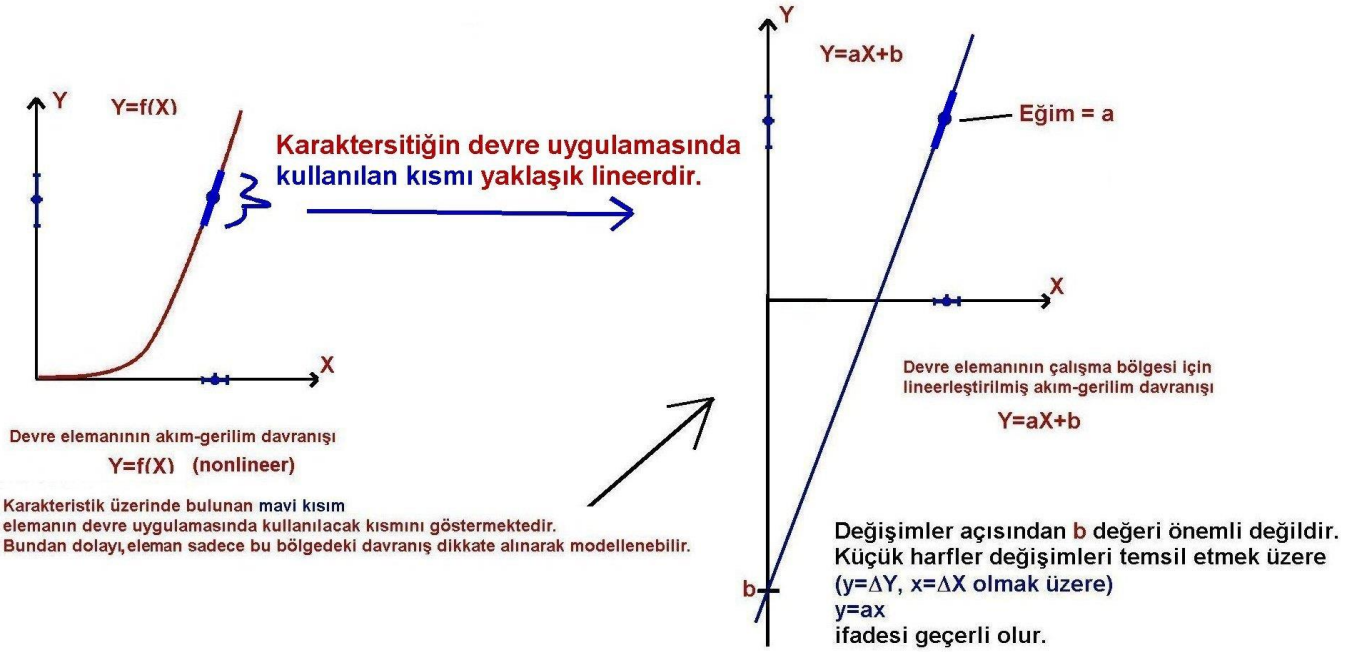


Devre elemanlarının küçük işaret (küçük genlik) davranışlarının modellenmesi

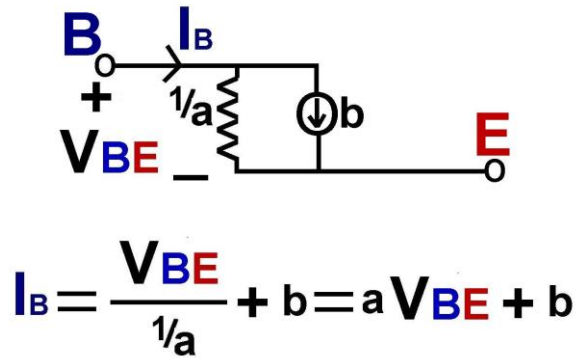


Şekil-1 Devre elemanlarının küçük işaret devre davranışlarının modellenmesi için kullanılacak basit bir görsel açıklama

Yukarıdaki görsel açıklama daha önce diyotun dinamik davranışı için kullanılmıştı. Aynı görsel açıklamayı transistor dinamik davranışları için de kullanabiliriz. Buna göre, şayet I_B - V_{BE} davranışı için kullanırsak Y I_B 'yi, X ise V_{BE} 'yi gösterir. Dolayısıyla, karakteristikler I_B - V_{BE} karakteristiğini gösterir.

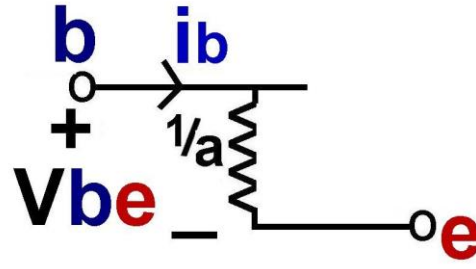
$$I_B = aV_{BE} + b$$

Bu ifadeye dikkate alındığında transistorun B-E arası davranışı aşağıdaki görseldeki modelle gösterebiliriz;



Şekil-2 BJT'nin B-E davranışının ac durum için tam modeli.

Şekil-2'de görülen ifadeyi " $I_B = I_{BQ} + i_b = a(V_{BEQ} + v_{be}) + b$ " olarak yazabiliriz. Bu ifadeye I_{BQ} değeri çalışma bölgesinin ortasındaki akım değeridir. V_{BEQ} değeri de aynı noktadaki V_{BE} değeridir ($I_{BQ} = aV_{BEQ} + b$ olup bu ifadedeki bütün büyüklükler sabittir). Söz konusu ifadedeki sabit terimlerin eşitliğinden $i_b = a \cdot v_{be}$ eşitliği elde edilir. Dolayısıyla, Şekil-2'deki modeli sadece değişimleri gösterecek hale getirirsek aşağıda Şekil-3'ü elde ederiz. Burada küçük harflerle gösterilen v_{be} ve i_b değerleri sırasıyla B-E gerilimdeki değişimi ve B akımındaki değişimi temsil etmektedir.



$$i_b = \frac{V_{be}}{1/a} = a V_{be}$$

Şekil-3 BJT'nin B-E davranışının ac durumda sadece değişimler için modeli.

Şekil-1'e dikkat edilirse a değerinin kullanılan eğri parçasının ortak noktasındaki eğim olacağı görülür (IBQ-VBEQ noktasındaki eğim). Dolayısıyla B-E davranışı açısından bu değer

$$a = dI_B/dV_{BE} \quad (D1)$$

olacaktır. BJT'nin DC analizi için B-E davranışını $V_{BE}=0,6V$ olarak modelleyebiliriz. Çünkü, DC durumda V_{BE} gerilimi 0,55V-0,65V aralığında değişir. Oysa kaynak gerilimleri birkaç V mertebesindedir. Sonuç olarak, V_{BE} 'nin değişimi ihmal edilip $V_{BE}=0,6V$ almak hesaplamalarda yeterince düşük hatalara sebep olur. Oysa, ac durumdaki gerilim değişimleri mV'lar mertebesinde olabilmektedir. Böyle bir durumda V_{BE} 'deki 100mV'luk değişim aralığı ihmal edilemez. Yani ac durumda $V_{BE}=0,6V$ modellemesi kullanılamaz. Daha ayrıntılı bir modele ihtiyaç olur. Bundan dolayı, ac durumda

$$I_B = (I_s / \beta_F) \exp(V_{BE}/VT) \quad (D2)$$

modeli kullanılır. D2 ifadesi D1'de kullanılırsa

$$a = (1/VT) (I_s / \beta_F) \exp(V_{BE}/VT) = I_{BQ}/VT = I_{CQ}/\beta_F VT \quad (D3)$$

elde edilmiş olur. Burada I_{BQ} ifadesi türev alınan noktadaki I_B değeridir. Bu değer DC analiz ile elde edilir. I_{BQ} değerinin elde edildiği analizde BJT'nin verilmiş genel ifadeleri kullanılır. Şekil-2'de verilen model bu adımda kullanılamaz, çünkü transistörün kullanacağı karakteristik üzerindeki bölge başlangıçta bilinmemektedir.

Sonuç olarak, **ac analiz** için

1-önce DC analiz yapılır. Bu analizde BJT'nin verilmiş genel bağıntıları kullanılır.

2-Sonra elde edilen DC I_B değeri ile (I_{BQ} değeri ile) a değeri D3 bağıntısı ile elde edilir.

3- Devredeki sabit kaynaklar sıfırlanır (bağımsız DC gerilim kaynakları kısa devre, bağımsız DC akım kaynakları açık devre yapılır).

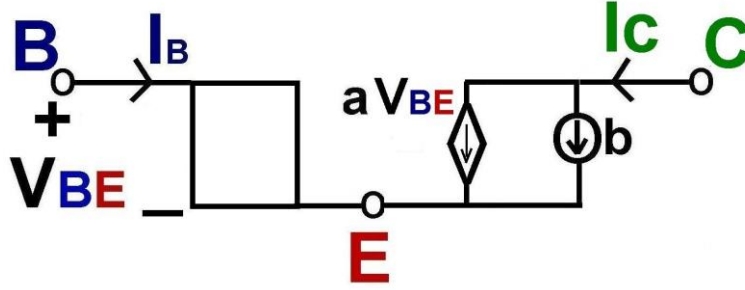
4- Elde edilen a değeri, Şekil-3'teki modelle ac durumda değişimleri analiz etmek için, BJT'nin BE davranışının modellenmesi için kullanılır.

NOT: Açıklanan 4 aşamalı inceleme devre analizinde toplamsallık ilkesinin bir uygulamasıdır. BJT nonlineer eleman olmakla birlikte ac durumda yaklaşık lineer elemana dönüşür.

Yukarıda B-E ac davranışı için yapılanların aynısı B-C davranışı için de uygulayabiliriz. Bu durumda Şekil-1'deki karakteristikler I_C - V_{BE} karakteristikleri olur.

$$I_C = aV_{BE} + b$$

Bu ifadeye dikkate alındığında transistorun ac davranışını aşağıdaki görseldeki modelle gösterebiliriz;

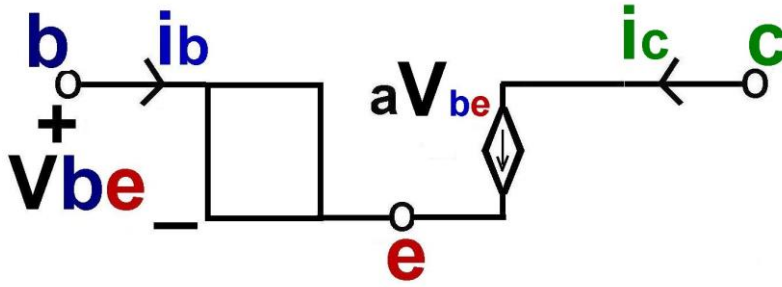


$$I_C = aV_{BE} + b$$

Şekil-4 BJT'nin ac durum için tam modeli.

Şekil-4'te $I_C = aV_{BE} + b$ ifadesindeki aV_{BE} terimi kontrollü kaynakla modellenmiştir. Çünkü I_C akımı başka bir yerdeki (aynı yerde olmayan) bir gerilime (V_{BE}) bağlı olmaktadır.

Şekil-4'te görülen ifadeyi " $I_C = I_{CQ} + i_c = a(V_{BEQ} + v_{be}) + b$ " olarak yazabiliriz. Bu ifadeye I_{CQ} değeri çalışma bölgesinin ortasındaki akım değeridir. V_{BEQ} değeri de aynı noktadaki V_{BE} değeridir ($I_{CQ} = aV_{BEQ} + b$ olup bu ifadedeki bütün büyüklükler sabittir). Dolayısıyla, Şekil-4'teki modeli sadece değişimleri gösterecek hale getirirsek aşağıda Şekil-3'ü elde ederiz. Burada küçük harflerle gösterilen v_{be} ve i_c değerleri sırasıyla B-E gerilimdeki değişimi ve I_C akımındaki değişimi temsil etmektedir.



$$i_c = aV_{be}$$

Şekil-5 BJT'nin B-C davranışının ac durumda sadece değişimler için modeli.

Şekil-1'e dikkat edilirse a değerinin kullanılan eğri parçasının ortak noktasındaki eğim olacağı görülür (I_{CQ} - V_{BEQ} noktasındaki eğim). Dolayısıyla B-C davranışı açısından bu değer

$$a = dI_C/dV_{BE} \quad (D4)$$

I_C 'nin V_{BE} 'ye bağlı ifadesi

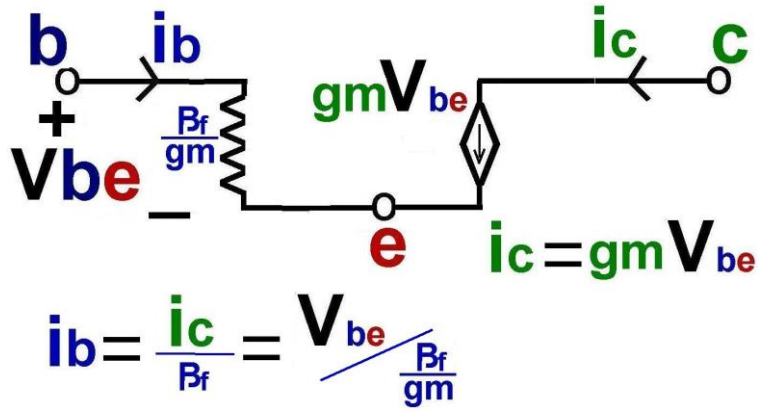
$$I_C = I_s \exp(V_{BE}/VT) \quad (D5)$$

Olarak vermişti. D5 ifadesi D4'te kullanılırsa

$$a = (1/VT) I_s \exp(V_{BE}/VT) = I_{CQ}/VT \quad (a = g_m) \quad (D6)$$

elde edilmiş olur. Burada ICQ ifadesi türev alınan noktadaki IC değeridir. Bu değer DC analiz ile e ismi Ide edilir. ICQ değerinin elde edildiği analizde BJT'nin verilmiş genel ifadeleri kullanılır. Şekil-4'te verilen model kullanılamaz. Çünkü, transistorun kullanacağı eğri parçası başlangıçta bilinmemektedir.

D6 ifadesinde edlde a değeri için genellikle gm ismi kullanılır. Bu durumda D3 bağıntısıyla elde edilen a değeri gm/ β_F değerine eşit olur. Bu sonuçlar dikkate alındığında BJT'nin ac durumda sadece değişimler için modeli aşağıda Şekil-6'da olduğu gibi elde edilir.



Şekil-6 ac durumda BJT'nin B-E ve B-C davranışlarının her ikisinin birlikte içerildiği sadece değişimlere dair olan model.

Sonuç olarak, hem B-E hem de B-C ac davranışlarının analizi için

1-önce DC analiz yapılır. Bu analizde BJT'nin verilmiş genel bağıntıları kullanılır.

2-Sonra elde edilen DC IC değeri ile (ICQ değeri ile) gm değeri D6 bağıntısı ile elde edilir.

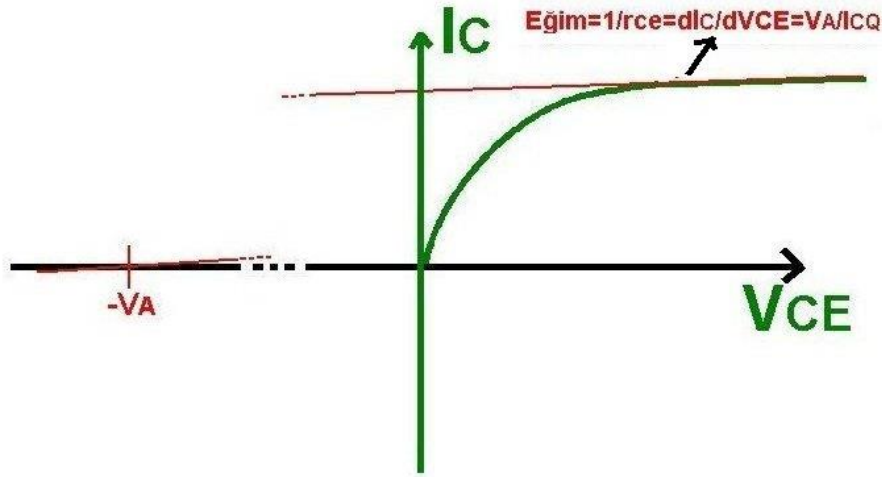
3- Devredeki sabit kaynaklar sıfırlanır (bağımsız DC gerilim kaynakları kısa devre, bağımsız DC akım kaynakları açık devre yapılır).

4- Elde edilen gm değeri, Şekil-6'daki modelle ac durumda değişimleri analiz etmek üzere, BJT'nin davranışının modellenmesi için kullanılır.

ELEKTRONİK-II'de İŞLENEN KONULAR AŞAĞIDADIR

IC-VCE KARAKTERİSTİĞİNİN AKTİF BÖLGEDEKİ EĞİMİNİN DİKKATE ALINMASI

IC-VCE karakteristiğinin aktif bölgedeki eğimi çok düşüktür. IC akımı aktif bölgede VCE gerilimi ile çok az değişir. Bu eğim ne kadar azalırse ideal transistor davranışına o kadar yaklaşmış olur. Bu eğimin transistorun ac davranışa etkisi genel de ihmal edilebilimektedir. Ancak, özellikle tümdevre uygulamalarında bu eğimin etkisini dikkate almak gerekli olmaktadır. Aşağıda Şekil-7’de bu eğimin etkisinin ac modellemesi açıklanmaktadır.

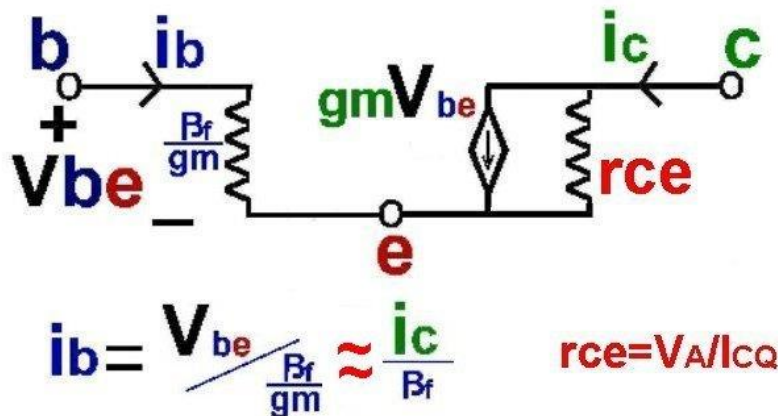


Aktif bölgede, ac durumda, IC'nin VCE ile değişimini modellemek için rce direnci kullanılabilir. Bu direncin değeri IC-VCE karakteristiğinin aktif bölgedeki türevinden elde edilir.

$$I_c = I_s \cdot \exp(V_{BE}/V_T)(1 + V_{CE}/V_A)$$

$$dI_c/dV_{CE} = (1/V_A)(I_s \cdot \exp(V_{BE}/V_T)) = (1/V_A) \cdot I_{CQ}$$

$$r_{ce} = V_A/I_{CQ}$$



Şekil-7 IC-VCE ilişkisinin aktif bölgede basit bir şekilde modellenmesi.

Burada görünen VA büyüklüğü transistorun Early parametresidir. DC modelde IC ifadesine (1+VCE/VA) ifadesi eklenerek aktif bölgedeki IC-VCE davranışı modellenmektedir. ac durumda ise bu davranış rce=VA/ICQ ile modellenmektedir.

NOT:Aktif bölgede IC'nin VCE ile değişiminin fiziksel sebebi VCE gerilimi ile BC diyodunun fakirleşmiş bölgesinin genişliğinin değişmesi ve bunun sonucu olarak baz bölgesinin genişliğinin değişmesidir. Baz bölgesi ne kadar dar olursa β_F o kadar büyük olur. Ancak gerilim-akım modeline bu davranışı β_F üzerinden değil direkt akım bağıntısına $(1+VCE/VA)$ terimini ekleyerek yansıtıyoruz. Bu daha kolay bir bağıntıyı bize veriyor. Böylece yeterince doğru bir modeli mümkün olduğunca basit bir şekilde elde etmiş oluyoruz.

NOT: rce etkisi özellikle kollektör direnci kullanıldığında genelde ihmal edilir.