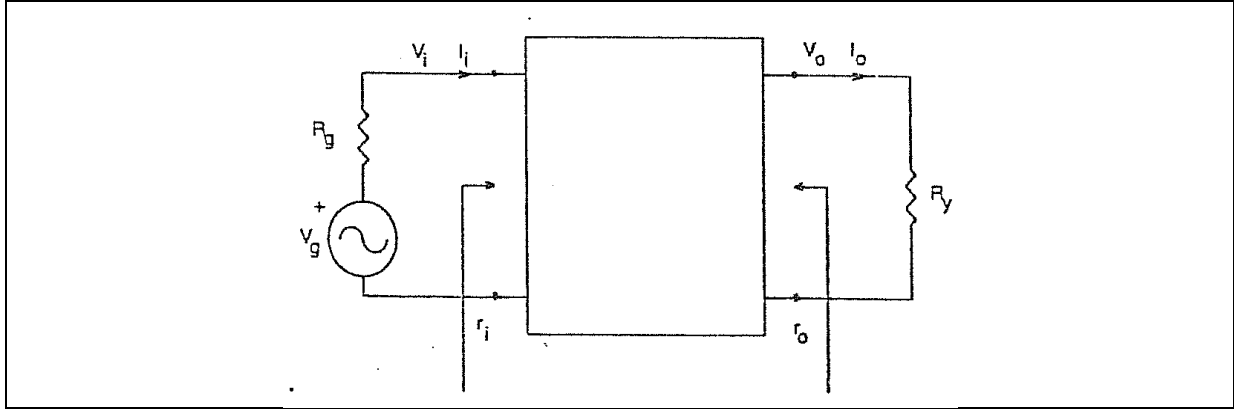


## DENEY NO:1

### BJT Yükselticinin Frekans Cevabı

- ✓ **Yükselticiler**, bir işaret kaynağı tarafından girişlerine verilen işareti çıkışlarına yükselterek aktaran devrelerdir.
  - Amaca göre yüke gerilim akım veya güç aktaracak biçimde tasarlanırlar.
  - Yükselticiler çeşitli devre elemanlarıyla tasarlanabilirler; transistörler, OPAMP'lar gibi...
- ✓ Yükselticilerde transistörler, dışarıdan uygulanan doğru akım ve gerilimlerle uygun çalışma noktalarında kutuplanırlar. Zamanla değişen giriş işaretleri, söz konusu doğru akım ve gerilim bileşenlerinin üzerlerine bindirilir ve bu şekilde zamanla değişen çıkış işaretleri oluşturulur. *Yükseltile sinyaller, girişlere uygulanan zamanla değişen sinyallerdir.*
- ✓ *Yükselticilerde çıkış büyüklüğünün giriş büyüklüğüne oranına **kazanç** adı verilir.*
  - Kazanç boyutsuz bir büyüklüktür. Bunun sebebi çıkış ve giriş büyüklüklerinin aynı boyutta olmasıdır.
  - Yükselticilerde gerilim akım ve güç kazancı olmak üzere üç kazancı söz konusudur.
- ✓ Bir yükselticinin davranışını belirlemek için sadece kazançların bilinmesi yeterli değildir, giriş ve çıkış empedansları da önemlidir.
  - *Yükselticinin çıkışına yük bağlı iken giriş uçlarından ölçülen empedansa **giriş empedansı** denir.*
    - Bir çok durumda, geniş bir frekans aralığında empedans frekanstan bağımsız ve gerçel'dir(kompleks değildir); yani bir dirençtir ve giriş direnci olarak adlandırılır.
  - *Yükselticinin girişine kaynağın iç empedansına eşit bir empedans bağlı iken çıkış uçlarından ölçülen empedansa da **çıkış empedansı** adı verilir.*
    - Bu büyüklük de frekanstan bağımsız ve gerçel olduğu frekans bandı içinde çıkış direnci adı ile anılır.

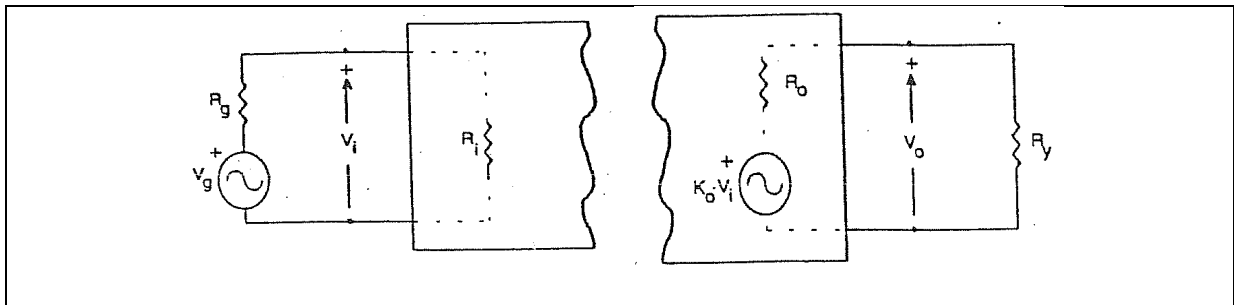
✓ Yükseltici iki kapılı olarak düşünüldüğünde Şekil-1'de verilen blok şema ile gösterilebilir.



Şekil 1

$R_y$	Yükselticinin yük direncidir. Bu yük her ne kadar empedans olarak gösterilse de herhangi bir elektronik sistemin giriş direnci olabileceği gibi herhangi bir ölçü aletinin iç direnci de olabilir.
$r_i$	Yükselticinin girişinden bakıldığında okunan iç direnci
$r_o$	Yükselticinin çıkışından bakıldığında okunan iç direnci
$V_g, R_g$	$V_g$ ve $R_g$ girişteki güç kaynağını tanımlarlar. $V_g$ kaynağın gerilim genliğini gösterirken, $R_g$ kaynağın iç empedansını tasvir eder. Bu işaret kaynağı devreye uygulanan herhangi bir güç kaynağı olabileceği gibi herhangi bir yükselticinin çıkışındaki işaret de olabilir.
$V_i, I_i$	Sırasıyla; yükseltici girişindeki gerilim değeri ve yükselticiye giren akım değeri.
$V_o, I_o$	Sırasıyla; yükselticiden yükseltilmiş olarak çıkan işaretin gerilim ve akım değeri

✓ Bir gerilim yükselticisinden en yüksek gerilim kazancının elde edilmesi için işaret kaynağı geriliminin yükselticinin girişine gerilim kaybı olmaksızın aktarılması gerekir. Şekil-2'de yükselticinin giriş direnci  $R_i$ , çıkış direnci  $R_o$  ile açık devre çıkış gerilimi ise  $K_o \cdot V_i$  bağımlı kaynağı ile temsil edilmiştir.



Şekil 2 Yükselticinin giriş ve çıkış katlarının eşdeğer devrelerle gösterilmesi

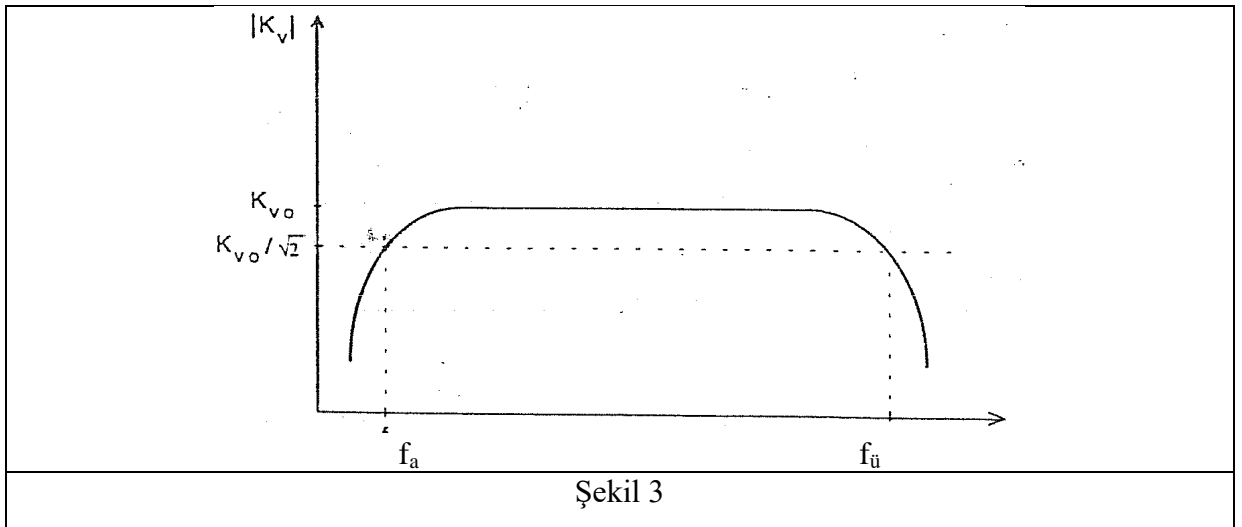
- Birinci kattaki gerilim bölücüye dikkat edilirse  $V_i$  giriş gerilimi ve  $V_g$  kaynak gerilimi arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur.

$$V_i = V_g \frac{R_i}{R_i + R_g}$$

- Denklemden de aşıkardır ki  $R_g \ll R_i$  olmadıkça aktarılan verim değeri çok düşük olacaktır. Bu yüzden güç kaynaklarının iç dirençleri genellikle ihmal edilir.
- Yükselticinin çıkışından elde edilen  $V_o$  gerilimiyle, devrenin açık devre çıkış gerilimi  $K_o.V_i$  arasındaki bağlantı yazılacak olursa;

$$V_o = K_o V_i \frac{R_y}{R_y + R_o}$$

- Bağlıtından görüldüğü üzere  $V_o$ 'nun alabileceği maksimum değer  $V_o = K_o.V_i$ 'dir ve çıkış gerilimi bu değere  $R_o \ll R_y$  şartı sağlandığında ulaşır.
  - Demek oluyor ki iyi bir gerilim yükselticinin giriş direncinin kaynak direncine göre çok büyük, giriş direncinin ise yük direncine göre çok küçük yapılması gerekir.
- ✓ Bir gerilim yükselticinin girişine küçük genlikli ve  $f$  frekanslı sinüs biçiminde bir işaret uygulandığını düşünelim. İşaretin genliği sabit tutularak frekansı değiştirilirse genellikle geniş bir frekans bölgesinde  $V_2$  çıkış gerilim genliğinin de sabit kaldığı görülür.
- Daha yüksek frekanslara doğru gidildiğinde genellikle çıkış gerilimi düşer.
  - Benzer bir düşme, yükselticinin iç yapısına bağlı olarak alçak frekanslarda da ortaya çıkabilir.
  - *Çıkış geriliminin kazancının modülünün (büyüklüğünün) frekansla değişimini veren grafiğe yükselticinin frekans eğrisi adı verilir.*
  - Frekans eğrilerinde yatay eksen genellikle logaritmik olarak bölümlenir.
  - *Kazancın, sabit kaldığı bölgedeki değerinin  $1/\sqrt{2}$ 'sine düştüğü frekanslara yükselticinin **alt ve üst kesim frekansları** ve bu iki frekans arasında kalan aralığa **band genişliği** adı verilir.*

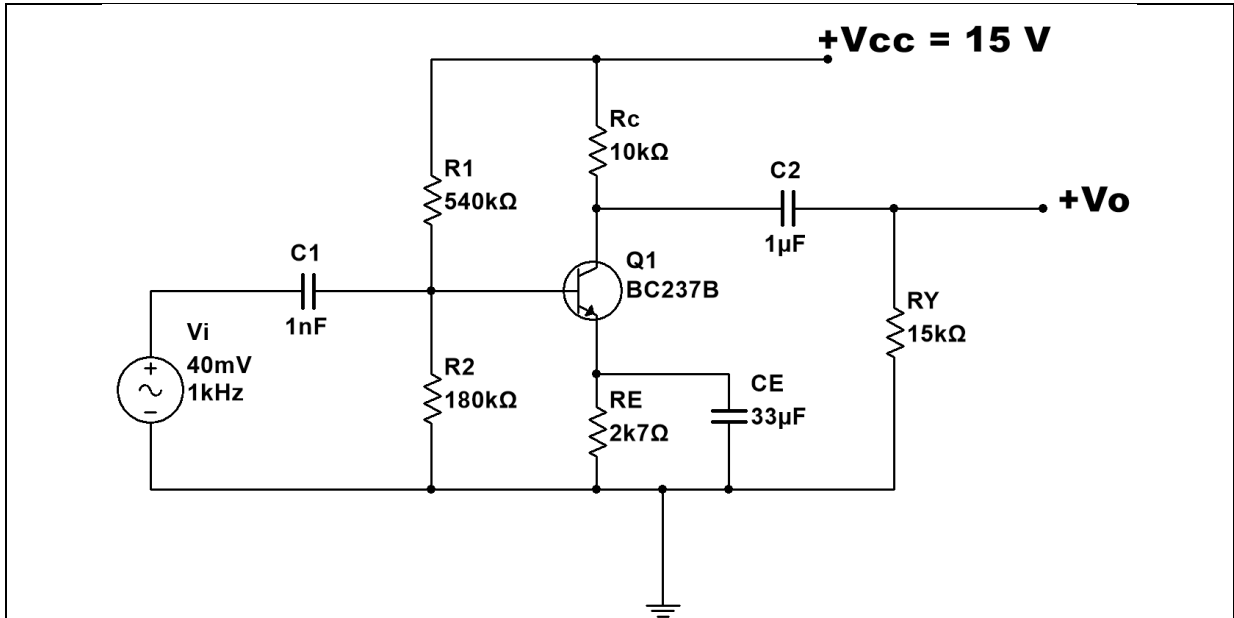


Şekil 3

- ✓ Bir tek transistör ile gerçekleştirilen bir yükselticinin sağlayabildiği kazancın yeterli olmadığı durumlarda daha yüksek bir kazanç elde edilebilmesi için tek elemanlı yükseltici katları, birinin çıkışı bir sonra gelen katın girişini besleyecek şekilde art arda(kaskad) bağlanırlar.
  - Bu durumda doğru akım şartlarının değişmemesi gerekir.
  - Ayrıca yükseltici girişine bağlanan işaret kaynağı ve çıkışına bağlanan yük de doğru akım şartlarından etkilenmemelidir.
  - *Bu nedenle düşük frekans uygulamalarında gerektiğinde doğru bileşenleri yalıtım amacıyla ile yükseltici içinde, girişinde ve çıkışında kondansatör kullanılabilir. Bu kondansatörler **bağlama kondansatörü** olarak adlandırılır.*
- ✓ Aktif elemanların çalışması sırasında doğru akımlar açısından gerekli ama değişken işaretler göz önüne alındığında bulunması istenmeyen direnç veya başka bir eleman kondansatör kullanılarak köprülenir.
  - *Devrenin frekans cevabı üzerinde etkili olan bu kondansatör **köprüleme kondansatörü** adını alır.*

### Ortak Emitörlü Yükseltici

- ✓ *Transistorlu temel yükseltici katları arasında en çok kullanılan giriş ucu baz, çıkış ucu kollektör, giriş ve çıkış için ortak ucu emitör olan ve **ortak emitörlü devre** adıyla anılan devredir.*
  - Bu devre tipinin önemli özelliği, giriş ve çıkış dirençlerinin art arda bağlanma halinde yüksek bir kat kazancı elde etmeye elverişli olmalarıdır.
- Tipik bir ortak emitörlü yükseltici devre şekil-4'te verilmiştir.



Şekil 4 Ortak Emitörlü Devre Örneği

$R_1, R_2, R_c, R_e$	Devredeki transistörü istenilen çalışma koşullarında kutuplamak için kullanılır.
$C_1, C_2$	Devreyi doğru bileşenler açısından işaret kaynağı ve yükten yalıtım için kullanılır. Bağlama kondansatörleri olarak adlandırılırlar.
$C_e$	Köprüleme kondansatörüdür ve $R_e$ direncini köprülemek için kullanılır.

Doğru bileşenler açısından transistörün kolektör çevriminden,  $I_b \ll I_c$  alınarak;

$$V_{cc} = V_{ceq} + I_{cq} \cdot (R_e + R_c) \quad (1.1)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi çevrime giren doğru bileşen yükü  $R_{dc}$  ile gösterildiğinde;

$$R_{dc} = R_e + R_c \quad (1.2)$$

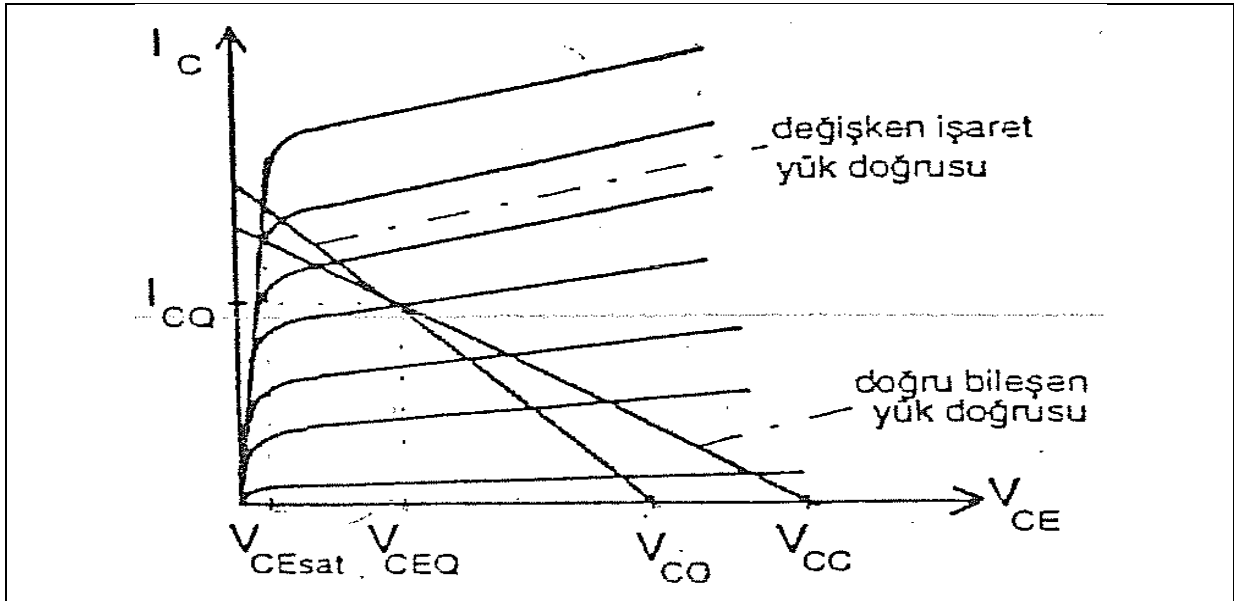
Öte yandan değişken işaret yükü  $R_{ac}$  ise;

$$R_{ac} = \frac{R_c \cdot R_y}{R_c + R_y}$$

(1.3)

bağıntısıyla tanımlanır.

- (1.1) bağıntısına karşılık gelen doğru, transistörün çıkış öz eğrileri üzerine çizilirse çalışma noktası  $I_b = I_{bq}$  için çizilmiş olan çıkış öz eğrisi ile söz konusu doğrunun kesişim noktası olacaktır.
- Doğru işaret yük doğrusu olarak adlandırılan bu doğru yatay eksenini  $V_{cc}$ 'de düşey eksenini  $V_{cc}/R_{dc}$ 'de keser ve eğimi  $-1/R_{dc}$ 'dir.
- Değişken işaret yük doğrusu transistörün çalışma noktasından geçer ve eğimi  $-1/R_{ac}$ 'dir.
- $R_{ac}$   $R_{dc}$  ye eşit olmadığından yatay ve düşey eksenleri kesme noktaları farklı olacaktır. Bu durum şekil-5'de gösterilmiştir.



Şekil 5 Bir transistörün çalışma noktaları

- Bu şekil yardımıyla  $V_{co}$  gerilimi hesaplanırsa;

$$V_{co} = V_{ceq} + R_{ac} \cdot I_{cq} \quad (1.4)$$

olacaktır.

- Transistörlü yükselticiye değişken işaret uygulanınca kolektör-emittör gerilimi  $V_{ce(sat)}$  ile  $V_{co}$  arasında kalan değerleri alabilecektir.  $V_{co}$  gerilimini  $V_{cc}$  cinsinden bulmak mümkündür. Gerekli işlemler yapıldığında şekil-5'ten

$$V_{co} = V_{cc} - (R_{dc} - R_{ca}) \cdot I_{cq} \quad (1.5)$$

elde edilir.

- $R_{dc}$  ve  $R_{ca}$ 'nın değerlerinin yerine konulması ile  $V_{co}$  için

$$V_{co} = V_{cc} - (R_e + R_c \cdot R_c / R_c + R_y) \cdot I_{cq} \quad (1.6)$$

bağıntısına ulaşılır.

- Çalışma noktasının yeri uygun seçilirse çıkışta elde edilen değişken işaretin simetrik kırılması, yani pozitif ve negatif kısımlarının aynı gerilim değerinde kırılması sağlanabilir.
- Kollektör ve emitör gerilimi negatif alternansta  $V_{ceq} - V_{ce(sat)}$ , pozitif alternansta ise  $V_{co} - V_{coq}$  değerlerini alabilir. Simetrik kırılma için bu iki değer eşit olması gerekir.

$$V_{ceq} - V_{ce(sat)} = V_{co} - V_{coq} = R_{ac} \cdot I_{cq} \quad (1-7)$$

koşulu sağlanmalıdır.

- (1-1) ve (1-7) bağıntıları kullanılarak simetrik kırılma koşulunu sağlayacak  $I_{cq}$  hesaplanırsa

$$I_{cq} = \frac{V_{cc} - V_{ce(sat)}}{R_{dc} + R_{ac}}$$

bağıntısı elde edilir.

- $R_{dc}$  ve  $R_{ac}$ 'nin dirençler cinsinden eşitleri yerlerine konulursa şekil-4'teki devre için

$$I_{cq} = \frac{V_{cc} - V_{ce(sat)}}{R_c + R_e + R_c \cdot R_y / R_c + R_y}$$

bağıntısına ulaşılır. (1-5) ve (1-8) bağıntıları geneldir ve diğer transistörlü devreler için de kullanılabilir.

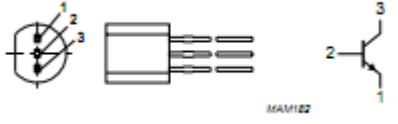
**Deneğin amacı:** BJT'li yükselticilerin çalışma koşullarının kavranması, yükseltici için önem arz eden parametrelerin tanıtılması ve ölçümlerinin nasıl yapıldığının öğrenilmesidir.

**Kullanılacak Materyaller:**

- 2N2222A - 2 adet
- $R_1 = 540 \text{ k}\Omega$
- $R_2 = 180 \text{ k}\Omega$
- $R_c = 10 \text{ k}\Omega$
- $R_E = 2.7 \text{ k}\Omega$
- $C_E = 33 \mu\text{F}$
- $C_1 = 1 \text{ nF}$
- $C_2 = 1 \mu\text{F}$
- **Not:** Verilen malzemeler kurulacak devre için standart sayıdadır. Aldığımız malzemelerin bozuk çıkma veya deney esnasında yanabilme ihtimallerine karşın yedeklerini de satın almayı ihmal etmeyiniz.
- **Not:** Transistörler, Entegreler ve Potansiyometreler deney sırasında kolay yanabilen elemanlardır.

### Ön Hazırlık:

- 1) BC-237 ve NPN “2N2222A” transistörünün katalogunu araştırınız ve bacak bağlantılarını çiziniz.

BC-237	2N2222A
 <p>1- Emitör 2- Baz 3- Kolektör</p>	

- 2) BC-237 ve NPN “2N2222A” transistörleri için aşağıda istenenleri kenarlardaki boşluklara yazınız.

		BC-237	2N2222A
Saturasyon akımı	$I_s$		
İleri yönde akım kazancı katsayısı	$\beta_f$		
Ters önde akım kazancı katsayısı	$\beta_r$		
Baz omik direnci	$r_b$		
Emitör omik direnci	$r_e$		
Kolektör omik direnci	$r_c$		
B-E eklem kapasitesi	$C_{be}$		
B-C eklem kapasitesi	$C_{bc}$		
B-E eklem gerilimi	$V_{BE}$		
B-C eklem gerilimi	$V_{BC}$		
Forward transit time	$\tau_F$		
Reverse transit time	$\tau_R$		
Early gerilimi	$V_A$		
Baz – Emitör kaçak saturasyon akımı	$I_{se}$		

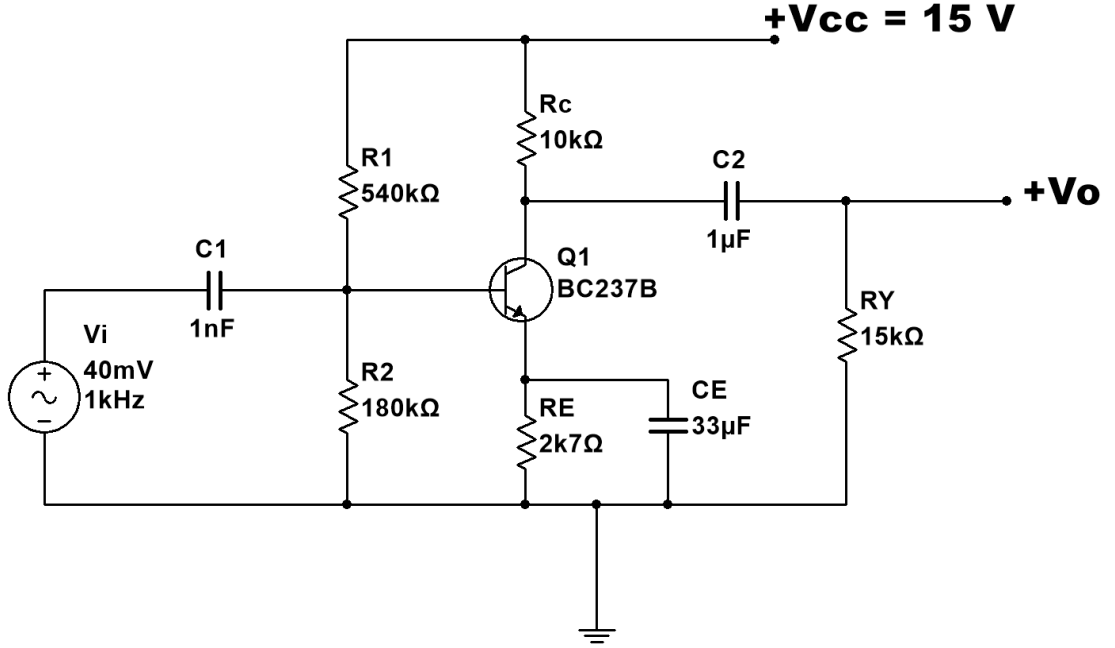
3) Şekil 4'te verilen devreyi bir elektronik simülasyon programı ile gerçekleyiniz ve simülasyonda elde ettiğiniz değerleri not ediniz. (Kazanç, alt kesim frekansları, üst kesim frekansları,  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $V_{BB}$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ... gibi ). Yaptığınız simülasyonun devre çiziminin ve simülasyon sonuçlarının çıktılarını alıp yanınızda getiriniz. (Simülasyon sırasında devre girişine maksimum 100mV genlikli sinüzoidal dalga uygulayınız.)

4) Simüle ettiğiniz devredeki elemanların değerlerini değiştirerek çeşitli simülasyonlar yapınız ve hangi devre elemanının devreye ne gibi etkileri olduğunu yazınız. (Bu adımda yaptığınız simülasyonların çıktılarını almanıza ve yanınızda getirmenize gerek yoktur. Sadece devre elemanlarının devreye etkilerini yazmanız yeterlidir.)

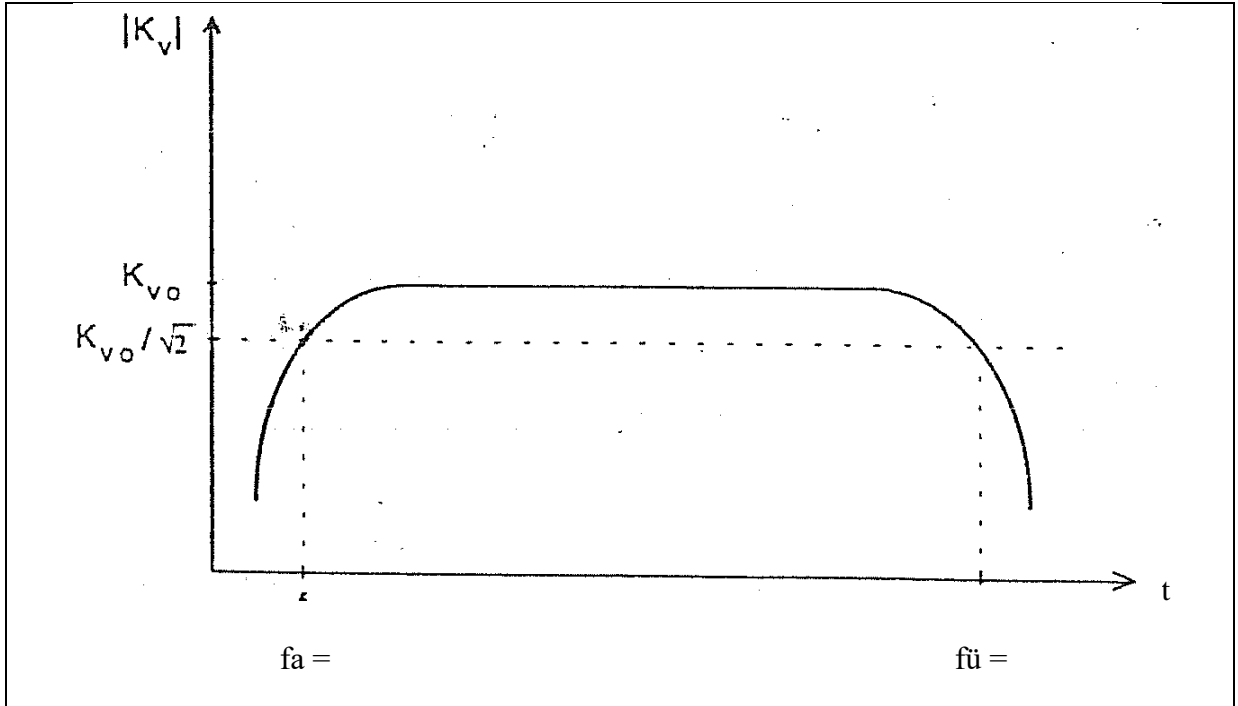


### Deney Adımları:

1) Şekildeki devreyi kurunuz.



2) Devrenin alt kesim ve üst kesim frekanslarını belirleyiniz ve aşağıdaki grafiği ve tabloyu sayısal verilerinizle doldurunuz.



$I_C$		$I_B$		$V_{BE}$		$V_E$	
$I_E$		$V_C$		$K_{V0}$		$h_{fe}$	