

DENEY NO: 3

TRANZİSTORLU KUVVETLENDİRİCİ DEVRELER

DENEYİN AMACI: Bu deneyde BJT ve MOS kuvvetlendiriciler incelenecek ve elde edilecek veriler yardımıyla her iki kuvvetlendiricinin çalışma prensipleri ve özellikleri gözlemlenecektir.

ÖN HAZIRLIK

Lütfen aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

- Kuvvetlendirici ne demektir ?
- BJT ve MOS kuvvetlendiricilerin çalışma bölgeleri nelerdir ?
- Kuvvetlendirme işlevi, kutuplama akım ve gerilimlerinin değerinden başka hangi etkenlere bağlıdır ?
- Kutuplama ne demektir ?
- Bağlama kapasitesi ne demektir? Nerede ve ne amaçla kullanılır ?
- Köprüleme kapasitesi ne demektir? Nerede ve ne amaçla kullanılır ?
- Kazanç ne demektir ?
- Faz farkı ne demektir ?
- Kırpılma olayı nedir ve neden olmaktadır ?

Lütfen aşağıdaki hesaplamaları yapınız.

- Şekil.2a'daki devrenin çalışma noktası büyüklüklerini (V_C , V_B , V_E , I_C) belirleyin.
- Şekil.2a'daki devre için V_c / V_b gerilim kazancını C_3 devrede varken ve yokken (iki durum için ayrı ayrı) hesaplayın.
- Şekil.2b'deki devrenin çalışma noktası büyüklüklerini (V_D , V_G , V_S , I_D) belirleyin.
- Şekil.2b'deki devre için V_d / V_g gerilim kazancını hesaplayın.

⊕ Deney öncesinde, ön hazırlıkta yapılması istenilenler (yanıtlanması istenilen sorular ve hesaplamalar) ile ilgili yazılı kısa sınav yapılacaktır!

GÖZDEN GEÇİRİLMESİ FAYDALI KONULAR

- BJT'li kuvvetlendiricilerde ortak emetör ve ortak bazlı devreleri (benzerlikler ve farklılıklar açısından) karşılaştırın.
- MOS kuvvetlendiricilerde ortak kaynak ve ortak geçitli devreleri (benzerlikler ve farklılıklar açısından) karşılaştırın.

DENEYİN ÖĞRENCİYE KATACAĞI ŞEYLER

Bu deney sonunda aşağıda sıralanmış olan bilgileri öğrenmiş ve gerçekleştirdiğiniz devreler yardımı ile özümsemiş olmanız gerekmektedir.

- Kuvvetlendirici ne demektir ve işlevi nedir ?
- BJT ve MOS kuvvetlendiricilerin çalışma bölgeleri nelerdir ?
- Kazanma etki eden faktörler nelerdir ?
- Kutuplama koşulları nedir ?
- Bağlama ve köprüleme kapasitelerinin kullanım amaçları nelerdir ?
- Faz farkı nedir ve nasıl gözlemlenir ?

DENEYDE KULLANILACAK MALZEME VE CİHAZLAR:

Malzemeler:

Şekil2.a için:

BC238B
 $R_g = 10k\Omega$
 $R_1 = 220k\Omega$
 $R_2 = 33k\Omega$
 $R_C = 8.2k\Omega$
 $R_E = 1.2k\Omega$
 $R_y = 12k\Omega$
 $C_1 = C_2 = 4.7\mu F$
 $C_3 = 220\mu F$
 Tel, kablo

Şekil2.b için:

BS108
 $R_3 = 820k\Omega$
 $R_4 = 330k\Omega$
 $R_D = 1k\Omega$
 $R_S = 220\Omega$
 $R_y = 10k\Omega$
 $C_4 = C_5 = C_6 = 1\mu F$
 Tel, kablo

Cihazlar:

Multimetre (kutuplama gerilimlerinin ve akımlarının ölçülmesinde kullanılacak)
Osiloskop (giriş ve çıkış işaretlerinin gözlenmesinde kullanılacak)
Besleme kaynağı (12V, 15V)
İşaret Üretici (1-100 kHz'lik sinüzoidal işaret)
Board

Genel Bilgi

Bir işaret kaynağı tarafından girişine uygulanan gücü, çıkış uçlarına bağlı bir yüke kuvvetlendirerek veren devrelere “kuvvetlendirici” denir. Kuvvetlendiriciler, bir DC kaynaktan sağlanan akımı girişine uygulanan işaretle denetleyebilen elemanlardan (örneğin tranzistorlar) yararlanılarak gerçekleştirilir. Günümüzde, kuvvetlendiricilerde bipolar jonksiyonlu tranzistorlar (BJT) veya alan etkili tranzistorlar (MOSFET, JFET, MESFET, vs.) yer almaktadır. Tranzistorun bulunuşundan önce kullanılan elektron tüpleri artık yalnızca çok yüksek güç uygulamalarında (örneğin radyo vericisi çıkış katları) kullanılmaktadır.

Bilindiği gibi, ileri aktif modda (BE jonksiyonu iletimde, BC jonksiyonu tıkamada) olan bir BJT'nin çıkış akımı (I_C), giriş gerilimi (V_{BE}) ile denetlenebilmektedir; oysa çıkış geriliminden (V_{CE}) neredeyse bağımsızdır. Doymada çalışan bir FET'in I_D , V_{GS} ve V_{DS}

büyüklikleri arasında da buna benzer bir ilişki vardır. Tranzistorun bu özelliği (çıkış akımının giriş gerilimine bağımlılığı) ona ismini vermektedir.

transfer resistor → transistor
(geçiş direnci)

Bu özelliğin bir tranzistorun kuvvetlendirme yapmasını nasıl sağladığını kolayca gösterebiliriz.

Çıkış akımı giriş gerilimine BJT’de (ileri aktif modda) üstel, FET’te ise (doymada) yaklaşık karesel biçimde bağlıdır. BJT’nin ileri aktif modda (FET’in doymada) kutuplandığını varsayalım. Giriş gerilimindeki bir değişim (ΔV_{BE} veya ΔV_{GS}) çıkış akımındaki bir değişime (ΔI_C veya ΔI_D) neden olacaktır. Eğer bu değişimler yeterince küçükse,

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \cong \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \quad \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \cong \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}$$

yazılabilir. Buradaki türevler, tranzistorların geçiş özeğrilerinin ($I_C - V_{BE}$ ve $I_D - V_{GS}$ özeğrileri) çalışma noktasındaki eğimleridir ve “geçiş iletkenliği” adını alıp g_m simgesi ile gösterilir.

Şimdi, çıkış akımının bir R direnci üzerine aktarıldığını düşünelim. BJT ileri aktif modda (FET doymada) kaldıkça, çıkış akımındaki bir değişim (ΔI_C veya ΔI_D) bu direnç üzerinde mutlak olarak $\Delta I_C R$ kadar (FET için $\Delta I_D R$ kadar) bir gerilim değişimine neden olacaktır. Çıkışa bağlı bu direnç üzerindeki bu gerilim değişimi (yani çıkış gerilimindeki değişim) o zaman, küçük değişimler için

$$|\Delta V_o| = \Delta I_C R \cong g_m R \Delta V_{BE} \quad |\Delta V_o| = \Delta I_D R \cong g_m R \Delta V_{GS}$$

biçiminde yazılabilir. Buna göre, giriş gerilimindeki değişim çıkış geriliminde $g_m R$ kat bir değişime neden olmuştur. $g_m R > 1$ olduğu sürece tranzistor kuvvetlendirme yapmaktadır. Burada önemli olan 2 nokta vardır:

- 1- Tranzistorun kuvvetlendirme yapabilmesi için uygun çalışma bölgesinde kutuplanması gerekir.
- 2- Tranzistorun yük direncine aktardığı güç, tranzistor girişindeki güçten büyük olmaktadır. Tranzistor bu gücü üretemeyeceğine göre bu güç bir kaynaktan gelmektedir.

Bu iki nokta bizi şu sonuca götürür:

Tranzistor, uygun çalışma noktasında kutuplanmak için bir besleme kaynağına gereksinim duyar. Uygun kutuplama koşulları altında kuvvetlendirme yapan tranzistor, aslında bu besleme kaynağından yüke aktarılacak akımı (gücü), girişine uygulanan işaret aracılığı ile denetleyen bir akım kontrol elemanı işlevi görmektedir.

Tranzistorların buraya kadar basitleştirilerek anlatılan “kuvvetlendirme” işlevi, aslında kuvvetlendiricide tranzistor uç bağlantılarının nasıl yapıldığı, giriş ve çıkış uçlarının hangi uçlar olduğu, yükün ve işaret kaynağı iç direncinin mertebesi, kutuplama akım ve gerilimlerinin değeri, uygulanan işaretin frekansı, yükün devreye doğrudan mı yoksa bir kondansatör üzerinden mi bağlı olduğu gibi sayısız etkene bağlıdır. Yine de, tranzistorların tanım bağıntıları ve bunlardan elde edilecek türevler (yani özeğrilerin eğimleri) herhangi bir tranzistorlu kuvvetlendiricide yeterince düşük frekanslar ve küçük işaretler için kazancın nasıl ifade edilebileceğini bulmamızda kolaylık sağlar. Bilindiği gibi BJT için ileri aktif modda ve MOSFET için doyma bölgesinde akım bağıntıları şu biçimde verilebilmektedir:

$$\text{BJT:} \quad I_C = \beta_F I_B = I_S \exp(V_{BE} / V_T)(1 + V_{CE} / V_A) \quad [V_T = kT / q : \text{ısıl gerilim}]$$

$$\text{MOSFET:} \quad I_G = 0, I_D = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad [V_T : \text{eşik gerilimi}]$$

Bu bağıntılardan, çalışma noktası civarındaki küçük değişimler için aşağıdaki ilişkiler elde edilir. (Değişken işaretler küçük harf / küçük indis, çalışma noktası büyüklükleri büyük harf / büyük indis ile gösterilmektedir.)

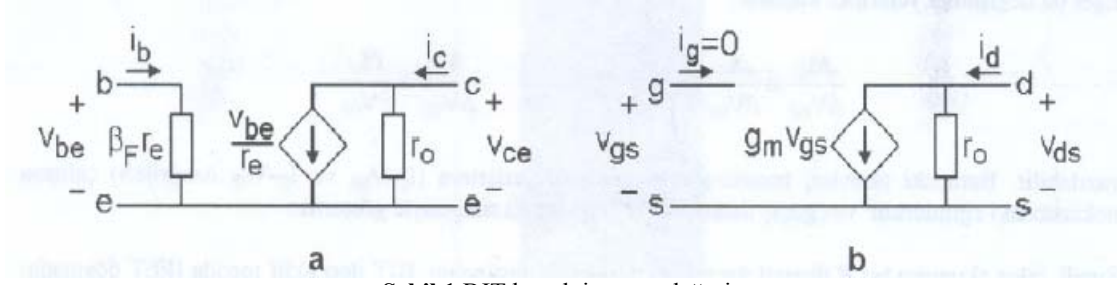
$$\text{BJT:} \quad i_c = g_m v_{be} + v_{ce} / r_o, i_b \cong g_m v_{be} / \beta_F \quad [g_m = r_e^{-1} = I_C / V_T, r_o = V_A / I_C]$$

$$\text{MOSFET:} \quad i_d = g_m v_{gs} + v_{ds} / r_o, i_g = 0 \quad [g_m = \beta (V_{GS} - V_T) = (2\beta I_D)^{1/2}, \\ r_o = (\lambda I_D)^{-1}]$$

Daha önce, ileri aktif moddaki BJT'nin (doymadaki MOSFET'in) çıkış akımının çıkış geriliminden bağımsız olduğunu varsaymıştık. Oysa BJT'de “Early Olayı”, MOSFET'te ise “Kanal Boyu Modülasyonu” adı verilen etkiler nedeni ile I_C akımı V_{CE} 'den, I_D akımı V_{DS} 'den belirli oranda etkilenmektedir. Bu etkiler sırasıyla V_A ve λ parametreleri ile modellenmekte ve küçük işaretler için sonlu bir çıkış direnci “ r_o ” sonucunu oluşturmaktadır. Çıkış direnci, çıkış düğümündeki eşdeğer yük direnci ifadesine doğrudan girerek bu direncin değerini, dolayısıyla kazancı sınırladığı için olabildiğince büyük olması istenir. Bazı uygulamalarda (örneğin pasif dirençlerin çok yer kapladığı tümdevrelerde) yük olarak direnç değil de tranzistorun bu büyük çıkış direncinden yararlanır (“aktif yüklü kuvvetlendiriciler”).

Burada dikkat edilecek bir nokta, küçük işaret parametrelerinin (g_m ve r_o) çalışma noktası akımına bağımlı olduğudur. Yani tranzistorlu bir devrenin küçük işaret davranışı (örneğin gerilim kazancı) tranzistorun kutuplama akımıyla değişir.

Yukarıda küçük işaretler için verilen bağıntılar yardımıyla, BJT ve FET için sırasıyla Şekil.1a ve Şekil.1b'deki “küçük işaret eşdeğer devreleri” elde edilebilir. Bu devreler, doğrusal elemanlardan oluştuklarından, tranzistorlu kuvvetlendiricilerin değişken işaret davranışını incelemede büyük kolaylık sağlarlar.



Şekil.1 BJT küçük işaret eşdeğeri

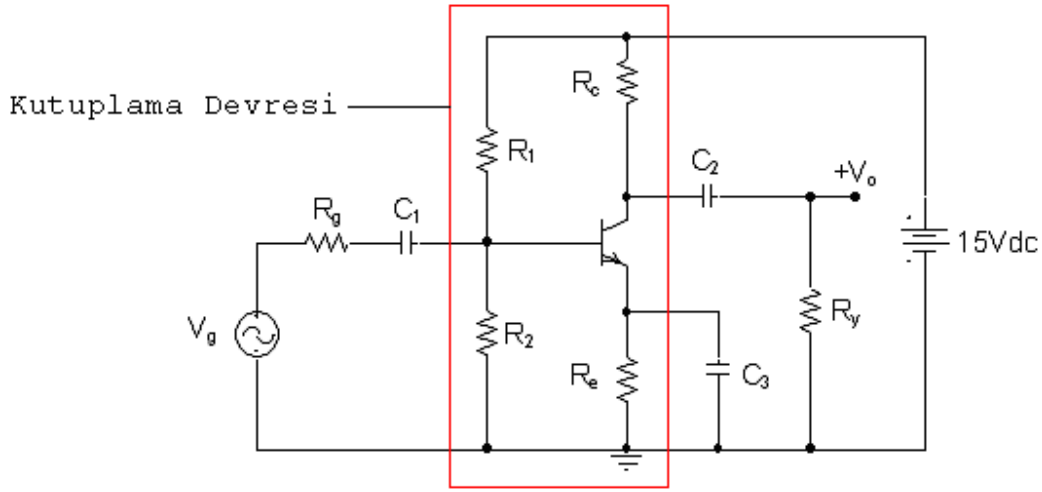
Küçük işaret eşdeğeri, tranzistorlu bir devrenin büyük genlikli işaretler için nasıl davranacağını (büyük işaret davranışı) doğru olarak belirleyemez, çünkü bu davranış doğrusal olmaz. Yine de, böyle büyük genlikler için, tranzistorlar doyma veya kesime (FET’te doymasız bölge veya kesime) girmedikleri sürece, küçük işaret eşdeğeri, tranzistorlu devrenin davranışıyla ilgili kabaca da olsa bir fikir verir.

Giriş işareti değişirken, belirli bir ani giriş değeri için tranzistorun BE jonksiyonu tıkamaya ya da BC jonksiyonu iletme sokulabilir. Bu giriş değerinin daha ötesine geçen giriş büyüklükleri için, tranzistorun çıkış akımı (I_C) değişmez ($0A$ ya da I_{Csat} değerinde kalır). Bu durumda çıkış işareti o bölge için yaklaşık sabit kalır. Böyle bir etkiye “kırılma” denir. Analog uygulamalarda, çıkış işaretindeki bu bozulma, tranzistorun doğrusal olmamasından ileri gelen bozulmadan çok daha ciddidir ve uygun çalışma noktası seçilerek ve giriş işareti genliği sınırlanarak önlenmesi gerekir.

DENEY

1. Kısım:

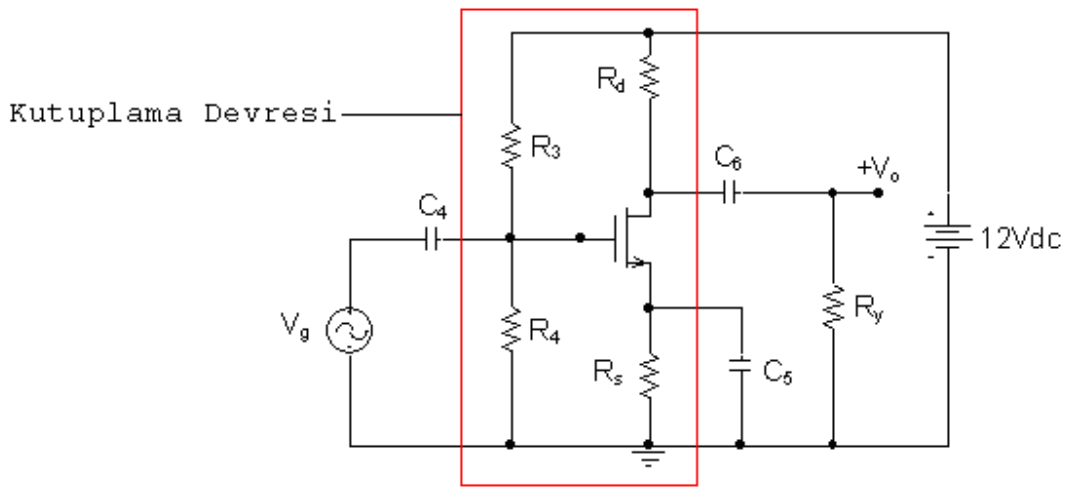
- Şekil2.a’daki BJT’li kuvvetlendiricinin kutuplama devresini (Şekil2.a’da çizgi içerisine alınan kısım) kurun ve $V_{CC} = 15V$ ile besleyin. Tranzistorun kolektör, baz ve emetör DC gerilimlerini ve kolektör akımının DC değerini ölçün.
- Kutuplama devrenize eksik elemanlarınızı ekleyerek Şekil2.a’daki devreyi elde edin. Girişe $1kHz$ ’lik bir sinüzoidal işaret uygulayın. Giriş işaretinizin genlik değerini değiştirerek çıkış işaretinin kırılmaya girip girmediğini, giriyorsa kırılmaya girdiği değeri belirleyin. Pozitif ve negatif yöndeki kırılma değerlerinin simetrik olup olmadığına bakınız. Simetrik değilse nedenlerini düşününüz.
- Çıkış işaretinizi osiloskop ile gözlemleyerek, kırılmaya girmemiş düzgün bir sinüs işaret elde edecek biçimde giriş işaretinizin genliğini ayarlayın. Giriş işaretinizin genliğini ayarladığınız değerde sabit tutarak osiloskoptan sırasıyla V_g , kolektör, baz ve emetör gerilimlerinin değişimini ölçme sonuçlarını işleme kısmına ölçekli olarak çiziniz.
- Osiloskoptan aldığımız ölçüm sonuçlarına göre V_c / V_b gerilim kazancını hesaplayınız.
- Kolektör ve baz uçlarını aynı anda (dual olarak) osiloskopta gözlemleyip faz farkı olup olmadığını belirleyin. Faz farkı varsa ne kadar olduğunu belirleyiniz.
- C_3 kapasitesini devreden çıkarın ve buraya kadar yaptıklarınızı (C_3 devrede yokken) tekrarlayınız.



Şekil-2.a BJT kuvvetlendirici devre

2. Kısım:

- Şekil2.b'deki MOS kuvvetlendiricinin kutuplama devresini (Şekil2.b'de çizgi içerisine alınan kısım) kurun ve $V_{DD} = 12V$ ile besleyin. Tranzistörün savak, geçit ve kaynak DC gerilimlerini ve I_D akımının DC değerini ölçün.
- Kutuplama devrenize eksik elemanlarınızı ekleyerek Şekil2.b'deki devreyi elde edin. Girişe genliği 20mV olan 50kHz'lik bir sinüzoidal işaret uygulayın. Osiloskop yardımı ile gözlemlediğiniz savak, geçit ve kaynak gerilimlerinin değişimini deney sonuç kağıdına ölçekli olarak çiziniz.
- Osiloskoptan aldığımız ölçüm sonuçlarına göre V_d / V_g gerilim kazancını hesaplayınız.
- Savak ve geçit uçlarını aynı anda (dual olarak) osiloskopta gözlemleyip faz farkı olup olmadığını belirleyin. Faz farkı varsa ne kadar olduğunu belirleyiniz.



Şekil-2.b MOSFET kuvvetlendirici devre

ÖLÇME SONUÇLARINI İŞLEME KISMI

Öğrenci Ad – Soyad :

Deneyi yaptıran Araş. Gör.:

Öğrenci Numara :

Araş. Gör. Oda No:

Öğrenci Grup No:

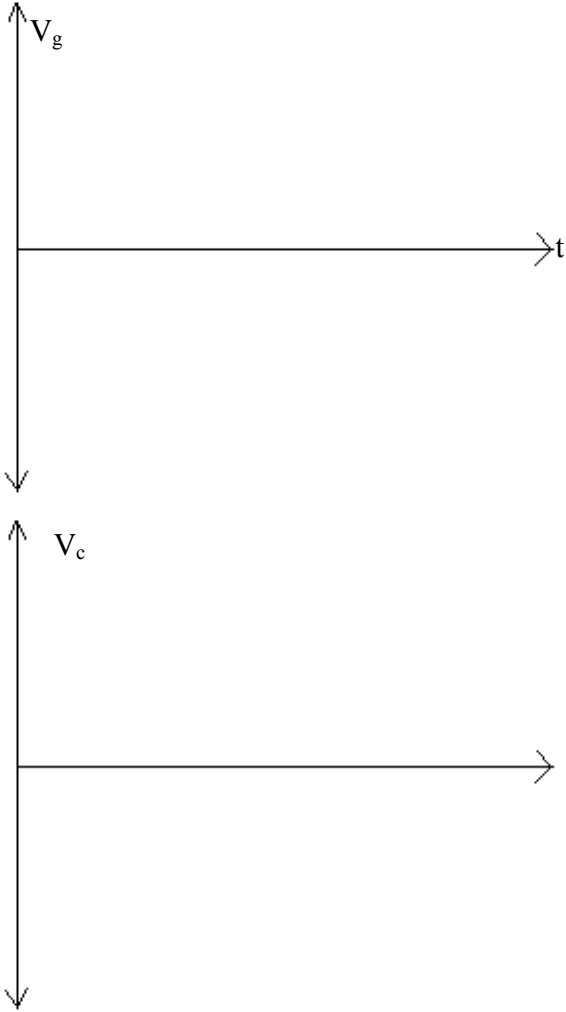
Araş. Gör. e-mail:

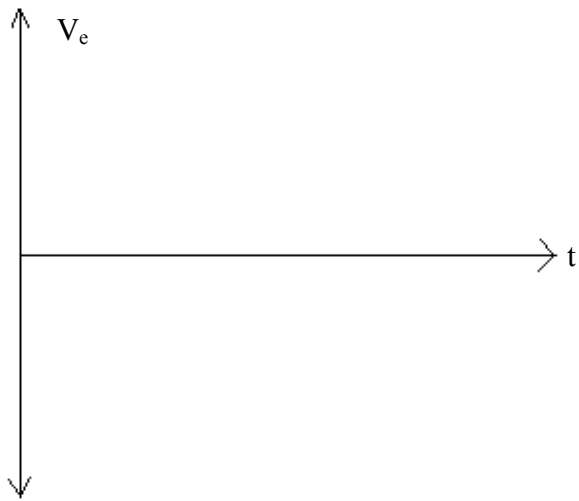
Öğrenci e-mail:

Sekil.2a'daki devre için:

	Deney Öncesinde Teorik Olarak Hesaplanan Değer	Deney Esnasında Ölçülen Değer
V_C		
V_B		
V_E		
I_C		

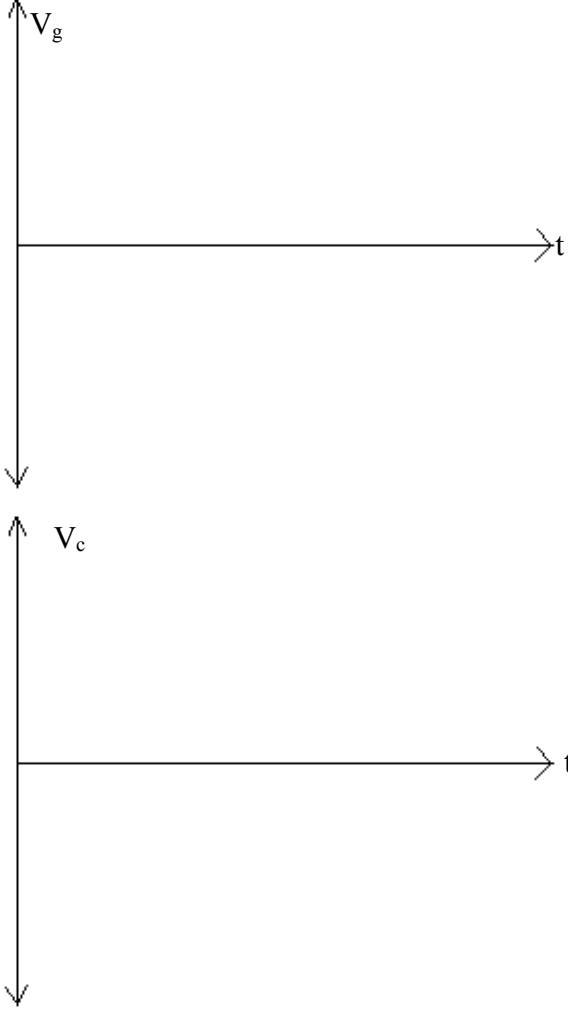
C_3 devredeyken:

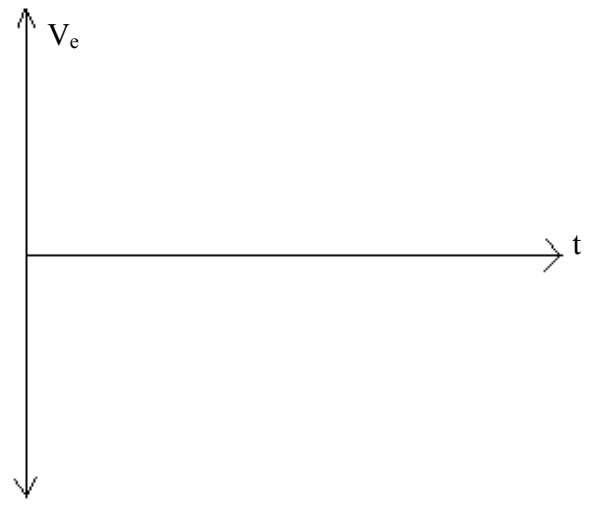
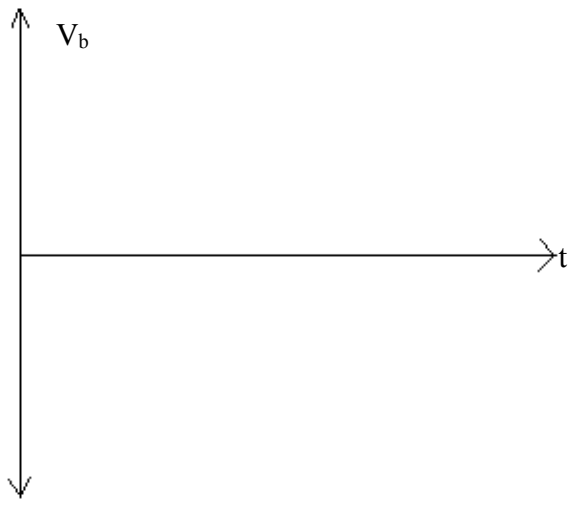




Sekil.2a'daki devre için:

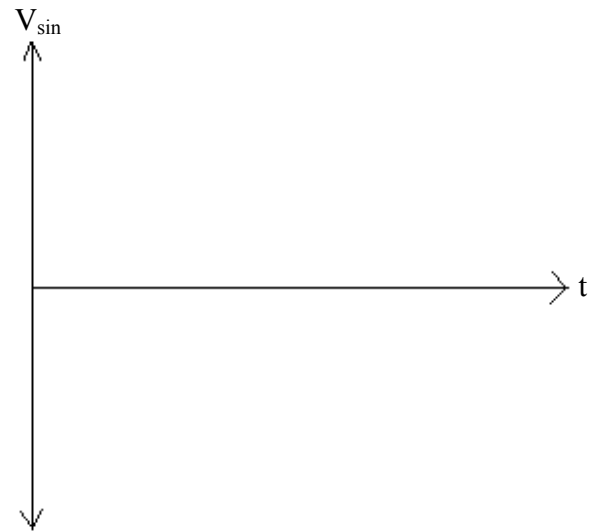
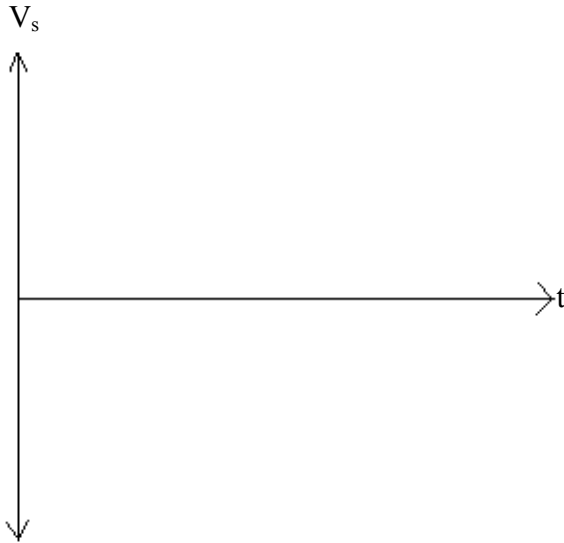
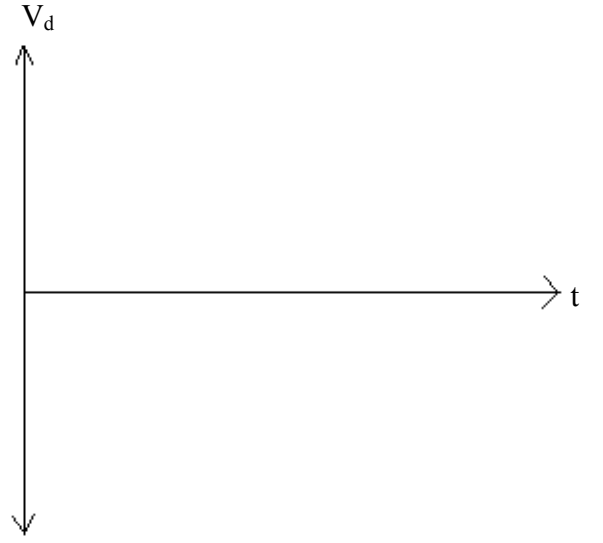
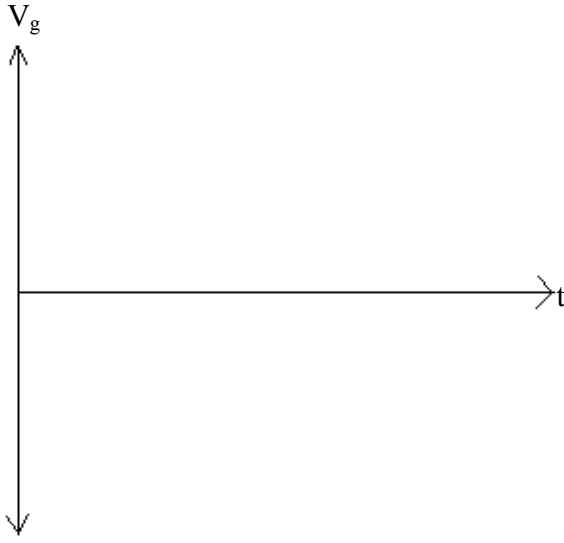
C_3 devrede yokken:





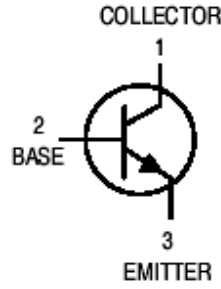
Sekil.2b'deki devre için:

	Deney Öncesinde Teorik Olarak Hesaplanan Değer	Deney Esnasında Ölçülen Değer
V_D		
V_G		
V_S		
I_D		



EK BİLGİLER

BC238B



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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)	BC237A BC237B/238B BC237C/238C/239C	h_{FE}	— — —	90 150 270	—
($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)	BC237 BC239 BC237A BC237B/238B BC237C/238C/239C		120 120 120 200 380	— — 170 290 500	800 800 220 460 800
($I_C = 100\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)	BC237A BC237B/238B BC237C/238C/239C		— — —	120 180 300	— — —
Collector–Emitter On Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$) 39 ($I_C = 100\ \text{mA}$, $I_B = 5.0\ \text{mA}$)	BC237/BC238/BC239 BC238	$V_{CE(sat)}$	— —	0.07 0.2	0.2 0.6 0.8
Base–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$) ($I_C = 100\ \text{mA}$, $I_B = 5.0\ \text{mA}$)		$V_{BE(sat)}$	— —	0.6 —	0.83 1.05
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 100\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)		$V_{BE(on)}$	— 0.55 —	0.5 0.62 0.83	— 0.7 —

BS108

FEATURES

- Direct interface to C-MOS, TTL, etc.
- High-speed switching
- No secondary breakdown.

APPLICATIONS

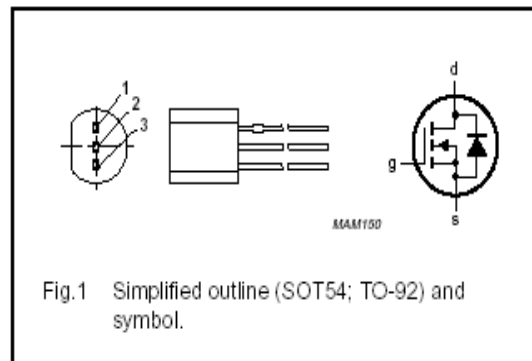
- Line current interruptor in telephone sets
- Applications in relay, high-speed and line transformer drivers.

DESCRIPTION

N-channel enhancement mode vertical D-MOS transistor in a SOT54 (TO-92) package.

PINNING - SOT54

PIN	DESCRIPTION
1	source
2	gate
3	drain



QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DS}	drain-source voltage (DC)	200	V
V_{GSth}	gate-source threshold voltage	1.8	V
I_D	drain current (DC)	300	mA
R_{DSon}	drain-source on-state resistance	5	Ω

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	drain-source voltage (DC)		–	200	V
V_{GSO}	gate-source voltage (DC)	open drain	–	± 20	V
I_D	drain current (DC)		–	300	mA
I_{DM}	peak drain current		–	1.2	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$; note 1	–	1	W
T_{stg}	storage temperature		–55	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–	150	$^\circ\text{C}$

RAPORDA İSTENENLER:

- Ön hazırlık kısmında hesaplamış olduğunuz teorik değerler ile deney esnasında ölçtüğünüz değerleri karşılaştırın. (Ön hazırlık için yapılmış olan teorik hesaplamalar, açık bir şekilde ve yapılan işlemler adım adım gösterilerek rapora da yazılacak.)
- Ölçüm değerleriniz ile hesapladığınız değerler uyumlu mu? Uyumlu ise hata payınızı hesaplayın, uyumlu değilse nedenlerini belirtin.
- Raporunuzu yazarken deneyden ne öğrendiğinizi bizim de anlamamızı sağlayacak şekilde, başka bir ifade ile, sadece deneyi nasıl yaptığınızı adım adım yazmak yerine her bir adım ile neyi öğrendiğinizi mümkünse yorumlarınızı da ekleyerek yazın.

Kolay gelsin, iyi çalışmalar...