

DENEY 3: BJT'Lİ FARK KUVVETLENDİRİCİLERİ

Amaç:

- 1) BJT'li fark kuvvetlendiricisine ait DC ve AC analizlerin yapılarak DC çalışma noktasının bulunması, ortak işaret ve fark işaret kazancının, ortak zayıflatma oranının bulunması
- 2) Akım aynasının kazanç etkisinin incelenmesi.

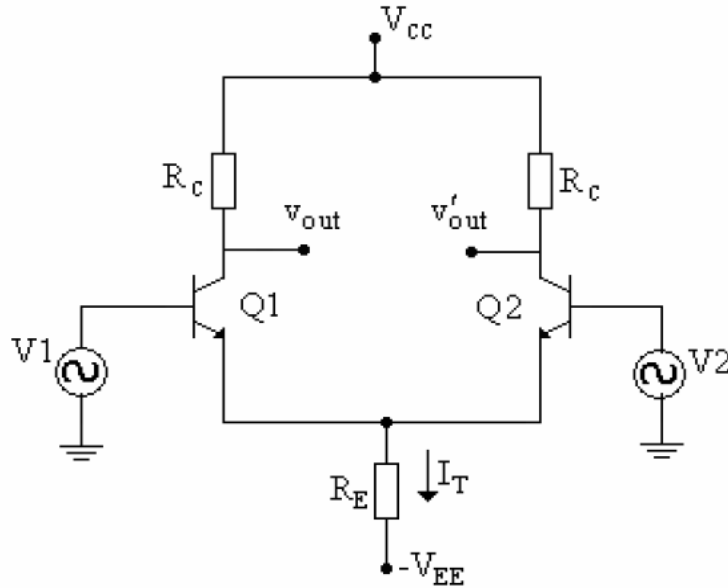
Malzeme Listesi :

Transistör : 4xBC237

Direnç : 1x22k Ω , 2x12k Ω , 1x11k Ω , 2x10k Ω , 2x1k Ω

3.1. Genel Bilgi

Fark kuvvetlendiricileri genel olarak girişindeki AC işaret farkını yükselten kuvvetlendiricilerdir. Fark yükselteci devresinin özellikle yüksek kazançlı kuvvetlendiricilerin giriş katı olarak kullanılmasına neden olan çok yararlı çeşitli özellikleri mevcuttur. Kuvvetlendiricinin simetrik olması nedeniyle eş özellikli transistörler seçerek (genellikle bu transistörler aynı silisyum kırkık üzerinde gerçekleştirilir) oldukça kararlı ve sürüklenmelere dayanıklı devreler oluşturulabilir. Çıkışta görülmek istenen işaret büyük genlikli bir ortak DC gerilime sahip iki uçtan gelen işaretin farkı ise bu devre idealdir. OPAMP devreleri de kaskat bağlanmış fark yükselteçleri kullanarak tasarlanır. Böylece oldukça kararlı ve yüksek kazançlı kuvvetlendiriciler elde edilir.



Şekil 3.1. Temel Fark Kuvvetlendiricisi

Şekil 3.1'deki fark kuvvetlendiricisi devresindeki transistörlerin çalışma noktalarını bulmak için DC analiz yapılmalıdır.

3.1.1. DC Analiz

Çıkış akımı ve gerilimlerini bulmak için gerekli olan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$V_1=V_2=0 \quad (3.1)$$

$$V_{BE}+I_T R_E-V_{EE}=0 \quad (3.2)$$

$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} \quad (3.3)$$

$$I_T = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \quad (3.4)$$

$$I_T = 2I_E \cong 2I_C \quad (3.5)$$

$$I_C = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_E} \quad (3.6)$$

Çıkış Gerilimleri:

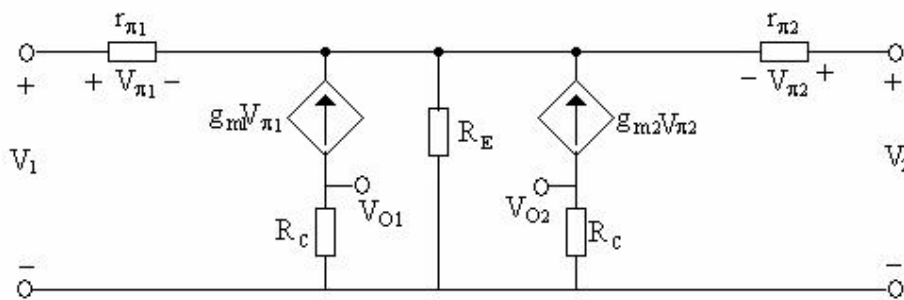
$$V_{O1} = V_{O2} = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \left(\frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_E}\right)R_C \quad (3.7)$$

$$V_{Od} = V_{O1} - V_{O2} = 0 \quad (3.8)$$

İdeal bir fark kuvvetlendiricisinde girişler “0” iken çıkış gerilimleri arasındaki fark (V_{Od}) “0” olmalıdır.

3.1.2. AC Analiz

Devrenin AC modeli Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Temel Fark Kuvvetlendiricisinin AC Eşdeğer Modeli

Kullanılan transistörler eşdeğer yapıda olduğu için $g_{m1}=g_{m2}$; $r_{\pi 1}=r_{\pi 2}$ ’dir.

$$\left[g_m = \frac{I_C}{V_T} \text{ ve } r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} \right] \quad (3.9)$$

Giriş işaretleri arasındaki farka “giriş fark işareti” denir. V_{id} ile gösterilir.

$$V_{id} = V_1 - V_2 \quad (3.10)$$

Giriş işaretlerinin ortalama değerine “giriş ortak işareti” denir. V_{ic} ile gösterilir.

$$V_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (3.11)$$

Devrenin çalışmasını ikiye ayırabiliriz.

1- $V_1 = -V_2$ haline fark işareti denir.

2- $V_1 = V_2$ haline ortak işaret denir.

3.1.2.a. Giriş İşaretinin Fark İşareti Olması Durumu

$$V_1 = -V_2 \quad (3.12)$$

$$V_1 = V_a(t) \quad (3.13)$$

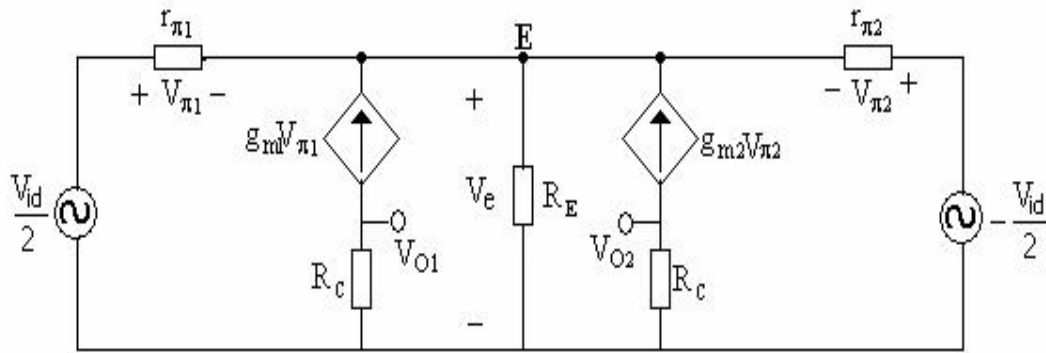
$$V_2 = -V_a(t) \quad (3.14)$$

Bu durumda V_{ic} ve V_{id} aşağıda gösterildiği gibi olur.

$$V_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (3.15)$$

$$V_{id} = V_1 - V_2 = 2V_a(t) \quad (3.16)$$

Fark işareti uygulanması durumunda fark kuvvetlendiricisi devresinin eşdeğer modeli Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 Girişlere fark işareti uygulanması durumu

E noktası için:

$$g_{\pi} V_{\pi1} + g_m V_{\pi1} + g_m V_{\pi2} + g_{\pi} V_{\pi2} = G_E V_E \quad (3.17)$$

$$-\frac{V_{id}}{2} + V_{\pi1} + V_E = 0 \rightarrow V_{\pi1} = \frac{V_{id}}{2} - V_E \quad (3.18)$$

$$\frac{V_{id}}{2} + V_{\pi2} + V_E = 0 \rightarrow V_{\pi2} = -\frac{V_{id}}{2} - V_E \quad (3.19)$$

$$V_{\pi 1} + V_{\pi 2} = -2V_e \quad (3.20)$$

$$(V_{\pi 1} + V_{\pi 2})(g_{\pi} + g_m) = G_E V_e \quad (3.21)$$

$$(2g_{\pi} + 2g_m + G_E)V_e = 0 \quad (3.22)$$

Bu eşitsizliğin sağlanması için $(2g_{\pi} + 2g_m + G_E) \neq 0$ olduğundan $V_e=0$ olmalıdır.

$$V_{\pi 1} = \frac{V_{id}}{2} - V_e = \frac{V_{id}}{2} \quad (3.23)$$

$$V_{\pi 2} = -\frac{V_{id}}{2} - V_e = -\frac{V_{id}}{2} \quad (3.24)$$

Devrenin çıkış gerilimleri aşağıda verilmiştir.

$$V_{o1} = -g_m V_{\pi 1} R_C = -g_m R_C \frac{V_{id}}{2} = -\frac{R_C}{r_e} \frac{V_{id}}{2} \quad (3.25)$$

$$V_{o2} = -g_m V_{\pi 2} R_C = g_m R_C \frac{V_{id}}{2} = \frac{R_C}{r_e} \frac{V_{id}}{2} \quad (3.26)$$

Buradaki r_e değeri transistörün geçiş direncidir ve büyüklüğü $r_e = \frac{V_{TH}}{|I_C|}$ 'dir.

Çıkış fark işareti $V_{od} = V_1 - V_2$ olduğuna göre

$$V_{od} = -\frac{R_C}{r_e} \frac{V_{id}}{2} - \frac{R_C}{r_e} \frac{V_{id}}{2} = -\frac{R_C}{r_e} V_{id} \text{ olarak bulunur.}$$

Fark işareti kazancı (A_{dd}) ise aşağıda verilmiştir.

$$A_{dd} = \frac{V_{od}}{V_{id}} |_{V_{ic}=0} = -\frac{R_C}{r_e} \quad (3.27)$$

3.1.2.b Giriş İşaretinin Ortak İşaret Olması Durumu

$$V_1 = V_2 \quad (3.28)$$

$$V_1 = V_b(t) \quad (3.29)$$

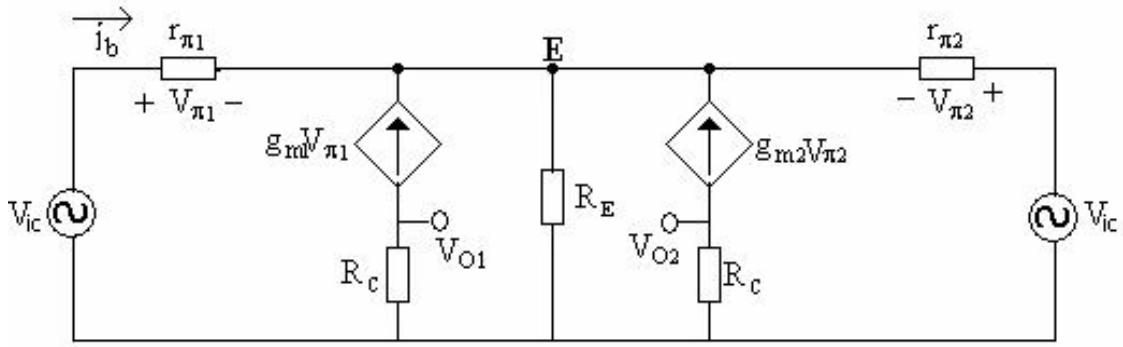
$$V_2 = V_b(t) \quad (3.30)$$

Bu durumda V_{ic} ve V_{id} aşağıda gösterildiği gibi olur.

$$V_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2} = V_b(t) \quad (3.31)$$

$$V_{id} = V_1 - V_2 = 0 \quad (3.32)$$

Ortak işareti uygulanması durumunda fark kuvvetlendiricisi devresinin eşdeğer modeli Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Girişlere ortak işaret uygulanması durumu

$$V_{ic} = i_b [r_{\pi} + 2(1 + \beta)R_E] = V_b(t) \quad (3.33)$$

$$i_b = \frac{V_b(t)}{r_{\pi} + 2(1 + \beta)R_E} \quad (3.34)$$

Devrenin çıkış gerilimleri aşağıda verilmiştir.

$$V_{O1} = V_{O2} = -\beta I_b R_C = -\frac{\beta R_C V_b(t)}{r_{\pi} + 2(1 + \beta)R_E} = -\frac{\beta R_C V_{ic}}{r_{\pi} + 2(1 + \beta)R_E} \quad (3.35)$$

Çıkış ortak işareti $V_{oc} = \frac{V_{O1} + V_{O2}}{2} = V_{O1} = V_{O2}$ olur.

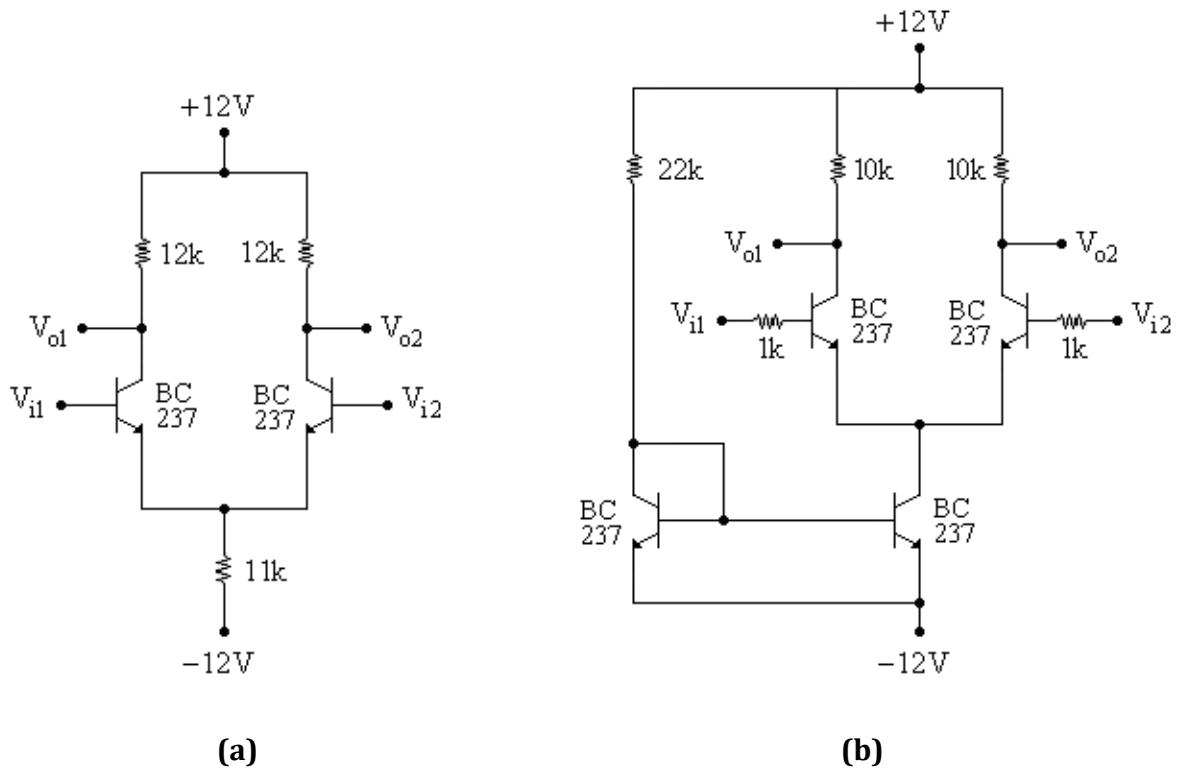
Ortak işaret kazancı (A_{cc}) ise aşağıda verilmiştir.

$$A_{cc} = \left. \frac{V_{oc}}{V_{ic}} \right|_{V_{id}=0} = -\frac{\beta R_C}{r_{\pi} + 2(1 + \beta)R_E} \cong -\frac{R_C}{r_e + 2R_E} \quad (3.36)$$

İdeal bir fark kuvvetlendiricisinde ortak işaret kazancı (A_{cc}) sıfırdır. Fark işaret kazancının (A_{dd}), ortak işaret kazancına oranına “Ortak İşaret Zayıflatma Oranı (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)” denir. Fark yükselteçlerinin yaygın kullanılan bir performans ölçütü olan CMRR şu şekilde tanımlanır:

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \quad (3.37)$$

Yukarıdaki formülde de görüldüğü üzere CMRR değerinin büyük olması için R_E direncini büyütmek gerekir, ancak R_E direnci arttırılırsa aynı I_E akımı ile devreyi sürebilmek için gereken besleme gerilimi değeri çok artacaktır. Bu nedenle devrede R_E direnci yerine sabit akım kaynağı görevi gören akım aynası (Şekil 4.5) kullanılır.



Şekil 3.5 a.) R_E Direnci ile Farksal Kuvvetlendirici

b) R_E Direnci Yerine Akım Aynası Kullanılarak Elde Edilen Farksal Kuvvetlendirici

Doğru akım kaynağı küçük işaretler için yüksek direnç göstereceğinden (açık devre gibi düşünülebilir) akım aynası kullanılan devrede V_{EE} gerilimini arttırmaya gerek olmadan yüksek CMRR elde edilebilir.

3.2. Deney Öncesi Yapılacaklar

1. Şekil 3.5a ve 3.5.b' deki fark kuvvetlendiricisinin AC eşdeğer devrelerini ve çalışma prensiplerini gözden geçirin.
2. Şekil 3.5a ve 3.5.b' deki devrenin kazanç ifadelerini (A_{dd} ve A_{cc}) ve CMRR değerlerini föyde verilen bilgileri kullanarak hesaplayınız. Hesaplamalarınız için SPICE programı kullanabilirsiniz. Bu hesapladığınız değerleri deney sonunda bulduğunuz ölçüm sonuçlarıyla karşılaştıracaksınız.

Not: Teorik hesaplama sırasında akım aynalı yapı için A_{cc} değerini "0" olarak alabilirsiniz.

3.3. Deneyde Yapılacaklar

1. Şekil 3.5.a'daki devreyi kurunuz. + ve - besleme gerilimlerini dikkatli bağlayınız, DC kaynakların ve devrenizin toprak bağlantısının neresi olduğuna dikkat ediniz.
2. Devrenin V_{i1} ve V_{i2} girişlerine fark işareti (a) uygulayınız.
 - a. $V_{i1} = 10\text{mV} \cdot \sin(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)$
 $V_{i2} = 0\text{V}$

Farksal çıkış gerilimini ($V_{o1} - V_{o2}$) ölçerek kazancı (A_{dd}) ölçümlerinize göre bulunuz.

Not: Fark işaretini ölçerken 1 probun 2 ucu çıkış noktalarına bağlanacaktır.

3. Devrenin V_{i1} ve V_{i2} girişlerine ortak işaret (b) uygulayınız.

b. $V_{i1} = V_{i2} = 10\text{mV} \cdot \sin(2\pi \cdot 10^3 \cdot t)$

Ortak çıkış gerilimini (V_{o1} veya V_{o2}) ölçerek kazancı (A_{cc}) ölçümlerinize göre bulunuz.

4. Devrenin CMRR oranını ölçüm değerlerinden yararlanarak hesaplayınız ve ilgili tabloyu doldurunuz.

5. Şekil 4.5.b'deki devre ile yukarıdaki adımları tekrarlayınız.

3.4. Deney Sonu Soruları

1. CMRR değerinin büyük olmasının önemi nedir? Açıklayınız.

2. Akım aynasının A_{dd} , A_{cc} ve CMRR değerine etkisi ne olmuştur?

3. Şekil 4.5.b için bulunan CMRR değerini, Şekil 4.5.a' da olduğu gibi akım kaynağı yerine dirençle sağlayabilmek için gerekli V_{EE} gerilimini hesaplayınız.

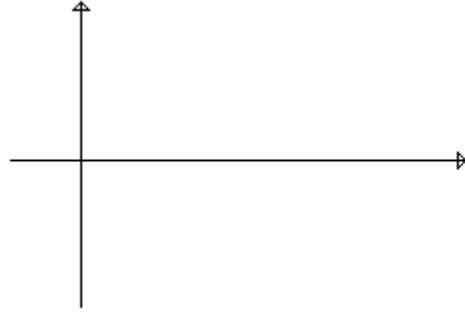
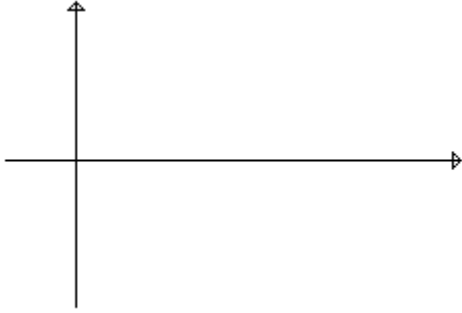
DENEY 3 SONUÇ SAYFASI

Ad – Soyad :

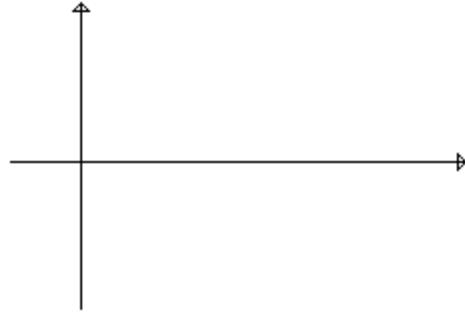
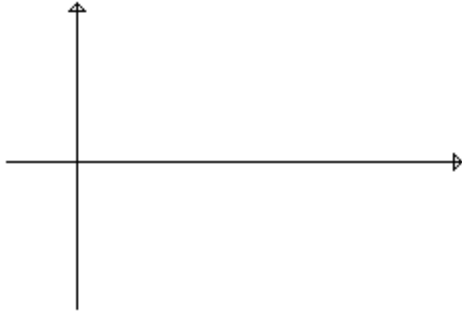
Numara :

Grup No:

Masa No:



Şekil 3.6 Şekil 3.5.a’ daki Devreye İlişkin Fark Modu ve Ortak Mod Çıkışı



Şekil 3.7 Şekil 4.5.b’deki devreye ilişkin Fark Modu ve Ortak Mod Çıkışı

Tablo 3.1 Farksal kuvvetlendiricinin kazanç ve CMRR ifadelerinin karşılaştırılması

	Teorik Hesaplama		DeneySEL Ölçüm	
	Şekil 3.5.a	Şekil 3.5.b	Şekil 3.5.a	Şekil 3.5.b
A_d				
A_c				
CMRR				

Sonuç ve Yorum:

ÖNEMLİ KATALOGLAR

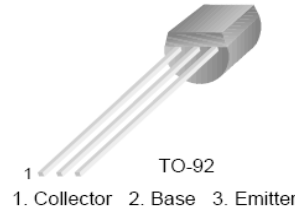
1. BC 237



BC237/238/239

Switching and Amplifier Applications

- Low Noise: BC239



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage	50	V
	: BC237	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	45	V
	: BC238/239	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	6	V
	: BC238/239	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=2\text{mA}, I_B=0$	45			V
			25			V
						V
BV_{EBO}	Emitter Base Breakdown Voltage	$I_E=1\mu\text{A}, I_C=0$	6			V
			5			V
						V
I_{CES}	Collector Cut-off Current	$V_{CE}=50\text{V}, V_{BE}=0$ $V_{CE}=30\text{V}, V_{BE}=0$		0.2	15	nA
				0.2	15	nA
						nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$	120		800	
$V_{CE}(\text{sat})$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0.5\text{mA}$		0.07	0.2	V
		$I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		0.2	0.6	V
$V_{BE}(\text{sat})$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0.5\text{mA}$		0.73	0.83	V
		$I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		0.87	1.05	V
$V_{BE}(\text{on})$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$	0.55	0.62	0.7	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=3\text{V}, I_C=0.5\text{mA}, f=100\text{MHz}$ $V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}, f=100\text{MHz}$	150	85 250		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CE}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Base Capacitance	$V_{EB}=0.5\text{V}, I_C=0, f=1\text{MHz}$		8		pF
NF	Noise Figure	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=0.2\text{mA},$ $f=1\text{KHz}, R_G=2\text{K}\Omega$ $V_{CE}=5\text{V}, I_C=0.2\text{mA}$ $R_G=2\text{K}\Omega, f=30\sim 15\text{KHz}$		2	10	dB
					4	dB
					4	dB
						dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	120 ~ 220	180 ~ 460	380 ~ 800