

ESKİŐEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
HEE/UGMB BÖLÜMLERİ

Dersin Adı	: HYO226 Temel Elektronik Laboratuvarı I
Laboratuvar Adı	: Temel Elektronik Laboratuvarı I
Deney Türü	: Uygulama
Uygulama Adı	: Transistörler
Uygulama Süresi	: 2 ders saati/grup
Başlangıç Tarihi	: .../.../20..
Bitiş Tarihi	: .../.../20..

1. Deney öncesi dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Yapılacak deneyler ve tarihleri, dersi veren öğretim elemanı tarafından duyurulur. Deney konularını ve tarihlerini laboratuvar girişine asılacak deney çizelgesinden takip edebilirsiniz.
- Deneye gelmeden önce yapılacak deneyle ilgili dokümanlara çalışarak deneye geliniz.
- Deney sırasında elektrik çarpmasına karşı tüm önlemleri aldığınızdan emin olunuz.
- Devre montajı yaparken güç kaynağının kapalı olduğundan emin olunuz.
- Devreye enerji vermeden önce yapılan bağlantıların doğruluğunu kontrol ediniz.
- Tüm bağlantıların doğruluğundan emin olduktan sonra ilgili araştırma görevlisi gözetiminde devreye besleme gerilimi veriniz. Eğer devre beklendiği gibi çalışmıyorsa hemen besleme gerilimi kapatılarak devreyi kontrol ediniz.
- Devre üzerinde değişiklik yaparken (eleman ekleme/çıkarma, bağlantı değiştirme) gerilim kaynağının kapalı olduğundan emin olunuz.
- Diğer grupları rahatsız etmemek ve daha olumlu bir çalışma ortamı sağlamak için laboratuvarda mümkün olduğu kadar sessiz çalışınız.
- Laboratuvarlarda hiçbir şey yemeyiniz ve içmeyiniz.

2. Deney için ön gereklilikler:

Teorik Ön Bilgi*

Transistör nedir?

Transistör yan yana birleştirilmiş iki PN diyodundan oluşan, girişine uygulanan sinyali yükselterek akım ve gerilim kazancı sağlayan, anahtarlama elemanı olarak da kullanılabilen yarı iletken bir devre elemanıdır. Transistör kelimesi, transfer ve rezistans kelimelerinin birleşiminden doğmuştur. Günümüzde transistörler mikron ve nano teknolojisi ile üretilmektedir. Bazı yarı iletken malzemelerinin içinde barındırdığı transistör sayıları aşağıda verilmiştir.

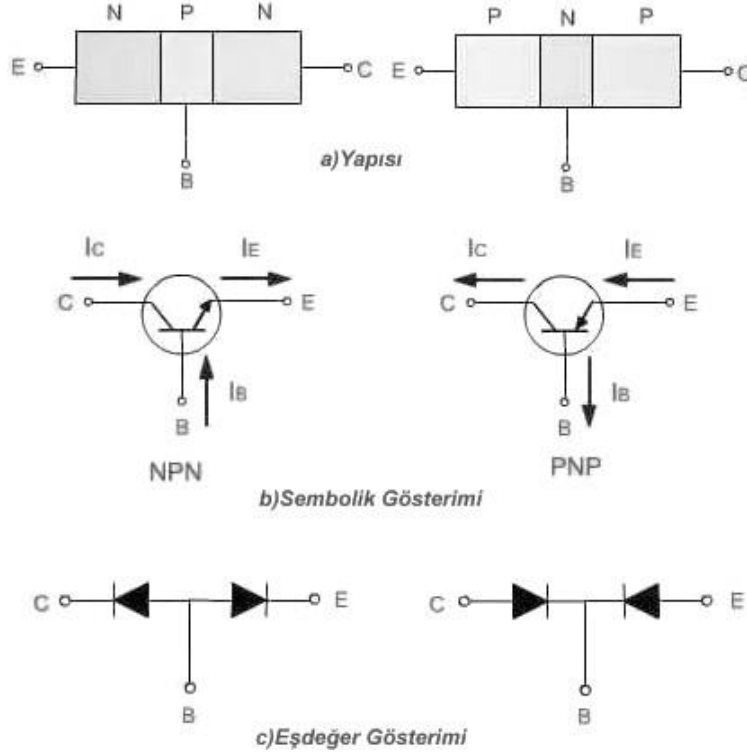
LM741(Op-Amp) 20 Transistör

Intel i7 731 000 000 transistör (45nm, 263mm²)

Core2duo 291 000 000 transistör (65nm)

8-Core Xeon Nehalem-EX 2 300 000 000 (supercomputer chip)

Uygulamada 100000 'e yakın çeşidi bulunan ve her geçen gün yeni özelliklerde üretilen transistörler temel olarak bipolar ve unipolar olmak üzere iki gruba ayrılır. Bipolar transistörler NPN ve PNP olmak üzere iki tiptir. (Şekil 1)



Şekil 1 BJT Yapısı

Transistörler, uygulama alanlarına göre çeşitli kılıflarda üretilirler. Bazı kılıflar üzerine soğutucuların monte edilebileceği bağlantı noktası bulunur.

Üç kutuplu devre elemanları olan transistörlerin kutupları; Emiter (E), Beyz (B) ve Kollektör (C) olarak adlandırılır. Emiter (yayıcı); akım taşıyıcıların harekete başladığı bölge, Beyz (taban); transistörün çalışmasını etkileyen bölge ve Kollektör (toplayıcı); akım taşıyıcıların toplandığı bölgedir. Transistörler 3 farklı bölgede çalıştırılabilir.

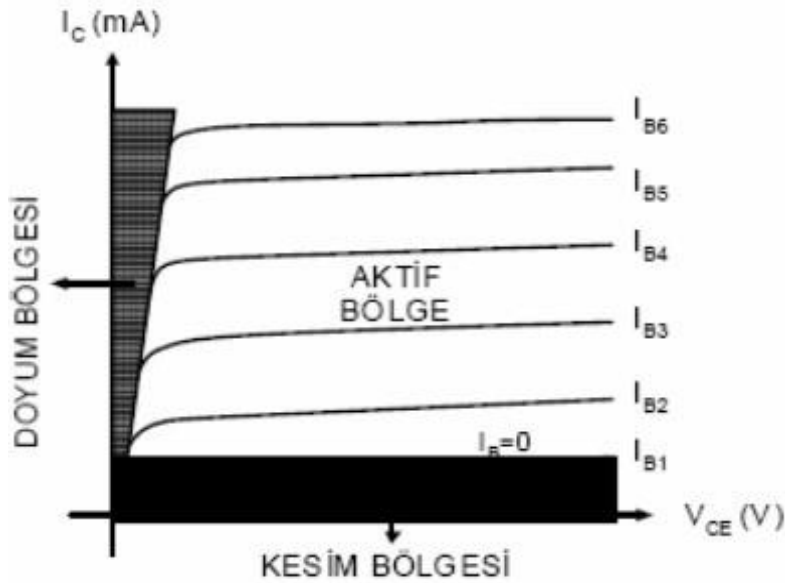
- Aktif bölge
- Doyum bölgesi
- Kesim bölgesi

Aktif bölge

Transistörün aktif bölgesi; I_B akımının sıfırdan (0) büyük ve VCE kollektör-emiter geriliminin sıfırdan büyük durumda transistörün çalışma bölgesidir. Transistörün aktif bölgede çalışabilmesi için B-E jonksiyonunun ileri (doğru), C-B jonksiyonunun ise ters yönde polarlanması (kutuplanması) gerekir. Bu bölgede transistör IC akımı VCC kollektör geriliminden bağımsız olup I_B akımına bağlı olarak değişmektedir.

Aktif bölge özellikle yükselteç tasarım ve uygulamalarında transistör bu bölgede çalıştırılır.

NPN ve PNP bir transistör aktif bölge de çalışması için RF ve RC 'nin çalışma bölgesine uygun seçilip gerekli beslemeler ile transistörün kutuplanması sağlanır.



Şekil 2 Transistör çalışma bölgeleri

Doyum bölgesi

I_B (beyz akımı) akımı ve beta (β) dc akım kazancı ile orantılı olarak değişen I_C akımının maksimum değerine ulaştığı bölgedir. Yani başka bir deyişle, I_C akımının doyuma geldiği bölgedir. I_B akımı ne kadar artırılırsa artırılсын I_C akımı artık maksimum değerinde sabit kalacaktır.

Örneğin: Doyum bölgesinde çalışan bir transistörde $I_B = 10 \mu A$ iken $I_C = 10 \text{ mA}$ ise $I_B = 20 \mu A$ iken $I_C = 10 \text{ mA}$ olacaktır.

I_C maksimum akım değerine ulaşması sebebi ile transistörde hızlı bir ısınma ile bozulma meydana gelebilir. Bu sebeple transistör doyum bölgesinde uzun süre çalıştırılmamalıdır. I_C maksimuma gelişi ile V_{CE} geriliminin yaklaşık 0 (sıfır) olmasını ve tüm gerilimin R_C direnci üzerine düşmesine sebep olur.

Doyum bölgesinde transistör de hem B-E jonksiyonu hem de C-E jonksiyonu ileri yönde kutuplanmalıdır.

Doym bölgesi şartları:

$$I_B > 0$$

$$V_{BE} > 0$$

$$V_{CB} < 0$$

Kesim bölgesi

Eğer transistör I_B akımı 0 (sıfır) olur ise V_{BE} gerilimi 0 olacaktır ve I_C 'nin değişimini etkileyen I_B akımının 0 olması ile $I_C = 0$ olacaktır. V_{CC} (kollektör gerilimi) gerilimi uygulansa bile akım akışı olmayacaktır. Bu durum, V_{CE} jonksiyonunun çok yüksek bir direnç değeri göstermesine sebep olur. Kesim bölgesindeki bu davranış özellikle anahtarlama devrelerinde kullanılır.

Çalışma noktası

Transistöre uygulanan polarma gerilimleri çıkış karakteristiği üzerinde transistörün çalışma noktasını belirler. Transistörün sahip olduğu polarma akım ve gerilim değerini gösteren bu nokta “çalışma noktası” ya da “Q noktası” olarak adlandırılır.

Transistör tipinin belirlenmesi

Transistörün tipinin belirlenmesinde ohmmetrenin (+) probu transistorun beyzine, ortak probu emiter ya da kolektörüne bağlanır. Düşük direnç okunursa transistor NPN, yüksek direnç okunursa transistor PNP tipi transistördür.

Transistörlerin ohmmetre ile sağlamlık kontrolü temel olarak, doğru polarize edilen elektrotlar arasında düşük direnç, ters polarize edilen elektrotlar arasında ise yüksek direnç olması prensibine dayanır. Aşağıdaki tabloda PNP ve NPN transistörlerin sağlamlık testinde bağlantı şekilleri ve ölçülmesi gereken yaklaşık değerler yer almaktadır.

Tablo 1 NPN transistorun ohmmetre ile sağlamlık kontrolünde bağlantı şekilleri ve beklenen ölçüm sonuçları

	NPN Transistor ve ohmmetre problemleri bağlantı şekli (doğru polarize)	NPN transistor için beklenen ölçüm sonucu	NPN transistor ve ohmmetre problemleri bağlantı şekli (ters polarize)	NPN transistor için beklenen ölçüm sonucu
E-B	Emitere (-) Beyze (+)	Düşük direnç	Emitere (+) Beyze (-)	Yüksek direnç
B-C	Beyze (+) Kolektöre (-)	Düşük direnç	Beyze (-) Kolektöre (+)	Yüksek direnç
E-C	Emitere (+) Kolektöre (-)	Yüksek direnç	Emitere (-) Kolektöre (+)	Yüksek direnç

Tablo 2 PNP transistörün ohmmetre ile sağlamlık kontrolünde bağlantı şekilleri ve beklenen ölçüm sonuçları

	Pnp transistor ve ohmmetre problemleri bağlantı şekli (doğru polarize)	Pnp transistor beklenen ölçüm sonucu	Pnp transistor bağlantı şekli (ters polarize)	Pnp transistor beklenen ölçüm sonucu
E-B	Emitere (+) Beyze (-)	Düşük direnç	Emitere (-) Beyze (+)	Yüksek direnç
B-C	Beyze (-) Kolektöre (+)	Düşük direnç	Beyze (+) Kolektöre (-)	Yüksek direnç
E-C	Emitere (+) Kolektöre (-)	Yüksek direnç	Emitere (-) Kolektöre (+)	Yüksek direnç

4. Uygulamanın tanıtımı ve amacı:

Deney sonunda öğrenci;

- Ohmmetre kullanarak transistörün tipini (NPN veya PNP) belirleyebilecektir.
 - ✓ Farklı tip transistorların beyz-emiter ileri yön dirençlerini ölçer.
 - ✓ Farklı tip transistorların beyz-emiter ters yön dirençlerini ölçer.
 - ✓ NPN ve PNP transistorların ölçüm sonuçlarına dayanarak ohmmetre ile transistor tipini belirleme yöntemini açıklar.
- Transistörlerin ileri ve ters yön dirençlerini ölçerek sağlamlık kontrolünü yapabilecektir.
 - ✓ NPN transistörün kollektör-beyz ileri ve ters yön dirençlerini ölçer.
 - ✓ Ölçüm sonuçlarına dayanarak transistörün sağlam olup olmadığına karar verir.
 - ✓ Aynı işlemi PNP transistörler için yapar.

5. Uygulamanın yapılışı:

Deneyde Kullanılacak Cihazlar ve Malzemeler

Gerilim kaynağı 0-30Vdc, 25mA

Multimetre

Q1 (nnp Transistör) 2N3019 (Silisyum)

Q2 (nnp Transistör) 2N1302 (Germanyum)

Q3 (pnp Transistör) 2N2905A (Silisyum)

Breadboard

A. Ohmmetre kullanarak transistorun tipini belirlemek

1. a) Dijital multimetreyi ohmmetre fonksiyonuna ayarlayınız.

b) Ohmmetre fonksiyonuna ayarladığınız multimetrenin ortak probunu 2N3019 transistorunun emiterine, ohm probunu da 2N3019 transistorunun beyzine Şekil 1’de gösterildiği gibi bağlayınız. Bu şekilde NPN transistorun beyz-emiter bağlantısı ileri yönde beslenmiş olur (beyz emiterden daha pozitifdir).

c) 2N3019 NPN transistorun ileri beyz-emiter direncini ölçünüz.

$$R_{B-E1} (\text{ileri}) = \quad \Omega$$

d) Ohmmetre bağlantı kablolarını ters çevirerek 2N3019A transistoruna Şekil 2’deki gibi bağlayınız. Böylece NPN transistorun beyz-emiter bağlantısı ters beslenmiş olur.

$$R_{B-E1} (\text{ters}) = \quad \Omega$$

e) 2N3019 transistorunun ters beyz-emiter direnci ileri direncinden daha fazla mıdır?

2. a) 2N1302 NPN transistorunu kullanarak 1. aşamayı tekrar ediniz.

$$R_{B-E3} (\text{ileri}) = \quad \Omega$$

$$R_{B-E3} (\text{ters}) = \quad \Omega$$

b) 2N1302 NPN transistorunun ters beyz-emiter direnci ileri direncinden daha fazla mıdır?

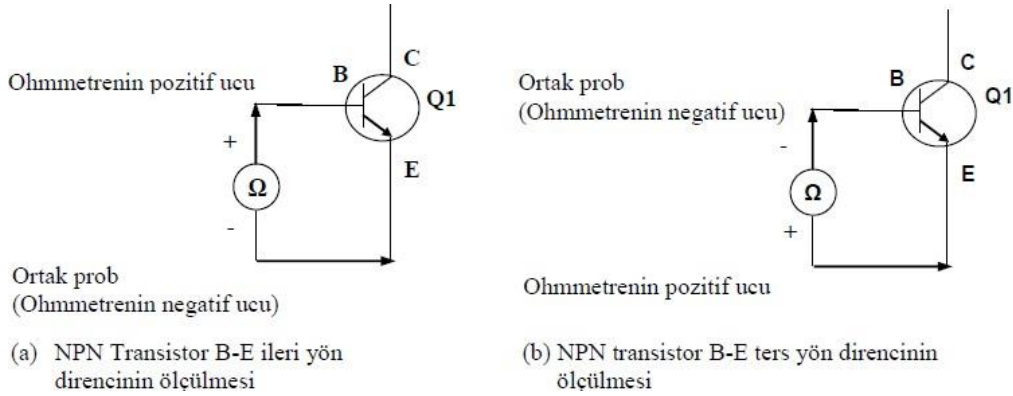
3. a) 2N2905A pnp transistorunu kullanarak 1. aşamayı tekrar ediniz.

Bir pnp transistorunun beyz-emiter bağlantısının ileri yön beslemesi için ohmmetrenin pozitif ucunun transistorun emiterine, negatif ucunun ise transistorun beyzine bağlanması gerektiğini hatırlayınız.

$$R_{B-E2}(\text{ileri}) = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{B-E2}(\text{ters}) = \dots \dots \dots \Omega$$

b) 2N2905A transistörünün ters beyz-emiter direnci ileri direncinden daha fazla mıdır?



Şekil 3 NPN transistörün ohmmetre ile kontrolü

B. PNP ve NPN transistörlerinin kolektör-beyz bağlantılarının ileri ve ters yön dirençlerini ölçmek

1.

a) Ohmmetrenin negatif ucunu 2N3019 NPN transistörünün beyzine, pozitif ucunu 2N3019 transistörünün kolektörüne bağlayınız. Bu şekilde bağlayarak kolektör beyz bağlantısı ters beslenmiş olur (yani beyz kolektörden daha az pozitifdir).

b) 2N3019 transistörünün ters kolektör-beyz direncini ölçünüz.

$$R_{C-B1}(\text{ters}) = \dots \Omega$$

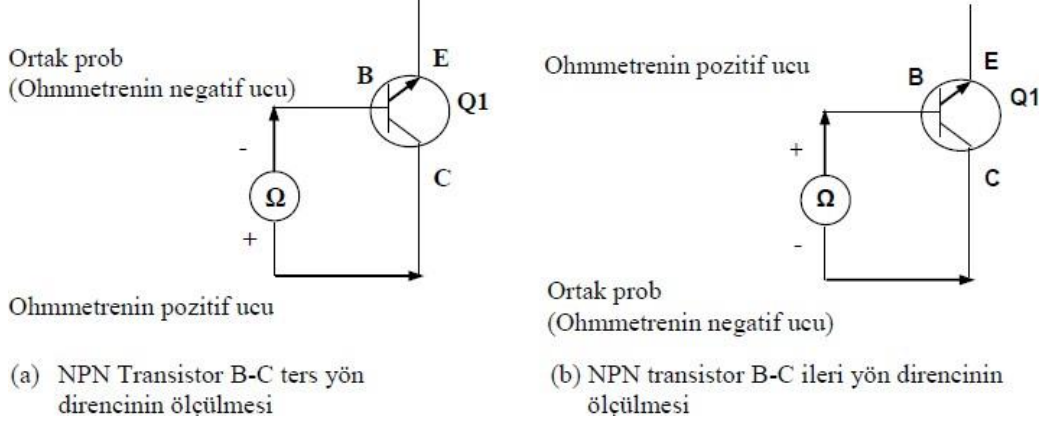
c) Ohmmetrenin bağlantı uçlarını yer değiştiriniz. Bu durumda NPN transistörün kolektör- beyz bağlantısı ileri yönde beslenmiş olacaktır.

d) 2N3019 transistörünün ileri kolektör-beyz direncini ölçünüz.

$$R_{C-B1}(\text{ileri}) = \dots \Omega$$

e) 2N3019 transistörünün ters kolektör-beyz direnci ileri direncinden daha fazla mıdır?

.....
.....
f) Ölçüm sonuçlarına göre transistor sağlam mıdır?
.....
.....



Şekil 4 NPN transistörün ohmmetre ile kontrolü

2.

a) 1. Aşamada yaptığınız ölçümleri 2N2905A PNP transistorunu kullanarak tekrar ediniz.

$$R_{C-B3}(\text{ters}) = \dots \quad \Omega$$

$$R_{C-B3}(\text{ileri}) = \dots \quad \Omega$$

b) 2N1302 NPN transistorunu kullanarak 1. aşamayı tekrar ediniz.

Bir NPN transistorun kolektör-beyz bağlantısının ileri yön beslemesi için ohmmetrenin pozitif ucunun transistorun beyzine, negatif ucunun ise transistorun kolektörüne bağlanması gerektiğini hatırlayınız.


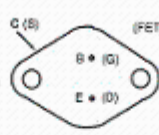


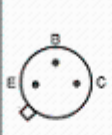



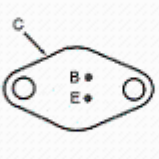
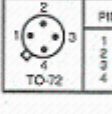

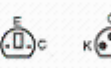




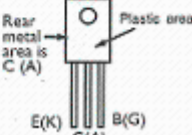
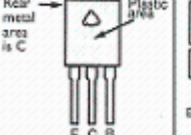
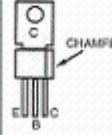
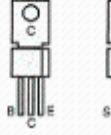
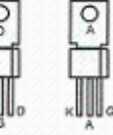

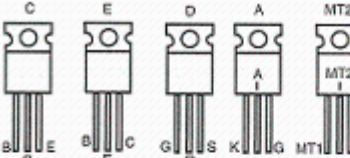
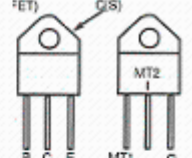
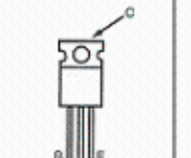
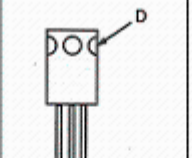


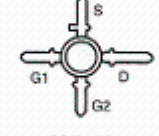
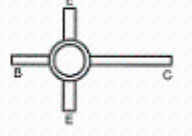
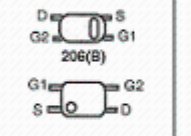
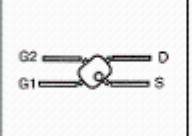
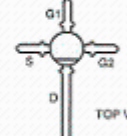


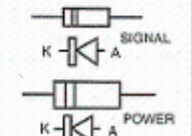
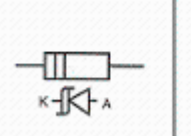
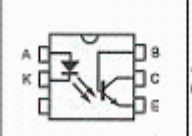
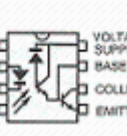
$$R_{C-B2}(\text{ters}) = \dots \quad \Omega$$

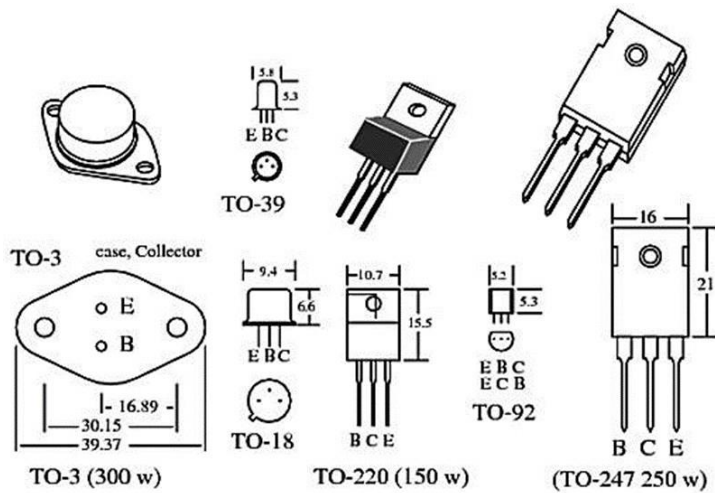
$$R_{C-B2}(\text{ileri}) = \dots \quad \Omega$$

c) Ölçüm sonuçlarına göre transistor sağlam mıdır?

Sorular:

1. NPN ve PNP transistörler üzerinde yaptığınız ölçümlere dayanarak transistörlerin tipini belirlemede yapılan ölçümleri ve ölçüm aralıklarını yazınız.
2. Transistörlerin ohmmetre ile sağlamlık kontrolünü anlatınız.

SEMICONDUCTOR OUTLINES						BOTTOM VIEW UNLESS OTHERWISE STATED																																																						
 TO-1	 TO-3 (FET)	 TO-5	 TO-18	 TO-39	 79-03 TO-39(A)	 TO-39(mod)																																																						
 TO-48 SIDE VIEW	 TO-66	 TO-72 <table border="1" data-bbox="582 974 869 1086"> <tr> <th>TO-72</th> <th>PIN</th> <th>T(25)</th> <th>T(28)</th> <th>FET M(25)</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>E</td> <td>D</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>G</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>C</td> <td>B</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>CASE</td> <td>CASE</td> <td>CASE</td> </tr> </table>		TO-72	PIN	T(25)	T(28)	FET M(25)	1	1	E	D	S	2	2	B	C	G	3	3	C	B	S	4	4	CASE	CASE	CASE	<table border="1" data-bbox="965 929 1332 1041"> <tr> <th>TO-92</th> <th>PIN</th> <th>71</th> <th>72 (SOT)</th> <th>74</th> <th>76</th> <th>77</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>E</td> <td>E</td> <td>E</td> <td>E</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>C</td> <td>C</td> <td>C</td> <td>C</td> <td>C</td> </tr> </table>  TO-92 VAR.1  TO-92 VAR.2  TO-92 SCR  TO-92 A SCR				TO-92	PIN	71	72 (SOT)	74	76	77	1	1	B	B	B	B	B	2	2	E	E	E	E	E	3	3	C	C	C	C	C
TO-72	PIN	T(25)	T(28)	FET M(25)																																																								
1	1	E	D	S																																																								
2	2	B	C	G																																																								
3	3	C	B	S																																																								
4	4	CASE	CASE	CASE																																																								
TO-92	PIN	71	72 (SOT)	74	76	77																																																						
1	1	B	B	B	B	B																																																						
2	2	E	E	E	E	E																																																						
3	3	C	C	C	C	C																																																						
 TO-105	 TO-106 (FET)	 TO-126 FRONT VIEW	 TO-127 FRONT VIEW	 TO-202  TO-202R  TO-202FET  TO-202SCR TO-202 FRONT VIEW																																																								
 TO-220 FRONT VIEW		 TOP-3 FRONT VIEW	 TOP-66 FRONT VIEW	 TO-247 FRONT VIEW	 SOT-30																																																							
 SOT-37(2) TOP VIEW	 SOT-103 TOP VIEW	 MX TOP VIEW	 206 TOP VIEW	 262 TOP VIEW	 2-6F1A TOP VIEW																																																							
 MT-72C FRONT VIEW	 T-40 TOP VIEW	 DIODES		 ZENER DIODES		 D6 TOP VIEW	 D8 TOP VIEW																																																					



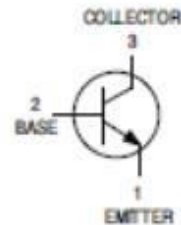
2N3019, 2N3019S, 2N3700

Low Power Transistors

NPN Silicon

Features

- MIL-PRF-19500/391 Qualified
- Available as JAN, JANTX, and JANTXV



MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	80	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	140	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	7.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	1.0	Adc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ 2N3019, 2N3019S 2N3700	P_T	800 500	mW
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ 2N3019, 2N3019S 2N3700	P_T	5.0 1.0	W
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient 2N3019, 2N3019S 2N3700	$R_{\theta JA}$	195 325	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case 2N3019, 2N3019S 2N3700	$R_{\theta JC}$	30 150	$^\circ\text{C/W}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.



ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
JAN2N3019	TO-5	Bulk
JANTX2N3019		
JANTXV2N3019		
JAN2N3019S	TO-39	Bulk
JANTX2N3019S		
JANTXV2N3019S		
JAN2N3700	TO-18	Bulk
JANTX2N3700		
JANTXV2N3700		

2N3019, 2N3019S, 2N3700

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 30\text{ mAdc}$)	$V_{(BR)CEO}$	80	-	Vdc
Emitter-Base Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0\text{ Vdc}$) ($V_{EB} = 7.0\text{ Vdc}$)	I_{EBO}	-	10	nAdc μAdc
Collector-Emitter Cutoff Current ($V_{CE} = 90\text{ Vdc}$)	I_{CEO}	-	10	nAdc
Collector-Base Cutoff Current ($V_{CB} = 140\text{ Vdc}$)	I_{CBO}	-	10	μAdc

ON CHARACTERISTICS (Note 1)

DC Current Gain ($I_C = 0.1\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 1.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)	h_{FE}	50 90 100 50 15	300 -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_B = 15\text{ mAdc}$) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $I_B = 50\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	-	0.2 0.5	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_B = 15\text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	-	1.1	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Magnitude of Small-Signal Current Gain ($I_C = 50\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 20\text{ MHz}$)	$ h_{fe} $	5.0	20	-
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 5\text{ Vdc}$, $f = 1\text{ kHz}$)	h_{fe}	80	400	-
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $100\text{ kHz} \leq f \leq 1.0\text{ MHz}$)	C_{obo}	-	12	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $100\text{ kHz} \leq f \leq 1.0\text{ MHz}$)	C_{ibo}	-	60	pF
Noise Figure ($V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $I_C = 100\ \mu\text{Adc}$, $R_B = 1\text{ k}\Omega$, PSW = 200 Hz)	NF	-	4.0	dB
Collector-Base Time Constant ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_C = 10\text{ mAdc}$, $f = 79.8\text{ MHz}$)	τ_b, C_C	-	400	ps

SWITCHING CHARACTERISTICS

Pulse Response (Reference Figure in MIL-PRF-19500/391)	$t_{on} + t_{off}$	-	30	ns
---	--------------------	---	----	----

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.