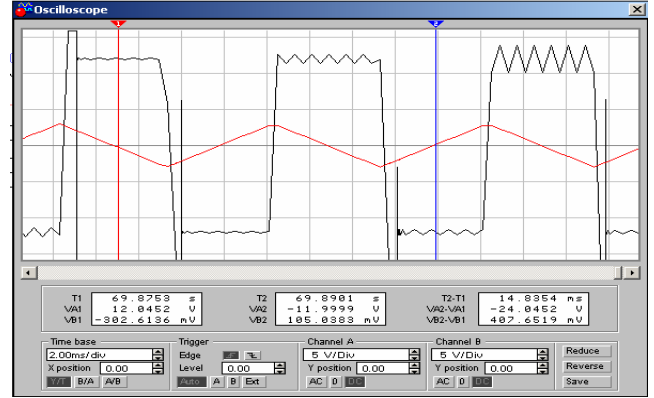
$$V_{out} = -\frac{1}{C} \int I_c dt$$



6- Türev alıcı devre



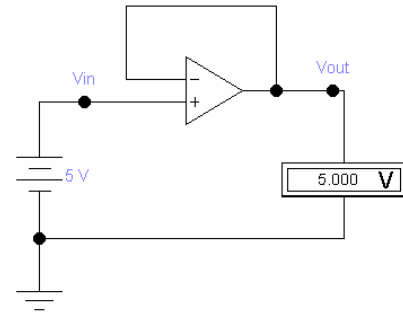
$$V_{out} = C \frac{dV_i}{dt}$$



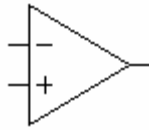
7- Gerilim takip edici

$$V_{out} = V_{in}$$

- Giriş ve çıkış devrelerini birbirinden izole etmek için kullanılır.
- Kuplaj elemanı olarak kullanılır.
- Eğer V_{in} bir güç kaynağı değil ölçülen bir sinyalse, başka bir devreye bağlandığında mutlaka bir yükleme etkisi denilen kayba uğrayacaktır. Bu durumdan kurtulmak için iki devreyi birbirinden ayırmakta kullanılır.

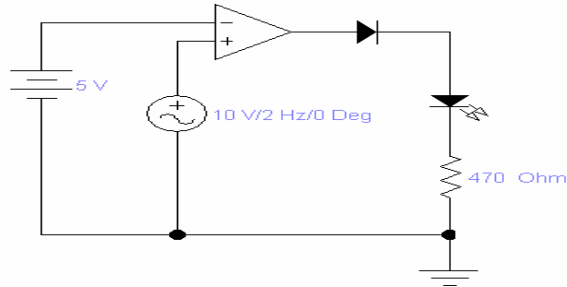


8. Karşılaştırıcı

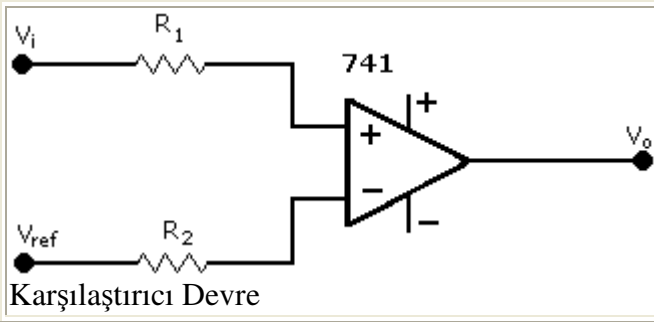


opamp tek başına kullanıldığında çok basit bir kıyaslayıcı olarak çalışır. Eğer - tarafındaki gerilim + tarafındakinden büyükse sonuç $-V_{CC}$ olur. Tam tersi ise sonuç $+V_{CC}$ olur. Bu şekilde giriş uçlarındaki gerilim karşılaştırılmış olunur. Aşağıdaki örnek devrede LED + taraftaki gerilim 5 volt ve üzeri olduğu

zaman bize bir sinyal verir.



Karşılaştırıcı (Comparator) Olarak Kullanılması [3]



Yandaki şekilde devre (-) giriş ucuna uygulanan V_{ref} (referans voltajı) sinyaliyle (+) uca uygulanan V_i sinyali karşılaştırır. İki sinyal arasındaki fark çok küçük olsa dahi 200.000 ile çarpılarak çıkışa aktarılır. Pratikte, açık çevrim kazancını sınırlayan faktör $+V$, $-V$ besleme voltaj değerleri olduğu için çıkıştan

yaklaşık $+V$ veya $-V$ gerilim değeri kadar sinyal alınır.

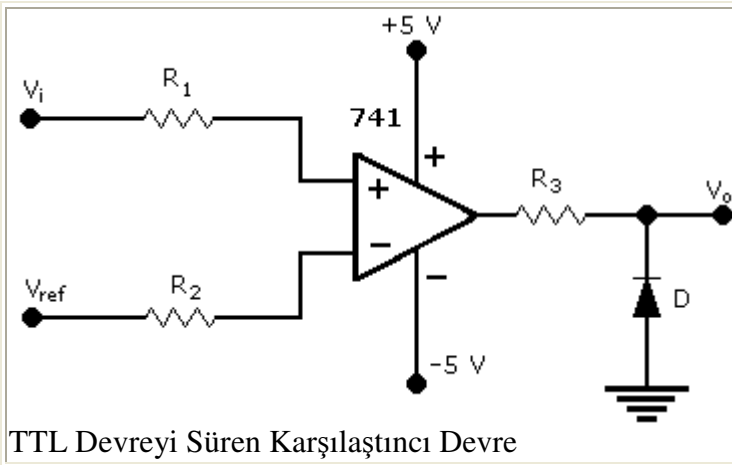
Bu devrede;

$V_i > V_{ref}$ olursa, çıkıştan yaklaşık $+V$ değeri alınır. ($V_o = +V$)

$V_i < V_{ref}$ olursa, çıkıştan yaklaşık $-V$ değeri alınır. ($V_o = -V$)

Devre bu haliyle, non-inverting çalışma Özelliğindedir. Çünkü, V_i sinyali, faz çevirmeyen giriş olan (+) giriş ucuna uygulanmıştır.

Eğer, referans işareti OP-AMP'ın (+) giriş ucuna, V_i işareti de (-) giriş ucuna uygulanırsa OP-AMP, inverting yükselteç çalışması yapar.



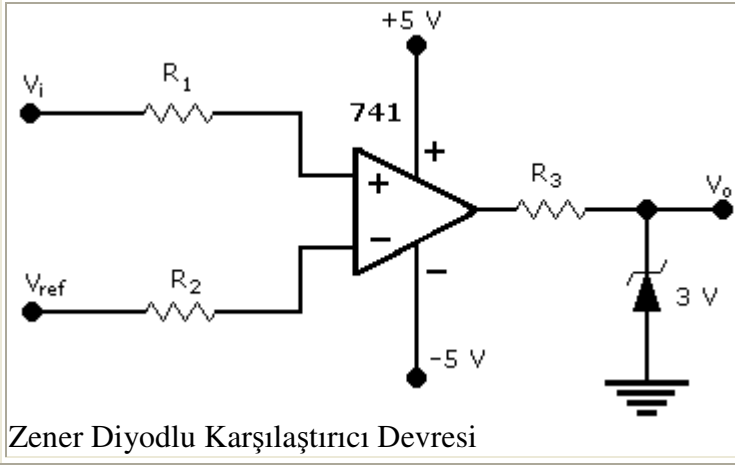
Karşılaştırıcı devre, bir TTL devreyi sürecektir ise şekil 2.29'daki devreye bir diyod eklenir ve şekil 2.30'daki gibi bir devre elde edilir.

Şekil 2.30'daki devreye göre;

$V_i > V_{ref}$ olduğunda, $V_o = +5$ Volt (diyod yalıtımda olduğu için)

$V_i < V_{ref}$ olduğunda, $V_o = -0,6$

volt (Silisyum diyod iletimde olduğu için)

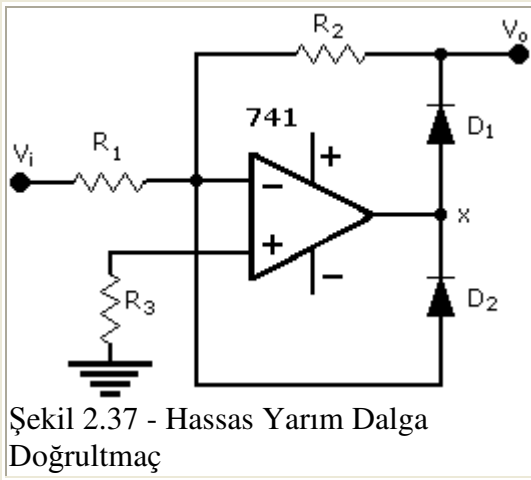


Zener Diyodlu Karşılaştırıcı Devresi

Şekil 2.31 'deki devrede, OP-AMP çıkışı (+) iken zener diyod doğru biaslanacağı için $V_o = +3$ Volt olur. OP - AMP çıkışı (-) olduğunda, zener diyod ters biaslanarak, normal bir diyod gibi çalışır. OP-AMP çıkışı bu durumda $-0,6$ Volt olur. Şekil 2.30 ve 31 'deki devrelerde R3 direnci akım sınırlayıcı dirençlerdir.

9. Yarım dalga Doğrultucu olarak kullanılması [4]

Bilindiği gibi doğrultma işlemini yapan eleman diyoddur. Pratikte kullanılan germanyum diyodun iletme geçme voltajı yani eşik gerilimi $0,2$ Volt, Silisyum diyodun ise $0,6$ Volt civarındadır. Bir germanyum diyodun iletme geçebilmesi için anodu katoduna göre $0,2$ Volt, silisyum diyodun ise $0,6$ Volt olması gerekir. Dolayısıyla, genliği $0,6$ Volt civarında veya daha küçük işaretler diyod ile doğrultulamazlar. Doğrultulacak sinyalin genliği $0,6$ Volttan fazla olsa bile yapılan doğrultma hassas olmaz. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak ve hassas bir şekilde yarım dalga doğrultma işlemini gerçekleştirmek için şekil 2.37 'deki gibi OP-AMP 'lı hassas yarım dalga doğrultmaç kullanılır.



Şekil 2.37 - Hassas Yarım Dalga Doğrultmaç

Şekil 2.37 'deki devre, giriş sinyali (-) girişten uygulandığı için faz çeviren karşılaştırıcı yapısındadır.

Bu tür çalışmada;

$$V_i > V_{ref} \Rightarrow V_x = -V$$

$$V_i < V_{ref} \Rightarrow V_x = +V \text{ olur.}$$

V_i giriş sinyalinin pozitif (+) alternansında çıkış (-) olur. X noktasındaki potansiyel 0 'dan küçük ($V_x < 0$) olur. Böylece D_1 'in anoduna (-) geldiği için yalıtımda, D_2 'nin katoduna (-) geldiği için iletimdedir. D_2 iletme geçince çıkıştan girişe negatif geri besleme olur. OP-AMP 'ın faz çeviren girişi yaklaşık 0 Volt olduğundan (+ uç toprağa bağlı) X noktasında $-0,6$ Volt görülür.

V_i giriş sinyalinin negatif (-) alternansında çıkış 0 'dan büyük olur.

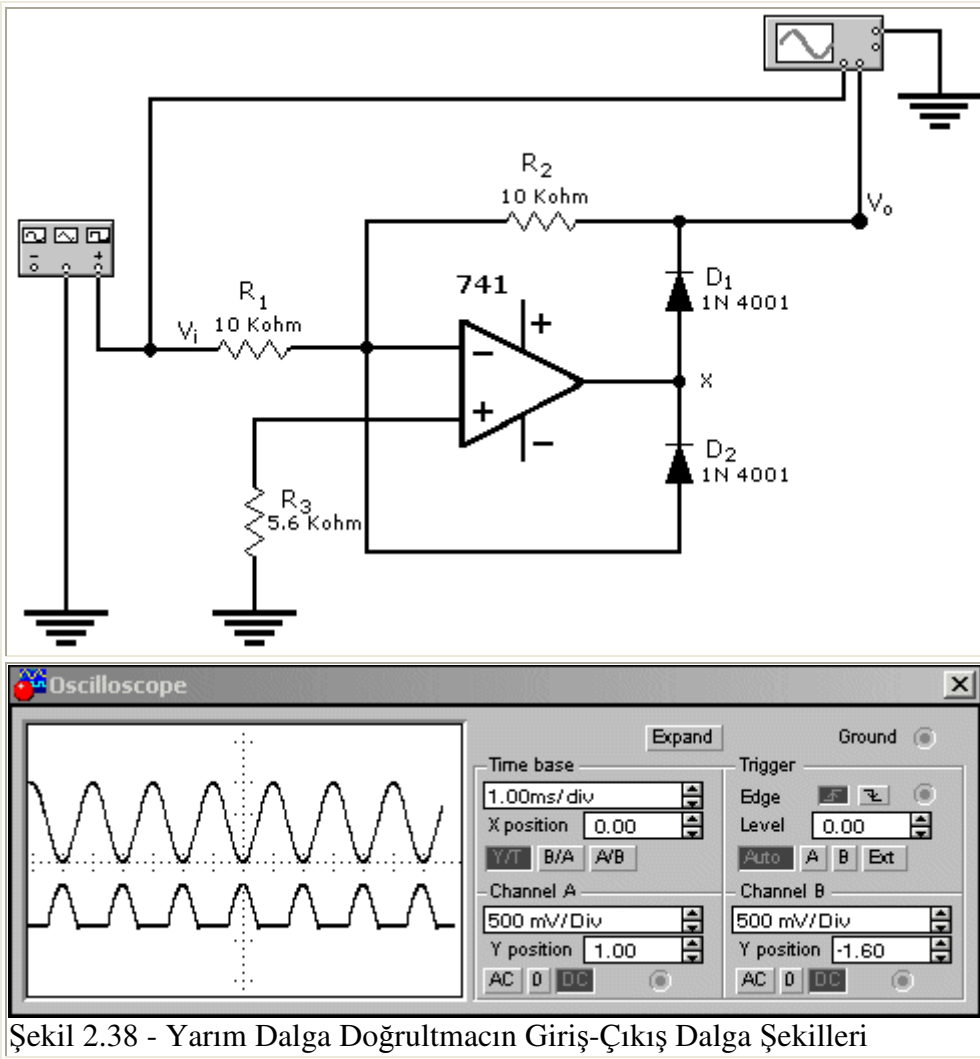
($V_x = +V$) Böylece D_1 iletken, D_2 yalıtıktır. D_1 diyodunun iletken olmasıyla R_2 direnci üzerinde devrenin girişine geri besleme yapılır. Kazanç R_2 / R_1 kadardır. OP-AMP, faz çeviren yükselteç gibi çalışır ve çıkışta girişle ters fazda ve aynı genlikte bir sinyal elde edilir.

Devre, girişine uygulanan sinyalin sadece negatif alternansını geçirmekte ve fazını ters çevirerek çıkışta pozitif yarım alternanslar meydana getirmektedir.

OP-AMP kullanılan doğrultmaçlar ile girişe uygulanan mikrovolt (μV) seviyesindeki sinyalleri doğrultmak mümkündür. Normal diyodlarla yapılan doğrultmaçlarda diyodun eşik gerilimi (0,2 V - 0,6V) üzerindeki sinyaller doğrultulur.

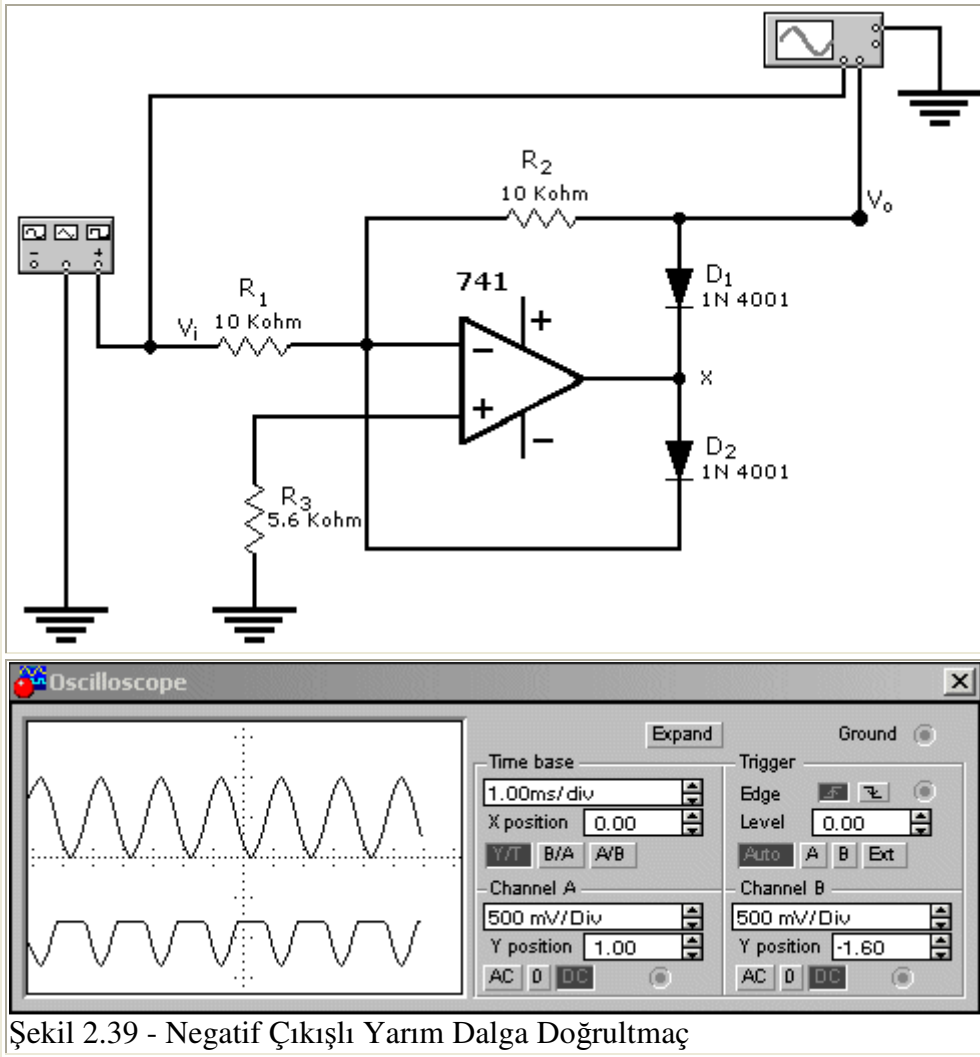
Örneğin, OP-AMP'ın açık çevrim kazancı 100.000, girişine uygulanan AC şirriş sinyali voltajı $6 \mu V$ ise OP-AMP'ın çıkış voltajı $V_o = 6 \mu V \cdot 10^5 = 0,6 \text{ Volt}$ 'tur. Böylelikle OP-AMP ile gerçekleştirilen hassas yarım dalga doğrultmaç ile $6 \mu V$ 'luk bir AC sinyali doğrultmak mümkündür. Normal bir yarım dalga doğrultmaç devresinde böyle küçük bir sinyali doğrultmak hiçbir zaman mümkün değildir.

Kısaca, OP-AMP 'lı hassas yarım dalga doğrultmaç girişine (+) alternans gelince D_1 yatımda, D_2 diyodu ise iletimdedir. Bu durumda devre açık çevrim çalışması yapar. Girişine (-) alternans geldiğinde ise D_1 iletimde, D_2 yalıtımdadır. Bu durumda devre kapalı çevrim çalışması yapar.



Şekil 2.38 - Yarım Dalga Doğrultmacın Giriş-Çıkış Dalga Şekilleri

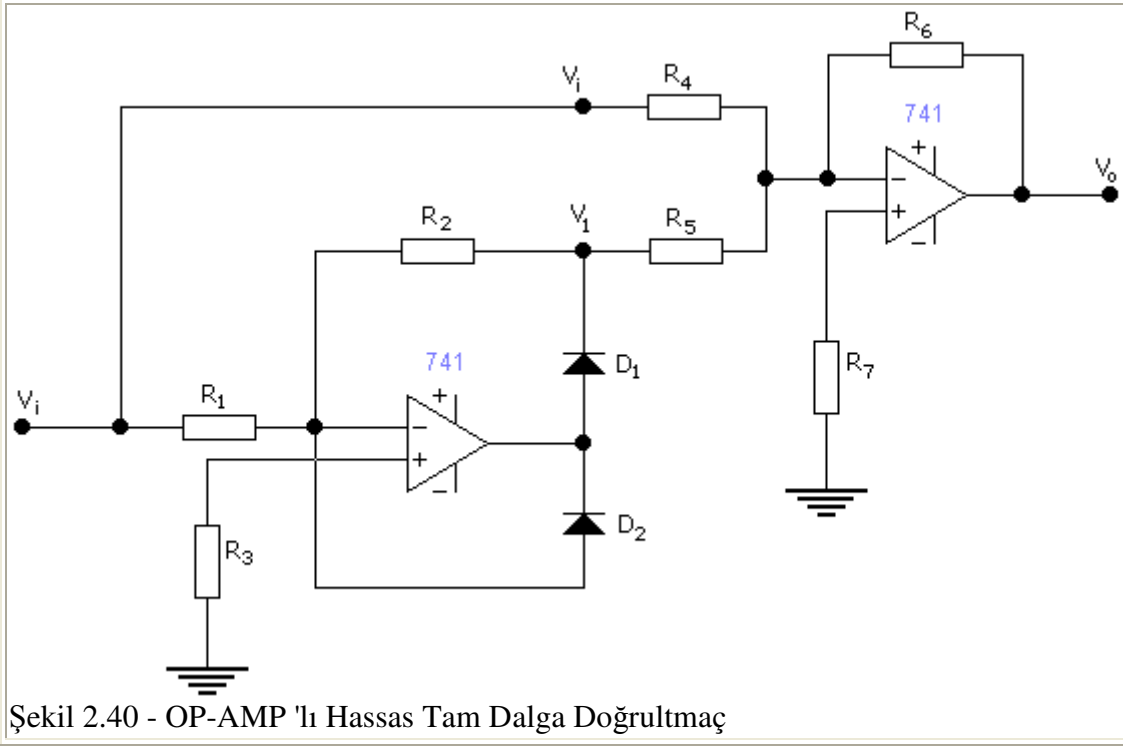
Şekil 2.38 'deki devrenin girişine fonksiyon jeneratörü vasıtasıyla 500 mV tepe değerli ve 500 Hz. frekanslı bir sinüsoidal sinyal uygulanmıştır. Osilaskobun A kanalına giriş sinyali, B kanalına ise çıkış sinyali uygulanmıştır. Osilaskoptaki dalga şekillerinden anlaşıldığı gibi devre yarım dalga doğrultmaç olarak çalışmıştır. Bu haliyle devre, pozitif çıkışlı yarım dalga doğrultmaç devresidir.



Şekil 2.39 - Negatif Çıkışlı Yarım Dalga Doğrultmaç

Şekil 2.38 'deki D_1 ve D_2 diyodlarını ters çevirirsek Şekil 2.39 'da görüldüğü gibi çıkışta meydana gelen dalgalar negatif olur. Bu haliyle devre, negatif çıkışlı yarım dalga doğrultmaç devresidir.

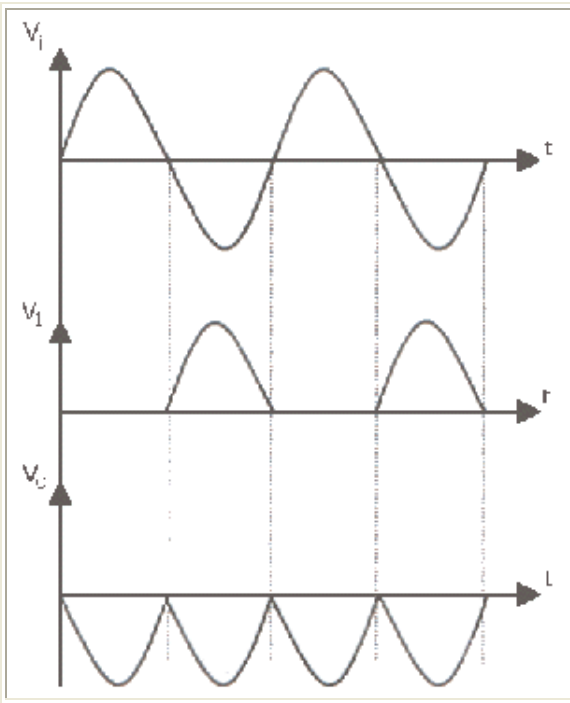
10 Tam Dalga Doğrultmaç Olarak Kullanılması



Şekil 2.40 - OP-AMP 'lı Hassas Tam Dalga Doğrultmaç

Şekil 2.40 'da görülen devrede

1. OP-AMP yarım dalga doğrultmaç,
2. OP-AMP ise toplayıcı devre olarak görev yapar.



Şekil 2.41 - Tam Dalga Doğrultmaç Devresine Ait Dalga Şekilleri

V_i sinyalinin negatif alternansları doğrultmakta ve pozitif olarak V_1 sinyali 1. OP-AMP çıkışına aktarılmaktadır. Bu

sırada $A_v = 1$ 'dir.

2. OP-AMP 'ın (-) ucuna hem V_i ve hem de V_1 sinyalleri gelmektedir. Uygulamalarda $R_4 = 2R_5$ olarak seçilir. Böylece V_i 'nin (+) alternanslarında $V_1 = 0$ 'dır. $V_o = -V_i$ olur. ($R_6 = R_4$ olarak seçilir.) $R_6 = 2R_5$ olduğundan;

$V_o = -(2V_1 + V_i)$ olur. Bu sırada $V_1 = V_i$ olduğundan;

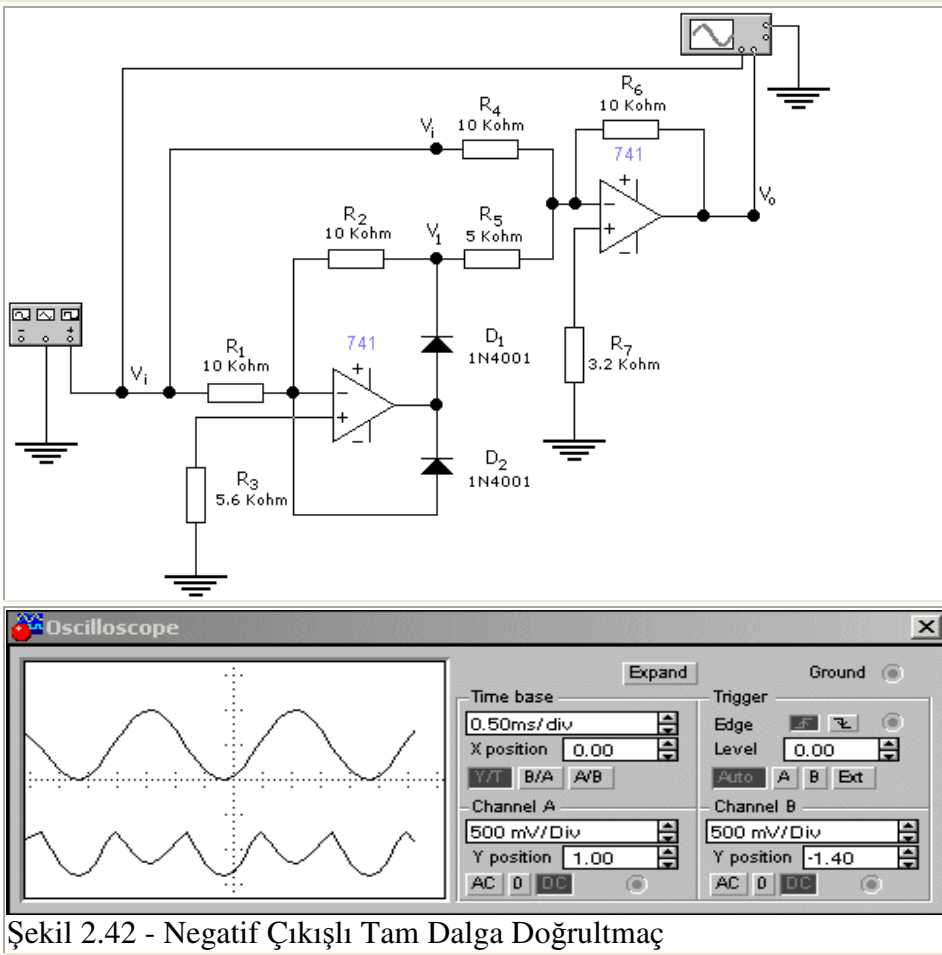
$V_o = -(2V_i + V_i) = -3V_i$ olur.

Negatif alternans girişinde, negatif alternans

2. OP-AMP 'ın girişine direkt olarak uygulanır.

1. OP-AMP çıkışından ise pozitif ve iki defa yükseltilmiş alternans aynı anda uygulanır. OP-AMP, (-) girişine uygulanan iki voltajın farkını gösterir.

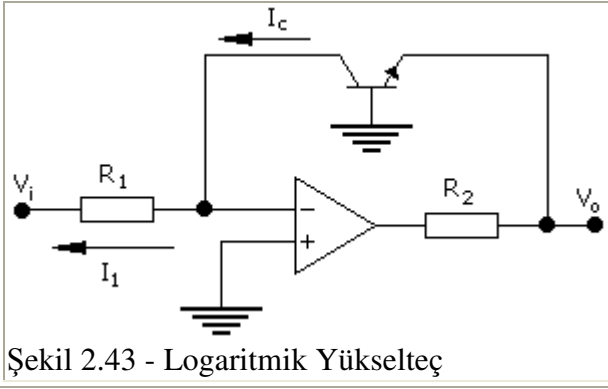
Çıkış negatif bir alternanstır. Şekil 2.41 'de ise bu devreye ait V_i , V_1 ve V_o dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.42 - Negatif Çıkışlı Tam Dalga Doğrultmaç

Şekil 2.42 'de OP-AMP 'lı hassas tam dalga doğrultmaç devresinin EWB programında uygulanmış şekli görülmektedir.

11 Logaritmik Yükselteç Olarak Kullanılması



Şekil 2.43 - Logaritmik Yükselteç

OP - AMP ile gerçekleştirilen logaritmik yükselteçler, analog bilgisayarlarda matematiksel işlemleri gerçekleştirmede kullanılır. Şekil 2.43 'teki, logaritmik yükselteç aynı zamanda faz çeviren yükselteç yapısındadır. Geri besleme elemanı olarak bir transistör kullanılmaktadır. Burada, transistörün beyz-emiter ekleminden faydalanılarak logaritma işlemi yapılmaktadır.

Yükseltme işleminin logaritmik olması,

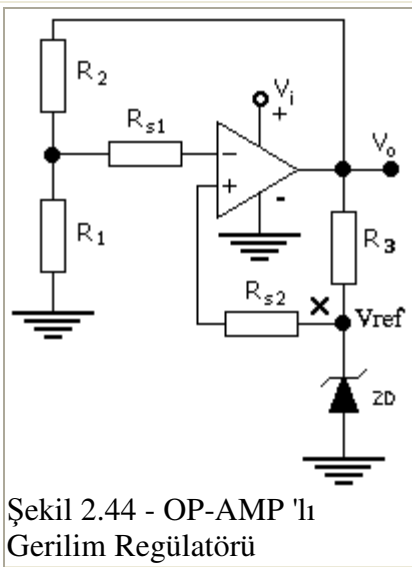
transistörün beyz-emiter ekleminden ileri gelmektedir.

Logaritmik yükselteç devresinde;

$$V_o = V_{BE} = (60 \text{ mV}) \cdot \log(I_c / I_o) \text{ olmaktadır.}$$

I_o değeri sabit olup, oda sıcaklığında 10-13 Amper değerindedir. Logaritmik yükselteçte, V_i giriş gerilimindeki ve dolayısıyla I_c akımındaki doğrusal değişimler, çıkışta ve B-E ekleminden logaritmik bir artışa neden olmaktadır. Formüldeki logaritma 10 tabanlı logaritmadır. V_i gerilimindeki 10 kat artış kollektör akımında da 10 katlık bir artışa neden olur. $\log 10 = 1$ olduğundan çıkışta da 10 katlık bir artışa neden olur. V_i giriş gerilimi 100 kat artırıldığında, çıkışta $60 \times 2 = 120 \text{ mV}$ 'luk bir artışa sebep olacaktır.

12 Gerilim Regülatörü Olarak Kullanılması



Şekil 2.44 - OP-AMP 'lı Gerilim Regülatörü

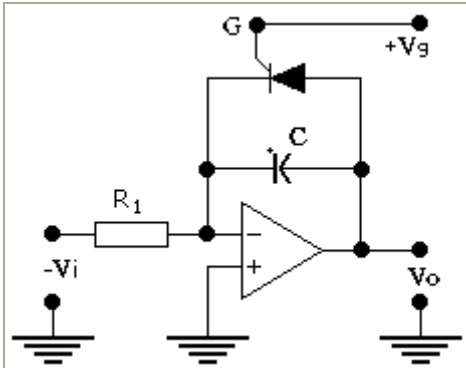
Şekil 2.44 'deki devreye, regüle edilecek gerilim, V_i olarak OP-AMP 'ın +V ucuna uygulanır. -V ucu ise şaseye irtibatlandırılır. V_i gerilimi devreye uygulandığında V_o işareti pozitifleşmeye başlar. $V_o < V_{ZD}$ olduğu sürece, zener diyod yatımdadır. $V_o > V_{ZD}$ olunca zener diyod iletme geçer ve kırılma gerilimine eşit bir gerilim x noktasında oluşur. ($V_{ref} = V_{ZD}$) Böylece OP-AMP 'ın pozitif girişine sabit V_{ref} sinyali gelmektedir. Bu sırada OP-AMP faz çevirmeyen yükselteç olarak çalıştığından;

$$V_o = V_{ref} [1 + (R_2 + R_1)] \text{ olur.}$$

Zener diyod, V_i giriş sinyalini regüle ettiği için zener diyoddan geçen akım oldukça karardır. Bu durum, çıkış

voltajının kararlı olmasına neden olur. R_1 ve R_2 direnç değerleri ile V_o gerilimini ayarlamak mümkündür. R_{S1} ve R_{S2} dirençleri devre girişini korumak için kullanılır.

13 Gerilim Kontrollü Osilatör Olarak Kullanılması



Şekil 2.45 - OP-AMP 'lı Gerilim Kontrollü Osilatör

DC çıkış voltajı ile kontrol edilebilen osilatörlere, gerilim kontrollü osilatör (VCO - Voltage Controlled Oscillator) adı verilir.

Şekil 2.45 'teki devre, V_i giriş voltajı ile frekansı kontrol edilebilir bir testere dişi jeneratördür. Temel olarak bu devre integral alıcı bir devredir. Negatif geri besleme hattında bir kondansatör ve ona paralel bağlı bir tristör (SCR-Silicon Controlled Rectifier) kullanılmıştır. Tristör ON-OFF anahtarlamaı gerçekleştirir. Tristörde, anod-katod ve gate olmak üzere üç terminal bulunur.

Gate voltajı (V_G) belli bir eşik gerilimini aştıktan sonra ilettime geçer. Gate voltajı, eşik geriliminin altında bir tristör yalıtımdadır.

Çıkış voltajının pozitif olması için V_i gerilimi negatiftir. DC bataryanın negatif kutbu OP-AMP 'ın faz çeviren (-) girişine uygulandığı zaman çıkıştan pozitif bir rampa darbesi elde edilir. Çünkü, sabit bir fonksiyonun integrali, rampa fonksiyonudur. Örneğin, 5 sabit sayısının integrali $5x$ 'dir. Burada 5 sayısı sabit bir fonksiyonu temsil ederken $5x$ rampa fonksiyonunu temsil eder.

Çıkışta meydana gelen pozitif darbe, tristörün eşik gerilimini aşarsa tristör ilettime geçer ve kondansatör tristör üzerinden deşarj olur. Bu kez çıkış negatif yönde inmeye başlar. Çıkışın negatif yönde inmesi, tristörü yalıtıma sokacağından kondansatör tekrar şarj olur. Bu kez çıkışındaki rampa darbesi tekrar pozitif yönde artmaya başlar. Kondansatörün şarj ve deşarj ile tristörün ilettime ve yalıtıma geçmesiyle devrenin çıkışından testere dişi biçimindeki dalga elde edilir.

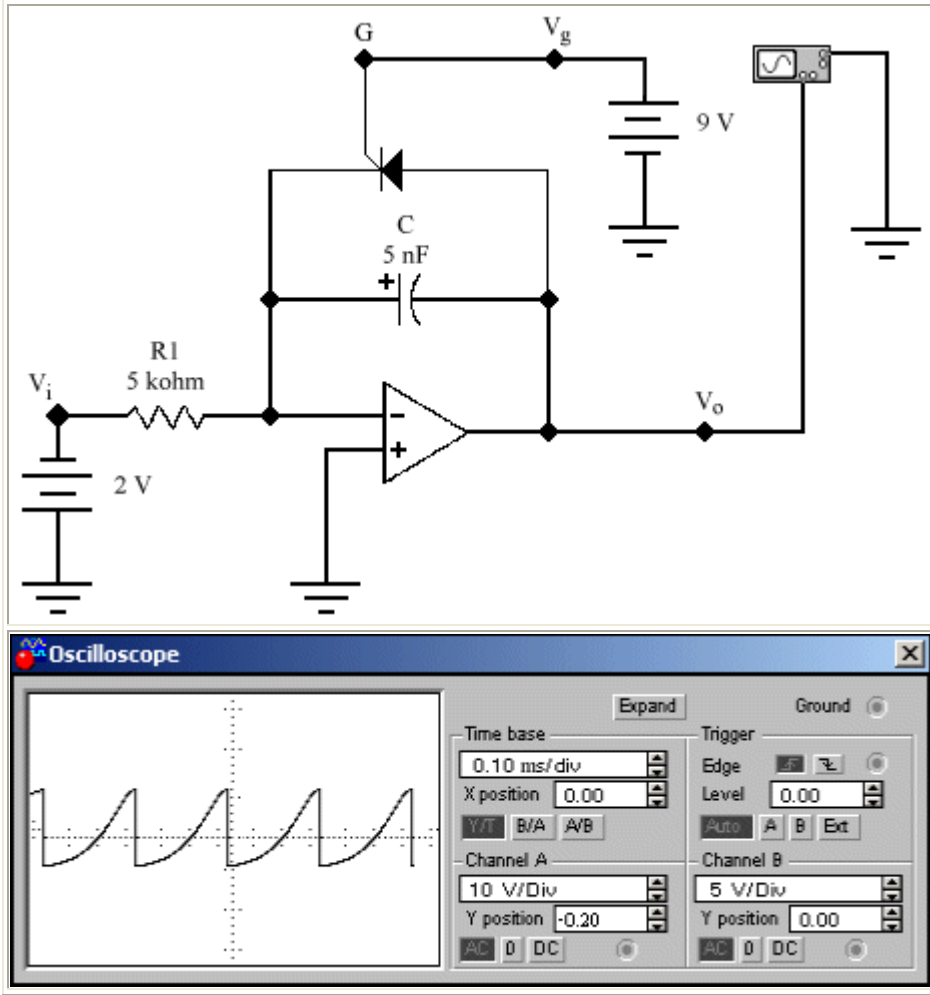
V_i giriş voltajı sabit olduğundan çıkıştan elde edilen testere dişi dalganın eğimi;

$$dV_o / dt = V_i / R_C \text{ 'dir.}$$

Çıkışta meydana gelen testere dişi dalganın periyodu;

$$T = V_g / (V_i / R_C) = (V_g / 1) \cdot (R_C / V_i) = (V_g / V_i) \cdot R_C \text{ 'dir.}$$

Testere dişi dalganın frekansı ise $f = 1 / T$ 'den bulunabilir.



EWB programında yapılan voltaj kontrollü devresinin çıkış dalga şekli osilaskopta görülmektedir. Osilaskoptaki dalga şekli testere dişi biçiminde olduğundan adı testere dişi dalgadır.

FAYDALI OLABİLECEK BAZI ELEKTRONİK DEVRELER

(aşağıdaki bilgilerin temin edildiği kaynak [2] deki gibidir)

A couple circuit examples:

Below are a couple circuit examples you can play and experiment with to understand the working of a 741 op-amp hands on. If you are serious about electronics I strongly recommend buying a book or two about Op-Amps for your experimenting pleasures.

Fig. 12 - Light Sensor

This is a really nice circuit to play with. When there is NO light falling on the sensor, the relay closes. When light falls on the LDR, the relay opens. To reverse the situation just exchange LDR and R1. Example uses for this circuit: Dark-room, Automatic door-lock, closet, Shed Alarm, etc.

Fig. 13 - Smart Continuity Tester

Occasionally you need a continuity test between two points in an electronic circuit. Unfortunately, most continuity testers are prone to "lie". They don't do that deliberately, but if they see a small resistance, they *still* tell you that you have continuity. They just don't know any better. This unit is different. If you have continuity it will tell you so. And if you're reading even a low resistance through a component, the unit will tell you that as well. The unit uses two 741 op-amps. It offers a short-circuit test current of less than 200uA. It detects resistance values of less than 10 ohms. Nicest of all, it will not break down a PN junction. The device has come in handy in my own shop for debugging electronic circuits. Nowadays I use the 'Latching' Continuity Tester.

Fig. of Auto-Fan Circuit

A fun little circuit using a 741 op-amp and a NTC (Negative Temperature Coefficient) to cycle between two set temperatures and switch a fan on and off.

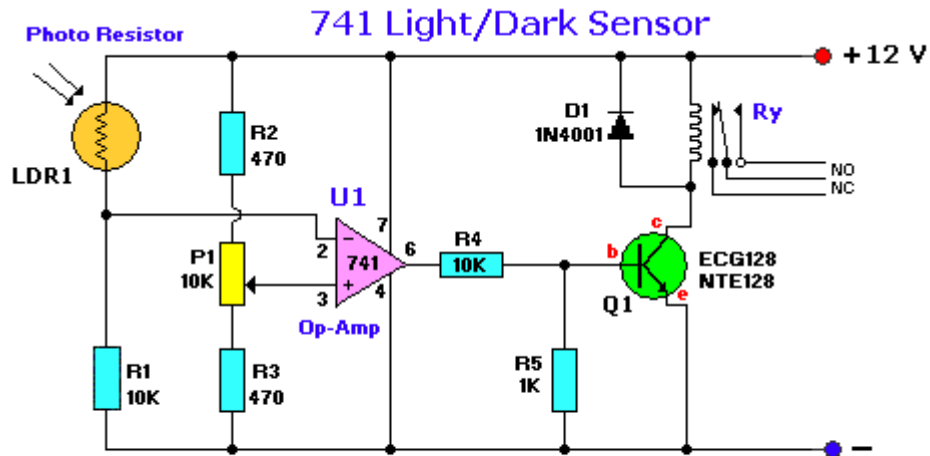
Click here for the complete project: [\[Auto-Fan\]](#)

Fig. 14 - 12V Battery Monitor

The 100 Kilo-ohm trimmer pot controls the set point of this circuit to a 'high' point like 12.5 or something, so adjust it to the point you wish the LED to light up. To monitor a 'low' point, and have the led light up when the battery has drained to a certain point, connect the led (via the 330 ohm resistor) to ground (in the blue-boxed area). The led is the high-brightness or ultra-bright type for maximum visibility. The trimpot in the schematic is a 10-turn type for better accuracy, but basically any type will do.

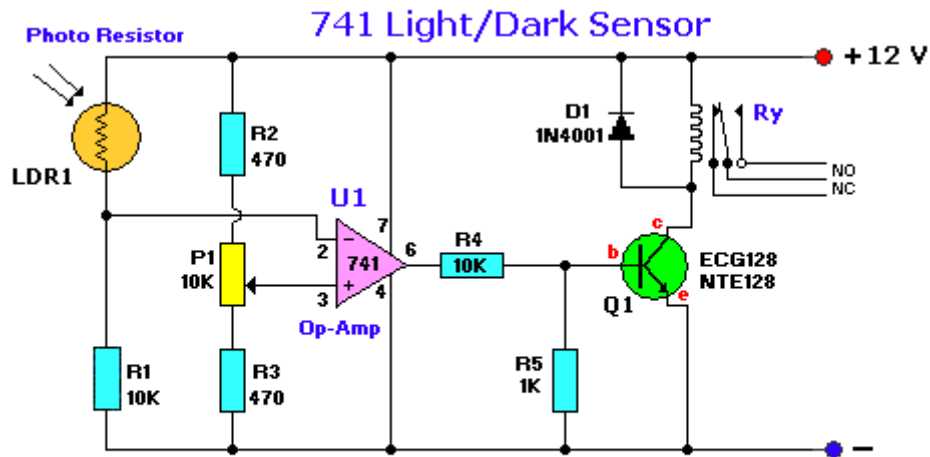
Fig. 15 - Low Power Amplifier

This is a simple low power amplifier with a single powersupply. The Rx resistor + the resistance of the speaker should equal 1000 ohm. Example: speaker is 150 ohm. Rx is $1000 - 150 = 850$ ohm. Closest available value is 860 ohm. I know what your thinking; what about the 30 volt? Isn't the max 15 volt? Yes, but positive and negative they combine 30 volt.



- Relais closes when no light falls on LDR1
- For reversed action, exchange LDR1 and R1
- Sensitivity can be adjusted with P1
- D1 prevents sparking of relay-coil when it opens

Fig. 12

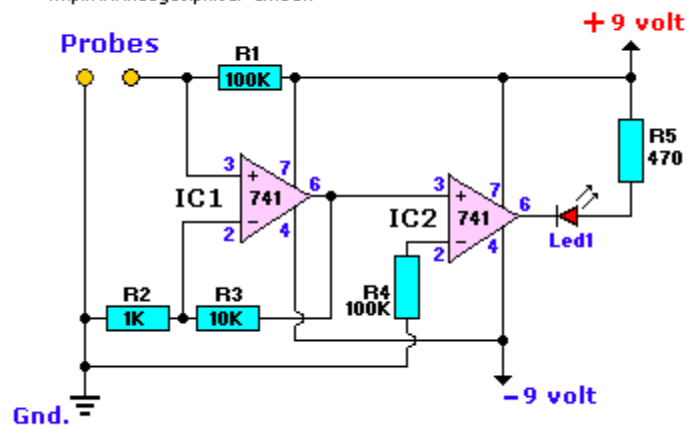


- Relais closes when no light falls on LDR1
- For reversed action, exchange LDR1 and R1
- Sensitivity can be adjusted with P1
- D1 prevents sparking of relay-coil when it opens

Fig. 12

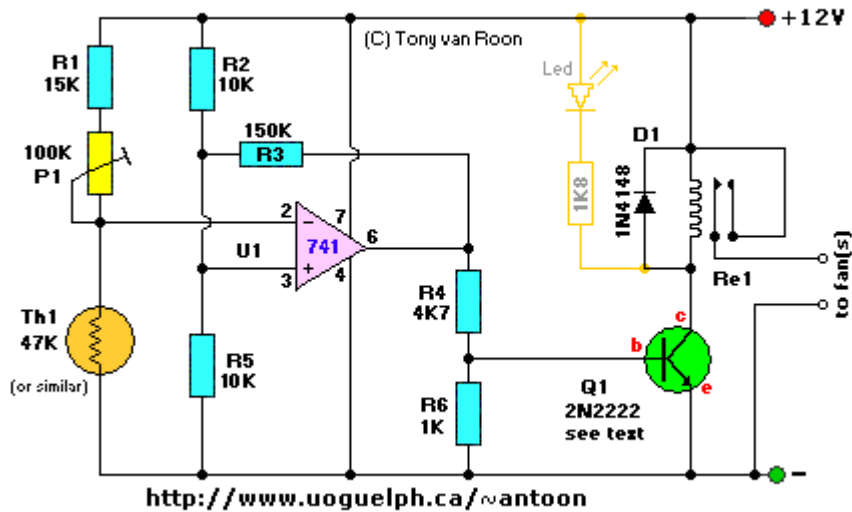
Smart Continuity Tester

<http://www.uoguelph.ca/~antoon>



Gnd., +9V, and -9V NEEDS to be connected or the circuit will **NOT** work!

Auto-Fan



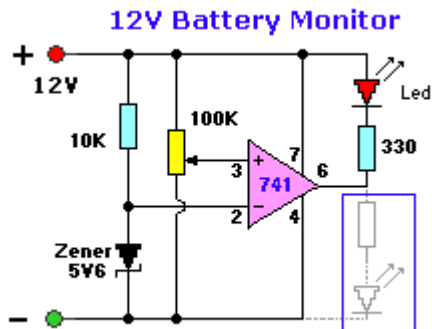


Fig. 14

Low-Power Amplifier

Single Power Supply

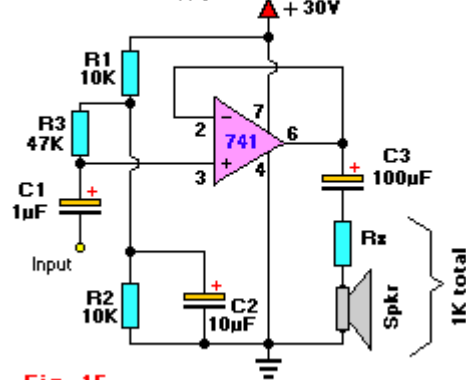
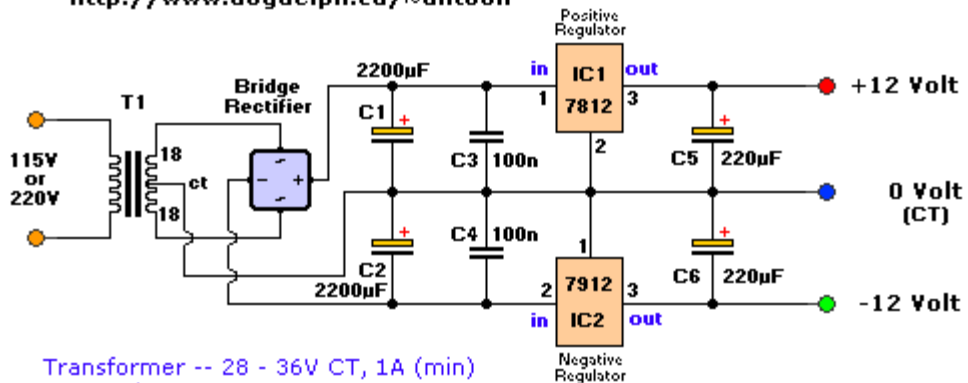


Fig. 15

Below is the Dual Volt Power Supply to power the op-amps. Check the output voltages when you are done. You may lower the 220 μ F caps to 100 μ F if needed.

Dual Voltage Power Supply

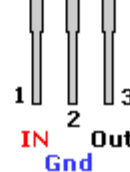
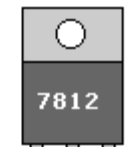
<http://www.uoguelph.ca/~vantoon>



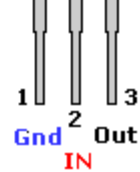
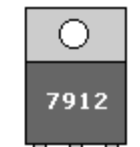
- Transformer -- 28 - 36V CT, 1A (min)
- Capacitors -- 35V
- Bridge Rectifier -- 100V, 2A
- C3,C4 -- Ceramic, 50V

Caution: Input/Ground are reversed between the 7812 and 7912.

Pos. Reg.



Neg. Reg.



(C) Tony van Roon

Kaynaklar

[1] http://www.elektronikhobi.com/dokuman.asp?id=76&user_enc=

[2] <http://www.uoguelph.ca/~vantoon/gadgets/741/741.html>

[3] http://www.silisyum.net/htm/opamp/karsilastirici_olarak_kullanilmasi.htm