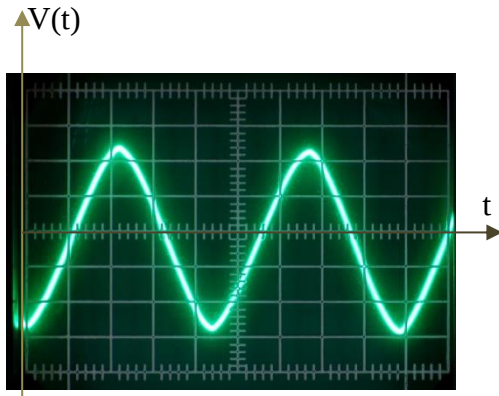


## OSİLOSKOP

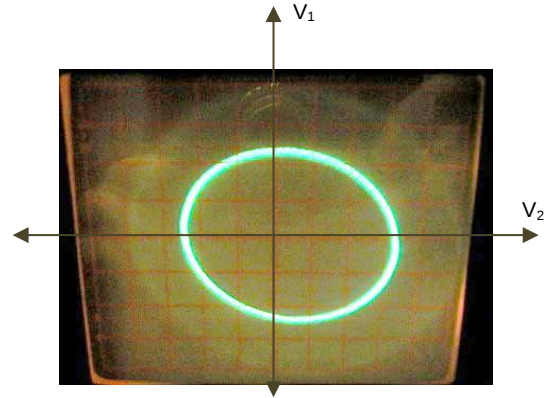
## 1. AMAÇ:

- Osiloscobun çalışmasını öğrenmek.
- Osiloskop kullanımını kavramak.
- Osiloskop kullanarak genlik, frekans ve faz farkı ölçümlerini gerçekleştirmek.

**2. KURAMSAL BİLGİ:** Osiloskop, elektriksel değişkenlerin ve parametrelerin işlevlerini bir ekran üzerinde çizen elektronik bir aygıttır. Örneğin, bir gerilim değişmesini ya da akım değişmesini (dolaylı olarak) zamanın işlevi olarak ekran üzerinde çizer (Şekil 1a).



Şekil 1a Bir sinüs sinyalinin osiloskop ekranındaki görüntüsü (“Time-Base” devrede iken)



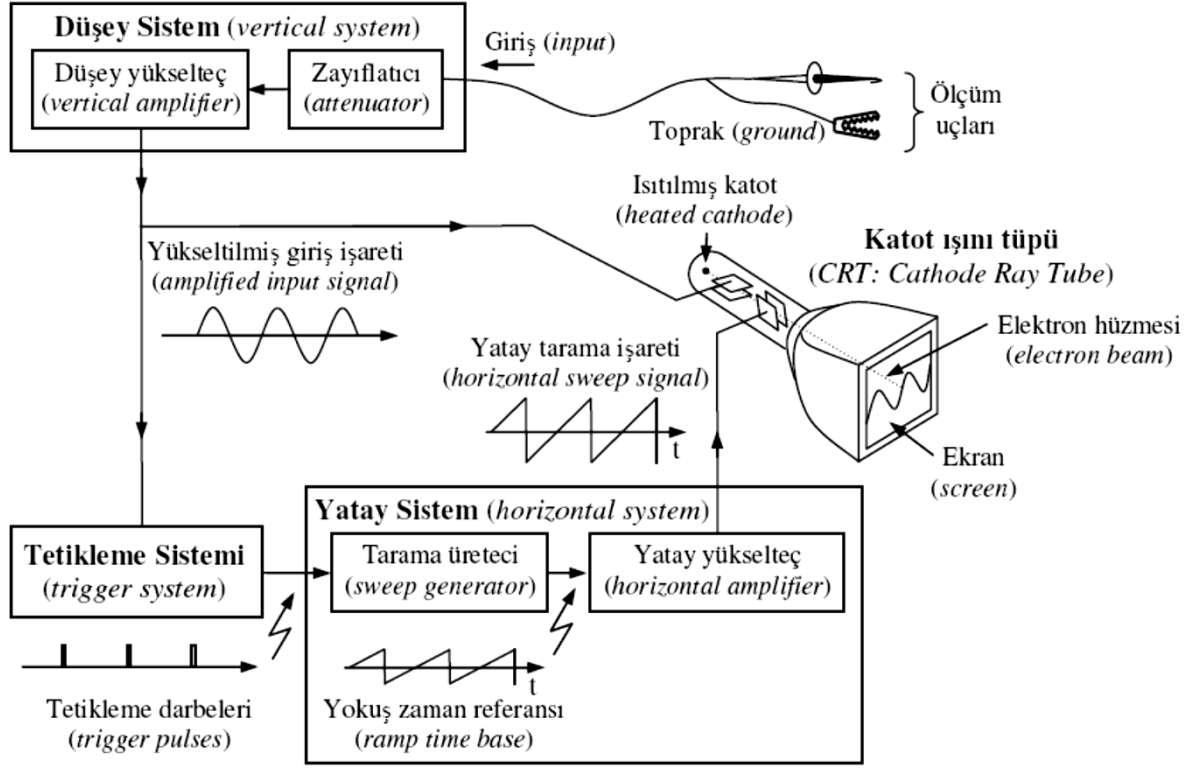
Şekil 1b İki sinüs sinyalinin bileşkesinin oluşturduğu osiloskop ekran görüntüsü, (X-Y anahtarı basılı, “Time-Base” devre dışı)

Yukarıda anlatıldığı gibi, osiloscobun uygulama alanı çok geniştir. AC-DC birçok elektriksel çoklukların ölçülmesinde kullanılır. Ölçü duyarlılığı çok yüksektir. Özellikle AC çoklukların ölçülmesinde geniş frekans sınırları içerisinde yüksek duyarlılıkla çalışması, ibreli ölçü aygıtlarına göre büyük üstünlük sağlar.

Şekil 2' de basit bir osiloskop devresi (blok) görülmektedir.

Bu devre:

- 1- Katot ışınlı tüp (Cathode-Ray-Tube: CRT)
- 2- Düşey sapma sistemi (Vertical Deflection System)
- 3- Zaman tabanı üretici (Time-Base Generator)
- 4- Zamandaşlama devresi (Synchronization Circuit)
- 5- Yatay sapma sistemi (Horizontal Deflection System)
- 6- Dış yeğinlik bindirmesi (External Intensity Modulation)
- 7- Yüksek ve alçak gerilim güç kaynaklarından (The High-Voltage and The Low-Voltage Power Supplies) oluşur.



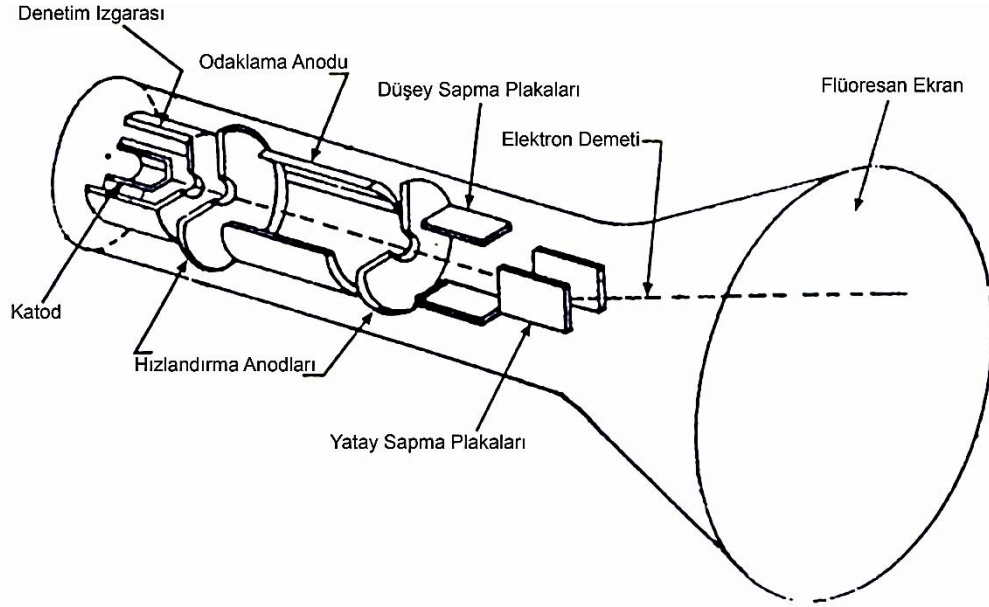
Şekil 2 Osiloskobun blok gösterimi.

## KATOT IŞINLI TÜP (CATHODE RAY TUBE (CRT))

Katot ışınli tüp, elektriksel verileri fosforlu bir ekran üzerinde oluşturacak biçimde tasarlanmış bir elektron tüpüdür. Durgun elektrikli (electrostatic) katod ışınli tüp dört ana bölümden oluşmuştur (Şekil 3).

- a) Cam tüp (Glass tube)
- b) Floresan ekran
- c) Elektron tabancası (Electron gun)
- d) Sapma plakaları (Deflection plates)

Burada sadece durgun elektrikli (electrostatic) katod ışınli tüp incelenecektir. Elektromanyetik katod ışınli tüplerde, durgun elektrikli tüplerdeki odaklama anodu ve sapma plakaları yerine odaklama ve sapma sargıları vardır.



Şekil 3 Elektrostatik (durgun elektrikli) katot ışınlı tüp.

#### a) Cam tüp

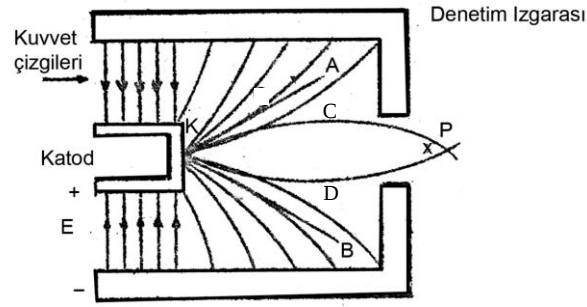
Çeşitli büyüklüklerde olup içindeki hava boşaltılmıştır.

#### b) Floresans ekran

Ekranın yüzeyi fosforlu bir madde ile kaplıdır. Bu madde elektron bombardımanına uğradığında, elektron ışınının kinetik enerjisini ışık enerjisine dönüştürerek ışık yayar. Bu özelliğe floresans denir. Elektron bombardımanının kısa bir zaman sonra kadar devam eden ışık yayma özelliğine "fosforesans" denir.

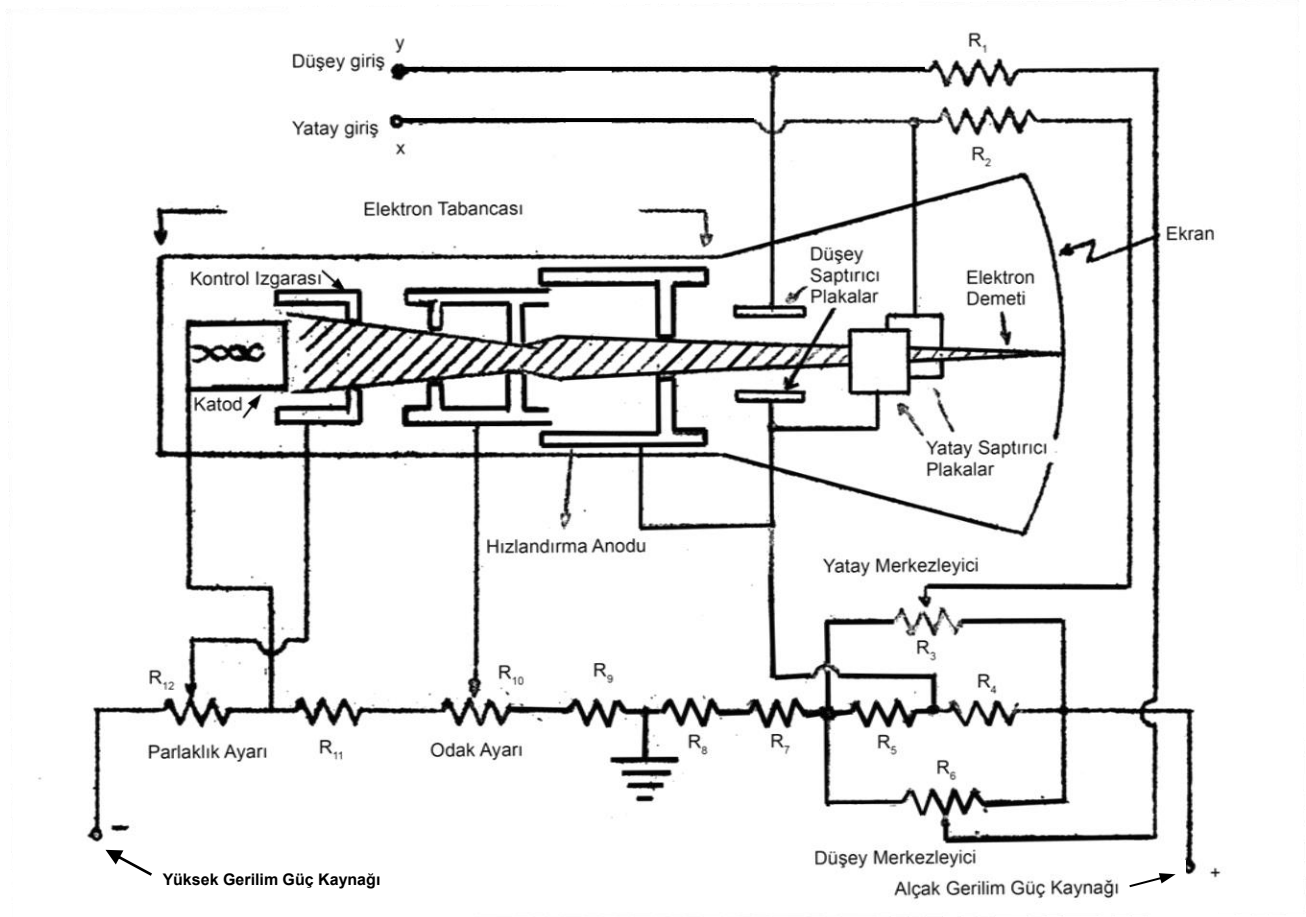
#### c) Elektron atıcısı

Elektron yayar ve bunları bir ışın biçimine getirir. Isıtıcı (heater), katot denetim ızgarası (control grid), odaklama (focusing) ve hızlandırma (accelerating) anodundan oluşur. Denetim ızgarası silindirik biçiminde ve katot ile aynı çizgide olan ufak bir açıklıktan oluşmuştur. Dolaylı ısıtılan (ısıtıcı yolu ile) katottan çıkartılan elektronlar çok az uzaklaştırılarak bu açıklıktan çıkarlar. Bir başka deyişle, herhangi bir anda katot yolu ile KA yönünde bir elektron yayınlanacak olursa bu yöndeki elektronun hareketi durgun alanının etkisi altında kalır (Şekil 4). Elektronu etki eden kuvvetin yönü bu elektronun kestiği kuvvet çizgileri üzerindeki okların yönündedir.



Şekil 4 Elektronların demet biçiminde toplanmasında ızgaranın etkisi.

Böylece KA yönünde hareket etmesi gereken elektron, sapmadan dolayı KCP yolunu izler. Aynı biçimde KB yönünde yayınlanmış elektron ise sapmadan dolayı KDP yolunu izler. Sonuçta bu iki elektron, yolları P gibi bir noktada kesişirler. Böylece ızgara, elektronları bir ışın demeti biçiminde toplayan mercekle ödevini görür. Işın akımını oluşturan elektron miktarı, ızgaraya uygulanan eksi gerilim değeri ile denetlenir. Eğer ızgara gerilimi katoda göre daha eksi yapılacaktır olursa X açıklığından geçecek elektron sayısı daha az olur. Dolayısıyla ekrandaki ışık noktasının şiddeti daha az olur.



Şekil 5 Katod ışın tüpü simgesel denetleme devresi.

Şiddet denetlemesi Şekil 5'deki  $R_{12}$  gerilim bölücü direnci ile denetlenir. Bu direnç ( $R_{12}$ ) osiloskobun ön tarafındaki INTENSITY (şiddet) anahtarına bağlıdır. Bu anahtar ile şiddet denetlenir. Yukarıdaki yöntemle oluşan elektron ışını, elektronik mercekle ödevini yapan iki anot yolu ile ekranda odaklanır. Her iki anot katoda göre daha fazla artı gerilimdedirler. İkinci anoda giren elektronlar burada hızlandırıldıklarından, buna hızlandırıcı anot (accelerating anode) da denir. Diğer taraftan odaklama eylemi  $R_{10}$  gerilim bölücü direnci ile yapılır. Bu direnç ( $R_{10}$ ) osiloskobun ön tarafındaki FOCUS (odak) anahtarına bağlıdır. Bu anahtar ile odaklama denetlenir.

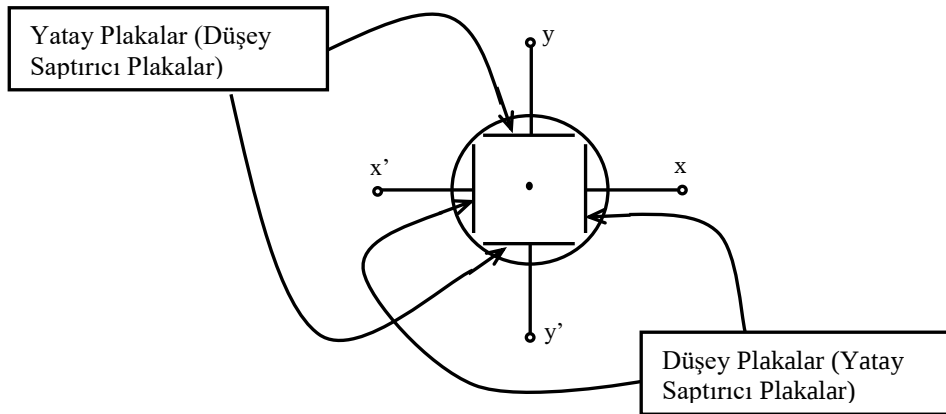
#### d) Sapma Plakaları:

İlk önce bir elektronun ya da elektron demetinin bir durgun elektrik (elektrostatic) alan içerisindeki devinimini (hareketini) inceleyelim:

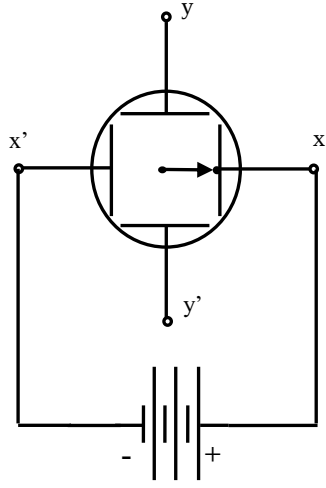
Durgun elektrik kurallarından birincisine göre benzer yükler birbirlerini iterler, farklı yükler ise birbirlerini çekerler.

Biri artı diğeri eksi elektrik yükü ile yüklenmiş paralel iki plaka arasında durgun elektrik alanı oluşur. Bu alana giren bir elektron eksi yüklü olduğundan artı yüklü plaka tarafından çekilir, eksi yüklü plaka tarafından itilir. Eğer hızı olmayan bir elektron bir durgun elektrik alanına konursa artı plaka tarafından yukarı doğru çekilir.

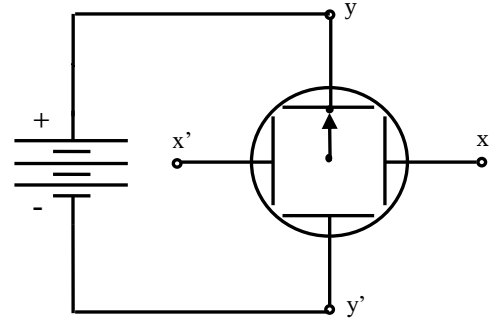
Şekil 6a'da düşey ve yatay saptırıcı plakalar görülmektedir. Saptırıcı plakalara gerilim uygulanmaması durumunda, elektron ışını, plakalar arasından geçerek ekranın merkezinde parlak bir ışık noktası oluşturur. Eğer sağ yatay saptırıcı plaka artı olursa Şekil 6b'deki gibi, ışın ekranın sağ orta kısmında oluşur (Şekil 6c). Şekil 6 (d,e,f ve g)'de gerilim bitişik plakalarda hem artı hem de büyüklükleri eşit ise, şekilde gösterildiği gibi ışın ekranın çapraz köşelerinde oluşur. Eğer düşey saptırıcı plakaya AC gerilim uygulanırsa,



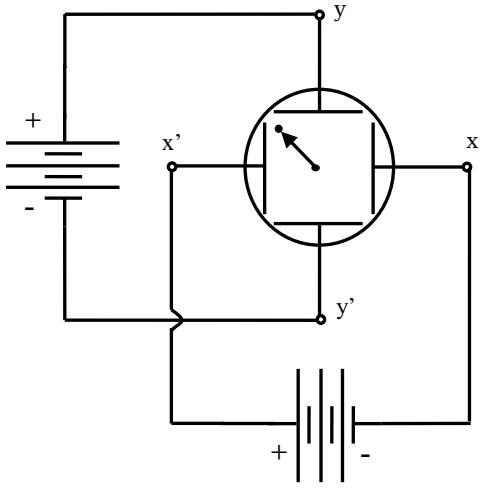
Şekil 6a



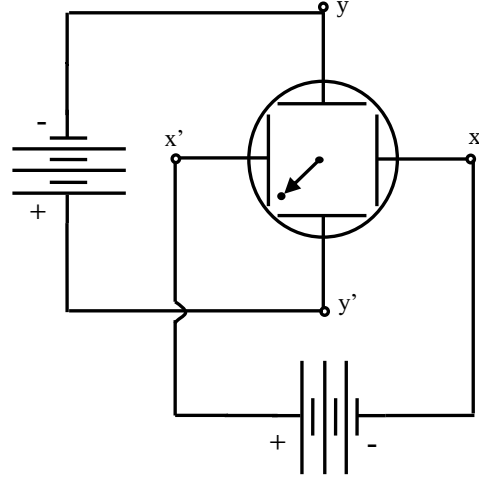
(b)



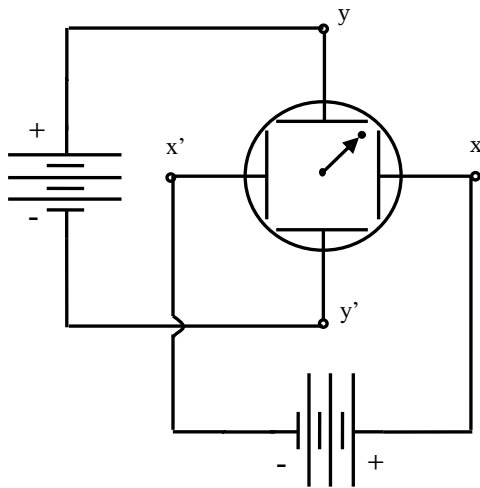
(c)



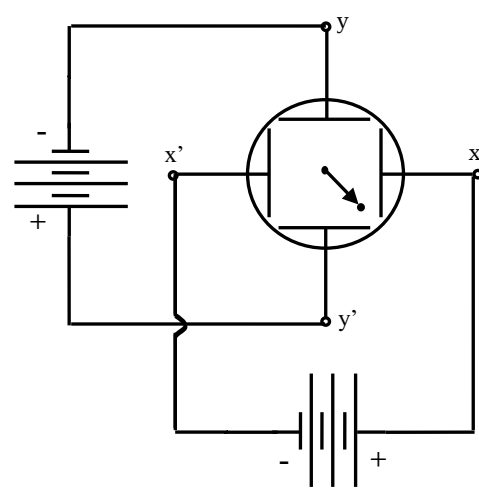
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 6

bu durumda ekrandaki nokta periyodik devinim yaparak aşağı ve yukarı hareket eder. AC gerilimin yatay plakaya uygulanması durumunda da aynı yöntem ile ışıklı nokta ekranda yatay hareket yapar.

Ekranda izlenmek istenen sinyal osiloskobun düşey saptırıcı plakalarına veya y-girişine uygulanır. Işıklı nokta, sinyalin genliği ile orantılı olarak düşey doğrultuda merkezden sapar. Ayrıca ışıklı noktanın düşey salınım frekansı uygulanan sinyalin frekansına eşittir.

Şekil 5'deki  $R_3$  ve  $R_6$  gerilim bölücüleri, elektron ışının ekranda merkezlenmesi ödevini yaparlar. Bir başka deyişle  $R_3$  direnci osiloskobun önündeki X-SHIFT (x-kaydırma) anahtarı ile  $R_6$  direnci de Y-SHIFT (y- kaydırma) anahtarı ile denetlenir.

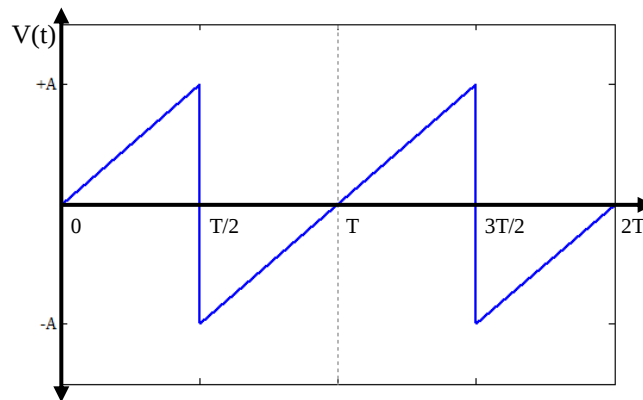
### DÜŞEY SAPMA SİSTEMİ (Vertical Deflection System)

Bu sistem bir giriş zayıflatıcısı (attenuator) ile birkaç yükselteçten (amplifiers) oluşur. Böylece, hem çok geniş bir giriş geriliminin osiloskoba uygulanması sağlanır hem de küçük gerilimlerin yükseltilmesi ile ekranda iyi bir görüntü elde edilir. Ayrıca yükselteçler, çok geniş frekanslarda (sıklıklarda) hem aynı değerlerde kazanç (uniform gain) hem de minimum bozulma (distortion) sağlar. Yükselteçlerde kazanç ile band genişliğinin çarpımı sabit olduğundan, genellikle küçük band genişliklerinde yüksek duyarlılık elde edilir. Dolayısıyla, osiloskobun duyarlılığını orta-band frekansında (midband frequency) bir santimetrelik düşey sapma için gerekli gerilim olarak tarif edilir. Band sonu frekansında (band-edge frequency) çıkış sinyalinin genliği giriş sinyali genliğinin % 70.7'sine düşer (-3 dB).

### ZAMAN TABANI ÜRETECİ (Time-Base Generator)

Osiloskoplar zamana göre gerilim değişimlerinin (sinyal) ölçülmesinde kullanılırlar. Bu da katot ışınlı tüpteki ışıklı noktanın, ekranı soldan sağa doğrusal olarak sabit bir hızla taranması ile oluşur.

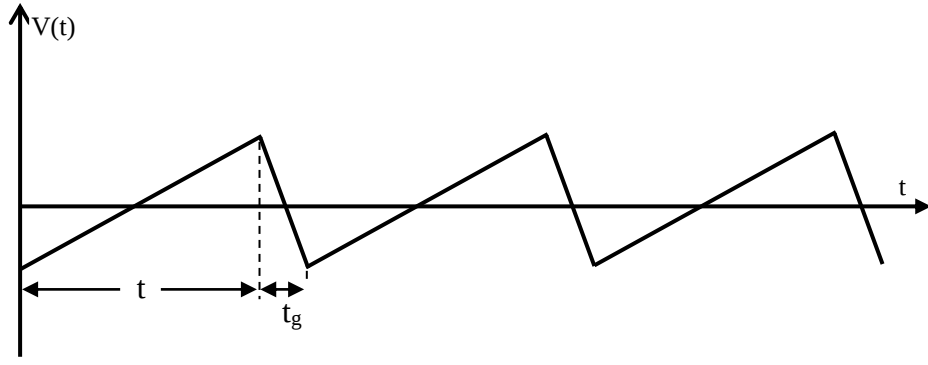
Yatay sapma plakalarına testere dişi (sawtooth) ya da artı giden yokuş gerilimi (Şekil 7) uygulanır.



Şekil 7

Yatay saptırıcı plakalara uygulanan gerilim.

Bu yokuş gerilimlerini üreten kaynağa zaman-taban üretici (time base generator) ya da tarama üretici (sweep generator) ya da yokuş üretici (ramp generator) denir. Şekil 7'deki dalga biçimleri idealdir. Gerçekte Şekil 8'deki gibidirler.

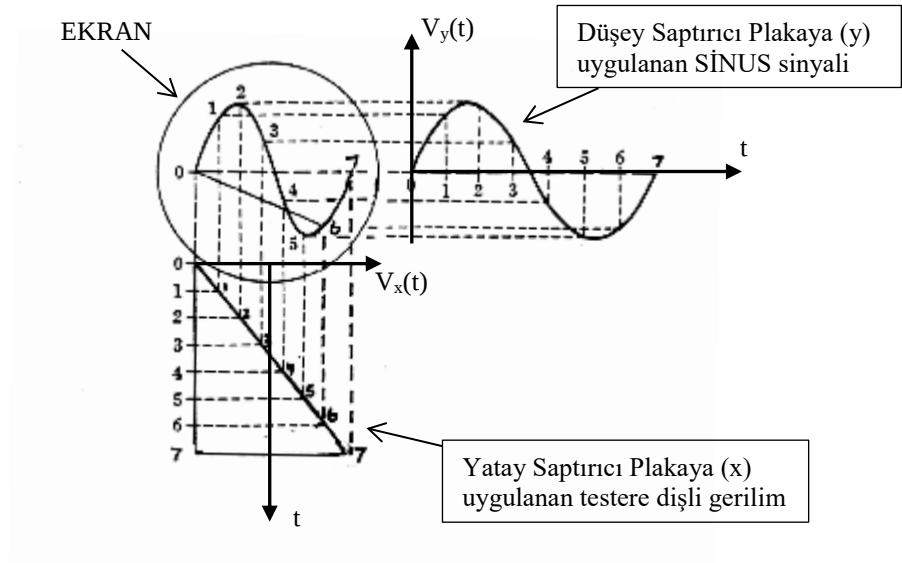


Şekil 8

Dalganın başlangıçtan maksimum değere kadar geçen süreye  $t$  tarama zamanı (sweep-time) ve maksimumdan başlangıç değerine kadar geçen süreye de  $t_g$  geri uçuş zamanı (flyback-time) denir.

Şekil 9'de düşey saptırıcı plakalara bir sinüs dalgası uygulandığı zaman ekranda görüntünün nasıl oluştuğu görülmektedir. Elektron ışını, iki kuvvetin etkisi altında devinir (hareket eder).

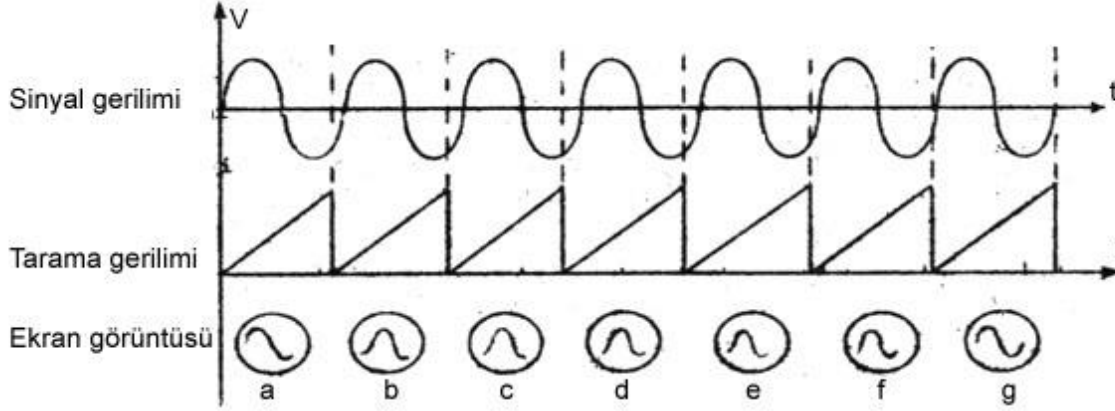
- 1) Yatay yönde, doğrusal olarak ekranda, soldan sağa devinir.
- 2) Düşey yönde, düşey sapma plakasına uygulanan gerilime (potansiyel) göre aşağı veya yukarı doğru sapar.



Şekil 9

### ZAMANDAŞLAMA DEVRESİ (Synchronization Circuit)

Osiloskop ekranı üzerinde bir örüntü (pattern) elde etmek için tarama geriliminin bir periyodu incelenecek olan dalga biçiminin bir periyoduna ya tamamen eşit olmalı ya da bunun tam katları olmalıdır. Tersi durumunda örüntü devinir. Eğer örüntü sağdan sola doğru deviniyorsa, tarama periyodu çok yüksek demektir.

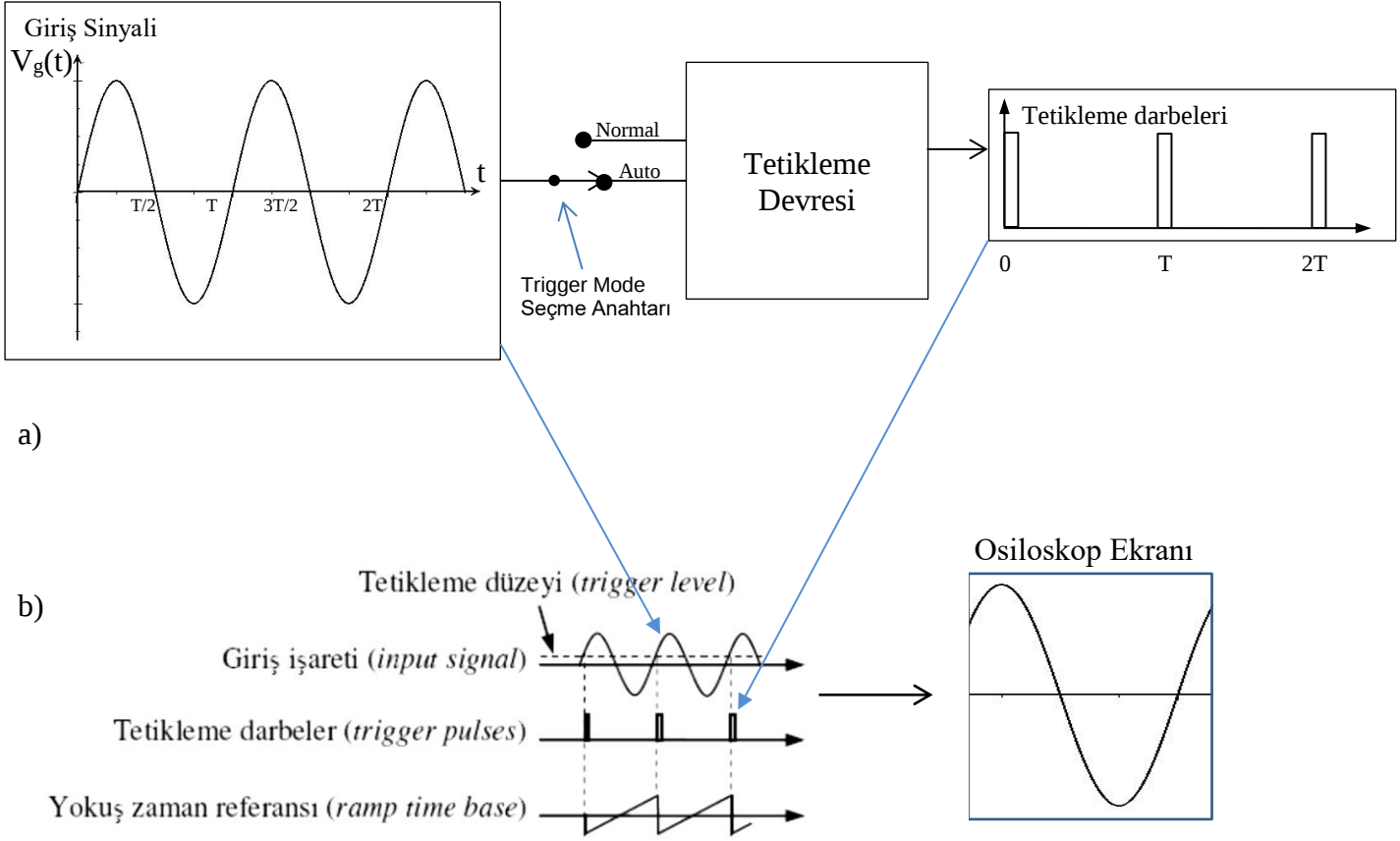


Şekil 10

Biraz alçak olması durumunda ekranda elde edilecek örüntüler görünmektedir. Burada örüntü soldan sağa doğru kayar. Örüntünün, ekran üzerinde değişmez (sabit) görünmesi için tarama periyodu incelenecek olan sinyal periyodu ile aynı periyoda (veya biri diğerinin tam katı durumuna) getirilir. Bu eyleme zamandaşlama (synchronization) denir.

Ayrıca bazı durumlarda ekranda sinyalin birden fazla periyodu görülmek istenir. Böyle durumlarda ekranda kaç adet sinyal periyodu görülmek isteniyorsa, tarama periyodunu sinyal periyodunun o kadar katına arttırmak gerekir. Örneğin, iki sinyal periyodu görülmek istenirse, taramanın periyodu sinyalinin iki katı olmalıdır. Sinyalin üç periyodunu ekranda izlemek istersek, tarama periyodu sinyalin periyodunun üç katı olmalıdır. Düşey yükseltecin zamandaşlama devresine bağlanması ile tetikleme (triggering) anı denetlenir ve düşey giriş sinyali ile yatay tarama devresi arasında bir zamandaşlık yaratılabilir. Eğer dışarıdan bir zamandaşlama sinyali verilirse, tarama devresi buna göre zamandaşlanır.

Bazı basit osiloskoplarda tetikleme düzeni bulunmaz. Bu durumda tarama üreticinin (time-base generator) frekansı el ile ayarlanarak giriş sinyali frekansının tam katlarına eşitlenir. Bu tür tarama üreticilerine serbest çalışan (free running) üreticiler denir. Tetikleme düzeni olan tarama üreticilerinde "tetikleme seviyesi" (TRIG LEVEL) düğmesi vardır. Bu düğme bir potansiyometreyi döndürerek tetikleme seviyesini ayarlar, TRIG LEVEL düğmesi AUTO konumunda bir tetikleme seviyesi seçilmiş olur. Eğer AUTO konumundan çıkarılıp sağa doğru çevrilirse, tarama üretici serbest çalışma (free-running) durumuna girer. Bu durumda zamandaşlamayı (synchronization) elle yapmak gerekir. Şekil 11'de tetikleme devresinin giriş ve çıkış sinyalleri gösterilmiştir. Tetikleme devresinin çıkış sinyali, tarama üreticinin giriş sinyali ile zamandaş çalışmasını sağlar.



Şekil 11 Tetikleme devresi giriş ve çıkış sinyalleri.

### YATAY SAPMA SİSTEMLERİ (Horizontal Deflection System)

Bu sistem yatay yükselteçler (horizontal amplifiers) ile bir zayıflatıcıdan (attenuator) oluşur. Yükselteçlerin işlevi, uygulanan sinyali minimum bozulma (distortion) ile yükseltmektir. Zayıflatıcı ise giriş sinyalinin genliğini azaltmakta kullanılır.

Yatay sisteme üç tür giriş sinyali uygulanabilir: İki dış (external) giriş ve bir iç (internal) giriş.

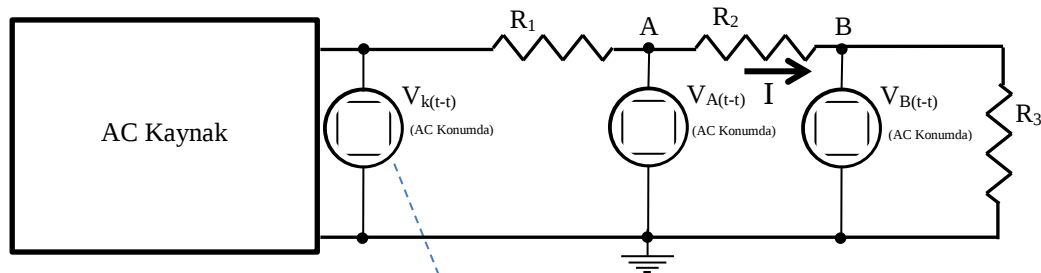
1. Çoğu ölçmeler zamana göre yapıldığı için düşey sisteme uygulanan dalga yolu ile zamandaşlama devresinde oluşan tetikleme vuruşları, tarama devresine ve oradan da yatay sisteme uygulanır. Bu da ön panodaki iç (INTERNAL) düğmesine basılmakla oluşur.
2. Tarama devresi dışarıdan bir dalga ile tetiklenir. Bu da ön panodaki dış tetikleme (EXT. Trig) girişine istenilen tetikleme sinyalinin uygulanması ve INT düğmesinin dışarı duruma getirilmesi ile sağlanır.
3. Dışarıdan bir sinyal verilip de ekranda yatay ve düşey plakalara uygulanan sinyallerin birleşim örüntüsü (Lissajon-Pattern) görülmek istenirse, ön panodaki dış x (Ext. X)'e giriş sinyali bağlanır.

## DIŞ YEĞİNLİK BİNDİRMESİ (“External Intensity Modulation” veya “Z-Axis Modulation”)

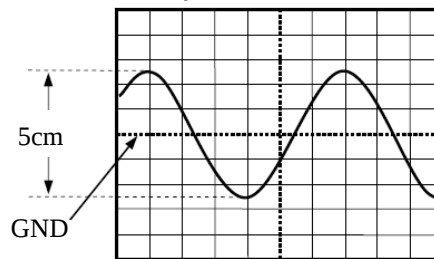
Katot ışıklı tüpün (CRT) ızgarasına (grid) uygulanan gerilimin değişmesi, ekrandaki ışık noktasının ya da ışık izinin şiddetini (intensity) değiştirir. Yeterli büyüklükteki sinyalin ızgaraya uygulanması ile ekranda kesikli bir iz oluşur. Nedeni ise, ızgaraya uygulanan sinyalin genliğinin bir yarı periyotta çoğalıp diğer yarı periyotta azalmasıdır. İşte bu etkiye, Z-ekseni bindirmesi ve ışık yeğniliğinin bu biçimde değişmesine de üçüncü boyut (third dimension) ya da Z-eksen (Z-dimension) denir.

## OSİLOSKOP İLE GERİLİM-AKIM ÖLÇME

Volt/cm düğmesinin 1V/cm konumunda ve prob zayıflatmasının (attenuation) da 10 olduğunu kabul edelim.



Şekil 12a



Şekil 12b AC Kaynak çıkışının Osiloskop Ekranındaki Görüntüsü

$V_{k(t-t)} = 5 \text{ cm} \times 1 \text{ V/cm} \times \mathbf{10} = 50 \text{ V}$  (formülde sona eklenen **10**; prob zayıflatmasıdır.)

Şekil 12a'daki  $R_2$  direnci üzerinde düşen gerilimi bulmak için, osiloskobun 1. kanal probunun toprak ucu devrenin toprağına (T) bağlanır. Probun diğer ucu ilk öne A'ya bağlanır. Sinyal şekli Osiloskop ekranı içerisinde kalacak şekilde ölçüm yapılır. Sonrada B'ye bağlanarak aynı işlem tekrarlanır. Ölçüm (A ve B' deki) tepeden tepeye ölçmeyi içerir.

A'daki ölçüm tepeden tepeye 3.0 cm ve B'deki ölçüm tepeden tepeye 1.0 cm olsun. AB'deki tepeden tepeye  $3.0 \text{ cm} - 1.0 \text{ cm} = 2.0 \text{ cm}$ 'dir.

$V_{AB(t-t)} = (2.0 \text{ cm}) \times \left(1 \frac{\text{V}}{\text{cm}}\right) \times 10 = 20 \text{ V}$ ’dur. Ölçümlerden yararlanarak hesaplanan bu değer  $R_2$  direnci üzerinde düşen AC gerilimdir. Eğer  $V_{AB}$ ’nin RMS (etkin) değeri bulunmak istenirse ve AC kaynağı sinüs veriyorsa,

$$V_{AB(RMS)} = \frac{20V_{t-t}}{2\sqrt{2}} = 7.07 \text{ V, dir.}$$

Eğer kaynak DC ise, Osiloskobun AC-DC anahtarı DC konumuna getirilir.  $V_{AB}$  gerilimi A ve B

noktalarındaki ölçülen değerlerin birbirinden çıkartılıp ve Volts/cm düğmesinin gösterdiği değerle ve prob zayıflatma faktörü (10) ile çarpılarak bulunur. Örneğin A'da 5 cm ve B'de 2 cm okunursa,

$$V_{AB(DC)} = (5 \text{ cm} - 2 \text{ cm}) \times \left(1 \frac{\text{V}}{\text{cm}}\right) \times 10 = 30 \text{ V bulunur.}$$

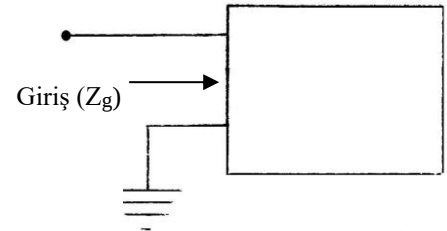
Eğer  $R_2$  direncinin değeri biliniyorsa,  $R_2$  üzerindeki akım

$$I = \frac{V_{AB}}{R_2}$$

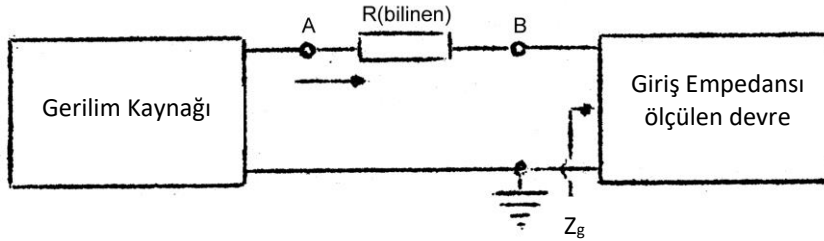
den yararlanarak bulunur.

## OSİLOSKOP İLE GİRİŞ DİRENCİ (Giriş Empedansı) ÖLÇME

Şekil 14' deki devrenin giriş direnci (giriş empedansı  $Z_g$ ) için, bu devreye değeri bilinen bir direnç ( $R_{bilinen}$ ) ve gerilim kaynağı bağlanarak bulunur (Şekil 15) .



Şekil 14



Şekil 15

Daha önce anlatılan yöntemle  $V_{AB}$  gerilimi ölçülür.

Akım;  $I = \frac{V_A - V_B}{R_{bilinen}}$

bağıntısından, giriş direnci de aşağıdaki bağıntıdan bulunur.

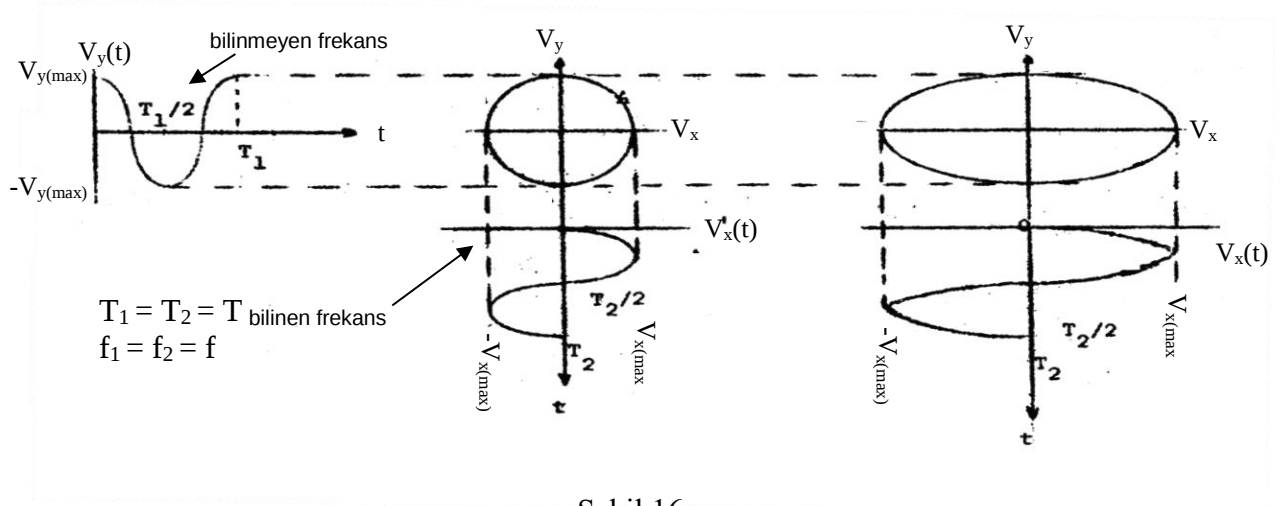
$$Z_g = \frac{V_B}{I}$$

## FREKANS (SIKLIK) ÖLÇME

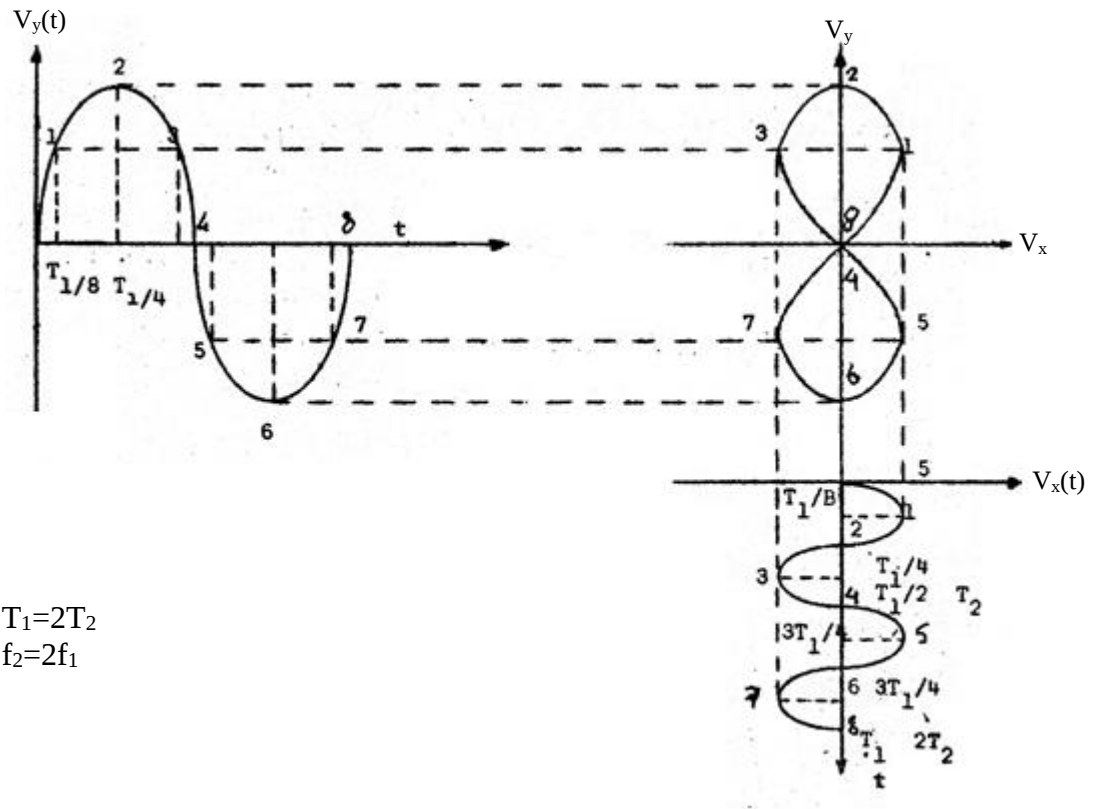
Osiloskopta frekans iki yöntem ile ölçülür.

### A. FREKANSLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

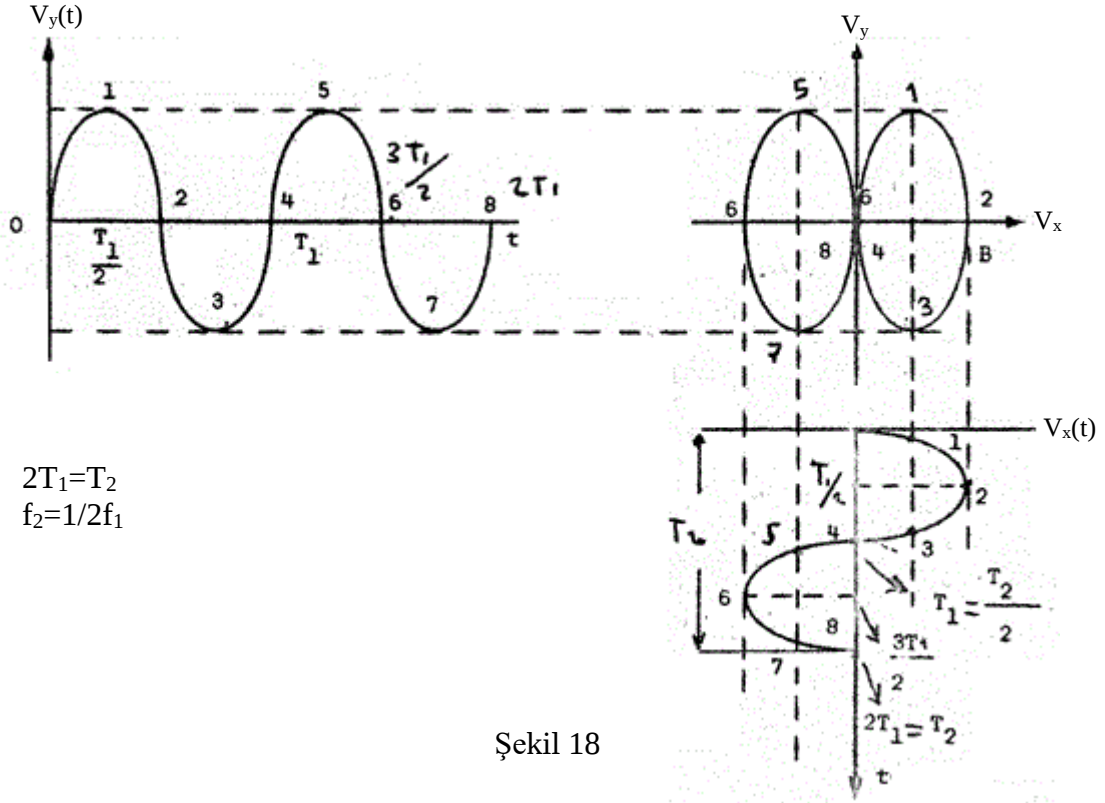
**Lissajou Yöntemi ile Frekans Ölçümü:** Bilinmeyen frekanslı bir sinyal (çoğunlukla dikey yükseltece (Y-girişine) uygulanır) ile frekansı bilinen bir sinyalin (çoğunlukla yatay yükseltece (X-girişine) uygulanır) karşılaştırılmasını içerir. Bunun için de, standart (bilinen) sinyalin frekansı osiloskobun ekranında ya bir daire (eğer her iki sinyalin genliği aynı ise) ya da bir elips (eğer her iki sinyalin genliği birbirinden farklı ise) görünecektir.



Şekil 16



Şekil 17



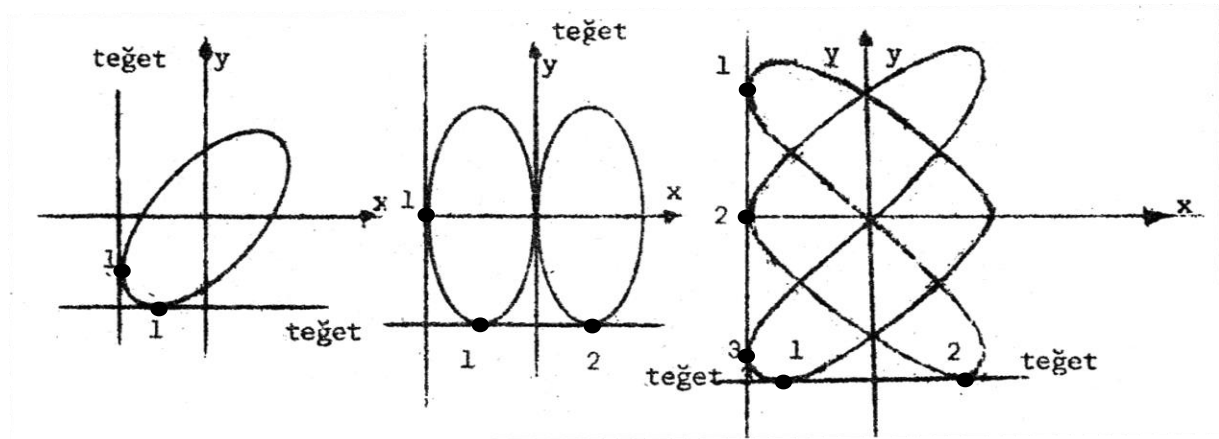
Şekil 18

biçimde ayarlanır. Bu konumda, her iki sinyalin frekansı aynıdır (Şekil 16). Eğer bu olanaksız ise, standart frekans öyle ayarlanır ki bilinmeyen frekans ya standart frekansın katları (Şekil 17) ya da alt katları (Şekil 18) olur. Bu konumda birkaç döngü (loop) görülür.

Eğer birbirlerinin katları ya da alt katları ise, bilinmeyen frekans şöyle bulunur:

$$\frac{\text{y-eksen frekansı: } f_y}{\text{x-eksen frekansı: } f_x} = \frac{\text{x-eksenine paralel teğet noktaları sayısı}}{\text{y-eksenine paralel teğet noktaları sayısı}}$$

Paralel teğetler ile ilgili örnekler Şekil 19’da görülmektedir.

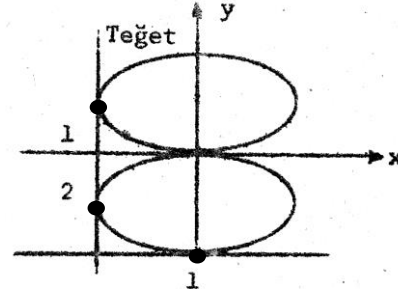


Şekil 19

Örnek: Şekil 20’de x-eksenine uygulanan sinyalin frekansı 50 kHz ise y-eksenine uygulanan sinyalin frekansı kaç Hz’ dir?

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{nt_x}{nt_y} \quad nt_x=1, nt_y=2$$

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{1}{2} \quad f_y=25 \text{ kHz}$$

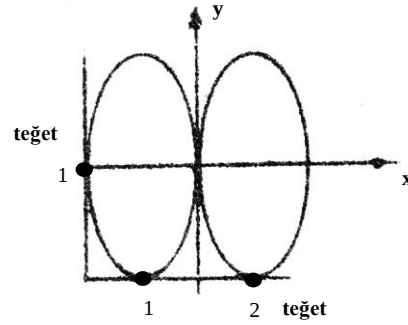


Şekil 20

Örnek: Şekil 21’de x-eksenine uygulanan sinyalin frekansı 30 kHz ise, y eksenine uygulanan sinyalin frekansı kaç Hz’dir?

$$nt_x=2, nt_y=1$$

$$\frac{f_y}{30 \times 10^3 (\text{Hz})} = \frac{2}{1} \quad f_y=60 \text{ kHz}$$



Şekil 21

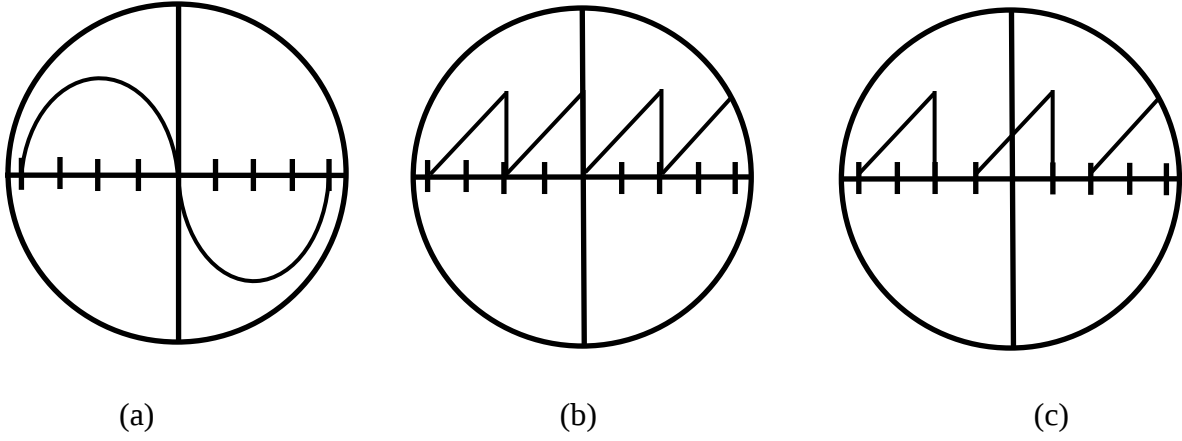
### Sinyallerin Osiloskoba Bağlanması;

Bu Lissajou görüntülerini oluşturabilmek için önce osiloskobun X-Y düğmesine basılarak “Time-Base” sinyali X-plakalarından ayrılır. CH1’den düşey saptırıcı plakalara (Y-plakaları), CH2’den yatay saptırıcı plakalara (X-plakaları) sinyaller uygulanır. Sonuçta, her iki sinyalin frekansları ve dalga biçimlerine göre ekranda bir görüntü elde edilir.

### B. FREKANSIN ZAMAN TABANI ( TIME-BASE ) FREKANSINA GÖRE BULUNUŞU:

Y- eksenine sıklığı bilinmeyen sinyal uygulanır. Osiloskobun ön panosundaki CAL düğmesi ok yönünde ve x-kazanç (X-GAIN) düğmesi de saatin ters yönünde çevrilerek ölçekleme (calibration) yapılmış olur. Sonra da ekranda görülen sinyalin bir periyodunu kaç cm’de oluşturduğu okunur (Şekil 22). Bu okunan değer, Time/cm düğmesinin gösterdiği değerle çarpılarak gerçek periyodu bulunur. Bunun tersi alınırsa frekans;

$$f = \frac{1}{T} \text{ bulunmuş olur.}$$



Şekil 22

Şekil 22'deki örnekleri ele alalım. Time/cm düğmesi 10 ms/cm gösterebilir.

Şekil 22 (a)'da sinüs dalgası bir periyodu 8 cm'de tamamladığı için periyodu,

$$T = 8 \text{ cm} \times 10 \times 10^{-3} \text{ s/cm} = 80 \text{ ms ve frekansı}$$

$$f = \frac{1}{80 \times 10^{-3} \text{ s}} = 12,5 \text{ Hz bulunur.}$$

Şekil 22 (b)'de ise bir periyodu 2 cm de tamamladığı için periyodu

$$T = 2 \text{ cm} \times 10 \times 10^{-3} \text{ s/cm} = 20 \text{ ms ve frekansı}$$

$$f = \frac{1}{20 \times 10^{-3} \text{ s}} = 50 \text{ Hz bulunur.}$$

Şekil 22 (c)'de ise, bir periyodu 3 cm de tamamladığı için periyodu

$$T = 3 \text{ cm} \times 10 \times 10^{-3} \text{ s/cm} = 30 \text{ ms ve sıklığı}$$

$$f = \frac{1}{30 \times 10^{-3} \text{ s}} = 33,3 \text{ Hz bulunur.}$$

## EVRE AÇISI (PHASE) ÖLÇÜMÜ

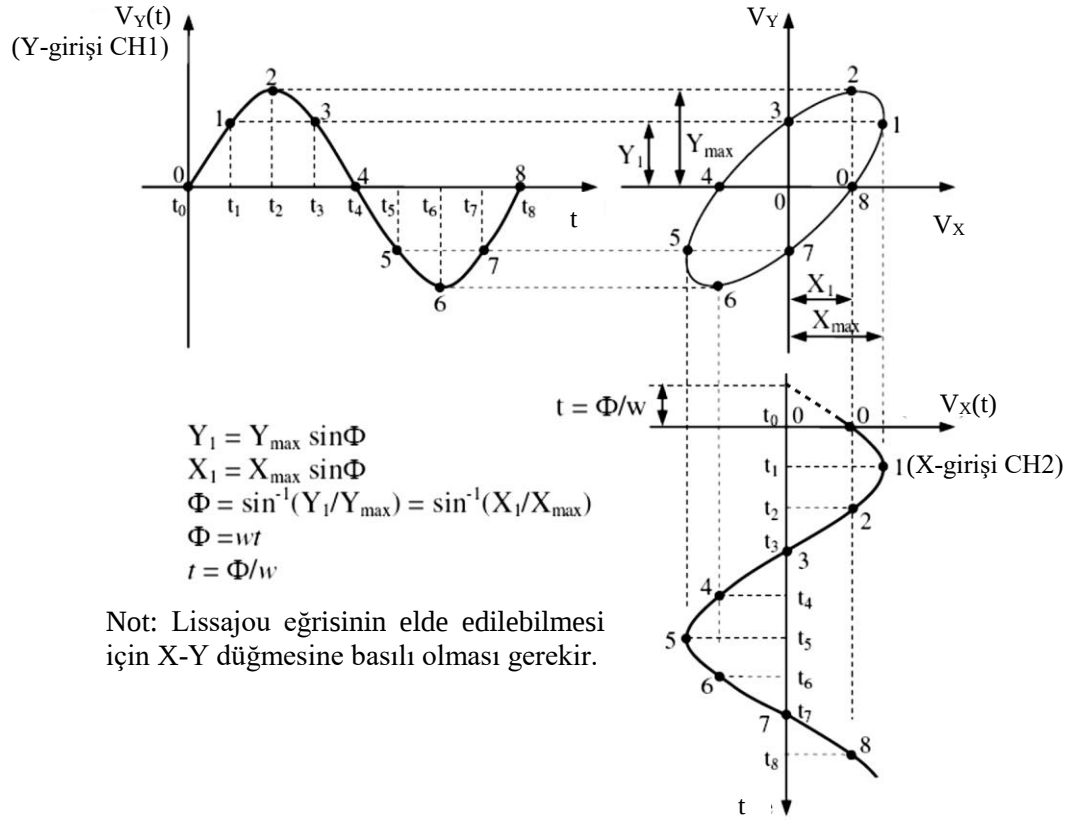
Aynı frekanstaki 2 veya daha fazla sinyaller için geçerlidir.

İki yöntem ile bulunabilir:

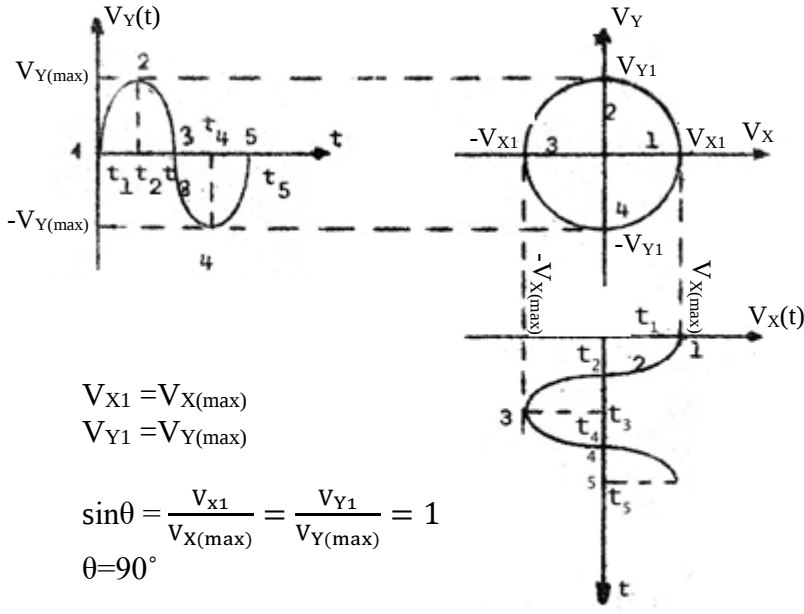
### (1) LISSAJOU YÖNTEMİ

Aynı frekanstaki iki sinüzoidal dalga sinyalleri arasındaki evre açısı (faz), osiloskobun X ve Y girişlerine bu sinyallerin uygulanmasıyla elde edilen lissajou biçiminden hesaplanabilir.

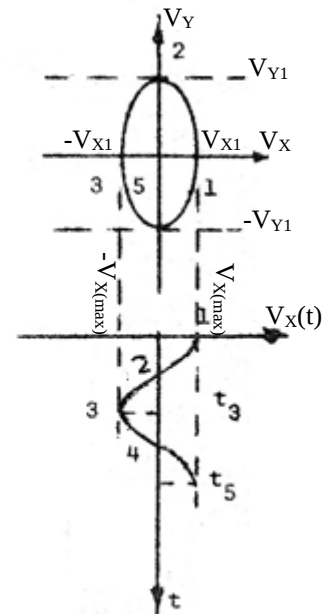
$$\Phi = \sin^{-1}(Y_1/Y_{\max}) = \sin^{-1}(X_1/X_{\max})$$



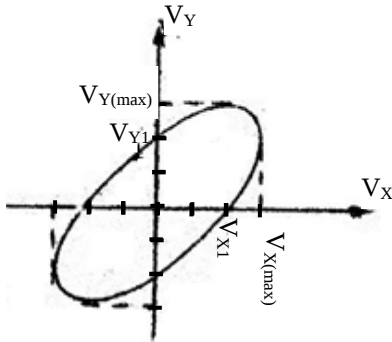
Şekil 23



Şekil 24a



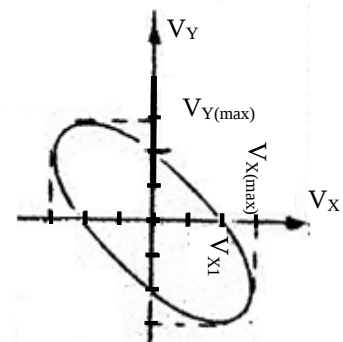
Şekil 24b



$$\sin\theta = \frac{V_{X1}}{V_{X(max)}} = \frac{V_{Y1}}{V_{Y(max)}} = \frac{2}{3}$$

$$\theta = 42^\circ$$

Şekil 25



$$\sin\theta = \frac{V_{X1}}{V_{X(max)}} = \frac{V_{Y1}}{V_{Y(max)}} = \frac{2}{3}$$

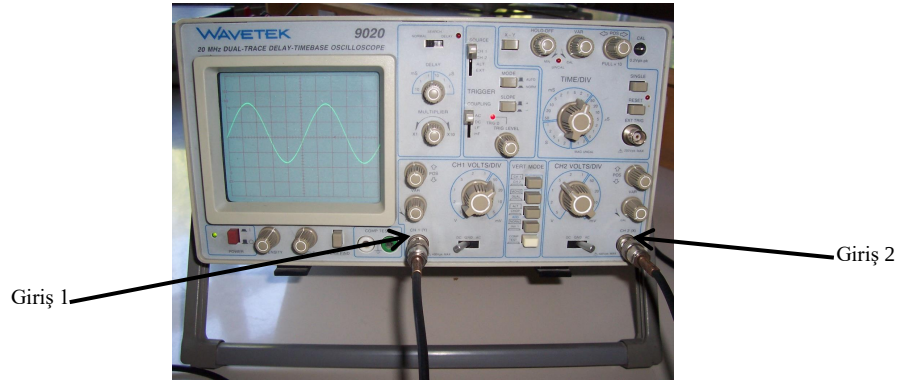
$$\theta = 42^\circ$$

Şekil 24 a-b ve Şekil 25' de aynı frekanstaki sinyalleri çeşitli evre açıları ile ilgili lissajou şekilleri görülmektedir.

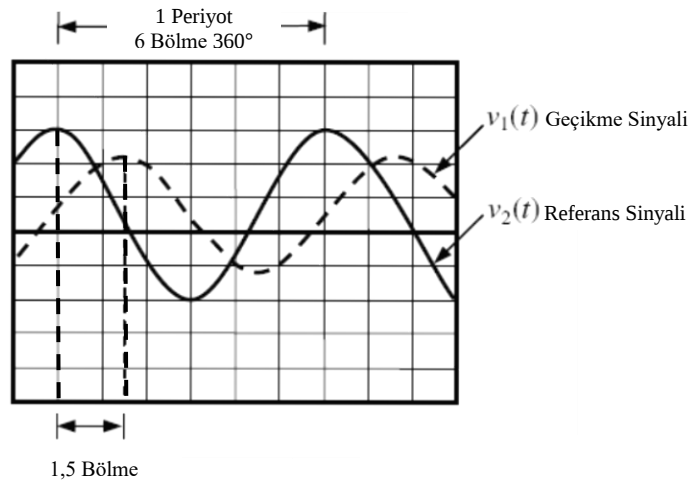
## (2) İKİ-İZ YÖNTEMİ İLE EVRE AÇISI ÖLÇÜMÜ

İki iz yöntemi ile FAZ açısı ölçümü bütün frekanslarda (sıklıklarda) özellikle 100 kHz gibi yüksek frekanslarda oldukça doğru bir evre ölçümü gösterir. Bu frekansta X-Y yöntemi ile ölçmede yanlışlık yapılabilir. Nedeni ise doğal iç evre kaymasıdır (Internal phase shift).

Bu yöntemde, her iki dalga osiloskoba uygulanır (Şekil 26). Daha sonra, iki sinyal izindeki ilginç noktalar ölçülür ve bu uzunluk evreye dönüştürülür (Şekil 27).



Şekil 26 İki izli osiloskop (dual-trace oscilloscope).

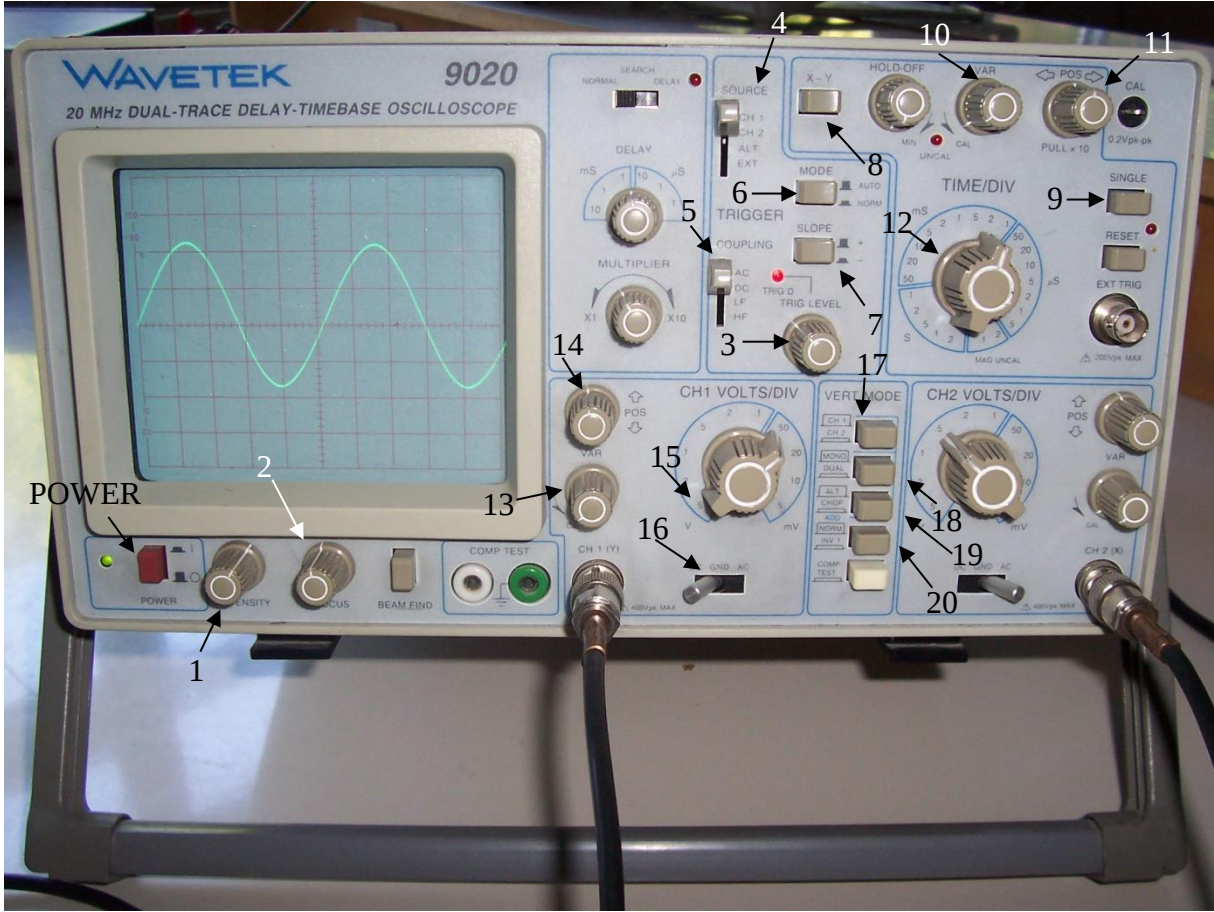


Şekil 27

$$\text{Bir bölmeye karşıt olan derece} = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$$

$$\text{EVRE FARKI (FAZ)} = 1,5 \times 60^\circ = 90^\circ$$

## OSİLOSKOPUN ÇALIŞTIRILMASI



Osiloskobu çalıştırmak için ön pano kontrollerini aşağıdaki gibi düzenleyiniz.

- 1- INTENSITY (yeğlilik, şiddet): Sol tarafa doğru çevirin (iz gözükmeyecek şekilde ayarlayın)
- 2- FOCUS (Netlik, odaklama): Düğmesini sola, sağa çevirerek orta konuma getirin.

### TRIGGER MENU

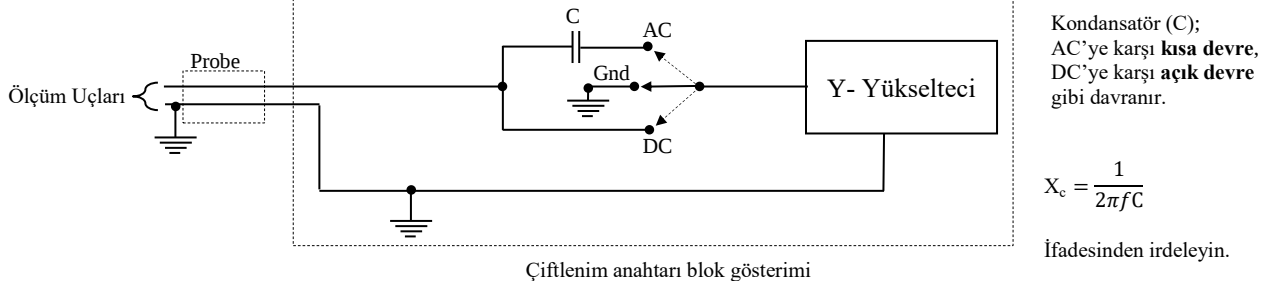
- 3- TRIG LEVEL: Sola-sağa çevirerek orta konuma getirin.
- 4- SOURCE: Hangi kanalda çalışılacaksa, düğmenin konumu o kanalı seçmelidir. CH1'den sinyal gözlenecekse CH1 gibi.
- 5- COUPLING: Düğmesini, gözlenecek sinyal AC ise AC konumuna, DC ise DC konumuna, Düşük Frekanslı AC ise LF konumuna, Yüksek Frekanslı AC ise HF konumuna getirin.
- 6- MODE: Düğmesini AUTO konumuna (otomatik tetikleme) getirin.
- 7- SLOPE: Düğmesini "+" konumuna getirin.

### TIME/DIV MENU

- 8- X-Y: Düğmesi basılı olmayacak (dışarda) konuma getirin.
- 9- SINGLE: Düğmesi basılı olmayacak durumdaki konuma getirin.
- 10- VAR (Variable): Düğmesini "ok işareti" yönünde (cal yönünde) sonuna kadar çevirin.
- 11- POSITON (Yatay Konum Ayarı): Düğmesi ile oynayarak orta konuma alın.
- 12- TIME/DIV (Yatay süpürme düğmesi) : 1 ms/cm konumuna getirin.

### CH1-CH2 VOLT/DIV MENU (CH1'e göre)

- 13- VAR (Variable): Düğmesini “ok işareti” yönünde (cal yönünde) sonuna kadar çevirin.
- 14- POSITON (Dikey Konum Ayarı): Düğmesi ile oynayarak orta konuma alın.
- 15- VOLT/DIV: 5 volt/cm konumunda bulunsun.
- 16- DC-GND-AC Anahtarı (Çiftlenim Anahtarı): Anahtar GND KONUMUNDA OLMALIDIR.



### VERT MODE MENU

- 17- CH1-CH2: Düğmesi hangi kanalda çalışacaksa o kanalın düğmesi seçili olmalıdır (Ekranda gözlenmek istenilen sinyal).
- 18- MONO-DUAL: Düğmesi, tek kanal ekranda gözlenmek istenirse MONO, iki kanal da gözlenmek istenirse DUAL konumuna getirilmelidir.
- 19- CHOP-ALT (Kıyılmış-sıra ile): ALT konumunda bulunmalıdır.
- 20- NORM-INV1: NORM konumunda bulunmalıdır. (INV1 konumunda, CH1'e gelen sinyal -1 ile çarpılıp ekranda gösterilir. **HATALI ÖLÇÜM ALMAMAK İÇİN BU KONUMDA TUTMAYIN !!!**)
- 21- POWER düğmesine basın.

Bu işlem sıralamalarını yaptıktan sonra ekranda yatay çizgi çıkana kadar POSITON düğmeleri ile oynayın. Çizgi gözlenmeyecek kadar sönük ise INTENSITY ve FOCUS düğmeleri ile oynayıp ekranda yatay çizgiyi görmeye ve netleştirmeye çalışın. Görüntüyü netleştirdikten sonra REFERANS çizginizi ekrandaki yatay çizgilerden birini seçerek sinyal GND konumunu belirleyin. DC-GND-AC anahtarını DC ya da AC uygun konumuna getirerek sinyali bu belirlediğiniz REFERANS'a (0 Volt) göre gözlemeye ve ölçüme başlayabilirsiniz.

**Not: REFERANS'ı belirledikten sonra sinyali ölçerken POSITION (Dikey Konum Ayarı) düğmesi ile oynanırsa REFERANS (GND) çizgisi kaybedilir. Gerilim ölçümleriniz REFERANS'a göre olacağından REFERANS çizginizin ekranda nerede olduğunu her ölçümde kontrol edin ve gerekirse düzeltin.**

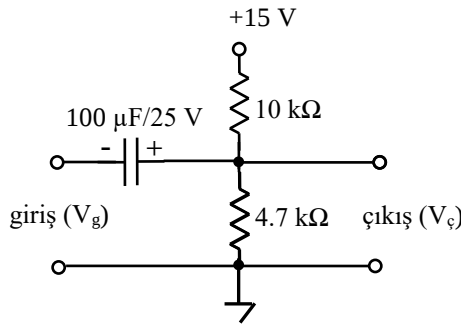
## RAPOR YAZILIŞI HAKKINDA BİLGİ

- Hazırlanacak raporda her bir kesim için deneyin yapılışı, verilen yönergelere uygun olarak yazılacaktır.

### 3. DENEY:

**3.1-** Masanızda bulunan Dalga Üreticinin (Osilatör)  $50\ \Omega$  çıkışını osiloskobun CH1 girişine bağlayın. Çıkışı  $f=1\text{kHz}$ ,  $10V_{(t-t)}$  sinüs sinyal olacak şekilde dalga şeklinin periyodunu ve genliğini ölçün ve ölçekli olarak çizin. Bu dalganın genliğini masanızdaki VOLTMETRE (**AC konumda**) ile tekrar ölçün, sonucu karşılaştırınız ve açıklayınız.

**3.2- X-Y anahtarına basarak osiloskobu EXT-X konumundan çıkarınız (anahtarın dışarı konumda olduğundan emin olun). Şekildeki devreyi kurunuz.**



Not: Devrenin girişine sinyal uygulandığında; giriş sinyalini ( $V_g$ ) osiloskobun CH1 girişine, çıkış sinyalini ( $V_{\phi}$ ) CH2 girişine bağlayarak gözleyiniz.

**3.2.a)** Girişte ac sinyal yok iken **çıkışı** osiloskobun çiftlenim anahtarı **DC** konumuna getirerek gözleyiniz ve  $V_{\phi}$ -t grafiğini **çiziniz**.

**3.2.b)** 3.2.a kesimi için **teorik** çıkış gerilimini **hesaplayınız**. Hesapladığınız bu değerle 3.2.a kesiminde ölçtüğünüz değeri karşılaştırarak yorumlayınız.

**3.2.c)** Girişte ac sinyal yok iken **çıkışı**, osiloskobun çiftlenim anahtarı **AC** konumuna getirerek, gözleyiniz ve 3.2.a kesiminde çizdiğiniz **grafiğin altına, zaman eksenlerinin  $t=0$  anını ve aynı eksen ölçek değerlerini çakıştırarak  $V_{\phi}$ -t grafiğini çiziniz**.

**3.2.d)** 3.2.c kesiminde çizdiğiniz çıkış grafiğini **yorumlayınız**.

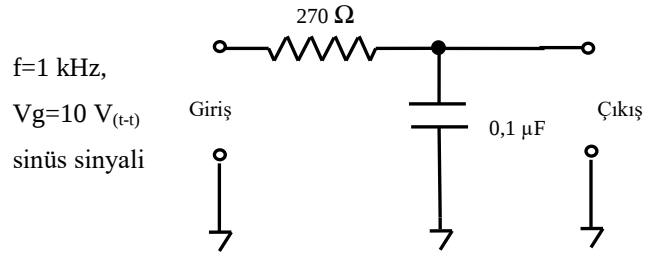
**3.2.e)** Girişe  $5V_{(t-t)}$ ,  $f=1\text{kHz}$ 'lik sinüs sinyali uygulayarak giriş ve çıkışı osiloskobun çiftlenim anahtarı **DC** konumuna getirerek gözleyiniz.  $V_g$ -t ve  $V_{\phi}$ -t grafiklerini, **zaman eksenlerinin  $t=0$  anını ve aynı eksen ölçek değerlerini çakıştırarak alt alta çiziniz**.

**3.2.f)** 3.2.e kesiminde çizdiğiniz çıkış grafiğini **yorumlayınız**.

**3.2.g)** Girişte  $5 V_{(t-t)}$ ,  $f=1 \text{ kHz}$ 'lik sinüs sinyal varken, girişi osiloskobun çiftlenim anahtarı **DC**, çıkışı ise osiloskobun çiftlenim anahtarı **AC** konumuna getirerek gözleyiniz.  $V_g-t$  ve  $V_{\text{ç}}-t$  grafiklerini, **zaman** eksenlerinin  $t=0$  anını ve aynı eksen ölçek değerlerini **çakıştırarak alt alta** çiziniz.

**3.2.h)** 3.2.g kesiminde çizdiğiniz çıkış grafiğini **yorumlayınız**.

**3.3-** Yandaki devreyi kurunuz.



**3.3.a)** Giriş-çıkış noktalarındaki sinyalleri **aynı anda** ekranda gözleyip **ölçerek**, tepe gerilimlerini, periyotlarını ve aralarındaki faz farkını gösterecek şekilde  $V_g-t$  ve  $V_{\text{ç}}-t$  grafiklerini, **zaman** eksenlerinin  $t=0$  anını ve aynı eksen ölçek değerlerini **çakıştırarak alt alta** çiziniz.

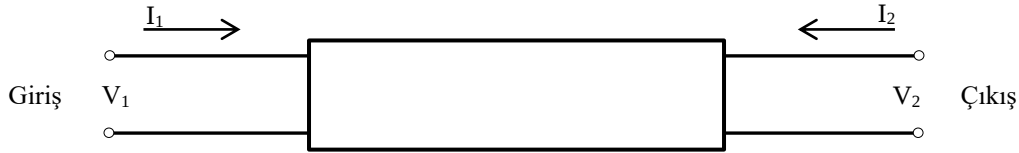
**3.3.b)** 3.3.a kesiminde çizdiğiniz grafikten faz farkını **derece** cinsinden **hesaplayınız**.

**NOT:** Bütün dalga şekilleri **milimetrik kâğıda**, **ölçtüğünüz birimden**, ölçekli ve düzgün olarak çizilecektir. (Milimetrik kağıttaki her iki eksen için, 1 cm aralıklarla ölçek çizgisi ve değeri konularak ölçeklendirme yapılacaktır.)

## GİRİŞ ÇIKIŞ EMPEDANSLARI

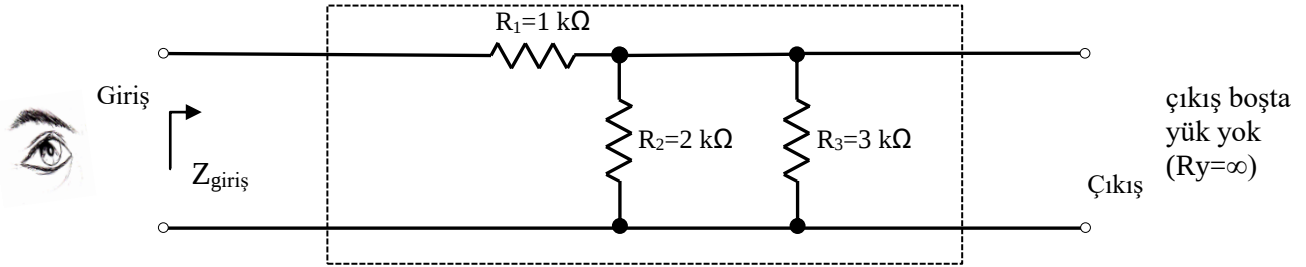
**1. AMAÇ:** İki kapılı devrelerde giriş ve çıkış empedanslarını ölçmek ve sonuçları hesapla bulunan değerlerle karşılaştırmak.

**2. KURAMSAL BİLGİ:** İki kapılı bir devre şematik olarak Şekil 1'deki gibi gösterilir.



Şekil 1 İki kapılı devre.

**Giriş Empedansı:** Çıkışa yük bağlı değilken ( $R_y = \infty$ ) devrenin girişine bir kaynak (sinyal üretici) bağlandığında, bu üreticinin giriş kapısından gördüğü eşdeğer empedans, giriş empedansı olarak tanımlanır. Giriş empedansı, çıkış açık devre iken ( $I_2 = 0$ ) girişe uygulanan  $V_1$  geriliminin  $I_1$  giriş akımına oranıdır.  $Z_{giriş} = \frac{V_1}{I_1}$  ( $I_2 = 0$  iken)



Şekil 2

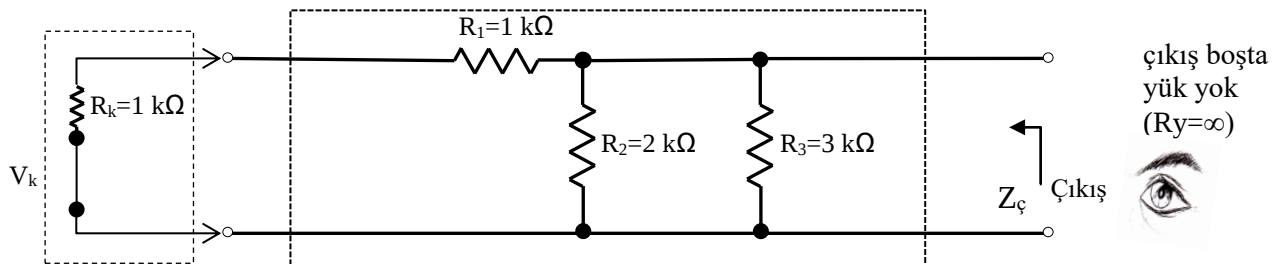
$R_1=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2=2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3=3 \text{ k}\Omega$  olarak alınırsa,

Giriş Empedansı;

$$Z_{giriş} = R_1 + (R_2 // R_3) = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = R_{giriş} = 1 \text{ k}\Omega + \frac{2 \text{ k}\Omega \times 3 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega} = 2.2 \text{ k}\Omega$$

olarak bulunur.

**Çıkış Empedansı:** Çıkışa yük bağlı değilken ( $R_y = \infty$ ) çıkış kapısından görülen Thevenin eşdeğer devresinin ya da Norton eşdeğerinin direncidir. Thevenin eşdeğer direnci ( $R_{Th}$ ), devredeki gerilim kaynakları kısa devre, akım kaynakları ise açık devre kabul edildiğinde (yani kaynaklar öldürüldüğünde ( $V_k$  gerilim kaynağı)) çıkış kapısından görülen eşdeğer dirençtir.



Şekil 3

Çıkış empedansı hesaplanırken girişe bağlı güç kaynağının iç direncide ( $R_k$ ) (kaynağın çıkış empedansı da ( $Z_k$ ) denir) dikkate alınmalıdır (Şekil 3).

Girişte gerilim kaynağı olduğundan çıkış empedansı hesaplanırken bu kaynak kısa devre yapılır.  $R_1=1\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=2\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=3\text{ k}\Omega$  ve  $R_k=1\text{ k}\Omega$  olarak alınırsa,

Çıkış empedansı;

$$Z_{\phi} = (R_k + R_1) // R_2 // R_3$$

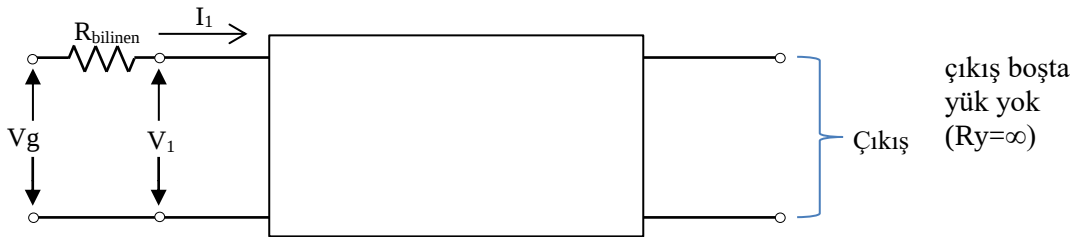
$$\frac{1}{Z_{\phi}} = \frac{1}{R_1 + R_k} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 R_3 + R_3 (R_1 + R_k) + R_2 (R_1 + R_k)}{R_2 R_3 (R_1 + R_k)}$$

$$Z_{\phi} = \frac{R_2 R_3 (R_1 + R_k)}{(R_1 + R_k)(R_2 + R_3) + (R_2 R_3)} = \frac{2\text{ k}\Omega \cdot 3\text{ k}\Omega (1\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega)}{(1\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega)(2\text{ k}\Omega + 3\text{ k}\Omega) + (2\text{ k}\Omega \cdot 3\text{ k}\Omega)} = 0.750\text{ k}\Omega$$

olarak bulunur.

## ÖLÇME YÖNTEMİ

**a) Giriş Empedansı:** Bir devrenin giriş empedansını ölçmek için giriş kapısındaki gerilim ve akımın ölçülmesi yeterlidir. Bir voltmetre (veya osiloskop) ve bir ampermetre ile problem çözülebilir. Deneyde ampermetre kullanılmayacağı için, giriş akımı girişe seri bağlı bilinen bir  $R$  direnci ( $R_{bilinen}$ ) üzerindeki gerilim düşmesi ölçülerek hesaplanacaktır (Şekil 4).

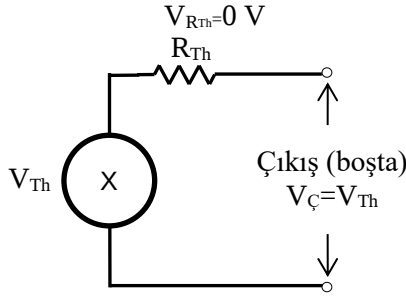


Şekil 4

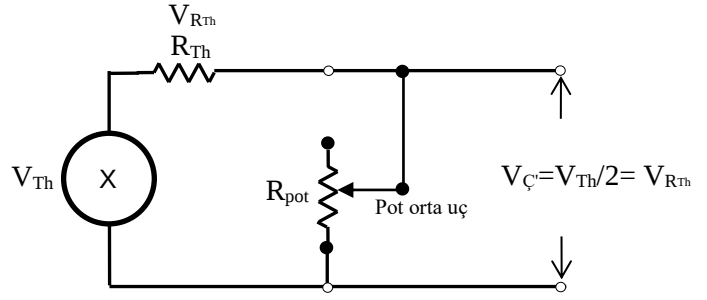
$$I_1 = \frac{V_g - V_1}{R_{bilinen}} \quad Z_g = \frac{V_1}{I_1} = \frac{V_1}{(V_g - V_1)} R_{bilinen}$$

olarak bulunur.

**b) Çıkış Empedansı:** Girişine bir kaynak bağlanmış olan Şekil 3'deki devrenin çıkış kapısından bakıldığında görülen **Thevenin eşdeğer devresi** Şekil 5a'daki gibidir. Thevenin direnci  $R_{Th}$ 'dır. Şekil 3'deki devrede, önce çıkıştan akım çekilmeksizin çıkış gerilimi ölçülür. Bu, Thevenin gerilimidir ( $V_{Th}$ ). Daha sonra değişken bir direnç çıkışa bağlanır ve çıkış gerilimi  $V_{Th}$  değerinin yarısına ininceye kadar  $R$  direnci küçültülür.  $V_{\phi} = V_{Th}/2$  olduğunda (Şekil 5b)  $R_{pot} = R_{Th}$  olur (neden?).  $R$  direncinin değeri bir ohmmetreyle ölçülerek çıkış empedansı bulunur.

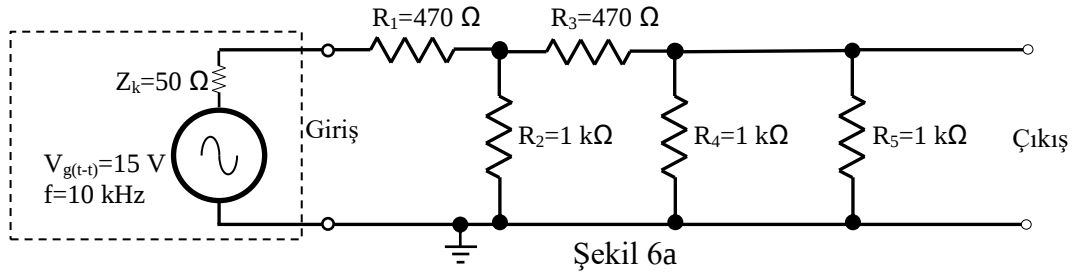


Şekil 5a Thevenin eşdeğer devresi.  
(X güç kaynağı; AC veya DC'dir)



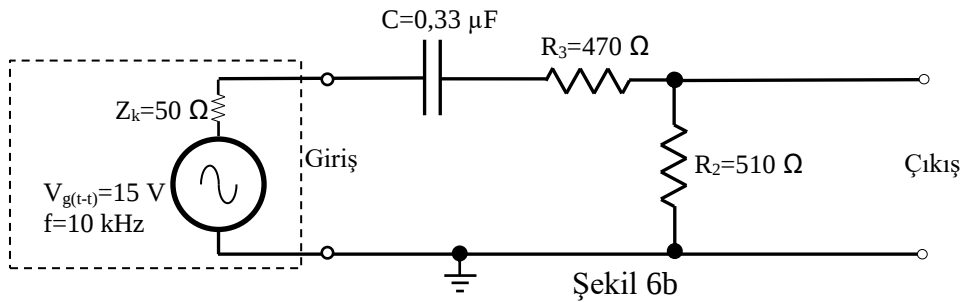
Şekil 5b

## ÖN ÇALIŞMA



Şekil 6a

- Şekil 6a'daki devrenin girişine  $V_{g(t)}=15$  Volt,  $f=10$  kHz ve  $Z_k=50 \Omega$  olan bir sinyal kaynağı bağlandığında, bu kaynağın devrenin giriş kapısından gördüğü giriş empedansını ( $Z_g$ ) fazör formda hesaplayarak büyüklüğünü bulunuz.
- Aynı hesaplamaları  $f=100$  Hz için tekrarlayınız.
- Şekil 6a'daki devrenin girişine  $V_{g(t)}=15$  Volt,  $f=10$  kHz ve  $Z_k=50 \Omega$  olan bir sinyal kaynağı bağlandığında çıkış empedansını ( $Z_c$ ) fazör formda hesaplayarak büyüklüğünü bulunuz.
- Aynı hesaplamaları  $f=100$  Hz için tekrarlayınız.



Şekil 6b

- Şekil 6b'deki devrenin girişine  $V_{g(t)}=15$  Volt,  $f=10$  kHz ve  $Z_k=50 \Omega$  olan bir sinyal kaynağı bağlandığında, bu kaynağın devrenin giriş kapısından gördüğü giriş empedansını ( $Z_g$ ) fazör formda hesaplayarak büyüklüğünü bulunuz.
- Aynı hesaplamaları  $f=100$  Hz için tekrarlayınız.
- Şekil 6b'deki devrenin girişine  $V_{g(t)}=15$  Volt,  $f=10$  kHz ve  $Z_k=50 \Omega$  olan bir sinyal kaynağı

- h. Aynı hesaplamaları  $f=100$  Hz için tekrarlayınız.

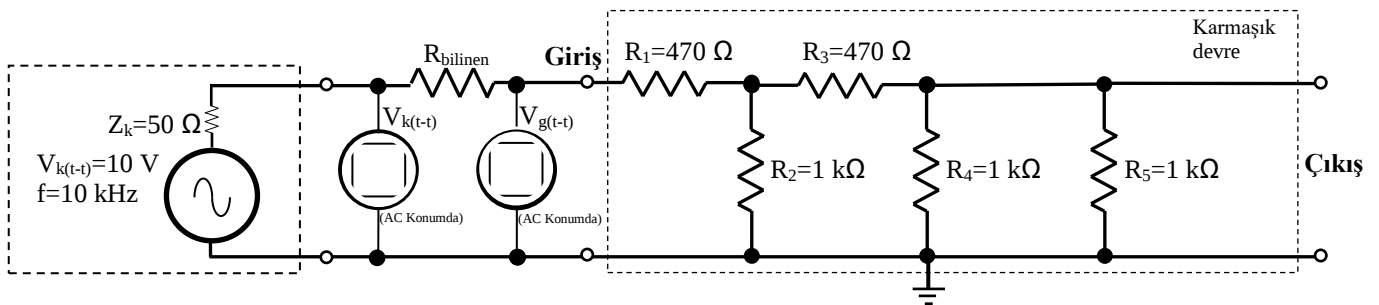
## RAPOR YAZILIŞI HAKKINDA BİLGİ

- Hazırlanacak raporda her bir kesim için deneyin yapılışı, verilen yönergelere uygun olarak yazılacaktır.

### 3 . DENEY

**3.1.**  $V_{\phi}=10$  V<sub>(t-t)</sub>, f=10 kHz ayarladığınız masanızda bulunan sinyal üreticinin çıkış empedansını, 150  $\Omega$ 'luk sabit direnç kullanarak ve gerekli ölçümleri alarak bulunuz.

**3.2.** Şekil 7'deki devreyi kurunuz.



### Şekil 7

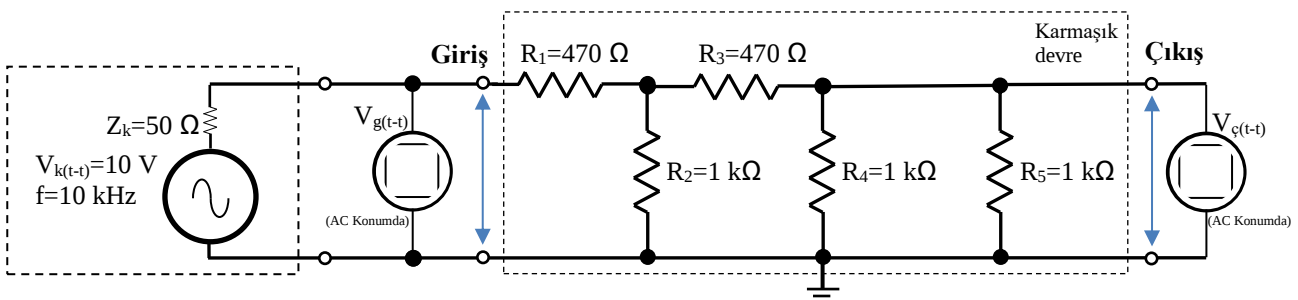
$R_{bilinen}$  direncine bağlı iken, güç kaynağından;  $V_k=10\text{ V}_{(t-t)}$ ,  $f=10\text{ kHz}$ 'lik sinüs sinyali uygulayınız. Gerekli ölçümleri alarak ( $V_k$ ,  $V_g$ ,  $R_{bilinen}$ ) giriş empedansını ( $Z_g$ ) bulunuz. Teorik giriş empedansını ( $Z_g$ ) değerini hesaplayınız. Teorik ve deneysel giriş empedanslarını karşılaştırarak yorumlayınız.

**3.2.a)** 3.2.a kesimindeki deneyi  $f=100$  Hz için tekrarlayarak giriş empedansını deneysel olarak bulsaydınız, bulacağınız giriş empedans değeri 10 kHz için bulduğunuz empedans değerinden daha büyük veya daha küçük mü olurdu? Yorumlayarak nedenini açıklayınız.

**NOT:** Giriş empedansını ölçmek için kullanılan, bilinen direnç 1 k $\Omega$ 'dur.

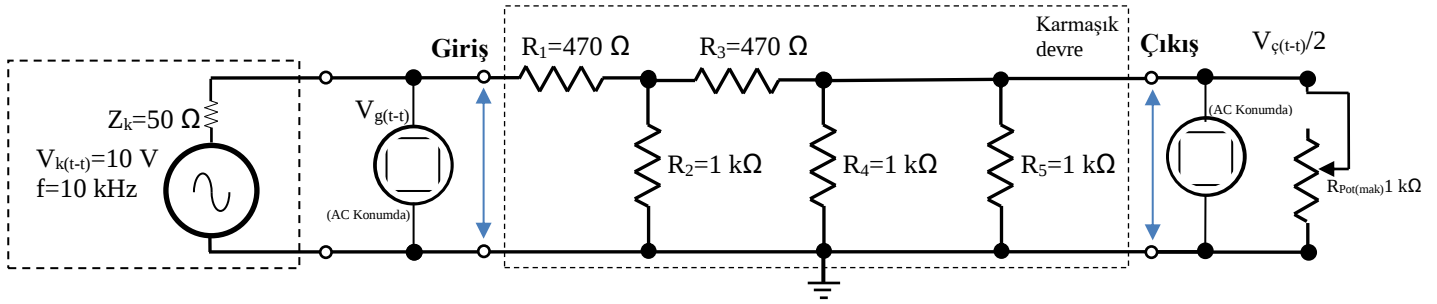
**3.3.** Şekil 8a'deki devreyi kurunuz.

$V_{g(t-t)}$  gerilimini 10 V,  $f=10$  kHz ayarlayınız.  $V_{ç(t-t)}$  gerilimini ölçünüz.



Şekil 8a

3.3.a) Şekil 8a'daki devreye  $1\text{ k}\Omega$   $R_{\text{Pot(mak)}}$  bağlayarak, Şekil 8b'deki devreyi kurunuz.



Şekil 8b

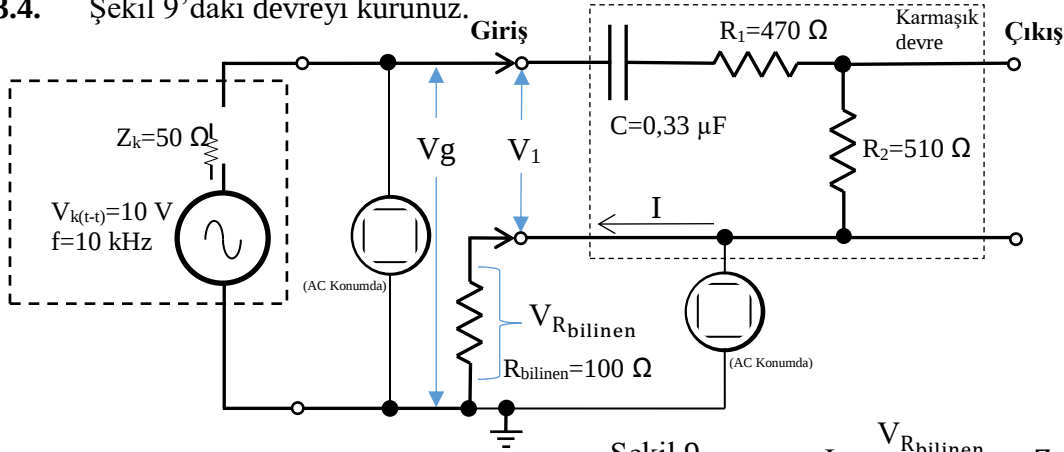
Şekil 8b'deki devrede;  $1\text{ k}\Omega$   $R_{\text{Pot(mak)}}$  değişken direncini, çıkış gerilimi  $V_{\text{ç}(t-t)}/2$  değeri olana kadar ayarlayınız. Ayarlama sonrası  $R_{\text{pot}}$  devreden sökünüz. **OHM metre** ile  $R_{\text{pot}}$  değerini okuyarak çıkış empedansını ( $Z_{\text{ç}}$ ) bulunuz. Teorik çıkış empedansını ( $Z_{\text{ç}}$ ) değerini hesaplayınız. Teorik ve deneysel çıkış empedanslarını karşılaştırarak yorumlayınız.

3.3.b) 3.3.a kesimindeki deneyi  $f=100\text{ Hz}$  için tekrarlayarak çıkış empedansını deneysel olarak bulsaydınız, bulacağınız çıkış empedans değeri  $10\text{ kHz}$  için bulduğunuz çıkış empedans değerinden daha büyük veya daha küçük mü olurdu? Yorumlayarak nedenini açıklayınız.

3.2.a, 3.2.b(teorik), 3.3.a ve 3.3.b(teorik) kesimlerinde bulduğunuz değerlerle aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

| f                | $Z_g$ | $Z_{\text{ç}}$ |
|------------------|-------|----------------|
| 10 kHz(deneysel) |       |                |
| 100 Hz(teorik)   |       |                |

3.4. Şekil 9'daki devreyi kurunuz.



Şekil 9

$$I = \frac{V_{R_{\text{bilinen}}}}{100\ \Omega} \quad Z_g = \frac{V_1}{I} = \frac{V_g - V_{R_{\text{bilinen}}}}{I}$$



**3.5.b)** 3.5.a kesimindeki deneyi  $f=100$  Hz için tekrarlayarak çıkış empedansını deneysel olarak bulsaydınız, bulacağınız çıkış empedans değeri 10 kHz için bulduğunuz çıkış empedans değerinden daha büyük veya daha küçük mü olurdu? Yorumlayarak nedenini açıklayınız.

3.4.a, 3.4.b(teorik), 3.5.a ve 3.5.b(teorik) kesimlerinde bulduğunuz değerlerle aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

| f                | $Z_g$ | $Z_{\text{ç}}$ |
|------------------|-------|----------------|
| 10 kHz(deneysel) |       |                |
| 100 Hz(teorik)   |       |                |

**3.6.** Bu deneyden çıkardığınız sonuçları yazınız. Bu sonuçlara göre bakarak Yorumlayınız.

## DOĞRULTAÇLAR VE ZENER DİYOTLU GERİLİM DÜZENGEÇİ

## 1. AMAÇ:

- Yarıiletken eklem diyot kullanarak yarım-dalga doğrultaç ve tam dalga doğrultaç yapmak.
- C-süzgeci ve zener diyotlu gerilim düzengelinin çalışmasını incelemek.

## 2. KURAMSAL BİLGİ:

Alternatif akım (AC) sinyalini doğru akıma (DC) çevirmek için doğrultaçlar kullanır. Doğrultaçların en çok kullanıldığı yerler DC güç kaynakları ve elektronik aletlerin besleme devreleridir.

Bir DC güç kaynağı üç kısımdan oluşur:

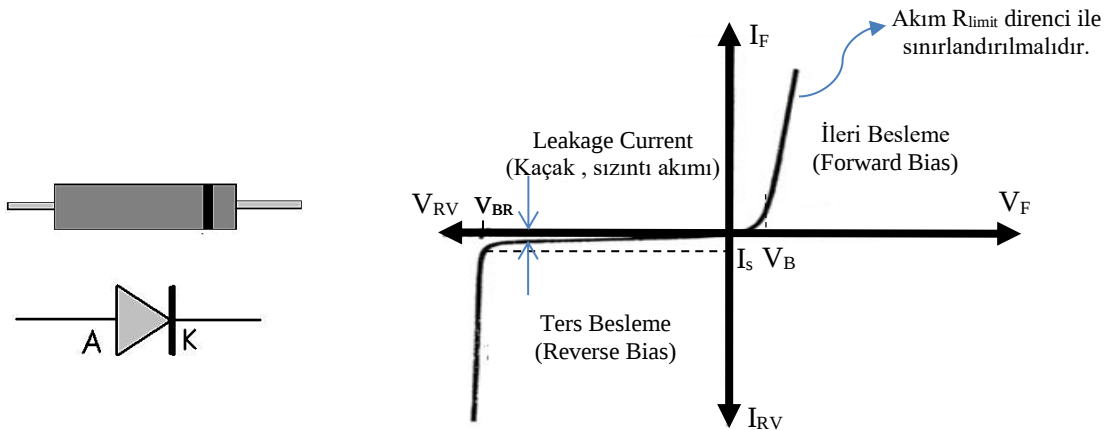
- Doğrultaç
- Süzgeç
- Gerilim ya da akım düzengeci

## 2.1. DOĞRULTAÇLAR:

**a) Diyot:** Alternatif akım sinyalinin doğrultma işlemi diyot ile yapılır. Diyot doğrusal olmayan bir devre elemanıdır ve bir yönde geçen akıma çok küçük diğer yönde geçen akıma ise çok büyük direnç gösterir. Bugün vakum tüplü diyotların yerini eklem diyotlar almıştır. Eklem diyotların yapılış ve çalışmasının fiziksel esasları katı-hal fiziğinin konusudur. Eklem-diyotun şematik gösterimi ve akım-gerilim karakteristiği Şekil 1’de verilmiştir. Diyotun iki ucu arasına uygulanan  $V$  gerilimi ile içinden geçen  $I$  akımı arasındaki ilişki (1) bağıntısı ile verilir.

$$I = I_s(e^{qV/kT} - 1) \quad (1)$$

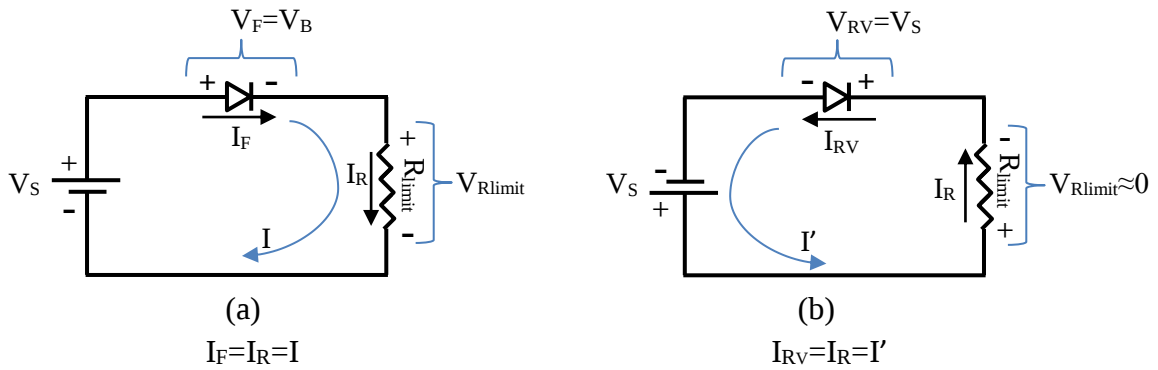
Burada  $q$ , elektron yükünün büyüklüğü,  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K ile verilen Boltzmann sabiti,  $T$  kelvin cinsinden eklem sıcaklığı,  $I_s$  ters doyum akımıdır.



Şekil 1

$V_F$  : İleri besleme gerilimi (Forward Voltage)  
 $V_{RV}$  : Ters besleme gerilimi (Reverse Voltage)  
 $V_B$  : Engel (Bariyer) gerilimi (Barrier Potential)  
 $V_{BR}$  : Kırılma gerilimi (Breakdown Voltage)  
 $I_F$  : İleri besleme akımı (Forward Current)  
 $I_{RV}$  : Ters besleme akımı (Reverse Current)  
 $I_S$  : Ters doyum akımı (Reverse Saturation Current)

Diyotun iki ucu arasında sıcaklığa bağlı olan bir potansiyel engeli vardır. Bu engel, yük taşıyıcılarının eklem bir tarafından diğer tarafına kendiliğinden akmasını engeller. Eğer diyotun iki ucu arasında dışarıdan uygulanan DC gerilim ( $V_S$ ) bu potansiyel engelini azaltacak yönde (Şekil 2a) ise, diyot **ileri beslemelidir** denir. İleri besleme diyot içinden geçen akıma çok küçük direnç gösterir ve akım-gerilim karakteristiği doğrusal değildir. Eğer diyotun iki ucu arasında uygulanan gerilim potansiyel engelini artırıyorsa (Şekil 2b) diyot **ters beslemelidir**.



Şekil 2 (a) Diyotun ileri beslemesi, (b) Diyotun ters beslemesi.

Ters beslemede diyottan geçen akım ileri beslemede geçen akıma kıyasla çok küçüktür. Ters doyum akımı ( $I_S$ ) oda sıcaklığından germanyum diyotları için bir kaç mikroamper; silisyum diyotlar için birkaç pikoamperdir. Diyot eklemesindeki potansiyel engeli nedeni ile diyot üzerinde bir miktar gerilim ( $V_B$ ) düşer.  $V_B$  gerilimi; silisyum diyotlarda (oda sıcaklığında) 0,4-0,7 volt germanyum diyotlarda ise 0,2-0,3 volt arasındadır. ( $V_B$  gerilimi pratikte  $V_0$  gerilimi olarak da adlandırılır.)

Şekil 2'deki devreler için sırasıyla Kirchhoff gerilim yasası yazılırsa,

İleri besleme için;

$$V_S = I_F \times R_{\text{limit}} + V_B \quad (2)$$

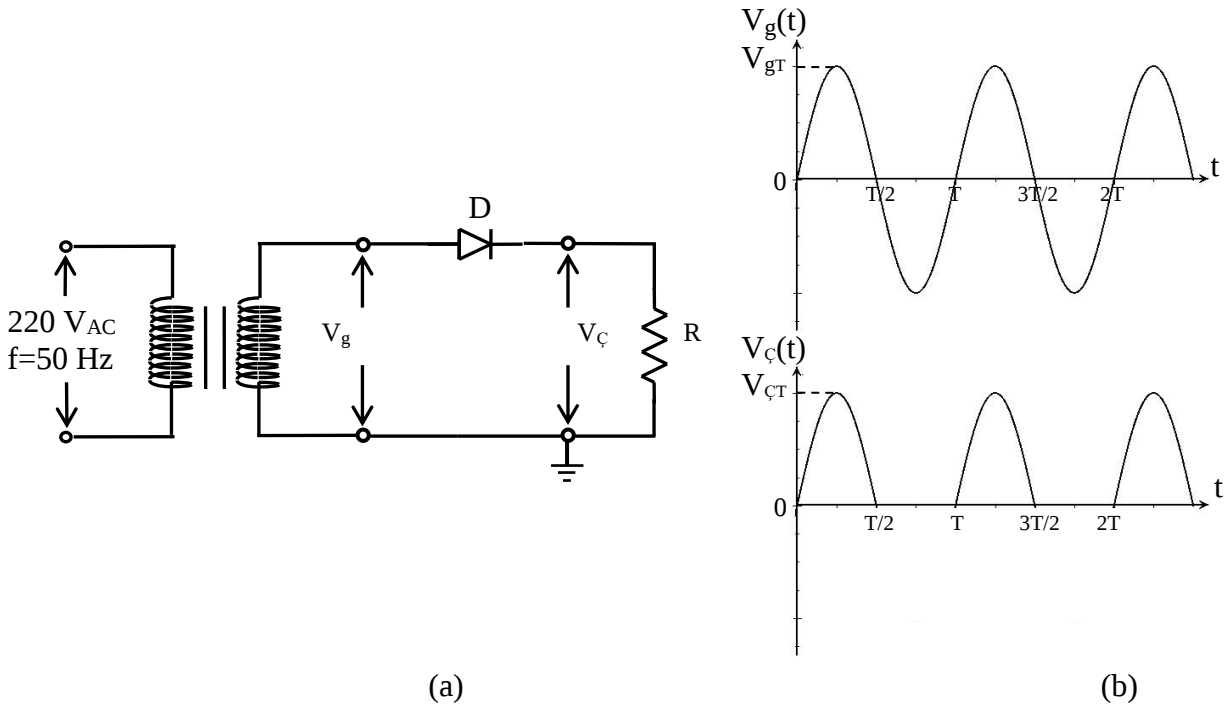
Ters besleme için;

$$V_S = I_{RV} \times R_{\text{limit}} + V_{RV} \quad (3)$$

$$I_{RV} \text{ akımı çok küçük olduğundan } V_S = I_{RV} \times R_{\text{limit}} + V_{RV}, \quad V_S \approx V_{RV} \quad (4)$$

bağıntıları yazılabilir. Dolayısıyla diyotun uçları arasında kaynak gerilimi ( $V_S$ ) görülür.

**b) Yarım dalga doğrultacı:** Şekil 3’de yarım-dalga doğrultacı ve doğrultaç çıkışındaki sinyal çizilmiştir. Girişteki sinüs sinyalinin ilk yarım periyodunda diyot iletimdedir ve akım geçirir, ikinci yarım periyotta ise diyot kesimdedir ve akımı geçirmez. Çıkışın sinyalinin ortalama ya da DC değeri sıfırdan farklı olduğunda sinüs sinyali doğrultulmuştur denir.



Şekil 3 (a) Yarım-dalga doğrultaç, (b) doğrultaç giriş çıkış sinyalleri.

Yarım-dalga doğrultaçta diyot üzerindeki maksimum ters tepe gerilimi  $V_{CT}$ ’dir. Diyot üzerindeki ters gerilim, kırılma gerilimini aşarsa eklem bozular ve diyot özelliğini kaybeder. Doğrultulmuş bir sinyalin ortalama değeri (DC değeri), çıkışa bağlı bir DC ölçü aletinin okuyacağı değerdir ve analitik olarak

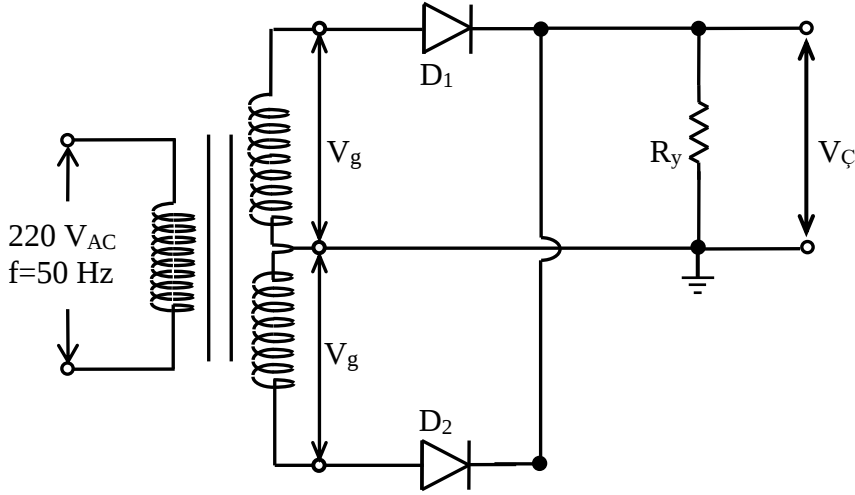
$$V_{DC} = V_{\text{ortalama}} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \quad (4)$$

bağıntısı ile verilir. Yarım doğrultulmuş sinüs sinyali için

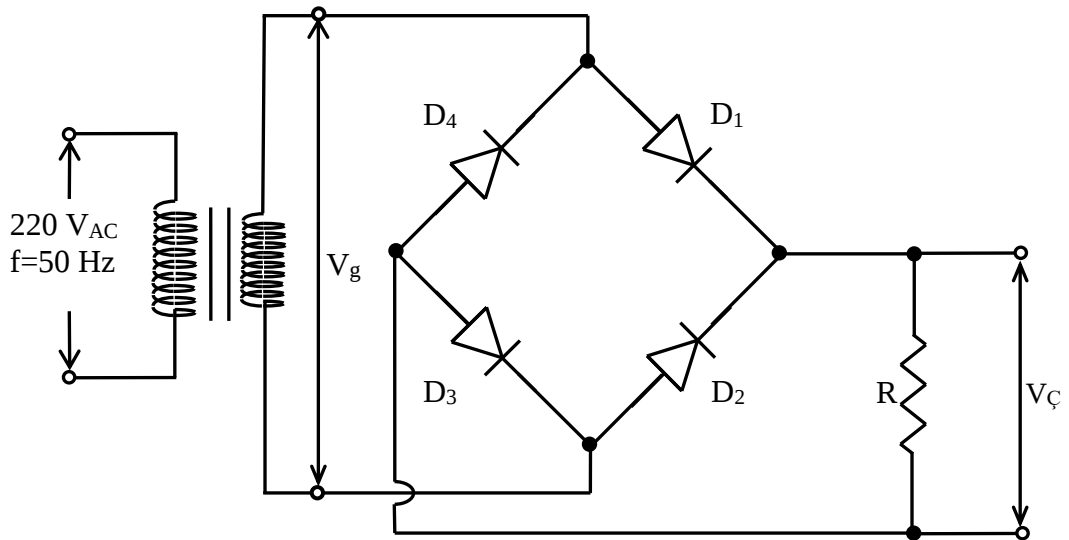
$$V_{DC} = \frac{V_{CT}}{\pi} = 0.318 V_{CT} \quad (5)$$

dir.

**c) Tam Dalga Doğrultacı:** İki diyotlu ve dört diyotlu tam-dalga doğrultacı. Şekil 4’de gösterilmiştir. İki diyotlu tam dalga doğrultacı yapmak için sekonder sargısı orta uçlu olan bir transformatöre ihtiyaç vardır. Giriş sinyalinin pozitif alternansında  $D_1$  diyotu iletimde  $D_2$  diyotu kesimdedir. İkinci yarım periyotta ise durum tersine döner ve yük direnci üzerindeki gerilim Şekil 4a’da görülmektedir.



(a)

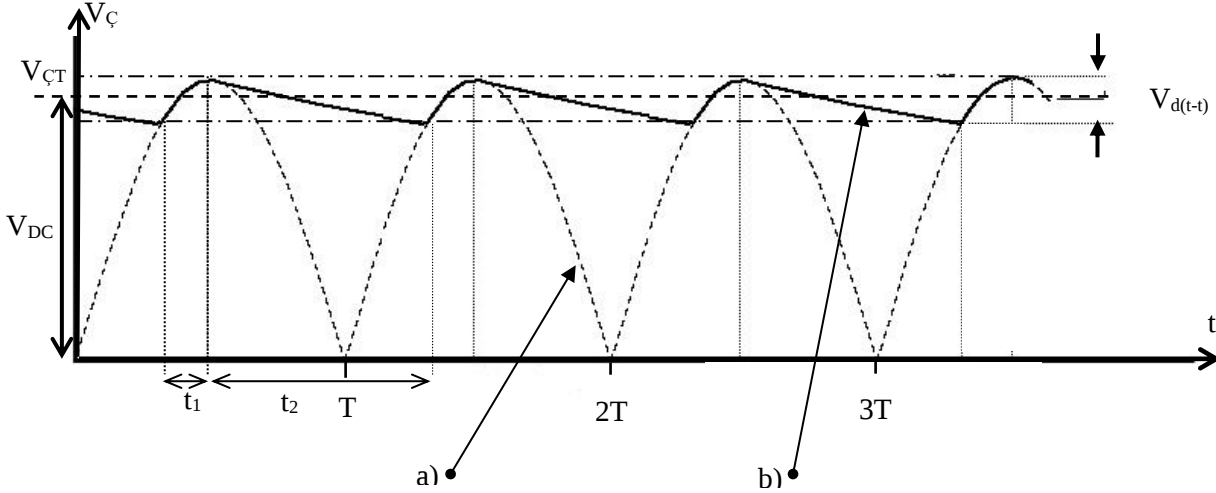


(b)

Şekil 4 (a) İki diyotlu tam-dalga doğrultacı, (b) Köprü doğrultacı.

Köprü doğrultacın çalışması da benzer şekilde açıklanabilir. Tam-dalga doğrultacın çıkış sinyalinin frekansı, giriş sinyalinin frekansının iki katıdır. Tam doğrultulmuş sinüs sinyalinin ortalama değeri (6) bağıntısından bulunur.

$$V_{DC} = \frac{2V_{CT}}{\pi} = 0.636 V_{CT} \quad (\text{çıkışta C-süzgeci yok iken}) \quad (6)$$



Şekil 5 (a) Tam-dalga doğrultacın çıkış sinyali, (b) C-süzgecinden geçirilmiş tam doğrultulmuş sinyal. (b kesimindeki  $V_{DC}$  değeri C-süzgecinden geçtikten sonraki ortalama gerilim değeridir.)

## 2.2. SÜZGEÇLER:

Doğrultulmuş dalga, DC bileşen ve AC bileşenden oluşur. Süzgeçler AC bileşeni azaltmaya yarar. Doğrultma çıkışına uygun biçimde bağlanmış sığaç, indüktans ve dirençlerden oluşan devrelerle süzme sağlanabilir. Güç kaynaklarındaki süzgeç, alçak-geçiren süzgeçtir. Bir süzgecin etkinliğinin ölçüsü, dalgacık katsayısı ( $r$ ) ile verilir. Bu değer süzülme AC bileşeninin etkin değerinin çıkış DC bileşenine oranının yüzde olarak ifadesidir.

$$r(\% \text{ olarak}) = 100 \times \frac{\text{Çıkış sinyalinin AC bileşeninin etkin değeri}}{\text{Çıkış sinyalinin DC bileşeni}}$$

Bu tanıma göre dalgacık katsayısının mümkün olduğu kadar küçük olması istenir.

**C-Süzgeci:** Doğrultma çıkışına paralel bağlı bir sığaçtan oluşur. Basit ve çok kullanılan süzgeç tipidir. C seçiminde aşağıdaki nokta göz önünde bulundurulmalıdır.  $R_Y C \gg T$  olmalıdır. Burada T doğrultulmuş dalganın periyodudur (Şekil 5a). Şekil 5b'de C süzgecinden geçirilmiş bir tam doğrultulmuş dalga çizilmiştir. Burada  $t_1$  süresi içinde diyot iletimde,  $t_2$  süresince ise kesimdedir. Yük  $t_2$  süresi içinde daha önce  $V_{CT}$  gerilimi ile dolmuş olan sığaç tarafından beslenir.  $R_Y C \gg T$  koşulu sağlanırsa dalgacık genliği küçük olur ve süzülen sinyalin ortalama değeri

$$V_{DC} = V_{CT} - \frac{1}{2} V_{d(t-t)} \quad (7)$$

ile verilir.  $R_Y = \infty$  yani  $I_Y = 0$  ise süzgeç kondansatörü boşalmayacağından dalgacık oluşmaz. Bu durumda  $V_{DC} = V_{CT}$  olur.

### 2.3. GERİLİM DÜZENGEÇİ:

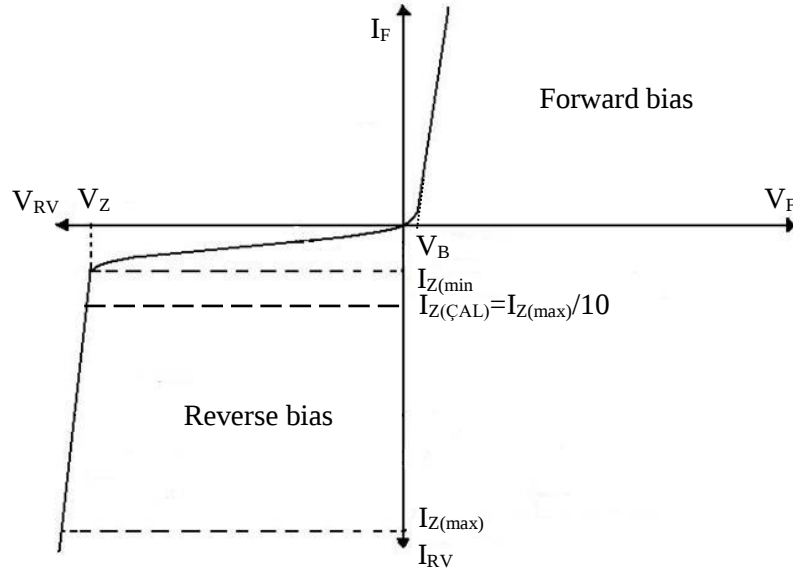
Bir gerilim kaynağının iç direnci nedeniyle, yük akımı arttıkça kaynak gerilimi düşer. Düzengeç (regülatör), kaynak ile yük arasına konulur ve çıkış gerilimini yükten bağımsız hale getirmeye yarar. Bir anlamda kaynak iç direnci azaltılmış olur. Bir düzengecin gerilim düzenleme faktörü (D),

$$\% D = \frac{\text{Yüksüz (açık devre) çıkış gerilimi} - \text{Tam yükte çıkış gerilimi}}{\text{Tam yüklü çıkış gerilimi}} \times 100 \quad (8)$$

ifadesi ile hesaplanır.

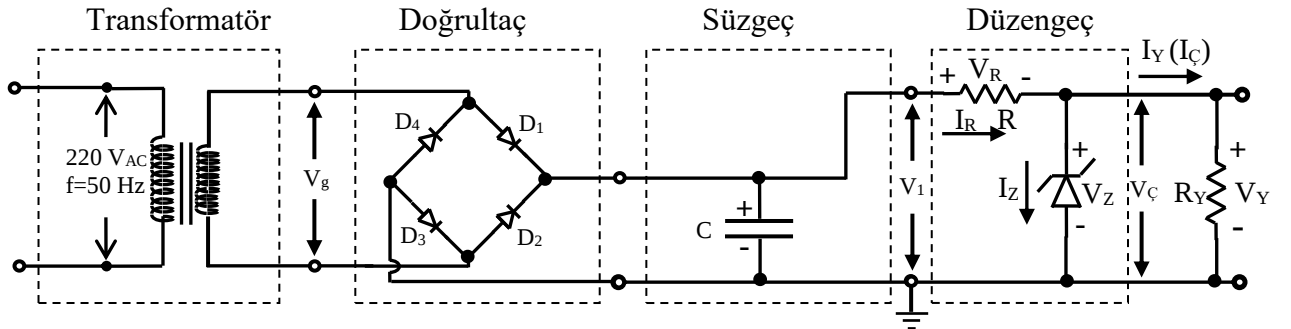
İdealde  $D=0$  olmalıdır.

En basit düzengeç zener diyotlu düzengeçtir. Şekil 6'da bir zener diyotun akım-gerilim karakteristiği çizilmiştir. Zener diyot ters yönde beslendiğinde ve bu ters gerilim  $V_Z$  gerilimden küçük olduğunda idealde akım akmaz (pratikte çok çok küçük akım akar). Bu durumda zener diyot çalışmaz. Ters gerilim,  $V_Z$  geriliminden büyük olduğunda, zener üzerindeki gerilim ( $V_Z$ ) idealde sabit kalır ve diyot üzerinden katottan anoda doğru oldukça fazla akım akar. Minimum ( $I_{Zmin}$ ) ve maksimum ( $I_{Zmax}$ ) akımları arasında, zener diyotun üzerindeki gerilim teorik olarak sabit kabul edilir. Gerçekte, akımlara göre  $V_Z$ 'nin değişimi Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 6 Zener diyotun akım-gerilim karakteristiği.

Zener diyot devreye Şekil 7'deki gibi bağlanır. Bu şekil temel bir güç kaynağının şematik gösterimidir.



Şekil 7

Zener düzengeçli g   kaynak ; çok kullanılan temel bir g   kaynak  devresidir. Zener akımının belli limitler arasında değişmesine karşın  $V_Z$  sabit kalır (teorik olarak). Zenerin bu özelliğinden yararlanarak, yük direnci (yük akımı) değişse bile, güç kaynağının çıkış gerilimini sabit tutulur.

Zener düzengeçli kaynağın tasarımı, aşağıdaki adımlar g   önünde bulundurarak yapılmalıdır;

- i) İstenilen kaynak çıkış gerilimine g   zener gerilimi ( $V_Z$ ) seçilir. Burada  $V_Z = V_  = V_Y$ ’dir.
- ii) Kaynağın çıkışına bağlanan y k değişken ise, tasarım, çekilen maksimum yük akımı ( $I_{Y(max)}$ ) dikkate alınarak, zener diyot güç  $P_{Z(max)}$  seçilir.
- iii)  $P_{Z(max)}$ ’dan faydalanılarak zener diyottan akıtılabilecek  $I_{Z(max)}$  akımı belirlenir.

Doğrultulmuş sinyalin tepe değeri  $V_Z$ ’den yeteri kadar büyük olmalıdır. Bu yaklaşımları sağladıktan sonra basit ve genel amaçlı bir tasarımı şu şekilde gerçekleştirebiliriz.

### ÖRNEK TASARIM:

Maksimum yük akımı  $I_{Y(max)} = 80$  mA ve  $V_  = 10$  V olan zener düzengeçli bir DC güç kaynağı tasarlayalım. Burada verilen  $V_ $  çıkış gerilimidir ve  $V_Z = V_ $ ’dir. D zengecin  alışması için süzgeç çıkış geriliminin ( $V_1$ )  $V_Z$ ’den büyük olması gerekir. Süzgeç kondansatörü üzerindeki gerilimin tepe değeri  $V_Z$ ’den çok büyük olması halinde zener akımını ( $I_Z$ ) arttırır ve güçlü bir zener diyot seçilmesini gerektirir. Bu iki gerilim arasındaki fark küçük ise çıkıştaki DC gerilimin üzerinde oluşan dalgacık büyük olur. Dalgacığın büyük olması; güç kaynağının düzenlemesinin (regülasyonunun) k   olduğunu g  sterir.

Tasarımımızda  $V_  = 10$  V olduğu için, süzgeç çıkışını ( $V_1$ ) 13.5 volt alalım ( $V_1 > V_Z$ ). Süzgeçten, akım çekilmeksizin 13.5 volt’luk gerilimi ve süzgeç öncesi bulunan 2 adet diyot üzerinde düşen ( $2 \times 0.5$  V) diyot engel potansiyellerini hesaba katarsak, bunu sağlayacak transformatörün çıkış uçları arasındaki gerilim  $V_g = V_{(t-t)} = (2 \times 13.5 \text{ V}) + (2 \times 0.5 \text{ V}) = 28$  V olmalıdır. Bu gerilim de, etkin gerilim değeri yaklaşık 10 volt olan bir transformatörle sağlanır.

şekil 7’den  $V_1 = (I_R \times R) + V_Z$  (K.G.Y) yazılabilir. Aynı zamanda akım limitleme direnci R üzerinden geçen maksimum akım  $I_R = I_{Z( AL)} + I_{Y(max)}$ ’dır.

Minimum zener çalışma akımı  $I_{Z( AL)}$ , zener diyotun akım-gerilim karakteristiğinden  $I_{Z(min)}$  ve  $I_{Z(max)}$  arasında ve zener diyotta fazla güç kaybına neden olmayacak şekilde seçilir. Bir diyotun üzerinde harcanabilecek maksimum güç  $P_{Z(max)} = I_{Z(max)} \times V_Z$ ’dir. Elimizdeki zener diyotun dayanabileceği maksimum güç 2.0 W olsun. Bu durumda zenerden geçebilecek maksimum akım  $2.0 \text{ W} / 10 \text{ V} = 200$  mA’dır.

Zenerin çalışabilmesi için gerekli minimum akım pratikte  $I_{Z( AL)} = I_{Z(max)} / 10$  alınır. Bu durumda,  $I_{Z( AL)} = 200 \text{ mA} / 10 = 20$  mA’lık bir zener akımı bu tasarım için yeterlidir. Yük akımı değiştikçe zener çalışma akımı da değişir. Buna g  re R direnci üzerinden geçen akım;

$$I_R = I_{Z( AL)} + I_{Y(max)} = 20 \text{ mA} + 80 \text{ mA} = 100 \text{ mA} \text{ olup } R \text{ direnç değeri;}$$

$$R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_1 - V_Z}{I_R} = \frac{(13.5 - 10) \text{ V}}{100 \text{ mA}} = 35 \Omega \text{ olarak bulunur.}$$

Yapılan tasarımda  $I_{Y(max)}$  değerini aşmayan yük akımları için  $I_R$  sabit olup genel akım ifadesi,

$$I_R = I_Z + I_Y \text{ 'dir.}$$

$I_{Y(max)}$ 'a göre yapılan tasarımda yük kaldırılırsa ( $R_Y = \infty$ , devrenin çıkışında çekilen akım  $I_Y = 0$  olduğunda),

$$I_R = I_Z + 0, \quad I_R = I_Z = 100 \text{ mA olur.}$$

Buna göre  $I_R$  akımının tamamı zener üzerinden ( $I_Z > I_{Z(ÇAL)}$ ) geçer. Bu, tasarlanan devrede zener diyotun en kötü çalışma durumudur. Zener diyot üzerinde harcanan güç;

$$P_Z = I_Z \times V_Z = 100 \text{ mA} \times 10 \text{ V} = 1 \text{ W olarak bulunur.}$$

Düzengeçimizi, 2 W'lık zener diyot seçerek tasarlandığımızdan, zener diyotumuz üzerinde 1 W'lık güç harcanacaktır. Bu durumda zener diyot zarar görmeden çalışacaktır.

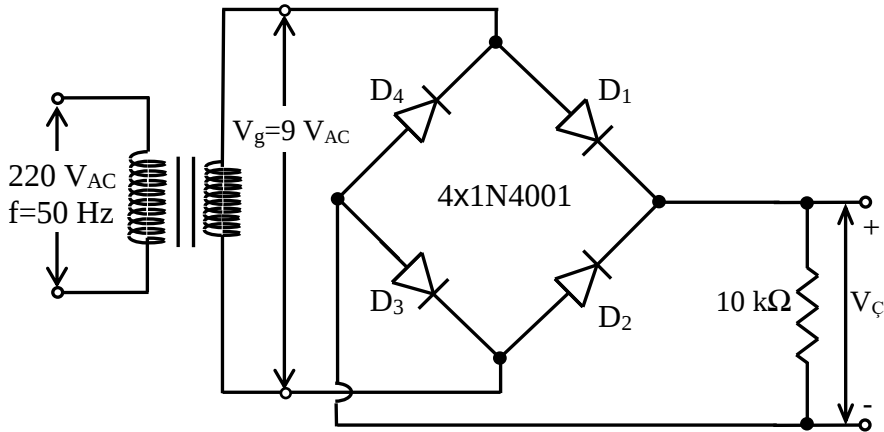
### RAPOR YAZILIŞI HAKKINDA BİLGİ

- Hazırlanacak raporda her bir kesim için deneyin yapılışı, verilen yönergelere uygun olarak yazılacaktır.

### 3. DENEY

**Kuramsal değerler:**  $V_g = 9 \text{ V}_{AC}$ ,  $V_B = 0,6 \text{ V}$ , İdeal gerilim kaynağının çıkış empedansı,  $Z_ç = 0 \Omega$ 'dır

**3.1.** Şekil 8a'daki devreyi kurunuz.



Şekil 8a

**3.1.a) OSİLOSKOBUN tek kanalını kullanarak** giriş ve çıkış gerilimlerini OSİLOSKOP ile gözleyiniz.  $V_{g(t-t)}$  ve  $V_{çt}$  gerilim değerleri ile giriş ve çıkış sinyallerinin periyotlarını ölçerek not ediniz. (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.)

**3.1.b)** 3.1.a kesiminde alınan verilere göre giriş ve çıkış sinyallerinin dalga şekillerini grafik kağıdına aynı zaman ölçeğinde alt-alta ( $V_{g-t}$  ve  $V_{ç-t}$ ), verilerinizi göstererek (genlik, periyot) çizin.

**3.1.c)** Grafikler üzerinde akımın maksimum ve minimum akma zamanlarını gösteriniz.

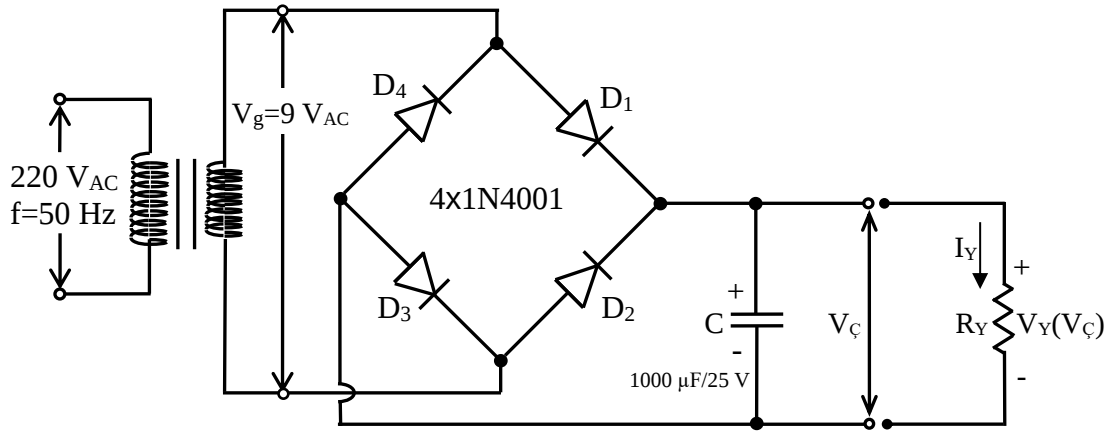
**3.1.d)** Deney kesimi başında verilen kuramsal değerleri kullanarak, kuramsal  $V_{g(t-t)}$  ve  $V_{Çt}$  gerilim, periyot ve frekanslarını hesaplayınız. Hesapladığınız bu değerlerle 3.1.a kesiminde ölçtüğünüz değerleri karşılaştırınız. Karşılaştırdığınız sonuçlar arasında fark olup olmadığını nedenleri ile birlikte açıklayarak yorumlayınız.

**3.1.e)** Giriş ve çıkış gerilimlerini VOLTMETRE ile okuyunuz. (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.

**3.1.f)** 3.1.d kesiminde hesapladığınız kuramsal gerilim değerlerini kullanarak voltmetrenin giriş ve çıkışta okuyacağı kuramsal gerilim değerlerini hesaplayınız.

**3.1.g)** 3.1.e ve 3.1.f kesim sonuçlarını karşılaştırarak aralarında fark olup olmadığını nedenleri ile birlikte açıklayarak yorumlayınız.

**3.2.** Şekil 8b'deki devreyi kurunuz.



Şekil 8b

**3.2.a)**  $R_Y = \infty$  ve  $270 \Omega$  yük dirençleri için  $V_{Ç}$  ( $V_Y = V_{DC}$ ) değerleri VOLTMETRE ile okuyarak (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.) Tablo 1'i doldurunuz.

**3.2.b)** Aynı yük dirençleri için ( $R_Y = \infty$  ve  $270 \Omega$ )  $I_Y$  değerlerini AMPERMETRE ile okuyarak (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.) Tablo 1'yi doldurunuz.

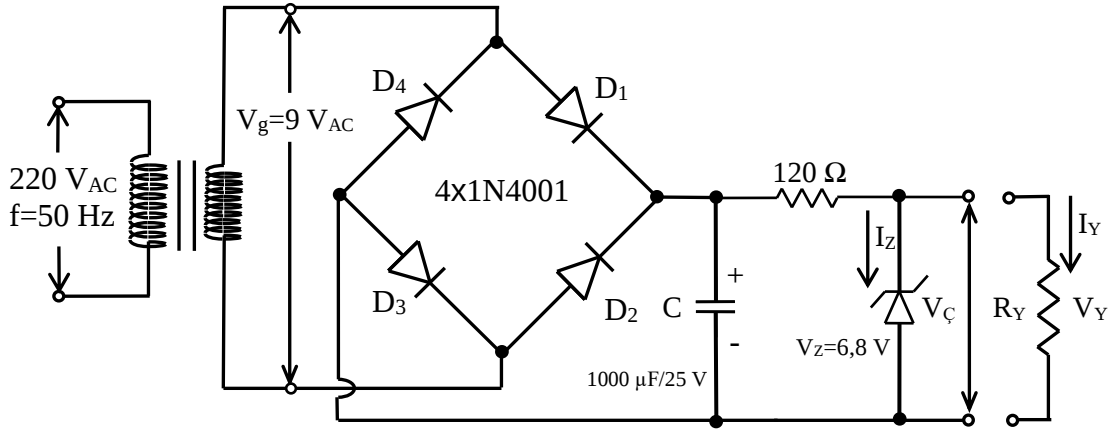
**3.2.c)**  $270 \Omega$ 'luk yük direnci için dalgacığı OSİLOSKOP ile gözleyip  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $T_{d(t-t)}$ ,  $V_{d(t-t)}$  ölçümlerini alınız. Tablo 1'de, diyotun iletimde ( $t_1$ ) ve kesimde olduğu (sığacın boşaldığı zaman aralığı) ( $t_2$ ) zamanları ile  $V_{d(t-t)}$  değerini yazarak dalgacık grafiğini ( $V_d(t)$ ) çiziniz. (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz). Çizdiğiniz dalgacık grafiğini yorumlayınız.

| $R_Y(\text{ohm})$ | $V_C(V_Y)$ | $I_Y$ | $V_{d(t-t)}$ | $t_1$ | $t_2$ |
|-------------------|------------|-------|--------------|-------|-------|
| $\infty$          |            |       |              |       |       |
| 270               |            |       |              |       |       |

Tablo 1

**3.2.d)** Tablo 1’deki verilerden yararlanarak  $V_C$ - $I_Y$  grafiğini çiziniz. Grafikten bu DC kaynağın çıkış empedansını ( $R_{iç}=Z_C$ ) hesaplayınız. Herhangi bir “ideal DC” gerilim kaynağının çıkış empedansı ile karşılaştırarak yorumlayınız.

**3.3.** Şekil 9’daki devreyi kurunuz.



Şekil 9

**3.3.a)**  $R_Y = \infty, 470 \Omega, 270 \Omega, 100 \Omega$  yük dirençleri için  $V_C$  ( $V_Y = V_{DC}$ ) değerleri VOLTMETRE ile okuyarak (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanılan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.) Tablo 2’yi doldurunuz.

**3.3.b)** Aynı yük dirençleri için ( $R_Y = \infty, 470 \Omega, 270 \Omega, 100 \Omega$ )  $I_Y$  değerlerini AMPERMETRE ile okuyarak (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanılan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.) Tablo 2’yi doldurunuz.

**3.3.c)**  $R_Y = \infty$  ve  $R_Y = 100 \Omega$  için  $I_Z$  akım değerlerini AMPERMETRE ile okuyarak Tablo 2’yi doldurunuz. (Devre şemasını çizerek, şema üzerinde bağlanılan cihaz, cihaz konumu (AC, DC vb. gibi) ve bağlandığı noktayı (A, B, g, ç, Ç, C, vb. ismi ile) gösteriniz.)

**3.3.d)**  $270 \Omega$ ’luk yük direnci için dalgacığı OSİLOSKOP ile gözleyip  $t_1, t_2, T_{d(t-t)}, V_{d(t-t)}$  ölçümlerini alınız. Tablo 2’de, diyotların iletimde ( $t_1$ ) ve kesimde olduğu (sığacın boşaldığı zaman aralığı) ( $t_2$ ) zamanları ile  $V_{d(t-t)}$  değerini yazarak dalgacık grafiğini çiziniz. 3.2.c kesimindeki dalgacık ile karşılaştırarak yorumlayınız.

| $R_Y(\text{ohm})$ | $V_C$ | $I_Y$ | $I_Z$ | $V_{d(t-t)}$ | $t_1$ | $t_2$ |
|-------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| $\infty$          |       |       |       |              |       |       |
| 680               |       |       |       |              |       |       |
| 470               |       |       |       |              |       |       |
| 270               |       |       |       |              |       |       |
| 100               |       |       |       |              |       |       |

Tablo 2

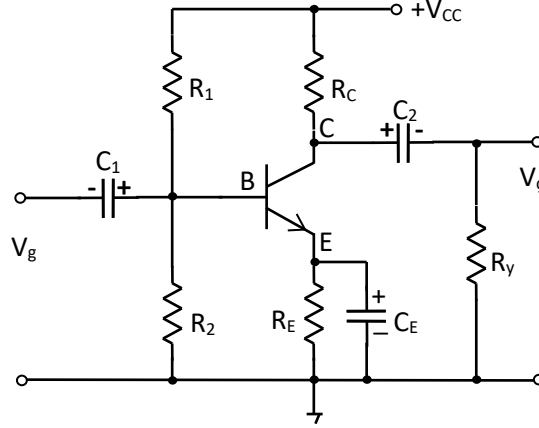
**3.3.e)** Tablodaki verileri kullanarak çizeceğiniz  $V_C$ - $I_Y$  grafiğinde regülasyon bölgesi ve regülasyon dışı bölgeyi gösteriniz. Regülasyon bölgesinde ( $100 \Omega$  dahil edilmeden), kaynağın çıkış empedansını ( $R_{iç}=Z_C$ ) ve gerilim düzenleme faktörünü ( $D$ ) hesaplayınız.

**3.3.f)** Tablo 2'ye ve  $V_C$ - $I_Y$  grafiğine bakarak, çıkışa yük olarak  $100 \Omega$  takıldıktan sonra, devrenin özelliği ve çalışma prensibini göz önünde bulundurarak, devre tepkisini açıklayarak yorumlayınız.

**NOT:** Bütün dalga şekilleri **milimetrik kâğıda, ölçtüğünüz birimden, ölçekli ve düzgün** olarak çizilecektir. (Milimetrik kağıttaki her iki eksen için, 1 cm aralıklarla ölçek çizgisi ve değeri konularak ölçeklendirme yapılacaktır.)

## TRANSİSTÖRLÜ YÜKSELTEÇ

- AMAÇ:** Tek transistörlü bir küçük sinyal yükselteci yapmak ve özelliklerini incelemek.
- GENEL BİLGİ:** Beyz (base) beslemesi gerilim bölücü ile yapılmış tek katlı (tek transistörlü) tipik bir yükselteç devresi (ortak emitör yükselteç) Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1

### 2.1. TRANSİSTÖRÜN ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIK İLE DEĞİŞİMİ

Transistörlerde  $\beta$  katsayısının sıcaklık ile artması nedeni ile, DC çalışma noktası (Durgun Hal Çalışma Noktası, Quescent Point) (Q-noktası) sıcaklığa oldukça bağlıdır. Örneğin  $25^\circ\text{C}$ ’da  $\beta=60$  iken,  $100^\circ\text{C}$ ’da  $\beta=100$  olabilmektedir. Transistörlerin  $\beta$  değerinin (akım kazanç katsayısı) minimum ve maksimum sınırları transistör kataloglarında bulunabilir.

Transistörün  $\beta$  katsayısı, ısınma ile iki katına çıkarsa  $I_C$  akımı iki katına çıkacak, bu da transistörü doyuma sokabilecek (etkin çalışma alanının dışına çıkaracak) çıkış sinyalinde bozulmalara neden olacaktır ya da yüksek  $I_C$  akımından dolayı transistör bozabilecektir. Sadece  $\beta$ ’ya bağlı olarak yapılmış bir yükselteç tasarımı iyi bir tasarım değildir.

Çalışma noktasının sıcaklığa bağımlılığını azaltmak için devreye Şekil 1’deki gibi  $R_E$  direnci eklenir. Devrenin çalışma noktasının sıcaklıkla değişimi minimuma indirilerek  $\beta$ ’dan bağımsız hale getirilir.

### 2.2. KOLLEKTÖR AKIMININ ALT ve ÜST SINIRI

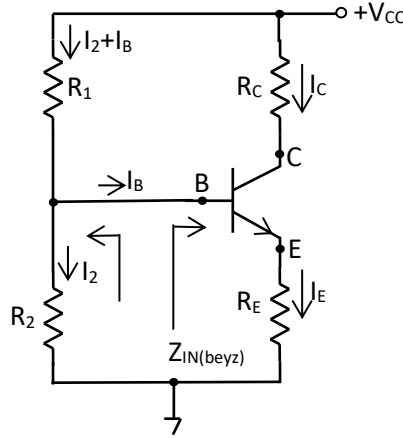
Bilindiği gibi kollektör akımının alt sınırı “0” A (transistör kesimde (cut-off) ), üst sınırı ise “ $V_{CC}/(R_C+R_E)$ ” A (transistör doyuma ise (saturation) ) değerlidir. Transistörün giriş ( $I_B$ ) DC akımını artırarak çıkış ( $I_C$ ) akımını denetleyebilmekteyiz ve bu “etkin alan” içinde  $V_{CC}$  ve  $R_C$  değerlerinin kollektör akımına etkisi küçüktür. Ancak etkin alanın üst sınırında  $V_{CC}$  besleme geriliminden çekilebilecek en yüksek akıma ulaşıldığında artık beyz akımındaki artma kollektör akımını artıramaz. Bu durumda transistör “**doyuma girmiştir**” denir. Kollektör akımı bu en yüksek değerde kalır ( $V_{CC}/(R_C+R_E)$ ). Tersine, giriş akımını ( $I_B$ ) azaltarak sıfıra indirdiğimizde çıkış akımı da ( $I_C$ ) sıfıra iner. Giriş geriliminin sıfırın altına inmesi durumunda kollektör akımı sıfır değerinde kalır. Bu duruma transistörün “**kesime girmesi**” denir ve  $I_C=0$  olduğunda  $V_C=V_{CC}$  olur.

Transistörün yükselteç olarak çalışmasında bu sınırlara dikkat edilmelidir.

Örneğin çıkıştan 100 mV<sub>(t-t)</sub> salınım almak için,  $R_C=1\text{ k}\Omega$  ise, kollektör akımına ( $I_C$ ) 0.1 mA<sub>(t-t)</sub>'lik akım salınımı yaptırılmalıdır. Çıkıştan ( $V_C$ ) 1 Volt salınım alınmak isteniyorsa,  $R_C=1\text{ k}\Omega$  için  $I_C=1\text{ mA}_{(t-t)}$ 'lik akım salınımı gerekir.

### 2.3. YÜKSELTEÇ DEVRESİNİN DC ANALİZİ

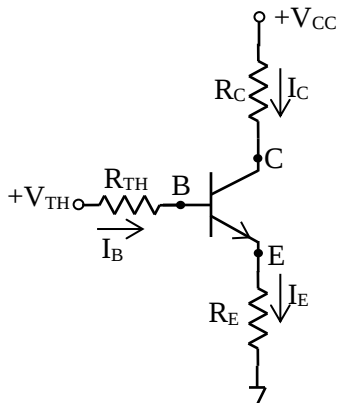
Q-çalışma noktası (Quiescent point) bulunurken DC analiz yapılır. Yükseltecin girişine AC sinyal uygulamadan hesaplanan akım ve gerilim büyüklükleri sadece DC değerlerdir ve Q-çalışma noktasını oluşturur. Analiz için devredeki kondansatörler kaldırılarak (kondansatörler DC gerilime karşı açık devre gibi davranır) çizilen yeni devre şekil 2'deki gibidir.



$$Z_{IN(beyz)} = (\beta + 1) \cdot R_E$$

Şekil 2

Beyzden R1 ve R2 dirençlerinin oluşturduğu gerilim bölücüye bakıldığında ve Thevenin eşdeğeri alındığında ;



$$R_{TH} = R_1 // R_2 \quad \text{ve}$$

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} \quad \text{'dir.}$$

Şekil 3

Şekil 2’de transistörün beyz ucundan transistöre doğru bakıldığında görülen eşdeğer empedans DC beyz empedansdır ve;

$Z_{IN(beyz)} = (\beta + 1) \cdot R_E$  ile verilir.

Şekil 3’deki devrede beyz koluna Kirchhoff’un gerilim yasası uygulandığında ;

$V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + I_E \cdot R_E$  yazılır.

$I_E = I_B + I_C$  ve  $I_C = \beta \cdot I_B$  eşitliklerinden yararlanarak,

$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$  elde edilir. Thevenin gerilimi  $I_B$  cinsinden yazarsak;

$$V_{TH} = V_{BE} + I_B \cdot R_{TH} + (\beta + 1) \cdot I_B \cdot R_E \quad (1)$$

elde edilir. Bu eşitlikten  $I_B$  akımı çekilirse;

$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} \quad \text{dir.}$$

$$I_C = I_B \cdot \beta = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} \beta$$

$$I_C = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + Z_{IN(beyz)}} \beta \quad (2)$$

Bazı yaklaşımlar kullanırsak;

$I_2 \gg I_B$  seçilirse  $Z_{IN(beyz)} = (\beta + 1) \cdot R_E \gg R_1 // R_2$  olur.  $V_{TH} = V_B$  alınır.

$V_B$  gerilimi ise  $R_1$  ve  $R_2$ ’den oluşan gerilim bölücünden bulunur.

$$(I_2 \gg I_B \text{ ise}); \quad V_B \cong V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \text{ 'dir.}$$

Yukarıdaki  $I_C$  (2) eşitliğini daha basitleştirebiliriz. Bunun için aşağıdaki yaklaşımları yapabiliriz.  $R_{TH}$  direnci  $(\beta + 1) \cdot R_E$  çarpımından yeteri kadar küçük seçilirse paydadaki  $R_{TH}$  yok sayılabilir. Eğer  $\beta \gg 1$  ise (genellikle  $\beta > 50$  düşünülebilir), pay ve paydadaki  $\beta$  ile  $\beta + 1$  birbirini götürür. Bu durumda  $I_C$  akımı  $\beta$ ’dan bağımsız olur.

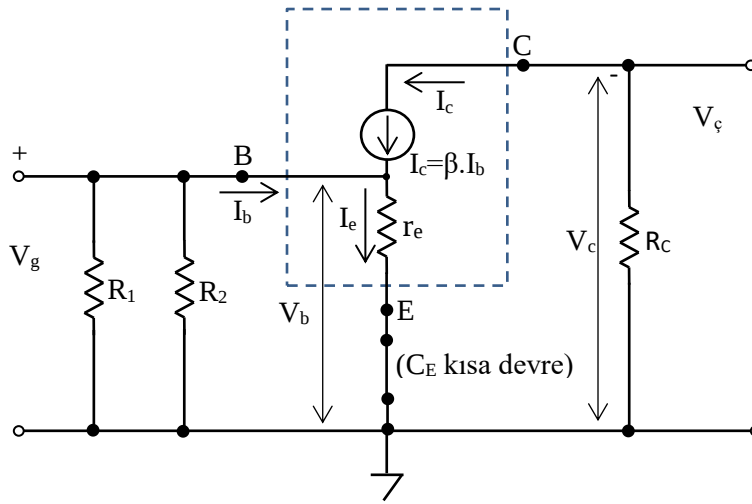
$$I_C \cong \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \quad (3)$$

bağıntısı yaklaşık olarak  $I_C$  akımını verir. Eğer  $V_B$  gerilimi  $V_{BE}$ 'den yeteri kadar büyükse, bu durumda  $I_C$  akımı transistörün özelliklerinden bağımsız olarak saptanmış olur.

## 2.4 YÜKSELTEÇ DEVRESİNİN AC ANALİZİ

Kuramsal gerilim kazancının ( $A_V$ ) bulunması:

Şekil 1'deki devrede kullanılan kondansatörler çalışılan frekans aralığında kısa devre ve DC güç kaynakları AC açısından kısa devre olarak alındığında yükseltecin AC eşdeğer modeli Şekil 4'deki gibidir. AC analiz yaparken transistörün AC eşdeğer modeli kullanılır. Bu modelde transistör bir akım kaynağı ve bir direnç ( $r_e$ ) ile temsil edilir.  $r_e$  direnci AC emitör direnci olarak adlandırılır. Beyz-emitör arası bir diyot gibi düşünüldüğünde bu diyodunun AC sinyale karşı gösterdiği dirençtir.



$r_e$  direncinin büyüklüğü ;  
 $r_e = 25(\text{mV})/I_{EQ}(\text{mA})$   
 eşitliği ile bulunur.

Not:  $I_{EQ}$  DC çalışma noktasında emitör akımıdır.

Şekil 4

Gerilim kazancı çıkış gerilimin giriş gerilimine oran olarak,  $A_V = V_c/V_g$  eşitliğiyle ifade edilir. Yukarıdaki devrede çıkış gerilimi  $V_c$ 'ye ve giriş gerilimi de  $V_b$ 'ye eşittir. Bu durumda;

gerilim kazancı,  $A_V = -\frac{V_c}{V_b}$  ile ifade edilir.

İfadedeki (-) işareti giriş sinyali ile çıkış sinyali arasındaki  $180^\circ$ 'lik faz farkını gösterir.

Şekil 4'deki devreden  $V_c = I_c \cdot R_c \cong I_e \cdot R_c$  ve  $V_b = I_e \cdot r_e$  eşitlikleri elde edilip yukarıda yerine konursa gerilim kazancı,

$A_V = -\frac{R_c}{r_e}$  olarak bulunur.  $R_y$  etkisi göz önüne alınırsa,  $R_y$  direnci  $R_c$  direncine paralel olduğundan gerilim kazancı,

$A_V = -\frac{R_c // R_y}{r_e}$  ile verilir.

$R_E$  direncine paralel bağlı  $C_E$  kondansatörü yoksa,  $R_E$  direnci AC açısından kısa devre olmaz ve AC eşdeğer devrede bu direnç korunur. Bu durumda çıkış ve giriş AC gerilim ifadeleri yazıldığında gerilim kazancı ifadesi,

$$A_v = -\frac{R_C/R_y}{r_e + R_E} \text{ olur.}$$

### 3. BASİT OLARAK TASARIM YÖNTEMİ

Aşağıda “çok kritik olmayan” durumda kullanılabilecek bir tasarım yöntemi verilmektedir.

- 1- Çalışma noktasındaki kollektör akımını hesaplayınız ( $I_C$  değerini). Bunun için şu noktaları göz önünde tutunuz;
  - a) Transistörden geçen DC kollektör akımı, istenen işi görecektir minimum akım olmalıdır. Örneğin, deneyde kullanılan transistör 100 mA DC akıma dayanabilen bir transistördür. Fakat 5 mA’lık  $I_C$  akımı ile istenilen özellikler elde edilebiliyorsa, fazlasını geçirmek gereksiz enerji ve ısı kaybı demektir.
  - b) Kollektör akımının salınımı için, çalışma noktasının altında ve üstünde yeterli saha kalmalıdır. Bu salınımı sağlayacak  $I_C$  akımı saptanır.
- 2-  $R_E$  direnci üzerindeki gerilim  $V_{CC}/5$  Volt alınarak hesaplanabilir. Böylece  $V_B$  gerilimi  $V_{BE}$  geriliminden yeteri kadar büyük olacak ve  $V_{BE}$  geriliminin etkisi azaltılmış olacaktır. (Düşük  $V_{CC}$  gerilimlerinde (3-4 V gibi)  $V_E$  gerilimi minimum 1 V olacak şekilde seçilir.)
- 3-  $R_{TH}$ ’yi yaklaşık olarak  $Z_{IN(beyz)}$ ’in 10 da 1’i alınız. Bu durumda (2) bağıntısındaki paydadaki  $R_{TH}$  direnci yok sayılabilir. ( $R_{TH} \ll (\beta+1).R_E$ ) ve (3) bağıntısını elde etmek için kullanılan yaklaşımı da geçerli kılar.
- 4-  $V_B = V_E + V_{BE}$ ’den bulunur. (4)

$V_{BE}=0.6$  Volt (silikon transistör için) alınarak (4)’de yerine konur ve  $V_B$  hesaplanır.

- 5- Thevenin eşdeğer devresinin  $V_B$  ve  $R_{TH}$  değerlerinden devredeki  $R_1$  ve  $R_2$  değerlerini bulmak için;

$$R_{TH}=R_1//R_2 \quad \text{ve} \quad V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad \text{eşitliklerinden yararlanarak, } R_1 \text{ ve } R_2$$

dirençleri;

$$R_1 = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_B} \quad R_2 = \frac{R_1 R_{TH}}{R_1 - R_{TH}}$$

olarak elde edilebilir.

#### 4.ÖRNEK TASARIM

$$V_{CC}= 12 \text{ Volt}$$

$$I_C= 4 \text{ mA}$$

$$\beta = 300$$

$$V_{BE}= 0.6 \text{ Volt}$$

olarak basit bir yükselteç tasarlayalım (verilen akım ve gerilim değerleri durgun çalışma noktası (Q) değerleridir).

a)  $R_E$ 'nin bulunması;

$$V_E = \frac{V_{CC}}{5}, \text{den} \quad V_E = \frac{12 \text{ V}}{5} = 2.4 \text{ V} \quad (V_E > 1 \text{ Volt şartı sağlanıyor. } V_E = \frac{V_{CC}}{5} \text{ geçerli})$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E}, \text{den ve } I_E \approx I_C \text{ olduğundan} \quad R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{2.4 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 600 \Omega$$

b)  $R_{TH}$  seçilirken,  $Z_{IN(beyz)} \gg R_{TH}$  koşulu göz önüne alınarak (pratikte 10 katı alınabilir),

$$R_{TH} = \frac{1}{10} Z_{IN(beyz)} = \frac{1}{10} ((\beta + 1) \cdot R_E) = \frac{300 \times 600 \Omega}{10} = 18 \text{ k}\Omega$$

c)  $V_B$ 'nin bulunması;

$$V_B = V_{BE} + V_E \quad V_B = 0.6 \text{ V} + 2.4 \text{ V} = 3 \text{ V}$$

d)  $R_1$  ve  $R_2$ 'nin bulunması;

$$R_1 = \frac{V_{CC} R_{TH}}{V_B} = \frac{12 \text{ V} \times 18 \text{ k}\Omega}{3 \text{ V}} = 72 \text{ k}\Omega \quad R_2 = \frac{R_1 R_{TH}}{R_1 - R_{TH}} = \frac{72 \text{ k}\Omega \times 18 \text{ k}\Omega}{72 \text{ k}\Omega - 18 \text{ k}\Omega} = 24 \text{ k}\Omega$$

e)  $R_C$ 'nin bulunması;

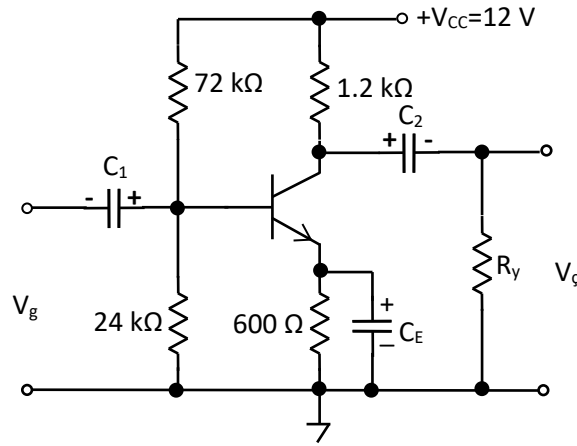
$V_E + V_{CE} + V_{RC} = V_{CC}$ 'dir. Burada kırılmadan maksimum çıkış alabilmek için  $V_{CE} = V_{RC}$  alınarak, DC çalışma noktasının doğrusal bölgenin tam ortasında olması sağlanır.

$$V_E + 2V_{RC} = V_{CC} \quad V_{RC} = \frac{V_{CC} - V_E}{2} \quad R_C = \frac{V_{RC}}{I_C}$$

$$V_{RC} = \frac{12 \text{ V} - 2.4 \text{ V}}{2} = 4.8 \text{ V} \quad R_C = \frac{4.8 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 1.2 \text{ k}\Omega$$

olarak elde edilebilirler.

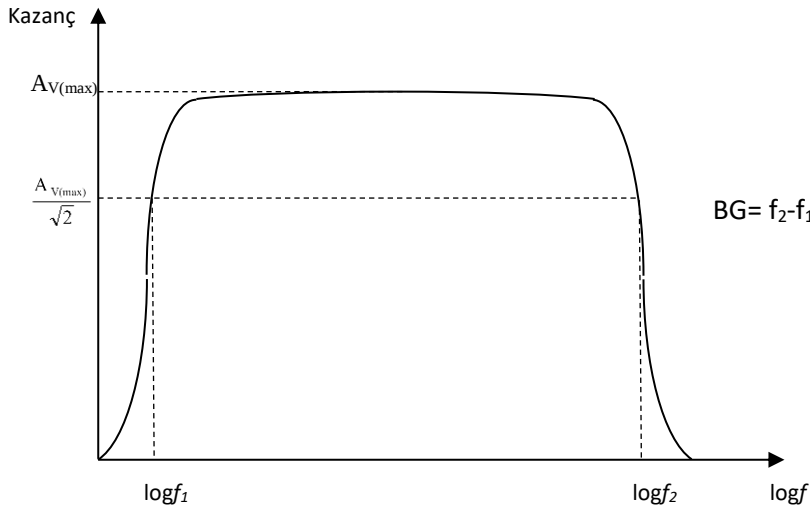
Bulduklarımızı Şekil 5 üzerinde gösterelim.



Şekil 5

### 5. YÜKSELTECİN BANT GENİŞLİĞİ:

Çok düşük frekanslarda kondansatörlerin empedansları büyüyeceğinden, çok yüksek frekanslarda ise transistörlerin uçları arasındaki “eklem sığaları” belirgin olmaya başlayacağından dolayı transistör özellikleri bozulur ve kazanç düşer. Gerilim kazancının değişmediği sıklık bandına “**Band Genişliği**” (orta sıklık bandı, middle frequency range) adı verilir. Bu band, gerilim kazancının orta sıklıktaki değerinin  $1/\sqrt{2}$ ’ sine ulaştığı sıklıklar arasındaki bant olarak tanımlanır. Orta sıklık bandının sınır frekans değeri “yarı güç frekansları” olarak da alınır.



Şekil 6

### 6. DENEY ÖNCESİ ÖN ÇALIŞMA

$$V_{CC}=12 \text{ V} \quad I_{CQ}=5 \text{ mA} \quad \beta =250 \quad V_{BEQ}=0.6 \text{ V}$$

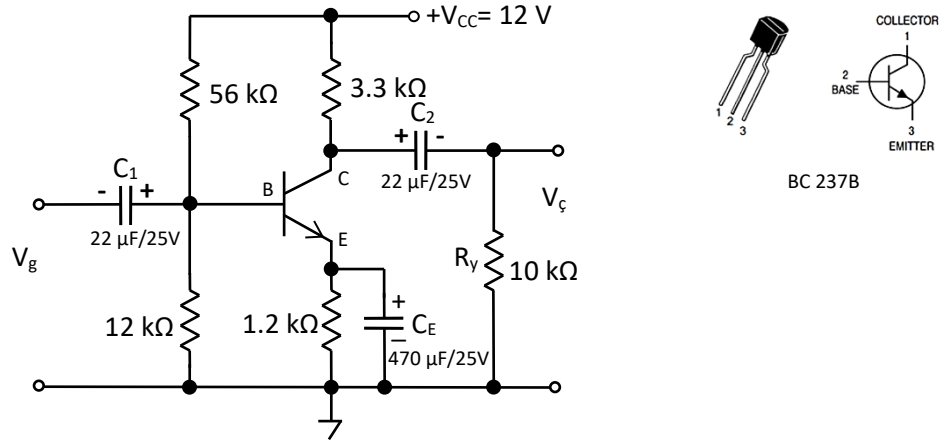
- 1- Yukarıdaki verileri kullanarak bir küçük sinyal yükselteci tasarlayınız. Tasarımda kullandığınız tüm kabullerinizi ve yaklaşımlarınızı ayrıntılı olarak belirtiniz.
- 2- Bu devrenin AC eşdeğerini çizerek kuramsal gerilim kazancını bulunuz.

## RAPOR YAZILIŞI HAKKINDA BİLGİ

- Hazırlanacak raporda her bir kesim için deneyin yapılışı, verilen yönergelere uygun olarak yazılacaktır.

## 7. DENEY

7.1.a) Şekil 7’de şeması verilen yükselteç devresini BC 237B transistörü kullanarak kurunuz.



Şekil 7

Girişe sinyal uygulamadan,  $V_{BQ}$ ,  $V_{EQ}$ ,  $V_{CQ}$ , gerilimlerini **osiloskop** ile ölçünüz sonra  $V_{CEQ}$ ,  $V_{BEQ}$  gerilimlerini hesaplayınız.

$V_{EQ}$ ,  $V_{CQ}$ ,  $V_{CC}$ ,  $V_{CEQ}$  ve  $V_{RCQ}$  değerlerini ölçekli olarak gösteren V-t grafiği çiniz.

7.1.b) Devredeki  $I_{CQ}$ ,  $I_{BQ}$  akımlarını **ampermetre** ile ölçünüz.

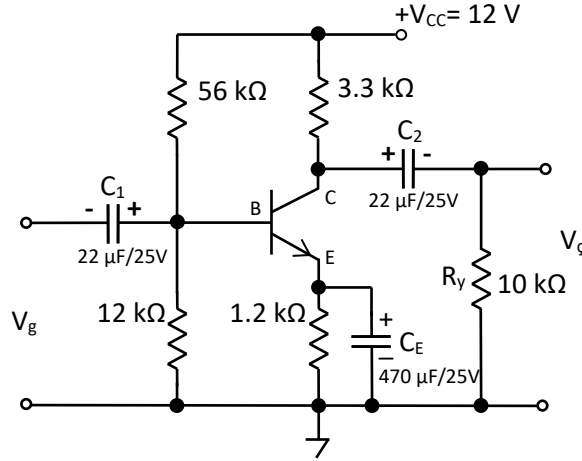
7.1.c) Transistörün AC akım kazancı  $\beta'$ 'yi (AC akım kazancı silikon transistörlerde DC akım kazancına eşittir) ve AC emitör direncini ( $r_e$ ) bulunuz.

7.1.d) Aldığımız verilerden de yararlanarak Şekil 7’deki yükseltecin gerilim kazancını ( $A_V$ ) hesaplayınız.

7.1.e) Şekil 7’deki devrenin girişine 25 mV<sub>(t-t)</sub>, f=1 kHz’lik sinüs sinyali uygulayınız. Giriş, kollektör kolu ve çıkış noktalarına osiloskop bağlayınız. Bu noktalardan alınan **3 adet** sinyali (sırası ile  $V_g$ ,  $V_C$  ve  $V_{\phi}$ ) **osiloskobun DC konumunda** gözleyerek,  $V_g$ -t,  $V_C$ -t ve  $V_{\phi}$ -t grafiklerini aynı zaman ölçeğinde **alt alta** ölçekli olarak çiniz.

7.1.f) Çizdiğiniz grafikten deneysel gerilim kazancını ( $A_V = -V_{\phi(t-t)}/V_{g(t-t)}$ ) bulunuz ve 7.1.d kesiminde bulduğunuz kazanç değeri ile karşılaştırınız.

7.2.a) Şekil 8’deki kurulmuş olan devre (Kesim 7.1.a’da kullandığınız devreyi bozmayınız) ile devam ediniz.



Şekil 8

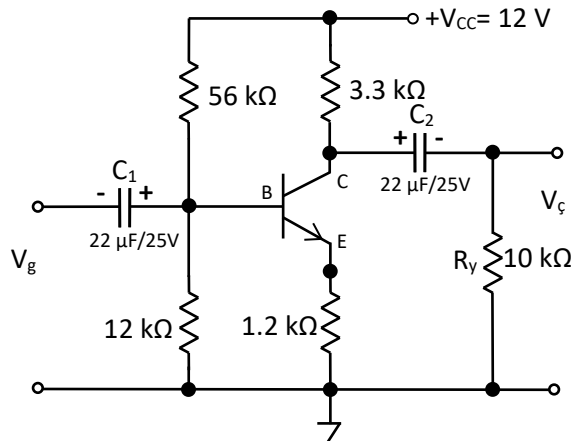
Devrenizin girişine,  $f = 1$  kHz’lik sinüs sinyali uygulayınız. Uyguladığınız sinyalin genliğini artırarak kollektör akımının kırılmaya başladığı  $I_{C(t-t)}$  değerini **osiloskobun DC** konumunda **kollektör gerilimini** gözleyerek bulunuz. Kuramsal bilgilerinizle karşılaştırınız.

$$V_{C(t-t)} = V_{R_C(t-t)}$$

$$I_{C(t-t)} = \frac{V_{R_C(t-t)}}{R_C}$$

7.2.b) Osiloskop ile gözlediğiniz kollektör gerilimi ilk önce alttan mı (transistör doyumunda) yoksa üstten mi (transistör kesimde) kırılmıştır? Nedenini açıklayınız..

7.3.a) Şekil 9’de şeması verilen devreyi kurunuz (Kesim 7.1.’de kurduğunuz devreden sadece  $C_E$  sığacını çıkartınız).



Şekil 9

7.1 kesiminde aldığınız verilerden de yararlanarak Şekil 9’daki yükseltecin gerilim kazancını hesaplayınız.

- 7.3.b)** Giriş 25 mV<sub>(t-t)</sub>, f=1 kHz'lik sinüs sinyali uygulayınız. **Giriş ve çıkıştan** oluşan 2 adet sinyali **osiloskobun DC konumda** gözleyerek, V<sub>g</sub>-t ve V<sub>ç</sub>-t grafiklerini aynı zaman ölçeğinde **alt alta** ölçekli olarak çiziniz.
- 7.3.c)** Çizdiğiniz grafikten deneysel gerilim kazancını ( $A_v = -V_{ç(t-t)}/V_{g(t-t)}$ ) bulunuz ve 7.3.a kesiminde bulduğunuz kazanç değeri ile karşılaştırınız.
- 7.3.d)** 7.1.f ve 7.3.c kesimlerinde bulduğunuz deneysel gerilim kazançlarını birbirleri ile karşılaştırarak **C<sub>E</sub> sığaç etkisini açıklayınız.**

### **EK BİLGİ:**

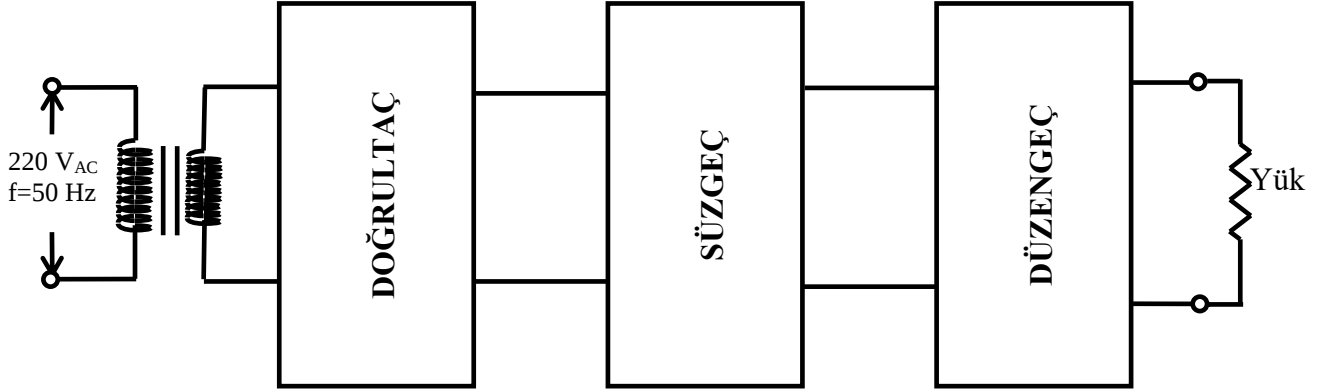
Yukarıdaki hesaplarda kullanılan  $\beta$  değeri gerçekte değişmez bir sayı değildir. İmalat toleransı olarak kataloglarda, herhangi bir transistör için  $\beta$ 'nın alt ve üst sınırları verilir ve 25 °C sıcaklıkta  $\beta$ 'nın bu aralıkta kalacağı belirtilir. Bu değişim alanı genellikle 100-500 gibi çok geniş olup buna ek olarak da  $\beta$ 'nın sıcaklıkla artması ve V<sub>BE</sub>'nin sıcaklıkla azalması hesaplarımızda değişiklik yaratır. Örneğin, I<sub>C</sub> akımını  $\beta=200$  için yeteri kadar küçük hesaplayarak kurmuş olduğumuz devrede  $\beta=100$  olan bir transistör kullandığımızda I<sub>C</sub> akımı daha da azalacağından sinyalin kırılmaya uğramasına neden olabilir. Bu nedenle küçük genlikli sinyaller için I<sub>C</sub> akımının daha aşağı değerlere düşmemesi için tasarımda  $\beta$  için minimum değeri, V<sub>BE</sub> için ise maksimum değeri alınır (imalat toleransı ve sıcaklıkla değişimleri dahil). Böylece, eğer I<sub>C</sub> akımı kayarsa yukarı kayacaktır (artacaktır) ve büyük bir olasılıkla doyumdan (üst sınırdan) yeteri kadar uzak kalacaktır. Bununla birlikte, tasarımdan sonra maksimum  $\beta$  değeri için sinyalin kırılmaya uğratmayacağından emin olmak için hesapla da denetlemek gerekir.

**NOT:** Bütün dalga şekilleri **milimetrik kâğıda, ölçtüğünüz birimden, ölçekli ve düzgün** olarak çizilecektir. (Milimetrik kağıttaki her iki eksen için, 1 cm aralıklarla ölçek çizgisi ve değeri konularak ölçeklendirme yapılacaktır.)

## SERİ DÜZENGEÇLİ DC GÜÇ KAYNAĞI

**1. AMAÇ:** Seri düzengeçli bir DC güç kaynağı yapmak ve özelliklerini incelemek.

**2. KURAMSAL BİLGİ:** Regüleli (düzengeçli) DC gerilim kaynakları yüke, yük akımından bağımsız gerilim sağlar. DC güç kaynakları şu kısımlardan oluşurlar: Doğrultuç, süzgeç ve düzengeç (regülatör). Şekil 1’de bir güç kaynağının blok çizelgesi verilmiştir.



Şekil 1 Bir DC güç kaynağının blok çizelgesi.

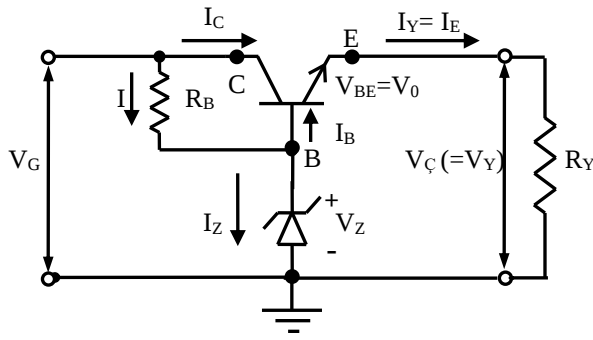
Doğrultuçlara ve süzgeçlere daha önceki deneylerde incelendiği için burada yer verilmeyecektir. DC gerilim düzengeçleri esas olarak üç tiptir: Seri düzengeç, şönt düzengeç ve komütasyon tipi düzengeç. Bunlar içinde en çok kullanılan seri düzengeçtir. Bu deneyde, basit bir seri düzengeç kullanılarak DC güç kaynağı yapılacaktır.

Doğrultuç deneyinde, regüle edilmemiş bir DC güç kaynağında çıkış geriliminin yük akımı ile orantılı olarak değiştiği görülmüştü. Bu değişimi azaltmak için zenerli düzengeç devresi kullanılabilir. Ancak zenerli düzengeç devresinde yük akımı çekilsin veya çekilmesin büyük güç kaybı olur. Bu güç kaybı kendisini ısı olarak gösterir. Yüksek yük akımlarında ise güçlü zener diyotu kullanmak gerekir. Transistörlü seri düzengeç, zenerli düzengeçten daha gelişmiş bir devredir. Bu tür devrelerde yük akımı  $I_Y=0$  iken istenmeyen güç kaybı çok azdır.

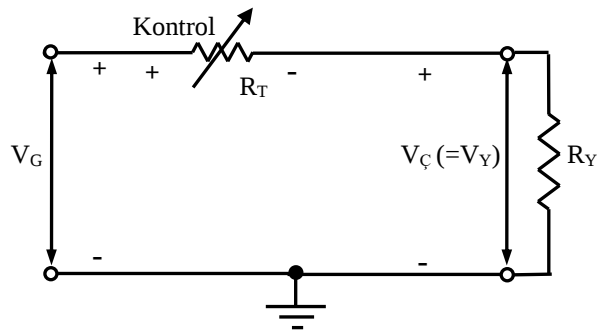
### 2.1. Transistörlü Seri Düzengeç:

Tek transistörlü seri düzengeç devresi Şekil 2’de görülmektedir. Bu devrede transistör değişken bir direnç gibi davranarak çıkıştaki gerilim değişimlerini azaltır. Zener diyotu ise çıkış geriliminin DC seviyesini kontrol eder. Yük akımı olmadığı zaman transistörde güç kaybı olmayacağı ve dalgacık genliği daha az olacağı için bu devre daha çok tercih edilir.

Seri düzengecin çalışmasını anlamak için, transistörün  $R_T$  değişken direnci ile temsil edildiği Şekil 3’deki devreye bakalım.



Şekil 2 Transistörlü seri düzeneç.



Şekil 3

$R_T$  değişken direncin değeri çalışma koşulları ile belirlenir.  $R_Y$  yük direnci değişince,  $V_Ç (= V_Y)$  yük geriliminin sabit kalması için  $R_T/R_Y$  oranı değişmemelidir. Şekil 3'ten:

$$V_Ç = \frac{R_Y}{R_Y + R_T} V_G = \frac{1}{1 + (R_T / R_Y)} V_G$$

olduğu görülebilir. Belirli bir  $V_G$  gerilimi için  $V_Ç$ 'nin  $R_Y$ 'den bağımsız olması için  $R_Y/(R_Y + R_T)$  oranı sabit olmalıdır.  $R_Y$  değiştiği zaman  $R_T$  direnci de buna uygun olarak değişmelidir. Yani  $R_Y$  artınca (ya da azalınca),  $R_T$  aynı oranda artmalı (azalmalı) dır.

Seri düzeneçte çıkış döngüsü için Kirchhoff gerilim yasasından,

$$V_Z = V_{BE} + V_Y$$

yazılır.

$V_Z$  (zener gerilimi) sabit olduğundan  $V_Y$ 'deki bir azalma  $V_{BE}$ 'deki bir artışa karşılık gelir.

$$V_{BE} = V_Z - V_Y \text{ 'dir.}$$

Bu ise kollektör akımının artması, dolayısıyla  $R_T$  direncinin (collector-emitter resistance) azalması demektir. Bu da  $V_Y$ 'yi artırıp dengeye getirerek çıkış gerilimini sabitleyecektir.

$$V_Y \downarrow \quad V_{BE} \uparrow \quad I_C \uparrow \quad R_T \downarrow \quad V_Y \uparrow$$

## 2.2. Tasarım Yöntemi

1- Yük gerilimi ve maksimum yük akımı isteğe göre saptanır.

2- **Transistör ve zener diyotun seçilmesi:**

a) Transistörün dayanabileceği maksimum güç, maksimum  $V_{CE}$  gerilimi, maksimum kollektör akımı ve DC akım kazancı ( $\beta$ ) belirlenir.

b) Zener gerilimi, zener gücü, zener akımı belirlenir.

3- Yukarıda belirtilen zener akımını ( $I_Z$ ) ve beyz akımını ( $I_B$ ), regüle edilmemiş bir DC kaynaktan çekebilmek için gerekli  $R_B$  direnci;

$$R_B = \frac{V_G - V_Z}{I_Z + I_B} \quad \text{bağıntısı ile hesaplanır.}$$

## ÖRNEK TASARIM:

$V_Y=V_C=30\text{ V}$ ,  $I_Y=100\text{ mA}$  olan seri düzeneçli DC kaynak yapalım. Transistörün  $\beta$  katsayısı bilindiğine göre  $I_B$  akımı  $I_B=I_C/\beta$  bağıntısından hesaplanır. Burada  $I_C\approx I_Y$  'dir. Sağlıklı bir tasarım yapmak için  $\beta$ 'nın sıcaklıkla değişimini ve imalat toleranslarını dikkate almak gereklidir. Örneğin transistör kataloğunda  $25^\circ\text{C}$  de  $\beta(\text{max}) = 250$ ,  $\beta(\text{min}) = 50$ ,  $\beta(\text{typical}) = 100$  olarak verilebilir. Tasarımda  $\beta=100$  olması gerekir. Buna göre  $1\text{ mA}$ 'lık beyz akımı ( $I_B$ ) düzeneğin çalışması için yeterlidir.  $I$  akımı,  $B$  noktasına  $R_B$  direnci üzerinden  $I=I_B+I_Z$  olarak gelir. Çıkıştan akım çekilmezse ( $I_B+I_Z$ ) akımının tamamı zener diyotu üzerinden akar. Bu nedenle zener akımı bir miktar yükselir. Zener diyotun seçiminde bu artışı gözönünde bulundurmak gereklidir. Çıkış gerilimi  $30\text{ Volt}$  olduğuna göre, transistörün  $V_{BE}=V_0=0.6\text{ V}$  gerilim düşmesini dikkate alarak,  $30.6\text{ Volt}$ 'luk zener diyotu kullanılacağı açıktır. İmalatçı firmalar genellikle standart değerlerde zener diyot yaparlar. Bizim istediğimiz kaynağa en yakın zener  $30\text{ Volt}$ 'luktur. Böylece  $V_C\approx 29.4\text{ V}$  olacaktır. Burada yüksek güçlü herhangi bir zener kullanılabilir, fakat güç kaybı ve maliyet açısından düşük güçlü zener kullanmak tercih edilir.  $I_B+I_Z=15\text{ mA}$  seçelim.  $I_Y=0\text{ mA}$  iken zener akımı  $15\text{ mA}$  olacaktır. Dolayısıyla kullanılacak zener gücü minimum  $15\text{ mA} \times 30\text{ V}=450\text{ mW}$  olmalıdır. Yük akımı çekildiğinde ise zener üzerinde harcanan güç bir miktar azalacaktır (Neden?). Böylece zener diyot seçilmiş olur.

$V_G$  gerilimi,  $V_Y$  yük geriliminden biraz büyük olmalıdır. Bunun gerekliliği şöyle açıklanabilir. Şebeke gerilimi her zaman aynı değerlerde kalmayabilir. Değişimin en fazla  $\%10$  olacağını varsayarsak, devre bu değişimden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

Tasarımda  $V_G$  gerilimi  $30\text{ Volt}$ 'a çok yakın seçilmiş olsun. Çıkışta yük varken şebeke gerilimindeki ani bir azalma (düşüş) durumunda  $V_G$  giriş gerilimi bir an için bile olsa  $30\text{ Volt}$ 'un altına düşebilir. Bu durumda kırılma geriliminin ( $V_Z$ ) altına inildiği için zener diyot görev yapamaz, transistör düzenleme işlevini gerçekleştirmez.

Giriş gerilimi ( $V_G$ ) çok büyük seçildiğinde ise güçlü zener diyot ve transistör kullanmak gerekir. Bu durum gereksiz güç kaybı ve maliyet artışına neden olur.

$V_G=35\text{ V}$  olsun. Bu durumda

$$R_B = \frac{V_G - V_Z}{I_Z + I_B} = \frac{(35-30)\text{ V}}{15\text{ mA}} = \frac{5\text{ V}}{15 \times 10^{-3}\text{ A}} = 330\ \Omega$$

bulunur.  $R_B$  direncinin gücü en az  $75\text{ mW}$  olmalıdır. (Direncin gücü neden önemlidir?)

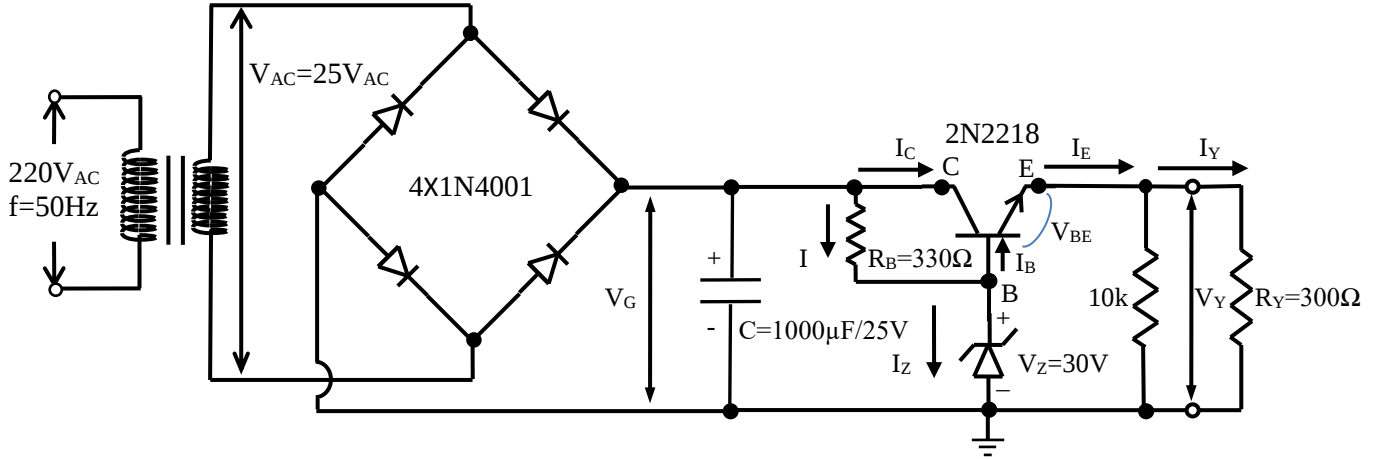
Transistörün üzerinde harcanan güç:

$$P_{\text{Transistör}} = V_{CE} \times I_C, \quad I_C \approx I_E = I_Y$$
$$P_{\text{Transistör}} = V_{CE} \times I_Y = (V_G - V_Y) \times I_Y = 5\text{ V} \times 100\text{ mA} = 0.5\text{ W}$$

Transistör üzerinde harcanan bu güç nedeni ile bir miktar ısınacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur. Isınmayı önlemek için ya daha güçlü bir transistör kullanılır ya da ısınan transistöre bir soğutucu

bağlanmalıdır. Burada tasarlanan devrede kullanılacak transistör,  $P_{\text{Transistör}} > 0.5 \text{ W}$ ,  $V_{\text{CE(max)}} > 5 \text{ V}$  değerlerini sağlayacak şekilde katalogdan seçilmelidir.

$V_{\text{RMS}} \approx 25 \text{ V}$  ve  $5 \text{ W}$  gücünde transformatör bu örnekteki güç kaynağı için uygundur (Neden?). Yukarıda tasarlanan DC güç kaynağının açık şekli aşağıda çizilmiştir.



DENEY ÖNCESİ ÖN ÇALIŞMA:

Aşağıdaki tasarımı yapınız.

$$C = 1000 \mu\text{F} / 16 \text{ V}$$

$$V_{\text{AC}} = 9 \text{ V} \text{ (transformatörün sekonder uçları arasındaki etkin gerilim).}$$

$$V_{\text{Ç}} = V_Y = 6.2 \text{ V}$$

$$I_Y = 50 \text{ mA}, \quad I_Z = 10 \text{ mA}, \quad \beta = 50$$

$$V_B = 0.6 \text{ V} \text{ (Diyot engel potansiyeli).}$$

$$P_{\text{TR}} = 0.8 \text{ W} \text{ (Transistor üzerinde harcanabilecek maksimum güç).}$$

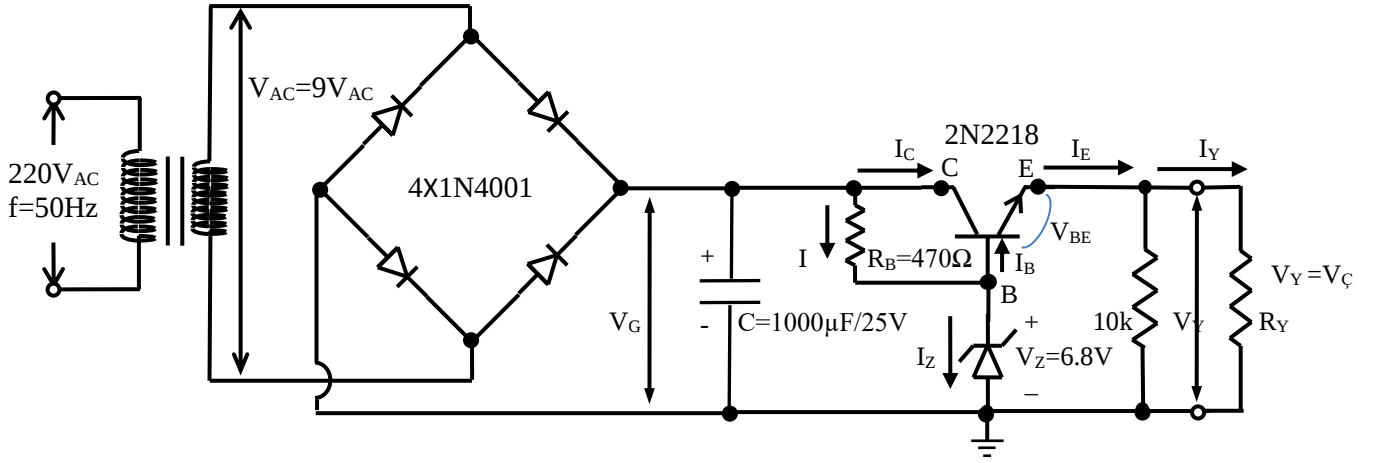
$R_B$ ,  $P_Z$  ve  $P_{\text{TR}}$  değerlerini bulunuz.

#### RAPOR YAZILIŞI HAKKINDA BİLGİ

- Hazırlanacak raporda her bir kesim için deneyin yapılışı, verilen yönergelerle uygun olarak yazılacaktır.

### 3. DENEY

#### 3.1.a)



Şekil 4

Çıkışa  $R_Y$  direnci bağlamadan ( $R_Y=\infty$ );  $V_G$  gerilimini ölçmek için Şekil 4'deki devre şeması üzerinde VOLTMETRE bağlantısını göstererek çiziniz. Çizdiğiniz devreyi kurunuz. Gerekli ölçümü alarak Tablo 1'i doldurunuz.

| $R_Y$    | $V_G ( )$ |
|----------|-----------|
| $\infty$ |           |

Tablo 1

**3.1.b)** Çıkışa  $R_Y$  direnci bağlamadan ( $R_Y=\infty$ );  $V_Z$  gerilimini ölçmek için Şekil 4'deki devre şeması üzerinde VOLTMETRE bağlantısını göstererek tekrar çiziniz. Çizdiğiniz devreyi kurunuz. Gerekli ölçümü alarak Tablo 2'yi doldurunuz.

| $R_Y$    | $V_Z ( )$ |
|----------|-----------|
| $\infty$ |           |

Tablo 2

**3.1.c)** Çıkışa  $R_Y$  direnci bağlamadan ( $R_Y=\infty$ );  $V_Ç (=V_Y)$  gerilimini ölçmek için Şekil 4'deki devre şeması üzerinde VOLTMETRE bağlantısını göstererek tekrar çiziniz. Çizdiğiniz devreyi kurunuz. Gerekli ölçümü alarak Tablo 3'ü doldurunuz.

| $R_Y$    | $V_Ç ( )$ |
|----------|-----------|
| $\infty$ |           |

Tablo 3

**3.1.d)** Çıkışa  $R_Y$  direnci bağlamadan ( $R_Y=\infty$ );  $I_Z$  akımını ölçmek için Şekil 4'deki devre şeması üzerinde AMPERMETRE bağlantısını göstererek tekrar çiziniz. Çizdiğiniz devreyi kurunuz. Gerekli ölçümü alarak Tablo 4'ü doldurunuz.

| $R_Y$    | $I_Z ( )$ |
|----------|-----------|
| $\infty$ |           |

Tablo 4

**3.1.e)** Yukarıda alınan ölçümleri aşağıdaki tabloya aktararak doldurunuz.

| $R_Y$    | $V_G ( )$ | $V_Z ( )$ | $V_C ( )$ | $I_Z ( )$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\infty$ |           |           |           |           |

Tablo 5

**3.2.a)** Devrenin çıkışına bağlanacak yük dirençlerini ( $R_Y$ ), 0 mA, 10 mA, 25 mA, 50 mA yük akımları için hesaplayınız.  
Hesapladığınız direnç ile deneyde kullanılan direnç değerlerini (dirençleri büyükten küçüğe sıralayarak) Tablo 6'ya yazınız.

| $R_Y$ (Hesaplanan) | $R_Y$ (Deneyde kullanılan) |
|--------------------|----------------------------|
| $\infty$           | $\infty$                   |
| .....              | .....                      |
| .....              | .....                      |
| .....              | .....                      |
| .....              | .....                      |

Tablo 6

**3.2.b)** Çıkışa bağlanan  $R_Y$  dirençleri üzerindeki ( $R_Y=\infty$  dahil)  $V_C$  gerilimlerini ölçmek için Şekil 4'deki devre şeması üzerinde VOLTMETRE bağlantısını göstererek tekrar çiziniz.

Çizdiğiniz devreyi kurunuz. Kesim 3.2.a'da size verilen dirençler için gerekli ölçümleri alarak Tablo 7'yi (dirençleri büyükten küçüğe sıralayarak) doldurunuz.

| $R_Y$    | $V_C ( )$ |
|----------|-----------|
| $\infty$ |           |
| .....    |           |
| .....    |           |
| .....    |           |
| .....    |           |

Tablo 7

**3.2.c)** Çıkışa bağlanan  $R_Y$  dirençleri üzerinden geçen ( $R_Y=\infty$  dahil)  $I_Y$  akımlarını ölçmek için Şekil 4'deki devre şeması üzerinde AMPERMETRE bağlantısını göstererek tekrar çiziniz.

Çizdiğiniz devreyi kurunuz. Kesim 3.2.a'da size verilen dirençler için gerekli ölçümleri alarak Tablo 8'i (dirençleri büyükten küçüğe sıralayarak) doldurunuz.

| $R_Y$    | $I_Y ( )$ |
|----------|-----------|
| $\infty$ |           |
| .....    |           |
| .....    |           |
| .....    |           |
| .....    |           |

Tablo 8

**3.2.d)** Kesim 3.2.b ve 3.2.c'de bulduğunuz değerleri Tablo 9'a yazınız.

| $R_Y$    | $V_{\check{C}} ( )$ | $I_Y ( )$ |
|----------|---------------------|-----------|
| $\infty$ |                     |           |
| .....    |                     |           |
| .....    |                     |           |
| .....    |                     |           |
| .....    |                     |           |

Tablo 9

Tablo 9'dan yararlanarak  $V_{\check{C}}-I_Y$  grafiğini çiziniz. Çizdiğiniz grafikten yararlanarak devrenin çıkış empedansını ( $Z_{\check{C}}$ ) hesaplayınız. Sonucu yorumlayınız.

**3.2.e)** Devrenin gerilim düzenlemesini aşağıdaki formülden yararlanarak hesaplayınız. Sonucu yorumlayınız.

$$\%D = 100 \times \frac{\text{Yüksüz (açık devre) } V_{\check{C}} - \text{Tam Yükte } V_{\check{C}}}{\text{Tam Yükte } V_{\check{C}}}$$

**3.3.a)** Şekil 4'deki devre şemasında, transformatör girişine bağlanan bir varyak<sup>1</sup> ile  $V_G$  ve  $V_{\check{C}}$  gerilimlerini ölçmek için kullanılacak voltmetrelerin (2 adet voltmetre) bağlantılarını göstererek tekrar çiziniz.

<sup>1</sup> Varyak; şehir şebekesinden yalıtılmamış, belirli bir aralıkta istenilen gerilimleri verebilen ayarlı transformatördür.

$I_Y=25\text{ mA}$ 'lık  $R_Y$  yükü için,  $V_G$  ve  $V_{\check{C}}$  gerilimlerini ölçerek Tablo 10'u doldurunuz.

| $V_{VARYAK}(V_{AC})$ | $V_G ( \text{ } )$ | $V_{\check{C}} ( \text{ } )$ |
|----------------------|--------------------|------------------------------|
| 110                  |                    |                              |
| 120                  |                    |                              |
| 130                  |                    |                              |
| 140                  |                    |                              |
| 150                  |                    |                              |
| 160                  |                    |                              |
| 170                  |                    |                              |
| 180                  |                    |                              |
| 190                  |                    |                              |
| 200                  |                    |                              |
| 210                  |                    |                              |
| 220                  |                    |                              |
| 230                  |                    |                              |
| 240                  |                    |                              |
| 250                  |                    |                              |

Tablo 10

**3.3.b)** Tablo 10'daki verileri kullanarak  $V_G$ - $V_{VARYAK}$  ve  $V_{\check{C}}$ - $V_{VARYAK}$  grafiklerini alt alta çiziniz. (Her iki grafikte de; yatay eksen  $V_{VARYAK}$  olarak alınız.)

Çizdiğiniz grafiklerin üzerinde, düzengecin etkin olarak çalıştığı şebeke gerilimi aralığını, bularak gösteriniz.

**3.3.c)** Kesim 3.3.b'de çizdiğiniz grafikleri değerlendirerek, düzengecin etkin çalışma aralığını yorumlayınız.

**NOT:** Bütün grafikler **milimetrik kâğıda, ölçtüğünüz birimden**, ölçekli ve düzgün olarak çizilecektir. (Milimetrik kağıttaki her iki eksen için, 1 cm aralıklarla ölçek çizgisi ve değeri konularak ölçeklendirme yapılacaktır.)

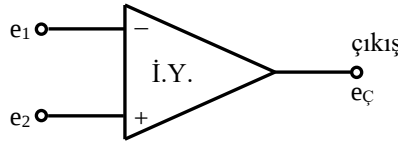
## İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER (Operational Amplifier)

**1. AMAÇ:** İşlemsel yükselteç özelliklerinin incelenmesi ve çeşitli devrelerde kullanılması

**2. GENEL BİLGİ:**

**2.1. İşlemsel Yükselteç (İ.Y.) Özellikleri:**

İşlemsel yükselteçler, fark yükselteci türünde giriş özelliği olan, kazançları çok yüksek devrelerdir. İki giriş ve bir de çıkış ucu bulunur. Simgesel gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1

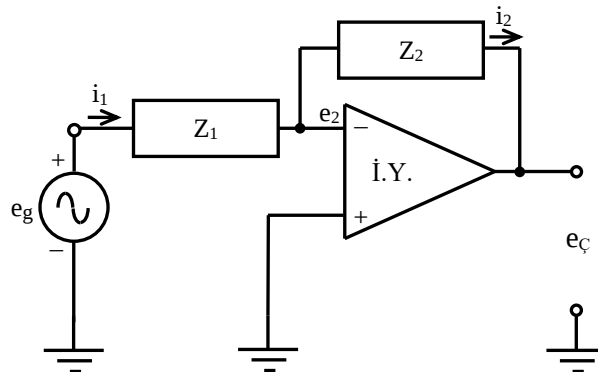
Giriş çıkış özelliği;  $e_c = K(e_2 - e_1)$  olarak bilinir. İç yapısı ise, ayrımsal bir yükseltecin çıkışlarından birinin daha sonra yükseltilerek toplam devrenin çıkışını oluşturduğu düşünüerek anlaşılabilir. İşlemsel yükselteçlerde kazanç (K) çok yüksektir (100 000 ya da daha büyük). Girişlerden biri topraklanıp diğerinden sinyal verildiğinde çıkışta bu sinyal K kere büyümüş olarak görülür.

Sinyal (-) girişten (eviren girişten) verilirse, çıkış girişle  $180^\circ$  farklı evrede olacaktır. İşlemsel yükselteçlerin çok önemli bir özelliği de çok yüksek giriş empedansı ve çok düşük çıkış empedansı olmasıdır. İşlemsel yükselteç hem DC gerilimleri hem de AC gerilimleri yükseltir. Kazanç ile bant genişliği ters orantılıdır.

**2.2. Geri Besleme :**

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

İşlemsel yükselteçlerde çıkış ile artı (+) giriş arasında geri besleme yapılamaz. Böyle bir durum işlemsel yükselteci doyuma ya da salınıma geçirir. Çıkış ile eksi giriş arasında geri besleme yapılırsa çok kullanışlı bazı özellikler elde edilir. Şekil 2’de eksi geri besleme uygulanmış bir devre görülmektedir.



Şekil 2

(-) giriş ucunun toprağa göre gerilim  $e_2$  olsun

$$i_1 = \frac{e_g - e_2}{Z_1} \quad i_2 = \frac{e_2 - e_C}{Z_2} \quad e_C = -Ke_2$$

Ayrıca, İ.Y. giriş empedansı çok yüksek olduğundan,

$$i_1 = i_2 \quad \text{olur ve} \quad e_2 = -\frac{e_C}{K} \quad \text{yazılabilir.}$$

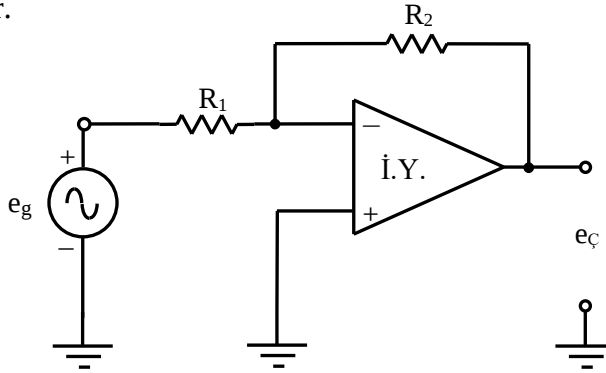
Yukarıdaki  $i_1$  ve  $i_2$  bağıntılarını eşitler ve  $e_2$  değerini de kullanırsak, Kazanç;

$$\frac{e_C}{e_g} = K = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

bulunur.

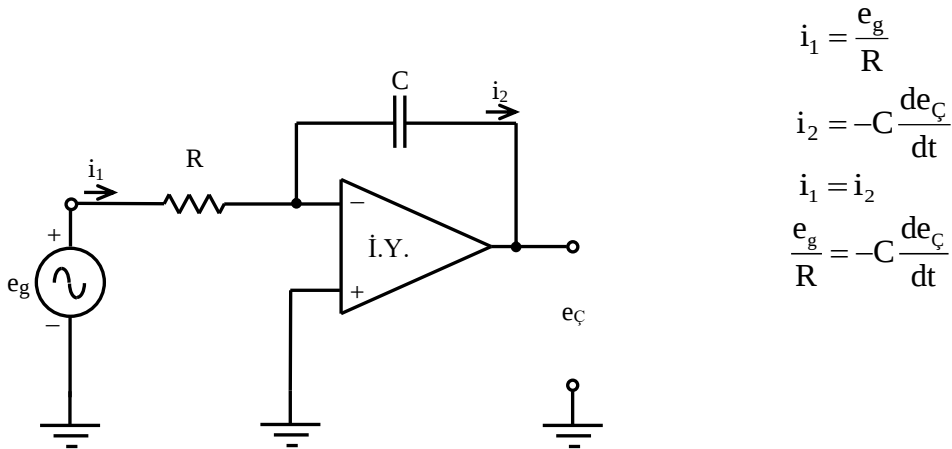
a) Şekil 2'deki gösterimde  $Z_1$  ve  $Z_2$  dirençlerden oluşmuşsa devre yükselteç olarak çalışır ve gerilim kazancı,

$$K = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{olur.}$$



Şekil 3

b)  $Z_1$  direnç,  $Z_2$  sığaç olarak alınırsa, bu devre bir integral alıcı olacaktır.



$$i_1 = \frac{e_g}{R}$$

$$i_2 = -C \frac{de_C}{dt}$$

$$i_1 = i_2$$

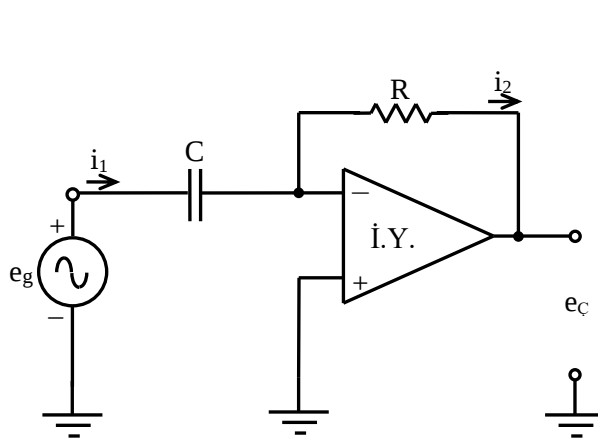
$$\frac{e_g}{R} = -C \frac{de_C}{dt}$$

Şekil 4. İntegral alıcı devre.

integral alınırsa;

$$e_C = -\frac{1}{RC} \int_0^T e_g dt \quad \text{bulunur.}$$

c)  $Z_2$  direnç,  $Z_1$  sığaç olarak alınırsa bu devre bir türev alıcı olmaktadır.



$$i_1 = C \frac{de_g}{dt}$$

$$i_2 = -\frac{e_C}{R}$$

$$i_1 = i_2 \quad \text{olduğundan}$$

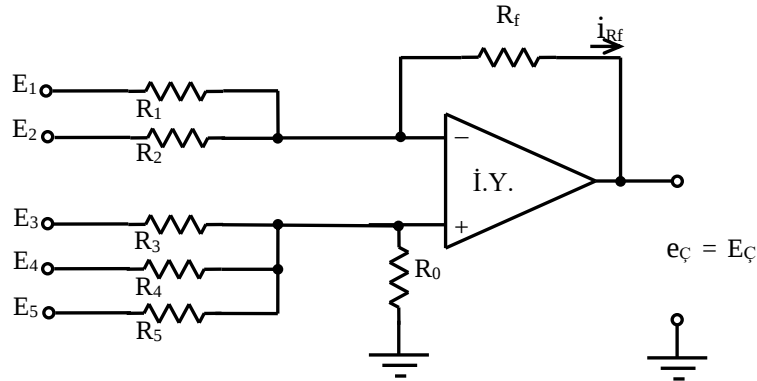
$$C = \frac{de_g}{dt} = -\frac{e_C}{R}$$

$$e_C = -RC \frac{de_g}{dt} \quad \text{bulunur.}$$

Şekil 5 Türev alıcı devre.

### 2.3. Toplama ve Çıkartma Devresi :

Şekil 6'da işlemsel yükselteç kullanılarak gerilim toplama ve çıkartma işlemi yapan devre görülmektedir. Toplama ve çıkartma devrelerinde  $R_0=R_f$  olmalıdır.



Şekil 6 Toplama-çıkartma devresi.

$$E_C = \alpha_3 \cdot E_3 + \alpha_4 \cdot E_4 + \alpha_5 \cdot E_5 - \alpha_1 \cdot E_1 - \alpha_2 \cdot E_2$$

işlevini sağlamak mümkündür. Gerilimlerin ağırlık katsayılarını veren sayıları:

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

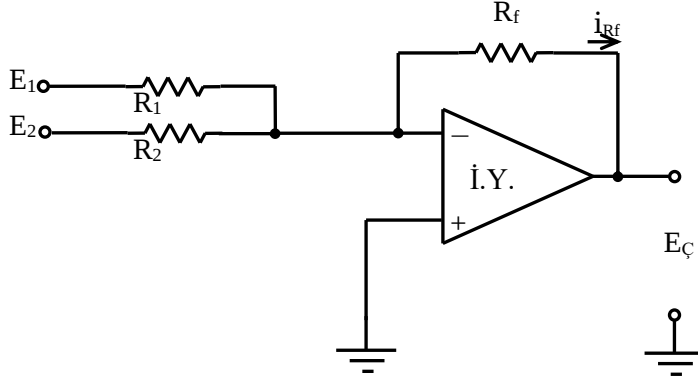
Eğer  $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R$  olarak alınırsa;  $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$  olur.

$$E_{\zeta} = \alpha(E_3 + E_4 + E_5 - E_1 - E_2)$$

$$E_{\zeta} = \frac{R_f}{R} [(E_3 + E_4 + E_5) - (E_1 + E_2)]$$

olarak yazılır.

Sadece toplama yapan devre ise, işlemsel yükseltecin tek girişine bağlanan giriş uçları ile elde edilir.



Şekil 7 Toplama devresi.

Şekil 7'deki devrede

$$E_{\zeta} = -\frac{R_f}{R_1} \cdot E_1 - \frac{R_f}{R_2} \cdot E_2$$

$$E_{\zeta} = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot E_1 + \frac{R_f}{R_2} \cdot E_2\right)$$

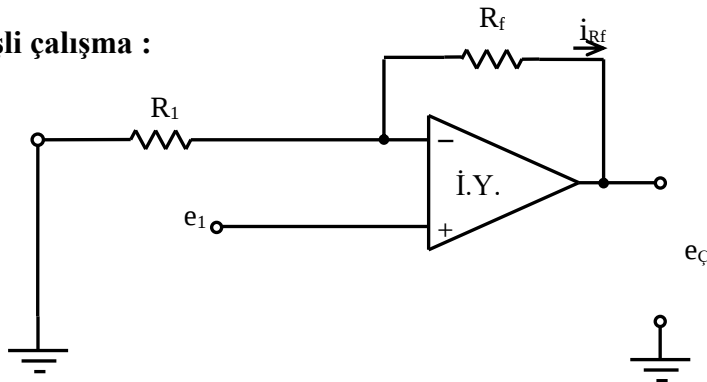
olduğu görülebilir.

Eğer  $R_1=R_2=R$  olarak alınırsa;

$$E_{\zeta} = -\frac{R_f}{R} (E_1 + E_2)$$

olarak yazılır.

#### 2.4. Artı girişli çalışma :



Şekil 8

Bu devrenin kazancı,

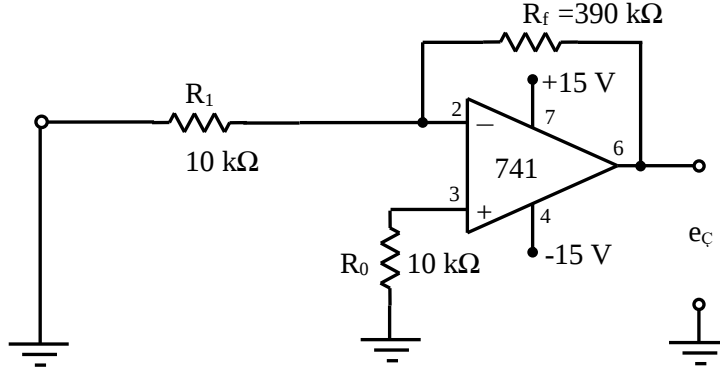
$$K = \frac{e_{\zeta}}{e_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \text{dir.}$$

## RAPOR YAZILIŞI HAKKINDA BİLGİ

- Hazırlanacak raporda her bir kesim için deneyin yapılışı, verilen yönergelere uygun olarak deney sorumlusu tarafından yapılan deneyin videosu izlenerek, yazılacaktır.
- Deney verileri, deneyin videosundaki ölçüm cihazlarının görüntüleri üzerinden alınacaktır.

### 3. DENEY:

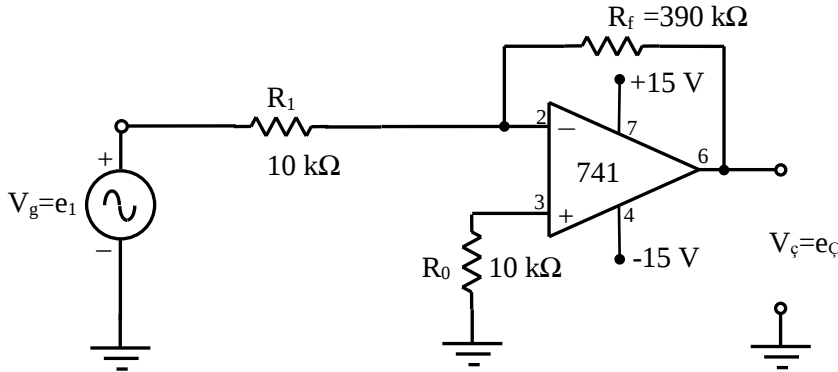
#### 3.1. İşlemsel Yükselteç Ofset Kontrolü



Şekil 9

Şekil 9’da verilen devreyi kurunuz. İşlemsel Yükselteç’in 7 nolu ayağına artı kaynağı, 4 nolu ayağına eksi kaynağı bağlayınız. Bu noktadaki gerilimi osiloskoptan ölçerek, artı kaynağı; +15 V, eksi kaynağı; -15 V ayarlayınız.  $e_ç$  gerilimini osiloskop bağlayarak okuyunuz.  $e_ç$  gerilimi sıfıra çok yakın olmalıdır. Sonucu deney sorumlusuna gösterin.

#### 3.2.Yükselteç



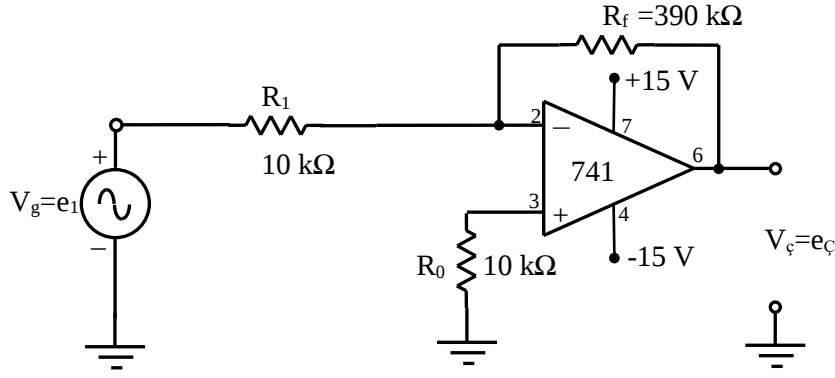
Şekil 10

**3.2.a)** Şekil 10’da verilen devreyi kurunuz. Devre kazancını kuramsal olarak hesaplayınız.

**3.2.b)** Kesim 3.2.a’da kurmuş olduğunuz devrenin girişine genliği 100 mV<sub>(t-t)</sub>, frekansı  $f = 1$  kHz olan sinüs sinyal ( $e_1$ ) uygulayın. Giriş ve çıkışı osiloskoptan gözleyerek  $V_g-t$  ve  $V_ç-t$  grafiklerini alt-alta çizin. Aralarındaki faz farkını belirtiniz.

**3.2.c)** Çizdiğiniz  $V_g-t$  ve  $V_ç-t$  grafiklerinden yararlanarak, devrenin deneysel gerilim kazancını hesaplayarak kuramsal değerleriyle karşılaştırınız.

3.2.d) Şekil 11'deki devreyi kurunuz.



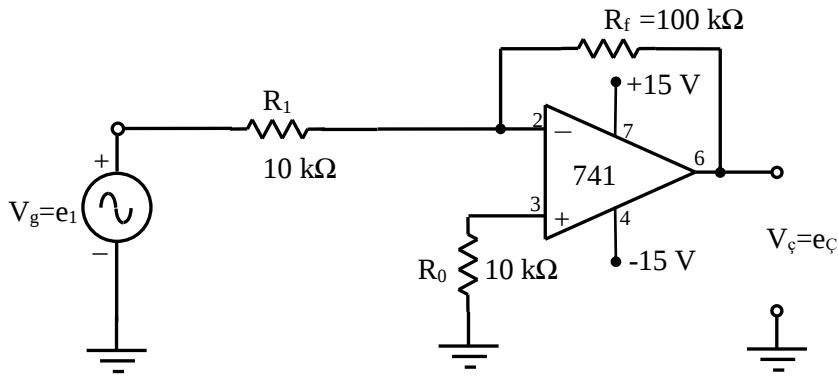
Şekil 11

Kurmuş olduğunuz devrede,  $R_f = 390 \text{ k}\Omega$  için, tablo 1'deki frekans değerlerini uygulayınız. Her frekans değerinde  $e_1$  genliğini, osiloskoptan kontrol ederek  $e_ç$ 'leri osiloskop ile okuyunuz. Tablo 1'i doldurunuz.

| f(Hz) | $e_{1(t-t)}(\text{mV})$ | $e_{ç(t-t)}$ | Kazanç | f(Hz) | $e_{1(t-t)}(\text{mV})$ | $e_{ç(t-t)}$ | Kazanç |
|-------|-------------------------|--------------|--------|-------|-------------------------|--------------|--------|
| 5     | 100                     |              |        | 10 k  | 100                     |              |        |
| 10    | 100                     |              |        | 50 k  | 100                     |              |        |
| 50    | 100                     |              |        | 100 k | 100                     |              |        |
| 100   | 100                     |              |        | 500 k | 100                     |              |        |
| 300   | 100                     |              |        | 1 M   | 100                     |              |        |
| 500   | 100                     |              |        | 1.5 M | 100                     |              |        |
| 1 k   | 100                     |              |        | 2 M   | 100                     |              |        |
| 5 k   | 100                     |              |        |       |                         |              |        |

Tablo 1

3.2.e) Şekil 12'de verilen devreyi kurunuz



Şekil 12

Kurmuş olduğunuz devrede  $R_f=100\text{ k}\Omega$  için, tablo 2'deki frekans değerlerini uygulayınız. Her frekans değerinde  $e_1$  genliğini, osiloskoptan kontrol ederek  $e_c$ 'leri osiloskop ile okuyunuz. Tablo 2'yi doldurunuz.

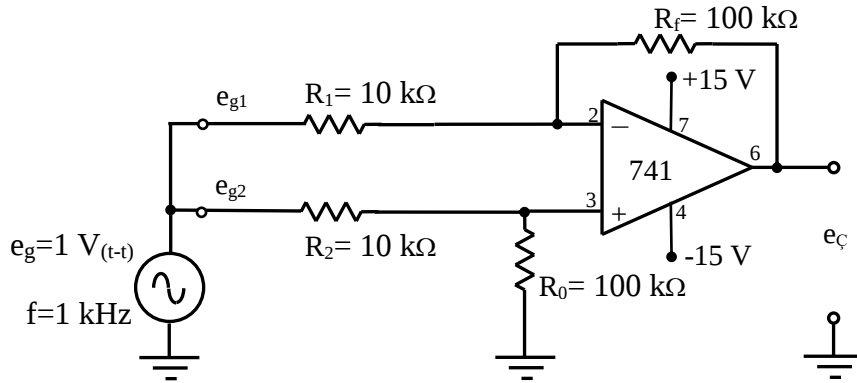
| f(Hz) | $e_{1(t-t)}$ (mV) | $e_{c(t-t)}$ | Kazanç | f(Hz) | $e_{1(t-t)}$ (mV) | $e_{c(t-t)}$ | Kazanç |
|-------|-------------------|--------------|--------|-------|-------------------|--------------|--------|
| 5     | 100               |              |        | 10 k  | 100               |              |        |
| 10    | 100               |              |        | 50 k  | 100               |              |        |
| 50    | 100               |              |        | 100 k | 100               |              |        |
| 100   | 100               |              |        | 500 k | 100               |              |        |
| 300   | 100               |              |        | 1 M   | 100               |              |        |
| 500   | 100               |              |        | 1.5 M | 100               |              |        |
| 1 k   | 100               |              |        | 2 M   | 100               |              |        |
| 5 k   | 100               |              |        |       |                   |              |        |

Tablo 2

**3.2.f)** Tablo 1 ve 2'yi kullanarak her iki devrenin kazanç-log(f) grafiğini tek bir eksen takımı kullanarak (üst üste) çiziniz. Bant genişliklerini bulunuz ve bunları karşılaştırarak bu değerlerin anlamını açıklayınız.

### 3.3.Ayrımsal (Fark) Yükselteç Özelliği

$R=R_1=R_2= 10\text{ k}\Omega$ ;  $R_0= R_f= 100\text{ k}\Omega$



Şekil 13a

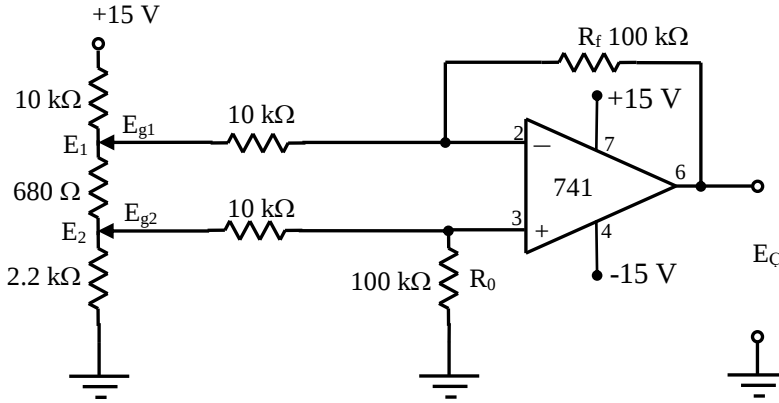
**3.3.a)** Şekil 13a'da şeması verilen devrenin;

$$e_c = \frac{R_f}{R} (e_{g2} - e_{g1})$$

förmülünü kullanarak,  $e_c$  kuramsal değerini hesaplayınız, verilen devreyi kurunuz.

**3.3.b)** Kurduğunuz devrede;  $e_{g1}$  ve  $e_{g2}$  girişlerine sinyal jeneratöründen 1 kHz, eşit genlikli sinyal ( $e_g=1\text{ V}_{(t-t)}$ ) veriniz. Çıkış gerilimini okuyunuz. Kesim 3.3.a'da hesapladığınız kuramsal değeri ile karşılaştırınız.

**3.3.c)** Şekil13b'deki devreyi kurunuz. Kuramsal  $E_1$ ,  $E_2$  ve  $E_C$  gerilimlerini hesaplayınız.



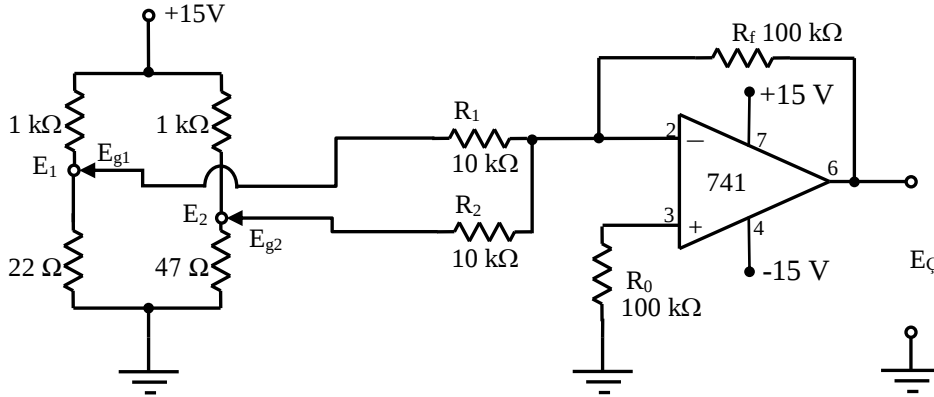
Şekil 13b

**3.3.d)**  $E_{g1}$  giriş ucu  $E_1$  noktasına,  $E_{g2}$  giriş ucu  $E_2$  noktasına bağlanmış olan devrenizde  $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$  ve  $E_C$  gerilimlerini osiloskoptan okuyunuz.

**3.3.e)** Kesim 3.3.d'de okuduğunuz deneysel değerleri, kesim 3.3.c'de hesapladığınız kuramsal değerler ile karşılaştırarak yorumlayınız.

#### 3.4.Toplayıcı:

**3.4.a)** Şekil 14'deki devreyi kurunuz.



Şekil 14

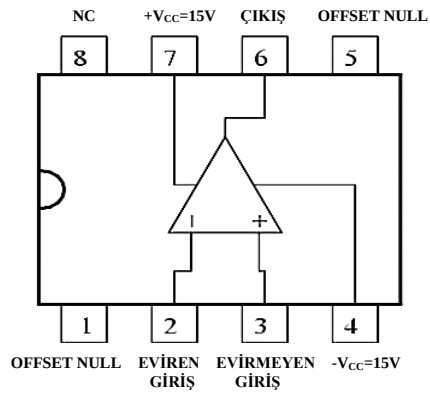
Şekil 14'deki devrenin  $E_1(=E_{g1})$ ,  $E_2(=E_{g2})$  ve  $E_C$  gerilimlerini kuramsal olarak hesaplayınız.

$$E_C = -\frac{R_f}{R} (E_{g1} + E_{g2})$$

**3.4.b)**  $E_{g1}$  giriş ucu  $E_1$  noktasına,  $E_{g2}$  giriş ucu  $E_2$  noktasına bağlanmış olan devrenizde  $E_{g1}$ ,  $E_{g2}$  ve  $E_C$  gerilimlerini osiloskoptan okuyunuz.

**3.4.c)** Kesim 3.4.b’de okuduğunuz deneysel değerleri, kesim 3.4.a’da hesapladığınız kuramsal değerler ile karşılaştırarak yorumlayınız.

## LM 741' in AYAK BAĞLANTI ŞEMASI



**NOT:** Bütün grafikler milimetrik kâğıda, ölçtüğünüz birimden, ölçekli ve düzgün olarak çizilecektir. (Milimetrik kağıttaki her iki eksen için, 1 cm aralıklarla ölçek çizgisi ve değeri konularak ölçeklendirme yapılacaktır.)