

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 islemeğe hazır hale getirmiştik. Tüm hazırlıklar transistörü bir yükselteç (amplifier) olarak çalıştırmaya hazırlamaktı. Bu bölümde transistörün küçük işaretleri nasıl yükselttiğini irdedeceğiz.

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;

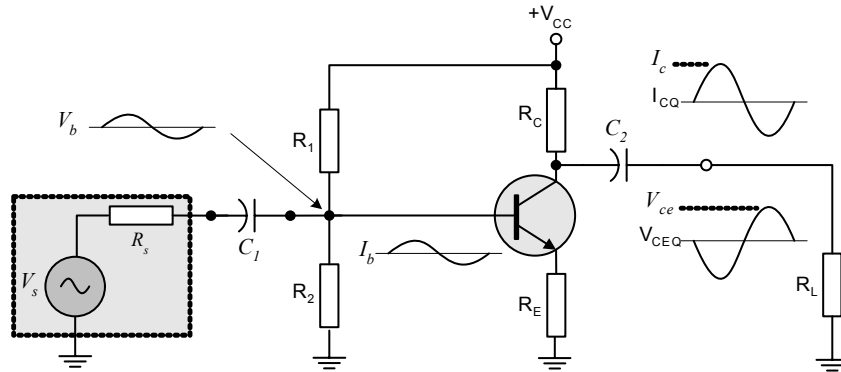
- Yükselteç devrelerinde ac ve dc işaretlerin nasıl gösterildiğini
- Küçük sinyal yükselteçlerinde yükseltme işleminin nasıl gerçekleştirildiğini
- Ac işaretler için yük doğrusunun analizini

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 yalıtmaq amacı ile C_1 ve C_2 kondansatörleri kullanılmıştır.



Şekil-6.1 Gerilim bölücü polarmalı küçük işaret yükselteç devresi

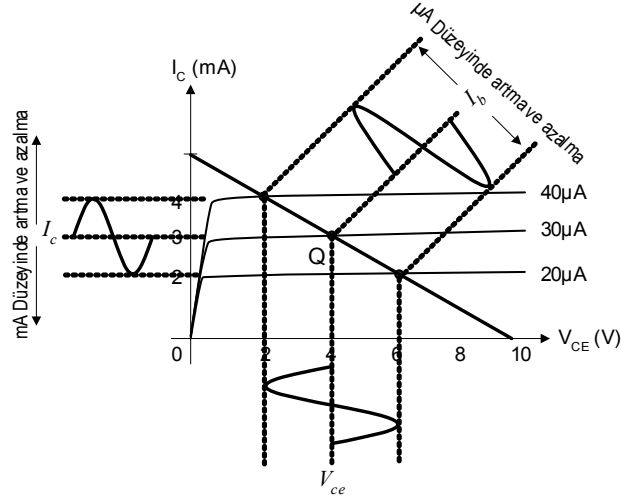
Başlangıçta yükselteç devresine ac işaretin uygulanmadığını, sadece dc kaynağın var olduğunu kabul edelim. Doğal olarak dc kaynak, transistör polarmasını sağlayacak ve çalışma noktasını belirleyecektir. Transistörün aktif bölgede çalıştığını kabul edelim. Bu durumda transistör iletimdedir. Belirli bir 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 μA 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 işaretlerde 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.

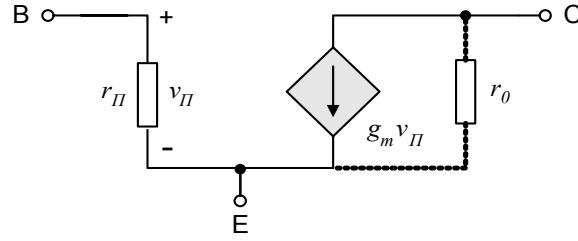
Transistörün ac eşdeğer devre modellemesinde kullanılan başlıca iki tip parametre vardır. Bunlar; h veya hibrit parametresi, diğeri ise r parametresi olarak bilinir ve tanımlanırlar.

Bu bölümde; transistörün ac eşdeğer devre modellemesinde kullanmak 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 Hibrit-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 hibrit-II devre modeli ile temsil edilebilir. Bu eşdeğer devre modelinde; g_m ve r_{π} olarak verilen parametreler transistörün kollektör akımı I_c değerine bağlıdır. Dolayısı ile hibrit-II modeli transistörün belirli bir çalışma noktasında kullanılabilir.



Şekil-6.3 Bipolar jonksiyon transistör için hibrid-Π modeli

Eşdeğer devre modelinde kullanılan parametreler sırasıyla;

v_{Π} , transistörün beyz-emiter (v_{be}) sinyal gerilimini

g_m , transkondüktansını (iletkenliğini)

r_{Π} , transistörün beyz-emiter arası giriş direncini

temsil etmektedir. Bu parametrele ile ilgili ayrıntılı bilgiler ileriki bölümlerde verilecektir.

Transistörün transkondüktans (g_m) ve giriş direnci değerleri (r_{Π}) 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-Π 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 ;

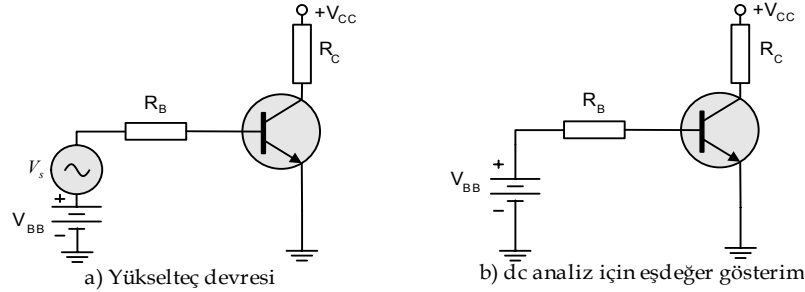
$$i_c = \beta \cdot i_b = g_m \cdot v_{\Pi} = g_m \cdot r_{\Pi} \cdot i_b$$

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.

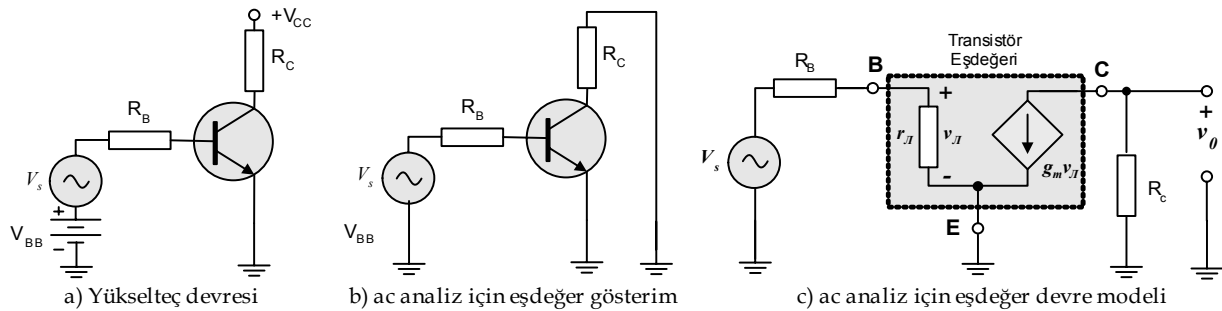
Transistörlü yükselteçlerinin analizinde ilk aşama dc polarma akım ve gerilimlerinin sağlanıp çalışma noktasının belirlenmesidir. Yapılan yükselteç tasarımı veya analizinde eğer transistör aktif bölgede çalışmıyorsa, ac analiz yapmanın anlamı olmayacaktır. Transistörlü bir yükselteç devresinde dc ve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



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.



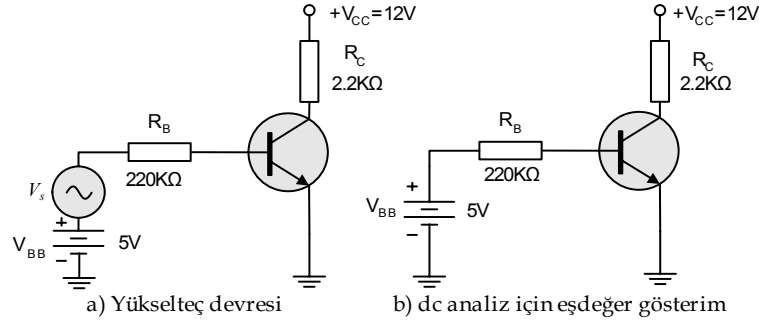
Şekil-6.4 Transistörlü küçük sinyal yükseltecinin ac eşdeğeri ve devre modellemesi

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

Yükselteci 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.

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

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

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

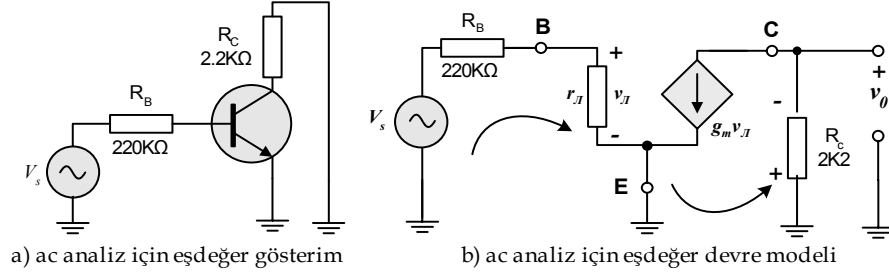
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - (2.85mA \cdot 2.2K\Omega) = 5.73V$$

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- π devre modeli şekil-6.6'da yükselteç devresi ile birlikte verilmiştir.

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.



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_0 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_0 , kollektör direnci R_C üzerindeki gerilime göre terstir ve 180° faz farklı olacaktır. Bu nedenle yükseltecin ac çıkış gerilim;

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

olacaktır. Bu eşitlikte sadece v_{π} 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.

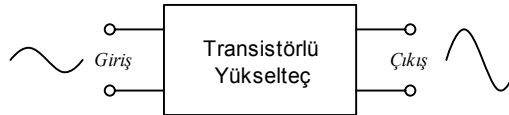
$$A_V = \frac{v_0}{v_s} = -1.43$$

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-emitter 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.



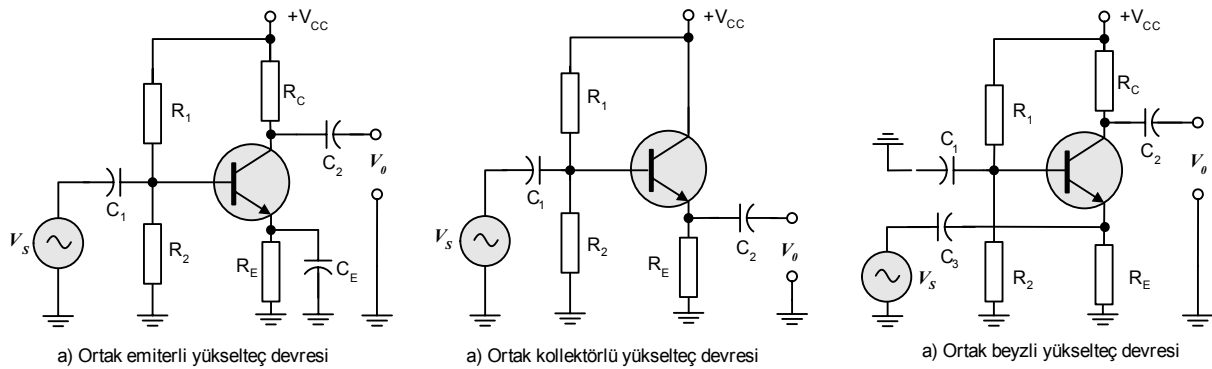
Şekil-6.7 Temel bir yükseltecin blok diyagramı

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.



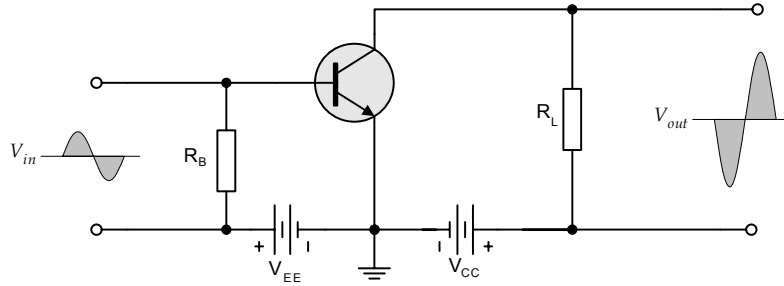
Şekil-6.8 Transistörlü yükselteçlerde bağlantı tipleri

6.4 ORTAK EMİTERLİ YÜKSELTEÇ

Transistörlü yükselteçlerde kullanılan bağlantı tiplerinden en popülerleri ortak emiterli yükselteç devresidir. Kimi kaynaklarda ismi kısaltılarak CE (Common Emitter) 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.

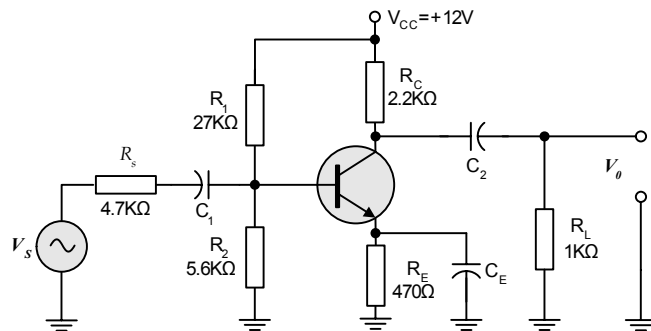


Şekil-6.9 Tipik bir ortak emiter bağlantılı yükselteç devresi

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°
- Giriş Empedansı : Orta düzeyde (500Ω - $1k\Omega$)
- Çıkış Empedansı : Orta düzeyde ($10k\Omega$ - $50k\Omega$)

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

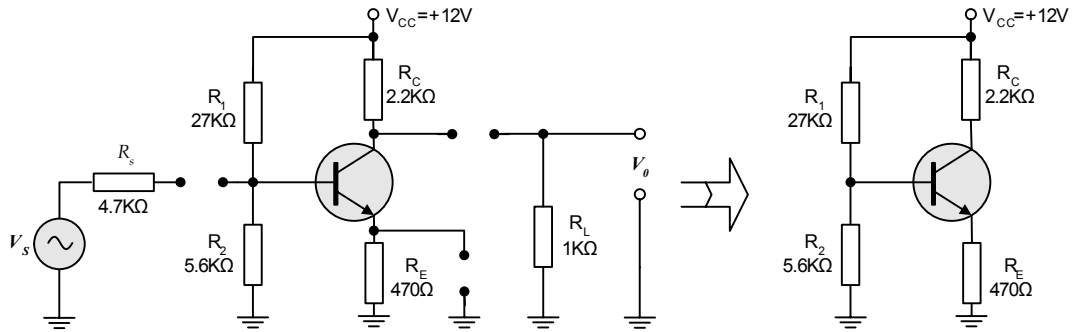


Şekil-6.10 Ortak emiter bağlantılı gerilim bölücülü yükselteç devresi

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 ($1\mu F-100\mu F$) 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 ($1\mu F-100\mu F$) 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 belirlenmekteydi. O halde, thevenin eşdeğer devresinden yararlanarak;

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

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

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

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

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

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

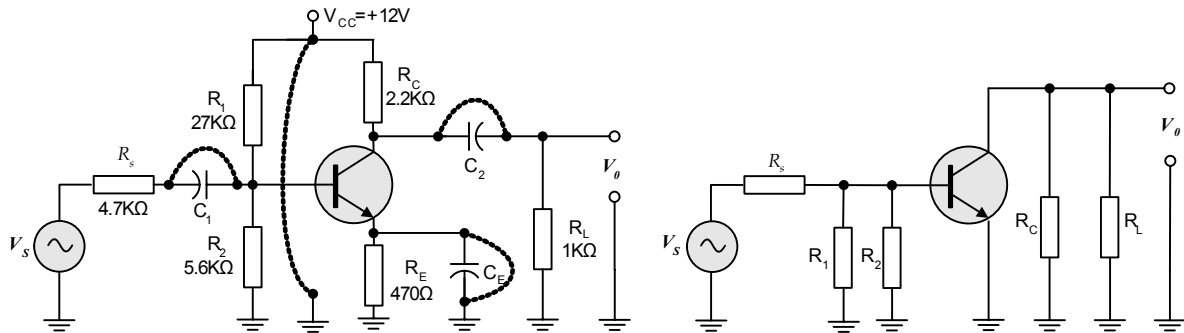
$$V_E = I_E \cdot R_E = 2.64mA \cdot 470\Omega = 1.24V$$

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

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

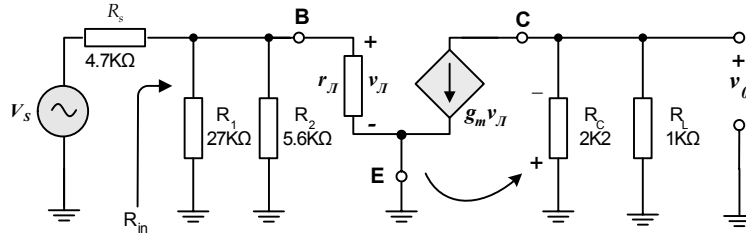
AC Analiz

Devrenin ac analizi için ilk adım, ac eşdeğer devreyi çizip daha sonra hibrid- π 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_{π} değerini bulalım.

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

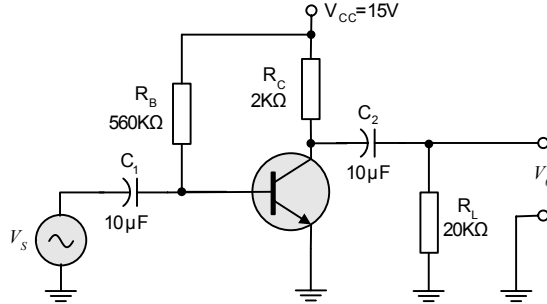
buradan yükseltecin çıkış sinyal gerilimini (v_o) bulalım.

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

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

Yükseltici dc çalışma şartlarının analizi için devredeki kapasitörler açık devre yapılır. İkinci adım transistör sükknet 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.

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

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

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

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

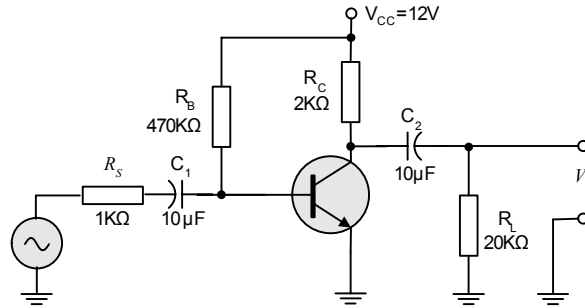
değerleri bulunur. Devrede; $V_{CB} > 0$ ’dır. Dolayısı ile transistör aktif bölgede çalışmaktadır. AC analize geçebiliriz.

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

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

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

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

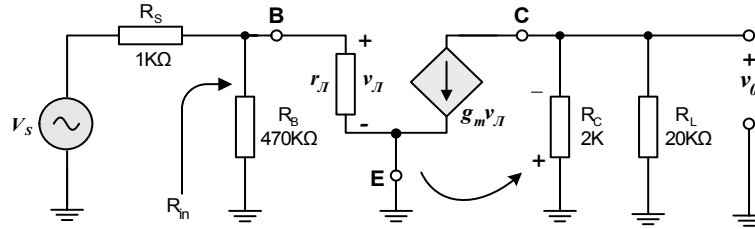
$$V_{CB} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{BE} = 12V - (3.6mA)(2K\Omega) - 0.7V = 4.1V$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

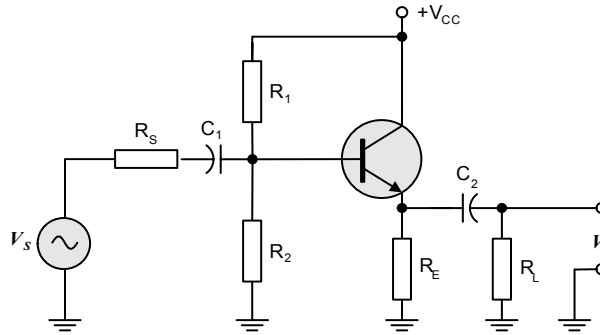
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -(138mA/V)(1.82K\Omega) = -125.58$$

6.5 ORTAK KOLLEKTÖRLÜ YÜKSELTEÇ

Transistörlü yükselteçlerde kullanılan diğer bir bağlantı tipidir. Bu bağlantı tipi emiter izleyici (emiter-follower) olarakta 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 beyzli 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 terminaleri arasından alınmıştır.



Şekil-6.16 Tipik bir ortak kollektör bağlantılı yükselteç devresi

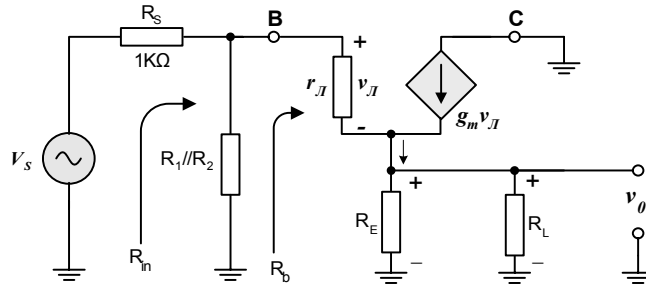
Ortak kollektör devresi “emiter izleyici devre” olarak da adlandırılmaktadır. Giriş direncinin yüksek, çıkış direncinin alçak olmasından dolayı tampon (buffer) veya izolasyon amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil-6.16'da görüldüğü gibi giriş işareti yükseltece beyz terminalinden uygulanmıştır. 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 kollektördür. Ortak kollektör bağlantılı yükselteç devresinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Giriş Empedansı : Yüksek; yaklaşık 20K Ω -300K Ω
- Çıkış Empedansı : Alçak; yaklaşık 300 Ω -500 Ω
- 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_{π} 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.

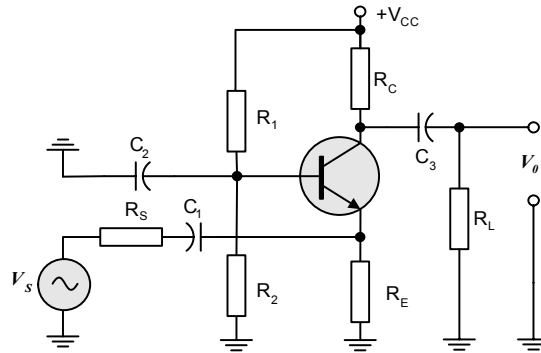
$$A_V = \frac{v_0}{v_s} = g_m \left[\frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \right] \frac{v_{in}}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)} (R_E // R_L)$$

6.6 ORTAK BEYZLİ YÜKSELTEÇ

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

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

Tipik bir ortak beyzli 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 beyzli 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 $50\Omega - 500\Omega$
- Çıkış Empedansı : Yüksek; yaklaşık $300K\Omega - 1M\Omega$

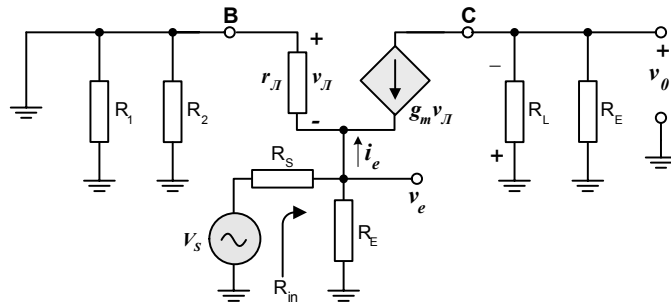
- Gerilim Kazancı : Var; $G_V = \Delta V_C / \Delta V_E$
- Akım Kazancı : Yok; $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
- Güç Kazancı : Var.
- İşaret Faz Çevrimi : Yok.
- Genel Kullanım Alanı : Radyo frekans (RF) yükselteç tasarımı

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 uygulayız. 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.

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