

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ

TRANSİSTÖR VE FET

Ankara, 2015

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul / kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. TRANSİSTÖR	3
1.1. Transistör Çeşitleri.....	3
1.2. Transistörün Yapısı ve Çalışması	4
1.3. Transistörün Polarmalandırılması (Kutuplanması).....	6
1.4. Akım, Gerilim Yönü ve I_B Akımı Hesaplama.....	7
1.5. Transistör Sağlamlık Kontrolü.....	10
1.5.1. Transistörlerin Analog AVÖmetre ile Sağlamlık Kontrolü.....	10
1.5.2. Transistörlerin Dijital AVÖmetre ile Sağlamlık Kontrolü	11
1.6. Transistörün Anahtarlama Elemanı Olarak Kullanılması	12
1.7. Transistörün Yükselteç Olarak Kullanılması	13
1.8. Katalog Bilgilerini Okuma.....	16
UYGULAMA FAALİYETİ	21
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	23
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	24
2. FET.....	24
2.1. FET Çeşitleri.....	24
2.2. JFET Yapısı ve Çalışması	24
2.3. JFET'in BJT'ye Göre Üstünlükleri.....	26
2.4. JFET'in Karakteristikleri	27
2.5. FET ve MOSFET Ölçme	32
2.6. JFET Parametre ve Formülleri	33
2.7. JFET Polarmalandırılması (Kutuplanması).....	35
2.7.1. Sabit Polarma Devresi	35
2.7.2. Self Polarma Devresi	37
2.7.3. Gerilim Bölücülü Polarma.....	37
2.8. JFET'li Yükselteç Devreleri	39
2.9. MOSFET'lerin Yapısı, Çalışması ve Karakteristikleri	40
2.9.1. Azaltan Tip MOSFET (Azaltan Tip MOSFET) Yapısı.....	41
2.9.2. Azaltan Tip MOSFET (D-MOSFET) Çalışması ve Karakteristiği.....	42
2.9.3. Çoğaltan Tip MOSFET (E-MOSFET) Yapısı.....	43
2.9.4. Çoğaltan Tip MOSFET (E-MOSFET) Çalışması ve Karakteristiği	44
2.9.5. MOSFET Parametreleri.....	45
UYGULAMA FAALİYETİ	47
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	48
MODÜL DEĞERLENDİRME	49
CEVAP ANAHTARLARI.....	51
KAYNAKÇA	53

AÇIKLAMALAR

ALAN	Bilişim Teknolojileri
DAL/MESLEK	Bilgisayar Teknik Servis
MODÜLÜN ADI	Transistör ve FET
MODÜLÜN TANIMI	Transistör ve FET yarı iletken malzemeler hakkında bilgi veren ve uygulamalarının anlatıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/24
ÖN KOŞUL	Bu modülün ön koşulu yoktur.
YETERLİK	Transistörler ile çalışma yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında; transistör, FET ve MOSFET uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz. Amaçlar 1. Transistör uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz. 2. FET ve MOSFET uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Bilgisayar teknik servis dalı atölyesi Donanım: DC güç kaynağı, transistör, FET, elektronik malzemeler, malzeme çantası
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen, modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Hayatımızın her alanına giren elektronik cihazlar bizlere çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu cihazların çalışmasını sağlayan içerisindeki elektronik devrelerdir. Bu devreleri tanımak, devrelerde kullanılan malzemelerin yapısını, çalışmasını öğrenmek elektronikle uğraşan herkes için önemlidir. Bu devrelerin genelinde kullanılan elamanlardan en önemlilerinden ikisi de transistör ve FET'tir. Hemen hemen elektronik devrelerinin hepsinde bu elamanları görmek mümkündür. Bu elamanlar olmasa bile bu elamanlardan meydana gelmiş entegre devre elamanlarını görebiliriz. Bu yüzden bu elamanların yapısının, çalışmasının ve kullanım yerlerinin öğrenilmesi elektronikle ilgilenen öğrenciler için çok önemlidir.

Bu modül iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde transistörün yapısı, çalışması ve kullanım alanları incelenirken ikinci bölümde; FET'in yapısı, çalışması ve kullanım alanları incelenmiştir. Bu modülü oluşturan transistör ve FET uygulamalarını kavrayabilmek için gerekli dikkati ve özveriye göstereceğinize inanıyoruz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu faaliyette verilen bilgiler doğrultusunda transistörlerin genel yapısı ve temel özelliklerini tanıyıp ürün bilgi sayfasındaki özellikler doğrultusunda devreye uygun transistörü seçerek transistör uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Transistörün nerelerde kullanıldığını araştırınız. Bunun için çevrenizde bulunan elektronik üzerine çalışan iş yerlerinden ve internetten faydalanabilirsiniz.

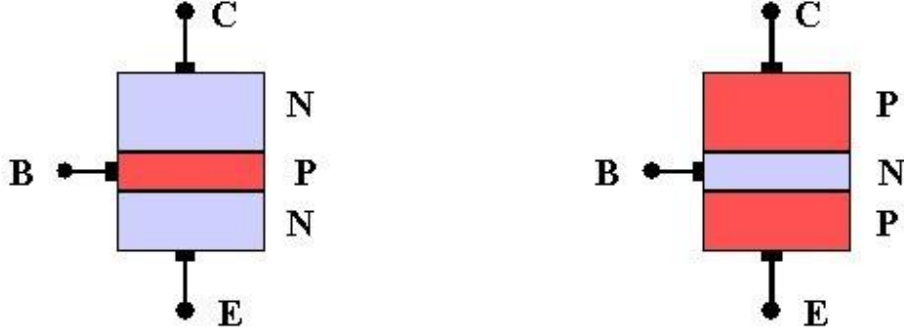
1. TRANSİSTÖR

1.1. Transistör Çeşitleri

Transistör yan yana birleştirilmiş iki PN diyotundan oluşan, girişine uygulanan sinyali yükselterek akım ve gerilim kazancı sağlayan, gerektiğinde anahtarlama elemanı olarak kullanılabilen yarı iletken bir devre elemanıdır. Transistör kelimesi transfer ve rezistans kelimelerinin birleşiminden doğmuştur.

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 NPN ve PNP olmak üzere iki temel yapıda üretilir. NPN transistörde 2 adet N tipi yarı iletken madde arasına 1 adet P tipi yarı iletken madde konur. PNP tipi transistör de ise 2 adet P tipi yarı iletken madde arasına 1 adet N tipi yarı iletken madde konur. Dolayısıyla transistör 3 adet katmana (bağlantı ayağına) sahiptir. Aşağıdaki şekilde NPN ve PNP olarak üretilmiş transistörlerin fiziksel yapıları ve sembolleri verilmiştir.



Resim 1.1: NPN ve PNP Transistörlerin fiziksel yapısı



Resim 1.2: NPN ve PNP Transistörlerin sembolleri

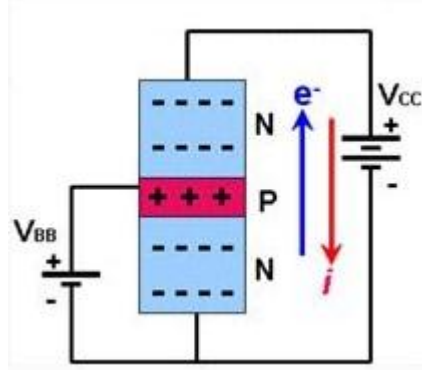
➤ **Transistörün başlıca çeşitleri şunlardır:**

- Yüzey birleşmeli (Jonksiyon) transistör
- Nokta temaslı transistör
- Unijonksiyon transistör
- Alan etkili transistör
- Foto transistör
- Tetrot (dört uçlu) transistör
- Koaksiyal transistör

1.2. Transistörün Yapısı ve Çalışması

Transistörler NPN veya PNP biçiminde yerleştirilmiş üç yarı iletken maddenin bileşiminden oluşmaktadır. Beyz kutbu tetiklendiğinde kollektör ve emiter arasında direnç değeri azalır ve akım geçişi sağlanır. Kollektör ve emiter arasından geçen akımın miktarı beyz kutbuna uygulanan tetikleme akımının miktarına bağlıdır.

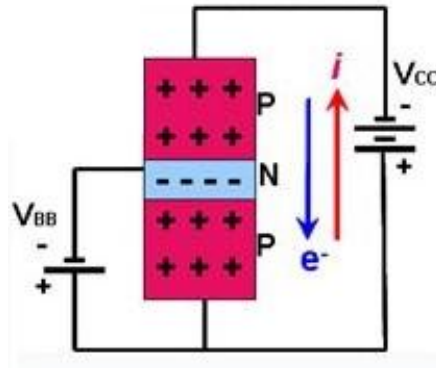
Transistörleri musluğa benzetmek mümkündür. Musluk, akan sıvıyı ayarlar. Transistör ise geçen akımı denetler. Bu özelliği sayesinde küçük akımlar aynı biçimde olmak kaydıyla büyütülebileceği gibi küçük bir akım ile büyük bir alıcının çalışması da sağlanabilir.



Resim 1.3: NPN Tipi transistörün çalışması

NPN tipi transistörlerde şekilde (Resim 1.3) görüldüğü gibi V_{BB} kaynağının artı ucu beyz kutbunu pozitif yüklerken V_{CC} kaynağının eksi ucu ise emiter kutbundaki elektronları yukarı iter. Sıkışan elektronlar beyz tarafından çekilir. Yani, emiterin iletim bandındaki elektronlar E-B gerilim setini aşarak beyz bölgesine girerler; ancak beyz bölgesi dar olduğundan emiter bölgesinden gelen elektronların çok az miktarı (yaklaşık %2 si) beyz bölgesi tarafından çekilirken geriye kalan elektronlarda (yaklaşık %98 i) kollektöre geçer. V_{CC} kaynağının artı ucu elektronları kollektör bölgesine doğru çeker ve böylece elektron akışı sürekli hâle gelir ve V_{BB} kaynağının verdiği beyz akımı sürdükçe emiterden kollektöre elektron akışı devam eder. NPN tipi transistörlerde elektronlar yukarı, oyuklar ise aşağı doğru gider ve bu nedenle beyze uygulanan artı sinyal kollektörden emitere doğru akım geçirir denir. Emiter akımı beyz ve kollektör akımlarının toplamına eşittir.

PNP tipi transistörlerin yapısı da NPN tipi transistörler gibidir. Tek fark bu kez P tipi iki yarı iletken madde arasına ince bir tabaka hâlinde N tipi yarı iletken maddenin yerleştirilmiş olmasıdır.



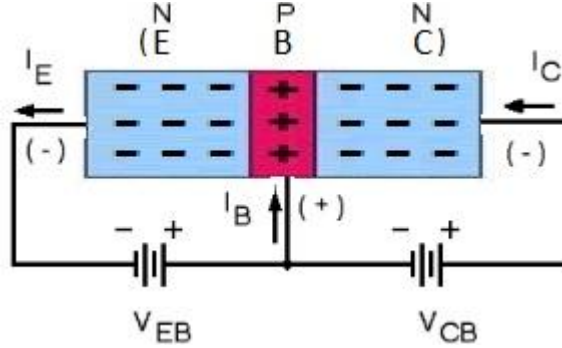
Resim 1.4: PNP Tipi transistörün çalışması

PNP tipi transistörlerde V_{BB} kaynağının eksi ucu beyz kutbunu negatif yüklerken V_{CC} kaynağının artı ucu da emiter bölgesindeki artı yüklü oyukları yukarı iter. Bu şekilde sıkışan artı yükler, beyz tarafından çekilip buradan kollektör bölgesine geçer. V_{CC} kaynağının eksi ucu, kollektör bölgesindeki oyukları kendine çektiğinden dolayı oyuk hareketi süreklilik kazanır. V_{BB} akımı sürdürükçe emiterden kollektöre doğru bu hareket sürer. PNP tipi transistörlerde elektronlar aşağı, oyuklar ise yukarı doğru gider ve bu nedenle beyze uygulanan eksi sinyal emiterden kollektöre doğru akım geçirir denir.

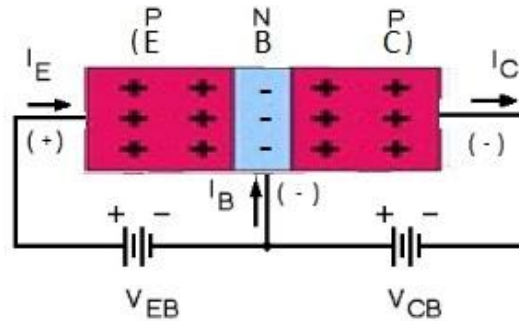
1.3. Transistörün Polarmalandırılması (Kutuplanması)

Elektronik devrelerde kullanılan transistörler doğru polarmalandırıldığında iletme, ters polarmalandırıldığında ise kesime girerler.

Transistörün beyz ucuna akım uygulanmadığında C-E arasından akım geçişi olmaz. Yani eleman kesimde kalır. Transistör germanyumdan yapılmışsa B ucuna uygulanan gerilim $V_{EB} = 0,2$ voltu aşınca, silisyumdan yapılmışsa B ucuna uygulanan gerilim $V_{EB} = 0,6-0,7$ voltu aşınca C ve E arası iletken olur. NPN tipi transistörlerin B ucuna şaseye göre artı (+) uygulandığında iletimin olabilmesi için C'ye artı (+) ve E'ye eksi (-) uygulanır. PNP transistörlerde B ucuna eksi (-) uygulanınca E'den C'ye akım geçişi olur. Bu sırada E'ye artı (+) ve C'ye eksi (-) verilir. Sonuç olarak; transistörleri aktif yükseltme elemanı olarak kullanabilmek için B-E birleşimi doğru polarize edilirken B-C eklemi ters polarize edilir.



Resim 1.5: NPN Tipi transistörün doğru polarmalandırılması



Resim 1.6: PNP Tipi transistörün doğru polarmalandırılması

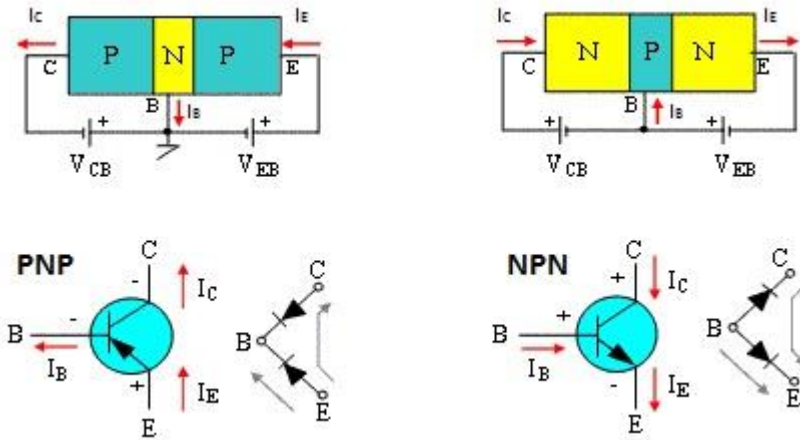
B-E uçları ve B-C uçları yanlış polarize edilirse eleman çalışmaz. Hatta elemanda bozulma bile olabilir. B-E arası ters polarize edilirse beyz-emiter geçiş eklemi genişler ve set gerilimi büyür, akım geçişi olmaz. B-C uçları ters polarize değil de doğru polarize edilirse transistör yine çalışmaz.

1.4. Akım, Gerilim Yönü ve I_B Akımı Hesaplama

Ortak beyzli transistör bağlantısında akım ve gerilim yönleri aşağıda görüldüğü gibidir (Resim 1.7). Teorik olarak kabul edilen durum akım yönleri ile oyuk hareketi aynı yöndedir.

NPN transistörlerde kollektör – beyz arası ters polarmalıdır. Beyz polarması olmadan akım geçişi olmaz. Beyz polarması gerçekleştiğinde P maddesinde bulunan azınlık akım taşıyıcı olan elektronlar, kollektör tarafından kuvvetlice çekilirler. Oluşan bu oyuk hareketiyle emiterden kollektöre doğru elektron akışı meydana gelir.

Gerilim yönleri belirtilirken (V_{CB} ve V_{EB}), V harfinin ikinci elemanı (B) devresinin bağlantı şeklini belirler. Buradaki kullanımlara göre devrenin ortak beyzli olduğu anlaşılır. V harfinin ilk elemanı ise kaynağa transistörün hangi ayağının bağlı olduğunu gösterir.



Resim 1.7: Transistörlerde akım ve gerilim yönü

Yukarıdaki şekilde transistörlerde akım ve gerilim yönleri verilmiştir. Burada;

I_B : Beyz akımı (dc),

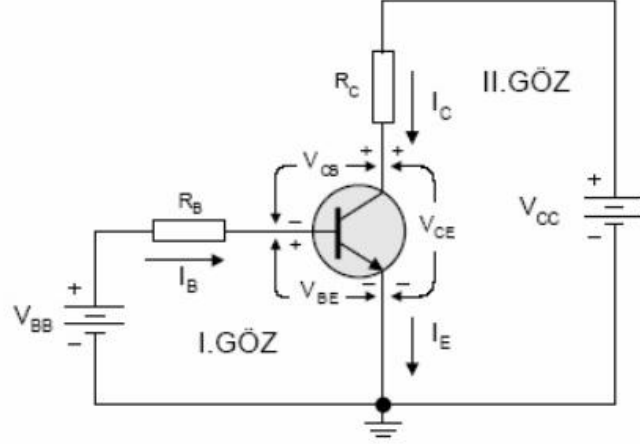
I_E : Emiter akımı (dc),

I_C : Kollektör akımı (dc),

V_{BE} : Beyz-emiter gerilimi (dc),

V_{CB} : Kollektör-beyz gerilimi (dc),

V_{CE} : Kolektör-emiter gerilimi (dc) ifade eder.



Resim 1.8: I_B Akımı hesaplama

Yukarıdaki şekle bakıldığında transistörün beyz-emiter arası V_{BE} gerilim kaynağı ile doğru yönde polarmalanmıştır. Beyz-kolektör arası ise V_{BC} gerilim kaynağı ile ters yönde polarmalanmıştır. Beyz-emiter arası doğru yönde polarmalandığında tıpkı ileri yönde polarmalanmış bir diyot gibi işlem yapar ve böylece üzerinde yaklaşık olarak 0.7V (silisyum) gerilim düşümü meydana gelir. ($V_{BE} = 0.7 \text{ Volt}$)

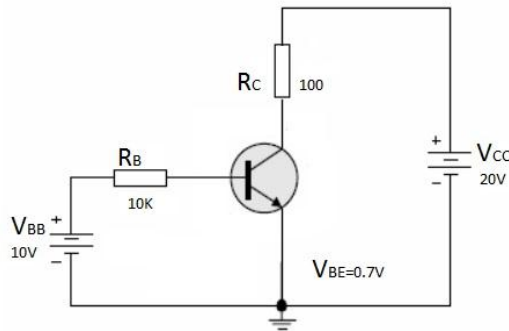
Devrede I. göz için Kirsoff Gerilimler Kanunu'na göre denklem yazılırsa $V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$ olacaktır.

Bu denklemden de I_B akımını yalnız bırakırsak $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$ formülü elde edilir.

Kolektör ve emiter akımlarını bulabilmek içinde $I_C = \beta \cdot I_B$ ve $I_E = I_C + I_B$ formülleri kullanılır.

R_C direnci üzerine düşen gerilimi bulmak istersek $V_{RC} = I_C \cdot R_C$ formülü kullanılır.

Örnek 1.1:



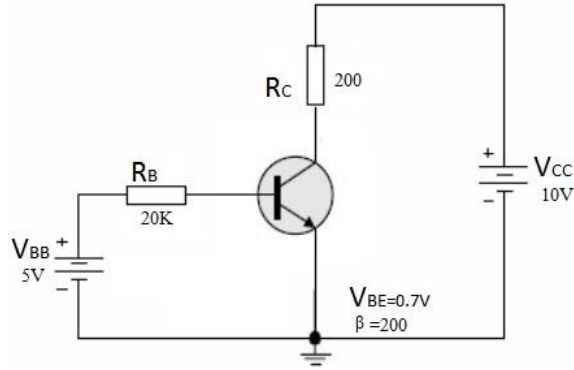
Verilen devreye ve eleman değerlerine göre I_B akımının değerini bulunuz.

Çözüm 1.1:

I_B akımını bulmak için $I_B = \frac{V_{BB}-V_{BE}}{R_B}$ formülünü kullanacağımıza göre bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım.

$$I_B = \frac{10-0.7}{10} \text{ olur ve } I_B = \frac{9.3}{10} I_B=930\mu\text{A olarak bulunacaktır.}$$

Örnek 1.2:



Yukarıda verilen devre ve eleman değerlerine göre transistörün polarma akım ve gerilim değerlerini bulunuz.

$$I_B=? \quad I_C=? \quad I_E=?$$
$$V_{BE}=? \quad V_{CE}=? \quad V_{BC}=?$$

Çözüm 1.2:

$$I_B = \frac{V_{BB}-V_{BE}}{R_B} \quad I_B = \frac{5-0.7}{20K} \quad I_B=215 \mu\text{A}$$

$$I_C=\beta \cdot I_B \quad I_C=200 \cdot 215 \mu\text{A} \quad I_C=43\text{mA}$$

$$I_E=I_C+I_B \quad I_E=43\text{mA}+215\mu\text{A} \quad I_E=43,215\text{mA}$$

$V_{BE}=0,7\text{V}$ soruda veriliyor.

$$V_{CE}= V_{CC}-(I_C \cdot R_C) \quad V_{CE}= 10-(43\text{mA} \cdot 200) \quad V_{CE}= 1,4\text{V}$$

V_{BC} gerilimini bulmak için çevre denklemlerinden yararlanılır.

$$V_{CC}=(I_C \cdot R_C)+V_{BC}+V_{BE}$$

$$V_{BC} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C) - V_{BE}$$

$$V_{BC} = 10 - (43 \text{mA} \cdot 200) - 0,7 \quad V_{BC} = 0,7 \text{V}$$

1.5. Transistör Sağlamlık Kontrolü

Elektronik cihazlarda zaman zaman arızalar oluşabilir. Bu arızalar genellikle yarı iletken devre elemanlarının bozulmasından kaynaklanır. Bu nedenle herhangi bir cihazın onarımında ilk önce cihazda kullanılan yarı iletken devre elemanlarının sağlam olup olmadıklarının kontrolünün (testinin) yapılması gerekir.

Burada yaptığımız test işlemleri sonucunda herhangi bir transistörde sağlamlık testinin nasıl yapılacağını aynı zamanda da transistör tipinin (PNP veya NPN) ve bağlantı ayaklarının nasıl bulunacağını öğreneceksiniz.

1.5.1. Transistörlerin Analog AVometre ile Sağlamlık Kontrolü



Resim 1.9: Analog AVometre

AVometre X1 kademesine alınır. Problardan biri 3 uçtan herhangi birine (genelde orta uç) sabit tutulur ve diğer prob iki uca da tek tek değdirilir. Diğer iki ucun da AVometrede sapma olması gerekir. Eğer sadece birinde sapma oluyorsa iki uçta da sapma olana kadar sabit tutulan uç değıştırilir.

Sabit tutulan ucu ilk denemenizde kırmızı yapınız. Bu şekilde değer bulamıyorsanız bu sefer siyah ucu sabit tutup kırmızıyı değıştırirsiniz.

AVometrenin bir probunu transistörün bir bacağında sabit tutarken diğer probu transistorün diğer bacaklarına ayrı ayrı değdirdiğimizde ölçü aletinde sapma oluyorsa o anda

sabit tuttuğunuz probtaki bacak beyz bacağıdır. Değişken probta tuttuğumuz bacaklardan hangisi büyük değer gösteriyorsa o emiter bacağıdır. Diğer bacak yani küçük değer gösteren bacak ise kollektör bacağıdır. Bu değerler arasında çok büyük farklar yoktur.

Yapılan test sonunda ölçü aletinde yukarıdaki durumlar gözleniyorsa transistör sağlamdır.

- Ölçülen transistörün PNP mi, NPN mi olduğunu şöyle tespit edebiliriz:
 - **PNP:** Emiter ve kollektörü bulduđunuzda sabit tuttuđunuz bacaktaki (beyz) prob siyah renkli ise bu PNP tiptir.
 - **NPN:** Emiter ve kollektörü bulduğunuzda sabit tuttuğunuz bacaktaki (beyz) prob kırmızı renkli ise bu NPN tiptir.

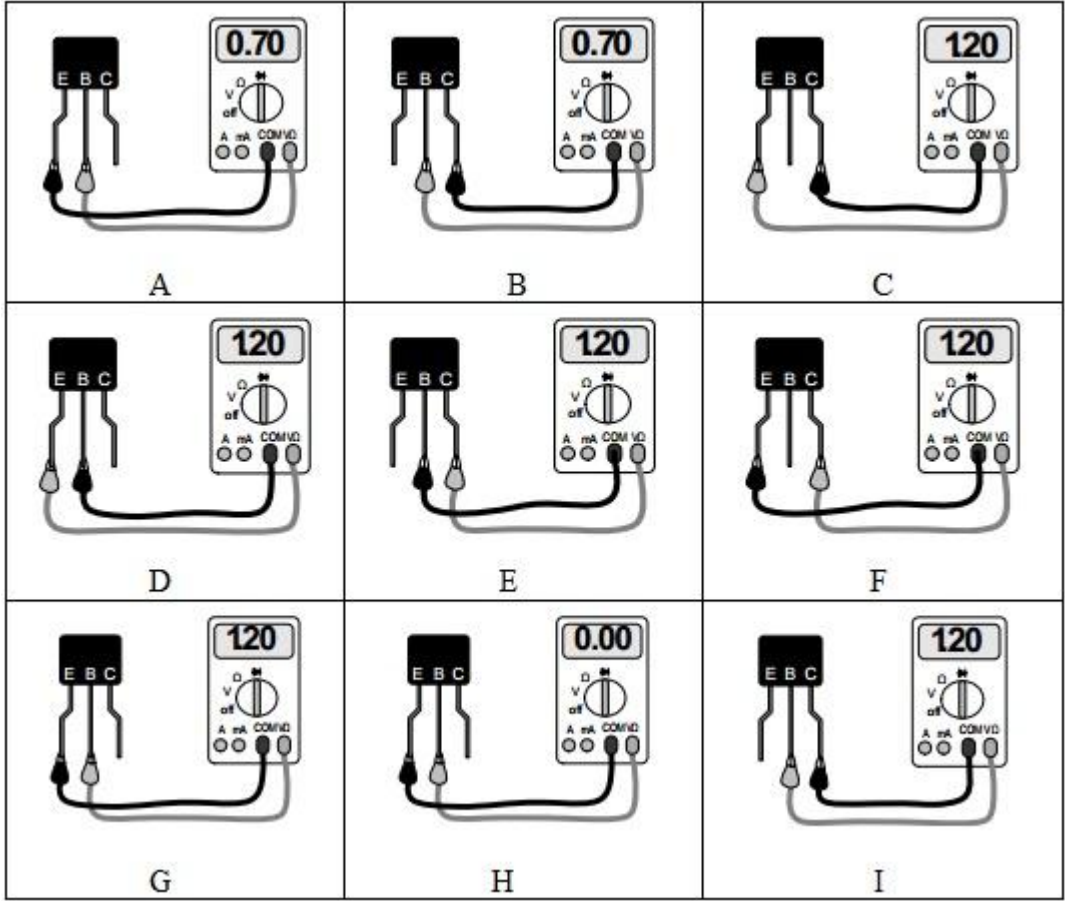
1.5.2. Transistörlerin Dijital AVometre ile Sağlamlık Kontrolü



Resim 1.10: Dijital AVometre

Sağlamlık kontrolü için dijital AVOMETRENİN diyet ölçme konumu kullanılır. Her bir aşamada transistörün sadece iki bacağı arasındaki ön gerilim ölçülür. Sağlam bir transistörün doğru polarma altında bacakları arasındaki ön gerilim 0,7V civarındadır. Ters polarma uygulandığında ise bu değer AVOMETRENİN pil gerilimidir.

Resim 1.11’de dijital AVOMETRE ile sağlamlık kontrolü yapılan bir transistör için gerekli test aşamaları ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Resim 1.11: Dijital AVometre ile transistör sağlamlık kontrolü

Resim 1.11.A: E-B arası doğru polarma, sonuç= doğru değer ve sağlam transistör

Resim 1.11.B: B-C arası doğru polarma, sonuç= doğru değer ve sağlam transistör

Resim 1.11.C: E-C arası yüksek değer, sonuç= doğru değer ve sağlam transistör

Resim 1.11.D: E-B arası ters polarma, sonuç= doğru değer ve sağlam transistör

Resim 1.11.E: B-C arası ters polarma, sonuç= doğru değer ve sağlam transistör

Resim 1.11.F: E-C arası yüksek değer, sonuç= doğru değer ve sağlam transistör

Resim 1.11.G: E-B arası doğru polarma, sonuç= yüksek değer ve bozuk transistör

Resim 1.11.H: E-B arası doğru polarma, sonuç= okunan değer ve sıfır bozuk transistör

Resim 1.11.I: B-C arası doğru polarma, sonuç= yüksek değer ve bozuk transistör

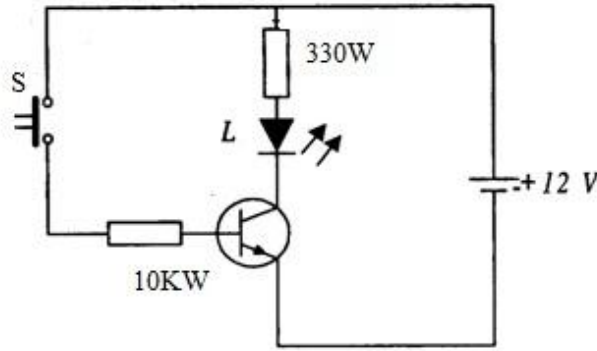
1.6. Transistörün Anahtarlama Elemanı Olarak Kullanılması

Transistörün kesim (yalıtım) ve doyum (tam iletim) durumunda olması anahtarlama elemanı olarak kullanılması demektir. Anahtarlama elemanı olarak kullanılacak transistörün hızlı tepki vermesi gerekir. Yani açma kapama (on-off) zamanları çok kısa olmalıdır.

Özellikle açma kapama sürelerinin önemli olduğu yüksek frekanslı devrelerde, zaman rölelerinde, periyodik çalışan sistemlerde, dijital düzeneklerde uygun transistör seçilmelidir.

Alıcıları mekanik anahtarlarla ve şalterlerle çalıştırıp durdururuz. Yük büyüdükçe yüksek akımlı anahtar (şalter) kullanmak gerekir. Yüksek akımlı anahtar kullanımında ise devrede şalterler hem çok yer kaplarlar hem de maliyetleri artar. Bu nedenle uygulamada, transistör, tristör, triyak gibi elemanlar kullanılarak küçük bir anahtarla büyük alıcılar kumanda edilebilmektedir.

Büyük akımın geçtiği şalterlerde; şalter açılıp kapatılırken büyük fiziksel kuvvet gerekir. Açılıp kapanma esnasında gürültü, kıvılcım, ark olur ve kontaklar ark nedeniyle belli bir süre sonra geçirgenliğini kaybeder, yani bozulurlar.



Resim 1.12: Transistörün anahtar olarak çalıştırılması

Resim 1.12'de verilen devrede S anahtarıyla L alıcısı (led, lamba, ısıtıcı, motor vb.) çalıştırılabilir. S anahtarı kapatılınca transistörün beyzine küçük bir akım gider. Bu tetikleme akımı sayesinde transistörün C-E uçları arasından yüksek değerli bir akım geçişi olur. Bu sayede L alıcısı çalışmaya başlar.

Bazı devrelerde osilasyonlu sinyaller elde edebilmek için transistörlü aç-kapa (on-off) yapıcı devreler tasarlanır. Yani transistör, C-E arasından geçen akıma sürekli izin verir ve keser. Bu işleme de anahtarlama denir.

1.7. Transistörün Yükselteç Olarak Kullanılması

Transistörler kullanılarak zayıf elektrik sinyalleri güçlendirilebilir. Örneğin mikrofon, ses dalgalarını içinde bulunan mini bobin sayesinde elektrik sinyallerine çevirir. Bu elektrik sinyalleri çok küçük değerli olduğundan hoparlörü besleyemez (ses yeterli seviyede çıkmaz). İşte bu nedenle araya transistörlü (ya da entegreli) yükselteç devresi konulur.

Yükselteç olarak çalıştırılan bir transistör, akım kazancı, gerilim kazancı ve güç kazancı sağlar. Yani transistör girişine verilen akım, gerilim veya gücün çıkıştan daha büyük

değerlerde elde edilmesidir. Bunu sağlamak için de bu işi yapabilecek devrelerin tasarlanması gerekir.

Kazancın sayısal değerinin bulunması da çıkıştaki akım, gerilim ve güç değerlerinin; girişteki akım, gerilim ve güç değerlerine oranlanması ile elde edilir.

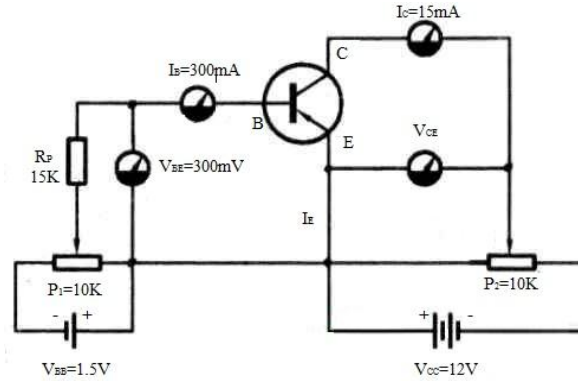
Transistör hem DC hem de AC yükselteç olarak kullanılabilir. DC çalışmada girişteki ve çıkıştaki akım ve gerilim değerleri arasındaki bağıntılara **statik karakteristik**, AC çalışmadaki akım ve gerilim değerleri arasındaki bağıntılara da **dinamik karakteristik** denir.

Transistör yükselteç olarak kullanılmak istendiğinde emiteri ortak bağlantılı yükselteç, beyzi ortak bağlantılı yükselteç ve kollektörü ortak bağlantılı yükselteç şeklinde çalıştırılabilir.

➤ Transistörün DC yükselteç olarak çalıştırılması

Resim 1.13'de emiteri ortak bağlantılı bir DC yükselteç devresi verilmiştir. Bu yükselteç devresi ile transistörün statik karakteristikleri incelenmektedir.

Statik karakteristikleri incelerken giriş ve çıkıştaki DC akım ve gerilim değerlerinden yararlanılır.



Resim 1.13: Transistörün statik karakteristiklerini tanımlamak üzere kurulan yükselteç devresi

Girişteki akım ve gerilimdeki değişimleri izlemek için girişte seri bağlanan mikro ampermetre (μA) ve paralel bağlanan küçük değerler ölçebilen voltmetre (mV) ve çıkıştaki değişimleri izlemek için de çıkışa bağlanan mili ampermetre ve normal bir voltmetre görülmektedir.

Uygulanan bu tür ölçme yöntemi ile hesaplanan statik karakteristik değerlerine ve çizilen eğrilere **kısa devre karakteristikleri** de denilmektedir.

➤ Yukarıdaki devrede bulunan ölçü aletleri ile şu değerler ölçülür:

- Girişe ait:

Beyz akımı (I_B)

Beyz - Emiter arası gerilim (V_{BE})

- Çıkışa ait:

Kollektör akımı (I_C)

Kollektör - Emiter arası gerilim (V_{CE})

➤ Ölçülen bu değerler ile hesaplanacak karakteristik değerler şunlardır:

- Akım kazancı: $K_i(\beta)=I_C/I_B$
- Giriş direnci: $R_g=V_{BE}/I_B$
- Çıkış direnci: $R_c=V_{CE}/I_C$
- Eğim: $S=\Delta I_C/\Delta V_{BE}$
- Transfer oranı: $\mu=V_{BE}/V_{CE}(\%0,01-0,001)$

Buradaki K_i , R_g ve R_c her transistör için her devrede bilinmesi gereken karakteristik değerlerdir. S ve μ değerlerine ise transistör üzerinde daha ayrıntılı çalışma yapılması gerektiğinde ihtiyaç duyulur.

➤ Yukarıdaki karakteristik değerler dört bölge karakteristik eğrisinden yararlanılarak da hesaplanabilmektedir.

- Bölge karakteristik eğrisi: (V_{CE}, I_C)
- Bölge karakteristik eğrisi: (I_B, I_C)
- Bölge karakteristik eğrisi: (V_{BE}, I_B)
- Bölge karakteristik eğrisi: (V_{BE}, V_{CE})

Bu karakteristik eğrilerinin değişik noktalarındaki küçük değişim değerleri ile yapılacak olan hesaplamalar K_i , R_g ve R_c değerleri hakkında daha doğru bilgi verir.

$K_i = \Delta I_C/\Delta I_B$ bağıntısı, karakteristik eğrisi doğrusal olduğundan her noktada aynı değeri verir.

$R_g = \Delta V_{BE}/\Delta I_B$ bağıntısı, eğrisel olan karakteristik eğrisinin farklı noktalarında farklı değerler verir, en iyi noktayı seçmek gerekir. Ayrıca I_B beyz akımı büyüdükçe transistörün R_g giriş direnci küçülmektedir.

$R_c = R_{CE} = \Delta V_{CE}/\Delta I_C$ bağıntısına bakacak olursak I_C büyüdükçe daha küçük R_c verir.

Görüldüğü gibi DC yükselteç devresinde ölçülen değerler ile elde edilen sonuçlar, transistör hakkında önemli bilgi vermektedir.

➤ Transistörün AC yükselteç olarak çalıştırılması

Transistör girişine AC işaret gerilimi uygulandığında AC yükselteç olarak çalışır.

- AC yükselteçler de iki ana gruba ayrılır:
 - Ses frekansı yükselteçleri
 - Yüksek frekans (Radyo frekansı) yükselteçleri

AC işaret gerilimi, genelde sinüzoidal olarak değişen bir gerilim olarak düşünülür. Bu gerilim, girişteki ve çıkıştaki DC polarma gerilimini büyültüp küçülterek sinüzoidal olarak değişmesini sağlar.

AC çalışmada, yalnızca AC değerleri önemli olduğundan, giriş ve çıkışta ampermetre ve voltmetre olarak AC ölçü aletleri kullanılır. AC ölçü aletleri efektif değer ölçtüğünden gerekli hesaplamalar da efektif değerler ile yapılır.

Örneğin:

Akım kazancı: $K_{IAC}(\beta_{AC}) = I_{CEf}/I_{BEf}$

Gerilim kazancı: $K_{VAC} = V_{CEf}/V_{BEf} = (I_{CEf}/I_{BEf}) \cdot (R_L/R_B) = \beta_{AC} \cdot R_L/R_B$

Güç kazancı: $K_{PAC} = \beta_{AC} \cdot K_{VAC}$ şeklinde ifade edilir.

Açık frekans (ses frekansı) yükselteçlerinde: $\beta_{DC} = \beta_{AC}$ olarak alınır.

Giriş ve çıkış dirençleri de DC ve AC 'de aynı özelliklere sahiptir.

1.8. Katalog Bilgilerini Okuma

Bir transistör hakkında bilgi edinmek gerektiğinde üzerindeki ve katalogdaki bilgilerden yararlanılır. Daha ayrıntılı bilgi için de üretici firmadan yayınlanan tanıtım kitabına bakılır.

- Transistör üzerinde genellikle şu bilgiler bulunur:
 - Üretici firmanın adı ve sembolü
 - Kod numarası (2N 2100 vb...) (Transistör bu numara ile tanıtılır.)
 - Ayak bağlantıları (E,B,C) veya işareti
 - Küçük transistörlerin genellikle kollektör veya emiter tarafında bir nokta veya tırnak bulunur.
- Transistörü tanıtıcı bir kataloga bakıldığında da aşağıdaki bilgiler bulunur:
 - Kod no: (AD 159, 2N 2100 gibi)
 - Tipi: NPN veya PNP

- Türü: Si veya Ge
- Akım kazancı: $\beta(h_{FE})$
- Maksimum kollektör akımı: (I_{Cm})
- Maksimum dayanma gücü: (P_{Cm})
- Maksimum kollektör - Emiter gerilimi: V_{CEm} veya V_{Cm}
- Maksimum kollektör - Beyz gerilimi: V_{CBm} veya V_{Cm}
- Maksimum emiter - Beyz gerilimi: V_{EBm}
- Maksimum çalışma (kesim) frekansı: f_m
- Maksimum jonksiyon sıcaklığı: T_{Jm}

➤ Bazen bu bilgilere ek olarak şunlar da verilir:

- Beyz açık iken kollektör - emiter arası kaçak akımı: I_{CE}
- Emiter açık iken kollektör - beyaz arası kaçak akımı: $I_{CB} - I_{CO}$
Termistörün karşılıkları
- Cinsi: Sesa, alaşım, yayılım transistörü gibi vs.

Aşağıda BC337 transistörünün katalog bilgileri verilmiştir. Verilen bilgileri inceleyiniz.

BC337, BC337-25, BC337-40

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Packages are Available*

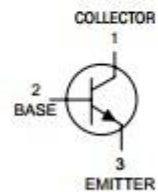
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V_{CEO}	45	Vdc
Collector - Base Voltage	V_{CBO}	50	Vdc
Emitter - Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	800	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°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.



TO-92
CASE 29
STYLE 17



MARKING DIAGRAM

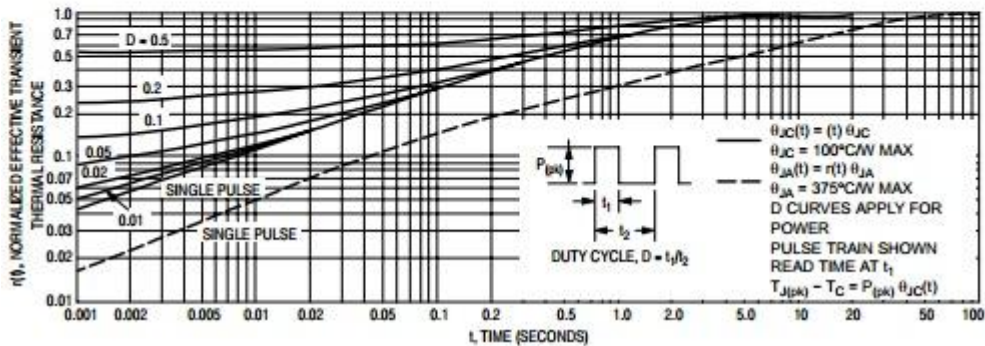


BC337-xx = Device Code
(Refer to page 4)
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week

Resim 1.14: (a)

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	45	-	-	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CES}$	50	-	-	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\ \mu\text{A}$, $I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	5.0	-	-	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 30\text{ V}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	-	-	100	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 45\text{ V}$, $V_{BE} = 0$)	I_{CES}	-	-	100	nAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 4.0\text{ V}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	-	-	100	nAdc
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$) ($I_C = 300\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	h_{FE}	100 160 250 60	- - - -	630 400 630 -	-
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 300\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$	-	-	1.2	Vdc
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 500\text{ mA}$, $I_B = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	-	-	0.7	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	-	15	-	pF
Current-Gain - Bandwidth Product ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	-	210	-	MHz



Resim 1.14: (b)

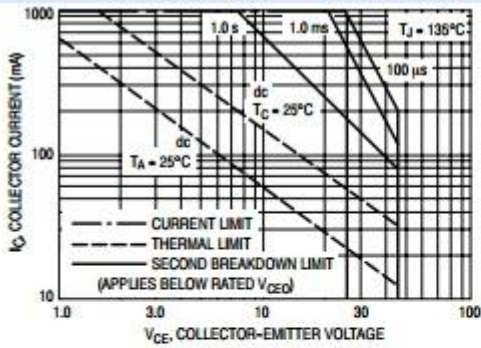


Figure 2. Active Region - Safe Operating Area

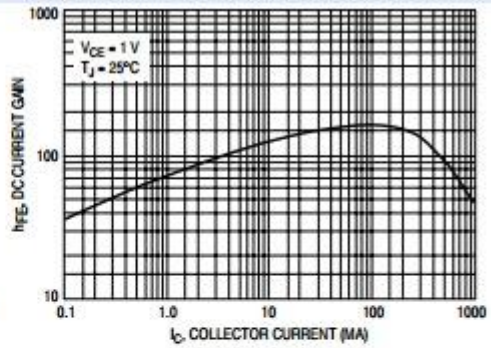


Figure 3. DC Current Gain

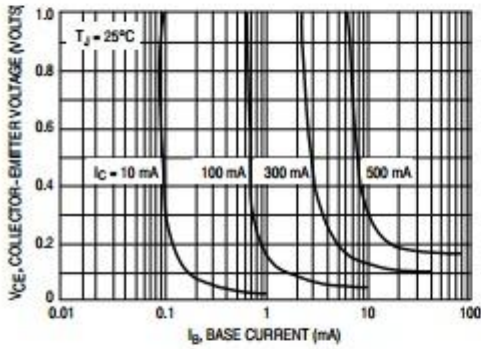


Figure 4. Saturation Region

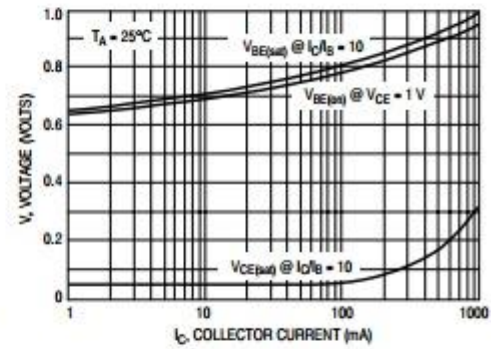


Figure 5. "On" Voltages

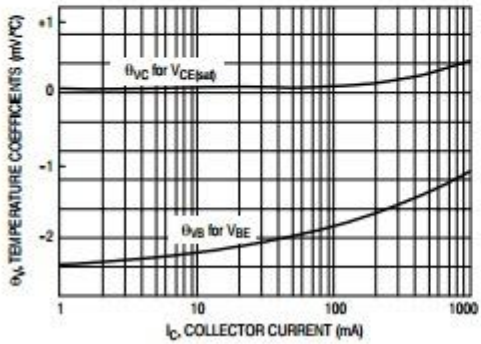


Figure 6. Temperature Coefficients

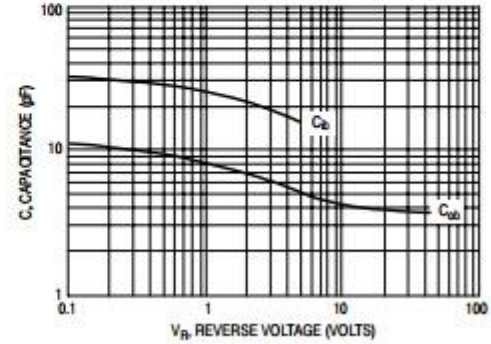


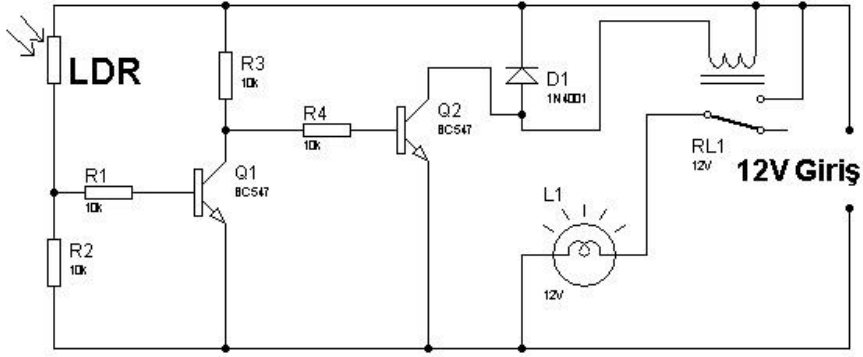
Figure 7. Capacitances

Resim 1.14: (c)

Resim 1.14: BC337 Transistör katalog bilgileri

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki işlem basamaklarını takip ederek şekilde lojik devre şeması verilen ve karanlıkta aktif olan devreyi breadboard üzerine kurunuz.



İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Şeması verilen devre için iki adet BC547, bir adet breadboard, dört adet 10K direnç, bir adet 12V röle, bir adet 1N4001 diyot, bir adet LDR, bir adet 12V lamba, 12V güç kaynağı temin ediniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ BC547 transistörünün bağlantı uçlarını tespit ediniz.➤ Devreyi breadboard üzerine kurunuz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Devreye enerji uygulayınız.	<ul style="list-style-type: none">Güç kaynağınızın sabit 12V uçlarını kullanınız.➤ Gerilimin tam 12V olmasına dikkat ediniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ LDR üzerine ışık uygulayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Devrede LDR üzerine ışık uygulandığında rölenin çalışmadığını ve röleye bağlı lambanın yanmadığını gözlemleyiniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ LDR üzerine uyguladığımız ışığı kesiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Devrede LDR üzerine düşen ışık kesildiğinde rölenin aktif olduğunu ve röleye bağlı lambanın yandığını gözlemleyiniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Devrenin çalışmasını inceleyiniz.	<p>Devre şu şekilde çalışmaktadır:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ LDR'nin üzerine ışık düştüğü zaman Q1 transistörü iletime geçer. Q1 transistörünün iletime geçmesi Q2 transistörünün beyz gerilimini şase gerilimine yaklaştıracığından Q2 transistörü kesimde kalır. Böylece röle ve buna bağlı olarak lamba yanmaz. LDR'nin üzerinden ışık kesildiğinde ise Q1 transistörü kesime gider. Q2 transistörü beyz gerilimini pozitif gerilimden alır ve iletime geçer. Buna bağlı olan röle kontakları kapanır ve lamba yanar. Sonuç olarak karanlıkta lamba yanar, aydınlıkta ise sönmüştür.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri **Evet**, kazanamadığınız becerileri **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Transistör uçlarının tespitini yapabildiniz mi?		
2. Devreyi, bağlantıları yaparak çalıştırabildiniz mi?		
3. Aydınlıkta lamba söndü mü?		
4. Karanlıkta lamba yandı mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme” ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise **D**, yanlış ise **Y** yazınız.

1. () Transistör yan yana birleştirilmiş iki PN diyotundan oluşan, girişine uygulanan sinyali yükselterek akım ve gerilim kazancı sağlayan, gerektiğinde anahtarlama elemanı olarak kullanılan yarı iletken bir devre elemanıdır.
2. () Üç kutuplu devre elemanları olan transistörler; emiter (E), beyz (B) ve kollektör (C) kutuplarına sahiptir.
3. () NPN transistörün sembolünde ok işareti içe doğrudur.
4. () Kollektör kutbu tetiklendiğinde beyz ve emiter arasında direnç değeri azalır ve akım geçişi olur.
5. () NPN transistörler, PNP transistörlere göre daha hızlı çalışır.
6. () NPN transistörün doğru polarmalandırılabilmesi için emiterine "-", beyzine "+" ve kollektörüne "-" polarma uygulanmalıdır.
7. () Transistörün sağlamlık kontrolünü yapabilmek için analog AVOMETREde ölçüm kademesini X1 kademesine almalıyız.
8. () Sağlam transistörün emiter-kollektör arası, ölçüm yapıldığında her zaman düşük değer okunur.
9. () Transistörler kullanılarak teyplerin okuyucu kafası, mikrofon gibi düzeneklerin ürettiği zayıf elektrik sinyallerini güçlendirebilmek için anahtarlama elemanı olarak kullanılırlar.
10. () Yükselteç olarak çalıştırılan bir transistörden akım kazancının, gerilim kazancının ve güç kazancının sağlanması beklenir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Bu faaliyette verilen bilgiler doğrultusunda FET'lerin genel yapısını ve temel özelliklerini tanıyacak, devreye uygun FET'i seçerek FET uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Transistör ile FET arasındaki farklılıkları araştırınız.
- FET'ler ile yapılan devreleri araştırarak sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

2. FET

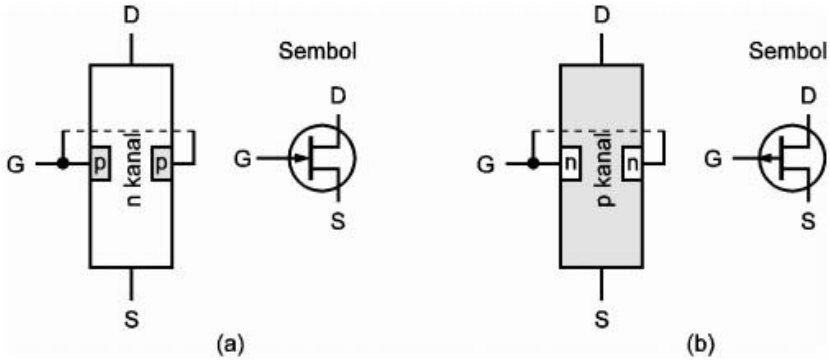
2.1. FET Çeşitleri

Alan etkili transistör (Field-Effect Transistor); bipolar jonksiyon transistörün tüm işlevlerini yerine getirebilen fakat farklı yapı ve karakteristiklere sahip bir devre elemanıdır. Genellikle JFET veya FET olarak isimlendirilirler. JFET'ler gerilim kontrollü devre elemanlarıdır.

FET transistörler, iki farklı ana grupta üretilmektedir. Bunlardan birincisi JFET (Junction Field Effect Transistör) bilinen adı ile FET, ikincisi ise MOSFET (Metal Oxide Silicon Field Effect Transistör) ya da daha az bilinen adı ile IGFET (Isolated Gate Field Effect Transistör). Her iki tip transistörün de N kanallı ve P kanallı olmak üzere iki tipte üretimi yapılır. N kanallı JFET'lerde iletim elektronlarla, P kanallı JFET'lerde ise oyuklarla sağlanır.

2.2. JFET Yapısı ve Çalışması

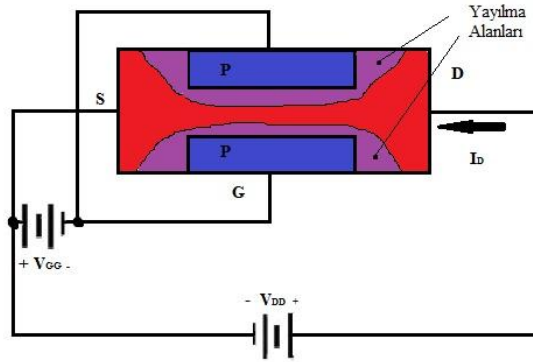
Transistörlerde olduğu gibi JFET'lerde de 3 ayak (bağlantı ucu) vardır. Bunlar; drain (oluk, akaç), source (kaynak) ve gate (kapı, geçit) dir. Transistörlerde bulunan kollektörün karşılığı drain, emiterin karşılığı source, beyzin karşılığı da gate'dir. Transistörler, NPN ve PNP tipi olmak üzere iki tipte üretildiği gibi JFET'ler de N – kanallı JFET ve P – kanallı JFET olmak üzere iki tipte üretilmektedirler.



Resim 2.1: JFET yapı ve sembolleri a) N kanal JFET b) P kanal JFET

P kanal JFET ile N kanal JFET'in çalışması aynı olup beslemelerin polariteleri ile N ve P maddelerinin yerleri değişmektedir.

Resim 2.2' ye bakıldığında V_{DD} kaynağının negatif ucu S (source) ucuna, pozitif ucu D (drain) ucuna bağlanmıştır. Burada akacak olan I_D akımı drainden source'ye doğrudur. V_{GG} kaynağının eksi ucu P maddesinden yapılmış olan G'e (gate), artı ucu ise S'a(source) bağlanmıştır. Böylece gate ve kanal ters polarmalanmıştır. Bu sebepten gate akımı $I_G=0$ olacaktır.



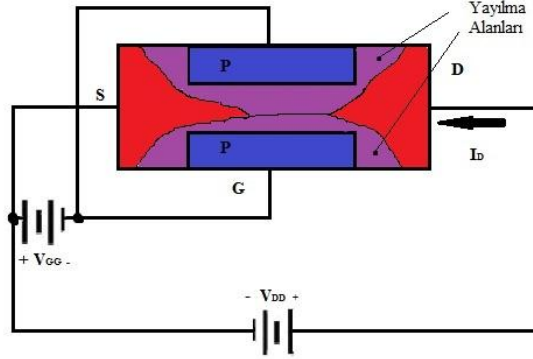
Resim 2.2: N Kanal JFET' in çalışması

V_{GG} geriliminin 0 V olduğunu zaman V_{DD} geriliminin oluşturduğu akım I_D , drainden sourceye doğru ve maksimum olarak akacaktır. I_D akımını sınırlayan sadece kanalın kesitidir. Bu kesit ya da hacim ne kadar büyük olursa I_D akımı da bu oranda büyük olacaktır.

V_{GG} gerilimini pozitif yönde arttırdığımızda P maddesinden yapılmış gate ile N maddesinden yapılmış olan kanal ters polarmalanacaktır. P maddesindeki boşluklar V_{GG} kaynağından gelen elektronlarla doldurularak gate etrafında (P maddesi etrafında) bir yayılma alanı oluşturacaktır.

Gate ile source arasında sadece V_{GG} gerilim kaynağı olduğu için gate – source arasında sadece V_{GG} 'nin neden olduğu ters polarizasyon, gate ile drain arasında $V_{GG} + V_{DD}$

kaynağı olduğu için source - drain arasındaki ters polarizasyon $V_{GG} + V_{DD}$ kadar olacaktır. Bu sebepten yayılma alanı source tarafında daha az, drain tarafında daha fazla olacaktır. Bu yayılma kanalı daralttığı için I_D akımı azalacaktır. V_{GG} gerilimini daha da arttırsak alan iyice yayılarak bütün kanalı kapatır ve I_D akımı sıfır olur. I_D akımını sıfır yapan V_{GG} gerilimine Pinchoff gerilimi V_P denir.



Resim 2.3: N Kanal JFET' in çalışması (yayılma alanlarının hareketi)

V_{GS} gerilimini V_P geriliminin biraz altında tutup V_{DS} gerilimini de sıfırdan itibaren yavaşça arttırdığımızda kanal bir miktar açık olduğu için I_D akımı sıfırdan itibaren biraz yükselecektir. V_{DS} gerilimini arttırdığımızda I_D akımı da doğrusal olarak artacaktır. Bu durum yani I_D akımının doğrusal olarak artması V_{DS} geriliminin, V_{GS} ile V_P 'nin farkına eşit olduğu ($V_{DS} = V_{GS} - V_P$) değere kadar devam eder. V_D gerilimi daha da arttırılırsa ($V_{DS} \geq V_{GS} - V_P$) kanal genişliği V_{DS} gerilimine bağlı olarak ve aynı oranda daralır ya da bu kritik değerden sonra kanal direnci V_{DS} gerilimi ile aynı oranda artar. Sonuçta V_{DS} gerilimi bu kritik değerden sonra ne kadar arttırılırsa arttırılsın I_D akımı sabit kalır ve I_D akımı V_{GS} gerilimi ile kontrol edilir.

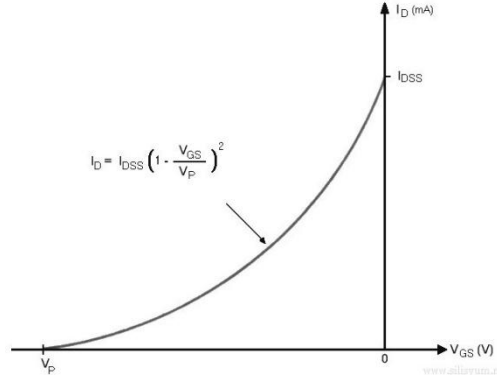
2.3. JFET'in BJT'ye Göre Üstünlükleri

- JFET ve BJT elemanları ve bunların kullanıldığı devrelerin genel bir karşılaştırması yapıldığında şöyle bir tablo ortaya çıkar:
 - JFET'in tipik olarak 100MΩ olan çok yüksek bir giriş direnci vardır. BJT'lerde bu değer 2KΩ'dur.
 - JFET anahtar olarak kullanıldığında sapma gerilimi yoktur.
 - JFET'ler yayınlama (radyasyon) karşı nispeten duyarsızdır. BJT'ler ise çok duyarlıdır. Özellikle beta değeri çok etkilenir.
 - JFET, BJT'den daha az gürültüldür ve bundan dolayı düşük düzeyli yükselteçlerin giriş katları için daha uygundur.
 - JFET, BJT'lere göre daha yüksek ısı kararlılığı sağlayacak şekilde çalıştırılabilir.
 - JFET, BJT'den daha küçüktür ve bu nedenle entegrelerde yaygın olarak kullanılır.

- JFET'in BJT'ye göre sakıncası; kazanç-bant genişliği çarpımının (geçiş frekansı-kazancın bire düştüğü frekans) bipolar transistörle elde edilebilene kıyasla küçük olması ve çabuk hasar görebilmesidir.

2.4. JFET'in Karakteristikleri

JFET elemanının transfer karakteristiği denildiğinde sabit bir drain - source gerilimi (V_{DS}) için gate -source (V_{GS}) geriliminin drain akımı (I_D) ile olan grafiğidir.

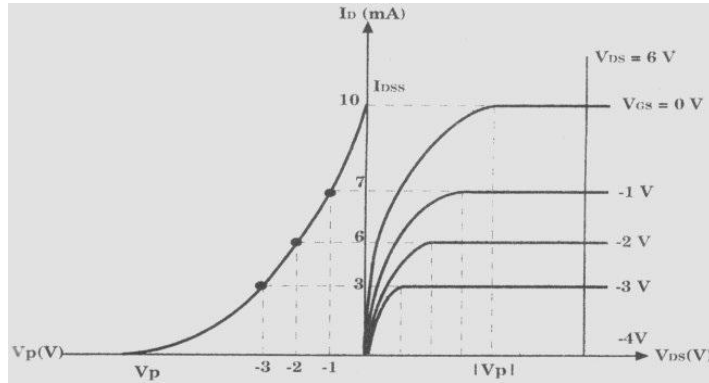


Resim 2.4: N-kanallı JFET 'in transfer karakteristiği

Resim 2.4' de görüldüğü gibi transfer eğride iki önemli noktada I_{DSS} ve V_P değerleridir. Herhangi bir noktadaki I_D akımı şöyle hesaplanabilir:

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

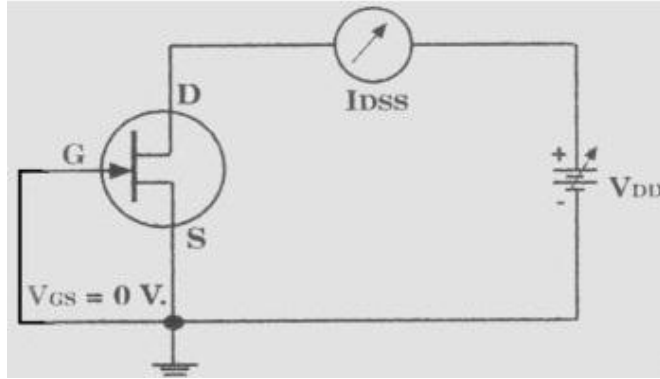
Transfer karakteristik eğrisinden görüldüğü gibi $V_{GS} = 0$ 'da $I_D = I_{DSS}$ ve $I_D = 0$ 'da $V_{GS} = V_P$ 'dir. V_P değerinde, I_D akımı akmadığı için JFET tamamiyle yalıttımdadır. Burada V_P aynı zamanda kritik gerilim değeridir.



Resim 2.5: JFET Transfer karakteristik eğrisi

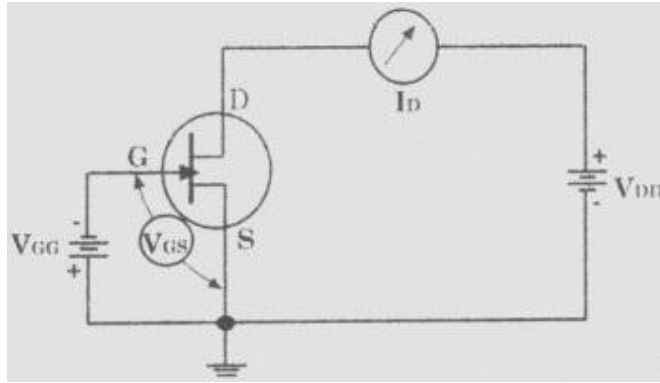
Resim 2.5' de görüldüğü gibi transfer karakteristik eğrisi, V_{DS} değerinin tüm eğrileri kapsadığı bir değerde olmalıdır. Yani, bu transfer eğride eğer $V_{DS} = 6$ Volt seçilirse; $V_{DS} = 6$ Volt doğrusunun kestiği tüm noktaların kritik bölgede olması gerekir. Örneğin; $V_{DS} = 6$ Volt doğrusunun $V_{GS} = 0$ Volt eğrisini kestiği noktada $I_D = I_{DSS} = 10\text{mA}$ 'dır. $V_{DS} = 6$ Volt doğrusunun, $V_{GS} = -2$ Volt eğrisini kestiği noktada $I_D = 6$ mA'dır. Bu noktalardan geçen parabol JFET'in transfer karakteristik eğrisini verir.

Belirli bir JFET elemanlarının çalışmasını tanımlamak için kullanılan parametrelerden birisi I_{DSS} ve V_P değerleridir.



Resim 2.6: I_{DSS} Değerini ölçmek için kullanılan devre

Resim 2.6' da I_{DSS} değerini ölçmek için kullanılan devre gösterilmiştir. Gate ucu source ile birleştirilerek şaseye bağlanmasıyla V_{GS} voltajı sıfıra ayarlanmış olur. V_{DD} kaynak gerilimi, ampermetrede okunan I_D 'nin yükselişi sabit kalana kadar artırılır ve elde edilen değer I_{DSS} değeri olarak kabul edilir.



Resim 2.7: V_P Değerini ölçmek için kullanılan devre

Resim 2.7' deki devre ise V_P değerini bulmak için kullanılan bir devredir. V_{GS} kaynak voltajı, I_D akımı sıfıra çok yakın olana kadar sıfırdan daha büyük negatif değer yönünde ayarlanır. Drain akımının sıfır olmasını sağlayan minimum V_{GS} gerilimi aynı zamanda V_P değeridir.

Bu şekilde I_{DSS} ve V_P değerleriyle JFET analizlerinde kullanılmak üzere bir transfer eğrisi çizilebilir. N kanallı bir JFET elemanın transfer karakteristiğini, yatay eksenini 0V 'tan V_P 'ye uzanan negatif değerleri ve dikey eksenini 0'dan I_{DSS} 'ye uzanan, I_D akımını temsil eden koordinatlar ekseninde çizilebilir.

Örneğin $V_P = -6$ Volt ve $I_{DSS} = 12$ mA için bir transfer eğrisi çizelim.

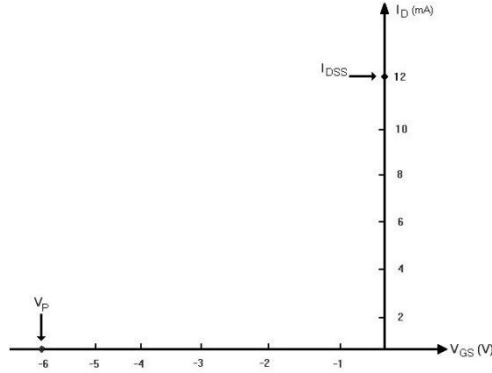
$I_{DSS} = 12$ mA dikey ekseninde ($V_{GS} = 0$ Volt)

$V_P = -6$ Volt yatay ekseninde ($I_D = 0$ mA)

Bu değerleri $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$ denkleminde yerine koyarsak yine;

$$V_{GS} = 0 \text{ Volt için, } I_D = 12 \text{ mA} \cdot \left(1 - \frac{0}{-6}\right)^2 \quad I_D = 12 \text{ mA}$$

$$I_D = 0 \text{ mA için, } 0 = 12 \text{ mA} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{-6}\right)^2 \quad V_{GS} = -6 \text{ Volt olur.}$$



Resim 2.8: Koordinatlar ekseninde I_{DSS} ve V_P değerlerinin işaretlenmesi

I_{DSS} ve V_P gibi iki önemli nokta koordinatlar ekseninde işaretlendikten sonra V_{GS} 'nin çeşitli değerlerinde I_D akımı bulunur.

$$V_{GS} = 0 \text{ Volt için} \quad I_D = 12 \text{ mA idi.}$$

$$V_{GS} = -1 \text{ Volt için} \quad I_D = 12 \cdot [1 - (-1/-6)]^2 = 8,3 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = -2 \text{ Volt için} \quad I_D = 12 \cdot [1 - (-2/-6)]^2 = 5,4 \text{ mA}$$

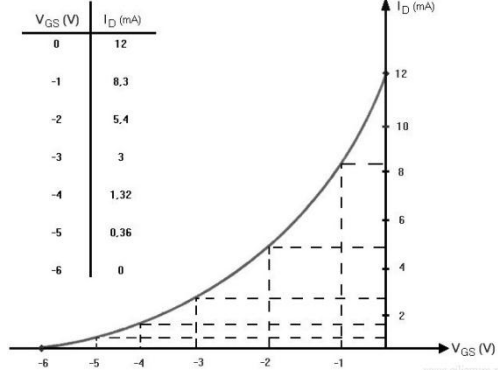
$$V_{GS} = -3 \text{ Volt için} \quad I_D = 12 \cdot [1 - (-3/-6)]^2 = 3 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = -4 \text{ Volt için} \quad I_D = 12 \cdot [1 - (-4/-6)]^2 = 1,32 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = -5 \text{ Volt için} \quad I_D = 12 \cdot [1 - (-5/-6)]^2 = 0,36 \text{ mA}$$

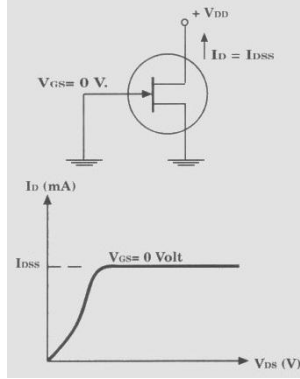
$V_{GS} = -6$ Volt için

$$I_D = 12 \cdot [1 - (-6/-6)]^2 = 0 \text{ mA}$$

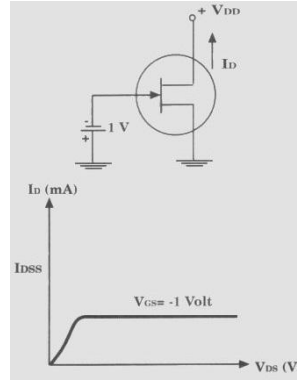


Resim 2.9: JFET 'in transfer karakteristik eğrisi

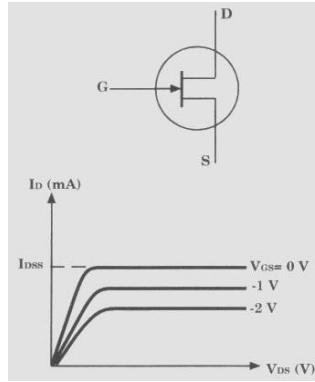
Kısaca JFET'in transfer eğrisini çizmek için 0 ile V_P arasında iki veya daha fazla gerilim değeri seçilerek bulunabilir. Koordinatlar ekseninde her bir V_{GS} değerine karşılık gelen I_D değeri işaretlendikten sonra bu noktalar birleştirilerek transfer eğrisi elde edilir. V_{GS} 'nin sıfır ile V_P arasındaki nokta sayısı daha fazla olursa çizilecek transfer eğrisi, daha çok noktaların birleşiminden meydana geleceği için daha hassas olur. JFET'in drain-source karakteristik eğrisi vardır. Bu karakteristik eğri drain akımının (I_D), drain - source gerilimine (V_{DS}) göre bir grafiği olduğundan bu eğriye drain karakteristiği de denir.



Resim 2.10: N kanal JFET' in $V_{GS}=0$ V için drain-source karakteristiği



Resim.11: N kanal JFET' in $V_{GS}=-1V$ için drain-source karakteristiği

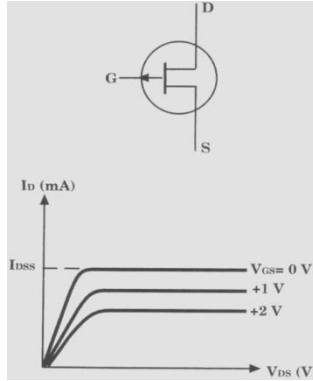


Resim 2.12: N kanal JFET' in tüm drain-source karakteristiği

$V_{GS}=0$ Volt için çizilen eğride, V_{DS} arttıkça drain akımının doyum düzeyine kadar arttığı görülmektedir. $V_{GS}=0$ için bu doyum akımı I_{DSS} olarak adlandırılır. Yani I_{DSS} akımı, gate - source eklemi kısa devre olduğunda drain - source arasında akan akımdır.

Gate source gerilimi $V_{GS}= -1V$ 'a ayarlandığında V_{DS} yükseldikçe akım, doyuma ulaşmaya kadar artar. Fakat bu seviye $V_{GS} = 1V$ 'dan dolayı kısmen oluşmaya başlayarak boşluk bölgesi, drain-source akımının daha düşük bir düzeyinde tamamıyla oluşur.

Resim 2.12'de çizilen drain - source karakteristiği çeşitli V_{GS} değerlerini (0,-1,-2. volt) kapsayan bir eğriler grubudur. Gate ucuna uygulanan ters polarma, gövde de boşluk bölgesi oluşturur. Bu ters gerilimin negatifliği arttırıldıkça kanal direnci de artar ve gövdeden geçen I_D akımı küçülür. V_{GS} daha da arttırıldığında, JFET 'ten herhangi bir I_D akımı akmaz, I_D sıfıra iner, I_G sıfır olur ve JFET elemanı tümüyle kapanır.



Resim 2.13:P Kanallı JFET drain-source karakteristiği

P-kanallı JFET'in drain - source karakteristiği Şekil 2.13'de gösterilmiştir. N kanallıdan farkı, V_{GS} voltajlarının pozitif olmasıdır. Anlatılanlar P kanallı JFET için de geçerlidir.

2.5. FET ve MOSFET Ölçme

Transistörde base ucundan tetikleme olduğunda kollektörden emitere akım geçişi olurken, FET'lerde gate ucu boşta iken drain (D)-source (S) arasından akım geçer. FET ve azaltan tip MOSFET'in çalışma prensibi ve ölçümleri aynıdır. Gate ucu boşta iken D-S arası iletkenidir. Azaltan tip MOSFET'in D-S arası direnci FET'in D-S arası direncinden büyüktür.

Çoğaltan tip MOSFET'in gate ucu boşta iken D-S arasından akım geçmez, MOSFET yalıtıcıdır. Ölçümü normal transistör gibidir.

Aşağıdaki tabloda FET ve MOSFET'in sağlamlık kontrolü yapılırken elde edilmesi gereken değerler verilmiştir. Tablodaki bu değerler yaklaşık değerlerdir. Ölçülecek malzemenin tipine ve karakteristik özelliklerine göre değişiklik gösterebilir.

		+ Prop		
		D	S	G
- P r o p	D		0	-
	S	0		-
	G	0.6	0.6	

N kanal

FET ve azaltan MOSFET

		+ Prop		
		D	S	G
- P r o p	D		-	-
	S	-		-
	G	0.6	0.6	

N kanal

Çoğaltan tip MOSFET

Resim 2.14.A: FET ve MOSFET Sağlamlık kontrolü sonuçları

+ Prop				
	D	S	G	
-				
P	D	0	0.6	
r	S	0	0.6	
o	G	-	-	
P				

P kanal

FET ve azaltan MOSFET

+ Prop				
	D	S	G	
-				
P	D	-	0.6	
r	S	-	0.6	
o	G	-	-	
P				

P kanal

Çoğaltan tip MOSFET

Resim 2.14.B: FET ve MOSFET Sağlamlık kontrolü sonuçları

2.6. JFET Parametre ve Formülleri

FET'e uygulanan gerilimlerin değiştirilmesiyle bu elemanın gösterdiği davranışa parametre (büyüklük) denir. Elektronik devre elemanı üreten firmalar kataloglarda her JFET için parametre değerlerini verirler. Aşağıda BF244A adlı JFET'in bazı özellikleri verilmiştir.

$$V_{DGmaks} = +30 \text{ V}$$

$$V_{GSmaks} = -30 \text{ V}$$

$$I_{gmaks} = 10 \text{ mA}$$

$$I_D = 50 \text{ mA}$$

$$T_{stg} = -55^\circ \text{ C} + 150^\circ \text{ C}$$

- JFET'lerin özellikleri açıklanırken kullanılan bazı teknik parametrelerin (terimlerin) anlamları şöyledir:
 - **D-S doyma akımı (I_{DSS}):** G-S eklemi kısa devre edildiğinde (yani C ucuna 0 volt uygulandığında) D-S uçları arasından geçen maksimum akımdır.
 - **G-S kapama gerilimi (kritik gerilim, V_c):** D-S kanalının tamamen kapandığı (hiç akım geçirmediği) gerilim değeridir. Bu değer V_{GS-off} ($V_{GS-kesim}$) ile de gösterilir.
 - **G-S kırılma gerilimi (V_{GSmaks}):** Bu parametre belirli bir akımda D-S kısa devreyken ölçülür. Uygulamada bu değer üzerine çıkılması hâlinde JFET bozulur.

- **D-S kırılma gerimi (V_{DSmaks}):** JFET'in D-S uçları arasına uygulanabilecek maksimum gerilim değerini bildirir. Bu değer üzerinde bir gerilim JFET'i bozar.
- **Geçiş iletkenliği (g_m):** JFETler sabit akım elemanı olduğundan D ucundaki gerilimin değişimi I_D akımında pek bir değişikliğe yol açmaz. I_D akımı genellikle G ucuna uygulanan gerilimle kontrol edilir. Bu nedenle JFET'lerin en önemli parametrelerinden biri I_D akımındaki değişime göre G voltajının değişimidir. Bu parametre geçişgenlik transkondüktans, transconductance) olarak tanımlanır.

Geçişgenlik, V_{DS} gerilimi sabitken I_D akım değişiminin G-S arası gerilim değişimine oranıdır.

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \quad (V_{DS}=\text{Sabit})$$

Geçişgenlik, direncin tersi olduğu için birimi (mho, mo) ya da Siemens (S) ile ifade edilir.

$$g_m = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_P|} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \quad \text{ve} \quad g_m = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_P|} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

Denklemleri kullanılarak JFET'in geçişgenlik değeri hesaplanır.

Örnek 2.1: Bir JFET'in V_{GS} gerilimi 0 V'tan - 0,9 V'ta kadar değiştiğinde I_D akımı 1 mA'den 0,3 mA'e doğru bir azalma göstermektedir, JFET'in geçişgenliğini (transkondüktansını) bulunuz.

Çözüm 2.1: $g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$ formülünü kullanırsak, $g_m = \frac{(1 \cdot 10^{-3} - 0,3 \cdot 10^{-3})}{(0,9 - 0)} = \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{0,9} = 0,77 \cdot 10^{-3} \Omega$ olarak bulunur.

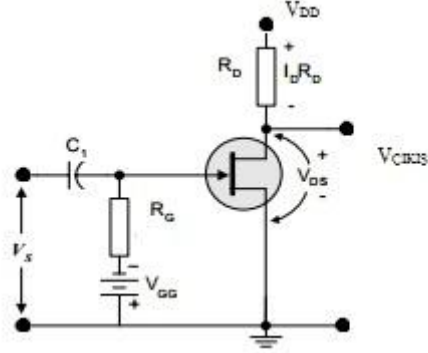
Örnek 2.2: Bir JFET'in I_{DSS} akımı 20 mA, V_P gerilimi - 8V, V_{GS} gerilimi - 1V olduğuna göre JFET'in iletkenliğini (transkondüktansını) bulunuz.

Çözüm 2.2: $g_m = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_P|} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$ formülünü kullanırsak,

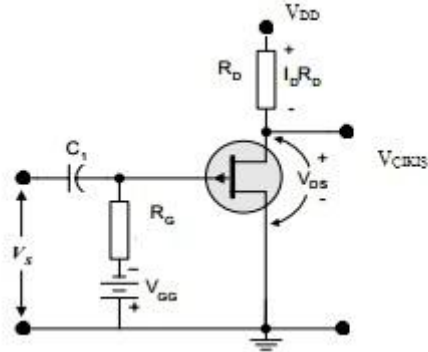
$$g_m = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{|-8|} \left(1 - \frac{-1}{-8}\right) = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,875 = 4,375 \cdot 10^{-3} \Omega \quad \text{olarak bulunur.}$$

2.7. JFET Polarmalandırılması (Kutuplanması)

2.7.1. Sabit Polarma Devresi



Resim 2.15: N Kanallı JFET' in polarmalandırılması



Resim 2.15: P Kanallı JFET' in polarmalandırılması

Resim 2.15'de N kanallı, şekil 2.16'da ise P kanallı JFET'in sabit polarma yöntemiyle polarılmasına (ön gerilimlenmesine) ilişkin devre şemaları verilmiştir. Yukarıda verilen iki devre şeması yükselteç olarak kullanılabilir. Yükseltilecek sinyal C₁ kuplaj (bağlaşım) kondansatörü aracılığıyla JFET'in G ucuna uygulanır. Yükseltilmiş sinyal V_{ÇIKIŞ} tarafından alınır.

İki devrede de S ucu ortak (şase) olarak kullanıldığı için bunlara S (source) ucu şase (ortak) yükselteç adı verilir. JFET'li, S ucu şase yükselteçler yapı olarak transistorlu emiteri şase yükselteçlere benzerler.

S (source) ucu şase yükselteçlerde G-S uçları V_{GG} kaynağıyla ters polarılır. V_{GG} kaynağı JFET'e polarma gerilimi sağlayarak D ucundaki V_D geriliminin V_{DD} geriliminin yarısı kadar olmasını sağlar. Bilindiği gibi bir yükselteç devresinin düzgün (distorsiyonsuz, kırılmamış) çıkış veren bir devre olarak çalışabilmesi için D ucundaki gerilimin V_{DD} geriliminin yarısı kadar olması gerekir.

S ucu şase yükselteç devresinde G ucu akım çekmediği için R_G direnci üzerinde gerilim düşümü oluşmaz. Bu durumda V_{GG} geriliminin tümü G-S uçları arasında görülür. Sonuç olarak $V_{GG} = V_{GS}$ ' dir. I_D akımının bulunmasında kullanılan denklem ise,

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \text{ şeklindedir.}$$

Resim 2.15 ve şekil 2.16'da verilen yükselteç devrelerinde I_D akımının R_D direnci üzerinde oluşturduğu gerilim. $V_{RD} = I_D \cdot R_D$ denklemiyle hesaplanır.

Yükseltecin çıkış bölümünün denklemleri,

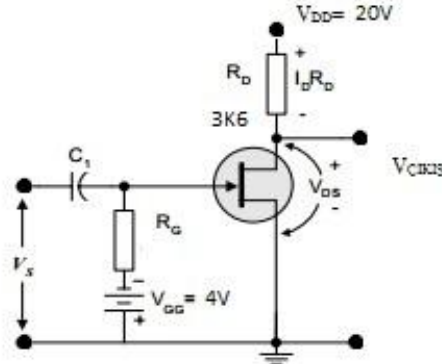
$$V_{DD} = V_{RD} + V_{DS}$$

$$V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_{DS}$$

$$V_{DD} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} \text{ şeklindedir.}$$

Örnek 2.3: Aşağıda verilen S ucu şase (ortak) N kanal JFET'li, sabit polarmalı yükselteç devresinde, I_D akımını ve V_{DS} gerilimini bulunuz.



Resim 2.16: Yükselteç devrelerinde I_D akımının R_D direnci üzerinde oluşturduğu gerilim

Not: Devrede $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$ (0,01 A) , $V_P = -5$ voltur.

Çözüm 2.3: JFET'in G ucu hiç akım çekmediğinden V kaynağının geriliminin tümü G-S uçları arasında düşer. R_G direnci üzerinde hiç gerilim düşümü olmaz.

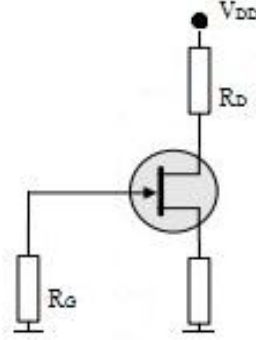
$$V_{GS} = V_{GG} = -4 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 0,01 \cdot \left(1 - \frac{-4}{-5}\right)^2 = 0,002 \text{ A olarak bulunur.}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 20 - (0,002 \cdot 3600) = 20 - 7,2 = 12,8 \text{ V olarak bulunur.}$$

2.7.2. Self Polarma Devresi

Bu yöntemde V_{GG} kaynağı kullanılmaz. G-S uçlarının ters polarma işlemini R_S direnci üzerinde oluşan gerilim gerçekleştirir.



Resim 2.17: Self polarma JFET devresi

Resim 2.17'deki devrede, $V_G=0$ V, $V_{RS} = I_D R_S$, olduğundan, $V_{GS} - V_G - V_S = 0 - I_D \cdot R_S$ $V_{GS} = -I_D \cdot R_S$ olur. Örneğin, $I_D = 2$ mA, $R_S = k\Omega$ ise $V_{GS} = -I_D \cdot R_S = -2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 110^{-3} = -2$ V olur.

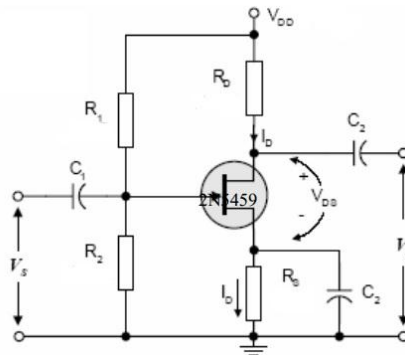
JFET'in S ucuna bağlanan R_S direnci sayesinde G-S uçlarına gelen gerilimin polaritesinin ters olması sağlanmaktadır. Şekil 2.17'deki devrede, çıkış bölümünün denklemini şöyle yazılabilir:

$$V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_{DS} + I_D \cdot R_S$$

$$V_{DD} = I_D \cdot (R_D + R_S) + V_{DS}$$

2.7.3. Gerilim Bölücülü Polarma

Gerilim bölücü dirençlerle yapılan polarma devresinde, resim 2.18'de görüldüğü gibi bir tek üreteç vardır. Bu devredeki üretelimiz de V_{DD} 'dir.



Resim 2.18: Gerilim bölücü dirençli polarma

R_{G1} ve R_{G2} gerilim bölücü dirençler, G ucuna gelen polarma gerilimini ayarlarlar. Devrede G noktasındaki gerilim şu şekilde bulunur:

$$\text{Polarma dirençlerinin toplam değeri } R_T = R_{G1} + R_{G2}$$

$$\text{Polarma dirençlerinden geçen akım, } I_T = V_{DD}/R_T$$

$$\text{G noktasındaki gerilim, } V_G = I_T \cdot R_{G2}$$

$$\text{JFET'in G-S uçları arasındaki gerilim, } V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D \cdot R_S$$

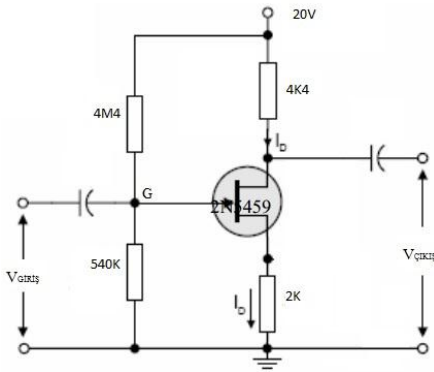
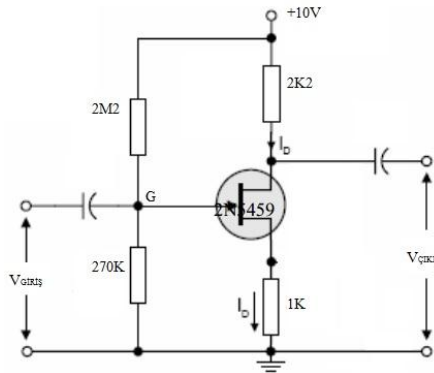
Gerilim bölücü dirençli polarma devresinde çıkış kısmının denklemini Kirşof'un gerilim kanununa göre;

$$V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_{DS} + I_D \cdot R_S \text{ veya } V_{DD} = I_D \cdot (R_D + R_S) + V_{DS} \text{ şeklinde yazılır.}$$

I_D akımını bulmak için $V_{DD} = I_D \cdot (R_D + R_S) + V_{DS}$ denkleminde I_D değeri çekilecek olursa

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S} \text{ eşitliği bulunur.}$$

Devrenin çıkışından alınan gerilim ise $V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$ denklemiyle hesaplanır.



Örnek 2.4: Yukarıda verilen şekilde $V_p = -4$ V, $I_{DSS} = 8$ mA (0,008 A), $V_{RS} = 3$ V olduğuna göre I_D ve V_{DS} değerlerini bulunuz.

Çözüm 2.4:

V_{RS} değeri 3V olduğuna göre I_D akımını,

$I_D = V_{RS} / R_s$ denklemiyle bulabiliriz.

$$I_D = V_{RS} / R_D = 3 / 2000 = 0,0015 \text{ A} = 1,5 \text{ mA}$$

I_D akımını bulunduktan sonra V_{RD} gerilimi de bulunabilir.

$$V_{RD} = I_D \cdot R_D = 0,0015 \cdot 4400 = 6,6 \text{ V}$$

V_{DD} geriliminin denklemi,

$$V_{DD} = V_{RD} + V_{DS} + V_{RS} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Bu denklemde V_{DS} çekilerek

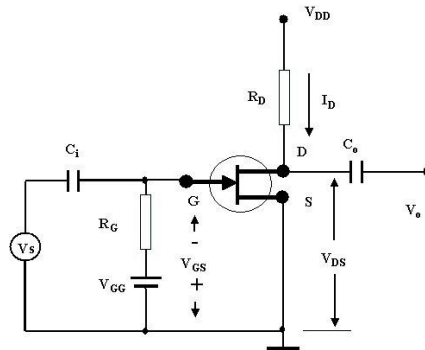
$$V_{DS} = V_{DD} - (V_{RD} + V_{RS}) \text{ eşitliği yazılabilir.}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (V_{RD} + V_{RS})$$

$$V_{DS} = 20 - (6,6 + 3) = 20 - 9,6 = 10,4 \text{ V bulunur.}$$

2.8. JFET'li Yükselteç Devreleri

Resim 2.19'daki gibi temel bir JFET yükselteç devresinde V_{GG} kaynağı, küçük bir negatif gate gerilimi (V_{GS}) üretir. V_{GS} , transistörün gate-source arasını ters kutuplandığı için gate akımı olmayacaktır. Böylece R_G direnci üzerinde herhangi bir gerilim düşümü görülemeyeceğinden $V_{GS} = V_{GG}$ olacaktır.



Resim 2.19: JFET yükselteç devresi

Drain-source besleme gerilimi V_{DD} ve drain direnci R_D , I_D drain akımı ile drain-source arasındaki gerilimi (V_{DS}) oluştururlar. Devre elemanlarının değeri, $V_{DS} > V_P$ olacak şekilde seçileceğinden transistörün sabit akım bölgesinde çalışması sağlanır. Buradaki sabit akım, transistörden ne olursa olsun hep aynı değerde akım akar anlamında değil, V_{DD} besleme geriliminde olabilecek değişikliklerden I_D akımının etkilenmemesidir.

Devredeki sinyal kaynağına seri olarak bağlanan C_1 kondansatörü V_s alternatif sinyal kaynağı ile transistörün DC olan V_{GS} 'si arasında DC izolasyon yapar. V_s alternatif kaynağının devreye etkisi şöyledir. $V_{gs}=V_{GS} + V_s$ formülünde görülen $V_{GS} + V_s$ aslında vektörel bir toplamadır. V_s alternatif sinyal kaynağıdır. Bir yükselir, bir azalır. V_{GS} ise DC bir gerilimdir. Yani sabittir. Sabit olan V_{GS} ile değişken olan V_s 'yi toplarsak ortalama değeri V_{GS} olan fakat V_s kadar bir azalan bir çoğalan V_{gs} 'yi elde ederiz. Bu gerilim transistörün gate ucuna uygulandığı için V_{gs} geriliminin yükseldiği zamanlarda I_D akımı yükselir, V_{gs} geriliminin azaldığı zamanlarda da I_D akımı azalır. Yani I_D akımı V_s 'nin sinyal şekline göre bir azalır, bir yükselir. I_D akımındaki bu değişiklik nedeniyle R_D direnci üzerinde değişken bir gerilim oluşur. Bu değişken gerilimi C_o kondansatörü üzerinden devrenin dışına V_o olarak alırız. Böyle devrelerde V_o gerilimi V_i geriliminden daha fazla olduğu için devrede bir gerilim kazancı oluşur. Bu devrede 0,5V'luk bir V_i için 10V'luk bir V_o elde edersek devrenin gerilim kazancı 20 olacaktır.

$$A_v = V_o / V_i$$

$$A_v = 10 / 0,5$$

$$A_v = 20$$

2.9. MOSFET'lerin Yapısı, Çalışması ve Karakteristikleri

JFET'ler klasik transistörlere göre büyük bir gelişme olarak kabul edilse de bazı sınırları vardır. JFET'lerin giriş dirençleri klasik transistörlerden daha fazladır. JFET'in girişine bağlanan sinyal kaynağından çekilen küçük miktardaki ters beyz gate akımı, sinyal kaynağını yükler. Bu etkiyi azaltmak ve frekans cevabını (respond) geliştirmek için JFET'lere göre daha fazla gelişmiş MOSFET'ler yapılmıştır.

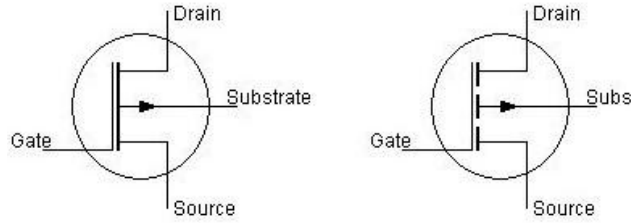
Alan etkili transistörün (FET) geliştirilmiş tipi genellikle MOSFET olarak bilinen metal oksit yarı iletkenidir. MOSFET kelimesinin açılımı metal oxide semiconductor field effect transistor'dür (Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör).

MOSFET'lerin gate uçları izole edilmiştir ve giriş dirençleri çok yüksek olup elektrotlar arası iç kapasitansı çok küçüktür. Bu nedenle MOSFET'ler normal transistörlerin, frekans aralığının çok daha üstündeki frekanslarda ve yüksek giriş direnci yükselteçlere ihtiyaç duyulan devrelerde daha fazla kullanılırlar. MOSFET'lerde, JFET'lere ve klasik transistörlere kıyasla gürültü daha az, band genişliği daha fazladır.

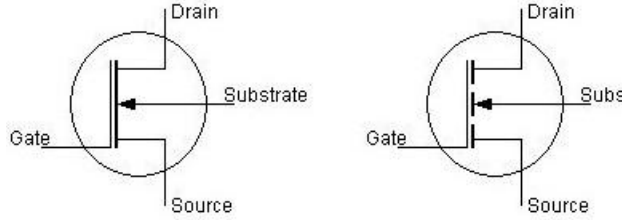
MOSFET'lerin tüm bu üstünlüklerine karşın sakıncaları da vardır. Yapısındaki ince silikon oksit tabakası kolaylıkla aşınabilir. MOSFET'e elle dokunulması hâlinde insan vücudu üzerindeki elektrostatik yük nedeniyle oksit tabakası delinerek kullanılmayacak şekilde zarar görebilir. Bundan dolayı MOSFET'ler, özel ambalajlarında korunmaya alınmalı ve MOSFET'e dokunmadan önce kullanıcı, üzerindeki elektrostatik yükü mutlaka topraklayarak boşaltmalıdır. MOSFET 'i devre üzerine montaj yaparken düşük güçlü havya kullanılmalı ve havya mutlaka topraklanmalıdır.

MOSFET'ler azaltan (boşluk şarjlı, depletion) tipi MOSFET ve çoğaltan (Enhancement) tipi MOSFET diye ikiye ayrılırlar.

JFET'lerdeki gibi yine kendi aralarında, n-kanallı ve p-kanallı azalan ve çoğalan tip olarak ayrılırlar.



Resim 2.20.a: N Kanallı azaltan tip MOSFET ve N kanallı çoğaltan tip MOSFET

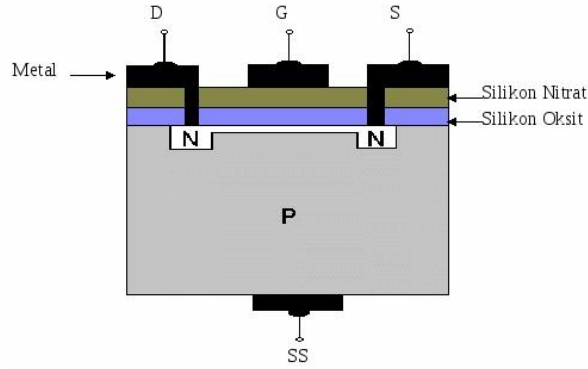


Resim 2.20.b: P Kanallı azaltan tip MOSFET ve P kanallı çoğaltan tip MOSFET

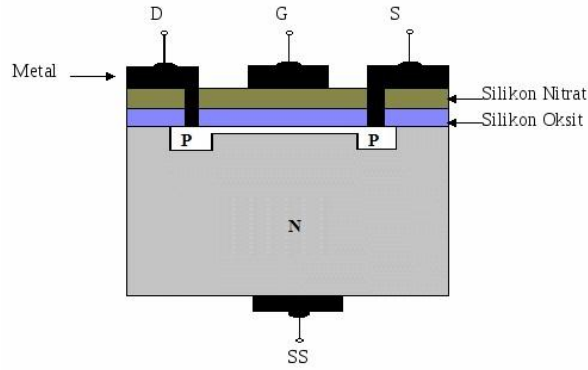
MOSFET sembollerinden görüleceği gibi JFET'lerden farklı olarak MOSFET'lerde Substrate (SS, Bulk, Altkatman) ucunun (bağlantı ayağının) bulunmasıdır.

2.9.1. Azaltan Tip MOSFET (Azaltan Tip MOSFET) Yapısı

Şekilde yapısı verilen azaltan tip MOSFET'te G ucu N tipi kanal maddesinden silisyum oksit ve silisyum nitrat tabakalarıyla ayrılmıştır.



Resim 2.21.a: N Kanal azaltan tip MOSFET'in yapısı



Resim 2.21.b: P Kanal azaltan tip MOSFET'in yapısı

Azaltan tip MOSFET'lerin, n-kanal ve p-kanal olmak üzere başlıca iki tipte üretilir. Resim 2.20.a ve Resim 2.20.b'de p ve n-kanal azaltan tip MOSFET'in şematik sembolü resim 2.21.a ve resim 2.21.b'de p ve n-kanal azaltan tip MOSFET'in yapısı verilmiştir.

N kanallı azaltan tip MOSFET, P tipi gövde üzerine yerleştirilmiştir. N tipi yarı iletken maddeden yapılan source ve drain bölgelerine, source ve drain uçları bir metalle bağlanmışlardır. Ayrıca source ve drain bölgeleri içten N tipi kanal bölgesiyle birbirine bağlanır. N kanalın üstünde bulunan ve kanal ile gate arasındaki izolasyonu sağlayan ince silikon dioksit (SiO_2) tabakasının üzerine ince bir metal tabaka konur.

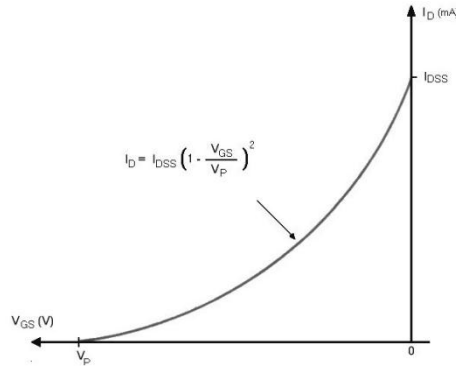
$-V_{GS}$ gerilimi ile kanal bölgesinde elektronlar itilerek akımı azaltır. $-V_P$ gerilimi ile kanal kısılarak akım sıfıra düşürülür. $+V_{GS}$ gerilimi ile kanal genişletilerek kanal akımının artması sağlanır.

2.9.2. Azaltan Tip MOSFET (D-MOSFET) Çalışması ve Karakteristiği

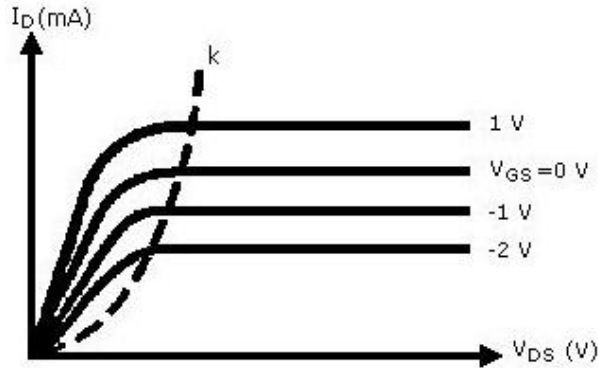
N-kanallı azaltan tip MOSFET'in gate-source arasına negatif bir gerilim (V_{GS}) uygulanması durumunda elektronlar kanal bölgesinin ortasına doğru itilirler ve kanalda daralma olur. Yeterli büyüklükte V_{GS} gerilimi kanalı tamamen daraltarak kapatır. Pozitif V_{GS}

geriliminin uygulanması durumunda, P tipi taşıyıcılar itildiklerinden kanal büyüklüğünde bir artış olur. Böylece daha çok şarj taşıyıcısının oluşumuna izin verildiğinden daha büyük bir kanal akımı meydana gelir.

N kanallı azaltan tip MOSFET'in transfer ve drain karakteristikleri ise aşağıdaki gibidir. Karakteristik eğriler; elemanın pozitif veya negatif V_{GS} geriliminde çalışmasını gösterir. Negatif V_{GS} değerleri, daraltma gerilimine kadar drain akımını azaltır. Bu gerilimden sonra drain akımı hiç akmaz. Negatif ve pozitif her iki V_{GS} değerinde de gate kanaldan izole edildiğinden MOSFET, V_{GS} 'nin her iki polarite durumunda çalıştırılabilir. Her iki polarite durumunda da gate akımı meydana gelmektedir.



Resim.22: N Kanallı azaltan tip MOSFET'in transfer karakteristiği



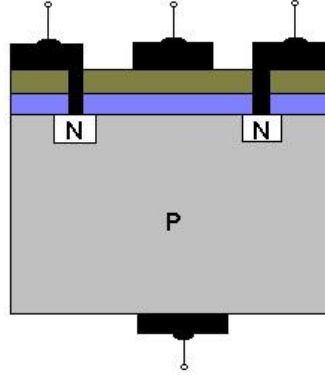
Resim 2.23: N Kanallı azaltan tip MOSFET'in I_D - V_{DS} statik karakteristik eğrisi

2.9.3. Çoğaltan Tip MOSFET (E-MOSFET) Yapısı

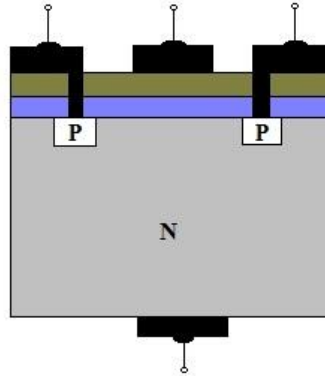
Çoğaltan tip MOSFET'ler, n-kanallı ve p-kanallı olmak üzere iki tipte üretilir. Şekildeki yapıdan da görüldüğü gibi çoğaltan tip MOSFET'in temel yapısında fiziksel olarak oluşturulmuş bir kanal yoktur.

Çoğaltan tip MOSFET'in şematik sembolünde (Resim 2.20.a ve şekil2.20.b) drain ile source arası kesik çizgilerle gösterilir. Bunun nedeni başlangıçta çoğaltan tip MOSFET'de kanal olmadığını belirtmek içindir. Şematik sembolde okun yönü çoğaltan tip MOSFET'in

kanal tipini belirtir. Ok yönü içeri doğru ise N tipi kanalı, ok yönü dışarı doğru ise P tipi kanalı gösterir.



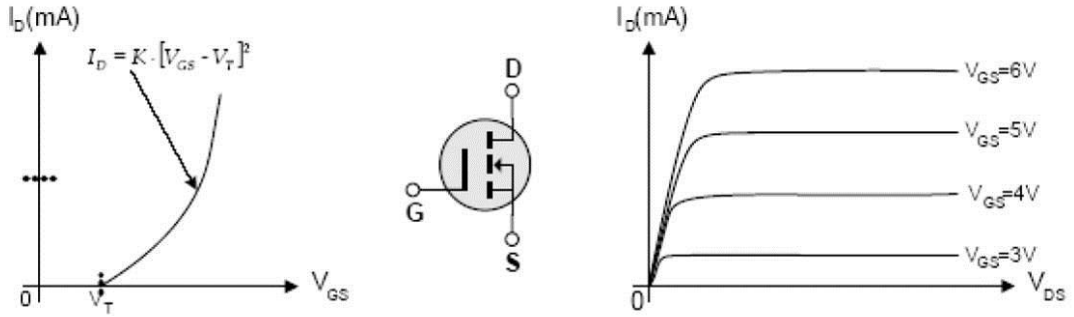
Resim 2.24.a: N Kanal çoğaltan tip MOSFET'in yapısı



Resim 2.24.b: P Kanal çoğaltan tip MOSFET'in yapısı

2.9.4. Çoğaltan Tip MOSFET (E-MOSFET) Çalışması ve Karakteristiği

Çoğaltan tip MOSFET'lerde kanalı gate ucuna bağlanan harici bir besleme kaynağı oluşturur. Gate-source uçları arasına pozitif bir gerilimin uygulanmasıyla gate altındaki bölgede bulunan oyuklar (boşluklar) itilir ve orada bir azalma (deplasyon) bölgesi oluşur. Gate gerilimi yeterli pozitif değere çıkarıldığında elektronlar, pozitif gerilim tarafından bu azalma bölgesine çekilir. Böylece drain ile source arasındaki bölge N kanalı gibi davranır. Pozitif gate gerilimiyle oluşturulan ve şekillendirilen N kanallı çoğaltan tip MOSFET'in transfer ve V-I karakteristiği aşağıdaki gibidir.



Resim 2.25: N Kanallı çoğaltan tip MOSFET'in transfer ve V-I karakteristiği

N kanal çoğaltan tip MOSFET'in transfer karakteristiğinden de görüldüğü gibi V_{GS} gerilimi eşik başlangıç değeri V_T 'yi aşmıyacağı kadar drain akımı hiç akmaz. Bu eşik gerilimi değerinin üzerindeki pozitif gerilimlerde de artan değerli bir drain akımı meydana gelir.

2.9.5. MOSFET Parametreleri

JFET parametrelerinde anlatılan drain source doyma akımı (I_{DSS}), gate-source kapama gerilimi (V_P), geçiş iletkenliği (g_m) parametreleri MOSFET'ler için de geçerlidir. Drain akımını veren formüller;

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \text{ ve } I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2 \text{ dir.}$$

MOSFETLER'de geçiş iletkenliği;

$g_m = 2 \cdot k \cdot (V_{GS} - V_T)$ formülü ile bulunur.

Örnek 2.5: Çoğaltan tip MOSFET'te $V_{GS} = 10V$, $V_T = 5V$ olduğuna göre drain akımını bulunuz. ($k = 0,3 \text{ mA/V}^2$)

Çözüm 2.5:

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

$$I_D = 0,3 \cdot (10 - 5)^2$$

$$I_D = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ mA olarak bulunur.}$$

Örnek 2.6: Azaltan kanallı MOSFET'te I_{DSS} akımı 10mA, V_P gerilimi -4 V'tur. I_D akımını $V_{GS} = 0V$ ve $V_{GS} = -2V$ için hesaplayınız.

Çözüm 2.6:

$V_{GS} = 0V$ için;

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{0}{-4}\right)^2 = 10 \cdot 10^{-3} \text{A olarak bulunur.}$$

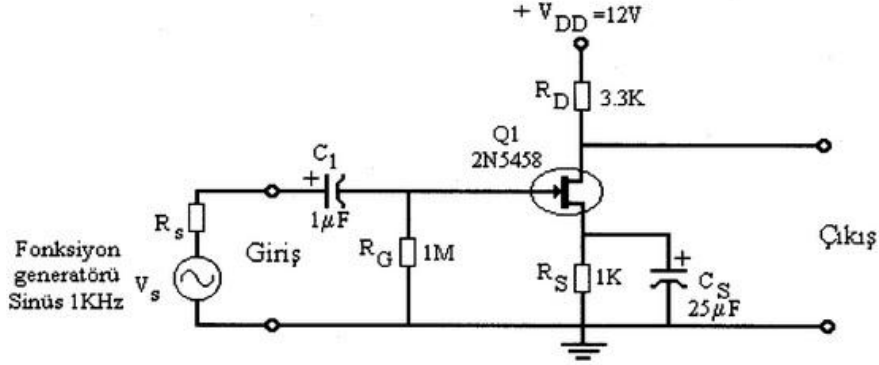
$V_{GS} = -2\text{V}$ için;

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$I_D = 10 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{-2}{-4}\right)^2 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{A olarak bulunur.}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Şekilde lojik devre şeması verilen ortak source'lu kuvvetlendirme devresini breadboard üzerine kurunuz.



İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şeması verilen devre çift kanallı osilaskop, 1 adet FET 2N5458, 1 adet 1K 1/4W direnç, 1 adet 1M 1/4W direnç, 1 adet 3K3 1/4W direnç, 1 adet 25µF 25V kondansatör, 1 adet 1 µF 25V kondansatör, 12V güç kaynağı temin ediniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ FET' in bağlantı uçlarını tespit ediniz. ➤ Devreyi breadboard üzerine kurunuz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop bağlantısını yapınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop proplarını devrenin çıkışına bağlayınız. ➤ Maksimum bozulmasız sinyal elde etmek için giriş ayarlarınızı yapınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devreye enerji uygulayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Güç kaynağınızın sabit 12V uçlarını kullanınız. ➤ Gerilimin tam 12V olmasına dikkat ediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gate ucundaki sinyal seviyesini ölçünüz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop bağlantılarını yapıp ölçme işlemi yapınız. Ölçümü kaydediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Drain ucundaki sinyal seviyesini ölçünüz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop bağlantılarını yapıp ölçme işlemi yapınız. Ölçümü kaydediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devrenin gerilim kazancını hesaplayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gerilim kazancını hesaplarken $A_v = V_o / V_i$ formülünden faydalanınız.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal kaynağını çıkartınız. Dc gate gerilimini ölçünüz 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop bağlantılarını yapıp ölçme işlemi yapınız. Ölçümü kaydediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dc source gerilimini ölçünüz 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop bağlantılarını yapıp ölçme işlemi yapınız. Ölçümü kaydediniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deney sonucunu değerlendiriniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yaptığınız ölçüm ve hesaplamalar sonucunu sınıfta arkadaşlarınızla değerlendiriniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () FET, Bipolar Jonksiyon transistörün tüm işlevlerini yerine getirebilen fakat farklı yapı ve karakteristiklere sahip devre elemanıdır.
2. () N kanallı JFET'lerde iletim oyuklarla, P kanallı JFET'lerde ise elektronlarla sağlanır.
3. () JFET anahtar olarak kullanıldığında sapma gerilimi yoktur.
4. () BJT, JFET lere göre daha yüksek ısı kararlılığı sağlayacak şekilde çalıştırılabilir.
5. () JFET, BJT'den daha büyüktür ve bu nedenle entegrelerde yaygın olarak kullanılır.
6. () FET'lerde gate ucu boşta iken drain (D)-source (S) arasından akım geçer.
7. () Çoğaltan tip MOSFET'in gate ucu boşta iken D-S arasından akım geçmez, yalıtıcıdır.
8. () D-S doyma akımı (I_{DSS}): G-S eklemi kısa devre edildiğinde (yani C ucuna 0 volt uygulandığında) D-S uçları arasından geçen minimum akımdır.
9. () D-S kırılma gerimi (V_{DSmaks}): JFET'in D-S uçları arasına uygulanabilecek maksimum gerilim değerini bildirir. Bu değer üzerinde bir gerilim JFET'i bozar.
10. () Alan etkili transistörün (FET) geliştirilmiş tipi genellikle MOSFET olarak bilinen metal oksit yarı iletkenidir.
11. () İzole edilmiş gate özelliğinden dolayı MOSFET'lerin giriş dirençleri son derece yüksek olup elektrodlar arası iç kapasitansı çok küçüktür.
12. () MOSFETLER'de geçiş iletkenliği, $g_m=2 \cdot V_T \cdot (V_{GS}-k)$ formülü ile bulunur.
13. () MOSFET'ler azaltan, artıran ve sabit tipi MOSFET olmak üzere 3 çeşittir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme” ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Transistörlerin sembollerinde ok işaretinin olduğu uç, emiter ucudur.
2. () Transistörler 3 adet katmana (bağlantı ayağına) sahiptir.
3. () Transistörde emiter akımı, beyz ve kollektör akımlarının toplamının yarısına eşittir.
4. () Transistör; hem DC hem de AC yükselteç olarak kullanılabilir.
5. () Transistör üzerinde ayak bağlantıları veya işareti ile ilgili bilgiler bulunabilir.
6. () BJT'in JFET'e göre dezavantajı, kazanç-bant genişliği çarpımının bipolar transistörle elde edilebilene kıyasla küçük olması ve çabuk hasar görebilmesidir.
7. () Azaltan tip MOSFET'in D-S arası direnci FET'in D-S arası direncinden büyüktür.
8. () JFET'lerin polarmalandırılması iki farklı yolla gerçekleştirilebilir.
9. () MOSFET'ler N kanal azaltan MOSFET ve P kanal azaltan MOSFET olmak üzere ikiye ayrılırlar.
10. () N kanallı azaltan tip MOSFET sembolünde ok işareti dışarı yöndedir.
11. () MOSFET'lerde, JFET'lere ve klasik transistörlere göre gürültü daha çok olup band genişliği daha azdır.
12. () JFET'lerin polarmalandırılmasında self polarma devresi yönteminde V_{GG} kaynağı kullanılması kesinlikle gereklidir.
13. () JFET'ler yayıma (radyasyon) karşı nispeten duyarsızdır. BJT'ler ise çok duyarlıdır. Özellikle beta değeri çok etkilenir.
14. () JFET'lerde bağlantı ayakları transistör bağlantı ayakları ile kıyaslandığında kollektörün karşılığı source, emiterin karşılığı drain, beyzin karşılığı da gate'dir.
15. () JFET'lerde herhangi bir noktadaki ID akımını hesaplamak istersek $I_D = I_{DSS} \cdot (1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2$ formülü kullanılır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Yanlış
4	Yanlış
5	Yanlış
6	Doğru
7	Doğru
8	Yanlış
9	Yanlış
10	Doğru

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Doğru
4	Yanlış
5	Yanlış
6	Doğru
7	Doğru
8	Yanlış
9	Doğru
10	Doğru
11	Doğru
12	Yanlış
13	Yanlış

MODÜL DEĞERLENDİRME'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Yanlış
4	Doğru
5	Doğru
6	Yanlış
7	Doğru
8	Yanlış
9	Yanlış
10	Doğru
11	Yanlış
12	Yanlış
13	Doğru
14	Yanlış
15	Doğru

KAYNAKÇA

- BOYLESTAD Robert, Louis NASHELSKY, **Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi**, Devlet Kitapları Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000.