

## KÜÇÜK SİNYAL YÜKSELTEÇLERİ

### Konular:

- 6.1 Küçük sinyal yükseltme işlemi
- 6.2 Transistörün ac eşdeğer devreleri
- 6.3 Ortak emiterli yükselteç
- 6.4 Ortak beyzli yükselteç
- 6.5 Ortak kolektörlü yükselteç
- 6.6 Çok katlı sistemler
- 6.7 Onarım

### Amaçlar:

- Küçük sinyal yükselteçlerinin tanıtımı ve özellikleri
- Transistörlerin ac parametreleri
- Ortak emiterli yükselteç devresinin özellikleri, çalışması ve analizi
- Ortak beyzli yükselteç devresinin özellikleri, çalışması ve analizi
- Ortak kolektörlü yükselteç devresinin özellikleri, çalışması ve analizi
- Çok katlı (kaskat bağlı) yükselteç devrelerinin çalışmaları ve analizi
- Yükselteçlerde arıza tipleri ve onarım

Bu bölümde transistörün yükselteç olarak nasıl çalıştırılacağını öğreneceksiniz. Yükselteç tasarımında dikkat edilmesi gereken özellikleri belirleyip, küçük işaretlerin nasıl yükseltildiğini göreceksiniz.



## 6.1 KÜÇÜK SİNYAL YÜKSELTME İŞLEMİ

Önceki bölümde bir transistörün çalışabilmesi için dc polarlamaya gereksinim duyduğunu belirtmiştik. Polarlama işlemi sonunda transistörün çalışma bölgesini belirleyip işaret işlemeye hazır hale getirmiştik. Tüm hazırlıklar transistörü bir yükselteç (amplifier) olarak çalıştırmaya hazırlamaktı. Bu bölümde transistörün küçük işaretleri nasıl yükselttiğini irdeleyeceğiz.

Transistörlü yükselteç devreleri genellikle küçük sinyal ve güç yükselteçleri olmak üzere iki temel bölümde incelenir. Örneğin; mikrofon, anten v.b cihazların çıkışlarından alınan işaretleri yükseltmek amacı ile kullanılan yükselteç devreleri küçük sinyal yükselteçleri olarak adlandırılır. Bu tür yükselteçler girişlerine uygulanan küçük işaretlerin gerilimlerini yükselterek çıkışa aktarırlar.

Bu bölümde sıra ile;

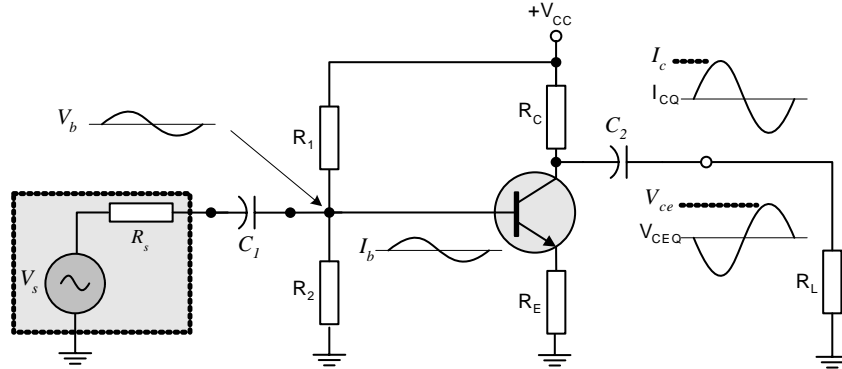
- Yükselteç devrelerinde ac ve dc işaretlerin nasıl gösterildiğini
- Küçük sinyal yükselteçlerinde yükseltme işleminin nasıl gerçekleştirildiğini
- Ac işaretler için yük doğrusunun analizini

Öğreneceksiniz.

Yükselteç devrelerinin analizi iki temelde yapılmaktadır. Bunları kısaca dc çalışma şartlarının analizi ve ac çalışma şartlarının analizi olarak tanımlayabiliriz. Yükselteç devrelerinde dc işaretlerin tanımlanmasında genellikle alfabenin büyük harfler kullanılır.  $I_E$ ,  $V_{BE}$  ve  $V_{CE}$  v.b gibi. Oysaki ac işaretlerin çeşitli değerleri vardır. Etkin (rms) değer, tepe değer (peak), tepeden tepeye (peak-to-peak), etkin (rms) değer gibi. Genel bir kabul olarak ac işaretler tanımlanırken alfabedeki küçük harfler italik formda kullanılır. Örneğin;  $i_c$ ,  $i_b$ ,  $v_{ce}$ ,  $v_{be}$  v.b gibi. Örneğin bir transistörün ac işarete karşı gösterdiği emiter direnci  $R_e$ , olarak dc işarete gösterdiği emiter direnci ise  $R_E$  olarak tanımlanır.

### Küçük Sinyal Yükselteci

Tipik bir küçük sinyal yükselteç devresi şekil-6.1'de verilmiştir. Yükseltilecek sinusoidal işaret transistörün beyz terminaline uygulanmıştır. Yükseltilmiş çıkış ise transistör kollektör terminalinden  $R_L$  yükü üzerine alınmıştır.  $R_s$  direnci ac işaret kaynağının iç direncidir. Transistörün polarlama gerilim ve akımlarını girişteki ac kaynaktan ve çıkıştaki  $R_L$  yükünden yalıtılmak amacı ile  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörleri kullanılmıştır.



Şekil-6.1 Gerilim bölücü polarmalı küçük işaret yükselteç devresi

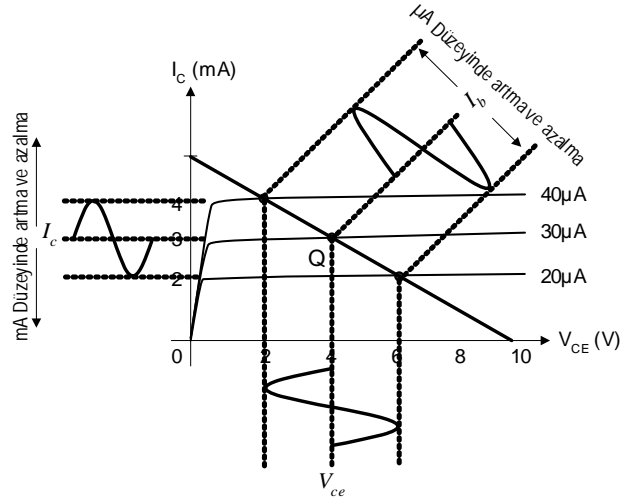
Başlangıçta yükselteç devresine ac işaretin uygulanmadığını, sadece dc kaynağın var olduğunu kabul edelim. Doğal olarak dc kaynak, transistör polarmasını sağlayacak ve çalışma noktasını belirleyecektir. Transistörün aktif bölgede çalıştığını kabul edelim. Bu durumda transistör iletimdedir. Belirli bir dc kollektör akım ( $I_c$ ) ve gerilimine ( $V_{CE}$ ) sahiptir. Transistör artık yükseltme işlemine hazırdır. Çünkü aktif bölgede çalışıyor.

Şimdi transistörün beyz'inden küçük genlikli bir sinüsoydal işaretin uygulandığını varsayalım. Sinüsoydal işaretin pozitif saykılı beyz akımında artmaya neden olacaktır. Beyz akımının artması kollektör akımında da artmaya neden olacaktır. Giriş sinüsoydal işaretinin sıfıra inmesi durumunda ise mevcut beyz akımı değeri transistörün Q çalışma noktasındaki değere geri dönmesine neden olacaktır. Giriş sinüsoydal işaretinin negatif saykılı ise beyz akımını azaltıcı yönde etki edecektir. Dolayısıyla transistörün Q noktasındaki kollektör akımı değerini de azaltacaktır. Bu durum giriş sinüsoydal işareti var olduğu sürece tekrarlanacaktır.

Yükselteç girişine uygulanan sinüsoydal işaretin transistörün çalışma noktası (Q) değerlerinde oluşturduğu değişim (yükselme-azalma) şekil-6.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi giriş beyz akımındaki çok küçük bir miktar değişim, transistörün çıkış kollektör akımında büyük miktarlarda değişime neden olmaktadır. Kısaca girişten uygulanan işaret, çıkışta yükseltilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi giriş beyz akımındaki değişim  $\mu A$  düzeyinde olurken, çıkış kollektör akımındaki değişim ise mA düzeyindedir.

Şekil-6.2'de verilen grafiği analiz edelim. Transistör sükunet halinde (girişte ac işaret yok) Q çalışma noktasında  $I_B=30\mu A$ ,  $I_C=3mA$  ve  $V_{CE}=4V$  değerlerine sahiptir. Transistör (yükselteç) girişine tepe değeri  $10\mu A$  olan bir sinüsoydal işaret uygulandığında ise; Transistörün beyz akımındaki değişim  $20\mu A$  ile  $30\mu A$  arasında olmuştur. Buna karşılık transistörün kollektör akımı  $2mA$  ile  $4mA$  arasında değişmiştir.

Sonuçta; transistör girişine uygulanan ve tepe değeri  $20\mu A$  olan sinüsoydal işaret, çıkıştan yine sinüsoydal olarak fakat tepe değeri  $4mA$  olarak alınmıştır. Aynı şekilde  $V_{CE}$  değerinde de bir değişim söz konusudur.



Şekil-6.2 Yükselteç devresinde yükseltme işleminin grafiksel analizi

## 6.2 TRANSİSTÖRÜN AC EŞDEĞER DEVRESİ

Transistörlü yükselteçlerin ac isaretlerde analizi oldukça karmaşık yapılar ortaya çıkarabilir. Analizi kolaylaştırıp pratik hale getirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Küçük sinyal analizinde en uygun ve pratik yöntem; transistörün eşdeğer devre modellerinden yararlanmaktır.

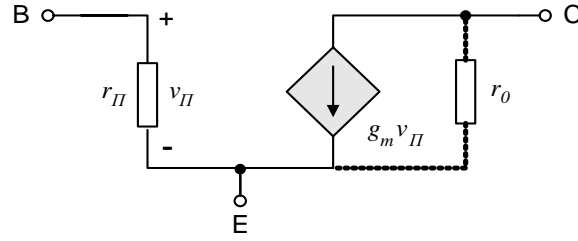
Transistörün ac eşdeğer devre modellemesinde kullanılan başlıca iki tip parametre vardır. Bunlar;  $h$  veya hibrit parametresi, diğeri ise  $r$  parametresi olarak bilinir ve tanımlanırlar.

Bu bölümde; transistörün ac eşdeğer devre modellemesinde kullanılmak üzere, hibrit-II modeli tanıtılacaktır.

### Transistör ac Eşdeğeri

Küçük sinyal yükselteçlerinin ac analizinde kullanılmak üzere, çeşitli devre modelleri geliştirilmiştir. Bu bölümde; transistörün ac eşdeğer devresi için **Hibrid-II** (Hybrid) modeli tanıtılacaktır. Bu model, diğerlerine göre basit yapıdadır ve kullanımı daha kolaydır. Dolayısıyla transistörün ac analizinde bu modelden yararlanılacaktır.

Küçük sinyal yükselteçlerinde Bipolar Jonksiyon Transistör (BJT) şekil-6.3'de verilen hibrid-II devre modeli ile temsil edilebilir. Bu eşdeğer devre modelinde;  $g_m$  ve  $r_{\pi}$  olarak verilen parametreler transistörün kollektör akımı  $I_c$  değerine bağlıdır. Dolayısı ile hibrid-II modeli transistörün belirli bir çalışma noktasında kullanılabilir.



Şekil-6.3 Bipolar jonksiyon transistör için hibrid-II modeli

Eşdeğer devre modelinde kullanılan parametreler sırasıyla;

$v_{\pi}$ , transistörün beyz-emiter ( $v_{be}$ ) sinyal gerilimini

$g_m$ , transkondüktansını (iletkenliğini)

$r_{\pi}$ , transistörün beyz-emiter arası giriş direncini

temsil etmektedir. Bu parametre ile ilgili ayrıntılı bilgiler ileriki bölümlerde verilecektir. Transistörün transkondüktans ( $g_m$ ) ve giriş direnci değerleri ( $r_{\pi}$ ) aşağıdaki gibi verilir.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{I_C}{26mV} \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

Görüldüğü gibi her iki parametrede kollektör akımının değerine bağlıdır. Bu sebeple yukarıda da belirtildiği gibi hibrid-II modelini kullanmak için transistörün çalışma noktasındaki  $I_C$  değerinin bilinmesi zorunludur. Eşdeğer devre modelinde transistörün çıkış akımı bağımlı bir kaynak ile tanımlanmıştır. Transistörün çıkış akımı  $I_C$ ;

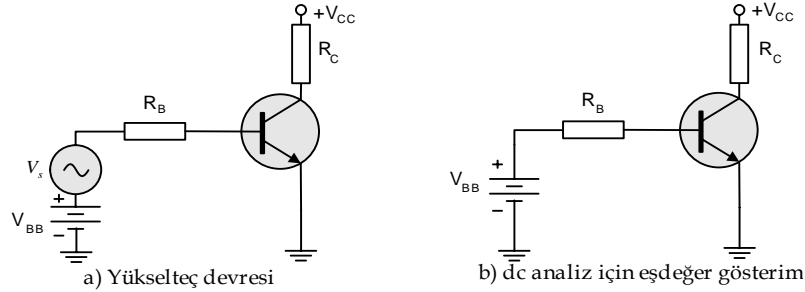
$$i_c = \beta \cdot i_b = g_m \cdot v_{\pi} = g_m \cdot r_{\pi} \cdot i_b$$

şeklinde yazılabilir. Şekil-6.3'de verilen eşdeğer devre modelinde görüldüğü gibi transistörün sahip olduğu bir çıkış direnci vardır. Bu direnç  $r_o$  ile sembolize edilmiştir. Transistörün çıkış direnci  $r_o$ , yükseltecin kazancı hesaplanırken kimi durumlarda örneğin  $R_c \ll r_o$  olduğunda ihmal edilebilir. Bu konu ileride işlenecektir.

### Küçük Sinyal Eşdeğer Devresinin Kullanımı

Transistörlü bir yükselteç devresinin küçük sinyal analizi iki aşamada yapılır. Analiz de dc ve ac kaynakların neden olduğu etkenler ayrı ayrı incelenmelidir. Bu yöntem analizi kolaylaştırır. Transistörün bir yükselteç olarak çalışabilmesi için öncelikli koşul aktif bölgede çalışmasıdır. Bu ise dc polarma ile sağlanır.

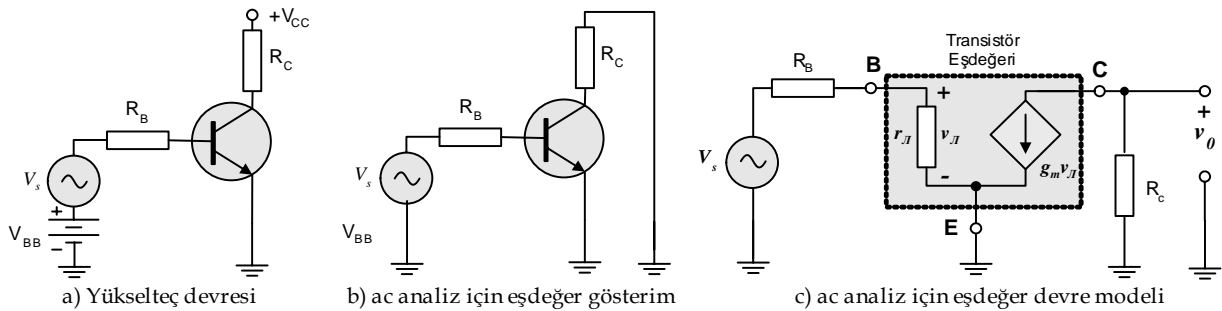
Transistörlü yükselteçlerinin analizinde ilk aşama dc polarma akım ve gerilimlerinin sağlanıp çalışma noktasının belirlenmesidir. Yapılan yükselteç tasarımı veya analizinde eğer transistör aktif bölgede çalışmıyorsa, ac analiz yapmanın anlamı olmayacaktır. Transistörlü bir yükselteç devresinde dc ve ac analiz için yapılacak işlemler aşağıda adım adım anlatılmıştır. Örneğin şekil-6.4.a'da verilen yükselteç için dc ve ac analizi ayrı ayrı gerçekleştirilelim.



Şekil-6.4.a.b Transistörlü yükselteç devresi ve dc analiz için eşdeğer devre

Bir yükselteç devresinde dc analiz yapılırken, ac kaynaklar kısa devre edilir. Eğer yükselteç devresinde kondansatörler varsa açık devre edilmelidir. Çünkü kondansatörler dc sinyale açık devre gibi davranırlar. Küçük sinyal yükselteci için devrenin dc eşdeğeri şekil-5.6.b’de çizilmiştir. DC çalışmada gerekli analizler yapılarak transistörün çalışma bölgesi belirlenir. Transistör aktif bölgede çalıştırılıyorsa ac analize geçilebilir. Aktif bölgede çalışmayan bir transistör için ac analiz yapmak gereksizdir. Çünkü bir kazanç veya yükseltme söz konusu değildir.

Transistörlü yükselteç devresinin ac yapılırken doğal olarak devrenin ac kaynağa tepkisi incelenecektir. Dolayısıyla devrede bulunan dc kaynaklar yok edilmelidir. Bunun için dc kaynaklar devreden çıkartılarak yerleri kısa devre edilir. Ayrıca devrede kondansatörler varsa kısa devre edilmelidir. Çünkü kapasitörlerin orta frekans bölgesinde kısa devre davranışı gösterdiği kabul edilir. Şekil-6.4’de verilen küçük sinyal yükselteç devresinin ac eşdeğer gösterimi ve ac eşdeğer devre modeli görülmektedir.



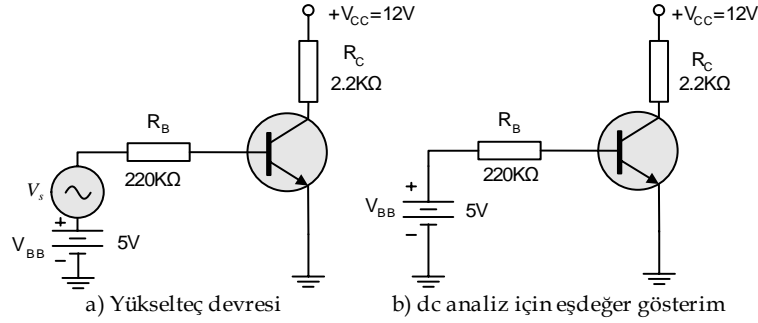
Şekil-6.4 Transistörlü küçük sinyal yükseltecinin ac eşdeğeri ve devre modellemesi

Şekil-6.4.c’de verilen ac devre modellemesi kullanılarak yükselteç devresi için gerekli analizler yapılır.

Küçük işaret yükselteçlerinin eşdeğer devre modellemeleri ileri ki bölümlerde ayrıntıları ile verilecektir. Ac ve dc devre modellemeleri kullanılarak gerekli analizler ve çözümler ayrıntılı olarak yapılacaktır. Konunun daha iyi anlaşılması için aşağıda örnek bir devre analizi verilmiştir. Dikkatlice inceleyiniz.

**Örnek:  
6.1**

Şekil-6.5.a'da verilen yükselteç devresinin küçük sinyaller için dc ve ac analizini yapınız.  $\beta=150$ ,  $V_{BE}=0.7V$



Şekil-6.5.a ve b Transistörlü yükselteç devresi ve dc eşdeğeri

**Cözüm**

**a. dc analiz**

Yükseltici dc çalışma şartlarının belirlenmesinde ilk adım devrenin dc eşdeğerinin çizilmesidir. Dc eşdeğer çizimi için devredeki ac kaynak 0V, kapasitörler ise açık devre kabul edilir. Yapılan kabuller sonucunda yükselteç devresinin dc eşdeğeri şekil-6.5.b'de verildiği gibidir.

İkinci adım transistör sükunet halinde iken (devrede ac işaret yokken) çalışma bölgesi akım ve gerilimlerinin ( $I_C$  ve  $V_{CE}$ ) belirlenmesidir. Bunun için devreden çevre gerilimlerinden yararlanarak  $I_B$  akımını bulalım.

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{220K\Omega} = \frac{4.3}{220K\Omega} = 0.019mA = 19\mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = (150) \cdot (19\mu A) = 2850\mu A = 2.85mA$$

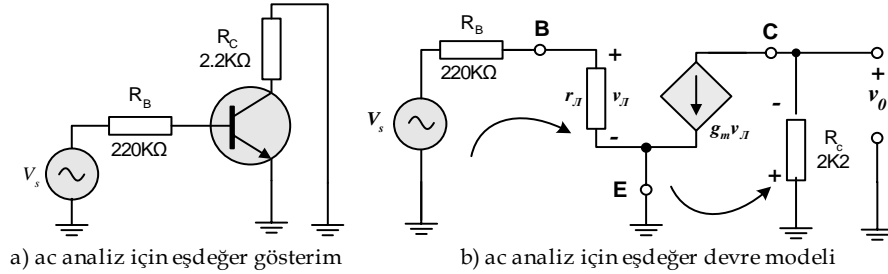
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - (2.85mA \cdot 2.2K\Omega) = 5.73V$$

elde edilen değerler bize transistörün aktif bölgede çalıştığı belirtmektedir. Dolayısı ile transistör yükseltme (amplifikasyon) için uygun bölgede çalışmaktadır. O halde verilen devrenin ac analizine geçebiliriz.

**b. ac analiz**

Şekil-6.5.a'da verilen transistörlü yükselteç devresinin küçük sinyal için ac analizi yapalım. İlk adım ac eşdeğer devreyi çizmektir. Bunun için devredeki dc gerilim kaynağı ve kapasitörler kısa devre edilir. Yapılan bu işlemler sonucunda devremizin ac eşdeğeri ve hibrid- $\pi$  devre modeli şekil-6.6'da yükselteç devresi ile birlikte verilmiştir.

Yükselticinin eşdeğer devre modelinde, transistörün sahip olduğu  $r_o$  çıkış direnci ihmal edilerek gösterilmemiştir. Transistörün çıkış direnci,  $R_C$  direncinden çok ( $R_C \ll r_o$ ) büyüktür. Dolayısı ile ihmal edilebilir.



Şekil-6.6.a ve b Transistörlü yükselteç devresi ve ac eşdeğeri gösterimi

Yükselteç girişine yükseltmek amacıyla uygulanan giriş sinyali  $v_s$ , yükselteç çıkışında  $v_o$  olarak alınmaktadır. Çıkış işareti kollektör noktasındaki gerilimdir. Dolayısıyla  $R_c$  direnci üzerinde görülen ac değerdir.

Devrenin çözümünde ikinci adım ac eşdeğer için gereken parametrelerin bulunmasıdır. Önce transistörün transkonduktans ve beyz-emiter sinyal gerilimi değerlerini bulalım.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.85mA}{26mV} = 109.6mA/V$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{150}{109.6mA} = 1.36K\Omega$$

olarak bulunur. Şimdi yükseltecin çıkış ac gerilim değerini bulalım. Eşdeğer devreden  $R_c$  direnci üzerinden geçen akımın  $g_m v_{\pi}$  olduğu görülmektedir.  $R_c$  direnci üzerindeki ac gerilim ohm kanunu kullanılarak bulunur.  $V_{R_c}$ ;

$$v_{R_c} = g_m \cdot v_{\pi} \cdot R_C$$

Bu gerilimin yönü eşdeğer devrede (şekil-6.6.b) gösterildiği gibi akım yönüyle bağlantılı olacaktır. Akımın girdiği yer (+), çıktığı yer (-) olduğuna göre bu işaretleme kollektör direnci üzerindeki gerilimin yönüyle terstir. Bu işaretlemeye göre çıkış gerilimi  $v_o$ , kollektör direnci  $R_c$  üzerindeki gerilime göre terstir ve  $180^\circ$  faz farklı olacaktır. Bu nedenle yükseltecin ac çıkış gerilim;

$$v_o = -g_m \cdot v_{\pi} \cdot R_C$$

olacaktır. Bu eşitlikte sadece  $v_{\pi}$  değeri bilinmemektedir. Bu değeri bulalım. Şekil-5.7'de verilen eşdeğer devrenin giriş çevresini kullanarak;

$$v_{\pi} = \frac{v_s}{R_B + r_{\pi}} \cdot r_{\pi} = \frac{v_s}{220K\Omega + 1.36K\Omega} \cdot 1.36K\Omega = 0.006v_s$$

Bulunan bu eşitlik  $v_0 = -g_m \cdot v_{\Pi} \cdot R_C$  denkleminde yerine yazılırsa yükseltecin çıkış gerilimi belirlenir.

$$v_0 = -g_m \cdot v_{\Pi} \cdot R_C$$

$$v_0 = -(109.6 \times 10^{-3}) \cdot (0.006 v_s) \cdot (2.2 \times 10^3)$$

$$v_0 = -(109.6 \times 10^{-3}) \cdot (0.006 v_s) \cdot (2.2 \times 10^3) = -1.43 v_s$$

Artık yükseltecin gerilim kazancını bulabiliriz. Yükselteçlerde gerilim kazancı çıkış gerilimin giriş gerilimine oranıdır.

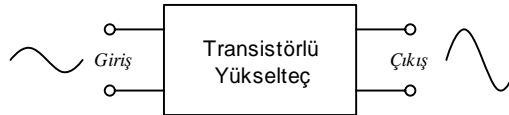
$$A_V = \frac{v_0}{v_s} = -1.43$$

### 6.3 YÜKSELTEÇLERDE BAĞLANTI TİPLERİ

*Transistörlü yükselteçler; devrede kullanılan bipolar jonksiyon transistörün bağlantı şekline adlandırılırlar. Başlıca üç tip bağlantı şekli vardır. Ortak emiterli, ortak beyzli ve ortak kolektörlü. Her bir bağlantı tipinin farklı özellikleri ve işlevleri vardır. Dolayısı ile farklı amaçlar için farklı yerlerde kullanılabilirler.*

*Bu bölümde; ortak emiterli yükselteç (common-emiter amplifier), ortak kolektörlü yükselteç (common-collector amplifier) ve ortak beyzli yükselteç (common-base amplifier) devresinin temel bağlantı şekillerini analiz edip, temel özelliklerini vurgulayacağız. Her bir yükselteç devresi için gerekli dc ve ac analizleri ise ileri bölümlerde gerçekleştireceğiz.*

Temel bir yükselteç devresinin blok diyagramı şekil-6.7'de verilmiştir. Yükselteç girişine uygulanan işaret, belirli işlemlerden geçirilir ve yükseltilerek çıkışa aktarılır. Bu durum, yükselteç devresinin temel işlevidir.



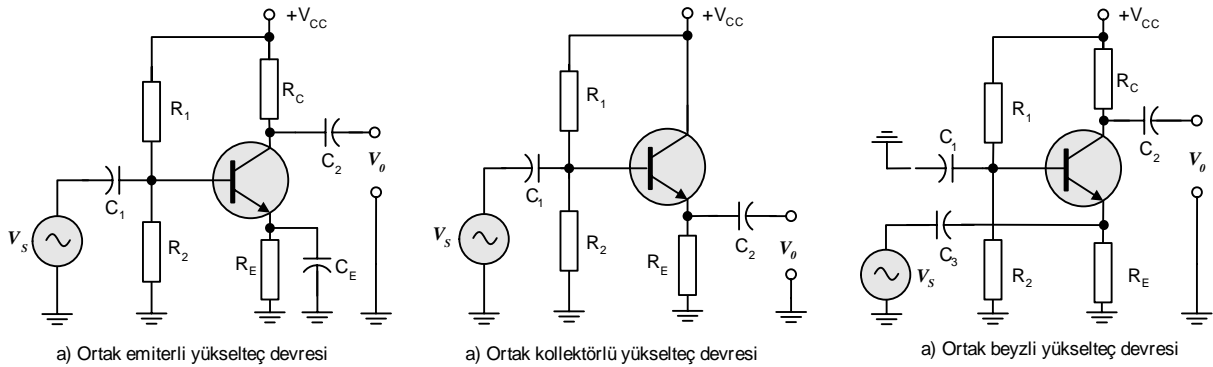
Şekil-6.7 Temel bir yükseltecin blok diyagramı

Blok diyagramda görüldüğü gibi yükselteç için 2 giriş ve 2 çıkış terminali gereklidir. Transistörlü yükselteç devrelerinde kullanılan temel eleman ise transistördür. Transistör 3 uçlu bir devre elemanıdır. Dolayısıyla yükselteç tasarımında transistörün bir terminali giriş ve çıkış için ortak uç olarak kullanılır. Bu nedenle yükselteçler, transistörün bağlantı şekillerine göre sınıflandırılırlar. Örneğin ortak emiterli bir yükselteç devresinde; emiter terminali giriş ve çıkış için ortak uçtur.

Transistörlü yükselteçlerde kullanılan 3 temel bağlantı tipi Şekil-6.8'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu bağlantı tipleri sırası ile;

- Ortak-emiterli yükselteç
- Ortak-kollektörlü yükselteç
- Ortak-beyzli yükselteç

olarak adlandırılır. Her bir bağlantı tipinin kendine has bir takım özellikleri vardır. Dolayısı ile kullanım alanları farklıdır. İlerleyen bölümlerde sıra ile her bir bağlantı tipinin özelliklerini, dc ve ac analizlerini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.



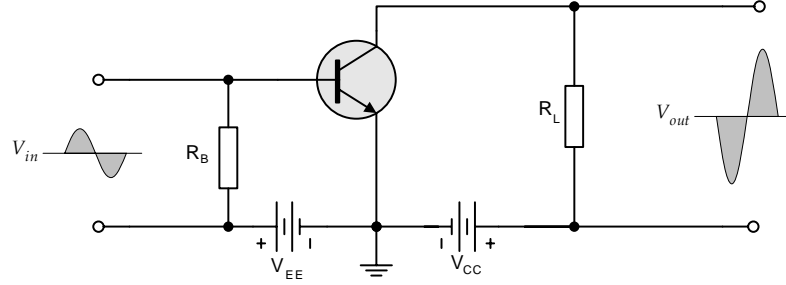
Şekil-6.8 Transistörlü yükselteçlerde bağlantı tipleri

## 6.4 ORTAK EMİTERLİ YÜKSELTEÇ

*Transistörlü yükselteçlerde kullanılan bağlantı tiplerinden en popülerleri ortak emiterli yükselteç devresidir. Kimi kaynaklarda ismi kısaltılarak CE (Common Emiter) olarak tanımlanır. Ortak emiterli yükselteçlerin (OE) gerilim ve akım kazançları oldukça yüksektir. Bu durum onu bir çok uygulamada popüler kılar.*

*Bu bölümde ortak emiterli yükselteç devresini tüm yönleri ile analiz edeceğiz. Daha sonraki bölümlerde sırasıyla diğer bağlantı tiplerini inceleyeceğiz.*

Tipik bir ortak emiterli yükselteç devresi şekil-6.9'da verilmiştir. Bu yükselteç devresi ortak emiterli devrenin çalışma prensibini anlayabilmeniz için geliştirilmiştir. Pratikte bir yükselteç devresinde iki adet dc besleme kaynağı kullanılmaz.

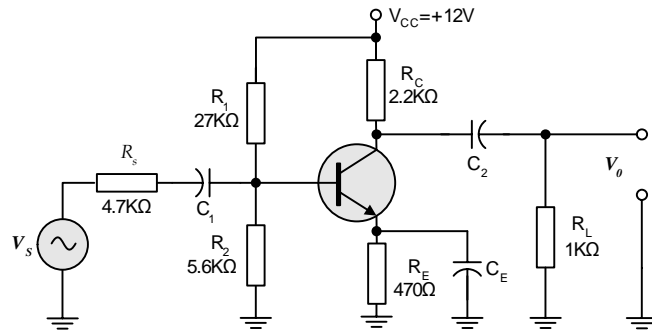


Şekil-6.9 Tipik bir ortak emiter bağlantılı yükselteç devresi

Yükseltilecek veya kuvvetlendirilecek giriş işareti yükseltecin beyz-emiter terminalleri arasından uygulanmıştır. Çıkış işareti ise; yükseltecin kollektör-emiter terminalleri arasından alınmıştır. Dolayısı ile emiter terminali giriş ve çıkış işareti için ortak uçtur. Bundan dolayı bu yükselteç ortak emiterli yükselteç (OE) olarak adlandırılır. Ortak emiter bağlantılı yükselteç devresinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Gerilim Kazancı (Voltage Gain) : Var
- Akım Kazancı (Current Gain) : Var
- Güç Kazancı (Power Gain) : Var, yüksek
- Sinyal Faz Çevrimi : Var,  $180^0$
- Giriş Empedansı : Orta düzeyde ( $500\Omega$ - $1k\Omega$ )
- Çıkış Empedansı : Orta düzeyde ( $10k\Omega$ - $50k\Omega$ )

Gerilim bölücülü dc polarlamaya sahip ortak emiterli yükselteç devreleri pratikte sık kullanılır. Pek çok cihaz ve sistemin tasarımında kullanılan böyle bir yükselteç devresi şekil-6.10'da verilmiştir.

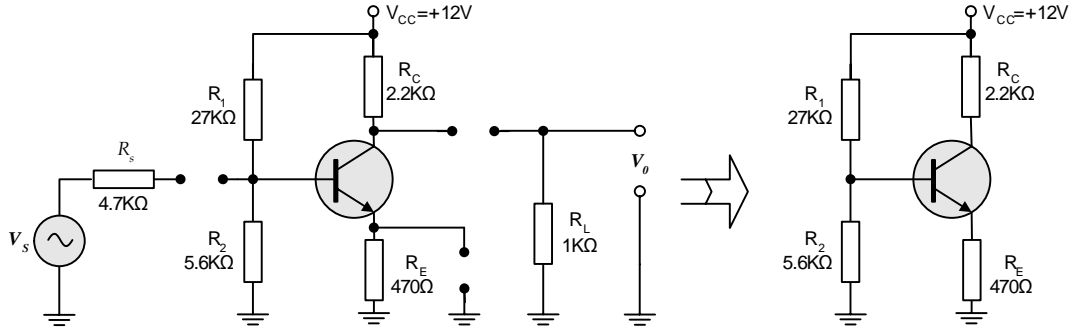


Şekil-6.10 Ortak emiter bağlantılı gerilim bölücülü yükselteç devresi

Devrede  $V_s$  giriş sinyal kaynağıdır.  $R_s$  direnci ise sinyal kaynağının iç direncidir. Yükseltilecek sinyal transistörün beyzine  $C_1$  kapasitörü üzerinden uygulanmaktadır.  $C_1$  değeri yeterince büyük ( $1\mu\text{F}$ - $100\mu\text{F}$ ) seçilmelidir. Çıkış sinyali ise kollektör üzerinden  $C_2$  kapasitörü ile  $R_L$  yük direnci üzerine alınmaktadır.  $C_2$  değeride  $C_1$  gibi uygun değerde seçilmelidir. Transistörün emiterine bağlı  $R_E$  direnci, ac çalışmada transistörün kazancını azaltmaktadır. Orta frekans bölgelerinde çalışmada  $R_E$ 'nin bu etkisi paralel bağlı  $C_E$  kapasitörü tarafından yok edilmiştir. Bu nedenle  $C_E$  kapasitöründe yeterince büyük ( $1\mu\text{F}$ - $100\mu\text{F}$ ) seçilmelidir.  $C_E$  kapasitörü sadece dc çalışmada transistörün kararlılığını sağlamaktadır. Bu nedenle bu kapasitöre emiter bypass kapasitörü denilmektedir. Şekil-6.10'da verilen ortak emiter bağlantılı yükselteç devresinin analizi iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşama dc analizdir. Devrenin dc analizini yapalım.

### DC Analiz

Devrenin dc analizi için ilk adım, dc eşdeğer devreyi çizmektir. DC eşdeğer için devrede bulunan kapasitörler açık devre kabul edilir ve  $V_s$  sinyal kaynağı dikkate alınmaz. Bu koşullar yerine getirildiğinde oluşan dc eşdeğer devre şekil-6.11'de verilmiştir.



**Şekil-6.11 Ortak emiter bağlantılı yükselteç devresinin dc eşdeğer devresinin çıkarılması**

Devrenin dc analizini yapalım. DC analizde transistörün polarma akım ve gerilimleri hesaplanarak çalışma bölgesi belirlenmektedir. O halde, thevenin eşdeğer devresinden yararlanarak;

$$V_{TH} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{12V}{27K\Omega + 5.6K\Omega} \cdot 5.6K\Omega = 2.06V$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{27K\Omega \cdot 5.6K\Omega}{27K\Omega + 5.6K\Omega} = 4.63K\Omega$$

$$I_E = \frac{V_{TH} \cdot V_{BE}}{\frac{R_{TH}}{(\beta + 1)} + R_E} = \frac{2.06V - 0.7V}{\frac{4.63K\Omega}{101} + 470\Omega} = \frac{1.36V}{515\Omega} = 2.64mA$$

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)} = \frac{2.64mA}{101} = 26\mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 26\mu A = 2.6mA$$

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12 - 2.6mA \cdot 2.2K\Omega = 6.28V$$

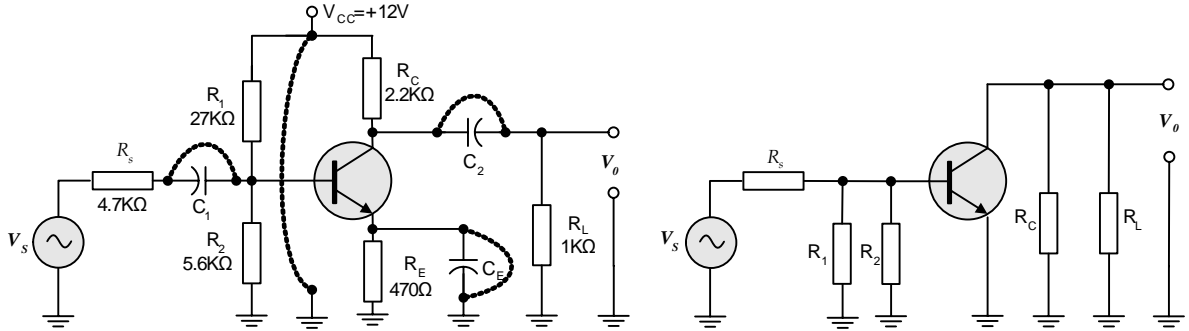
$$V_E = I_E \cdot R_E = 2.64mA \cdot 470\Omega = 1.24V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 6.28 - 1.24 = 5.03V$$

Bulunan sonuçlarda transistörün aktif bölgede çalıştığı görülmektedir. O halde ac analize geçebiliriz.

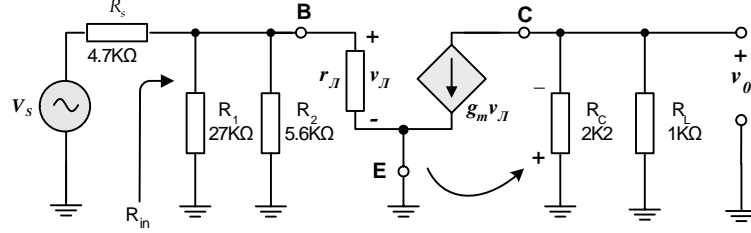
### AC Analiz

Devrenin ac analizi için ilk adım, ac eşdeğer devreyi çizip daha sonra hibrid- $\pi$  modelini çıkarmaktır. DC eşdeğer için devrede bulunan dc kaynaklar ve kapasitörler kısa devre kabul edilir. Bu koşullar altında oluşan ac eşdeğer devre şekil-6.12'de verilmiştir.



Şekil-6.11 Ortak emiter bağlantılı yükselteç devresinin dc eşdeğer devresinin çıkarılması

Yükselteç devresinin küçük sinyal eşdeğer devresi için ikinci aşama ise transistörün eşdeğer modelini yerleştirmektir. Bu işlem sonucunda ortak emiterli yükselteç devresinin küçük sinyaller için eşdeğer devre modeli şekil-6.12'de verilmiştir.



Şekil-6.11 Ortak emiterli yükselteç devresinin küçük sinyal eşdeğer devre modeli

Gerekli parametreleri hesaplayarak ac analize geçelim. Önce transistörün iletkenlik katsayısını ve beyz-emiter arası sinyal gerilimi değerlerini bulalım.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.6mA}{26mV} = 100mA/V$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{100 \cdot 10^{-3}} = 1K\Omega$$

$$R_{in} = R_1 // R_2 // r_{\pi} = 0.823K\Omega$$

Eşdeğer devre modelinden yararlanarak  $v_s$ ,  $R_s$  ve  $R_{in}$  çevresinden hareket ederek göz denklemini yazarak  $v_{\pi}$  değerini bulalım.

$$v_{\pi} = \frac{v_s}{R_s + R_{in}} \cdot R_{in} = \frac{v_s}{4.7K\Omega + 0.823K\Omega} \cdot 0.823K\Omega = 0.149v_s$$

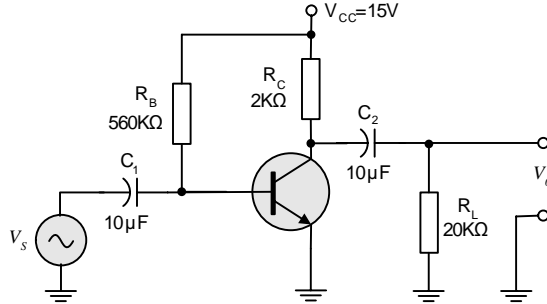
buradan yükseltecin çıkış sinyal gerilimini ( $v_o$ ) bulalım.

$$v_o = -g_m \cdot v_{\pi} \cdot (R_C // R_L) = g_m \cdot v_{\pi} \cdot \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = -(100mA/V)(0.168v_s)(0.68K\Omega) = -11.4v_s$$

eşitliği elde edilir. Buradan ortak emiterli küçük işaret yükseltecinin gerilim kazancı bulunur.

**Örnek:  
6.2**

Şekil-6.12'de verilen yükselteç devresinin küçük sinyaller için dc ve ac analizini yapınız.  $\beta=100$ ,  $V_{BE}=0.7V$



Şekil-6.12 Ortak emiter bağlantılı transistörlü yükselteç devresi

**Cözüm****c. dc analiz**

Yükselteci dc çalışma şartlarının analizi için devredeki kapasitörler açık devre yapılır. İkinci adım transistör sükunet halinde iken (devrede ac işaret yokken) çalışma bölgesi akım ve gerilimlerinin ( $I_C$  ve  $V_{CE}$ ) belirlenmesidir. Bunun için devreden çevre gerilimlerinden yararlanarak  $I_B$  akımını bulalım.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15V - 0.7V}{560K\Omega} = \frac{14.3V}{560K\Omega} = 25.54\mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = (100) \cdot (25.54\mu A) = 2554\mu A = 2.554mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 15V - (2.554mA)(2K\Omega) = 9.892V$$

$$V_{CB} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{BE} = 15V - (2.554mA)(2K\Omega) - 0.7V = 9.12V$$

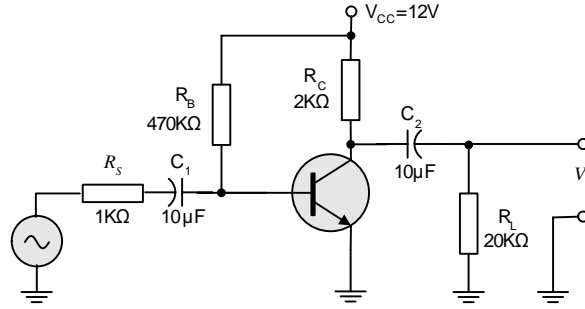
değerleri bulunur. Devrede;  $V_{CB} > 0$ 'dır. Dolayısı ile transistör aktif bölgede çalışmaktadır. AC analize geçebiliriz.

**d. ac analiz**

Şekil-6.12'de verilen transistörlü yükselteç devresinin küçük sinyal için ac analizi yapalım. İlk adım ac eşdeğer devreyi çizmektir. Bunun için devredeki dc gerilim kaynağı ve kapasitörler kısa devre edilir. Devremizin ac eşdeğeri devre modeli şekil-6.13'de verilmiştir.

**Örnek:  
6.3**

Şekil-6.14'de verilen yükselteç devresinin küçük sinyaller için gerilim kazancı ifadesini bulunuz?  $\beta=150$ ,  $V_{BE}=0.7V$

**Cözüm**

Şekil-6.14 Ortak emiter bağlantılı transistörlü yükselteç devresi

**a. dc analiz**

Yükseltecin dc çalışma şartlarının analizi için devredeki kapasitörler açık devre yapılır. İkinci adım transistör sükunet halinde iken (devrede ac işaret yokken) çalışma bölgesi akım ve gerilimlerinin ( $I_C$  ve  $V_{CE}$ ) belirlenmesidir. Bunun için devreden çevre gerilimlerinden yararlanarak  $I_B$  akımını bulalım

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0.7V}{470K\Omega} = \frac{11.3V}{470K\Omega} = 24\mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = (150) \cdot (24\mu A) = 3600\mu A = 3.6mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - (3.6mA)(2K\Omega) = 4.8V$$

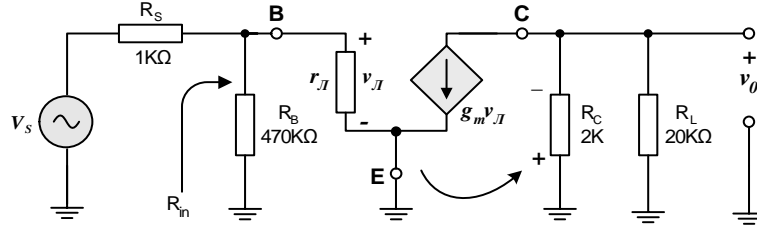
$$V_{CB} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{BE} = 12V - (3.6mA)(2K\Omega) - 0.7V = 4.1V$$

değerleri bulunur. Devrede;  $V_{CB} > 0$ 'dır. Dolayısı ile transistör aktif bölgede çalışmaktadır. AC analize geçebiliriz.

**b. ac analiz**

Analizi istenilen devre örnek:6.2'de verilen devre ile benzerlikler içermektedir. Sadece bu devrede giriş işaret kaynağının  $V_s$  iç direnci  $R_s$  verilmiştir. Eşdeğer devre çiziminde bu direnci dikkate almalıyız.

Şimdi şekil-6.14'de verilen transistörlü yükselteç devresinin küçük sinyal için ac analizi yapalım. İlk adım ac eşdeğer devreyi çizmektir. Bunun için devredeki dc gerilim kaynağı ve kapasitörler kısa devre edilir. Devremizin ac eşdeğeri devre modeli şekil-6.15'de verilmiştir.



Şekil-6.15 Ortak emiter bağlantılı yükselteç devresinin ac eşdeğeri

Yükseltecin eşdeğer devre modelinde, transistörün sahip olduğu  $r_o$  çıkış direnci ihmal edilerek gösterilmemiştir. Transistörün çıkış direnci,  $R_C$  direncinden çok ( $R_C \ll r_o$ ) büyüktür. Dolayısı ile ihmal edilebilir.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{3.6mA}{26mV} = 138mA/V$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{150}{138 \times 10^{-3}} = 1.086K\Omega$$

$$v_o = -g_m \cdot v_{\pi} \cdot (R_C // R_L)$$

$$R_C // R_L = \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = \frac{2K\Omega \cdot 20K\Omega}{2K\Omega + 20K\Omega} = 1.82K\Omega$$

$$R_{in} = R_B // r_{\pi} = \frac{R_B \cdot r_{\pi}}{R_B + r_{\pi}} = \frac{470K\Omega \cdot 1.086K\Omega}{470K\Omega + 1.086K\Omega} = 1.083K\Omega$$

$$v_{\pi} = \frac{v_s}{R_B + R_{in}} \cdot R_{in} = \frac{v_s}{1K\Omega + 1.083K\Omega} \cdot 1.083K\Omega = 0.5v_s$$

$$v_o = -g_m \cdot v_{\pi} \cdot (R_C // R_L)$$

$$v_o = -(138mA/V) \cdot 0.5v_s \cdot (1.82K\Omega)$$

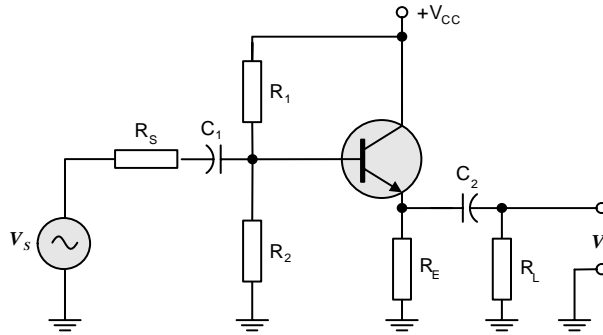
$$A_V = \frac{v_o}{v_s} = -(138mA/V)(1.82K\Omega) = -125.58$$

## 6.5 ORTAK KOLLEKTÖRLÜ YÜKSELTEÇ

Transistörlü yükselteçlerde kullanılan diğer bir bağlantı tipidir. Bu bağlantı tipi emiter izleyici (emiter-follower) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek giriş direncine ve alçak çıkış direncine sahiptir. Bu nedenle tampon (buffer) olarak kullanılmaktadır.

Bu bölümde ortak kollektörlü yükselteç (common-collector amplifier) devresini tüm yönleri ile analiz edeceğiz. Bir sonraki bölümde ise son olarak ortak beuzli bağlantı tipini inceleyeceğiz.

Tipik bir ortak kolektörlü yükselteç devresi şekil-6.16'da verilmiştir. Bu yükselteç devresinde giriş sinyali (işareti) transistörün beyz-emiter uçları arasından uygulanmıştır. Çıkış işareti ise emiter-kollektör terminalleri arasından alınmıştır.



Şekil-6.16 Tipik bir ortak kollektör bağlantılı yükselteç devresi

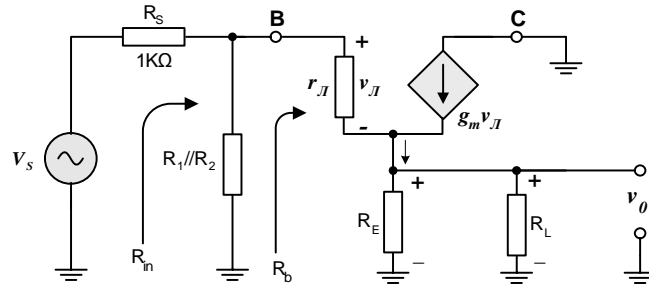
Ortak kollektör devresi “emiter izleyici devre” olarak da adlandırılmaktadır. Giriş direncinin yüksek, çıkış direncinin alçak olmasından dolayı tampon (buffer) veya izolasyon amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil-6.16'da görüldüğü gibi giriş işareti yükseltece beyz terminalinden uygulanmıştır. Çıkış ise emiter terminalinden alınmıştır.

Devrede ilk bakışta kollektör terminali giriş ve çıkış işareti için ortak uç olarak gözükmemektedir. Fakat ac çalışmada, dc kaynaklar kısa devre kabul edildiğinden, kollektör terminali doğrudan şase terminaline bağlı kabul edilmektedir. Dolayısıyla ortak uç kolektördür. Ortak kollektör bağlantılı yükselteç devresinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Giriş Empedansı : Yüksek; yaklaşık 20K $\Omega$ -300K $\Omega$
- Çıkış Empedansı : Alçak; yaklaşık 300 $\Omega$ -500 $\Omega$
- Gerilim Kazancı : Yok; 1'den az

- Akım Kazancı : Var;  $I_E/I_B$
- Güç Kazancı : Var.
- İşaret Faz Çevrimi : Yok.
- Genel Kullanım Alanı : Tampon yükselteci ya da emiter izleyici

Devrede kullanılan  $R_S$  direnci yükseltece uygulanan sinyal kaynağının ( $V_S$ ) iç direncidir. Ortak kolektörlü yükseltecin gerilim kazancı yoktur. Dolayısı ile çıkış sinyali giriş sinyalinden düşük olacaktır. Fakat akım kazancı vardır. Şekil-6.16'da verilen ortak kolektör bağlantılı yükselteç devresinin küçük sinyaller için ac eşdeğer devresi şekil-6.17'de görülmektedir.



Şekil-6.17 Ortak kolektör bağlantılı yükselteç devresinin ac eşdeğeri

Şekil-6.17'de eşdeğer devresi verilen ortak kolektörlü yükselteç için çıkış sinyal gerilimi ifadesini yazalım;

$$v_o = g_m \cdot v_{\pi} \cdot (R_E // R_L)$$

Devrenin emiterinden bakıldığında görülen direnç etkisi, emiter direncinin  $(\beta+1)$  katıdır. Eşdeğer devrede  $R_b$  ile tanımlanan direnç değeri ise;

$$R_b = r_{\pi} + (\beta + 1) \cdot (R_E // R_L)$$

olarak belirlenir. Eşdeğer devrede görülen  $R_{in}$  değeri ise;

$$R_{in} = R_1 // R_2 // R_b$$

olacaktır. Analize devam edelim. Eşdeğer devrenin girişi için çevre gerilimlerinden yararlanarak  $R_{in}$  üzerindeki sinyal gerilimini ve  $v_{\pi}$  değerlerini yazalım.

$$v_{in} = \frac{v_s}{R_{in} + R_S} \cdot R_{in}$$

$$v_{\pi} = \frac{v_{in}}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)} \cdot r_{\pi}$$

Elde edilen bu değeri, çıkış sinyal gerilimi ifadesindeki ilgili yere yerleştirelim.

$$v_o = -g_m \cdot v_{\pi} \cdot (R_E // R_L)$$

$$v_o = g_m \frac{v_{in}}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)} \cdot r_{\pi} (R_E // R_L)$$

Yukarıdaki eşitlikte gerekli sadeleştirmeler yapılarak ortak kolektörlü yükseltecin gerilim kazancı ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

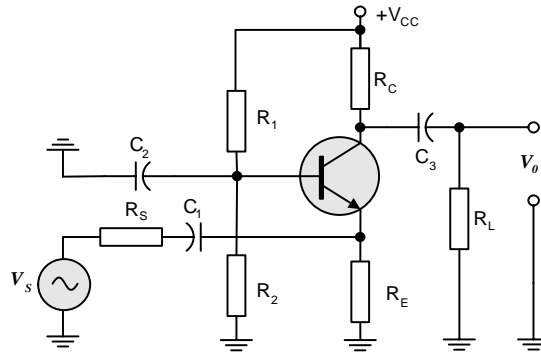
$$A_V = \frac{v_0}{v_s} = g_m \left[ \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \right] \frac{v_{in}}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)} (R_E // R_L)$$

## 6.6 ORTAK BEZLİ YÜKSELTEÇ

*Transistörlü yükselteçlerde kullanılan diğer bir bağlantı tipidir. Yüksek gerilim ve akım kazancına sahiptir. Alçak giriş direncine ve yüksek çıkış direncine sahiptir.*

*Bu bölümde ortak bezli yükselteç (common-base amplifier) devresini tüm yönleri ile analiz edeceğiz.*

Tipik bir ortak bezli yükselteç devresi şekil-6.18'de verilmiştir. Bu yükselteç devresinde giriş sinyali (işareti) transistörün emiter-beyz uçları arasından uygulanmıştır. Çıkış işareti ise kollektör-beyz terminalleri arasından alınmıştır. Görüldüğü gibi beyz ucu, hem giriş hem de çıkış işareti için ortak terminaldir. Bu nedenle bu devre ortak bezli yükselteç olarak adlandırılır.



Şekil-6.18 Tipik bir ortak beyz bağlantılı yükselteç devresi

Ortak beyz bağlantılı yükselteç (common-base amplifier) devresinin temel özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Giriş Empedansı : Alçak; yaklaşık 50Ω - 500Ω
- Çıkış Empedansı : Yüksek; yaklaşık 300KΩ - 1MΩ

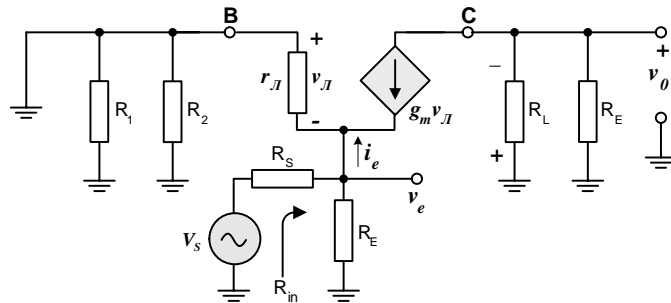
- Gerilim Kazancı : Var;  $G_V = \Delta V_C / \Delta V_E$
- Akım Kazancı : Yok;  $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
- Güç Kazancı : Var.
- İşaret Faz Çevrimi : Yok.
- Genel Kullanım Alanı : Radyo frekans (RF) yükselteç tasarımı

Şekil-6.18'de verilen ortak beyzli yükselteç devresinde  $R_s$  direnci, girişten uygulanan ac kaynağın ( $V_s$ ) iç direncidir. DC analiz için devredeki kapasitörler açık devre yapıldığında ortak emiterli devre ile aynıdır. Devrenin dc polarma bileşenlerinin bulunması ve çalışma noktasının belirlenmesi ortak emiterli devre ile aynıdır. Bu nedenle bu bölümde dc analiz ile ilgilenilmeyecektir.

AC analiz için devredeki kapasitörleri kısa devre yapalım. Devreyi basitleştirmek için transistörün çıkış direnci  $r_o$ 'ı ise ihmal edelim. Belirtilen koşullar altında şekil-6.18'de verilen ortak beyz bağlantılı yükselteç devresinin ac eşdeğeri şekil-6.19'da verilmiştir. Devrenin çıkış sinyalini yazalım;

$$v_o = -g_m \cdot v_{\pi} \cdot (R_C // R_L)$$

Yükseltecin emiter noktasında ortaya çıkan sinyal bileşenini bulmak için gerilim bölücü eşitliğini uygularız. Bu durumda emiter sinyali;



Şekil-6.19 Ortak beyz bağlantılı yükselteç devresinin ac eşdeğeri

$$v_e = \frac{v_s}{R_{in} + R_s} \cdot R_{in}$$

olur. Yükselteç devresinde beyz terminali dirençler üzerinden toprağa bağlı olduğu için,

$$v_{\pi} = -v_o$$

olacaktır. Emitere doğru bakıldığında  $R_E$ 'ye paralel bir  $r_e$  direnci vardır. Bu direncin değeri ise;

$$r_e = \frac{r_{\pi}}{\beta + 1}$$



olarak verilir.  $r_e \ll R_E$  olduğundan  $R_{in} = r_e$  alabiliriz. Bu durumda yükseltecin çıkış gerilimi  $v_0$  yeniden yazılırsa;

$$v_0 = -g_m \cdot v_e \cdot (R_C // R_L)$$

olur. Yukarıda bulduğumuz  $v_e$  değerini çıkış gerilimi eşitliğine yerleştirelim.

$$v_0 = -g_m \frac{v_s}{R_{in} + R_s} \cdot R_{in} (R_C // R_L)$$

Bu denklemi kullanarak yükseltecin gerilim kazancı eşitliğini yazabiliriz.

$$A_V = \frac{v_0}{v_s} = -g_m \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \cdot (R_C // R_L)$$

## GÜÇ (POWER) YÜKSELTECİ

### KONU:

1. Transistörlü güç yükseltecinin analizi ve çalışma karakteristiklerinin incelenmesi.

### GEREKLİ DONANIM:

Osilaskop (Çift Kanallı)  
İşaret Üretici (Signal Generator)  
DC Güç Kaynağı  
Multimetre (Sayısal ve Analog)  
Transistör: BD135 veya 2N3055 veya Muadili  
Kondansatör: 1 $\mu$ F (Elektrolitik)  
Direnç: 47K $\Omega$   
Hoparlör: 8 $\Omega$

### ÖN BİLGİ:

Yükselteçler; kullanım amaçlarına veya işlevlerine göre çeşitli sınıflara ayrılırlar. Küçük sinyal, büyük sinyal, alçak frekans, yüksek frekans v.b gibi. Önceki bölümlerde alçak frekans alçak güçlü yükselteçlerin analizlerini yaptık.

Güç yükselteçleri; işlevsel olarak küçük sinyal yükselteçleri ile benzerlik gösterirler. Fakat çok daha yüksek akım ve gerilim değerlerinde çalışırlar. Dolayısı ile güç yükselteçleri olarak tanımlanırlar.

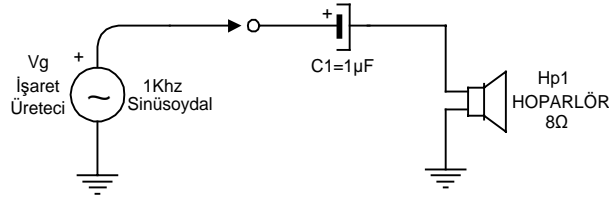
Güç yükselteçleri ses frekans tekniğinde kullanıldığı gibi çeşitli endüstriyel uygulamalar da sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulama alanlarına örnek olarak; role ve motor kontrol v.b uygulamaları sayabiliriz.

Bu bölümde; bir güç yükseltecini endüstriyel bir uygulamadan ziyade ses frekans tekniğinde kullanacağız. Böylece yükseltme işlemi işitsel olarak inceleyeceğiz.

### DENEYİN YAPILIŞI:

Yükseltecin temel işlevini öğrenmek amacı ile önce yükselteç kullanmadan her hangi bir ses frekans işaretinin hoparlör üzerindeki etkisini inceleyeceğiz.

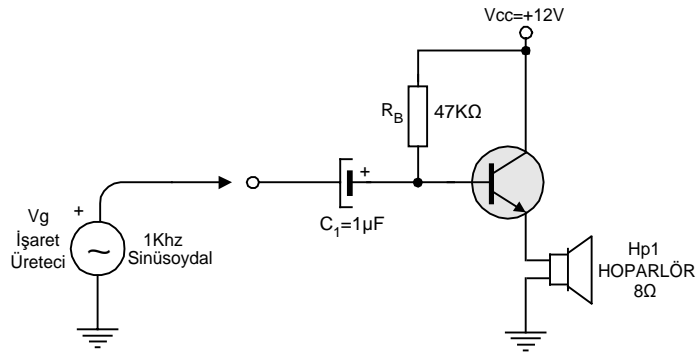
- 1.1 Şekil-15.1'de bağlantıyı deney seti üzerine kurunuz. Başlangıçta devreye işaret üreticini (Sinyal Genaratörü) bağlamayınız.
- 1.2 İşaret üreticinin çıkış genliğini minimuma alınız. Frekansını ise 1KHz sinüsoydal olacak şekilde ayarlayınız. İşaret üreticinin DC offset değerinin 0V olmasına dikkat ediniz.
- 1.3 Elde ettiğiniz işareti, şekil-15.1'deki gibi devrenin girişine uygulayınız. İşaret üreticinin frekansı sabit kalmak koşuluyla genliğini maksimum olacak şekilde artırınız. Bu esnada hoparlörden elde ettiğiniz sesin şiddetine tanık olunuz.



**Şekil-15.1 Bir hoparlörün doğrudan sürülmesi**

Güç yükseltecin çalışmasına ve işlevine tanık olmak amacı ile şekil-15.2'de görülen yükselteç devresinden yararlanacağız.

- 1.4** Şekil-15.2'deki devreyi deney seti üzerine kurunuz. Başlangıçta işaret üreticini devreye bağlamayınız.



**Şekil-15.2 Bir hoparlörün güç yükselteci ile sürülmesi**

- 1.5** İşaret üreticisi devreye bağlı değilken yükseltecin polarma gerilimlerini ölçerek elde ettiğiniz değerleri tablo-15.1'deki ilgili yerlere kaydediniz.

$V_{CC}$	$V_{CQ}$	$V_E$	$V_{BE}$

**Tablo-15.2 Güç yükselteci devresinin Karakteristikleri**

- 1.6** İşaret üreticinin çıkış genliğini minimuma alınız. Frekansını ise 1KHz sinüsoydal olacak şekilde ayarlayınız. İşaret üreticinin DC offset değerinin 0V olmasına dikkat ediniz.
- 1.7** Elde ettiğiniz işareti, şekil-15.2'deki gibi devrenin girişine uygulayınız. İşaret üreticinin frekansı sabit kalmak koşuluyla genliğini maksimum olacak şekilde artırınız. Bu esnada hoparlörden elde ettiğiniz sesin şiddetine tanık olunuz.

Güç yükseltecinin çalışmasına tanık oldunuz. Neler söyleyebilirsiniz. Not ediniz.



## Puş-Pul Bağlantılı Yükselteçler

### KONULAR:

1. Puş-pul bağlantılı güç yükseltecinin çalışma karakteristiklerini ve özelliklerini incelemek.

### GEREKLİ DONANIM:

Güç Kaynağı:  $\pm 12\text{VDC}$   
Osilaskop (çift kanallı)  
İşaret Üreteci (Sig.Gen)  
Transistör: 2xBC108C, 2xBC177 veya muadilleri  
Diyot: 2x1N4007  
Direnç: 2x22 $\Omega$ , 100 $\Omega$ , 2x220 $\Omega$ , 2x470 $\Omega$ , 2x22K $\Omega$   
Kondansatör: 10nF, 1 $\mu\text{F}$

### ÖN BİLGİ:

Yükselteçlerin bağlantı tiplerine göre sınıflandırıldıklarını ve 3 temel bağlantı tipi olduğunu önceki bölümlerde gördük. Yükselteçler genel olarak işlevlerine göre; akım, gerilim ve güç yükselteci olarak da adlandırılırlar. Kullanım amacına ve işlevine bağlı olarak çoğu uygulamada birkaç farklı yükselteç devresi peşpeşe bağlanarak birlikte kullanılabilir. Bu tür yükselteçlere kaskad yükselteçler denir.

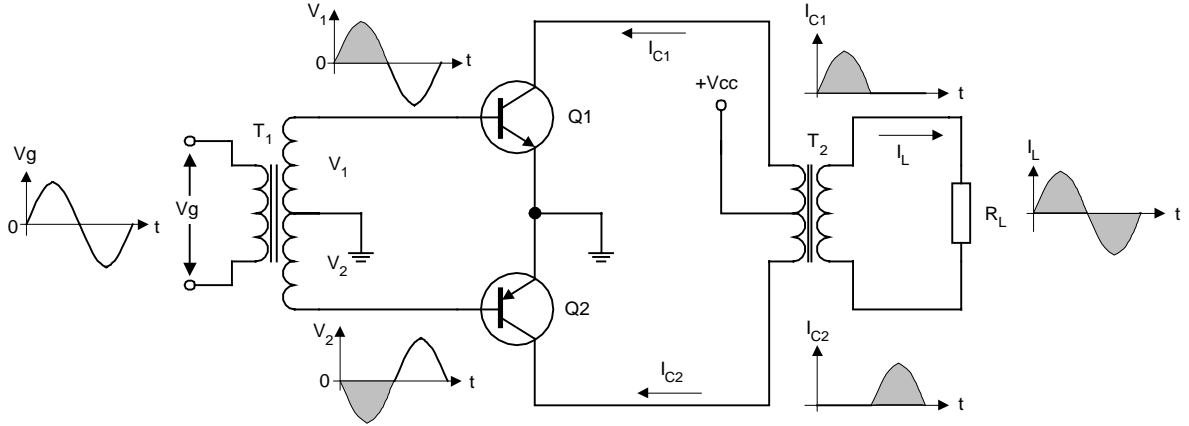
Ses frekans tekniğinde kullanılan bir yükseltecin girişinin bir mikrofondan olacağı, çıkış yükünün ise hoparlör olacağı açıktır. Dolayısıyla böyle bir yükselteç devresinde giriş empedansının yüksek, çıkış empedansının ise alçak olması istenir. Maksimum güç transferi için bu durum gereklidir.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan yükselteç devrelerinden ise farklı özellikler beklenir. Örneğin, bir motorun sürülmesinde kullanılan yükselteç devresinin çıkışı; hem yüksek gerilim hem de yüksek akım besleyebilmelidir.

Güç yükselteçlerinin tasarımında önemli bir faktör ise verimlidir. Yükselteçler; verimleri baz alınarak çalışma sınıflarına ayrılırlar. Bunlar; A sınıfı, B sınıfı, AB sınıfı ve C sınıfı çalışma olarak adlandırılır. A sınıfı çalışmada yükseltme işlemi giriş işaretinin tüm periyodu boyunca yapılır. Dolayısı ile yükselteç devresinde kullanılan transistörler aktif bölgede çalışır. Bu durumda yükseltecin dc besleme (polarma) gerilimleri devrede her zaman etkindirler ve güç harcamasını artırır. Bu tür yükselteçlerde verim düşüktür. B sınıfı çalışmada ise; yükseltme işlemi giriş işaretine bağlı olarak her bir alternans için ayrı yapılır. Dolayısıyla yükselteç girişinde işaret yokken güç harcaması minimumdur. Çünkü transistörlerin aktifleşmesinde giriş ac işaretlerinden yararlanılır.

Bu bölümde özellikle ses frekans tekniğinde sıkça kullanılan B sınıfı puş-pul yükselteçlerin çalışması analiz edilerek yükselteçlerin tanıtımlarına yeni bir boyut getireceğiz.

Şekil-17.1'de B sınıfı çalışan puş-pul bağlantılı güç yükselteci devresinin şeması verilmiştir. Devrede Q1 transistörü giriş işaretinin pozitif alternanslarını, Q2 transistörü ise negatif alternanslarını yükselterek çıkışa aktarır. Çıkışta  $R_L$  yükü üzerinde giriş işareti yükseltilmiş olarak alınır.

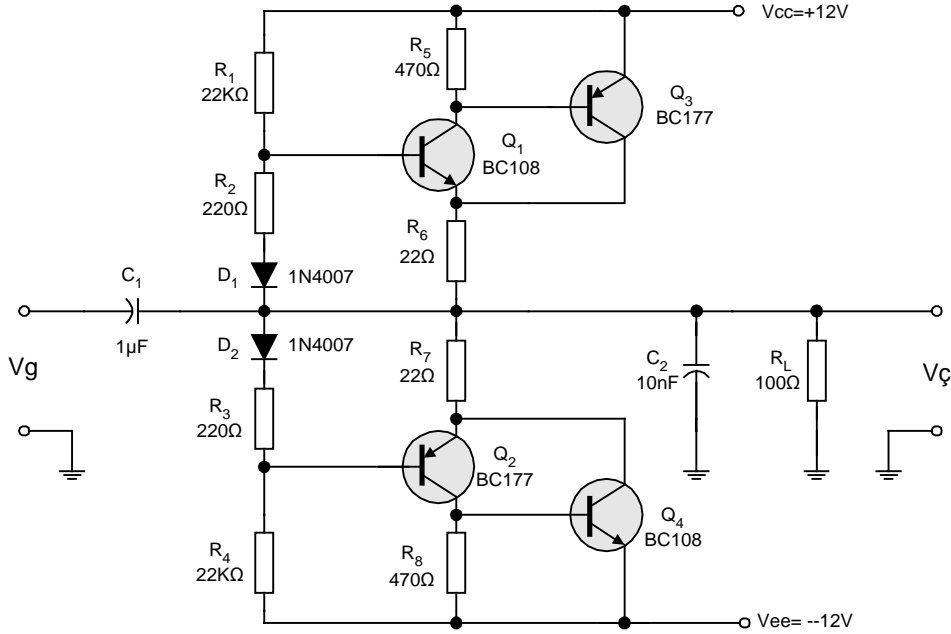


Şekil-17.1 Puş-pul yükselteç devresi

Yükselteç girişine giriş işareti uygulanmadığı sürece her iki transistörde kesimdedir. Dolayısıyla besleme kaynağından güç sarfiyatı olmaz. Bu nedenle yükselteç devresinin verimi maksimumdur.

Yükselteç devresinde; giriş ve çıkış işaretlerinde empedans uygunluğu sağlamak amacıyla transformator kullanılmıştır. Transformator kullanmak uygun ve ekonomik bir çözüm değildir. Ayrıca yukarıdaki yükselteç devresi küçük genlikli giriş işaretleri için iyi sonuç vermez. Çünkü her bir transistörün iletme geçebilmesi için yaklaşık 0.7V beyz-emiter ön gerilimine ihtiyacı vardır. Dolayısıyla giriş işaretinin her iki alternansının ilk 0.7V'luk dilimlerinde bir distorsiyon söz konusudur. Çıkış sinyalindeki bu bozulmaya "geçiş distorsiyonu" veya "kros-over" denir.

Geçiş distorsiyonunu yok ederek transformator kullanımını ortadan kaldıran ekonomik bir çözüm şekil-17.2'de verilen yükselteç devresidir.



Şekil-17.2 Komplementer simetrik puş-pul güç yükselteci

Bu tür güç yükselteçleri, özellikle yüksek güç gerektiren ve kaliteli Hi-Fi yükselteçlerin tasarımında kullanılır. Çıkışta yüksek güçler elde etmek için uygun transistörler seçilmeli ve soğutucu ile kullanılmalıdır. Şekil-17.2'deki yükselteç devresi A-B sınıfı çalışmaktadır. D<sub>1</sub> ve D<sub>2</sub> diyotları geçiş distorsiyonlarını yok etmek amacıyla kullanılmıştır. Çıkış ta empedans uygunluğunu sağlamak amacı ile Q<sub>2</sub> ve Q<sub>3</sub> transistörleri emiter izleyici olarak kullanılmıştır.

Devrenin dc polarma gerilimleri şaseye göre simetrik bir kaynaktan sağlanmıştır. Bu durumda şase referans alınarak, giriş işaretinin pozitif ve negatif alternanslarının yükseltilebilmesini sağlamaktadır.

Puş-pul bağlantı olarak adlandırılan bu tür yükselteçler, genellikle ses frekans yükselteçlerinin çıkış katlarında sıklıkla kullanılırlar. Bu tür çıkış katları, düşük distorsiyon ve yüksek güçler elde etmek için idealdir. Puş-pul bağlantı ayrıca endüstriyel sistemler de sürücü yükselteç olarakda kullanılmaktadır.

## DENEYİN YAPILIŞI:

- 1.1 Şekil-17.2'de verilen puş-pul yükselteç devresini deney seti üzerine kurunuz. Başlangıçta yükselteç girişine işaret üretici bağlamayınız.
- 1.2 Yükselteç devresinin tablo-17.1'de belirtilen dc polarma gerilimlerini dc voltmetre ile ölçerek elde ettiğiniz sonuçları tablodaki ilgili yerlere kaydediniz.



$V_{CE(Q1)}$	$V_{CE(Q2)}$	$V_{CE(Q3)}$	$V_{CE(Q4)}$	$V_{D1}$	$V_{D2}$	$V_{R1}$	$V_{R4}$

*Tablo-17.1 Puş-pul yükselteç devresinde DC polarma gerilimleri*

- 1.3 İşaret üreticinin çıkış genliğini minimuma, frekansını ise 1KHz'e ayarlayarak yükselteç girişine bir sinüs dalga uygulayınız. Yükselteç devresinin giriş ve çıkış dalga biçimlerini incelemek için gerekli osilaskop bağlantılarını yapınız.
- 1.4 Giriş işaretinin frekansı 1KHz'de sabit kalmak koşuluyla, genliğini yükselteç çıkışında maksimum distorsiyonsuz bir çıkış işareti elde edinceye kadar artırınız.
- 1.5 Yükseltecin giriş ( $V_g$ ) ve çıkış ( $V_ç$ ) işaretlerinin genliğini osilaskop veya multimetre ile ölçerek sonuçlarınızı tablo-17.2'deki ilgili yerlere kaydediniz.
- 1.6 Giriş işareti ile çıkış işareti arasında faz farkı ( $\Phi$ ) var mı?. Gerekli ölçümleri yaparak sonucu tablo-17.2'deki ilgili yere kaydediniz.
- 1.7 Yükseltecin gerilim kazancını elde ettiğiniz verilerden faydalanarak hesaplayınız. Sonucu tablodaki ilgili yerlere kaydediniz.

$V_g$ (t-t)	$V_ç$ (t-t)	$G_v$	$G_p$	$\Phi$

*Tablo-17.2 Puş-Pul yükselteç devresinin ac karakteristikleri*

## ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLER (JFET)

### Konular:

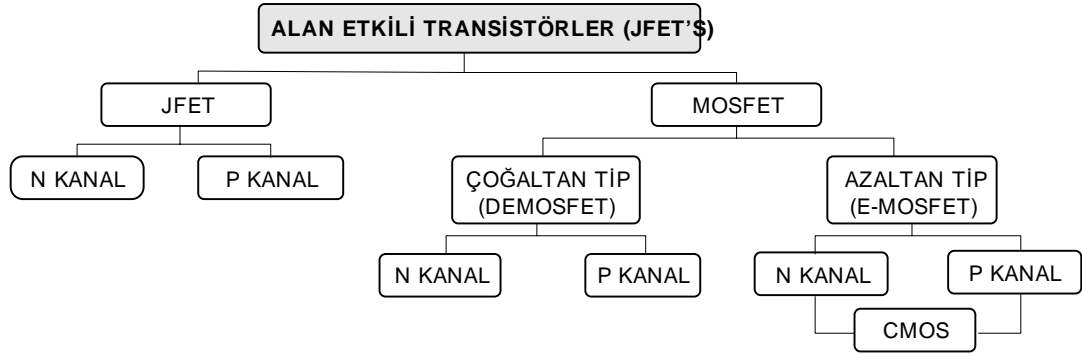
- 8.1 Alan Etkili Jonksiyon Transistör (JFET)
- 8.2 JFET Karakteristikleri ve Parametreleri
- 8.3 JFET'in Polarmalandırılması
- 8.4 MOSFET
- 8.5 MOSFET'in Karakteristikleri ve Parametreleri
- 8.6 MOSFET'in Polarmalandırılması

## 8.1 ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖR (JFET)

*Alan Etkili Transistör (Field-Effect Transistor); Bipolar İyonksiyon transistörün tüm işlevlerini yerine getirebilen fakat farklı yapı ve karakteristiklere sahip bir devre elemanıdır. Çoğunlukla JFET veya FET olarak tanımlanır veya isimlendirilirler. JFET'ler gerilim kontrollü devre elemanlarıdır.*

*Çeşitli alt gruplara da ayrılan alan etkili transistörler, kanal tiplerine göre n kanal ve p kanal olmak üzere iki tipte üretilirler. Bu Bölümde; JFET'in temel yapısını, sembolünü, özelliklerini ve temel çalışma prensiplerini inceleyeceğiz.*

Alan Etkili Transistör (JFET), 3 uçlu bir grup yarıiletken devre elemanının genel adıdır. Bu gruptaki transistörler kendi aralarında bir takım kategorilere ayrılır ve isimlendirilirler. Alan etkili transistörlerin üretim tipleri ve çeşitleri şekil-8.1'de tablo halinde verilmiştir. İlerleyen bölümlerde her bir tip ayrıntıları olarak incelenecektir.



**Şekil-8.1 Alan etkili transistörlerin (JFET) Tipleri**

Alan etkili transistör; İyonksiyon FET (JFET) veya metal oksitli yarı iletken JFET (MOSFET) olarak yapılır ve isimlendirilir. Her iki tip transistörün de n kanallı ve p kanallı olmak üzere iki tipte üretimi yapılır. N kanallı JFET'lerde iletim elektronlarla, P kanallı JFET'lerde ise oyuklarla sağlanır. FET'lerin yapımları basit ve ekonomik olduklarından dolayı oldukça çok kullanım alanı bulmuşlardır. JFET'lerin bipolar transistörlere göre önemli farklılıkları vardır.

### JFET ile BJT'lerin Karşılaştırılmaları

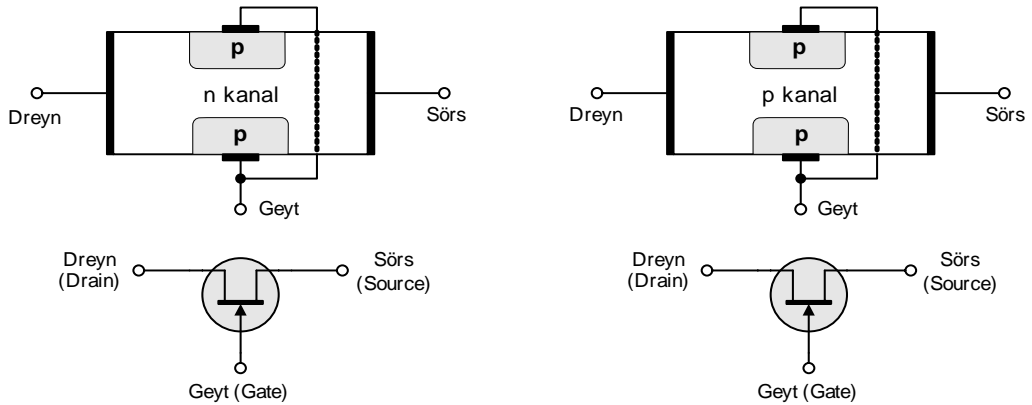
- JFET'in giriş ve çıkış empedansı çok yüksektir. Bu empedansın değeri birkaç mega ohm'dan yüzlerce mega ohm'a kadar çıkabilir. Fakat çalışma frekansları yükseldikçe empedansları azalır. MOSFET'in giriş empedansı JFET'e nazaran daha büyüktür. BJT'nin giriş ve çıkış empedansı JFET'ten küçüktür. Bu farklılık BJT yerine JFET'in, JFET yerine de BJT'nin kullanılmayacağını gösterir.
- JFET'in çalışması sadece çoğunluk akım taşıyıcılarının akışına bağlıdır. Tek tip taşıyıcılı bu elemana unipolar transistör adı da verilir.

- JFET'in gürültü seviyesi bipolar transistörlere nazaran azdır. Bu nedenle FET, alçak ve yüksek frekanslarda kullanılabilir. JFET, iyi bir sinyal kırpıcı olarak çalışır.
- JFET'in sıcaklık kararlılığı daha iyidir. Sıcaklık değişimlerinden pek etkilenmez. JFET'in radyasyon etkisi yoktur ve radyasyondan az etkilenir.
- JFET'in BJT'ye göre sakıncası; kazanç-bant genişliği çarpımının (geçiş frekansı-kazancın bire düştüğü frekans) bipolar transistörle elde edilebilene kıyasla küçük olmasıdır.

### JFET'in Yapısı ve Sembolü

JFET'ler; N kanallı ve P kanallı olmak üzere iki tipte üretilirler. JFET'in fiziksel yapısı ve elektriksel sembolü şekil-8.2'de gösterilmiştir. JFET üç uca sahiptir. Uçlarına işlevlerinden ötürü; Geyt (Gate), Sörs (Source), Dreyn (Drain) isimleri verilmiştir. JFET'in fiziksel yapısına bakıldığında sörs ve dreyn uçlarının aynı olabileceği ve hatta uçlarının değiştirilerek sörs yerine dreyn'in, dreyn yerine sörs'ün kullanılabilceği düşünülebilir. Ancak JFET'in yapısı, sörs ve dreyn bölgeleri için bu eşitliği sağlamaz.

JFET sembolünde, geyt ucunda bulunan okun yönü kanal tipini ifade eder. Ok yönü içeri doğru ise N kanal JFET, ok yönü dışarıya doğru ise P kanal JFET olduğu anlaşılır. Bu durum şekil-8.2.a ve b'de gösterilmiştir.

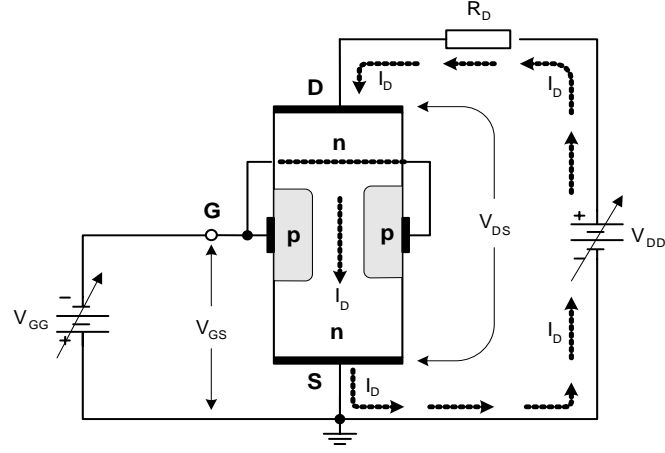


Şekil-8.2.a ve b N Kanallı ve P Kanallı JFET'in Yapısı ve Sembolü

### JFET'in Çalışması

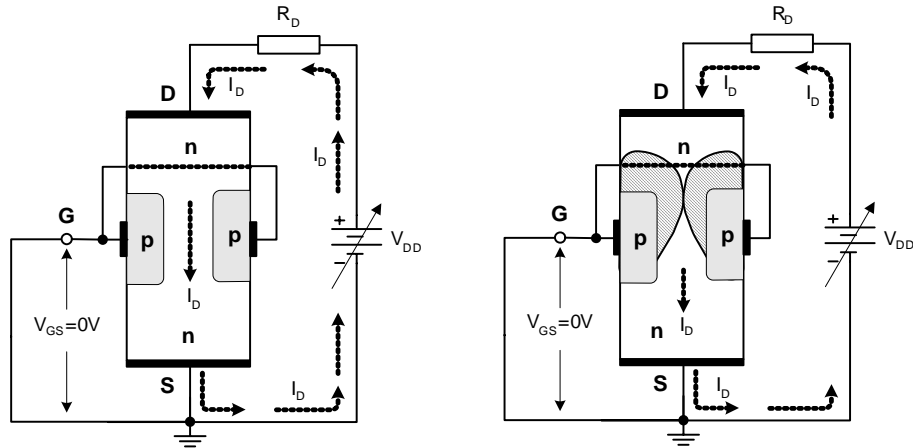
JFET'in elektriksel karakteristiklerini anlayabilmek için elemanın çalışmasını incelememiz gerekmektedir. JFET'e polarma gerilimleri uygulandığında meydana gelen akım ve gerilimler şekil-8.3 üzerinde gösterilmiştir.

Dreyn-sörs arasına uygulanan besleme gerilimi, dreyn ucu ile şase arasına bağlanır. Bu gerilim, dreyn devresindeki besleme gerilimi olarak tanımlanır ve  $V_{DD}$  ile sembolize edilir.  $V_{DD}$  gerilimi, n kanal içerisindeki elektronların hareket etmesini sağlar. Bu elektronlar, sörs'den dreyn'e oradan da  $V_{DD}$  kaynağının pozitif kutbuna giderler.  $V_{DD}$  kaynağının içinden sörs'e geri dönerler. Sörs ve dreyn üzerinden geçen bu akıma "dreyn akımı" denir ve " $I_D$ " ile sembolize edilir.



Şekil-8.3 JFET'in Çalışması

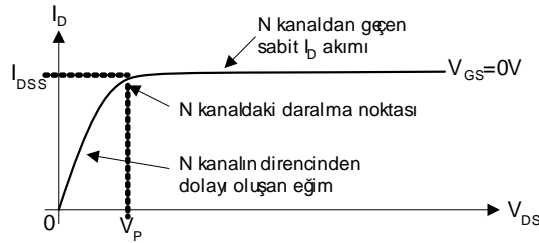
JFET'in geyt terminali kontrol ucudur. JFET'in iletkenliğini kontrol eder. Önce geyt terminali kullanmadan JFET'in çalışmasını analiz edelim. Bu amaçla şekil-8.4'den yararlanacağız. Şekil-8.4'de verilen devrede,  $V_{GG}$  gerilimi 0V (şase) yapılırsa ve  $V_{DD}$  besleme kaynağı da 0V'dan başlayarak yükseltirse kanal içerisinde geçen akım miktarı da artar. Ancak n tipi kanalın jonksiyon direnci maksimum akım değerini sınırlar.  $V_{DD}$  daha fazla artırıldığında JFET'de bir ters polarma bölgesi oluşur. Bu polarma bölgesine, azalma bölgesi (deplation) denir. Azalma bölgesi, kanal akımının n maddesinin dar bir kesidi içinden geçmesini gerektirir. Bu durum kanal direncinin artmasına sebep olur. Dolayısı ile  $I_D$  akımında artık bir azalma söz konusudur.



Şekil-8.4.a ve b JFET'in Çalışması

$V_{DD}$  kaynağının daha fazla artırılması sonucu kanalın tamamen daraldığı (kanal direncinin maksimuma yükseldiği) bir duruma erişilir. Bu değerden sonra daha fazla akım akışı meydana gelmez. Kısaca kanal akımında artış artık mümkün olmaz. Çünkü kanal kapanma moduna girmiş ve dreyn akımı doyuma ulaşmıştır. Bu durum şekil-8.4.b' de resimlenmiştir.

Sonuçta, kanal direncinden dolayı dreyn-sörs arasında bir gerilim düşümü meydana gelir. Bu gerilim,  $V_{DS}$  gerilimi olarak adlandırılır. Görüldüğü gibi,  $V_{DD}$  artarken dreyn ve sörs uçlarında  $V_{DS}$  gerilim düşümü meydana gelir. Bu gerilim düşümüne ise  $I_D$  akımı sebep olur. Şekil-8.5'de görüldüğü gibi  $V_P$  noktasında,  $V_{DS}$  artarken  $I_D$  sabit bir değerde kalır.  $I_D$  maksimum değerine ulaşmıştır.  $I_{Dmax}$  değerine ise  $I_{DSS}$  denir.  $I_{DSS}$  kanalın doyum akımıdır. Bu anda yani  $I_{DSS}$  akımı,  $V_P$  değerine ulaştığında geys-sörs arası gerilim de sıfırdır ( $V_{GS}=0V$ ).  $I_{DSS}$  değeri, elemanın yapısına göre belli bir değerde bulunur. Bu değer imalatçılar tarafından verilir veya ölçülebilir.



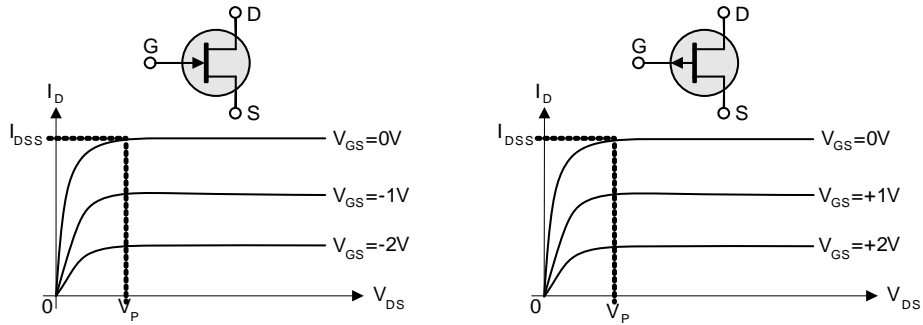
Şekil-10.5 Kanal Akımının Neden Olduğu Daralmanın Grafiği

## 8.2 JFET KARAKTERİSTİKLERİ

*Bu bölümde; JFET'in iletim ve kesim bölgelerinde nasıl çalıştığını öğreneceksiniz. JFET'in; iletim, kesim veya aktif bölgelerde çalıştırılması için gerekli parametreleri ve karakteristikleri tanıyacaksınız.*

*Bölüm sonunda JFET'in önemli iki parametresini tanıyacaksınız. Bu parametreler; transfer karakteristiği ve daralma gerilimi (pinch-off voltage) olarak adlandırılmaktadır.*

JFET'lerde; geys ucu, kanal bölgesini (azalma bölgesi) kontrol etmek için kullanılır. Örneğin; n kanallı bir JFET'te, geys ile sörs arasına uygulanan negatif polariteli bir gerilim, gerilim azalma bölgesini büyütür. Bu durum, kanal akımının daha düşük değerlerinde kanalın kapanmasına sebep olur. Eğer;  $V_{GS}$  gerilimi arttırılırsa (n kanal için daha negatif yapılırsa) kanalın azalma bölgesi daha da büyür. Neticede dreyn akımı şekil-8.6.a ve b'de gösterildiği gibi daha düşük akım seviyelerinde doyuma ulaşır. Şekil-8.6.a ve b'de p ve n kanal JFET'ler için  $V_{DS}$ - $I_D$  grafiği çizilmiştir. Karakteristikte sabit  $V_{GS}$  geriliminin çeşitli değerlerinde  $I_D$  ve  $V_{DS}$  değerleri gösterilmiştir. Örnek eğriler;  $V_{GS}=0v$ ,  $-1v$  ve  $-2v$  için çizilmiştir.



Şekil-8.6.a.b N ve P Kanallı JFET'in Dreyin Karakteristikleri

Sonuç olarak, n kanal bir JFET’de geyt-sörs arasına uygulanan ters polarma büyürken, kanal akımı azalır. Geyt-sörs arasına uygulanan ters polarma gerilimi yeterli büyüklüğe ulaşırsa kanal tamamen kapanabilir ve  $I_D$  akımı sıfıra düşebilir.

Kanalın tamamen kapanıp akım geçirmemesine neden olan ters gerilim değerine “**geyt-sörs daralma gerilimi (pinch-off)**” adı verilir: Bu değer “ $V_P$ ” ile ifade edilir. Yukarıdaki şekiller ve grafik iyi incelendiğinde  $V_{DS}$ 'nin küçük değeri için,  $I_D$  akımının lineer olarak arttığı görülür (şekil-8.6).  $V_{DS}$  gerilimi artarken, kanalın daraldığı görülür.

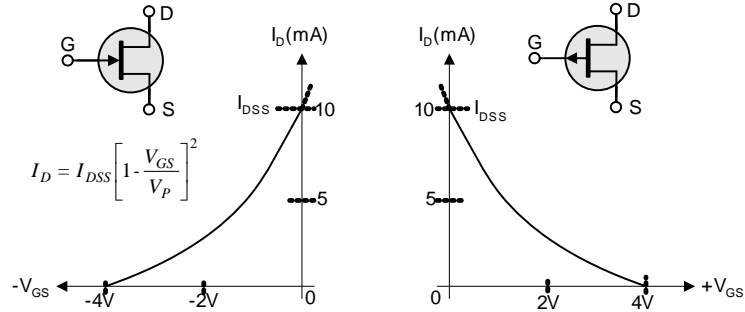
FET'in bir diğer önemli karakteristiği ise, “**Transfer Karakteristiği**” olarak adlandırılır. Transfer karakteristiği eğrisi; sabit bir dreyin-sörs ( $V_{DS}$ ) geriliminde, geyt-sörs ( $V_{GS}$ ) geriliminin fonksiyonu olarak elde edilen dreyin akımının ( $I_D$ ) eğrisini gösterir. Transfer karakteristiği şekil-8.7.a ve b'de gösterildiği gibi elemanın iki önemli parametresi olan  $V_P$  ve  $I_{DSS}$  değerlerini verir. Transfer karakteristiği eğrisi matematiksel olarak;

$$I_D = I_{DSS} \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlik veya bu eşitlikten çizilen transfer karakteristiği  $V_P$  ve  $I_{DSS}$  değerlerine bağlıdır ve JFET'in çalışmasını oldukça iyi tanımlar.  $V_P$  değeri, n kanallı fetler için negatif, p kanallı fetler için pozitif bir değerdir.

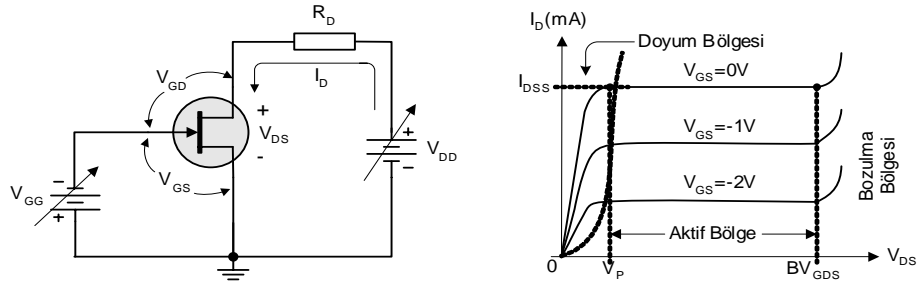
Transfer karakteristiği eşitliği ile, şekil-8.7'deki transfer karakteristiği karşılaştırılırsa;  $V_{GS}=0$  olduğunda, eşitliğin  $I_D=I_{DSS}$  durumunu sağladığı ve eğrinin dikey eksen  $I_D$ 'yi,  $I_{DSS}$  değerinde kestiği görülür.

Diğer taraftan  $I_D=0$  için, eşitlik  $V_{GS}=V_P$  durumunu sağlar.  $I_{DSS}$  ve  $V_P$  değerleri imalatçı kataloglarında verilir. Bu değerlerden yararlanılarak transfer karakteristiği çizilebilir. Transfer karakteristiği eğrisinden ve değerlerden faydalanarak  $I_D$  değerleri de hesaplanabilir.



Şekil-8.7 N ve P Kanallı JFET'in Transfer Karakteristikleri

JFET'in çalışması grafiksel olarak şekil-8.8'deki dreyn çıkış karakteristiği yardımı ile görülebilir.  $I_{DSS}$  değeri,  $V_{GS}=0$  durumunda elde edilen akım seviyelerinin meydana getirdiği eğriden okunur.  $V_P$  değeri ise açık bir şekilde görülmez. Ancak  $V_P$  değeri en alttaki  $V_{GS}$  eğrisinin değerinden biraz daha büyüktür. Karakteristikteki kesik çizgi, doyum akımının aktığı noktalardan geçmektedir. Buna göre, kesik çizgi  $V_{DS}=V_P-V_{GS}$  durumunu göstermektedir. Bu çizgi genellikle dreyn karakteristiğinin bir parçası değildir, ama eğrinin yatay eksene ( $V_{DS}$ ) değdiği noktanın değerini verir.



Şekil-8.8 JFET'in Dreyn Karakteristikleri

Karakteristikten görüldüğü gibi aktif bölgede  $I_D$  akımı sabittir. Ancak belli bir  $V_{DS}$  değerinden sonra JFET bozulur, dreyn akımının artışı JFET tarafından artık sınırlanamaz. Ancak JFET devresine bir harici eleman bağlanarak, JFET korunur. JFET'in bozulma gerilimi değeri  $BV_{GDS}$  olarak işaretlenmiştir.  $BV_{GDS}$  değeri, küçük geyt-sörs polarma gerilimleri için daha büyüktür. Üretici firmalar tek bir  $V_{GS}$  değeri için genellikle 0V,  $BV_{GDS}$  değerini kataloglarında belirtirler.

JFET'in dreyn karakteristiğinde kesik çizgi ile belirtilen bölge ile, bozulma eğrileri arasında kalan bölge JFET için aktif çalışma bölgesidir.

JFET'ler sinyal yükseltmek amacı ile kullanıldıklarında aktif bölgede çalıştırılırlar. Aktif bölgede çalışma ise büyük ölçüde dc polarma gerilimleri ile sağlanır. JFET'ler sayısal devrelerde ve anahtarlama devrelerinde de çok sık kullanılırlar. Bu tip çalışmada JFET'lerin Kesim veya doyum bölgelerinde çalışmalarından faydalanılır ve bu bölgelerde çalıştırılırlar.

### 8.3 JFET'İN POLARMALANDIRILMASI

Önceki bölümlerden JFET'in çalışma şartlarını ve genel V-I karakteristiklerini inceledik. JFET'in özelliklerini ve karakteristiklerini kullanarak devre tasarımı yapabilmemiz için gerekli dc polarlama şartlarını sağlamamız gerekmektedir.

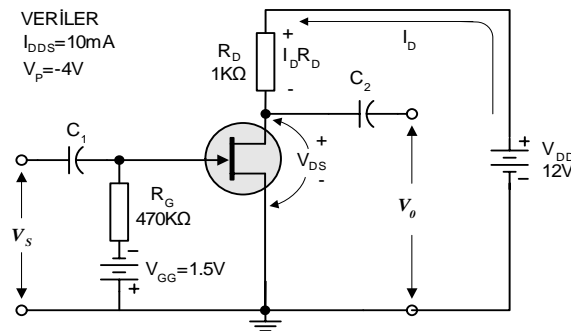
Bu bölümde, JFET için gerekli dc polarlama şartlarını analizini yapıp dc polarlama yöntemlerini göreceğiz.

JFET'ler için uygulanan polarlama yöntemlerini sıra ile; sabit polarlama, self polarlama ve gerilim bölücülü polarlama olarak sıralayabiliriz. Bu bölümü bitirdiğinizde JFET için gerekli dc polarlama yöntemlerini öğrenip, JFET'i kullanarak devre ve cihaz tasarlamaya hazır hale geleceksiniz.

Belli bir dreyn akımı ve dreyn-sörs gerilimi etrafında JFET'in çalışabilmesi için çoğunlukla polarmalandırılması gerekir. Eleman bir yükselteç olarak çalıştırılacaksa aktif bölgede çalışacak şekilde polarlama gerilim ve akımları seçilir. JFET polarmalarında bir çok polarlama tipi kullanılabilir. Biz bu bölümde çok kullanılan bir kaç polarlama tipini inceleyeceğiz.

#### Sabit Polarlama Devresi

Sabit polarmalı bir JFET yükselteç devresi şekil-8.9'da verilmiştir. Devreyi incelediğimizde polarmanın iki adet dc besleme kaynağından sağlandığı görülmektedir. Gerçekte uygulamalarda tek bir dc besleme kaynağı kullanılır. Fakat konunun daha iyi anlaşılabilmesi için bu devrede çift besleme kaynağı kullanılmıştır. Şimdi şekildeki sabit polarmalı yükselteç devresini inceleyelim.



Şekil-8.9 Sabit polarmalı JFET'li yükselteç devresi

Yükseltilecek işaret, geyt-sörs arasına  $V_s$  giriş işareti olarak uygulanır. Uygulanan bu işaret yükseltilmiş olarak Dreyn-sörs arasından alınır ( $V_o$ ).  $R_G$  direnci AC işaret için bir yol görevi görür. Fakat ters olarak polarmalandırılan geyt-sörs bölgesinden dc akım geçmez. Dolayısıyla  $R_G$  üzerinde dc gerilim düşümü olmaz. Bu nedenle geyt-sörs arasındaki gerilim besleme gerilimine eşittir. Yani  $V_{GG}=V_{GS}=-1.5$  V'dur. Buradan dreyn akımını bulabiliriz.

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right]^2 = 10mA \cdot \left[ 1 - \frac{-1.5V}{-4} \right]^2 = 3.9mA$$

Yukarıdaki eşitlikten görüldüğü gibi, geyt-sörs gerilimi ( $V_{GS}$ ), dreyn akımı  $I_D$ 'nin değerini ayarlar. Bu akım 12V'luk besleme kaynağından,  $R_D$  direncinden dreyn-sörs kanalından şaseye doğru geçer. JFET aktif bölgede çalıştığı sürece;  $I_D$  akımı  $V_{GS}$  gerilimine bağlıdır. Fakat  $R_D$  direyn direnci değerine bağlı değildir. Şekil-8.9 da görüldüğü gibi, dreyn akımından dolayı  $R_D$  uçlarında bir gerilim düşümü meydana gelir.

Buna göre JFET'in çalışma bölgesi yada  $V_{DS}$  gerilimi bulunabilir. Devreden;

$$V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_{DS}$$

olduğu görülür. Buradan;

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

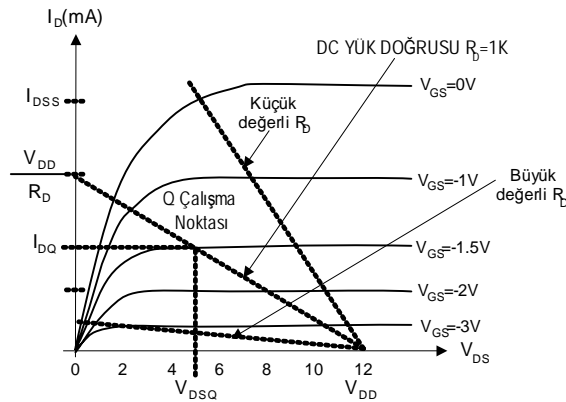
$$V_{DS} = 12 - (3.9mA \cdot 1.8K\Omega) = 4.98V$$

bulunur. Bulunan bu değer yardımı ile JFET'in çalışma noktası belirlenmiştir.

JFET'li sabit polarma devresinde karşılaşılan pratik bazı sınırlamalar vardır. Bu sınırlamalar, şekil-8.10'da JFET'in V-I karakteristikleri üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Örneğin yüksek kazanç elde edebilmek için  $V_{GS}$ 'nin sıfır volta polarmalandırılması, giriş geriliminin değişim miktarını sınırlar. Söz konusu polarma ile büyük genlikli giriş sinyali kullanılırsa  $V_{GS}$ 'nin pozitif alternansında geyt pozitif kayar ve kanal akımı kontrol edilemez. Bu nedenle çok küçük giriş sinyalleri için sıfır volta yakın polarma kullanmak mümkün olur. Büyük giriş sinyaliyle çalışırken çalışma geriliminin iyi seçilmesi gerekir. Karakteristikte görüldüğü gibi sıfır voltta farklı  $V_{GS}$  değerleri daha küçük  $g_m$  değerleri verirler. Yine çok büyük  $R_D$  değerleri de elemanı doyuma götürebilecek gerilim değerlerini vereceğinden aktif bölgenin dışında bir çalışma noktası meydana getirirler.

Sonuç olarak; istenilen miktardaki herhangi bir kazanç sadece büyük  $R_D$  değerleri seçilerek gerçekleştirilemez.



Şekil-8.10 JFET'in Çalışması ve Polarmalandırılması

### Self Polarma Devresi

Pratik uygulamada JFET'li yükselteçler genellikle tek bir dc besleme kaynağı ile polarmalandırılır. Böyle bir polarma devresi şekil-8.11' de gösterilmiştir. Bu devrede geyt-sörs polarma gerilimi elde etmek için bir self polarma direnci  $R_s$  kullanılmıştır.  $R_s$  direnci uçlarında  $I_D R_s$  gerilim düşümü nedeniyle pozitif bir  $V_s$  gerilimi meydana gelir. Geyt veya  $R_G$  geyt direncinden dc akımı hiç geçmediğinden geyt gerilimi sıfır voltur. Geyt gerilimi sıfır volt olduğundan, geyt (0V) ile sörs (+ $V_s$ ) arasında ölçülen net gerilim negatif gerilimdir. (Bu gerilim, referans noktası sörs alındığında negatif değerde ölçülür.) Ölçülen bu negatif gerilim geyt-sörs arası polarma gerilimi  $V_{GS}$ 'dir. Geyt-sörs arası polarma bağlantısı;

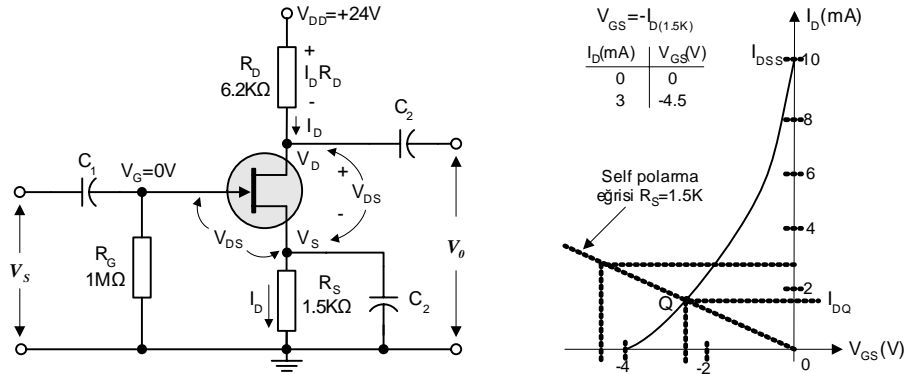
$$V_{GS} = 0 - I_D \cdot R_s = I_D \cdot R_s$$

olduğu devreden görülmektedir. Bu bağıntı transfer karakteristiği üzerinde gösterilir. Bunun için iki  $I_D$  değeri seçilir. JFET kesimde iken,

$$I_D = 0$$

olur. JFET iletimde iken  $I_D$ ;

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



Şekil-8..12.a ve b Self polarmalı JFET devresi ve transfer karakteristiği

Bulunan bu değerler ile transfer karakteristiği üzerinde yük çizgisi çizilir. Bu değerlere karşılık gelen  $V_{GS}$  değerleri bulunur. Bu değerler şekil-8.12.b'deki tabloda verilmiştir. Tablodaki  $I_D$  ve  $V_{GS}$  değerleri ilgili eksenlerde işaretlenir. İşaretlenen bu noktalardan bir düz çizgi çizilir. Bu düz çizgiye "self polarma çizgisi" denir. Düz çizginin transfer karakteristiği eğrisini kestiği nokta, devrenin çalışma noktasıdır (Q). Polarma noktasından eksenlere dikler inerek bu noktanın çalışma şartları;

$$I_{DQ} = 1.6mA \quad ve \quad V_{GSQ} = -2.4V$$

olarak bulunur.  $R_s$  değeri artırılırsa,  $R_s$  yük doğrusu yatay eksene doğru yaklaşır. Çalışma bölgesi kayar  $I_D$  değeri küçülür.  $V_{GS}$  değeri büyür.  $R_s$  değeri azaltılırsa bu kez çalışma noktasında  $I_D$  büyür,  $V_{GS}$  küçülür.

**Örnek:  
8.1**

Şekil-8.12.a'da verilen self polarmalı yükselteç devresinde çalışma noktasını  $R_s=1K\Omega$  kabul ederek bulunuz?

**Cözüm**

Şekil-8.12.b'deki karakteristik eğri üzerine sıfırdan yani  $V_{GS}=0, I_D=0$  noktasından başlayan ve seçilen  $I_D$  değeri örneğin 4 mA ile buna karşılık bulunan  $V_{GS}$  gerilimi;

$$V_{GS} = -I_D \cdot R_s = -(4mA) \cdot (1K\Omega) = -4V$$

olarak bulunur. Bu değerlerin belirledikleri kesişme noktasından geçen self-polarma çizgisi çizilir. Bu çizgi ile elemanın transfer karakteristiğinin kesiştiği nokta çalışma noktası olarak bulunur. Çalışma noktası sükunet anında (girişte AC işaret yokken), dreyn akımı  $I_{DQ}$  ve geys-sörs gerilimi  $V_{GSQ}$  değerini verir. Çalışma noktası için çizim yapılarak ;

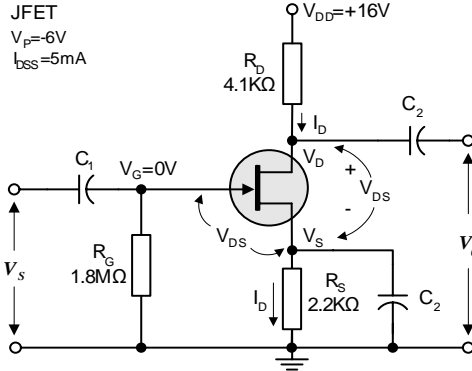
$$I_{DQ} = 2.2mA \quad \text{ve} \quad V_{GSQ} = -2.2V$$

değerleri tespit edilir. Tespit edilen bu değerlerden yararlanarak aynı noktadaki dreyn-sörs gerilimi;

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} \cdot R_s = 24V - (2.2mA \cdot 6.2K\Omega) = 24V - 15.8V = 8.2V$$

olarak hesaplanır.

**Örnek:  
8.2**



Şekil-8.13' de verilen self polarmalı yükselteç devresinin çalışma noktasını bulunuz ve transfer karakteristiğini çiziniz?

$V_P=-6V,$   
 $I_{DSS}=5mA$

**Cözüm**

Şekil-8.13 n kanallı JFET'li self polarmalı yükselteç devresi

Belirlenmesi istenen polarma noktasını bulmak için gerekli transfer karakteristiği çizilmemiş ancak  $V_P$  ve  $I_{DSS}$  değerleri verilmiştir. Karakteristik eğrinin çizimi de istenmiştir. O zaman transfer eğrisi formülü ;

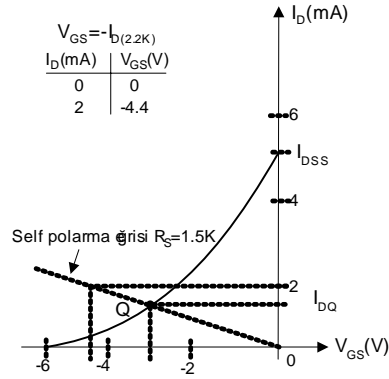
$$I_D = I_{DSS} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2$$

ile verilen  $V_P$  ve  $I_{DSS}$  değerlerini kullanarak transfer karakteristiği eğrisini çizmek oldukça kolay olur. Seçilen birkaç  $V_{GS}$  noktası ve bunlara karşılık hesaplanan  $I_D$  değerlerine göre grafik kağıdına taslak eğri çizilebilir. Örneğin; şekil-8.13'deki JFET x ekseninde  $V_P=-6$  volttan başlayıp;

$$V_{GS} = -4V \text{ için } I_D; \Rightarrow I_D = I_{DSS} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 = 5mA \cdot \left[ 1 - \frac{-4V}{6mA} \right]^2 = 0.55mA$$

$$V_{GS} = -2V \text{ için } I_D; \Rightarrow I_D = I_{DSS} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 = 5mA \cdot \left[ 1 - \frac{-2V}{6mA} \right]^2 = 2.2mA$$

noktaların içine alan y ekseninde  $I_D=I_{DSS}=5mA$  noktasına kadar uzanan taslak transfer eğrisi oluşturulur. Bu transfer eğrisi üzerine (şekil-8.14),  $R_s=2.2\Omega$  için self polarma çizgisi çizilir.



Şekil-8.14 Transfer eğrisi

Örneğin;  $I_D=2mA$ 'lık bir dreyn akımı seçilerek geyt-sörs gerilimi;

$$V_{GS} = -I_D \cdot R_s = -(2mA)(2.2K\Omega) = -4.4V$$

volt bulunur. Self polarma çizgisi transfer eğrisini yaklaşıp;

$$V_{GSQ} = -2.95V$$

$$I_{DQ} = 1.35mA$$

noktalarını birleştiği yerde keser. Sükunet anındaki bu değerlerden yine aynı andaki dreyn-sörs gerilimi;

$$V_{GSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_s + R_D)$$

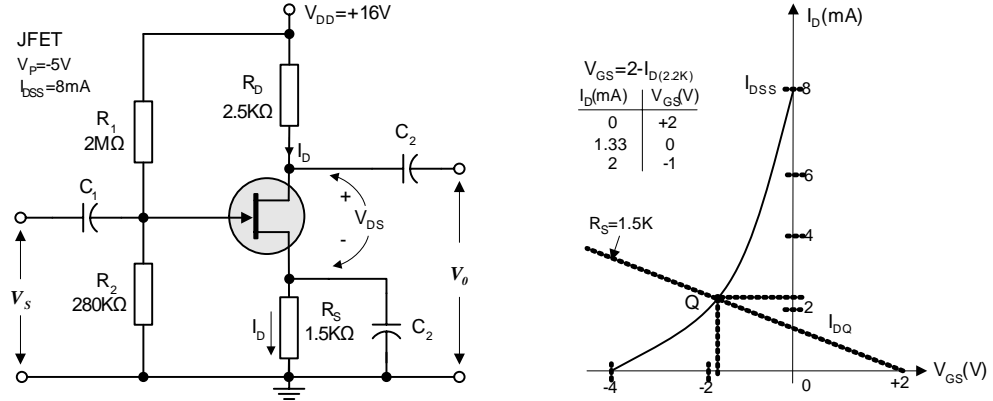
$$V_{GSQ} = 16V - 1.35mA(2.2K\Omega + 4.1K\Omega)$$

$$V_{GSQ} = 7.5 \text{ volt.}$$

olarak bulunur.

### Gerilim Bölücülü Polarma

JFET için kullanılan diğer bir dc polarma devresi ve transfer karakteristiği şekil-8.15'de verilmiştir. Bu polarma şekli, gerilim bölücülü geyt polarma olarak bilinir. Bu polarma tipinde, polarma gerilimi ve akımının belirlenmesi diğer polarma devrelerindeki gibidir. Sadece geyt geriliminin 0 volttan farklı bir değerde tutulmasında durum değişir.



Şekil-8.15 Gerilim bölücülü geyst polarması ve transfer karakteristiği

Gerilim bölücülü polarma devresinde, diğer polarma tiplerine nazaran daha iyi bir kararlılık söz konusudur. Gerilim bölücü devreden elde edilen  $V_G$  geriliminin değeri;

$$V_G = V_{GG} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{DD}$$

olarak bulunur. Bu durumda sükunetteki geyst-sörs polarma gerilimi;

$$V_{GSQ} = V_{GG} - (I_D \cdot R_D)$$

olur.

**Örnek:  
8.3**

Şekil-8.15'de görülen gerilim bölücülü polarma devresinde JFET'in DC polarma gerilimlerini bulunuz ?

**Cözüm**

JFET'in geyst gerilimi;

$$V_G = V_{GG} = \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot V_{DD} = \left[ \frac{280K\Omega}{2M\Omega + 280K\Omega} \right] \cdot 16V = 2V$$

olur.  $I_D \cdot R_S$  gerilim düşümünün sonucunda geyst-sörs gerilimi ;

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_{GS} = 2 - (I_D \cdot R_S)$$

olur. Burada belli bir  $R_S$  değeri için,  $I_D$ 'ye bir kaç değişik değer verilerek bunun karşılığı olan  $V_{GS}$  değerleri bulunur. Transfer karakteristiği eğrisi önceden olduğu gibi;

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2$$

formülünden belirlenir. O zaman  $V_P = -4$ volt ve  $I_{DSS} = 8$ mA değerlerine sahip olur. JFET için transfer karakteristiği yukarıdaki gibi çizilir. Self polarma çizgisi ile transfer karakteristiğinin kesiştiği nokta, dc polarma (çalışma) noktasını verir.



Bu noktadan çalışma şartları da;

$$I_{DQ}=2.5mA, \quad V_{GSQ}=-1.75 \text{ Volt}$$

olarak saptanır. Buradan;

$$V_{DQ}=V_{DD}-I_{DQ}.R_D=16V-2.5mA(2.5K\Omega)=9.75 \text{ volt}$$

$$V_{SQ}=I_{DQ}.R_D=2.5mA(1.5K\Omega)=3.75 \text{ volt}$$

Dreyn-sörs gerilimi ise;

$$V_{DSQ}=V_{DQ}-V_{SQ}=9.75-3.75=6 \text{ volt}$$

Olarak hesaplanır. Hesaplanan değerlerden yararlanarak polarma noktasındaki geyt-sörs gerilimi kontrol edilirse, sonuç;

$$\begin{aligned} V_{GSQ} &= V_{GQ} - V_{SQ} \\ V_{GSQ} &= 2V - 3.75V \\ V_{GSQ} &= -1.75 \text{ volt} \end{aligned}$$

bulunur. Sonucun grafiksel metot kullanılarak elde edilen değerle aynı olduğu görülür.

## 8.4 MOSFET'LERİN TANITIMI VE KARAKTERİSTİKLERİ

*MOSFET (MetalOksit Semiconductor FET). Alan etkili transistörlerden geliştirilmiş bir grup transistörün genel adıdır. MOSFET'lerde geyt terminali, kanaldan izole edilmiştir. Bu tür alan etkili transistörlere, Metal oksitli yarıiletken FET veya kısaca MOSFET denilmektedir. Ayrıca kimi kaynaklarda İzole edilmiş geytli FET veya IGFET adı da verilmektedir.*

*Mosfet'ler, Azaltan tip (Depletion) ve Coğaltan tip (Enhancement) olmak üzere iki tip de üretilirler. Bu tür mosfet'ler; kısaca D-MOSFET ve E-MOSFET olarak adlandırılır.*

*Bu bölümde mosfet tiplerini, temel yapılarını, sematik sembollerini ve temel çalışma prensiplerini göreceksiniz.*

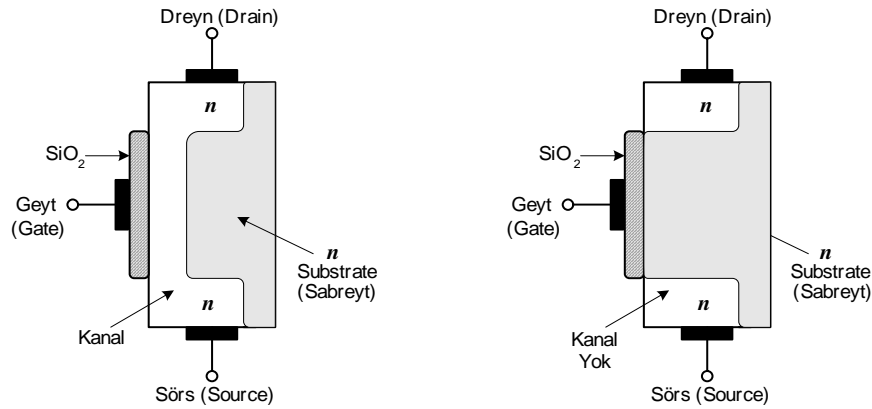
### **MOSFET'in Temel Yapısı**

Alan etkili transistörlerin bazı tiplerinde geyt terminali kanaldan izole edilmiş (yalıtılmış) biçimde yapılıdır. Bu tür alan etkili transistörlere, metal oksitli yarı iletken FET (Metal-Oxide Semiconductor FET) veya kısaca "MOSFET" denir. Mosfet'ler, izole edilmiş geytli FET veya kısaca IGFET olarak da adlandırılmaktadırlar.

MOSFET'ler; ya azaltan tip MOSFET (Deplation-MOSFET) yada çoğaltan tip MOSFET (Enhancement MOSFET) olarak imal edilirler. Azaltan tip Mosfet'lere kısaca D-MOSFET, Çoğaltan tip Mosfet'lere ise E-MOSFET denilmektedir. Her iki tip MOSFET'inde; P kanal ve N kanal olmak iki tipi vardır. N kanallı D ve E-MOSFET'in temel yapıları şekil-8.16'da verilmiştir.

MOSFET'lerde tıpkı JFET'ler gibi 3 uçlu aktif devre elamanları grubundandır. Uçlarına işlevlerinden ötürü; Geyt (Gate), Dreyn (Drain) ve Sörs (Source) isimleri verilmektedir. Şekil-8.16'da verilen temel yapıda Sabstreyt (Substrate) terminali, dördüncü uç gibi görünse de genellikle sörs bağlanır veya şase potansiyelinde tutulur.

D-MOSFET'in yapısında kanal fiziksel olarak yapılmış haldedir. D-MOSFET'in, dreyn-sörs uçlarına bir dc gerilim kaynağı bağlandığında dreyn ile sörs arasında bir akım meydana gelir. E-MOSFET'in yapısında ise, imalat sırasında şekillendirilmiş veya oluşturulmuş bir kanal yoktur. E-MOSFET'in; dreyn-sörs uçlarına gerilim uygulandığında akım meydana gelebilmesi için, şarj taşıyıcılarının kanalı oluşturması gerekir. Bunun içinde geyt ucuna gerilim uygulanması gereklidir.

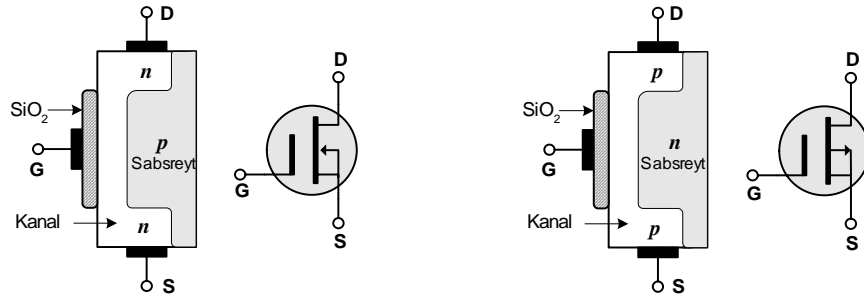


Şekil-8.16 Azaltan ve Çoğaltan Tip N Kanal MOSFET'lerin Yapıları

### Azaltan Tip MOSFET (D-MOSFET)

D-MOSFET'lerin, n-kanal ve p-kanal olmak üzere başlıca iki tipde üretimi yapılır. Şekil-8.17.a'da n-kanal D-MOSFET'in yapısı ve şematik sembolü görülmektedir. Şekil-8.17.b'de ise p-kanal D-MOSFET'in yapısı ve şematik sembolü görülmektedir. N kanallı D-MOSFET, p tipi gövde (substrate-sabstreyt) üzerine yerleştirilmiştir. N tipi yarı iletken maddeden yapılan sörs ve dreyn bölgelerine, sörs ve dreyn terminalleri bir metalle (alimünyum) bağlanmışlardır. Ayrıca sörs ve dreyn bölgeleri içten N tipi kanal bölgesiyle birbirine bağlanırlar. N kanalın üstünde bulunan ve kanal ile geyt arasındaki izolasyonu sağlayan ince silikon dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) tabakasının üzerine ince bir metal tabaka konur. Bu bileşimi D-MOSFET'i oluşturur.

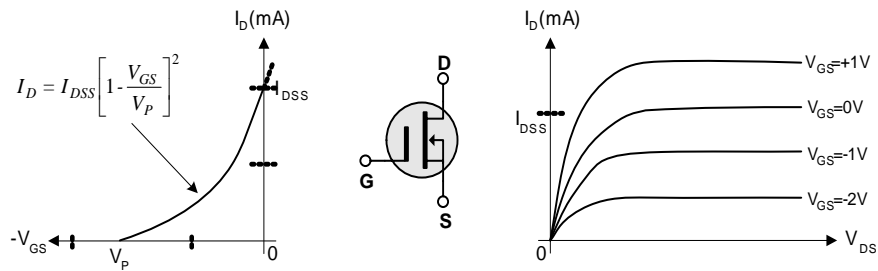
Şematik sembol'de elemanın geyt, sörs ve dreyn uçları gösterilir. Sabstreyt ucu ise çoğunlukla sörs'e bağlı olarak gösterilir. Şematik gösterimde elemanın kanal tipi sabstreyt ucundaki okun yönü ile belirtilir. Şekil-8.17'de görüldüğü gibi ok yönü elemanın içine doğru ise n-kanal D-MOSFET, ok yönü dışarı doğru ise p-kanal D-MOSFET tanımlanır.



*Şekil-8.17.a ve b N Kanal ve P Kanal DE-MOSFET'in Yapısı ve Sembolü*

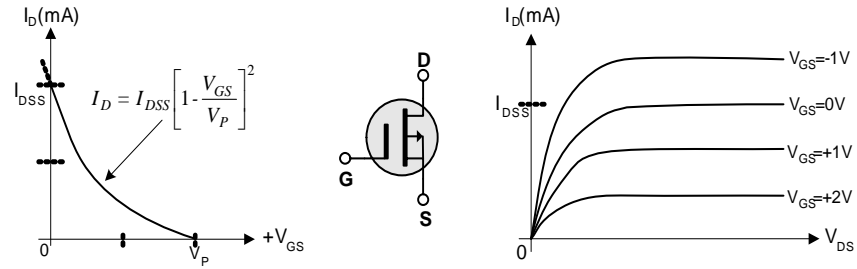
N-kanallı D-MOSFET'in geýt-sörs arasına negatif bir gerilim ( $V_{GS}$ ) uygulanırsa elektronlar kanal bölgesinin ortasına doğru itilirler ve kanalda daralma olur. Yeterli büyüklükte geýt-sörs gerilimi kanalı tamamen daraltarak kapatır. Diğer taraftan; pozitif geýt-sörs geriliminin uygulanması halinde, p tipi taşıyıcılar itildiklerinden kanal büyüklüğünde bir artış olur. Bu durum daha çok şarj taşıyıcısının oluşumuna izin verdiğinden daha büyük bir kanal akımı meydana gelir.

N kanallı D-MOSFET'in transfer ve dreyn karakteristikleri ise şekil-8.18'de görülmektedir. Karakteristik eğriler; elemanın gerek pozitif, gerekse negatif geýt-sörs geriliminde çalışmasını göstermektedir. Negatif  $V_{GS}$  değerleri, daraltma gerilimine (pinch-off) kadar dreyn akımını azaltırlar. Bu gerilimden sonra dreyn akımı hiç akmaz. N kanallı D-MOSFET'in transfer karakteristiği, negatif geýt-sörs gerilimleri için JFET karakteristiği ile aynıdır ve pozitif  $V_{GS}$  değerleri için de bu özellik korunur. Negatif ve pozitif her iki  $V_{GS}$  değerinde de geýt kanaldan izole edildiğinden MOSFET,  $V_{GS}$ 'nin her iki polarite durumunda çalıştırılabilir. Söz konusu iki polarite durumun da da geýt akımı meydana gelmektedir.



*Şekil-8.18.a ve b N Kanal DE-MOSFET'in Transfer ve V-I karakteristikleri*

P kanallı D-MOSFET'in yapısı ve şematik sembolü şekil-8.18.b'de verilmiştir. Bu tip MOSFET'in kanalı P tipi, subsreyti ise N tipi yarıiletken yapıdır. P ve N kanallı D-MOSFET'ler çalışma esası bakımından birbirinin benzeridir. Ancak P kanallı D-MOSFET'te polarite kaynaklarının yönü terstir. Akım taşıyıcıları oyuklardır. Geýt-sörs gerilimi negatif olduğunda dreyn akımı artarken, pozitif olduğunda azalır. Bu nedenle daraltma gerilimi  $V_P$  pozitif değerlidir. Şekil-8.19'da P kanal D-MOSFET'in transfer ve dreyn V-I (Akım-Gerilim) karakteristikleri görülmektedir.

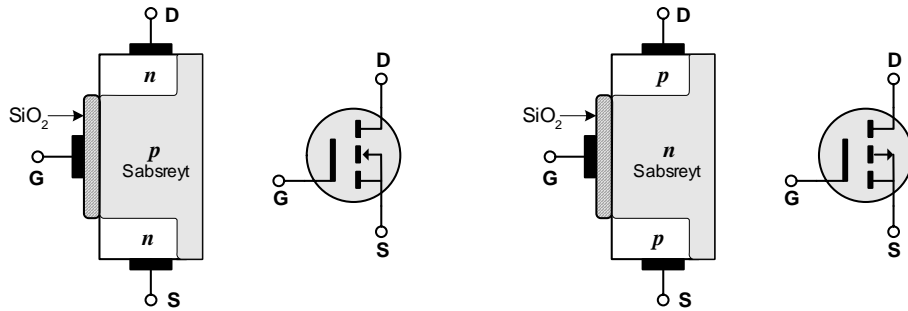


Şekil-8.19 P Kanallı DE-MOSFET'in Transfer ve V-I Karakteristikleri

### Çoğaltan Tip MOSFET (E-MOSFET)

Çoğaltan tip MOSFET'in (E-MOSFET) temel yapısı ve şematik sembolü şekil-8.20'de verilmiştir. E-MOSFET'ler, n-kanallı ve p-kanallı olmak üzere iki tip de üretilirler. Şekildeki yapıdan da görüldüğü gibi E-MOSFET'in temel yapısında fiziksel olarak oluşturulmuş bir kanal yoktur. Kısaca E-MOSFET, dreyn ile sörs arasında fiziksel bir kanala sahip değildir.

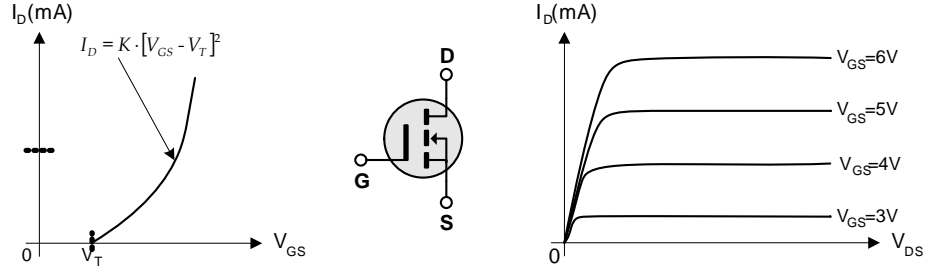
E-MOSFET'in şematik sembolünde dreyn ile sörs arası kesik çizgilerle gösterilir. Bu durum başlangıçta E-MOSFET'de kanal olmadığını belirtmek içindir. Şematik sembolde sabsreyt ucundaki ok'un yönü E-MOSFET'in kanal tipini belirtir. Ok yönü içeri doğru ise, N tipi kanalı gösterir. Ok yönü dışarı doğru ise P tipi kanalı gösterir. E-MOSFET'lerde kanal tipi ile sabsreyt'te kullanılan yarıiletken malzemelerin tipleri terstir.



Şekil-8.20.a ve b N Kanallı ve P kanallı E-MOSFET'in Yapısı ve Sembolü

E-MOSFET'lerde kanal, geyt terminaline uygulanan harici bir besleme ile oluşturulur. Geyt-sörs uçları arasında pozitif bir geriliminin uygulanması, geyt altında sabsreyt bölgesinde bulunan oyukları (boşlukları) iter ve orada bir azalma (deplasyon) bölgesi yaratır. Geyt gerilimi yeterince pozitif değere çıkarıldığında; elektronlar, pozitif gerilim tarafından bu azalma bölgesine çekilirler. Böylece, dreyn ile sörs arasındaki bu bölge N kanalı gibi hareket eder.

Pozitif geyt gerilimiyle oluşturulan ve şekillendirilen N kanallı E-MOSFET'in transfer ve V-I Karakteristiği şekil-8.21'de gösterilmiştir.



Şekil-8.21 N Kanallı E-MOSFET'in V-I Karakteristikleri

Elemanın transfer karakteristiğinden de görüldüğü gibi, geyt-sörs gerilimi eşik (threshold-başlangıç) değeri  $V_T$ 'yi aşınca kadar dreyn akımı hiç akmaz. Bu eşik gerilimi değerinin üzerindeki pozitif gerilimlerde, artan değerli bir dreyn akımı meydana gelir. Bu akımın Transfer karakteristiği de,

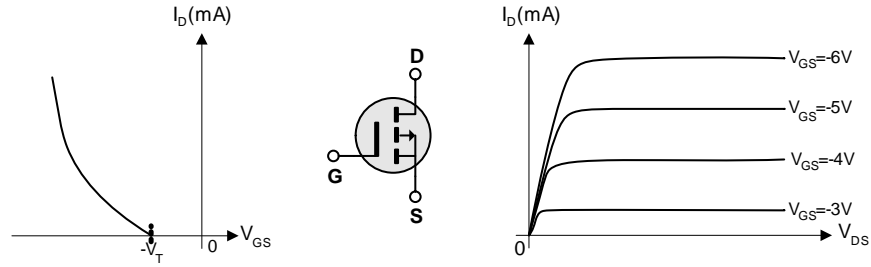
$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

Eşitliği yardımıyla tanımlanabilir. Eşitlik yukarıdaki formülde yalnız  $V_{GS} > V_T$  şartı için geçerlidir. Eşitlikte K sabitesi tipik olarak  $0.3 \text{ mA/V}^2$  değerinde olup elemanın yapısına bağlı olan bir özelliktir.

$V_{GS} = 0$  volt durumunda dreyn akımı akmadığı için E-MOSFET'lerde  $I_{DS}$  değerinden söz edilebilir. E-MOSFET'lerin çalışma sahası; D-MOSFET'lerden daha sınırlı olmasına rağmen, E-MOSFET'ler, büyük-ölçekli entegre devreler için çok kullanışlıdır. Çünkü E-MOSFET'ler basit yapılı ve küçük boyutlu elemanlardır. E-MOSFET'in şematik sembolünde dreyn ile sörs arası kesik çizgilerle gösterilir. Bu çoğaltan tip elemanda başlangıçta kanalın olmayışını belirtmek içindir. Bundan başka sabstreyt ucundaki ok P tipi sabstreyti ve N kanalı gösterir.

P kanallı E-MOSFET'ler şekil-8.20.b'de gösterilen yapıda imal edilir. Şematik sembolü ise aynı şekilde gösterilmiştir. E-MOSFET'in sabstreyti, N tipi yarı iletken yapıdır. P-kanallı E-MOSFET'in çalışma prensibi N kanallı gibidir. Ancak, P kanallı da polarma kaynaklarının yönü terstir. Akım taşıyıcıları oyuklardır. Negatif değerli eşik gerilimi aşılıncaya kadar dreyn akımı yoktur. Daha büyük değerli negatif geyt gerilimlerinde artan bir dreyn akımı vardır.

P Kanallı E-MOSFET (Enhancement-MOSFET)'in transfer ve V-I Karakteristiği şekil-8.22'de gösterilmiştir. Karakteristikleri inceleyerek bu elemanın çalışması kolayca irdelenebilir. Karakteristikte görüldüğü gibi P kanallı E-MOSFET'de polarma akım ve gerilimlerinin yönü N kanal E-MOSFET'e göre terstir.



Şekil-8.22. a ve b P Kanallı E-MOSFET'in Transfer ve V-I Karakteristikleri

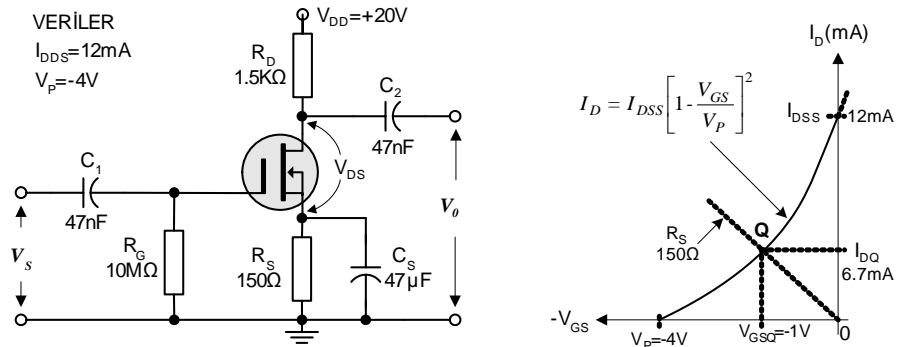
## 8.5 MOSFET'LERİN POLARMALANDIRILMASI

Bu bölümde MOSFET'lerin nasıl polarmalandırılacağını göreceksiniz. Özellikle MOSFET'lerle gerçekleştirilen yükselteç devrelerinde dc polarmanın önemi büyüktür.

Bu bölümde; sırası ile D-MOSFET ve E-MOSFET için polarma yöntemlerini ve dc analizlerini göreceksiniz.

### D-MOSFET'in Polarmalandırılması

Tipik bir n-kanallı D-MOSFET'li yükselteç devresi şekil-8.23.a'da ve D-MOSFET'in transfer karakteristiği ise şekil-8.23.b'de verilmiştir. Bu yükselteç devresi, çok büyük değerli geýt direnci  $R_G$  hariç, JFET'li yükselteçle benzerdir. Bu devrede geýt-sörs gerilimi pozitif gidebildiğinden, elamanı küçük negatif geýt-sörs geriliminde polarmalandırmak mümkündür.



Şekil-8.23.a ve b N-kanallı D-MOSFET'li yükselteç ve transfer karakteristiği



Devrenin DC polarma değerleri aşağıda gösterilen işlemler takip edilerek bulunur. JFET' de olduğu gibi, D-MOSFET'inde transfer karakteristiği; transfer karakteristiği eşitliği yardımıyla bulunur ve self polarma yük çizgisi şekil-8.23.b' de verilen transfer karakteristiği üzerine çizilir.

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left[ 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 = 12mA \cdot \left[ 1 - \frac{-1V}{-4V} \right]^2 = 6.75mA$$

$$V_{GS} = 0 - (I_D \cdot R_S) = 6.75mA \cdot (150\Omega) = -1V$$

$I_{DSS}=12$  mA ve  $V_P=4$  volta göre çizilen transfer karakteristiği ile  $R_S=150$  ohm için çizilen self-polarma yük çizgisinin kesiştiği yer sükunetteki polarma noktasını verir. Şekil-8.23.b' de çizim yapılarak polarma noktasının şartları;

$$V_{GSQ} = -1V \quad ve \quad I_{DQ} = 6.75mA$$

olarak belirlenir. Bu durumda dreyn gerilimi,

$$V_{DQ} = V_{DD} - (I_{DQ} \cdot R_D) = 20V - (6.75mA \cdot 1.5K\Omega) = 9.88V$$

ve dreyn-sörs gerilimi ise;

$$V_{DSQ} = V_{DQ} - V_{SQ} = 9.88V - 1 = 8.88V$$

olarak bulunur.

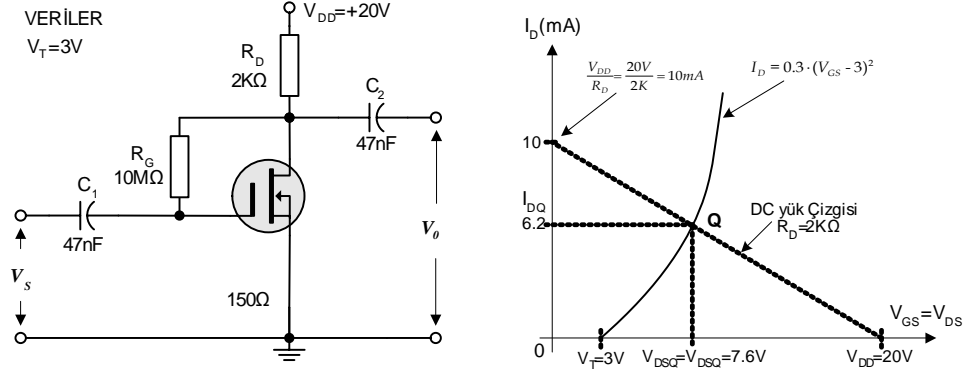
### E-MOSFET'in Polarmalandırılması

E-MOSFET'in dc polarmalandırılması için çok kullanılan bir devre düzeni şekil-8.24'de görülmektedir. Devrede dreyn-sörs gerilimi ( $V_{DD}$ ), geyt-sörs polarma gerilimi olarak kullanılmıştır. Bu işlem, dreyn-sörs arasına  $R_G=10M\Omega$ 'luk bir direnç bağlamak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Geyt akımı olmadığından  $R_G$  direnci uçlarında bir gerilim düşümü olmaz. Dolayısıyla dreyn gerilimi aynen geytte görülür. Dolayısıyla  $V_{DS}=V_{GS}$  olur. Diğer bir deyimle dreyn-sörs arasındaki  $V_{DS}$  gerilimi, geyt-sörs arasındaki  $V_{GS}$  gerilimine eşittir. Belli bir  $R_D$  değeri için uygun polarma noktası elemanın transfer karakteristiği kullanılarak bulunabilir.

Şekil-8.24.b'de  $R_D=2K\Omega$  ve  $V_{DD}=20V$  değerleri için polarma noktasının, elemanın transfer karakteristiğinden faydalanılarak nasıl bulunduğu görülmektedir. Elemanın transfer karakteristiği,

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

eşitliği kullanılarak grafik kağıdına çizilebilir. Örnek olarak verilen n-kanallı E-MOSFET'in eleman yapısına bağlı sabitesi  $K=0.3mA/V^2$  ve eşik gerilimi  $V_T=3$  V olduğuna göre transfer karakteristiği eşitliği,



Şekil-8.24.a ve b N Kanal E-MOSFET Polarma devresi ve Transfer Karakteristiği

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

$$I_D = 0.3 \cdot (V_{GS} - 3)^2$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikte  $V_{GS}$ 'ye birkaç değer (3V ve daha büyük) verilerek bunlara karşılık olan  $I_D$  değerleri hesaplanır. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak transfer karakteristiği eğrisi çizilir. Aynı grafik üzerine devrenin DC yük çizgisi de çizilebilir. DC yük çizgisi eşitliği,

$$V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

olur. Verilen örnekte  $R_D = 2K\Omega$  ve  $V_{DD} = 20$  Volt'dur. Bu taktirde DC yük çizgisi eşitliği,

$$V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 20V - (I_D) \cdot (2K\Omega)$$

olur.

Bu çizginin  $V_{DS} = V_{GS} = 0V$  ve  $I_D = 0$  mA şartları için sırasıyla dikey ve yatay eksendeki iki noktası belirlenir. Dikey ve yatay eksenle belirlenen iki nokta bir doğru vasıtasıyla birleştirildiğinde  $R_D = 2K\Omega$  için DC yük çizgisi çizilmiş olur. Yük çizgisiyle elemanın transfer karakteristiği eğrisinin kesiştiği yer çalışma noktasını gösterir. Şekil-8.24.b'de görülen çalışma noktasının şartları çizim yardımıyla,

$$V_{GQ} = V_{DSQ} = 7.6 V \quad I_{DQ} = 6.2 mA$$

olarak bulunur.

## ALAN ETKİLİ TRANSİSTÖRLÜ YÜKSELTEÇLER

### 9.1 JFET'LI YÜKSELTEÇLER

JFET'in en önemli uygulama alanlarından biri yükselteç (amplifikatör) devreleridir. Diğer taraftan son yıllarda sayısal devrelerde de çok sık kullanılmaya başlanılmıştır. JFET'li amplifikatörlerin analizi ve tasarımı eşdeğer devreler yardımı ile yapılır. Devre analizinde kullanılan iki tip eşdeğer devre modeli vardır. Bunlar; Lineer veya küçük sinyal eşdeğer devresi, büyük sinyal veya lineer olmayan devrelerdir.

Elemanın maksimum çalışma frekanslarının altında çalışması alçak frekans devre modeline uygundur. Alçak frekans devre modelleri genellikle frekansa bağlı olmayan devre elemanlarından oluşur. Yüksek frekanslarda ise elemanın frekansla ilgili etkilerini gösterebilmek için, devreye kapasitans ve endüktanslar eklenebilir. Bu tip devre modellerine de yüksek frekans eşdeğer devre modeli denir.

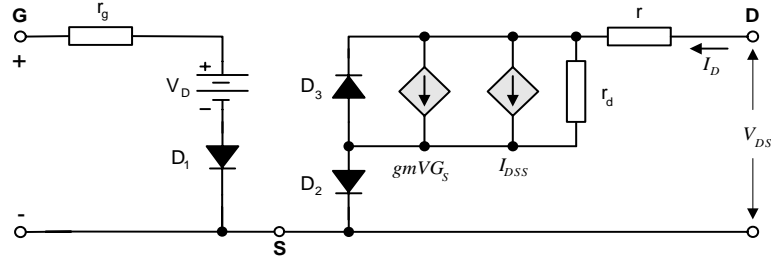
#### Alçak Frekans-Büyük Sinyal İçin JFET Devre Modeli

Alçak frekans-büyük sinyal için tasarlanan devre modeline eşdeğer devre ismi de verilmektedir. JFET karakteristikleri, bipolar transistör karakteristiklerine biraz benzerlik göstermesine karşın, bu karakteristikler arasında üç önemli fark vardır. Birinci fark, JFET'in kontrol parametresi akımdan ziyade gerilim esasına bağlı oluşudur. İkinci fark, JFET'te giriş gerilimi sıfır iken çıkış akımının akmasıdır. Üçüncü fark ise; JFET karakteristik eğimlerinin belli bir eğime sahip olduklarıdır.

Normal çalışma şartları altında JFET'te geytten sörs'e doğru sinyal akımı hiç akmaz. Bu nedenle, geyt-sörs direnci kullanılan elemana bağlı olarak mega ohm'lar mertebesinde dir.  $V_{GS}$ 'nin  $I_D$  akımı üzerindeki etkisi ise transdüktans eşitliği;

$$g_m = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta V_{GS}}$$

ile gösterilmişti.  $V_{GS}$  gerilimindeki değişimler nedeni ile  $I_D$ 'de meydana gelen değişimler, dreyn-sörs devresinde gerilime Bağımlı akım kaynağı sembolü ( $g_m.V_{GS}$ ) ile şekil-9.1'de verilen eşdeğer devrede gösterilmiştir. Devrede  $V_{DS}$  gerilimi artarken  $I_D$  akımı da belli bir eğimle yükselir.  $V_{DS}$  gerilimi ile  $I_D$  akımı arasındaki bu etkileşim eşdeğer devrede dreyn-sörs arasına konulan  $r_d$  iç direnci ile gösterilebilir.  $r_d$ 'nin değeri JFET ve MOSFET için 10K $\Omega$  ile 100K $\Omega$  arasındadır. Eşdeğer devrenin çıkışında görülen  $r$  direnci, dreyn uç (terminal) direncidir.



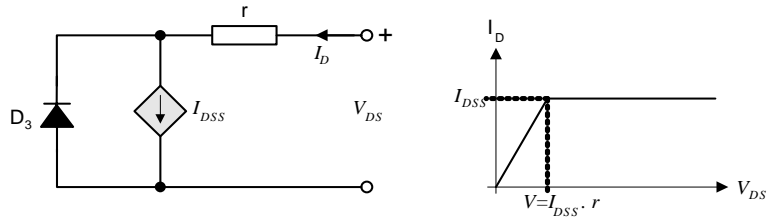
Şekil-11.1 N Kanallı JFET'in Sembolü ve piecewise-lineer modeli (Eşdeğeri)

Eşdeğer devrede girişi temsil eden geyt-sörs arası ise PN bitişimli diyoda benzer. Diyodun ileri yön ofset gerilimini  $V_D$  kaynağı, omik direncini ise  $r_g$  direnci temsil eder. Geyt sörs'e göre negatif olduğundan çok az bir geyt akımı akar.  $V_{GS}$  gerilimi çok büyük negatif değer olsa bile,  $D_2$  diyodu çıkış devresinden akması beklenen ters yönlü akımın akışını önler. Eşdeğer devre yardımı ile daha iyi anlaşılabilir bu özellik, JFET'in daraltma olayındaki güvenilirliğini açıklamaya yeterlidir.

Çıkış devresi daha basitleştirilerek incelenebilir. Bu amaçla şekil-9.2.a'da verilen eşdeğer devre ve karakteristik üzerinde durulur.

$I_D$  akımı  $I_{DSS}$  akımından daha küçük olduğunda,  $D_3$  diyodu ileri yönde polarlanır. Akım kaynağı uçlarında gerilim düşümüne izin vermez. Uygulanan  $V_{DS}$  gerilimi, eğrinin eğimini belirleyen  $r$  dreyn direnci uçlarında düşer. Uç gerilimi,  $I_{DSS}r$  değerine eşit veya bu değerden fazla olduğunda,  $r$  direncinden geçen  $I_D$  akımı  $I_{DSS}$ 'ye eşit duruma gelir. Böylece  $D_3$  diyodu ters yönde polarlanır. Bundan dolayı eğri aşağıdan sıfır eğimli kısma bükülürken,  $I_D$  akımı da şekil-9.2.b'de görüldüğü gibi  $I_{DSS}$  değerine erişir. Şayet  $r_d$  değerli bir direnç akım kaynağına paralel bağlanırsa, bükülme noktasında eğrinin değeri  $R_{eş}$  eşitliği ile bulunabilir. Burada;

$$R_{eş} = Eşdeğer direnç = r + r_d$$



Şekil-9.2.a ve b JFET Çıkış Devresinin basit eşdeğeri ve V-I karakteristiği

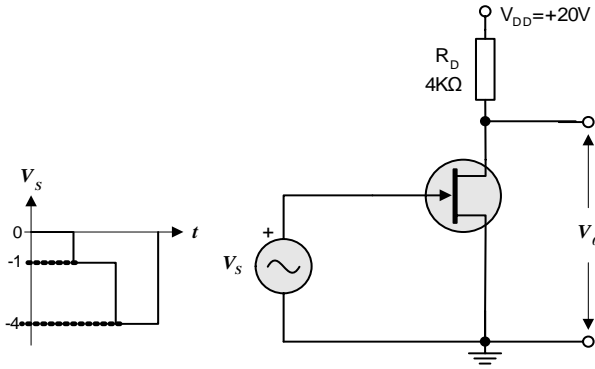
Bu takdirde meydana gelen sıfır eğimli kısım yerine,  $I_D$  akımı  $I_{DSS}$  değerine eriştiğinde eğrinin eğimi;

$$\frac{1}{r + r_d}$$

eşitliği ile bulunabilecektir. Sabit akım kaynağı  $I_{DSS}$ 'ye akım kaynağı  $gm \cdot V_{GS}$ 'nin eklenmesi bütün eğrilerin üretilmesini sağlar. Bunun için şekil-9.1 deki eşdeğer devre modeli JFET karakteristiklerinin üretebileceği uygun bir devre modelidir.

Ters polarmalandırılan diyod yüksek bir empedans göstereceğinden giriş devresi çoğunlukla açık devre şeklinde düşünülebilir. Bu özellik MOSFET için her zaman doğrudur. Devrenin çalışması sırasında ve geyt-sörs arası ters polarmalı olan JFET'e de bu özellik uygulanabilir.

**Örnek:  
9.1**



Şekil-9.3'de verilen JFET'li yükselteç devresinde;

$$I_{DSS}=6mA,$$

$$gm=2mho,$$

$$V_0=0.6 \text{ volt}$$

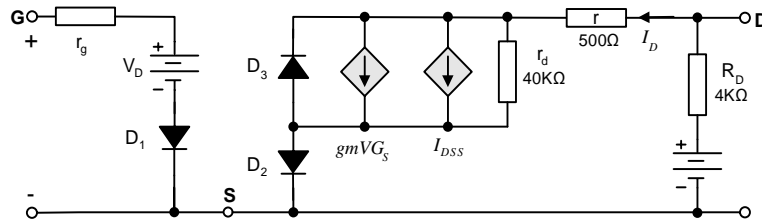
$$r=500 \text{ ohm ve } r_d=40K \text{ ohm}$$

olduğuna göre yükseltecin çıkış dalgı şeklini bulunuz.

Şekil-9.3 JFET'li yükselteç devresi

**Cözüm**

Eşdeğer devre modelinden yararlanarak şekil-9.4'de görülen eşdeğer devreyi çizebiliriz. Devre girişinde  $V_s=0$  iken,  $D_3$  diyodundan geçen akım  $6mA$ 'lik  $I_{DSS}$  akımından daha azdır. Çünkü dreyn yük direnci bu akımı  $6mA$ 'den daha küçük bir değerde sınırlar. Böylece  $D_3$  diyodu ileri yönde polarmalanır.



Şekil-9.4 JFET'li yükselteç devresinin eşdeğeri

Bu durum şekil-9.5.a'da basitleştirilmiş eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu giriş geriliminde JFET doyumdadır ve  $V_{GS}=0$  için dreyn akımı;

$$I_D = \frac{V_{DD}}{r + R_D} = \frac{20V}{500\Omega + 4K\Omega} = 4.44mA$$

Çıkış gerilimi  $V_{DS}$ ;

$$V_{DS} = V_{DD} - (I_D \cdot R_D) = 20V - (4.44mA \cdot 4K\Omega) = 2.22V$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (I_D \cdot R_D) = 20V - (4.44mA \cdot 4K\Omega) = 2.22V$$

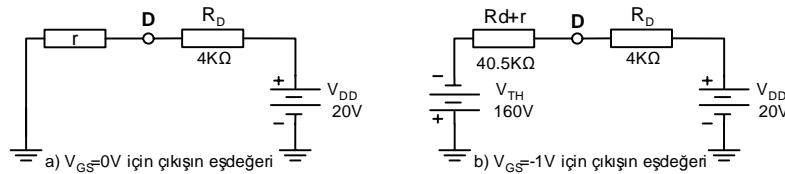
olur. Şekil-9.5.b'deki eşdeğer devre  $V_{GS}=-1$  volt durumundaki karakteristik eğriyi göstermektedir. Bu durumda iki akım kaynağı tarafından üretilen net akım,

$$I = I_{DSS} + (gm \cdot V_{GS}) = 6mA + 2 \cdot (-1V) = 4mA$$

olur.  $D_3$  diyodu ters yönde polarmalanır ve açık devre özelliği gösterir. Devrede geriye  $4mA$ 'lık akım üreten iki kaynağı ile bunlara paralel bağlı  $40K\Omega$ 'luk direnç kalır. Akım kaynağı gerilim kaynağına dönüştürülürse Thevenin eşdeğer gerilimi;

$$V_{TH} = 4mA \cdot 40K\Omega = 160V$$

değerinde gerilim kaynağı ve buna seri bağlı  $40K\Omega$ 'luk eşdeğer devre haline gelir. Buna göre dreyn akımı;



Şekil-9.5 a)  $V_{GS}=0V$ , b)  $V_{GS}=-1V$  durumu için Çıkış Devresinin Eşdeğeri

$$I_D = \frac{V_{TH} + V_{DD}}{r + rd + R_D} = \frac{160 + 20V}{40K\Omega + 500\Omega + 4K\Omega} = 4.045mA$$

olur. Çıkış gerilimi ise;

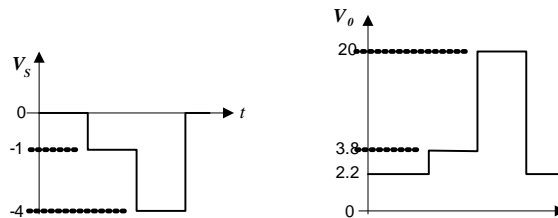
$$V_{DS} = V_{DD} - (I_D \cdot R_D) = 20V - (4.045mA \cdot 4K\Omega) = 3.8V$$

değerini alır. Giriş sinyali  $V_S=-4$  v değerine geldiğinde, iki akım kaynağının ürettiği net akım,

$$I_{DSS} + (gm \cdot V_{GS}) = 6mA - (2 \cdot 4V) = -2mA$$

olur. Bu durumda,  $D_2$  diyodu, ters yönde polarmalanır ve dreyn devresinden ters yönde akım akmasına izin vermez.

JFET kesime gittiğinden çıkış sinyali  $20v$ 'luk bir değere ulaşır. Yine,  $V_S$  giriş sinyali  $0v$ 'a doğru değiştiğinde çıkış da  $2.22V$ 'a iner ve olaylar aynı biçimde devam eder. Şekil-9.6'da yükselteç giriş ve çıkış işaretleri verilmiştir.



Şekil-9.6 JFET'li Katm Giriş ve Çıkış Sinyallerinin Dalga şekilleri

### Alçak Frekans-Küçük Sinyal JFET Modeli

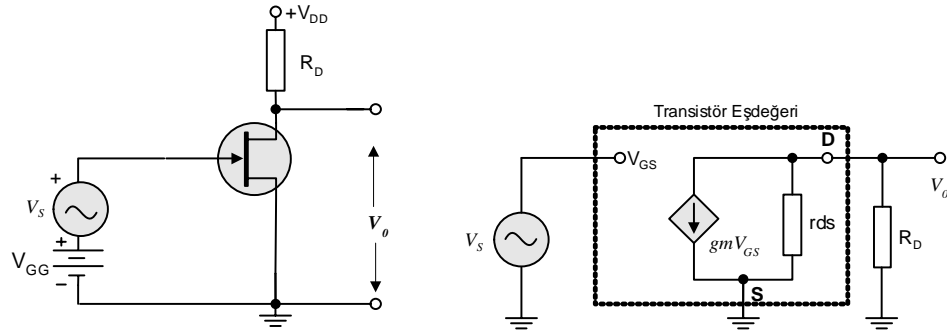
Alçak frekans-küçük sinyal için tasarlanmış, tek besleme kaynağına sahip bir JFET'li yükselteç ve eşdeğer devresi şekil-9.7.a'da verilmiştir. Küçük sinyal modelini kullanabilmek için,  $g_m$  ve  $r_{ds}$  değerlerinin verilmesi veya bu değerlerin karakteristik eğrilerden bulunması gerekir. Eğriler kullanılırsa, bu değerler sükunetteki çalışma noktasına yakın  $I_D$ ,  $V_{DS}$ ,  $V_{GS}$  miktarına göre tespit edilir. Daha sonra transdüktans;

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \Big|_{V_{DS}=\text{sabit}}$$

ve dreyn-sörs arası (dreyn iç ve çıkış) direnci;

$$r_{ds} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_{DS}} \Big|_{V_{GS}=\text{sabit}}$$

eşitliklerinden bulunur. Küçük sinyal eşdeğer devresi dc seviyeleri içine almaz. Bu nedenle  $V_{GG}$ ,  $V_{DD}$  gibi bütün dc kaynaklar kısa devre edilir. JFET'lerde dc ve ac hesapların birbirlerine olan etkisini gösterebilmek için şekil-9.7.a'da görülen yükselteç ile karakteristiklerinin kullanıldığını,  $V_{GG}=-1V$ ,  $R_D=2K\Omega$ , ve  $V_{DD}=20V$  olduğunu kabul edelim.



Şekil-9.7.a ve b. JFET'li Yükseltecin Gerçek ve eşdeğer Devresi (self Polarma Devresi)

DC çalışma şartları, daha önce açıklandığı gibi, dreyn karakteristikleri üzerine yük çizgisi çizilerek ve sükunet noktası işaretlenerek belirlenir. Önceki bölümde karakteristiklerde;

$$V_{GSQ}=-1v \text{ durumu için, } V_{DSQ}=9v \text{ ve } I_{DQ}=5.5mA$$

değerleri bulunmuştu. Bu noktadaki transdüktansın  $g_m=3.5 \text{ mmho}$  ve dreyn iç direncinin  $r_{ds}=10K\Omega$  olabileceği hesaplanır. Şekil-9.7.b'deki küçük sinyal eşdeğer devresinden giriş gerilimi;

$$V_s=V_{GS}$$

çıkış gerilimi ise;

$$V_o = [-g_m \cdot V_{GS}] \cdot \frac{r_{ds} \cdot R_D}{r_{ds} + R_D} = [-g_m \cdot V_s] \cdot \frac{r_{ds} \cdot R_D}{r_{ds} + R_D}$$

yazılabilir. Bu durumda gerilim kazancı;

$$A_V = \frac{V_0}{V_S} = -gm \cdot \frac{r_{ds} \cdot R_D}{r_{ds} + R_D}$$

olur. Gerekli hesaplamalar yapılırsa;

$$A_V = \frac{V_0}{V_S} = -3.5 \cdot \frac{20K\Omega \cdot 2K\Omega}{20K\Omega + 2K\Omega} = 6.4$$

olacağı bulunur. Eğer giriş gerilimi  $V_i=0.5 \cos \omega t$  ise çıkış bu durumda çıkış sinyali;

$$V_0 = A_V \cdot V_S = -6.4 \cdot (0.5 \cos \omega t) = -3.2 \cos \omega t$$

dir. Bu durumda girişteki AC ve DC sinyallerin toplamı girişte;

$$V_{GS} = V_{GG} + V_S$$

$$V_{GS} = -1 + 0.5 \cos \omega t$$

ve çıkış sinyali ise;

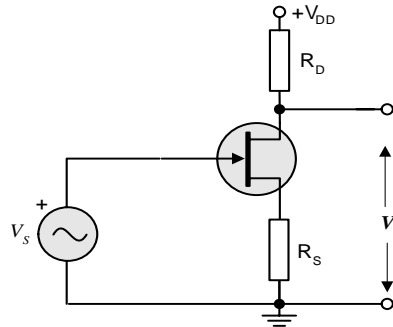
$$V_{DS} = V_{DSQ} + V_0 = 9 - 3.2 \cos \omega t$$

olur.

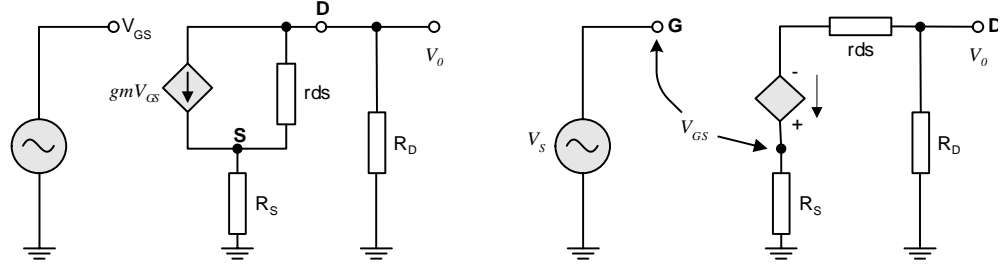
Burada bir eşdeğer devrenin kullanılması ile ortaya çıkan sonuçların grafiksel analizle oldukça iyi uyduğu görülebilir. Eşdeğer devrenin kullanımı konusunda bir sorun olduğunda, grafik metotla ilgili kata çok kolay biçimde uygulanabilir.

Eşdeğer devre çözümünde analitik metod kullanmanın bir çok üstünlüğü vardır. Analitik metotla dizayn, DC seviyeler kritik değilse V-I karakteristikleri kullanılmadan da yapılabilir. Tipik  $g_m$ ,  $r_{ds}$  ve  $V_P$  değerleri, pek çok tasarımda devrenin yeterli doğrulukta uygulanabilmesine imkan sağlarlar. Ayrıca çok katlı tasarımlarda analitik metodular sayesinde hızlı bir şekilde yapılabilir. Diğer bir üstünlük, self polarma direnci baypaslanmadığı zaman görülebilmektedir. Halbuki, aynı devre için grafiksel metot kullanarak gerilim kazancını hesaplamak çok zordur. Bundan dolayı, self polarma direnci baypaslanmadığı zaman gerilim kazancını bulmak için analitik bir ifade geliştireceğiz.

Şekil-9.8'de bu duruma uygun bir yükselteç görülmektedir. Bu yükselteç devresinin alçak frekans küçük sinyal eşdeğeri ise şekil-9.9.a'da verilmiştir. Bu devrede,  $g_m$ ,  $V_{GS}$  akım kaynağı ve  $r_{ds}$  dreyin iç direncinin theve'nin eşdeğer devresi şekil-9.9.b'de görülmektedir.



Şekil-9.8  $R_S$  direnci baypaslanmış JFET'li Yükselteç



Şekil-9.9.a ve b  $R_s$  direnci baypaslanmış JFET'li yükseltecin eşdeğer devreleri

Theve'nin eşdeğer devresinde çıkış gerilimi;

$$V_0 = - \frac{R_D}{R_D + r_{ds} + R_S} gm \cdot V_{GS} \cdot r_{ds}$$

veya;

$$V_0 = \frac{-R_D}{R_D + r_{ds} + R_S} \mu V_{GS} \quad \mu = gm \cdot r_{ds}$$

dir. Burada;  $\mu = gm \cdot r_{ds}$  eşitliğinin karşılığıdır. Yine, bu devrede geyt-sörs arası gerilim, giriş sinyaline eşit değildir. Geyt-sörs gerilimi;

$$V_{GS} = V_S - \frac{R_S}{R_D + r_{ds} + R_S} \mu V_{GS}$$

yazılabilir.  $V_{GS}$  için çözüm yapılırsa;

$$V_{GS} = V_S \frac{R_D + r_{ds} + R_S}{R_D + r_{ds} + (\mu + 1) \cdot R_S}$$

eşitliği elde edilir.  $V_{GS}$ 'nin bu değeri  $V_0$  eşitliğinde yerine konursa, çıkış gerilimi;

$$V_{GS} = \frac{-R_D \cdot \mu \cdot V_S \frac{R_D + r_{ds} + R_S}{R_D + r_{ds} + (\mu + 1) R_S}}{R_D + r_{ds} + R_S} = \frac{-R_D \cdot \mu \cdot V_S}{R_D + r_{ds} + (\mu + 1) R_S}$$

olur. Gerilim kazancı için de;

$$A_V = \frac{V_0}{V_S} = \frac{\frac{R_D \mu \cdot V_S}{R_D + r_{ds} + (\mu + 1) R_S}}{V_S} = \frac{-\mu R_D}{R_D + r_{ds} + (\mu + 1) R_S}$$

eşitliği bulunur.  $R_s$  değeri sıfıra doğru azaltılırken, (11.2) eşitliği self polarma direnci olmayan JFET'li yükselteç için kullanılan (11.1) eşitliği ile bulunacak değere yaklaşır. Miktarı, yükseltme (amplifikasyon) faktörü diye isimlendirilir,

$$\mu = - \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} \right|_{I_D = \text{Sabit}}$$



formülü ile değerlendirilebilir. Miktarının değerlendirilmesin de çok doğru olan diğer bir formül de aşağıda verilmiştir.

$$\mu = gm \cdot r_{ds}$$

Gerilim kazancı hesaplamalarında devrenin karakteristik eğrilerinin lineer kısmında çalıştığının kabul edildiğini belirtmek gerekir. Belli bir çıkış sinyalinde aktif bölgenin dışına çıkmaz ise, küçük sinyal eşdeğer devresi için lineer kısımdan söz etmek gerekmez.

Örneğin, gerilim kazancı -12 olan bir JFET'e tepe değeri 2V'a sahip giriş sinyali uygulanırsa, bu girişin çıkışta, tepe değeri 24V olacak çıkış sinyali yaratabileceği önceden tahmin edilebilir. Ancak  $V_{DD}=20V$  ise, şüphesiz bu çıkış elde edilemez.

JFET'li yükseltecin çıkış empedansı birçok uygulama için önemli bir değerdir. şekil-11.5'deki self-polarma direnci kullanılmayan JFET'li yükseltecin çıkış empedansı,

$$R_D = R_D - r_{ds} = \frac{R_D \cdot r_{ds}}{R_D + r_{ds}}$$

şeklinde yazılabilir. Sörs'e bağlı self polarma direnci ( $R_s$ ) baypaslanmış şekil-11.6'daki JFET'li yükselteç devresi için çıkış empedansı;

$$R_D = R_D - [r_{ds} + (\mu + 1) R_s] \quad R_D = \frac{R_D [r_{ds} + (\mu + 1) R_s]}{R_D + r_{ds} + (\mu + 1) R_s}$$

ifadesiyle gösterilebilir.

## Multivibratörler

### KONULAR:

1. Dengesiz (astable) multivibratörün çalışması ve özelliklerini incelemek.
2. Çift dengeli (bistable) multivibratörün çalışmasını ve özelliklerini incelemek.

### GEREKLİ DONANIM:

Güç Kaynağı: 12VDC  
Transistör: 2xBC108C  
LED: 5mm standart led  
Direnç: 2x100Ω, 2x470Ω, 2x1K, 2x2.2KΩ, 2x4.7KΩ, 2x10KΩ  
Kondansatör: 2x22nF, 2x100nF, 2x100μF, 2x2200μF

### ÖN BİLGİ:

Multivibratörler; Dengeli (stable) ve dengesiz (astable) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Dengesiz multivibratörler, iki transistörle oluşturulmuş kare dalga osilatörleridir. Şekil-24.1'de görülen dengesiz multivibratör devresi incelendiğinde transistörlerin giriş ve çıkışlarının birer kondansatörle birbirlerine bağlandığı görülmektedir.

Her bir transistörün karakteristiklerindeki farklılıklarından dolayı transistörlerden biri iletimde iken diğeri kesimdedir. Başlangıçta Q<sub>1</sub> transistörünün iletimde olduğunu kabul edelim.

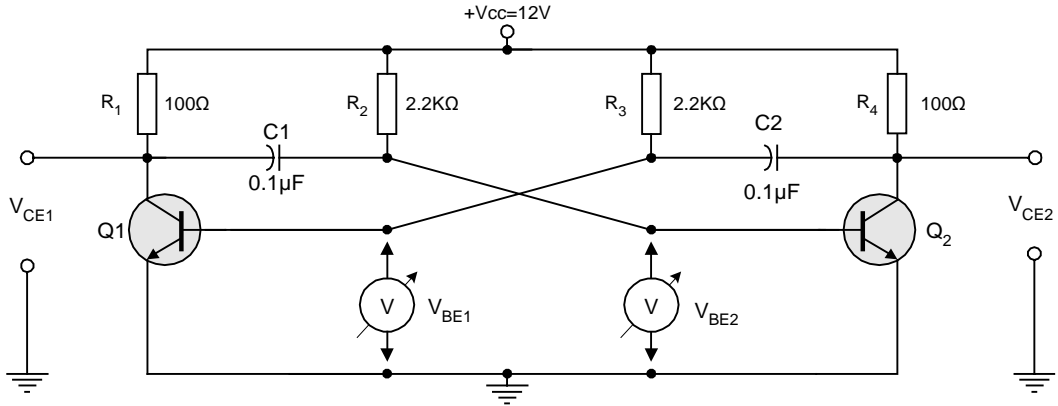
Bu durumda V<sub>CE1</sub>=0V olur. V<sub>CE1</sub> gerilimi C<sub>2</sub> kapasitörü üzerinden Q<sub>2</sub> transistörünün beyzine kuple edilir. Q<sub>2</sub> transistörünün beyzi emiterine nazaran daha negatif olur ve kesime gider.

Bu anda C<sub>2</sub> kapasitörü, R<sub>2</sub> direnci üzerinden deşarj olarak zıt yönde dolmaya başlar. Üzerindeki gerilim 0.7V'a ulaştığında Q<sub>2</sub> transistörünün beyzini tetikleyerek iletime geçirir. Bu anda Q<sub>2</sub>'nin çıkış gerilimi V<sub>CE2</sub>=0V'a düşmüştür. Bu gerilim negatif bir pals olarak C<sub>1</sub> kondansatörü ile Q<sub>1</sub>'in beyzine kuple edilir ve Q<sub>1</sub> kesime gider. C<sub>1</sub> kondansatörü R<sub>1</sub> üzerinden deşarj olarak zıt yönde dolmaya başlar. Bu gerilim 0.7V'a ulaşınca Q<sub>1</sub> transistörünü iletime geçirir. Bu olaylar böylece tekrarlanır.

Sonuçta transistör çıkışlarından (V<sub>CE1</sub> ve V<sub>CE2</sub>) bir kare dalga işaret elde edilir. Bu işaretin frekansı C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> kondansatörlerine ve R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> direnç değerlerine bağlıdır. Elde edilen işaretin periyodu yaklaşık olarak;

$$T = 0.7(R_2C_1) + (R_3C_2)$$

formülünden bulunur. Çıkışlarda düzgün bir kare dalga elde etmek için R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub> ve C<sub>1</sub>=C<sub>2</sub> seçilmelidir.

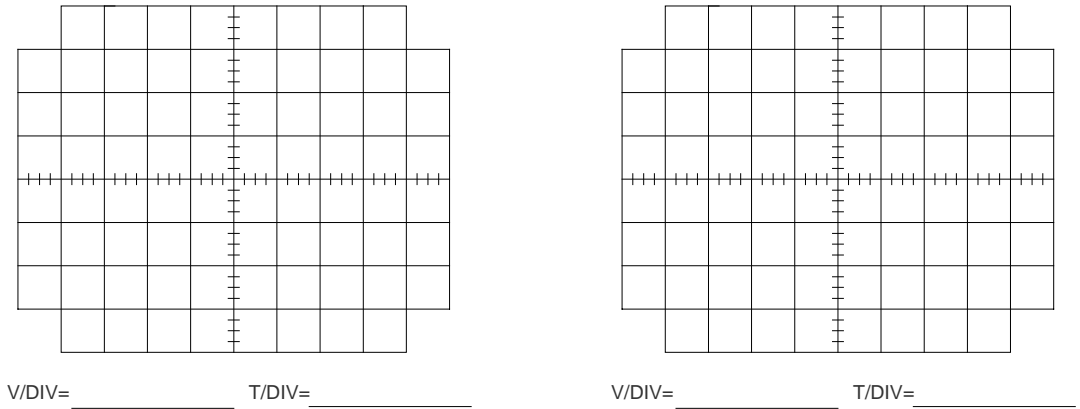


Şekil-24.1 Dengesiz (astable) Multivibratör Devresi

## DENEY 1:

### DENGESİZ MULTİVİBRATÖR:

- 1.1 Şekil-24.1'deki dengesiz multivibratör devresini deney seti üzerine kurunuz. Osilaskop kullanarak dengesiz multivibratör devresinde  $V_{CE1}$ ,  $V_{BE1}$  gerilimlerinin dalga biçimlerini şekil-24.2.a' da görülen diyagrama çiziniz.
- 1.2  $V_{CE2}$ ,  $V_{BE2}$  gerilimlerinin dalga biçimlerini ise şekil-24.2.b'deki diyagramlara orantılı olarak çiziniz.
- 1.3  $Q_2$  veya  $Q_1$  transistörünün çıkış dalga biçimlerini inceleyiniz.  $Q_1$  ve  $Q_2$  Transistörlerinin kesim ( $T_1$ ) ve doyum anındaki ( $T_2$ ) periyotlarını ölçerek tablo-24.1'deki ilgili yerlere kaydediniz.
- 1.4 Şekil-24.1'deki dengesiz multivibratör devresinde  $R_1$ ,  $R_2$  dirençlerini ve  $C_1$ ,  $C_2$  kondansatörlerini tablo-24.2'de belirtilen değerlerle sıra ile değiştiriniz.



Şekil-24.2 a ve b Kararsız multivibratörün dalga biçimleri



Transistör	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> +T <sub>2</sub>	F
Q <sub>1</sub>				
Q <sub>2</sub>				

Tablo-24.1 Multivibratör Dalga şekilleri

- 1.5 Değiştirdiğiniz Her değer için çıkış işaretlerinin T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> değerlerini ve toplam periyot değerini (T=T<sub>1</sub>+T<sub>2</sub>) ölçerek tablo-24.2'deki ilgili yerlere kaydediniz.

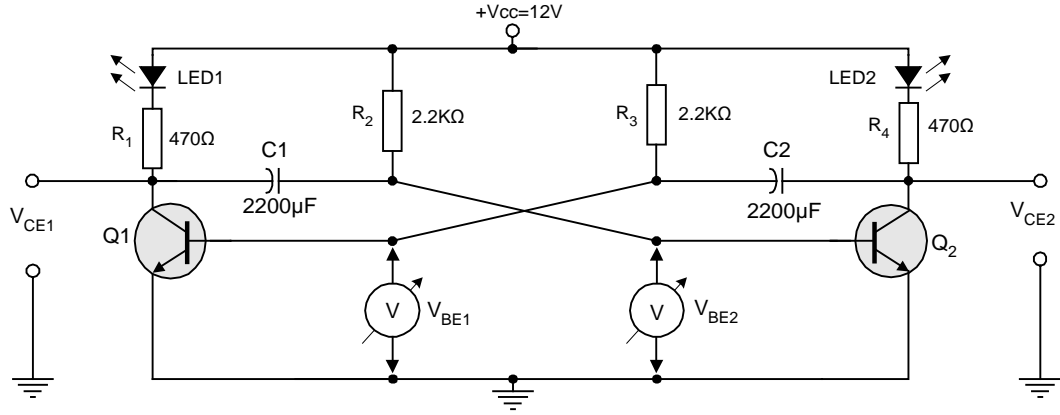
C <sub>1</sub> (nF)	C <sub>2</sub> (nF)	R <sub>2</sub> (Ω)	R <sub>3</sub> (Ω)	T <sub>1</sub> (μs)	T <sub>2</sub> (μs)	T=T <sub>1</sub> +T <sub>2</sub>	F=1/T
100	100	2K2	2K2				
100	100	4K7	4K7				
100	100	1K	1K				
22	22	1K	1K				
22	22	2K2	2K2				
100	100	2K2	4K7				
100	100	4K7	2K2				

Tablo-24.2 Dengesiz Multivibratör devresinin çeşitli değerler altında Karakteristikleri

## DENEY: 2

### UYGULAMA DEVRESİ (FLAŞÖR):

Bu deneyde dengesiz multivibratörü kullanarak bir flaşör devresi tasarlayacağız. Böylece multivibratörün çalışmasını görsel olarak daha iyi anlayacağız. Uygulaması yapılacak olan flaşör devresi şekil-24.3'de verilmiştir.



Şekil-24.3 Dengesiz multivibratör ile yapılan flaşör devresi

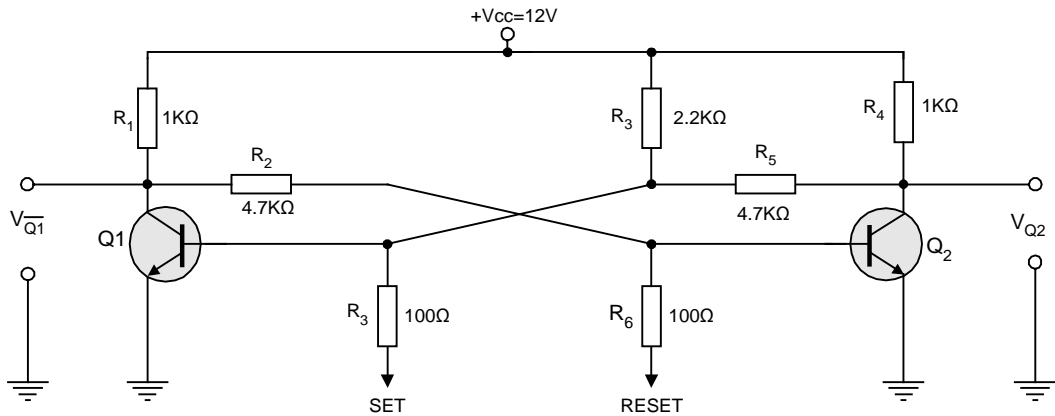
### DENEYİN YAPILIŞI:

- Şekil-24.3'deki devreyi deney seti üzerine kurunuz. Devreye enerji vererek çalışmasını LED'lerin yanıp sönmesine bakarak irdeleyiniz.
- Devredeki  $C_1$  ve  $C_2$  kondansatörlerini  $100\mu\text{F}$  yapınız. Devrenin çalışmasını gözlemleyiniz. Devrenin çalışmasında ne gibi değişiklikler olmuştur. Neden? Açıklayınız?

### DENEY: 3

#### ÇİFT DENGELİ MULTİVİBRATÖR:

Bu bölümde Çift Dengeli Multivibratör devresinin çalışmasını ve özelliklerini inceleyeceğiz. Deneyde kullanacağımız çift dengeli multivibratör devresi şekil-24.4'de verilmiştir.



Şekil-24.4 Çift dengeli (Bistable) multivibratör devresi



## ÖN BİLGİ:

Multivibratörlerin Dengeli ve Dengesiz olmak üzere ikiye ayrıldıklarını belirtmiştik. Dengeli çalışan multivibratörler tek dengeli (monostable) ve çift dengeli (bistable) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Çift dengeli multivibratörler, özellikle sayısal elektronik uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. Bellek oluşturulmasında kullanılan flip-flop'lar gerçekte birer bistable multivibratördür. Şekil-24.4'de bir bistable multivibratör devresi verilmiştir. Devrenin çalışmasını kısaca özetleyelim.

Bistable multivibratör devresine enerji verildiğinde; transistörlerden biri iletme diğeri kesime gidecektir. Kullanılan farklı materyaller nedeniyle hangi transistörün önce iletme geçeceği konusunda bir şey söylenemez.  $Q_2$ 'nin iletimde  $Q_1$ 'in ise kesimde olduğunu kabul edelim. Bu durumda;

$$V_{Q2}=0V, V_{Q1}=V_{CC}$$

değerine ulaşır. Bir an için  $Q_2$  transistörünün RESET ucu (beyz) şase potansiyeline alındığında  $Q_2$  transistörü kesime gidecek ve  $V_{Q2}$  gerilimi besleme gerilimine ulaşacaktır. Bu durum;  $Q_1$  transistörüne  $R_5$  üzerinden pozitif bir beyz gerilimi uygulanmasını sağlar.

Bu pozitif gerilim,  $Q_1$  transistörünü iletme sürer.  $V_{Q1}=0V$  olur.  $Q_1$  transistörünün kollektör gerilimi azalmıştır. Bu gerilim  $R_2$  üzerinden  $Q_2$  transistörünü kesime sürer. Bu durum da;  $Q_1$  transistörü iletimde,  $Q_2$  transistörü ise kesimdedir. Bu durum; kararlı durum olarak adlandırılır. Diğer bir kararlı duruma geçme; yani  $Q_2$  iletimde,  $Q_1$ 'in kesimde olması ise SET girişinin kısa bir süre şase potansiyeline bağlanması ile sağlanır.

Sonuç olarak bu tip multivibratörde transistörlerin durumları R ve S uçlarından uygulanan polariteye bağlıdır. Transistörler; R ve S uçlarından en son uygulanan polariteye bağlı olarak durumlarını devamlı korurlar. Bu durum sayısal elektronik de bilgi depolamada önemlidir.

Multivibratör girişlerinden R reset (sil) anlamına, S ise; set (kur) anlamına gelmektedir. Bu deneyde bu uçların işlevlerini göreceksiniz.

## DENEYİN YAPILIŞI:

- 3.1 Şekil-24.4'deki çift dengeli multivibratör devresi görülmektedir. Bu devreyi deney seti üzerine kurunuz.
- 3.2 Tablo-24.4'de belirtilen sayısal değerleri kısa bir süre için devrenin RESET ve SET girişlerine uygulayınız. R ve S girişlerinden uygulayabileceğiniz işaretin ve transistör çıkışlarından alacağınız analog değerlerin sayısal karşılıkları da tablo-24.3'de verilmiştir.

SAYISAL DEĞER	0	1
GİRİŞ	$V=0V$	$V=12V$
ÇIKIŞ	$V<2$ volt	$V>9$ volt

Tablo-24.3 Sayısal verilerin analog karşılıkları



- 3.3 Bu çalışmada ve tablo-24.4'de belirtilen değerler analog olarak tablo-24.3'de verilen değerlere karşılık gelmektedir. Elde ettiğiniz sonuçların sayısal değerlerini tablo-24.4'deki ilgili yerlere kaydediniz.

RESET	SET	$V_{Q1}$	$V_{Q2}$
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

*Tablo-24.4 Bistable Multivibratörün Çalışması*

**ÖZET:**

- Çift kararlı multivibratörler bistable multivibrators olarak bilinirler.
- Çift kararlı multivibratör, sayısal elektronikten anımsayacağınız temel RS flip flop devresini oluşturmaktadır.
- İki transistörden meydana gelen bu devre bilgi saklanması için kullanılır.



## FAZ KAYMALI RC OSİLATÖR

### KONULAR:

1. Osilatörler ve temel çalışma prensipleri
2. Faz Kaymalı RC osilatörün temel çalışma prensipleri ve özellikleri

### GEREKLİ DONANIM:

Güç Kaynağı: 12VDC  
Transistör: BC108C veya Muadili  
Direnç: 1K $\Omega$ , 2x2.2 $\Omega$ , 3.3 $\Omega$ , 5.6K $\Omega$ , 4x10K, 22K, 33K $\Omega$   
Kondansatör: 3x10n, 10 $\mu$ F, 47 $\mu$ F

### ÖN BİLGİ:

DC gerilimi istenilen frekansta işaretlere dönüştüren devrelere osilatör denir. Osilatörler DC gerilim kaynakları ile beslenirler. Bir osilatör devresi; osilasyonu başlatan rezonans devresi, yükselteç ve geribesleme katlarından oluşmaktadır.

Temel osilatör devrelerinden sinüsoydal çıkış alınır. Fakat çıkışlarında kare, üçgen v.b dalga biçimleri elde edilebilen osilatör tasarımı da yapılabilir.

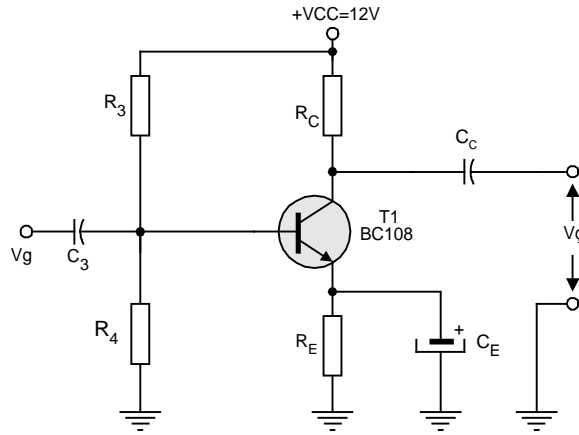
Osilatörler; kullanım amaçları ve özelliklerine bağlı olarak çeşitli şekillerde tasarlanabilirler. Osilasyonun başlamasını sağlayan rezonans devreleri genellikle; R-C veya R-L pasif devre elemanlarında oluşur. Aşağıda popüler ve yaygın kullanım alanları bulunan bazı osilatör tipleri sıralanmıştır. Bu osilatör devreleri sırayla incelenecektir.

- RC Faz kaymalı osilatör
- Wien Köprü osilatörü
- Kolpits osilatörü
- Hartley osilatörü, kristal osilatör v.b

Bir osilatör devresinin oluşturulabilmesi için önce tank devresi (rezonans devresi) ve yükselteç devresine gereksinim vardır. Ayrıca osilasyonun sürekliliğini sağlamak için yükselteç devresinde pozitif geribesleme yapılmalıdır.

Şekil-25.1'de ortak emiterli bir yükselteç devresi görülmektedir. Bu yükselteç devresini geliştirerek bir osilatör devresine dönüştürebiliriz. Ortak emiterli yükselteç devresinde; yükselteç girişine uygulanan işaret ile çıkışından alınan işaret arasında 180<sup>0</sup> faz farkı olduğunu biliyoruz.

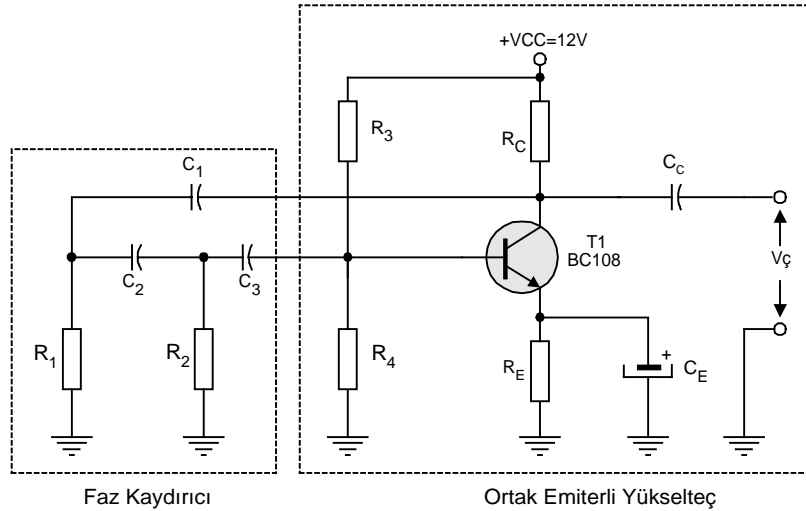
Ortak emiterli yükselteç devresini bir osilatör haline dönüştürmek için; yükselteç çıkışından alınacak işaretin bir kısmı, pozitif geribesleme ile yükselteç girişine uygulanmalıdır. Bu osilasyonun sürekliliği için gereklidir. Osilasyonun başlaması ile R-C devreleri ile gerçekleştirilir. Osilasyon işlemi için bir kondansatörün şarj ve deşarj süresinden faydalanılır.



Şekil-25.1 Ortak emiterli yükselteç devresi

Yükselteç çıkış gerilimini; girişe geri besleyerek osilasyon elde edebilmek için, çıkış işaretini  $180^\circ$  faz kaydırmak gerekmektedir. RC faz kaydırmalı osilatör devresinin temel prensibi bu koşula dayanmaktadır. Şekil-25.2'de RC faz kaydırmalı osilatör devresi verilmiştir. Devre dikkatlice incelendiğinde çıkış işaretinin bir kısmı RC geri besleme elemanları ile girişe geribeslenmiştir.

Her bir RC hücresi; çıkış işaretinin bir kısmını  $60^\circ$  faz kaydırmaktadır. Çıkış ile giriş arasında 3 adet faz kaydırma devresi kullanılmıştır. Dolayısıyla çıkış işaretinin fazı  $180^\circ$  kaydırılarak girişe pozitif geribesleme yapılmıştır.



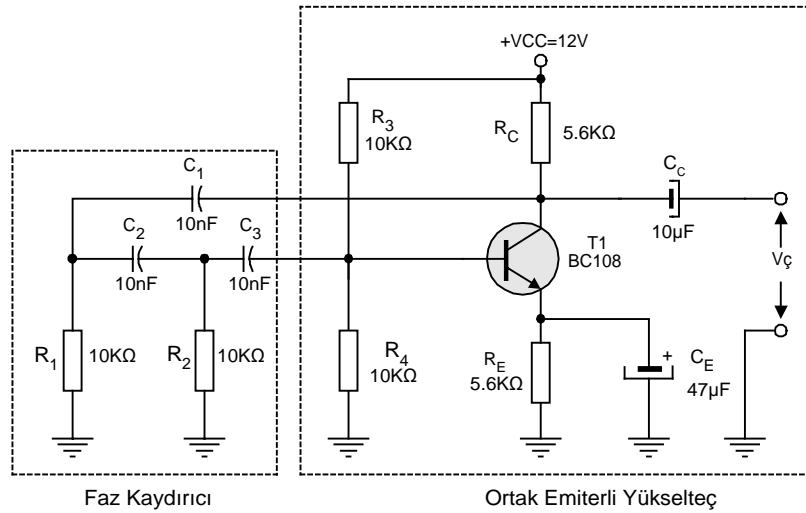
Şekil-25.2 RC faz kaydırmalı osilatör devresi

Her bir RC devresinin  $60^\circ$  faz kaydırması istenirse  $R_1=R_2=R_3$  ve  $C_1=C_2=C_3$  olarak seçilmelidir.  $R_3$ , ortak emiterli yükseltecin giriş empedansıdır.

Giriş empedansının  $R_1$  ve  $R_2$ 'ye eşit olması gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığı zaman, çıkış işaretinin frekansı aşağıdaki formül yardımı ile bulunur.

$$f = \frac{1}{2\pi C \sqrt{6R_1^2 + 4R_1R_C}}$$

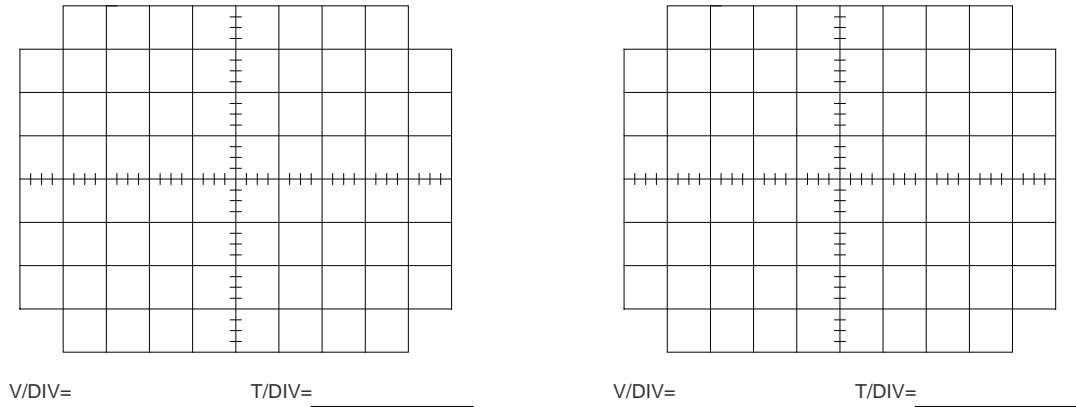
Osilasyonların genliği, geribesleme oranına ve yükseltecin kazancına bağlıdır. Geribesleme oranı seri RC devrelerinin toplam empedansına bağlıdır. Bu empedans arttıkça geribesleme oranı düşecek ve çıkış işaretinin (osilasyonun) genliği azalacaktır.



Şekil-25.3 RC Faz Kaydırmalı Osilatör Devresi

### DENEYİN YAPILIŞI:

- 1.1 Şekil-25.3'deki faz kaydırmalı osilatör devresini deney seti üzerine kurunuz. Osilatörün çıkış işaretini gözlemlemek için gerekli osiloskop bağlantısını yapınız.
- 1.2 Osilatör çıkış işaretinin ( $V_C$ ) ve  $Q_1$  transistörünün beyzindeki işaretin dalga biçimlerini şekil-25.4'deki diyagrama orantılı olarak çiziniz.



Şekil-20.4 RC osilatörün çıkış ve beyz işaretlerinin dalga biçimleri



- 1.3 İşaretin tepeden tepeye değerini ve frekansını ölçerek elde ettiğiniz sonucu ilgili yere kaydediniz.

$$f = \text{_____ Herz}$$

$$V_{\text{ç}} = \text{_____ volt}$$

- 1.4 Osilatör çıkış işareti ile, transistörün beyzindeki işareti aynı anda osilaskop ta gözleyiniz. Bu iki işaret arasında faz farkı var mı? Varsa ilgili yere not ediniz?

$$\varnothing = \text{_____}$$

- 1.5 Şekil-25.3'deki deney devresinde  $R_E$  direnç değerini tablo-25.1'de verilen değerlere sıra ile değiştiriniz. Her değer için çıkış işaretinin tepeden tepeye değerini ve frekansını ölçerek tablo-25.1'deki ilgili yerlere kaydediniz.

- 1.6 Osilatör devresini şekil-25.3'deki ilk haline getiriniz. Devredeki  $R_1$  direnci yerine  $22K\Omega$  luk bir direnç bağlayınız. Bu durumda çıkış işaretinin genliği ve frekansındaki değişimi gözleyerek sonucu ilgili yere not ediniz.

$R_E (\Omega)$	$V_{\text{ç t-t}} (\text{volt})$	F (Herz)
6.6K $\Omega$		
5.6K $\Omega$		
3.2K $\Omega$		

Tablo-25.1 Osilatör Kazancının Etkileri

$$V_{\text{ç}} = \text{_____ volt}$$

$$f = \text{_____ Herz}$$

**SORULAR:**

1. Osilatör devresinin osilasyona başlaması için çıkış ve geribeslenen giriş işaretleri arasındaki faz farkı nasıl sağlanmıştır? Açıklayınız?
2. Osilatörün çalışmasına  $R_E$  direncinin etkisini belirtiniz?  $R_E$  direncinin değişimi osilatör çıkış işaretinde ne gibi değişimler sağlar? Açıklayınız?

## KOLPITS OSİLATÖR

### KONULAR:

3. Kolpits osilatör (Colpitts Oscillator) devresinin çalışması ve işlevlerinin incelenmesi

### GEREKLİ DONANIM:

Güç kaynağı: 12VDC

Transistör: BC108C veya muadili

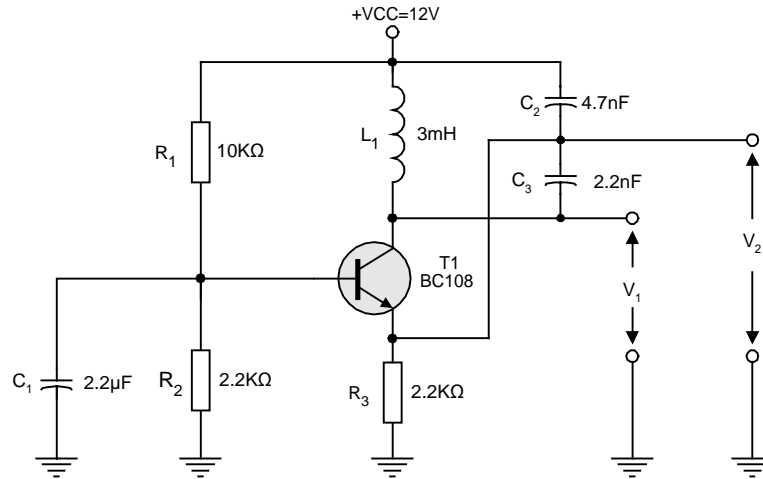
Direnç:  $2 \times 2K\Omega$ ,  $10K\Omega$

Kondansatör: 2n2, 4n7, 10n, 22n, 47n, 0.1 $\mu$ , 0.22 $\mu$ , 0.47 $\mu$ , 1 $\mu$ F

Bobin (indüktans): 3mH, 10mH, 30mH

### ÖN BİLGİ:

Kolpits osilatörler bir çok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu osilatörlerin rezonans devresi (tank devresi) L ve C elemanlarından oluşmaktadır. Şekil-26.1'de devre şeması ayrıntılı olarak verilmiştir.



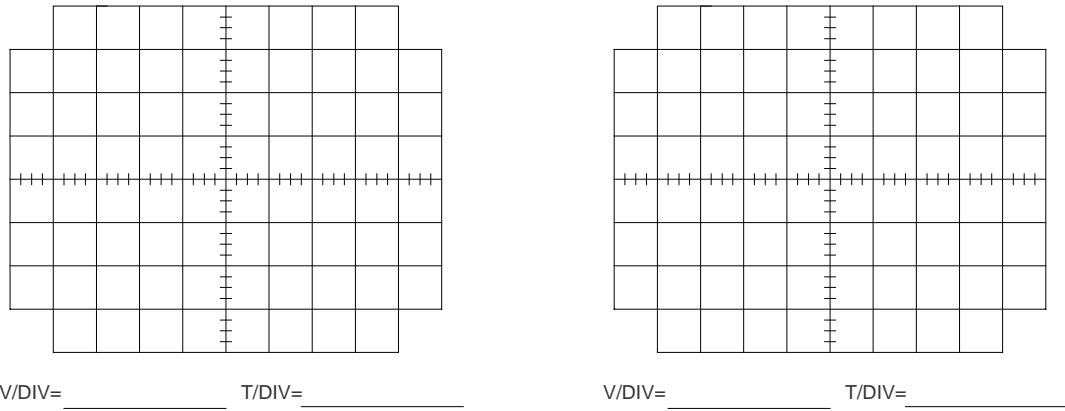
Şekil-26.1 Kolpits osilatör devresi

Devrenin çalışmasını kısaca anlatalım; Osilatör devresinde Q1 transistörü ortak beyzli bir yükselteç olarak çalışır. L, C2 ve C3 rezonans devresi yük empedansıdır. Osilatör devresinin; empedansı ve amplifikasyonu rezonans frekansında yüksektir.

Yükselteç çıkış işaretinin bir kısmı, emitere geri beslendiğinde; devre osilasyon yapmaya başlar. Geribeslemenin miktarı (oranı), C2 ve C3 kondansatörlerinin arasındaki oranla belirlenir. Geri besleme küçükse, emitere gerilimi gibi kollektör akımı da sinüsoydal formda olacaktır.

**DENEYİN YAPILIŞI:**

- 1.1 Şekil-26.1'deki kolpits osilatör devresi verilmiştir. Bu devreyi deney seti üzerine kurunuz. Devreye güç uygulayınız.
- 1.2 Devre çıkışındaki işaretleri ( $V_1$  ve  $V_2$ ) incelemek için gerekli osilaskop bağlantılarını yapınız. Doğru bir ölçme için, osilaskop ta gerekli kalibrasyon ayarlarını yapınız.
- 1.3 Osilatör çıkışındaki  $V_1$  geriliminin dalga biçimini osilaskopla inceleyiniz ve elde ettiğiniz işareti şekil-26.2'deki diyagrama orantılı olarak çiziniz.

**Şekil-26.2  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerinin Dalga Biçimleri**

- 1.4  $V_1$  işaretinin frekansını aşağıdaki formülü kullanarak hesaplayınız. Sonucu kaydediniz.  $C$ ; rezonans devresinin toplam kapasite değeridir. Toplam kapasite;formülü yardımıyla bulunur.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad C = \frac{C_2 \times C_3}{C_2 + C_3}$$

$$f(\text{hesaplanan}) = \text{_____ Hz}$$

$$f(\text{öçülen}) = \text{_____ Hz}$$

- 1.5 Aynı işlemleri  $V_2$  işareti içinde tekrarlayarak sonuçları ilgili yerlere kaydediniz.  $V_2$  işaretinin frekansını aşağıdaki formülü kullanarak hesaplayınız.
- 1.6 Sonucu kaydediniz.  $V_2$  işaretinin dalga biçimini şekil-26.2'deki diyagrama orantılı olarak çiziniz.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f(\text{hesaplanan}) = \text{_____ Hz}$$



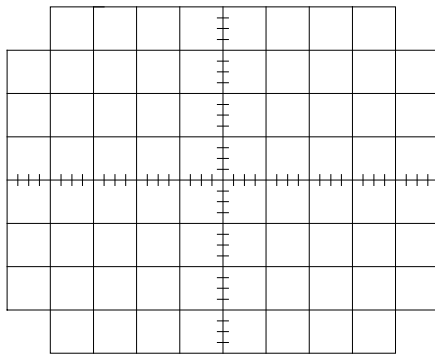
$$f(\text{öçülen}) = \text{_____ Hz}$$

- 1.7 Osilatör devresinde kullanılan  $L_1$ ,  $C_2$  ve  $C_3$  elemanlarını tablo-26.1'de belirtilen değerlerle sıra ile değiştiriniz. Her değer için çıkış işaretinin frekansını ölçerek, sonuçları tablodaki ilgili yerlere kaydediniz.

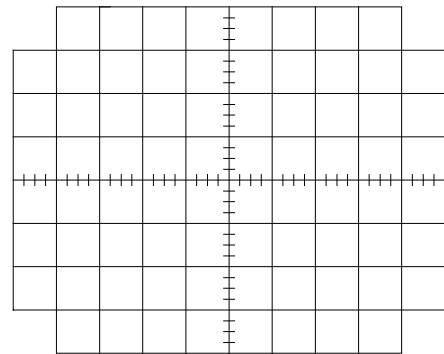
$L_1$ (mH)	$C_2$ (nF)	$C_3$ (nF)	C (toplam)	F (KHz) Ölçülen	F (KHz) Hesaplanan
3	4.7	10			
3	4.7	22			
3	10	22			
10	22	100			
10	47	220			
10	100	47			
30	470	220			
30	470	1000			

Tablo-26.1 Kolpits Osilatör Karakteristikleri

- 1.8 Şekil-26.1'deki osilatör devresinde;  $L=3\text{mH}$ ,  $C_2=10\text{nF}$  ve  $C_3=4\text{nF}$  değerleri için,  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerinin dalga biçimleri zamanın bir fonksiyonu olarak şekil-26.3'deki diyagrama orantılı olarak çiziniz.
- 1.9 Şekil-26.1'deki osilatör devresinde;  $L=3\text{mH}$ ,  $C_2=10\text{nF}$  ve  $C_3=47\text{nF}$  değerleri için,  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerinin dalga biçimleri zamanın bir fonksiyonu olarak şekil-26.3'deki diyagrama orantılı olarak çiziniz.



V/DIV= \_\_\_\_\_ T/DIV= \_\_\_\_\_



V/DIV= \_\_\_\_\_ T/DIV= \_\_\_\_\_

Şekil-26.3  $V_1$  ve  $V_2$  Gerilimlerinin Dalga Biçimleri

## WIEN KÖPRÜLÜ OSİLATÖR

### KONULAR:

1. Wien Köprü devresinin özelliklerini ve karakteristiklerini incelemek
2. Wien Köprülü osilatörün çalışmasını ve karakteristiklerini incelemek.

### GEREKLİ DONANIM:

Osilaskop: Çift Kanallı  
Güç Kaynağı :12VDC  
İşaret Üreteci (Signal Generator)  
Transistör: 2xBC108C veya muadili  
Direnc: 2x1KΩ, 2x1.5KΩ, 2x2.2KΩ, 2x4.7KΩ, 2x10K, 3x33K, 68K, 2x100KΩ, 220KΩ  
Potansiyometre: 470Ω  
Kondansatör: 2x4.7nF, 22nF, 47nF, 2.2μF, 47μF Elko

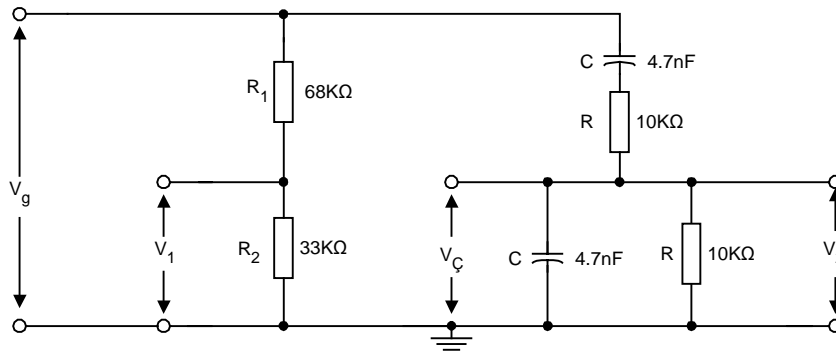
### DENEY: 1

### WIEN KÖPRÜ DEVRESİ

Bu deney de; bir wien köprü devresinin özellikleri ve çalışma karakteristikleri ayrıntılı olarak incelenecektir.

### ÖN BİLGİ:

Wien köprüsü, endüstriyel elektronik devre uygulamalarında ve çeşitli endüstriyel cihazlar da sıklıkla kullanılmaktadır. En popüler ve yaygın kullanım alanı ise osilatör devrelerindedir. Şekil-27.1'de bir Wien köprü devresi görülmektedir.



Şekil-27.1 Wien köprü devresi

**DENEYİN YAPILIŞI:**

- 1.1 Şekil-27.1'de Wien köprü devresi görülmektedir. Bu devreyi deney seti üzerine kurunuz. Devre girişine ( $V_g$ ); genliği  $10V_{t-t}$  olan  $200Hz$ 'lik bir sinüsoydal işaret uygulayınız. Çıkış işaretinin tepeden tepeye değerini ölçerek sonucu tablo-27.1'deki ilgili yere kaydediniz.
- 1.2 Giriş işaretinin ( $V_g$ ) frekansını tablo-27.1'deki değerlere göre sıra ile değiştiriniz. Her değer için çıkış işaretinin ( $V_{ç}$ ) tepeden tepeye değerini ölçerek tablo-27.1'deki ilgili yerlere kaydediniz.
- 1.3 Devrede;

$$V_{ç}(t-t) = V_1(t-t) - V_2(t-t)$$

gerilimleri arasındaki zaman ilişkisini ( $\Delta t$ ) gösteriniz. Aşağıdaki formülü kullanarak  $V_1$  ve  $V_2$  işaretleri arasındaki faz açısını hesaplayınız ve elde ettiğiniz sonuçları kullanmak üzere not ediniz.

$$\emptyset = 360^\circ \cdot f \cdot \Delta t$$

Ölçtüğünüz ve hesapladığınız değerleri tablo-27.1'e kaydediniz.

R=10K $\Omega$ , C=4.7 nF			R=33K $\Omega$ , C=4.7 nF			R=100K $\Omega$ , C=4.7 nF		
F (Hz)	$V_{ç}$ (t-t)	$\emptyset$	F (Hz)	$V_{ç}$ (t-t)	$\emptyset$	F (Hz)	$V_{ç}$ (t-t)	$\emptyset$
200			200			200		
400			400			400		
600			600			600		
800			800			800		
1000			1000			1000		
2000			2000			2000		
4000			4000			4000		
6000			6000			6000		
10000			10000			10000		
15000			15000			15000		

Tablo-27.1 Wien köprü devresinin karakteristikleri



- 1.4 Şekil-27.1'deki wien köprü devresinde R dirençlerini  $33K\Omega$ , ve C kondansatörlerini  $4.7nF$  yaparak devreyi yeniden düzenleyiniz. Bir önceki adımdaki deneyi tekrarlayınız. Elde ettiğiniz sonuçları tablo-27.1'deki ilgili yerlere kaydediniz.
- 1.5 Şekil-27.1'deki wien köprü devresindeki R dirençlerini  $100K\Omega$  ve C kondansatörlerini  $4.7nF$  yapınız. Deneyi tekrarlayınız. Elde ettiğiniz sonuçları tablo-27.1'deki ilgili yerlere yazınız.

## DENEY: 2

### WIEN KÖPRÜLÜ OSİLATÖR

Bu deneyde Wien Köprü ile gerçekleştirilmiş bir osilatör devresini inceleyeceğiz. Osilatörler hakkında bazı temel kavramlara sahip olacağız.

#### ÖN BİLGİ:

Bir elektronik devre girişine bir AC işaret uygulanmadan, çıkışında periyodik bir AC işaret üretiyorsa bu tür devrelere "*Osilatör*" denir.

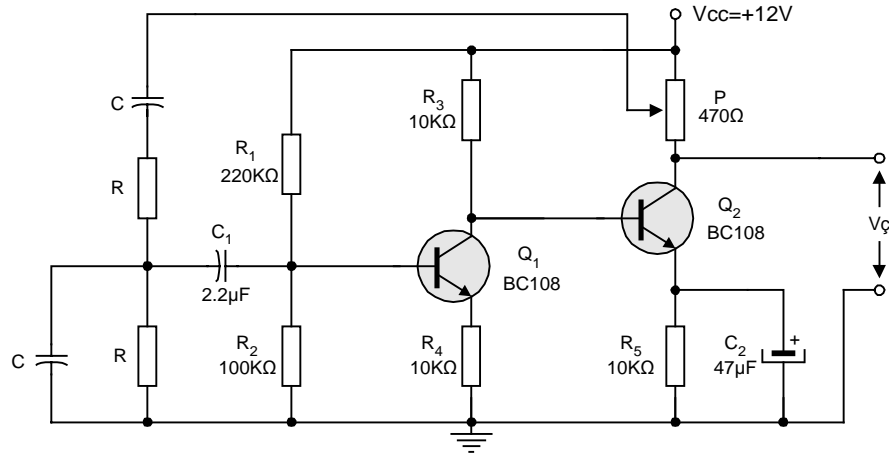
Osilatörler DC güç kaynaklarından beslenirler. Bunun sonucu olarak DC gerilimi istenilen frekansa sahip işaretlere dönüştürülürler. Temel osilatör devrelerinden sinüsoydal çıkış alınır. Ayrıca, kare dalga ve testere dişi gibi çeşitli dalga formlarına sahip osilatörler vardır.

Osilatörler kullanım amaçlarına ve uygulama alanlarına bağlı olarak çeşitli tip ve modelde üretilirler. Osilatörlerde kullanılan temel devreler; osilasyonu başlatan rezonans devresi, yükselteç ve geribeslemedir.

Rezonans devreleri; L ve C elemanlarından yada R ve C elemanlarından oluşur ve bu isimle anılırlar. Aşağıda yaygın olarak kullanılan bazı osilatör tipleri verilmiştir.

- Kolpits Osilatör (Colpitts Oscillator)
- Hartley Osilatör
- Wien Köprü Osilatör
- Faz Kaymalı Osilatör.

Bu uygulamada şekil-27.2'de görülen wien köprü osilatörü devresini inceleyeceğiz. Devrenin çalışmasını kısaca özetleyelim.



Şekil-27.2 Wien köprülü osilatör devresi

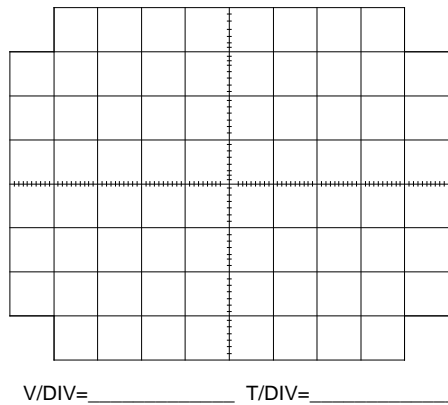
Q1 ve Q2 transistörleri ile oluşturulan her iki yükselteç katı bir evirmeyen yükselteç olarak görev yapar. P potansiyometresi osilatör çıkış gerilimi  $V_{\text{ç}}$ 'ın bir kısmının girişe geri beslenmesinde kullanılır.

Wien köprü osilatörünün zayıflatma katsayısı yükselteç ile kompanse edilir. Osilatör devresindeki P direnci ayarlanarak, devrenin başlangıç osilasyonu kontrol edilir.

Geribesleme tek bir frekansta oluşur. Başlangıç osilasyonunun ayarlanması ile, osilatör çıkışında sinüsoydal bir işaret elde edilir. Elde edilen bu işaretin frekansı ise devrede kullanılan R ve C elemanlarına bağlıdır.

### DENEYİN YAPILIŞI:

- 2.1 Şekil-27.2'de verilen wien köprü osilatör devresini deney seti üzerine kurunuz.  $R=1K\Omega$  ve  $C=22nF$  kullanınız.
- 2.2 Devre çıkışına osilaskop bağlayarak çıkış işaretini inceleyiniz. Osilatör çıkışında distorsiyonsuz bir sinüsoydal işaret elde etmek için P potansiyometresini ayarlayınız. Çıkış işaretindeki değişimi osilaskop ta gözleyiniz. Elde ettiğiniz işaretin dalga biçimini şekil-27.3'deki diyagrama orantılı olarak çiziniz.



Şekil-22.3 Wienköprü osilatörünün çıkış dalga biçimi



- 2.3 Şekil-27.2'deki wien köprü osilatörü devresindeki R ve C elemanlarını tablo-27.1'de belirtilen değerlerle değiştiriniz. Osilatör devresinde;

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

olduğunda, yani osilatör devresinin çıkışı maksimuma ulaştığında, giriş ve çıkış gerilimi arasında faz kayması;  $\phi=0$ 'dır. Kullandığınız her değer için çıkış gerilimini ve frekansı ölçünüz. Sonuçları tablo-27.2'deki ilgili yerlere kaydediniz.

R (Ω)	C (F)	V <sub>ç</sub> (t-t)	KHz
1K	22n		
1K	47n		
2.2K	22n		
2.2K	100n		
4.7K	22n		
4.7K	47n		

Tablo-27.2 Osilatör devresinin Karakteristikleri

### ÖZET:

1. Osilatörler; salınım üreten elektronik düzenlerdir.
2. Osilatörler, bir yükselteç katı ile birlikte kullanılan R ve C elemanlarından oluşurlar.
3. Bu tip osilatör devrelerinde osilasyonun sürekliliği geribesleme ile sağlanır.