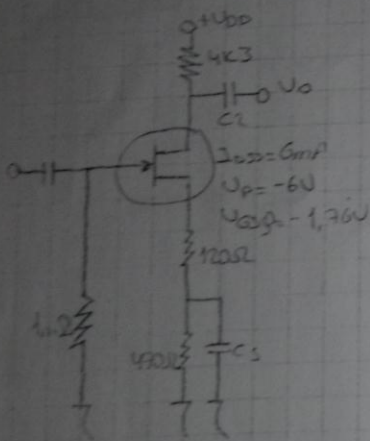


Übung 1



$A_V = ?$

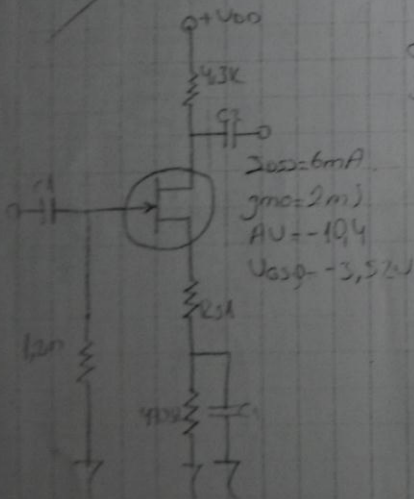
$$g_{m0} = \frac{2 I_{DQ}}{|U_p|} = \frac{2 \cdot 6 \text{ mA}}{6} = \frac{12 \text{ mA}}{6} = 2 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{U_p}\right) = 2 \left(1 - \frac{-1,76}{-6}\right) = 1,413 \text{ mS}$$

$$r_m = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{1,413 \text{ mS}} = \frac{1000}{1,413} = 707,7 \Omega$$

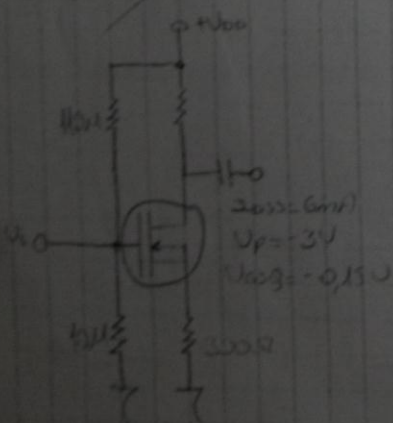
$$A_V = \frac{-R_D}{r_m + R_{S1}} = \frac{-4,3 \cdot 10^3}{707,7 + 120} = \frac{-4300}{827,7} = -5,2$$

Übung 2



a)  $R_{S1} = ?$   
b)  $U_p = ?$

Übung 3



$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{U_p}\right)$$

$$A_V = \frac{-R_D}{r_m + R_{S1} + \frac{r_m}{K_d} (R_D + R_{S1})}$$

$$g_{m0} = \frac{2 I_{DQ}}{|U_p|} = \frac{2 \cdot 6 \text{ mA}}{3} = 4 \text{ mS}$$

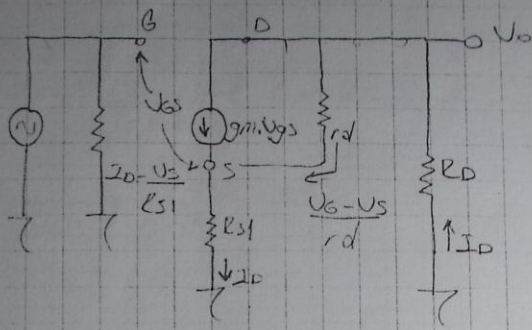
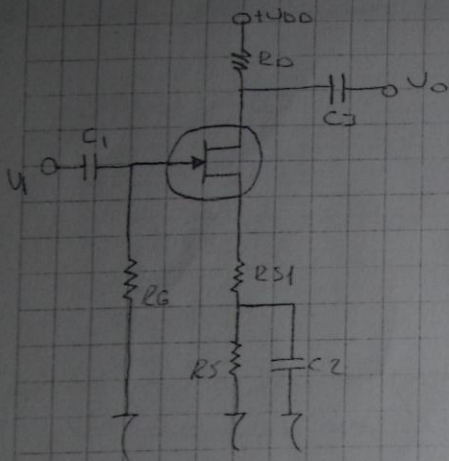
$$g_m = 4 \text{ mS} \left(1 - \frac{-0,15}{-3}\right) = 3,8 \text{ mS}$$

$$r_m = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{3,8 \cdot 10^{-3}} = \frac{1000}{3,8} = 263,2 \Omega$$

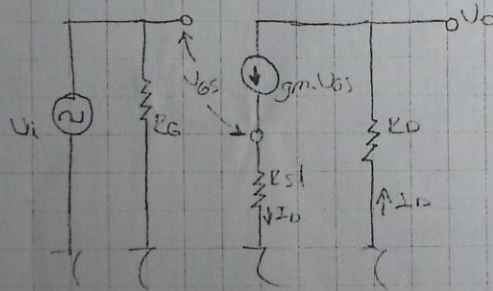
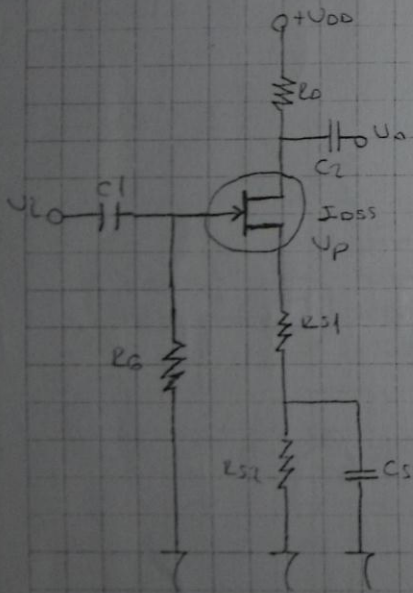
$$r_d = \frac{1}{g_{d0}} = \frac{1}{0,05 \cdot 10^{-3}} = \frac{1000}{0,05} = 20000 \Omega$$

$$A_V = \frac{-1,2}{263,2 + 300 + \frac{263,2}{20,1} (1000 + 300)} = -3,05$$

ÜBUNG -



$$U_{GS} = U_G - U_S = U_i - I_D \cdot R_{S1} = U_i = -g_m U_{GS} \cdot R_{S1}$$



$$U_{GS} = U_G - U_S = U_i - I_D \cdot R_{S1} = U_i - g_m U_{GS} \cdot R_{S1}$$

$$U_i = (1 + g_m R_{S1}) \cdot U_{GS}$$

$$U_o = -I_D \cdot R_D = -g_m U_{GS} \cdot R_D$$

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = \frac{-g_m U_{GS} \cdot R_D}{(1 + g_m R_{S1}) U_{GS}}$$

$$A_U = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_{S1}}$$

$$g_m = \frac{1}{r_m}$$

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = \frac{-\frac{1}{r_m} \cdot R_D}{1 + \frac{1}{r_m} \cdot R_{S1}} = \frac{-R_D}{r_m + R_{S1}}$$

$$U_o = -\frac{R_D}{r_d + R_{S1} + R_D} \cdot g_m \cdot r_d \cdot U_{GS}$$

$$U_o = U_i - U_S$$

$$U_o = \frac{-R_D}{r_d + R_{S1} + R_D} \cdot g_m \cdot r_d (U_i - U_S)$$

Denex / -3

$I_{DSS} = 15 \text{ mA}$   
 $V_P = -6 \text{ V}$   
 $V_{GS} = 0,05 \text{ V}$   
 $g_{m0} = ?$   
 $r_d = ?$

$$g_{m0} = \frac{2 \cdot 15 \text{ mA}}{1 - 6 \text{ V}} = 3 \text{ mS}$$

$$r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{0,05 \cdot 10^{-3}} = 20 \text{ k}\Omega$$

~~\*\*\*~~ - Formulas - ~~\*\*\*~~

$$V_o = I_o \cdot R_o = g_m \cdot V_{gs} \cdot R_o$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m \cdot R_o$$

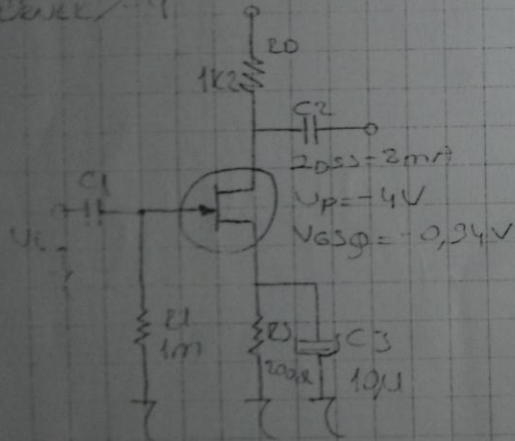
$R_i = R_G$   
 $R_o = R_D$

$$r_m = \frac{1}{g_m}$$

$$A_v = -g_m \cdot R_o$$

$$A_v = \frac{-R_o}{r_m}$$

Denex / -4



$g_m = ?$   
 $A_v = ?$   
 $r_m = ?$

$$g_{m0} = \frac{2 \cdot 2 \text{ mA}}{1 - 4 \text{ V}} = 4 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) = 4 \cdot \left( 1 - \frac{-0,24}{-4} \right)$$

$$g_m = 4 \cdot (1 - 0,235) = 4 \cdot 0,765$$

$$g_m = 3,06 \text{ mS}$$

$$A_v = -g_m \cdot R_D = -3,06 \cdot 1,2 \cdot 10^3, 10^3$$

$$A_v = -3,6$$

$$r_m = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{3,06 \cdot 10^{-3}}$$

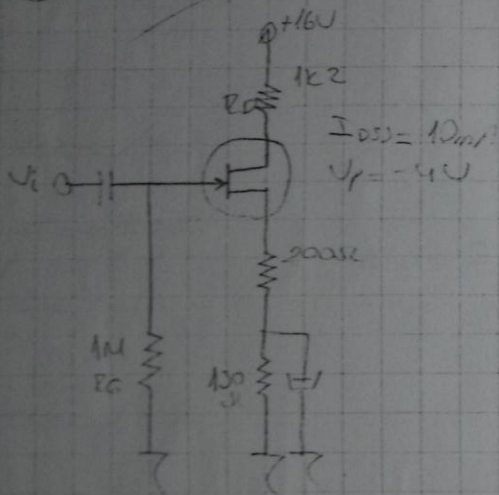
$$r_m = 326 \Omega$$

$$A_U = -g_m \cdot R_D = 3,875 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^3 = -4,65$$

$$r_m = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{3,875 \text{ mS}}$$

$$r_m = 258,06 \Omega$$

① WICK-2



$$\begin{array}{l} V_{GS} \\ 0,3 \cdot (-4) = -1,2V \\ 0,5 \cdot (-4) = -2V \end{array}$$

$$\begin{array}{l} I_D \\ I_{DSS}/2 = 5 \text{ mA} \\ I_{DSS}/2 = 2,5 \text{ mA} \end{array}$$

$$\frac{|V_{GS}|}{R_S} = \frac{|-4|}{100 + 100} = \frac{|-4|}{200} = 12,12 \text{ mA}$$

←  $V_{GS} = -1,4V$  c. b. c. a. t. e. g. r. i. y. l. c. i. z.

$r_m = ?$ ,  $A_U = ?$

$$g_m = \frac{2 I_{DSS}}{V_{GS}} = \frac{2 \cdot 10 \text{ mA}}{-4V} = -5 \text{ mS}$$

$$g_m \cdot g_{m0} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$g_m = 5 \text{ mS} \cdot \left(1 - \frac{-1,4}{-4}\right)$$

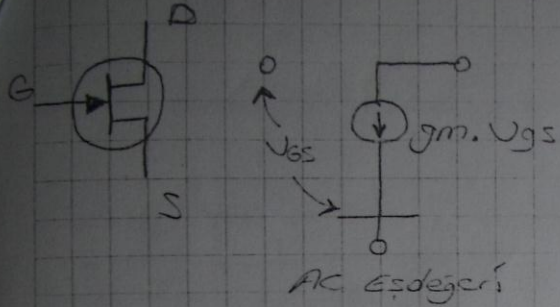
$$g_m = 5 \text{ mS} \cdot 0,65 = 3,25 \text{ mS}$$

$$r_m = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{3,25} = 307,7 \Omega$$

$$A_U = \frac{-R_D}{r_m} = \frac{-1,2 \cdot 10^3}{307,7} = -39$$

2. ÜZE -

FET KÜÇÜK SİNYAL ANALİZİ



gm = Geçiriletilik  
 gm0 = Ugs'nin '0' olduğu durumda  
 Up = Vp olduğu durumda olduğu

$$gm = gm0 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)$$

$$gm0 = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}$$

ÖRNEK / - 1

IDSS = 12mA  
 VP = -3V  
 gm0 = ?

$$gm0 = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{1-3} = 8 \text{ mS}$$

ÖRNEK / - 2

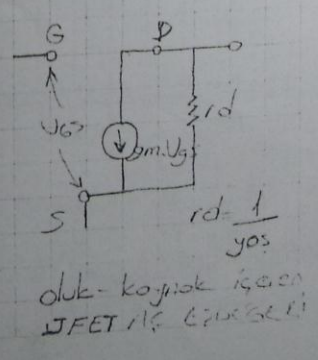
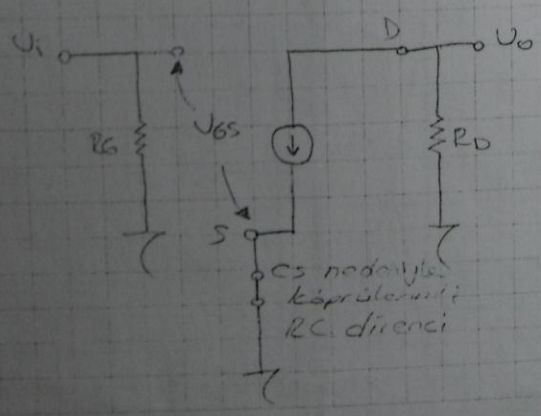
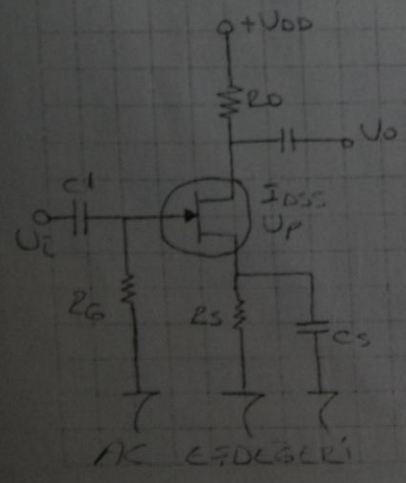
IDSS = 12mA  
 VP = -3V  
 UGS = -1V  
 gm = ?

$$gm0 = \frac{2 \cdot 12 \text{ mA}}{1-3} = 8 \text{ mS}$$

$$gm = gm0 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right) = 8 \cdot \left(1 - \frac{-1}{-3}\right) =$$

$$gm = 8 \text{ mS} (1 - 0,333)$$

$$gm = 5,336 \text{ mS}$$



$$R_C = 100k // 10M$$

$$R_C = 9,17k$$

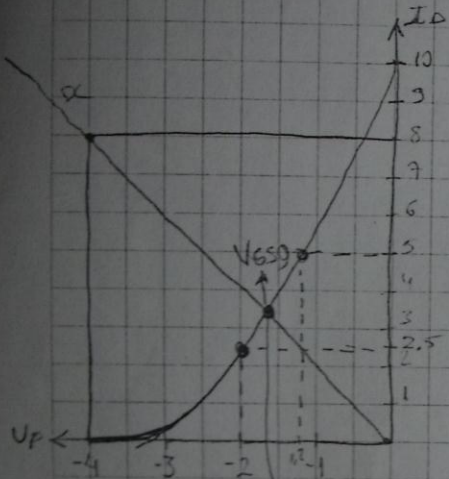
$$R_o = R_D // r_d = 1500 // 20000 = 1,65k$$

$V_{GSQ}$  NOK TAŞININ ÇALIŞMASININ TESPİTİ :

$V_{GS}$	$I_{DSS}$
0,3 · 4	10 / 2
0,5 · 4	10 / 4

$$\frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_p|}$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$



$$I_{DSS} = 10mA$$

$$V_p = -4V$$

$$R_{SS} = 500\Omega$$

$V_{GS}$	$I_D$
0	$I_{DSS}$
0,3 · $V_p$	$I_{DSS}/2$
0,5 · $V_p$	$I_{DSS}/4$
$V_p$	0

$V_{GS}$	$I_{DSS}$
0	10mA
0,3 · (-4) = -1,2	5mA
0,5 · (-4) = -2	2,5mA

STANDART

$$g_{m0} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{V_p}$$

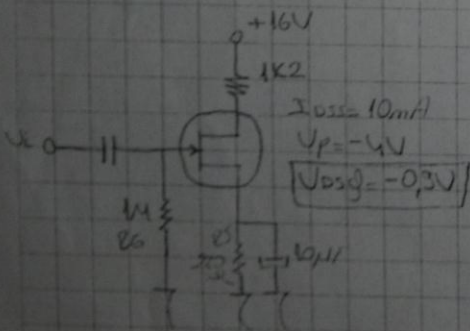
$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p}\right)$$

$$\frac{V_{p1}}{R_S} = \frac{-4V}{500} = 8mA$$

-2,5k-1  
available at  
day

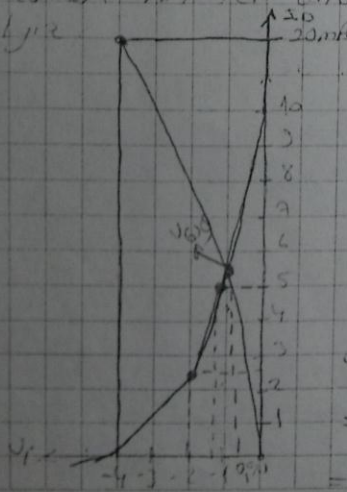
$$V_{GSQ} = -1,5V$$

ÖRNEK - 1



$V_{GS}$	$I_D$
0,3 · (-4) = 1,2V	$I_{DSS}/2 = 5mA$
0,5 · (-4) = 2V	$I_{DSS}/4 = 2,5mA$

\*\*\*  $V_{GSQ}$ 'yu bulmamam için  $V_p$ ,  $I_{DSS}$  yi çözen her iki bölgeyi de kullanabiliriz



$$\frac{|V_{p1}|}{R_S} = \frac{-4V}{200} = 20mA$$

$$g_{m0} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_p|} = \frac{2 \cdot 10mA}{4} = 5mS$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p}\right) = 5mS \left(1 - \frac{-0,3}{-4}\right) = 5mS \cdot 0,975 = 4,875mS$$

Formüllerde :

$C_{ort} =$  Varyabil kondansatörün ortalama değeri ( pF )

$C_{max} =$  " " maximum " (pF)

$C_{min} =$  " " minumum " (pF)

$f =$  Tank devresinin rezonans frekansı (MHz)

$L =$  Bobinin endüktans değeri

$\pi = 3,14$

$D =$  Karkasın çapı (cm)

$\ell =$  Bobinin boyu (cm)

$k = \frac{D}{\ell}$  oranı

$n =$  Bobinin 1 cm deki siper sayısı

$\Sigma n =$  Bobinin toplam siper sayısı

Örneğin :  $D = 8$  cm ,  $\ell = 1,5$  cm ,  $C_T = 10 \sim 150$  pF lik varyabil kondansatör ,  $n = 3$

olsun . Buradan ,  $k = \frac{D}{\ell} = 5,33$  bulunur. Formülde yerine yazılırsa ;

$$L = 0,00967 \cdot 3^2 \cdot 6^2 \cdot 1,5 \cdot 5,33 = 13,6 \mu H \text{ bulunur}$$

$C_{ort} = 80$  pF bulunur . Bu değerler ifadede yerine konursa ,

$f = 4,8$  MHz olur.

Bu durumda araştırma osilatörü bu frekanta çalışmaktadır.

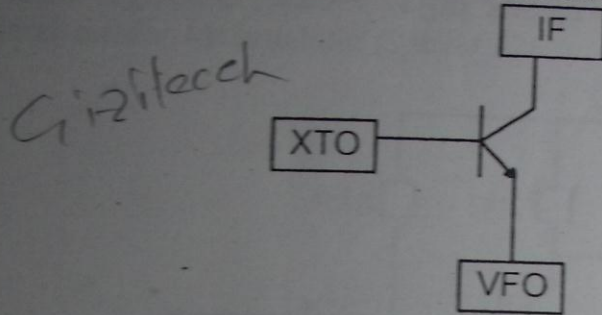
#### 4.4 FREKANS KARARLILIĞI

Frekansın kararlı tutulması serbest osilasyonlu bir osilatörün en önemli özelliğidir. Bu özellik uzun zaman ve çeşitli çevre ısılarında yüksek bir frekans kararlılığı için bir devre gereksinimidir. Transistörlü bir osilatörün frekans kararlılığı transistör parametrelerinin değişmesine , devre elemanlarına ve bilhassa rezonans devresi kapasitesi ile endüktansa bağlıdır. Rezonans devresinin yüklenmesi ise rezonans frekansını etkiler. Frekans kaymasının çok küçük olması arzulanan bir durumdur ve frekansa izin verilen azami değişme normal olarak milyon oranlarıyla belirtilir. Yani ,  $10^6$  Hz de  $\pm 1$  Hz lik bir değişmedir. Kararlılık uzun yada kısa periyotlu olabilir.

Transistörün sebep olduğu frekans değişiklikleri , besleme gerilimi ve sıcaklığa bağlıdır. Gerilim bağıllığı ,  $C_{be}$  kapasitesi değişimi ve gerilim değişikliklerinin ortaya çıkardığı kollektör akımı ve gerilimi değişiklikleriiden ötürü eğim değişir. Frekansın sabit kalmasını sağlamak için en basit yol besleme geriliminin sabit tutulmasıdır. Bu çeşitli devrelerle sağlanabilir. Transistör kapasitelerinin rezonans devresi fekansı üzerindeki etkisini küçük tutmak için , transistör sınır frekansı  $f_T$  osi-

#### 4.2.2 MİKSER (Karıştırıcı) ve HETERODİN OLAYI

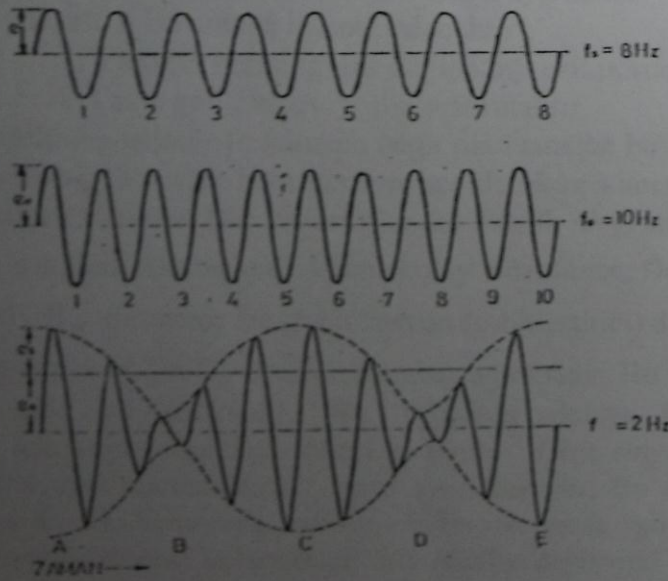
Maden edektörü devresinde  $T_2$  transistörü iki işareti karıştırıp , fark frekansın elde edildiği mikser devresi olarak kullanılmaktadır. Araştırma osilatöründen gelen işaret transistörün kollektörüne , referans osilatöründen gelen işarete transistörün bazına uygulanır. İki işaretin farkı kollektörden alınır. (Şekil-4.13)



Şekil-4.13. Mikser (Karıştırıcı) devresi

İşitilebilir ara frekansın (Batmanfrekansı) elde edilmesi mekaniki bir örnek ile açıklanabilir. Örneğin bir pyanonun bitişik iki tuşuna aynı anda vurulacak olursa , şiddeti eşit aralıklarla yükselen ve alçalan , bir ses tonu elde edilir. Vurulan tuşların titreşen ipleri hava sıkışmaları ve seyrekleşmelerini oluşturur. Hava sıkışmaları ve seyrekleşmeleri düzgün aralıklarla birbirine yardım edecek şekilde yaklaşırsa ses şiddeti yükselir. Aynı şekilde birbirine karşı gelirlerse ses şiddeti periyodik olarak azalır. Ses şiddetinin düzgün aralıklarla birbirinden çıkarılması ve eklenmesi batman frekanslarını meydana getirir.

Devremizdede batmanın elde edilmesi piyanodaki olaya benzer. Şekil-4.14 iki farklı frekansın mikser transistöründe birleştirildiği zaman ara (batman) frekansını nasıl meydana getirdiğini grafik olarak göstermektedir.

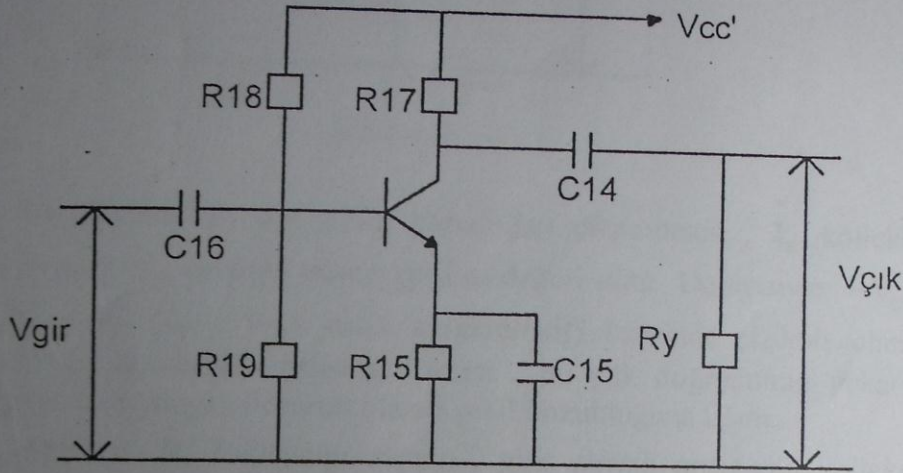


Şekil- 4.14. Batman (Ara) frekansın heterodin olayı ile elde edilmesi



## TAMPON YÜKSELTİCİSİ

Osilasyon frekansı , osilasyon yapan gücün uygulandığı yükten bağımsız değildir. Yükün büyüklüğü değişirse ,osilasyon frekansı sabit kalmayacaktır. Harici yükteki değişimler , osilatör ve yük arasına bağlanacak tampon bir yükseltici ile etkili olarak ortadan kaldırılabılır. (Şekil-4.12)



Şekil-4.12. Tampon yükselticisi devresi

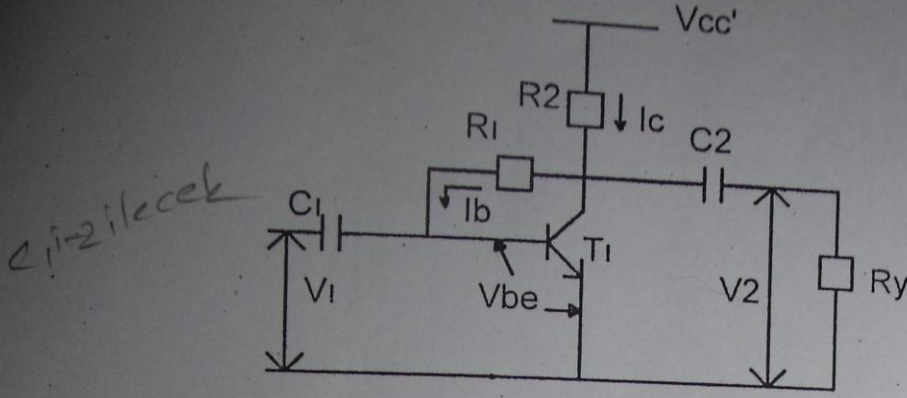
Yükselticinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için en az değerde bir uyarıya ihtiyaç vardır. Bunuda transistörün tipi ile uygulanan doğru gerilim belirler. Yükselticiden önceki kat bu uyarıyı fazla yüklenmeden sağlayabilmelidir. Osilatörün frekansı bir dereceye kadar osilatöre uygulanan yüke bağlı olduğundan , frekans kararlılığı yönünden uyarmanın doğrudan doğruya osilatör tarafından yapılması istenilmez. Bu sebeplerden dolayı bir tampon kat araya konur.

Bu yükseltici iki amaca hizmet edecektir ;

1. Yükteki herhangi bir değişikliği osilatörden yalıtılmak ,
2. Çıkış gerilim seviyesini arttırmaktır.

Yükseltici , osilatör frekansına bağlı olan sıradan bir ses veya radyo frekans yükselticisidir. Bu tip devreler hem gerilim hemde akım kumandalı olarak çalışırlar. Dolayısıyla kollektör akımı baz polarmasındaki küçük değişimlerden etkilenmediği için çıkış dalgı şekilleri (sinüzoidal) kolay kolay bozulmaz. Devrede  $R_B$  direncine polarma direnci ,  $R_E$  direncine ise stabilizasyon (sabitleştirici) direnci denir.

Devredeki  $C_{\mu}$  ve  $C_{\kappa}$  kuplaj kondansatörleridir. Bu tip yükselticilerin giriş empedansları orta büyüklüktedir. Bu sebepten dolayı baz akımı değişmesi sağlanabilmesi için kuplaj kondansatörleri kullanılır. Giriş sinyali ile emetörden elde edilen AC sinyal aynı alternanstadır , yani aynı fazdadır. Bu iki sinyal birbirine zıt olarak bağlanmış iki bataryaya benzetilebilir. Neticede giriş sinyalinin genliği otomatikman emetör direnci uçlarındaki AC gerilim değişmesi tarafından zayıflatılır. Dolayısıyla baz akım değişmesi azalır. Buda kollektör akım değişmesini küşültür ve otomatikman yükselticinin kazancı azalacaktır. Bu yüzden emetör direnci uçlarına  $C_{15}$  bağlanarak AC gerilim değişmesi , dolayısıyla kazancın azalması önlenmiş olur.



Şekil-4.7

kullanılır. Bu devrede  $R_1$  direncinin olmadığını düşünürsek ,  $I_C$  kollektör akımı yükseldiği zaman  $R_2$  uçlarına düşen gerilim değeri artar. Dolayısıyla  $-V_{CE}$  gerilimi azalır. Bu esnada  $(I_C, V_{CE})$  statik karakteristiği üzerinde çizilmiş olan  $R_2$  yük doğrusunun tam ortasındaki çalışma noktası , bu yük doğrusunun yukarı kısmına kayar. Böylece çıkış sinyali devamlı olarak şekil bozukluğuna uğrar.

Devreye  $R_1$  bağlandığı zaman , giriş sinyali arttığında kollektör akımı yükseleceğinden  $V_{CE}$  gerilim değeri azalır. Dolayısıyla  $R_1$  yardımıyla baza beslenen polarma gerilimi  $(-V_{BE})$  değeri küçülür. Buna bağlı olarak baz akımı zayıflar. Buda kollektör akımını otomatikman azaltır. Böylece  $V_{CE}$  gerilim değeri çalışma noktasına çok yakın bir yere yaklaşmış olur. Giriş sinyali azaldığı zaman kollektör akımında azalacağından , çalışma noktası aşağıya kayacağı yerde hemen hemen yük doğrusunun tam ortasına yakın bir yere yükselir. Çünkü  $I_C$  azaldığından  $V_{CE}$  çoğalır.  $R_1$  yardımıyla baza uygulanan polarma gerilimi artar. Baz akımının artması kollektör akımını  $I_{CO}$  değerine çok yaklaştırır. Dolayısıyla gerilim yük doğrusunun tam ortasında olan çalışma noktası pek kaymamış kabul edilir. Netice itibariyle devremiz nisbeten kararlı çalışmış olacaktır.

#### ✍ Hesaplamalar :

Devrenin beslemesi 9 volt DC dir. Bu gerilim  $D_1$  ve  $C_2$  den oluşan doğrultucu üzerinden devreye uygulanır. Bu yüzden  $D_1$  üzerinde  $V_D = 1,2$  V luk bir gerilim düşümü oluşur. Bu durumda ,  $100\Omega$  'luk direnç üzerindeki gerilim düşümü ihmal edilirse devreye ;

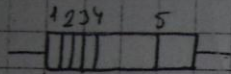
$$V_{CC}' = V_{CC} - V_D = 9 - 1,2 = 7,8 \text{ V}$$

kadar bir besleme gerilimi uygulanmış olur. Devreden ,

$$V_{CC}' = R_2 \cdot I_C + R_1 \cdot I_B + V_{BE} \text{ yazılır.}$$

Kullanılan BF494 transistörü için katalogtan  $h_{FE} = 100$  ve  $V_{BE} = 0,66$  V bulunur.

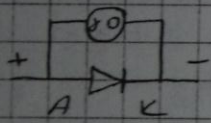
## Metal Film Dirençler : 5 renkli ise metal film dirençlerdir.



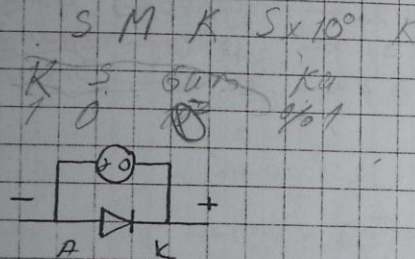
- Tolerans %1, %2 (Kahve - Kırmızı) -

1. Sayı	472	±%2	→ Sarı - Mor - Kırmızı $\times 10^0$ (Siyah) $\pm$ Kırmızı
2. Sayı	333	±%1	→ Turuncu - Turuncu - Turuncu $\times 10^0$ (Turuncu) $\pm$ Kahve
3. Sayı	2,29	±%2	→ Kırmızı - Kırmızı - Mor $\times 10^1$ (Kahve) $\pm$ Kırmızı
4. Çarpım	* 0,15	±%1	→ BOYLE DİRENÇ OLMAZ
5. Tolerans	* 0,12	±%1	→ BOYLE DİRENÇ OLMAZ

## DiYOT Ölçme

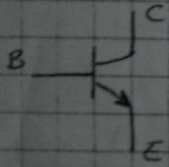


Düşük Direnç

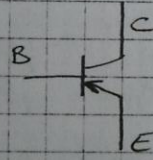


Yüksek Direnç

## TRANSİSTÖR Ölçme



- NPN -



- PNP -

- Beyze (-) uç verildiğinde diğer kollektör ve emiter uçları yüksek değer gösterir.

- Beyze (-) uç verildiğinde diğer kollektör ve emiter düşük değer gösterir.

- Beyze-Emitter arası, beyze kollektöre göre bir kaç  $\Omega$  fazla gösterir. Büyük olan emiterdir. Küçük olan kollektördür.

- Bir uç sabit tutulduğunda zaman her iki uçta da sızma olursa sabit tutulan uç beyzedir.

0,1  $\Omega$  %1

K S G K  
1 0  $\times 10^{-3}$  %1

0,1  $\Omega$  %

Kahve - Sarı - Siyah

0,1  $\Omega$  %1

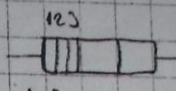
— HATA ARIZA ACAMA —

Aktif Olmayan Eleman : Direk

Aktif Olan Eleman : Transistör, Kondansatör

Bir defa ayar gerektiren yerde TRIMPOT ib ayar yapılır.

Sürekli ayar gerektiren yerlerde ise POTANSİYONERE kullanılır.

		SARFAN	TOLERANS				
0	→	SİYAH	→	$10^0$	→	<del>%1</del>	 <p>1. Sayı : 2. Sayı 3. Sarfan 4. Tolerans</p>
1	→	K. RENGI	→	$10^1$	→	%1	
2	→	KIRMIZI	→	$10^2$	→	%2	
3	→	TURUNCU	→	$10^3$			
4	→	SARI	→	$10^4$			
5	→	YEŞİL	→	$10^5$			
6	→	MAVİ	→	$10^6$			
7	→	MOR	→				
8	→	GRI	→				
9	→	BEYAZ	→				
		ALTIN	→	$10^{-1}$	→	%5	
		GÜMÜR	→	$10^{-2}$	→	%10	
						%20 RENKSİZ	

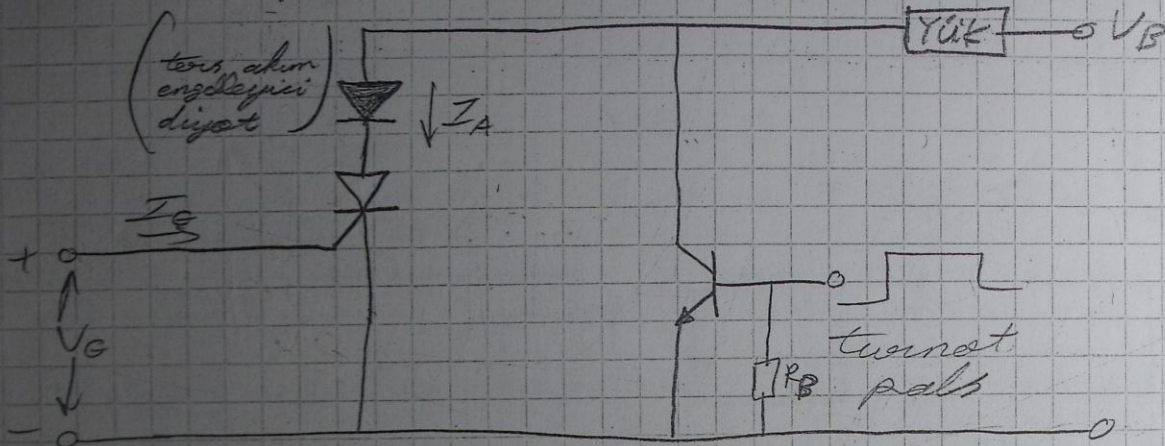
2K2	→	2,2K	→	2200Ω	→	Kırmızı - Kırmızı x $10^2$ (Kırmızı)
R5	→	0,5Ω	→	0,5Ω	→	Yeşil - Siyah x $10^2$ (Gümür)
10K	→	10K	→	10000Ω	→	K. Rengi - Siyah x $10^3$ (Turuncu)
100Ω	→	100Ω	→	100Ω	→	K. Rengi - Siyah x $10^1$ (Kahve)
100K	→	100K	→	100000Ω	→	K. Rengi - Siyah x $10^4$ (Sarı)
89Ω	→	89Ω	→	89Ω	→	Gri - Beyaz x $10^0$ (Siyah)
89K	→	8,9K	→	8,9K	→	Gri - Beyaz x $10^1$ (Altın)

Kahve	-	Siyah	-	Altın	→	$10 \times 10^{-1}$	→	1Ω
Kahve	-	Siyah	-	Kırmızı	→	$10 \times 10^2$	→	1K
Yeşil	-	Mavi	-	Siyah	→	$56 \times 10^0$	→	56Ω
Sarı	-	Mor	-	Sarı	→	$47 \times 10^4$	→	470000 → 470K
Yeşil	-	Gri	-	Mor	→	$58 \times 10^7$	→	Kullanılmıyor
Kahve	-	Siyah	-	Gümür	→	$10 \times 10^{-2}$	→	0,1Ω

siyeline değeriyle transistor akımı tutma akımının altına düşümlücek, transistor durdurulmuş olur.

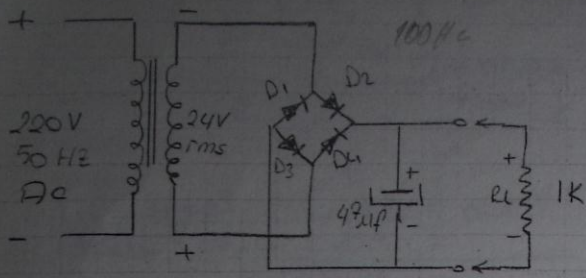
İkinci şekilde ise yük bağlanan seri anahtar ile transistor akımı kesilerek transistor durdurulabilir.

### ŞÖNTLEME



Şekilde anahtar fonksiyonunun anahtar olarak kullanılan NPN transistörün yerine getirilmesi. Bu devrede silikon diyot kapasite uygulanan yüksek gerilimi ters voltaj değerine kadar bloke edici bir özellik gösterir. NPN transistörün baseına, pozitif bir gerilim tahviye edildiğinde beyaz gerilimi transistörün baseına götümlerek transistorin kısa devreye girmesine sebep olur. Transistor akımı (0) gidince transistor base pals akımı (\$I\_G\$) olmadıkça sürülecektir.

1000  
5



$$V_{Tepe} = 1.41 \cdot 24V = 34V$$

$$V_{repe} = 34 - 1.4 = 32.6V$$

$$V_{DC} = \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 49 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot 32.6$$

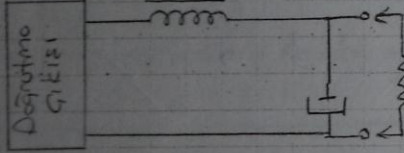
$$V_{DC} = 29.3V$$

$$V_r = \left(\frac{1}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 49 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot 32.6$$

$$V_r = 6.9V$$

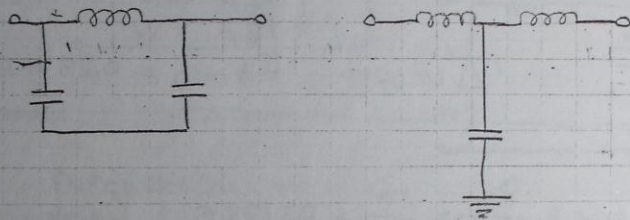
$$R.P. = \frac{V_r}{V_{DC}} = \frac{6.9V}{29.3V} = 0.23$$

### LC FİLTRE

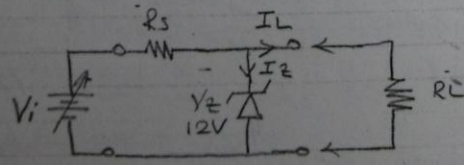
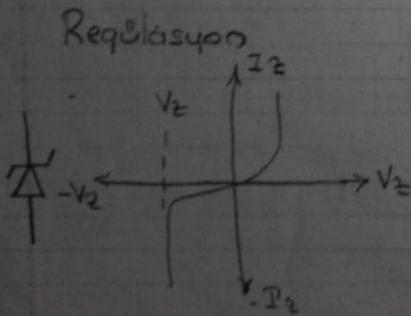
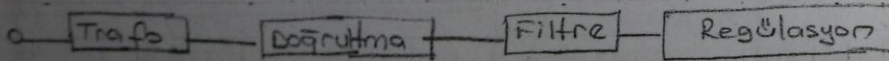


$$V_{out} = \left(\frac{X_C}{X_L - X_C}\right) \cdot V_{in}$$

### - Tl ve T tipi Filtre -



### - REGÜLASYON DEVRESİ -



1-) Giriş gerilimi değişir, çıkış gerilimini sabitlememiz gerekiyor.

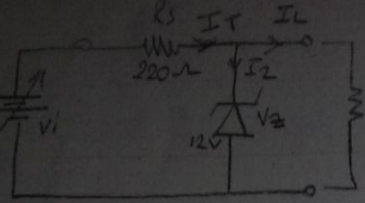
2-) Giriş gerilimi sabittir, yük değişir çıkış gerilimini sabitlemek için gerekiyor

Zener: Doğru polarımda normal diyot gibi kalır

Ters Polarımda kırılma noktasında bozulmuyor. Bu noktada zener kırılma gerilimi duyur.

- 1- Devreye Ters bağlıyoruz
- 2- Giriş gerilimi, zenerden büyük olacak

Regülasyon  
DC kaynağı



Bu devrede devrenin regüle edilebilir giriş gerilimi analizi bulalım.

$$I_{z \min} = 0,50 \text{ mA} \rightarrow \text{minimum}$$

$$P_z = \frac{1}{2} \text{ Watt} \quad (\text{max } 900)$$

$$P_z = U \cdot I$$

$$P_z = V_z \cdot I_{z \max}$$

$$I_{z \max} = \frac{P_z}{V_z} = \frac{0,50}{12V} = 0,041 \text{ A}$$

$$I_{z \max} = 41 \text{ mA}$$

$$V_{i \min} = I_{z \min} \cdot R_s + V_z$$

$$= 0,50 \cdot 220 \cdot 10^{-3} + 12V$$

$$V_{i \min} = 12,11V$$

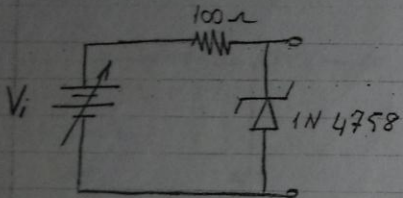
$$V_{i \max} = I_{z \max} \cdot R_s + V_z$$

$$= 41 \cdot 10^{-3} \cdot 220 + 12$$

$$V_{i \max} = 21,02V$$

$$\text{Yani;} \quad 21,02V > V_i > 12,11V$$

Or



$$V_z = 56V$$

$$P_z = 1W$$

$$I_{z \min} = 0,25 \text{ mA}$$

$$I_{z \max} = \frac{P_z}{V_z} = \frac{1W}{56V} = 0,0178 \text{ A}$$

$$I_{z \max} = 17,8 \text{ mA}$$

$$V_{i \max} = I_{z \max} \cdot R_s + V_z$$

$$= 17,8 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 56$$

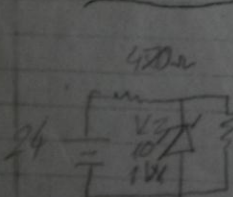
$$V_{i \max} = 57,78V$$

$$V_{i \min} = I_{z \min} \cdot R_s + V_z$$

$$= 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 56$$

$$V_{i \min} = 56,025V$$

$$\text{Yani;} \quad 57,78 > V_i > 56,025V$$



$$I_{z \min} = 1 \text{ mA} \quad R_s = ?$$

$$I_{z \max} = \frac{P_z}{V_z} = \frac{1}{10} = 100 \text{ mA}$$

Yük yok iken  $R_L = \infty$

$$V_i - V_z = \frac{24 - 10}{470} = 29 \text{ mA}$$

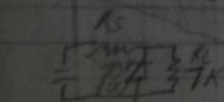
$$I_{L \max} = I_T - I_{z \min}$$

$$= 29 - 1 = 28 \text{ mA}$$

$$I_T = I_{L \max} + I_{z \min}$$

$$= I_{L \min} + I_{z \max}$$

$$R_{\min} = \frac{10 - 10}{29 \cdot 10^{-3}} = 35 \Omega$$



$$V_i = V_{z3} + V_z$$

$$20 = V_{z3} + 10$$

$$V_{z3} = 10V$$

$$V = I \cdot R$$

$$V_{z3} = I_{L \max} \cdot R_{k \min}$$

$$10 = 110 \cdot 10^{-3} \cdot R_{k \min}$$

$$I_{L \min} = 1 \text{ mA} \quad I_{z \max} = \frac{P_z}{V_z} = \frac{1}{10} = 100 \text{ mA}$$

$$I_L = \frac{V_z}{R_L} = \frac{10}{1 \cdot 10^3} = 10 \text{ mA}$$

$$I_{L \max} = I_L + I_{z \max}$$

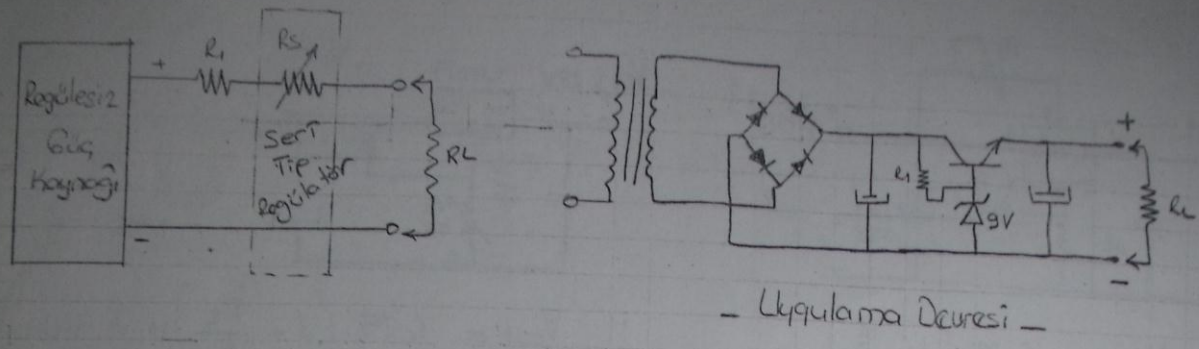
$$10 + 100 = 110 \text{ mA}$$

$$I_{T \min} = I_L + I_{L \min}$$

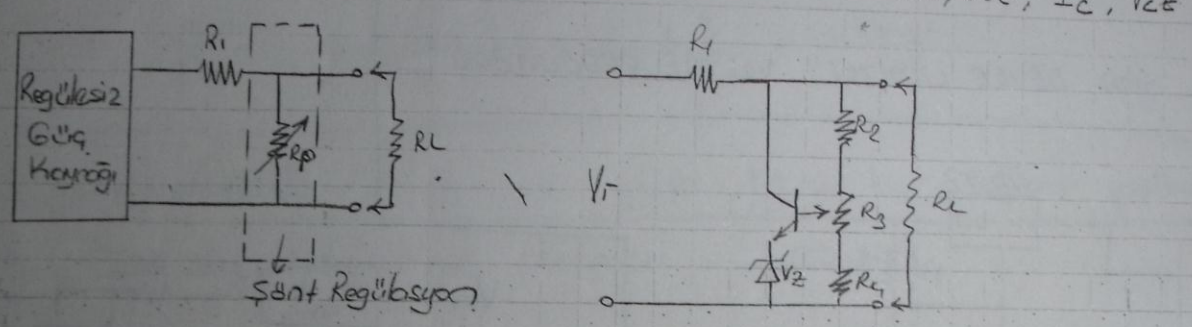
$$= 10 + 1 = 11 \text{ mA}$$

$$R_{k \min} = \frac{R_{k \max} \cdot R_{k \min}}{2} = \frac{90,9 \cdot 90,9}{2} = 500 \Omega$$

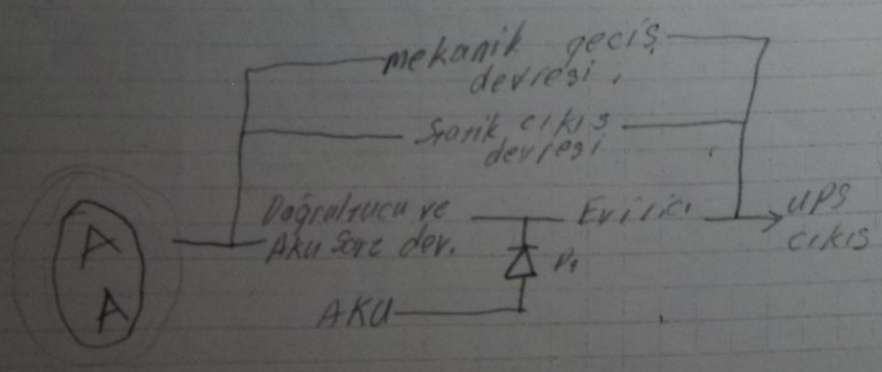
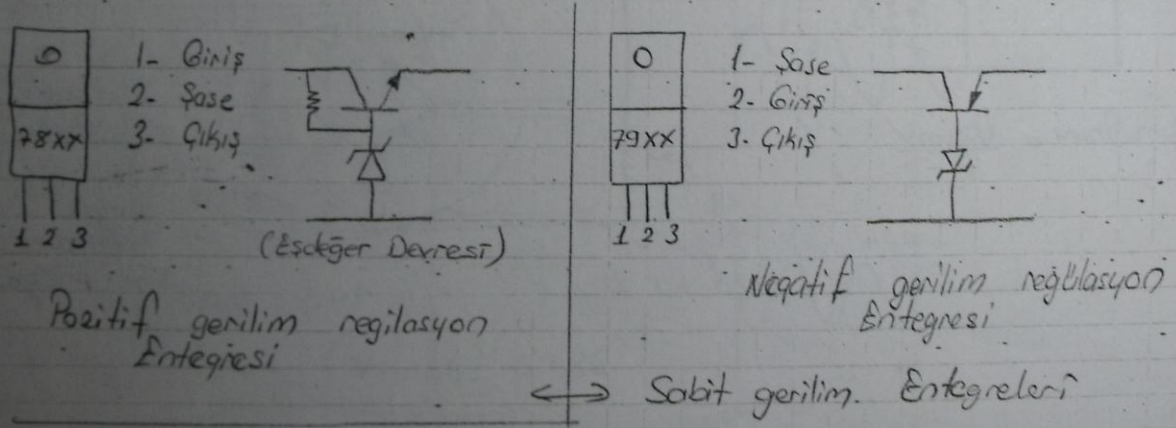
= SERT TIP REGÜLATÖR =



= ŞÖNT TIP REGÜLATÖR =



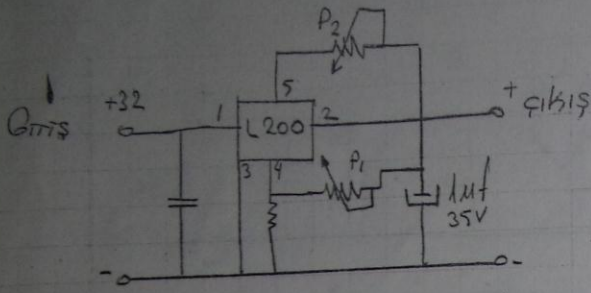
= REGÜLATÖR ENTEGRELERİ =





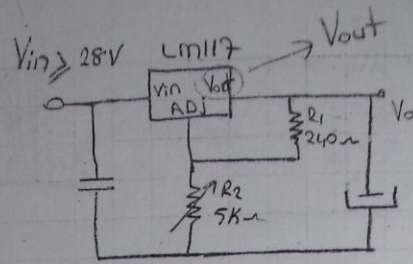
- Ayarlanabilir Gerilim Akım Regülatörü -

Yeni de Çıkar



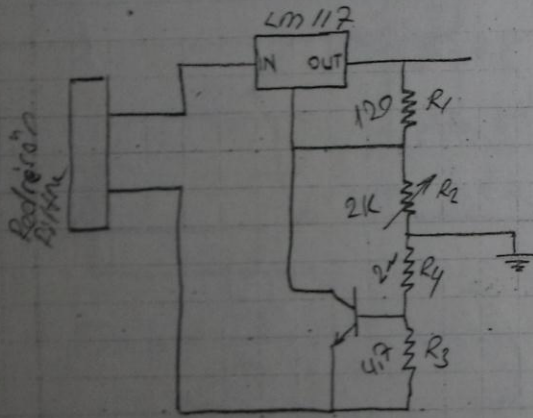
$$V_{\text{çıkış}} = 2,85 \left( 1 + \frac{P_2}{R_1} \right)$$

$$I_{\text{çıkış}} = \frac{0,47}{P_1}$$



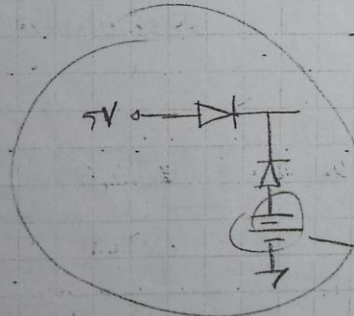
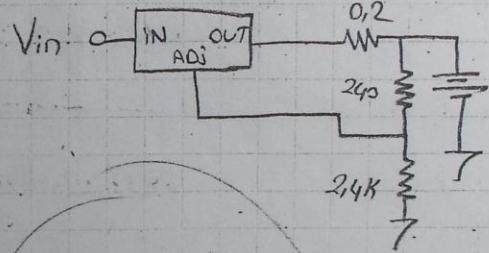
$$V_{\text{out}} = 1,25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{ADJ}} \cdot (R_2)$$

- KISA DEVRE LİMLİLTİ VOLTAJ REGÜLATÖRÜ -



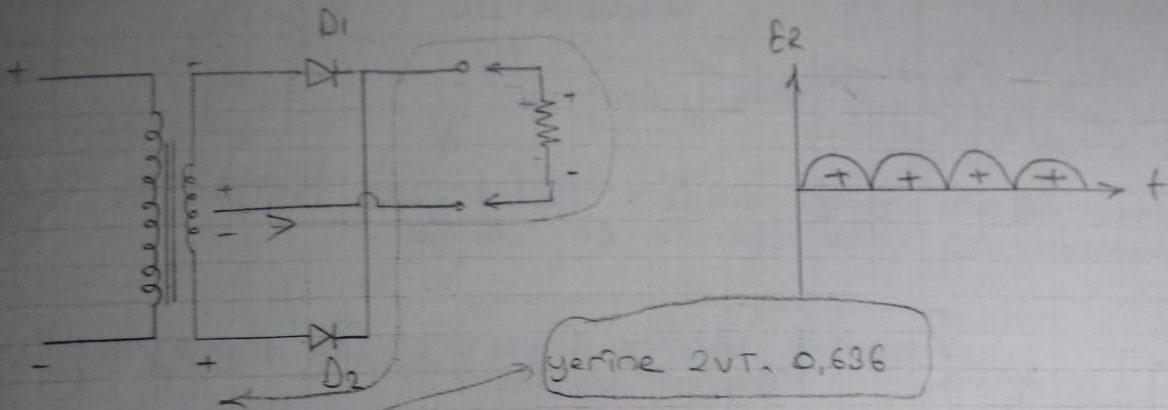
$$I_{\text{Akım Sınırı}} = \frac{600 \text{ mV}}{R_3}$$

Sabitleyici, gelen  
yüksek frekansları



→ Şebeke gerilimi  
giderse  
Devreye  
girişler  
Akımın 0" lara  
sını bilüyor.

TAM DALGA DOĞRULTMA

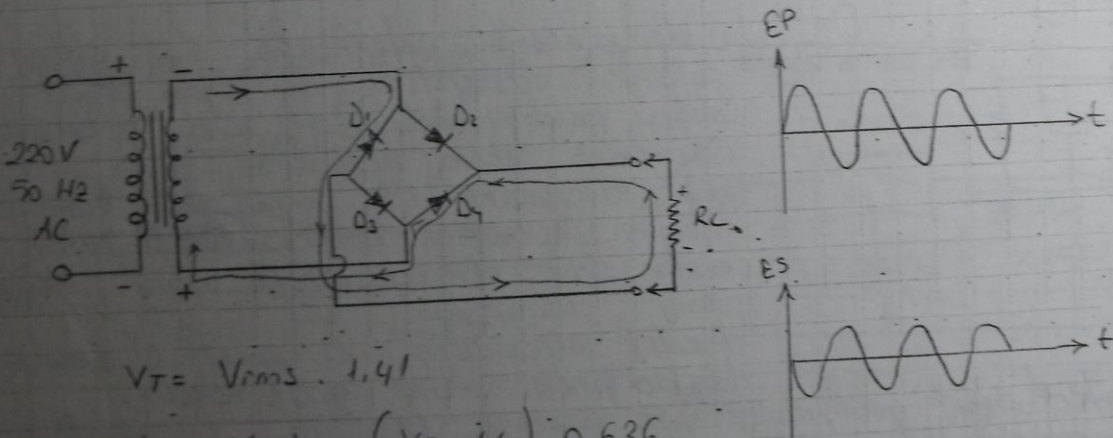


$$V_{ort} = \frac{2V_T}{3,14} = \frac{2(17-0,7)}{3,14} = \frac{2 \cdot 16,3}{3,14} = 10,38V$$

Transformatörde orta uç yuksa, köprü tipi bağlantı yapılacak

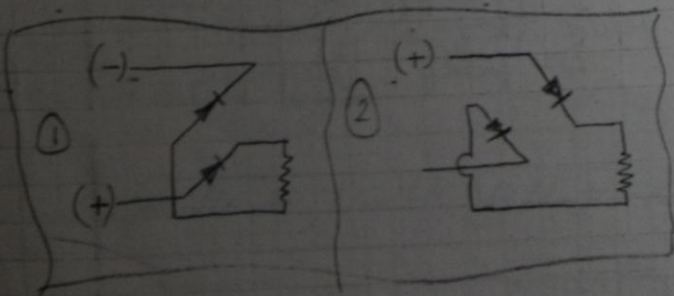
Tom dalga doğrultma frekansı 100 Hz

KÖRÜ TİPİ BAĞLANTI

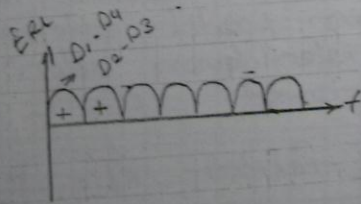


$$V_T = V_{rms} \cdot 1,41$$

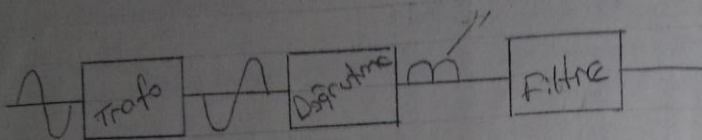
$$V_{dc} = V_{ort} = (V_T - 1,4) \cdot 0,636$$



$$V_{ort} = \frac{V_T - 1,4}{3,14}$$

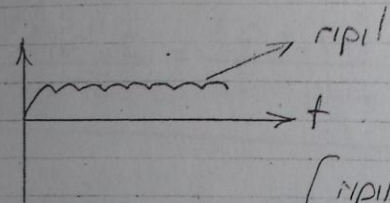
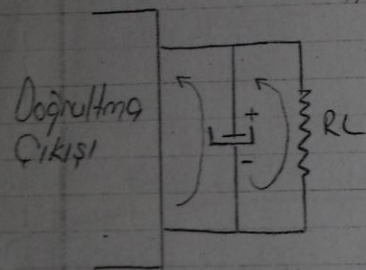


Nabazanlı DC.



Not Şiddeti değişen, genliği değişen fakat yönü değişmeyen zinyele Nabazanlı DC ya da Salınmalı DC deniyor.

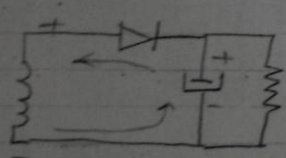
"Kondansatör" Doğrultma çıkışındaki 0'a düşme noktalarını ortadan kaldırıyor.



[ripil faktörü iyi ise Güç kaynağı iyidir.]

Not Kondansatörün değeri Devreye paralel bağlı olan RL direncine göre değişir.  
RL değeri artarsa deşerj süreside artar"

$$T = R \cdot C$$



Sisteme enerji geldiğinde (+) alternansın geldiğini varsayalım. Bu anda diyot doğru polarizandığı için iletkenlik üzerinde akım akmasını izin verir. (+) alternansın ilk yarısı yük üzerinde oluşan devreyeki kondansatörde aynı anda (+) alternansın ilk yarısı deşerj olmuştur. Pozitif alternansın 2. yarısı oluşmaya başladığında diyot yalıtımdadır.

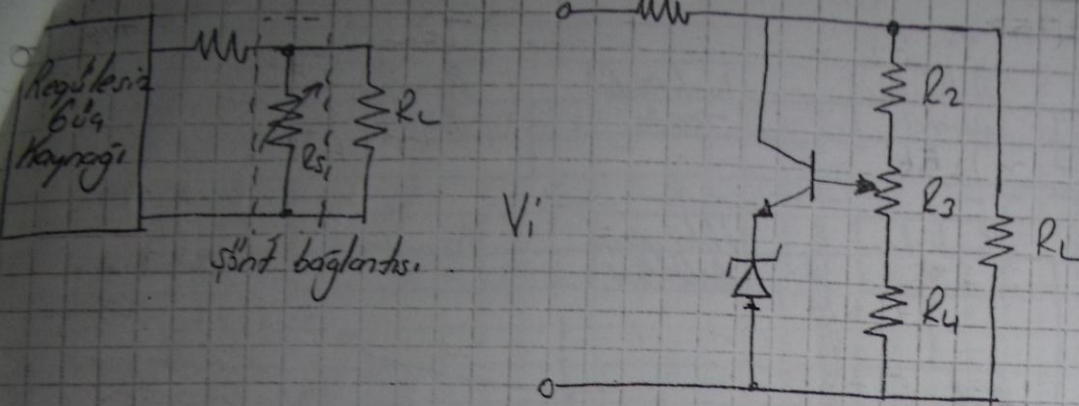
Kondansatör seri gerilimini yük üzerine bağaltır. Kondansatörün değeri şehir şebekesinin negatif alternansı boyunca devam eder. Sebekenin pozitif alternansı geri geldiğinde bir önceki yapılan işler devam eder. Sonuçta, giriş yükü üzerinde oluşan izomet AC ye oldukça yakındır.

$$\text{Ripil Faktörü} = R_p = \frac{V_r}{V_{oc}}$$

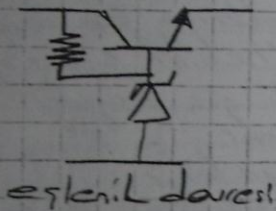
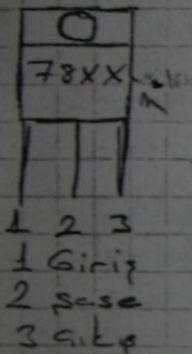
$$V_r = \left( \frac{1}{f \cdot R_L \cdot C} \right) \cdot V_T$$

$$V_{oc} = \left( 1 - \frac{1}{2f \cdot R_L \cdot C} \right) \cdot V_T$$

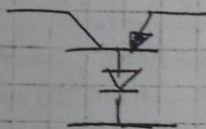
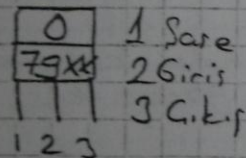
## Şönt Tipi Regülatör



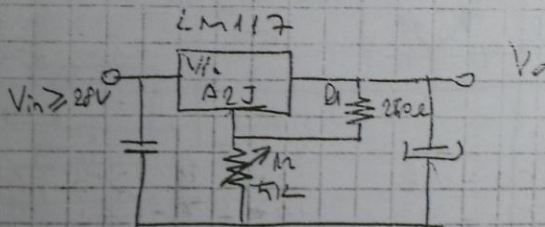
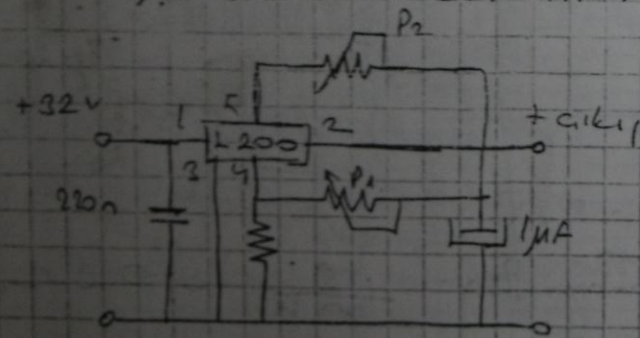
## Regülatör Entegreleri (Pozitif Gerilim Entegresi)



## Negatif Gerilim Entegresi



## Ayarlanabilir Gerilim Akım Regülatörü

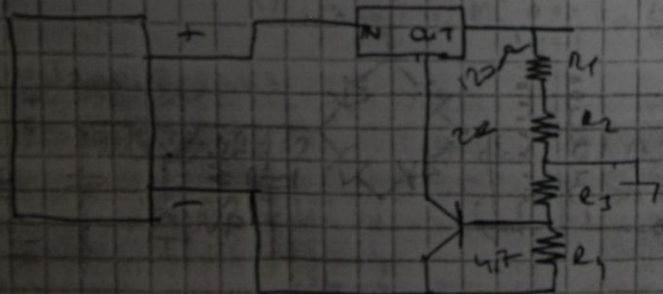


$$V_{out} = 1.25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} (R_2)$$

$$V_{cikis} = 2.85 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

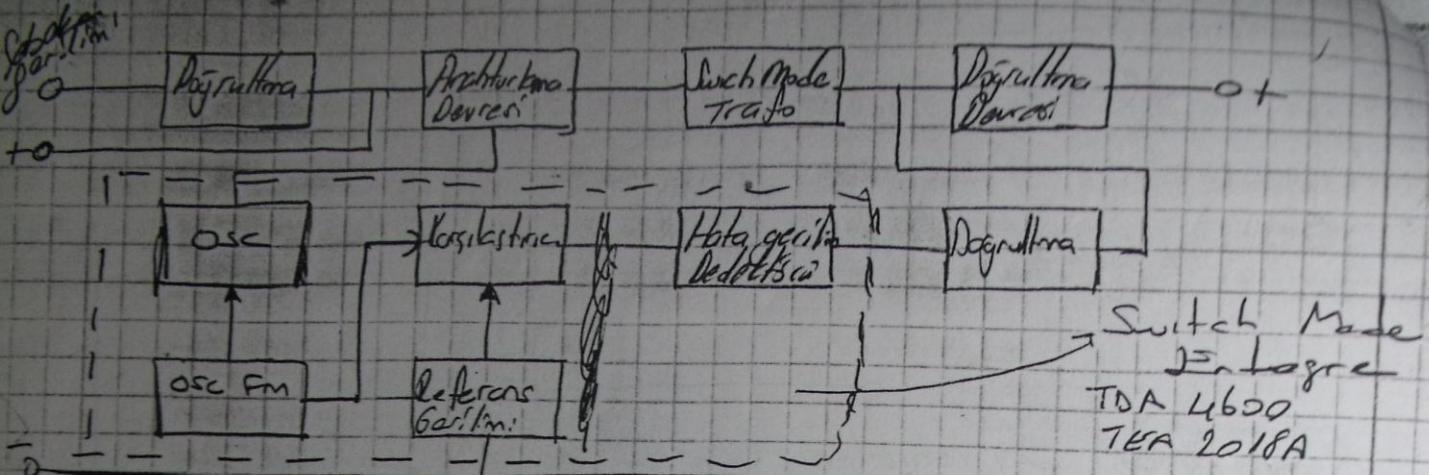
$$I_{cikis} = \frac{0.45}{P_1}$$

## Kısa Devre Limitli Voltaj Regülatörü

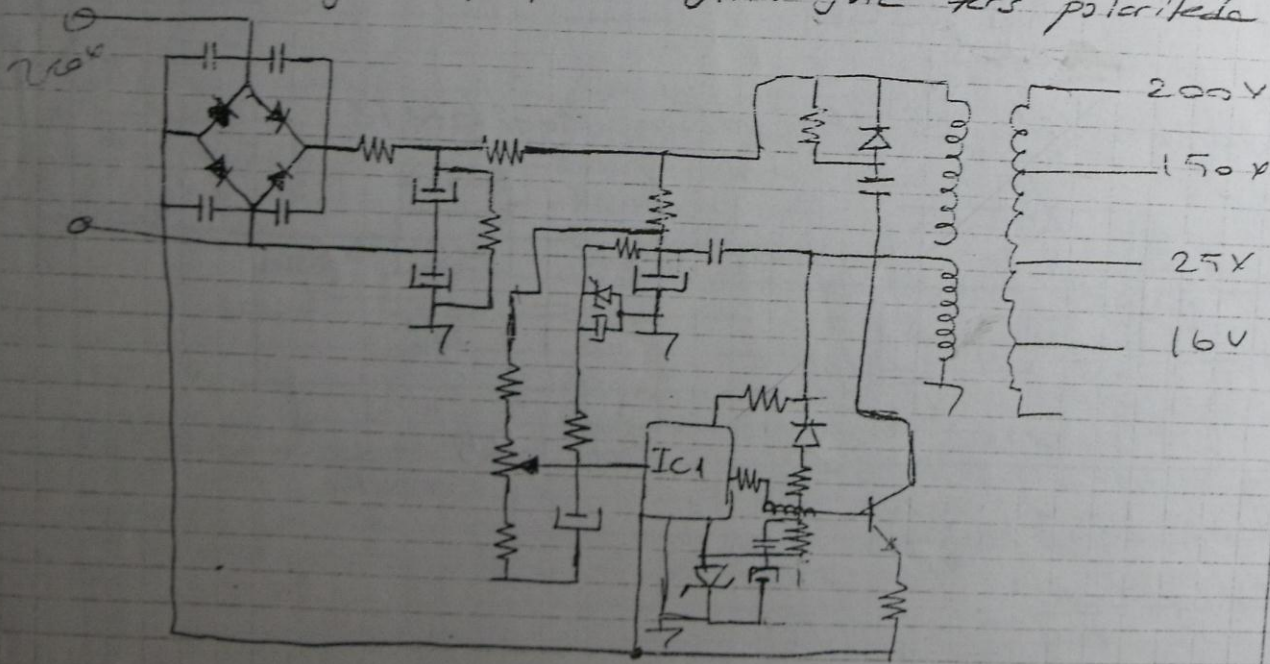


$$\text{Akım sınırı} = \frac{600 \text{ mV}}{R_3}$$

# ANAHTALLAMALI GÜÇ KAYNAKLARI (SMPS)

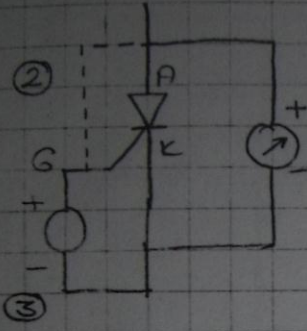


- Anahatlamalı güç kaynaklarının normal güç kaynaklarına göre avantajları
- 1- Giriş gerilimi sızır, geriliminin altına düşebilir sızır yine sabit kalır
  - 2- Yük aşırı akım çıktığı zaman anahatlamalı güç kaynağı akırsa enerji vermez hem sistemi korur hem kendini korur
  - 3- 160 ile 240 V arası gerilimleri sabitleyebilir
  - 4- Sabit gerilimi ile ailemün sayısı birbirine izate edilmiştir
  - 5- Perit model transformator primari bir osilator gibi çalıştırılarak daha küçük çökek kesitli trafo kullanılabilir
  - 6- Devrenin son kağıt çok azdır
  - 7- Deter parçaları akım ve voltaj azlığına çalışması
  - 8- Sızır voltajına giriş voltajına göre ters polaritede olabilir



## TRİSTÖR

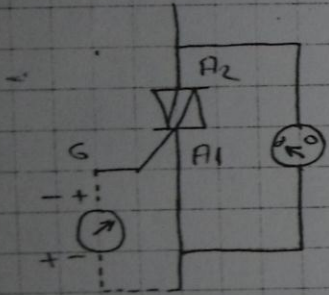
Anot katod arası yüksek direnç gösterir.



- ① İki yönde de yüksek direnç
- ② Düşük direnç
- ③ Düşük direnç

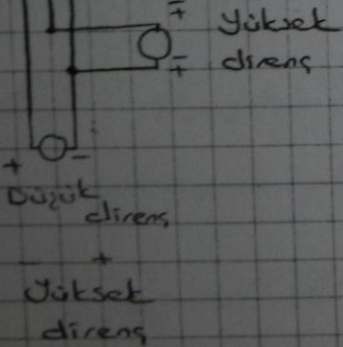
## TRİYAK

Her iki yönde de iletken olması

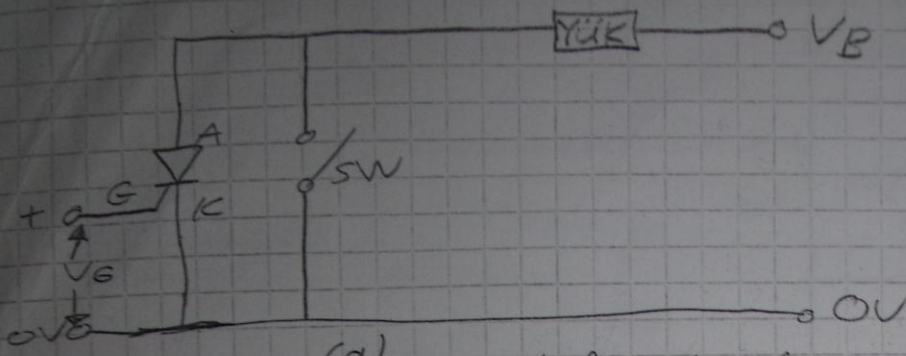


Her iki yönde de yüksek direnç

Düşük direnç

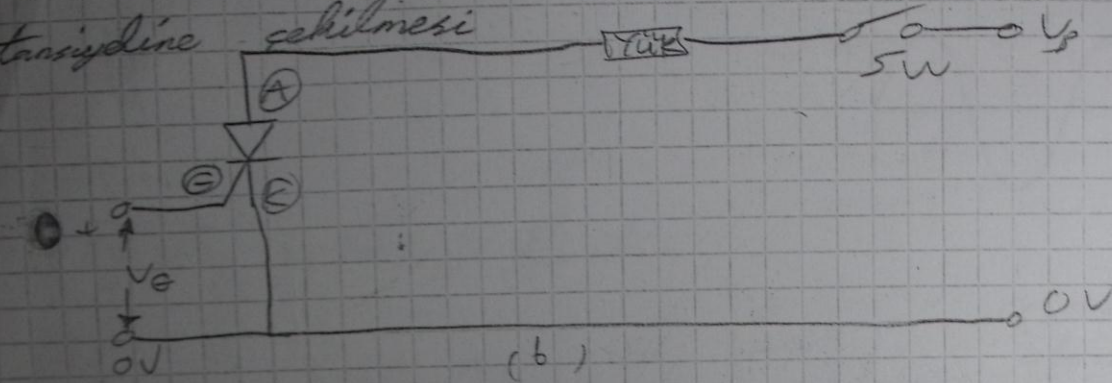


# ÇALIŞAN TRİSTÖRÜN DURDURULMASI



(a)

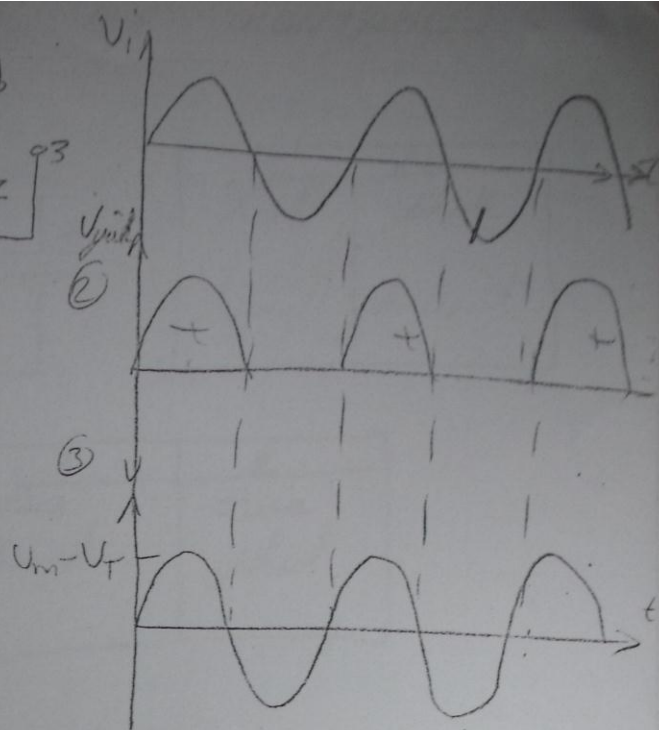
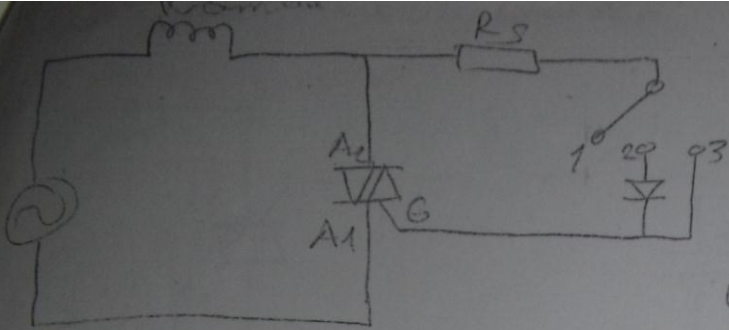
Kısa devre anahtarı kullanılarak  $V_A$  geriliminin sıfır potansiyeline çekilmesi



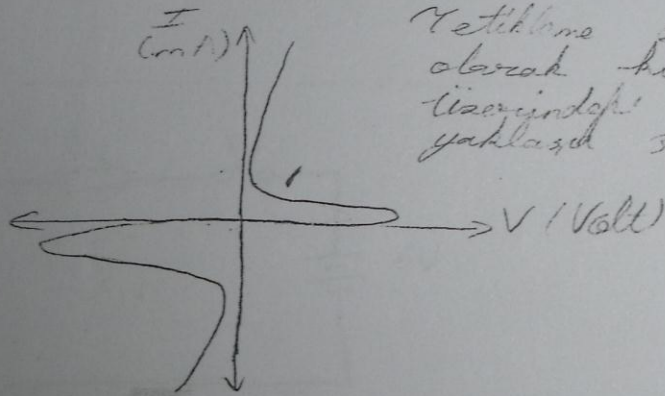
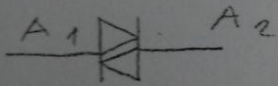
(b)

Seri bağlı anahtarı kullanılarak  $I_A$  akımının sıfır değerine düşürülmesi ... ( $I_A < I_T$ )

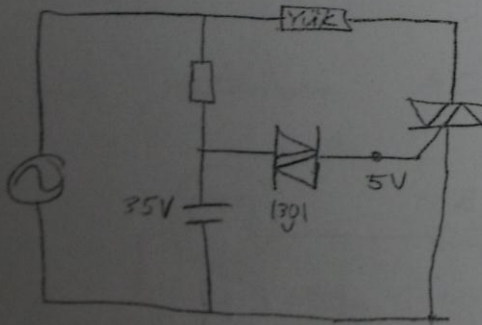
Bir triyotörü durdurmak için triyotör akım tutma akımı seviyesinden daha aşağıya düşürmek gerekir. Düşük değeri olan triyotör akımlarında kapuya (-) pulse atılması bir biçimde düşürülmesine sebep olur. Büyük olan (+) pulse sev. büyük zarar verebilir. Bu değer normalde 5 V'tan azdır. Buna karşın en çok kullanılan metot ara akım yolunu açarak devreye yaparsak, akım tutma akımından altına düşürmektedir. Bununla birlikte triyotörün kısa devreye anahtarı kullanılarak, kısa devreye edilmesi ve anet geriliminin sıfır volt potansiyeline çekilmesi



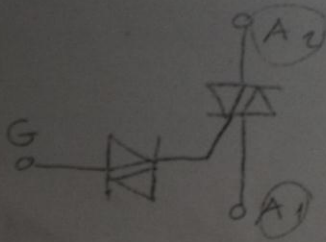
**Diğer**



Yetiklene zaman  
akarak kullanılır  
işerisinde gerilimi  
yaklaşık 30V tür.



**KUADRAN**

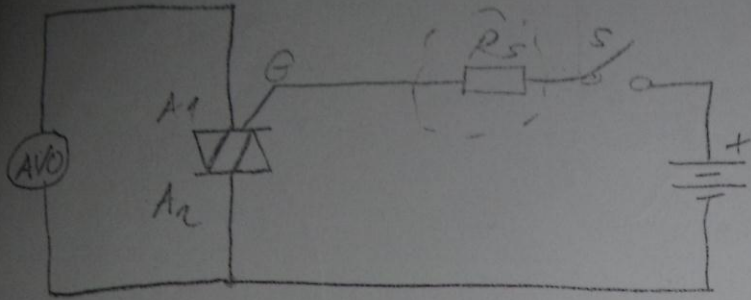


örneğin işerisinde 35V  
akmaktadır.

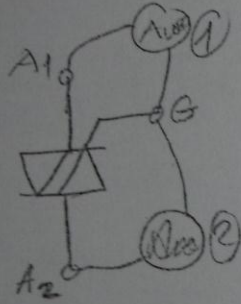
003	→	600V / 7A
004	→	600V / 6A



# TRİYAĞIN AVOMETRE İLE KONTROLÜ

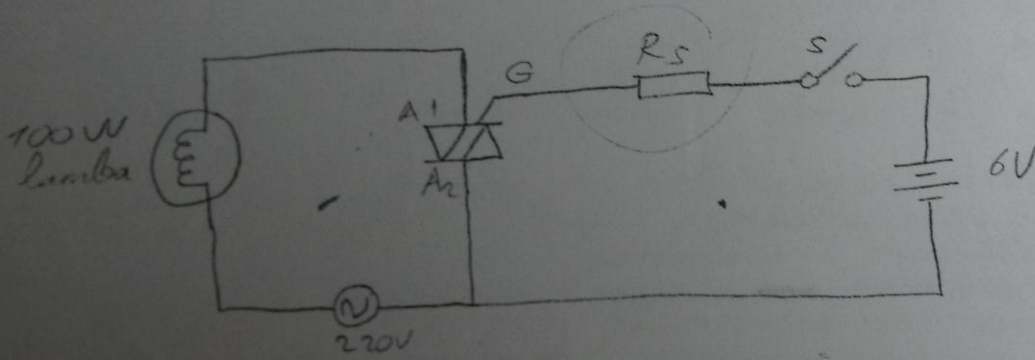


S	Avm
Açık	Yüksek
Kapalı	Düşük

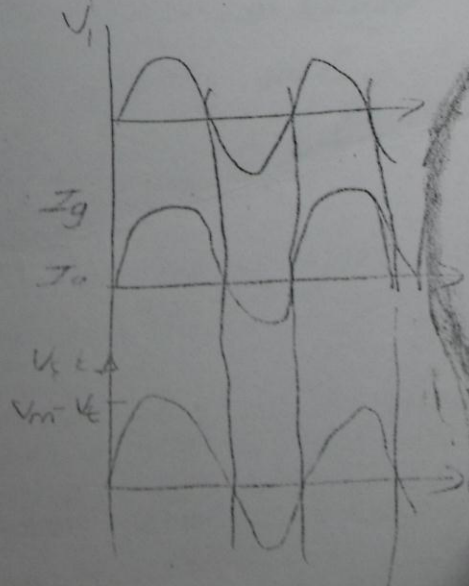
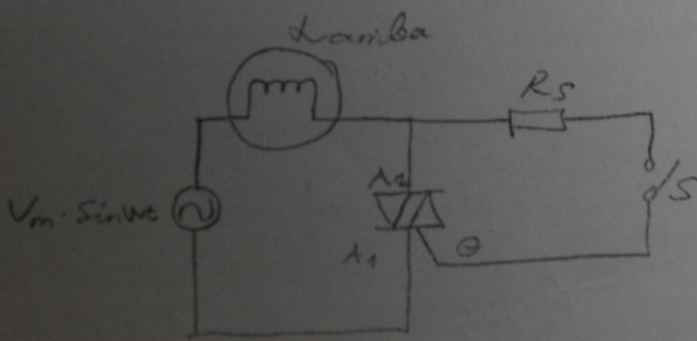


1	2
Avm Düşük	Avm Yüksek

100 W'lık lambanın 6V DC ile kontrolü



AC ile tetiklenen AC güç anahtarı



Çoğunluk ve Azınlık Akım Taşıyıcıları  
 Isı yada ışık enerjisi ile saf germanyumun ortak va-  
 lar bağları kopabilir. Böylece kristal yapı iğersin-  
 de serbest halde elektron ve boşluklar meydana  
 gelir. Germanyum iğersine verici yabancı madde  
 ilave edilirken, ısı ve ışık şiddetinden etkilenen  
 germanyum ortak valansları koparak kristal yapı  
 iğersinde çok miktarda elektron az miktarda da  
 boşluk meydana gelir. Alıcı yabancı madde ilave

## 1.5 İDEAL DİYOT

Tanıttığımız ilk elektronik eleman, diyottur. Yarı iletken  
 elemanların en basiti olmasına rağmen, basit bir  
 anahtarınkine benzeyen karakteristikleri ile, elektronik  
 sistemlerde çok önemli rol oynarlar. En basitinden en  
 karmaşığına kadar çeşitli uygulamalarda karşımıza çı-  
 kacaktır. Yapısı ve karakteristiklerine ilişkin detaylara  
 ek olarak, veri sayfalarında bulunabilecek çok önemli  
 bilgiler ve grafiklerde kullanılan terminolojinin  
 anlaşılmasını sağlamak ve üreticilerden alınabilecek  
 teknik bilgi, zenginliğini göstermek için bu tür  
 veri sayfalarında ele alınacaktır.

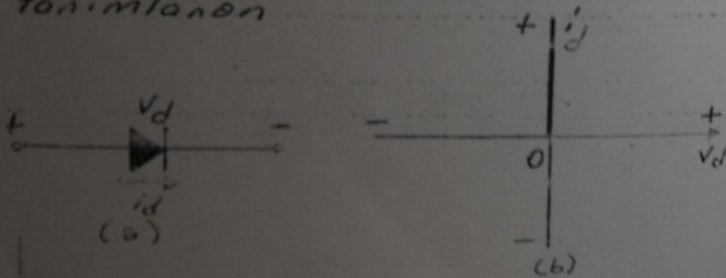
Gerçek bir diyodun yapısını ve karakteristikleri  
 ni incelemeyen önce, karşılaştırma olanakları ver-  
 mek amacıyla, ilkin ideal diyoda bir göz ata-  
 cağız. İdeal diyot, sırasıyla şekil 1.10 ve 1.11'deki  
 sembol ve karakteristiklere sahip iki uçlu bir  
 elemandır.

Aşağıda göreceğimiz elemanların açıklamalarında  
 kullanılan çeşitli harf sembollerinin, gerilim polarite-  
 telerinin ve akım yönlerinin tanımlanmış olması  
 önemlidir. Uygulanan gerilimin polaritesi, şekil 1.11'de  
 gösterildiği gibi ise, şekil 1.11'de karakteristiklerin  
 göz önünde tutulacak parçası dikey eksenin sağıdır.

Ters bir gerilim uygulanırsa solda verilen karakteris-  
 tistikler geçerli olacaktır. Diyottan geçen akımı,  
 şekil 1.11'deki yönde ise karakteristiklerin dikeye  
 alınacak bölümü yatay eksenin üstüdür.

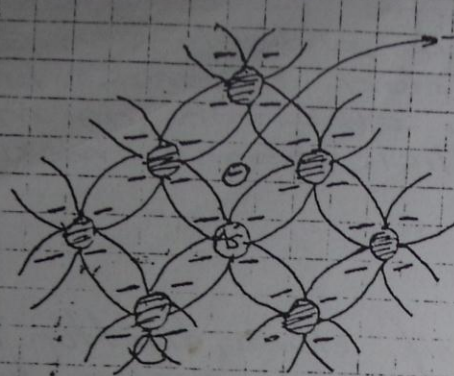
(Şekil 1.11) Tersine bir durum karakteristiklerin yatay  
 eksenin altında kalan kısmının kullanılmasını ge-  
 rektirir. Bu kitapta işlenecek diyot karakteristiklerinin  
 büyük çoğunluğu için ordinat; akım eksenini, opsisi  
 ise gerilim eksenini olacaktır.

Diyota ilişkin önemli parametrelerden bir tanesi  
 seri çalışma bölgesi veya noktasındaki dirençtir.  
 Şekil 1.11'de işinin yönü ve  $V_D$ 'nin polaritesi ile  
 tanımlanan



Şekil 1.11 İdeal diyot  
 a) Sembol  
 b) Karakteristik

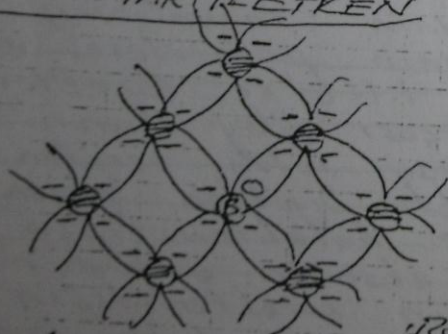
## 1. N TİPİ YARI İLETKEN



Sebest elektron  
 Atom % 5  
 Diyot % 30  
 Transistor % 30  
 Fet Transistor % 35

Yarı iletkenlerde iletkenliğe sebep kristal yapı içerisindeki yabancı maddelerdir. Diyot, transistor yapımında kullanılmak üzere germanyum hazırlanırken 16 grm germanyum kristali içine gramın milyonda biri kadar yabancı madde katılır. Germanyumun 4 valans elektronu bulunduğundan arsenik, antimon, fosfor gibi 5 valans elektronlu maddeler germanyumun içine katılır. Bu yabancı maddenin 4 valans elektronu komşu germanyum atomunun birer elektronu ile ortak valans bağı oluştururken, 5. elektron bağı kuramaz. Ve aşıkta kalır. Bu elektron çok zayıf bir bağı ile getirdiği bağlıdır. Kristal yapı içerisinde serbest halde hareket ederek elektriği iletir. Bunun gibi bünyesinde fazla elektron bulunan germanyum kristaline N tipi yarı iletken denir. Fala olan elektronunu verebilme özelliğinden dolayı da buna verici denir.

## 2. P TİPİ YARI İLETKEN

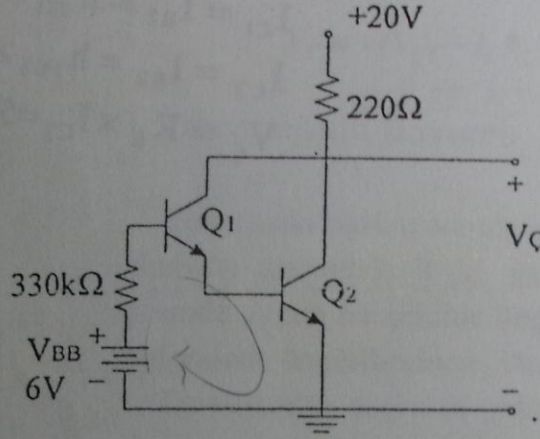


Saf germanyumun iletkenliğinin artırılmasında diğer bir yöntem P tipi iletkenliğin meydana getirilmesidir. Buna sayılandık içinde 4 valans elektronlu germanyum kristali içine 3 valans elektronlu katkı maddesi olarak

Bor, alüminyum, galyum yada indiyum katılır. Şekilde görüldüğü gibi Borun 3 elektronu ortak valans bağına kuramaz 4. bağı kuramaz. Valans bağı bakımından 1 elektron eksikliği demek meydana gelir. Diyot elektron eksikliği demek o kılığundan bir pozitif yük gibi hareket eder. Komşu germanyum atomunda bu boşluğu var olan ortak valans bağına bir elektron geçerek orada yeni bir boşluk meydana gelmesine neden olur. Bu şekilde derun oluştuğu iletkenliği sağlar. Bu şekilde oluşturulan yarı iletkenlere P tipi yarı iletken denir. Bu şekilde oluşturulan yarı iletkenlere P tipi yarı iletken denir. Bu şekilde oluşturulan yarı iletkenlere P tipi yarı iletken denir.

Şekil 3.53 deki Sziklai montajın akım kazancı tıpkı Darlington  $h_{FE1} \times h_{FE2}$  dir. Bu bağlantı yüksek kazançlı npn tra Sziklai bağlantısı Darlington yükselticiden farklı olarak geriliminde ilettime geçer.

- **Örnek 3.11** Şekil 3.54 deki devrede  $I_{B1}$ ,  $I_{C1}$ ,  $I_{E1}$ ,  $I_{B2}$ ,  $I_{C2}$ ,  $I_{E2}$  akımlarını ve  $V_C$  çıkış gerilimini hesaplayınız.  $h_{FE1} = h_{FE2} = 50$ ,  $V_{BE} = 0.6V$  dir.



Şekil 3.54

$I_C = I_{C1} + I_{C2}$   
 $V_C = V_{CC} - I_{C2} R_C - V_{BE2}$

- **Çözüm 3.11**  
Çevre denkleminde

$$-V_{BB} + R_B \times I_{B1} + V_{BE1} + V_{BE2} = 0$$

$$330000 \times I_{B1} = 6 - 0.6 - 0.6 = 4.8$$

$$I_{B1} = \frac{4.8}{330000} = 14.54 \mu A$$

bulunur. Diğer bilinmeyenler

$$I_{C1} = h_{FE1} \times I_{B1} = 50 \times 14.54 \cdot 10^{-6} = 0.727 \text{ mA}$$

$$I_{C1} \approx I_{E1} = I_{B2} = 0.727 \text{ mA}$$

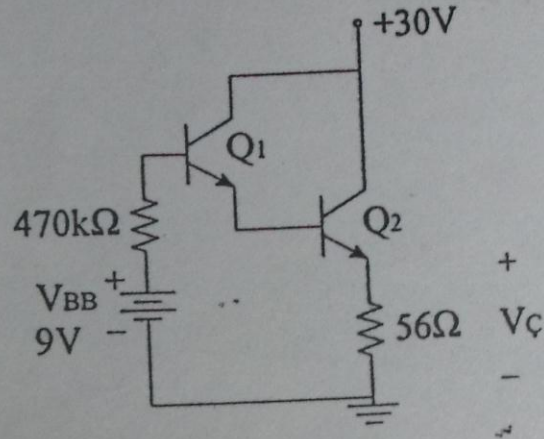
$$I_{C2} = h_{FE2} \times I_{B2} = 50 \times 0.727 \cdot 10^{-3} = 0.03635 \text{ A}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_{C2} R_C = 20 - 0.03635 \times 220 = 12 \text{ V}$$

bulunur.

- **Örnek 3.12** Her transistörün  $I_{B1}$ ,  $I_{C1}$ ,  $I_{E1}$ ,  $I_{B2}$ ,  $I_{C2}$ ,  $I_{E2}$  akımlarını ve  $V_C$  çıkış gerilimini hesaplayınız.  $h_{FE1} = h_{FE2} = 50$ ,  $V_{BE} = 0.6V$  dir.

12



Şekil 3.55

• Çözüm 3.12

$$-V_{BB} + I_{B1} \times R_B + V_{BE1} + V_{BE2} + h_{FE1} \times h_{FE2} \times I_{B1} = 0$$

$$-9 + I_{B1} \times 470 \cdot 10^3 + 0.6 + 0.6 + 50 \times 50 \times I_{B1} = 0$$

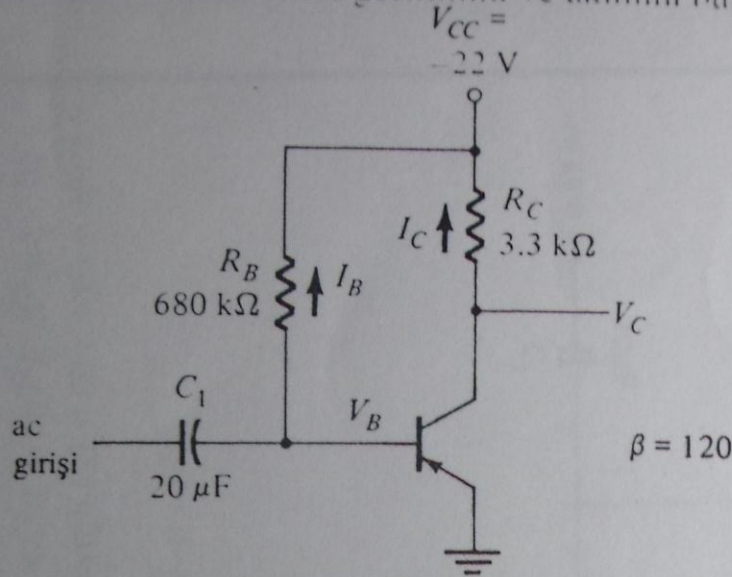
$$I_{B1} = 16.5 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} = I_{B2} = h_{FE1} \times I_{B1} = 50 \times 16.5 \cdot 10^{-6} = 825 \mu\text{A}$$

$$I_{C2} = I_{E2} = h_{FE2} \times I_{B2} = 50 \times 825 \cdot 10^{-6} = 41.25 \text{mA}$$

$$V_C = R_E \times I_{C2} = 56 \times 41.25 \cdot 10^{-3} = 2.31 \text{V}$$

Şekil 5.6'daki devrenin kollektör gerilimini ve akımını bulun.



Şekil 5.6 Örnek 5.2'ye ilişkin devre.

Çözüm:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(22 - 0.7) \text{ V}}{680 \text{ k}\Omega} = 31.32 \text{ }\mu\text{A}$$

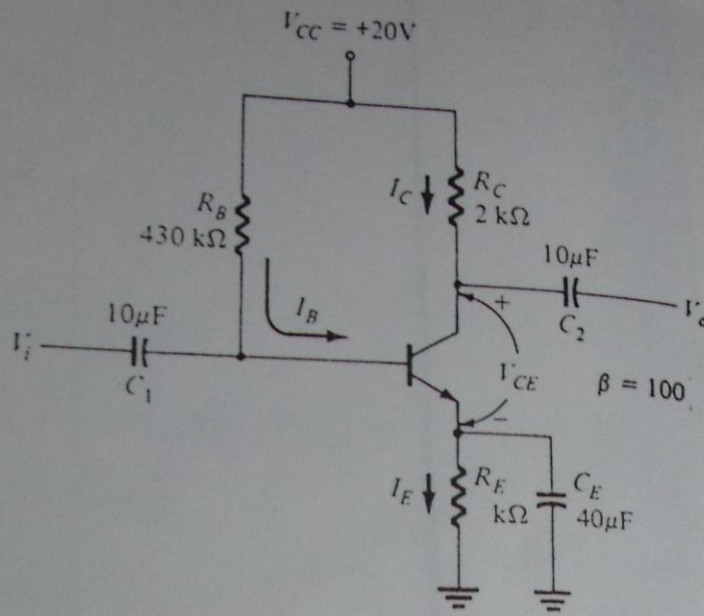
$$I_C = \beta I_B = 120(31.32 \text{ }\mu\text{A}) = 3.76 \text{ mA}$$

$$V_C = -(V_{CC} - I_C R_C) = -[22 \text{ V} - (3.76 \text{ mA})(3.3 \text{ k}\Omega)] = -9.6 \text{ V}$$

Transistörün Doyumu

Yukarıdaki çözüm adımlarına ek bir varsayım katmak gerekiyor. Kollektör ve baz akımları arasındaki ilişki, yani  $I_C = \beta I_B$ , sadece transistör doğrusal çalışmada geçerli bir şekilde öngerilimlenmiş ise doğrudur. Transistör, örneğin doğrusal bölgede öngerilimliyse, Denklem (5.3) ve (5.4) yanlış sonuçlara yol açar.

Transistörün doğrusal yükselteç çalışma bölgesinde öngerilimli olabilmesi için baz-emetör jonksiyonu ileri ve kollektör jonksiyonu ters yönde öngerilimlenmelidir. Burada bizi ilgilendiren ikinci öngerilimleme durumudur; yani kollektör-bazının uygun bir şekilde ters öngerilimli olup olmadığıdır. Bu ise ancak kollektör-emetör gerilimi  $V_{CE}$  değeri baz-emetör ileri öngerilimleme gerilimi  $V_{BE}$ 'den daha büyük olduğu sürece geçerlidir. Denklem (5.4) ile belirlenen kollektör-emetör gerilimi  $V_{CE}$ , kaynak gerilimi  $V_{CC}$  ile kollektör direnci üzerindeki gerilim düşmesi arasındaki fark olduğundan ikincisinin  $V_{CC}$ 'den daha küçük veya  $I_C$  kollektör akımı bakımından ifade edilirse  $V_{CC}/R_C$ 'den daha küçük olması gerekir. Matematiksel olarak ifade edilirse işmanın aktif (doğrusal) bölgesinde öngerilimlenecek transistör için,



Şekil 5.10 Örnek 5.3 ve 5.4'e kararlılık duyarlı öngerilim devresi

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{430 \text{ k}\Omega + 101(1 \text{ k}\Omega)} = \frac{19.3 \text{ V}}{531 \text{ k}\Omega} = 36.35 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 100(36.35 \mu\text{A}) = 3.635 \text{ mA} \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = 20 \text{ V} - 3.635 \text{ mA}(2 \text{ k}\Omega) - 3.635 \text{ mA}(1 \text{ k}\Omega) =$$

Şekil 5.10'daki devreden yararlanarak  $V_i = 10 \text{ V}$ 'luk bir gerilim elde etme reklı kollektör direncini ( $R_c$ ) bulun.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{430 \text{ k}\Omega + 101(1 \text{ k}\Omega)} = 36.35 \mu\text{A}$$

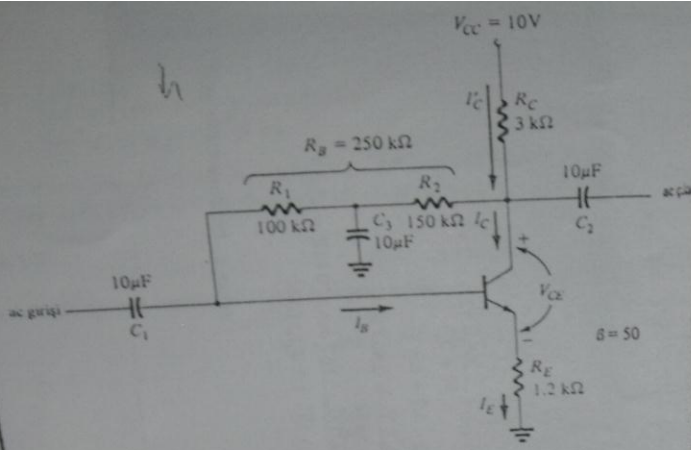
$$I_C = \beta I_B = 100(36.35 \mu\text{A}) = 3.635 \text{ mA}$$

$I_B$  ve  $I_C$ 'nin, 5.3. örnekte hesaplanan değerler ile aynı kaldığına dikkat etlim (5.11)'i kullanırsak,

$$V_c = V_{CC} - I_C R_c \\ 10 = 20 - (3.635 \times 10^{-3})R_c$$

ve bu da  $R_c$  için çözülürse,

$$R_c = \frac{20 - 10}{3.635 \times 10^{-3}} = 2.75 \text{ k}\Omega \text{ (2.7 k}\Omega \text{ kullanılır)}$$



Şekil 5.18 Örnek 5.9'a ilişkin geribeslemeli katotlu devre.

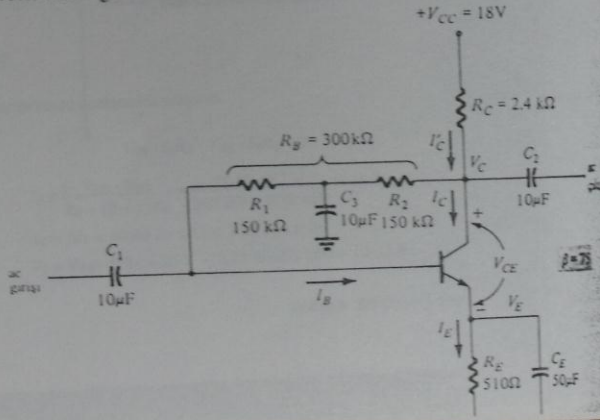
$$I_E = (\beta + 1)I_B = (51)(20.03 \mu A) = 1.02 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E(R_C + R_E) = 10 \text{ V} - (1.02 \text{ mA})(3 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega)$$

$$= 10 - 4.28 = 5.72 \text{ V}$$

ÖRNEK 5.10

Şekil 5.19'deki öngerilim devresinin de kollektör akımı  $I_C$  ve  $V_C$  gerilimini hesaplayın.



Çözüm:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)(R_C + R_E)} = \frac{(18 - 0.7) \text{ V}}{300 \text{ k}\Omega + (76)(2.4 \text{ k}\Omega + 510 \text{ k}\Omega)} = 33.2 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 75(33.2 \mu\text{A}) = 2.49 \text{ mA}$$

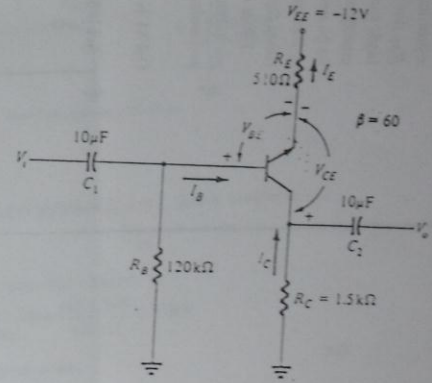
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 18 \text{ V} - (2.49 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega) = 12.02 \text{ V}$$

5.7 ÇEŞİTLİ DC ÖNGERİLİM DEVRELERİNİN ANALİZİ

Daha önceki kısımlarda standart npn öngerilim devrelerinin analiz edilmesine karşın, pratik devre elemanlarında çok çeşitli devre çözümlerine rastlanır. Bu bölümde, daha önce ele alınan standart biçimde tasarlanmayan bir dizi devre için dc öngerilim hesapları verilecektir. Ancak göreceğiniz gibi kullanılan teknikler burada da geçerlidir.

ÖRNEK 5.11

Şekil 5.20'deki devrenin kollektör akımını ( $I_C$ ) ve gerilimini ( $V_{CE}$ ) hesaplayın.



Şekil 5.20 Örnek 5.11'e ilişkin gerilim devresi.

Çözüm:

Res. Emekli Öğr. Gör. Dr. Mustafa Kemal...



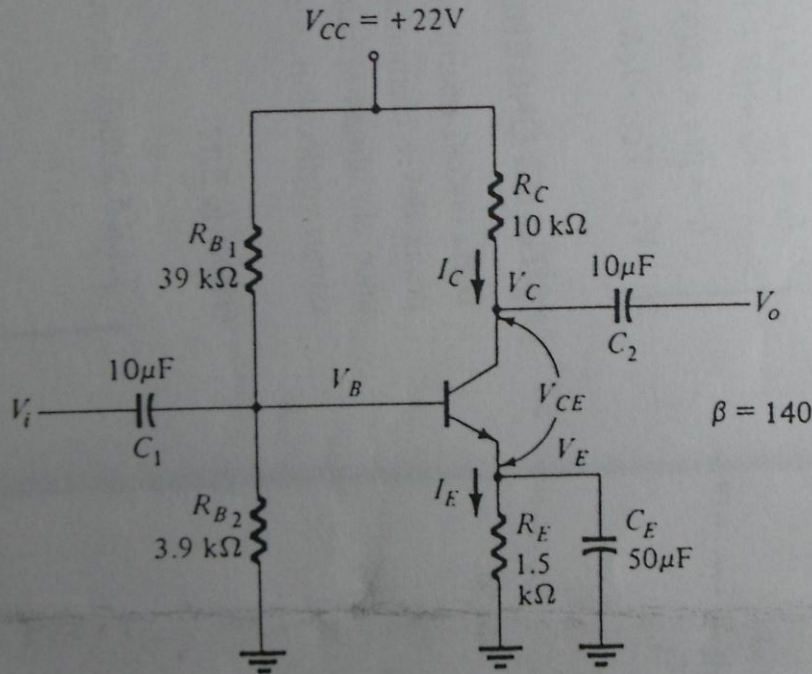
Uyguladığımız yönteme bir göz atacak olursanız (5.12)'den (5.17)'ye kadar eşitliklerde beta değerinin hiç kullanılmadığını göreceksiniz. Baz gerilimi,  $R_{B1}$  ve  $R_{B2}$  dirençleri ile kaynak gerilim tarafından belirlenmektedir. Emetör gerilimi, yaklaşık olarak baz gerilimi ile aynı düzeyde sabitlenmiştir. Bu nedenle  $R_E$  direnci emetör ve kollektör akımlarını belirler. Son olarak,  $R_C$  direnci, kollektör gerilimini ve bu nedenle kollektör-emetör öngerilim voltajını belirler.

Baz gerilimi  $R_{B2}$  direnci ile, kollektör akımı  $R_E$  direnci ile ve kollektör-emetör gerilimi  $R_C$  direnci ile ayarlanır.

Diğer elemanlar üzerindeki değişiklikler, dc öngerilim ayarı üzerinde pek fazla etk yaratmaz. Kondansatörler, ac yükseltme işleminin parçası olmakla beraber dc öngerilimlemesi üzerinde etkileri yoktur ve buradaki analizde dikkate alınmayacaktır.

## ÖRNEK 5.6

Şekil 5.13'deki devrenin dc öngerilim voltajını ( $V_{CE}$ ) ve  $I_C$  akımını bulun.



Şekil 5.13 Örnek 5.6 ya ilişkin beta kararlı devre.

**Çözüm:**

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = \frac{3.9}{39 + 3.9} (22) = 2 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2 - 0.7 = 1.3 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \cong I_C = \frac{1.3 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 0.867 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 22 - (0.867 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega) = 13.33 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 13.33 - 1.3 = 12.03 \text{ V}$$

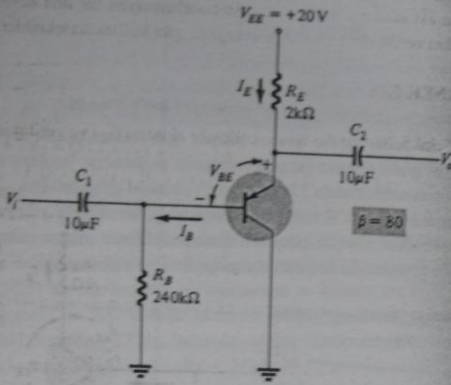
$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{120 \text{ k}\Omega + 61(0.510 \text{ k}\Omega)} = 74.78 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 60(74.78 \mu\text{A}) = 4.49 \text{ mA}$$

Kollektör-Emetör Çevre Denklemi:  $-V_{EE} + I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C = 0$   
 $V_{CE} = V_{EE} - I_C(R_C + R_E) = 12 \text{ V} - (4.49 \text{ mA})(1.5 \text{ k}\Omega + 0.510 \text{ k}\Omega) = 2.975 \text{ V}$

### ÖRNEK 5.12

Şekil 5.21'deki devrenin öngerilimini ( $V_E$ ) ve  $I_C$  akımını bulun.



Şekil 5.21 Örnek 5.12'ye ilişkin öngerilim devresi

Çözüm:

Baz-emetör çevre denklemini yazarsak

$$V_{EE} - I_E R_E - V_{BE} - I_B R_B = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega + 81(2 \text{ k}\Omega)} = 48.01 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 80(48.01 \mu\text{A}) = 3.84 \text{ mA} \approx I_E$$

$$V_E = V_{EE} - I_E R_E = 20 \text{ V} - (3.84 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega) = 12.32 \text{ V}$$

### ÖRNEK 5.13

Şekil 5.22'deki devre için kollektör gerilimini ( $V_C$ ) hesaplayın. (Yaklaşık gerilim-bölücü metodunu kullanın)

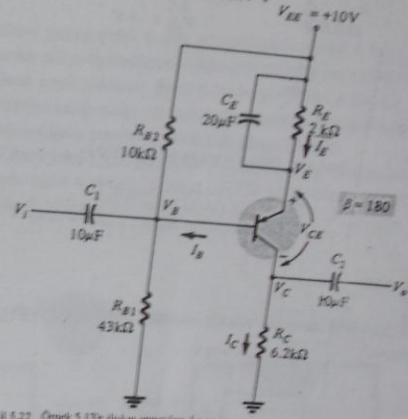
Çözüm:

$$V_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{EE} = \frac{43 \text{ k}\Omega}{43 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} (10 \text{ V}) = 8.11 \text{ V}$$

$$V_E = V_B + V_{BE} = 8.11 \text{ V} + 0.7 \text{ V} = 8.81 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E} = \frac{10 \text{ V} - 8.81 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 0.595 \text{ mA} \approx I_C$$

$$V_C = I_C R_C = (0.595 \text{ mA})(6.2 \text{ k}\Omega) = 3.69 \text{ V}$$



Şekil 5.22 Örnek 5.13'e ilişkin öngerilim devresi

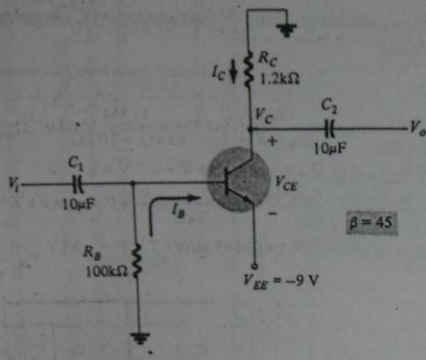
### ÖRNEK 5.14

Şekil 5.23'deki devrenin kollektör gerilimini ( $V_C$ ) ve  $I_C$  akımını hesaplayın.

Çözüm:

$$-I_B R_B - V_{BE} + V_{EE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(9 - 0.7) \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = 83 \mu\text{A}$$



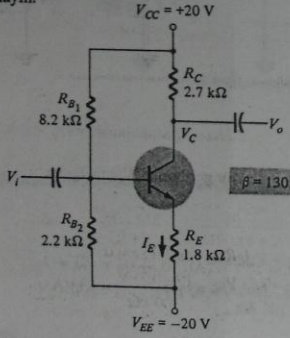
Şekil 5.23 Örnek 5.14'e ilişkin öngerilim devresi.

$$I_C = \beta I_B = 45(83 \mu A) = 3.735 \text{ mA}$$

$$V_C = -I_C R_C = -(3.735 \text{ mA})(1.2 \text{ k}\Omega) = -4.48 \text{ V}$$

### ÖRNEK 5.15

Şekil 5.24'deki devrenin emetör akımını ( $I_E$ ) ve kollektör gerilimini ( $V_C$ ) hesaplayın.



Şekil 5.24 Örnek 5.15'e ilişkin devre.

Bölüm 5 DC Öngerilimleme: BJT

### Çözüm:

$$R_{BB} = \frac{(8.2 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{8.2 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} = 1.735 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{2.2 \text{ k}\Omega}{8.2 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} (20 \text{ V}) + \frac{8.2 \text{ k}\Omega}{8.2 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} (-20 \text{ V})$$

$$= 4.23 \text{ V} - 15.77 \text{ V} = -11.54 \text{ V}$$

$$-V_{BB} - I_B R_{BB} - V_{BE} - I_E R_E + V_{EE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 - 11.54 - 0.7}{1.735 \text{ k}\Omega + 131(1.8 \text{ k}\Omega)}$$

$$= 32.67 \mu A$$

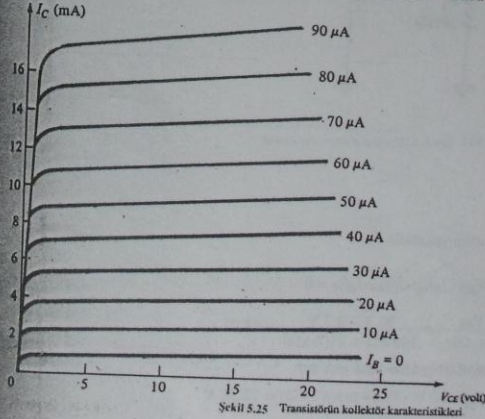
$$I_E = (\beta + 1)I_B = 131(32.67 \mu A) = 4.58 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 20 \text{ V} - (4.28 \text{ mA})(2.7 \text{ k}\Omega) = 8.4 \text{ V}$$

### 5.8 GRAFİK OLARAK DC ÖNGERİLİM ANALİZİ

Dc öngerilim akım ve gerilimleri için yaptığımız analiz, bir dizi transistör devresi için matematiksel olarak gerçekleştirildi. Kullanılan faktörler sadece akım kazancı ( $\beta$ ) ve ileri yönde öngerilimlemede baz-emetör gerilimi ( $V_{BE}$ ) olmuştur. Bu bölümde bir transistör devresinin çalışma noktasını grafik olarak bulmak için kullanılan bir teknik anlatılacaktır. Açıklanan grafik yöntem çalışma noktasının seçilmesine yardımcı olacaktır ve dc öngerilim devre tasarımı konulu 5.9. Bölüm için bir temel oluşturacaktır.

Şekil 5.25'de gösterilen tipik CE kollektör karakteristiği, transistörün yalnızca genel çalışmasını tanımlamaktadır. Gerçek çalışma noktasının (sükunet çalışma noktası veya Q-noktası denir) elde edilmesinde devre kısıtlamaları da hesaba katılmalıdır.



Şekil 5.25 Transistörün kollektör karakteristiği

5.8 Grafik DC Öngerilim Analizi

## 6.1 ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRÜN GENEL TANIMI

$n_{pn}$  veya  $pn_p$  olarak yapılan bir iki-kutuplu jonksiyon transistörü (BJT), hem elektron akımı hem de delik akımının kullanıldığı akım kontrollü bir transistördür. Alan etkili transistör (FET) ise tek kutuplu bir elemandır.  $n$ -kanallı bir FET'te elektron akımıyla veya  $p$ -kanallı bir FET'te delik akımıyla çalışan gerilim kontrollü bir transistördür. Hem BJT hem de FET'ler, farklı öngerilim varsayımlarıyla bir yükseltilmiş devresinde (veya benzeri devrelerde) kullanılabilir.

FET ve BJT elemanları ve bunların kullanıldığı devrelerin genel bir karşılaştırması yapıldığında şöyle bir tablo ile karşılaşırsınız:

1. FET'in tipik olarak 100 M $\Omega$  olan çok yüksek bir giriş direnci vardır (BJT'lerde bu değer, tipik olarak 2 k $\Omega$ 'dır).
2. FET'in, anahtar (veya kıyıcı) olarak kullanıldığında, sapma gerilimi yoktur.
3. FET'ler, yayınlama (radyasyon) karşı nispeten duyarsızdır, buna karşın BJT çok duyarlıdır (özellikle beta değeri çok etkilenir).
4. FET, BJT'den daha az "gürültülüdür" ve bundan dolayı düşük-düzeyli yükseltilmelerin (hi-fi FM alıcılarında yaygın olarak kullanılır) giriş katları için daha uygundur.
5. FET, BJT'lere göre daha yüksek ısı kararlılığı sağlayacak şekilde çalıştırılabilir.
6. FET, BJT'den daha küçüktür ve bu nedenle IC'lerde daha yaygın olarak kullanılır.

FET'in bazı dezavantajları arasında BJT'ye göre nispeten daha küçük olan kazanç bant genişliği ve kolayca hasar görebilmesi sayılabilir.

## 6.2 JFET'LERİN YAPISI VE KARAKTERİSTİKLERİ

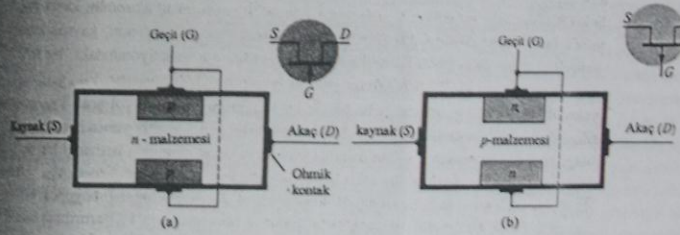
FET, tek temel  $p$ - $n$  jonksiyonuna sahip üç uçlu bir eleman olup ya Jonksiyon FET (JFET) veya Metaloksit yarıiletken FET (MOSFET) olarak üretilmektedir. Yükseltilmeler için önerilen ilk yarı-iletken elemanlarından birisi olmasına karşın<sup>(1)</sup>, FET'in ticari anlamda yararlı bir eleman olarak geliştirilmesi, üretim teknikleri sınırlamaları nedeniyle 1960'ın ortalarına kadar gecikmiştir. Büyük ve çok-büyük ölçekli entegre devreler öncelikle MOSFET transistörleri kullanılarak üretilmektedir.

## JFET'in Çalışması

Bir JFET'in fiziksel yapısı Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Şekil 6.1'a'da gösterilen  $n$ -kanallı JFET, içine bir çift  $p$ -tipi bölgenin difüzyon yoluyla yerleştirilmiş olan  $n$ -tipi bir çubuk kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 6.1'b'de gösterilen  $p$ -kanallı JFET ise  $n$ -tipi difüzyon bölgelerine sahip  $p$ -tipi bir çubuk kullanılarak yapılmaktadır.

Her bir JFET türüne ilişkin sembol Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Şekil 6.1'a'daki  $n$ -tipi eleman için, geçit üzerindeki ok, geçitin  $p$ -tipi, kanalın ise  $n$ -tipi olduğunu gösterir. Şekil 6.1'b'deki  $p$ -kanal JFET'in sembolünde geçitin  $n$ -tipi kanalın ise  $p$ -tipi olduğunu gösteren bir ok işareti vardır.

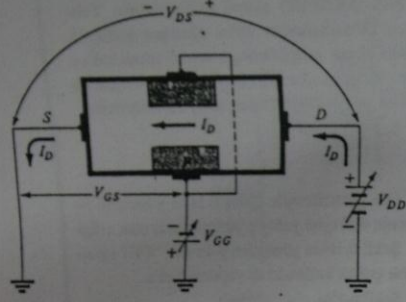


Şekil 6.1 JFET'in fiziksel yapısı ve sembolleri: (a)  $n$ -kanallı, (b)  $p$ -kanallı

Transistörün nasıl çalıştığını incelemek için, elemanın çalışmasını sağlayan öngerilim birlikte Şekil 6.2'de verilen  $n$ -kanallı JFET'i ele alalım. Besleme gerilimi  $V_{DD}$ , akçe-

<sup>1</sup> Electrons and Holes in Semiconductors (New York: Van Nostrand, 1953)

kaynak arasında bir  $V_{DS}$  gerilimi oluşturarak akıttan-kaynağa ( $n$ -kanal tipinde elektronlar gerçekte kaynaktan akaca doğru hareket eder, ki adımı da buradan alır) bir  $I_D$  akımının akmasını sağlar. Bu akış akımı  $p$ -tipi kapı ile çevrili olan kanal içerisinde geçer. Görüldüğü gibi kapı ile kaynak arasında bir  $V_{GG}$  besleme kaynağıyla bir- $V_{GS}$  gerilimi oluşturulmuştur. Bu kapı-kaynak geriliminin polaritesi, kapı-kaynak



Şekil 6.2 JFET'in çalışması.

jonksiyonunu ters öngerilimleyeceğinden, kapıdan akım akmayacaktır. Kapı-kaynak geriliminin yaratacağı etki, kanaldaki bir boşaltma bölgesi yaratmak ve böylece kalan genişliğini azaltarak akça-kaynak direncini artırıp daha az akış akımı geçirmektir.

Elemanın çalışmasını ilk önce  $V_{GS} = 0$  ve daha sonra  $V_{GS}$ 'yi sıfır volt, ardından  $V_{GS}$  ters öngerilimi artırılmış ( $n$ -kanallı bir FET için daha negatif) varsayarak ele alacağız. Şekil 6.3a'da, akça-kaynağın  $n$ -malzemesi üzerinden geçen akış akımının, kanal boyunca bir gerilim düşümü yarattığı, bunun da akça-kapı jonksiyonunun, kaynak-kapı jonksiyonundan daha POZİTİF olduğu görülmektedir.  $p$ - $n$  jonksiyonundaki bir ters öngerilim potansiyeli, Şekil 6.3a'daki gibi bir boşaltılmış bölge yaratır.  $V_{DD}$  gerilimi yükseldikçe,  $I_D$  akımı aratarak daha büyük bir boşaltılmış bölgeye yol açar.  $V_{DD}$  gerilimi daha da yükseldikçe, Şekil 6.3b'de gösterildiği gibi, kanal boyunca boşaltılmış bölge tam olarak oluşur.  $V_{DD}$ 'nin daha da artırılması akış akımında herhangi bir değişikliğe neden olmaz,  $I_D$  akımı sabit kalır. Bu çalışma şekli Şekil 6.3c'deki  $V_{GS} = 0$  karakteristik eğrisiyle gösterilmiştir.  $V_{DS}$  artıkça,  $I_D$  akımı, kanal boyunca boşaltılmış bölge tam olarak oluşana kadar artar ve bundan sonra  $V_{DS}$  artırılırsa bile akış akımı doyuma ulaşmış sabit bir değer alır.  $V_{GS} = 0V$ 'ta görülen sabit akış akımının bu değeri JFET'in çalışmasını tanımlamada kullanılan önemli bir parametre olup  $I_{DSS}$  ile gösterilir. (yani İngilizce kısaltmada, kapı-kaynak kısa devre olduğunda akça-kaynak arasında görülen akımdır).

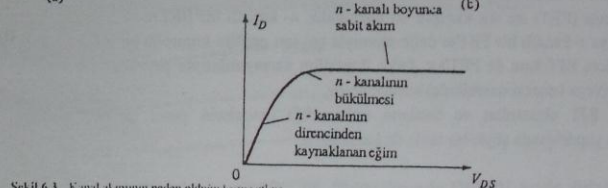
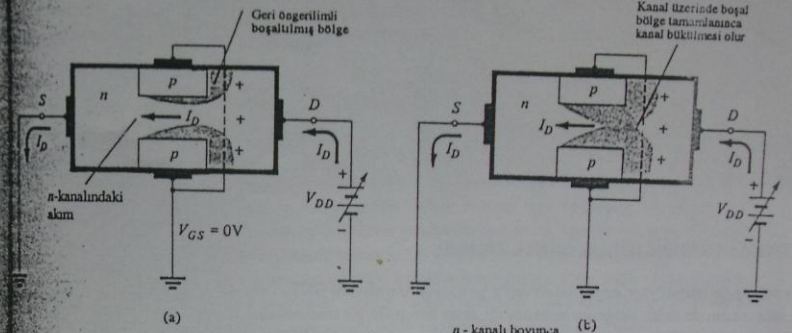
Şekil 6.4'te,  $n$ -kanallı bir JFET'in çalışma özeti görülebilir. Kapı-kaynak gerilimi  $V_{GS}$ ,  $0V$ 'tan daha küçük fakat kısma geriliminden daha büyük tutulursa (bkz. Şekil

6.4a),  $V_{GS}$  gerilimiyle ayarlanan bir akış akımı ( $I_D$ ) akar. Bu durumda kapı akımı

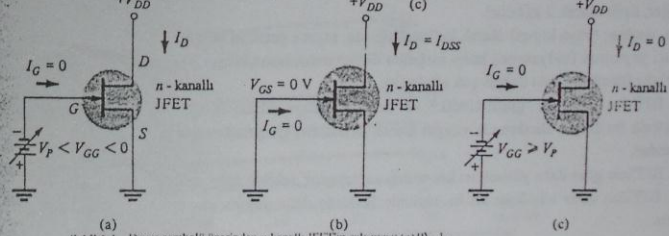
$$I_G = 0 \quad (6.1)$$

olur; çünkü ters öngerilimli kapı-kaynak jonksiyonundan akım alınmayacaktır.

Geçit-kaynak gerilimi tam olarak  $0V$ 'a ayarlandığında, akış akımının değeri önemli bir büyüklük olmaktadır ve  $I_{DSS}$  olarak adlandırılır (bkz. Şekil 6.4 b). Kapı akımı (6.1).



Şekil 6.3 Kanal akımının neden olduğu kısma etkisi



Şekil 6.4 Devre semböli üzerinden  $n$ -kanallı JFET'in çalışması; (a)  $0V < V_P$  bölgesindeki  $V_{GS}$ ; (b)  $V_{GS} = 0V$ ; (c)  $V_{GS} \geq V_P$ .

Ardından, Şekil 6.10b'de gösterildiği gibi, transfer karakteristiği eğrisi bu noktalar birleştirilerek çizilir. Eğrinin çiziminde kullanılan bu noktalar aşağıda gösterildiği gibi oldukça kolay bulunabilir.

1.  $I_D = I_{DSS}$  olduğu  $V_{GS} = 0V$  seçin:

$$V_{GS} = 0V \quad I_{DSS} = 12 \text{ mA}$$

2.  $V_{GS} = 0.3 V_p$  seçin, burada

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{0.3V_p}{V_p}\right)^2 = I_{DSS} (0.49) \equiv I_{DSS} (0.5)$$

$$V_{GS} = 0.3(-4V) = -1.2V \quad I_D = 0.5 I_{DSS} = 0.5(12 \text{ mA}) = 6 \text{ mA}$$

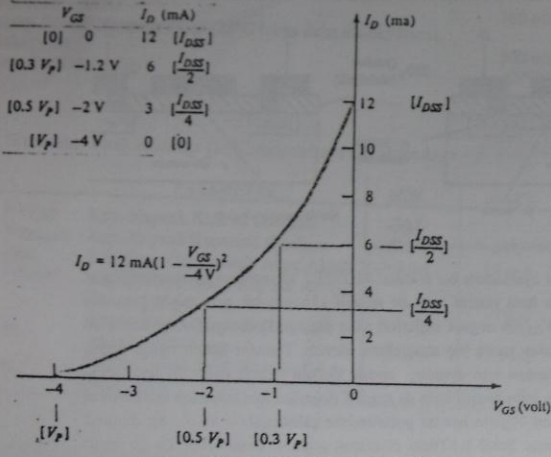
3.  $V_{GS} = 0.5 V_p$  seçin, burada

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{0.5V_p}{V_p}\right)^2 = 0.25 I_{DSS}$$

$$V_{GS} = 0.5(-4V) = -2V \quad I_D = 0.25 I_{DSS} = 0.25(12 \text{ mA}) = 3 \text{ mA}$$

4.  $V_{GS} = V_p$  seçin, burada  $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_p}{V_p}\right)^2 = 0$

$$V_{GS} = V_p = -4V \quad I_D = 0$$



Şekil 6.11  $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$ ,  $V_p = -4V$  için çizilen transfer karakteristiği.

### 6.3 JFET Transfer Karakteristiğinin Çizilmesi

Şekil 6.11, yukardaki dört veri noktasının transfer karakteristiği koordinat sistemi üzerinde birleştirilmesiyle oluşan eğriyi göstermektedir. Her ne kadar daha çok noktayla daha dolu bir eğri çizilebilse de, yalnızca dört noktanın kullanılması da öngerilim veya ac çalışması için birçok durumda yeterli olmaktadır.

$V_{GS}$  için kullanılan dört nokta,  $I_D$  değerlerinin, çoğu kez hesap makinasını bile gerektirmeyecek kadar kolay hesaplanmasını sağlar. Önerilen değerlerin ve sonuçların bir listesi Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1

$V_{GS}$	$I_D$
0	$I_{DSS}$
$0.3V_p$	$\frac{I_{DSS}}{2}$
$0.5V_p$	$\frac{I_{DSS}}{4}$
$V_p$	0

### 6.4 JFET PARAMETRELERİ

Üreticiler, JFET elemanını tanımlamak ve farklı elemanlar arasında seçim yapmak için gerekli olan bilgileri sağlayan bir dizi parametre verir. Tanımlanan parametrelerin nispeten daha yararlı olanlardan birkaçı aşağıda verilmiştir:

1.  $I_{DSS}$ , akçe-kaynak doyum akımı.
2.  $V_p = V_{GS}$  (kapalı), kısma veya kapı-kaynak kapama gerilimi.
3.  $BV_{GSS}$ , akçe-kaynak kısa devreyken elemanın kırılma gerilimi.
4.  $g_m = g_{fs}$ , elemanın geçiş iletkenliği (transkondüktansı)
5.  $r_{ds}$ , eleman açıldığı zaman görülen akçe-kaynak direnci

Elemanın gürültü gerilimi, açma ve kapama süresi, güç değerleri ve kapasitans ile ilgili bir dizi parametre de genelde üretici karakteristik özellik sayfalarında yer alır.

#### Akçe-Kaynak Doyma Akımı $I_{DSS}$

Kapı-kaynak kısa devre yapıldığı zaman kanalın kapandığı (kısıldığı) akım ( $V_{GS} = 0$ ), en önemli eleman parametrelerinden biridir. Şekil 6.8'deki gibi bir devreyle kolayca ölçülebilen  $I_{DSS}$  değeri, JFET ters öngerilimliyen en büyük

$$g_m = g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \quad (6.3)$$

elde edilir; burada

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \quad (6.4)$$

$g_{m0}$  değeri,  $V_{GS} = 0V$ 'lık bir öngerilimde JFET'in maksimum ac kazanç parametresidir. Diğer öngerilim şartlarında  $g_m$  değeri, Denklem (6.3) ve (6.4) ile hesaplandığı gibi, daha düşük olur.

#### ÖRNEK 6.2

$I_{DSS} = 12 \text{ mA}$  ve  $V_p = -4V$ 'lık değerlere sahip bir JFET'in geçiş iletkenliğini ( $g_m$ ) (a)  $V_{GS} = 0V$  ve (b)  $V_{GS} = -1.5V$  öngerilim noktalarında hesaplayın.

**Çözüm:**

Denklem (6.3) ve (6.4) kullanılırsa

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} = \frac{2(12 \text{ mA})}{|-4 \text{ V}|} = \frac{24 \times 10^{-3}}{4} = 6 \times 10^{-3} \text{ S} = 6 \text{ mS} = 6000 \mu\text{S}$$

$$(a) g_m = g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right) = 6 \text{ mS} \left( 1 - \frac{0 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right) = 6 \text{ mS} = 6000 \mu\text{S}$$

$$(b) g_m = 6 \text{ mS} \left( 1 - \frac{-1.5 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right) = 3.75 \text{ mS} = 3750 \mu\text{S}$$

**Akçe-Kaynak açık (iletim) Direnci,  $r_{ds}$  (açık)**

Belirli bir kapı-kaynak gerilimi ve akçe akımında ölçülen gerilim akçe-kaynak açık (iletim) direnci, JFET anahtar olarak kullanıldığında önem taşır. JFET, çapışmasının doyma veya omik bölgesinde öngerilimlenmişse, akçe ile kaynak arasında,  $r_{ds(açık)}$  değeri ile belirlenen ve on ile birkaç yüz arasında değışen bir dırtı söz konusudur.

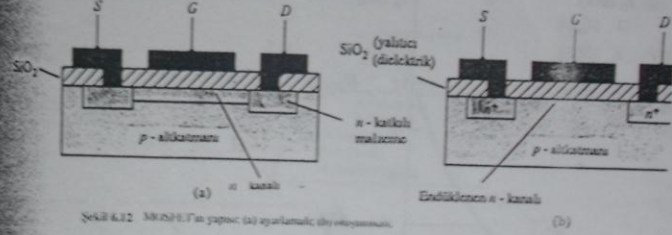
#### 6.5 MOSFET'LERİN YAPISI VE KARAKTERİSTİKLERİ

Alan etkili bir transistörün geçiş ucı kanaldan izole edilmiş olarak yapılabilir. Popüler Metal-Oksit-Yarıiletken FET (MOSFET) ya kanal ayarlamalı MOSFET (Şekil 6.12a) veya kanal oluşturmalı MOSFET (Şekil 6.12 b) olarak üretilmektedir. Kanal

ayarlamalı üretim tipinde kanal, fiziksel olarak oluşturulur ve akçe-kaynak arasına uygulanan bir gerilim sonucu akçe ile kaynak arasında bir akım akar. Kanal oluşturmalı MOSFET'te kanal, eleman üretilirken oluşturulmaz. Yük taşıyıcılarından bir kanal oluşturmak ve akçe-kaynak arasına gerilim uygulandığında akım akmasını sağlamak üzere kapıya bir gerilim uygulanması gerekir.

#### Kanal Ayarlamalı MOSFET

Şekil 6.12'deki  $n$ -kanallı kanal ayarlamalı MOSFET transistör  $p$ -tipi bir alt tabaka (FET yapısına temel olarak kullanılan  $p$ -katkılı silisyum malzeme) üzerinde oluşturulmuştur. Kaynak ve akçe uçları, dahili olarak  $n$ -katkılı kanal bölgesine bağlanmış olan,  $n$ -katkılı kaynak ve akçe bölgelerine bir metal (alüminyum) ile bağlanır.  $n$ -kanalının üzerinde izolasyon katmanı olarak görev yapan silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) katmanına bir metal katman uygulanmıştır. Oksit bir katman üzerine metal geçit birleşiminin yarı iletken bir alt tabaka üzerine yerleştirilmesi kanal ayarlamalı MOSFET transistörü oluşturur. Şekil 6.12'deki  $n$ -kanal elemanla, negatif kapı-kaynak gerilimleri kanal bölgesinden elektronları itererek kanalı boşaltır ve büyük bir negatif bir kapı-kaynak gerilimi kanalı kısacaktır. Öte yandan pozitif kapı-kaynak gerilimi, kanalı genişletecek ( $p$ -tipi taşıyıcıları itecek) ve böylece daha çok yük taşıyıcılarının geçmesine, yani kanal akımının artmasına yol açacaktır.



Şekil 6.12 MOSFET'in yapısı: (a) ayarlamalı, (b) oluşturmalı.

Şekil 6.13'te kanal ayarlamalı bir  $n$ -kanal MOSFET elemanın karakteristiği gösterilmiştir. Eleman hem pozitif hem de negatif kapı-kaynak gerilimiyle çalışırken gösterilmektedir.  $V_{GS}$ 'nin negatif değerleri akçe akımını kısma gerilimine kadar düşürür ve bu noktadan sonra hiç akçe akımı akmaz. Transfer karakteristiği negatif kapı-kaynak gerilimleri için aynıdır, ancak  $V_{GS}$ 'nin pozitif değerleri için devan eder. Kapı,  $V_{GS}$ 'nin hem pozitif hem de negatif değerleri için kanaldan izole edilmiş olduğundan, eleman  $V_{GS}$ 'nin her iki polaritesiyle çalıştırılabilir ve hiç bir durumda kapıdan akım akmaz. Şekil 6.13'deki elemanın sematik sembolünde bir alt tabaka ucunun eklendiği (kapı, kaynak ve akçe tellerine ek olarak) görülmüştür. Bunun için

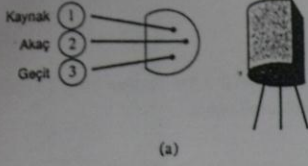
#### 6.5 JFET Transfer Karakteristiğinin Çözülmesi

$$\text{maksimum } I_D = \frac{\text{maksimum } P_D}{\text{maksimum } V_{DS}} = \frac{360 \text{ mW}}{30 \text{ V}} = 12 \text{ mA}$$

olacaktır; bu da 360 mW'luk maksimum anma değeri oldukça altındadır. Aslında 30 V'taki maksimum akım;

$$BV_{GSS} = -30 \text{ V}$$

olacaktır. Verilen elektriksel karakteristikler arasında, kapı-kaynak uçları üzerinde



(a)

Mutlak maksimum anma değerleri (25°C serbest hava sıcaklığında)

Akaç-Kapı gerilimi	30 V
Ters yönde Kapı-Kaynak Gerilimi	-30 V
İleri Yönde Sürekli Kapı Akımı	10 mA
Transistör Sürekli Harcama Gücü (25°C (veya daha düşük) Serbest Hava Sıcaklığında)	360 mW
Transistör Sürekli Harcama Gücü (25°C (veya daha düşük) Bacak Sıcaklığında)	500 mW
Saklama Sıcaklık Aralığı	-65°C ile 150°C

(b)

Elektriksel karakteristikler (25°C serbest hava sıcaklığında)

PARAMETRE		MİN.	MAKS.
$BV_{GSS}$	Kapı-Kaynak Kırılma Gerilimi	-30 V	
$V_{GS(\text{kapalı})}$	Kapı-Kaynak Kapanma Gerilimi	-2.5 V	-6 V
$I_{DSS}$	Sıfır Geçit Geriliminde Akaç Akımı	10 mA	15 mA
$r_{ds(\text{açık})}$	Küçük-Sinyal Akaç-Kaynak Açık-Durum Direnci		210 $\Omega$
$y_{fs}$	Küçük-Sinyal Ortak-Kaynak İleri Transfer Admitansı	3.5 $\mu S$	7.5 $\mu S$
$y_{os}$	Küçük-Sinyal Ortak-Kaynak Çıkış Admitansı		75 $\mu S$

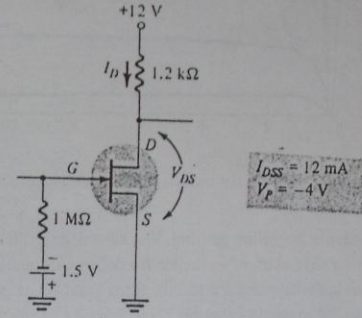
(c)

Şekil 6.18 2N5950 JFET'e ilişkin özellik bilgileri: (a) elemanın bacakları; (b) mutlak maksimum anma değerleri; (c) tipik elektriksel karakteristik bilgileri.

jonksiyonun ters öngerilim yönünde kırıldığı tipik kırılma gerilimini tanımlayıcı

## ÖRNEK 7.1

Şekil 7.2'deki sabit öngerilim devresinin akaç akımını ve akaç-kaynak gerilimini bulun.



Şekil 7.2 Örnek 7.1'e ilişkin JFET sabit-öngerilim devresi.

Çözüm:

$$V_{GS} = V_{GG} = -1.5 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 12 \text{ mA} \left( 1 - \frac{-1.5 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right)^2 = 4.69 \text{ mA}$$

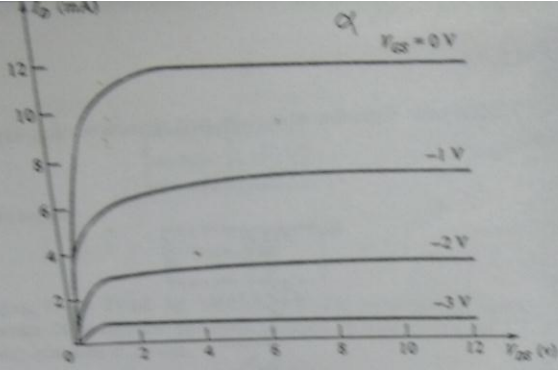
$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 12 \text{ V} - (4.69 \text{ mA}) (1.2 \text{ k}\Omega) = 6.4 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 6.4 \text{ V} - 0 \text{ V} = 6.4 \text{ V}$$

## JFET Akaç-Kaynak Karakteristiğine Dayalı Grafik Analiz

Aşağıda, bir JFET devresinin dc öngerilimli çalışmasının grafik olarak analizi verilmiştir. Her ne kadar yukarıda kullanılan matematiksel yöntem devredeki tüm akımları belirlemek için açık ve doğrudan bir araç sağlıyorsa da, grafik analiz, öngerilimle çalışmaya yeni bir bakış açısı getirmekte ve de öngerilimlemeye neden ihtiyaç duyulduğunun anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 7.3'de bir JFET'in ( $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$ ,  $V_P = -4 \text{ V}$ ) akaç-kaynak karakteristiği verilmiştir.





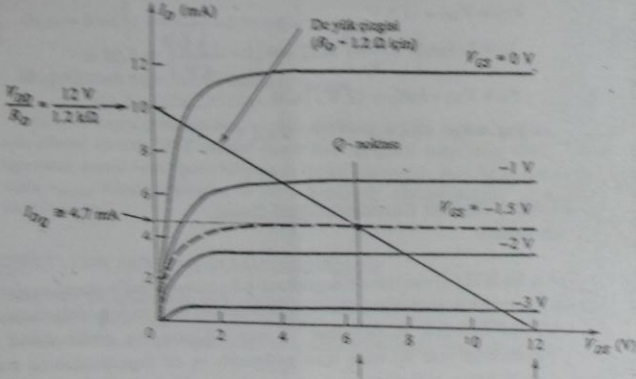
Şekil 7.3  $I_{DSS} = 12 \text{ mA}$  ve  $V_p = -4 \text{ V}$  değerleri için JFET'in Akçe-kaynak karakteristiği.

Kaçı-kaynak öngerilim gerilimi,  $V_{GS}$  kaynak değeri ile seçilebilir.  $1.5 \text{ V}$ 'luk bir pilin kullanılması akçe akımını ve seçilen  $R_D$  değeri akçe gerilimini oluşturacaktır.  $V_{GS} = 1.5 \text{ V}$ 'a ait kaçı-kaynak karakteristik eğrisi Şekil 7.3'te gösterilmediği için,  $V_{GS} = -1 \text{ V}$  ve  $V_{GS} = -2 \text{ V}$  arasında kalan bir çığı Şekil 7.4'te gösterildiği gibi  $V_{GS} = -1.5 \text{ V}$ 'luk kesik bir çığıyla yaklaşık olarak verilmiştir.

Eşitlik (7.3) ile verilen çığımayı temsil eden bir de yük doğrusu, şu şekilde çizebilir:

1.  $I_D = 0 \text{ mA}$  için:

$$V_D = V_{DD} - (0)R_D = V_{DD}$$



Şekil 7.4 Örnek 7.2'ye ilişkin akçe-kaynak karakteristiği ve yük doğrusu

( $I_D = 0$  yani yatay eksen üzerinde bulunan bir nokta  $V_D = V_{DD}$ 'de işaretlenmiştir.)

2.  $V_{GS} = V_D = 0 \text{ V}$  için:

$$0 \text{ V} = V_{DD} - I_D R_D$$

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_D}$$

( $V_{GS} = 0$  yani dikey eksen üzerinde bulunan nokta  $I_D = V_{DD}/R_D$ 'de işaretlenmiştir.)

3. De yük doğrusu, 1 ve 2. adımlarda işaretlenen noktalar arasında çizilir.

### ÖRNEK 7.2

Akçe-kaynak karakteristiği Şekil 7.3'te görülen JFET'i kullanarak Şekil 7.2'deki devrenin sükunet (Q) noktasını bulun.

Çözüm:

$V_{GS} = -1.5 \text{ V}$ 'e ilişkin karakteristik eğri,  $-1 \text{ V}$  ve  $-2 \text{ V}$  eğrilerinin arasında çizilmiştir. Aşağıdaki iki nokta arasında bir doğru çizilerek de yük doğrusu elde edilir:

$$I_D = 0 \text{ için: } V_D = V_{DD} = 12 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 0 \text{ için: } I_D = \frac{V_{DD}}{R_D} = \frac{12 \text{ V}}{1.2 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$$

Şekil 7.4'te görülen sükunet noktasının koordinatları;

$$I_{DQ} = 4.7 \text{ mA} \text{ ve } V_{DSQ} = 6.4 \text{ V}$$

olarak bulunur.

### 7.2 KENDİNDEN ÖNGERİMLİ JFET YÜKSELTECİ

Daha pratik bir JFET öngeriliminde ikinci bir kaynağa gerek olmadan, kaçı-kaynak öngerilimini sağlamak için bir kaynak direnci ( $R_G$ ) kullanılır. Şekil 7.5'te sadece tek gerilim kaynağı ( $V_{DD}$ ) kullanılan de öngerilim devresi verilmiştir. Ters öngerilimli kaçı-kaynak üzerinden hiç kaçı akımı akmayacağından, kaçı akımı:

$$I_G = 0$$

bu nedenle kaçı gerilimi,

$$V_G = I_G R_G = 0 \text{ V} \quad (7.4)$$

olur.

# 1.7 DC VEYA STATİK DİRENÇ

Diyodun belli bir çalışma noktasındaki direncine dc veya statik direnci denir. Şu şekilde hesaplanır.

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} \text{ ohm}$$

Ovo Hfo  
Neyten  
P har.

Şekilde 1.20'deki ideal diyot için,  $I_D = 20 \text{ mA}$ 'deki dc diren

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0}{20 \text{ mA}} = 0 \Omega$$

beklendiği gibi; buna karşılık silisyum diyodun dc direnci is

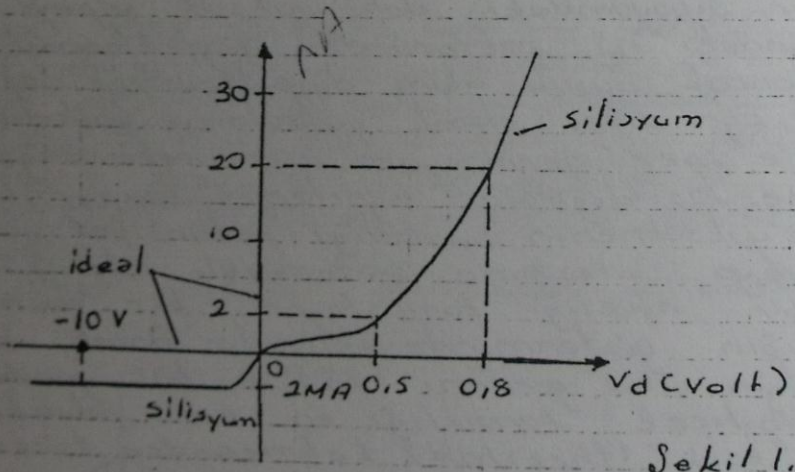
$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0,8}{20 \text{ mA}} = 40 \Omega$$

$I_D = 20 \text{ mA}$ 'de ideal diyodun direnci  $0 \Omega$  olarak çıkar, ancak şimdi silisyum diyodun direnci;

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0,5}{2 \text{ mA}} = 250 \Omega \text{ olarak bulunur.}$$

sonuçları, ileri öngerilimleme bölgesindeki bir diyodun dc direncinin daha yüksek gerilim ve akımlara yaklaştıkça azaldığını göstermektedir.

$V_D = -10 \text{ V}$ 'daki ters yönde öngerilimleme bölgesinde ideal diyodun direnci, teorik olarak (açık devreye karşı gelecek şekilde) sonsuzdur ve şu formülle hesaplanır.



Şekil 1.20

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{-10}{0} = \rightarrow \infty \Omega$$

Silisyum diyodun direnci ise

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{-10}{-2 \text{ mA}} = 5 \text{ M}\Omega$$

ki burada bir çok uygulama için kesinlikle bir açık devreye karşılık gelir. Belirli bir çalışma noktasında dc direnci bulun duktan sonra, diyodun yerine Şekil 1.21'de gösterildiği gibi bir direnç elemanı konularak analize devam edilebilir.

Ters gerilim bölgesine ilişkin karakteristikte görülen keskin değişimin, herhangi bir sistemin cevabını tümüyle değiştirilmesi istenmiyorsa, söz konusu yarı iletken diyodun Zener bölgesinde çalışmaması gerekir. Bu bölgeye girmeksizin uyulabilecek maksimum tersine öngerilimle me potansiyeline ters tepe gerilimi (veya basitçe PIV değeri) denmektedir. Eğer bir uygulamada tek bir ünitenin sağlayabileceğinden daha fazla bir PIV değeri gerekiyorsa, aynı karakteristiğe sahip bir kaç diyot seri şekilde bağlanabilir. Diyotlar paralel bağlanarak darakım taşıma kapasitesi artırılabilir.

Germanyum - Silisyum Karşılaştırılması

Silisyum diyotların, genelde germanyum diyotlara göre daha yüksek bir PIV ve akım değeri ile daha geniş bir sıcaklık aralığı vardır. Silisyum için PIV değerleri 1000 V'a yakın olabilirken, germanyum için maksimum değer 400 V'a yakındır. Silisyum 200°C'ye kadar sıcaklıkta kullanılabilirken, germanyumda maksimum sıcaklık çok daha düşüktür. (100°C). Ancak germanyuma kıyasla silisyumun dezavantajı pekil 1,18'de görüleceği gibi, yukarı salınım bölgesine ulaşmak için daha yüksek bir ileri öngerilim düzeyinin gerekli olmasıdır. Piyasadan satın alınan silisyum diyotlar da bu değer 0,7 V iken germanyum diyotlar için 0,3 V'tur. Silisyumdaki daha yüksek sapma tenelde (1-4) denklemindeki n faktöründen kaynaklanmaktadır. Bu faktör eğrinin ancak düşük akım düzeylerindeki şeklini belirlemede rol alır. Eğri dikey olarak yükselmeye başladıktan sonra n kat sayısı 1'e iner (germanyum için sürekli değer). Bu sapma potansiyeline dosıldığında eğrilerin benzerliklerinden görülebilir. Bu yükselmenin başladığı potansiyel genelde sapma, eşik veya ateşleme potansiyeli olarak anılır. Sık sık belli bir niceliği tanımlayan bir terimin ilk harfi, bu niceliğin gösteriminde kullanılır. Ancak başka terimlerle, örneğin çıkış gerilimi (V<sub>o</sub>) ve ileri yönde gerilim (V<sub>f</sub>) ile doğabilecek karışıklığı en aza indirebilmek için, bu kitapta, "esik" (threshold) kelimesinden türetilerek V<sub>t</sub> sembolü benimsenmiştir.

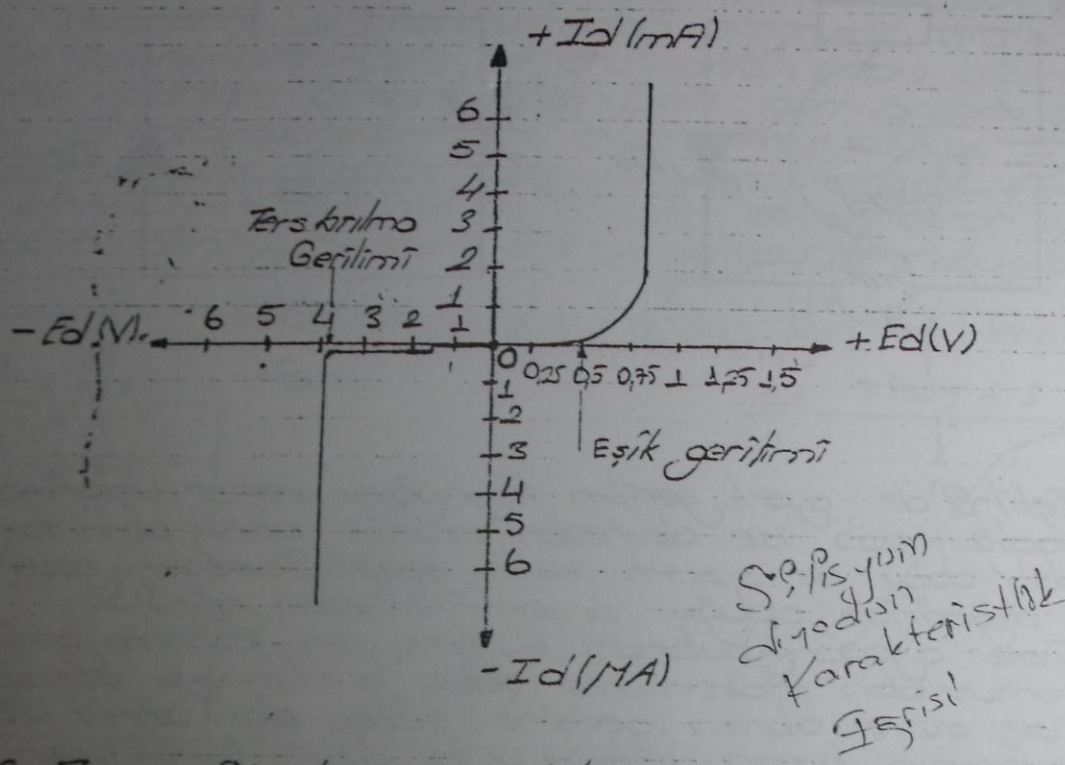
Kısaca

$V_t = 0,7 \text{ (Si)}$ $V_t = 0,3 \text{ (Ge)}$
--

Ayrıca görülebileceği gibi yukarı salınım, dikey etse ne ne kadar yakınsa, elemmanda olduğu "ideal" olacaktır. Ancak germanyuma kıyasla silisyumun diğer karakteristikleri onun ticari elementlerinin uygunluğunda tercih edilmesini sağlamaktadır.

80. no lu le.  
kümü

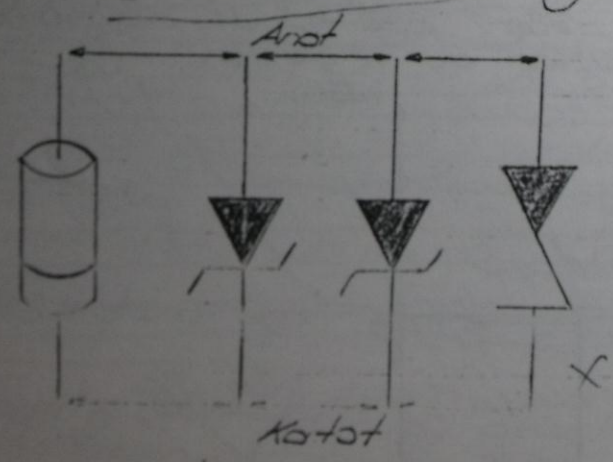
karakteristik eğileri şekilde görüldüğü gibi germanyumunkine nazaran daha diktir.



## 2. Zener Diyot ve Karakteristiği =

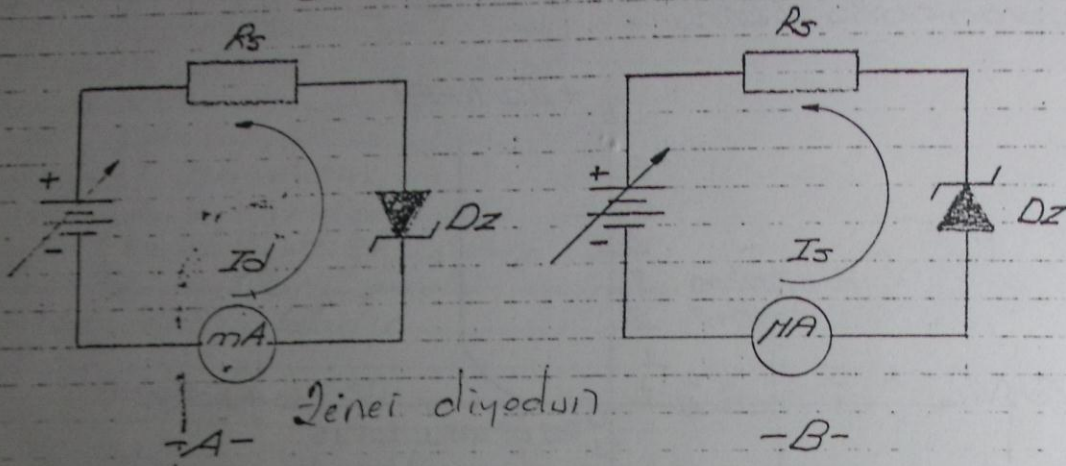
Zener diyod, ters polarizasyon altında gerilim regülasyonu yapar. PN birleşmesi bir yarı iletken bir Zener diyod olan bu polarizasyon regülasyonu gibi devreden akım geçirir. Normal diyodlar tokluk sınırları aşırı ters gerilimde birleşme yerlerinden koparır. Zener diyotlarda ters gerilimde de bu kopma PN birleşme yüzeyinin geniş yapılıması ile önlenmiştir.

Şekilde zener diyodun sembolleri görülmektedir.



Şekildeki görülen devrede, E Lotağın ayarlı gerilim kaynağıdır ve zener diyodu doğru polarizasyon edilecek şekilde bağlanmıştır. Zener diyodun gerilimini ve akımını kontrol eder.

bu devre ayarlı olduğumuzda zener diyod doğru polarize olduğundan devreden geçen akımda minimumdan maksimuma doğru artışı ampermetreden gözlenir.



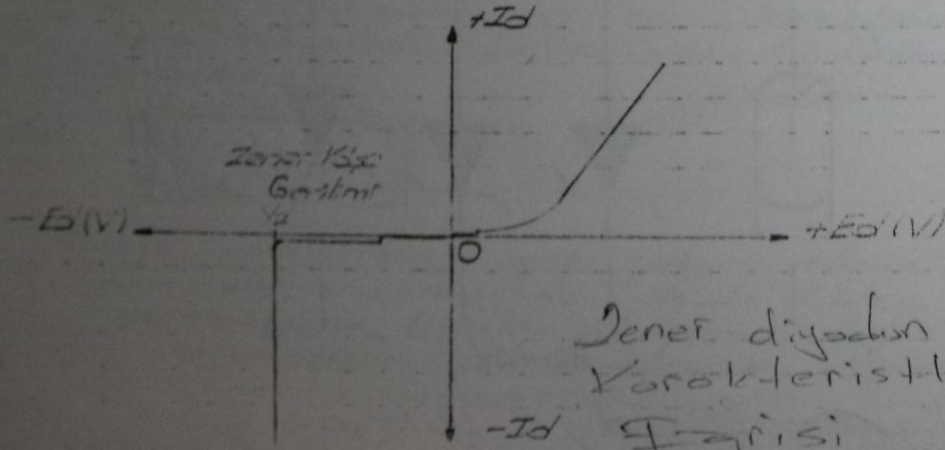
Zener diyodu

-A-

-B-

Şekil-B'de ayarlı gerilim kaynağını zener uçlarına ters bağladığımızda ise devreden sadece azınlık akım taşıyıcılar rıncağı gibi bir sınırlı akım geçer. Devreden geçen akımın mA değerinde olduğu ampermetreden görülür.

Zener diyoda uygulanan bu ters yön polarize gerilimden minimumdan maksimuma doğru arttırılmaya başlandığımızda ise, sınırlı akımın geçişine sebep olan azınlık akım taşıyıcılarının hızları arttıkça artar bazen azınlık akım taşıyıcıları gibi hız kazandırlar ki, yarı iletken içindeki atomlara çarptığı zaman atomların valans elektronlarını kendi yörüngelerinden katararak kristal yapı içinde serbest elektron oluşumunu sağlar. Diyod uçlarına uygulanan ters gerilim değeri zener köşe gerilimine eşitlendiğinde kristal yapı içinde serbest elektron miktarı oradan fazlalaşır. Bu elektronlar katodun negatif kutbu tarafından çekilmek suretiyle devreden ters yönde büyük bir akımın geçmesi sağlanmış olur. Bu akımın değeri büyük olmasına rağmen zener diyod hemen bazülmez. Zener uçlarına uygulanan ters gerilim zener köşe geriliminden çok büyük olursa azınlık akım değeri çok büyük olduğundan zener diyod tamamen kısa devre olur ve bazülür.



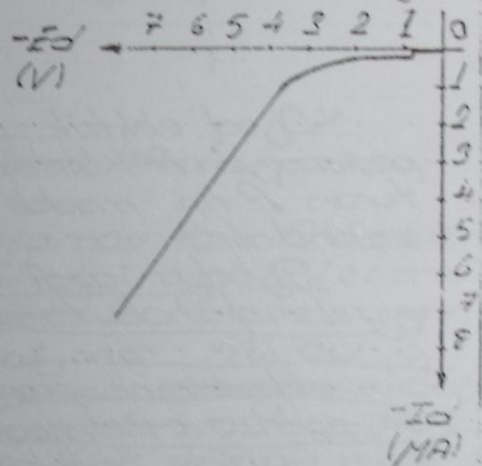
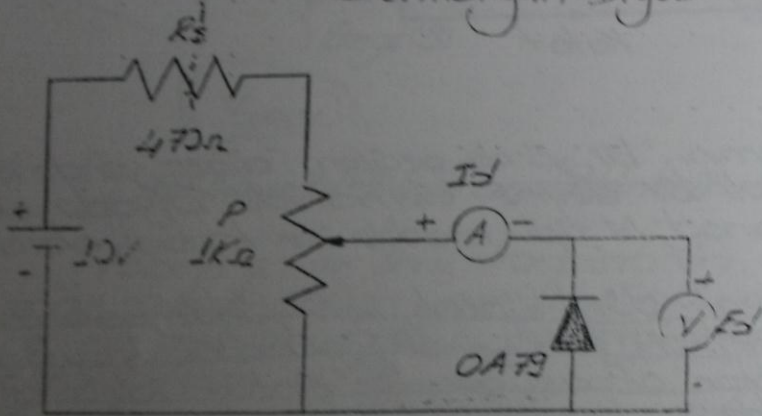
Zener diyodun Karakteristik Eğrisi

rençtir. Voltmetre diyot uçlarındaki gerilimi, ampermetre ise diyotun geçen akımı ölçmektedir.

Eşit aralıklarla potansiyometreyi döndürerek diyot uçlarına uyguladığımız voltmetreden okuyarak  $E_D$  eksenine işaretleriz. Bu gerilim değerlerine tabii ki eden akım değerlerini ampermetreden okuyarak ordinat eksenine işaretleriz. Akım ve ordinatın çıkan ölçmelerini karşılaştırdığımızda gerilim akım diyodu için karakteristliğini elde etmiş oluruz.

Gerilim akım diyodu ters yönlü karakteristik eğrisine elde etmek için  $I_D$  akımını devre tek yöne kurular. Ancak bu deneyde farklı olarak diyodu ters bağlanmışır.

### Germaniyum Diyoduun Ters Yön Karakteristliği



-A-

-B-

Bu devrede akım ölçmek için mikroampermetre kullanılmaktadır. Devrede izlenecek akım değeri çok küçük olduğundan, elde edilen sonuçları büyütürüz.

Bu deneyde potansiyometre ile diyodu ters yönde çalıştırarak gerilim akım diyoduun ters yön karakteristliğini elde ederiz. Gerilim belirli bir seviyeye ulaştığında ise akım 1mA'ya ulaşır ve akım değeri sabit kalır. Diyoduun ters yönde akım akışını engelleyen bir yapıya sahiptir. Bu gerilim, germaniyum diyoduun  $0.3V$  akım akışını sağlar ve  $3mA$  akım akışını sağlar.

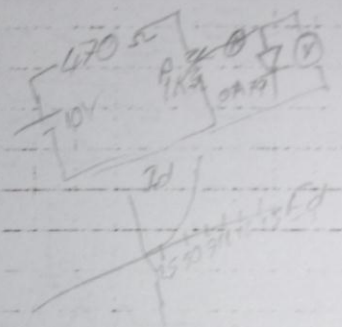
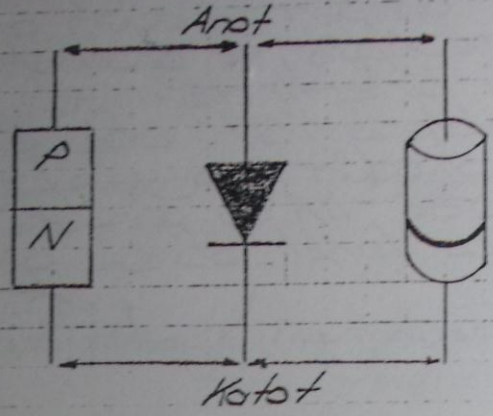
Diyodu ters yönde çalıştırarak elde ettiğimiz ise uygulanan gerilim belli bir seviyeye ulaştığında akım diyoduun ters yönünde akım akışını engelleyen bir yapıya sahiptir. Bu gerilim, germaniyum diyoduun  $0.3V$  akım akışını sağlar ve  $3mA$  akım akışını sağlar.

Diyoduun ters yönünde çalıştırarak elde ettiğimiz ise uygulanan gerilim belli bir seviyeye ulaştığında akım diyoduun ters yönünde akım akışını engelleyen bir yapıya sahiptir. Bu gerilim, germaniyum diyoduun  $0.3V$  akım akışını sağlar ve  $3mA$  akım akışını sağlar.

Yukarıda açıklanan germaniyum diyoduun ters yön karakterististik eğrilerinin elde edilmesini deneyde elde ettiğimiz akım akışını sağlar ve  $3mA$  akım akışını sağlar.

# B- DİYOT ÇEŞİTLERİ VE YAPILARI

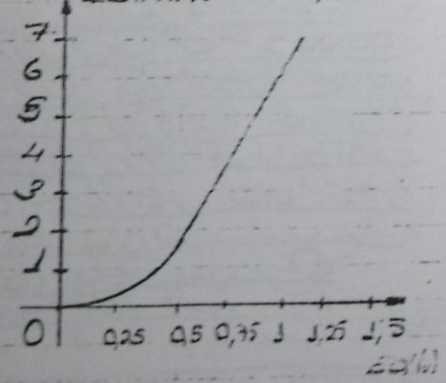
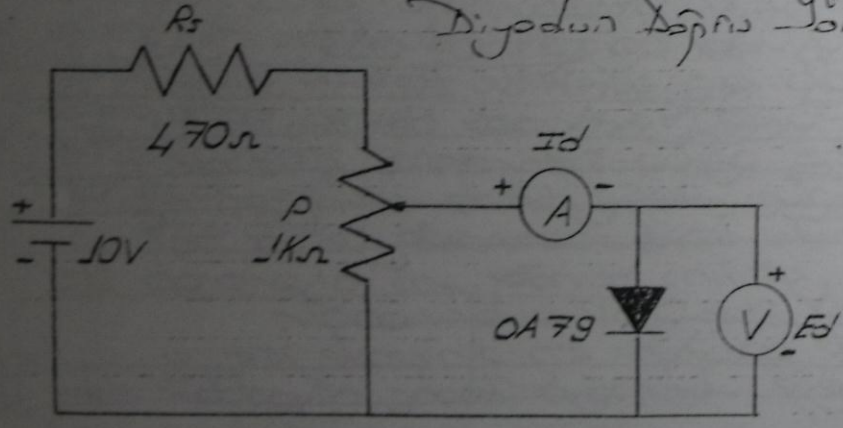
## 1- Kristal Diyod ve Karakteristiği =



Diyod, elektrik akımını bir yönde geçiren, diğer yönde ise geçirilmeyen PN birleşmeli bir devre elemanıdır. Diyodu oluşturan P tipi madde anod, N tipi madde ise katod olarak adlandırılır.

Diyodu ideal olarak düşünürsek, ileri yönde polarizasyon uygulandığında tam iletken, ters yönde polarizasyon uygulandığında ise tam yalıtkan olması gerekir. Ancak ideal diyodu elde etmek pratikte imkansızdır. Çünkü diyodu doğru yön de polarize ettiğimizde her zaman iletme yapmaz. Bunun nedeni gerilim değeri ancak belirli bir gerilim değeri den sonra çalışır. Ters yönde polarizasyon uygulandığında ise tam yalıtkan olmaz, ama akım değeri çok düşüktür. Şekil B'de diyodun doğru yön karakteristik eğrisi görülmektedir.

Diyodun Doğru Yön Karakteristik Eğrisi

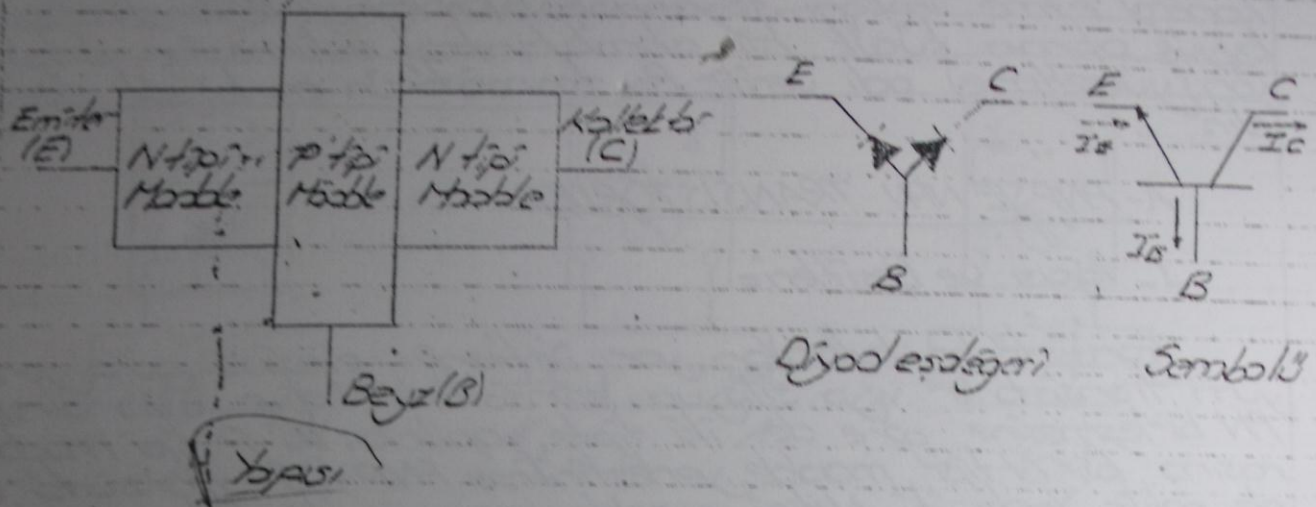


-A-

-B-

Diyottan geçen akım miktarı, diyot uçlarına tatbik edilen gerilimin değeri ile doğru orantılıdır. Şekil-B'deki doğru yön karakteristik eğrisinin elde edilmesi için şekil-A'deki devre kurulumu devredir. P polarizasyonunda diyod ucuna uygulanan gerilimi ölçen gerilim bölücü di-

terdeki okların doğru ya da yanlış olduğunu NPN transistörün yapılarını ifade eder. PNP transistörle NPN transistör arasındaki en önemli fark ok yönlerinin birbirine göre ters olmasıdır.

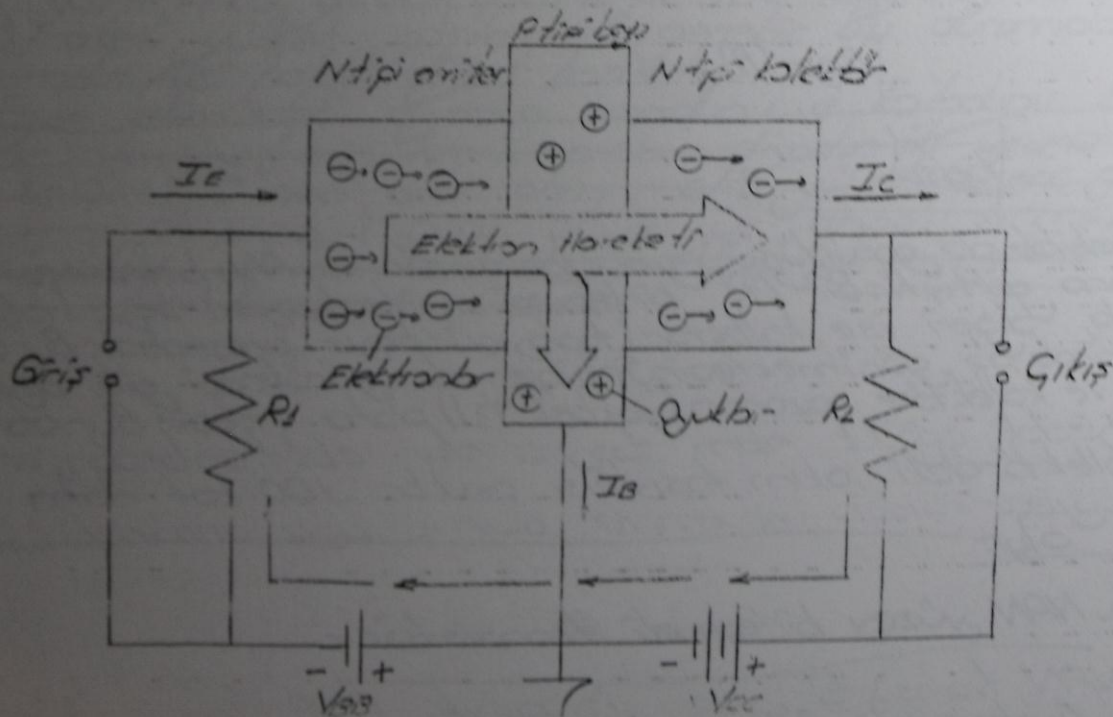


## 2. PNP ve NPN Transistörlerin Polarizasyonu =

Polarizasyon gerilimi, transistörün çalışması için PN eklemlerine tatbik edilen gerilimdir. Bu gerilim, hangi PN eklemini ne ne şekilde tatbik edileceği transistörün çalışma şartı olarak ifade edilir.

Bir transistörün çalışması için beyz-emitter arası ve beyz-kolektör arası ters polarizasyon şartıdır. Bu şart PNP ve NPN transistörlerin her ikisi için de geçerlidir.

### a. NPN Transistörün Çalışması =





# TRANSİSTÖRLER

## TRANSİSTÖRLER

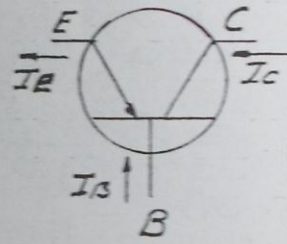
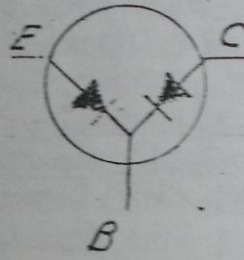
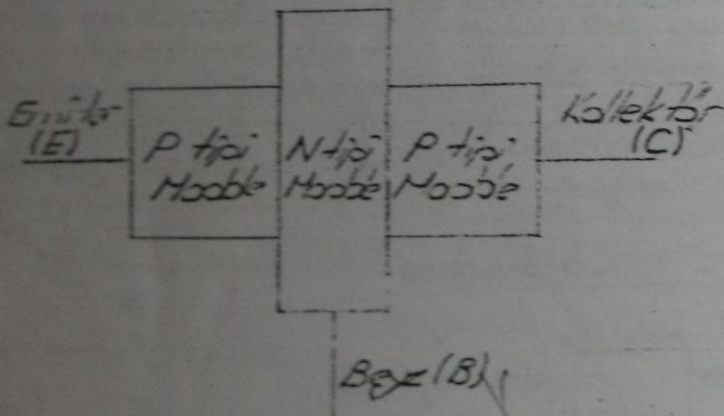
İki elemanı diğeri "üçüncü" bir eleman ilave etmekle transistör elde edilir. Böylece yarı iletken içinden geçen akımı kontrol etme imkanı sağlanmış olur. Transistörlerin geçen büyük akıma küçük bir akımla kontrol edilmesine amplifikasyon (yükseltme) adı verilir. Bu transistörün en büyük özelliğidir.

### A- PNP VE NPN TRANSİSTÖRLER

#### 1. Yapısı ve Çesitleri =

Transistörler kullandıkları yarı iletkenin cinsine göre germaniyum transistörler veya silisyum transistörler diye adlandırılırlar. PN birleşimine göre de iki tipe ayrılırlar. İki P tipi madde arasında bir N tipi madde yerleştirilirse PNP tipi transistör elde edilir. Ya da iki N tipi madde arasında bir P tipi madde yerleştirilirse NPN tipi transistörler elde edilir.

#### a. PNP yüzey birleşmeli transistör =



Diğod estđeri

Sembolü

X

✓

Yapısı

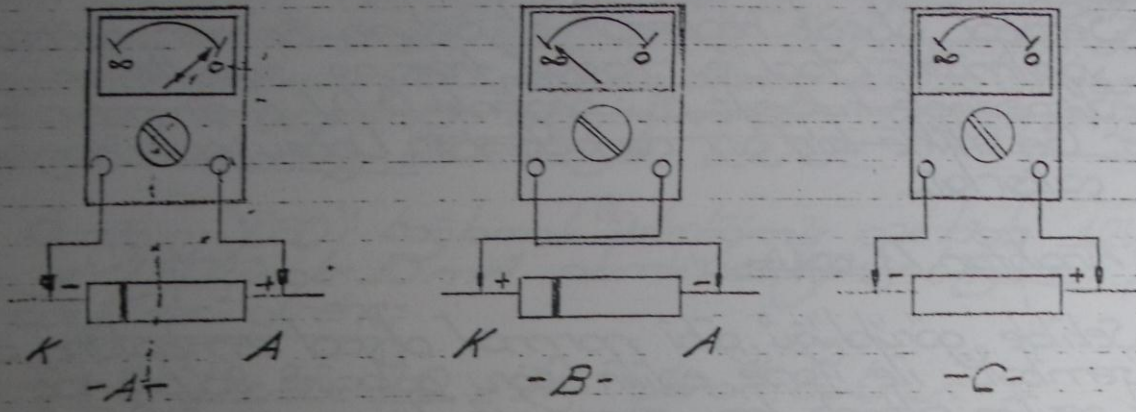
Sekilde de görüldüğü gibi transistör iki PN birleşiminden meydana gelir. Bir PN birleşimi emiter (yayıcı) - beyz (taban) arasında, diğeri ise kollektor (toplayıcı) - beyz arasındadır. Bu diğod estđerinde de görülmektedir. Sekilde de görüldüğü gibi beyz, emiter ve kollektöre nazaran (yaklaşık 1/20) daha incedir. Bununla beraber beyzdeki serbest akım taşıyıcı olan elektronların, emiter ve kollektördeki akım taşıyıcısı olan 100 kat daha fazla sayıya sahiptir ve emiter alanı da beyz alanından çok büyük olur.

#### b. NPN yüzey birleşmeli transistör =

NPN transistörün yapısı ile PNP transistörün yapısı aynıdır. Ancak farklı bir PN birleşiminden oluşur. Bu da beyz estđerinde de görülmektedir. Sembolü ise emi-

## Diyodun Ohm Metre ile Kontrolü=

Ohm metre yardımı ile diyodun sağlam olup olmadığını, yasa anodu ve katodu bilinmeyen bir diyodun uçlarının tespiti yapılabılır.



Avometrenin kırmızı probu gerilim ve akım ölçerken (+), siyah probu da (-) dir. Fakat avometrenin ohm konumunda direnç ölçmeyi sağlayan içindeki bataryanın artı ucu siyah proba, eksi ucu da kırmızı proba bağlıdır. Bu durumu yarı iletken kontrolü yapılırken göz önünde tutulmalıdır. Bu nedenle kırmızı probu avometrenin (-) girişine, siyah probu da avometrenin (+) girişine bağladığımızda yarı iletkenleri hatasızca ölçebiliriz.

Bu değişikliği yaptıktan sonra eğer diyodun sağlamlık kontrolünü yapmak istiyorsak, Şekil-A da görüldüğü gibi siyah probu diyodun katoduna ve kırmızı probu da anoduna temas ettirdiğimizde ölçü aletinin düşük direnç göstermesi gerekir. Şekil-B de ters bağladığımızda ise ölçü aleti yüksek göstermesi gerekir. Bu durumda diyod sağlamdır. Aksi halde diyod bozuktur.

Eğer elimizdeki diyodun anodunu ve katodunu belli değil ise ohm metrenin her iki probu diyodun iki ucuyla temas ettirir. Şekil C dedi gibi ohm metre yüksek direnç gösteriyorsa, siyah probun bağlı olduğu uç anodun kırmızı probun bağlı olduğu uç ise katodundur. Aşağı direnç gösterince diyod uçları tersinden testtir.

ni kılıf içerisinde açık ya da kapalı tiplerde imal edilirler.

## 7- Diğer Diyod Çeşitleri

### A) Dedektör Diyodu =

Sembol olarak redresör diyoduna benzer germanyumdan yapılmıştır. Modüleli radyo frekans sinyallerinin dedekte edilmesinde kullanılır. Bu nedenle 0,1V evarimda iletme geçer. Genellikle kılıfı camdır. Doğru polarizasyon altında çalışır.

### B) Anahtar Diyodu = 1N4148

Sekilde görüldüğü gibi normal diyod sembolüne, anahtar sembolü ile ifade edilir. Doğru polarize ediliğinde çok küçük gerilim altında kısa zamanda (nana saniye) iletme ve ters polarizasyonda yalıtıma geçen bir diyodur. Genellikle dijital elektronik devrelerinde ve yüksek frekans devrelerinde kullanılır.

### C) Schottky (Sakti) Diyodu =

10MHz ve daha üstündeki frekanslarda normal diyodlar çalışma uygulanan gerilimin yönü değiştiğinde hem yalıtık ya da iletken konumuna geçmezler. Bu nedenle sakti diyodlar geliştirilmiştir. Yüksek frekanslarda kullanılan bir diyod türüdür.

### D) Thyroctör Diyodu =

Uçlarına uygulanan gerilim, belirli bir değerin üzerine çıktığında kısa devreye geçen bir devre elemanıdır. Özellikle transformatör girişini korumak amacıyla kullanılır.



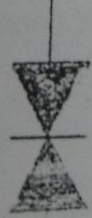
Dedektör Diyodu



Anahtar Diyodu



Sakti Diyodu



Thyroctör Diyodu

mekle LED elde edilmiştir. Devreye gerilim uygulandıktan sonra ışık PN bölgesinde oluşur ve ağızma yüzeyinin yan tarafından çıkar.

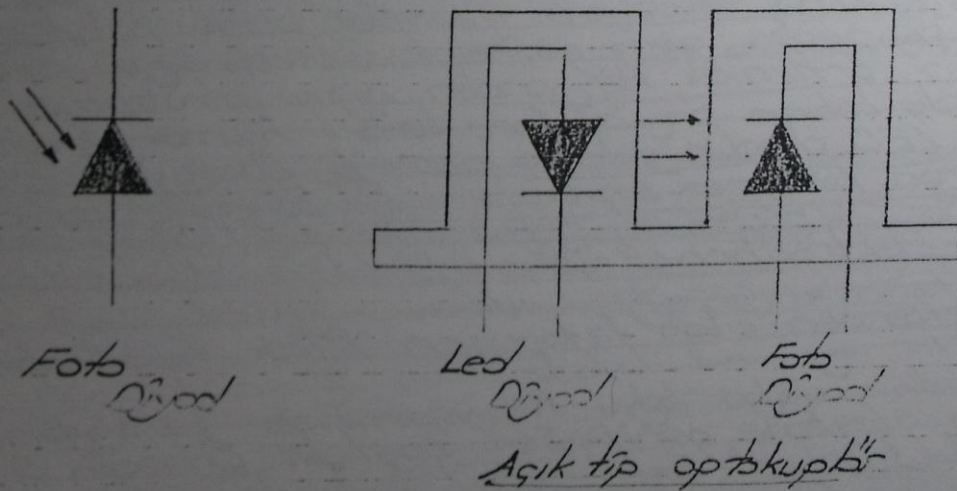
LEDlerin çalışma gerilimi ortalamaya 2 volt, akımı ise 10mA'den başlamak üzere üretici firmaların imalat kalitesine bağlı olarak LED akımı 70-80mA'e kadar ulaşmaktadır. Bir LED'i devreye bağlarken, LED gerilimi olan 2 voltun üzerindeki gerilimlerde LED diyod önüne gerilim düşürücü sağlamak amacıyla seri bir direnç bağlamak gerekir. Bu direncin değeri, kaynak geriliminden LED geriliminin çıkarılıp LED akımına bölünmesiyle bulunur.

Örneğin; LED'i bağlamak istediğimiz nokta 12V bölgeyi ve LED'inde 10mA akım geçtiğini biliyorsak, LED'e bağlanacak seri direnç;

$$R = \frac{12-2}{10} = \frac{10}{10} = 1K \text{ olarak bulunur.}$$

## 6- Foto Diyod

İşık duyarlı devre elemanıdır. Foto diyodlar ters polarite altında çalışır. Ters polarite edilen foto diyodun üzerine ışık düşmediği müddetçe diyod yalıtıktır. Birlesik yüzeyine ışık düştüğünde ise bu bölgedeki gerilim akım taşıyıcıları (elektron ve eklektarlar) miktarı artarak akımın ters yönde geçmesini sağlar. Foto diyoda gelen ışık miktarı ile diyodun geçen foto akım değeri orantılıdır. Gün ışığına duyarlı foto diyodların yanı sıra, kızıl ötesi ışık duyarlı foto diyodlara da mevcuttur. Bununla IR (infrakırmızı) foto diyodlar da vardır. Şekilde foto diyodun, sembolü ve birleşik kullanım olan optokuplör (Optocoupler) sembolü görülmektedir.

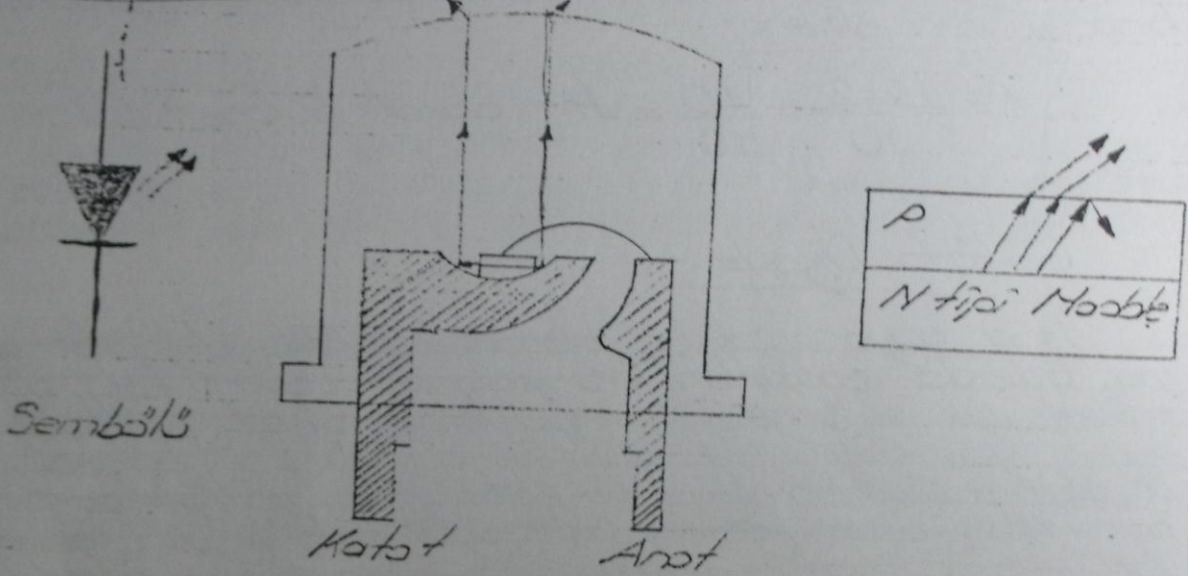


Şekilde görüldüğü gibi foto diyod tek başına kullanılabilir diği gibi, ışık kaynağı olarak kullanılan led diyoda birlikte ay-

nlırsa nötr bölge genişleyeceğinden kapasite azalır. Ters polarizasyon gerilimi azaltıldığından ise nötr bölge darabacağından kapasite artar. Netice itibarıyla varikap diyodun kapasitesi, üzerine uygulanan ters polarizasyon gerilimi ile ters orantılıdır. Yani gerilim arttıkça kapasite azalır. Gerilim azaldıkça kapasite artar.

Varikap diyodların kullanım alanları, FM alıcı ve verici devrelerinde, TV alıcısının tuner kollarında çok küçük değerli varyabil kondensatör yerine kullanılır. Varikap diyodların örnek olarak BB105, BB113, BB121, BB124 gösterilebilir.

### 5- Işık Yayan Diyot (LED) =



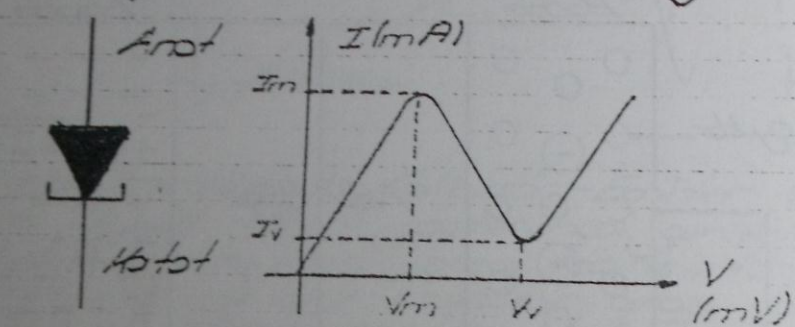
Işık yayan diyotlar (Light Emitting Diode) kısaca LED diyot diye bilinir. Kullanım yerleri tungsten filamentli, akkor lambaların yerine daha az güç harcayabildiğinden baskı kullanılır. Işık ve işaret için olarak kullanıldıkları gibi basıncı ölçme ve ölçü aletlerinde ışık göstergesi olarak kullanılır. Normal diyot gibi çalışmaz, aynı yapıya sahiptirler de oluşturan atom geçirecek ısı verimlere başlarlar. ısı ve ısıyı arttırmak her yönden ışık gönderilmesi için pbs-tek dir lambanın ön yüzüne ince lens mercek görevini yapar.

LED diyodun çalışma prensibi: Bazı yarı iletkenler çok elektron birleşmesi sırasında küçük zarcıklar halinde ısı yayırlar. PN birleşim eşi doğru polarizasyonda N tipi maddeye elektronlar P tipi maddeye doğru akarak birleşmesi sırasında ısı yayırlar. Işık yayarak enerji verirler. Bu yarı iletkenlerden çıkan foton yarı iletken tarafından yansıyıp emilemediği sürece ısı halinde dışarıya yayılır. Bu ışık yayan yapıların daha boyu PN yapımında kullanılan madde-lerin atomlarına gerilimine bağlıdır. Örneğin 2.26 Elektron Voltluk (Galyum-Fosfit) yeşil ışık verir. Galyum fosfit için ne kadar oksit ilave edilirse kırmızı renkte ısı yayarak N tipi madde üzerine çok ince P tipi madde düzlemler

Zener diyotlar çeşitli köşe gerilimlerinde imal edilmektedir. Zener diyod 3V, 4.7V, 6.2V, 7.5V, 8.2V, 9.1V, 12V, 13V, gibi 200V'a kadar çeşitli gerilim ve güçte yapılır.

### 3- Tünel Diyod ve Karakteristiği =

Tünel diyod, bir PN birleşim yüzeyinden oluşmakta bir litre P ve N tipi yarı iletkenlerin fiziksel yapılarının ve ziklerinde katkı maddelerinin yoğunluğu nedeniyle diğer PN diyodlardan çok farklı özellik göstermektedir. Şekilde "A" da sembolü, Şekil-B'de karakteristik eğrisi çizilmiştir.



-A- -B- Tünel diyodun Sembolu ve Karakteristik Eğrisi

Bu eğrinin incelenmesinden şu sonuçlar çıkarılır:

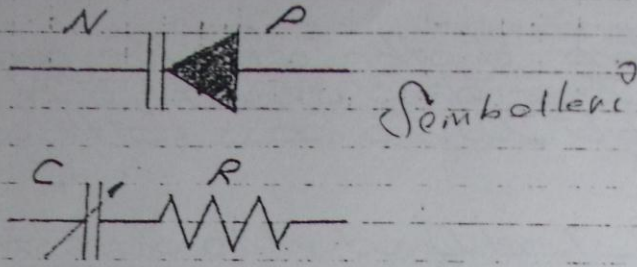
1. Tünel diyod ters yönde polarize edildiğinde  $I_m$  den oldukça büyük ters akım akar.
2. Tünel diyod doğru yönde polarize edildiğinde hemen  $I_m$  den akım akmaya başlar. Bu akımın değeri maksimumdur. Bu sırada gerilim  $V_m$  değerindedir. Bu gerilimden sonra akım değeri  $I_v$  olana dek düşer. Bu noktadan itibaren tünel diyod normal bir diyod gibi davranmaya başlar.

Tünel diyodun esas çalışma alanı  $V_m$  ile  $V_v$  arasında olacaktır. Bunun dışında gerilim arttıkça akım azalmakta ve dolayısıyla tünel diyod "negatif direnç" özelliği göstermektedir. Tünel diyodun bu şekilde çalışması uygun polarizasyon ile gerçekleştirilebilir ve diyod osilatör, yükseltici gibi diğer diyodların kullanılmadığı devrelerde ana görev yapar.

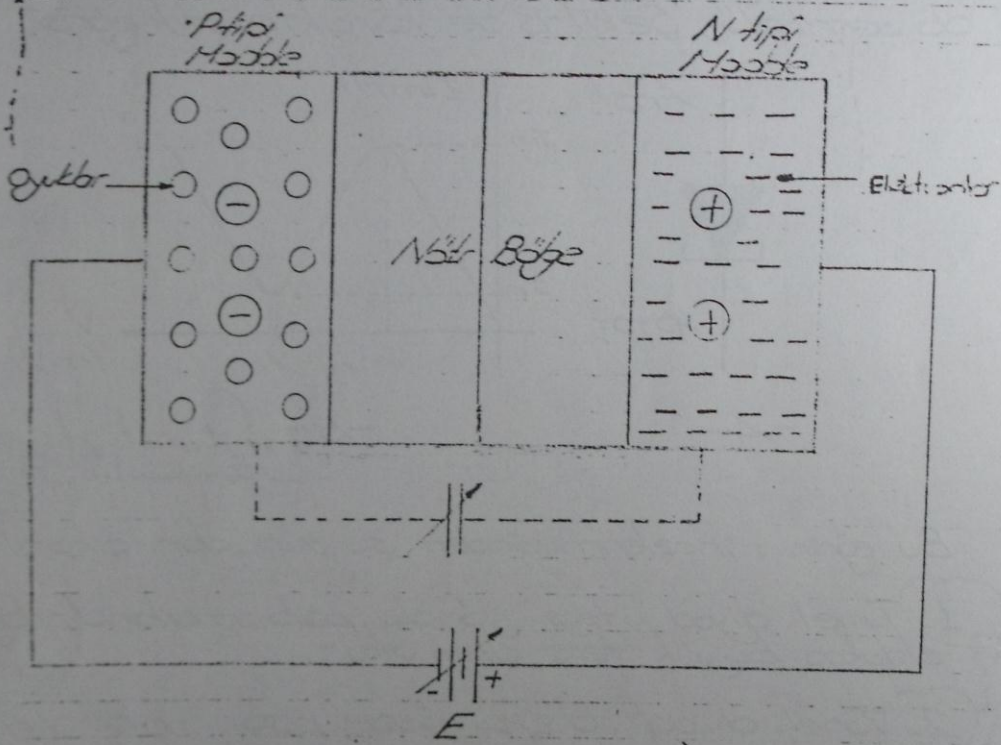
### 4- Açıklanabilir Kapasitör (Varikap) Diyodu

Varikap diyod P ve N tipi maddelerin yüzey yüzeye katılmasıyla oluşur. Bu yapıya geniş, ters polarizasyon altında çalışan bir tünel diyod eklenir. Şekilde anlatılan varikap diyodun sembolü ve açıklanan kapasite ile buna seri

amik dirençten meydana gelmiş eşdeğeri görülmektedir.



Bilindiği gibi normal diyodlarda ters polarizasyon altında P ve N tipi madde arasında bir gerilim setü meydana gelir. Bu gerilim setü pF cinsinden küçük bir kapasiteye eşdeğerdir.

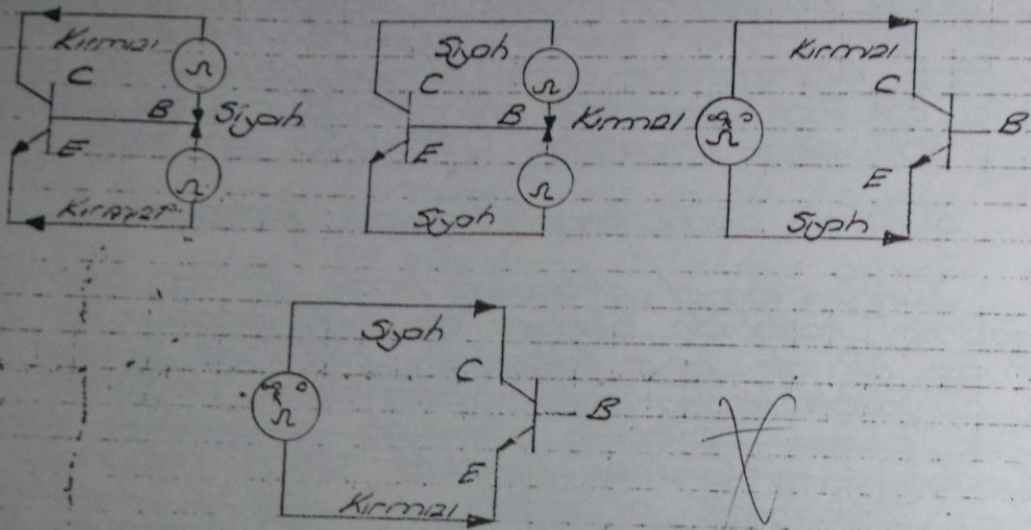


Daha önceki konuda açıkladığımız gibi P tipi madde ile N tipi maddeyi yüzey yüzeye temas ettirdiğimizde (DC gerilim uygulanmadıkça) çok kısa zaman içinde elektronlar  $E_{g}$  bir enerji farkına yaparlar ve bu bölgede küçük bir gerilim setü meydana gelir. Daha sonra bu bölgede hiçbir elektron yokluk fark edilmez. Bundan dolayı bu bölgeye nötr bölge adı verilir.

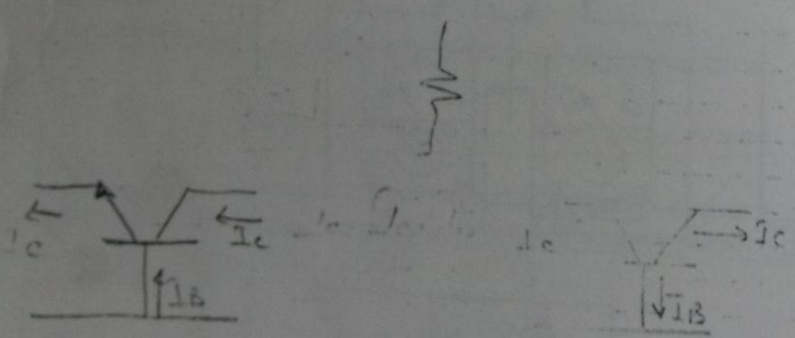
Şekilde görüldüğü gibi AV birleşmesine ters polarizasyon uygulanmadıkça katotun arkı kutbu P tipi madde içindeki  $E_{g}$  farkı olan kutbu, N tipi madde içindeki elektronları kendilerine çeker. Bu nedenle bu bölge nötr bölge olarak da bilinir.

Birbirine paralel iki iletken levha birbirinden bir dielektrik maddeyle yalıtılmıştır. Buna kondensatör adı verilir. Burada P ve N tipi maddeyi kullanarak bir dielektrik levha olarak nötr bölge ise yalıtım maddesi yerine gelir. Bu durumda oluşan ters polarizasyon gerilimi arttırır.

b) NPN tipi Transistör =



NPN tipi transistörde Kolektör-Emiter arasının her iki yönde de büyük direnç göstermesi gerekir. Kolektör-Emiter arası küçük direnç gösteriyorsa transistör bozuktur. Baz-Emiter ve Baz-Kolektör arası doğru polarizasyon edildiğinde küçük direnç göstermelidir. Ters polarizasyonda büyük direnç gösteriyorsa transistör sağlamdır. Aksi halde transistör bozuktur.



Musat DEREĞİ



$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

melî transistörlerin akım amplifikasyon katsayısı 1 den küçük olur ( $\alpha < 1$ ). Bu değer mümkün olduğu kadar yüksek olması için emiter akımını oluşturan elektronların beyzdeki çukurları birleşmesine engel olmak gerekir. Bu da beyz bölgesini çok ince yapmakla mümkün olur. Yüzeysel transistörlerin akım kazançları 0,85-0,99 arasında değişir.

b) Taban akım amplifikasyon katsayısı =  $\beta$

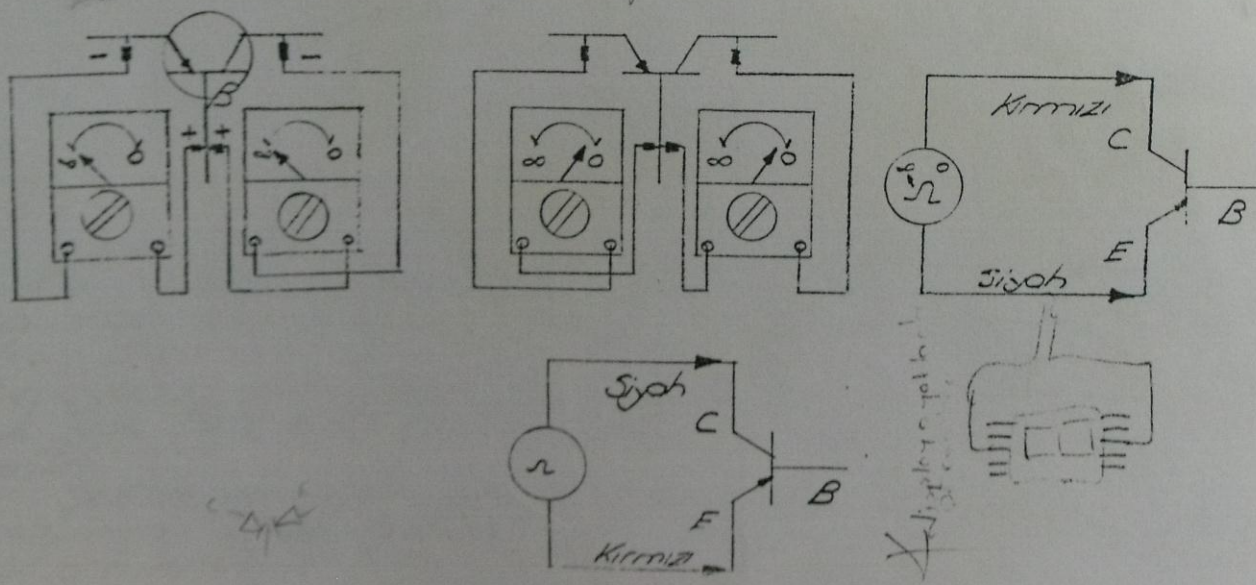
Yüzeysel transistörlerde emiter akımındaki bir değişime kolektör akımını da etkiliyor.  $\alpha$ 'nın 1'e yakın olması için de beyz bölgesinin çok ince olması gerekiyor. Bu nedenlerden taban akımındaki değişime ne kadar küçük olursa kolektör akımı da o oranda büyük olur. Bundan yararlanarak kolektör akımı değişimi ile beyz akımı değişimi arasında bir bağıntı kurulabilir. Bu bağıntıya taban akım amplifikasyon katsayısı  $\beta$  denir. Bu bağıntıyı şu şekilde ifade edebiliriz.

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \beta_{dc} = h_{fe} \cdot \frac{I_C}{I_B}$$

$$\alpha_{dc} = h_{dc} \cdot h_{fe} = \frac{I_C}{I_E}$$

c- TRANSİSTÖRÜN AVOMETRE İLE KONTROLÜ =  $I_E$

a) PNP tipi Transistör =



PNP transistörün de Kolektör-Emiter uçları arası her iki yönde de sınırsız direnç göstermesi gerekir. Aksi takdirde transistör bozuktur. PNP transistörün Beyz-Emiter ve Beyz-Kolektör uçları doğru polarizasyonda çalışmadıkça sınırsız direnç göstermez. Bu da doğru polarizasyonda sınırsız direnç göstermesi gerekir.

Sekibaki devrede Vcc bataryası emiter-bez arasını, de-  
griye etmektedir. Böylece transistörün çalışma şartı sağlanmıştır.

Vcc bataryasının (+) ucu P tipi emitere bağlı olduğundan emi-  
terdeki çoğu yük akım taşıyıcısı olan yükler, beze doğru  
Vcc bataryasının eksi ucuna P tipi kolektöre bağlı ol-  
duğu için yüklerin hareketi, ters yönde hareket eden  
elektronların hareketiyle sabittir. Örneğin Vcc bataryasının  
eksi ucundan çıkan 99 elektron kolektöre girerse, bu elekt-  
ronlar emitere geçecek geride 99 yük kalır. Beze den e-  
mitere bir elektron geçerse arkasında bir yük bırakır.  
Böylece emiterde 100 yük eksilmiştir. Bu yükleri de-  
ğeri elektronlar kolektör ve bezedeki yükleri doldurmak ü-  
zere Vcc bataryanın artı ucuna gider. Bataryanın ucundan  
çıkan 100 elektronun biri bezedeki yükü doldururken  
99 ucu Vcc bataryasının artı ucuna gider. Vcc bataryasının  
eksi ucundan çıkan 99 elektron da kolektördeki 99 yükü dol-  
durur. Burada konunun rakkamsal örneklerle anlatılmasının  
anlamı; emiter, kolektör, bez akımları arasındaki ilişkiyi  
anlatır olarak açıklanmıştır.

Sonuç olarak PNP transistöründe de emiter akımı, bez ve kolektör akımlarının toplamına eşittir.

$$I_E = I_B + I_C$$

## B- TRANSİSTÖRLERDE YÜKSELTME İŞLEMİNİN GERÇEK LEŞTİRİLMESİ =

1)  $\alpha$  (Alfa) ve  $\beta$  (Beta) Akım Kazançlarının Bulunması =

a) Akım amplifikasyonu kat sayısı =  $\alpha$

Yüksek değerli transistörlerde akım amplifikasyonu olarak  
kolektör akımındaki değişimin emiter akımındaki değişime  
kare akım olarak ifade edilir.

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

Emiter elektronları emiter-bez değişim yönünden geçeri-  
len yönde birleşme yönü tarafından çekilir ve kolektör-azımsu  
akımların birleşiminde birleşiminde birleşiminde birleşiminde  
birleşiminde birleşiminde birleşiminde birleşiminde birleşiminde  
değişim kolektör akımında da bir değişime neden olur. Bunu  
ifade etmek için yazılır.

$$\Delta I_E = \Delta I_C + \Delta I_B \text{ olur.}$$

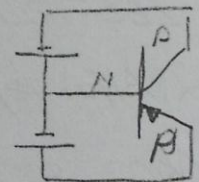
Bu ilişkilerden de anlaşılacağı gibi emiter akım değişimi  
kolektör akım değişiminden fazla olur. Bu nedenle yük değ-

Şekildeki devrede  $V_{BB}$  bataryası beyz-emiter arasını doğru polarize,  $V_{CC}$  bataryası ise beyz-kolektör arasını ters polarize etmiştir. Böylece transistörün çalışma şartı yerine gelmiştir. Buna NPN transistörün doğru polarizasyonu denir.

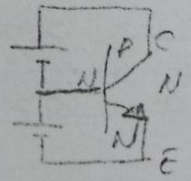
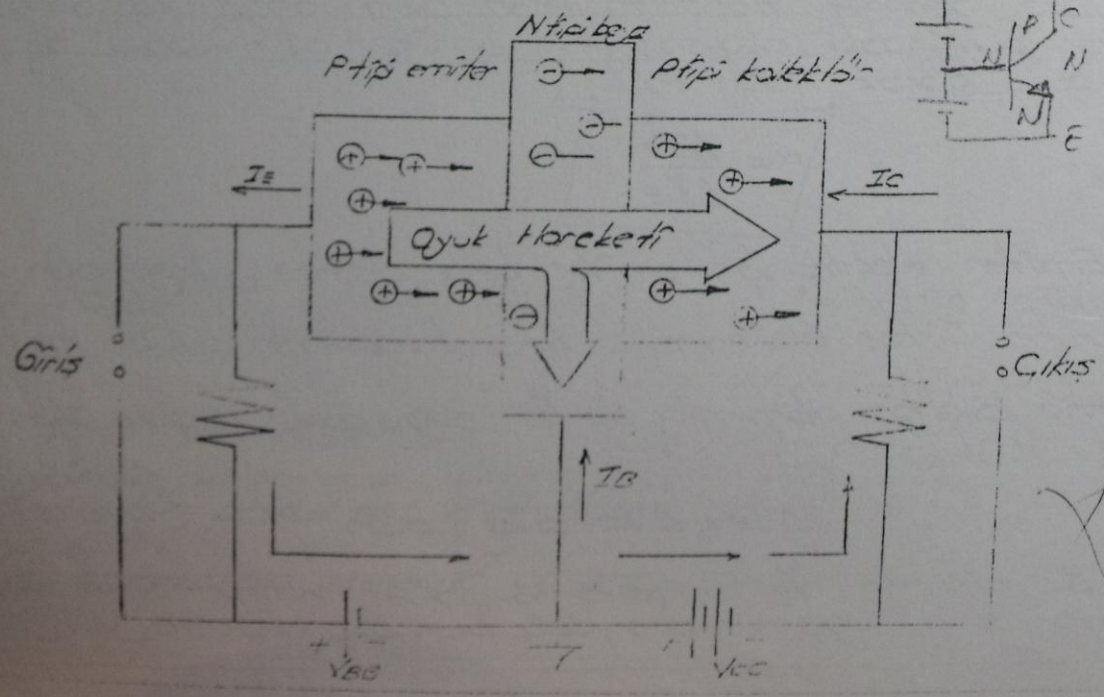
NPN tipi transistörde emiteri meydana getiren N maddesine kolektör ve beyz aranda daha fazla katkı maddesi katıldığından emiter kolektöre nazaran elektron yönünden zenginlerdir.

Emiter-beyz arası doğru polarize edildiğinden  $V_{BB}$  bataryasının eksi ucu emiterdeki elektronları beyz bölgesine doğru iter. Beyz bölgesine giren emiter elektronları az miktarda eşik birleşirler. Emiter elektronlarının hepsinin beyzdeki eşik birleşmesi mümkün olmaz. Çünkü beyz bölgesi oldukça ince dir ve kolektördeki  $V_{CC}$  bataryasının artı ucu bu elektronları büyük bir kuvvetle kendine doğru çeker. Örneğin emiterden 100 elektron beyz bölgesine geçtiğine kabul edersek, bu elektronlardan bir kısmı beyzde eşik birleşirken, diğer 99 elektron kolektör bölgesine geçer. Emiterden beyz bölgesine geçen her elektron için  $V_{BB}$  bataryasının eksi ucundan emiterden bir elektron çıkaran kolektöre geçen her elektron için kolektörden de bir elektron çıkar.  $V_{CC}$  bataryasının artı ucuna giden beyz bölgesinde eşik birleşen elektronlar da  $V_{BB}$  bataryasının artı ucu tarafından çekildiklerinden beyzden çıkarak  $V_{CC}$  bataryasının artı ucunda olurlar. Sonuç olarak emiterden beyz ve kolektöre akımın geçmesi sağlanır.

$$I_E = I_B + I_C$$

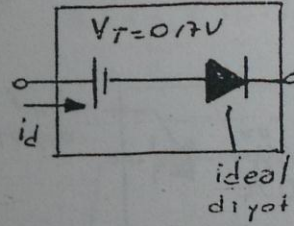
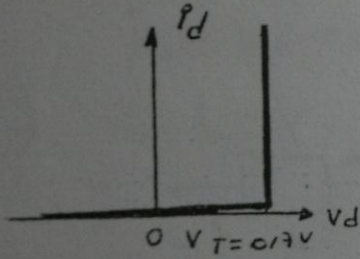


b. PNP Transistörün Çalışması =



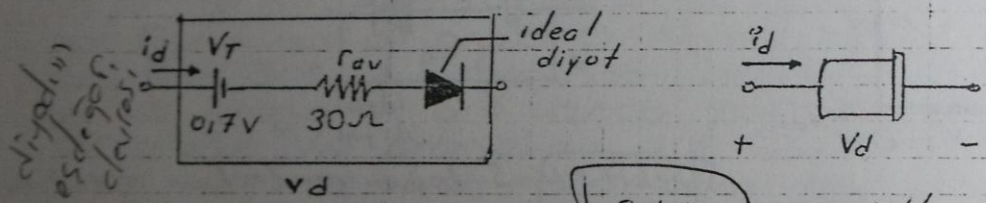
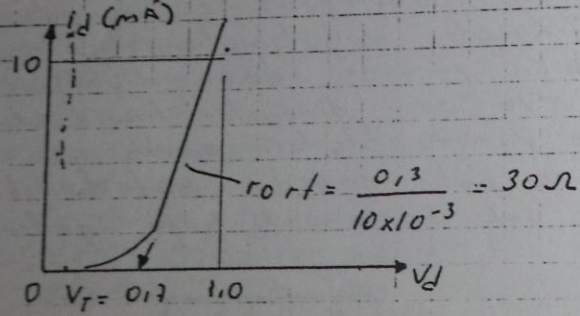
Bir çök uygulama için  $r_{ort}$  direnci devrenin diğer elemanlarına kıyasla gözardı edilebilecek kadar küçüktür. Eşdeğer devreden  $r_{ort}$ 'nin çıkartılması diyot karakteris-  
tiğinin Şekil 1.26'da gösterildiği gibi olduğunu söyle-  
mekle aynı şeydir. Gerçekten de bu yaklaşım yarı iletken dev-  
re analizinde sıkça kullanılır. İndirgenmiş eşdeğer devre  
aynı şekilde görülmektedir. Şekil, d.c şartlarındaki bir  
elektronik sistemdeki ileri yönde öngerilimlenmiş bir  
silisyum diyodun diyot ekimi ne olursa olsun (tabii ki nomi-  
nal değerleri karşısında)iletim durumundayken 0.7V luk  
bir gerilim düşümü olduğunu göstermektedir.

Aslında şimdi bir adım daha ileri gidip uygulanan  
gerilimlerle kıyasla 0.7V'un yalnızca ideal diyodu yarı  
iletken demanın eşdeğeri olarak bırakarak, çoğu durum  
da göz ardı edilebileceğini söyleyebiliriz. Bu nedenle sonra-  
ki bölümlerde ele alınacak uygulamaların bir çoğunda  
komple eşdeğer devrenin yerine ideal diyotlar kullanılmış  
tır. Düşük gerilimler veya seri dirençler hariç olmak üzere  
elde edilen bu devre yanıtı hiç bir zaman gerçek yanıtın  
çok farklı değildir. ve çok sayıda matematiksel işlem  
yapılması uygulamayı çok kormazık hale getirmez.



Şekil 1.26 Silisyum yarıiletken diyot için  
kısmen doğrusal eşdeğer devreler.

Bir diyot için eşdeğer devre elde etme tekniklerinden biri. Şekil 1.25'de gösterildiği gibi, düz-sizgi parçaları (segmentleri) ile elemanın karakteristiklerine yaklaşıma çalışmaktadır. Bu tür eşdeğer devreye, parçaları doğrusal eşdeğer devre denir. Eğrilerden görüleceği üzere düz-sizgi parçaları tam bir eşdeğerlilik sağlanamaz. Ancak en azından us davranışları için, bir ilk yaklaşım sağlayacaktır. Her durumda seçilen direnç, (Denklem (1.9) ile tanımlanan ortalama ac direncidir. Şekil 1.25'de eşdeğer devre eğrinin altında görülmektedir.



Şekil 1.25 Yarı iletken bir diyot için parçaları doğrusal eşdeğer devreler

İdeal diyot, elemanda sadece bir yönde iletimin söz konusu olduğunu ve tersine engellenme durumunun, ağıt devre durumu olduğunu göstermek için kullanılır.

Bir silisyum yarı iletken diyonu, yaklaşık 0.7V'a varmadan iletin ("ateşleme") durumuna geçmediği için, eşdeğer devrede bu değere karşı koyan bir VT pil geriliminin görünmesi gerekir. Bu ise, eşdeğer devredeki ideal diyot ileri yönde öngerilimlemeden önce diyot üzerinde düşen toplam ileri yönde gerilimi Vd'nin VT'den daha büyük olması gerektiğini gösterir.

Ancak VT'nin bir sistem içerisinde bağımsız bir enerji kaynağına olmadığına dikkat edin. Basitçe bir voltmetre, ya tutulmuş bir silisyum diyot üzerinde VT=0.7V'lık bir gerilim ölçümü göstermeyecektir. Bu sadece yarı iletken diyu da ilişkin yata kaynağı temsil etmek için yararlı bir araçtır. Rort değeri genelde sadece bilgi saygılarında verilen bir kaç sayısal değer kullanılarak hesaplanabilir. Bu nedenle bu hesaplar için tüm karakteristikçe genelde ihtiyaç duyulmaz. Örneğin bir yarı iletken diyot için  $I_V = 10 \text{ mA}$  ise karakteristik yükselmeden önce silisyum diyot için 0.7V'lık bir kaymanın gerekli olduğunu biliyoruz. Buradan  $r_{ort} = \frac{1-0,7}{10 \text{ mA}} = \frac{0,3}{10 \text{ mA}} = 30 \Omega$  sonucunu buluruz.

ÖRNEK 1.1

Şekil 1.23'deki karakteristik için:

1. bölge için  $r_d$  direncini bulun.
2. bölge için  $r_d$  direncini bulun.
- (a) ve (b) kısımlarının sonuçlarını karşılaştırın.

Çözümü:

(a) 1. bölge için

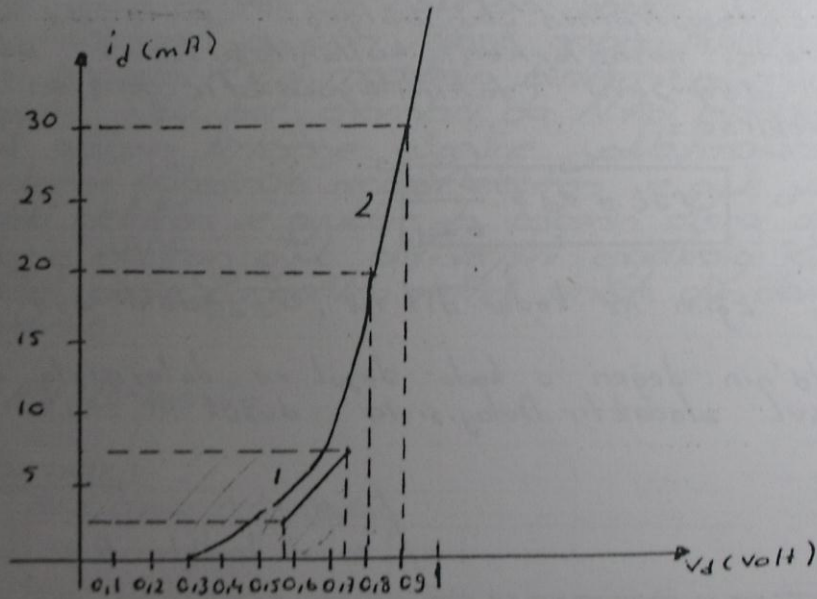
$$\Delta V_D \approx 0,17 - 0,157 = 0,013 \text{ V} \quad \Delta I_D = (6 - 2) \text{ mA} = 4 \text{ mA}$$

$$\text{ve } r_{d1} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0,013 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 3,25 \Omega$$

(b) 2. bölge için

$$\Delta V_D \approx 0,8 - 0,78 = 0,02 \text{ V} \quad \Delta I_D = (30 - 20) \text{ mA} = 10 \text{ mA}$$

$$\text{ve } r_{d2} = \frac{0,02 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \Omega$$

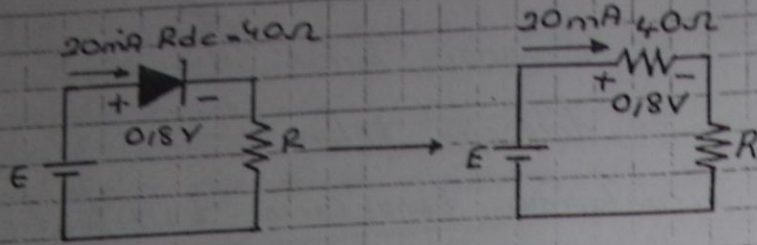


Şekil 1.23

(c)  $r_{d1} : r_{d2}$  oranı =  $3,25 : 2 = 1,625 : 1$ .

### 1.10 EŞDEĞER DEVRELER DİYOT MODELLERİ

Eşdeğer devreler, eleman sistem vs'nin gerçek uç uç karakteristiklerini en iyi temsil edecek uygun bir elemanlar kombinasyonudur. Yani bir kez eşdeğer devre belirlendiğinde, eleman sembolleri semadan çıkartılıp yerine sistemin genel davranışı önemli ölçüde etkilenmeksizin eşdeğer devre konabilir.



Şekil 1.21

### 1.8 AC VEYA DİNAMİK DİRENCİ

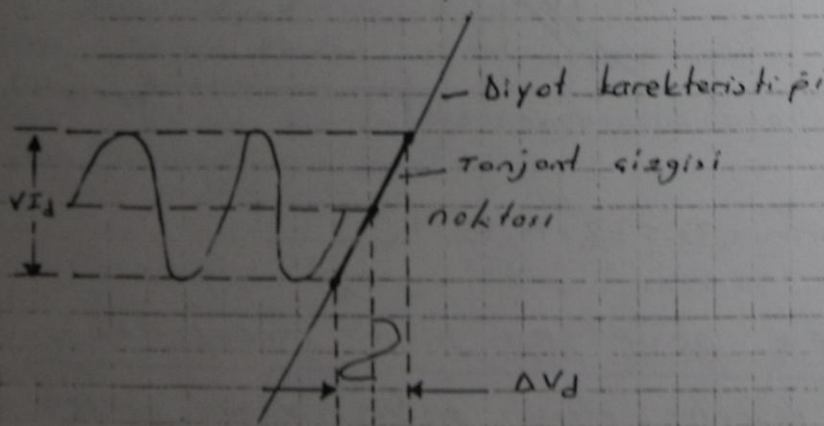
Şekil 1.20 den açıkça görülebileceği gibi bir diyodun dc direnci, söz konusu noktayı çevreleyen bölgedeki karakteristikinin biçiminden bağımsızdır. Doğru gerilimi yerine sinüsoidal bir giriş uygulandığında durum tamamiyle değişecektir. Değişken giriş, karakteristikinin bir bölgesinde anlık çalışma noktasını aşağı-yukarı hareket ettirecek ve Şekil 1.22'de gösterildiği gibi akım ve gerilimde özel bir değişimi gösterecektir. Değişken bir sinyal uygulanmadığı takdirde çalışma noktası uygulanmış dc düzeyleri tarafından belirlenen ve Şekil 1.22'de gösterilen Q-noktası olacaktır. Q-noktası terimi "hiç değişmeyen düzey" anlamına gelen quiescent (sükunet) kelimesinden türetilmiştir.

Q-noktasından geçen eğriye çizilen teğet, diyot karakteristikinin bu bölgesi için ac veya dinamik direnci hesaplamak için kullanılabilir. Akım ve gerilimde ki değişimi tanımlayacaktır. Denklem şeklinde yazmak gerekirse:

$$r_{ac} = r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

Eğim ne kadar dik ise,  $\Delta I_d$ 'daki aynı değişmeye karşılık

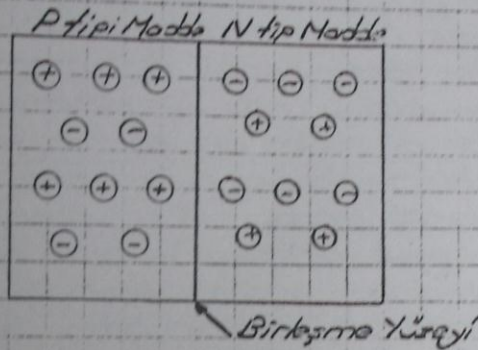
$\Delta V_d$ 'nin değeri o kadar düşük ve dolayısıyla direnç de o kadar küçük olacaktır. Dolayısıyla düşük



akım düzeylerinde ac direnci çok daha büyükken, karakteristikin düşük yatkın bölgesindeki ac direnci oldukça küçüktür. 6

## A- DİYODUN TEMEL YAPISI

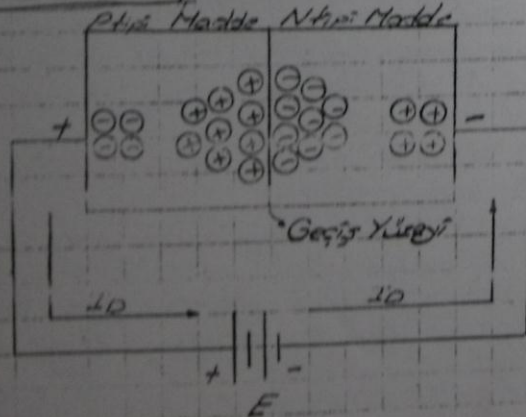
## 1- Polarizasyonlu PN Birleşimi =



Şekilde görüldüğü gibi P tipi madde ile N tipi maddeyi yüzey yüzeye temas ettirdiğimizde PN birleşmeli kristal diyodu elde etmiş oluruz. PN birleşmesi gerçekleştiğinde ilk anda N tipi maddedeki elektronlar P tipi maddeye geçerek oyukları doldurur gibi bir düşünce yanlış olur. Çünkü her iki madde de kristal yapı olarak dengelidir ve nötrdür. Ancak çok az miktarda elektron P tipi maddeye geçerek elektron oyuk birleşmesi meydana gelir. Elektronlar, oyukların tamamen birleşmemelerinin nedeni: N tipi maddenin birleşme yüzeyine yakın bölgesinde bulunan pozitif yüklü arsenik atomları, P tipi maddedeki oyukları itererek onların birleşme yüzeyine yaklaşmalarını engeller. P tipi maddenin birleşme yüzeyine yakın bölgesindeki negatif yüklü bor atomları da N tipi maddedeki elektronları hareket onların birleşme yüzeyine yaklaşmalarını engeller. Dolayısıyla birleşme bölgesinde serbest elektron ve oyuk yok kalır. Bu bölgedeki elektron ve oyuklar bu bölgenin dışına doğru itilmişlerdir. Bu bölgeye elektron oyuk alış-verişini engellediği için engel veya gerilim setti denir. Bu gerilim settiyi ancak dış devre gerilimini ortadan kaldırılır.

## 2- Polarizasyonlu PN Birleşimi =

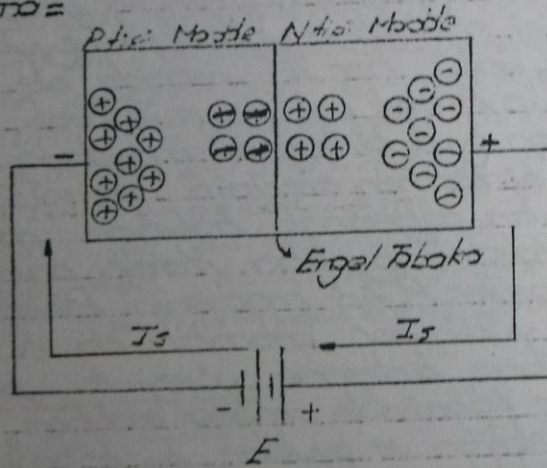
## a) Doğru Polarizasyon =





Şekilde görüldüğü gibi kaynağın artı ucunu P tipi maddeye eksi ucunu N tipi maddeye bağlayarak PN birleşmesi doğru polarize edilmiş olur. PN birleşme yüzeyinde gerilim setli olarak kalır. Çünkü E gerilim kaynağının eksi ucu N tipi maddedeki elektronları birleşme yüzeyine doğru iten artı ucu da P tipi maddedeki boşluk birleşme yüzeyine doğru iter. N tipi maddeden P tipi maddeye bir elektronun geçtiğini kabul ederseniz N tipi madde de bir elektron eksilmiştir P tipi madde de bir elektron artmıştır. N tipi madde de eksilen bir elektronun yerine kaynağın eksi ucunda bir elektron olarak N tipi maddeye girer ve N tipi madde de eksilen bir elektron yerine geçer. P tipi madde de fazla olan bir elektron da kaynağın artı ucu tarafından çekilerek P tipi maddeden olarak kaynağın artı ucuna girer. Bu açıklama örneğin bir kristal yapı içerisinde geçen olumsuz bir elektron birleşme yüzeyinde elektron yük birleşmesi olarak anlatılmıştır. Halbuki küçük bir kristal yapı içerisinde geçen olumsuz bir elektron birleşme yüzeyinde elektron yük birleşmesi neticesinde DC gerilim kaynağının eksi ucundan çıkan elektronların doğru polarize edilen PN birleşmesinden geçerek kaynağın artı ucunda devresini tamamlayar.

b) Ters Polarizasyon =



E gerilim kaynağının artı ucunu N tipi maddeye eksi ucunu P tipi maddeye bağladığımızda PN birleşmesi ters polarize edilmiş olur. P tipi maddeye bağlı bulunan kaynağın eksi ucu boşlukları kendine doğru çekecektir. Kaynağın artı ucu da N tipi maddedeki elektronları kendine doğru çekecektir. Şekilde görüldüğü gibi elektronlarla boşluklar zıt yönde uzaklaşmaları için birleşme yüzeyinde gerilim bir engel tabakası meydana gelir. Elektron yük birleşmesi engellendiğinden PN birleşmesinden akım geçemez. Ancak daha önce belirttiğimiz gibi ideal P tipi madde veya N tipi madde ekle etmek oldukça zordur. Burada dolayı N tipi maddedeki azınlık akım taşıyıcısı olan boşluklarla, P tipi maddedeki azınlık akım taşıyıcısı olan elektronlarla birleşme yüzeyinde gerilim bir engel tabakası meydana getirir. Devreden geçen  $I_s$  akımı, PN birleşmesinin gerilimi fazla derecede artırır. Kristal yapısında bazı maddeler setlidir. Devreden geçen  $I_s$  akımı, azınlık akımından artarak PN birleşmesi bazıları ve düz bir şekilde her iki yönde akım geçirecek hale gelir.

bölgeyi (Şekil 1,11 b'nin sağ üst bölgesi) dikkate alacak olursak, Ohm kanunu ile belirlenen ileri yön direnci  $R_f$ 'nin değerini;

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0}{2,3 \text{ mA}} = 0 \Omega$$

veya pozitif değer

olduğunu buluruz; burada  $V_f$ ' diyot üzerindeki ileri yön gerilimini ve  $I_f$  ise diyottan geçen ileri yön akımıdır. Bu nedenle ideal diyot, ileri yönde iletim için bölgeyi için kısa devre elemanıdır. ( $i_d \neq 0$ ).

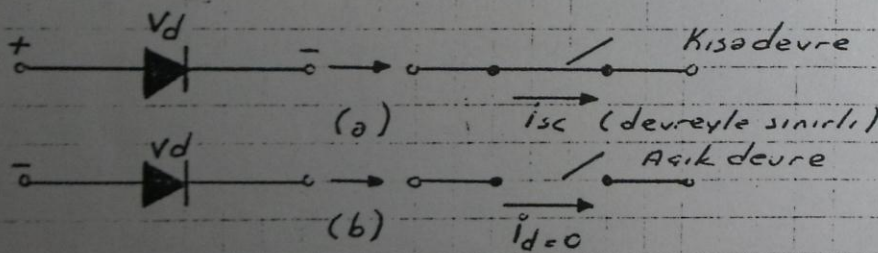
Şimdi Şekil 1,11 b'nin ters yönde uygulanan potansiyel ilişkin bölümüne (üçüncü seyrek) bakalım olursak,

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5,20}{0} \text{ veya ters yönde herhangi bir potansiyel değeri}$$

= Çok büyük sayı, ancak uygun olması için sonsuz ( $\infty$ ) kabul edeceğiz.

Burada  $V_r$ , diyot üzerindeki ters yön gerilim ve  $I_r$  ise diyottan ters yönde akan akımdır. Bu nedenle ideal diyot, iletimin olmadığı bölgede bir açık devre elemanıdır. ( $i_d = 0$ )

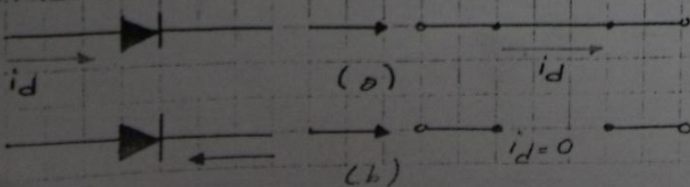
Özetle Şekil 1,12'de gösterilen koşullar geçerlidir.



Şekil 1,12 Uygulanan öngerilimlemeye göre ideal diyodun iletim ve iletmeme durumları

Genelde uygulanacak gerilimin oluşturacağı akım yönüne ( $i_d$ ) bakarak bir diyodun iletim veya iletmeme bölgesinde olup olmadığını anlamak nispeten kolaydır. Klasik akış yönü (elektron akımının ters yönü) için eğer akan akım, diyodun sembolü üzerindeki oku ile aynı yönde sahipse, diyot iletim bölgesinde çalışıyor demir. Bu Şekil 1,13'de gösterilmiştir.

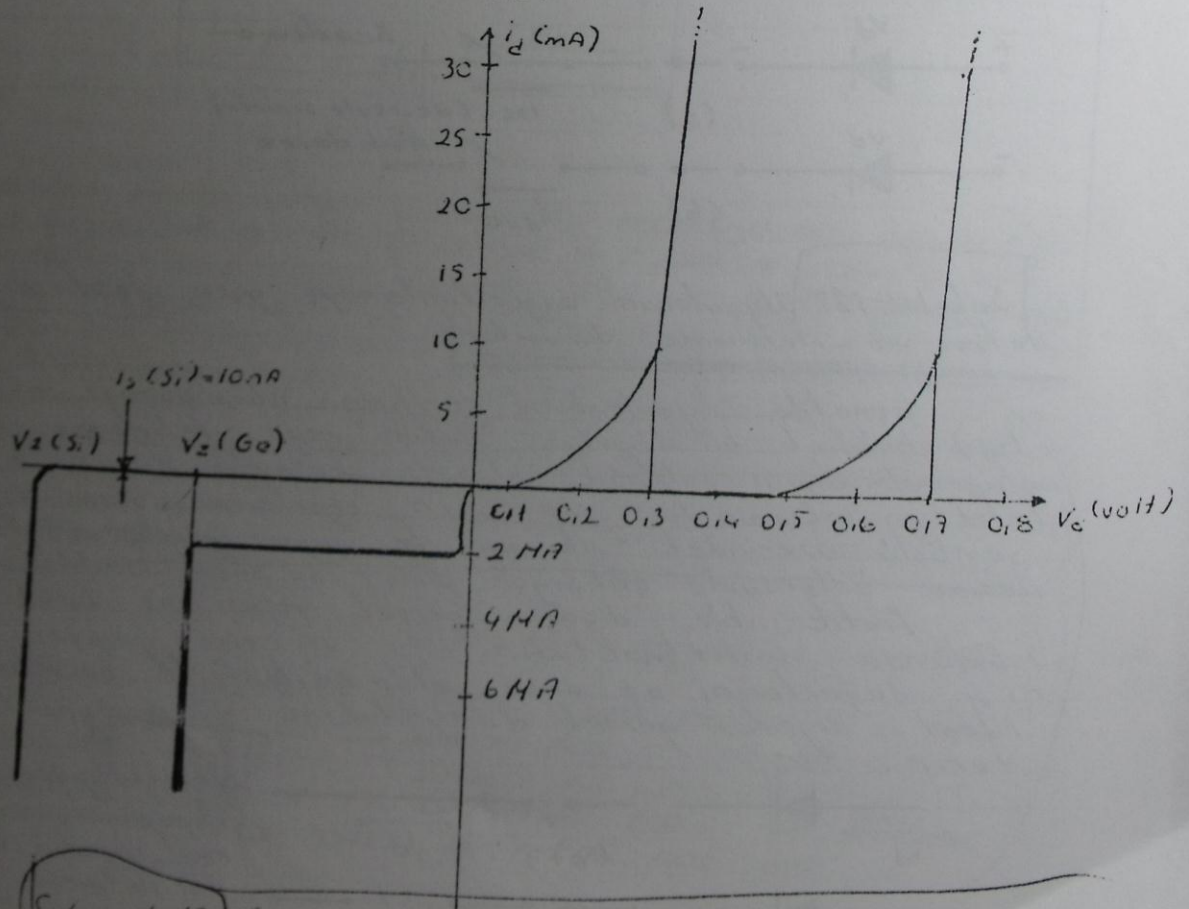
Pratik bir diyodun gerçek yapısı ve karakteristikleri 2. Bölümde anlatılmaktadır. İleri ve ters yöndeki dirençlerin değerlerini az önce elde edilenlerle karşılaştırma ve ideal diyodun gerçek dünyadaki uyup uyumadığına karar veririz.



Şekil 1,13 - Uygulama devresinin akım yönüyle belirlendiğinde ideal diyodun (a) iletim ve (b) iletmeme durumları.

## 1.6 Zener Bölgesi

Şekil 1.19'da verilen  $V_z$  ters yönde öngerilimlenme potansiyeli altında (Z, Zener odunun baş harfidir) karakteristiğinin nasıl keskin biçimde değiştiğine dikkat edin. Bu sabit gerilim etkisi, diyet üzerindeki ters yönde büyük bir ön gerilim düzeyinden kaynaklanmaktadır. Uygulanan ters yönlü potansiyel negatif yönde daha da artırıldıkça az sayıda serbest uzunluk taşıyıcısının, iyonizasyon yolu ile ek taşıyıcıları serbest hâle getirebilmeye yetecek hız kazandıkları bir noktaya ulaşacaktır. Yani, volar elektronları ile çarpışacak ve bunlara ona atımları kopmalarını sağlayacak yeterlilikte enerji aktarılacaktır. Ardından bu ek taşıyıcılar, yüksek bir çığ akımının oluşturulup, çığ kırılma bölgesinin belirlendiği noktaya kadar iyonizasyon sürecine katkıda bulunabilirler. Çığ bölgesi ( $V_z$ ), p- ve n- tipi malzemelerdeki katkı düzeyleri, yükseltiyerek düşey eksene daha da yaklaştırılabilir. Anot,  $V_z$  örneğinin -5V gibi çok düşük düzeylere indirilirse, Zener kırılması ~~hale~~ denen başka bir mekanizma karakteristeki keskin değişime katkıda bulunacaktır. Bu olay, jonksiyon bölgesinde, atomdaki bağları koparabilecek ve taşıyıcı "üretilenilecek" güçlü bir elektrik alanının bulunmasından kaynaklanır. Her ne kadar Zener kırılması ancak düşük  $V_z$  düzeylerinde önemli bir katkı durumuna da olsada, karakteristik üzerinde herhangi bir düzeyde keskin değişimin olduğu bölgeye, Zener bölgesi ve p-n jonksiyonunun karakteristiğinin bu özgen kısmını kullanan diyetlerde Zener diyetleri denir. Bunlar 3. Bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



Şekil 1.19) Si ve Ge yarı iletken diyetlerin karakteristikleri.