

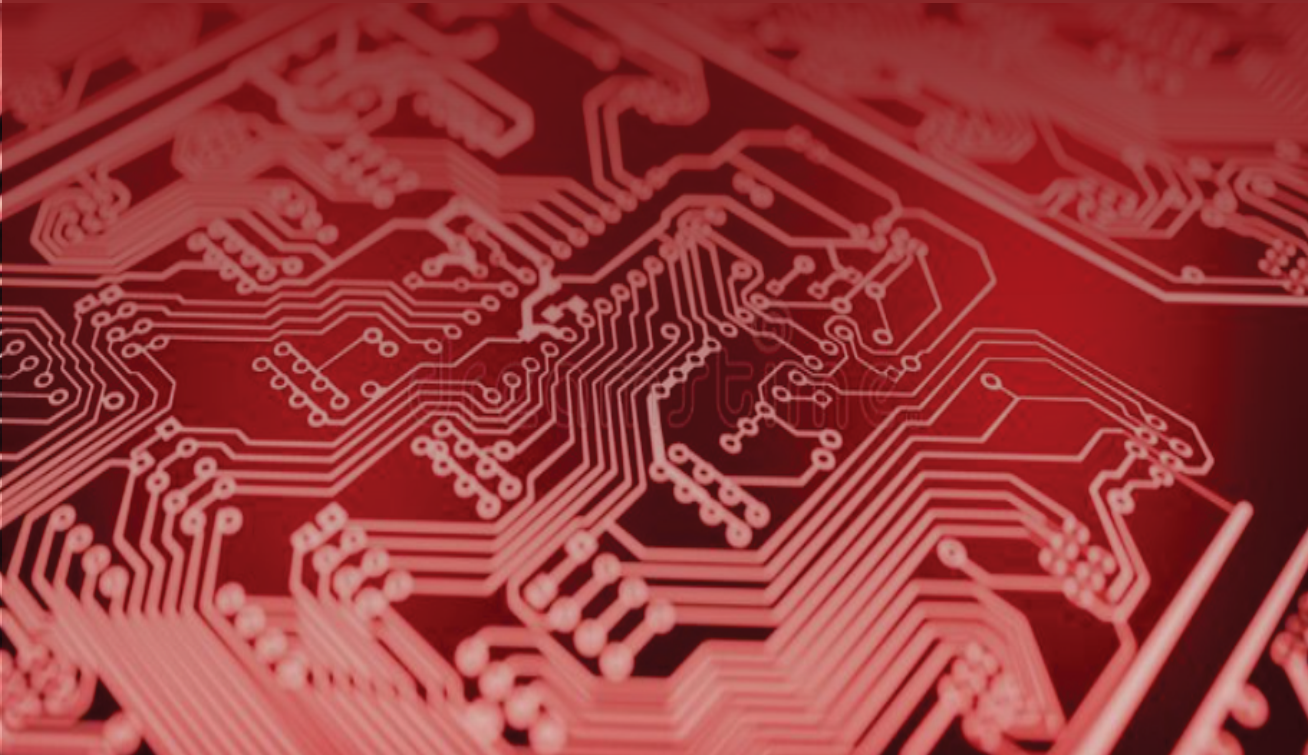
**Nataša  
Bojinovska**

**Sofiya  
Temkova**

# **ELEKTRONİK**

**II (ikinci) sınıflar için ders kitabı**

**Elektroteknik mesleği/ elektroteknik bölümü**



**Elektrik teknisyeni - enerji teknisyeni  
eğitim profili/niteliği**

**Nataša Bojinovska,  
Sofiya Temkova**

# **ELEKTRONİK**

**II (ikinci) sınıflar için ders kitabı**

**eğitim profili/niteliği**

**Elektrik teknisyeni - enerji teknisyeni**

**elektroteknik mesleği  
elektroteknik bölümü**

## **ELEKTRONİK**

II (ikinci) sınıflar için ders kitabı  
eğitim profili/niteliği

**Elektrik teknisyeni - enerji teknisyeni**  
**elektroteknik mesleği**  
**elektroteknik bölümü**

### **Yazarlar:**

Nataša Bojinovska  
Sofiya Temkova

### **İnceleyenler:**

Fadil Ayredini  
Toni Panov  
Nikola Deçev

### **Çizimci**

Nataša Bojinovska

### **Kapak yapımı:**

Yovan Molkoski

### **Orijinal baskının başlığı:**

ЕЛЕКТОРНИКА

учебник за II година

образовен профил/квалификација: Електротехничар – енергетичар

**електротехничка струка/  
сектор електротехника**

Наташа Божиновска

Софија Темкова

### **Yayımcı**

Kuzey Makedonya Cumhuriyeti Eğitim ve Bilim Bakanlığı  
sk. "Sv. Kiril ve Metodi" No. 54, 1000 Üsküp

**Makedonca'dan Türkçe'ye çeviri**

Ervin Salih

**Lektör:** Ahmetnafi İbrahim

**Mesleki redaksiyon:** Fehmi Skender

**Editör:** İlker Ali

**Grafik ve teknik düzenleme:** Vladimir Mladenovski - ARS STUDIO

**Yayın yeri ve yılı:** Üsküp, 2024 yılı

Elektroteknik mesleği/bölümü, elektrik teknisyeni-enerji teknisyeni profili/niteliği, 2.sınıflar için Elektronik ders kitabı, Ulusal Ders Kitapları Komisyonu tarafından 28 Mart 2023 tarihli no. 26-643/1 kararıyla kabul edilmiştir.

“Aziz Kliment Ohridski” - Üsküp Ulusal ve Üniversite Kütüphanesi'nin yayımında CIP kataloglaması.

## ÖNSÖZ

**II (ikinci) sınıflar için ELEKTRONİK** ders kitabı, teknik eğitimin modernizasyonu projesi çerçevesinde öğretim programlarında yapılan değişikliklerin sonucudur. Ders kitabının içeriği, elektroteknik mesleği/eletroteknik bölümü, **elektrik Teknisyeni - enerji teknisyeni** eğitim profili/niteliğinden eğitimin **II (ikinci) sınıfları için ELEKTRONİK** konusu 2019 yılı öğretim programıyla uyumludur. Ders kitabının hazırlanması sırasında Eğitim Geliştirme Bürosu tarafından yayınlanan “**Ders Kitabı Hazırlama Konsepti**” ve “**Teknik Eğitimin Modernizasyonu Konsepti**” kılavuzu kullanıldı.

Bu ders kitabının öğretim içeriğine başarılı bir şekilde hakim olmak için fizik, matematik, elektroteknik, elektroteknik malzemeler ve teknik iletişim konularına ilişkin ön bilgi gereklidir. İçerik açısından ders kitabı, teorik bölüm, sayısal ödevler ve laboratuvar alıştırmaları olmak üzere üç ünite halinde kavramsallaştırılmıştır.

Öğretim programına göre ders kitabının teorik kısmı **6 modüler birime** ayrılmıştır.

**1. Enerji elektroniği elemanları.** Başlangıçta elektronik elemanların sınıflandırılması, grafik sembolleri, gerçek görünümleri, yarı iletken diyotların, tek kutuplu ve iki kutuplu transistörlerin, tristörlerin, termistörlerin, fotoelektrik elemanların ve tümleşik devrelerin tanımları verilmiştir. Elektronik elemanlar için elektronik şemaların ve katalog verilerinin okuma şekli de açıklanmıştır.

**2. Diyotlar.** Başlangıçta diyotların polarizasyonu ve akım-gerilim karakteristiği anlatılmıştır. Diyotun anahtar olarak kullanılması, Zener diyotun stabilizasyon özelliği, LED diyotlar ve fotodiyotlar bu modüler biriminin içeriğinin bir parçasıdır: diyot devresindeki elemanların işlevselliğini tespit ederek doğrultucular (yönlendiriciler), sınırlayıcılar, stabilizatörler ve mantıksal devreler gibi diyot devrelerinin gerçekleştirilmesi gösterilmiştir.

**3. Transistörler.** Bu modül, PN-bağlantıların yardımıyla iki kutuplu ve tek kutuplu transistörlerin oluşturulması, bunların özellikleri ve parametreleri, polarizasyon (kutuplanma) yöntemi ve bunların anahtar ve amplifikatör (kuvvetlendirici) olarak rolleri açıklanmıştır.

**4. Tristörler.** Tristörlerin çalışma prensibi, tristör çeşitleri, akım-gerilim karakteristiği ve uyarılma açıklanmıştır. Tristörlerin elektroenerji endüstrisindeki uygulamaları da analiz edilmiştir.

**5. Termistörler ve özel elektronik elemanlar.** Bu modülde, termistörlerin çalışma prensibini ve fotorezistörler (fotodirençler), fototransistörler, fotojeneratörler ve varistörler gibi özel elektronik elemanlar açıklanmıştır. Termistörlerin ve özel elektronik elemanların uygulanması, bunların elektrik devrelerinin analizi ve incelenmesi bu modülün biriminin içeriğinin bir parçasıdır.

**6. Elektronik kurgular ve cihazlar.** Bu modülde enerji sektöründeki elektronik kurgu ve cihaz çeşitleri anlatılarak bağlantı şemaları analiz edilmektedir. Elektronik kurguların ve cihazların alarm sistemleri, video gözetim sistemleri projelerine uygulanması ve bunların güvenlik sistemlerindeki bağlantıları da sunulmuştur. Güvenlik sistemleri için yazılım yapılandırma prosedürü de açıklanmıştır.

Öğrenme sonuçları, öğrencilerin yaşlarına ve psikofiziksel yeteneklerine uygun içerikler çalıştırılarak elde edilir. Her modülde daha önce sunulan konunun en önemli noktaları vurgulayan özetler bulunur, sonunda ise konunun konusal olarak belirlenmesine yönelik sorular bulunmaktadır.

Ders kitabının sayısal ödevlerin bulunduğu bölümde, problemin analiz edilmesi ve edinilen teorik temellerin sentezlenmesi yoluyla çözülmesi gereken ve çözülmüş örnekler ve ödevler verilmiştir.

İçeriklerin sunumunda, materyalin daha kolay öğrenilmesini sağlayacak şekilde basitleştirilmiş matematiksel işlemler ve çok sayıda resimler ve grafik gösterimler kullanılmıştır. Yeni tanımların, bilgi kontrolüne yönelik soruların ve ödevlerin kademeli olarak tanıtılması ve böylece gerekli didaktik yönlerinin karşılanması dikkate alınmıştır.

Laboratuvar alıştırmaları, modüllerin içeriğindeki gerçek şemaların incelenmesine ve pratik olarak uygulanmasına olanak sağlar.

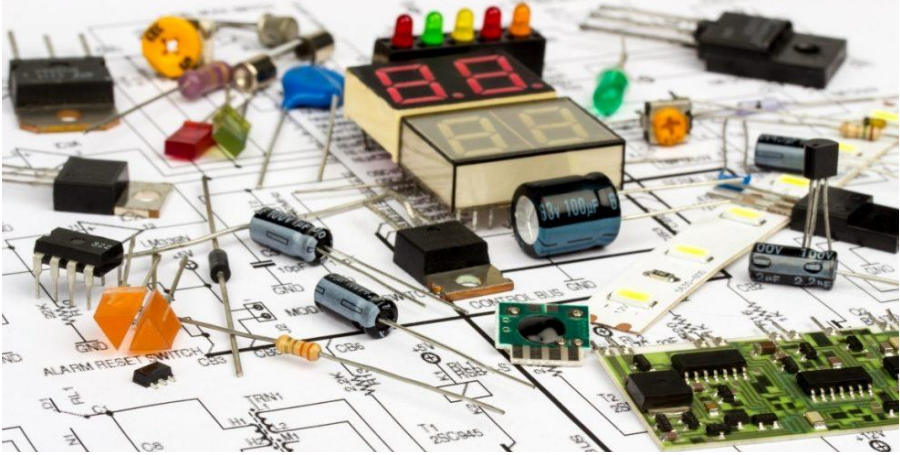
Yazarlar, ders kitabının öğretmenlerin konu öğretimi açısından ihtiyaçlarının yanı sıra öğrencilerin malzemeleri kabul etme ve belirleme konusundaki ihtiyaçlarına da cevap vereceğini umuyorlar.

Yazarlardan

# MODÜLER BİRİM 1

## ENERJİ ELEKTRONİĞİ

### ELEMANLARI



Bu modüler biriminin içeriğini inceleyerek öğrenci elektronik bileşenler hakkında temel bilgiler edinecek ve şunları yapabilecektir:

- Enerjide uygulanan elektronik elemanları sınıflandırmak;
- Enerji elektroniği elemanlarını gerçek görünümlerine göre tanımak;
- Eleman bağlantıları arasındaki farkları açıklamak;
- Elektronik şemaları okumak;
- Enerji elektroniği elemanlarının grafik sembollerini tanımak;
- Enerji elektroniği elemanlarının grafik sembollerini çizmek;
- Enerji elektroniği elemanlarına ilişkin katalog verilerini okumak.

## GİRİŞ

Elektronik, elektronların atomdan emisyonu, davranışları ve etkileri ile elektronik kurgularla ilgilenen bilim dalıdır.

Elektronik son derece geniş bir teknoloji yelpazesini kapsamaktadır. Terim başlangıçta elektronların elektron tüplerinde davranışını ve hareketini incelemek için kullanılıyormuş. Bu terim, elektronların doğası ve bu taneciklerin hareketinden nasıl yararlanılabileceğine ilişkin bilgilerin gelişmesiyle daha geniş bir anlam kazanmış. Günümüzde birçok bilimsel ve teknik disiplin elektroniğın çeşitli yönleriyle ilgilenmektedir. Araştırmalar, transistörler, tümleşik devreler, lazerler ve optik fiberler gibi önemli elektronik elemanların geliştirilmesine yol açmıştır.

Bugün kesinlikle 19. yüzyılda sanayi devrimi kadar önemli olan “elektronik devrim” in çağcılıları olduğumuzu söyleyebiliriz. Bu kavram, elektroniğın hızlı gelişiminin neden olduğu değişikliklerin büyüklüğü ve kapsamı nedeniyle kullanılır - insanlarda, evlerde, işyerinde, eğitim, yaşam beklentisi, doğum ve ölüm şekli. Ayrıca, en büyük etkisi 40 yıllık bir zaman diliminde olmasına rağmen, elektroniğın dünyayı kazandırma hızı nedeniyle. Tabii ki, “devrim” isminin en önemli nedeni, başladıktan sonra artık durdurulamamasıdır.

Her yıl bizi, öncelikle elektronik bileşenlerin yoğun gelişiminin bir sonucu olarak giderek daha büyük sayıda teknolojik yenilikler etkiliyor. Ancak, bu “mucizelerin” gelişimi, gelecekte elektronik bileşenler ve kurguların yapımında beklenenler açısından mütevazıdır.

Elektronik bileşenleri yapma teknolojisi, Moleküler elektronik olarak adlandırılan boyutlarını molekül seviyesine küçültme yönünde devam etmektedir. Entegrasyon derecesini, yani bir çipteki bileşen sayısını artırmanın yanı sıra, çalışmalarının hızını arttırmak da önemlidir. Tabii ki, bu, mevcut malzemeleri diğer yeni malzemelerle değiştirme anlamına gelir, dolayısıyla çalışma prensibi de farklı olacaktır.

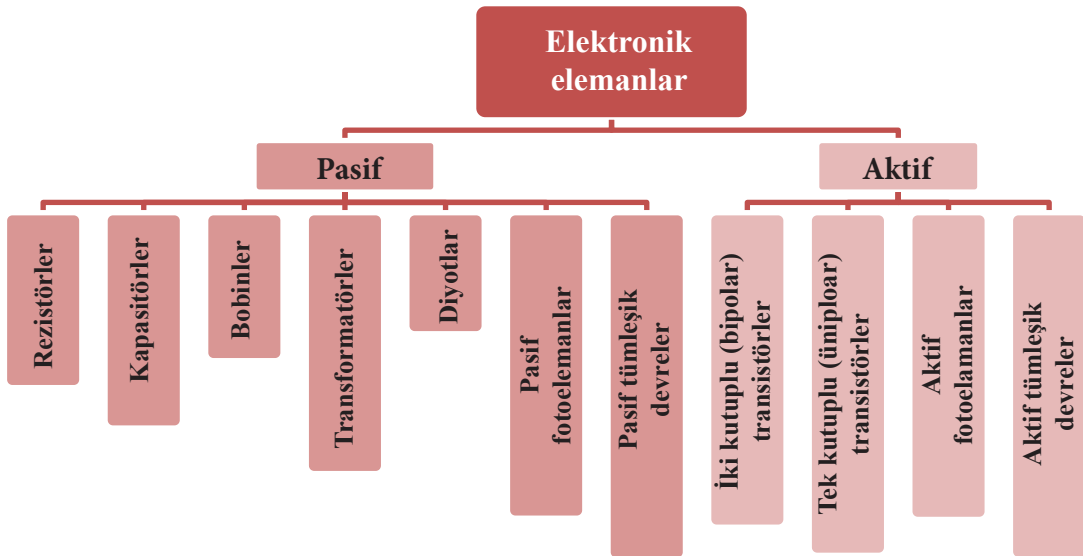
## 1.1 ELEKTRONİK ELEMANLARIN SINIFLANDIRILMASI

Elektronik elemanlar iki temel gruba ayrılıyor: pasif ve aktif.

**Pasif elemanlar**, işlevlerini yerine getirmek için doğrudan bir kaynağın güç vermesi gerekmeyen elemanlardır.

**Aktif elemanlar**, işlevlerini yerine getirmek için doğrudan bir kaynağa sahip olması gereken elemanlardır.

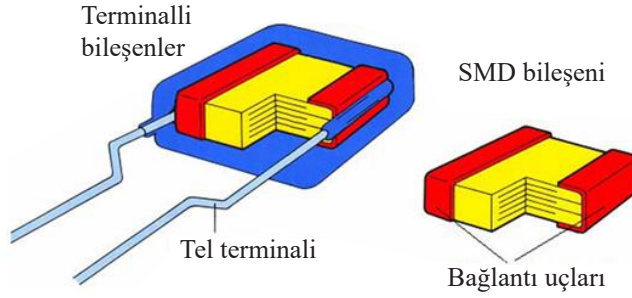
Şekil 1.1’de, temel pasif ve aktif elektronik elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Elektronik bileşenlerin sınıflandırılması

Her elektronik bileşenin, elektrik devresindeki diğer bileşenlere bağlanan **ek-lentilere** sahip olması gerekir. Elektrik eklentilerin türüne bağlı olarak, elektronik bileşenler şunlara ayrılır: Terminallli bileşenler ve yüzey montaj bileşenler (SMD). Bu iki tür arasındaki fark Şekil 1.2’de görülebilir.

## Enerji elektroniği elemanları



Şekil 1.2: Terminalli ve SMD yapılı seramik yaapılı kapasitör

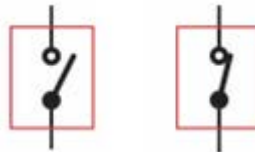
Elektronik elemanların **kasaları**, onları dış etkenlerden (nem, sıcaklık, mekanik hasar) korumak için gereklidir. Ayrıca kasalar, bileşenin elektronik devredeki diğer elemanlarla bağlantısına olanak sağlayacak şekilde yapılmıştır. Terminalli elemanlar için türleri kasanın görünümüne (şekline) göre belirlenir. SMD elemanlarıyla bu mümkün değildir çünkü bunların yalnızca iki şekli vardır: paralel borulu ve silindirik.

**Enerji endüstrisindeki yarı iletken elektronik elemanlara** yarı iletken enerji valfleri de denir. Elektronik devreye bağlandıkları en az iki ucu veya terminali vardır. Birkaç türü vardır: diyot, bipolar (ikikutuplu) transistör, MOSFET transistör, tristör vb.

Tüm bu elemanlar **anahtarlar** olarak kabul edilir, bu nedenle ideal ve gerçek anahtarın özelliklerini karşılaştırmak gerekir.

İdeal anahtarın özellikleri:

1. Kapalı durumdayken anahtardan geçen elektrik akımı sıfırdır.
2. Anahtar açık durumdayken elektrik gerilimi sıfırdır.
3. Açık durumdan kapalı duruma geçiş süresi sıfırdır.
4. Anahtarda geliştirilen (harcanan) güç 0'dır, yani bir durumdan diğerine geçerken herhangi bir kayıp olmaz.



kapalı

açık

Şekil 1.3 İdeal anahtar

Gerçek anahtarın özellikleri:

1. Açık durumda 1 ila 2 V'luk gerilim düşüşü vardır.
2. Güç kaybı meydana gelir, yani bir durumdan diğerine geçerken kayıplar olur.
3. Yüksek komütasyon frekanslarda (bir durumdan diğerine geçiş) ısınma, meydana gelir.

## 1.2 DİYOTLAR

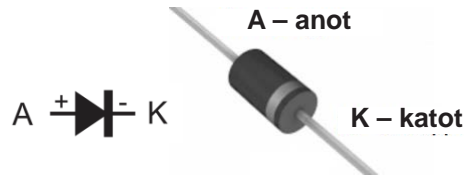
Diyotlar yarı iletken malzemelerden, genellikle silikondan yapılıdır. Bunlar P tipi silikon ve N tipi silikonun kombinasyonudur. Diyotun iki bağlantısı (terminali) vardır: **anot (A)** ve **katot (K)**. Diyot bağlantılarına getirilen potansiyele bağlı olarak iki durumda bulunabilir: doğrudan polarizasyon (iletken) ve ters polarizasyon (iletken değil). Diyotların çalışması şu şekilde açıklanır:

- Diyot sadece tek yönde iletir.
- Diyotun açık durumu uçlarındaki gerilime bağlıdır.

Elektronikteki PN yapısına sahip doğrultucu (yönlendirici) diyottan farklı olarak enerji endüstrisindeki **yönlendirici diyot** PIN yapısına sahiptir. PIN yapısında I, ters kutuplanması sırasında daha yüksek gerilimler için kullanılan içsel yarı iletken katmanını belirtir. Ancak bu katman, diyotun doğrudan kutuplanmasında önemli bir direnç oluşturur, bu nedenle enerji diyotunun, yüksek güç kaybı nedeniyle soğutulması gerekir.

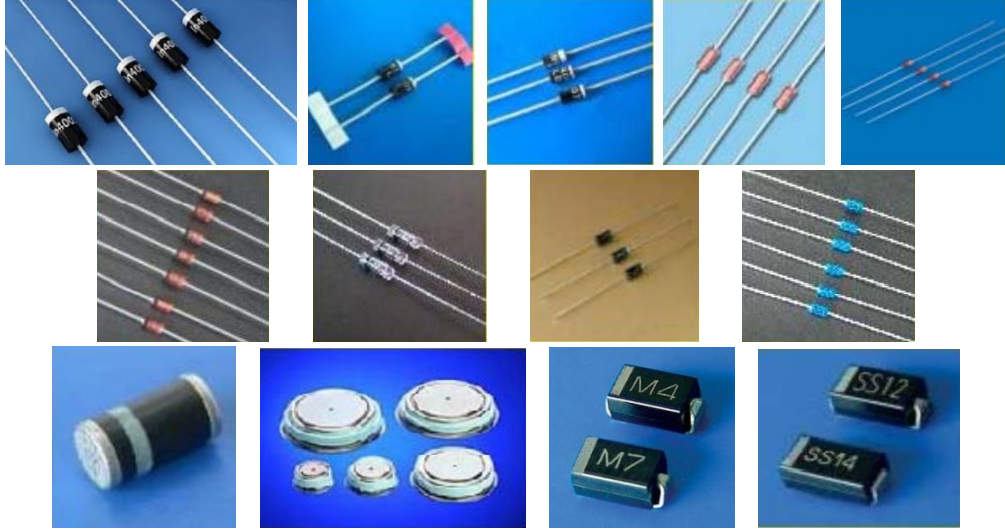
Doğrultucu diyotun bağlantıları sembol üzerinde işaretlenmiştir, şekil 1.4. Bir diyot yalnızca tek yönde, anottan katoda doğru iletir.

Katot bağlantısı genellikle bir halka yardımıyla işaretlenir. Elektrik şemalarda diyot bağlantı yönüne dikkat edilmelidir.



Şekil 1.4: Doğrultucu diyotun grafik sembolü ve bağlantıları

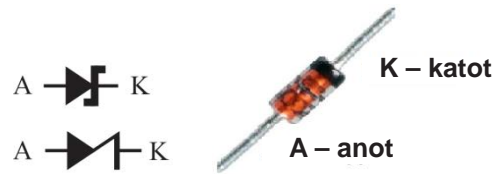
## Enerji elektroniği elemanları



Şekil 1.5 Farklı doğrultucu diyot türleri

**Zener diyot**, doğru gerilimin stabilizasyonu için amaçlı yüzey bağlantılı silisyum diyottur. N ve P alanlarındaki yabancı maddelerin yüzdesinin artması nedeniyle, çalışma alanının olduğu ters gerilimlerde daha iyi özelliklere sahiptir. Bu diyotların özelliği, kasalarının üzerinde de yazılı olan Zener gerilimidir.

Zener diyotunun bağlantıları sembol üzerinde işaretlenmiştir, Şekil 1.6. Zener diyotları, içinden geçen elektrik akımını sınırlamak için rezistörle seri olarak bağlanır. Karakteristik parametreleri kırılma gerilimi ve maksimum güç kaybıdır.



Şekil 1.6. Zener diyotun grafik sembolü ve bağlantıları

Doğrultucu diyotlarda olduğu gibi, katot halkayla belirtilmiştir.



Şekil 1.7: Farklı Zener diyot türleri

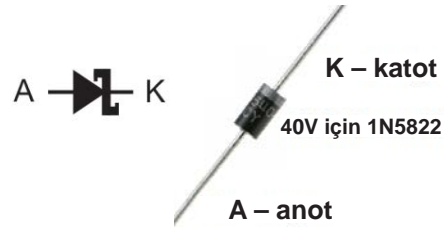
**Kapasitif (varikap veya varaktör) diyot**, uçlarındaki gerilim değişince kapasitansı değişen, yani değişken bir kapasitör gibi davranan diyottur. Bu, PN bağlantısının yapısının değiştirilmesiyle elde edilir, böylece dielektrik gibi davranır.



Şekil 1.8: Varikap diyotun grafik sembolü ve gerçek görünümü

**Schottky diyotu**, metal (alüminyum) ile N türünden bir yarı iletken malzeme arasında temas oluşturularak elde edilir. Bu bağlantı, akımın metal anottan yarı iletken katoda kadar tek yönde akmasına izin verir. Ters yönde diyot açık (kesilmiş) devre gibi davranır.

Şekil 1.9’da Schottky diyotun bağlantıları işaretlenmiştir. 0,3 ila 0,5 V arasında küçük bir gerilim düşüşü ile karakterize edilir.



Şekil 1.9: Schottky diyotun grafik sembolü ve bağlantıları

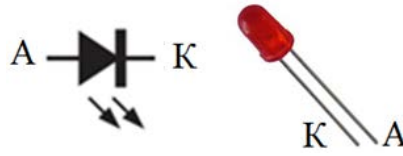
Doğrultucu diyotta olduğu gibi, Schottky diyotta da katot bağlantısı genellikle halka ile işaretlenir, çünkü elektrik şemalarında diyotun bağlanma yönüne dikkat edilmelidir.



Şekil 1.10: Farklı Schottky diyot türleri

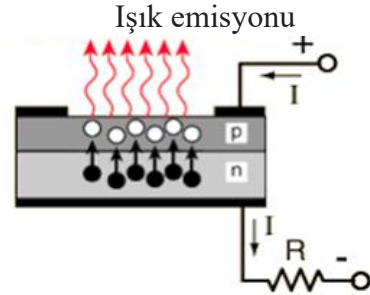
**LED (Light Emitting Diode)** diyotu, fotodiyotun tersi yönde çalışır, yani içinden akan elektrik akımını ışığa dönüştürür. Diyotun yayacağı ışığın şiddeti, diyottan geçen elektrik akımının şiddetiyle doğru orantılıdır.

## Enerji elektroniği elemanları



Şekil 1.11: LED diyotun grafik sembolü ve bağlantıları

Şekil 1.11'deki sembolde işaretlenmiş olan LED diyotun bağlantıları, elektrik devresinde diğer elemanlarla bağlanırken fark etme nedeniyle farklı uzunluklardadır. LED diyotun daha uzun bağlantısı her zaman anottur.



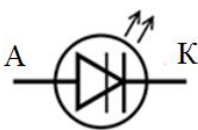
Şekil 1.12: LED diyotun yapısı

LED diyotlar, fotodiyotlar gibi yarı iletken malzemeden - galyum arsenitten yapılıyor. Pratikte yaygın olarak bulunurlar, çok sayıda ekran ve laboratuvar cihazlarında kullanılırlar. Farklı renklerde üretilirler.

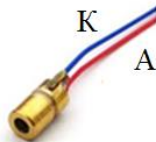


Şekil 1.13: Farklı LED diyot türleri

Çok dar spektrumlu tutarlı ışık üreten LED diyotlar **lazer diyotlar** olarak adlandırılır. Onlar optik iletişim sistemlerinde ve CD çalarlarda kullanılırlar.



Şekil 1.14: Lazer diyotun grafik sembolü ve bağlantıları



Şekil 1.15: Farklı lazer diyot türleri

Bazı lazer diyot türlerinin üç bağlantısı vardır, ancak biri kullanılmaz. Bir elektrik devresindeki diğer elemanlara bağlanırken, **anot** pozitif potansiyele, **katot** ise negatif potansiyele bağlanır, yani topraklanır.

**Tünel diyotu**, yabancı maddelerin yüzdesinin artırılmasıyla elde edilen pn bağlantı bariyeri aracılığıyla tünel etkisine sahiptir. Bu diyot, gerilim arttıkça diyottan geçen akımın azaldığı negatif direnç bölgesi ile karakterize edilir.

Tünel diyotunun bağlantıları Şekil 1.16'daki sembol üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 1.16: Tünel diyotun grafik sembolü ve bağlantıları

Tünel diyotu, bir durumdan diğerine daha hızlı geçişine neden olan yüksek hız ile karakterize edilir.

## UNUTMAYIN..!

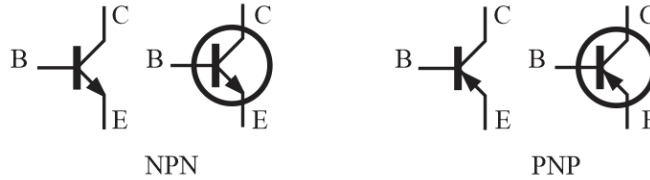
- Enerji sektöründeki tüm elektronik elemanlar anahtar olarak kullanılır.
- Doğrultucu diyot, elektrik akımını anottan katoda sadece tek yönde iletir.
- Zener diyotu doğru gerilim stabilizatörü olarak kullanılır.
- Kapasitif diyotu, uçlarına bağlanan gerilim değişikliği ile değişken kapasitör gibi davranır.
- Schottky diyotu, akımın tek yönde, metal anottan yarı iletken katoda kadar akmasını sağlar.
- Tünel diyotunun en önemli özelliği uçlarındaki gerilimin artırılması içinden geçen akımın azalmasıdır.
- LED diyotu, içinden geçen elektrik akımını ışık enerjisine dönüştürür.

## 1.3 TRANSİSTÖRLER

Transistör terimi İngilizce TRANSfer-resİSTOR kelimelerinden oluşur ve “transfer direnci” veya kontrol edilebilen direnç olarak tercüme edilir. Diyotlardan farklı olarak transistörler üç bağlantısı (terminali) olan elektronik bileşenlerdir. İki grup transistör vardır: **bipolar (iki kutuplu) transistörler** (BJT) ve **alan etkili transistörler** (FET-Field Effect Transistor) ya da tek kutuplu transistörler. Tek kutuplu transistörler, bipolar olanlardan daha küçük boyutlara ve daha basit üretim sürecine sahiptir, bu nedenle pratikte çok sık kullanılırlar.

### 1.3.1 BİPOLAR TRANSİSTÖRLER

**Bipolar (ikikutuplu) transistörler** (BJT-Bipolar Junction Transistor) iki pn bağlantısına, üç bağlantıya sahiptir ve genellikle silisyumdan yapılır. Yarı iletkenin türüne bağlı olarak iki tür bipolar transistör vardır – NPN ve PNP, Şekil 1.17.



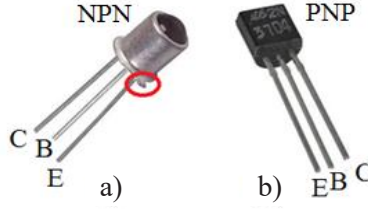
Şekil 1.17 Bipolar transistörler için grafik semboller

Bağlantılar transistörün üç alanından bağlanabilir:

1. **Emitör (E)** adı verilen, elektrik taşıyıcılarının oluşturulduğu transistörün alanı;
2. **Base (B)** olarak adlandırılan, üretilen elektrik taşıyıcılarının getirildiği (enjekte edildiği) alan;
3. **Kolektör (C)** adı verilen tabandan elektrik taşıyıcılarının geldiği alan.

Elektronikte kullanılan bipolar transistörlerin yapısı açısından kolektör ve emittör bileşenin aynı tarafındadır. Enerji endüstrisinde kullanılan bipolar transistörlerin

yapısında bulunan emitör ve kolektör, daha yüksek gerilimlerde çalışabilmelerini sağlamak amacıyla bileşenin karşıt taraflarında yer almaktadır.



Şekil 1.18 a) metal kasalı; b) plastik çentikli kasalı transistörün bağlantıları

**Metal kasalı** bipolar transistörlerde (Şekil 1.18a), bağlantılar (pinler) dairesel şekilde yerleştirilir. NPN türünde **kasa işaretine** en yakın emitör sonra beyz, sonra kolektör bulunmaktadır. Fakat PNP türünde çıkıntılar terminaller ters sıradadır. Ancak tüm türler için standart bir pin konfigürasyonu yoktur, dolayısıyla doğru bağlantı için seçilen transistörün teknik özellikler listesine bakmak gerekir.

**Plastik çentikli kasalı** bipolar transistörlerde (Şekil 1.18 b) NPN ve PNP transistörlerdeki emitör (E) ve kolektör (C) pinleri ters konumdadır. Transistörün elektrik devresindeki diğer elemanlara doğru bağlanması, doğru çalışması ve devrenin çalışması açısından çok önemlidir.

Bipolar transistörün temel özelliği kuvvetlendirmedir (amplifikasyon), yani transistörün girişinden gelen sinyal transistörün çıkışında kuvvetlendirilmiş olarak elde ediliyor.



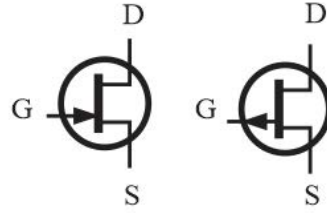
Şekil 1.19 Farklı bipolar transistör türleri

### 1.3.2 TEK KUTUPLU TRANSİSTÖRLER

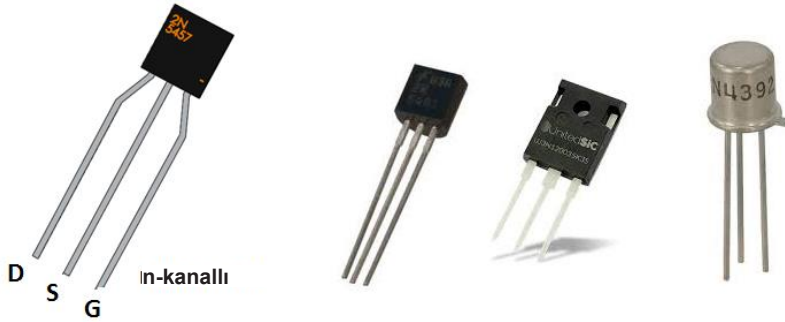
İki tür alan etkili transistör vardır: **birleşim FET** (**JFET**-Junction **FET**) ve **MOSFET** (**Metal-Oxide Semiconductor FET**).

**Birleşim FET transistörleri** (JFET-Junction Field Effect Transistor), yarı iletkenin yüzeyinde elektrik alanı oluşturan uçlarına gerilim getirilerek çalışırlar. Transistörden geçen akım sadece tek tip yük taşıyıcılardan oluşur, bu nedenle tek kutuplu transistörler grubunda sınıflandırılırlar.

Kartın yarı iletken malzemesinin türüne bağlı olarak iki tür JFET transistörü vardır: N-kanallı ve P-kanallı. Bipolar transistörlerin emitör, beyz ve kolektör bağlantılarına karşılık gelen üç bağlantısı vardır: **Source (S)**, **Gate (G)** ve **Drain (D)**, şekil 1.20.



Şekil 1.20: a) N-kanallı; b) P-kanallı JFET için grafik semboller



Şekil 1.21. N-kanallı JFET'in bağlantıları ve türleri

Kanal tipine ve transistörün türüne bağlı olarak transistörün bağlantılarında farklılık vardır. Bu nedenle uygun bir JFET seçerken ve bir elektrik devresine doğru şekilde bağlanması için üretici tarafından verilen teknik özelliklerin okunması gerekir.

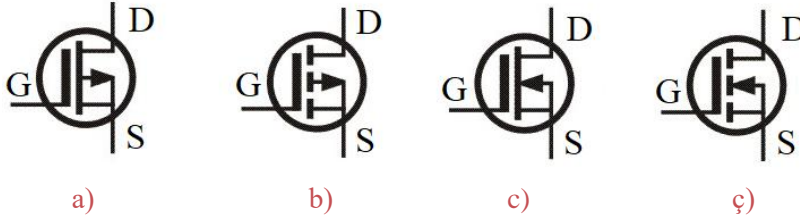
**MOSFET transistörleri** (Metal-Oxide Semiconductor FET), iletim sürecine iki tür yük taşıyıcının (elektronlar ve boşluklar) katıldığı bipolar transistörlerden farklı olarak yalnızca bir tür yük taşıyıcıya sahiptir.

MOS transistörlerin en büyük avantajı, akım kontrollü bipolar transistörlerden farklı olarak gerilim kontrollü bileşenler olmalarıdır.

MOS transistörler alan etkili transistörler (FET - Field Effect Transistor) grubuna aittir, dolayısıyla MOSFET adıyla da rastlanabilirler.

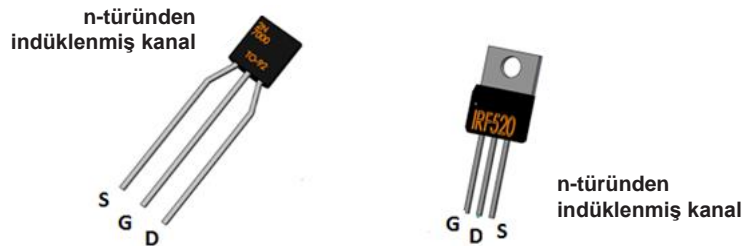
MOS transistörlerinin üç bağlantısı vardır: bipolar transistörlerde emitter, beyz ve kollektör terminallerine karşılık gelen **Source (S)**, **Gate (G)** ve **Drain (D)**.

İki tür MOSFET transistörü vardır: İndüklenmiş kanallı MOSFET (kutuplanma sırasında oluşturulan kanal) ve yerleşik kanallı MOSFET (üretim işlemi sırasında oluşturulan kanal), Şekil 1.22.



Şekil 1.22: a) P-türünden yerleşik kanallı MOSFET'in; b) P-türünden indüklenmiş kanallı MOSFET'in; c) N-türünden yerleşik kanallı MOSFET'in; d) N-türünden indüklenmiş kanallı MOSFET'in sembolleri

Enerji endüstrisinde kullanılan MOS transistörler (daha yüksek gerilimler için) düşük gerilim için kullanılan transistörlere göre farklı yapıya sahiptir. Enerji endüstrisindeki MOS transistörleri, Source'un ve Drain'in silisyum katmanının karşıt taraflarında olduğu dikey kanal yapısına sahiptir. Bu, transistörün yüksek gerilim ile çalışma yeteneğini artırır.

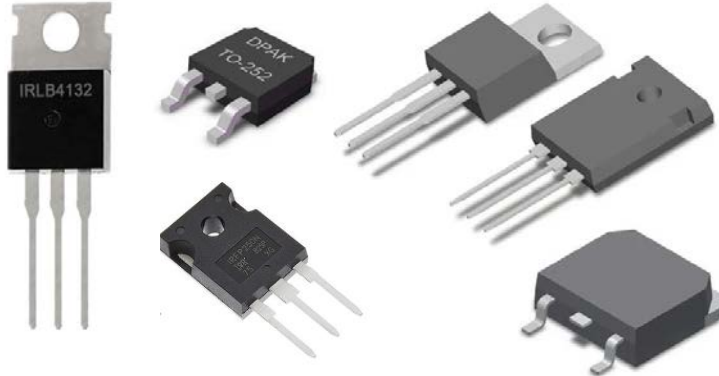


Şekil 1.23 MOSFET transistörlerin bağlantıları

Şekil 1.23'te, iki farklı MOSFET transistör türündeki bağlantıların (pinlerin) düzeninin, aynı tür için (N-türünden indüklenmiş kanallı) farklı olduğu görülebilir. Bu

## Enerji elektroniği elemanları

yüzden, uygun bir MOSFET seçerken ve bir elektrik devresine doğru şekilde bağlanması için üreticinin verdiği teknik özellikleri okumak gerekir.

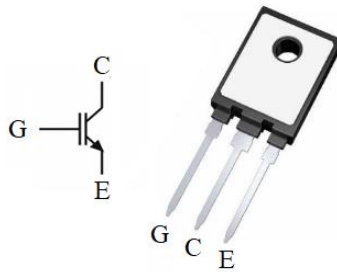


Şekil 1.24: Farklı MOSFET transistör türleri

**İzole edilmiş gate'li bipolar transistörler** (IGBT-Insulated Gate Bipolar Transistor) - bipolar (birleşim) transistörlerin ve MOS transistörlerin avantajlarını birleştirir.

IGBT transistörlerin üç bağlantısı vardır: **emitör (E)**, **kollektör (C)** ve kontrol elektrodu olan **Gate (G)**, şekil 1.25.

İzole edilmiş gate'li bipolar transistör, gate'e getirilen gerilim ile yönetilir. Güçlü MOSFET transistörlerinde gibi yüksek giriş empedansa sahiptir, ancak bipolar transistörler gibi düşük güç kayıplarına sahiptir. Bu transistörler uygulamada BJT ve MOS transistörlerin neredeyse tamamen yerini almıştır, ancak belirli bir dezavantajları vardır, bu da anahtar olarak çalışırken kapanma süresinin artmasıdır.



Şekil 1.25 IGBT transistörün grafiksel sembolü ve terminalleri

Şekil 1.25’de gerçek bir IGBT transistörün bağlantıları da gösterilmiştir, ancak MOSFET’te olduğu gibi, elektrik devresine doğru bağlanmak için üretici tarafından verilen teknik özelliklerin okunması gerekir.

İzole edilmiş gate’li bipolar transistörlerin, invertörler, dönüştürücüler ve güç kaynakları gibi cihazlarda, yani bipolar ve MOSFET transistörlerin eksiklikleri nedeniyle kullanılmadığı yerlerde geniş uygulama alanı vardır.

İzole edilmiş gate’li bipolar transistörler, onlara güç sağlamak için kullanılan yataklara (modüllere) yerleştirilir. Şekil 1.26, bunların kurulumu ve güç kaynağı için kullanılan transistörleri ve modülleri göstermektedir.



Şekil 1.26: IGBT transistörleri ve modülleri

### UNUTMAYIN..!

- İki grup transistör vardır: bipolar (iki kutuplu) ve ünipolar (tek kutuplu).
- Bipolar transistörün iki PN bağlantısı ve üç elektrotu vardır: emitör (E), beyz (B) ve kollektör (C).
- İki grup tek kutuplu transistör vardır: birleşim FET’leri ve MOSFET transistörleri.
- Tek kutuplu transistörlerin üç bağlantısı vardır: Source (S), Gate (G) ve Drain (D).
- İzole edilmiş gate’li bipolar transistör, her iki transistör türünün avantajlarına sahiptir: bipolar ve MOSFET transistörler.

## 1.4 TRİSTÖRLER

**Tristör**, enerji endüstrisinde, özellikle elektrik motor sürücülerinde ve enerji dönüştürücülerde en çok kullanılan bileşendir. Üç PN bağlantısı içeren çok katmanlı bir yarı iletken elemandır. “Açılması” için gate’in gerilim alması gerekir. Aslında, kontrol-lü doğrultucu diyot gibi davranır.

Tristörün üç bağlantısı vardır: **anot (A)**, **katot (K)** ve kontrol elektrodu olan **gate (G)**, şekil 1.27.



Şekil 1.27: Tristörün grafik sembolü ve bağlantıları

Tristör de, diyot gibi elektrik akımını yalnızca bir yönde iletir, ancak bir diyot-tan farklı olarak iki şekilde çalışabilir: kontrol elektrot gate’ine bağlı olarak anahtar olarak veya doğrultucu olarak.

Birkaç tür tristör vardır, ancak en sık kullanılanları inceleyeceğiz: **SCR**, **GTO**, **diak** ve **triyak**.

**SCR** (Silicon Controlled Rectifier) tristörü, P-N-P-N yapılı üç PN bağlantısına ve dört kat yarı iletken silisyum malzemeye sahiptir. Yüksek akım ve gerilimlerde çalışmak için öngörülüyor. Akım için değer genelde 1,5 kA’dır, gerilim için ise 10 kV’dır, bu da 15 MW güce karşılık gelir. Bu güç gate’te sadece 1A’lık akımla yönetilebilir.

SCR tristörünün üç bağlantısı vardır: **anot (A)**, **katot (K)** ve **gate (G)**.



Şekil 1.28: SCR tristörün bağlantıları

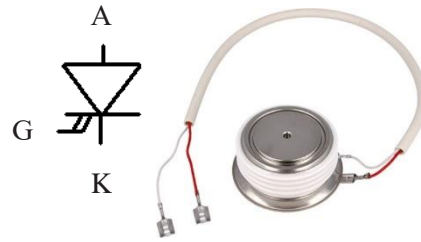
İki durumlu anahtar olarak çalışır:

- Gate'e akım geldiğinde (akım darbesi şeklinde) ve doğrudan kutuplu olduğu sürece iletir;
- Gate'te yeterli akım olduğu sürece açık kalır, aksi takdirde kapanır.

SCR tristörü, çeşitli tüketiciler için AC ve DC güç kaynağını kontrol etmek için uygulanır. Bir devreyi açmak veya kapatmak veya belirli bir tüketiciye giden gücü kontrol etmek için kullanılır.

**GTO (Gate Turn-Off)** tristörü gate'teki akım ile yönetilir. Gate'te pozitif akım darbesiyle açılır ve negatif akım darbesiyle kapanır. Anahtar gibi çalışır.

GTO tristörünün üç bağlantısı vardır: **anot (A)**, **katot (K)** ve **gate (G)**.



Şekil 1.29: GTO tristörün grafik sembolü ve gerçek görünümü

GTO tristörü, SCR tristörüne kıyasen bir durumdan diğerine çok daha hızlı geçiş yapıyor, ancak uçlarında daha yüksek gerilim düşüşü vardır.

**Diak (Diac-Diode AC switch)**, iki PN bağlantı noktasına sahip üç katmanlı yarı iletken elemandır, ancak transistörden farklı olarak, **A1** ve **A2** ile işaretlenmiş yalnızca iki bağlantısı vardır, Şekil 1.30.

Diak, yönetmeyen veya güçlendirmeyen elektronik bileşenidir, çift **yönlü anahtarlama diyotu** gibi davranır ve her iki yönde elektrik akımını iletir.



Şekil 1.30: Diak'ın grafik sembolü

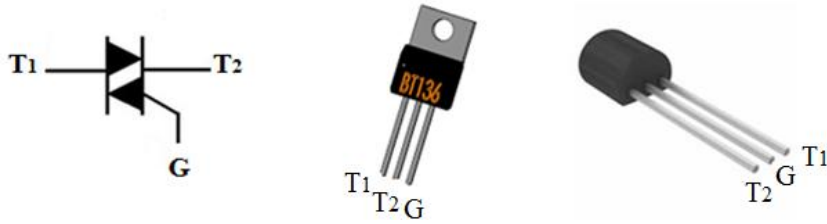
Diak genelde diğer yarı iletken anahtarlama cihazlarını, en yaygın olarak SCR tristörünü veya triyakı aktive eden eleman olarak kullanılır.

## Enerji elektroniği elemanları



Şekil 1.31 Diak

**Triyak** (TRIAC), sinüs dalgasının her iki yönündeki alternatif (AC) gerilimi kesebilen veya kontrol edebilen, sıkça kullanılan ve hızlı bir yarı iletken elemandır. Bu, gate kontrol elektrotuna getirilen hem pozitif hem negatif gerilim ile açılacağı anlamına gelir. Üç bağlantısı vardır: **T1**, **T2** ve **gate (G)** (kontrol elektrodu), şekil 1.32.



Şekil 1.32: Triyakın grafik sembolü ve bağlantıları

Önceki elemanlarda olduğu gibi, farklı triyak türleri olduğundan, elektrik devresine doğru şekilde bağlanması için üretici tarafından verilen teknik özelliklerin okunması gerekir.

Triyak, ışık yoğunluğunun düzenlenmesi, motor hızı kontrolü vb. için kullanılır. Bu tür devreleri yönetmek için triyak kullanıldığında ortaya çıkan sorunlardan biri, diyot gibi tristörün de tek yönlü eleman olmasıdır, yani elektrik akımını sadece bir yönde, anottan katoda iletmesidir.



Şekil 1.33: Farklı triyak türleri

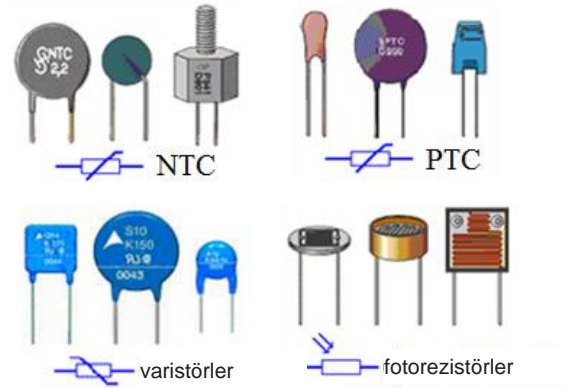
## UNUTMAYIN..!

- Tristör elektrik akımını yalnızca bir yönde iletir, ancak diyottan farklı olarak iki şekilde çalışabilir: kontrol elektrotu olan gate'e bağlı olarak anahtar veya doğrultucu olarak.
- Tristörün üç bağlantısı vardır: anot (A), katot (K) ve yönetici gate elektrotu (G).
- Diyot çift yönlü anahtarlama diyotu gibi davranır ve elektrik akımını her iki yönde iletir.
- Triyak her iki yönde alternatif (AC) gerilimi kesebilir veya kontrol edebilir.

## 1.5 DOĞRUSAL OLMAYAN DİRENÇ DEĞİŞİMİ OLAN REZİSTÖRLER

Direnci dış etkenlere (sıcaklık, ışık, elektrik alanı, mekanik kuvvet vb.) bağlı olan rezistörler elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dirençteki değişim, değişimin nedeni ile doğrusal değildir, bu nedenle bunlara doğrusal olmayan rezistörler denir.

Şekil 1.34'de **doğrusal olmayan rezistörlerin** temel türleri gösterilmiştir.



Şekil 1.34: Doğrusal olmayan rezistörler

## 1.5.1 TERMİSTÖRLER

**Termistörler**, direnci sıcaklıkla değişen rezistörlerdir. Isıtma şekline bağlı olarak bu rezistörler doğrudan ve dolaylı ısıtmalı termistörlere ayrılır.

Termistörler sıcaklık sensörleri olarak kullanılır. Yangın alarmlarında, fırınlarda ve buzdolaplarında kullanılırlar. Ayrıca su veya yağ sıcaklığını, egzoz gazı sıcaklığını veya araç içi sıcaklığını vb. ölçmek için de kullanılırlar.

İki temel termistör türü vardır: negatif sıcaklık direnç katsayılı (NTC rezistörleri) ve pozitif sıcaklık direnç katsayılı (PTC rezistörleri veya pozitörler).

**NTC rezistörleri** nispeten büyük negatif sıcaklık direnç katsayısına sahip termistörlerdir. Genellikle polikristal oksit yarı iletken malzemelerden yapılırlar.

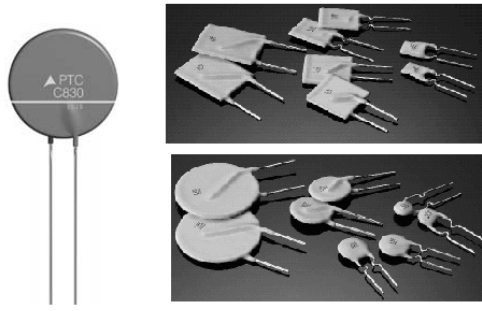


Şekil 1.35: NTC rezistörler

NTC rezistörünün gövdesi çubuk, disk veya inci şeklinde yapılıdır. Bazen cam ampulün içine minyatür inci şeklindeki rezistörler yerleştirilir. Çok uzun terminallere (bağlantılara) sahip olmaları karakteristiktir. Termistörlerin bağlantılarının polaritesi yoktur ve her iki yönde bağlanabilir. Genellikle elektrik devrelerinde rezistörle seri olarak bağlanarak gerilim ayırıcı oluştururlar.

Çubuk şeklindeki rezistörlerin gücü birkaç watt'tır, disk şeklindeki rezistörlerin gücü ise en fazla 1W'tır. İnci şeklindeki rezistörlerin gücü birkaç mW olup en düşük güce sahiptir.

**PTC rezistörleri** (pozitörler), büyük pozitif sıcaklık direnç katsayısına sahip termistörlerdir. Çoğu zaman pozitronlar, polikristal yapıya sahip baryum titanat seramik üzerine yapılıdır.



Şekil 1.36 Akım sınırlama PTC rezistörleri

Akım sınırlayıcı olarak (koruma için), sıcaklık sınırlayıcı olarak, renkli katot tüplerinin manyetikliğini gidermek için, motor koruması için, telefon endüstrisinde akımın ayarlanması için, telefon hatlarının korunması vb. için kullanılırlar.



Şekil 1.37: Sensörlü sıcaklık sınırlama ve telefonlarda akımın sınırlanması için PTC rezistörler

NTC termistörlerinde olduğu gibi, PTC termistörlerinin bağlantılarının polaritesi yoktur ve her iki yönde bağlanabilir. Genellikle elektrik devrelerinde rezistörle seri olarak bağlanarak gerilim ayırıcı oluştururlar.

## 1.5.2 VARİSTÖRLER

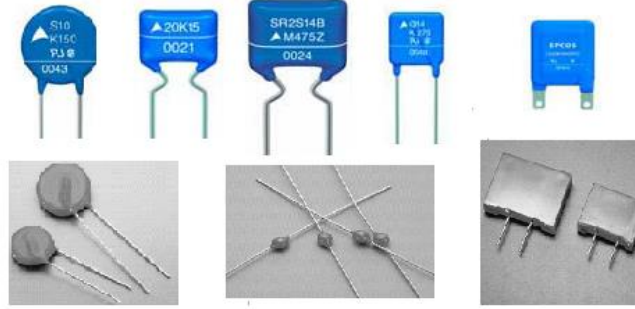


Şekil 1.38: Varistörün grafiksel sembolü

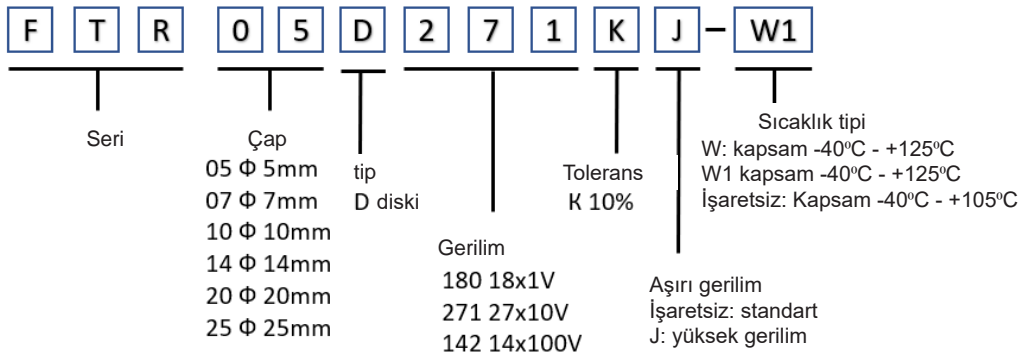
**Varistörler** veya **VDR** (Voltage Dependant Resistor), elektrik alanının gücündeki, yani çıkışlarına bağlı gerilimdeki değişikliklerle direnci doğrusal olmayan şekilde değişen rezistörlerdir. Tam olarak, uçlardaki gerilimin artmasıyla dirençleri azalıyor. Literatürde ve elektrik şemalarda **MOV** (Metal Oxide Varistors) ismiyle de bulunurlar.

## Enerji elektroniği elemanları

Çinko oksitten iki biçimde yapılırlar: blok (dörtgen) veya disk (kapasitör gibi). Çoğunlukla devrelerde, özellikle yüksek gerilimlerde gerilim stabilizasyonu ve koruması için kullanılırlar. Diğer tüm rezistörlerde olduğu gibi bağlantıların polaritesi yoktur ve her iki yönde bağlanabilirler. Elektrik tesisatını korumak için sigortaya seri, güç kaynağına paralel bağlanırlar. Yarı iletken anahtarları korumak için kullanıldığında transistöre, MOSFET'e veya tristöre paralel bağlanırlar.



Şekil 1.39: Varistörler



Şekil 1.40: Varistörlerin işaretlenmesi

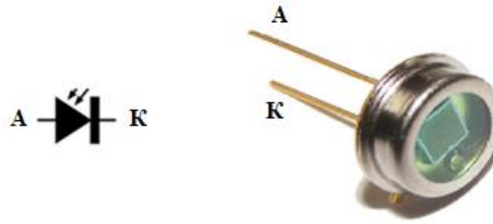
## UNUTMAYIN..!

- Termistörler, dirençleri sıcaklıkla değişen rezistörlerdir.
- Termistörlerin iki temel türü vardır: NTC rezistörleri ve PTC rezistörleri.
- Varistörler, uçlarındaki gerilim arttıkça direnci azalan rezistörlerdir.

## 1.6 FOTOELEKTRİK ELEMANLAR

Yarı iletkenin aydınlatıldığı sırasında çoğunluk ve azınlık taşıyıcılarının konsantrasyonu artar. Buna **iç fotoelektrik etkisi** denir.

**Fotodiyot**, PN bağlantı bariyeri ışık altında kaldığında foto akımın içinden akması prensibine göre çalışıyor. Fotoakımın gücü, buna neden olan ışığın yoğunluğuyla doğru orantılıdır. Bu diyot ışığı elektrik sinyallerine dönüştürmek için kullanılabilir.



Şekil 1.41: Fotodiyotun grafik sembolü ve bağlantıları

Fotodiyotun iki bağlantısı vardır:sembolde işaretlenmiş **anot (A)** ve **katot (K)**, Şekil 1.41. Fotodiyotun bağlantıları, elektrik devresindeki diğer elemanlara bağlanırken bunları ayırt etmek için farklı uzunluklardadır. Diyotun uzun bağlantısı her zaman anottur. Fotodiyotun bağlanması çok basittir, katot pozitif gerilime, anot ise topraklama rezistörüne bağlanır. Işık fotodiyotun üzerine düştüğünde, rezistör üzerinden elektrik akımının geçmesine neden olur ve bu da diyot uçlarında gerilimin düşüşüne neden olur.

Fotodiyotlar genelde yarı iletken bir malzemeden - galyum arsenitten üretilir. Bu diyot, pratikte optik kablolarda çok geniş uygulama alanı bulan fotoelektronik bileşenler ailesinin önemli bir elemanıdır. Onlar, büyük miktarda bilginin uzun mesafelerde sinyali zayıflatmadan iletilmesini sağlıyorlar. Ayrıca, veri kaydetme ortamlarında da kullanılırlar.



Şekil 1.42: Farklı fotodiyot türleri

## Enerji elektroniği elemanları

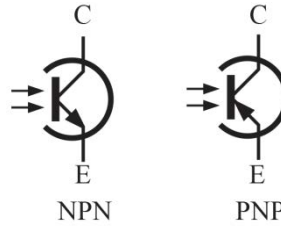
**Fotorezistörler** (LDR-Light Depending Resistor), direnci ışığın etkisi altında azalan yarı iletken rezistörlerdir. Yarı iletken fotorezistörlerin çalışması fotoiletkenlik etkisine (iç fotoelektrik etkisi) dayanmaktadır. Kadmiyum sülfür, kadmiyum selenit, çinko sülfürden, kızılötesi radyasyon alanı için kurşun sülfür, indiyum antimonit vb.'den yapılırlar. Genellikle dirençli malzeme yalıtkan bir alt tabakaya uygulanır ve ardından şeffaf bir malzeme ile kaplanır.



Şekil 1.43: Fotorezistörün grafik sembolü ve gerçek görünümü

Diğer tüm rezistörlerde olduğu gibi bağlantıların polaritesi yoktur ve her iki yönde bağlanabilir.

**Fototransistör**, fotodiyota küçük bir emitör eklenerek elde edilir. Büyük bir kollektör bağlantı noktasına sahiptir ve ışık genel olarak kollektör bağlantı noktasına etkiler. Işığın transistör yapısına düşebilmesi için transistör şeffaf bir kasa içine yerleştirilmiştir, böylece ışık transistör yapısına düşebilir. Onun iki bağlantısı vardır: **emitör (E)** ve **kollektör (C)**.



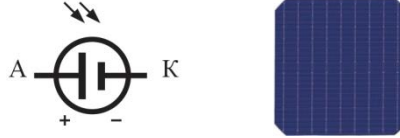
Şekil 1.44: NPN ve PNP fototransistörün grafik sembolü



Şekil 1.45: Fototransistör ve bağlantıları

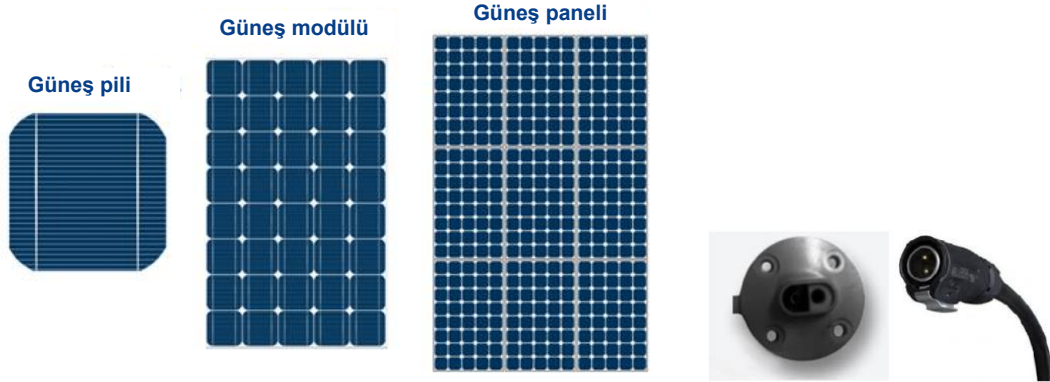
Kollektör, fototransistörün uzun bağlantısıdır.

**Fotojeneratör (güneş pili)**, ışığın etkisi altında elektromotor kuvveti oluşturur. Aslında, *dış bir güç kaynağına bağlı olmayan fotodiyottur*. Serbest elektronların diyotun P bölgesinden N bölgesine geçişi sırasında denge bozulur, dolayısıyla **anot** pozitif olarak, **katot** ise negatif olarak elektriklenir. Uçların (anotun ve katotun) birleştirilmesiyle akım akar, bu da diyotun bir **elektrik enerji jeneratörü** gibi davrandığı anlamına gelir.



Şekil 1.46: Güneş pilin sembolü ve gerçek görünümü

Başka bir deyişle, **güneş pili** (fotovoltaik hücre) olarak adlandırılan bu diyot, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Çok sayıda güneş pilinin paralel ve seri olarak bağlanmasıyla, bazı küçük tüketicilere güç sağlamak için yeterli elektrik enerjisiye sahip **güneş panelleri** elde edilir.



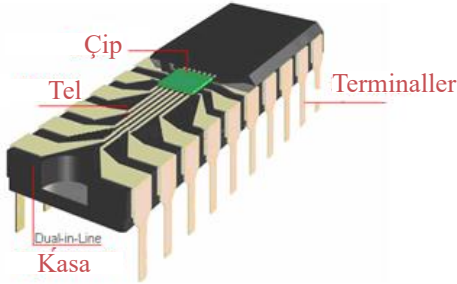
Şekil 1.47: Güneş bağlantısı (port) ve konnektör

## UNUTMAYIN..!

- Işığa açık kaldığında fotodiyottan elektrik akımı geçer.
- Fotorezistörler ışığın etkisi altında direnci azalan rezistörlerdir.
- Fototransistörün iki terminali vardır: emitör (E) ve kollektör (C).
- Güneş pili, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür ve fotojeneratör olarak çalışır.

## 1.7 ENTEGRE DEVRELER

**Entegre (Tümleşik) devre**, daha karmaşık sistemlere tek bir bileşen olarak dahil edilmek amacıyla ortak bir alt tabaka üzerine yerleştirilen birçok elemandan oluşan karmaşık bir elektrik devresidir. Transistörler, resistörler, kondansatörler gibi çeşitli bileşenlerden oluşan bir elektrik şeması içerir. Entegre devre, plastik veya seramikten yapılmış **kasa**, sayesinde baskılı devre kartının monte edildiği **terminaller** ve entegre devrenin ortasında tüm elemanların birleştiği **çipten** oluşur. Çip, entegre devrenin terminallerine çok ince tellerle bağlanır, Şekil 1.48.



Şekil 1.48: Entegre devre elemanları

Terminallerin sayısı entegre devrenin türüne, yani işlevine bağlıdır ve bu sayı farklı işlevler için standartlaştırılmıştır. Zaten, entegre devrenin işlevi. entegredevrelerin **analog** (örneğin işlemsel kuvvetlendirici), **dijital** (örneğin işlemci) ve **hibrit** (örneğin A/D ve D/A dönüştürücüler) olarak bölünmesini tanımlıyor.

### 1.7.1 ENTEGRASYON TÜRLERİ

Elektronik devrimine yol açan transistörün keşfinden sonra bilgisayar teknolojisinin gelişmesinde entegre devrelerin en büyük payı vardır. Onlar çok hızlı teknolojik gelişmeye neden olmuşlar, dolayısıyla içlerindeki bileşenlerin sayısı arttıkça hızları ve güçleri sürekli artmaktadır.

Entegre devrelerin karmaşıklığı, bir devredeki temel elemanların (transistörlerin) sayısını temsil eden **entegrasyon derecesi** ile ölçülür.

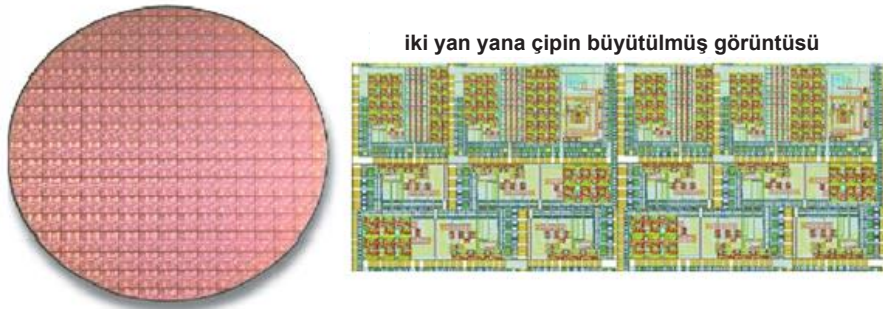
Entegrasyon derecesine göre tümleşik devreler aşağıdakilere ayrılır:

- **SSI** (Small Scale Integration) – 100 transistöre kadar küçük düzeyde entegrasyona sahip devreler;
- **MSI** (Medium Scale Integration) – 100'den 1000 transistöre kadar orta derecede entegrasyona sahip devreler;
- **LSI** (Large Scale Integration) – 1000'den 10000 transistöre kadar yüksek düzeyde entegrasyona sahip devreler;
- **VLSI** (Very Large Scale Integration) – 10.000'den 100.000 transistöre kadar çok yüksek entegrasyon derecesine sahip devreler;
- **ULSI** (Ultra Large Scale Integration) – bir milyonun üzerinde transistörden oluşan son derece yüksek entegrasyon derecesine sahip devreler;
- **U<sup>2</sup>LSI<sup>3</sup>** (Ultra-Ultra Large Scale Integration) – tek bir tümleşik devrede bir milyanın üzerinde transistörden oluşan son derece yüksek derecede entegrasyona sahip devreler.

Çok sayıda transistör büyük güç kaybına da neden olur. Bu yüzden özellikle ULSI ve U<sup>2</sup>LSI<sup>3</sup> devrelerinde bu entegre devrelerin soğutulması gerekmektedir. Soğutma, soğutma cihazları (örneğin fanlar) takılarak yapılır.

Teknolojik tasarıma göre entegre devreler **monolitik** ve **hibrit** olarak ikiye ayrılır.

**Monolitik entegre devreleri** en yaygın kullanılan entegre devrelerdir. Bunlara aynı zamanda düzlemsel entegre devreler de denir, şekil 1.49.



Şekil 1.49 Düzlemsel teknoloji – bir yarı iletken plaka üzerinde çok sayıda entegre devre

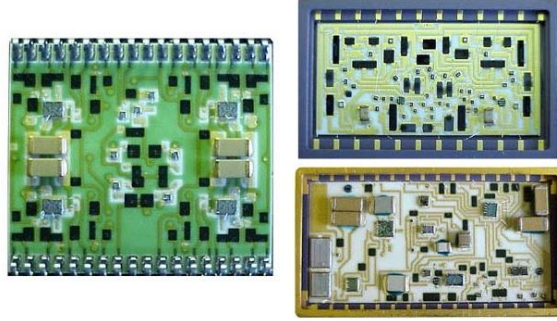
## Enerji elektroniği elemanları



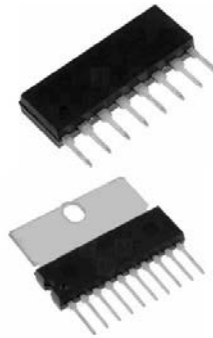
Şekil 1.50 Monolitik entegre devreler

Karmaşıklığa ve işlevine bağlı olarak monolitik entegre devrelerin çip boyutları birkaç mm<sup>2</sup>'den 350 mm<sup>2</sup>'nin üzerine kadar olabilir.

**Hibrit entegre devreler**, monolitik devrelerin ve kalın veya ince film tekniğiyle yapılmış devre elemanlarının kombinasyonudur. Aktif devreler (çip) düzlemsel teknolojiyle yapılır ve bağlandıkları pasif alt tabakaya eklenir. Alt tabakanın türüne bağlı olarak kalın katmanlı ve ince katmanlı hibrit entegre devreler vardır, Şekil 1.51.



Şekil 1.51: Kalın katmanlı ve ince katmanlı hibrit entegre devreler

















Şekil 1.52: Farklı hibrit entegre devre türleri

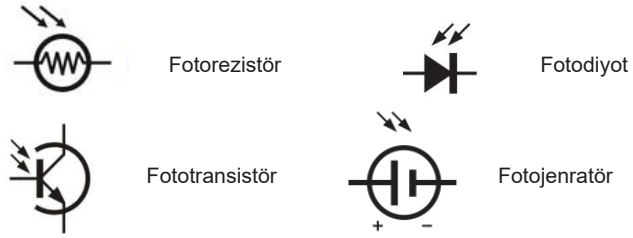
## 1.8 ELEKTRONİK ŞEMALAR

Elektronik şemalar, uygun elektronik elemanların tek bir bütün halinde bağlanmasıyla belirli bir elektronik kurgunun temsilidir. Elektronik elemanlar şemalarda onların **grafik sembolleriyle** gösterilir. Okunmaları, elemanın tanınmasını, işlevinin belirlenmesini ve verilen elektronik kurgudaki rolünü tanımlamaktır. Elektronik şemaların doğru okunması için elektroteknik elemanların sembollerini ve elektrik şemasındaki sinyaller hakkında önbilgimiz olması gerekir.

Tablo 1.1: Enerji elektronik elemanların grafiksel sembolleri

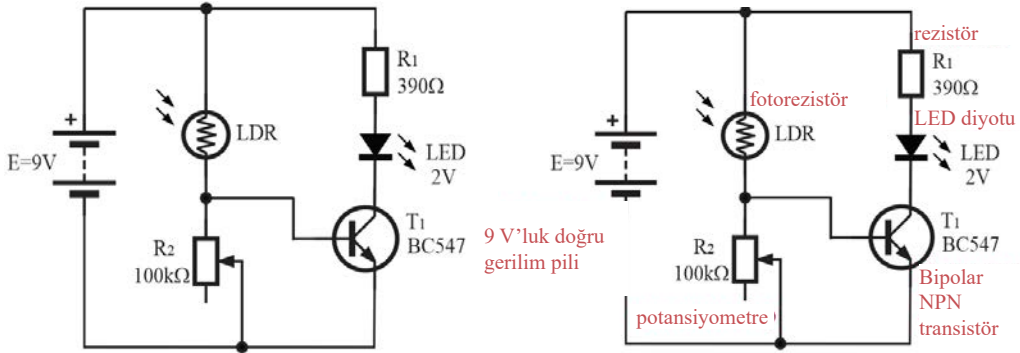
|                               |  |   |
|-------------------------------|--|---|
| <b>Diyotlar</b>               |  Doğrultucu diyot                     |  Schottky diyotu                         |
|                               |  Zener diyotu                         |  Tünel diyotu                            |
|                               |  Varaktör kapasitif diyot             |  LED diyotu                              |
| <b>Unipolar transistörler</b> |  PNP türünden transistör            |  NPN türünden transistör               |
| <b>Unipolar transistörler</b> |  P-kanallı JFET                     |  N-kanallı JFET                        |
|                               |  P-türünden yerleşik kanallı MOSFET |  P-türünden endüklenmiş kanallı MOSFET |
|                               |  N-türünden yerleşik kanallı MOSFET |  N-türünden endüklenmiş kanallı MOSFET |

## Fotoelektrik elemanlar



## 1.8.1 LED IŞIĞINI FOTOREZİSTÖRLE AÇMA DEVRESİ

LED'i fotorezistör ile açma elektronik devre şemasının işlevi: LED diyotu, yalnızca doğal ışık olmadığında veya yetersiz olduğunda açılmalı ve aydınlatma sağlanmalıdır.



Şekil 1.53: LED'in fotorezistörle açılması

1. Bu devrenin **analizi**, şemadaki elemanların tanımlanması demektir.
2. **Şemadaki elemanların konum ve özelliklerine** göre işlev ve rollerinin belirlenmesi.

**Pil**, devreye güç sağlamak için 9V'luk doğru gerilim kaynağıdır.

**Fotorezistörün** (LDR) görevi, yüzeyine düşen ışığı kaydetmek ve buna bağlı olarak kendi direncini değiştirerek yerleştirildiği daldaki direncin değişmesine neden olmaktadır. Fotorezistör transistör  $T_1$ 'i açar veya kapatır.

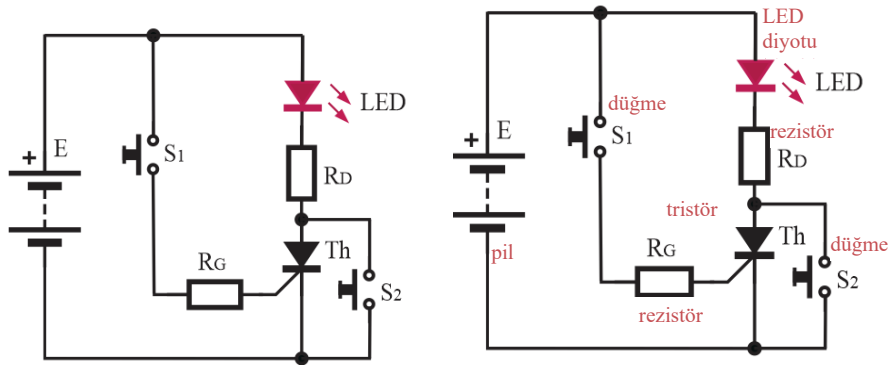
**Potansiyometre** değişken bir rezistör olarak LDR ile birlikte, transistörü açmak için gereken toplam direnci ayarlamak için kullanılır.

**Bipolar NPN transistörü**  $T_1$ , LED'i açmak için anahtar olarak kullanılır.

**Rezistör**  $R_1$ , LED diyotlu daldaki elektrik akımının gücünü düzenlemek içindir. Bu aynı zamanda onun korumasıdır.

**LED** diyotu belirli koşullar altında yanar. Bu koşullar şunlardır: transistör iletсин, uçlarındaki gerilim 2 V olsun ve ondan elektrik akımı aksın.

## 1.8.2 LED'İN AÇILMASI İÇİN TRİSTÖRLÜ ANAHTARLAMALI DEVRESİ



Şekil 1.54 LED'in tristör ile açılması

1. Bu devrenin **analizi**, şemadaki elemanların tanımlanmasını temsil eder.
2. **Şemadaki elemanların konum ve özelliklerine** göre işlevi ve rollerinin belirlenmesi:

**Pil**  $E$ , devreye güç sağlayan doğru elektrik gerilim kaynağıdır.

$R_G$  **rezistörü**, ışık açma anahtarının dalındaki ve tristörün kontrol elektrotundaki akımı ayarlar.

$R_D$  **rezistörü**, LED diyotlu daldaki elektrik akımının gücünü ayarlar.

## Enerji elektroniği elemanları

S1 ve S2 **düğmeleri** tristör yani ışığı açıp kapatmak içindir. S1 düğmesi, tristörün kontrol elektrotuna giden dalı kapatır ve kontrol elektrotuna elektrik akımı sağlar, bu da tristörün açılması, yani iletmesi anlamına gelir. S2 düğmesi tristörün anot ve katotunu kısa bağlar, yani onu kapatır.

**Tristör Th**, tüketici olan LED diyotu için anahtar olarak kullanılır. Diyot ile seri olarak bağlanarak iletken durumdaysa onu açmayı gerçekleştirir. Benzer olarak iletken olmaması diyotun kapatılması anlamına gelir.

**LED** diyotu tüketicidir, yani ışık kaynağıdır.

### **UNUTMAYIN..!**

- Üç tür entegre devre vardır: analog, dijital ve hibrit.
- Entegre devrelerin karmaşıklığı, bir devredeki transistörlerin sayısını temsil eden entegrasyon derecesi ile ölçülür.
- Teknolojik yapımına göre entegre devreler monolitik ve hibrit olarak ayrılır.
- Şemalardaki elektronik elemanlar grafik sembolleri ile gösterilmektedir.
- Elektronik şemaların doğru okunması için elektroteknik elemanların sembolleri ve elektrik şemasındaki sinyaller hakkında önbilginin olması gerekiyor.

## **1.9 KATALOG VERİLERİ**

Tüm elektronik elemanlar, işaretlerine, malzemelerine, işlevlerine ve uygulamalarına göre uygun kataloglarda sınıflandırılmaktadır. Günümüzde, ulaşılabilir olmaları ve yeni verilerle daha kolay güncellenmeleri (tamamlanmaları) nedeniyle elektronik katalogları en yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 1.2’de belirli diyot türlerinin katalog parametrelerinden bazı veriler, tablo 1.3’te bazı transistör türleri için katalog parametreleriyle veriler ve tablo 1.4’te triyak için katalog verileri verilmiştir.

Tablo 1.2: Diyot için katalog verileri

| Doğrultucu diyot için katalog verileri |  |                      |                                     |                  |                                      |
|--|--|----------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| İşaret                                 | Doğudan kutuplanma sırasında maksimum akım (A) | Doğradan gerilim (V) | Ters kutuplanma sırasında akım (mA) | Ters gerilim (V) | İzin verilen en yüksek sıcaklık (°C) |
| AX101                                  | 0,5  | <0,5                 | <0,02                               | 40               | 45                                   |
| AX102                                  | 0,5  | <0,6                 | <0,03                               | 60               | 45                                   |
| BY50A                                  | 20   | 1,2                  | 1                                   | 100              | 175                                  |
| BY50B                                  | 20   | 1,2                  | 1                                   | 200              | 175                                  |
| 1N4001                                 | 1  | 1,1                  | 0,01                                | 50               | 175                                  |
| 1N4002                                 | 1  | 1,1                  | 0,01                                | 100              | 175                                  |
| 1N5407                                 | 3  | 1,3                  | /                                   | 1000             | 175                                  |

| Zener diyotu için katalog verileri |                      |              |  |   |
|------------------------------------|----------------------|--------------|--|---|
| İşaret                             | Zener gerilimi Uz(V) | Tolerans (%) | İzin Verilen Maksimum Güç Dağılımı (W) | Ters kutuplanma sırasında izin verilen maksimum akım (µA) |
| SZ10<br>N27VL                      | 27                   | /            | 5                                      | 10  |
| SZ10N<br>N40VL                     | 40                   | ±10          | 6                                      | 10  |

Tablo 1.3: Bipolar transistör için katalog verileri

| İşaret | Toplayıcı akım Ic (A) | Gerilim Uce (V) | Gerilim Uce(V)  |
|--------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| AC187k | 1                     | 25              | NF transistörü  |
| AL102  | 6                     | 130             | Güç transistörü |
| BD139  | 1.5                   | 100             | Güç transistörü |

Tablo 1.4: Triyak için katalog verileri

| İşaret            | Kapanma sırasındaki gerilim (V) | Açılma sırasındaki akım (A) | Gate'teki gerilim (V) |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Q6006LH4TP        | 600 V                           | 6                           | 1,3                   |
| Q6006LH6TP        | 800 V                           | 16                          | 1,3                   |
| OT415Q            | 600 V                           | 12                          | 1                     |
| BTA308X-800C0,127 | 800 V                           | 8                           | 1                     |
| CLA80MT1200NHB    | 1.2 kV                          | 88                          | 1,3                   |
| CLA40MT1200NPB    | 1.2 kV                          | 44                          | 1,3                   |

## Modül 1’de edinen bilgiyi belirleme soruları

1. Hangi elektronik elemanlar pasiftir?
2. Hangi elektronik elemanlar aktiftir?
3. Elektronik elemanın anahtar olarak çalışması ne anlama gelir?
4. Elektronik elemanlar neden kasalarda yerleştiriliyor?
5. Doğrultucu diyotun işlevi nedir?
6. Diyotların kaç bağlantısı vardır?
7. Diyotun bağlantıları hangileridir?
8. Elektronik ve enerji diyotu arasındaki fark nedir?
9. Kaç çeşit transistör vardır?
10. Transistörlerin kaç bağlantısı vardır?
11. Bipolar transistörlerin bağlantıları hangileridir?
12. Tek kutuplu transistörlerin bağlantıları hangileridir?
13. İzole edilmiş gate’li bipolar transistörlerin diğer türlere göre avantajları nedir?
14. IGBT transistörün bağlantıları hangileridir?
15. Tristörler enerji endüstrisinde ne için kullanılır?
16. Hangi tristör türü çift alternatif diyot gibi davranır?
17. Termistörlerin bağlantılarında polarite var mı?
18. PTC termistörünün direnci nasıl değişir?
19. Hangi fotoelemene güneş pili denir?
20. Varistör ile fotorezistör arasındaki fark nedir?
21. Fotodiyot ile LED arasındaki fark nedir?
22. Fototransistörün kaç bağlantısı vardır?
23. Elektronik şemayı okuma nedir?
24. Belirli bir eleman türü için veriler nerede bulunur?
25. Elektronik elemanın etiketi ne anlama geliyor?



## TEMATİK BELİRLEME

### I. Çevreleme soruları

(Doğru cevabı çevreleyin)



1. Hangi elektronik elemanın bir PN bağlantısı ve iki terminali vardır?

- a) diyot
- b) tristör
- c) transistör

2. Bipolar transistörlerin terminalleri şunlardır:

- a) Source, drain ve gate
- b) Anot ve katot
- c) Emitör, base ve kollektör

3. Tek kutuplu transistörlerin terminalleri şunlardır:

- a) Anot ve katot
- b) Source, drain ve gate
- c) Emitör, base ve kollektör

4. Tristörün terminalleri şöyle işaretlenir:

- a) G, D, S
- b) A, K, G
- c) E, B, C

5. Üç elektrotlu tristör hangisidir:

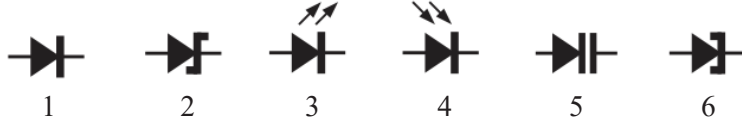
- a) Diak
- b) Triyak
- c) Emitör, base ve kollektör

6. PTC rezistörlerin direnci şuna bağlıdır:

- a) Aydınlik
- b) Sıcaklık
- c) Çevre baskısı

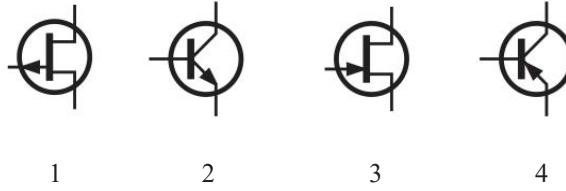
## II Bağlama Soruları

7. Grafik sembolleri uygun diyotla bağlayın:



|                  |       |
|------------------|-------|
| Varikap diyot    | _____ |
| Doğrultucu diyot | _____ |
| Zener diyot      | _____ |
| Fotodiyot        | _____ |
| LED diyot        | _____ |
| Tünel diyot      | _____ |

8. Grafik sembolleri uygun transistörle bağlayın:



|                   |       |
|-------------------|-------|
| N-kanallı FET     | _____ |
| PNP-transistörü   | _____ |
| P-kanallı FET     | _____ |
| NPN – transistörü | _____ |

9. Grafik sembolleri uygun elemana bağlayın:

Tristör



Diak

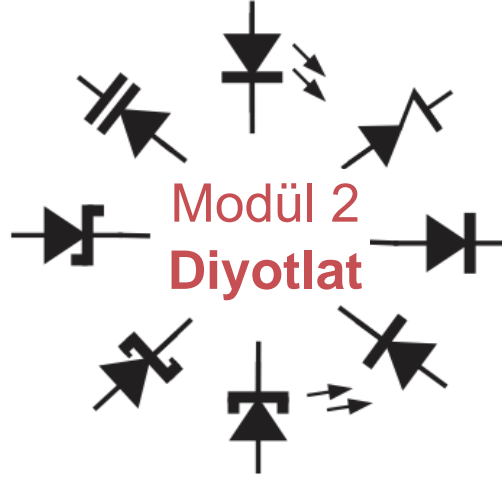
Triyak

### III. Boşlukları doldurma soruları

10. P-türünden diyotun yarı iletkeninden \_\_\_\_\_ adı verilen elektrot bağlanır N-türünden diyotun yarı iletkeninden ise \_\_\_\_\_ elektrotu bağlanır.
11. Üç PN bağlantı noktasına sahip elektronik elemanlara \_\_\_\_\_ adı verilir.
12. İki yönde ileten tristöre \_\_\_\_\_ denir.
13. Kontrol elektrotuna sahip olan tristöre \_\_\_\_\_ denir.
14. Birbirine bağlı ve tek bir kasanın içerisinde bulunan elektronik elemanlara \_\_\_\_\_ denir.

# Modüler Birim 2

## Diyotlar



**Bu modüler biriminin içeriğini inceleyerek öğrenci diyot devreleri hakkında temel bilgileri edinecek ve şunları yapabilecektir:**

- Katalog verilerini okumak;
- Diyotların kutuplanmasını açıklamak;
- Elektronik bileşenlerin özelliklerini grafiksel biçimde göstermek;
- Diyotların çalışma prensibini açıklamak;
- Çalışma düzenin belirlemek;
- Diyot türlerini ve uygulamalarını ayırt etmek;
- Diyotu anahtar olarak tanımlamak;
- Zener diyotun stabilizasyon özelliğini açıklamak;
- Diyot devrelerinde bileşenlerin sembollerini göstermek;
- Tek diyotlu yarım dalga doğrultucunun çalışma prensibini tartışmak;
- Tek diyot sınırlayıcının çalışma prensibini tartışmak;
- Ödevler çözmek ve diyot devrelerini grafiksel olarak analiz etmek;
- Basit diyot devreleri ile uygulamalı (pratik) alıştırılmalar gerçekleştirmek.

## 2.1 PN – BAĞLANTI

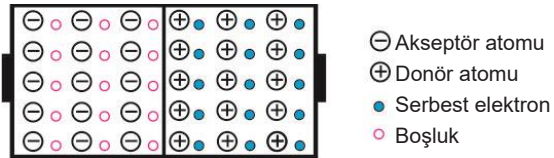


**N-türünden yarı iletken germanyum veya silisyum kristal kafesinde beş değerlikli atomlar (donör olarak adlandırılır) eklenerek elde edilir ve bu arada elektronlar elektrik yükünün ana taşıyıcılarıdır.**

**Germanyumun veya silisyumun kristal yapısında üç değerlikli atomların (akseptörler (alıcılar) olarak adlandırılır) girilmesiyle, P-türünden yarı iletken elde edilir, ve bu arada boşluklar elektrik yükünün ana taşıyıcılarıdır.**

N ve P türünden yarı iletkenler tek olarak çok faydalı değildir. Çok daha ilginç bir etki, her iki yarı iletken türünün birbirlerini birçok şekilde bir kristal halinde birleştirilmesiyle elde edilir. Bu arada, iki tür kristalin sıradan fiziksel birleşmesi kullanışlı değildir, ancak bir türden yabancı maddeler (temel (substrat) adıyla bilinen) içeren tek bir kristalde, kristalin bir tarafında çok daha yüksek konsantrasyon ile karşı türden yabancı maddeler yerleştirilir. Örneğin, N türden yataкта akseptörler yerleştirilir veya tersi P-türünden temele donörler yerleştirilir. Daha yüksek konsantrasyon nedeniyle, yeni yabancı maddeler kristalin yerleştirildikleri bölümde yarı iletkenin türünü değiştirir. Bu şekilde, **PN-bağlantı** adı verilen bir yarı iletken yapısı oluşturulur. Bir tarafta P-türünden yarı iletken, diğer tarafta ise N-türünden yarı iletken vardır.

İki yarı iletken bağlantının yeni oluştuğunu düşünelim. Bu durum Şekil 2.1'de gösterilmiştir ve yalnızca düşünülmüş oluşma anında var olabilir.

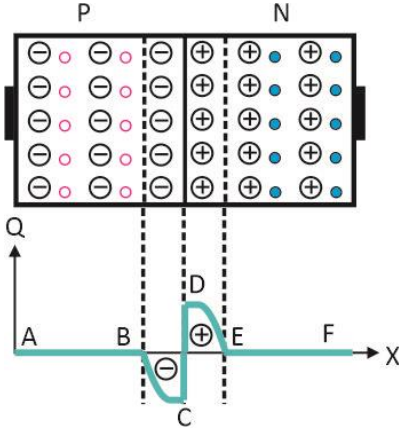


Şekil 2.1: PN-bağlantı kristali

Şöyle ki, N tarafındaki elektronların konsantrasyonunun boşluklar konsantrasyonundan çok daha yüksek olduğunu ve P tarafındaki boşlukların konsantrasyonunun elektronların konsantrasyonundan çok daha yüksek olduğunu biliyoruz. Bu, güçlü bir konsantrasyon dengesizliği durumundan dolayı elektronlar P tarafına, boşlukların ise N tarafına hareket ediyor. Bu hareket, difüzyon ilkesi adıyla bilinen ilkeye göre dış

etkiler olmadan gerçekleşir. Difüzyon ilkesi, bir alanda serbestçe hareket edebilen taneciklerin her zaman tüm alan boyunca eşit konsantrasyona ulaşma eğiliminde olduğunu belirtir.

Ancak, elektronların ve boşlukların PN bağlantı noktasında karşıt taraflara hareketi, tüm alan boyunca konsantrasyonlar eşitlenene kadar sürmez çünkü bağlantı noktasının diğer tarafını geçer geçmez yeniden birleşirler. Bu şekilde bağlantı noktası çevresinde serbest elektronların ve boşlukların bulunmadığı (yani serbest elektrik yük taşıyıcılarının bulunmadığı) bir bölge yaratılır. Bu bölgede aynı zamanda elektrik yükünün taşıyıcıları olan fakat kafese bağlı oldukları için hareketsiz olan akseptör ve donör iyonlar kalır. Bu şekilde oluşturulan bölgeye alan yükü bölgesi denir. PN bağlantısının karşıt taraflarına elektronların ve boşlukların girmesiyle bölge, denge sağlanana ve daha fazla girişin durduğu ana kadar genişler.



Şekil 2.2: Yük yoğunluğunun dağılımı

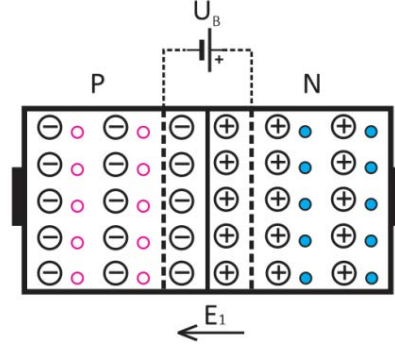
Bu durum şekil 2.2'de gösterilmektedir. Şekil'de aynı zamanda PN bağlantılı yarı iletken boyunca yüklerin dağılımını da gösterilmiştir. A-B bölümü, akseptör iyonlardaki negatif yük ile boşluklardaki pozitif yük arasında dengenin (konsantrasyon eşitliği) olduğu standart P-türünden yarı iletkendir.

E-F bölümü, donör iyonlarının pozitif yükü ile elektronların negatif yükü arasında denge sağlayan standart N-türünden yarı iletkendir. Bu nedenle A-B ve E-F bölümleri elektriksel olarak nötrdür (bu bölümlerin toplam yükü 0'dır). B-C bölümünde sadece P yarı iletkeninden gelen akseptör iyonları vardır, D-E bölümünde ise sadece N yarı iletkeninden gelen donör iyonları vardır. Bu bağlı yükler arasında, elektronların ve boşlukların karşı taraflara daha fazla girişini durdurmanın nedeni olan  $E_1$  elektrik alanı meydana gelir. Bu nedenle alan yükü bölgesine engelleme bölgesi (bariyer) de denir. Gerçekten, alanın bağlantının N'den P tarafına (pozitif iyon yüklerinden

## Diyotlar

negatif iyon yüklerine) yönlendirildiğini gözlemlersek, o zaman bunun elektronlar üzerinde P'den N tarafına yönlendirilen bir kuvvetle etki edeceği açıktır ve N tarafına yönlendirecek ve geçmelerini engelleyecektir – onları bağlantı noktasından N tarafına döndürecek. Aynı zamanda boşlukları da benzer şekilde engeller, ancak böyle durumda ters yönde bir kuvvetle etkiler (bağlantı noktasından P tarafına), çünkü onlar pozitif yükün taşıyıcılarıdır.

Engelleme bölgesi çok dardır ve genellikle  $1\mu\text{m}$  civarındadır. İçinde oluşturulan alan, alanın iki ucu arasında potansiyel bariyer olarak bilinen iç potansiyel farkının meydana gelmesine neden olur. Bu, Şekil 2.3'te  $U_B$  kaynağı ile sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3: PN-bağlantısında potansiyel bariyeri

Engelleme bölgesinde serbest elektrik taşıyıcılarının bulunmamasının yalıtkan gibi davranmasına neden olduğunu belirtmek ilginçtir. Diğer taraftan, yarı iletken eklenen yabancı maddeler P tarafını nispeten iyi bir iletken yapar ve N tarafına giren yabancı maddeler de aynısını yapar. Yalıtkanla ayrılmış iki iletkenin birleşimi aslında bir kapasitör temsil eder ve bu durumda plakalı kapasitör biçimindedir. Kapasitesi, plakalı kapasitör için iyi bilinen formüle göre hesaplanır:

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \dots \dots \dots (2.1)$$

Formülde, S bağlantı alanıdır, d engelleme bölgesinin genişliğini temsil eder,  $\epsilon$ -dielektirik sabitidir.

İkincil taşıyıcılara gelinde, iç elektrik alanı onların bağlantıdan geçişini sağlar ve ikincil elektronlar akımı ve ikincil boşluklar akımı oluşur. Ancak, elektrik alanının etkisi altında, PN bağlantısının her iki tarafındaki konsantrasyonlardaki büyük farklılıklar nedeniyle difüzyonla ortaya çıkacak akımı iptal eden, toplam akımın yalnızca önemsiz bir kısmıdır. Bu şekilde PN bağlantısı dengede kalır.



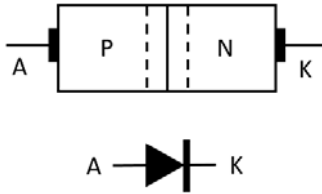
Elektrik alanının pozitif ve negatif yüklü parçacıklar üzerindeki etkisini araştırın!

## UNUTMAYIN!

- PN-bağlantısı, akseptörlerin N-türünden alt tabakaya veya tersine donörlerin P-türünden bir alt tabakaya dahil edilmesiyle oluşturulan bir yarı iletken yapıdır.
- Bariyer, serbest elektronların ve boşlukların bulunmadığı alandır.
- Kaynağın pozitif kutbu P alanının bağlantısına ve negatif kutbu N alanının bağlantısına bağlanırsa PN bağlantısı doğrudan kutuplanır.
- İletken olmayan kutuplu PN-bağlantısında küçük bir akım akar, ikincil yük taşıyıcılarının, N-bölgesindeki boşluklar ve P bölgesindeki elektronlar akımı. Bu akımın değeri çok küçüktür çünkü ana yük taşıyıcılarına göre ikincil olanların sayısı azdır.

## 2.2 DİYOTUN KUTUPLANMASI

PN bağlantısına dayalı elektronik elemanlar arasında ilk ve temel temsilci yarı iletken diyottur. Diyotun yapısı ve grafik sembolü şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Diyotun yapısı ve grafik sembolü

P bölümündeki metal bağlantı anot olarak adlandırılır ve A harfiyle işaretlenir, N bölümünde ise K ile işaretlenen katot bulunur. Diyotun temel özelliği, PN-bağlantısında olduğu gibi, elektrik akımının sadece bir yönde, anottan katoda doğru akmasını sağlamaktır.

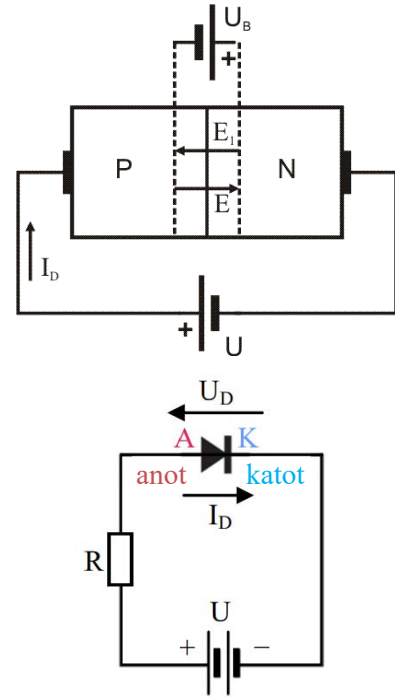
Gerilim kaynağının pozitif kutbu anoda, negatif kutbu ise katoda bağlandığında, diyot iletken yönlü veya doğrudan kutupludur. Kaynağın pozitif kutbu katoda, negatif kutbu ise diyotun anotuna bağlandığında ters veya iletken olmayan kutuplanma elde edilir. PN-bağlantısının kristalinin uçlarındaki metal bağlantı noktalarına bir DC doğru gerilim kaynağı bağlanırsa kristalin içinde devamda dış elektrik alanı diyeceğimiz E elektrik alanı oluşacaktır. Onun etkisi altında, kaynağın nasıl bağlandığına bağlı olarak PN-bağlantısında çeşitli değişiklikler meydana gelecektir.

## Diyotlar

### Doğrudan kutuplanmış diyot

Kaynağın pozitif kutbu P-bölgesinin bağlantısına ve negatif kutbu N-bölgesinin bağlantısına bağlanırsa (Şekil 2.5), dış elektrik alanı  $E$ , iç alan  $E_i$  ile ters yönde olacaktır.

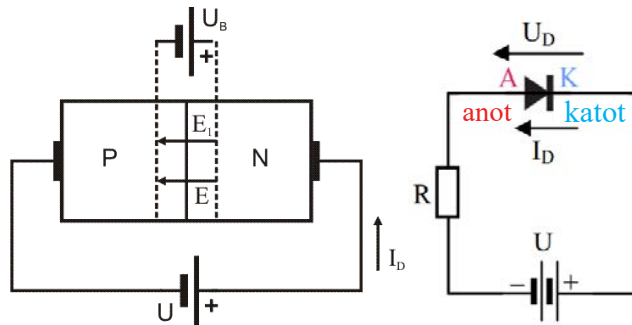
Ortaya çıkan alanın etkisi altında potansiyel bariyeri azalır, P bölgesindeki boşluklar N bölgesine hareket ederek, N bölgesinden gelen elektronlar ise P bölgesine hareket ederek  $I_D$  akımı akmaya başlar. PN-bağlantısı iletken hale gelir, yani iletken yönde kutuplanır. PN bağlantısının pratik olarak iletken olması için  $I_D$  akımının  $1\mu A$  sırasından güce sahip olması gerekir. Bu akımın akacağı gerilime diyotun açma gerilimi denir ve değeri yarı iletkenin yapılmış olduğu malzemeye bağlıdır. Germanyum için bu değer  $0,3 V$ 'tur, silisyum için ise  $0,7 V$ 'tur.



Şekil 2.5: İletken yönüne kutuplanmış PN-bağlantısı

### Ters kutuplanmış diyot

Kaynağın kutupluluğu ters çevrildiğinde,  $E$  dış alanının yönü de tersine çevrilir (Şekil 2.6) ve yönü  $E_i$  iç alanının yönü ile aynıdır.

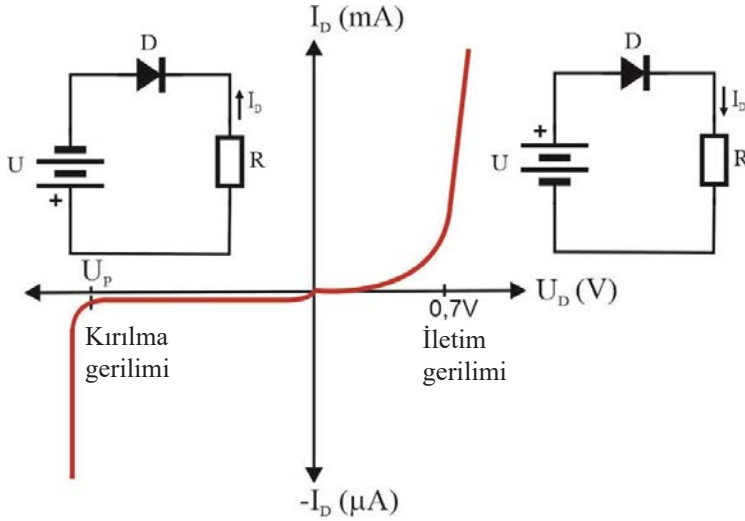


Şekil 2.6: İletken olmayan yönde kutuplanmış PN-bağlantısı

Şimdi potansiyel bariyeri daha büyük oluyor, engelleme bölgesi genişler, böylece temel elektronların ve boşlukların içinden geçmesi daha da zorlaşır. Bu durumda PN-bağlantısı iletken olmayan yönde polarize olur. Ancak, iletken olmayan kutuplanmış PN bağlantısında küçük bir akım akar. Bu, ikincil yük taşıyıcılarının, N bölgesindeki boşlukların ve P bölgesindeki elektronların akımıdır. Bu akımın değeri çok küçüktür çünkü ana yük taşıyıcılarına göre ikincil olanların sayısı azdır. PN-bağlantısının uygulandığı elektronik elemanların davranışını etkileyen artan sıcaklıkla birlikte büyüdüğünü belirtmek ilginçtir.

## 2.3 DİYOTUN AKIM-GERİLİM KARAKTERİSTİĞİ

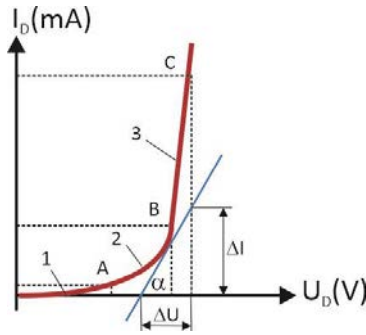
Diyotun statik karakteristiği (Şekil 2.7a), diyotun doğrudan ve ters kutuplanmsıdaki sırasındaki durumu en iyi şekilde tanımlar. Bu, belirli bir sabit ortam sıcaklığında diyotun  $I_D$  akımının uçlarındaki  $U_D$  doğru gerilim bağımlılığını temsil eden akım-gerilim karakteristiğidir (Şekil 2.7b).



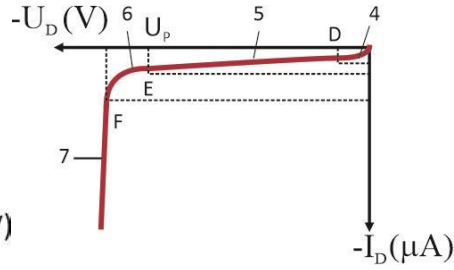
Şekil 2.7: Diyotun akım-gerilim karakteristiği adıyla bilinen statik karakteristiği

Doğrudan kutuplanmış diyotun karakteristiği ilk çeyrekte gösterilmektedir. Bu çeyrek üç bölgeye ayrılabilir (Şekil 2.8).

## Diyotlar



Şekil 2.8: Doğrudan kutuplanmış diyotun karakteristiği



Şekil 2.9: Ters kutuplanmış diyotun karakteristiği

**İlk bölge** koordinat noktasından A noktasına kadardır ve çok düşük gerilimlerin olduğu bir alandır. Burada akım mikroamperden daha küçük değerlere ulaşırken, onlarca milivoltluk gerilimlerle çalışmaktadır. Koordinat başlangıç noktasına yakın bir yerde doğrusaldır ve sonra parabole dönüşür.

**İkinci bölgede**, karakteristiğin şekli tespit işlemine en uygundur. A noktasından diyot açma gerilimi (B) noktasına kadar uzanır; bu, tekrarlayalım, germanyum için 0,3V'tur, silisyum için ise 0,7V'tur.

B noktasından C noktasına kadar olan **üçüncü bölge**, büyük akımların olduğu bölgedir. Burada diyot uçlarındaki gerilim, daha geniş akım değişimi aralığında önemli ölçüde değişmez. Diyotun direnci, diyota getirilen doğrudan gerilim değişince değişir. Bu noktadaki karakteristiğin eğimi ile belirlenir:

$$rd = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D} \dots\dots\dots(2.2)$$

Ters kutuplanmış diyot karakteristiği koordinat eksenlerinin üçüncü çeyreğinde gösterilmiştir. Bu çeyrek de birkaç bölgeye ayrılabilir (Şekil 2.9).

0'dan D noktasına kadar olan **4 numaralı bölge**, 1 numaralı bölgeyle aynıdır, her iki bölgedeki bağlantı noktası simetrik davranır ve bu yüzden düşük gerilimler durumunda yönlenme olayı yoktur.

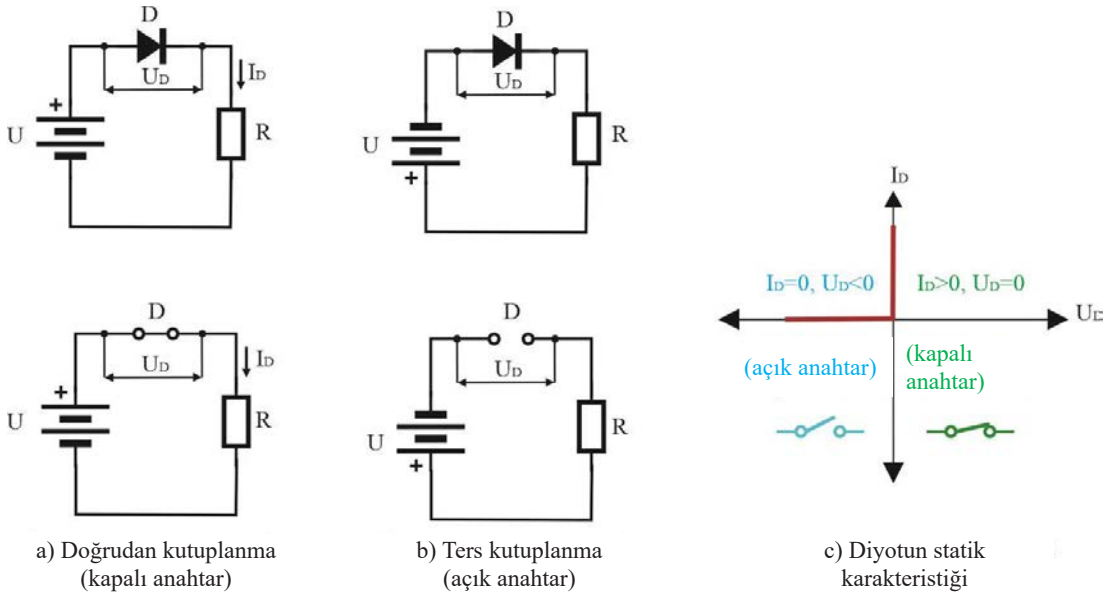
**5 numaralı bölgede**, D noktasından E noktasına kadar ters akım, ters doyma akımı olarak adlandırılan belirli bir sabit değere yaklaşır. Bu bölgedeki diyotun direnci çok büyüktür ancak hiçbir zaman sonsuz olmuyor.

**Bölge 6**, E noktasından F noktasına kadar karakteristiğin eğim bölgesidir. Burada ters gerilimden küçük artışıyla, ters akım artmaya başlar. Silisyum diyotlarda bu

bölge çok dardır, germanyum diyotlarda ise daha geniştir. İzin verilen maksimum ters gerilim  $t'$ 'nin değeri, karakteristiğinin eğiminin başlangıcında bulunur.

**Bölge 7'**de, diyotun PN-bağlantısında, ters akımını büyük ölçüde arttırdığı kırılma meydana gelir. Diyot kırılması termal veya elektriksel nedenlerden olabilir.

Diyotun tanımlanan akım-gerilim karakteristiği, fiziksel gerçek bir diyot için geçerlidir. Birçok elektronik devrenin analizi için, doğrudan yönde sıfır dirence sahip ve ideal iletken olan (Şekil 2.10 a) ve ters yönde akımı sıfır olan ve sonsuz dirence sahip olan **ideal diyot** modeli kullanılır (Şekil 2.10 b). Karakteristiğinin bu yaklaşımı Şekil 2.10 c)'de verilmiştir. İdeal diyot, **temassız anahtar** gibi davranır – doğrudan kutuplanmış olarak uygulandığında kapalı bir anahtar ve ters kutuplanmış olarak uygulandığında açık bir anahtar. Bu doğrusal segment modeli, büyük sinyal düzeninde sonuçlar karşılanır, yani devredeki gerilimler doğrudan kutuplanmasında diyot geriliminden birçok kat daha yüksektir. Diyotun akım-gerilim karakteristiğinin yapıldığı analizinden, akımı yalnızca bir yönde (anottan katoda) ileten kontrol edilemeyen bir valf olduğu, ters kutuplanmada ise negatif, ters gerilimi aldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.10: İdeal diyotun karakteristiği

Diyotun akım-gerilim karakteristiğinin yapıldığı analizinden, akımı yalnızca bir yönde (anottan katoda) ileten kontrol edilemeyen bir valf olduğu, ters kutuplanmada ise negatif, ters gerilimi aldığı anlaşılmaktadır.

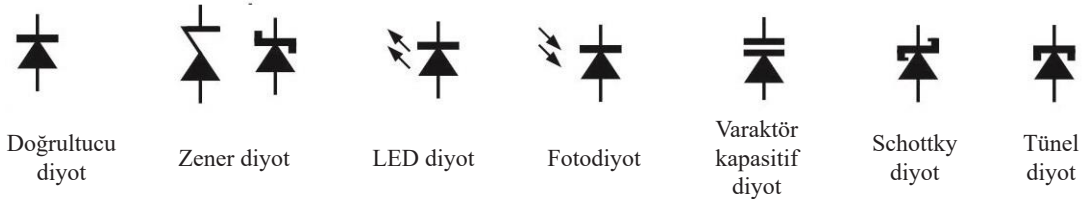
## Diyotlar

### UNUTMAYIN..!

- Diyotun temel özelliği elektrik akımının anottan katoda yalnızca tek yönde akmasına izin vermesidir.
- Gerilim kaynağının pozitif kutbu anoda, negatif kutbu ise katoda bağlandığında diyot iletim yönünde veya doğrudan kutuplanır.
- Kaynağın pozitif kutbu katoda, negatif kutbu ise diyotun anotuna bağlandığında diyotta ters veya iletken olmayan kutuplanması elde edilir.
- Diyotun akım-gerilim karakteristiği, ortamın belirli bir sabit sıcaklığında, diyotun akımının uçlarındaki doğru gerilimine bağımlılığını tanımlar.

## 2.4 DİYOTLARIN SINIFLANDIRILMASI

Günümüzde diyotların yapıldıkları malzemeye ve amaçlarına bağlı olarak çeşitli diyot türleriyle karşılaşırız. Amaca göre, doğrultucu, sınırlayıcı, anahtarlama, Zener, fotodiyotlar, LED diyotlar, kapasitif ve diğer diyotlar ayırt edebiliriz (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Yarı iletken diyot türlerinin şematik gösterimi

**Doğrultucu (Yönledirici) diyot.** Doğrultucu diyotun temel özelliği, elektrik akımının anottan katoda sadece bir yönde akmasına izin vermesidir. Ters yönde, diyottan iletken yöndeki akımdan birkaç kat daha küçük ters akım akar. Diyotun doğrultucu özelliği, *alternatif akımı doğru akıma dönüştüren cihazlarda* kullanılır. Bu cihazlara yönlendiriciler denir.

**Zener diyot.** Zener diyotun, ters kutuplanma sırasında büyük akım değişiklikleri için uçları boyunca küçük gerilim değişimi vardır. Onun bu özelliği *elektronik devrelerde doğru gerilimin stabilizasyonu için kullanılır*. Zener diyotları 3 ila 75 V arasındaki stabilizasyon gerilimleri için üretilmektedir, ancak bu aralığın dışındaki gerilimler (200 V'a kadar) de mümkündür.

**LED diyot.** LED veya ışık yayan diyot (adı, İngilizce Light Emitting Diode – ışık yayan diyot ifadesinin kısaltmasından gelir) ışık kaynağı tanımlamaktadır. LED diyotun çalışma prensibi, elektronun daha yüksek enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine geçerken görünür spektrumun belirli bir alanından enerji yayma özelliğine dayanmaktadır. Bunu için dış bir güç kaynağı gerekir. Elektrolüminesans adı verilen ışık yaratma sürecinde LED diyotu iletken olarak kutuplanır. LED diyotların yayma rengi üretim malzemesine bağlıdır; kırmızı, yeşil, sarı, mavi vb. olabilir. *LED diyotun daha büyük açılma ve kapanma hızı vardır, bu da dijital bilgilerin yüksek hızla fiber optik üzerinden iletilmesinde kullanılmasına olanak verir. 3 V gerilimde ve yaklaşık 1 W gücünde ultra parlak beyaz LED diyot aydınlatma cisimlerinde kullanılmaktadır.* Daha yüksek güce sahip aydınlatma cisimleri(12 W, 24 W, vb.) bu tür diyotların daha fazla sayıda seri bağlanmasıyla elde edilir.

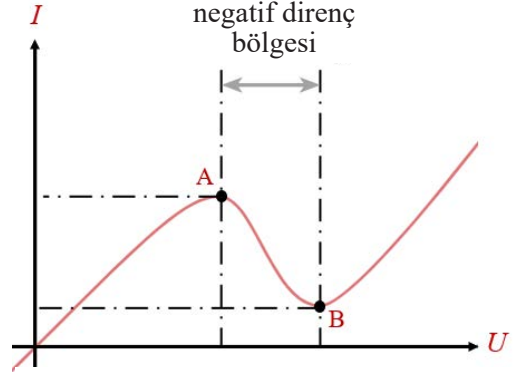
**Fotodiyot.** Fotodiyot, diğer fotodedektörler gibi, ışık radyasyonunu elektrik sinyaline dönüştürme görevi vardır. İdeal durumda elektrik sinyali, iletkenliğini değiştiren ışığın yoğunluğuyla orantılı olmalıdır. Diyot ışıklandırılmadığında içinden geçen akıma karanlık akım denir. *En çok bilinen uygulamalardan biri, ışıktan elde edilen enerjinin biriktirildiği güneş pildir. Fotodiyotlar sıkça alarm sistemlerinde de bulunur. Ayrıca harfleri, görünen ve görünmeyen nesnelere tespit etmeye yönelik cihazlarda kodlayıcılarda ve optik iletişimde de kullanılırlar.* Fotodiyot yapımında yaygın olarak kullanılan malzemelerdir şunlardır: silisyum veya galyum arsenit, indiyum antimonit, indiyum arsenit, kurşun selenit ve kurşun sülfid.

**Kapasitif diyot.** Bu diyot değişken bir kapasitör gibi davranır,öyle ki kapasitanstaki değişiklik uçlarındaki gerilimin değiştirilmesiyle elde edilir. Kapasitans, dielektrik olarak etkileyen PN-bağlantısında boş bir bölgenin var olmasıyla elde edilir. *Genellikle radyo ve TV alıcılarında kullanılır.*

**Schottky diyot.** Schottky diyotlar, N-türünden bir yarı iletkenin (katot) doğrudan metale (anota) uygulanmasıyla elde edilir, yani PN-bağlantısı değildir. Böylece ters akımın varlığı önlenir, iletken durumdaki direnç çok küçük oluyor, yöneltme hızı ise artar.

Bu diyotların iletim eşiği, silisyum diyotların iletim eşiğinden iki kat daha düşüktür ve (0,3-0,4) V'dir. "Açık" durumda sonsuz yüksek dirence, "kapalı" durumda ise sonsuz küçük dirence sahip olan dijital devrelerde anahtarlama elemanları olarak kullanılırlar.

**Tünel diyotu.** Tünel diyotu, daha yüksek yabancı madde konsantrasyonu, yük taşıyıcılarının gücünü artırarak ve bariyeri aşarak (tünel açmaya benzer bir prosedür) elde edilen tünel etkisine sahip diyottur. Şekil 2.12 tünel diyotunun akım-gerilim karakteristiğini gösterilmiştir. Bu diyotta, "negatif direnç bölgesi" olarak adlandırılan A ve B noktaları arasındaki karakteristik alanı ilgi çekicidir, çünkü diyot uçlarında gerilimin artmasıyla içinden geçen akım azalır.



Şekil 2.12: Tünel diyotun akım-gerilim karakteristiği

Bu bölge, tünel diyotlarının anahtarlama ve yükselteç devrelerinde ve çoğunlukla *osilatörlerde* kullanılmasına olanak sağlar. Tünel diyotu yüksek hızlı bir diyottur ve mikrodalga bölgesindeki osilatörlerde ve gevşeme osilatörlerinde uygulamalara sahiptir.

Tablo 2.1'de, dört sütundan oluşan diyotlar kataloğundan bir kısmı verilmiştir. Birinci ve ikinci sütunda diyotun işareti ve kodu verilmiştir, üçüncü sütunda yapıldığı malzeme belirtir ve son sütunda diyotun açıklaması ve uygulaması bulunmaktadır.

Tablo 2.1: Diyot türleri için katalog kısmı

| İşaret | Kod | Malzeme | Elemanın kısa tanımı                       |
|--------|-----|---------|--|
| AA     | 119 | Ge      | Diyot demodülatör, yüksek omik 30 V, 35 mA |
| AA     | 133 | Ge      | Genel diyot, 130 V, 50 mA                  |
| BA     | 159 | Si      | Anahtar diti, 1000 V/1 A, 300 ns           |



İnternette farklı üreticilerden diyotlarına ilişkin kataloglar bulabilirsiniz. Aşağıdaki diyotlar için veri tablosu yapılınsın: IN 4007, 1N 4148, BY 500/400, PBY 266, BY 50!

## UNUTMAYIN..!

- Doğrultucu diyot elektrik akımını sadece tek yönde, anottan katoda geçirir. Yönlendiricilerin oluştuğu parçasıdır.
- Zener diyot – Ters kutuplanma sırasında akımda büyük değişiklik gerilimde küçük değişiklik yapar. Gerilim stabilizasyonu için kullanılır.
- Fotodiyot ışık enerjisini elektrik sinyale dönüştürür.
- LED diyot, içinden geçen elektrik akımını ışık enerjisine dönüştürür.
- Kapasitif diyot, uçlarına bağlanan ters gerilimin büyüklüğüne bağlı olarak kapasitesini değiştirir.
- PIN diyotu içinden geçen akımı değiştirerek direncini değiştirir. Anahtarlama elemanı olarak kullanılır.
- Tünel diyot - karakteristiğinde negatif direnç bölgesi vardır - diyotun uçlarındaki gerilimin artmasıyla içinden geçen akım azalır. Osilatörlere uygulanır.

## 2.5 DİYOT DEVRELERİ

### 2.5.1 DİYOT DOĞRULTUCULARI

Diyotun akımı tek yönde geçirme özelliği, elektrik şebekesinin alternatif gerilimden (**doğrultucular** olarak adlandırılan) doğru gerilimler elde etmek için kullanılan cihazlarda uygulanmasına olanak verir. Doğrultuculara olan ihtiyaç, birçok elektronik cihazın doğru besleme gerilimleri üzerinde çalışmasından kaynaklanmaktadır.

Doğrultucular alternatif akımı doğru akıma dönüştüren elektronik dönüştürme kurgulardır. Yönlendirici cihazlar, alternatif şebekeye bağlantı yöntemine, çıkış gerilimin karakterine ve yönetilebilirlik derecesine göre bölünebilir.

Alternatif şebekeye bağlantı yöntemine göre şunları ayırt ederiz:

- tek fazlı ve
- çok fazlı.

## Diyotlar

Alternatif şebekeden gelen enerjinin kullanım şekline göre yönlendirme cihazları şunlar olabilir:

- Yarım dalgalı ve
- Tam dalgalı.

Yönetilebilirlik derecesine göre şunları ayırt ederiz:

- Diyotları valflar olarak kullanıldığı yönetilemeyen doğrultucu cihazlar,
- Diyoların ve tristörler valf olarak kullanıldığı yarı yönetilebilir cihazlar,
- Tristörlerin valf olarak kullanıldığı yönetilebilir doğrultucu cihazlar.

Yönetilmeyen doğrultucularda, giriş alternatif gerilimi değiştirilerek veya yük değiştirilerek çıkış gerilimde değişim elde edilebilir. Yönetilebilir doğrultucularda, çıkış geriliminde değişiklik tristörlerin iletilmesinin başlangıç anının değiştirilmesiyle elde edilir. Şekil 2.13'te, şebeke transformatörü kullanarak alternatif gerilim şebekesinden güç sağlamak için karmaşık bir cihazın blok diyagramı gösterilmiştir. Bu cihaz ile üç temel işlev gerçekleştirilir: şebeke gerilimini transformatörle değiştirmek, doğrultmak ve çıkış gerilimini dengelemek.



Şekil 2.13: Doğrultucunun blok diyagramı

Transformatör yardımıyla giriş geriliminin doğrultucuya ayarlanması ve elektrik şebekesinin beslenen yükten galvanik olarak ayrılması sağlanır. Bir transformatör, çeşitli ikincil gerilimlerin elde edildiği bir birincil ve bir veya fazla ikincil sargısı vardır. İkincil gerilimler, birincil gerilim ile dönüşüm oranı olan  $n$  çarpımı olarak elde edilir:

$$n = \frac{N_{SEK}}{N_{PRİM}} \dots\dots\dots(2.3)$$

formülde  $N$  ile birincilin ve ikincilin sargı sayısı belirtilir.

Doğrultucu ile alternatif enerjiiyi doğru akıma dönüştürme işlevi yerine getirilir.

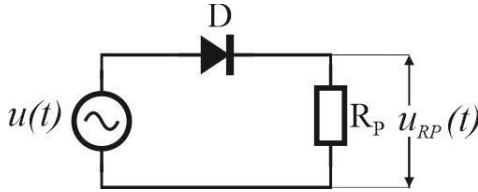
Filtre,  $R_L$  tüketicinin çıkış geriliminin ve akımının titreşimlerini azaltır.

Yönetilmeyen doğrultucular, diyotların valfler olarak kullanıldığı doğrultuculardır. Tek fazlı alternatif gerilimi doğru çıkış gerilime dönüştüren iki tip tek fazlı diyot doğrultucuları vardır:

- Tek fazlı yarım dalga doğrultucusu ve
- Tek fazlı tam dalga doğrultucusu.

### 2.5.1.1 TEK FAZLI YARIM DALGA DOĞRULTUCU

En basit tek fazlı diyot doğrultucusu,  $R_p$  direnci ile temsil edilen devrede tüketiciye seri olarak bağlanan bir D diyotundan oluşuyor (Şekil 2.14).

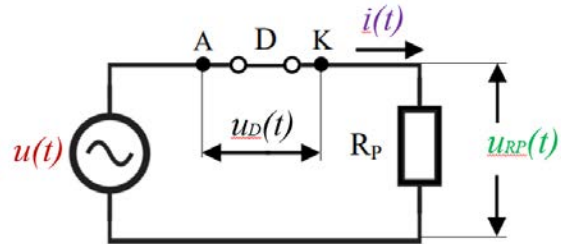


Şekil 2.14 Diyotlu yarım dalga doğrultucusu

Devrenin girişinde alternatif sinüzoidal gerilim kaynağı  $u(t)$ , çıkışa ise  $R_p$  tüketici bağlanır. Devre, alternatif giriş gerilimi  $u(t)$ 'nin pozitif ve negatif yarı periyod süresi için analiz edilecektir.

Analizi basitleştirmek amacıyla diyot ideal eşdeğeri ile değiştirilecektir. Giriş geriliminin  $u(t)$  pozitif yarı periyodu sırasında diyotun anodu, katodundan daha yüksek potansiyelde olacaktır.

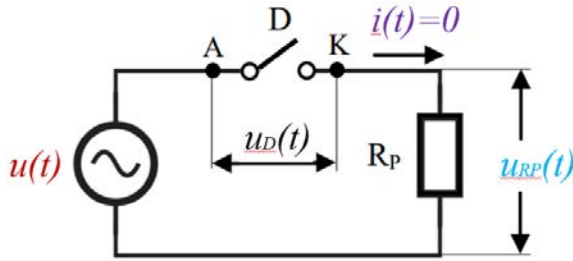
Diyot, kapalı anahtarla temsil edilen doğru kutuplanmış olacaktır, uçlarında gerilim düşüşü olmayacaktır, ancak içinden anottan katoda doğru akım akacaktır. Bu, Şekil 2.15'te gösterilen yönde aynı anda  $R_p$  tüketicisinden geçen akımdır.



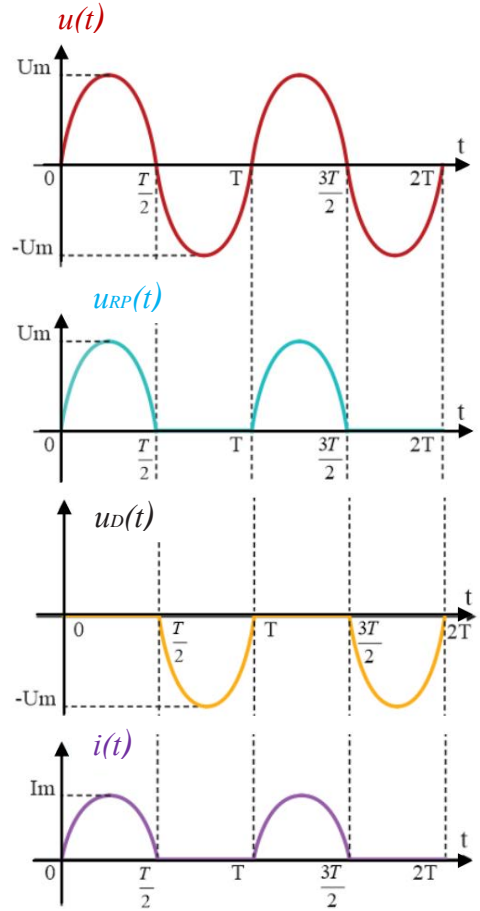
Şekil 2.15:  $u(t)$  kaynağının pozitif yarı periyodu sırasında diyotlu yarım dalga doğrultucusu

## Diyotlar

$U(t)$  geriliminin  $T/2$  ila  $T$  arasındaki zaman aralığında diyotun katu-  
tu, anotundan daha yüksek potansiyelde  
olacaktır. Diyot, açık anahtarla temsil  
edilen ters kutuplu olacaktır ve devreden  
akım akmayacaktır (Şekil 2.16). Bu ara-  
da  $R_p$  tüketicisinde gerilim düşüşü yok-  
tur. Diyotun gerilimi bağlanan gerilim  
 $u(t)$  ile aynı olacaktır.



Şekil 2.16:  $u(t)$  kaynağının negatif yarı-  
periyodu sırasında diyotlu yarı dalga  
doğrultucusu



Şekil 2.17: Karakteristik büyüklüklerin  
dalga şekilleri

Şekil 2.17'de, yarı dalga doğrultucunun iki zaman periyodu boyunca giriş si-  
nüzoidal gerilimin  $u(t)$ , tüketicinin gerilimin  $u_{RP}(t)$ , diyotun gerilimin  $u_D(t)$  ve akımın  
 $i(t)$  dalga biçimleri gösterilmiştir.  $u(t)$  geriliminin 0 ila  $T/2$  ve  $T$  ila  $3T/2$  zaman aralı-  
ğında (sinüzoidal gerilimin periyodikliği nedeniyle), tüketicinin gerilimi  $u_{RP}(t)=u(t)$ 'dir.  
 $T/2$  ila  $T$  ( $3T/2$ 'den  $2T$ 'ye) zaman aralığında tüketici gerilimi  $u_{RP}(t)=0$ 'dır.

Tüketiciden geçen  $i(t)$  akımının dalga biçimi, tüketici gerilimi  $u_{RP}(t)$  ile aynı  
şekle ancak daha küçük genliğe (amplütüte) sahiptir. Akım tüketiciden sadece bir yarı  
periyot boyunca geçtiğinden, bu doğrultucuya yarı dalga doğrultucusu denir.

Gerçekleştirilen analizden, iletken olmadığında diyotun geriliminin giriş gerili-  
miyle aynı olduğunu not edebiliriz. Bu nedenle kırılma için bağlı giriş geriliminden daha  
yüksek kırılma gerilimine sahip diyotlu devre yapılması gerekir. Doğrultucu devrelerde  
genellikle silisyum diyotları kullanılır.

Devrede, bir periyot zamanı içinde, akan doğru akım ortalama değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$I_{SR} = \frac{I_m}{\pi} = 0,32I_m \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$I_m$  ile akımın genliği işaretlenmiştir, doğru gerilim ise şu formüle göre hesaplanır:

$$U_{Rp} = \frac{U_m}{\pi} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$U_m$  alternatif gerilimin genliğidir.

Bu akım, bir doğru bileşen  $I_{OD}$  'den ve ilki en büyük genliğe sahip olan birkaç harmonik bileşenden oluşmuş olarak tanımlanabilir. Bu iki bileşenin oranı, güç kaynağı cihazının kalitesinin bir ölçüsü olarak **dalgalanma faktörünü** belirler. İyi bir doğrultucu için dalgalanma faktörünün mümkün olduğu kadar düşük olması gerekir.

Yarım dalga doğrultucunun dalgalanma faktörü 1,21 'dir ve düşük ortalama akıma sahiptir ve onu daha düşük sınıf doğrultucu yapar. Ortalama akım, doğru bileşeni olarak, transformatör çekirdeğini mıknatıslayarak onu doygunluğa getirerek demir kayıplarını artırır.

### 2.5.1.2. TEK FAZLI TAM DALGA DOĞRULTUCU

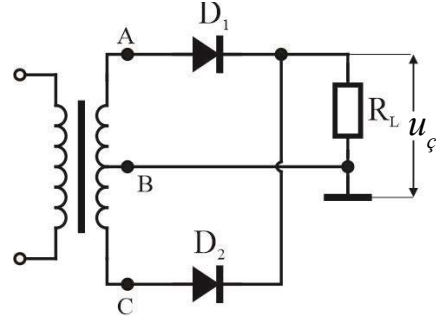
Tam dalga doğrultucu, yarım dalga doğrultucudan daha iyi özelliklere sahiptir. İki farklı şekilde gerçekleştirilebilir: 2 doğrultucu diyotla veya **Gretz bağlantısı** olarak bilinen köprü konfigürasyonunda birbirine bağlanan 4 doğrultucu diyot ile.

Şekil 2.18, karşıt fazda iki yarım dalga doğrultucu olarak çalışan ve aynı yükü besleyen iki diyotlu tam dalga doğrultucunun şemasını göstermektedir.

Doğrultucu, ikincil sargı üzerinde orta terminalli, yani iki ikincilden ve iki diyotlu transformatörden oluşuyor,  $D_1$  ve  $D_2$ . Transformatör  $u_{AB}$  ve  $u_{BC}$  'nin ikincillerinde gerilimler aynı genliğe ancak zıt faza sahiptir. Tüketici R rezistörü ile tanımlanmıştır.

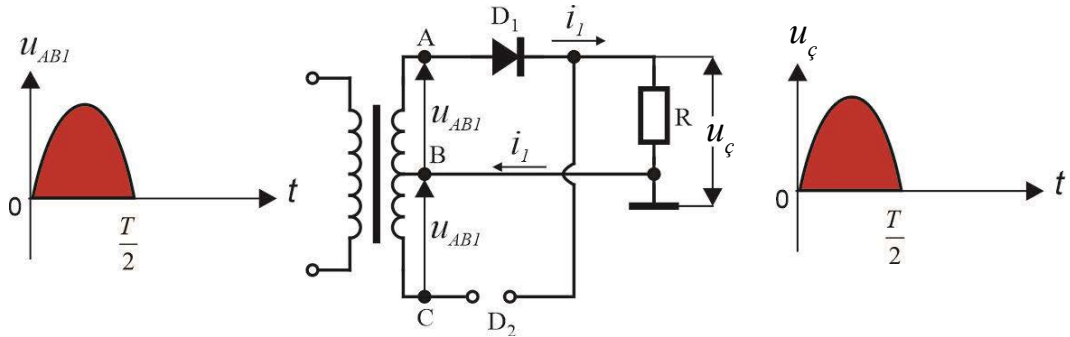
## Diyotlar

Diyotların anotları (A ve C noktaları) transformatörün ikincil sargısının uçlarına bağlıdır. Diyotların katotları R tüketicinin bir ucuna, tüketicinin diğer ucu ise ikincil sargısının orta terminaline (B noktası) bağlanır.



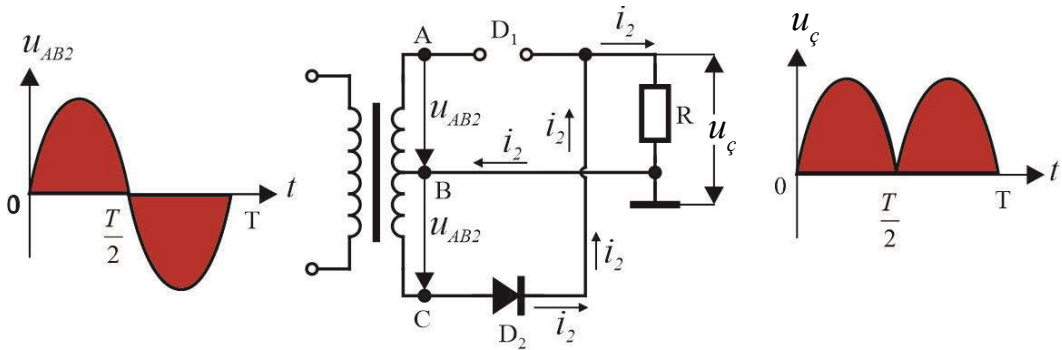
Şekil 2.18: İki diyotlu tam dalga doğrultucu

$U_{AB1}$  gerilimin pozitif yarı periyodu sırasında,  $D_1$  diyotu doğrudan kutupludur ve R tüketiciden A noktasından B noktasına doğru  $i_1$  akımı akar (Şekil 2.19). Aynı zamanda,  $u_{BC}$  gerilimi negatiftir,  $D_2$  diyotu ters kutupludur ve içinden akım geçmez (şekilde açık devre olarak gösterilmiştir).



Şekil 2.19: Pozitif yarı periyot sırasında iki diyotlu tam dalga doğrultucu

$U_{AB2}$  gerilimin negatif yarı periyodu sırasında,  $D_2$  diyotu doğrudan kutupludur ve  $i_2$  akımı, R tüketicisinden C noktasından B noktasına doğru akar (Şekil 2.20).

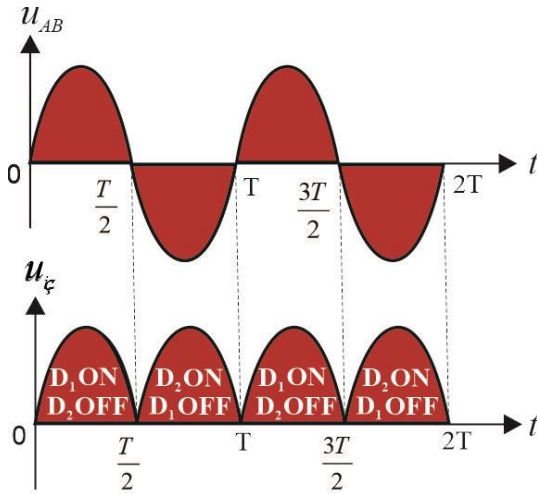


Şekil 2.20: Negatif yarı periyot sırasında iki diyotlu tam dalga doğrultucu

Aynı zamanda,  $u_{AB2}$  gerilimi  $D_1$  diyotunu ters kutuplar ve içinden akım geçmiyor (şekilde açık devre olarak gösterilmiştir).

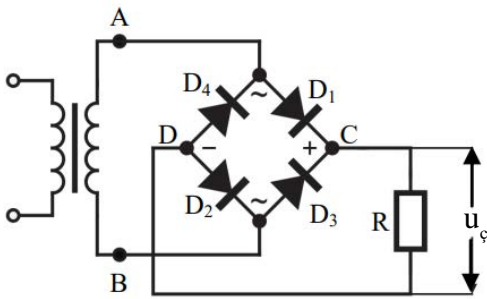
Tüketiciden geçen akım, giriş gerilimin her iki yarım periyot boyunca aynı yönde akacaktır. Bu yüzden bu doğrultucuya tam dalga doğrultucu denir.

Şekil 2.21’de, iki diyotlu tam dalga doğrultucunun iki periyodu sırasında  $u_{AB}$  geriliminin ve çıkış gerilimin dalga biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.21: İki diyotlu tam dalga doğrultucudaki gerilimlerin dalga biçimleri

Böylece demirdeki kayıplar azalır ve aynı güç için bu transformatör yarım dalga doğrultucu transformatöre göre daha küçük boyutu ve ağırlığı vardır.



Şekil 2.22: Dört diyotlu tam dalga doğrultucu - Gretz köprüsü

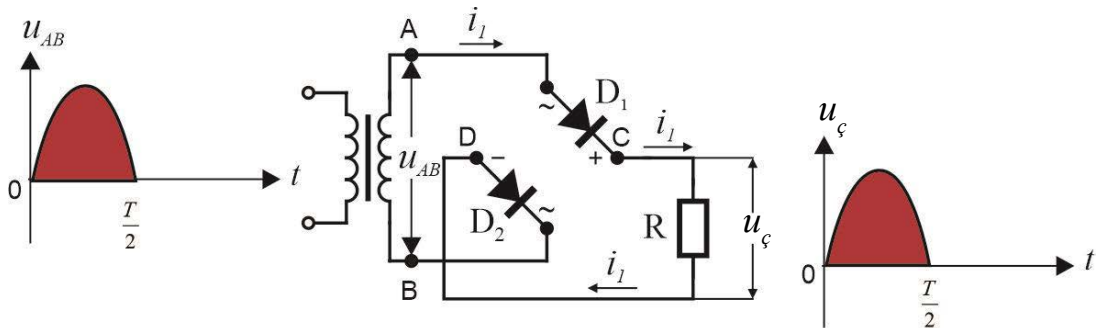
Bu özellikler, tam dalga doğrultucunun yarım dalga doğrultucudan çok daha iyi olduğunu, sadece fark biraz daha pahalı orta terminalli ikincilin kullanmasıdır. Ancak bu nedenle transformatörde bir “boşluk” yoktur, iki yarım periyot sırasında transformatörün ikincilinde zıt yönlere akım akar, böylece transformatörün çekirdeği her gerilim periyodu sırasında bir akım tarafından mıknatıslanır ve diğer akım tarafından manyetikliği giderilir.

Bu şemanın dezavantajı, tek ikincilli transformatörden daha pahalı olan orta terminalli transformatörün kullanılmasıdır. Tam dalga yönlendiricinin köprü konfigürasyonundaki yapılı bu dezavantajı telafi ediyor. Köprü konfigürasyonundaki yarım dalga doğrultucunun şeması, bir köprüye bağlı bir ikincil ve dört diyotlu transformatörden oluşur - Gretz köprüsü (şekil 2.22).

## Diyotlar

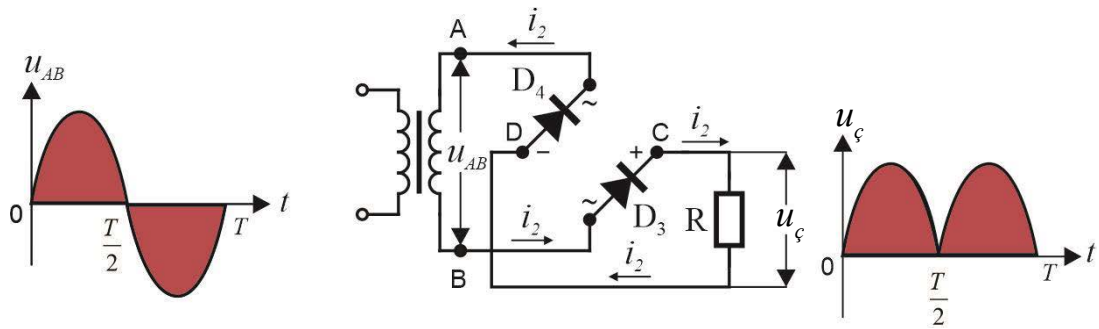
Doğrultucunun doğru çalışması için diyotların bağlanma şekline dikkat edilmelidir. Köprünün bir köşegenine, transformatörün ikincilinden gelen alternatif gerilimi  $u_{AB}$ , diğer köşegenine ise tüketici R bağlanır.

$U_{AB}$  gerilimin pozitif yarı periyodu sırasında, A noktası, C noktasından daha yüksek potansiyeldedir, dolayısıyla  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları doğrudan kutupludur ve akım R tüketicisinden A noktasından C'ye, D noktasından B noktasına doğru akar (Şekil 2.23). Aynı zamanda,  $D_3$  ve  $D_4$  diyotları ters kutupludur ve içlerinden akım geçmiyor (Şekilde açık devre olarak gösterilmiştir).



Şekil 2.23: Pozitif yarı periyot sırasında dört diyotlu tam dalga doğrultucu

$U_{AB}$  geriliminin negatif yarı periyodu sırasında, C noktası A noktasından daha yüksek potansiyele sahiptir, bu nedenle  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları ters kutupludur ve onlardan akım akmayacaktır. Bu durumda,  $D_3$  ve  $D_4$  diyotları doğrudan kutupludur ve R tüketicisinden B noktasından C'ye, D noktasından A noktasına doğru  $i_2$  akımı akar (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: Negatif yarı periyot sırasında dört diyotlu tam dalga doğrultucu

Dört diyotlu tam dalga doğrultucunun iki periyodu boyunca  $u_{AB}$  geriliminin ve çıkış gerilimi  $u_{\text{çık}}$ 'in dalga biçimleri, Şekil 2.21'de gösterilen iki diyotlu doğrultucunun gerilim dalga biçimleriyle aynıdır.

Alternatif gerilimin bir periyodu sırasındaki toplam akım, tüketiciden pozitif yarı periyotta geçen  $i_1$  akım'ın ve negatif yarı periyotta geçen  $i_2$  akım'ın toplamıdır:

$$i = i_1 + i_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

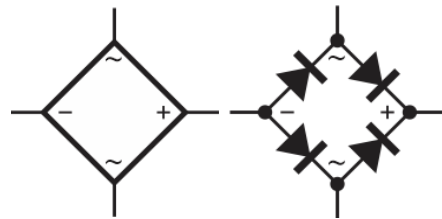
ortalama değeri için ise şu şekilde elde ediliyor:

$$I_{SR} = \frac{2I_m}{\pi} = 0,64I_m \dots\dots\dots(2.7)$$

Elde edilen akım, yarım dalga doğrultucunun ortalama akımının iki katıdır, bu da 0,48 değerinde olan dalgalanma faktörü de daha iyi olduğu anlamına gelir.

Gretz bağlantısının, iki diyotlu tam dalga doğrultucuya göre diğer avantajı, maksimum ters diyot geriliminin iki katına çıkmasıdır. Bu, transformatörün ikincil geriliminin maksimum değerine eşit olan ve transformatörün birincil gerilimiyle aynı dalga biçimine sahiptir.

Gretz bağlantısı olarak bilinen diyot köprüsü konfigürasyonu, dört terminalli tek bir kasa içine yerleştiriliyor: ikisi “~” işaretiyle ve diğer ikisi “+” ve “-” işaretleriyle işaretlenmiştir. “~”işareti terminaler iki diyotun anot ve katotunun bağlantı noktalarıdır, “+” işaretli terminal katotların bağlandığı noktadır, “-” işaretli terminal ise iki diyotun anotların bağlantı noktasıdır (Şekil 2.25). İki şekilde gösterilirler: BXC<sub>Y</sub> ve BXC<sub>Y</sub>/Y<sub>1</sub>, burada X “~ “ terminallerine bağlanabilen etkin değeri belirten sayıdır, Y soğutucusuz Gretz bağlantısından geçen maksimum doğru akımı gösteren sayıdır ve mA ile ifade ediliyor, Y<sub>1</sub> ise soğutucu ile akımı belirtiyor.



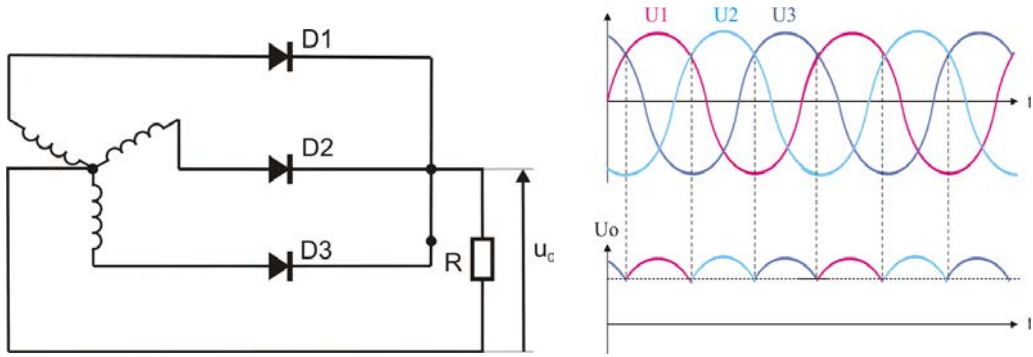
Şekil 2.25: Gretz bağlantısının sembolü

Her iki tam dalga doğrultucu de aynı değerde ortalama akımı verir ve aynı dalgalanma faktörüne sahiptir, ancak köprü konfigürasyonlu tam dalga doğrultucu basit transformatör kullanır, bu nedenle pratikte daha yaygın olarak kullanılır.

### 2.5.1.3 ÇOK FAZLI DOĞRULTUCU

Tek fazlı tam dalga doğrultucular giriş gerilimi için genliği %63,7'den daha yüksek gerilim sağlayamazlar. Ayrıca nispeten düşük kullanım katsayısı ve büyük dalgalanma faktörü nedeniyle bu yönlendiriciler, 15 kW'a kadar nispeten düşük güç koşullarında kullanılırlar. Daha yüksek güçlerle çalışmak için, orta terminalli devreler veya yönlendirici köprüler olarak gerçekleştirilebilen üç fazlı ve çok fazlı yönlendiriciler kullanılır.

Şekil 2.26 a), orta terminalli üç fazlı doğrultucunun prensip diyagramını gösteriyor, uygun diyagramlar ise Şekil 2.26 b)'de verilmiştir.



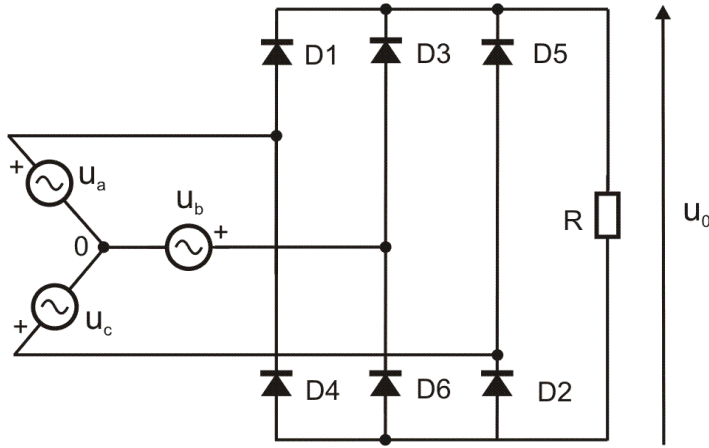
Şekil 2.26: Orta terminalli üç fazlı doğrultucu: a) elektrik şema; b) diyot ve tüketicinin gerilimlerinin dalga biçimleri

Bir diyottan geçen akımın ortalama değeri, tüketiciden geçen akımın ortalama değerinden 3 kat daha düşük olacaktır ve aşağıdaki ilişki ile belirlenir:

$$I_{D(1)} = I_m \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} \dots \dots \dots (2.8)$$

Orta terminalli üç fazlı ydoğrultucularda ortaya çıkan temel sorunlardan biri, transformatörün ikincil sargılarının her birinde akımın yalnızca bir yönde akmasıdır. Köprü olarak bağlanan üç fazlı doğrultucular kullanırsak da özelliklerde bir iyileşme elde edilir. Bu durumda akım sargıların her iki yönünde akar. Buna sonucu olarak, dalgalanma azalacak ve çıkış geriliminin doğru değeri artacaktır. Ancak diyotlar giriş geriliminin periyodunun 1/3'ü kadar iletken olacaktır.

Üç fazlı köprü doğrultucunun basitleştirilmiş elektrik şeması şekil 2.27’de gösterilmektedir.



Şekil 2.27: Üç fazlı köprü doğrultucu



Farklı doğrultucu türleri için parametre değerleri hakkında araştırma yapın, bunları bir tabloya yazın ve elde edilen verileri analiz edin!

### UNUTMAYIN..!

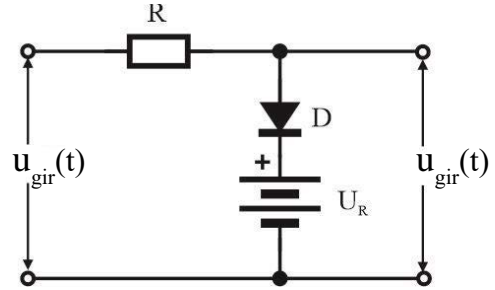
- Güç kaynağı cihazı ile üç temel işlev gerçekleştirilir: şebeke gerilimini transformatörle değiştirmek, çıkış gerilimini doğrultmak ve stabilize etmek.
- Tüketiciden geçen alternatif akımın etkin ve ortalama değeri arasındaki oran, güç kaynağı cihazının kalitesinin bir ölçüsü olan dalgalanma faktörü olarak tanımlanır.
- Yarım dalga doğrultucunun, alternatif gerilimin sadece bir yarım periyodu boyunca akım geçiren doğrultucu diyotu vardır.
- Yarım dalga doğrultucunun dalgalanma faktörü 1,21’dir.
- Tam dalga yönlendirme Gretz bağlantısında iki veya dört doğrultucu diyot ile yapılır;
- Tam dalga yönlendirme ile 0,48 değerine dalgalanma faktörü elde edilir.

## 2.5.2 DİYOT SINIRLAYICILARI

Elektronikte sıkça gerilim artışı/düşüşünü belirli bir değerin üstüne/altına sınırlamaya ihtiyaç vardır. Bu işlevi gerçekleştiren elektronik devrelere **sınırlayıcılar (limitör)** denir. Bunlarda diyotun anahtarlama özelliği kullanılır. Diyotun bağlanma şekline, yani kutupluğuna bağlı olarak, çıkış gerilimi, belirli bir sınırlamayla giriş gerilim ile aynı biçimi olacaktır. Sınırlama yukarıdan, aşağıdan veya her iki taraftan olabilir. Referans gerilimi  $U_R$  olarak doğru gerilim kaynağı devredeki diyota seri olarak bağlanırsa, referans gerilimin değerin altında veya üstünde bir gerilim seviyesinin sınırlayıcısı elde edilecektir.

Tek taraflı sınırlayıcılar, bir rezistörün ve diyotun sırasal bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Diyotun gerilim kaynağına göre yerleşimine bağlı olarak seri ve paralel sınırlayıcılar elde edilir.

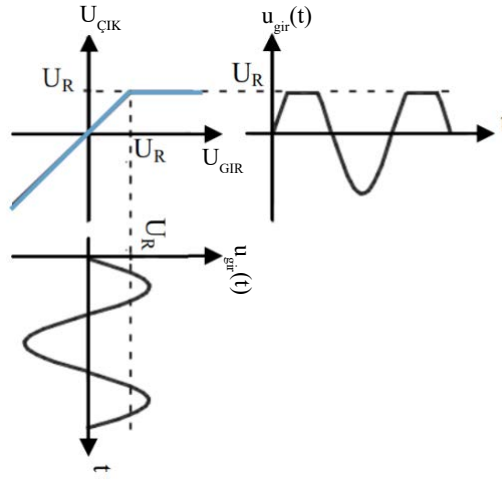
Şekil 2.28’de yukarıdan paralel sınırlayıcıyı gösterilmiştir. Diyot D bir anahtarlama elemanı olarak kullanılır, yani doğrudan kutuplanmada kapalı anahtar olarak, ters kutuplanmada ise açık olacaktır.



Şekil 2.28: Yukarıdan paralel sınırlayıcı

Çalışma prensibini analiz ederken “büyük” negatif değerlerden başlayarak “büyük” pozitif değerlere kadar değişen giriş gerilimleri alınacak, diyot ise ideal eşdeğeri ile değiştirilecektir.

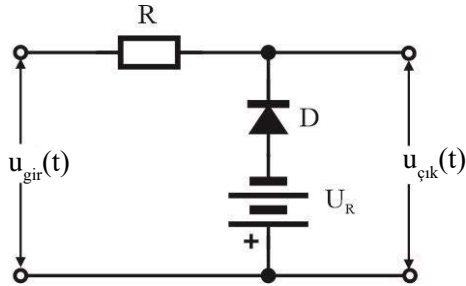
$U_{gir} < 0$  için, diyot ters kutuplanmış olacak, devrede açık anahtar modeliyle değiştirilecek, çıkışa bağlı tüketici olmadığından dolayı devrede akım akmayacak, R rezistöründe gerilim düşüşü olmayacak ve giriş gerilimi çıkışa aktarılır, yani  $u_{çık} = u_{gir}$ . İletim karakteristiği (çıkışın girişe bağımlılığı) doğrusal bir şekle sahip olacaktır ( $y=x$ ) (Şekil 2.29). Çıkış, giriş gerilimi doğru kaynak gerilimi  $U_R$  değerine ulaşana kadar giriş takip edecektir.



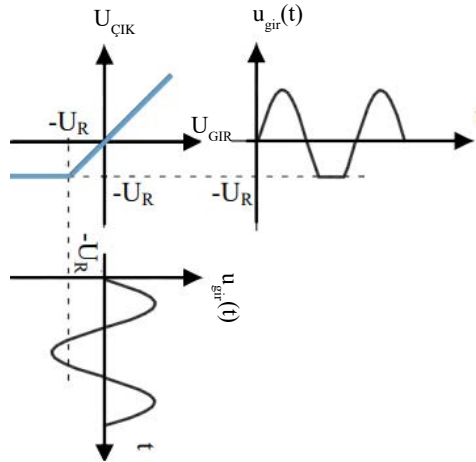
Şekil 2.29: Yukarıdan paralel sınırlayıcının iletim karakteristiği

$U_{gir} > 0$  giriş gerilimleri için diyot doğrudan kutuplanmış olacak ve devrede kısa bağlantı ile değiştirilecektir. O anda çıkış gerilimi referans kaynağı  $U_R$ 'nin uçlarına doğrudan paralel olarak bağlıdır, yani  $U_{CIK} = U_R$ . İletim karakteristiği x eksenine paralel olacaktır ( $y = const.$ ).

Şekil 2.28'deki şemada diyot D ve referans kaynağı  $U_R$  ters yönde bağlanırsa, alttan paralel sınırlayıcı elde edilir (Şekil 2.30).



Şekil 2.30: Alttan paralel sınırlayıcı



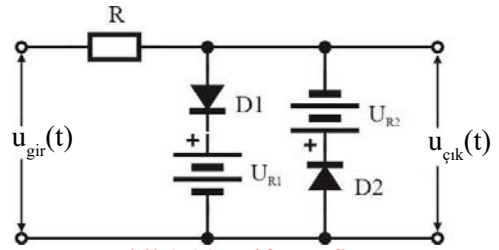
Şekil 2.31: Alttan paralel sınırlayıcının iletim karakteristiği

## Diyotlar

Analiz yukarıdan paralel diyot sınırlayıcıda olduğu gibidir.  $u_{gir} < -U_R$  giriş gerilimleri için diyot doğrudan kutuplanır (kısa devre),  $U_{ÇIK} = -U_R$ , referanstan daha büyük giriş gerilimleri için ise diyot ters kutuplanır ve devrede akım akıymıyor, çıkış girişi takip ediyor ( Şekil 2.31). Aynı etki, diyotun giriş gerilimine seri olarak bağlandığı seri diyot sınırlayıcıyla da elde edilir.

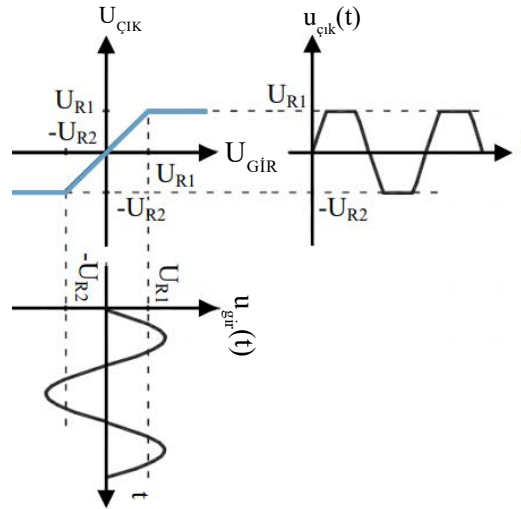
Eğer çıkış geriliminin aynı anda yukarıdan ve alttan (aşağıdan), aynı veya farklı referans seviyelerinde sınırlandırılması gerekiyorsa çift (iki) taraflı sınırlayıcılar kullanılır.

Şekil 2.32’de çift taraflı sınırlayıcının elektrik şemasını gösterilmiştir. Önceki iki yapı paralel dalda entegre edilmiştir.



Şekil 2.32: Çift taraflı sınırlayıcı

İletim karakteristiğinin şeklini belirlemek için (Şekil 2.33), analiz üç adımda gerçekleştirilecektir.



Şekil 2.33: Çift taraflı sınırlayıcının iletim karakteristiği

1.  $U_{gir} < -U_{R2}$  giriş gerilimi değerleri için, D2 diyotunun katodu anotundan daha düşük potansiyeldedir ve bu onu iletken yapar. Bu diyot, çıkış gerilimi  $U_{R2}$  kaynağına paralel olarak bağlandığı kapalı bir anahtar ile değiştirilir ( $U_{ÇIK} = -U_{R2}$ ).

Aynı zamanda D1 diyotu ters kutupludur çünkü katot  $U_{R1}$  referans kaynağının pozitif kutbuna bağlıdır, içinden akım akıyor ve açık anahtarla eşdeğerleniyor. Giriş gerilimden gelen devredeki akım devresi D2 diyotu,  $U_{R2}$  referans kaynağı ve R rezistörü aracılığıyla kapatılır.

2. -  $U_{R2} < u_{gir}$  giriş gerilimleri için, D2 diyotu ters kutuplu olacaktır, D1 diyotu giriş gerilimi  $U_{R1}$  kaynağının değerine ulaşana kadar kapalı kalacaktır. İki diyot açık anahtarla eşdeğerleniyor, dolayısıyla çıkış gerilimi giriş gerilimi takip ediyor,  $U_{ÇIK} = U_{GİR}$  (iletim karakteristiğinin doğrusal kısmı).

3. -  $U_{R2} > u_{gir}$  giriş gerilimleri için D1'in anodu katodundan daha yüksek potansiyelde olacaktır, D1 diyotu açılacaktır, D2 diyotu ise kapalı kalacaktır. Devrede bu koşullar altında, çıkış gerilimi  $U_{R1}$  kaynağına paralel bağlanacaktır ( $U_{ÇIK} = U_{R1}$ ).

Elde edilen çıkış gerilimi yukarıdan  $U_{R1}$  değerine ve aşağıdan  $-U_{R2}$  değerine sınırlıdır.



Yukarıdakilere dayanarak, referans gerilim kaynakları dahil değilse, tanımlanan sınırlayıcı türlerinin iletim karakteristiklerini çizin!

## UNUTMAYIN..!

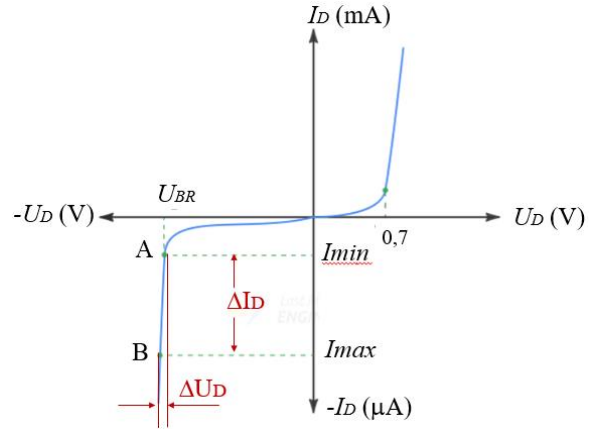
- Gerilim artışını belirli bir değerin üzerine sınırlayan elektronik devrelere sınırlayıcılar (limitörler) denir.
- Sınırlayıcılar tek taraflı (yukarıdan veya aşağıdan) ve çift taraflı olabilir.

## Diyotlar

## 2.5.3 DİYOT GERİLİM STABİLİZATÖRLERİ

Zener diyotu, yapısına göre, P ve N türünden yarı iletkenlerde artırılmış oranda kimyasal yabancı maddeler içeren silisyum diyottur. Doğrudan kutuplanmış doğrultucu diyotla aynı özelliklere sahiptir. İletim gerilimi için  $U_p$ 'den daha büyük gerilimlerde, içinden akım akar. Onlar çalışma alanlarına göre birbirinden farklıdır; doğrultucu diyotlar için sınırlama maksimum ters gerilimdedir, Zener diyotlar için ise maksimum ters akımdadır. Zener diyotundan,  $U_{BR}$  ters kırılma geriliminden daha yüksek gerilimlerde yüksek güçte akım akar. Bu gerilime **Zener gerilimi** denir.

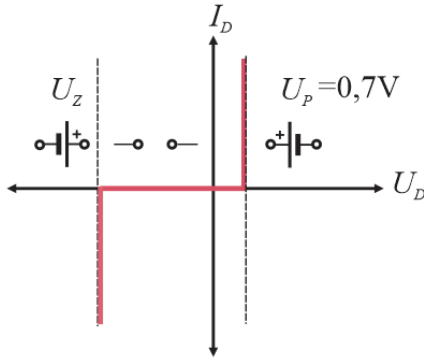
Şekil 2.34'te Zener diyotunun akım-gerilim karakteristiği gösterilmiştir. P ve N türünden yarı iletkenlere kimyasal yabancı maddeler eklenerek kırılma gerilimi bölümünde daha dik ve daha keskin bir eğri eğimi elde edilir. Kırılma bölgesinde, diyotundan geçen akımdaki büyük değişikliklerle  $\Delta I_D$ ,  $\Delta U_D$  uçlarında gerilimdeki değişiklikler çok küçüktür.



Şekil 2.34: Zener diyotunun akım-gerilim karakteristiği

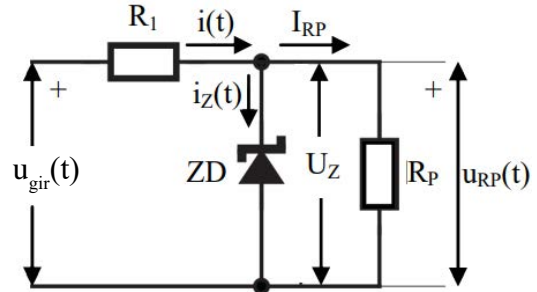
Zener diyotunun stabilizasyon bölgesi  $I_{min}$  ile  $I_{max}$  aralığındadır.

$I_{min}$ 'den daha düşük akımlarda Zener diyotunun stabilizasyon etkisini kaybeder ve devrede akım akışı olmaz. Kırılma bölgesinde çalışırken diyotta hasar meydana gelmez.  $I_{max}$  değeri aşıldığında, geri dönüşü olmayan bir kırılma meydana gelir, yani diyot hasar görür. Zener diyot, kırılma bölgesinin karakteristiğinde stabilize edici etkiye sahip olan bir eleman olarak, uçlarda pratik olarak akıma bağlı olmayan sabit gerilimi korumak için gerilim stabilizatörleri adı verilen cihazlarda kullanılır.



Şekil 2.35: Zener diyotunun yaklaşık akım-gerilim karakteristiği

$R_I$  rezistör, Zener diyotu ZD (kırılma bölgesindeki karakteristikte uçlarda sabit gerilim tutma özelliğine sahip bir eleman) ve tüketici direnci  $R_P$  ile gerçekleştirilen en basit gerilim stabilizatörü, şekil 2.36'da gösterilmiştir. Devre, tüketici  $R_P$ 'ye dengeli gerilim sağlamalıdır.



Şekil 2.36: Zener diyotlu gerilim stabilizatörü

Dengelenmemiş giriş gerilimi  $U_{GIR}$ , Zener diyotun  $U_Z$  stabilizasyon geriliminden daha büyük olmalıdır. Kirchoff'un İkinci Yasasına göre akımı sınırlamak için kullanılan  $R_I$  rezistörün büyüklüğü belirlenir:

$$R_I = \frac{U_{GIR} - U_{RP}}{I} \dots \dots \dots (2.9)$$

$I$  akımı için şu geçerlidir:

$$I = I_Z + I_{RP} \dots \dots \dots (2.10)$$

$I_{RP}$  gerilimi için ise şu geçerlidir:

$$I_{RP} = \frac{U_{RP}}{R_P} \dots \dots \dots (2.11)$$

## Diyotlar

Tüketicinin geriliminde değişiklik,  $R_p$  yük direncindeki değişikliğin yol açtığı dengelememiş  $U_{GIR}$  giriş gerilimin değişmesiyle veya  $I_{RP}$  akımının değişmesiyle meydana gelebilir.

Dengelenmemiş giriş gerilimi  $U_{GIR}$  'de bir artış varsa,  $R_l$  rezistörün akımı artar. Şimdi Zener diyotu harekete geçerek, onun  $I_Z$  akımı artacak,  $I_{RP}$  akımı ve  $U_{RP}$  gerilimi ise değişmeden kalır. Dengelenmemiş geriliminin azalması durumunda, işlem ters yönde gerçekleşir, yani Zener diyotunda akım azalır.

Tüketicinin  $R_p$  direnci değiştiğinde,  $I_{RP}$  akımının değişme girişimi Zener diyotta  $I_Z$  akımını değişmesiyle telafi oluyor. Rezistörün direnci  $R_p$  azalırsa,  $U_{RP}$  gerilimin değişmemesi için  $I_{RP}$  akımı artar. Bu arada  $I_Z$  akımı azalır ve tersi de geçerlidir.

Her iki örnekte de  $U_{RP}$  gerilimi değişmeden kalır, yani stabilize edilmiş durumdadır.

Bu stabilizatörün kullanımı Zener diyot için izin verilen akım ile sınırlıdır ve genellikle birkaç mA için iyi sonuçlar verir. Gerilime gelince, aynı izin verilen güce sahip Zener diyotları, için seri olarak bağlanabilirler ve uygun kombinasyonla gerekli gerilim elde edilebilir.



Zener diyotlu gerilim stabilizatörünün elektrik şemasını inceleyin ve ortaya çıkan dengelenmiş gerilimin Zener diyot işareti ile bağlantısını görün!

### UNUTMAYIN..!

- Zener diyot, ters kutuplanma sırasında kırılma gerilimi bölgesinde etki gösterir.
- Kırılma bölgesinde, Zener diyotu uçlarında sabit gerilim tutma özelliğine sahiptir.
- Zener diyotları gerilim stabilizasyon cihazlarında kullanılır.
- Zener diyotunun bir gerilim stabilizatörü olarak doğru şekilde çalışması için  $I_{ZMAX}$  ve  $I_{ZMIN}$  'i sınırlamak gerekir.

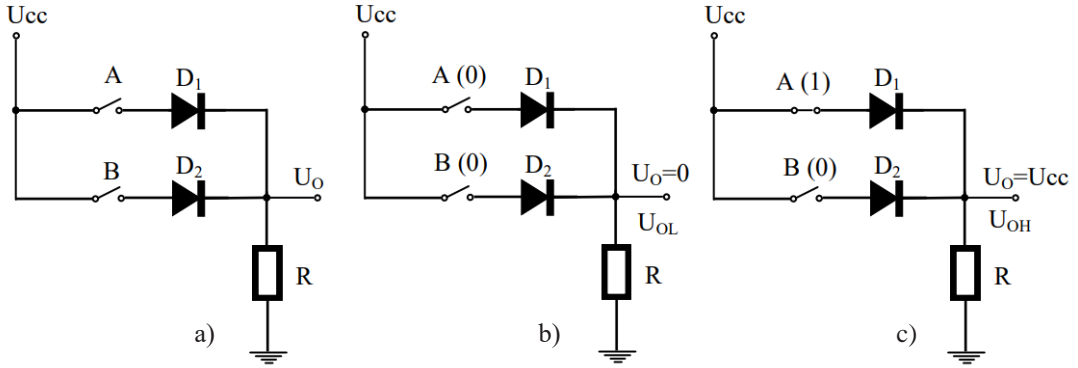
## 2.5.4 DİYOT MANTIK DEVRELERİ

Dijital devreler zaman açısından sürekli fakat değer açısından ayırık sinyallerle çalışır. Dijital elektronikte yaygın olarak yüksek ve düşük olmak üzere sadece iki farklı gerilim seviyesine sahip olan, 0 ve 1 rakamlarıyla yorumlanan ikili dijital sinyaller kullanılır.

Mantık devreleri, yarı iletken elemanların anahtarlama çalışmada düzeninde çalıştığı dijital devrelerdir. Mantık devrenin çıkışında iki gerilim değeri  $U_{OL}$  veya  $U_{OH}$  elde edilir, yani “1” - **yüksek (High)** mantık seviyesi veya “0” - **düşük (Low)** mantık seviyesi durumlarından biri. Gerçekleştirdikleri mantık fonksiyonuna göre farklı mantık devre türleri vardır. Temel mantık fonksiyonu olan toplama işlemi **VE-YA(OR)** mantık devresi ile, mantıksal çarpma fonksiyonu ise **VE (AND) mantık devresi** ile gerçekleştirilir. Diğer mantık devreleri ise temel mantık devrelerinin birleştirilmesiyle elde edilir.

İki girişli mantıksal toplama işlemini gerçekleştiren devre şekil 2.37 a)’da gösterilmiştir. A ve B anahtarları aracılığıyla  $U_{cc}$  güç kaynağına ve  $R$  rezistörü ile temsil edilen tüketiciye bağlanan iki diyottan oluşur,  $D_1$  ve  $D_2$ . Anahtarların kombinasyonlarına bağlı olarak,  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları için dört kutuplanma durumu elde edilir. Devreyi analiz ederken diyotlar ideal anahtar modeline eşdeğerlenecektir. Çıkışta düşük mantık seviyesi, yalnızca her iki anahtarın da açık olması (mantıksal 0) durumunda, yani diyotların anotlarına gerilimin getirilmemesi ve ters kutuplu olmaları durumunda elde edilir. Devrede akım geçmemektedir ve bu arada çıkış gerilimi 0 V değerine sahiptir (Şekil 2.37 b). Anahtarlardan herhangi biri kapalıysa (mantıksal 1), diyotun anotuna  $U_{cc}$  gerilimi getirilir ve böylece doğrudan kutuplanacaktır. Diyotun kısa devre üzerinden (doğrudan kutuplanmaya eşdeğer), çıkışa  $U_{cc}$  gerilimi getirilir. Şekil 2.37 c)’de, devrenin çıkışında yüksek gerilim seviyesi elde edildiğin (mantıksal 1) üç anahtar kombinasyonundan (A-kapalı, B-açık) biri gösterilmiştir. Aynı analiz, anahtarlardan en az birinin kapalı olduğu diğer kombinasyonlar durumunda da gerçekleştirilir. Devrenin çalışmasını analiz ederken ideal diyotlar alınmıştır.

## Diyotlar

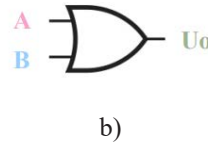


Şekil 2.37: VEYA devresi: a) elektrik şeması; b) düşük çıkış seviye durumu; c) yüksek çıkış seviye durumu

A ve B girişlerinin giriş durumları, mantıksal toplama fonksiyonu ve  $U_o$  çıkış sinyalinin durumunu içeren VEYA mantık devresinin doğruluk tablosu, Şekil 2.38 a)'da verilmiştir, Şekil 2.38 b)'de ise grafik sembolü gösterilmiştir.

| Giriş durumları |   | Mantıksal toplama fonksiyonu | Çıkış durumu $U_o$ |
|-----------------|---|------------------------------|--------------------|
| A               | B |                              |                    |
| 0               | 0 | $0+0=0$                      | 0                  |
| 0               | 1 | $0+1=1$                      | 1                  |
| 1               | 0 | $1+0=1$                      | 1                  |
| 1               | 1 | $1+1=1$                      | 1                  |

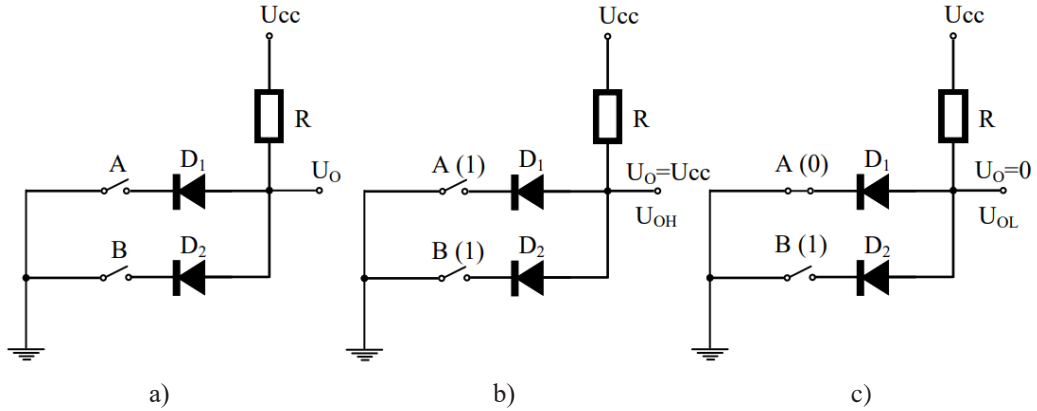
a)



b)

Şekil 2.38: VEYA devresi: a) doğruluk tablosu; b) grafiksel sembolü

Şekil 2.39'da, iki girişi ve bir çıkışı olan diyotlu VE mantık devresi verilmiştir. VEYA devresinden farklı olarak anahtarlar toprağa bağlanır, buna göre anahtar kapalı olduğunda giriş sinyali mantıksal 0'da olacaktır. Yalnızca her iki anahtarın açık olması durumunda (mantıksal 1), devrede akım akmıyor, R rezistöründe gerilim düşüşü olmuyor ve  $U_{cc}$  güç kaynağın çıkışa aktarılıyor ( $U_o=U_{cc}$ ), mantık durumu 1 (Şekil 2.39 b). Anahtarlardan herhangi biri kapalıysa (mantıksal 0), karşılık gelen diyot kısa devre ile değiştirilir, devrede akım akar ve bu arada çıkış doğrudan mantıksal 0'ın toprak durumuna bağlanır (Şekil 2.39 c).



Şekil 2.39: VE devresi: a) elektrik şeması; b) yüksek çıkış seviye durumu; c) düşük çıkış seviye durumu

Şekil 2.40'ta VE mantık devrenin doğruluk tablosu (a) ve grafiksel sembolü gösterilmiştir.

| Giriş durumları |   | Mantıksal çarpma fonksiyonu | Çıkış durumu |
|-----------------|---|-----------------------------|--------------|
| A               | B |                             |              |
| 0               | 0 | 0x0=0                       | 0            |
| 0               | 1 | 0x1=0                       | 0            |
| 1               | 0 | 1x0=0                       | 0            |
| 1               | 1 | 1x1=1                       | 1            |

a)



b)

Şekil 2.40: VE devresi a) doğruluk tablosu; b) grafiksel sembolü



Mantık devrelerinin çalışması ile ilgili simülasyon program paketinde, tüm giriş durumlarını ayarlayın ve VE ve VEYA mantık devresinin çıkış durumunu izleyin!

## UNUTMAYIN..!

- Mantık devresinin çıkışında gerilimi için iki değer elde edilir:  $U_{OL}$  ("0" düşük - Low mantıksal seviye) veya  $U_{OH}$  ("1" yüksek - High mantıksal seviye).
- VEYA mantık devresindeki anahtarlardan herhangi biri kapalıysa (mantıksal 1) çıkışta  $U_{cc}$  gerilimi elde edilir.
- VE mantık devresinde anahtarlardan herhangi biri kapalıysa (mantıksal 0), karşılık gelen diyet kısa devre ile değiştirilir, devrede akım akar ve bu arada çıkış doğrudan toprağa bağlanır – mantıksal 0 durumu.

## Modül 2’de edinen bilgiyi belirleme soruları



1. PN-bağlantısı nedir?
2. PN-bağlantısı nasıl kutuplanabilir?
3. Diyotun içinden akım geçebilmesi için anot kaynağın hangi kutbuna bağlanmalıdır?
4. Diyotun ters kutuplanması için katot kaynağın hangi kutbuna bağlanmalıdır?
5. Statik karakteristik nedir?
6. Diyot statik karakteristiğinin ilk çeyreğinde diyot nasıl kutuplanıyor?
7. Doğru gerilimin stabilizasyonu için hangi diyot kullanılır?
8. Hangi diyot kırılma bölgesinde çalışır?
9. Schottky diyotları nerede kullanılır?
10. Hangi diyot fotodetektördür?
11. Fotodiyotlar nerede kullanım buluyorlar?
12. Fiber optik’te açma ve kapama hızlarının yüksek olması nedeniyle hangi diyotlar kullanılır?
13. Hangi diyot, uçlarına uygulanan gerilimi değiştirerek kapasitansını değiştirme özelliğine sahiptir?
14. Aydınlatma cisimlerinde hangi diyotlar kullanılıyor?
15. Tünel diyotları nerede kullanılır?
16. İdeal diyot modelini tanımlayınız.
17. Hangi kutuplanmada diyota kapalı anahtarla yaklaşımı yapılır?
18. Ters kutuplanmadan sonra diyota nasıl yaklaşım yapılır?
19. Gerilimin belirli bir değerin üzerine çıkması hangi cihazlarla sınırlandırılır?
20. Hangi cihazlarla alternatif akımdan doğru gerilim elde edilir?
21. Hangi doğrultucu sadece bir diyotla tasarlanmıştır?
22. Doğrudan kutuplanma sırasında akım, diyotun terminallerine göre hangi yönde akar?
23. Alternatif gerilim şebekesinden güç kaynağı cihazlarının temel işlevleri nelerdir?
24. Şebeke transformatörün görevi nedir?
25. „Dalgalanma faktörü“ terimini tanımlayın.
26. Yarım dalga doğrultucu için dalgalanma faktörünün değeri nedir ve tam dalga doğrultucu için nedir?
27. Dört diyotlu tam dalga doğrultucunun iki diyotlu tam dalga doğrultucuya göre avantajı nedir?

28. Yönlendirme filtrenin işlevi nedir?
29. Yarım dalga doğrultucuda neden akım yalnızca bir yarım periyot boyunca akıyor?
30. Gerilim doğrultucunun girişine ve çıkışına ne bağlanır?
31. Zener diyotunun hangi kutuplanmasında, akımdaki büyük değişiklikler sırasında uçlarındaki gerilim neredeyse değişmiyor?
32. Tüketici, gerilim stabilizasyon devresinde Zener diyotuna göre nasıl bağlanır?
33. Kırılma geriliminden daha yüksek gerilimlerde Zener diyotuna ne olur?
34. Hangi gerilime Zener gerilimi denir?
35. Gerilim stabilizasyon devrelerinde hangi diyotlar kullanılır?
36. Kırılma bölgesinde hangi diyot çalışır?
37. LED diyot hangi polarizasyonda ışık yayar?
38. LED diyotlu devresine neden rezistör bağlamak gereklidir?
39. LED diyot ışığının rengi neye bağlıdır?
40. LED diyotlar nerede kullanılır?
41. Hangi diyotlar elektrik enerjiiyi ışık enerjisine dönüştürür?
42. LED diyottan geçen akımı sınırlamak için devreye neyin bağlanması gerekir?
43. Fotodiyot ile aydınlatan LED diyot arasındaki fark nedir?
44. Hangi diyotlar ışığı algılar?
45. Alarm sistemlerinde hangi diyot kullanılır?
46. Fotodiyotlar nerede kullanılır?
47. Hangi diyotlar ışık enerjiiyi elektrik enerjisine dönüştürür?
48. Fotodiyotun yüzeyine ışık düşmediğinde karanlıkta akım hangi kutuplanmada akar?
49. Dijital devrelerde hangi mantıksal durumlar tanımlanır?
50. VEYA diyot mantık devresi hangi mantık işlemini gerçekleştirir?
51. Mantıksal çarpma işlemi hangi diyot mantık devresi ile gerçekleştirilir?
52. Hangi mantık devresi yalnızca her iki girişi yüksek mantık seviyesinde olduğunda çıkışında yüksek mantık seviyesi üretir?
53. Hangi mantık devresi, en az bir girişi yüksek mantık seviyesinde ise çıkışında yüksek mantık seviyesi verir?

## TEMATİK BELİRLEME



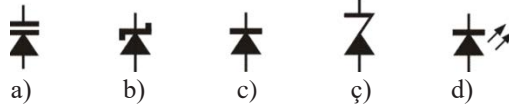
### I. Çevreleme soruları

(Doğru cevabı çevreleyin)

1. Diyot, terminallerin hangi kutuplanması sırasında doğrudan kutupludur?
  - a)  $\varphi_A > \varphi_K$
  - b)  $\varphi_A = \varphi_K$
  - c)  $\varphi_A < \varphi_K$
2. Hangi diyotlar, kırılma diyot gerilimden daha büyük gerilim ile ters kutuplanmada çalışır ve hasar görmüyor?
  - a) Doğrultucu diyotu
  - b) Zener diyotu
  - c) Varikap diyotu
3. Aydınlatma ölçüm araçlarında kullanılan elemanlar şunlardır:
  - a) Fotodiyotlar
  - b) Fotorezistörler
  - c) Fototransistörler
  - ç) Fotojeneratörler
4. Işık emisyon enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine sahip olan yarı iletken elemanlara ne denir?
  - a) Fotojeneratörler
  - b) Fotorezistörler
  - c) Fototransistörler
  - ç) Termistörler
5. İnvörtörlerin oluşturucu parçası olarak şunlar kullanılır:
  - a) Fotodiyotlar
  - b) Termistörler
  - c) Fotorezistörler

## II Bağlama Soruları

6. Aşağıdaki elektrik sembolleri uygun elemanlara bağlayın:



- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Varikap diyotu _____ | 3. LED diyotu _____         |
| 2. Zener diyotu _____   | 4. Yönlendirici diyot _____ |

7. Özel elektronik elemanları uygulamalarına göre bağlayın:

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| 1. Termistörler    | a) Işıklıörçerler _____      |
| 2. Fotojenörler    | b) Sıcaklık sensörleri _____ |
| 3. Fotoresistörler | c) Güneş hücreleri _____     |

## III. Boşlukları doldurma soruları

8. Tiristörün statik karakteristiği, tiristörden \_\_\_\_\_ farklı değerler için uçlarındaki \_\_\_\_\_ bağımlılığı olarak tanımlanır.

9. Doğrudan kutuplanmış diyotun statik karakteristiği \_\_\_\_\_ çeyrekte, diyotun ters kutuplanması sırasında ise \_\_\_\_\_ çeyrekte gösterilir.

10. Diyotun P-türü yarı iletkenin tarafındaki bağlantısına \_\_\_\_\_ denir ve \_\_\_\_\_ ile işaretlenir, N-türü yarı iletkenin tarafındaki bağlantısına \_\_\_\_\_ denir ve \_\_\_\_\_ ile işaretlenir.

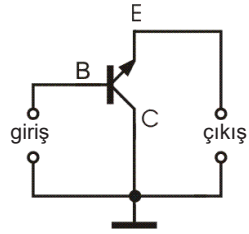
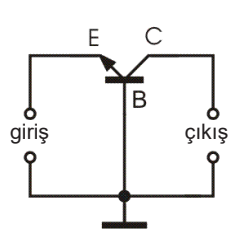
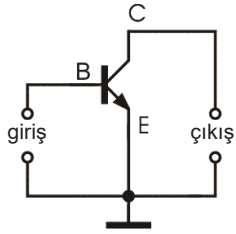
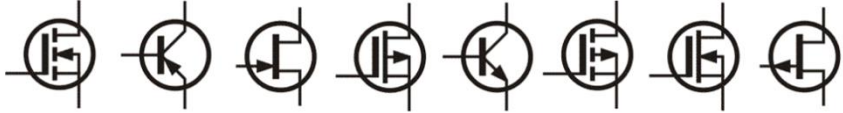
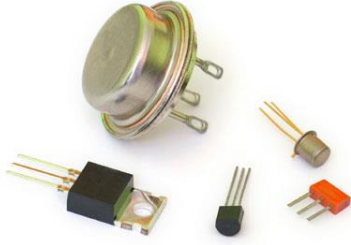
11. Elektrik özellikleri ışık yayışma enerjisindeki değişime bağlı elektronik elemanlara \_\_\_\_\_ denir.

12. LED diyot \_\_\_\_\_ kutuplanmada ışık yayar.

13. Fotodiyottan \_\_\_\_\_ kutuplanmada karanlıkta akımı akar.

# MODÜLER BİRİM 3

## TRANSİSTÖRLER



**Öğrenci bu modüler biriminin içeriklerini inceleyerek transistörler hakkında temel bilgileri edinecek ve şunları yapabilecektir:**

- Transistör türlerini ayırt etmek;
- Farklı transistör türlerinin uygulamalarını açıklamak;
- Bipolar ve unipolar transistörlerin kutuplanmasını açıklamak;
- Bipolar ve unipolar transistörlerin çalışma alanlarını tanımlamak;
- Transistörlerin statik ve dinamik karakteristiklerini açıklamak;
- Transistörlerin karakteristiklerini sunmak;
- Bir transistörü yükselteç ve anahtar olarak uygulamak;
- Transistörlü mantık devrelerinin yapımını açıklamak.

Analizde, tek yönlü büyüklüklere ilişkin aşağıdaki işaretlemeyi kullanacağız:

$U_{CE}$  – kolektör – emitör (toplayıcı – yayıcı) gerilimi

$U_{BE}$  – beyz – emitör (taban – yayıcı) gerilimi

$U_{CC}$  – kolektör güç kaynağının gerilimi

$U_{BB}$  – beyz güç kaynağının gerilimi

$I_C$  – kolektör akımı

$I_B$  – beyz akımı

$I_E$  – emitör akımı

Transistörün dinamik çalışma düzeninde, gerilimler ve akımlar için aşağıdaki işaretleme şekli uygulanmaktadır:

$U_{BE}, U_{CE}, U_B, U_C, I_B, I_C, I_E$  – sabit doğru (tek yönlü) değeri;

$u_{gi}, u_{be}, u_{ce}, u_{cik}, i_b, i_c, i_e$  – değişken bileşen (küçük sinyal);

$U_{gi}, U_{be}, U_{ce}, U_{cik}, I_b, I_c, I_e$  – küçük sinyalin genliği;

$u_{BE}, u_{CE}, i_B, i_C, i_E$  – toplam (total) değer (tek yönlü + küçük sinyal).

### 3.1 TRANSİSTÖR TERİMİ



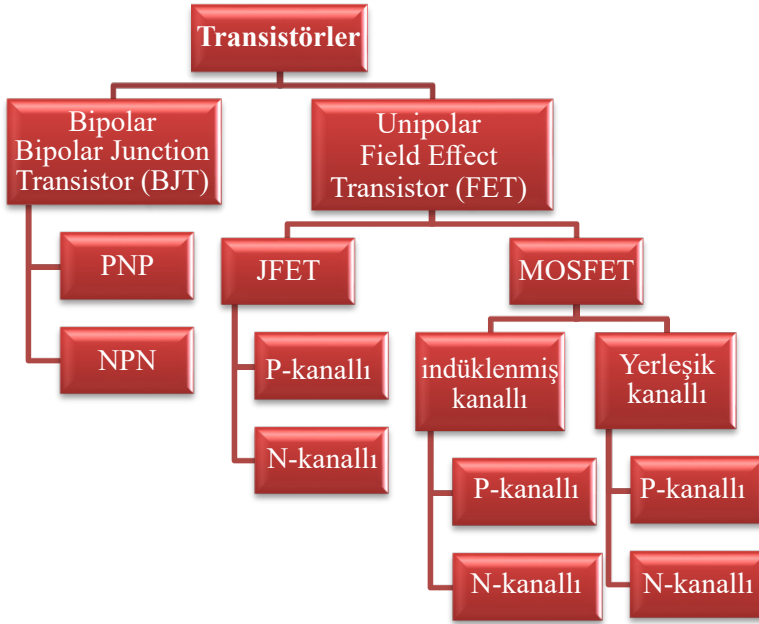
**Elektronik bileşenler aktif veya pasif olabilir. Aktif bileşenler, işlevlerini yerine getirmek için doğru kaynaktan güç gerektiren bileşenlerdir. Aktif bileşenlere şunlar aittir: iki kutuplu ve tek kutuplu transistörler, işlemsel yükselteçler, mikroişlemciler ve entegre devreler.**

İki PN bağlantısı tek bir yarı iletkenle birleştirildiğinde ne oluyor? Bu doğrultuda, 1948 yılından beri, iki Amerikalı bilim adamı Bretain ve Berdin, transistör adı verilen yeni bir elektronik eleman üzerinde çalışmışlar ve yapmayı başarmışlar. İlk silisyum transistör 1954 yılında **Texas Instruments** şirketinde üretilmiş. Ardından, yarı iletken teknolojisinin hızlı gelişimi sonucu olarak farklı transistör türleri ortaya çıkmış.

**Alan etkili transistörler** veya **FET (Field Effect Transistor)** teorisi, bipolar transistörlerin keşfinden çok daha önce, 1920 ve 1930 yılları arasında gelişmiş. FET'in orijinal modelinin, üzerine iki yarı iletken plakanın yerleştirildiği alüminyum bir plakası varmış. Plakaların diğer tarafına metal kontaklar yerleştirilmiştir. Alüminyum plaka ile metal kontaklar arasında, yarı iletkenin yüzeyinde elektrik alanı oluşturan gerilim uygulanır. Bu gerilim ile metal kontaklar arasında akım akışını kontrol etme olanağı sağlanıyor. Yarı iletken malzemelerin saflaştırılması teknolojisinin yeterince gelişmemiş olması, fikrin sonuna kadar gerçekleştirilmesine izin vermemiş.

Ancak 1952 yılında Amerikalı fizikçi William Shockley, alüminyum plakanın PN bağlantısıyla değiştirildiği katmanlı **FET'i (JFET - Junction Field Effect)** tanıtmış.

Transistör adı, transfer direnci, daha doğrusu kontrol edilebilen direnç anlamına gelen iki İngilizce **TRANS**fer res**ISTOR** kelimesinin birleştirilmesiyle elde edilir. Transistörler iki temel gruba ayrılabilir: bipolar (**BJT - Bipolar Junction Transistor**) ve unipolar veya alan etkili transistörler (**FET - Field Effect Transistor**) (Şekil 3.1). Her iki grup da PN bağlantılarını kullanan benzer bir yapıya sahiptir ancak çalışma prensipleri farklıdır.



Şekil 3.1: Transistör türleri

Çalışma düzenine göre, her iki grubun transistörler, yükselteçlere ve anahtarlara ayrılabilir.

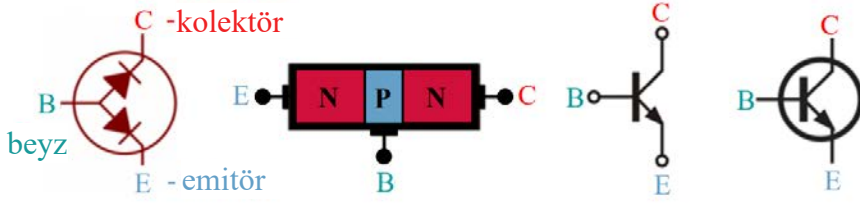
## 3.2 BİPOLAR TRANSİSTÖR TÜRLERİ

Bipolar (çift kutuplu) transistörler, iki PN bağlantısı ve **emitör (E)**, **beyz (B)** ve **kolektör (C)** olmak üzere üç elektrota (bağlantıya) sahip yarı iletken elemanlardır. PN bağlantılarının bağlanma şekline bağlı olarak NPN ve PNP etiketli iki türev mümkündür.

İki PN bağlantısı üzerinden kolektörden emitöre akan transistörün akımı iki tür elektrik yükü taşıyıcısı tarafından oluşturulur: negatif kutuplu elektronlar ve pozitif kutuplu boşluklar.

NPN transistörü, iki N-türü bölgeden ve aralarında karşıt türdeki P-türü yarı iletkenken oluşuyor. Ortak P bölgelerine sahip iki PN bağlantısının birleşimi, yani ortak emitöre sahip iki diyotun birleşimi olarak tanımlanabilir. Yapısı ve grafik sembolleri şekil 3.2’de verilmiştir.

## Transistörler

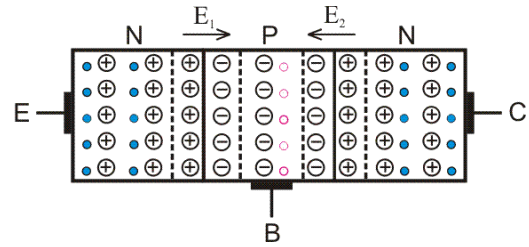


Şekil 3.2: NPN-transistörün yapısı ve grafik sembolleri

Transistörün orta bölgesi **beyz (B)** olarak adlandırılır ve transistör yapısında diğer iki bölgeye göre çok daha küçük genişliğe sahiptir.

N bölgesinin bir ucu **emitör (E)** olarak tanımlanır; bu, aşağıdaki metinde açıklanacak olan transistör kutuplanması koşulu altında, beyz (B) üzerinden ilerleyen ve **kolektör (C)** olarak adlandırılan transistörün karşı ucunda biriken elektronların yayıldığı bölgedir.

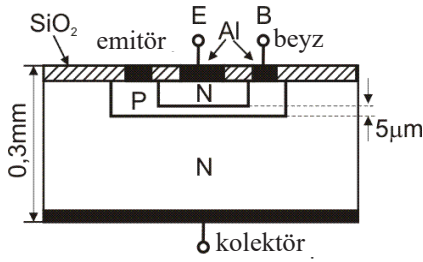
Süreçleri daha iyi anlamak için, Şekil 3.3'te verilen NPN transistörünün grafik gösterimini kullanacağız. Şekilden görüldüğü gibi, tek kristalin oluşum süreci tamamlandıktan sonra, zıt yönlere sahip  $E_1$  ve  $E_2$  iç alanları ile iki potansiyel bariyer ve iki engelleme bölgesi yaratılmaktadır.



Şekil 3.3 NPN transistörün grafik gösterimi

Biri emitör bağlantısı adı verilen **emitör-beyz** birleşiminde, diğeri ise kolektör bağlantısı olarak adlandırılan beyz ile **kolektör arasındaki** birleşimindedir. Bariyerlerin oluşturma şekli, modüler birim 2'de diyotlar için daha önce açıklanan yöntemle aynıdır.

Aşağıdaki şekil'de NPN transistörünün yarı iletken bölgelerinin gerçek fiziksel düzeni gösterilmiştir (Şekil 3.4).

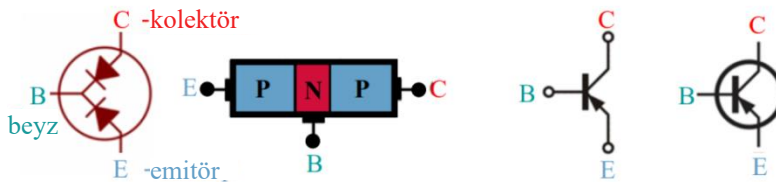


Şekil 3.4: NPN transistörün yarı iletken bölgelerinin fiziksel düzeni

Bazı transistör türleri için emitör ve kolektör arasındaki beyzin genişliği birkaç  $\mu\text{m}$ 'ye kadardır, P ve N yarı iletkenleri arasındaki bağlantı ise yaklaşık  $1\mu\text{m}$ 'dir. Beyz-kolektör ve beyz-emitör bağlantılarının alanları eşit değildir. Kolektör bağlantısının alanı, emitör bağlantı alanından birkaç kat daha büyüktür. Bu, kolektörün emitörden gelen tüm elektronları toplayabilmesi için gereklidir.

Diyotlar için açıklanan, belirli bir yarı iletken türünün yatağında, daha yüksek konsantrasyonda karşıt türden yabancı maddelerin eklenmesiyle PN bağlantılarının oluşturulması yöntemi, modern transistörlerin üretiminde de kullanılır. Şekil 3.4'te beyz katmanının kolektörde, emitör katmanının ise beyz'de oluşturulduğu görülmektedir. Bu, beyzdeki akseptörler konsantrasyonunun, kolektördeki donörlerin konsantrasyonundan daha yüksek olduğu ve emitördeki donörlerin konsantrasyonunun, beyzdeki akseptörlerin konsantrasyonundan daha yüksek olduğu anlamına gelir. Bu bize **emitör bağlantısının doğrudan kutuplanması sırasında emitör beyze, beyzin emitördeki boşluklarda attığından çok daha fazla elektron atacağını (yayacağını)** söylemektedir. Bu özellik, beyzin çok küçük genişliği olmasına rağmen, transistör etkisine önemli katkılarda bulunur.

PNP transistörü, iki P türü bölgeden ve aralarında bulunan karşıt türden, N türü yarı iletken oluşuyor. İki PN bağlantısının ortak N bölgelerine sahip bir birleşim, yani ortak bir kolektöre sahip iki diyotun bağlantısı olarak tanımlanabilir. Yapısı ve grafik sembolü şekil 3.5'te verilmiştir.

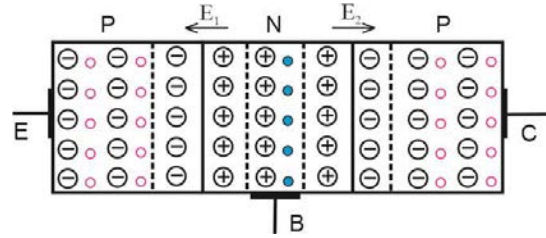


Şekil 3.5: PNP transistörün yapısı ve grafik sembolü

## Transistörler

PNP transistörün yapısı NPN transistörünün yapısıyla aynıdır, tek fark P ve N yarı iletkenlerinin yer değiştirmesidir. Burada emitör ve kolektör P türünden, beyz ise N türündendir. PN bağlantıları,  $E_1$  ve  $E_2$  iç alanları NPN transistörüne göre yönüne ters yöne bakacak şekilde yerleştirilir (Şekil 3.6).

Emitördeki akseptörlerin konsantrasyonu, beyzdaki donörlerin konsantrasyonundan çok daha yüksektir, bu da kolektördeki akseptörlerin konsantrasyonundan çok daha yüksektir, ve bu burada **ana akımın boşlukların akımı** olduğu anlamına gelir.



Şekil 3.6: PNP transistörün grafik gösterimi

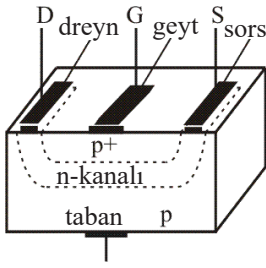
NPN transistörü için yukarıda yapılan inceleme PNP transistörüne de uygulanabilir. Burada emitör, elektronlar yerine ince beyzden geçen ve kolektöre geçen boşluklar yayacak. Onlar şimdi transistördeki ana akım taşıyıcılarını temsil ediyorlar.

### 3.3 UNİPOLAR TRANSİSTÖR TÜRLERİ

İki tür unipolar (tek kutuplu) veya FET (Field Effect Transistor) transistörü vardır: **bağlantı FET** (JFET) transistörleri ve **MOSFET**.

Alan etkili transistörler veya FET'ler, bipolar transistörlere benzer özelliklere sahiptir. Bipolar transistörlerin bağlantılarına karşılık gelen üç bağlantısı vardır (Şekil 3.4). Bunlar kolektör, beyz ve emitöre karşılık gelen **dreyin D** (drenaj), **geyt G** (kapı) ve **sors S** (kaynak) bağlantılarıdır.

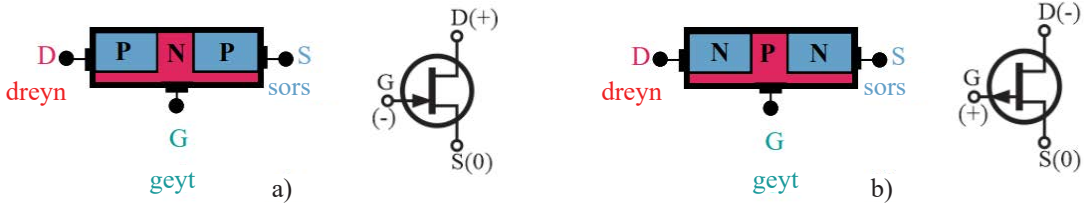
FET'in yapısı şematik olarak Şekil 3.7'de gösterilmektedir. N türü veya P türü silisyum yarı iletkenden dikdörtgen kesitli ince bir plakadan oluşur. Plakanın iki zit yüzeyine (şekilde dikey olarak karşıt), plakanın yapıldığı ve iki PN bağlantı oluşturduğu yüzeyin karşısına yarı iletken uygulanır.



Şekil 3.7: FET'in yapısı

Bu iki bölge birbirine metal bağlantılar aracılığıyla bağlanır ve **geýt (G)** adı verilen giriş elektrotunu temsil eder. Plakanın diğer uçlarında **dreyn (D)** ve **sors (S)** terminalleri için metal konektörler yerleştirilmiştir. Plakanın sors ile dreyn arasındaki dar kısmına **kanal** denir.

Karşıt türden yarı iletkenin uygulandığı plaka üzerindeki yarı iletken türüne bağlı olarak, plaka üzerinde N türünden yarı iletkenin bulunduğu **N-kanallı FET** (Şekil 3.8 a) ve P türünden yarı iletkenin bulunduğu **P-kanallı FET** ayırt ederiz (Şekil 3.8 b).

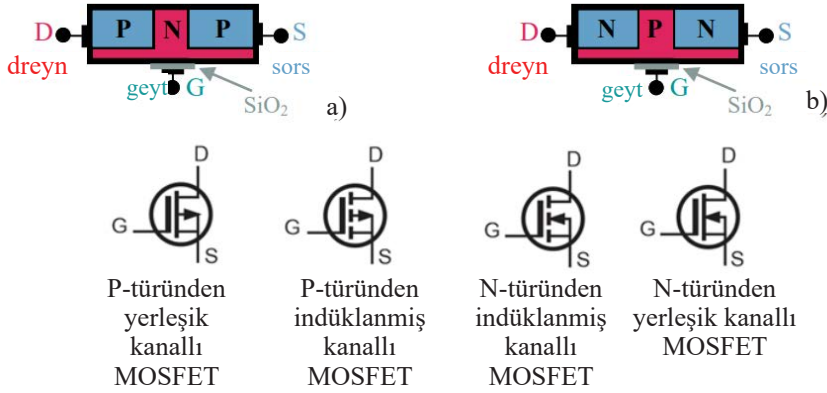


Şekil 3.8: a) N-kanallı ve b) P-kanallı JFET'lerin fiziksel yapısı ve grafik sembolleri

Alan etkili bağlantı transistörlerinin, bazı uygulamalarda onları bipolar transistörlerden üstün yapan birkaç özelliği vardır. Bunlar: çıkış dereceleri olarak daha yüksek giriş direnci, daha düşük içsel hırıltılar, daha küçük boyutlar ve daha yüksek gerilim yükseltmesi.

MOSFET'te, JFET'in belirli özellikleri iyileştirilmiştir. **MOSFET** adı, **Metal Oxide Semiconductor FET**'in kısaltmasıdır ve aynı zamanda yalıtımlı geýtli FET anlamına gelen IGFET (Insulated Gate FET) işareti de olabilir. Onun yapısı JFET'in yapısına benzer, sadece, geýt plakasının altına bir yalıtkan gibi davranan ve geýti alt tabakadan elektriksel olarak ayıran silisyum dioksit (cam) tabakasının yerleştirilmesidir (Şekil 3.9). İki tür MOSFET transistörü vardır: indüklenmiş kanallı MOSFET'ler (kutuplanma sırasında oluşturulan kanallar) ve yerleşik kanallı MOSFET'ler (üretim işlemi sırasında yerleşik kanallar).

## Transistörler



Şekil 3.9: a) N-kanallı MOSFET'in ve b) P-kanallı MOSFETİN yapıları ve grafik semboller

Bu transistörün temel özelliği, içinden geçen akımın sadece tek tür yüklerden oluşmasıdır, bu nedenle bunlara **unipolar (tek kutuplu)** da denir. Bipolar transistörlerle karşılaştırıldığında bir diğer fark, akım yönetim şeklidir. Bipolar transistörün çıkış akımı giriş akımı tarafından kontrol edilir, unipolar transistörün ise giriş gerilimi tarafından oluşturulan elektrik alanı tarafından kontrol edilir. Bu arada, giriş akımının gücü çok düşüktür. Unipolar transistörün giriş direnci çok büyüktür, bu da önceki dereceden çok az güç gerektirdiği anlamına gelir.

## UNUTMAYIN..!

- Çalışma düzenine göre her iki grubun transistörleri yükselteçlere ve anahtarlara ayrılabilir.
- Bipolar transistörün iki PN bağlantısı ve üç elektrotu vardır: emitör (E), beyz (B) ve kolektör (C).
- NPN-transistöründe kolektör akımının ana taşıyıcıları elektronlardır, PNP-transistöründe ise boşluklardır
- İki tür unipolar transistörü vardır: Bağlantı FET'ler (JFET'ler) ve MOSFET'ler (Metal – Oxide – Semiconductor FET).
- Unipolar transistörün bağlantıları G (geyt), D (dreyn) ve S (sors) ile işaretlenir.
- İki tür MOSFET transistörü vardır: İndüklenmiş kanallı MOSFET ve yerleşik kanallı MOSFET.
- Unipolar transistörlerden geçen akım yalnızca tek tür yükten oluşur, bu nedenle bunlara tek kutuplu (unipolar) transistörler de denir.

### 3.4 TRANSİSTÖRLERİN UYGULANMASI

Transistörler, elektronik ve elektroteknikğin tüm dallarında, yükselteçlerin, osilatörlerin, iletim cihazlarının ve ayarlama kurguların üretiminde kullanılmaktadır. Transistörler, elektronik ve elektroteknikğin dışında, günümüzde sanayinin hemen hemen tüm dallarında kullanılmaktadır. Büyük başarı ve hızlı gelişme, küçük boyutların, basit ve seri üretimin ve çok düşük enerji tüketiminin sonucudur.

**Bipolar transistörler akım kontrollü yükselteçlerdir, unipolar transistörler ise gerilim kontrollü yükselteçlerdir.** Keşfedildiği zamandan bugüne kadar, genel kullanım veya özel işlevler için geliştirilmiş ve uyarlanmış. Yükselteçler olarak 1 MHz'e kadar düşük frekanslarda, 100 MHz'e kadar orta frekanslarda ve 100 MHz'in üzerinde yüksek frekanslarda yükseltmek için üretilmiştir. Güce göre 0,2 W'a kadar düşük güçler, 1 W'a kadar orta güçler ve 1 W'un üzerinde yüksek güçler için olabilirler.

**Anahtarlama elemanları olarak,** standart anahtarlama fonksiyonlarının yanı sıra transistörler, dijital teknolojide karmaşık dijital sistemlerin oluşturucu parçaları olarak mantık kapılarının yapımında kullanılır. Dolayısıyla, örneğin bir yarı iletken çip birkaç milyon transistör anahtarlama elemanı içerebilir.

**Transistörlerin kullanımının iki ana yönü vardır: entegre devrelerde (analog veya dijital) temel yapı elemanları olarak ve daha yüksek güç devrelerinde ayrıık bileşenler olarak.** İşlevsel olarak yükseltme elemanları veya anahtarlama elemanları olarak kullanılırlar. Bugün tüm iletişim, bilgisayar, otomasyon, trafik, radyo ve televizyon teknolojisi, internet, askeri teknoloji, uzay teknolojisi dünyası ve aynı zamanda (evlerdeki) günlük yaşamımız "Majesteleri transistöre" bağımlıdır.



Transistörlü elektronik devrelerin elektrik şemalarını analiz eder. Analiz edilen şemaların pratik uygulamasını öğretmeninizin yardımıyla belirleyin!

### 3.5 BİPOLAR TRANSİSTÖRÜN KUTUPLANMASI



Bipolar transistör elektronik bileşeni, (bir PN bağlantısı ve iki elektrotu, A-anot ve K-katot içeren diyottan farklı olarak), iki PN bağlantısı ve E-emitör, B-beyz ve C-kolektör olmak üzere üç elektrotu olan yarı iletken elemandır.

Transistörün iki PN bağlantısı olduğundan ve bunların her biri doğrudan veya ters olarak kutuplanabildiğinden, dört kutuplanma yolu, yani transistörün dört çalışma bölgesi vardır. Beyz, emitör ile kolektör arasında ortada yer aldığından, iki PN bağlantı noktasına şu adlar verilir: **emitör bağlantısı** (beyz ve emitör arasında) ve **kolektör bağlantısı** (beyz ve kolektör arasında) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: NPN ve PNP türünden transistörlerin PN-bağlantıları

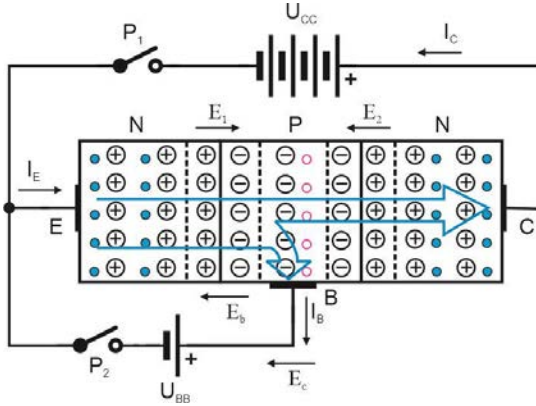
PN bağlantılarının kutuplandığı yöntemine göre, transistör aşağıdaki çalışma düzenlerinden birinde bulunabilir (tablo 3.1):

Tablo 3.1: Transistörün çalışma düzenleri

| Transistörün çalışma düzeni | Emitör bağlantısının kutuplanması | Kolektör bağlantısının kutuplanması |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Normal aktif bölge          | Doğrudan                          | Ters                                |
| Ters aktif bölge            | Ters                              | Doğrudan                            |
| Doyma bölgesi               | Doğrudan                          | Doğrudan                            |
| Durdurma/kapatma bölgesi    | Ters                              | Ters                                |

Transistörün hangi çalışma bölgesinde bulunacağı kutuplanmasına bağlıdır. Şekil 3.1’de bir NPN transistörünün kutuplanma devresi gösterilmiştir. Bağlantıların kutuplanması için iki doğru akım kaynağı gereklidir. Beyz ile emitör arasında bağlanan  $U_{BB}$  kaynağı ile emitör bağlantısı doğrudan kutuplanır, kolektör ile emitör arası-

na bağlanan,  $U_{BB}$  kaynağında daha büyük olması gereken  $U_{CC}$  kaynağı ile, kolektör bağlantısı ters kutuplanır. Transistörün böyle kutuplanmasıyla **normal aktif bölgede** çalışmaktadır.



Şekil 3.11 Normal aktif bölgede kutuplanan NPN-transistörü

$P_1$  ve  $P_2$  anahtarlarının kapanmasıyla,  $U_{BB}$  doğru akım kaynağı, beyz ile emitör arasında, beyzden emitöre yönlendirilen  $E_b$  dış alanı oluşturur. Kaynak gerilimin yeterince büyük değeri için, dış alan  $E_b$ , iç alan  $E_i$ 'e karşı çıkar ve emitör bağlantısını doğrudan kutuplar.

Çok sayıda serbest elektron, emitör bağlantısı üzerinden emitör bölgesinden geçerek beyz bölgesine giriyor.

Ancak beyz alanı çok küçük olduğundan ve az sayıda boşluklara sahip olduğundan dolayı, elektronlar ve boşluklar arasında yeniden birleşme olasılığı çok azdır.  $I_B$  beyz akımının oluşmasında sadece boşluklarla yeniden birleşen elektronlar katılır. Kalan elektron sayısı beyzin bağlantısına yönlendirilemez, onlar difüzyon yoluyla beyz ile kolektör arasındaki engelleme bölgesinin sınırına doğru hareket ettirilir. Burada  $E_C$  ve  $E_2$  alanlarının etkisine girerek kolektör bağlantısını geçerek kolektör bölgesine giderler. Sonuç olarak, emitör-kolektör devresinde  $I_C$  akımı akacaktır. Bu akımın gücü emitör bağlantısından geçen serbest elektronların sayısına, yani emitör bağlantısının doğrudan kutuplanma derecesine bağlı olacaktır, ancak pratik olarak kolektör bağlantısının ters kutuplanma derecesine bağlı değildir çünkü hepsi ona ulaşan tüm elektronlar kolektöre geçecektir. Buna göre, transistör normal aktif bölgesinde bulunduğu anda, **küçük  $U_{BB}$  gerilimi ve küçük  $I_B$  beyz akımı yardımıyla, büyük kolektör akımı kontrol ediliyor ve bununla birlikte emitör akımı da kontrol ediliyor, bu da transistör etkisinin özüdür.**

Normal aktif bölgedeki emitör bağlantısı nispeten büyük akımlar düzeninde

## Transistörler

(mA sırasından) çalıştığından, doğrudan kutuplan beyz-kolektör bağlantısının gerilimi çok az değişir. Büyük güce sahip olan  $I_E$  ve  $I_C$  akımları transistörden akacak ve aşağıdaki eşitlik geçerli olacaktır:

$$I_E = I_B + I_C$$

Şekil 3.11'de sadece beyz-emitör gerilimi  $U_{BB}$  'nin kutupluluğu değişirse, transistör normal aktif bölgeden **kapanma bölgesine** geçiyor. Kapanma bölgede iki PN bağlantısı ters kutupludur çünkü beyz hem emitöre hem de kolektöre göre daha düşük potansiyelindedir. Bu arada beyze yalnızca iki bağlantının ters doyma akımları akıyor. Çok küçük olduklarından (silisyum transistörlerde nA sırasındadır) transistörün açık devre gibi davrandığını ele alabiliriz.

Eğer kolektör bağlantısının kutuplanması gerilimin için sadece kutupluluğu değişirse, transistör normalde aktif bölgeden **doyma bölgesine** geçiyor. Bu bölgede her iki PN bağlantısı da doğrudan kutupludur. Transistörden yalnızca bağlı olduğu devredeki gerilimlere ve dirençlere bağlı olarak büyük akımlar akabilir. Transistörün bu davranışı öncekinin tersidir ve devrede kısa devre gibi davranır.

Şekil 3.11'de  $P_1$  ve  $P_2$  anahtarları açıkken kolektör ve emitör yerlerini değiştirirse transistör **ters aktif bölgede** kutuplanacaktır. Bu arada, emitör ve kolektör rollerini değiştirir, ancak bu kalitesiz davranışa yol açar çünkü kolektör taşıyıcıların kötü bir “yayıcısıdır”, emitör ise kötü bir “toplayıcısıdır”. Dikkat etmezsek, bu durum transistörü bir devreye bağlarken kolaylıkla meydana gelebilir, dolayısıyla arızalı olduğunu düşünebiliriz.

Eğer  $P_2$  anahtarı açık bırakılırsa (beyz asılı), kolektör-emitör gerilimi iki bağlantı arasında dağıtılacak, böylece neredeyse tamamı ters kutuplanmış kolektör-beyz bağlantısında görünecek, beyz-emitör gerilimi çok az doğrudan kutuplanmış olup “**açık bazlı kolektör-emitör akımı**” adı verilen küçük kolektör akımı  $I_{CEO}$  akacaktır.

Ters akım  $I_{CBO}$ , açık emitörde (emitör asılı) ters kutuplanmış kolektör-beyz bağlantısından akan küçük değerli kolektör akımı olan “**açık emitörde kolektör-beyz akımıdır**”.

Transistörün normal aktif bölgede çalışmasını incelediğimizde, emitörden geçen akımın ( $I_E$ ) neredeyse tamamının aynı zamanda kolektörden ( $I_C$ ) de geçtiğini gördük. Bu iki akım arasındaki fark beyz akımını oluşturur ( $I_B = I_E - I_C$ ). Normal aktif bölgedeki transistörün akımları arasında aşağıdaki ilişkiyle gösterilen doğrusal bir bağımlılık vardır:

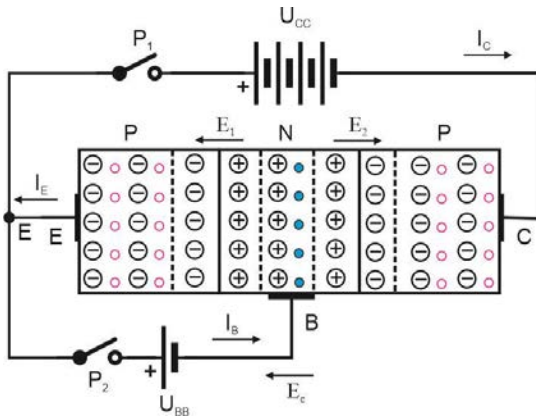
$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CBO} \dots \dots \dots (3.1)$$

Bu ilişki  $I_{CBO}$  akımının küçük değerinden dolayı, çoğu durumda aşağıdaki şekle basitleştirilebilir:

$$I_C = \beta I_B \dots \dots \dots (3.2)$$

Bu ilişkiyi bilim adamları Ebers ve Moll türetmiş ve bunun için transistördeki gerilim ve akım denklemlerine, yani transistörün modeline “**Ebers-Moll modeli**” olarak adlandırılır.  $\beta$  **parametresine transistörün akım yükseltme katsayısı denir.**

Aynı analiz tüm gerilimlerin ve akımların ters yönde olduğu PNP transistörü için de gerçekleştirilir.



Şekil 3.12: Normal aktif bölgede kutuplanmış PNP-transistörü

Şekil 3.12'de iki gerilim kaynağının ters yerleştirildiğini ve bağlantıları boyunca akımların teknik yönlerinin ters olarak işaretlendiğini görebiliriz. Gerilimlerin  $U_{CC} > U_{BB}$  değerlerine ayarlanması normal aktif alanda kutuplanmayı sağlar.

Burada emitör, elektronlar yerine ince beyzden geçen ve kolektöre geçen boşluklar yayacak. Şimdi onlar transistördeki ana akım taşıyıcılarını temsil ediyorlar.

Bu arada, transistörün şematik tanımındaki emitörden gelen okun yönünü ve şekil 3.12'de gösterilen akımların teknik yönlerini karşılaştırırsak bunların çakıştığını

## Transistörler

göreceğiz. Ancak pratikte transistör akımları için referans yönlerin de kullanıldığını belirtmeliyiz. Referans yönlerine göre tüm akımların transistöre girdiği varsayılmaktadır. Bu nedenle onlarda hem pozitif hem negatif değerler vardır (her zaman pozitif değerleri olan teknik değerlerden farklı olarak).

### UNUTMAYIN..!

- Transistör, emitör PN bağlantısının doğrudan kutuplanması ve kolektör PN bağlantısının ters kutuplanması sırasında normal aktif bölgede bulunmaktadır.
- Transistörlerdeki akımların bağımlılığı şu ifadeyle tanımlanır:  $I_E = I_B + I_C$ .
- Transistör normal aktif bölgede akım, gerilim veya güç yükseltici olarak çalışır.
- Doyma bölgesi her iki bağlantı noktasının doğrudan kutuplanması ile belirlenir, transistör ise kapalı anahtar gibi davranır.
- Doyma bölgesinde kolektör bağlantısının gerilimi çok düşük değere sahiptir.
- Kapanma bölgesinde transistörden oda sıcaklığında ihmal edilebilecek kadar çok küçük ters doyma akımları akmaktadır.
- $\beta$  ortak emitör bağlantısındaki transistörün akım yükseltme katsayısını temsil eder.
- Kapalı düzeni, emitör ve kolektör bağlantısının ters kutuplanmasıyla tanımlanır. Bu koşullarda transistör açık anahtar gibi davranır.
- Transistörün ters aktif bölgesinde çalışmasında akımın yükseltilmesi çok küçüktür.
- Kolektör akımı, kutuplanma kaynağının küçük giriş gerilimi ve transistör etkisinin özü olan küçük giriş akımı  $I_B$  tarafından kontrol edilir.
- Referans yönlerine göre tüm akımların transistöre girdiği varsayılmaktadır.

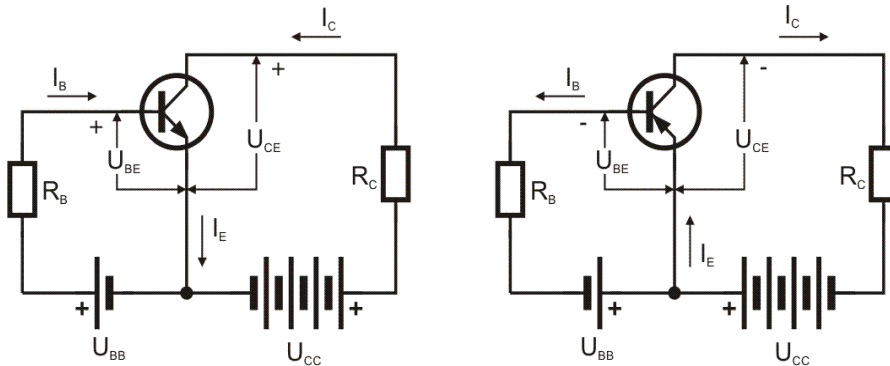
### 3.6 TRANSİSTÖRÜN STATİK ÇALIŞMA DÜZENİ

Transistörün iki çalışma düzeni vardır: statik ve dinamik. Statik çalışma düzeni, transistör devresinde yalnızca transistörü kutuplayan doğru gerilimler ve akımlar olduğunda elde edilir. Transistör, emitör bağlantısı doğrudan kutuplanarak, kolektör ise ters kutuplanarak kutuplanır. Dinamik çalışma düzenine, doğru gerilimler ve akımlarla birlikte, yükseltilmesi gereken alternatif sinyalin de gerilimi ve akımı vardır.

#### 3.6.1 Transistörün Statik Karakteristikleri

Statik çalışma düzeninde transistörün devresi şekil 3.13'te gösterilmiştir. Analiz için NPN transistör devresini kullanacağız ve aynı PNP transistör devresi için de geçerlidir sadece akımlar ve gerilimler için zıt yön kullanılır. Kolektör ve beyz devresinde beyz akımını belirleyen  $R_B$  rezistörü ve kolektör akımını belirleyen  $R_C$  rezistörü yerleştirilir.

Transistörlerin “ortak emitör bağlantısında” oldukları söylenir çünkü emitör hem beyz hem kolektör akımı için ortaktır.



Şekil 3.13: Statik çalışma düzeninde transistör devresi

Devrelerde akımların referans yönleri belirtilmiştir. Devreyi çözmek için emitör okunun gösterdiği yönün kullanılması tavsiye edilir.

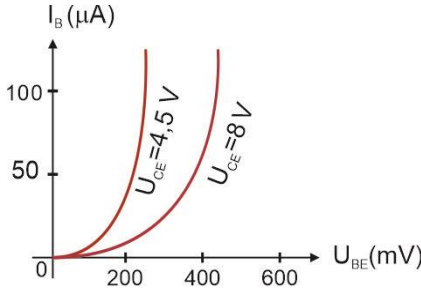
Yukarıda verilen, dört büyüklüğün açıkça birbirine bağımlı olduğu görülmektedir. Bunlar: giriş büyüklükleri olarak beyz akımı  $I_B$  ve beyz-emitör gerilimi  $U_{BE}$  ve çıkış büyüklükleri olarak kolektör akımı  $I_C$  ve kolektör-emitör gerilimi  $U_{CE}$ 'dir. Bağımlılıkları, transistörün statik karakteristikleri aracılığıyla grafiksel olarak gösterilebilir. Statik karakteristlikler, transistörün çalışma prensibini en güvenilir



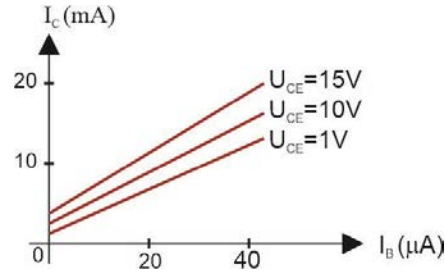
Bir sonraki eğriyi kaydederken,  $P_2$  ile  $I_B$  akımının büyüklüğü  $10 \mu A$  değerine ayarlanır. Tüm süreç öncesinde olduğu gibi tekrarlanıyor.  $I_B$  akımının değerlerini 20, 40, 60, 80, 100 ve  $120 \mu A$  değiştirerek diyagramdaki diğer tüm eğriler elde edilir.

$U_{CE}$  kolektör-emitör gerilimin sabit değerleri için  $U_{BE}$  beyz-emitör gerilimdeki değişikliklere bağlı olarak  $I_B$  beyz akımındaki değişimi tanımlayan karakteristiğe transistörün **giriş karakteristiği** denir.  $U_{CE}$  gerilimin farklı değerleri için karakteristikler grubu elde edilir (Şekil 3.16). Matematiksel olarak şu ifadeyle temsil edilir:

$$I_B = f(U_{BE}) \quad U_{CE} = const. \dots \dots \dots (3.4)$$



Şekil 3.16: Giriş karakteristikleri



Şekil 3.17: İletim karakteristikleri

Giriş karakteristiği iki giriş büyüklüğüne, çıkış karakteristiği iki çıkış büyüklüğüne bağımlılığı gösterirken, iletim karakteristiği bir giriş ve bir çıkış büyüklüğün bağımlılığını verir. Ortak emitöre sahip bağlantıdaki bir transistörde, iletim karakteristiği, sabit çıkış gerilim  $U_{CE}$ 'de, çıkış  $I_{CE}$  kolektör akımının, giriş  $I_B$  beyz akımına bağımlılığı olarak tanımlanır (Şekil 3.17).

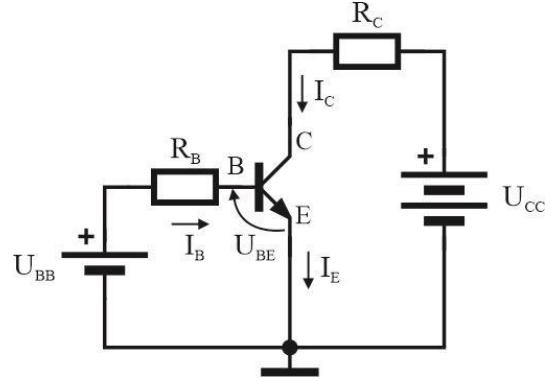


Tanımlanan statik özellikler, ortak emitör bağlantısındaki transistör için geçerlidir. Ortak bir beyz ile bağlantıda olan transistörün bağımlılıklarını (giriş emitör - çıkış kolektör) ve ortak kolektör ile bağlantısında olan transistörün bağımlılıklarını (giriş emitör - çıkış beyz) yazın!

### 3.6.2 TRANSİSTÖRÜN STATİK ÇALIŞMA NOKTASI VE ÇALIŞMA DOĞRUSU

Çıkış karakteristikleri çalışma noktası ve çalışma doğrusu terimlerini tanımlama olanağını sunar.

Pratikte, transistörün kolektörü güç kaynağına çok seyrek doğrudan bağlanır.  $U_{CE}$  gerilimin değerini ayarlayan ve kolektör devresinde yük görevi gören, kolektör ile kaynak arasında genellikle  $R_C$  rezistörü takılır (Şekil 3.18). Bu rezistörün transistörün çalışması üzerindeki etkisi, transistörün çıkış karakteristiğinde doğruyla tanımlanabilir.



Şekil 3.18: Transistörün statik çalışma düzeni

Doğrunun konumu, kaynak gerilimin değerine ve yük direncinin değerine bağlıdır ve matematik yoluyla belirlenebilir. Matematiksel belirleme için, transistörün çıkış devresine Kirchoff'un II yasası uygulanarak elde edilen **çalışma doğrusu denklemi** kullanılır:

$$U_{CC} - R_C I_C - U_{BE} = 0 \dots \dots \dots (3.5)$$

veya başka bir biçimde:

$$U_{BE} - U_{CC} - R_C I_C \dots \dots \dots (3.6)$$

Şimdi iki nokta belirlememiz gerekiyor:

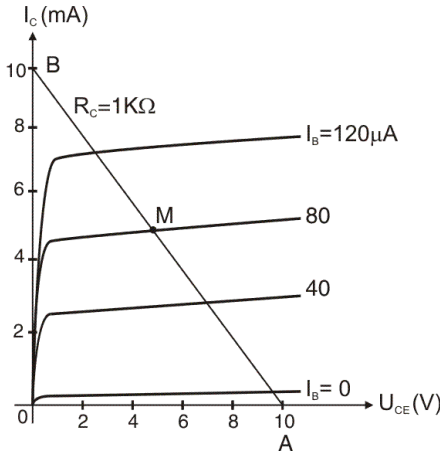
$$I_C = 0, \text{ için, } U_{BE} = U_{CC} \text{ ve } U_{CE} = 0 \text{ için } I_C = \frac{U_{CC}}{R_C}$$

ve bunları  $I_C - U_{CE}$  çıkış karakteristikler sistemine girelim ve bağlayalım. Böylece, örneğin  $U_{CC} = 10 \text{ V}$  ve  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$  değerleri verilmiş ise noktaların koordinatları şöyle olacaktır:

A noktası için,  $I_C = 0$ ,  $U_{CE} = 10V$

B noktası için,  $U_{CE} = 0$ ,  $I_C = \frac{10}{1000} = 10mA$

Elde edilen durum Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.19: Çalışma doğrunun pozisyonu

Transistörün **statik çalışma noktası M**, çalışma doğrusu ile  $I_B = const$  çizgisi arasındaki kesişimi temsil eder. bu, beyz devrede ayarlanan akıma karşılık gelir. Eğer  $U_{BB}$  gerilimi ve  $R_B$  direnci biliniyorsa, beyz akımı beyz kontüründen kolayca belirlenebilir çünkü doğrudan kutuplanmış beyz-emitör bağlantısının gerilimi genellikle 0,6 ile 0,7 V arasında değişir ve sabit olarak alınır (genellikle 0,7 V).

Kirchhoff'un ikinci yasasını uygulayarak devredeki giriş kontürü için şunu elde ediyoruz:

$$U_{BB} - R_B I_B - U_{BE} = 0 \dots \dots \dots (3.7)$$

Buradan beyz akımı için şu ifade elde ediliyor:

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} \dots \dots \dots (3.8)$$

$I_B = const.$  için  $I_C = f(U_{CE})$  çıkış karakteristiklerinden herhangi bir çizgisi, transistörün statik parametresi olan ortak emitör ile bağlantıdaki akım yükseltme faktörü  $\beta$ 'ti yaklaşık olarak belirleme olanağı sağlar:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \dots \dots \dots (3.9)$$

Akım yükseltme faktörü kolektör akımı  $I_C$  ve beyz akımı  $I_B$ 'nin oranı olarak tanımlanır ve isimsiz bir sayıyı temsil eder.

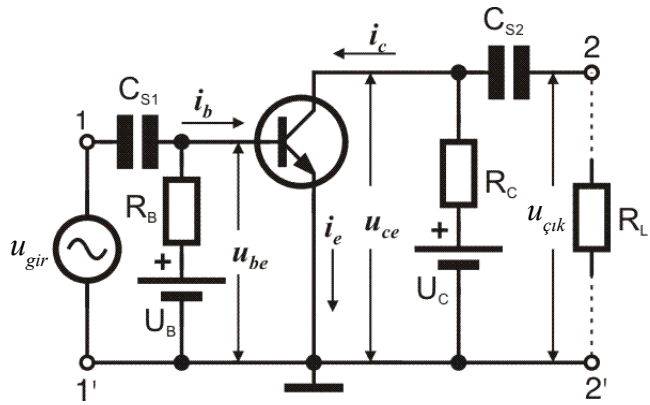
**UNUTMAYIN..!**

- Statik çalışma düzeni, transistörün devresinde yalnızca transistörü kutuplayan sadece doğru gerilimler ve akımlar olduğunda elde edilir.
- $I_B = \text{const.}$  için  $I_C = f(U_{CE})$  transistörün çıkış karakteristiğini temsil eder.
- $U_{CE} = \text{const.}$  için  $I_B = f(U_{BE})$  transistörün giriş karakteristiğini temsil eder.
- Akım yükseltme faktörü, kolektör akımı  $I_C$  ve beyz akımı  $I_B$ 'nin oranı olarak tanımlanır ve isimsiz bir sayıdır.

**3.7 TRANSİSTÖRÜN DİNAMİK ÇALIŞMA DÜZENİ**

Transistörü normal aktif bölgede statik çalışma düzenine getirmek için gösterdiğimiz tüm çabalar, onun yükselteç işlevini yerine getirebilmesi için sadece bir hazırlıktır. Sinyalin değişken geriliminin (akımının) transistörün girişine getirilmesiyle, çalışma noktası artık durgun değildir, sinyalin ritminde çalışma çizgisi boyunca hareket eder ve transistör dinamik çalışma düzenine girer.

**Dinamik çalışma düzeni, transistörün yükselteç olarak çalışması anlamına gelir.** Dinamik düzende, transistörü kutuplayan ve statik çalışma noktasını belirleyen doğru gerilim ve akımların yanı sıra, yükseltilmesi gereken sinyalin alternatif gerilimi ve akımı da vardır. Bu sinyal, transistörün yükseltme derecesinin girişine getirilir (Şekil 3.20) ve ilerdeki işlemler için (yükseltmenin devamı veya belirli bir cihazın aktivasyonu için) o derecenin çıkışında yükseltilir.



Şekil 3.20: Dinamik düzeninde transistör

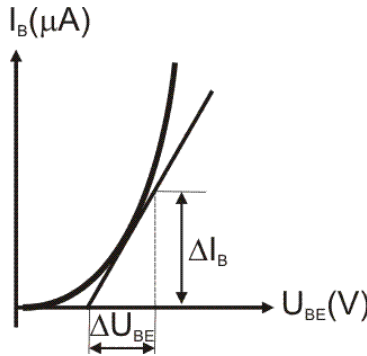
**Transistörün akım yükseltmesi**, çıkış karakteristiklerinin çalışma noktasındaki kolektör akımı  $I_C$ 'nin ve beyz akım  $I_B$ 'nin oranı olarak tanımlanır.

**Çıkış direnci**, çalışma noktasında çıkış karakteristiğinin teğetinin eğimi ile belirlenir.

**Giriş direnci** buna uygun olarak çalışma noktasında giriş karakteristiğinin teğetinin eğimidir. Diyotların dinamik direnciyle karşılaştırılabilir.

Giriş karakteristiğinden, karakteristiğin çalışma noktasındaki teğetin eğimi olarak belirlenir (Şekil 3.21):

$$R_{vi} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \dots\dots\dots(3.10)$$

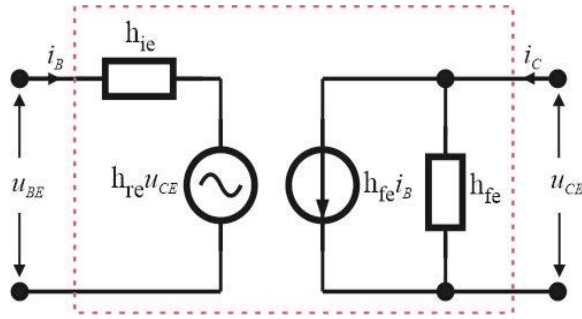


Şekil 3.21: Transistörün giriş direncinin belirlenmesi

### 3.7.1 h-PARAMETRELERİ İLE TRANSİSTÖRÜN EŞDEĞER ŞEMASI

Ortak bir emitörle bağlantıdaki transistörün analizi için, küçük genlikli düşük frekanslı sinyallerle çalışırken, h parametreleri en uygundur (Şekil 3.22). **h-parametreler** şeması sadece değişken sinyaller için geçerlidir ve doğru devrenin alternatif düzen devresinden ayrı olarak değerlendirilebilmesi için çalışmasının analizini basitleştirmek amacıyla kullanılır.

## Transistörler



Şekil 3.22: h-parametreler ile transistörün eşdeğer devresi

Bu parametrelerle, giriş gerilimi ile giriş akımının, çıkış gerilimi ve çıkış akımı arasındaki oranı belirleyen iki denklem oluşturulur. Bu durumda alternatif gerilimler ve akımlar, doğru değerlerinde küçük değişiklikler olarak gösterilebilir ve h- parametrelili denklem sistemi şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{cases} \Delta U_{BE} = h_{ie} \Delta I_B + h_{re} \Delta U_{CE} \\ \Delta I_C = h_{fe} \Delta I_B + h_{oe} \Delta U_{CE} \end{cases} \dots\dots\dots(3.11)$$

Transistörün çıkış devresinin alternatif akıma göre kısa devre edilmesiyle, çıkış gerilimin değişimi  $\Delta U_{CE}$  sıfır olur. Sistemin ilk denkleminde şunu elde ediyoruz:

$$\Delta U_{CE} = 0 \text{ için } h_{ie} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \dots\dots\dots(3.12)$$

Bu parametre, **çıkış kısa devrede transistörün giriş direncini temsil eder.**

Giriş devresi açık olduğunda giriş akımı akmaz, dolayısıyla  $\Delta I_B = 0$  ve ilk denklemden şunu elde ediyoruz:

$$\Delta I_B = 0 \text{ için } h_{re} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \dots\dots\dots(3.13)$$

Bu parametre **açık giriş devrede gerilim geribesleme döngü katsayısını** temsil eder ve isimsiz bir sayıdır. Bu parametrenin değeri modern transistörlerde çok küçük olduğundan ilerideki analizlerde dikkate alınmayacaktır.

Kısa devreli çıkış devresi için ikinci denklemden şunu elde ediyoruz:

$$\Delta U_{CE} = 0 \text{ için } hfe = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \dots\dots\dots(3.14)$$

Bu parametre, **çıkış devresi kısa devrede transistörün akım yükeltme katsayısını temsil eder** ve isimsiz bir sayıdır.

Beyz ve kolektör akım değişimleri eşit olduğunda, yani karakteristik doğrusal olduğunda, akım yükseltme ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} \dots\dots\dots(3.15)$$

Akım yükseltmesindeki değişiklik transistör türüne bağlıdır. Düşük güce sahip transistörler için, beys akımdaki aynı değişiklik için karakteristikler arasındaki mesafe sabittir; bu, akım yükseltmelerinin kolektör akımının gücüne bağlı olmadığı anlamına gelir. Daha yüksek güce sahip transistörlerin akımın yükseltmesinin daha düşük değeri vardır ve kolektör akımının artmasıyla azalır.

Açık giriş devresi için ikinci denklemden şunu elde ediyoruz:

$$\Delta I_B = 0 \text{ için } hoe = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \dots\dots\dots(3.16)$$

Çıkış direncinin evrik değeri aslında **çıkış iletkenliği** yani  $h_{oe}$  parametresidir. Küçük değeri nedeniyle  $h_{oe}$  parametresi çoğu durumda ihmal edilebilir.

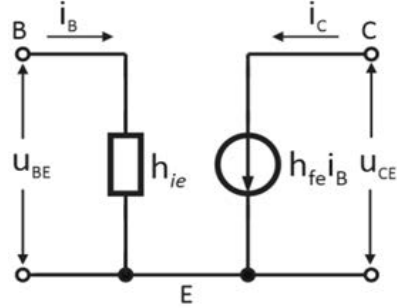
Hibrit parametrelerin değerleri, tanımlarında belirtilen koşullar altında transistörün terminallerindeki gerilim ve akımların ölçülmesiyle kolaylıkla ölçülebilir. Pratikte bu değerler doğrudan bilgisayar yönetimli aletlerle ölçülürler.

Transistör, genel olarak gerçek ve sanal kısmı olan karmaşık değerler olan diğer parametrelerle de sunulabilir. Transistörün çalışma düzeni düşük frekanslı sinyallerle

## Transistörler

sınırlıysa, sanal kısımlar ihmal edilebilir ve parametre değerlerinin yalnızca gerçek kısımları kalır. Böyle durumda empedanslar direnç oluyor, admitanlar ise dirençlerin ters değerleri yani iletkenlikler olur.

Diğer taraftan, küçük sinyaller ile çalışma düzeninde, kabul edilebilir derecede iyi bir transistör modeli elde etmek için dört parametrenin tamamının kullanılması gerekli değildir. Çoğu durumda  $h_{re}$  ve  $h_{oe}$  parametrelerinin ihmal edilebilecek kadar küçük değerlere sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumlarda transistör yalnızca iki parametre ( $h_{ie}$  ve  $h_{fe}$ ) ile temsil edilir. Transistörün  $h$  parametreleriyle eşdeğer diyagramı şimdi Şekil 3.23'teki gibi görünmektedir.



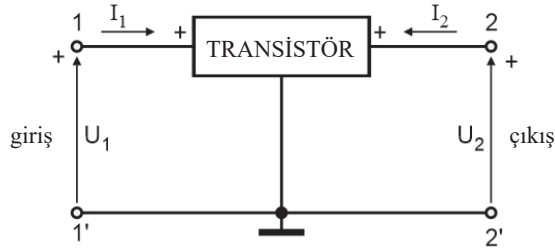
Şekil 3.23:  $h$ -parametreler ile transistörün eşdeğer şeması

### UNUTMAYIN..!

- Transistörün akım yükseltmesi, çıkış karakteristiklerinin çalışma noktasında kolektör akımı  $I_C$  ile beyz akımı  $I_B$ 'nin oranı olarak tanımlanır.
- Çıkış direnci, çıkış karakteristiğinin çalışma noktasındaki teğetin eğimi ile belirlenir.
- Giriş direnci uygun olarak giriş karakteristiğinin çalışma noktasındaki teğetin eğimidir.
- $h_{ie}$  parametresi, çıkış kısa devre olduğunda transistörün giriş direncini temsil etmektedir.
- $h_{fe}$  parametresi, çıkış devresi kısa devre olduğunda transistörün akım yükseltmesini temsil eder ve isimsiz bir sayıdır.
- Küçük sinyallerle çalışma düzeninde transistör yalnızca  $h_{ie}$  ve  $h_{fe}$  olmak üzere iki parametreyle temsil edilir.

### 3.8 BİPOLAR TRANSİSTÖRÜN BAĞLANTILARI

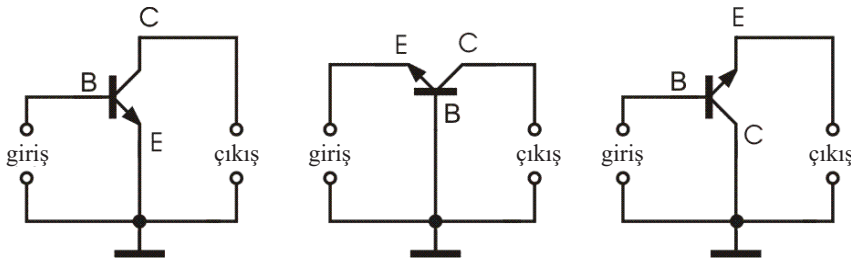
Transistör doğrusal olmayan bir elemandır, ancak genel iki kapılı doğrusal ağı özel bir durumu olarak onun doğrusal eleman olarak modeli yapılabilir. Bu kapı, Şekil 3.24'te iki giriş bağlantısı (1 ve 1') ve 2 ve 2' ile işaretlenmiş iki çıkış bağlantısı ile tanımlanır.



Şekil 3.24: Aktif dört kutuplu olarak transistör

Ancak sadece üç terminali olduğundan, bunlardan biri giriş ve çıkış için ortak olacaktır. Giriş ve çıkışta hangi terminalin ortak olduğuna bağlı olarak üç tür transistör bağlantısını ayırt ediyoruz (Şekil 3.25):

- ortak emitör bağlantılı transistör, girişin beyz ile emitör arasında olduğu ve çıkışın kolektör ile emitör arasında olduğu transistör;
- ortak beyz bağlantılı transistör, girişin emitör ile beyz arasında olduğu ve çıkışın kolektör ile beyz arasında olduğu transistör;
- ortak kolektör bağlantılı transistör, girişin beyz ile kolektör arasında olduğu ve çıkışın emitör ile kolektör arasında olduğu transistör.



Şekil 3.25: Transistör bağlantı türleri

Ortak emitör bağlantısı en çok kullanılan bağlantıdır. Ortak terminal genellikle topraklanır, bu nedenle topraklanmış emitör, topraklanmış beyz veya topraklanmış kolektör bağlantı terimleri de kullanılır.

## Transistörler

H-parametreleri için denklemler sistemine dayanarak, bir yükselteçin genel devresine karşılık gelen (akım yğkseltmesi  $h_{fe}$ , giriş ve çıkış direnci ile) Şekil 3.22'deki gibi eşdeğer devre çizilebilir. Devredeki transistörün bağlantı türüne bağlı olarak h parametrelerinin değerleri de değişir. Bunları ayırt edebilmek için indiste hangi bağlantıya ait olduğuna dair işaretleri de vardır. Böylece,  $h_{ib}$ ,  $h_{rb}$ ,  $h_{fb}$ ,  $h_{ob}$  parametreleri ortak beyzli bağlantısıyla,  $h_{ie}$ ,  $h_{re}$ ,  $h_{fe}$ ,  $h_{oe}$  parametreleri ortak emitör bağlantısıyla ve  $h_{ic}$ ,  $h_{rc}$ ,  $h_{fc}$ ,  $h_{oc}$  parametreleri ortak kolektör bağlantısıyla ilgilidir. Diğer yapılandırmalar (ortak elektrota bağlı olarak), karşılık gelen yapılandırma için h parametreleriyle gösterilebilir, ancak ortak emitör parametreler yeterlidir ve tüm yapılandırmaları çözmek için kullanılabilir.

Örnek olarak, aşağıdaki tabloda  $U_{CE} = 5 \text{ V}$  ve  $I_C = 1,3 \text{ mA}$  ile belirlenen çalışma noktası için BFY 67 transistörü için h parametrelerinin ortalama değerlerini verilmiştir. (tablo 3.1)

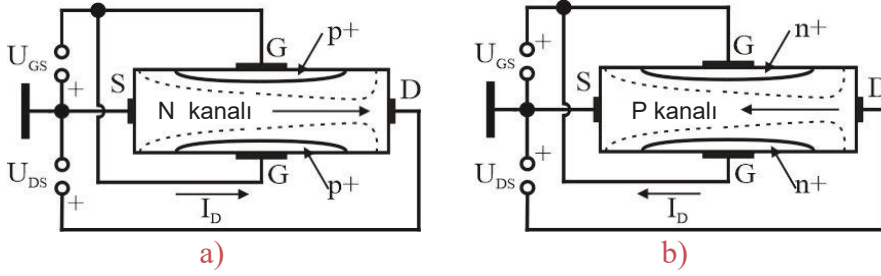
Tablo 3.1: BFY 67 transistörü için h parametrelerinin katalog değerleri

|                | Ortak beyz            | Ortak emitör         | Ortak kolektör      |
|----------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| $h_i (\Omega)$ | 21,6                  | 1100                 | 1100                |
| $h_r$          | $2,9 \times 10^{-4}$  | $2,5 \times 10^{-4}$ | 1                   |
| $h_f$          | -0,980                | 50                   | -51                 |
| $h_o (S)$      | $0,49 \times 10^{-6}$ | $24 \times 10^{-6}$  | $25 \times 10^{-6}$ |

Bir tür için h-parametreleri biliniyorsa, başka bir bağlantı türünün parametreleri de hesaplanabilir.

### 3.9 UNİPOLAR TRANSİSTÖRÜN KUTUPLANMASI

N-kanallı JFET ve P-kanallı JFET'in çalışma prensibi aynıdır, sadece elektrot gerilimleri zıt kutupludur, akımları ise zıt yönlere (Şekil 3.26). N-kanallı JFET'te yük taşıyıcıları elektronlardır, P-kanallı JFET'te ise boşluklardır. Aşağıdaki analizde yalnızca N-kanalı JFET'e sınırlanacağız.



Şekil 3.26: a) n-kanallı ve b) P-kanallı JFET'in kutuplanması

Geýt ile sors arasında gerilim olmadığında veya geýt sors ile kısa devre yapıldığında kanal,  $U_{DS}$  kaynağının etkisi altında elektronların kaynaktan dreynye akması için tamamen açık geniş bir yoldur. Daha düşük dreyn gerilimlerinde, dreyn akımının gücü  $I_D$  yalnızca kaynak gerilimi  $U_{DS}$ 'ye ve kanalın yarı iletken direncine bağlıdır.

$U_{GS}$  kaynağının Şekil 3.26'daki gibi bağlanmasıyla iki PN bağlantısı ters kutuplanır ve bağlantılar boyunca bariyer oluşturulur. Kanal yarı iletkeni küçük bir donör yüzdesinden oluşur, geýt bölgesi ise daha yüksek akseptör yüzdesine sahiptir. Bariyer, kanal bölgesinde geýte göre daha fazla genişler. Kanaldaki elektronlar bariyer sınırından kanalın ortasına doğru hareket eder. Bariyer genişleyince kanal daralır ve bunun sonucu olarak iletkenliği ve dreyn akımının gücü azalır. Geýt ile sors arasındaki  $U_{GS}$  gerilimini değiştirerek dreyn akımı da değişir.  $U_{GS}$  gerilimin değeri mutlak değere göre artırıldığında kanalın genişliği azalır, direnci artar ve içinden geçen akım azalır. Kanaldan geçen akımın kesildiği gerilime, **kesilme gerilimi**  $U_T$  veya iletim gerilimi denir. JFET'in bu çalışma bölgesine **ohmik bölge** veya **doğrusal bölge** denir. Ohmik bölgede transistör rezistör gibi davranır, yani dreyn akımı, dreyn ile sors arasındaki gerilimin artmasıyla doğrusal olarak artar. Gerilimin  $U_{GS}=0V$  değerinde, kanal en geniştir, kanal boyunca hareket eden elektronların sayısı artar, yani JFET boyunca,  $I_{DSS}$  ile işaretlenen maksimum değerde dreyn akımı akar (geýtin geýt-kanal bağlantısında ters doyma akımı ve geýt-sors kısa devresindeki dreyn akımını temsil eder).

## Transistörler

Dreyn ve sors arasındaki  $U_{DS}$  gerilimin küçük değerleri için ve gerilimin  $U_{GS}$  negatif değerlerinde, akım gücünün kanalın genişliğine bağlı olduğu, bunun da  $U_{GS}$  gerilimin değerine bağlı olduğu sonucuna varabiliriz.

$U_{DS}$  gerilimin daha yüksek değerlerinde kanalın genişliği, plakanın tüm uzunluğu boyunca aynı değildir. Kanal, sorsun yakınlığında en geniş ve dreynin yakınlığında en dardır; Şekil 3.26'da kesik çizgilerle gösterilmiştir. Bunun nedeni, geyt ile dreyn arasındaki gerilimin en yüksek değeri vardır ve bu değer şu şekildedir:

$$U_{DS} + |U_{GS}|.$$

$U_{DS}$  gerilimin daha da artmasıyla kanalı daralır, yani kanalın direnci artar, ancak akım yaklaşık olarak sabit kalır (Ohm yasasına göre  $I=U/R$ , gerilim ve direnç aynı anda arttığında akım sabit kalır). JFET'in bu çalışma bölgesine **doyma bölgesi** denir.  $U_p$  (**pinch-off voltage**) ile, unipolar transistörün doğrusal bölgeden doyma bölgesine geçtiği gerilimi tanımlar.

$U_{DS}$  gerilimin daha yüksek değerlerinde (örneğin, 30V) transistör, akımın keskin bir şekilde yükseldiği **kırılma bölgesindedir** ve sınırlanmadığı takdirde transistör hasar görecektir.

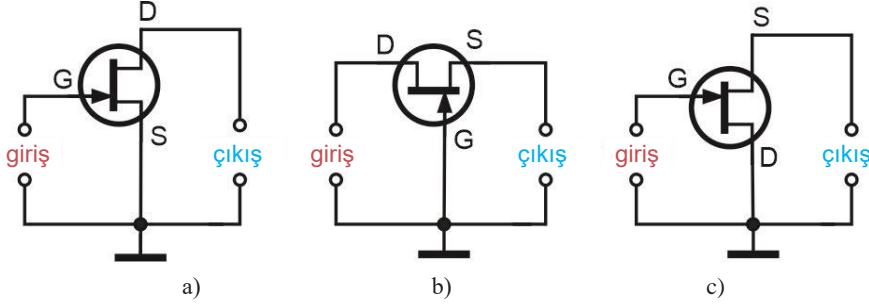
P-kanallı JFET, daha önce analiz ettiğimiz N-kanallının tam tamamlayıcısıdır. Akım ve tüm gerilimler, N-kanallı JFET'e göre zıt kutuplardadır, gerçekleştirilen analiz değişmeden kalır ancak yük taşıyıcıları boşluklar olacaktır.



N-kanallı ve P-kanallı JFET'te  $U_{DS}$  ve  $U_{GS}$  kutuplama gerilimlerine bağlı olarak çalışma alanlarını göstereceğiniz tablo oluşturun!

### 3.10. UNİPOLAR TRANSİSTÖR BAĞLANTILARI

Bipolar transistörlerde olduğu gibi unipolar transistörlerde de üç olası konfigürasyon vardır. Üç elektrotun her biri ortak olabilir, dolayısıyla ortak sorslu bağlantı (Şekil 3.27 a), ortak geytli bağlantı (Şekil 3.27 b) ve ortak dreynli bağlantı (Şekil 3.27 c) olabilir.



Şekil 3.27: Unipolar transistörün bağlantıları

- Ortak sorslu bağlantıda  $U_{GS}$  gerilimi giriş gerilimidir,  $U_{DS}$  gerilimi ise çıkış gerilimidir, ortak elektrot sors'tur.
- Ortak geytli bağlantıda  $U_{DG}$  gerilimi giriş gerilimidir,  $U_{SG}$  gerilimi ise çıkış gerilimidir, ortak elektrot geyt'tir.
- Ortak dreynli bağlantıda  $U_{GD}$  gerilimi giriş gerilimidir,  $U_{SD}$  gerilimi ise çıkış gerilimidir, ortak elektrot dreyn'dir.

En yaygın olarak, ortak sorslu bağlantı uygulanır. Farklı cihazlarda giriş yükselteçlerde uygulanır, örneğin ses yükselteçlerinde, elektronik aletlerde vb.

Ortak dreynli bağlantının, çok büyük giriş ve küçük çıkış direncine sahip olduğu için empedansı ayarlamak için yükselteçlerde yüksek bir uygulamaya sahiptir, gerilim yükselmesi yaklaşık 1'dir.

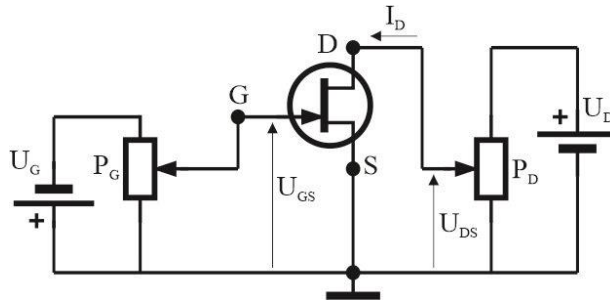
Ortak geytli bağlantıdaki yükselteçte, yükseltme pozitifdir, bu nedenle  $180^\circ$ lik faz yer kayması olmaz ve küçük giriş direncine sahiptir. Yükselteç devresi, aralarında konulursa, küçük çıkış dirence sahip bir derecenin yüksek giriş dirence sahip bir dereceyle ayarlamak için kullanılabilir.

**UNUTMAYIN..!**

- Unipoların çıkış akımı, giriş gerilimi tarafından oluşturulan elektrik alanı ile kontrol edilir.
- FET, dreyn, geyt ve sors olma üzere üç terminal içeren gerilimle yönetilen, tek kutuplu bir elektronik elemandır ve akım sadece bir yarıiletken kanaldan akar.
- Kanalın yarı iletken türüne göre, N-kanallı FET ve P-kanallı FET ayırt ediyoruz.
- Geyt'te gerilim olmadığı zaman veya geyt sors ile kısa devrede oluşu zaman, FET içinden dreyn akımı akmaz.

**3.11 FET'in STATİK KARAKTERİSTİKLERİ**

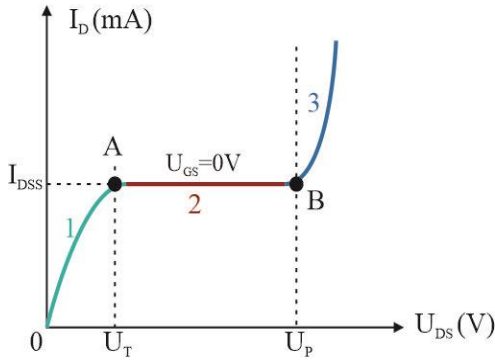
FET'in en önemli statik karakteristikleri, çıkış karakteristiği  $I_D = f(U_{DS})$  ve iletim karakteristiği  $I_D = f(U_{GS})$ 'dir; burada  $I_D$ , dreynin çıkış akımını,  $U_{DS}$  dreyn ve sors arasındaki çıkış gerilimi ve  $U_{GS}$  geyt ve sors arasındaki giriş gerilimi işaretlemektedir. Şekil 3.30'da verilen devre ile kaydedilebilirler.



Şekil 3.30: FET'in statik karakteristiklerini kaydetme elektrik devresi

Geyt,  $U_{GS} < 0$  giriş gerilimi sağlayan doğru sors  $U_G$  ile kutuplanır,  $U_D$  doğru sors ile  $U_{DS} > 0$  çıkış gerilimi sağlanır. Devrede dreyn den sorsa doğru  $I_D$  akımı akar.

İki çıkış büyüğün,  $I_D$  çıkış akımının  $U_{DS}$  çıkış gerilimden bağımlılığını tanımlayan çıkış karakteristiği,  $I_D = f(U_{DS})$ ,  $U_{GS} = 0$  için şekil 3.31'deki gibi görünecektir.

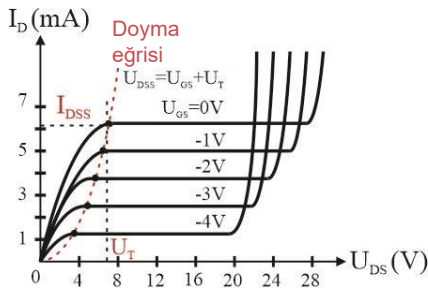


Şekil 3.31: FET'in çıkış karakteristiği

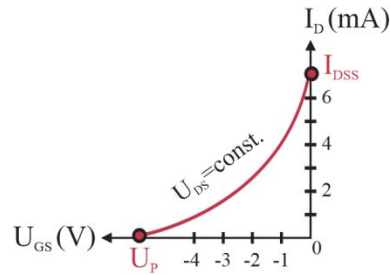
Küçük  $U_{DS}$  gerilimleri için kanal bir direnç gibi davranarak karakteristiğinin doğrusal bir akışa sahip olmasına katkıda bulunmaktadır. O kısmı **aktif direnç bölgesi** olarak tanımlamıştık (şekilde 1 ile işaretlenmiştir).  $U_{DS}$  gerilimin artırılmasıyla geyt-dreyn PN bağlantısının ters kutuplanması artar ve bariyer genişler.

$U_{DS}$  gerilimin  $U_T$  değeri için kanal maksimum derecede dardır, direnci ise maksimumdur. Karakteristikte bu A noktasıdır ve iki bariyerin neredeyse temas ettiği gerilimi tanımlar. Kanaldaki  $I_D$  akımı,  $I_{DSS}$  değerine sahiptir ve  $U_{DS}$  gerilimin artmasıyla değişmez. Karakteristikte **doygunluk bölgesi** veya **sabit akımların bölgesi** olarak tanımladığımız 2 ile işaretlenmiş kısımdır.

Karakteristiğinin 3 ile işaretlenen üçüncü kısmı **kırılma bölgesidir** ve B noktasından başlar. Bu noktada  $U_{DS}$  gerilimi, PN bağlantısının kırılma geriliminin değerini aşar ve dreyn akımı hızlı bir şekilde artar. Kırılma, Zener etkisinin bölgesindedir ve bu tersinebilir olduğu ve akımın dreynin dış devresindeki dirençle sınırlanması durumunda önceki durumuna geri döndürülebileceği anlamına gelir.



Şekil 3.32: Akım-gerilim karakteristikler grubu



Şekil 3.33: FET'in iletim karakteristiği

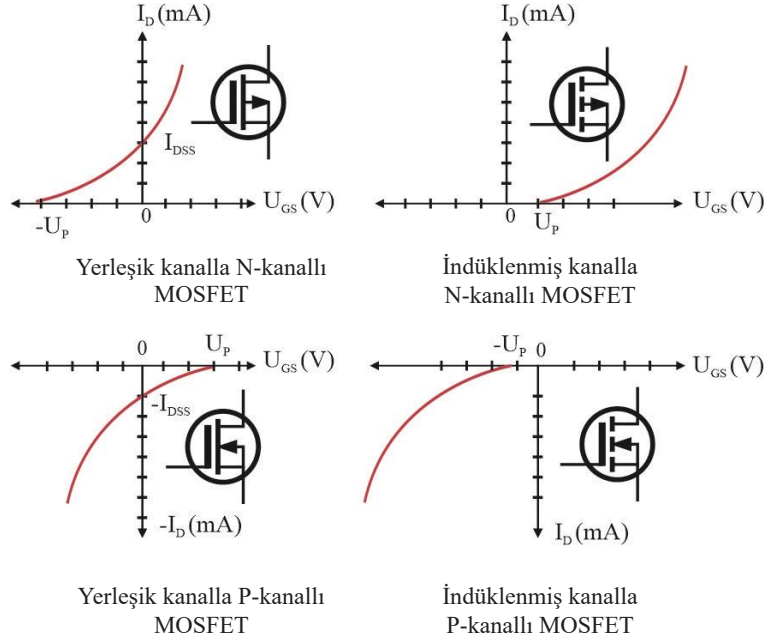
Şekil 3.32'de,  $U_{GS} = const.$  için  $I_D = f(U_{DS})$  ksrskteritiklerin tamamı verilmiştir.

## Transistörler

Karakteristiklerin aktif direnç bölgesi, doyma bölgesinden kesik çizgiyle çizilen doyma eğrisi ile ayrılır.

Ortak sorslu bağlantılı FET'in iletim karakteristiği, sabit bir çıkış gerilimi  $U_{DS}$  için  $I_D$  çıkış akımının  $U_{GS}$  giriş gerilimine bağımlılığı olarak tanımlanır,  $U_{DS}=const$  için  $I_D=f(U_{GS})$  Şekil 3.33'te verilmiştir.

MOSFET'in iletim karakteristiği FET'in iletim karakteristiği gibi aynı şekilde tanımlanır. Şekil 3.34'te farklı MOSFET türlerinin iletim karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.34: MOSFET'in iletim karakteristikleri

Bu parametrelerin değerleri kataloglarda verilmektedir; örneğin BF245 için bu değerler şudur (tablo 3.2):

Tablo 3.2: Tek kutuplu transistör BF245 için katalog verileri

| İşaret        | Tür | Kasa  | $I_{DSS}$<br>(mA) | $U_{GS}$<br>(V)<br>için | $U_{DS}$<br>(V)<br>için | $U_p$ (V)     | $U_{DS}$<br>(V)<br>için | $I_D$<br>(mA)<br>için |
|---------------|-----|-------|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>BF245A</b> | N   | TO-92 | 2 ila 6,5         | 0                       | 15                      | -0,4 ila -2,2 | 15                      | 10                    |
| <b>BF245B</b> | N   | TO-92 | 6 ila 15          | 0                       | 15                      | -1,6 ila -3,8 | 15                      | 10                    |
| <b>BF245C</b> | N   | TO-92 | 12 ila 25         | 0                       | 15                      | -3,2 ila -7,5 | 15                      | 10                    |



İnternette araştırma yaparak bulabileceğiniz katalog verilerine dayanarak 3N138 yerleşik kanallı MOSFET'in karakteristiklerini analiz edin!

## UNUTMAYIN..!

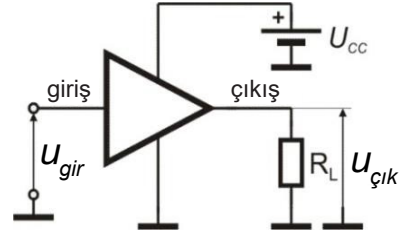
- $U_{GS}=const.$  için  $I_D=f(U_{DS})$  unipolar transistörün çıkış karakteristiğini tanımlamaktadır.
- Aktif direnç bölgesinde unipolar transistör rezistör gibi davranır, dreyn ve sors arasındaki gerilimin artmasıyla birlikte dreyn akımı da doğrusal olarak artar.
- Doyma bölgesinde veya sabit akımlar bölgesinde, kanaldaki dreyn akımı  $I_{DSS}$  sabit bir değere sahiptir ve  $U_{DS}$  geriliminin artmasıyla değişmez.
- Kırılma bölgesinde  $U_{DS}$  gerilimi, PN-bağlantısının kırılma geriliminin değerini aşar ve dreyn akımı hızlı bir şekilde artar.
- $U_{DS}=const$  için  $I_D=f(U_{GS})$  unipolar transistörün iletim karakteristiğini temsil etmektedir.

## 3.12. YÜKSELTEÇ OLARAK TRANSİSTÖR

Sıcaklık, basınç, ışık yoğunluğu ve diğerleri gibi sürekli değişen parametrelerle tanımlanabilen doğada meydana gelen her şey, elektrik gerilime veya akıma dönüştürülebilir. Zamanla belirli bir şekilde değişen böyle bir gerilim veya akıma **elektrik sinyali** denir. Elektrik sinyalini elde etmek için, örneğin bir fotodiyot veya bir fototransistör gibi uygun türden sensörler veya dönüştürücüler kullanılır. Sensörden gelen sinyalin ölçüm veya başka bir kontrol görevi için kullanılması için, gerekli işlevi gerçekleştirmek için gerekli seviyeye yükseltilmesi gerekir. Spesifik olarak fotodiyot için, birkaç yüz nanoamper düzeyindeki akımın, neredeyse yüz milyon katı olan birkaç amper seviyesine yükseltilmesi gerekir. Bu tür bir yükseltme elektronik cihazlarla - yükselteçlerle yapılır.

Yükseltmenin özü, giriş akımının ve giriş geriliminin artılmaması, ancak giriş geriliminde ve akımındaki küçük bir değişikliğin, yükseltilmiş giriş gerilimi veya akımı olarak yorumlanan çıkış geriliminde büyük değişikliğe neden olmasıdır. Transistör yükselteçi yeni elektrik enerjisi üretmiyor, doğru güç kaynağından gelen enerjiyi güçlendirilmiş çıkış sinyalinin enerjisine dönüştürüyor.

Yükselteçlerle gerilim, akım veya güç yükseltilir, bazı durumlarda ise sinyal gerilimi sinyalinden akım sinyaline veya tersi dönüştürülür. Genel olarak, yapıları tüm devrenin işlevini göstermek önemli olmadığında, Şekil 3.35'teki gibi üçgenle gösterilir.

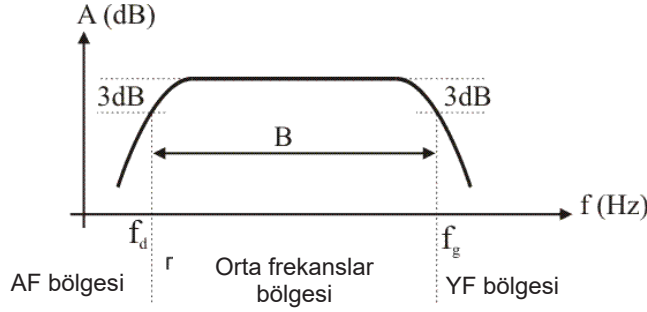


Şekil 3.35: Yükselteçin genel şematik tanımı

Gerilimin yükseltilmesiyle ilgilendiğimiz durumda, yükselteçin girişine  $U_{gir}$  giriş sinyali getirilir ve çıkışında aynı formda, ancak değeri artırılmış  $U_{cik}$  sinyali elde edilir. Yükselteçin çalışabilmesi için doğru gerilim kaynağından aldığı güce ihtiyacı vardır. Giriş ve çıkış gerilimi genellikle kaynağın  $\perp$  sembolüyle işaretlenen bir ucuna göre ölçülür. Bu, devrede 0V potansiyeline sahip referans noktasını temsil eder ve **toprak** olarak adlandırılır. Devrenin işlevi, kaynaktan enerji alıp bunu  $R_L$  rezistörü ile temsil edilen tüketiciye ileterek giriş gerilimin genliğini arttırmaktır. Matematik bakış açısından, yükselteç giriş sinyalini bir (sabit) değerle çarparak tüketiciye eşler. Bu değer aslında yükselteçin yükseltmesidir.

Yükselteçin çok önemli özelliği genlik ve faz karakteristikleridir. Yükseltme önceki bölümlerde sabit bir değer olarak tanımlansa da pratikte durum böyle değildir.

Şöyle ki, girişe aynı genlik ve farklı frekanslarda alternatif gerilimler getirilirse, çıkışta aynı frekansta ancak farklı genliklerde ve farklı fazlarda alternatif gerilimler elde edilecektir, bu da yükseltmenin frekansa bağlı olduğu anlamına gelir. Yükseltmenin frekansa bağımlılığına **genlik-frekans karakteristiği** (veya sadece genlik karakteristiği) adı verilir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 Yükselteçin genlik karakteristiği

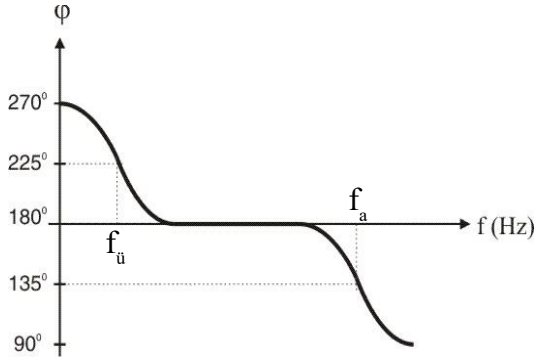
Hiçbir gerçek yükselteç, giriş sinyalini sınırsız bir frekans aralığına yükseltemez. Yükselteç devresinde yükseltebileceği frekanslar açısından sınırlamaları olan transistörün yanı sıra, yükseltmeyi frekansa bağımlı hale getiren kapasitanslar ve endüktanslar da bulunmaktadır.

Bazı yüksek frekanslarda, yükselteç artık orta frekanslarda olduğu gibi aynı genlikte çıkış sinyali verme durumunda olmayacaktır.

Yükselteçin **üst sınır frekansı**  $f_{\bar{u}}$  için orta frekanslardaki yükseltmeye göre yükseltmenin 0,707 faktörü kadar düştüğü frekans olarak kabul edilir (veya 3dB için düştüğü söylenir). Yükseltmenin düşüşü düşük frekanslarda da meydana gelir ve **alt sınır frekansı**  $f_a$  da benzer şekilde tanımlanır. Üst ve alt sınır frekansı arasındaki farka:

$$B = f_{\bar{u}} - f_a \dots \dots \dots (3.17)$$

yükselteçin **bant genişliği** denir. Bu aralıktaki frekanslara sahip sinyaller bozulma olmadan yükseltilecektir. Bozulma, çıkış ve giriş sinyalleri arasındaki şekil farkı olarak gösterilir ve yükselteçin bant genişliği dışındaki frekansları içeren sinyallerde meydana gelir. Böylece, örneğin müzik bir telefon yükselteç aracılığıyla güçlendirilirse bozulacaktır. Biz bunu “zayıf bir ses” olarak hissediyoruz çünkü ne düşük frekanslar (baslar) ne de yüksek frekanslar (ziller) yükselteç aracılığıyla güçlendirilmeyecektir.



Şekil 3.37: Yükseltecin faz karakteristiği

**Faz-frekans karakteristiği** (veya sadece faz karakteristiği) (Şekil 3.37), frekansın değişmesiyle çıkış sinyalinin giriş sinyaline göre faz kaymasının nasıl değiştiğini gösterir. Yüksek frekanslarda faz farkın azaldığı, düşük frekanslarda ise arttığı görülebilir.

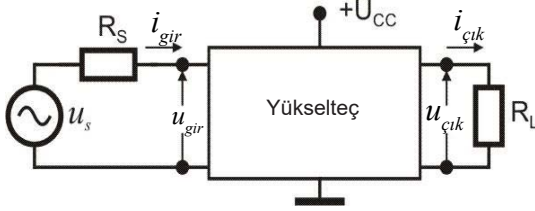
Üst sınır frekansı için faz farkı  $45^\circ$  için azalır, alt sınır frekansı için ise faz farkı  $45^\circ$  için artar. Faz farkının  $180^\circ$ 'ye göre artması ve azalması ile sinyalde faz bozulmaları meydana gelir.

İnsan kulağı faz bozulmalarına duyarlı değildir ve ses sistemlerinde büyük bir önemi yoktur, ancak video yükselteçlerde ve darbe yükselteçlerinde büyük önemi vardır.

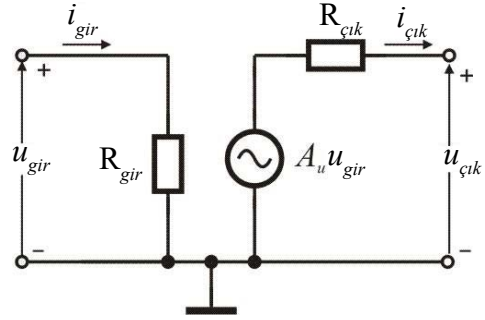
Yükselteçler küçük sinyal yükselteçlere ve büyük sinyal yükselteçlere ayrılabilir. Küçük sinyal yükselteçleri genellikle yükseltme kademesinin başında, büyük sinyal yükselteçleri ise sonundadır. Yükseltme türüne göre gerilim yükselteçleri, akım yükselteçleri ve güç yükselteçleri bulunmaktadır. Frekans aralığının genişliğine göre yükselteçler şu şekilde ayrılır: geniş bant, dar bant veya seçici, düşük frekanslı, yüksek frekanslı ve doğru sinyal yükselteçleri.

### 3.13. TRANSİSTÖR PARAMETRELERİ

Yükselteçler, bir transistörlü basit kurgular olabilir, ancak aynı zamanda birçok transistör, kapasitör, bobin ve diğer bileşenlerin karmaşık yapıları olabilir. Buna rağmen, sinyal ile ilgili davranışları, dört kutuplu adı verilen basit bir elektrik devre yardımıyla daha basit bir şekilde gösterilebilir. Dört kutuplunun olduğu bileşenler aslında yükseltecin parametreleridir. Dört kutuplu ile temsil edilen gerilim yükselteçi, sinyal kaynağı ve tüketici Şekil 3.38'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38: Temel yükselteçin blok-şeması



Şekil 3.39: Yükselteçin eşdeğer şeması

Yükselteçin girişinde,  $U_s$  sinyalinin kaynağı kendi  $R_s$  direnci ile bağlanır, çıkışta ise  $R_L$  yük direnci bağlanır.

Şekil 3.38'deki yükselteç, Şekil 3.39'da gösterilen şema ile eşdeğerlenir.

**Giriş direnci** ( $R_{gir}$ ) giriş gerilimi ve giriş akımı oranı olarak tanımlanır:

$$R_{gir} = \frac{U_{gir}}{I_{gir}} (\Omega) \dots \dots \dots (3.18)$$

**Gerilim yükseltmesi** ( $A_U$ ), açık çıkışta çıkış gerilimi ve giriş gerilimin oranı olarak tanımlanır:

$$A_U = \frac{U_{cik}}{U_{gir}} \dots \dots \dots (3.19)$$

Akım sinyali için çıkış ve giriş akımının oranı olarak **akım yükseltmemiz** ( $A_I$ ) vardır:

$$A_I = \frac{I_{cik}}{I_{gir}} \dots \dots \dots (3.20)$$

**Gücün yükseltmesi** ( $A_P$ ) için ise , yükselteçin çıkışındaki alternatif sinyallerin güçleri  $P_{cik}$  ve girişindeki  $P_{gir}$  güçlerin bölümüdür:

$$A_P = \frac{P_{cik}}{P_{gir}} = \left| \frac{U_{cik} \cdot I_{cik}}{U_{gir} \cdot I_{gir}} \right| = |A_U \cdot A_I| \dots \dots \dots (3.21)$$

Yükseltme, desibel (dB) logaritmik birimi ile şu şekilde ifade edilebilir:

Transistörler

$$A_U (dB) = 20 \log \left| \frac{U_{\text{çık}}}{U_{\text{gir}}} \right|, \quad A_I (dB) = 20 \log \left| \frac{I_{\text{çık}}}{I_{\text{gir}}} \right|, \quad A_P (dB) = 10 \log \left| \frac{P_{\text{çık}}}{P_{\text{gir}}} \right| \dots\dots\dots(3.22)$$

**Yararlı etki katsayısı  $\eta$** , tüketiciye teslim edilen alternatif sinyalin ortalama gücünün (bir periyotta gücün ortalama değeri) ile güç kaynağından alınan güç oranı olarak tanımlanır, ve yüzde olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = \left| \frac{P_k}{P_o} \right| \cdot 100(\%) \dots\dots\dots(3.23)$$

**Çıkış direnci** aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$U_s = 0 \text{ ve } R_L \rightarrow \infty \text{ için } R_{\text{çık}} = \frac{U_2}{I_{\text{çık}}} (\Omega) \dots\dots\dots(3.24)$$

Çıkış direnci, giriş alternatif kaynağı köprülenip, yükselteçin çıkışında  $R_L$  tüketicisi çıkarılır ve onun yerine  $U_2$  gerilim kaynağı bağlanarak belirlenir.

Şekil 3.39'daki çıkış devresi şeması, aslında, yükselteçin Teven'in teoremine göre tüketiciye karşı görünüşü temsil etmektedir.

Giriş direncinin daha büyük bir değere sahip olması gerekir, bu da sinyal jeneratörünü veya önceki yükseltme derecesini daha az yükleyecektir.

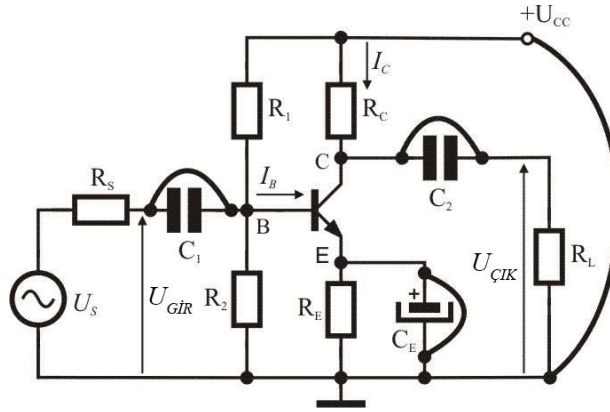
Yükselteç, sinyal genliğini arttırması gereken bir elektronik kurgudur. Sinyal gerilim olarak gösterilirse, yükselteçin gerilim yükseltmesi, sinyalin giriş geriliminin ile çıkış geriliminin oranı olarak tanımlanır.

Gerilim yükseltmesi pozitif olduğunda, çıkış ve giriş gerilimi fazdadır, negatif olduğunda ise, anti-fazdadır, yani  $180^\circ$  için faz kayması olmuş.

Frekansa bağlı olmayan sabit bir değere sahip kararlı yükseltme varsa, çıkış sinyaline gürültü girmezse ve sıcaklığa bağlı değilse yükselteç ideal olur.

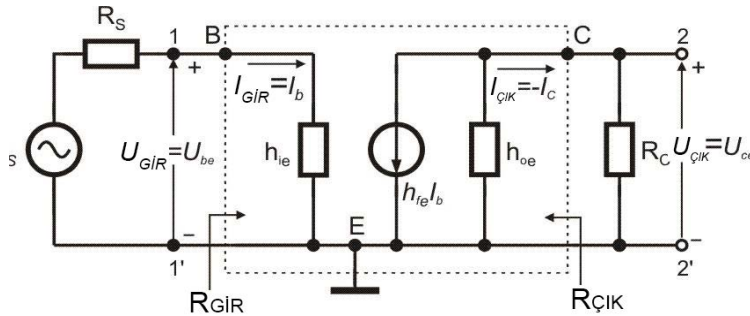
### 3.13.1 ORTAK EMİTÖR İLE BAĞLANTILI TRANSİSTÖRÜN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Yükseltmeyi belirlemek için, küçük ve orta frekanslar düzenine şekil 3.38'den ortak emitör ile bağlantılı transistörün alternatif gerilimleri ve akımlarının transistör yükselteçin eşdeğer şemasını kullanacağız. Orta frekanslar bölgesinde, devredeki tüm kapasitanslar çok düşük empedansa sahiptir ve alternatif çalışma düzeni için eşdeğer şemada, kapasitörler ve güç kaynağı kısa devre olarak gösterilir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40: Kısa devre kapasitörlere ve kısa devre güç kaynağına sahip transistörlü yükselteçin şeması

Transistörün  $h$  parametreleriyle basitleştirilmiş şemayla değiştirilmesiyle yükselteçin Şekil 3.41'deki gibi şeması elde edilir.



Şekil 3.41: Ortak emitörlü yükselteçin eşdeğer şeması

Şemada, alternatif akımına kısa devre yapan doğru gerilim kaynağı  $U_{CC}$  dahil edilmemiştir.  $h_{re}$  parametresi de değeri küçük olduğundan atlanmıştır. Ayrıca, değerleri  $h_{ie}$  parametresinin değerinden çok daha büyük olduğundan  $R_1$  ve  $R_2$  rezistörleri, sinyala

Transistörler

lin alternatif bileşeni için  $C_E$  kapasitör ile köprülenen  $R_E$  rezistörü ve yükseltme derecesinin aşırı yüklü olmaması ve hesaplamaların da daha basit olması için  $R_C$  rezistörü de dahil edilmemiştir. Düşük empedansları nedeniyle  $C_1$ ,  $C_2$  ve  $C_E$  kapasitörleri kısa devre olarak tanımlanır. Gerilimlerin işaretlenmiş olduğu okların üzerinde bulunan “+” ve “-” işaretleri, alternatif gerilimin bir noktadaki kutuplanmasını temsil eder ve burada birbirleriyle aynı fazda veya ters fazda olduklarını belirlemek için devredeki tüm alternatif gerilimler bakılır.

Şekil 3.41'deki devredeki çıkış geriliminin  $R_C$  ve  $1/h_{oe}$  dirençleri ile paralel bağlantıda elde edildiğine dikkat edelim. Eşdeğer dirençlerini şu şekilde gösterirsek:

$$R_{ed} = \frac{R_C \cdot \frac{1}{h_{oe}}}{R_C + \frac{1}{h_{oe}}} = \frac{R_C}{1 + h_{oe}R_C} \dots\dots\dots(3.25)$$

o zaman çıkış gerilimi için şunu elde edeceğiz:

$$U_{çık} = -h_{fe}I_b \cdot R_{ed}, \dots\dots\dots(3.26)$$

Giriş gerilimi için ise aşağıdaki ifade geçerli olacaktır:

$$U_{gir} = h_{ie}I_b \dots\dots\dots(3.27)$$

Dolayısıyla **gerilim yükseltmesinin** değeri şu olacaktır:

$$A_u = \frac{U_{çık}}{U_{gir}} = \frac{-h_{fe}I_b R_{ed}}{h_{ie}I_b} = -h_{fe} \frac{R_{ed}}{h_{ie}} \dots\dots\dots(3.28)$$

Şekilden görüleceği gibi çıkış akımı aşağıdaki olacak:

$$I_{çık} = \frac{U_{çık}}{R_C} = -\frac{h_{fe}I_b R_{ed}}{R_C} \dots\dots\dots(3.29)$$

giriş akımı ise  $I_{gir} = I_b$ 'dir, ve buradan **akım yükseltmesi** için şunu elde ediyoruz:

$$A_i = \frac{I_{çık} R_C}{I_{gir}} = \frac{-h_{fe}I_b R_{ed} / R_C}{I_b} = -h_{fe} \frac{R_{ed}}{R_C} \dots\dots\dots(3.30)$$

Buna uygun olarak **gücün yükseltmesi** aşağıdaki olacak:

$$A_p = \frac{P_{çık}}{P_{gir}} = \frac{U_{çık} I_{çık}}{U_{gir} I_{gir}} = A_u A_i = h_{fe}^2 \frac{R_{ed}^2}{h_{ie} R_C} \dots\dots\dots(3.31)$$

Çoğu transistörlü yükselteç devresi için  $1/h_{oe}$  direnci  $R_C$  direncinden çok daha büyüktür (en az onlarca kez). Bu durumda,  $1/h_{oe} \gg R_C$  eşitsizliğinden  $h_{oe}R_C \ll 1$  elde edilir, bu da (3.25)'teki paydanın 1 ile ve  $R_{ed} \approx R_C$  ile değiştirilebileceği anlamına gelir. Buradan yükseltme ifadelerinin alacağı şekil açıkça görülmektedir.

Buna göre **gerilim yükseltmesi** şu şekilde olacaktır:

$$A_u \approx -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} R_C \dots\dots\dots(3.32)$$

**Akım yükseltmesi** buna uygun olarak şu şekilde olacaktır:

$$A_i = -h_{fe} \dots\dots\dots(3.33)$$

**Gücün yükseltmesi** için ise aşağıdaki elde ediliyor:

$$A_p \approx \frac{h_{fe}^2 R_C}{h_{ie}} \dots\dots\dots(3.34)$$

Yükselteçin **giriş direnci**,  $U_{çık}$  çıkış geriliminin sıfıra eşit olması koşuluyla belirlenir, böylece şu elde edilir:

$$R_{gir} = \frac{U_{gir}}{I_{gir}} = h_{ie} \dots\dots\dots(3.35)$$

**Çıkış direnci**, giriş devresinin açık olması koşuluyla belirlenir,  $I_b$  akımı akmayacaktır ve buna göre akım jeneratörü için  $h_{fe}I_b=0$  olacaktır:

$$R_{çık} = \frac{U_{çık}}{I_{çık}} = \frac{1}{h_{oe}} \dots\dots\dots(3.36)$$

$h_{oe}$  parametresinin değeri küçük olması nedeniyle, yükselteçin çıkış direncinin sonsuz büyük olduğu düşünülebilir ( $R_{çık} \rightarrow \infty$ ). Bu, şekil 3.41'deki şemada  $h_{oe}$  parametresinin çıkartılabileceği anlamına gelir.

Gerilim yükseltmesi yük direncinin değerine doğrusal olarak bağlıdır ve genellikle büyük bir değere sahiptir. Yükselteçin akım yükseltmesi, transistörün akım yükseltmesine eşittir, yükselteçin giriş direnci, transistörün giriş direncine eşittir, çıkış direnci ise transistörün çıkış iletkenliğiyle ters orantılıdır.

### 3.14 ANAHTAR OLARAK TRANSİSTÖR



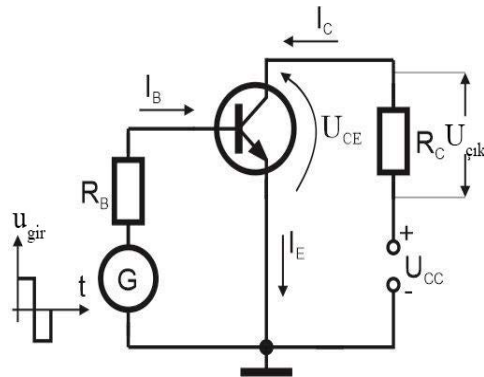
**Transistör, hem emitör hem kolektör PN bağlantıları doğrudan kutuplu olduğunda doyma bölgesindedir ve her iki PN bağlantısı ters kutuplu olduğunda kapanma bölgesindedir.**

Diyotun çalışma prensibini izleyerek, anahtar olarak da çalıştığını, diyot ters kutuplu olduğunda açık, doğrudan kutuplu olduğunda kapalı olduğunu gördük. Bu PN bağlantısının özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ancak dijital mantık devrelerinde gerekli işlevlerden biri olan sinyalin ters çevrilmesi yani 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değişim işlemini gerçekleştiremez.

Transistör, sinyali tersine çevirme özelliğine sahip bir anahtar olarak da çalışacağı koşullara getirilebilir. Anahtar olarak transistör, entegre dijital devrelerin üretiminde, çeşitli otomasyon cihazlarında ve darbe teknolojisi devrelerinde geniş uygulama alanı vardır.

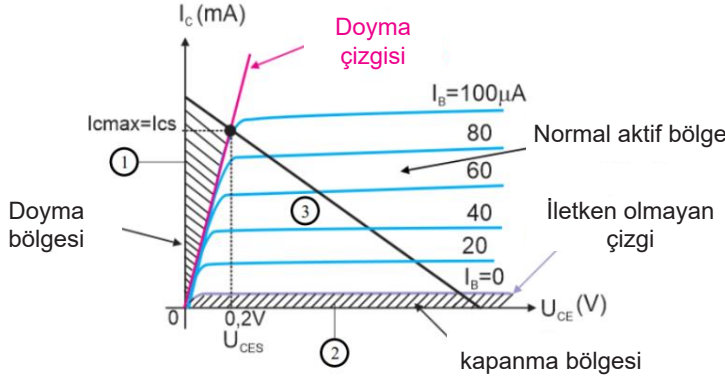
Kapalı düzen, emitör ve kolektör bağlantılarının ters kutuplanmasıyla tanımlanır. Bu koşullarda transistör **açık anahtar** gibi davranır. Doyma bölgesi her iki bağlantının doğrudan kutuplanmasıyla belirlenir ve transistör **kapalı anahtar** gibi davranır. Bu iki durum kapalı ve doyma, anahtar olarak bir transistör için birincil öneme sahiptir. Kapalı durumdayken çıkış akımının çok küçük büyüklüğündedir, çıkış uçları arasındaki direnç ise büyük bir değere sahiptir. Doyma durumunda çıkış akımının büyüklüğü yüksek, çıkış direncinin değeri ise düşüktür.

Anahtarlama devrelerinde genellikle ortak emitör bağlantılı transistör kullanılır (Şekil 3.42). Beyz devresine, beyzin kutupluluğunu ve transistörün çalışma düzenini değiştiren dikdörtgen şeklinde G gerilim kaynağı bağlanır.



Şekil 3.42: Anahtar olarak transistör

Çıkış karakteristiklerinin diyagramı şekil 3.43'te verilmiştir ve üzerinde üç bölge işaretlenmiştir: 1-doyma bölgesi, 2-kapalı/iletken olmayan bölge ve 3-normal aktif bölge.



Şekil 3.43: Çalışma bölgeleri diyagramı

### İletken olmayan-kapanma bölgesi

Negatif giriş geriliminde, beyz-emitör bağlantısı ters kutuplu olduğundan, iki PN bağlantıda beyzden ters doyma akımları akar. Bu akımlar oda sıcaklığında çok küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilir ve bazdaki akımın değeri 0 olacaktır. Böylece, transistörün çıkış karakteristiklerindeki kapanma bölgesi yatay  $I_B = 0$  çizgisiyle temsil edilir.

### Doyma bölgesi

Doyma düzeninin kurulması için koşullar biraz daha karmaşıktır ve transistörün her iki bağlantısının da doğrudan kutuplu olmasını gerektirir. Transistör kapalı anahtar durumuna, yani gerilimin pozitif değeri olan uyarma darbesinin düz kısmı ile doyma durumuna getirilir. Beyz, emitörden daha pozitif hale gelir ve emitör bağlantısı doğrudan kutupludur. Beyz-emitör devresinde  $I_{BS}$  akımı akar, kolektör-emitör devresinde ise  $I_{CS}$  akımı akar.

Doyma durumu, kolektörde  $U_{CE(SAT)}$  küçük gerilimler ile karakterize edilir (silikon transistörler için yaklaşık  $0,2V$ ). Çıkış karakteristikler grafiğinde, yatay çizgilerin birleştiği neredeyse dikey bir çizgi temsil etmektedir (Şekilde doyma çizgisiyle gösterilmiştir).

## Transistörler

Devrede kolektör doyma akımı akacaktır:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CE(SAT)}}{R_C} \dots\dots\dots(3.37)$$

Karakteristikten, transistörün doyma bölgesine getirdiği beyz akımı da görülebilir. Onun için hala normal aktif bölge ilişkisi geçerlidir:

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} \dots\dots\dots(3.38)$$

Bu değere, giriş devresindeki darbenin uygun pozitif değeri karşılık gelir. Darbenin değeri daha yüksekse, beyz akımı da daha yüksek olacaktır, kolektör akımı ise daha fazla artmaz. Bu durumda transistörün doyma bölgesine daha da derin girdiğini diyoruz, eşitlik ise eşitsizliğe dönüşüyor:

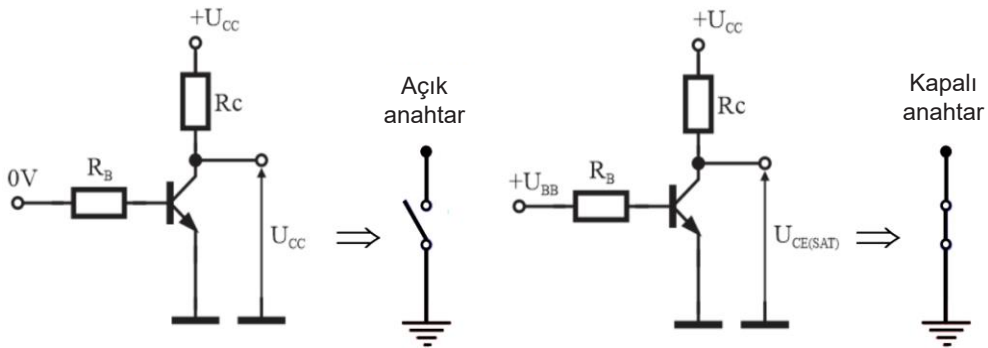
$$I_{BS} \geq \frac{I_{CS}}{\beta} \dots\dots\dots(3.39)$$

Transistörün doyma durumundaki direnci aşağıdaki ilişkiye göre hesaplanır:

$$R_{SAT} = \frac{U_{CE(SAT)}}{I_{CS}} \dots\dots\dots(3.40)$$

ve küçük bir değere sahiptir (birkaç on ohm). Bu, kapalı bir anahtarın gereksinimlerini yerine getirir: dış bir devreyi etkinleştirecek kadar büyük akım geçirmek, küçük gerilim düşüşü ve anahtarın kayıplarını küçük olacak şekilde anahtarın uçlarında küçük dirence sahip olmak.

Şekil 3.44'te transistörün anahtar olarak eşdeğerliği gösterilmiştir.



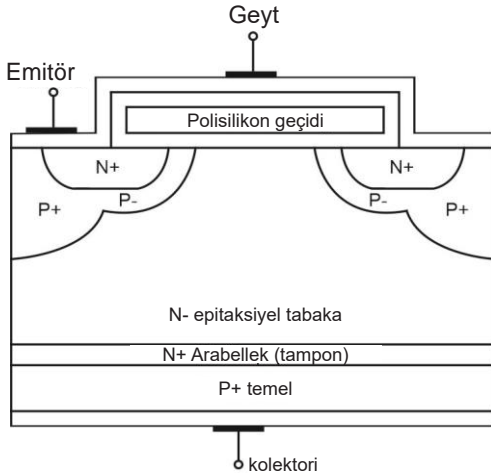
Şekil 3.44 Anahtar olarak transistörün eşdeğerliği

### 3.15 IGBT – İZOLE GEYTLİ TRANSİSTÖR

Çeşitli cihazları ve makineleri çalıştırmak için gerekli gücün elde edilmesi, giderek artan oranda yarı iletken elemanların kullanıldığı anahtarlama ilkesine dayanmaktadır. İdeal bir anahtar aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır:

- Açık durumda uçlarında sıfır direnç veya sıfır gerilim düşüşü olması;
- Kapalı durumda sonsuz yüksek dirence sahip olması;
- Çok yüksek örtüşme hızı;
- Çalışması için ek enerjiye ihtiyaç olmaması.

Bipolar transistörler düşük iletim kayıplarına (küçük doyma gerilime) sahiptir, MOSFET transistörler ise yüksek katlama hızına sahiptir. Onların bu özelliklerini birleştirerek, optimum yarı iletken anahtar elde edilir - IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) transistörü. İzole Geytli Bipolar Transistörü - IGBT, yüksek giriş direnci ve yüksek açma ve kapama hızı ile karakterize edilir ve böylece yüksek verimliliği ile gerekli olduğu tüm yüksek gerilim uygulamalarında MOSFET'in yerini alır.



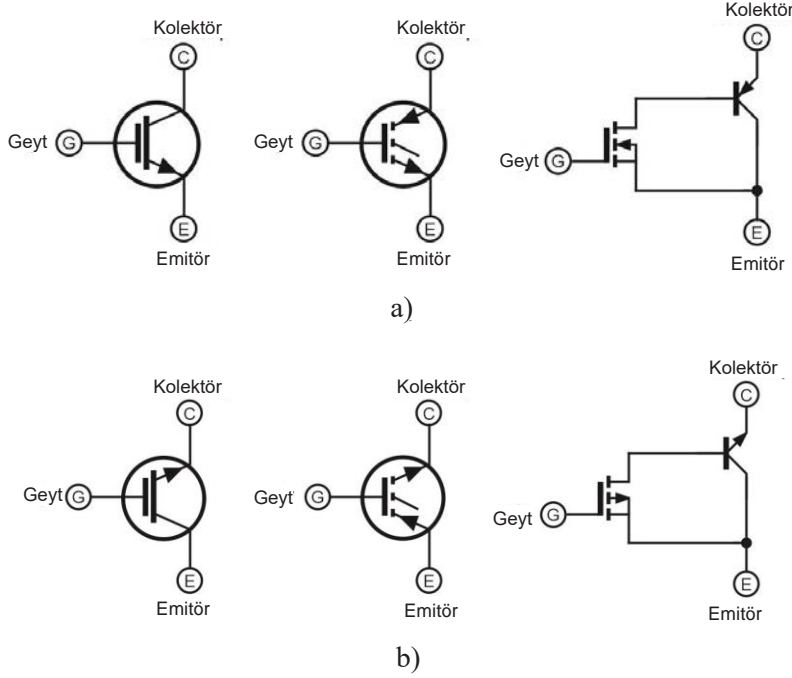
Şekil 3.45: IGBT transistörün yapısı

IGBT transistörü dört tabakalı P-N-P-N yapısına sahiptir (Şekil 3.45). MOSFET'in üretimi için aynı prosedürle, temelin değişikliğiyle ve üretim sürecindeki belirli adımlarla elde edilir.

IGBT transistörü emitör, kolektör ve beyz olmak üzere üç elektrotlu güçlü bir transistördür ve genellikle elektronik anahtar olarak kullanılır. Şekil 3.46'da, N-kanallı ve P-kanallı IGBT transistörlerinin şematik sembolleri gösterilmiştir. İzole geyt nedeniyle yüksek giriş direncine ve gerilim uyarımına sahiptir. İletimi sürekli olarak geyt

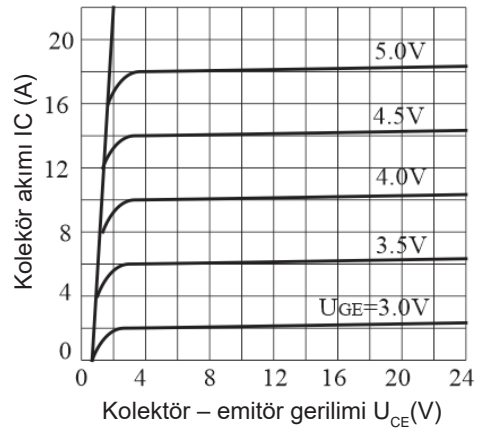
## Transistörler

ile ayarlanır. Geyt (G) cihazı kontrol ederken, akım kolektör-emitör (C-E) elektrotları arasında akar. IGBT transistörü gerilim kontrollü bir cihaz olduğundan dolayı, cihazdan iletkenliği korumak, yani akımın akması için geytte sadece küçük gerilim gereklidir.



Şekil 3.46: a) N-kanallı ve b) P-kanallı IGBT transistörlerin şematik sembolleri

Şekil 3.47’de N-kanallı IGBT transistörün akım-gerilim karakteristikleri verilmiştir. Grafik, bipolar transistörün karakteristiklerine oldukça benzerdir, tek fark parametrenin baz akımı değil, geyt elektrotu ve emitör arasındaki  $U_{GE}$  gerilimi olmasıdır.



Şekil 3.47: Akım-gerilim karakteristiği

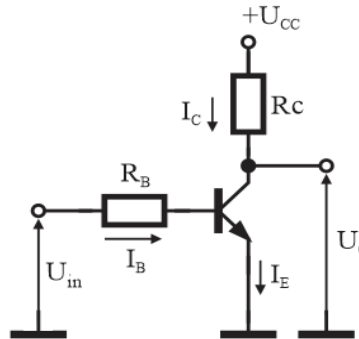
Geyt ve emitör arasındaki gerilim, sınır gerilim değerinin altında olduğunda, düşük akım akar ve o zaman kolektör ile emitör arasındaki gerilim besleme gerilimine eşittir. Transistörün durma bölgesinde çalıştığı söylenir. Geyt ile emitör arasındaki gerilim sınır gerilim değerinin üzerinde artarsa, IGBT normal aktif çalışma bölgesine girer. Bu bölgede kolektörden akan akım, kolektör akımının neredeyse tüm bölgesinde doğrusaldır.

IGBT transistörleri, dönme hızının ve yönünün değişmesini, sabit yük noktası ve yönetilen motorun gerekli korumasını sağlayan frekans dönüştürücülerin yapısal parçasıdır. Yüksek örtüşme hızı ve yüksek verimliliği nedeniyle, IGBT transistörleri özellikle büyük güce sahip cihazlarda yaygın olarak uygulama buluyor, örneğin, değişken frekanslı elektromotor sürücülerinde, elektrikli araçlarda, trenlerde, ses boğucularında, klimalarda vb.

### 3.16. TRANSİSTÖR MANTIK DEVRELERİ

Mantık devreleri, bir veya daha fazla değişken (giriş) ile basit anahtarlama fonksiyonlarını gerçekleştirir ve yalnızca bir çıkışı vardır. Aşağıdaki metinde “DEĞİL” invertör-mantık devresinin bipolar ve unipolar transistörlerle yapımı, yani yapımının basitliği (maliyeti), yüksek hızı, yüksek paketleme yoğunluğu ve düşük tüketim nedeniyle en yaygın olan CMOS teknolojisinde yapımı analiz edilecektir,

İnvertörün temel yapılandırması  $R_C$  ve  $R_B$  rezistörleri ve bir NPN-transistörü içerir (Şekil 3.48).



Şekil 3.48: Transistörlü invertör devresi

Transistörler

Giriş gerilimi emitör bağlantısının iletim geriliminden düşük olduğu süreçte transistör kapanma bölgesindedir, kolektör akımı akamaz ve çıkış gerilimi için  $U_o = U_{CC} = U_{OH}$  elde ediliyor.

Giriş geriliminin, emitör bağlantısının iletim değerinden daha yükseğe artmasıyla, transistör iletim durumuna geçer ve aktif çalışma düzeninde çalışır. Giriş geriliminin daha da artmasıyla, transistör doyma durumuna girene kadar çıkış gerilimi azalır ve çıkış gerilimi için  $U_o = U_{CE(SAT)} = U_{OL}$  elde edilir.

Yapılan analizden, devrenin bir invertör olarak çalıştığı, yani girişte mantıksal sıfır seviyesinde, çıkışta mantıksal bir seviyesi elde edildiği sonucuna varabiliriz:

$$U_{in} < 0,7 V \Rightarrow U_{OH} = U_{CC}$$

Girişte mantıksal bir seviyesi olduğunda ise çıkışta mantıksal sıfır seviyesi elde edilir:

$$U_{in} \geq 0,7 V \Rightarrow U_{OL} = U_{CE(SAT)} \approx 0,2V$$

Doyma durumunda transistördeki kolektör akımı şu ifadeyle belirlenir:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CE(SAT)}}{R_C} \dots\dots\dots(3.41)$$

Beyz akımı ise aşağıdaki ifadeyle belirlenir:

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} \dots\dots\dots(3.42)$$

Giriş mantıksal bir geriliminin minimum değeri şu ifadeden belirlenir:

$$U_{INH} - R_B I_B - U_{BE} = 0 \quad U_{INH} = U_{BE} + \frac{R_B}{R_C} \cdot \frac{U_{CC} - U_{CE(SAT)}}{\beta} \dots\dots\dots(3.43)$$

Bu gerilim için tipik değer 2V'tur.

Şekil 3.49'de DEĞİL mantık devresinin doğruluk tablosu (a) grafik sembolü (b) gösterilmiştir. Yüksek gerilim seviyesine mantıksal 1, düşük gerilim seviyesine ise mantıksal 0 karşılık gelir.

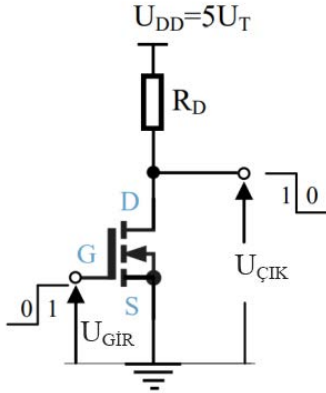
| Giriş gerilim seviyesi | Çıkış gerilim seviyesi |
|------------------------|------------------------|
| 0                      | 1                      |
| 1                      | 0                      |

a)



b)

Şekil 3.49: DEĞİL devresi a) doğruluk tablosu; b)

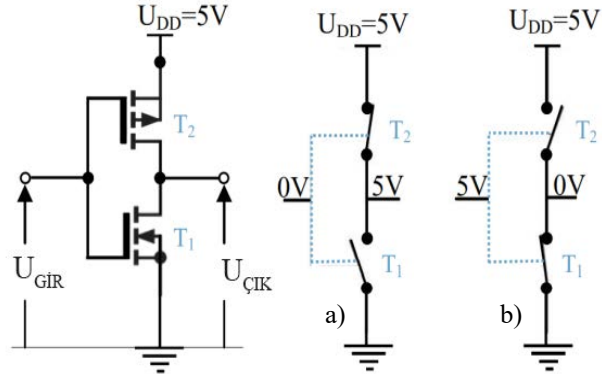


Şekil 3.50: N-kanallı MOSFET'li invertör

Unipolar transistörlü invertörlerin üretiminde, P-kanallı MOSFET'lere kıyasen bir bölgeden diğerine geçişte daha yüksek hız nedeniyle N-kanallı MOSFET transistörler kullanılır (Şekil 3.50).  $U_{GIR} < U_T$  giriş gerilimlerinde (düşük giriş gerilim seviyesi),  $T_1$  transistörü bloke edilir ve iletmez, çıkış gerilimi  $U_{DD}$  gerilimine eşit olacaktır, bu da çıkışta yüksek gerilim seviyesinin elde edildiği anlamına gelir.

$U_T < U_{GIR} < U_{DD}$  giriş gerilimler için (yüksek giriş gerilim seviyesi),  $T_1$  transistörü ohmik bölgede iletir, çıkışta düşük gerilim seviyesi elde edilir.

CMOS invertörü (Şekil 3.51), aynı  $U_T$  gerilim değerine sahip ancak zıt işaretli bir N-kanallı ve bir P-kanallı MOSFET'ten oluşuyor.



Şekil 3.51: CMOS invertörü

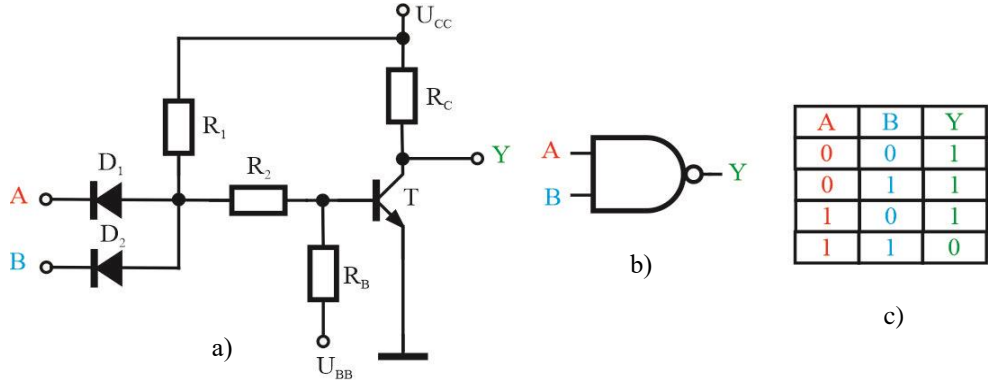
Devrenin analizi:

1.  $U_{GIR} = 0 \text{ V}$ ,  $T_1$  kapalı,  $T_2$  Ohmik bölgede,  $U_{CIK} = U_{DD} = 5 \text{ V}$  (Şekil 3.51A).
2.  $U_{GIR} = U_{DD}$ ,  $T_1$  Ohmik bölgede,  $T_2$  kapalı,  $U_{CIK} = 0 \text{ V}$  (Şekil 3.51b).

Bir durumdan diğerine geçiş önceki invertör yapımlarından daha hızlıdır.

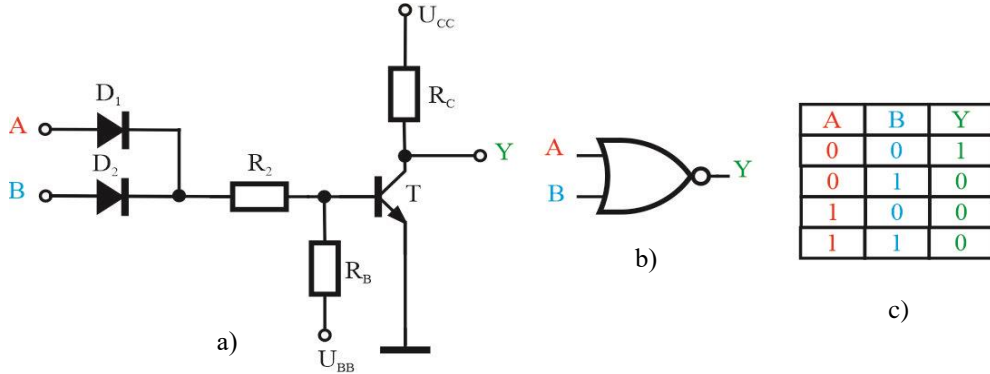
DTL Diyot-transistör mantığında temel devre, Şekil 3.52 a) iki girişi, A ve B girişi ile gerçekleştirilen DEĞİL mantık devresidir.

## Transistörler



Şekil 3.52: DEĞİL mantıksal devrenin a) elektrik şeması; b) sembolü ve c) doğruluk tablosu

Şekil 3.53'te VEYA DEĞİL mantıksal devrenin gerçekleştirilmesi, sembolü ve doğruluk tablosu gösterilmiştir.



Şekil 3.53: VEYA DEĞİL mantıksal devrenin a) elektrik şeması; b) sembolü ve c) doğruluk tablosu

## UNUTMAYIN..!

- Transistör, emitör PN-bağlantısının doğrudan kutuplanması ve kolektör PN-bağlantısının ters kutuplanması sırasında yükselteç olarak çalışır.
- Transistör, emitör PN-bağlantısının doğrudan kutuplanması ve kolektör PN-bağlantısının ters kutuplanmasında normal aktif bölgede bulunur. Normal aktif bölgede transistör akım, gerilim veya güç yükselteci olarak çalışır.
- Doyma bölgesi, iki bağlantının doğrudan kutuplanması ile belirlenir ve transistör kapalı anahtar gibi davranır.
- Kapalı düzeni, kolektör ve emitör PN-bağlantısının ters kutuplanması ile tanımlanır ve transistör açık anahtar gibi davranır.

- Transistör bir invertör olarak çalıştığında, girişte mantıksal sıfır seviyesinde, çıkışta mantıksal bir seviyesi elde edilir ve tersi.

### Modül 3’de edinilen bilgileri belirleme soruları



1. Transistör terimini tanımlayın.
2. Hangi transistörleri vardır?
3. NPN-Transistör şematik tanımını çizin.
4. Transistörün kaç elektrotu var ve nasıl adlandırılır?
5. NPN-transistörün kutuplanması sırasında akım nasıl oluşturulur?
6. PNP transistöründe  $E_1$  ve  $E_2$  iç alanlarının NPN-transistöre göre nasıl yönleri vardır?
7. Transistörün çalışma bölgeleri hangileridir?
8. NPN-transistörde hangi taşıyıcılar akım oluşturur?
9. Transistörde  $I_{CE0}$  akımı nasıl oluşturulur?
10. Transistörde  $I_{CB0}$  akımı nasıl oluşturulur?
11. “Eberes-Molov Modeli” ne göre transistör için temel ilişki nedir.
12. Transistörün statik ve dinamik çalışma düzenini tanımlayın.
13. Ortak emitör bağlantılı transistörde hangi büyüklükler giriş büyüklükleri ve hangileri çıkış büyüklükleridir?
14. Çıkış, giriş iletim ve doğrudan iletim karakteristiği nasıl tanımlanır?
15. Transistörün en önemli parametreleri hangileridir?
16.  $\beta$  neyi temsil eder?
17. Transistörün çalışma çişgisinin konumu neye bağlıdır ve nasıl belirlenir?
18. Transistör hangi çalışma düzeninde yükselteç olarak işlev görür?
19. Transistörün h-parametreler sistemini yazın ve her parametreyi ayrı ayrı tanımlayın.
20. Küçük sinyaller için h-parametrelerle transistörün eşdeğer şemasını çizin.
21. Transistör hangi çalışma düzenlerinde anahtar olarak bulunabilir?
22. Doyma durumunda olduğunda transistörün emitör ve kolektör bağlantılarının kutuplanması nasıldır?
23. Transistör kesinti durumunda olduğunda çıkış akımı ne kadardır?

24. Transistörün çıkış karakteristiğini çizin ve iletim olmayan bölgeyi işaretleyin.
25. Transistör hangi çalışma düzeninde kapalı anahtar olarak davranır?
26. Transistör hangi çalışma düzeninde açık anahtar olarak davranır?
27. Yükselteçin frekans karakteristiğini tanımlayın.
28. Yükselteçin faz karakteristiğini çizin ve alt ve üst sınır frekansını tanımlayın.
29. Yükselteçin bant genişliği nasıl belirlenir?
30. Yükseltme türüne göre hangi yükselteç türleri vardır?
31. Yükselteçler frekans genişliğine göre nasıl ayrılır?
32. Yükselteçin akım yükseltmesi tanımlanır?
33. Yükselteçin gerilim yükseltmesini temsil eden denklemi yazın.
34. Yararlı etki katsayısını tanımlayın.
35. Giriş ve çıkış direncini tanımlayan ilişkileri yazın.
36. Bipolar ve unipolar transistörler arasındaki fark nedir?
37. Hangi unipolar transistör türleri vardır?
38. n-kanallı ve p-kanallı FET'in sembollerini çizin ve terminalleri işaretleyin.
39. FET'in kutuplanması sırasında kanalla ne olduğunu açıklayın.
40. FET'in statik çıkış karakteristiğini çizin ve bölgelerini açıklayın.
41. JFET kanalından akımın akışında kesintinin meydana geldiği gerilime ne ad verilir?
42. JFET hangi çalışma bölgesinde, dreyn ve sors arasındaki gerilimin artmasıyla dreyn akımını doğrusal artar?
43. Hangi MOSFET türleri vardır?
44. N-kanallı MOSFET invertörde hangi giriş gerilimleri için çıkışta mantıksal bir "1" elde edilir.
45. N-kanallı MOSFET anahtar olarak çalıştığında hangi çalışma bölgesinde bulunmaktadır?
46. İnvörtörün Mantıksal sıfır giriş seviyesinde invertör çıkışında ne elde edilir?
47. IGBT nedir?
48. IGBT transistörü nerede uygulanır?

## TEMATİK BELİRLEME

**I. Çevreleme soruları  
(Doğru cevapları çevreleyin)**

1. PNP transistöründe elektrik yükünün ana taşıyıcıları şunlardır:

- a) Elektronlar
- b) Boşluklar
- c) Donörler
- ç) Akseptörler

2.  $h_{fe}$  parametresinin ölçüm birimi şudur:

- a) İsimsiz sayı
- b) A
- c) V

3. PNP transistöründe elektrik yükünün ikincil taşıyıcıları şunlardır:

- a) Elektronlar
- b) Boşluklar
- c) Donörler
- ç) Akseptörler

4. Ortak emitör bağlantılı bir transistörde  $I_B$  sabit akımı sırasında  $I_C$  akımının ve  $U_{CE}$  gerilimin bağımlılığı şununla temsil edilir:

- a) İletim karakteristiği
- b) Giriş karakteristiği
- c) Çıkış karakteristiği

5. Ortak beyz bağlantılı transistörde giriş akımı şudur:

- a)  $I_C$
- b)  $I_B$
- c)  $I_E$

Transistörler

6. Ortak emitör ile bağlantıda transistörün çıkış karakteristiği şu şekilde temsil edilir:

- a)  $I_B = const.$  için  $I_C = f(U_{CE})$ .  
 b)  $U_{CE} = const.$  için  $I_B = f(U_{CE})$ .  
 c)  $I_B = const.$  için  $U_{BE} = f(U_{CE})$ .

7. Transistör hangi kutuplanmasında yükselteç gibi çalışır?

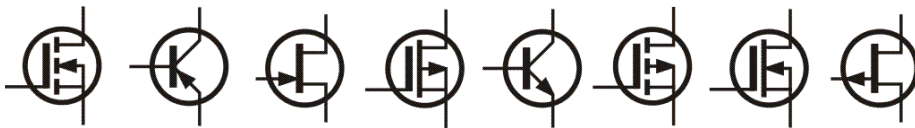
- a) Her iki PN-bağlatının doğrudan kutuplanmasında  
 b) Emitör bağlantının doğrudan ve kolektör bağlantının kutuplanmasında  
 c) Her iki PN-bağlatının ters kutuplanmasında

8. Transistördeki akımların bağımlılığı hangi ifade ile verilmiştir?

- a)  $I_E = I_B + I_C$   
 b)  $I_B = I_E + I_C$   
 c)  $I_C = I_B + I_E$

**II Bağlama Soruları**

9. Elektrik sembolleri transistör türleriyle bağlayın:



- a)                      b)                      c)                      ç)                      d)                      e)                      f)                      g)

1. NPN-transistör \_\_\_\_\_  
 2. PNP-transistör \_\_\_\_\_  
 3. N-türünden FET \_\_\_\_\_  
 4. P-türünden FET \_\_\_\_\_  
 5. İndüklenmiş kanal ile N-kanallı MOSFET \_\_\_\_\_  
 6. İndüklenmiş kanal ile P-kanallı MOSFET \_\_\_\_\_  
 7. Yerleşik kanal ile N-kanallı MOSFET \_\_\_\_\_  
 8. Yerleşik kanal ile P-kanallı MOSFET \_\_\_\_\_

10. Parametreyi uygun ilişki ile bağlayın:

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. Çıkış iletkenliği               | a) $\Delta U_2 = 0$ için $h_i = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}$   |
| 2. Gerilim geri bağlantı katsayısı | b) $\Delta I_1 = 0$ için $h_r = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}$ ; |
| 3. Akım yükseltme katsayısı        | c) $\Delta U_2 = 0$ için $h_f = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$ ; |
| 4. Giriş direnci                   | ç) $\Delta U_2 = 0$ için $h_f = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$ ; |

11. Transistörün kutuplanmasını çalışma bölgesiyle bağlayın!

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. $U_B = 4 \text{ V}$ , $U_C = 10 \text{ V}$ , $U_E = 8 \text{ V}$ | a) Doyma bölgesi _____        |
| 2. $U_B = 9 \text{ V}$ , $U_C = 3 \text{ V}$ , $U_E = 6 \text{ V}$  | b) Kapanma bölgesi _____      |
| 3. $U_B = -1 \text{ V}$ , $U_C = 2 \text{ V}$ , $U_E = 1 \text{ V}$ | c) Normal aktif bölgesi _____ |

### III. Boşlukları doldurma soruları

12. Transistör doyum durumundayken çıkış akımı \_\_\_\_\_ gücüne sahip, çıkış direncinin ise \_\_\_\_\_ değeri vardır.
13. Emitör ve kolektör bağlantıları ters kutuplu olduğunda, transistör \_\_\_\_\_ düzeninde bulunmaktadır.
14. Bir transistör normal aktif bölgede emitör bağlantısı \_\_\_\_\_ kutuplu ve kolektör bağlantısı \_\_\_\_\_ kutuplu olduğunda kutuplanır.
15.  $U_{GS} = \text{const.}$  için  $I_D = f(U_{DS})$  ilişkisi ile \_\_\_\_\_ ortak sorslu bağlantıda olan MOSFET'in \_\_\_\_\_ karakteristiği tanımlanmıştır.
16. Bir transistör beyz-emitör bağlantısının \_\_\_\_\_ kutuplanması ve baz-kolektör bağlantısının \_\_\_\_\_ kutuplanması durumunda doyma halinde bulunmaktadır.
17. Tek kutuplu transistörlü invertörün girişinde "1" mantık seviyesi için çıkışta \_\_\_\_\_ mantık seviyesi elde edilir.

# MODÜLER BİRİM 4 TRİSTÖRLER



Öğrenci bu modül biriminin içeriğini inceleyerek tristörler hakkında temel bilgileri edinecek ve şunları yapabilecektir:

- Tristörleri tanımlamak;
- Tristör türlerini ayırt etmek;
- Tristör türlerinin grafik sembollerini tanımak;
- Tristörün kuruplanmasını açıklamak;
- Tristörün akım-gerilim karakteristiğini çizmek;
- Tristörlerin uygulamasını analiz etmek;
- Tristörün elektrik-enerji endüstrisinde önemini açıklamak;
- Tristörlerin çeşitli elektrik devrelerinde uygulanmasını sunmak.

## 4.1 TRİSTÖRLER TERİMİ VE BÖLÜMÜ



Diyot, bir PN-bağlantısı ve iki elektrottan oluşan yarı iletken bileşendir. transistör, iki PN-bağlantısı ve üç elektrottan oluşur, tristör ise en az üç PN bağlantısı ve en az iki elektrottan oluşur.

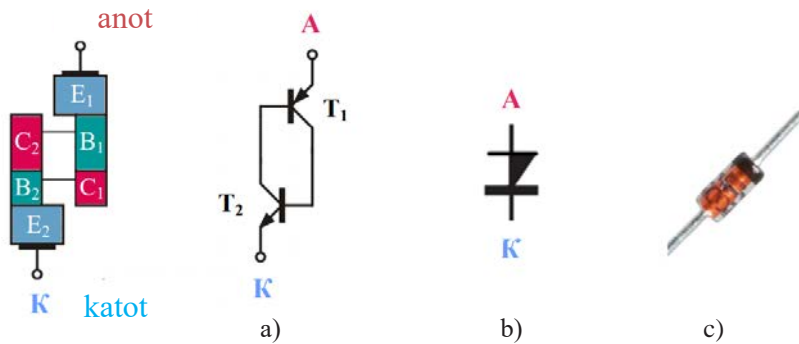
Tristörler, en az üç PN bağlantısı yapacak şekilde düzenlenmiş ve en az iki terminale sahip, dört veya daha fazla yarı iletken malzemeden oluşan yapılandırma-ya sahip eleman gruplarıdır. Tristörler kendi aralarında terminaller sayısına, iletim yönüne ve statik karakteristiklerin şekline göre farklıdır.

Tablo 4.1, terminal sayısına ve iletim yönüne göre tristör türlerini göstermektedir.

Tablo 4.1: Tristörlerin bölünmesi

| TRİSTÖRLER | Diyotlu (2 terminalli)     | Triyotlu (3 terminalli) |
|------------|----------------------------|-------------------------|
| Tek yönlü  | Dinistör (Shockley Diyotu) | SCR-tristör             |
| Çift yönlü | Diyak                      | Triyak                  |

Şekil 4.1 a)daki gibi yapıya ve eşdeğer şemaya sahip olan eleman, **dinistör** veya Shockley diyot olarak adlandırılan tek yönlü bir diyot tristördür. Terminaller (uçları) **A-anot** ve **K-katot** olarak işaretlenmiştir. Shockley diyotunun grafik sembolü ve gerçek görünümü Şekil 4.2'de b) ve c) altında sırasıyla gösterilmektedir.

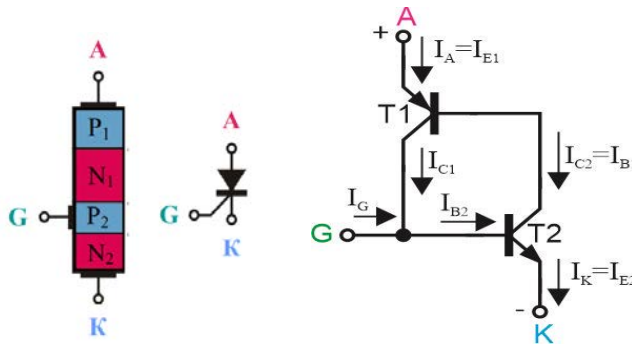


Şekil 4.1: Dinistör- Shockley diyotu a) yapısı ve eşdeğer şeması, b) sembolü ve c) fiziksel görünümü

Şekil 4.1 deki yapının orta P katmanına bağlanan başka bir terminal eklenerek, **SCR** (Silicon Controlled Rectifier) olarak bilinen - kontrollü silisyum doğrultucu veya çoğu zaman pratikte basitçe **tristör** olarak karşılaştığımız, üç terminalli tek yönlü triyot tristörü elde edilir.

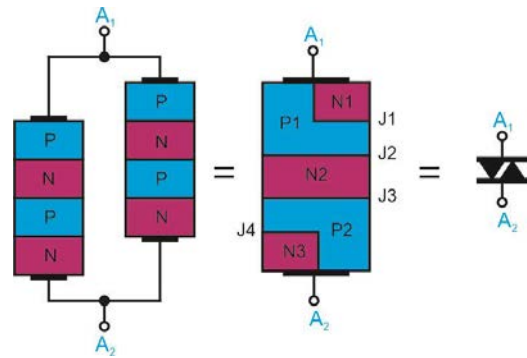
Bağlantıları **A-anot**, **K-katot** ve **G-geyt** veya kapı olarak belirtilmiştir (Şekil 4.2). Anot ve katot, dinistörde olduğu gibi aynı role sahiptir ve geyt, tristörü açmak için kontrol elektrodu rolüne sahiptir.

*Tristörler, endüstriyel elektronik ve büyük tüketicilerin gücünü kontrol etme otomasyonda, günlük yaşamda ise elektrik lambalarının ışık şiddetini ayarlamak ve ayrıca çeşitli ev aletlerindeki elektrik motorlarının hızını düzenlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.*



Şekil 4.2: Tristörün yapısı, grafik sembolü ve eşdeğer şeması

Karşıt yönlere yerleştirilmiş iki dinistörün paralel bağlanmasıyla, **diyak** (Diode Alternating Current switch) adı verilen çift yönlü diyot tristörü elde edilir. Diyakın yapısı ve grafik sembolü şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Diyakın yapısı ve grafik sembolü

Tek bir silikon plaka üzerinde yapılan diyak, MT1 ve MT2 olarak da işaretlenebilen, **anot 1** ( $A_1$ ) ve **anot 2** ( $A_2$ ) olmak üzere iki terminali olan, beş katmanlı NPNPN-yapısına sahip bir elemandır. Diyaktan, akım  $A_1$  ve  $A_2$  anotları arasındaki

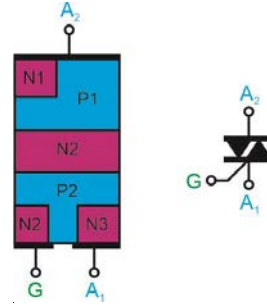
## Tristörler

diyottan her iki yönde akar. Tetik darbeleri oluşturarak *tristörleri ve triyakları açma devrelerinde* kullanılır.

İki tristörün, iki dinistörün bağlanmasına benzer şekilde, zıt bakacak şekilde paralel olarak bağlanmasıyla, her iki yönde ileten, **triyak** (**Triode Alternating Current switch**) olarak bilinen triyot çift yönlü tristör elde edilir. Yapısı ve şematik görünümü şekil 4.4'te verilmiştir.

Triyak her iki yönde iletir ve terminalleri **anot 1** ( $A_1$ ), **anot 2** ( $A_2$ ) ve **geyt** (**G**) kontrol elektrodu ile işaretlenir. Triyaktan akan akım iki anot ( $A_1$ - $A_2$ ) arasında akmaktadır, kontrol elektrot kapısı - geyt ise onun açılması için kullanılır.

Tablo 4.2'de çamaşır makinelerinde, elektrikli süpürgelerde ve diğer ev aletlerinde motor hızını düzenlemek için kullanılan triyak modellerine ilişkin katalog verilerini verilmiştir.



Şekil 4.4: Triyakın yapısı ve sembolü

Tablo 4.2: Triyak türlerin parametrelerine ilişkin katalog verilerinin bir kısmı

| İşaret/model | $V_{DRMS}$ [V] | $I_{TRMS}$ [A] | $I_{TSM}$ [A] | $I_{GT} (max.)$ [mA] |
|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------------|
| BCR3LM-12LB  | 600            | 3              | 30            | 20                   |
| BCR5LM-12LB  | 600            | 5              | 50            | 20                   |
| BCR10LM-12LB | 600            | 10             | 100           | 30                   |
| BCR3LM-14LB  | 700            | 3              | 30            | 30                   |
| BCR16LM-14LB | 700            | 16             | 160           | 30                   |

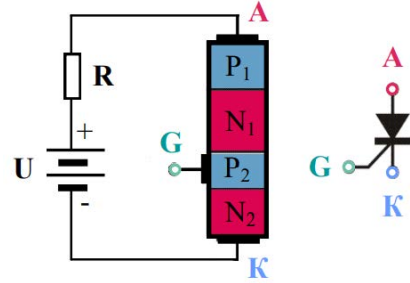
### UNUTMAYIN..!

- Tristörler, dört veya daha fazla yarı iletken katmandan oluşan konfigürasyona sahip elemanlar grubudur
- Dinistör, üç PN bağlantısı ve iki terminali (anot ve katot) olan dört katmanlı bir tristör elemanıdır.
- Doğrudan kutuplu dinistör, düşük anot-katot gerilimlerinde iletken olmayan bir duruma sahiptir.
- Açma geriliminden daha büyük gerilimler için dinistör doğrudan iletim durumundadır.
- Ters kutuplu dinistör sıradan bir diyot gibi davranır.
- Tristör veya kontrollü silisyum doğrultucu anot, katot ve geyt olmak üzere üç terminali olan elemandır.

## 4.2 TRİSTÖRÜN AKIM-GERİLİM KARAKTERİSTİĞİ

Anodu  $U$  kaynağının pozitif kutbuna ve katodu negatif kutbuna bağlarken, Şekil 4.5'te bağlandığı gibi tristör doğrudan kutupludur.

Tristörün açılması, yani uyarılması (tetiklenmesi) iki şekilde yapılabilir: anot ile katot arasındaki  $U_{AK}$  gerilimi  $U_{BO}$  açılma gerilimi değerinin üzerine çıkararak veya geyte pozitif gerilim bağlayarak. Pratikte her zaman ikinci yöntem uygulanır.



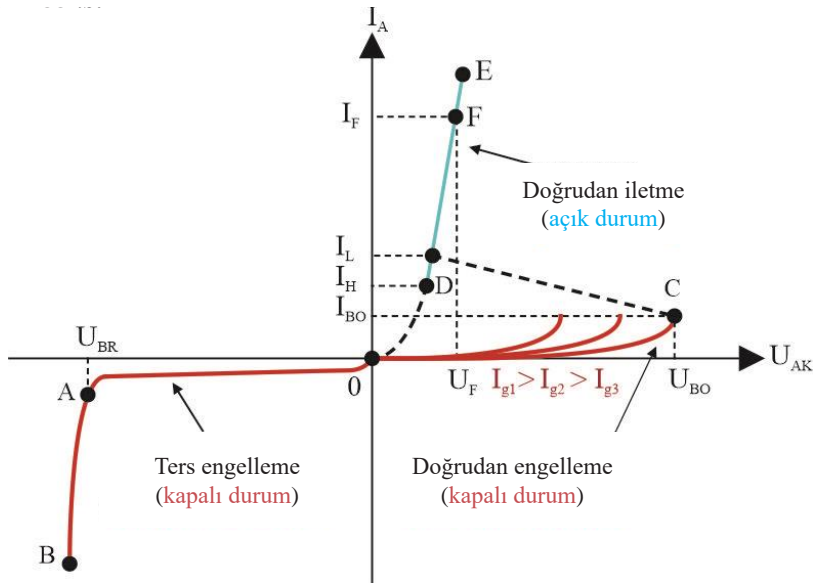
Şekil 4.5: Tristörün kutuplanması

Tristörlerin iki akım devresi vardır: **giriş (kontrol)** ve **çıkış (ana)** akım devresi ve dolayısıyla iki akım-gerilim karakteristiği vardır.

### a) Çıkış statik karakteristikleri

Tristörün içinden geçen akımın, geyt akımı  $I_G$ 'nin farklı değerleri için uçlarındaki gerilime bağımlılığı, onun statik karakteristiklerini tanımlar (Şekil 4.6). Matematiksel olarak aşağıdaki ilişkiyle ifade edilirler:

$$I_A = f(U_{AK}) / I_G = const.$$



Şekil 4.6: Tristörün statik karakteristiği

U kaynak gerilimin küçük değerleri için, tristör üzerindeki akım küçüktür, bu nedenle iletken olmadığı söylenebilir (Karakteristikte 0 noktasından C noktasına kadarki kısım). **Doğrudan engelleme durumundadır** (kapalı durum). Tiristörün uçlarındaki gerilim,  $U_{BO}$  (**Breakover Voltage**) kırılma gerilimin değerini aştığında, doğrudan iletme durumunda (açık durumda) bulunacaktır.

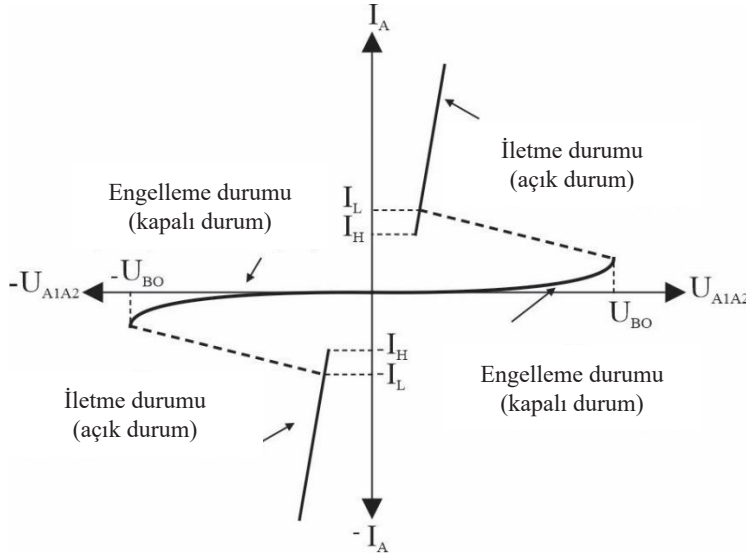
İletme durumunda (D noktasından E noktasına kadarki kısım), büyük akım akar ve tristörün geriliminde hafif bir düşüş vardır. İçinde akan akım, R dış bir direnç bağlayarak sınırlandırılabilir. Bu bölgede girmesi hasar görmüş anlamına gelmez. Bu durumda tristör, **akım tutma  $I_H$**  (holding current) ile belirlenen minimum değer altına düşene kadar kalabilir.

Sonuç olarak, doğrudan kutuplaşmış tristör iki durumdan birinde bulunabilir: iletme durumu ve doğrudan engelleme durumu. Açık ve kapalı durum arasında çalışma düzeni yoktur, yani bir yükseltme elemanı olarak kullanılamaz, açık ya da kapalıdır.

Anot, kaynağın negatif kutbuna ve katot kaynağın pozitif kutbuna bağlandığında ters kutuplanma durumu vardır. Ters gerilim, karakteristikte A noktasından B noktasına kadarki kısmında bulunan ters yönde kırılma gerilimi olan  $U_{RB}$ 'den (**Reverse Break**) daha büyük olduğu zaman, **tristörün kırılması** meydana gelir ve tahrip edilir.

Doğru bir gerilime bağlandığında, diyak standart bir dinistör olarak davranır, kaynak geriliminin pozitiften ucundan negatif ucuna doğruki yönde iletacaktır. Diyak'ın uçlarını çevirirsek, yine iletacaktır, buna göre uçları anot ve katot gibi davranmaz. Diyak her iki yönde de iletmediği nedeniyle, uçları  $A_1$  ve  $A_2$  ile işaretlenir.

Diğer tüm tristörlerde olduğu gibi, diyak da uçlarındaki gerilim kırılma gerilimin değerine ulaştıktan sonra iletmeye başlayacaktır. Bu özelliğe göre, yaklaşık 0.6 V gerilim değerlerinde iletken hale gelen standart diyotlardan farklıdır, bu değer diyak için yaklaşık 30-35 V'tur. Diyak'ın akım-gerilim karakteristiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



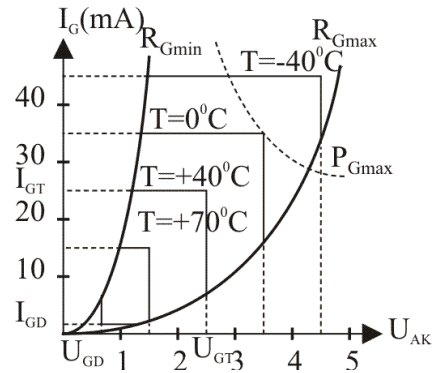
Şekil 4.7: Diyak'ın akım-gerilim karakteristiği

Geyt'te akımın akmasına izin verilirse triyak da iletken duruma getirilir. Geyt akımı ana akımla aynı veya ters yönde olabilir. Ana akım, anot 2'den anot 1'e doğru akarsa pozitif olarak kabul edilir ve anot 1'den anot 2'ye akarsa negatif olarak kabul edilir. Triyakın akım-gerilim karakteristiği, diyakın akım-gerilim karakteristiği ile aynıdır.

### b) Giriş statik karakteristikleri

Bu karakteristikler, geyt akımının geyt ile katot arasındaki  $U_{GK}$  gerilimine bağımlılığını gösterir. Geytim açılması sadece geyt akımı pozitifse, yani giriş devresi pozitif olarak kutuplu olduğunda mümkündür.

Giriş karakteristiği, sıradan bir diyotun karakteristiği ile aynı şekle sahiptir. Ancak aynı türden tüm tristörler aynı giriş karakteristiğine sahip değildir, giriş devreleri karakteristiklerinde büyük bir fark vardır ve bu nedenle Şekil 4.8'deki gibi gösterilir. Sınır eğrileri, verilen tristör tipi için minimal ve maksimum geyt direncine sahip numunelere karşılık gelir.



Şekil 4.8: Tristörün giriş statik karakteristiği

### 4.3 TRİSTÖRÜN UYARIMI

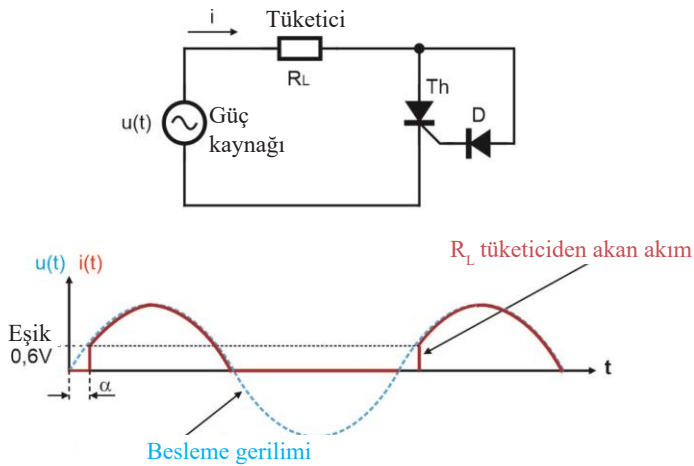
Daha önce belirtilen tristörün çalışma prensibinden, tristörün uyarılmasının (veya tetiklenmesinin) iki şekilde yapılabileceği sonucu çıkar: **anot ile katot arasındaki gerilimi, açma gerilimi  $U_{B0}$  değerinin üzerine arttırarak** veya **geyt'e pozitif gerilim bağlayarak**. Pratikte her zaman ikinci yöntem uygulanır.

Uyarma gerilimi doğrudan, alternatif veya darbeli olabilir. Bu üç yöntemden en yaygın olarak pozitif akım darbeleriyle uyarım kullanılır.

Tristörün uyarılmasının prensibi, bunun **elektrik güç ayarlayıcısı** olarak uygulanmasına ilişkin örneklerle açıklanacaktır.

Tristörün bir doğru elektrik elemanı olmasına rağmen en büyük uygulamasını alternatif gerilimli güç kaynağı yönetiminde bulur. Alternatif gerilimli bir yükün beslenmesi için devreye bağlandığında, gerilimin sadece pozitif yarı periyodu sırasında çalışacaktır. Geyt açılmadan ve kırılma geriliminin çok altındaki bir gerilimde tristör iletmeyecektir. Tetikleme, tristörün engelleme durumundan iletken duruma geçmesine neden olan tristöre tetikleme akımı darbesinin uygulandığı açı olan iletim açısı  $\alpha$  ile kontrol edilebilir.

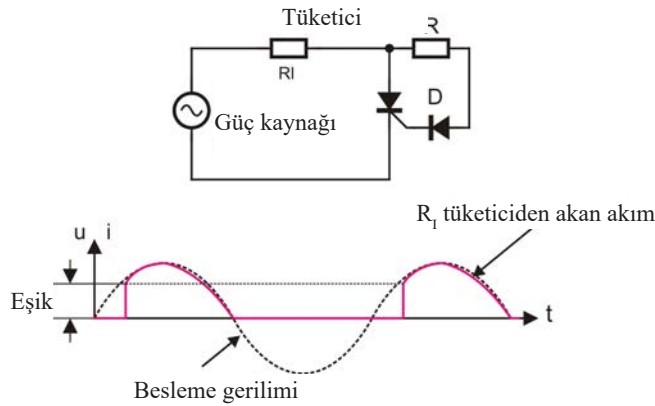
Şekil 4.9'da tristörün geyti ve anodu standart bir doğrultucu diyot aracılığıyla bağlanmıştır. Diyot, yerleşik geyt-katot rezistöre sahip tristörlerdeki Geyt'ten ters akımın akışını durdurmak için gereklidir.



Şekil 4.9: Alternatif akım devresinde tristör

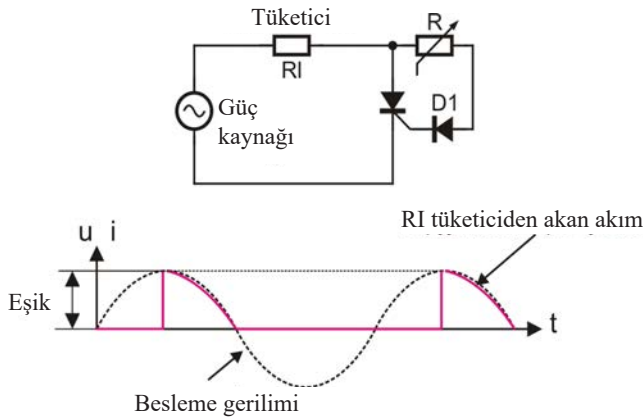
Tetikleme eşiği ve tristörün iletim durumuna getirilmesi, her pozitif yarım periyotun başlangıcından kısa bir süre sonra başlar. Bu, besleme geriliminin geyt'te akımının akmaya başlayacağı değere ulaştığı süredir.

Geyt devresine rezistör bağlanarak tetikleme anı geciktirilebilir (Şekil 4.10). Bu rezistörde gerilimin düşüşüyle, geyt gerilimi azalır ve tristörün tetiklenmesi, besleme gerilimi, rezistör geriliminin düşüşü için arttırılan tristörün tetiklendiği önceki değere ulaşana kadar geciktirilir. Tristörün gecikmeli tetiklenmesiyle elde edilen sinüs yarı dalgasının daha yüksek derecede kesilmesiyle, yük daha düşük ortalama güç alır.



Şekil 4.10: Tristörün rezistör aracılığıyla tetiklenmesi

Geyt devresindeki seri rezistörü değişken hale getirilirse (Şekil 4.11), tüketiciye verilen güç istenilen şekilde ayarlanır.

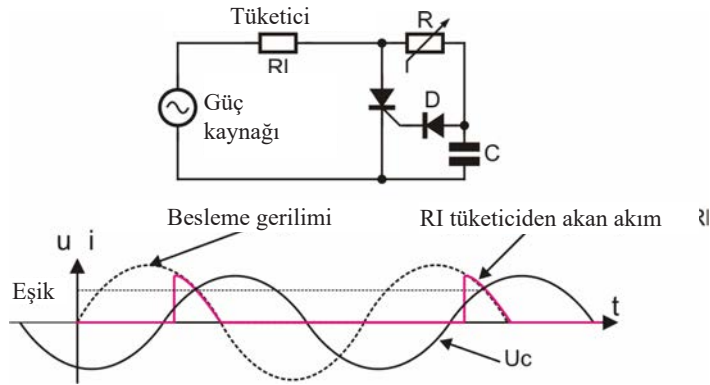


Şekil 4.11: Tristör ile tüketici gücünün ayarlanması

## Tristörler

Direnç değerinin artırılmasıyla tetikleme eşik seviyesi yükseltilir ve tüketiciye daha az güç iletilir. Bunun tersi direncin azalmasıyla olur. Maalesef, bu ayarlama yarı periyodun yalnızca ilk yarısıyla, maksimum sınırına kadar sınırlıdır. Tetikleme eşikini ( $\alpha$  açısını) ne kadar arttırsak, ayarlama yarı periyodun diğer yarısına aktarılamaz.

Çözüm devreye tetikleyici dalganın fazını kaydıracak bir kapasitör eklemekte bulunmaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Tetikleyici dalga fazının kaydırılması

Diyagramdan görülebileceği gibi kapasitör gerilimi, besleme gerilimine göre  $90^\circ$  için faz kaydırılmıştır. Bu, dirençli yük için geçerlidir, endüktif veya birleşik başka bir yük türü için faz  $0$  ile  $90^\circ$  arasında kaydırılır. Faz kayması ile akımın yarı periyodunun kısaltılması, güç kaynağının maksimum geriliminden daha sonra elde edilir.

Pratikte, kapasitör geriliminin şekli burada gösterilenden daha karmaşıktır yani tristör ilettince sinüzoid daha fazla bozulur. Tristörün tetiklenmesinin bu yolu, ışığın ayarlanması gibi basit uygulamalar için tatmin edicidir.



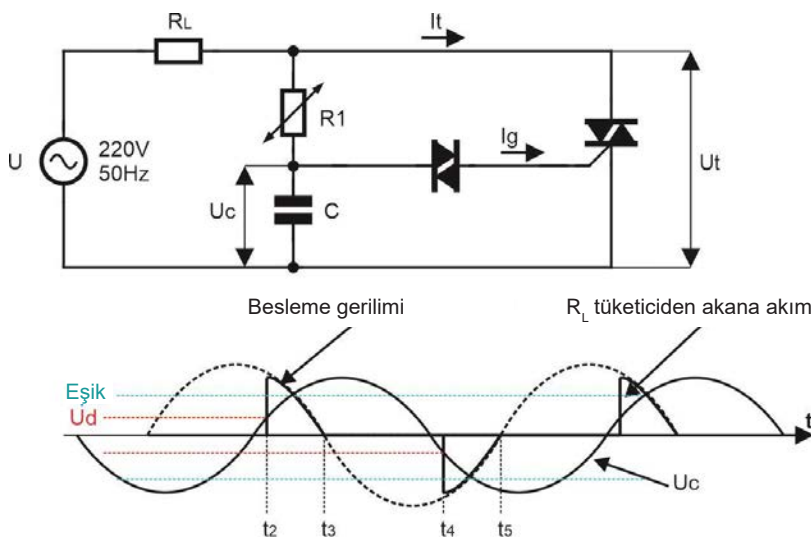
Tristörün elektriksel güç ayarlayıcı olarak kullanıldığı elektrik şemalar analiz edin!

## UNUTMAYIN..!

- Tristör, geyt'te pozitif gerilim ile uyarılır.
- Tristör, anot devresinin kesilmesiyle veya anot-katot geriliminin tristör açma gerilimi değerinin altına düşmesi durumunda kapatılabilir.
- Doğrudan kutuplanma sırasında, tristör iki kararlı duruma sahiptir: doğrudan iletilimsizlik durumu (kapalı durum) ve doğrudan iletim durumu (açık durum).
- Tristörün en büyük uygulaması, alternatif gerilimli güç kaynağı yönetiminde vardır.

## 4.3.1 TRİYAKIN UYARIMI

Triyakın tetiklenmesinin temel prensibi, tristöre benzer şekilde faz kaymasıdır. Böyle bir devre şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekil 4.12'dekinin aynısı olup tristör triyak ile ve diyot diyak ile değiştirilmiştir. Kapasitör gerilimi  $U_c$ , başlangıç anından, diyak iletken hale geldiği  $t_2$  anına kadar  $U_d$  değerine kadar yükselir.  $t_2$  anından  $t_3$ 'e kadar, triyak ve tüketiciden  $I_t$  akımı akar ve güç kaynağının alternatif gerilimi sıfır değerine sahip olduğunda,  $t_3$  anında akım akışı duruyor.

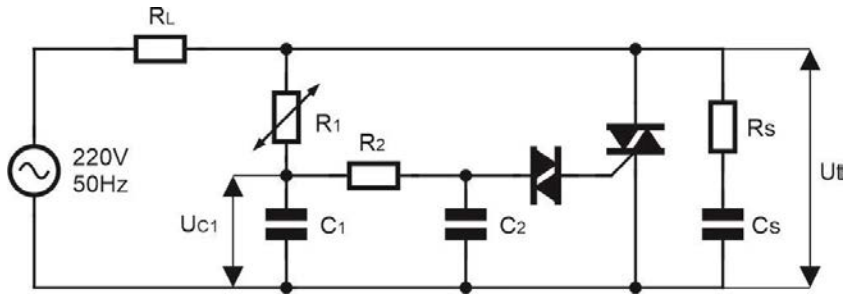


Şekil 4.13: Triyakın çalışma prensibi

## Tristörler

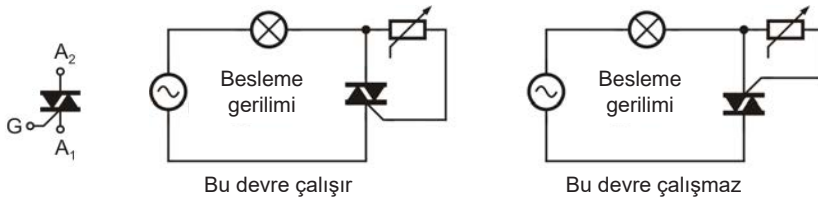
Negatif yarı periyot sırasında,  $t_4$  anında diyotun kırılması tekrar meydana gelir, ancak şimdi ters yönde, triyak uyarılır ve  $t_4$  anından  $t_5$ 'e kadar triyak ve tüketiciden akım geçer.

Triyak, kaynak geriliminin iki yarı periyodu boyunca simetrik olarak uyarılmaz, tam olarak aynı gerilim seviyesinde tetikleme yapmaz. Sonuç olarak çok sayıda harmonik frekanslar ortaya çıkar. Diyotun varlığı bu durumu biraz iyileştirir. Şekil 4.14'te verilen devrede  $U_{C1}$  geriliminin  $R_2$  ve  $C_2$  elemanları ile ek faz kaydırılmasıyla da iyileştirme elde edilir. Endüktif karaktere sahip tüketiciler için kontrol kaybının meydana gelmemesi için  $R_s$  ve  $C_s$  elemanları yerleştirilmiştir. Bunlarla, triyakin kontrolden çıkmasına neden olabilecek çok hızlı istenmeyen gerilim atlayışları filtrelenir.



Şekil 4.14: Tetikleme geriliminin ek faz kaydırılması

Anot 1 ve anot 2 terminalleri, Şekil 4.15'te biri çalışan, diğeri çalışmayan iki basit yapıyla gösterilen, tristörü açmak için G-A<sub>2</sub> bağlantısının gerekli kutuplanmasından dolayı birbirleriyle değiştirilemez. Basitleştirmek amacıyla diyot ve kapasitör göz önüne alınmamıştır.



Şekil 4.15: Triyak anotlarının bağlanması

### UNUTMAYIN..!

- Diyot çoğunlukla başka bir tristör elemanı ile birlikte kullanılır.
- Triyakin tetiklenmesinin temel prensibi faz kaymasıdır.

## 4.4 TRİSTÖRLERİN UYGULANMASI

Tristörlerin temel işlevi, uyarma devresindeki küçük bir akım yardımıyla tüketiciden yüksek güçte geçen akımı yönetmektir.

İletken durumdaki düşük direnç ve gerilim düşüşü ve bunula birlikte düşük güç kayıpları ve iletken olmayan durumdaki yüksek gerilimlerin çok yüksek direnci ve dayanıklılığı, tristörleri akım ve güç düzenleme devrelerinde **temassız anahtarlar** olarak kullanıma uygun hale getirir, özellikle büyük tüketicilerde.

Anahtarlar yanı sıra bu bileşenler, doğrultucular, invertörler (doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için) veya elektrik motorlarının hızının sürekli düzenlenmesi için frekans dönüştürücüler gibi **elektrik gücünün sürekli ayarlanması** için de kullanılır.

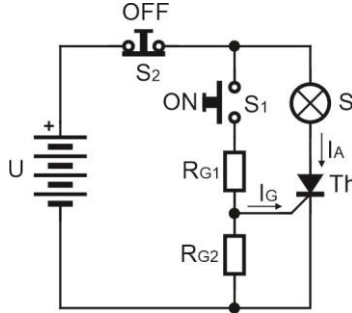
Sadece kıyaslamak için, bazı transistör türleri 500 W'ın üzerinde güçle, 50 A'den büyük akımla ve 500 V'den büyük gerilimle çalışabilir. Bunlardan farklı olarak, **tristörler 250 kW'ın üzerinde güçle ve 1000 A üzerinde akımla ve 2500 V'un üzerinde gerilim ile çalışabilir**. Bir transistörü aktive etmek için uyarma gücünün, aynı çıkış gücüne sahip bir tristör için gereken uyarma gücünden daha büyük olması karakteristiktir. Tristörlerin dezavantajı düşük anahtarlama hızıdır ve bu nedenle yüksek frekanslı sinyallerin anahtarlama ve ayarlanması için kullanılamazlar.

Tristörler, **endüstriyel elektronikte** ve elektrik motorlar, ısıtıcılar, elektrikli reflektörler gibi **büyük tüketicilerin güç kontrolü için otomasyonda**, günlük yaşamda elektrik lambalarının ışık yoğunluğunu ayarlamak, çeşitli ev cihazlarda elektrik motorlarının hızını düzenlemek, akü istasyonlarında doldurmayı ayarlamak ve otomasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır ve diğer birçok uygulaması vardır.

Triyak, daha basit düşük güçlü uygulamalar için, çoğunlukla ev aletlerinde, hız ayarlanması için çeşitli elektrikli aletlerde kullanılır.

#### 4.4.1 TRİSTÖRÜN DOĞRU AKIM DEVRESİNDE ANAHTAR OLARAK UYGULANMASI

Tristör, tüketiciden geçen akımı ayarlama devresinde temassız anahtar olarak kullanılabilir.



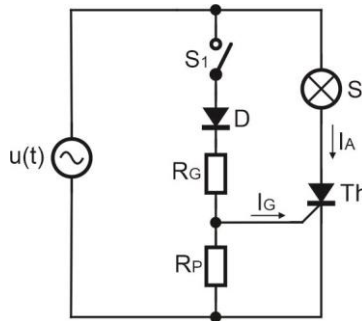
Şekil 4.16: Triyak ile elektrik lambalarının aydınlatma yoğunluğunu ayarlama devresi

Şekil 4.16’da, elektrik lambasının ışığın şiddetini ayarlayan bir tristörün açılıp kapatılması için basit bir devre gösterilmiştir; ancak aynı zamanda bir motoru, bir ısıtıcıyı veya herhangi bir başka doğru tüketiciyi açmak için kontrol devresi olarak da kullanılabilir.  $U$  doğru gerilim kaynağı ile tristör doğrudan kutupludur ve normalde açık olan "ON" anahtarı  $S_1$ ’in kısa süreli kapanmasıyla açılır. Anahtar, tristörün geyt bağlantısını  $R_{G1}$  direnç aracılığıyla  $U$  doğru güç kaynağına bağlayarak  $I_G$  akımının geyte doğru akmasını sağlar. Devre,  $S_1$  anahtarından basıncın serbest kaldığında bile açıktır. Tristör “açık” (iletken) durumunda olduğu zaman, güç kaynağı üzerinden devreyi kapatarak, akımın tüketiciden geçmesine izin vererek. Bir doğru devrede anahtar olarak tristör kullanmanın temel avantajlarından biri, geyt’te küçük bir akımla çok daha büyük anot akımının kontrol edilebilmesidir.  $R_{G2}$  direncinin, cihazın yanlış aktivasyonunu önleyen geytin hassasiyetini azaltma rolü vardır. Tristör, güç kaynağının kapatılması ve anot akımının tristör tutma akımının ( $I_H$ ) minimum değerinin altına düşürülmesiyle sıfırlanana kadar açık durumda kalır. Normalde kapalı olan “OFF”,  $S_2$ , anahtarını açarak akım devresi kesilir, ve bu arada tristörden akan akımı sıfıra indirilir ve onun kapatılmasını zorlar. Tristör, geyt sinyali ile tekrar açılıncaya kadar “kapalı” durumdadır.

Ancak, bu tristör devre tasarımının dezavantajlarından biri, anahtarlar açıldığında tristör ve lambadan akan akıma “dayanabilecek” kadar büyük olması gereken mekanik normalde kapalı “OFF” anahtarı  $S_2$ 'dir. Bu dezavantaj, tristörün büyük bir mekanik anahtarla değiştirilmesiyle aşılır.

#### 4.4. 2 TRİSTÖRÜN ALTERNATİF AKIM DEVRESİNDE ANAHTAR OLARAK UYGULANMASI

Alternatif gerilim ile beslene bir devreye bağlanan tristör, sadece alternatif gerilimin pozitif yarı periyodu sırasında çalışacaktır (iletim durum), negatif yarı periyot sırasında iletmeyecektir (engelleme durumu). Ge<sub>y</sub>t'e akım darbesinin getirilmesiyle, tristör “OFF” engelleme durumundan “ON” iletim durumuna geçer.



Şekil 4.17: Triyaklı elektrik lambalarının aydınlatma yoğunluğunun ayarlama devresi

Triyaklı elektrik lambalarının aydınlatmayı ayarlama devresinin (Şekil 4.16) eksikliği Şekil 4.17’de gösterilen yapıyla giderilmiştir. Devre, “OFF” anahtarına basılmadan alternatif gerilimle beslenir. Devreye, negatif yarı periyot sırasında iletme yapmama ( $I_G=0$ ) görevi olan D diyotu bağlanır. Pozitif yarı periyot sırasında tristör doğrudan kutupludur.  $S_1$  anahtarı açık olduğu sürece tristör “**kapalı**” durumdadır. Negatif yarı periyot sırasında tristör ters kutupludur ve  $S_1$  anahtarının durumuna bağlı olmayıp “**kapalı**” durumunda kalacaktır.

Tristörün doğrudan kutuplanması sırasında  $S_1$  anahtarı kapanırsa, tristörü açan  $I_G$  akımı akar. Tristörün açılmasıyla lambanın içinden  $I_A$  akımı akar ve lamba yanar. Tristör şimdi pozitif yarı periyot süresince “**açık**” durumdadır ve pozitif yarı periyot sona erdiğinde, yani anot akımı tristörü tutma akımı ( $I_H$ ) değerinin altına düştüğünde otomatik olarak “kapalı” duruma geçecektir.

Bir sonraki negatif yarı periyot sırasında, işlem tekrarlandığında tristör bir sonraki pozitif yarı periyota kadar “**kapalı**” durumdadır ve anahtar kapalı durumda olduğu sürece tristör tekrar iletme geçir.

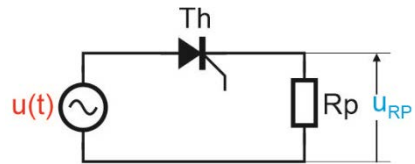
Bu durumda lamba, alternatif akım kaynağından mevcut gücün yalnızca yarısını alacaktır çünkü tristör doğrultucu diyot olarak çalışır ve doğrudan kutuplu olduğunda sadece pozitif yarı periyotlar sırasında akım iletir.

Açık bir şekilde görüldüğü gibi, devrenin bu yapılandırması lamba için %50’den fazla güç sağlayamaz, çünkü tristör ters kutuplu olduğunda negatif yarı periyotlar sırasında iletim yapmaz.

#### 4.4.3 TRİSTÖRLERİN YÖNETİLEBİLİR DOĞRULTUCULARDA UYGULANMASI

Doğrultucu devresinde diyotlar tristörler ile değiştirilirse yönetilebilir doğrultucu devresi elde edilir. Tristör, uçlarındaki gerilimin pozitif olduğu, yani tristörün anodunun katottan daha yüksek potansiyelde olduğu ve geytinde uyarım darbesi getirildiği anda iletim yapar. Tristör, gerilim sıfırı geçtiğinde kapanır. Çıkış gerilimin büyüklüğü, geyte getirilen darbe açısı değiştirilerek kontrol edilir.

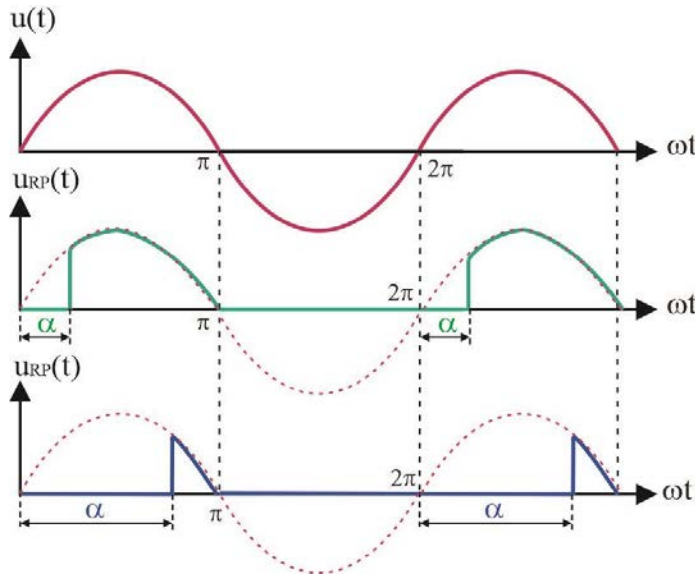
Şekil 4.18’de, giriş sinyalinin negatif yarı periyodu sırasında tristörün ters kutuplu olduğu ve iletmediği, yani devrede hiçbir akım akmadığı ve  $R_p$  tüketicide gerilim düşüşü olmadığı, tek fazlı yarım dalga doğrultucunun devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.18: Yarım dalga kontrollü doğrultucu

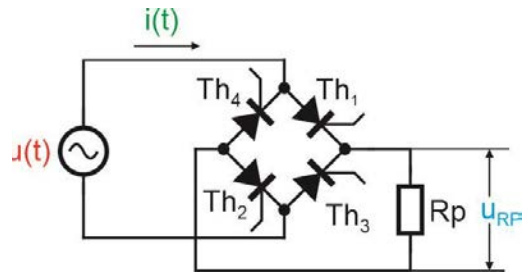
Pozitif yarı periyot sırasında tristörün açılma anı  $\alpha$  iletim açısının büyüklüğüne bağlıdır.

Şekil 4.19, iki farklı  $\alpha$  iletim açısı için giriş sinüzoidal gerilimi  $u(t)$  ve tüketici gerilimi  $u_{Rp}(t)$ 'nin dalga şekilleri gösterilmiştir. İletim açısına bağlı olarak, tüketici geriliminin, yani içinden geçen akımın farklı ortalama değerleri elde edilir. Daha büyük  $\alpha$  açısı, çıkış büyüklerinin daha küçük ortalama değere karşılık gelir.



Şekil 4.19: Yarım dalga kontrollü doğrultucunun giriş ve çıkış gerilim dalga biçimleri

Şekil 4.20'de, köprü bağlantısında dört tristörlü tek fazlı yönetilebilir doğrultucunun bağlantı şeması gösterilmiştir.  $u(t)$  giriş geriliminin pozitif yarı periyodu sırasında,  $R_p$  tüketici üzerinden akımın akmasına izin veren  $Th_1$  ve  $Th_2$  tristörleri iletir ( $i_{Th1} = i_{Th2}$ ).  $Th_3$  ve  $Th_4$  tristörleri negatif yarı periyot sırasında akım iletir ( $i_{Th3} = i_{Th4}$ ).

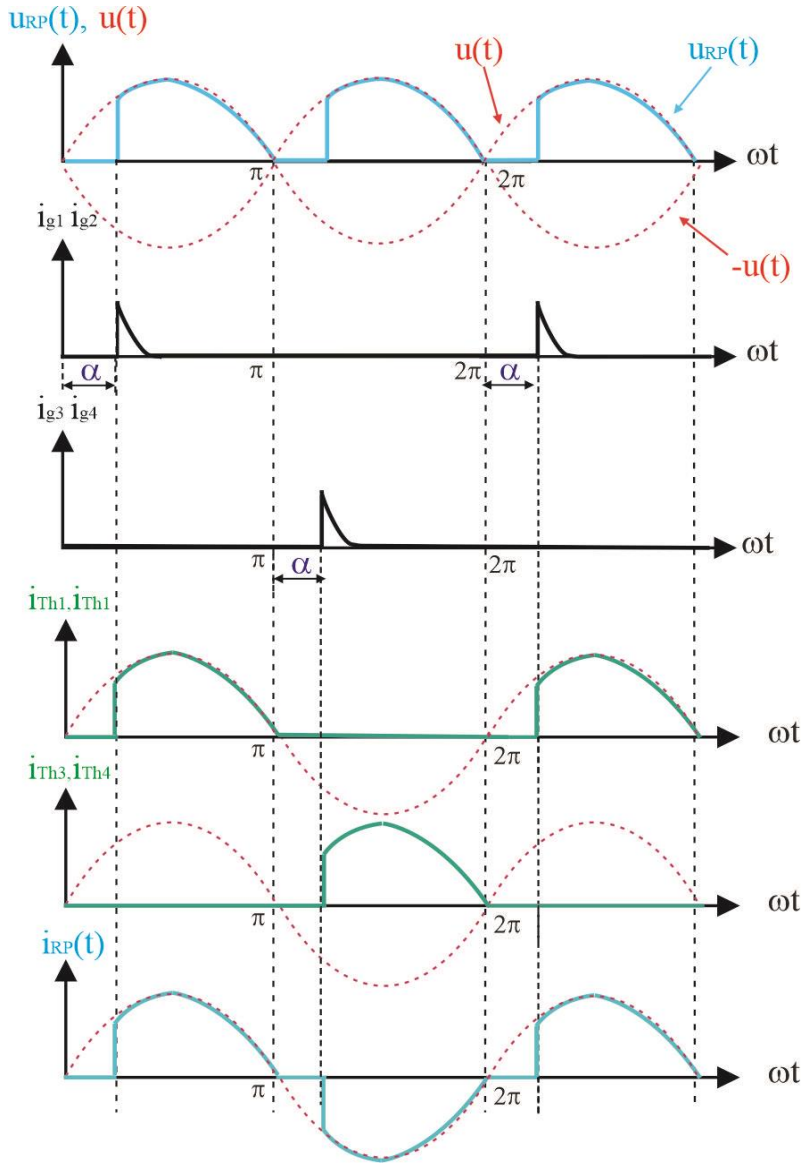


Şekil 4.20: Tam dalga yönetilebilir doğrultucu

$i_{RP}$  tüketiciden aşağıdaki şekilde ifade edilebilen  $i_{RP}$  akımı akar:

$$i_{RP} = i_{Th1} - i_{Th3}$$

Şekil 4.21’de,  $u(t)$  giriş geriliminin ve  $u_{RP}(t)$  tüketici geriliminin, tristörlerin uyarılma akımlarının ( $i_{g1}$ ,  $i_{g2}$ ,  $i_{g3}$  ve  $i_{g4}$ ) ve içinden geçen akımlarının ( $i_{Th1}$ ,  $i_{Th2}$ ,  $i_{Th3}$  ve  $i_{Th4}$ ) ile tüketiciden akan  $i_{RP}$  akımının dalga biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.21: Tam dalga yönetilebilir doğrultucunun gerilim ve akımlarının dalga biçimleri

## Modül 4'te edinen bilgileri belirleme soruları



1. Hangi elektronik elemanlar en az üç PN bağlantısı içerir ve en az iki terminale sahiptir?
2. Tristörün kontrol elektroduna ne ad verilir?
3. Diyot çift yönlü tristörün adı nedir?
4. Triyot çift yönlü tristörün adı nedir?
5. Tristörlerin yapılandırmasını açıklayınız.
6. Dinistörün çalışma prensibini şematik konfigürasyon yardımıyla açıklayınız.
7. Dinistörün ters kutuplanması durumunda ne olur?
8. Dinistörün doğrudan engelleme, doğrudan iletme ve ters engelleme durumlarını tanımlayın.
9. Tristörün yapısı nasıl elde edilir?
10. Tristörde geyt'in rolü nedir?
11. Tristör nasıl kapatılır?
12. Tristörün doğrudan engelleme, doğrudan iletme ve ters engelleme durumlarını tanımlar.
13. Tristör nasıl uyarılır?
14. Geyt devresine neden diyot yerleştirilir?
15. Tristörün tetiklenmesi nasıl geciktirilir?
16. Tetikleme gecikmesini ayarlayarak ne elde edilir?
17. Diyak nedir?
18. Diyak'ın standart diyotlardan farkı nedir?
19. Diyak'ın akım-gerilim karakteristiğinin nasıl görünüyor?
20. Triyak nasıl tanımlanabilir?
21. Triyak ile tristör arasındaki fark nedir?
22. Geyt devresinde neden diyak kullanılır?
23. Anot 1 ve anot 2 terminalleri neden birbiriyle değiştirilemez?
24. Akım ve güç ayarlama devrelerinde temassız anahtar olarak hangi elektronik bileşenler kullanılır?
25. Yönetilebilir doğrultucuda çıkış büyüklüklerinin ortalama değeri  $\alpha$  iletim açısına nasıl bağlıdır?

## TEMATİK BELİRLEME

### I. Çevreleme soruları (Doğru cevapları çevreleyin)



1. Tristörün terminalleri nasıl işaretlenir?
  - a) A-anot, K-katod ve G-geyt
  - b) G-geyt, D-reyn ve S-sors
  - c) E-emitör, B-baz ve C-kolektör
2. Elektronik endüstrisinde güçlü doğru akım motorların ayarlanması için hangi elektronik eleman kullanılır?
  - a) Diyot
  - b) Tristör
  - c) Transistör
3. Geyt'i olmayan tristör nedir?
  - a) Doğru tristör
  - b) Diyak
  - c) Triyak
4. Dört yarı iletken katman, üç PN bağlantısı ve üç terminalden oluşan yarı iletken elemanı neyi temsil eder:
  - a) Tristör
  - b) Diyak
  - c) Triyak
5. Tristör aşağıdakilerden hangi durumda bulunduğu kapalıdır?
  - a) Doğrudan iletme
  - b) Doğrudan engelleme
  - c) Ters engelleme
6. Her iki yönde de iletim sağlayan üç çıkışlı beş katmanlı yapı şudur:
  - a) Tristör
  - b) Diyak
  - c) Triyak

7. Tristörü açmak için kontrol elektrodu rolü olan elektrot şudur:

- a) Anot
- b) Katot
- c) Geyt

## II Bağlama Soruları

8. Şematik sembolleri elemanlara bağlayın:



a)



b)



c)

1. Tristör \_\_\_\_\_

2. Diyak \_\_\_\_\_

3. Triyak \_\_\_\_\_

## III. Boşlukları doldurma soruları

9. Dört veya daha fazla yarı iletken malzemeden oluşan, en az üç PN bağlantısı yapacak şekilde yapılandırılmış ve en az iki terminale sahip elektronik elemanlara \_\_\_\_\_ adı verilir.

10. Geyt akımının geyt ile katot arasındaki  $U_{GK}$  gerilimine bağımlılığını gösteren karakteristiklere \_\_\_\_\_ karakteristikleri denir.

11. Her iki yönde iletim yapan çift yönlü tristöre \_\_\_\_\_ denir.

12. Diyak \_\_\_\_\_ PN-bağlantıya sahiptir.

13. Her iki yönde iletim yapan çift yönlü triyot tristöre \_\_\_\_\_ denir.

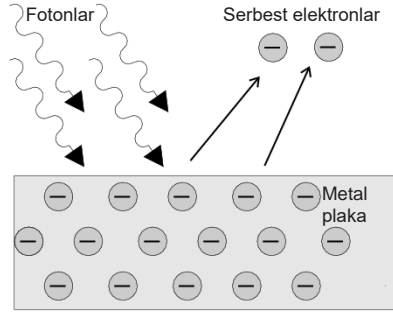
14. Bir tristörün statik karakteristiği, \_\_\_\_\_'nin çeşitli değerleri için tristör boyunca \_\_\_\_\_'nin uçlarındaki \_\_\_\_\_'ye bağımlılığı olarak tanımlanır.

# MODÜLER BİRİM 5

## TERMİSTÖRLER VE

### ÖZEL ELEKTRONİK

#### ELEMANLAR



**Bu modüler biriminin içeriğini inceleyerek öğrenci termistörler ve özel elektronik elemanlar hakkında temel bilgiler edinecek ve şunları yapabilecektir:**

- Termistör türlerini ayırt etmek;
- Özel elektronik elemanların türlerini ayırt etmek;
- Termistörün çalışma prensibini açıklamak;
- Fotorezistörün çalışma prensibini açıklamak;
- Fototransistörün çalışma prensibini açıklamak;
- Fotojeneratörün çalışma prensibini açıklamak;
- Varistörün çalışma prensibini açıklamak;
- Termistörleri algılama elektronik elemanları olarak uygulamak;
- Özel elektronik elemanları uygulamak.

## 5.1 TERMİSTÖRLER



**Yarı iletken malzemelerin direnci sıcaklığa bağlıdır. Termistörler yarı iletken malzemeden yapılmış bir rezistör türüdür.**

**Termistörler**, adının “**termal (thermal)**” ve “**direnç (resistor)**” kelimelerinin kısaltmalarından geldiği, sıcaklığa duyarlı direnç eleman grubunu temsil eder. İki tür termistör vardır: NTC ve PTC. **NTC (Negative Temperature Coefficient)**, negatif sıcaklık katsayısına sahip termistörlerdir, bu da sıcaklık arttıkça dirençlerinin azaldığı anlamına gelir. Bu nedenle sıcaklık sensörleri olarak kullanılırlar. **PTC (Positive Temperature Coefficient)**, pozitif sıcaklık katsayısına sahip termistörlerdir ve bunlarda sıcaklık arttıkça dirençleri artar. Bu özellik, onların elektrik akımını ayarlama devrelerinde uygulanmasını sağlamaktadır.

Termistörün direnci ile sıcaklık arasındaki bağımlılık doğrusal karakterlidir ve şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta R = k\Delta T \dots\dots\dots(5.1)$$

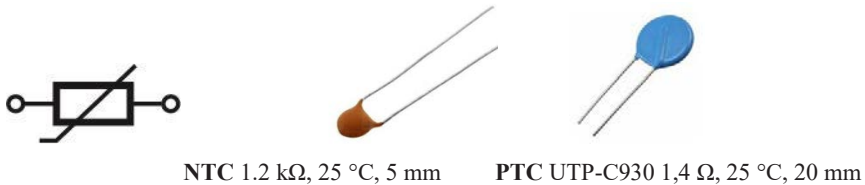
Yukarıdaki ifadede:

$\Delta R$  - dirençteki değişiktir

$\Delta T$  - sıcaklık değişimidir

$k$ -sıcaklık direnç katsayısıdır.

Termistörün elektrik sembolü Şekil 5.1’de verilmiştir



**Şekil 5.1: Termistörün elektrik sembolü ve gerçek görünümü**

Termistörün sıcaklık katsayısı  $k$ , sıcaklığın 1K (kelvin) için değiştiğinde dirençteki bağıl değişimini temsil eder. Bu katsayı  $\alpha$  **doğrusal sıcaklık katsayısına** bağlıdır.

Termistörün direnci aşağıdaki formüle göre belirlenir:

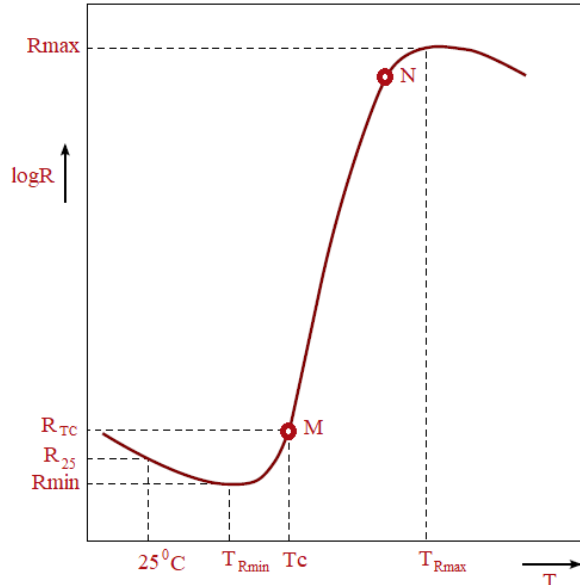
$$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha \Delta T) \dots\dots\dots(5.2)$$

Bu formülde  $R$ , ölçülen sıcaklık  $T$  sırasında termistörün direncini temsil eder,  $T_0$  Referans sıcaklıktır ve  $\Delta T$ ,  $T$  ve  $T_0$  sıcaklıklar arasındaki farktır.  $\alpha$  ile doğrusal sıcaklık katsayısı tanımlanmıştır.

### 5.1.1 NTC-TERMİSTÖRLER

Negatif sıcaklık katsayılı termistörler en büyük gelişme ve uygulamaları geçen yüzyılın ortalarında ulaştı. Sıcaklığın elektriksel veriye dönüştürülmesi nedeniyle yüksek hassasiyete sahiptirler. En büyük uygulamayı sıcaklığın elektriksel ölçümlerde, tıpta, biyolojide, jeolojide vb. bulurlar.

NTC termistöründe direncin sıcaklığa bağımlılık karakteristiği şekil 5.2'de gösterilmektedir. Sıcaklık grafikte  $T_c$  ile gösterilen değere yükselmesiyle direnç önemsiz ölçüde azalır. M noktasından N noktasına kadar olan bölgede direnç üstel kanununa göre artar ve N noktasının üzerinde yavaşlayarak maksimum değere ulaşır ve tekrar azalır. NTC termistörler demir, krom, manganez, kobalt, nikel, bakır vb. oksitlerinden üretilir. Birkaç oksit türlerinin birleştirilmesiyle,  $1000^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıkta sinterleme işlemiyle top, disk veya silindir şeklinde rezistörlerin oluşturulduğu bir karışım yapılıdır. Maksimum çalışma sıcaklığı  $300^{\circ}\text{C}$  ile  $350^{\circ}\text{C}$  arasındadır, son zamanlarda ise  $700^{\circ}\text{C}$  ile  $1000^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklar için termistörler üretilmektedir. Düşük sıcaklıkların olduğu bölgede, termistörler birkaç onluk Kelvin dereceye kadar kullanılır.

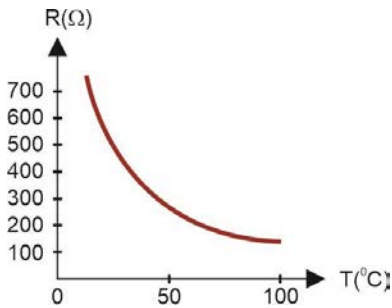


Şekil 5.2: Direncin sıcaklığa bağımlılık karakteristiği

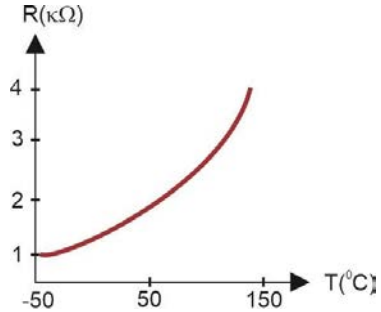
### 5.1.2 PTC TERMİSTÖRLER

Pozitif sıcaklık katsayılı termistörler sıcaklığı ölçmek için kullanılmaz. Belirli sıcaklık için PTC termistörlü sensörler ayrık sinyaller verir. PTC termistörünün ölçüm aralığı dardır, hassasiyeti ise NTC termistöründen on kat daha yüksektir. PTC termistörlerin üretimi için malzeme, ferromanyetik özelliklere sahip malzemelere ait olan baryum-titanattır. Baryum-titanat yalıtkandır, direnci ise donör yabancı maddelerin eklenmesiyle azalır.

100°C sıcaklığına kadar direncin sıcaklığa bağımlılık karakteristiği şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: NTC termistörde direncin sıcaklığa bağımlılık karakteristiği



Şekil 5.4: Silisyum dirençli PTC sensörlerde direncin sıcaklığa bağımlılık karakteristiği

Silisyum dirençli PTC sensörleri nispeten dar ölçüm aralığına sahiptir (-50°C'den 150°C'ye kadar). Bu aralıkta gıda endüstrisi, iklimlendirme, meteoroloji, ev aletleri, arabalar vb. sektörlerde ait çok sayıda cihaz çalışır. Onların karakteristikleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Termistörler, özel seramik malzemelerin (farklı metal oksitler) küçük parçalarından yapılırlar, son zamanlarda ise onların üretiminde silisyum ve germanyum da kullanılır.

Termistörün elektrik direncindeki değişiklik, ortamın sıcaklığındaki bir değişiklikten veya termistörün kendisindeki akım akışından kaynaklanabilir. Sıcaklık sensörleri olarak termistörler buldukları ortamın ısısına duyarlı elektrotlar olarak kullanılırlar. Ortamın sıcaklığını elektriksiz darbelerle ölçerler. Ayrıca, bağlandıkları cihazların daha yavaş ısınmasını sağlayarak ısının kontrol edilmesinde yer alırlar. Termistör sensörleri

genellikle termistörün gövdesine bağlı çok sayıda yarı iletken malzeme katmanından oluşuyor. Bu malzemeler termistörün bağlı olduğu devredeki direnci temsil eder ve böylece akımın ürettiği ısıyı kaydederler. Termistörler küçük sıcaklık değişimlerine karşı yüksek dirence sahiptir ve çoğu mangan, kobalt, nikel ve bakır oksitlerden yapılır. Termistörlerin üretiminde bu malzemelerin dışında silisyum ve germanyum da kullanılmaktadır.

Termistörler, elektronik devreleri, kademeli ısınmayı sağlamak için “soğuk” bir cihaz açıldığında meydana gelen aşırı yükten korumak için kullanılır.

Sıcaklık sensörleri olarak diğer sıcaklık sensörlerine kıyasen nispeten küçük bir sıcaklık aralığında yüksek hassasiyetle çalışırlar. Termistör sensörleri dijital termometrelerde, telefonlarda, otomobillerde, stereolarda ve TV alıcılarda bulunur. Küçük boyutları, bilim ve endüstride otomatik kontrol ve yönetim için diğer birçok cihazda uygulanmalarına olanak verir.

### UNUTMAYIN..!

- Termistörler sıcaklığa duyarlı direnç elemanlarıdır.
- NTC (Negative Temperature Coefficient) termistörlerinde sıcaklık arttıkça direnç azalır.
- Sıcaklık katsayısı pozitif olan termistörlerde sıcaklık arttıkça direnç artar.
- Termistörün sıcaklık katsayısı  $k$ , sıcaklığın 1K için değiştiğinde direncin bağlı değişimini temsil eder.



Aynı koordinat sisteminde NTC ve PTC termistörlerin dirençlerinin sıcaklığa bağımlılık karakteristiğini çizin. Karakteristikleri analiz edin ve karşılaştırın. Ne sonuca varıyorsunuz?

## 5.2 FOTOELEKTRİK ELEMAN TÜRLERİ

Optoelektronik ya da başka adıyla Fotoelektronik, ışığı yaymak, algılamak ve kontrol etmek için yarı iletken elemanların kullanıldığı elektroniğin bir dalıdır. Fotoelektrik elemanların uygulanmasıyla elektrik sinyalleri ışığa dönüştürülür veya tersi. Aydınlığın temel birimi, metrekaresi başına bir lümen ( $1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$ ) olarak tanımlanan lükstür (lx), burada lümen (lm) ile ışık akısı  $\Phi$  ölçülür.

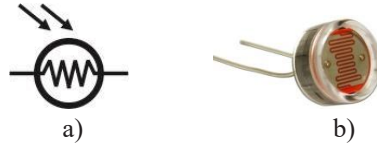
Fotoelektrik elemanların uygulaması çok yaygındır, örneğin: malzemelerin kalınlık ölçeri, konum dedektörleri, sokak aydınlatması ve ışıklı reklamlar için otomatlar, otomatik kapı açma cihazları, duman algılama dedektörleri, ışık dedektörleri, ışık yoğunluğu ölçümü vb.

Fotoelektrik elemanlar iki gruba ayrılabilir:

- **Fotodedektörler** – ışık radyasyonunun enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler, yani ışığın etkisi altında elektriksel özelliklerini değiştirirler. Bu grupta şunlar aittir: fotorezistörler, fotojeneratörler, fototransistörler, fotodiyotlar vb.
- **Fotoelektronik ışık kaynakları** – elektrik enerjisini doğrudan ışık radyasyonuna dönüştürür. Onlar, belirli koşullar altında ışık yayan yarı iletken elemanlardır. Bu grup şunları içerir: LED diyotlar, sıvı kristaller, lazerler vb.

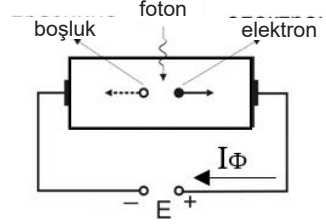
### 5.2.1 FOTOREZİSTÖRLER

Fotorezistörler yarı iletken malzemelerden yapılmış elektronik elemanlardır. Fotorezistörlerin temel özelliği, yüzeylerine düşen ışık akısı değiştiğinde elektrik dirençlerinin değişmesidir. Fotorezistörler için genellikle **LDR** (Light Dependent Resistor) işareti kullanılır. Şekil 5.5'te fotorezistörün elektrik sembolü ve gerçek görünümü gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Fotorezistörün a) elektrik sembolü ve b) gerçek görünümü

Güç kaynağı olan elektrik devrede yerleştirildiğinde, fotorezistörden direncinin değeri ile orantılı  $I_{\phi}$  akımı akmaktadır (Şekil 5.6).



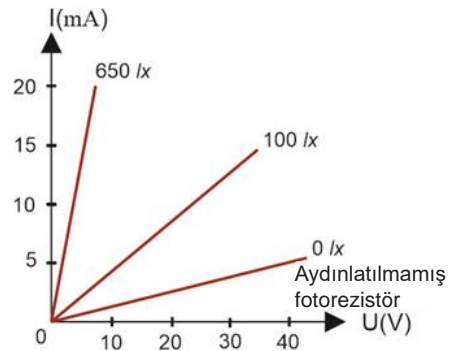
Şekil 5.6: Elektrik devrede fotorezistör

Fotorezistör aydınlatılmış değilse, bulunduğu devrede “karanlık akımı” olarak adlandırılan  $I_{\phi 0}$  akımı akmaktadır. Fotorezistörün yüzeyine ışık düştüğünde, ışık kuantumları - fotonlar enerjilerini, rezistörün yapılmış olduğu yarı iletken malzemenin atomlarına aktarır ve valans bağlantılarının parçalanmasına neden olur ve eşit sayıda serbest elektron ve boşluklar oluşturur.

Serbest elektronlar ve boşluklar, rezistörde oluşturulan güç kaynağının elektrik alanının etkisi altına girer. Serbest elektronlar rezistör geriliminin pozitif ucuna, boşluklar ise rezistör geriliminin negatif ucuna doğru yöndendirilerek ışık akısının değişimi ile orantılı akım oluşturur. Bu akım “karanlık akım” a eklenir ve fotorezistörde toplam akım elde edilir. Bu, ışık akısındaki değişikliğin, fotorezistörün direncinde değişikliğe neden olduğu ve böylece elektrik sinyaline dönüştürüldüğü anlamına gelir.

Şekil 5.7, farklı aydınlatmalar için fotorezistörden geçen akımın uçlarındaki gerilime (kaynak E, Şekil 5.6) bağımlılığını göstermektedir.

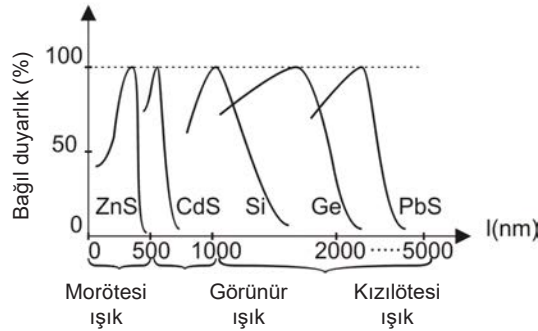
Şekil 5.7: Fotorezistörün akım-gerilim karakteristiği



## Termistörler ve Özel Elektronik Elemanlar

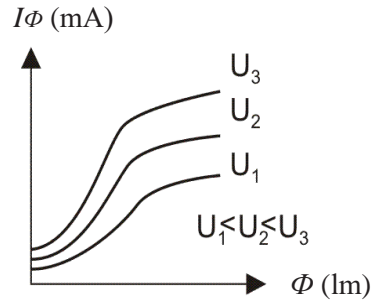
Fotorezistör üretim işlemi, seramik plakanın alt tabakasına ışığa duyarlı bir yarı iletken malzemenin sürülmesinden oluşur. Sürme, uçucu malzemenin biriktirilmesiyle veya yarı iletken tozunun yüksek sıcaklıkta sinterlenmesiyle yapılır. Plakanın uçlarına metal kontaklar yerleştirilir ve bunlara rezistörün elektrik devresine bağlandığı terminaller takılır. Bu şekilde elde edilen plaka, ışığın ışığa duyarlı yüzeye düşmesini sağlayan cam veya plastikten yapılmış şeffaf bir parçanın dahil olduğu plastik veya metal bir kasaya yerleştirilir.

Fotorezistörler, her biri kendi spektral karakteristiğine sahip bir kaç tür yarı iletken malzemedendir. Çinko sülfürden yapılmış fotorezistörlerin morötesi ışınım alanında en yüksek duyarlılığı vardır, germanyum ve kurşun sülfürden yapılmış olanlar kızılötesi ışınım alanında, silisyumdan yapılmış olanlar yaklaşık 1000 nm'lik ışınım için ve kadmiyum sülfürden yapılmış olanlar görünür ışınım alanında en yüksek duyarlılığa sahiptir (Şekil 5.8).

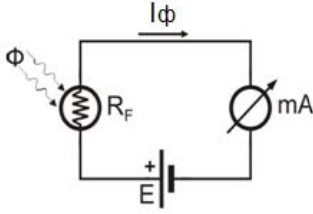


Şekil 5.8: Farklı yarı iletken malzemeleri için fotorezistörün spektral karakteristikleri

$I_{\phi}$  akımının, fotorezistör geriliminin çeşitli değerleri için ışık akısına bağımlılığı, Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Bu karakteristik doğrusal değildir, büyük ışık akısı değerleri için akım doygunluğu gösterir.



Şekil 5.9: Fotorezistörüm duyarlılık diyagramı



Şekil 5.10: Işık ölçerin elektrik şeması

Fotorezistörler, ışık ölçer adı verilen aydınlığı ölçmek için kullanılan basit cihazlarda (Şekil 5.10) ve çeşitli alarm ve kontrol cihazlarında ışık dedektörleri olarak kullanılır.

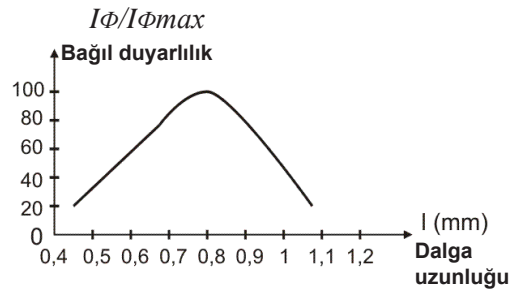


Katalog verilerine dayanarak PGM1200-MP, PGM2005-PP, PGM5506-MP, PGM5659D termistörlerinin parametrelerini ve uygulamalarını içeren tablo oluşturun!

## 5.2.2 FOTOTRANSİSTÖRLER

Fototransistör, kolektör bağlantısının yüzeyine düşen ışık akısı ile orantılı kolektör akımına sahip bipolar transistördür. Özelliği, üst tarafta, hassasiyetini arttırmak için içine bir lensin de yerleştirilebildiği, ışık geçirgen (şeffaf) bir katmanın bulunmasıdır.

Herhangi bir ışık dalga boyu için  $I_\phi$  fotoakımının maksimum  $I_{\phi_{max}}$  değerine oranı olarak tanımlanan fototransistörün bağıl duyarlılığının karakteristiği Şekil 5.11'de verilmiştir. Şekil, fototransistörün çeşitli dalga boylarındaki ışığa nasıl tepki verdiği göstermektedir.



Şekil 5.11: Fototransistörün bağıl duyarlılık karakteristiği

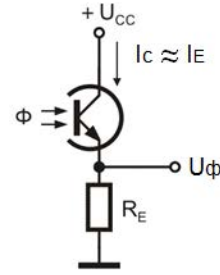
Fototransistörler, yaklaşık 800-900 nm dalga boyuna sahip ışığa karşı en yüksek hassasiyete sahiptir.

Metal kasalı herhangi bir bipolar güç transistörü, kasanın üst kısmı kesilip güneş ışığına veya açık alevin ışığına açıkta bırakılarak fototransistöre dönüştürüle-

## Termistörler ve Özel Elektronik Elemanlar

bilir. Işık, ters kutuplanmış ve en geniş genişliğe sahip olan kolektör-PN bağlantısına düşmelidir.

Fototransistörü elektrik devresine bağlama yöntemi şekil 5.12’de gösterilmektedir. Kolektör,  $U_{CC}$  kaynağının pozitif ucuna, emitör  $R_E$  direnci aracılığıyla negatif uca bağlanır, beyz ise dış devreye bağlı değildir, serbestir.



Şekil 5.12: Elektrik devrede fototransistör

Böyle bir kutuplanma yöntemi için, kolektör bağlantısının engelleme bölgesi, emitör bağlantısından çok daha geniştir. Kolektör bağlantısındaki engelleme bölgesinde ışığın oluşturduğu elektron-boşluk çiftleri ayrılır, elektronlar kolektöre yönlendirilir, boşluklar ise emitöre doğru yönlendirilir. Onların hareketleri,  $R_E$  rezistörüne çıkış foto gerilim oluşturan fotoakımı temsil eder. Fotoakım  $I_\phi$  iki bileşenden oluşur: biri fototransistörün üzerine düşen ışığın sonucudur, diğeri ise kolektörden emitöre giden  $I_{CEO}$  ters akımdır. Transistör yanmadığında sadece ters akım akacaktır ve bu “karanlık” akımı temsil eder. Onun tipik değerleri 10nA civarındadır ve sıcaklık arttıkça artar.

Beyz fiziksel bağlantısı açık bırakılabilir veya sabit bir sinyal seviyesi elde etmek amacıyla kutuplanma için de kullanılabilir.

Fototransistörler en sıkça olarak doğrusal olmamalarının sorun yaratmadığı anahtarlama devrelerinde kullanılır.

Tablo 4.1: Birkaç fototransistör türü için karalog verileri

| İşaret | 1 kLux aydınlatmada ve $U_{CE}=5V$ için $I_C$ (mA) | $I_{CEO}$ ( $\mu A$ ) | $U_{inv}$ (V) |
|--------|--|-----------------------|---------------|
| BPV22  | 5,7  | 0,1                   | 20            |
| BPX70  | 0,1 – 0,7  | 0,1                   | 20            |
| BPX72  | 0,5 – 3  | 0,1                   | 20            |
| BPX381 | 0,4 – 3,2  |                       | 50            |
| BPX431 | 1,6 – 12,5   |                       | 50            |

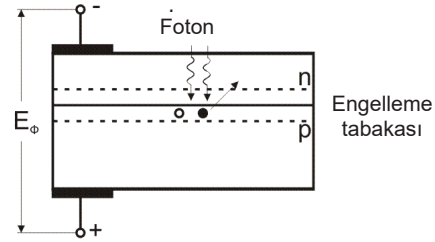
**UNUTMAYIN..!**

- Fotodiyot, diyot üzerine düşen ışık ışınımını, ışığın şiddetiyle orantılı olarak elektrik sinyale dönüştürür. Ters kutuplanma düzeninde çalışır.
- Fototransistör, kolektör bağlantı yüzeyine düşen ışık akısı ile orantılı kolektör akımına sahip bipolar transistördür.
- Fototransistör aydınlatılmadığında sadece ters akım akacaktır ve bu “karanlık” akımı temsil eder.
- Fototransistörler en sıkça olarak doğrusal olmamalarının sorun yaratmadığı anahtarlama devrelerinde kullanılır.

**5.2.3 FOTOJENERATÖRLER**

Işık ışınım enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürme yeteneğine sahip yarı iletken elemanlara fotojeneratör denir. Bir PN bağlantıdan oluşurlar ve iki terminaleri vardır.

Fotogeneratörün kesişimi Şekil 5.13'te verilmiştir. Engelleme tabakası çok küçük bir genişliğe sahiptir (yaklaşık 20 nm), PN tabakasının yüzeyi ise, ışık ışınımın fotonlarının daha fazla emilimi amacıyla arttırılmıştır. P ve N-bölgeleri, elektrik yükünün serbest taşıyıcılarının daha yüksek konsantrasyonuna sahiptir.



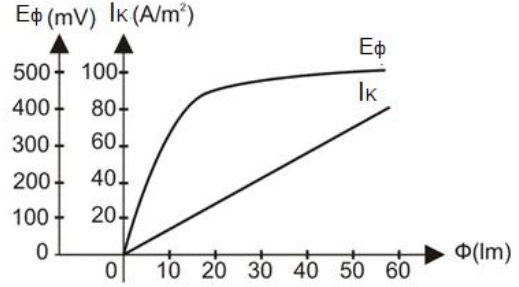
Şekil 5.13: Fotojeneratörün yapısı

Fotojeneratörler dış güç kaynağı olmadan çalışır. Fotojeneratörün PN bağlantısının yüzeyine düşen ışık ışınım fotonları, enerjilerini valans elektronlarına ileterek elektron-boşluk çiftleri oluşturur. Bu arada, PN-bağlantısının engelleme tabağında ikincil taşıyıcıların sayısı artar. Temas potansiyel farkı, ana taşıyıcılar kendi alanlarında kalırken, ikincil taşıyıcılar engelleme tabakasından serbestçe hareket etmesini ve bırakma-

## Termistörler ve Özel Elektronik Elemanlar

sını sağlayan elektrostatik alan oluşturur. Bu sırada, P ve N-bölgelerinde, fotojeneratör terminallerinde  $E_{\phi}$  elektromotor kuvveti indükleyen çok yüksek ana taşıyıcılar konsantrasyonu oluşur. Bu elektromotor kuvveti  $E_{\phi}$ , fotojeneratöre rezistör bağlı olmadığından boş gerilim olarak adlandırılır. Rezistör bağlanırsa, içinden fotojeneratörün yüzeyine düşen ışık akısına orantılı elektrik akımı akacaktır.

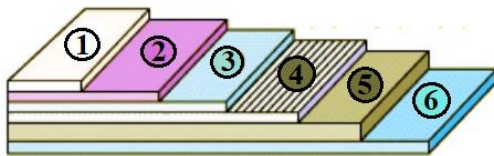
Şekil 5.14'te, fotogeneratörün  $E_{\phi}$  boş gerilimin ve  $I_K$  kısa devre akımının,  $\Phi$  ışık akısına bağımlılığı temsil eden ışık karakteristikleri verilmiştir.



Şekil 5.14: Fotojeneratörün ışık karakteristikleri

Fotojeneratörlere **güneş (fotovoltaik) hücreler** (piller) denir, çünkü güneş ışınımını enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Onlar her güneş sisteminin ana yapı elemanlarıdır.

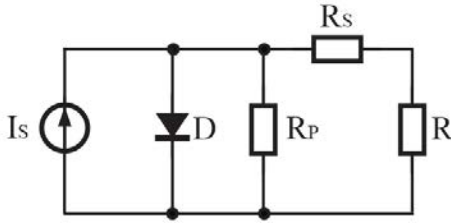
Güneş hücresinin yapısı Şekil 5.15'te gösterilmiştir. İlk tabaka, hücreyi dış etkilerden koruyan koruyucu camdır ( $\text{SiO}_2$ ). Onun altında, ışığın yansımalarını azaltan ve güneş hücresinin daha fazla kullanımını sağlayan anti-yansıtma tabakası bulunur, yani yarı iletken tabakaya daha fazla ışık enerjisinin girmesini sağlar. Işık enerjisinin etkisi altında, yarı iletken tabakasında, güneş hücresinin temaslarının elektromotor kuvveti indükleyen çok yüksek ana taşıyıcılar konsantrasyonu oluşur.



- 1 – cam
- 2 – anti-yansıtma tabakası
- 3 – elektrik temaslar ağı
- 4 – N-türünden yarı iletken tabaka
- 5 – P-türünden yarı iletken tabaka
- 6 – temas yatağı

Şekil 5.15: Güneş hücresinin enine kesiti

Güneş hücrelerinde, yükün rekombinasyonu ve ön yüzey yansıtması gibi fiziksel kayıplar dışında, elektronların hareketlenmesi sırasında ısı enerjisi olarak ortaya çıkan Joule kayıpları olarak adlandırılan başka kayıplar da vardır. Yüzey temaslarının kusurlu bağlantılar, dirençli kayıpların ana kaynağıdır. Bu kayıplar rezistörle temsil edilebilir. Bu direnç, hücreden çıkmadan önce enerjiyi dağıttığından, güneş hücresi modeli, Şekil 5.16'da gösterildiği gibi, tüketici  $R_s$  ile seri (veya yerleşik) rezistör olarak görüntülenecektir.



Şekil 5.16: Güneş hücre modeli

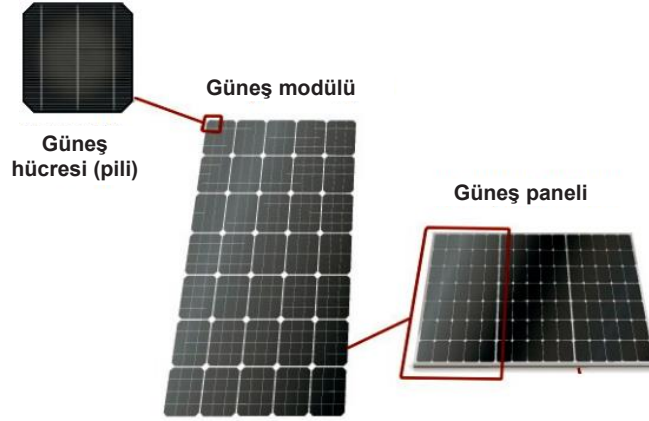
P türü veya N türü yarı iletkenlerdeki eksiklikler nedeniyle, elektronların istenmeyen hareketi, tüketicide istenen yerine kısa devre oluşması mümkündür. Güneş hücre modelinde bu etki,  $R$  tüketicisine paralel bağlanan  $R_p$  direnci olarak tanımlanacaktır.

Güneş hücrelerinin alternatif, yenilenebilir elektrik kaynağı olarak kullanımı giderek artıyor ve enerji sistemlerinde önemli rolü vardır. Güneş hücreleri, küçük cihazlardan büyük elektrik enerji ile besleme sistemlerine kadar birçok modern ürünün temel parçasıdır. Bireysel bir güneş hücresi yaklaşık 1-2 W elektrik, yani yaklaşık 0,5 V'luk gerilim ürettiğinden, bireysel uygulaması seyrekdir. Daha fazla çıkış gücü elde etmek için güneş hücreleri, modül adı verilen daha büyük birimlere bağlanır. Seri bağlandıkları sırasında gerilimde artış sağlanırken, akım aynı kalıyor. Daha fazla akıma ihtiyaç duyulursa güneş hücreleri paralel bağlanır ve bu durumda gerilim değişmez. Güneş hücrelerinin paralel ve seri bağlantısı birleştirilerek daha fazla güç elde edilir. Birden fazla modülün seri ve paralel bağlanmasıyla güneş paneli elde edilir. Bir paneldeki modül sayısı ihtiyaç duyulan güce bağlı olarak tanımlanır. Güneş panelleri ve yardımcı bileşenlerin (ayarlayıcılar, piller, invertörler, destek yapıları) birbirine bağlanmasıyla önemli ölçüde daha fazla güç sağlayan güneş enerjisi sistemi elde edilir (Şekil 5.17).

## Termistörler ve Özel Elektronik Elemanlar

Güneş sistemleri ikiye ayrılabilir:

- “**off grid**” – bağımsız enerji kaynakları ve
- “**on grid**” - dağıtım şebekesine bağlı.



Şekil 5.17: Güneş sisteminde hiyerarşi

Üretilen elektrik enerjinin biriktirildiği pilli fotogerilim sistemler, diğer enerji kaynaklarının bulunmadığı durumlarda avantajlıdır. Uzay araçlarında birincil elektrik enerjisi kaynağıdır.

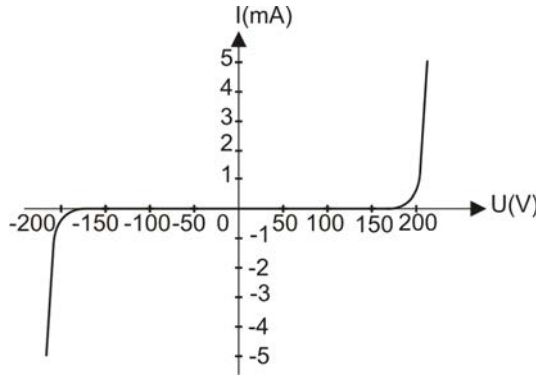
### UNUTMAYIN..!

- Fotojeneratörler, ışık ışınımının enerjisini doğrudan elektrik enerjiye dönüştürebilme özelliğine sahip fotoelektrik elemanlardır.
- Fotojeneratörler güneş ışınımından elde edilen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürdükleri için güneş hücreleri (pilleri) olarak adlandırılırlar.
- Daha fazla çıkış gücü elde etmek için güneş hücreleri, modül adı verilen daha büyük birimlere bağlanır.
- Birkaç modülün seri ve paralel bağlanmasıyla güneş paneli elde edilir.

### 5.2.4 VARİSTÖRLER

Varistörler belirli özelliklere sahip elektronik bileşenlerdir. Varistör adı, değişken direncin (**V**ARIABLE **RES**ISTOR) İngilizce ifadesinin kısaltmasıdır ve direncinin, uçları arasındaki gerilimde bir değişiklikle değiştiğini gösterir.

Bu değişiklik doğrusal değildir ve akım-gerilim karakteristiği (Şekil 5.18) standart rezistörlerin karakteristiğine benzemez.



Şekil 5.18: Varistörün akım-gerilim karakteristiği

Varistörlere aynı zamanda **V**oltage **D**ependent **R**esistor'ün kısaltması olan **VDR** rezistörleri de denir. Elektriksel olarak katotlarla bağlı iki zener diyot gibi davranırlar ve şematik tanımları şekil 5.19'daki biçimde rastlanır.



Şekil 5.19: Varistörün şematik tanımları ve gerçek görünümü

Varistörün uçlarında gerilim yükselmesi gibi büyük bir gerilim değişikliği meydana geldiğinde, empedansında büyük değişikliğe neden olur. Normal koşullar altında varistör, içinden akım geçmeyen açık devre gibi davranır. Artan gerilim koşulları altında yüksek iletken hale gelir ve bu şekilde gerilim artışını nispeten güvenli bir seviyeye indirir. Varistör, artan gerilim sıçramasının enerjisini emer ve böylece devredeki diğer bileşenleri korur.

Varistör, çinko oksitten ve az miktarda bizmut, kobalt, manganez ve diğer metal oksitlerin eklenmesiyle oluşur. Varistör gövdesinin yapısı, birbirine temas eden ve böylece PN bağlantısının yarı iletken özelliklerini kazanan kompakt çinko oksit parçacıkları külesinden oluşur. Bu rastgele yönlendirilmiş bağlantıların çoğu, katotları bağlı iki diyottan oluşan bir ağa eşdeğerdir, öyle ki her bir diyot çifti, diğer birçok diyot çifti ile paralel bağlantı halindedir. Bu bağlantılar varistör gövdesinin tüm hacmine dağıtılmıştır. Bu özellik varistörleri normal çalışma gerilimde iletken olmayan ve iletken durumdayken doğrusal olmayan hale getirirler.

İletken durumda, emilen enerji varistörün tüm gövdesine dağıtılır, bu da onu örneğin Zener diyotu gibi diğer PN yapılarından daha dayanıklı ve daha dirençli yapar. Varistörlerin elektriksel özellikleri, çeşitli şekillerde (disk, silindir veya tüp) yapılmış gövdesinin fiziksel boyutlarına göre belirlenir. Güç hacimle, çalışma gerilimi gövdenin kalınlığıyla veya akım yolunun uzunluğuyla belirlenir ve akım, yönüne dik alanla belirlenir. Varistörler 2,5 ila 6000 V arasındaki alternatif gerilimler için yapılırlar. Çoğunlukla iletişim hatlarını (telefon, koaksiyel vb.) korumak için kullanılırlar.

## 5.2.5 SIVI KRİSTALLİ EKİRAN

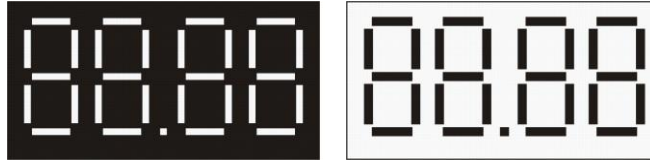


**Sıvı kristal - LCD (Liquid Crystal Display), belirli bir sıcaklıkta hem sıvı hem kristal özelliklerine sahip olan maddedir.**

Bir yerden diğerine akabilir ancak kristal gibi ışığı çeşitli yönlerde kırar. Böyle özelliğe bazı organik kimyasal maddeler (kolesterol grubu) sahiptir. Bu maddelerin moleküllerinin uzun çubuk şekilleri vardır. Moleküllerin bir ucu pozitif, diğer ucu negatif yüke sahiptir, molekülün kendisi ise nötrdür. Bu yüzden bunlara polar moleküller denir. Elektrik alanının içinde bulduklarında, moleküller alanın yönünde yönlendirilirler.

Sıvı kristaller, dış bir kaynaktan ışığın yansıması ve eşit olmayan şekilde kırılması prensibine göre çalışır. Onlar aktif ışık kaynakları değildir.

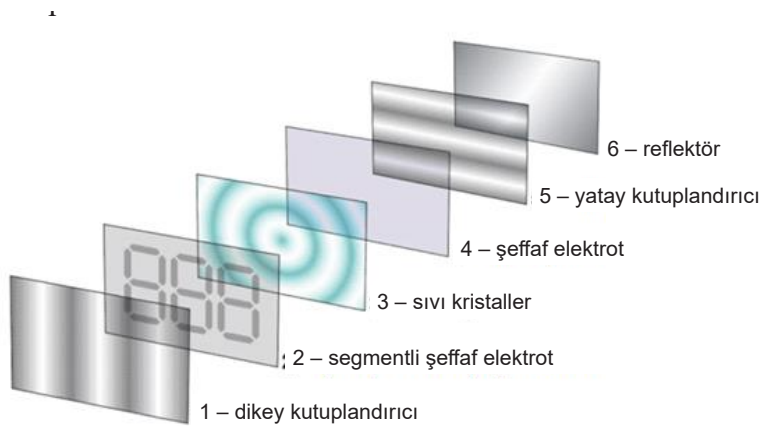
Görüntü, açık renkli arka plan üzerinde koyu karakterlerle veya koyu arka plan üzerinde açık renkli karakterlerle olabilir (resim 5.20), yani ışığın dinamik dağılımı ilkesiyle veya elektrik alanı etkisi ilkesiyle yapılabilir.



Şekil 5.20: LCD ekran türleri

Sıvı kristal ekranın yapısı iki cam plakadan ve bunların arasında ince bir sıvı kristal tabakasından oluşur. Alt cam plakasının dış tarafı alüminyum veya nikelden oluşan metal bir tabaka ile kaplanmıştır ve ayna tanımlamaktadır. Güç kaynağının negatif ucuna bağlanır. İki cam plakasının iç taraflarında aynı konumda ekranın karakterlerini oluşturan bölümler (segmentler) yapılmıştır. Segmentler, kurşun oksit gibi şeffaf iletken bir malzemeden oluşturulur ve plakaların kenarlarındaki karşılıklı metal temas noktalarıyla bağlıdır.

Sıvı kristalin molekülleri katmanlar halinde düzenlenmiştir (Şekil 5.21). Bir katmandaki tüm moleküller aynı yönelime sahiptir. Bir sonraki katmanın her komşu molekülü belirli bir açı için döndürülmüştür ve böylece spiral şekilli moleküller dizisi elde edilir.



Şekil 5.21: Sıvı kristaldeki moleküllerin düzeni

Sıvı kristalin bir bölümü (segmenti), bir dikey polarizör, birinci şeffaf elektrot (bölüm/segment), çok sayıda sıvı kristal katmanı, ikinci şeffaf elektrot (bölüm/segment), yatay kutuplandırıcı ve reflektörden oluşur. Dikey kutuplandırıcıya gelen ışık ışınları tüm yönlerde salınım yapar. Kutuplandırıcıdan sadece dikey yönde salınan ışınlar geçebilir. Bu dikey olarak kutuplanmış ışık ışını, birinci şeffaf elektrottan geçer ve sıvı kristalin spiral olarak düzenlenmiş moleküller dizisine girer. Sıvı kristalin her katmanında son katmana kadar sağa doğru dönüyor ve buradan yatay kutuplanmayla çıkar ve ikinci şeffaf elektrot ve yatay kutuplandırıcıdan geçerek reflektöre kadar geliyor. Reflektörden yansıyan ışık ışını aynı yoldan geri döner, yatay kutuplandırıcıdan geçer, sıvı kristal katmanlarla birlikte dikey konuma kadar döner, dikey kutuplandırıcıdan geçer ve gelen ışık ışınıyla aynı taraftan çıkar. Bu şekilde ışığın yolunda hiçbir engel olmadığında aydınlatılmış arka plan elde edilir.

Metal segmentlere 3 ila 5 V'luk küçük bir gerilim bağlanınca aralarında elektrik alanı oluşturulur ve sıvı kristalin molekülleri bu alanın yönünde hizalanır. Bu şekilde dizildiklerinde artık ışık ışınını döndürmezler, kutuplanma düzlemini değiştirmezler ve dikey kutuplanmayla yatay kutuplandırıcıya ulaşırlar. Dikey kutuplanmaya sahip ışık ışını yatay kutuplandırıcıdan geçemez ve sıvı kristalde bir delik gibi kaybolur. Segmentin bulunduğu yerde geri dönen hiçbir ışık ışını yoktur ve karanlık olur.

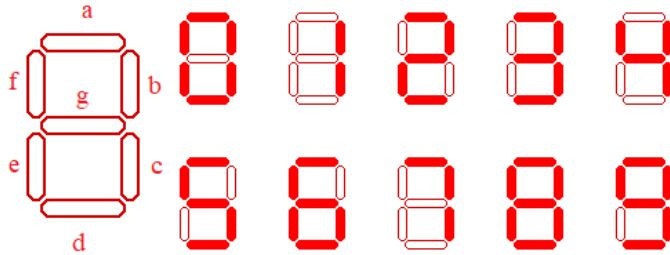
Sıvı kristal ekranı, 30 ila 300 Hz frekanslı alternatif gerilim altında çalışır. Genliği 1 ila 18 V arasında olan darbe şekline sahiptir ve dijital devrelerle yapılıyor. Doğru gerilim sıvı kristale elektroliz gerçekleştirebilir ve ekranın çalışma ömrünü kısaltabilir. Ekranın akım yoğunluğu çok düşüktür, yaklaşık  $\frac{1nA}{cm^2}$ , bu da düşük tüketim anlamına geliyor. Bu, sıvı kristal ekranın minyatür cihazlar için kullanılabilir olmasını sağlar, örneğin daha büyük kapasiteli piller için yeri olmayan kol saatleri gibi. En yaygın olarak taşınabilir hesap makineleri, dijital saatler, dijital ölçüm aletleri ve monitör ve TV alıcılarının ekranlarında kullanılır.

## UNUTMAYIN..!

- Yedi segmentli LED ekran, yedi bölümden oluşan, LED diyotlar ile aydınlatılan gösterge temsil eder.
- Sıvı kristalin bir bölümü (segmenti) bir dikey kutuplandırıcı, birinci şeffaf elektrot (bölüm), çok sayıda sıvı kristal katmanı, ikinci şeffaf elektrot (bölüm), yatay kutuplandırıcı ve reflektörden oluşur.
- Sıvı kristalli ekranlar, taşınabilir hesap makinelerinde, dijital saatlerde, dijital ölçüm aletlerinde, monitör ve TV alıcılarının ekranlarında kullanılır.



Yedi segmentli ortak katotlu ekran kodu tablosunu doldurun!  
0 ve 1 rakamlarının kodu için örnek verilmiştir. Ortak anotlu ekranı için kod tamamlayıcıdır.



| Rakam | a | b | c | d | e | f | g |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 0     | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1     | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2     |   |   |   |   |   |   |   |
| 3     |   |   |   |   |   |   |   |
| 4     |   |   |   |   |   |   |   |
| 5     |   |   |   |   |   |   |   |
| 6     |   |   |   |   |   |   |   |
| 7     |   |   |   |   |   |   |   |
| 8     |   |   |   |   |   |   |   |
| 9     |   |   |   |   |   |   |   |

### 5.2.6 OPTOKUPLÖRLER

Yeni elektronik elemanlar oluşturmak için, mevcut olan temel elemanları birleştirme tekniği sıkça uygulanır. **LED diyotun fototransistörle birleşimi**, galvanik bağlantısı olmayan sistemler arasında sinyallerin iletilmesini sağlayan, optokuplör veya optoizolatör adı verilen yeni eleman elde edilir. Doğrudan “ohmik” veya galvanik bağlantı yapmayacak bir eleman kullanılarak veri sinyalinin bir sistemden diğerine verimli bir şekilde aktarılmasının gerekli olduğu birçok durum vardır. Bu, sinyalin kaynağı ve onu alacak devrenin çok farklı gerilim seviyelerinde olması durumunda meydana gelir. Bununla ilişkin bir örnek 220 V alternatif gerilime bağlı bir triyak çalıştıran, 5 V doğru gerilimde çalışan mikroişlemciden veri aktarımıdır. Mikroişlemciyi hasardan korumak için mikroişlemci ile triyak arasında böyle bir bağlantı olmamalıdır.

Diğer bir durum, sinyal kaynağının alıcı devreden uzak olması ve aralarında kablo bağlantısının bulunmasıdır (örneğin, telefaks veya modem). Bu örnekte ayrıca topraklamada potansiyeli farkı sorununun yanı sıra toplanan yol gürültüsü ve elektrik boşalmaları ve yıldırım çarpmalarından kaynaklanan gerilim yükselmeleri de vardır.

Olasılıklardan biri, elektromanyetik röle kullanmaktır, ancak ne kadar küçük de olsa, diğer elektronik elemanlarla karşılaştırıldığında yine de çok büyüktür. Diğer taraftan, bu, hızı düşük ve çalışma güvenilirliği yetersiz olan elektromekanik bir elemandır.

Diğer bir olasılık transformatör kullanılmasıdır ancak röleyle benzer dezavantajları vardır.

Bu dezavantajlar optokuplörler kullanılarak giderilir. Optokuplörlerin çalışması yayılan ışığın algılanması prensibine dayanmaktadır. Optokuplörde, sinyali veya verileri fototransistöre iletmek için LED diyottan gelen ışık ışınını kullanarak çok iyi izolasyon sağlanır.

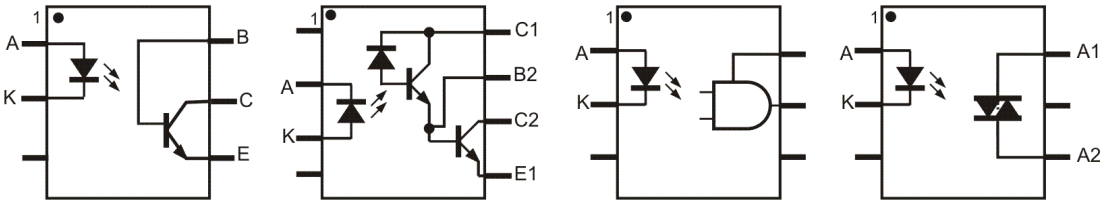
Giriş sinyalinin etkisi altında LED diyotun ışık ışına yoğunluğunu değiştirir, fototransistör ise bu değişikliği algılayarak onu tekrar elektrik sinyaline dönüştürür.

Optoküplör, optik verici olarak LED diyotu ile optik alıcı olarak fototransistör birleşimidir. Aralarında herhangi bir elektrik akımı akışını engelleyen ve ışık ışınının vericiden alıcıya geçişini sağlayan şeffaf veya saydam bir bariyer ile ayrılırlar. Bunların tümü 6 veya 8 pinli entegre devre kasası içine yerleştirilmiştir ve bu şekilde dış ortam ışığının etkisinden korunur. Optoküplör sembolü Şekil 5.22’de gösterilmektedir.



Şekil 5.22: Optoküplörün elektrik sembolü

LED bağlantıları entegre devrenin bir tarafında, fototransistör ise diğer tarafında yerleştirilir. Bununla, fiziksel ayrımı daha büyük ölçüde artırır ve optoküplörün 500 ila 7500V arasındaki farkları dayanabilmesi sağlanır. Alıcının yerine fotodiyot, fototransistör, Darlington bağlantılı fototransistör çifti, mantık kapısı veya ışıkla etkinleşen diyak kullanılabilir. Bu kombinasyonların sembolleri şekil 5.23’te verilmiştir.

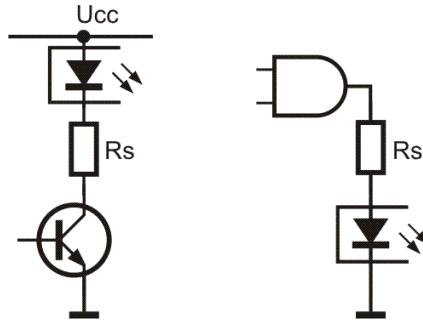


Şekil 5.23: Bazı optoküplör türlerinin elektrik sembolleri

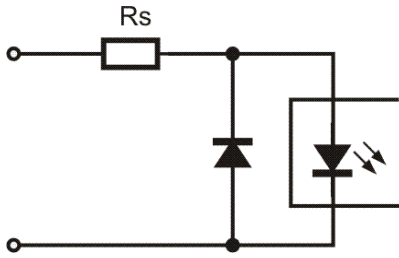
Optoküplör anahtarlama çalışmasını kullanır. Dijital veriler ve kontrol sinyalleriyle çalışabilir, analog sinyallerin iletilmesi için ise frekans veya darbe genişliği modülasyonu kullanılır.

Optoküplörün LED diyotu, Şekil 5.24’te gösterilmiş olduğu gibi transistör veya mantık kapısı üzerinden bağlanır.

## Termistörler ve Özel Elektronik Elemanlar



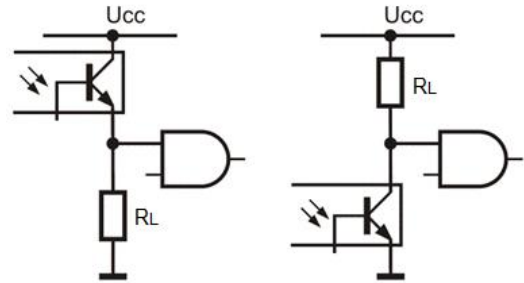
Şekil 5.24: Optokuplör girişinin bağlanması



Şekil 5.25: LED'in aşırı ters gerilime karşı korunması

Yüksek veya düşük mantık seviyesinde iletken olabilir.  $R_s$  seri bir rezistörle, LED diyotun iletim akımının seviyesini belirler ve 1 mA ila 100 mA arasında değişir, LED gerilimi ise 1,2 ila 1,3 V'tur. LED diyotun, ona zarar verebilecek aşırı ters gerilimden korunması, bir standart diyotun paralel bağlanmasıyla gerçekleştirilir (Şekil 5.25).

Optokuplörün çıkışı, fototransistöre bağlandığında yüksek veya düşük mantık düzeyinde olabilir, dolayısıyla bağlanma şekli buna göre belirlenir (Şekil 5.26). Fototransistör yük direncine seri olarak bağlanır, beyzi ise bağlanmadan kalır. Çıkış, girişle aynı fazda veya zıt fazda olabilir. Beyz-kollektör bağlantısı çıkış olarak bağlanırsa fotodiyotlu optokuplör elde edilir. Bu bağlantının ana özelliği, anahtarlama hızının artması ve bununla beraber verimlilik derecenin azalması pahasına bant genişliğinin 30 MHz'e kadar arttırılmasıdır.



Şekil 5.26: Optokuplör çıkışının bağlanması

**Modül 5'te edinen bilgileri belirleme soruları**

1. Termistör terimini tanımlayın.
2. Hangi termistör türleri vardır?
3. Termistörün sıcaklık katsayısı nasıl tanımlanır?
4. NTC termistörleri en yaygın olarak nerede kullanılır?
5. PTC termistörleri nerede uygulanır?
6. Termistörün direnci ile sıcaklık arasındaki bağımlılık nasıl ifade ediliyor?
7. NTC termistörlerde direncin sıcaklığa bağımlılık karakteristiğini çizin ve açıklayın.
8. Hangi termistör türleri vardır?
9. Ortam sıcaklığı değiştiğinde termistörde ne olur?
10. Elektrik devresine güç kaynağı ile bağlı fotorezistörde, yüzeyine ışık düştüğünde ne olur?
11. Fotorezistörden ne zaman “karanlık akım” akıyor?
12. Görünür ışınım alanında hangi fotorezistörler en yüksek hassasiyete sahiptir?
13. Fotorezistörler nerede kullanılır?
14. Fototransistörün kolektör akımı neyle orantılıdır?
15. Fototransistörün bağıl duyarlılık karakteristiğini tanımlayın.
16. Fotoakım hangi bileşenlerden oluşuyor?
17. Fototransistörler nerede kullanılır?
18. Hangi yarı iletken elemanlara fotojeneratör denir?
19. Fotojeneratörün çalışma prensibini açıklayınız.
20. Fotojeneratörün ışık karakteristiklerini tanımlayınız ve diyagramını çiziniz.
21. Fotojeneratörler nerede kullanılır?
22. Varistör terimini tanımlayın.
23. Varistörün akım-gerilim karakteristiğini çiziniz.
24. Varistörlerin elektriksel özellikleri neye bağlıdır?
25. Varistörler hangi gerilimler için yapılır?
26. Varistörler nerede kullanılır?
27. Sıvı kristalin bir segmenti neyden oluşuyor?
28. Sıvı kristal ekranı nerede kullanılır?

## TEMATİK BELİRLEME

### I. Çevreleme soruları

#### (Doğru cevapları çevreleyin)

1. Sıcaklığın değişmesiyle direnci değişen elementler şunlardır:
  - a) Fotorezistörler
  - b) Fotodiyotlar
  - c) Termistörler
2. Sıcaklık sensörü olarak kullanılan elemanlar şunlardır:
  - a) Fotojeneratörler
  - b) Termistörler
  - c) Fotodiyotlar
3. Aydınlığı ölçmek için aletlerde şu elemanlar kullanılır:
  - a) Fotodiyotlar
  - b) Fotorezistörler
  - c) Fototransistörler
  - ç) Fotojeneratörler
4. Işık radyasyonunun enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürme yeteneğine sahip yarı iletken elemanlara denir:
  - a) Fotojeneratörler
  - b) Fotorezistörler
  - c) Fototransistörler
  - ç) Termistörler
5. İnvörtörlerin oluşturuçu parçası olarak aşağıdakiler kullanılır:
  - a) Fotodiyotlar
  - b) Termistörler
  - c) Fotorezistörler

## II Bağlama Soruları

6. Elektrik sembollerini uygun elemanlarla bağlayın:



a)



b)



c)

1. Fotodiyot \_\_\_\_\_
2. Fototransistör \_\_\_\_\_
3. Termistör \_\_\_\_\_

7. Aşağıdaki belirli elektronik elemanları uygulamalarıyla göre bağlayın:

- |                    |  |
|--------------------|--|
| 1. Termistörler    | a) Işık ölçerler _____                 |
| 2. Fotojeneratörle | b) Sıcaklık sensörleri _____           |
| 3. Fotorezistörler | c) Güneş pilleri _____                 |
| 4. Varistörler     | ç) İletişim hatlarının korunması _____ |

8. Belirli elektronik elemanları çalışma prensiplerine göre bağlayın!

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1. Fotodiyot    | a) Elektrik enerjisiyi ışık enerjisine dönüştürülmesi _____ |
| 2. LED diyotu   | b) Sıcaklığın değişmeyle direncin değişmesi _____           |
| 3. Fotorezistör | c) Işık enerjisini elektrik enerjiye dönüştürülmesi _____   |
| 4. Optokuplör   | ç) Optik alıcı _____  |

## III. Boşlukları doldurma soruları

9. NTC-termistörlerinde sıcaklığın artmasıyla dirençleri \_\_\_\_\_.
10. Hangi elemanlarda elektrik akımı/direncin sıcaklığın değişimine bağlıdır? \_\_\_\_\_.
11. Elektriksel özellikleri ışık ışınımının enerjisindeki değişime bağlı olan elektronik elemanlara \_\_\_\_\_ denir.
12. Fotorezistörün aydınlatmasının artmasıyla içinden geçen akım \_\_\_\_\_ olur.

# MODÜLER BİRİM 6

## ELEKTRONİK KURGULAR VE CİHAZLAR



**Bu modüler biriminin içeriklerini inceleyerek öğrenci elektronik kurgular ve cihazlar hakkında temel bilgiler edinecek ve şunları yapabilecektir:**

- Elektronik kurguları ve cihazları tanımak;
- Elektronik kurguların ve cihazların bağlantı şemalarını analiz etmek;
- Güvenlik sisteminin kurulumuna ilişkin spesifikasyona uygun olarak elektronik kurgular ve cihazlar seçmek;
- Elektronik elemanları, elektronik kurguları ve cihazları bağlamak;
- Güvenlik sistemleri yazılımı yapılandırmak;
- Hazırlanmış malzemeleri arşivlemek;
- Çevreyi koruma ve iş güvenliğine ilişkin düzenlemeler ve MKS standartlarının uygulanmasıyla ilgili gerekliliklere uygun hareket etmek;
- Kendi işyerini organize etmek ve sürdürmek.

## GİRİŞ

Enerji elektroniği, elektroniğin elektrik enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtımı ile ilgili elemanlar ve kurgularla ilgilenen bir alanıdır. Elektrik sinyalinin türüne göre elektronik analog ve dijital elektroniğe ayrılır. Analog elektronikte sinyal belirli bir alanda herhangi bir değere sahip olabilir, dijital elektronikte ise sinyal sadece iki değere sahip olabilir.

### 6.1 ELEKTRONİK KURGU VE CİHAZ TÜRLERİ

Toplu üretilen ve insanlara uygun koşullar için üretilen elemanlar ve kurgular tüketici elektroniği kategorisine aittir. Profesyonel elektronik elemanları ve kurguları daha zor koşullarda çalışacak şekilde tasarlanmış olup dayanıklılıkları ve stabiliteleleri daha yüksek seviyededir.

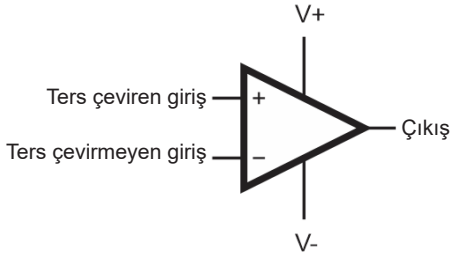
**Elektronik cihazlar** elektronik kurgulardan oluşur, **elektronik kurgular** ise belirli bir işlevi (örneğin, sinyal üretimi, sinyal yükseltme vb.) gerçekleştirmek için akım devrelere bağlanan belirli türde elektronik elemanlardır. Kurgular bireysel elemanlardan veya entegre şekilde yapılabilir.

Elektronik kurgular üç temel gruba ayrılabilir:

- Yükselteç devreleri;
- Jeneratör devreleri;
- Rejeneratif devreler.

**Yükseltme devreleri** girişte yükseltmeleri gereken belirli bir biçimde sinyaller alır. Bu arada, sinyalin şekli değişmez, sadece genliği artar. Bu süreçte sinyal bozulması olarak kabul edilen bazı değişiklikler meydana gelir. Bozulmaları azaltmak için negatif geri bağlantı yani reaksiyon uygulanır. Bu, sinyalin yükselteç çıkışından girişine ters fazda geri dönüşünü temsil eder.

Yükselteç devrenin tipik bir örneği **işlemsel yükselteç**dir. İşlemsel yükselteç analog elektronikte temel elektronik kurgulardan biridir.



Şekil 6.1: İşlemsel yükselteç

Genellikle tek bir çipte gerçekleştirilir. Diferansiyel girişli ve çok yüksek yükseltmeli, doğrudan geri beslemeli, çok kademeli gerilim yükselteçidir.

**Jeneratör devreleri** dış sinyallerden etkilenmeden sinyal oluşturma görevine sahiptir. Bu grupta tüm **osilatör** türleridir. Osilatörler, giriş sinyali olmadan alternatif gerilim çıkışı veren kurgulardır. Osilatörün güç kaynağından gelen gerilim, osilatörün alternatif gerilime dönüştürdüğü giriş gerilimi olarak kabul edilir. Çalışmaları için, çıkıştan girişe aynı fazda sinyal gönderen ve böylece salınımların korunmasını sağlayan pozitif geri besleme uygulanır.

Çıkış geriliminin sinüzoidal veya sinüzoidal olmayan şekli, olabilir; örneğin dikdörtgen, testere dişi sinyali vb. Sinüzoidal gerilim için osilatörlere **harmonik osilatörler**, sinüzoidal olmayan gerilim için ise **gevşeme osilatörleri** denir. Üç tür harmonik osilatör vardır: RC osilatörler, LC osilatörler ve kuvars kristalli osilatörler. Gevşeme osilatörleri şunlardır: dikdörtgen gerilim üretici ve işlevsel jeneratör.

**Rejeneratif devreler**, belirli sinyal türlerinin jeneratörleridir, ancak çalışmaları için, yeni bir sinyal oluşturma sürecinin başlaması gereken dış (giriş) sinyal gereklidir. Çıkış sinyalinin giriş sinyaline benzer olması gerekmez.

Rejeneratif devrelerde pozitif reaksiyon uygulanır.

Analog elektronikteki rejeneratif kurgular, bir veya iki aktif elemanla - anahtar olarak çalışan **transistörler** ve transistörlerin çalışması ve negatif reaksiyon için ek elemanlarla oluşturulabilir. Dijital elektronikte multivibratörler mantıksal kurgularla gerçekleştirilir.

İki anahtarlama elemanından oluşan ve pozitif reaksiyonlu elektronik rejeneratif devrelere **multivibratörler** denir. Multivibratörler iki duruma sahip olan kurgulardır. Multivibratörün durumunun değiştirilmesi iki şekilde gerçekleştirilebilir: dış sinyalle ile dış sinyali olmadan.

Sadece dış bir sinyalin etkisiyle değiştirilebilen duruma **kararlı durum**, dış sinyalin etkisi olmadan değişen duruma ise **yarı kararlı (kuasi) durum** adı verilir.

Sahip oldukları durum kombinasyonlarına göre üç tip multivibratör vardır:

- **İki kararlı multivibratörler** – iki kararlı durumla;
- **Tek kararlı multivibratörler** – bir kararlı ve bir yarı kararlı durumla;
- **Kararsız multivibratörler** – iki yarı kararlı duruma sahip, jeneratör devreleri olarak da kullanılır.

## 6.2 DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Enerji elektroniği öncelikle güç ve onun kontrollü bir şekilde dönüştürülmesiyle ilgilidir. Bu alanın en önemli kısmı dönüşümü sağlayan güç kontrolü ve anahtar özellikleridir.

Dönüştürme işlevini **statik güç dönüştürücüler** gerçekleştirir. Dönüştürücüler, şebekeden gelen alternatif akımını başka bir biçimde örneğin mekanik güce veya pilleri şarj etmek için doğru gücüne dönüştürmek için gereklidir.

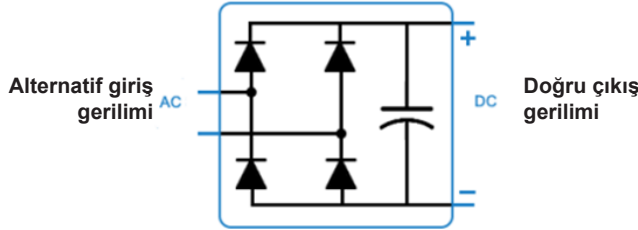
Dönüştürücü, belirli bir güç biçimini başka herhangi bir biçime dönüştüren her bir elektronik kurgudur. Dönüştürücünün türüne bağlı olarak, güç kaynağının doğasını (alternatiften doğruya) değiştirebilir, akımın veya gerilimin karakteristiklerini veya fazını veya frekansını değiştirebilir.

Dönüştürücüler, enerji elektroniğinde kullanılan altı tür devreye ayrılır:

- Diyot doğrultucuları
- AC'den DC'ye dönüştürücüler (kontrollü doğrultucu)
- AC'den AC'ye dönüştürücüler (alternatif gerilim ayarlayıcı)
- DC'den DC'ye dönüştürücüler (DC kıyıcılar)

- DC'den AC'ye dönüştürücüler (invertörler)
- Statik anahtarlar

**Diyot doğrultucular** alternatif akımı doğru akıma dönüştürür. Giriş gerilimi tek fazlı veya üç fazlı olabilir ve çıkış kararlı (sabit) doğru gerilimdir.



Şekil 6.2: Diyot doğrultucu

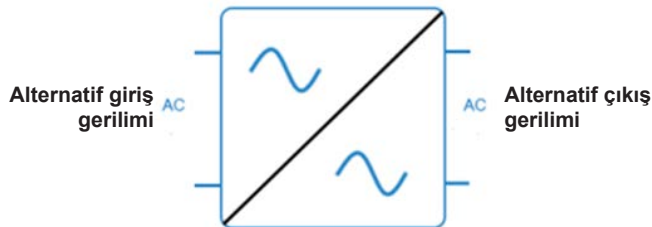
**AC'den DC'ye** (AC/DC) dönüştürücüler, kontrollü anahtarlar -tristörler kullanarak AC alternatif giriş sinyalini DC doğru çıkış sinyaline dönüştürür. Bu nedenle bu dönüştürücüler yönetilen doğrultucular olarak da bilinir. Şekil 6.3'teki devrede diyot yerine dört tristör kullanılmıştır.



Şekil 6.3: AC/DC dönüştürücünün grafik sembolü ve devresi

Giriş gerilimi tek fazlı veya üç fazlı olabilir.

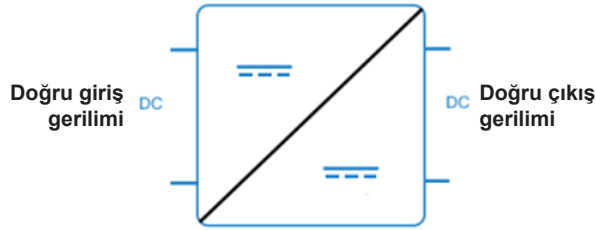
**AC'den AC'ye** (AC/AC) dönüştürücüler, girişteki sabit alternatif gerilimi çıkışta değişken bir alternatif gerilime dönüştürür. Şekil 6.4'te tek fazlı AC/AC dönüştürücüsü gösterilmiştir.



Şekil 6.4: AC/AC dönüştürücünün grafik sembolü

Bu dönüştürücülerde sıkça triyak kullanılır. Triyakın iletim süresini değiştirerek dönüştürücünün çıkış gerilimi kontrol edilir. Bu nedenle bu dönüştürücülere gerilim ayarlayıcıları da denir.

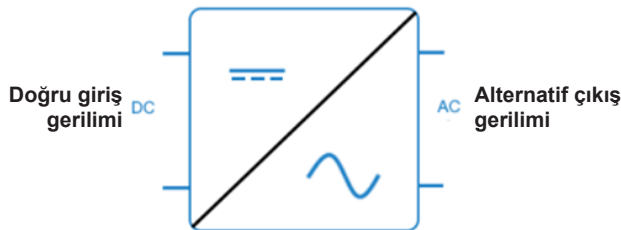
**DC'den DC'ye** (DC/DC) dönüştürücüler, girişteki gerilim seviyesini doğru gerilimden çıkışta doğru biçime dönüştürür veya değiştirir. Bu dönüştürücülere aynı zamanda kıyıcılar veya transistör kıyıcı veya açma ayarlayıcılar da denir.



Şekil 6.5: DC/DC dönüştürücünün grafik sembolü

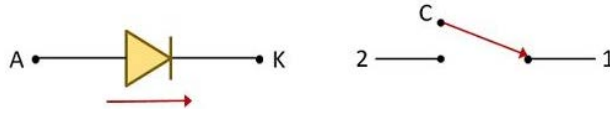
Dönüştürücünün çıkış gerilimi, kontrollü anahtarın iletim süresi değiştirilerek doğrudan kontrol edilebilir.

**DC'den AC'ye** (DC/AC) dönüştürücüler, giriş doğru büyüklüğü çıkışta alternatif büyüklüğe dönüştürür. Bu dönüştürücüler **invertörler** olarak da bilinir. Çok sayıda farklı invertör türü vardır, ancak en yaygın olarak dört anahtar veya tristör kullanılır. Anahtarlar, anahtarlama devresi tarafından ayrı ayrı kontrol edilen iki çift oluşturur. Her çift bir zaman dilimine açılır. Anahtarların, yani tristörlerin bu şekilde değişmeli açılması, yük (tüketici) üzerinden alternatif akımın akışını sağlamaktadır. Anahtarlama ritmi, doğru DC giriş gerilimi çıkışta alternatif AC gerilime dönüştürür. Devredeki çıkış gerilimi, anahtarlama devresindeki anahtarın iletim süresi değiştirilerek doğrudan kontrol edilebilir.



Şekil 6.6: DC/AC dönüştürücünün grafik sembolü

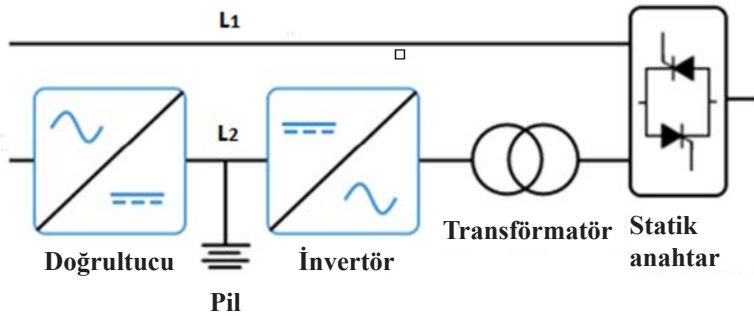
**Statik anahtarlar**, yükü (tüketiciyi) kaynağa bağlayan ve bir yükten diğer särke ani geçiş sağlayan dönüştürücü türüdür.



Şekil 6.7: Kontrolsüz ve kontrollü statik anahtarın grafik sembolleri

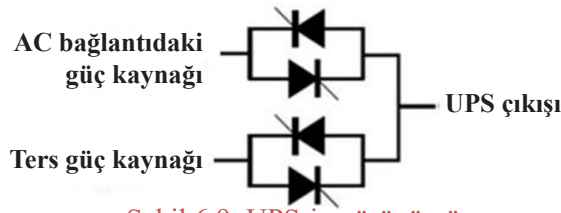
## 6.2.1 KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI CİHAZI

**UPS**'de (**U**ninterruptible **P**ower **S**upply), veya kesintisiz güç kaynağı, farklı çıkış gerilim seviyeleri üreten çok sayıda farklı kademeli dönüşüm aşaması vardır, Şekil 6.8.



Şekil 6.8: UPS cihazında statik anahtar

İki güç hattı vardır, L1 ve L2. L1 hattı, AC bağlantıdan doğrudan statik anahtara gider, doğrultucu ise yedek pili L2 hattından şarj ediyor. Acil durumlarda, L1'e güç gelmediğinde pil, invörtör üzerinden yükü ve transformötör aracılığıyla besler. Anahtarlaraki güç hem AC hem DC olabilir. Şekil 6.9'da kesintisiz bir güç kaynağı cihazının basitleştirilmiş bir görünümü gösterilmiştir.



Şekil 6.9: UPS'in görünümü

Bu anahtarlar statik veya DC anahtarlar olarak bilinir.

**UNUTMAYIN..!**

- Yükselteç devreleri giriş sinyallerinin yükseltilmesini gerçekleştirir.
- Jeneratör devreleri dış sinyallerden etkilenmeden çıkış sinyalleri oluşturur.
- Üç tip multivibratör vardır: kararsız, tek kararlı ve iki kararlı.
- Dönüştürücü, belirli bir güç kaynağı biçimini başka herhangi bir biçime dönüştüren her bir elektronik kurgudur.
- Dönüştürücüler altı devre türüne ayrılır.
- Diyot doğrultucular alternatif akımı doğru akıma dönüştürürler.
- AC/DC dönüştürücüler, alternatif giriş sinyalini doğru çıkış sinyaline dönüştürür.
- AC/AC dönüştürücüler girişteki sabit alternatif gerilimi çıkışta değişken alternatif gerilime dönüştürür.
- DC/DC dönüştürücüler giriş doğru gerilimini, doğru gerilime dönüştürür veya değiştirir.
- DC/AC dönüştürücüler, giriş doğru büyüklüğü çıkışta alternatif büyüklüğe dönüştürür.
- UPS kesintisiz güç kaynağı cihazdır.

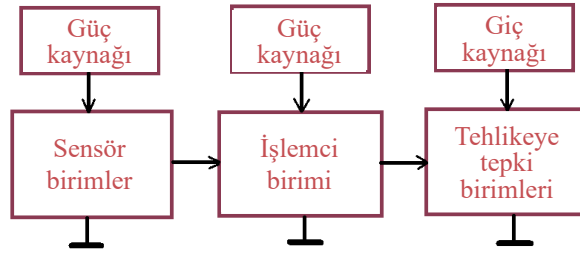
**6.3 ALARM SİSTEMLERİ**

Bir veya daha fazla tehlikeye veya tehlide karşı (fiziksel saldırı, hırsızlık, istenmeyen insan veya hayvan girişi, makine arızası, yangın tehlikesi, elektrik çarpması vb.) belirli bir dereceye kadar koruma sağlayan her türlü sisteme güvenlik sistemi denir.

**Elektronik alarm sistemi**, faaliyetlerin elektronik kurgulara ve cihazlara bağlı olan, ancak her zaman elektrikli veya elektromekanik türden ek elemanların kombinasyon halinde olduğu sistemdir.

Tüm alarm sistemleri şekil 6.10'da gösterilen temel elemanlardan oluşur. Burada, tehlike kaydı üzerine **işlemci birimine** bir tür elektrikli tepki üreten çeşitli sensör

birimleri bulunmaktadır. Sensörlerden gelen çıkış sinyali işlemci birimine gönderilir ve ardından alarm veya belirli bir elektromekanik kurgu veya kapatma cihazı etkinleştirilir.

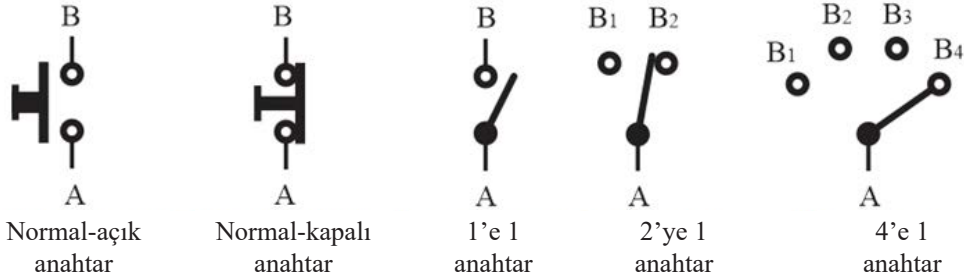


Şekil 6.10: Elektronik koruma sisteminin temel elemanları

Yukarıdaki şekile göre her birimin kendi güç kaynağı vardır, ancak pratikte iki veya daha fazla eleman ortak bir güç kaynağı kullanır.

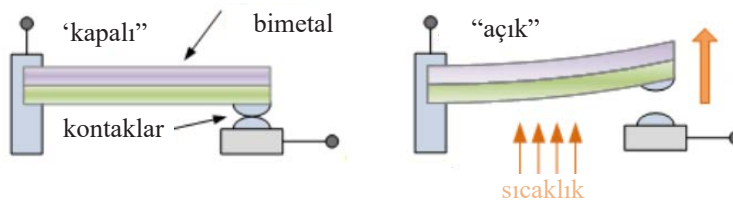
### 6.3.1 ELEKTROMEKANİK SENSÖRLER

**Anahtarlar** en basit ve en yaygın kullanılan elektromekanik sensörlerdir. Anahtar türleri şekil 6.11’de gösterilmektedir.



Şekil 6.10 Anahtar türleri

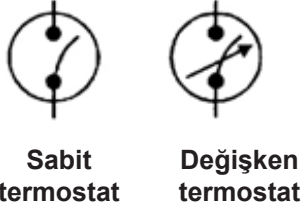
**Termostatlar** sıcaklıkla etkinleştirilen anahtarlardır ve genellikle bimetalden yapılırlar.



Şekil 6.12: Termostat

## Eelektronik Kurgular ve Cihazlar

Bimetalik bant, sıcaklıkla orantılı olarak bükülmesine neden olan, farklı sıcaklık katsayısına sahip iki metalik malzeme katmanından oluşur.



Şekil 6.13: Termostat türleri



Şekil 6.14: Basınç anahtarı

Bu şekilde, bimetalik bant başka bir yüzeye temas edebilir veya teması kesebilir. Pratikte iki tür termostat kullanılır: sabit ve değişken termostatlar, Şekil 6.13.

**Basınç anahtarları**, gizlenmiş yerlerde, örneğin halının altında kullanılır, şekil 6.14. O yüzeye basan kişiyi kapatan normal-açık anahtar gibi davranırlar.

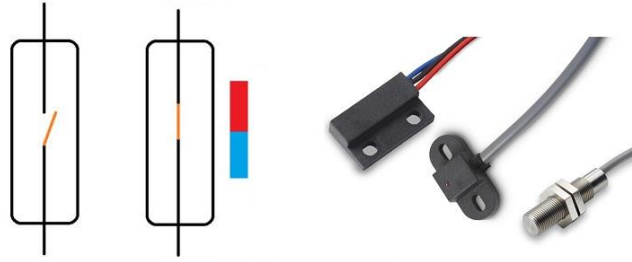
**Kilitli anahtarlar**, mekanizma yuvasına kilit yerleştirilerek devre dışı bırakılan elektrik anahtarlardır. Bu anahtarların birden fazla pini vardır (genelde beş) ve çalışabilmesi için her birinin kilitle belirli bir konuma yerleştirilmesi gerekir.

**Zamansal anahtarlar**, durumu (açık veya kapalı) zamanla, yani zaman mekanizmasıyla kontrol edilen anahtarlardır.



Şekil 6.15: Grafik sembol ve gerçek görünüm

**Rid anahtarlar**, uygun manyetik alanda etkinleştirilen, en yaygın kullanılan elektromekanik sensör elemanlarıdır. Güvenlik sistemlerinde mesafeyi belirlemek için en kullanışlılardır.



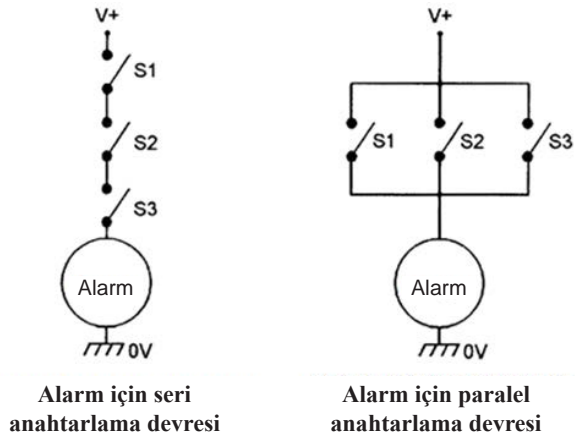
Şekil 6.16: Rid anahtarın grafik sembolü ve gerçek görünümü

Anahtar, koruyucu gazla dolu bir cam zarf içine kapanmış, zıt kutuplara sahip bir çift manyetik elemandan oluşuyor. İki elemanın zıt manyetik alanları onları belirli bir mesafede tutar, dolayısıyla bu durumda normal-açık anahtar gibi davranır. Ancak, dış manyetik alan varsa iç alan kaybolur ve anahtar kapanır.

**Rid röle** sıradan rölelerle aynı şekilde kullanılır ancak on kat daha büyük hassasiyeti vardır.

### 6.3.2 ALARM SİSTEMLERİNDE TEMEL ANAHTARLAMA DEVRELERİ

Sesli alarmın etkinleştirilmesi için birkaç anahtar sensör elemanı kullanılabilir. Anahtarlar seri olarak bağlanırsa sesli alarm yalnızca tüm anahtarların aynı anda kapatılması durumunda etkinleştirilecektir. Anahtarların paralel bağlanması durumunda, anahtarlardan birinin kapatılması durumunda sesli alarm etkinleştirilecektir.



Şekil 6.17: Alarmın etkinleştirilmesi için seri ve paralel anahtarlama devresi

Alarm sistemlerinin pratik yapımların çoğunda, kombine anahtar bağlantıları kullanılır. Şekil 6.18’de seri bağlantıda S<sub>2</sub> kilitli anahtarla ve S<sub>1</sub> zamansal anahtarla et-



**Mikrofonlar** akustik-elektrik dönüştürücülerdir. Elektronik koruma sistemlerinde uygulamak için boyutları küçük ancak hassasiyeti yüksek olmalıdır.

### 6.3.4 ALARM SİSTEMİNİN ELEKTRONİK ELEMANLARI

Her elektronik koruma sistemi, bir “tehlikenin” kaydedilmesi durumunda elektriksel çıkış sinyali üreten bir veya daha fazla sensör elemanı içerir. Bu çıkış sinyali işlemci birimine gönderilir. Bu birim alarm birimlerini etkinleştirir veya elektromekanik bir tepki veya kapanma oluşturur.

Her elektronik koruma sisteminin en önemli elemanları, işlemci biriminin yanı sıra sensör elemanları, veri bağlantısı ve alarm etkinleştirme birimidir.

Elektronik alarm sistemi, kontrol cihazı, klavye, sensörler, siren ve gerekiyorsa özel ışıklı veya titreşimli sinyal cihazlarından oluşuyor.



Şekil 6.20: Alarm sisteminin elemanları

**Kontrol cihazı**, alarm sisteminin “beynidir” ve genellikle görülmeyen bir yerde olan bir kabin içinde yerleştirilir. Bir sensörün etkinleştirildiği sıradaki sensör kontrol cihazına sinyal gönderir.

## Elelektronik Kurgular ve Cihazlar

Kontrol cihazı, böyle bir seçeneğe sahip olması durumunda sesli sinyalizasyon ve iletişim cihazını aktif hale getirir. Kontrol cihazı, aktivasyon cihazı aracılığıyla sistemi kablolu olarak açar veya kapatır. İçinde güç kaynağı ve yedek pil de dahil edilmektedir.

**Klavye** veya aktivasyon cihazı, tuşla veya çoğunlukla dijital klavyeyle çalıştırılabilir. Önceden girilen kod, sistemi etkinleştirir ve devre dışı bırakır. Çoğu klavyede alarmı etkinleştiren ve merkezi bildiren bir “panik” düğmesi veya bir sayı dizisi bulunur. Bu düğme veya sayı dizisi, alarm sistemi açık veya kapalı olsa da çalışır.

**Siren**, kontrol cihazı tarafından etkinleştirildiğinde yani izinsiz giriş algılandığında veya panik düğmesine basıldığında yüksek ses çıkaran elektronik bir cihazdır. Siren görünür veya gizli bir yerde yerleştirilir.

**Işık sinyalizasyonu** veya flaş ışığı, farklı olayları belirtmek için farklı renkli lenslerle olabilir. Flaş ışığı sirenden daha kolay dikkat çeker ve alarmı etkinleştiren konumun daha kolay bulunmasını sağlar. Flaş ışıkları genellikle titreşim cihazı veya çağrı cihazıyla birlikte kullanılır.

**Kapı sensörleri**, kapı açıldığında, tabii ki alarm sistemi açıksa, alarm sinyalini etkinleştiren manyetik anahtarlardır. Aynı tip sensörler (kontaklar olarak da adlandırılır) pencereler için de kullanılabilir. Anahtar kapıya monte edilir, mıknatıs ise anahtarla aynı hizada kapı çerçevesine takılır. Bu şekilde anahtar kapalı durumdadır. Kapı açıldığında anahtar mıknatıstan ayrılır, yani anahtar açık duruma geçer, bu da kontrol cihazının izinsiz giriş sinyali veren alarm sinyalini etkinleştirmesine neden olur.



Şekil 6.21: Manyetik anahtarlar

Kapı sensörleri yapının zemin kısmındaki tüm girişlerde (kapılarda) veya erişilebilen kapılara monte edilir. Bu sensörler sürekli durum değiştirdiğinden (kapılar sürekli kullanıldığından) ve farklı hava koşullarına açık kaldıklarından düzgün çalışabilmeleri için düzenli olarak kontrol edilmeleri gerekir. Alarm sisteminin düzgün çalışması için bunların periyodik olarak değiştirilmesi gerekir.

**Cam sensörleri** veya akustik sensörler, istenmeyen giriş sırasında kırılabilir pencereleri izlemek için takılıdır. Özellikle çok pencereli odalarda gereklidirler. Korumaları gereken cam yüzeylere doğru yönlendirilerek tek bir birim halinde sabit bir konumda yerleştirilirler. Onlar, yüksek frekanslı sesleri kaydedip filtreliyorlar ve frekans aralığı cam kırılmasına uygunsa alarmı etkinleştiriyorlar.



Şekil 6.22: Cam sensörü ve onun kurulması

**Titreşim sensörleri** öte yandan cam kırıldığında ortaya çıkan tipik dalgayı kaydederler. İşlemci bu dalgayı algılasa alarm çalar.

Ayrıca **çift sensörler** olarak adlandırılan sensörler de vardır. Tek bir birimde akustik ve titreşim sensörleri bulunan ve alarmın etkinleştirilmesi için her iki sinyalin de gerekli olduğu, en az “yanlış” alarm olanağı veren sensörlerdir. Sağlam ve stabil bir pozisyonda yerleştirilirler.

**Hareket sensörleri** bir alana izinsiz giriş sinyali verir. Genellikle sağlam ve sabit bir pozisyonda veya tavanda yerleştirilirler ve kaplamaları gereken alanın farklı boyutlarına göre ayarlanırlar.

Birkaç tür hareket sensörü vardır ve bunların seçimi, korumaları gereken alana bağlıdır. Çoğu ticari koşullarda (yaşam alanı) **pasif kızılötesi sensörler** (PIR- Passive Infrared olarak da bilinir) kullanılır. Sensörün başı genellikle belirli alanları kapsayan sektörlere veya bölgelere bölünmüştür.

**PIR sensörleri**, kapsadıkları alana bir kişi girdiğinde termal radyasyonda meydana gelen değişikliği tespit ederler. Sıcak görüntü ile daha soğuk arka plan arasındaki kontrastı kaydederek “sıcak” görüntüleri algırlar. PIR sensörü, önceden belirlenen değere göre radyasyondaki değişimi kaydettiğinde, değerlendirmek için işlemciye sinyal gönderir ve işlemci buna göre karar verirse alarm sinyali etkinleştirilir.



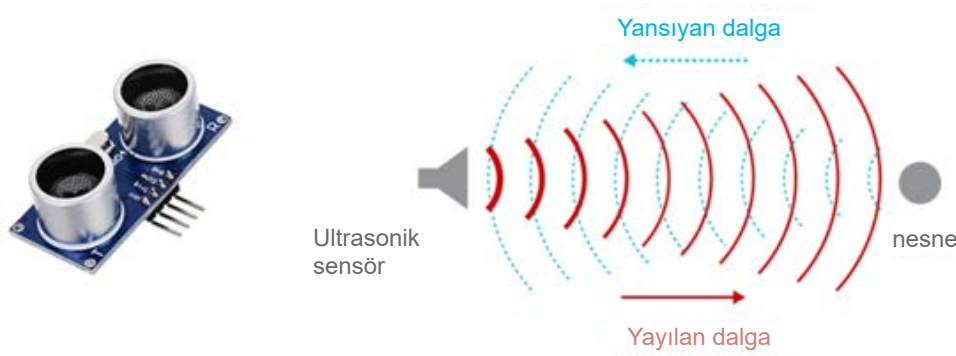
Şekil 6.23: PIR sensörü

**Mikrodalga sensörleri**, bölgeyi elektrik alanıyla kaplayacak şekilde tasarlanmış ve insan hareketine en yakın frekansları tanyacak şekilde programlanmıştır. Alanı bozan bir hareket olduğunda işlemci önceden girilmiş değerlere göre karar verir. Uygun karar vermesi durumunda alarm sinyali etkinleştirilir.



Şekil 6.24: Mikrodalga sensörü

**Ultrasonik dedektörler**, korudukları alanda ultrason yayan ve ortamdan yansıyan belirli bir dalgayı kaydeden hareket sensörleridir. Odaya izinsiz giriş olması durumunda dalga alanı bozulur ve yansıyan sinyal bu bilgiyi sensöre vererek alarmı etkinleştirir.



Şekil 6.25: Ultrasonik sensör ve onun çalışma prensibi

İkili dedektörler adıyla **bilinen dedektörler** de vardır. İkili dedektörler, işlemci alarmı etkinleştirmek için hem termal değişimden hem de hareketten sinyal alması gerektiğinden “yanlış” alarmların sayısını azaltmak için PIR/Mikrodalga ve PIR/Ultrasonik sensörlerin kombinasyonunu kullanırlar.

**Fotoelektrik dedektörler** (beam ışın adı verilen) garajlar, depolar, okullar veya ofisler gibi tesislerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistem, LED diyodu kullanan verici ve fotoelektrik hücre kullanan alıcıdan oluşuyor.



Şekil 6.26: Fotoelektrik dedektörler

Vericiden alıcıya gelen ışık bir “ağ” oluşturur ve bu ağ kesilirse, yani alıcı belirli bir süre içinde vericiden gelen ışığın en az %90’ını alamazsa alarm devreye girer. Bu sistemler düzenli bakım gerektirir.

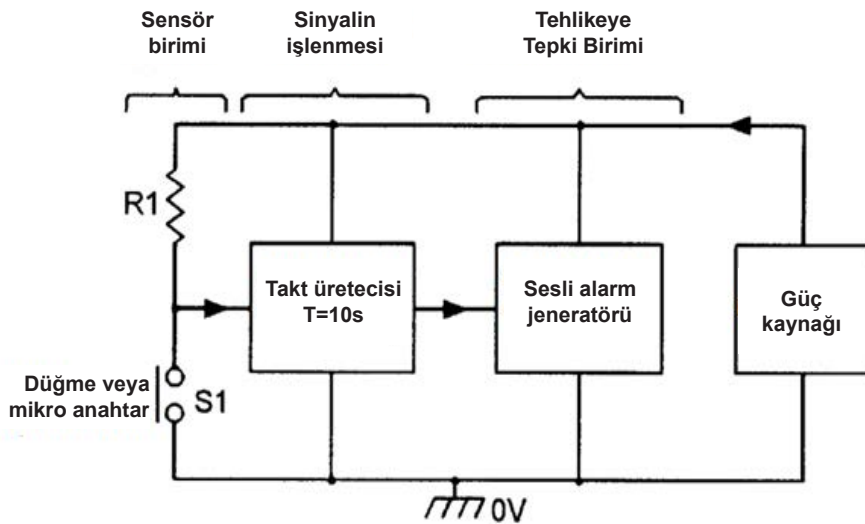
## UNUTMAYIN..!

- Alarm sistemi, elektronik, elektriksel ve elektromekanik elemanlar içeren ve bir veya daha fazla tehlikeye veya tehdide karşı belirli derecede koruma sağlayan sistemdir.
- Sensör birimleri, tehlike kaydı durumunda işlemci birimine elektriksel bir tepki üretir.
- Anahtarlar en basit ve en yaygın kullanılan elektromekanik sensörlerdir.

## Eelektronik Kurgular ve Cihazlar

- Termostatlar sıcaklıkla etkinleştirilen anahtarlardır ve genellikle bimetalden yapılırlar.
- Kilitli anahtarlar, mekanizma yuvasına anahtar yerleştirilerek devre dışı bırakılan elektrik anahtarlarıdır.
- Zamansal anahtarlar, durumu (açık veya kapalı) zamana göre kontrol edilen anahtarlardır.
- Reed anahtarları, uygun bir manyetik alanda etkinleştirilen, en yaygın kullanılan elektromekanik sensör elemanlarıdır.
- Alarm sistemlerinde elektriksel sensörler şunlardır: termistörler, termokupllar, varistörler ve mikrofonlardır.
- Elektronik alarm sistemi, kontrol cihazı, klavye, sensörler, siren ve özel ışıklı veya titreşimli sinyal cihazlarından oluşur.
- Kapı ve pencere sensörleri, kapı veya pencere açıldığında alarm sinyalini aktif hale getiren manyetik anahtarlardır.
- Hareket sensörleri şunlardır: PIR sensörleri, mikrodalga sensörleri, ultrasonik ve fotoelektrik dedektörlerdir.

## 6.3.5 ELEKTRONİK ZİL

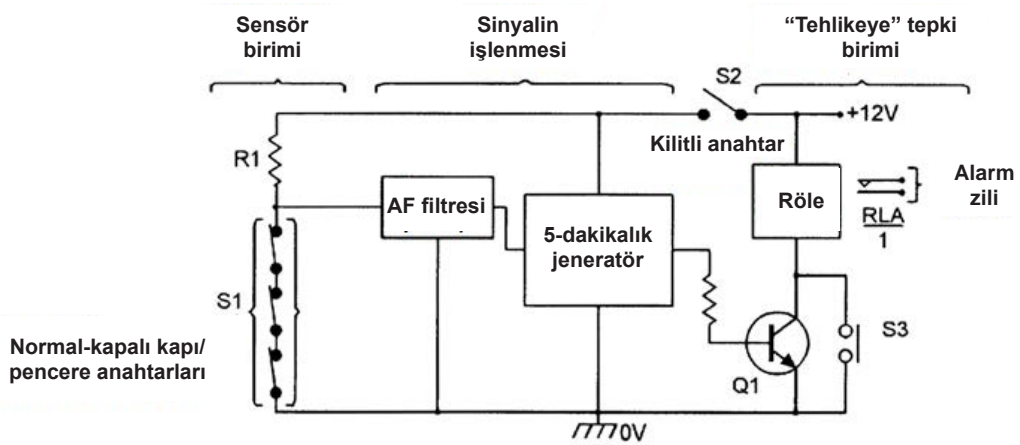


Şekil 6.27: Mağaza girişi için elektronik zil veya sinyalizasyon

Elektronik zil olarak veya bir odaya (mağaza) giriş sinyali olarak nasıl kullanılacağına fark etmeden devre aynı prensipte çalışır.  $S_1$  anahtarı kapatıldığında takt üreticini etkinleştirir ve 10 saniye sonra sesli alarm üreticini çalıştırır. Sesli alarm etkinliği  $S_1$  anahtarı kapalı olduğu sürece tekrarlanır.

### 6.3.6 EV ALARM SİSTEMİ

Alarm sistemi,  $S_2$  anahtarıyla kilit yardımıyla etkinleştirilir,  $S_1$  sensörleri ise, korunan kapı veya pencereye seri bağlantıyla bağlanan belirli sayıda normal-kapalı anahtardan (genellikle reed veya manyetik anahtarlar) oluşur.  $S_1$  anahtarı kapı veya pencere açıldığında veya kırıldığında açılır.



Şekil 6.28: Basit ev alarm sistemi

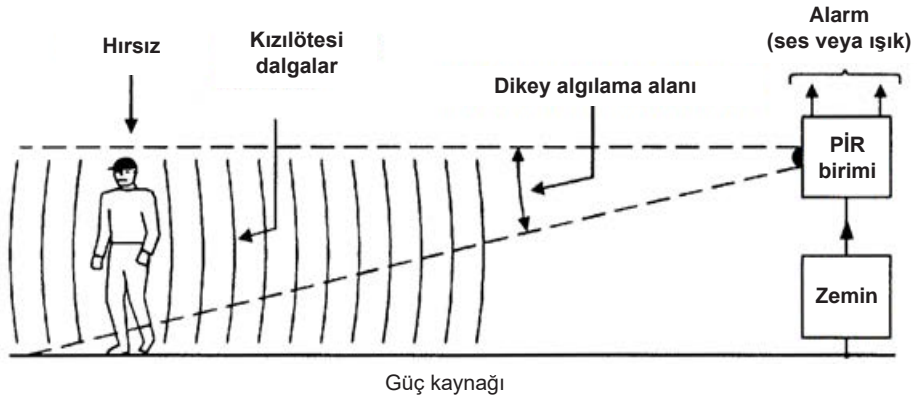
Alçak-geçirgen filtre, takt üreticini 200 ms gecikmeyle etkinleştirir, bu da  $Q_1$  transistörü aracılığıyla röleyi açar. Röle, kontakları aracılığıyla alarm zilini çalıştırır.

Aktivasyon anından, 5 dakikalık süre geçtikten sonra alarm zili kapanır veya  $S_2$  kilitli anahtarı ile kapatılır.

Alarmın testi edilmesi, röleyi doğrudan kapatan  $S_3$  anahtarına basılarak  $S_2$  kilitli anahtarlı veya onsuz yapılabilir.

### 6.3.7 PİR SENSÖRLÜ HAREKET ALGILAMA SİSTEMİ

Şekil 6.29'da, kızılötesi ışınlarla kapsanan alana girişin kaydedilmesi durumunda alarm çalarak veya ışıkları açarak otomatik olarak kullanılabilen, pasif kızılötesi PİR sensörlü modern hareket algılama sistemini gösterilmiştir. PİR sensörleri genellikle maksimum 12 m erişime, 15° dikey açığa ve 90° ila 180° yatay açığa sahiptir.



Şekil 6.29: PİR sensörlü hareket algılama

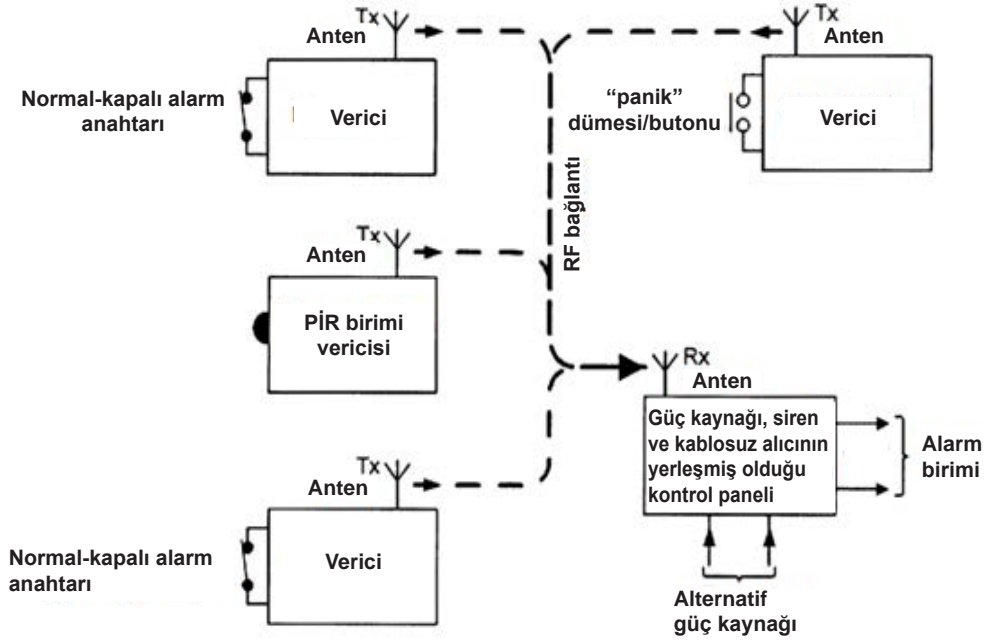
**PİR birimi** insan vücudu tarafından üretilen küçük kızılötesi radyasyonları da algılar, ancak yalnızca ısı kaynağı algılama alanının derinliklerine girdiğinde alarmla tepki verir. Sensörlerin çoğu “yanlış” alarmlara karşı dayanıklıdır; bazen izinsiz giriş tespit edildiğinde veya güç kaynağı arızalandığında veya çıkarıldığında açılan, dış normal-kapalı röle de dahil olmak üzere “yanlış” alarmlara karşı dayanıklıdır. Bu tür birimlerin 12 V pilleri vardır ve 20 mA akımla çalışmalıdır. PİR birimleri güvenlik sistemlerinde çok geniş uygulamaya sahiptir.

### 6.3.8 KABLOSUZ ALARM SİSTEMİ

Kablosuz alarm sisteminin merkezi, kod çözücü ve kontrol mantığına sahip kablosuz alıcının yanı sıra güçlü bir mini sirenin yerleştirildiği kontrol panelidir (cihazdır). Çıkışı sireni veya ışıklı sinyalizasyonu etkinleştirebilir.

Algılama elemanları (sensörler), tehlikeli durumlarda kodlanmış sinyal gönder-

mek için küçük bir RF (radyo frekansı) vericisine ve antene sahiptir. Tüm sensörler, çoğu durumda ömrü altı ay olan bir pille donatılmıştır.



Şekil 6.30: Kablosuz alarm sistemi

Çoğu ev alarm sistemi, uygun sensör elemanlarıyla dört ila altı bölgeyi (alanı) izlemek için kullanılabilir. En yaygın olarak aşağıda verilen üç tip sensör elemanı kullanılır:

- **Kontak anahtarları** – bir veya daha fazla seri bağlı normal-kapalı anahtar açıldığında sinyal gönderir; her büyüklükte odalar kapsar;
- **PIR** – kapsadıkları alanda insan hareketi olduğunda sinyal gönderirler; sınırlı büyüklükteki alanları kapsar;
- **“Panik“ düğmeleri** – uygun düğmeye basıldığında sinyal gönderir ve beklenmedik bir fiziksel saldırı veya tehdide karşı koruma sağlamak için kullanılır; sadece kontrol paneli alıcısının iletişim aralığı erişim alanındaysa çalışırlar.

Tüm bu sensör elemanları aynı zamanda pil arızası, karışmanın var olması vb. durumlarda uyarı olarak kontrol paneline sinyaller gönderir.

## 6.4 GÜVENLİK SİSTEMLERİ

Güvenlik sistemleri, bir kuruluşun mülkünü, hayatını, malzemelerini ve alanını yangından, hasardan, izinsiz girişten, hırsızlıktan ve diğer dürüst olmayan, yasa dışı veya suç teşkil eden faaliyetlerden korumak için aldığı önlemlerden oluşur. Mimarlar ve mühendisler verimli ve aynı zamanda uygun maliyetli çözümler sunmaktadır. Bu çözümler çalışanlar, müşteriler ve tesisin diğer kullanıcıları için geçerlidir.

Farklı güvenlik sistemleri ve teknolojik çözümler vardır:

- Video gözetim CCTV sistemleri
- Erişim kontrol sistemleri
- Alarm sistemleri
- Yangına karşı sistemler

Tabii ki, tüm bu çözümleri tek bir **entegre güvenlik sisteminde** gerçekleştirmek de mümkündür.

### 6.4.1 VIDEO GÖZETİM

Video gözetim veya **CCTV** (Closed-circuit television), sinyali belirli bir konuma ileten ve belirli sayıda monitörde görüntüleyen, belirli bir alanı kapsamak için video kameraların kullanılmasıdır. CCTV, televizyon yayınından, sinyalin belirsiz sayıda kullanıcıya iletilmemesi, yalnızca noktadan noktaya veya noktadan çok noktaya kablolar veya kablosuz olarak iletilmesi açısından farklıdır.

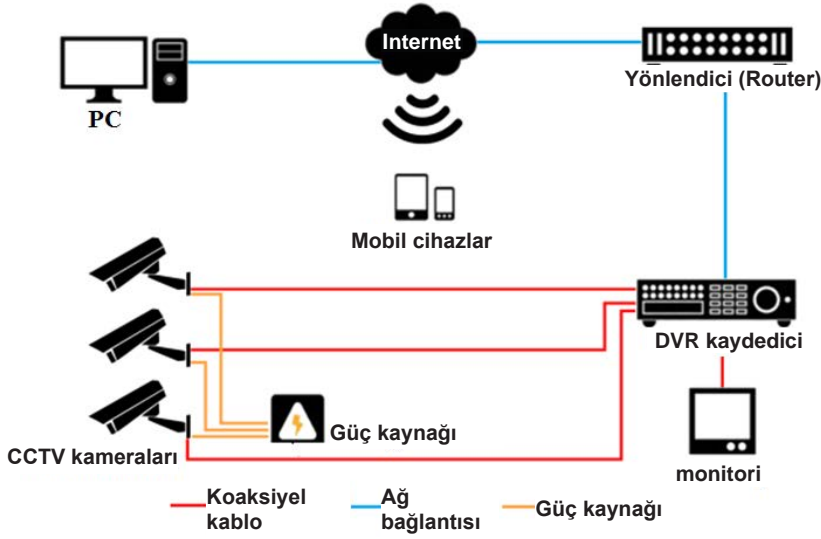
Bu sistemin amacı kişilerin, eşyaların ve sistemlerin korunması için gözetim sağlamaktır. Esas olarak insan faktörünün gerçekleştirilmesi mümkün olmayan, zaman sınırı olmadan daha geniş bir alanın gözetimini sağlayan bir güvenlik sistemi olarak kullanılır.

Mağazalar, süpermarketler, depolar, suçun önlenmesi ve çözülmesi için kamusal alanların video gözetimi, trafik izleme, spor etkinlikleri, okullar, evler vb. gibi tesislerin güvenliğini sağlamak için kullanılırlar.

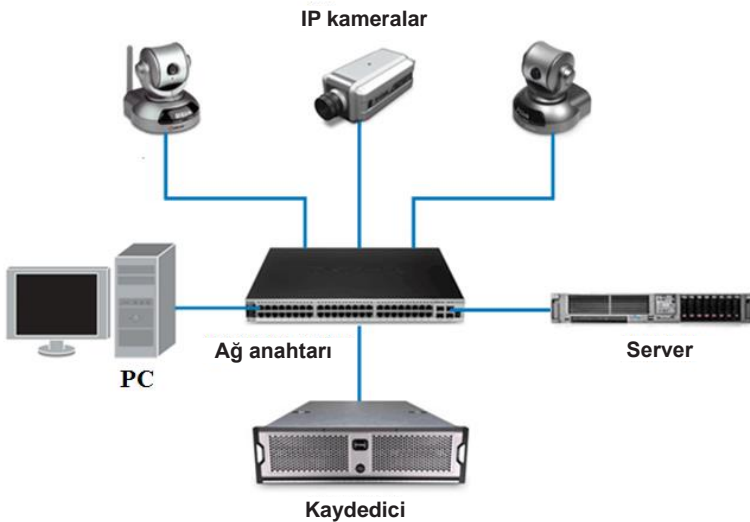
Video gözetim sisteminin görevi, sistemin kapsadığı alanın güvenliği ile ilgili verileri bulmak, işlemek ve kaydetmektir. Çoğu zaman, video gözetim sistemi ek bir

araç olarak kullanılır, yani alanın video kapsamını bir alarm sistemi veya erişim kontrol sistemi ile birlikte kullanır.

Video gözetim sistemini, video ve ses bilgilerinin belirli bir merkezi konuma gönderildiği bir ağa bağlı bir veya daha fazla kamera oluşturur. Bilgiler kamuya açık değildir. Sadece belirli veri koruma ortamında gözlemlenebilir veya kaydedilebilirler.



Şekil 6.31: Analog kameralı video gözetim



Şekil 6.32: Dijital (IP-Internet protocol) kameralı video-gözetim

Video gözetim sistemleri, gerçekleştirmeleri gereken göreve bağlı olarak birden fazla bileşenden oluşuyor. Ana bileşenleri şunlardır:

- Kameralar;
- Lensler;
- Veri iletimi;
- Güç kaynağı;
- Aydınlatma.

### 6.4.1.1 VIDEO GÖZETİM YAZILIMI

Koruma sistemlerinin amaçları ve bileşenlerinin teknolojik gelişimindeki ilerleme göz önüne alındığında, günümüzde bunlar kaçınılmazdır. Tasarımları, uygun özelliklere sahip bileşenlerin seçiminde kullanılan belirli hesaplamaları ve parametreleri içerir.

Bir video gözetim sistemi tasarlamak için temel parametreler şunlardır: kamera lensleri, alan derinliği, kapsama açısı, kişi tanımlama parametreleri, veri kapasitesi, hat uzunluğu boyunca gerilim düşüşü, veri depolama alanı (medya) ve bağlı tüm kameralara hizmet verebilmek için İnternet hattı hızı ve akışı.

Hesaplamaları gerçekleştirmek için yazılım araçları kullanılır. Bu yazılımlar, sistem bileşenlerinin parametrelerinin hesaplanmasının yanı sıra nesne modelleme için de kullanılırlar. Kamuya açık ve bileşen üreticileri tarafından kurulan **çevrimiçi araçlar** vardır. Ancak, kullanmadan önce yerel bir bilgisayara yüklenmesi gereken **profesyonel yazılım araçları** da vardır.

### 6.4.1.2 CCTV GÜVENLİK SİSTEMİ TASARIMI İÇİN ÇEVİRİMİÇİ YAZILIM ARAÇLARI

Güvenlik sisteminin ayrı ayrı bileşenlerinin parametrelerini tanımlamak için aşağıdaki ücretsiz çevrimiçi araçlar kullanılabilir:

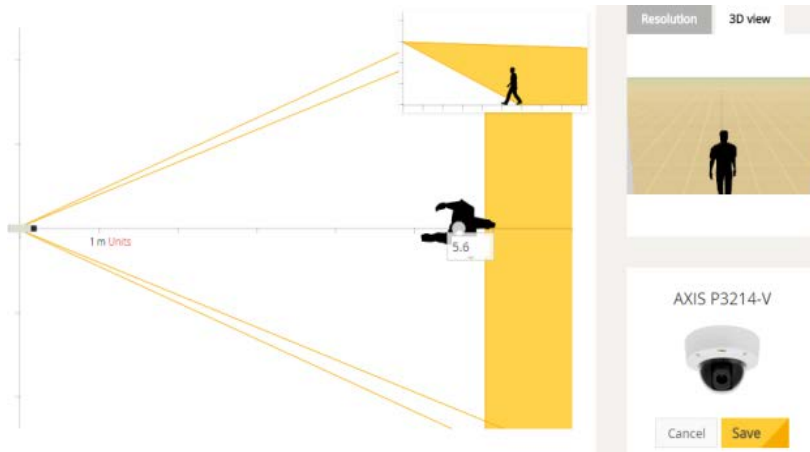
**Lens Odak Uzaklığı Hesaplayıcısı** – Belirli bir görüntü kalitesi sağlamak ve kamera lensinin odak uzunluğunu hesaplamak için hesaplayıcıda aşağıdaki parametreler girilir: çözünürlük (parametrelerdeki piksel sayısı: çözünürlük (metre uzunluk başına piksel sayısı), görüş alanının genişliği ve yüksekliği ve merceğe olan mesafe. Ters

süreç de mümkündür, Odak uzaklığını girerek yukarıda belirtilen tüm parametreler hesaplanabilir.

Şekil 6.33. Lens Odak Uzaklığı Hesaplayıcısı

**Güvenlik Sistemi Tasarımcısı** – Bu araç CCTV sistemi tasarlamak için kullanılır. Bileşenler siltesinden kameraların, kaydetme ekipmanının, ek elemanların veya ağ elemanlarının eklenmesine olanak verir. Eklenen her bileşen için parametrelerini belirlemek mümkündür.

Bu tasarımcı, örneğin kameranın “görünümünü” görmenizi sağlar: açısını, yüksekliğini ve gözlemlenen nesneye veya kişiye olan mesafesini. Girilen parametreler için kalitesini kontrol etmek amacıyla fotoğraf da üretebilir. Fotoğrafın boyutu da hesaplanır, dolayısıyla kaydetme cihazı da buna göre seçilir, ancak bilgileri saklama ortamın kapasitesi de hesaplanır.



Şekil 6.34: Güvenlik sistemi tasarımcısı

**Sabit disk (HDD) kapasite hesaplayıcı** – Sistemin tüm parametrelerini girdikten sonra hesaplayıcı, kamera görüntülerini kaydetmek için gerekli sabit sürücü kapasitesini hesaplar. Şu parametreler gereklidir: kameraların çözünürlüğü, fotoğrafların sıklığı (frekansı), kamera sayısı ve kaydetme süresi.

**Gerilim Düşüş Hesaplayıcısı** – Sinyal ve veri iletim hattının uzunluğu boyunca gerilim düşüşünü hesaplar. Belirtilen kablo tipi için güç kaynağının gerilimini, akımı, kablo uzunluğu ve metre başına zayıflama değerlerini ilgili alanlara girmek gerekir(Şekil 6.35) ve Calculate Voltage Drop tuşuna basarak gerilim düşüşü elde edilir.

**Voltage Drop Calculator**

| Initial Voltage | AC / DC | Current (Amps) | Cable Length (ft) | Cable Gauge |
|-----------------|---------|----------------|-------------------|-------------|
| 12 Volt         | DC      | .5             | 100               | 18          |

**Calculate Voltage Drop**

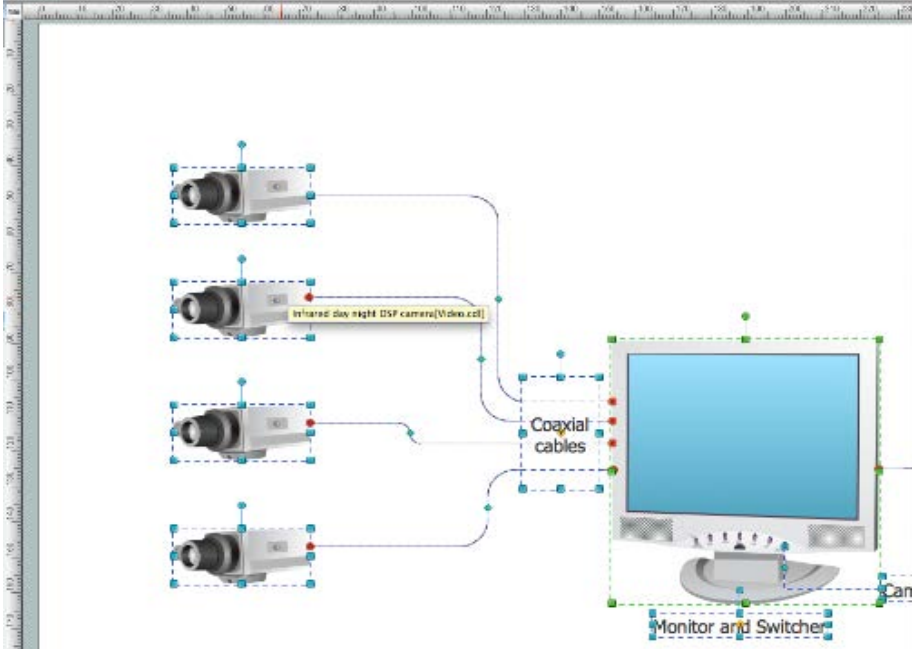
**Total Voltage Drop = 0.64**  
**Voltage at Camera = 11.36 Volts**

Şekil 6.35: Gerilim düşüş hesaplayıcısı

**Google Haritalar** (GM-Google Maps) **desteği hesaplayıcısı** – Bu araç, kameranın görünen alanın harita üzerinde görüntülenmesini ve fotoğrafın kalitesini sağlar. Girilen parametrelere göre Google Haritalar'daki bilgileri ve hesaplamaları kullanır, kamera ise dünyanın herhangi bir yerine yerleştirilebilir.

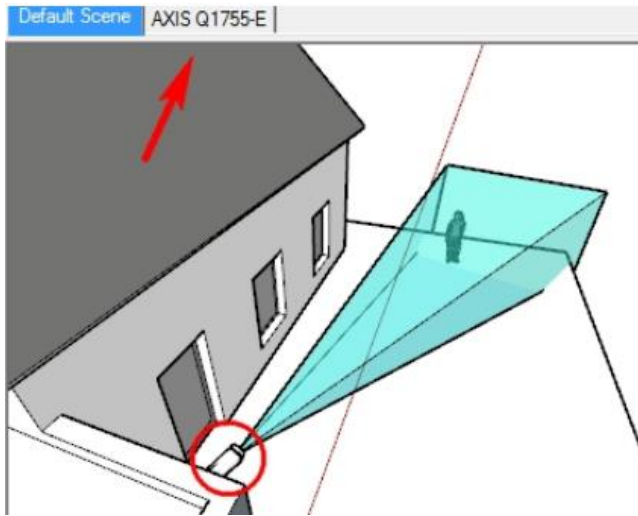
### 6.4.1.3 GÜVENLİK SİSTEMİ TASARIMI İÇİN BİLGİSAYAR YAZILIMI

**Microsoft Visio**, CCTV güvenlik sistemi oluşturabilen basit bir 2D araçtır. Program önceden tanımlanmış bloklar içerir, ancak bunlara mevcut kütüphaneden ek elemanlar da dahil edilebilir. Bloklar birbirine bağlantı noktaları ile bağlıdır. Bireysel bloklardan gelen veriler, MS Excel veya MS SQL gibi diğer MS programlarına bağlanabilir. Microsoft Visio aracı çevrimiçi olarak da mevcuttur.



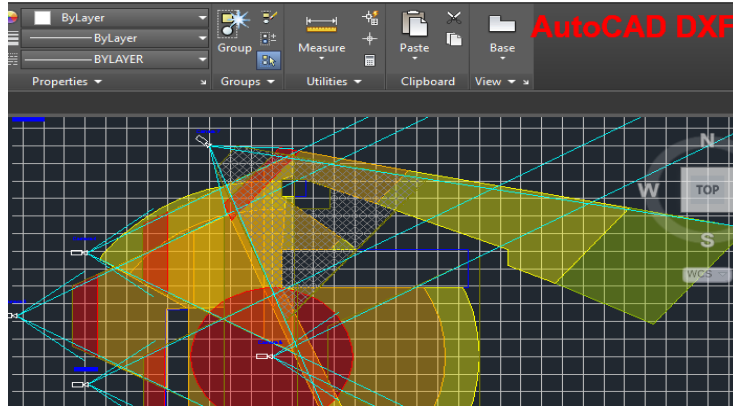
Şekil 6.36: Microsoft Visio çalışma alanı

**SketchUp** 3D modelleme programıdır ve tesisin iç kısmındaki veya tüm tesisin herhangi bir nesnenin modellenmesine olanak verir. Çizme, profesyonel CAD yazılımından daha kolaydır. Bu aracın çok sayıda nesne (mobilya, ahşap, ekipman vb.) içeren geniş kütüphanesi vardır. Oluşturulan modeller birçok başka programa aktarılabileceği gibi CAD sistemlerine de aktarılabilmektedir.



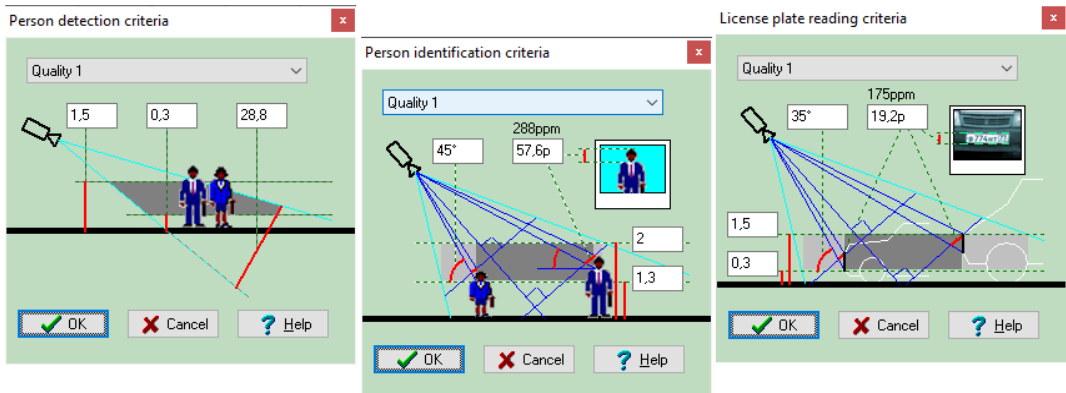
Şekil 6.37: SketchUp

**AutoCAD**, 2D ve 3D modellemeyi destekleyen profesyonel yazılımdır. CCTV sistemleri için 2D modelleme kullanılmaktadır. Genelde kabloların ve sistem bileşenlerinin konumlarını ayarlamak için kullanılır. Güvenlik sistemindeki toplam kablo uzunluğunu hesaplamak için mesafe ölçümü seçeneği de burada kullanılabilir.



Şekil 6.38: AutoCad'de Gözetim

**CCTVCAD**, sistem için uygun bileşenleri seçmek için gerekli hesaplamaları içeren CCTV sistemi tasarlamak için yazılımdır. Kameralar merceklerinin odak uzaklığını, görüş alanı açısını hesaplayabilir, kişilerin tespiti ve tanımlanması için parametreleri belirleyebilir, araç plakalarını okuyabilir. Ayrıca alanın derinliğini, gerilim düşüşünü ve koruduğu alanın gerekli aydınlatmayı da hesaplayabiliyor.

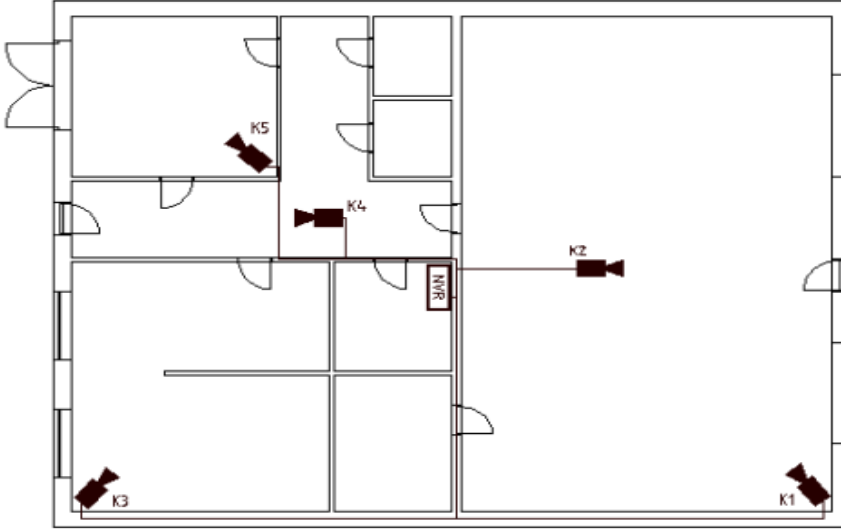


Şekil 6.39: CCTVCAD'de kişi algılama ve tanımlama ve araç plaka okuması için yatay projeksiyonda boyut hesaplamaları

CCTVCAD programında 2D ve 3D modelleme yapılabilir.

### 6.4.1.4 CCTV GÜVENLİK SİSTEMİNİN YAPILANDIRILMASI VE TASARLANMASI

**JVSG**, video gözetimi için CCTV sistemi tasarlamaya yönelik profesyonel yazılımdır. Bu nedenle, bir CCTV sistemi için gerekli yazılımın yapım aşamaları boyunca nasıl yapılandırılacağını açıklayacağız.



Şekil 6.40: JVSG ortamında tasarlanan nesnelerin görünümü

Tasarlanan güvenlik sisteminin mekandaki nesnelerin boyutlarının ve yerleşim düzeninin bilinmesi gerekmektedir. AutoCAD'de oluşturulan nesneler, bu programda modellemenin yapıldığı arka plan olarak dahil edilirler.

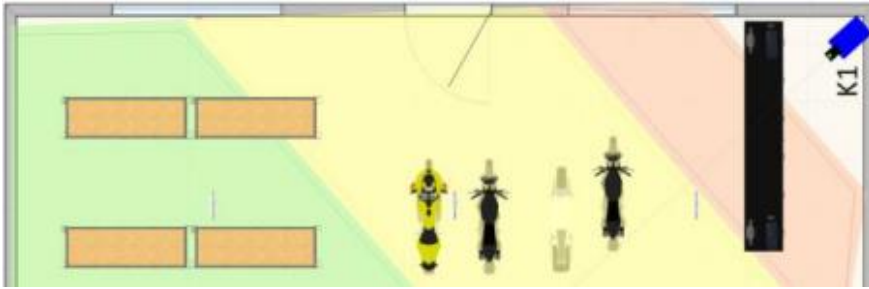


Şekil 6.41: JVSG ortamında tasarlanan mekanın (odanın) modeli

## Eelektronik Kurgular ve Cihazlar

CCTV'nin yapılandırılması aşağıdaki sırayla yapılır:

1. **JVSG stüdyosunda kameraların koyulacakları konumların seçimi** – Eğer, örneğin, video gözetimi için beş IP (dijital) kamera gerekiyorsa (Şekil 6.40'ta  $K_1$ 'den  $K_5$ 'e kadar) ve bunların kontrol odasındaki bir kabinde yer alan NVR kayıt cihazıyla (Network Video Recording) bağlanması gerekiyorsa bağlantı bükülmüş parçalardan oluşan kablo aracılığıyla yapılıyor. Odanın korunması gereken elemanlarına göre kameraların yerleştirileceği yerler belirlenir. Tüm kameraların bağlantı noktalarında güç konektörü bulunmaktadır, dolayısıyla her kamera için ayrı bir güç kaynağına gerek yoktur.



Şekil 6.42: K1 kamerasının konumu

Kameraların özellikleri, JSVG ortamındaki kameradan gelen „görüntü“nün ön izlemesine olanak veren simülasyona dayanarak belirlenir.



Şekil 6.43: Verilen model için K1 Kamerasından «Görünüm»

2. **NVR kaydedici** ayrı bir odaya yerleştirilir ve elektrik kesintisi durumunda güvenlik altında alınır. Aynı odada alarm sisteminin kontrol paneli de bulunmaktadır, dolayısıyla bu alan da PIR hareket sensörü ile donatılmaktadır.

NVR kaydedicinin kayıt kapasitesi, kamera sayısına (beş) ve birim zamandaki fotoğraf sıklığına (1 saniye) göre belirlenir. Kaydedici İnternet'e WAN (Wide Area Netork) bağlantı noktası aracılığıyla bağlanabilir.

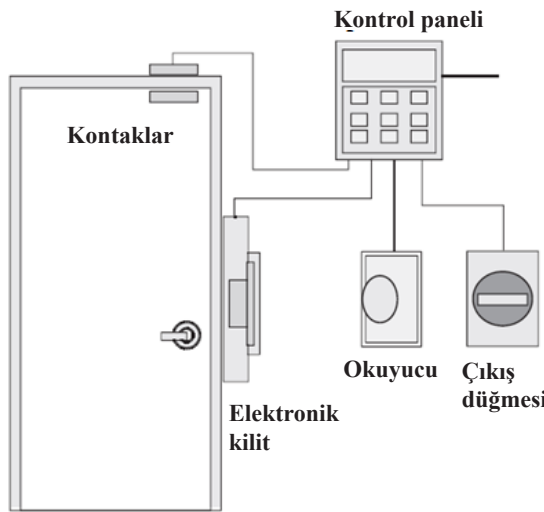
3. **Sabit disk**, kaydedilen malzemelerin arşivlenmesi için ortamdır ve belirli bir zaman aralığında (kayıt yapacak şekilde ayarlanabilir (örneğin son dört gün, yani 96 saat).

Hesaplamayla 500GB kapasiteli bir sabit diskin önceden ayarlanmış parametreler için yeterli olduğu belirlenir. Bu parametrelerden biri, kameraların yalnızca sensörlerin görüş alanlarındaki hareketi tespit etmesi durumunda maksimum kalitede kayıt yapmasıdır. Aksi takdirde düşük çözünürlükte kayıt yaparlar.

## 6.4.2 ERİŞİM KONTROL SİSTEMLERİ

Erişim kontrol sistemlerinin görevi, korunan bir alanda belirli kişilerin erişimine izin vermek veya engellemektir. Alan tek bir oda veya tesisin tamamı olabilir. Aynı zamanda onay verilen kişilerin erişiminin kontrolü ve arşivlenmesi de gerçekleştirilir.

Erişim kontrolü, kilit, anahtar gibi mekanik elemanlar kullanılarak veya ileri teknolojik çözümlerle sağlanmaktadır.



Şekil 6.44: Elektronik kilit sisteminin temel elemanları ve yapılandırılması

Böyle bir çözüm **elektrikli veya elektronik kilittir**. Kilidin üzerindeki elektronik kontrol paneliyle birlikte doğrudan kapıya monte edilebilir. Çok daha yaygın bir çözüm ise elektronik kilidin erişim kontrol sistemine bağlanmasıdır. Uygulamaya bağlı olarak farklı versiyonlar vardır– otoparklar, toplu taşıma, şantiyeler vb.

Erişim kontrol sistemi aşağıdakiler kullanılarak yapılabilir:

- Kod (PIN)
- Kart
- Biyometrik özellikler.

### 6.4.3 YANGIN ALARM SİSTEMLERİ

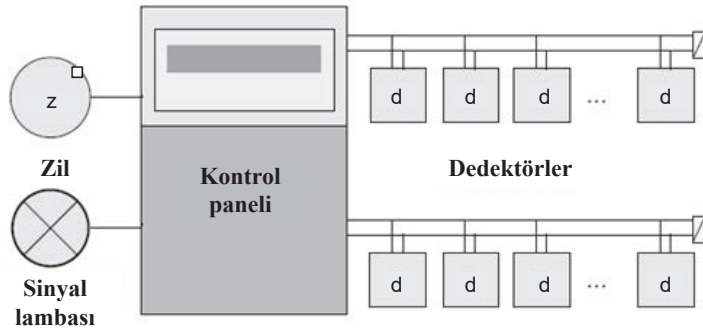
Yangın alarm sisteminin işlevi koruduğu alanda yangının varlığını tespit etmektir. Sistem otomatik olarak, manuel olarak veya kombinasyon halinde etkinleştirilebilir. Yangın alarm sistemlerinin amacı, bir yangın veya başka bir acil durumda binadaki insanları tahliye etme ihtiyacı konusunda bilgilendirmek, yangınla mücadele acil yardım servisini bilgilendirmek ve yangını ve dumanı önlemek amacıyla ilgili diğer sistemlerini etkinleştirmektir.

Yangın alarm sistemlerinin amaçlarını ve işlevlerini yerine getirmek için uygun dedektörlerin seçilmesi ve kurulması temel kuraldır.

#### 6.4.3.1 YANGIN DEDEKTÖRLERİ

Yangın alarmı manuel veya otomatik olarak etkinleştirilebilir.

- **Manuel yönetim**, camla korunan ve dumanı veya yangını fark eden kişiler tarafından etkinleştirilen uygun anahtarların etkinleştirilmesini içerir.
- **Otomatik etkinleştirme**, dedektörlerin kullanımını gerektirir: ısı dedektörleri, duman dedektörleri ve yangın dedektörleri. Farklı dedektör türleri farklı algılama hızlarına ve toleransa sahiptir. Daha iyi koruma için bir dedektör kombinasyonu kullanılır.



Şekil 6.45: Dedektörler ve sinyalizasyonlu kontrol paneli

**Isı dedektörleri** ortam sıcaklığındaki değişimi tespit etme prensibine göre çalışır. Önceden tanımlanmış algılama eşiğinin üzerine çıkması durumunda alarm sinyali etkinleştirilecektir.



Şekil 6.46: Isı dedektörü

**Duman dedektörleri** ortamdaki dumanı algılama prensibine göre çalışır ve alarm sistemine uygun sinyal gönderir. Farklı mekanizmaları ve tasarımları vardır ancak yaygın kullanılan şunlardır: iyonizasyon, fotoelektrik ve karbon monoksit/karbon dioksit dedektörleri. Fotoelektrik dedektörler aslında ışık sensörleridir. Onlar hem ışık kaynağı (kızılötesi LED diyotu) hem ışık hüzmesi ışığını ışık sensörüne doğru yoğunlaştırmak için mercek içerirler. Duman olmadığında ışık hüzmesi düz bir çizgide hareket eder ancak dumanın varlığında ışık hüzmesi genişleyerek alarm sistemini etkinleştirir.



Şekil 6.47: Fotoelektrik duman dedektörü

**Yangın dedektörleri** yangını optik sensörler kullanarak doğrudan algırlar. Yaygın yangın dedektörleri UV (morötesi) dedektörler, IR (kızılötesi) dedektörler ve kombine UV/IR dedektörlerdir.

## Eelektronik Kurgular ve Cihazlar



UV dedektör



UV/IR dedektör



IR dedektör

Şekil 6.48: Yangın dedektörleri

**UNUTMAYIN..!**

- Güvenlik sistemlerinin amaçları mülkü, hayatı, malzemeleri ve alanı yangından, hasardan, izinsiz girişten, hırsızlıktan ve diğer dürüst olmayan, yasa dışı veya suç teşkil eden faaliyetlerden korumaktır.
- Video gözetimi veya CCTV, belirli bir alanı kapsamak için video kameraların kullanılmasıdır.
- Video gözetim sisteminin görevi, alan güvenlik verilerini bulmak, işlemek ve kaydetmektir.
- Video gözetim sisteminden gelen bilgiler kamuya açık değildir.
- Bir video gözetim sistemini tasarlamak için temel parametreler şunlardır: kamera merceği, alan derinliği, kapsama açısı, kişi tanımlama parametreleri, veri kapasitesi, gerilim düşüşü, veri depolama ortamı, internet hattının hızı ve akışı.
- Video gözetim sisteminin tasarlanması için çevrimiçi yazılım araçları ve bilgisayar yazılımları vardır.
- Video gözetim yazılımı tasarlamak için odadaki nesnelerin boyutlarını ve dizilişini bilmek gerekir.
- Sabit disk, kaydedilen video gözetim malzemelerin arşivlenmesi için bir ortamdır.
- Erişim kontrol sistemlerinin görevi, korunan alandaki belirli kişilerin erişimine izin vermek veya erişimi engellemektir.
- Yangın alarm sisteminin, koruduğu alanda yangının varlığını tespit etme görevi vardır.

**Modül 6'da edinen bilgileri belirleme soruları**

1. Elektronik kurgu nedir?
2. Elektronik cihaz nedir?
3. Yükselteç devrelerinin hangi görevleri vardır?
4. Bir işlemsel yükselteçin kaç girişi vardır?
5. Jeneratör devresi nedir?
6. Hangi tür osilatörler vardır?
7. Multivibratörler nedir?
8. Hangi multivibratör türü aynı zamanda jeneratör devresi olarak da çalışır?
9. Dönüştürücülerin işlevi nedir?
10. AC/DC dönüştürücüler hangi dönüşümü gerçekleştirir?
11. Hangi dönüştürücülere kıyııcı denir?
12. Hangi dönüştürücüler alternatif gerilimi düzenler?
13. Hangi dönüştürücülere invertör denir?
14. UPS'e neden kesintisiz güç kaynağı deniyor?
15. Alarm sisteminin görevi nedir?
16. Bir alarm sisteminin temel elemanları hangileridir?
17. Alarm sistemlerinde hangi elektromekanik sensörler kullanılır?
18. Hangi elemanlar elektrik sensörleri olarak kullanılır?
19. Anahtarlama elemanlarının hangi bağlantıları ile sesli alarm gerçekleştirilebilir?
20. Alarm sistemini etkinleştirme cihazı nedir?
21. Hareket sensörü olarak hangi sensörler kullanılır?
22. Kapı ve pencere sensörleri ne tür anahtarlardır?
23. Güvenlik sistemi ne anlama gelir?
24. Video gözetimi nedir?
25. Video gözetim sisteminin elemanları hangileridir?
26. Hangi tür kameralar vardır?
27. Video gözetim sisteminin tasarlanması için hangi yazılım araçları vardır?
28. Bir video gözetim sisteminin yapılandırılması ne demektir?
29. Video gözetiminde sabit disk nedir?
30. Elektronik kilit nerede monte edilir?
31. Yangın alarm sistemlerinin işlevi nedir?
32. Yangın dedektörleri nasıl sensörler kullanır?

## TEMATİK BELİRLEME

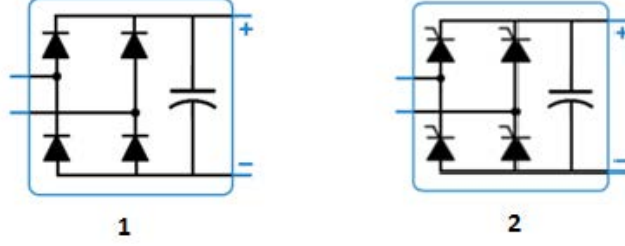


### I Çevreleme soruları (Doğru cevapları çevreleyin)

1. Yönetilen doğrultucular şunlardır:
  - A. AC'den DC'ye dönüştürücüler
  - B. AC'den AC'ye dönüştürücüler
  - C. DC'den DC'ye dönüştürücüler
  - Ç. DC'den AC'ye dönüştürücüler
2. Rid anahtarları şunlardır:
  - A. Elektrik sensörler
  - B. Elektromekanik sensörler
  - C. Elektronik sensörler
3. Alarm sistemindeki mikrodalga sensörleri aşağıdakilere yönelik sensörlerdir:
  - A. Kapı
  - B. Ses
  - C. Hareket
4. Video gözetiminden kaydedilen malzemeler nerede saklanır:
  - A. Flaş bellek
  - B. Sabit disk
  - C. Disk
5. Fotoelektrik duman dedektörleri şunlardır:
  - A. Manyetik sensörler
  - B. Kızılötesi dedektörler
  - C. Işık sensörleri
  - Ç. Morötesi sensörler
6. Kızılötesi dedektörler şunu tespit etmek için kullanılır:
  - A. Duman
  - B. Pencerenin kırılması
  - C. Ateş

## II Bağlama Soruları

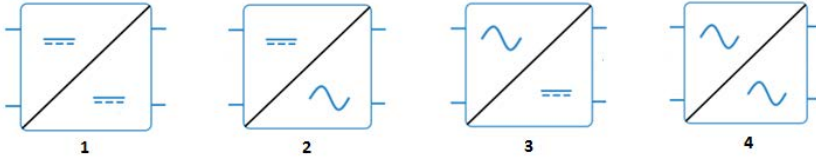
7. Aşağıdaki grafik sembolleri uygun elektronik kurgularla bağlayın:



AC/DC dönüştürücü \_\_\_\_\_

Diyot doğrultucu \_\_\_\_\_

8. Aşağıdaki grafik sembolleri uygun elektronik kugularla bağlayın:



AC/AC - dönüştürücü \_\_\_\_\_

DC/DC - dönüştürücü \_\_\_\_\_

DC/AC - dönüştürücü \_\_\_\_\_

AC/DC - dönüştürücü \_\_\_\_\_

9. Aşağıki resimleri uygun sensörlerle bağlayın:



1



2



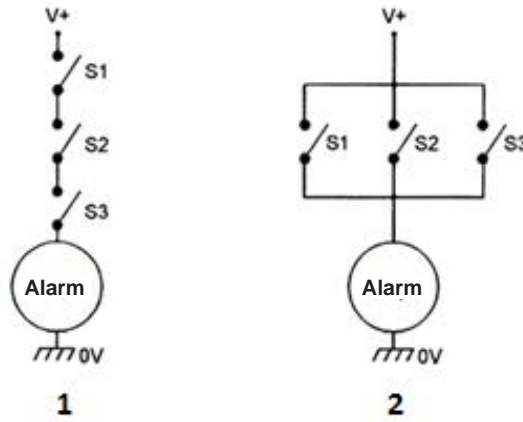
3

Ultrasonik sensör \_\_\_\_\_

Fotoelektrik sensörü \_\_\_\_\_

Kapı sensörü \_\_\_\_\_

10. Aşağıdaki devreleri uygun bağlantılarla bağlayın:



Paralel anahtarlama devresi \_\_\_\_\_

Seri anahtarlama devresi \_\_\_\_\_

### III Boşlukları doldurma soruları

11. Elektronik cihazlar \_\_\_\_\_ oluşur.
12. Sinüs gerilim osilatörlerine \_\_\_\_\_ denir , sinüs olmayan gerilimler için \_\_\_\_\_ denir.
13. Multivibratörler, \_\_\_\_\_ farklı durumları olan kurgulardır.
14. AC/AC dönüştürücüler \_\_\_\_\_ gerilimi \_\_\_\_\_ gerilime dönüştürür.
15. DC/DC dönüştürücüler gerilimin \_\_\_\_\_ değiştirir.
16. Elektronik alarm sistemi, elektronik kurgular ve cihazlar yanı sıra, \_\_\_\_\_ ve \_\_\_\_\_ türden elemanlar da kullanır.
17. Basınç anahtarları \_\_\_\_\_ anahtarı gibi davranır.
18. Zamansal anahtarlar, durumu \_\_\_\_\_ ile yönetilen anahtarlardır.
19. Mikrofonlar \_\_\_\_\_ dönüştürücüleridir.

20. Kontrol cihazı (panel) alarm sisteminin \_\_\_\_\_'dir.
21. Siren, \_\_\_\_\_ yayan elektronik cihazdır.
22. Cam sensörleri \_\_\_\_\_ sensörleridir.
23. PIR sensörleri \_\_\_\_\_ radyasyondaki değişikliği algılar.
24. Fotoelektrik dedektörler \_\_\_\_\_ sensörleridir.
25. Video gözetim sistemi \_\_\_\_\_ kısa adı ile bilinmektedir.
26. Erişim kontrol sistemi kod, kart ve \_\_\_\_\_ ile gerçekleştirilebilir.
27. Yangın alarmının manuel etknileştirilmesi \_\_\_\_\_ ile yapılır.
28. Isı dedektörleri \_\_\_\_\_ 'de değişim algırlarlar.

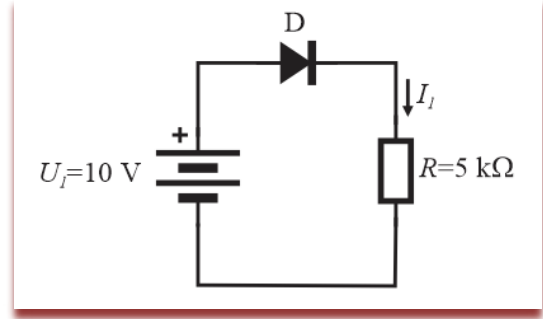
# ÖDEVLER

## ve çözülmüş örnekler

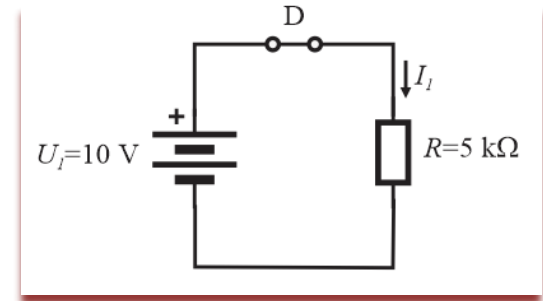


Örnekler

1. Şekilde verilen diyot devresindeki  $I_1$  akımını, D diyotun uçlarındaki gerilim düşüşünü ve diyotu ideal olarak alarak R rezistörün direncini hesaplayın (anahtar olarak diyot modeli uygulansın).

**Çözüm:**

İlk önce diyotun kutuplanması tanımlanır. Diyotun anodu kaynağın pozitif kutbuna bağlanır, diyot doğrudan kutupludur. Diyotun ideal olduğunu göz önüne alarak devrede kapalı bir anahtarla değiştireceğiz.

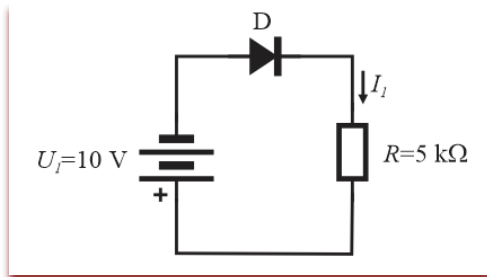


Rezistörden geçen akım, Ohm kanununa göre şu ilişkiyle hesaplanır:

$$I_1 = \frac{U_1}{R} = \frac{10 \text{ V}}{5 \cdot 10^3 \Omega} = 2 \text{ mA}$$

Diyotun kısa devresi nedeniyle,  $U_D=0$ , rezistörün gerilimi paralel bağlanan kaynağa eşit olacaktır, yani şu şekilde de hesaplanabilir:

$$U_R = R \cdot I_1 = 5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ V}$$



2. Şekilde verilen diyot devresindeki akımı, diyotun ve rezistörün gerilim düşüşünü, diyotu ideal olarak alarak hesaplayın (anahtar olarak diyot modeli uygulansın).

**Çözüm:**

Diyot ters kutupludur ve açık anahtar ile değiştirilir.

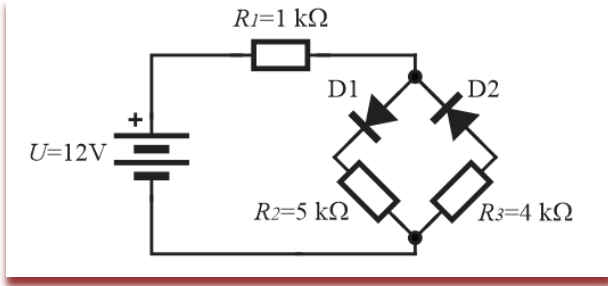
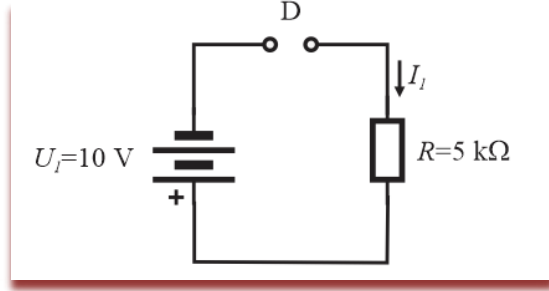
Devrede akım akışı yoktur,  $I_1=0$ .

R rezistörde gerilim düşüşü için şunu elde ediyoruz:

$$U_R = R \cdot I_1 = 5 \cdot 10^3 \cdot 0 = 0V$$

Diyotun uçlarındaki gerilim ise şu şekilde belirlenir:

$$U_D = -U = -10V$$



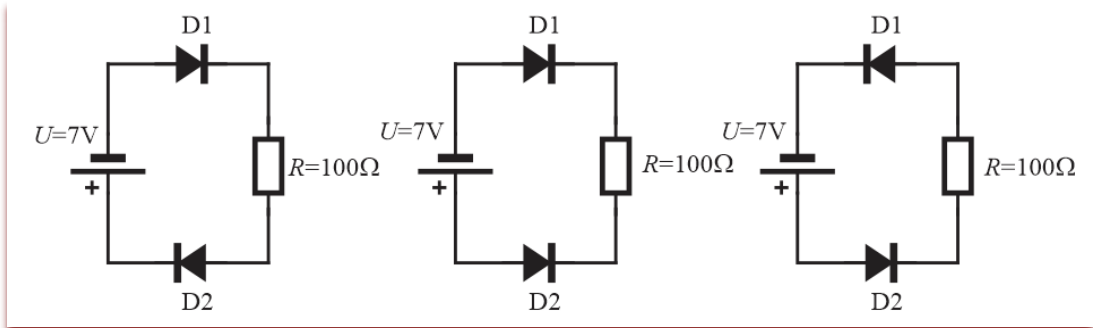
3. Şekilde verilen devrede  $D_1$  ve  $D_2$  diyotlarından geçen akımları hesaplayın (anahtar olarak diyot modeli uygulansın).

**Çözüm:**

$D_1$  diyotu – doğrudan kutupludur  $I_{D1} = 2\text{ mA}$

$D_2$  diyotu – ters kutupludur,  $I_{D2} = 0\text{ A}$

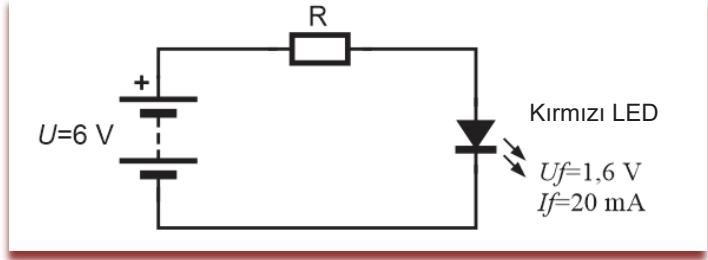
4. Aşağıdaki şekilde gösterilen her devre için,  $D_1$  ve  $D_2$  diyotlarının ideal diyotlar olduğunu varsayarak, R rezistörden geçen akımı hesaplayın.



**Çözüm:**  $I_1 = 0, I_2 = 0, I_3 = 70\text{ mA}$

## Örnekler

5. Kırmızı LED diyotla seri olarak 6 V'luk doğru gerilim kaynağına bağlanan R rezistörün değeri ve üzerinde geliştirilen güç hesaplanınsın.



**Çözüm:**

Diyotun  $U=6$  V kaynağa bağlanma şekline göre doğrudan kutuplanmış olduğu sonucuna varılabilir. LED diyotların katalog verilerine göre 20 mA akımda kırmızı LED'in iletim gerilimi 1,8 V'tur. ( $I=I_f$ ,  $U_D=U_f$ ).

Rezistörde gerilim düşüşü aşağıdaki ilişki ile hesaplanır:

$$U - U_D - U_R = 0 \quad U_R = U - U_D = 6 - 1,8 = 4,2 \text{ V}$$

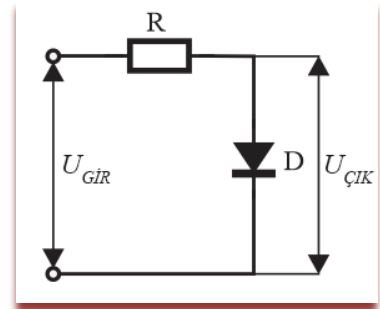
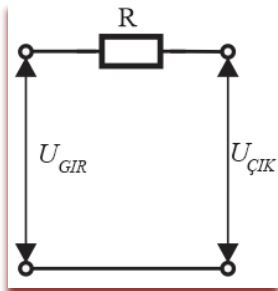
direnci ise şu ifadeye göre belirlenir:

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{4,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 210 \Omega$$

Rezistörün gücü için şu elde ediliyor:

$$P_R = U_R \cdot I = 4,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 84 \text{ mW}$$

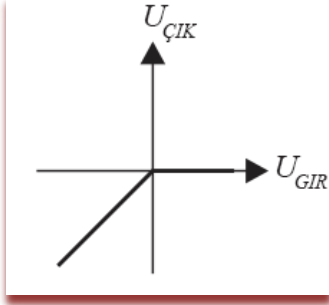
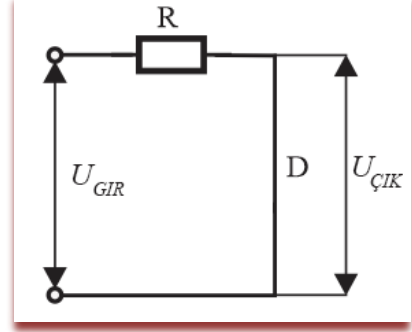
6. Şekilde gerilim sınırlayıcı gösterilmektedir. Devrenin iletim karakteristiğini çiziniz.



**Çözüm:**

İlk olarak devre, girişine negatif gerilimler getirildiğinde analiz edilir ( $U_{gir} < 0$ ). Bu durumda diyot ters kutupludur, bu da açık anahtara eşdeğerdir ve devrede akım almıyordur. ( $U_{çık} = U_{gir}$ )

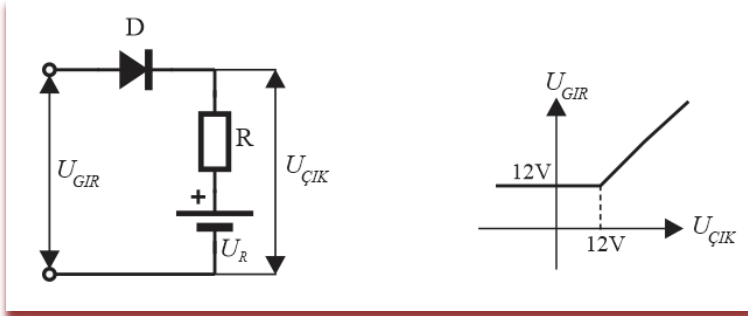
Ardından devre, girişine pozitif gerilimler getirildiğinde analiz edilir ( $U_{gir} > 0$ ). Bu durumda diyot doğrudan kutupludur, kapalı anahara eşdeğerdir ve devrede I akımı akmaktadır. ( $U_{çık} = 0$ )



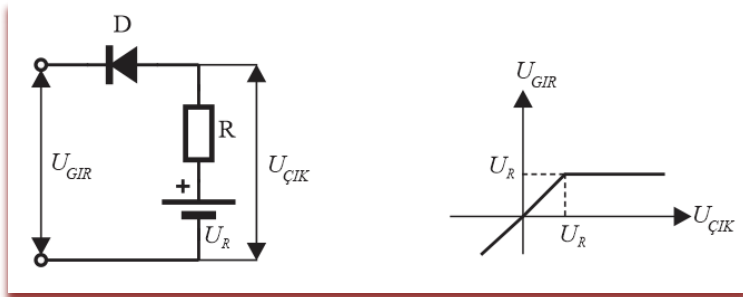
Devrenin iletim karakteristiği aşağıdaki biçime sahip olacaktır:

Analiz edilen devre yukarıdan gerilim sınırlayıcıdır.

7. Verilen şekillerdeki her devre için iletim karakteristiği çizilsin ( $U_R = 12\text{ V}$ ).

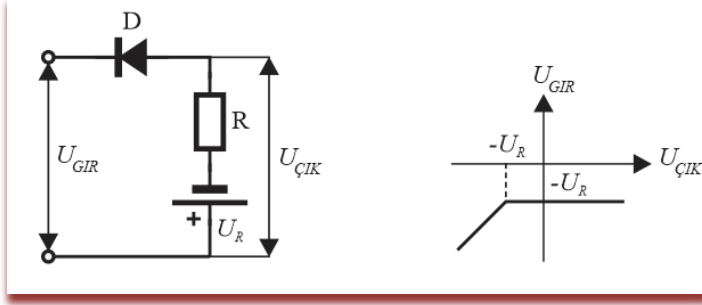


Çözüm

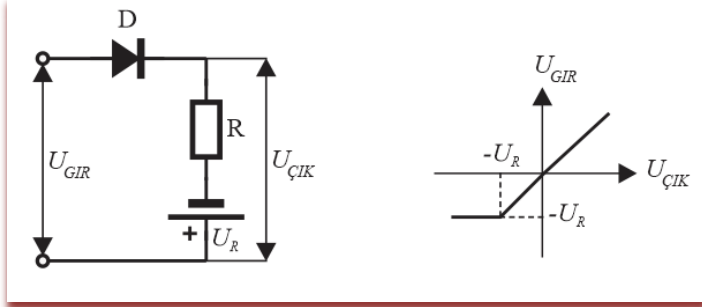


Çözüm

## Örnekler



Çözüm



Çözüm

8. Şekildeki devrede transistörün  $\beta = 100$  vardır.

Emitör bağlantısı,  $U_{BB} = 2$  V kaynağı ile doğrudan kutupludur ve  $U_{BE} \approx 0.7$  V gerilime sahiptir.

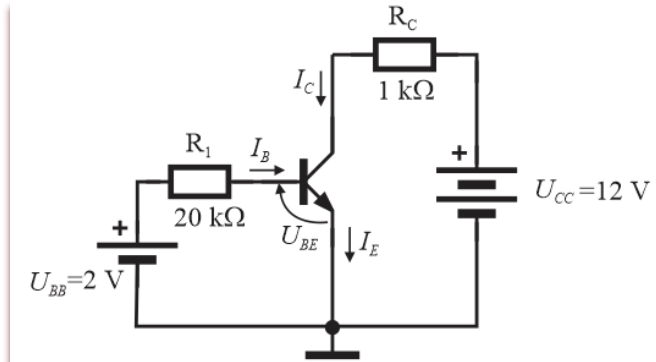
Aşağıdaki büyüklükler belirlensin:

- $I_B$  beyz akımı;
- $I_C$  kolektör akımı;
- $U_{CE}$  kolektör gerilimi.

Çözüm:

a) Beyz'deki akım beyz-emitör devresinden belirlenir:

$$U_{BB} - R_1 \cdot I_B - U_{BE} = 0$$



Buradan beyz akımı  $I_B$  için şunu elde ediyoruz:

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_1} = \frac{2 - 0,7}{20 \cdot 10^3} = 65 \mu\text{A}$$

b) Kolektör akımı aşağıdaki ifadeye göre hesaplanır:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 65 \cdot 10^{-6} = 6,5 \text{ mA}$$

c) Kolektörün gerilimi emitör-kolektör devresinden belirlenir:

$$U_{CC} - R_C \cdot I_C - U_{CE} = 0$$

Buradan UCE gerilimi için şunu elde ediyoruz:

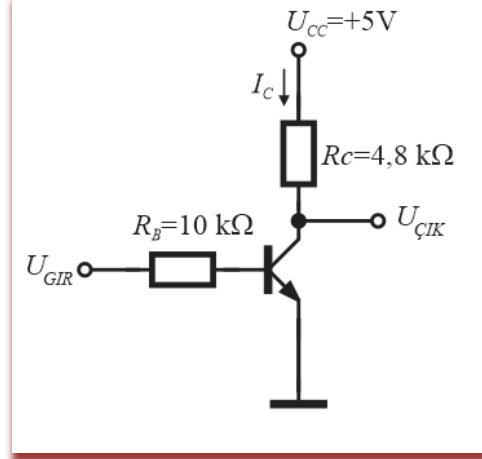
$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} = 5,5 \text{ V}$$

**9. Transistörün anahtar olarak çalıştığı şekildeki devrede, transistör için aşağıdaki değerler verilmiştir:**

$U_{CES} = 0,2 \text{ V}$ ,  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$  ve  $\beta = 50$ .

a) Transistörün doyuma ulaştığı giriş geriliminin minimum değerini belirleyin;

b) Transistörün iletken olmayan düzene getirildiği giriş geriliminin gerekli değerini belirleyin.



**Çözüm:**

a) Transistörün doyuma girdiğinde kolektör akımının değeri şudur:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_C} = \frac{5 - 0,2}{4,8 \cdot 10^3} = 1 \text{ mA}$$

Beyz akımı  $I_{CS} = \beta \cdot I_B$  koşuluna göre hesaplanır, buradan:

$$I_B = \frac{I_{CS}}{\beta} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{50} = 0,02 \text{ mA}$$

$U_{GIR}$  giriş geriliminin minimum değerini şu şekilde belirleyeceğiz:

$$U_{GIR} = R_B \cdot I_B + U_{BE} = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3} + 0,6 = 0,2 + 0,6 = 0,8 \text{ V}$$

## Örnekler

Giriş gerilimi ve bey akımı için hesaplanan değerlerden daha büyük herhangi değer için, transistör derin doyumda olacaktır. Bu koşulun yerine getirilmesiyle, seçilen türden herhangi  $\beta$  faktörünün geniş toleranslı transistörün uygulanması sağlanır. 0,2 V'luk çıkış gerilim seviyesi düşük gerilim seviyesi, transistör ise kapalı bir anahtar olarak kabul edilir.

b) Beyz akımı sıfır olduğunda, beyz - kolektör gerilimi 0,7 V'tan az olduğunda transistör iletilimsizlik sınırında olacaktır. Buna göre giriş gerilimi  $U_{gir} < 0,7$  V olacaktır, kolektör akımı  $I_C \approx 0$ 'dır, kolektör gerilimi için ise şunu elde ediyoruz:

$$U_{CE} = U_{CC} \approx U_{ÇIK}$$

**10. Transistörün doyum durumunda olduğunda  $R_C$  rezistöründen geçen akımı hesaplayın.**

**Çözüm:**

Doyma düzenine bulunan transistör için  $U_{CE}$  geriliminin 0,2 V olduğu bilinmektedir. Böylece, kolektör devresinin denkleminde:

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C$$

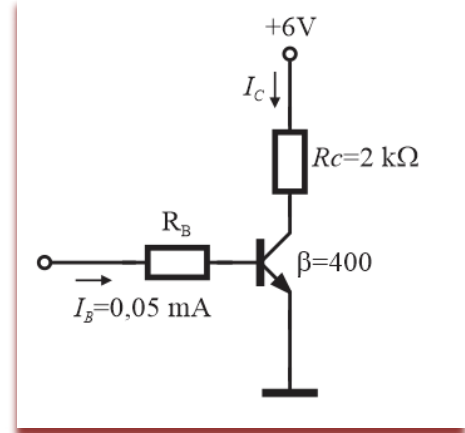
şunu elde ediyoruz:

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} = \frac{6 - 0,2}{2 \cdot 10^3} = 2,9 \text{ mA}$$

Devrede,  $I_B$  beyz akımının değeri verilmiştir, dolayısıyla akımlar arasındaki ilişkiyi uygulayarak:

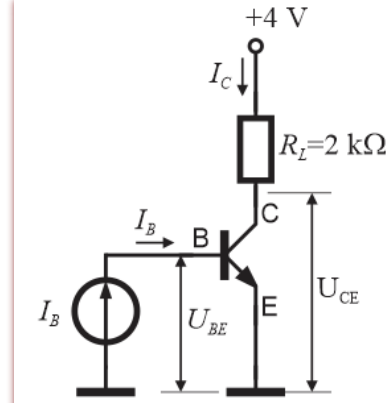
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}, I_C \text{ için şu değer elde edilmiştir: } I_C = \beta \cdot I_B = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 20 \text{ mA}$$

bu,  $U_{CE}$  gerilimi için negatif değer elde edileceği imkansız bir durumu tanımlamaktadır. Bu bize transistör doyumda iken kolektör akımının beyz akımı tarafından kontrol edilmediğini göstermektedir. Bu nedenle doyum bölgesinde, kolektör akımını kolektör devresinden hesaplamamız gerekmektedir.



11. Verilen  $I_B$  değerleri için  $U_{CE}$  ve  $I_C$ 'yi belirleyin ve şekildeki devreden transistörün çalışma düzenini belirleyin.

- a)  $I_B = 0$ ,  
 b)  $I_B = 20 \mu\text{A}$ ,  
 c)  $I_B = 60 \mu\text{A}$ ,



**Çözüm:**

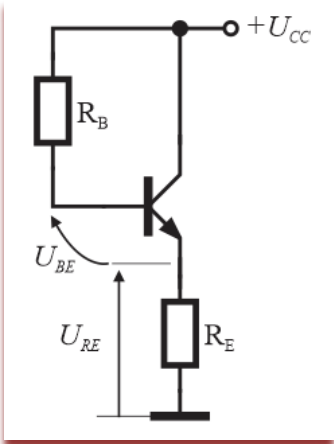
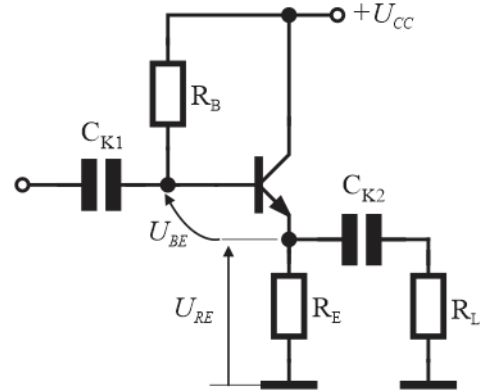
- a)  $I_C = 0$ ,  $U_{CE} = +4 \text{ V}$ , iletken değil,  
 b)  $I_C = 0,8 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 2,4 \text{ V}$ , normal aktif alan,  
 c)  $I_C = 2,4 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 0,2 \text{ V}$ , doyma sınırında

12. Verilen devre için  $R_E$  rezistörün değeri hesaplınsın.

$U_{CC} = 6\text{V}$ ;  $U_{RE} = 2,4 \text{ V}$ ;  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ ;  $\beta = 100$ ;  $R_B = 300 \text{ k}\Omega$ .

**Çözüm:**

$\beta = \frac{I_C}{I_B}$  ilişkisinden  $I_C$  için şunu elde ediyoruz:



$$I_C = I_B \cdot \beta$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE} - U_{RE}}{R_B} = \frac{6 - 0,6 - 2,4}{300 \cdot 10^3} = 0,01 \text{ mA}$$

$$I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ mA}$$

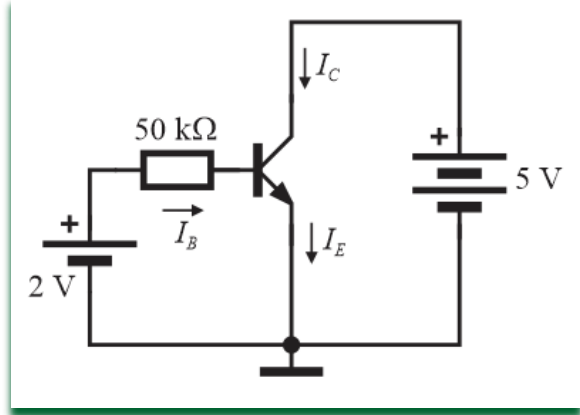
$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_C + I_B} = \frac{2,4}{1 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 10^{-3}} = 2,376 \text{ k}\Omega$$

## Örnekler

13. Şekilde gösterilen devredeki NPN transistörün  $\beta = 100$ 'dür ve emi-tör bağlantısı  $U_{BE} = 0,6$  V'ta doğrudan kutuplanmıştır.

a) Transistör hangi düzen-de çalışıyor?

b) Beyz, emi-tör ve kolektör akımlarını hesaplayınız.



**Çözüm:**

a)  $U_{CE} = 5$  V, iletme düzeni,

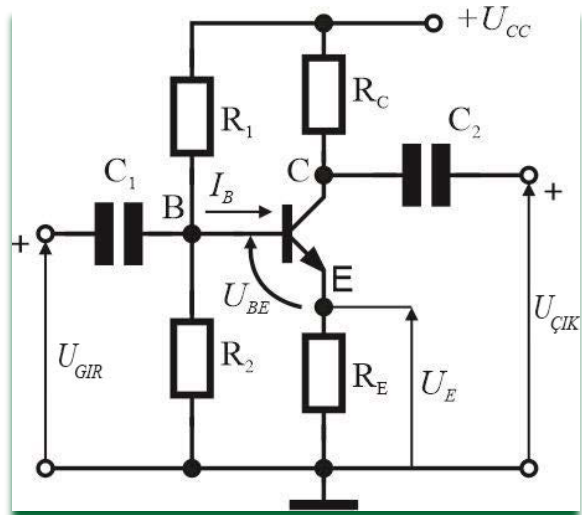
b)  $I_B = 28 \mu\text{A}$ ,  $I_C = 2,8$  mA,  $I_E = 2,828$  mA.

14. Şekilde verilen ortak emi-törlü yükselteç devresi için, aşağıda verilen değerler için emi-tör akımını belirleyiniz:

$R_1 = 3$  k $\Omega$ ,  $R_2 = 1$  k $\Omega$ ,  $R_C = 4$  k $\Omega$ ,  $R_E = 1,5$  k $\Omega$ ,  $U_{BE} = 0,7$  V,  $U_{CC} = 10$ V.

**Çözüm:**

$R_1$ - $R_2$  gerilim bölücü ile bey-zin  $U_B$  gerilimi elde ediliyor:



$$U_B = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ V}$$

$U_B = U_{BE} + R_E \cdot I_E$  denkleminde şu elde edilir:

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} = \frac{2,5 - 0,7}{1,5 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ mA}$$

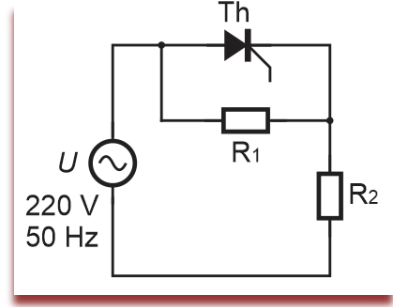
$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{10}{3 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ mA}$$

Bu hesaplamalarda  $\beta$  değerinin girmediği dikkat edilir. Bunun nedeni,  $I_B$  akımının  $U_B$ 'nin değerine etkilemediğini söyleyen varsayımdır.  $\beta$  için 100 değeri alırsak, o zaman

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{100 + 1} = 0,0118 \text{ mA} \ll 2,5 \text{ mA}$$

Buna göre belirtilen varsayımın gerekçesi gösterilir

15.  $R_1$  ve  $R_2$  rezistörlerinden oluşan ısıtıcının toplam gücü, tristör ile ayarlanır. İletim açısının  $\alpha=0^\circ$ 'dan  $\alpha = 180^\circ$ 'e kadar değiştiğinde  $P_{min} = 1 \text{ kW}$ 'tan  $P_{max} = 2 \text{ kW}$ 'a kadar güç için  $R_1$  ve  $R_2$  rezistörlerin direnci hesaplansın.



**Çözüm:**

$\alpha = 180^\circ$  için tristör açılmıyor,  $R_1$ - $R_2$  seri bağlantısında  $P_{min} = 1 \text{ kW}$  güç gelişir

$$P_{min} = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{U^2}{P_{min}} = \frac{220^2}{1000} = 48,4 \Omega$$

$\alpha = 0^\circ$  için tristör tüm pozitif yarı -periyot boyunca açıktır ve bu arada rezistörlerde  $P_{min} = 2 \text{ kW}$  güç gelişir.

$R_2$  rezistörün pozitif yarı -periyoddaki toplam güce katkısı şuna göre belirlenir:

$$P_{max+} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_2}$$

$R_1$ - $R_2$  seri bağlantısının negatif yarı periyoddaki toplam güce katkısı şu şekilde belirlenir:

$$P_{max-} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_1 + R_2}$$

## Örnekler

Tüm periuot için toplam güç, pozitif ve negatif yarı –periyot güçlerinin toplamı olarak hesaplanır:

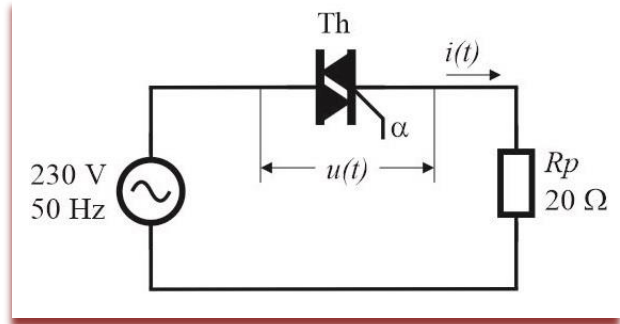
$$P_{max} = P_{max+} + P_{max-} = \frac{1}{2} \cdot U^2 \cdot \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_2} + \frac{1}{2} \cdot P_{min}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_2} = P_{max} - \frac{1}{2} P_{min}$$

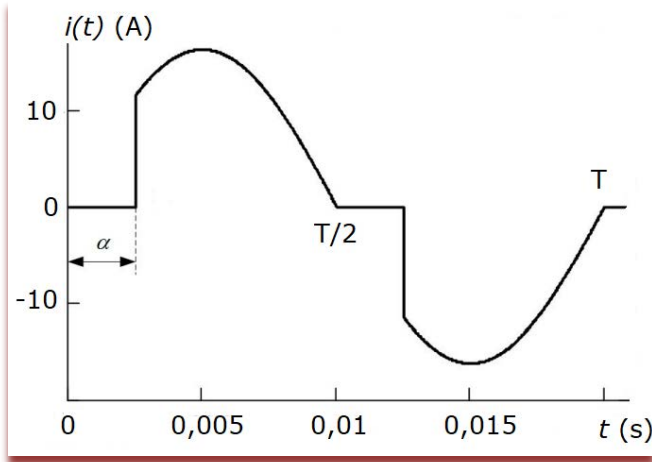
$$R_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{P_{max} - \frac{1}{2} \cdot P_{min}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{220^2}{2000 - \frac{1}{2} \cdot 1000} = 16,13 \Omega$$

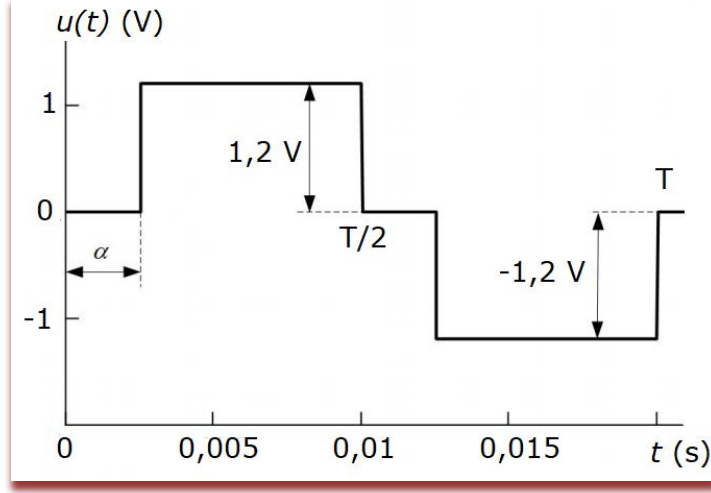
$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2 = 48,4 - 16,13 = 32,27 \Omega$$

**16. Şekilde verilen devredeki triyakin 1,2 V gerilim düşüşü vardır. Verilen devrenin akımı  $i(t)$  ve triyakin gerilimi  $u(t)$ 'nin zamansal diyagramları çizilsin!**



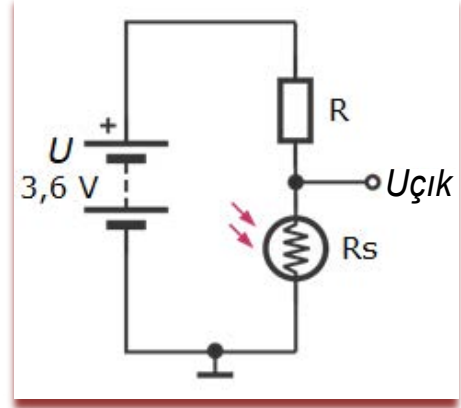
**Çözüm:**





17. Ortam aydınlığının belirli bir değerin altına düştüğünde,  $U_{çık} = 1,2 \text{ V}$  çıkış gerilimi elde etmek için fotorezistörün direnci  $R_s = 100 \text{ k}\Omega$  değerine yükselir.  $R_s$  ile seri bağlanan  $R$  rezistörün değeri belirlensin.

**Çözüm:**



$$U_{çık} = \frac{R_s}{R + R_s} \cdot U$$

$$R + R_s = R_s \cdot \frac{U}{U_{çık}}$$

$$R = R_s \cdot \frac{U}{U_{çık}} - R_s = R_s \cdot \frac{U - U_{çık}}{U_{çık}}$$

$$R = 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{3,6 - 1,2}{1,2} = 100 \cdot 2 \cdot 10^3 = 200 \text{ k}\Omega$$

# Laboratuvar alıştırmalar

Laboratuvar alıştırmalarının gerçekleştirilmesi için elektronik laboratuvarında/sınıfta uygun ekipmanlar kullanılacaktır.



**1. Güç kaynağı** – alıştırmalarda incelenen elektrik devrelerine doğru gerilimle güç sağlamak için kullanılır. Ayarlanan çıkış gerilimi ve çıkış akımı kaynağın ekranında görülebilir.

**2. Sinyal üretici (jeneratörü)** – genliklerini, frekanslarını ve ortalama değerlerini ayarlayarak farklı dalga biçimleri üretir.



**3. Osiloskop** – zaman alanındaki sinyalin görsel olarak izlenmesi için ve iki sinyalin işlevsel bağımlılıklarının görsel olarak izlenmesi için kullanılır.

**4. Üniversal alet (multimetre)** – bağlantıların konfigürasyonu ve ölçüm alanı için anahtarın uygun konumu ile voltmetre, ampermetre ve ohmmetre işlevine sahip, pille çalışan bir alettir. Alet ampermetre olarak kullanılırken devreye voltmetre gibi bağlanmamasına dikkat edilmelidir.



**5. PC bilgisayar** – uygun yazılım kullanılarak elektrik devrelerinin çalışmasının bilgisayar simülasyonunda ve elde edilen sonuçların bilgisayarda işlenmesinde kullanılır.

Alıştırmaların gerçekleştirilmesi için gerekli araçlar:



## Laboratuvar alıştırımları

### LABORATUVAR ALIŞTIRMALARININ UYGULANMASINA İLİŞKİN YÖNLENDİRMELER

Öğrenci, amacına - kurgunun veya cihazın doğru çalışmasına ulaşmak için edindiği teorik bilgiyi pratikte uygulamalı, belirli yetenekler kazanmalı ve uygun teknik ve yöntemleri uygulamalıdır. Gerekliğinde arızalı eleman ve bileşenlerin değerlerini belirleyebilmek ve değiştirmek amacıyla yenilerini seçebilmek için bazı matematiksel hesaplamalar da kullanılmalıdır. Bu arada, her birinin, incelenen cihaza en iyi işlevi sağlayacak şekilde bir değere ayarlanması gerekecektir. Bunu başarmak ve gelecekte pratikte karşılaşılabilecek gerçek hayattaki problemleri nispeten kolay çözebilecek yetenekli bir teknisyen olmak için, laboratuvar alıştırımları derslerine çok fazla katılması ve çeşitli kaynakları kullanarak verilen alıştırımları başarılı bir şekilde gerçekleştirmesi gerekecektir.

Laboratuvar alıştırımları derslerinde öğrenci, örneğin dijital multimedre, havya, pense vb. gibi çeşitli alet ve araçları kullanacaktır.

Öğrenciler deneysel devre tahtalarına (İng. breadboard) yerleştirecekleri veya baskılı devre kartları (İng. **Printed Circuit Board, PCB**) yapacakları gerçek elektrik ve elektronik elemanları ve bileşenleri uygulayarak gerçek “uygulamalı” deneyim kazanacaklardır. Ardından eleman ve bileşenleri iletkenlerle veya bakır hatlarla bağlayacaklar ve gerektiğinde bu amaca uygun, değerleri ayarlanabilir güç kaynaklarının yanı sıra üniversite multimedreler, osiloskoplar, fonksiyon jeneratörleri gibi gerçek aletler kullanacaklar.

Alıştırımlar yapılırken öğretmenin verdiği talimat ve yönlendirmelere ciddi şekilde dikkat edilmelidir. Bunlardan en önemlilerinin yazılması gerekir. Çalışma ödevler, yerine getirdikten sonra, bireysel gözlemlerin ve ölçümlerin de yazılması ve bunlardan önemli sonuçların çıkarılması gerekecektir.

Alıştırımlara gelince her tematik bütün çerçevesinde ayrı bir set olarak sistematize edilmiş ve laboratuvar alıştırımlarında verilmiştir.

Her alıştırıma tamamlandıktan sonra öğretmene, öğrencinin alıştırıma gerçekleştirdiği sırasında yaptığı etkinliklerin açıklamasını içeren bir rapor sunmak

gerekir. Sonuçların sunumu iyi organize edilmeli ve tam olarak sonuçlandırılmış olmalıdır.

Her raporun sonunda öğrenci, sonuçların özetlendiği, sorunların ve çözümlerin tartışıldığı kısa bir sonuç bölümü hazırlar. Amaç sentez aşamasına ulaşmak ve öğrenciye öğretim programında uzmanlaşma yolundaki alıştırmalarla hangi kısa vadeli hedeflere ulaşıldığını anlama şansı vermektir.

### ÖNEMLİ!!!

**LABORATUAR ALIŞTIRMALARININ GERÇEKLEŞMESİ SIRASINDA ÖĞRENCİLER, ÇEVRENİN KORUNMASI VE İŞ YERİNDE KORUMAYA YÖNELİK YÖNETMELİK VE MKC STANDARTLARININ UYGULANMASINA İLİŞKİN GEREKLİLİKLERE UYGUN OLARAK HAREKET ETMELİDİR:**

- ✓ Uygun davranış kurallarını uygulamak;
- ✓ Sağlıklı alışkanlıklar uygulamak;
- ✓ İşyerinde korumaya ilişkin düzenlemelere uymak;
- ✓ İşyerinde koruyucu önlemler kullanmak.

### Öğrencilerin ve ekipmanın güvenliğine ilişkin kurallar

**Elektrik çarpması** çoğunlukla, bir aletin kazara arızalanması, ekipman ve aletlerin dikkatsizce kullanılması ve güvenlik kurallarına uyulmaması sonucu ortaya çıkan şehir şebekesinin gerilimine bağlı iletken nesnelere dokunulduğunda meydana gelir.

- Pano tablosu ve aletlerin priz bağlantıları, şebeke beslemesinin açılıp kapatılmasında en çok dikkat edilmesi gereken yerlerdir.
- Yalıtımsız iletkenlere elle dokunulmamalıdır.
- Osiloskop, sinyal üretici ve güç kaynağı gibi elektronik alanında alıştırmaların gerçekleştirilemesinde kullanılan aletler şebeke gerilimine bağlıdır. Arıza durumunda cihazın yalıtımsız metal kısımları 220 V gerilim altında olabilir. Bu nedenle aletlerin arka kısmındaki yalıtımsız kısımlara çıplak elle dokunmaktan kaçınılmalıdır.

## Laboratuvar alıştırılmalar

### Mekanik yaralanmalar

**Aletler veya laboratuvar ekipmanlarından kaynaklanan yaralanmalar** – eğer aletler (cımbız, tornavida, pense) kullanılıyorsa, kesilmeleri, çizilmeleri, aletlere, laboratuvar malzemelerine veya gardıropa zarar gelmesini önlemek için bunların dikkatli kullanılması gerekir. Aynı durum osiloskopların ve aletlerin sondaları (probları), pergel, cetvel ve teknik kalem için de geçerlidir.

**Düşme veya çarpma ile yaralanmalar** – egzersizler sırasında sınıfta/laboratuvarda hareket etme ve mekanik engellerin (sırt çantası, ceket, sandalye) varlığı veya dikkatsiz oturma sonucu olarak meydana gelir. Bu yaralanmalardan kaçınılması için ceketlerin ve sırt çantalarının önceden belirlenmiş yere yerleştirilmesi, sandalyelerin alıştırma sonrası düzenlenmesi gerekir, alıştırılmalar sırasında ise öğrencilerin konsantre ve profesyonel bir şekilde davranması gerekmektedir.

Laboratuvar alıştırılmalarının gerçekleşmesi sırasında elektronikte çalışırken uygulanan çevre koruma ve iş güvenliğine ilişkin yönetmelik ve MKS standartlarının uygulanması zorunludur.

### MKC Standartları

Ürünler, sistemler, süreçler veya hizmetlere yönelik gereksinimler ve/veya önerilerle ilgili ve bunları içeren farklı standart türleri vardır. Standartlar aynı zamanda ölçüm ve test yöntemlerini tanımlamanın veya bir sektör içerisinde ortak bir terminoloji oluşturmanın bir yolunu da temsil edebilir. Aslında standartlar, işleri yapmanın üzerinde anlaşmaya varılan bir yolunu temsil eder.

Tanım olarak standart, belirli etkinliklere veya bu etkinliklerin sonuçlarına ilişkin kuralları, yönergeleri ve özellikleri sağlayan, anlaşmayla hazırlanan ve tanınmış bir kuruluş tarafından kabul edilen bir belgedir. Amaç, belirli bir alanda optimal düzeyde düzenleme (birleştirme) elde etmektir.

Standartlar, teknik uzmanlar arasında bilgi paylaşımı ve fikir birliği oluşturma süreci yoluyla geliştirilir ve tanımlanır. Standart, gönüllü olarak uygulanan bir belge olup, deneyim ve teknolojik gelişmelerin sonuçlarına dayanan teknik özelliklerden oluşmaktadır.

**Makedon standardı** Avrupa (EN), uluslararası (ISO/IEC) veya başka bir ulusal standartla (DIN, BS...) aynı olabilir, ancak aynı zamanda sadece ulusal bir standart da olabilir, yani uzmanlar tarafından geliştirilmiş ve Makedon standardı olarak kabul edilebilir. Böyle bir standartın Avrupa düzeyinde veya uluslararası düzeyde kabul edilmesi zorunlu değildir ancak Avrupa standardizasyon kuruluşlarının bu konuda bilgilendirilmesi gerekir.

Çevrenin korunması ve işyerinde koruma konusunda ülkemizde ISO4001 ve ISO45001 uluslararası standartları uygulanmaktadır.

**ISO4001**, çevre koruma yönetiminin işlevsel sistemi için gerekli olan parametreleri tanımlayan uluslararası bir standarttır.

Bu standardın amaçları şunlardır:

Çevreye zararlı etkilerin önlenmesi.

Potansiyel kirlilik risklerinin azaltılması, atıkların azaltılması, enerji tasarrufu.

Çevreyi korumak için uygun önlemleri almak.

**ISO45001**, kuruluşların kaza önleme, risk azaltma ve çalışanların huzurunu dikkate alarak iş faaliyetlerinin sağlık ve güvenlik yönlerini yönetmesine olanak tanıyan bir standarttır. ISO45001 standardının amacı işyerinde yaralanmaları önlemek veya azaltmak ve çalışma koşullarını iyileştirmektir.

Öğrencilerin çalışması gerektiği alan dikkate alınarak enerji yönetimine ilişkin ISO50001 standardını da vurgulamamız gerekir.

**ISO50001** standardı, bir kuruluşun yasal gerekliliklere ve önemli enerji boyutlarına ilişkin bilgilere uygun politikalar ve hedefler geliştirmesine ve uygulamasına olanak sağlayan enerji yönetim sisteminin gerekliliklerini ayrıntılı olarak belirtir.

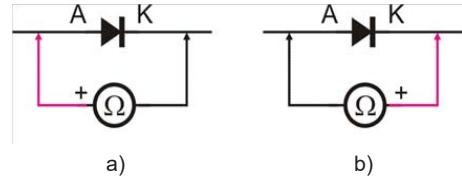
Bu standardın amacı kuruluşların enerji verimliliğini artırmak için gerekli prosedür ve eylemlerden oluşan sistem kurmalarına yardımcı olmaktır.

Sistemik enerji yönetimi, enerji maliyetlerinin azaltılmasına ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına en büyük katkıyı sağlayacaktır.

Laboratuvar alıştırımları**LABORATUVAR ALIŞTIRMASI NO. 1**  
**DİYOTLARIN VE TRANSİSTÖRLERİN TEST EDİLMESİ**

1<sup>0</sup> Diyotların doğruluğu, ohmik ölçüm alanına yerleştirilen üniversal aletle kontrol edilir. Aletteki pil, test probleminin bağlantısına bağlı olarak diyotun doğrudan veya ters kutuplanmasını gerçekleştirir. Düzgün bir diyotu analog aletle test ederken, yönlendirme etkisinden dolayı, ohmmetrenin bir yönde düşük direnç, diğer yönde ise çok yüksek direnç göstermesi gerekir. Çalışan bir diyot, doğrudan kutuplanma sırasında düşük dirence (Şekil 1 a)), ters kutuplanma sırasında ise çok yüksek dirence (Şekil 1 b)) sahiptir. Aletin pozitif kutbuna bağlanan ölçüm probu, K katotunu, negatif kutuptaki prob ise anot A'yı gösterir.

Her iki yönde ölçüm yaparken ohmmetre düşük direnç gösteriyorsa, yani diyot kısa devre yapmışsa diyot kırılma durumundadır. Direnç ise her iki yönde de çok yüksekse kesilmiş durumundadır yani doğru değildir.



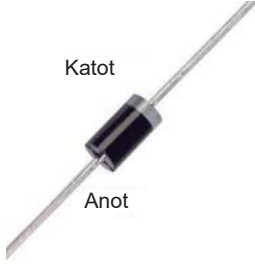
Şekil 1: Diyot doğruluğunun test edilmesi

Tablo 1: Diyotun direnç ve kutupluluğuna bağlı durumu

| Diyotun durumu | Doğrudan kutuplanmada direnç | Ters kutuplanmada direnç |
|----------------|------------------------------|--------------------------|
| Doğru          | Düşük                        | Çok düşük                |
| Kırılmış       | Düşük                        | Düşük                    |
| Kesilmiş       | Çok yüksek                   | Çok yüksek               |

2<sup>0</sup> Dijital üniversal aletle diyotun uçlarını (terminallerini) doğrudan kutuplanma sırasında belirlerken, anot, ohmmetrenin pozitif kutbuna (kırmızı proba) bağlanan uçtur, katot ise ohmmetrenin negatif kutbuna (siyah proba) bağlıdır. Ters kutuplanma durumunda terminaller ters bağlanır.

3<sup>0</sup> Diyotun doğruluğunu kontrol etmenin ve kutuplarını belirlemenin yanı sıra, dijital alet diyotun germanyum ya da silisyum diyotu olduğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Aletin anahtarı, yarı iletkenleri test etmek için alet yaklaşık 1 mA'lık sabit bir test akımında diyotun gerilim düşüşünü ölçtüğü özel alana yerleştirilir – **dioda test**. Doğru bir germanyum diyot, doğrudan kutuplanma sırasında anot ve katot arasında 200

**Elektronika**

ila 400 mV arasında  $U_{AK}$  gerilime, silisyum diyot ise 500 ila 700 mV arasında gerilime sahiptir, ters kutuplanma sırasında ise gerilim çok yüksek değere sahiptir ve alet 1 veya OL (ölçüm aralığını aşan) gösterir.

Diyotun uçları katodun dairesel halkası aracılığıyla da belirlenebilir (Şekil 2).

Şekil 2: Katotun belirtilmesi

Beş diyotun doğruluğunu üniversal aletle test edin ve tabloyu doldurun:

| Diyot türü | Doğrudan kutuplanmada direnç | Ter kutuplanmada direnç | Diyotun durumu |
|------------|------------------------------|-------------------------|----------------|
|            |                              |                         |                |
|            |                              |                         |                |
|            |                              |                         |                |
|            |                              |                         |                |
|            |                              |                         |                |

- Ölçülen değerleri kaydedin:
- Diyotun durumu hakkında yorum yapın.

---



---



---

**Sonuç:**


---



---



---



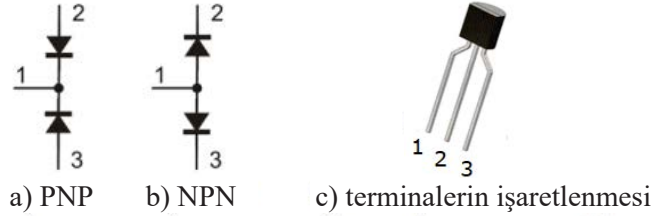
---



---

### Laboratuvar alıştırmalar

4<sup>0</sup> Bipolar transistörün doğruluğu, PNP türünden transistör için ortak katotlu veya NPN türünden transistör için ortak anotlu iki diyot şeklinde olarak transistörün eşdeğer diyagramı kullanılarak kontrol edilir (şekil 3).



şekil 3: Transistör terminallerinin işaretlenmesi

Test, dijital multimetrenin *dioda test* ölçüm alanında ölçülmesiyle gerçekleştirilir. Gerilimler ölçülür ve ölçüm problemlerinin konumu ile elde edilen değerler karşılaştırılarak aşağıdaki metinde açıklandığı gibi transistörün türü belirlenir.

Transistör teminalleri her durum için standart bir şekilde düzenlenmemiştir. Bu yüzden teminallerin düzeninin belirlenmesi gerekmektedir. Test edilen transistörün terminalleri 1, 2 ve 3 ile işaretlenmiştir (şekil 3c) ve her iki terminal arasında her iki yönde ölçümler yapılmaktadır. Sonuçlar Tablo 2'ye göre kaydedilir.

Tablo 2: Transistör terminallerinin test edilmesi

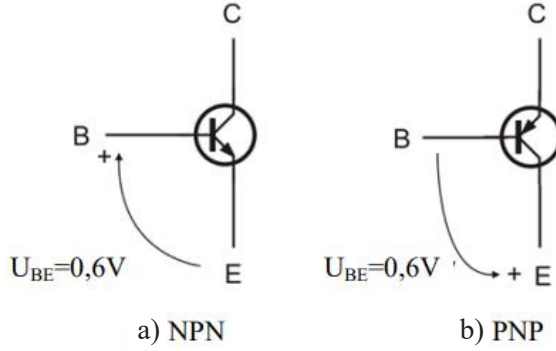
| + Ölçüm probu (kırmızı) | - Ölçüm probu (siyah) | Alette elde edilen sonuç       |
|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Terminal 2'de           | Terminal 3'te         | OL veya 1 – (çok yüksek değer) |
| Terminal 3'te           | Terminal 2'de         | OL veya 1 – (çok yüksek değer) |
| Terminal 1'de           | Terminal 2'de         | 660 mV                         |
| Terminal 2'de           | Terminal 1'de         | OL veya 1 – (çok yüksek değer) |
| Terminal 3'te           | Terminal 1'de         | OL veya 1 – (çok yüksek değer) |
| Terminal 1'de           | Terminal 3'te         | 665 mV                         |

Bu sonuçlar, sayısal değerin elde edildiği tek kombinasyonlar terminal 1 ile 2 arasında ve terminal 1 ile 3 arasında olduğu sonucuna varılabilecek sadece bir örnektir. Her iki kombinasyonun ortak terminali terminal 1'dir ve bu terminal beyz'dir. Terminal 1 ve 2 arasındaki daha küçük sayı, kolektör-beyz bağlantısının iletim gerilimini tanımlamaktadır, bu da terminal 2'nin kolektör olduğunu gösterir. Terminal 1 ve 3 arasındaki daha yüksek sayı, emitör-beyz bağlantısının iletim gerilimini tanımlamaktadır, bu da terminal 3'ün emitör olduğu anlamına gelir.

Ölçülen değerlerin her iki kombinasyonu için aletin kırmızı ölçüm probu (artı) beyzdir ve bu durumda transistör NPN türündendir. PNP transistör türünde problemlerin kutupluluğu Tablo 2’de gösterilenin tersi olacaktır.

Ölçüm bunlara benzer sonuçlar vermiyorsa transistörün arızalı olduğu anlamına gelir.

Transistör türünün test edilmesi, transistör güç kaynağı olan bir elektrik devrede bulunduğu, beyz ile emitör arasındaki  $U_{BE}$  gerilimin ölçülmesiyle de yapılabilir (Şekil 4).  $U_{BE}$  gerilimi pozitifse (kırmızı prob beyz’e bağlıysa), NPN türü transistörü söz konusudur, eğer negatifse, transistör PNP türündendir. Multimetre gerilim alanına yerleştirilsin.



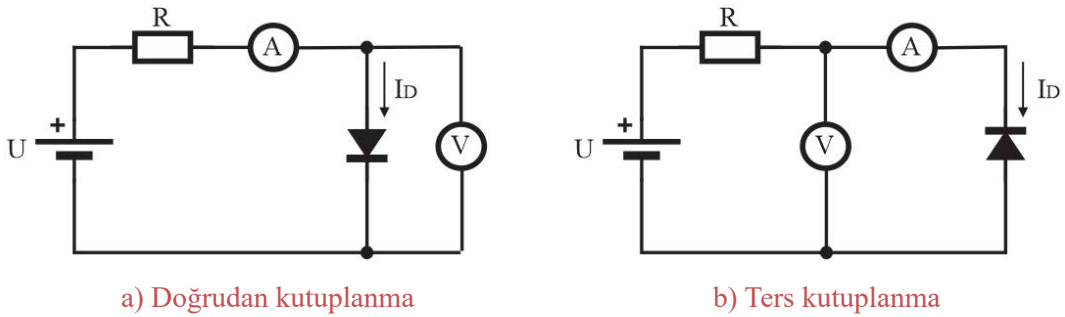
Şekil 4: NPN ve PNP transistörleri için beyz-emitör gerilimleri

Transistörün doğruluğunu üniversal aletle kontrol edin ve tabloyu doldurun:

| + Ölçüm probu (kırmızı) | - Ölçüm probu (siyah) | _____ transistörü için ölçüm aletinde elde edilen değerlere göre transistör _____ ‘dir |
|-------------------------|-----------------------|--|
| Terminal 2’de           | Terminal 3’te         |  |
| Terminal 3’te           | Terminal 2’de         |  |
| Terminal 1’de           | Terminal 2’de         |  |
| Terminal 2’de           | Terminal 1’de         |  |
| Terminal 3’te           | Terminal 1’de         |  |
| Terminal 1’de           | Terminal 3’te         |  |

**LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 2****DİYOTLARIN STATİK ÖZELLİKLERİNİN KAYDEDİLMESİ**

Diyotun akım-gerilim karakteristiğini incelemek için diyotun doğrudan kutuplanmasında ve ters kutuplanmasına test yapılması gerekir. Test devresi gerilimi ölçmek için bir voltmetre, akımı ölçmek için bir ampermetre, bir değişken doğru akım gerilim kaynağı ve devredeki akımı sınırlamak için bir rezistörden oluşur. Elemanlar, şekil 5a)'da gösterilen şemaya göre devre tahtası üzerine monte edilir.



a) Doğrudan kutuplanma

b) Ters kutuplanma

Şekil 5: Akım-gerilim karakteristiğini kaydetme devrelerinde yarı iletken diyotun bağlanması

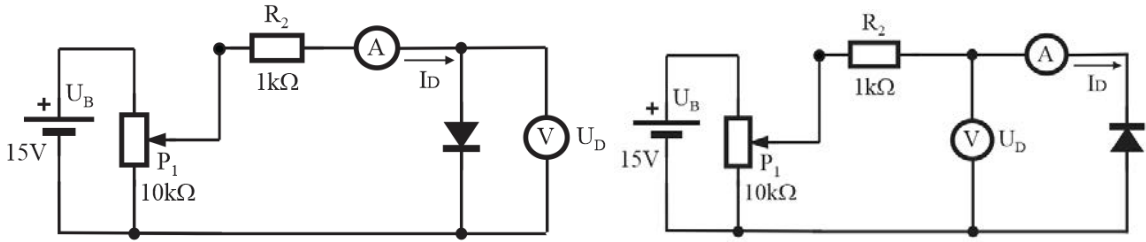
Ampermetre, mA ve A sırasından değerlere sahip olabilen diyot üzerinden geçen akımı ölçer. Voltmetre ile diyotun uçlarındaki çok küçük, en fazla 2 V'a kadar olması gereken gerilimi ölçüyoruz. R rezistörü diyottan geçen akımı sınırlamak için kullanılır. Değeri ve gücü aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır:

$$R = \frac{U_{\max} - U_{D\max}}{I_{D\max}} \approx \frac{U_{\max}}{I_{D\max}} \quad P_R > RI_{D\max}^2$$

Değişken gerilim kaynağının yardımıyla diyotun gerilimi  $U_D$  küçük adımlarla değişir ve değerlerinin her biri için ampermetre üzerindeki diyot üzerinden  $I_D$  akımının değerini okuyoruz. Ölçüm birkaç kez tekrarlanır ve sonuçlar tabloda yazdırılır. Elde edilen gerilim ve akım değerleri için tablodan doldurulmuş değerlerden xy koordinat sisteminde grafik çizilir. x-ekseninde  $U_D$  gerilimin değerleri girilir, y-ekseninde ise uygun bir ölçekte  $I_D$  akımının değerleri girilir.

Ters kutuplanma durumunda diyotun karakteristiklerini test etme devresi şekil 5 b)'de gösterilmiştir. Çoğu diyot yüksek ters gerilime dayandığından ve ters akım çok küçük olduğundan koruma rezistörüne ihtiyaç yoktur. Diyot karakteristiğini ters kutuplanmada test etme süreci doğrudan kutuplanmada olduğu gibi aynıdır. Değişken kaynak ile voltmetrede okuduğumuz diyotun gerilimini değiştiriyoruz, ampermetre ile ise diyottan  $\mu\text{A}$  sırasından olan akımı ölçüyoruz. Başlangıçtaki gerilim değişiklikleri büyük olabilir ancak akım keskin bir şekilde yükselmeye başladığında bu, kırılma gerilimi değerine ulaşıldığı anlamına gelir. Devamda diyotun bozulmaması ve grafikten birkaç nokta daha belirlemesi için giriş gerilimdeli değişiklikler küçük olmalıdır. Elde edilen tüm değerler tabloya girilir ve ters kısımda (-x ve -y) grafik çizilir. Elde edilen grafikten diyotun karakteristikleri belirlenebilir.

Silisyum diyotun statik karakteristiğini kaydetmek için, Şekil 6'da a) altında diyotun doğrudan kutuplanması için, b) altında diyotun ters kutuplanması için gösterilen şemaları kullanın.



Şekil 6: Bir diyotun  $I_D=f(U_D)$  statik karakteristiğini kaydetme devresi

a) birinci çeyrekte  
(doğrudan kutuplanma)

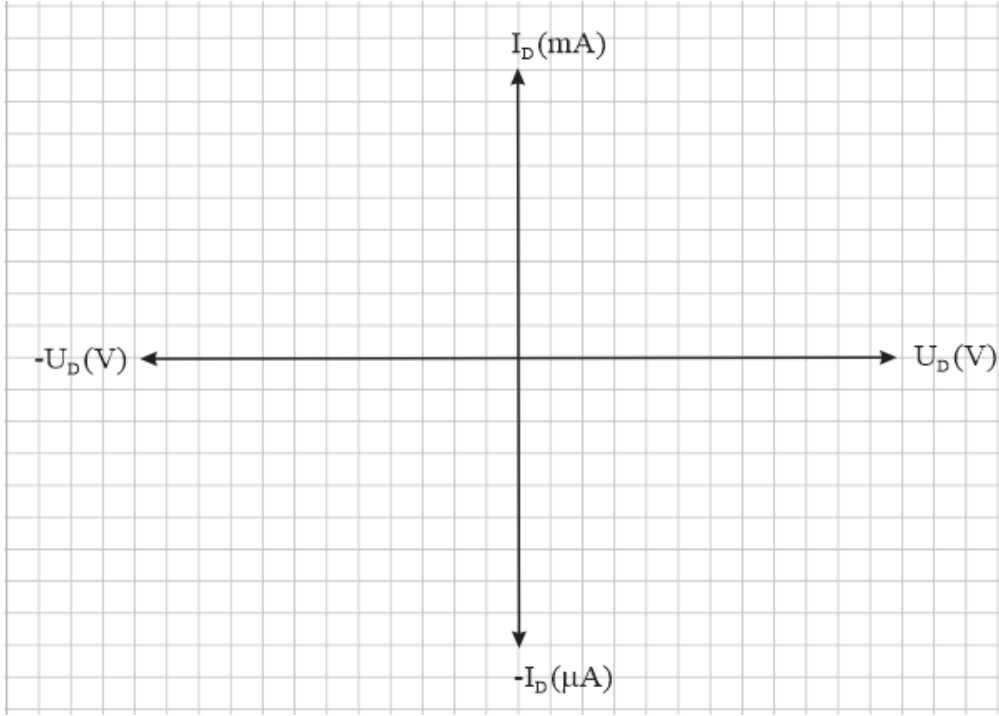
b) üçüncü çeyrekte  
(ters kutuplanma)

$P_1$  potansiyometre 'nin konumunu değiştirerek, diyotun  $U_D$  gerilimini tablodan verilen değerlere ayarlarsınız ve aynı tabloda ampermetre ile ölçülen diyot üzerinden akımın karşılık gelen değerlerini yazarsınız (doğrudan kutuplanmada mA sırasından, ters kutuplanmada ise  $\mu\text{A}$  sırasından ).

|                               |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_D$ (mV) – doğrudan         | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 |
| $I_D$ (mA)- doğrudan          |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_D$ (V) – ters              | 0 | 1   | 3   | 5   | 7   | 9   | 10  | 11  | 12  | 14  | 15  |
| $I_D$ ( $\mu\text{A}$ )- ters |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## Laboratuvar alıştırmalar

Elde edilen sonuçları koordinat sistemine girin,  $x$ -eksenine kendimiz verdiğimiz  $U_D$  doğru gerilim değerlerini (bağımsız değerışken),  $y$ -ekseninde ise diyottan geçen akımın değerini (bağımlı değerışken) uygulayın.



**Sonuç:**

---

---

---

---

---

## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 3

## “VE” ve “VEYA” İKİ GİRİŞLİ MANTIK DEVRELERİ

Diyotlu “VEYA” mantık devresi mantıksal toplama işlemini gerçekleştirir. A ve B anahtarları aracılığıyla  $U_{cc}$  güç kaynağına bağlanan iki diyottan,  $D_1$  ve  $D_2$  ve R rezistörü ile temsil edilen bir tüketiciden oluşur. Anahtar kombinasyonlarına bağlı olarak,  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları için dört kutuplanma durumu elde edilir (Şekil 7).

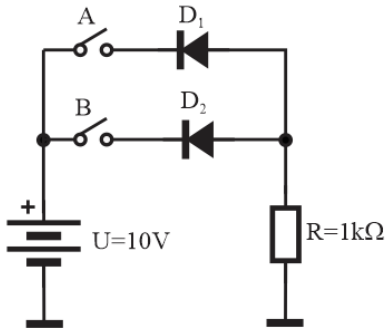
Diyotlu “VE” mantık devresi mantıksal çarpma işlemini gerçekleştirir. “VEYA” mantık devresinden farklı olarak anahtarlar toprağa bağlanır (Şekil 8).

**Gerekli elemanlar:**

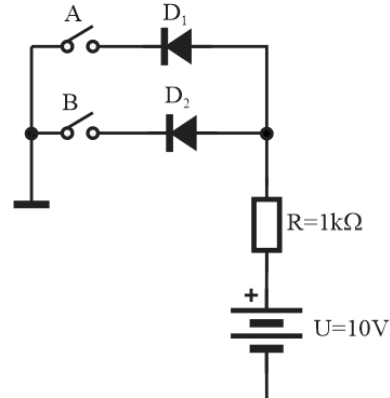
$D_1$  ve  $D_2$  – 2x1N4001 diyot

$R=1\text{ k}\Omega$  – rezistör

$U=10\text{ V}$  – doğru gerilim kaynağı



Şekil 7: VEYA mantık devrenin elektrik şeması



Şekil 8: VE mantık devrenin elektrik şeması

**Adım 1**

Devreler verilen şemalara göre bağlansın. (Diyotların kutuğluluğuna dikkat edilsin, katot gümüş halkayla işaretlenmiştir).

**Adım 2**

R rezistörüm uçlarındaki gerilim ölçülsün ve A ve B anahtarlarının tüm kombinasyonları için sonuçları tabloda yazılsın.

**Laboratuvar alıştırmalar**

Şekil 5 tablosu:

| Giriş durumları |        | R rezistör gerilimi |
|-----------------|--------|---------------------|
| A               | B      |                     |
| Açık            | Açık   |                     |
| Açık            | Kapalı |                     |
| Kapalı          | Açık   |                     |
| Kapalı          | Kapalı |                     |

Şekil 6 tablosu:

| Giriş durumları |        | R rezistör gerilimi |
|-----------------|--------|---------------------|
| A               | B      |                     |
| Açık            | Açık   |                     |
| Açık            | Kapalı |                     |
| Kapalı          | Açık   |                     |
| Kapalı          | Kapalı |                     |

“Açık anahtar”ı mantıksal “0” ve “kapalı anahtar”ı mantıksal “1”, “düşük çıkış seviyesi”ni mantıksal “0” ve “yüksek çıkış seviyesi”ni mantıksal “1” ile eşdeğerlersek, sonuçları tanımlanmış mantıksal işlemlere göre kontrol.

**Sonuç:**


---



---



---



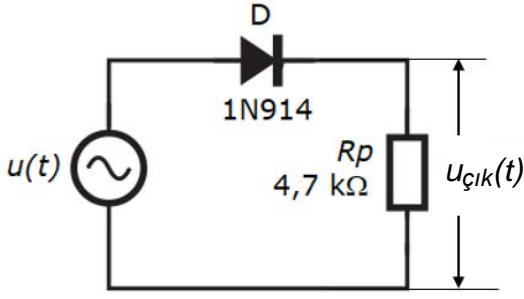
---



---

## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 4 TEK DİYOTLU DOĞRULTUCU

Bir diyotlu yarım dalga doğrultucunun gerçekleştirilmesi için, elemanları lehimlemeden devre tahtasına yerleştirerek veya baskılı devre kartı üzerine lehimleyerek, Şekil 9'da verilen şemaya göre bağlamak gerekir.



Şekil 9: Yarım dalga doğrultucu devresi

1N914 için katalog verileri:

$$I_F = 300 \text{ mA}, U_{BR} = 75 \text{ V}, P_{DMAX} = 500$$

törden elde edilir. Fonksiyon jeneratörü 100 Hz frekansa ve 6 V gerilime (tepeden tepeye) ayarlınsın.

Giriş ve çıkış gerilimin gerilim biçimlerini izlemek ve karşılaştırmak için iki kanallı osiloskop kullanılır. Giriş gerilimi bir kanala, çıkış gerilimi ise ikinci kanala bağlanır. Her iki kanal için V/div anahtarını bölme alanı başına 500 mV'ye ayarlınsın. Giriş ve çıkış gerilimleri için elde edilen osilogramlar aynı koordinat sisteminde çizilsin ve karşılık gelen büyüklükler işaretlensin. Giriş sinüzoidal gerilim fonksiyon jenera-

YAPINIZ



## Laboratuvar alıştırmalar

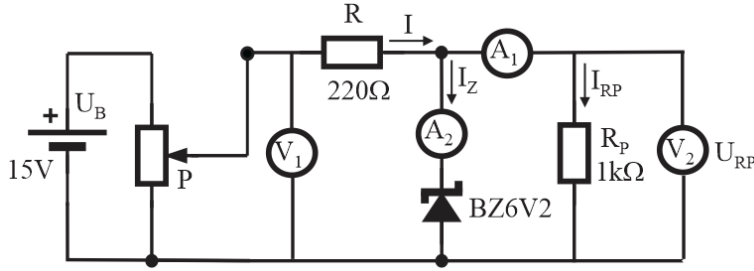
**Osiloskop**, elektrik sinyallerinin periyodik, periyodik olmayan ve rastgele dalga biçimlerinin genellikle zamana bağlı analitik bir fonksiyon olarak grafik biçiminde görsel olarak temsil edilmesini sağlayan elektronik bir alettir. Ekranında, temel çalışma düzeninde osilogram elde edilir, bu, giriş elektrik büyüklüğün dalga biçiminin görüntüsüdür. Elektrik sinyalin dalga biçimlerinin görsel olarak izlenmesi yanı sıra, bir osiloskopa şunlar ölçülebilir: sinyalin genliği, periyodu, frekansı, faz farkı; doğrusal olmayan bozulmalar; dürtü sinyallerinin ve gerilim yükselmelerinin oluşma zamanı; hem doğru akım hem alternatif akım dolaylı olarak ölçülebilir.

Osiloskoplar bir veya iki elektron fişkırtmalı olabilir. Çift fişkırtmalı çift kanallı osiloskop ile, birbiriyle ilişkili iki sinyal arasındaki göreceli ilişki belirlenebilir.



## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO 5 TEK DİYOTLU DOĞRULTUCU

Zener diyotlu gerilim dengeleyici gerçekleştirmek için, lehimlemeden bir devre tahtası üzerine yerleştirilmiş veya bir baskılı devre kartı üzerine lehimlenmiş olarak, elemanların Şekil 10’da verilen şemaya göre bağlanması gerekir.



Şekil 10: Zener diyotlu gerilim dengeleyici devresi

Devrenin girişine 15 V’luk doğru gerilim kaynağı bağlanır, potansiyometre P ile  $U_1$  gerilimin değeri 1 V’luk adımlarla 0 V’den 15 V’a değiştirilir, çıkışta ise gerilimi  $V_2$  voltmetre ile ölçülen tüketici  $R_p$  bağlanır. Miliampermetre  $A_1$  tüketiciden geçen akımı,  $A_2$  ise Zener diyottan geçen akımı ölçer. Aletlerin ölçtüğü değerler verilen tabloda yazılsın.

| $U_1$ (V)     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| $U_{RP}$ (V)  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| $I_{RP}$ (mA) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| $I_Z$ (mA)    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

Elde edilem ölçüm sonuçlarına göre çıkış gerilimin, çıkış akımının ve Zener diyottan geçen akımın giriş gerilimle bağımlılığını çizin!

Bu devrenin gerilim dengeleyici olarak çalışması için giriş gerilimin minimum değerini belirleyin!

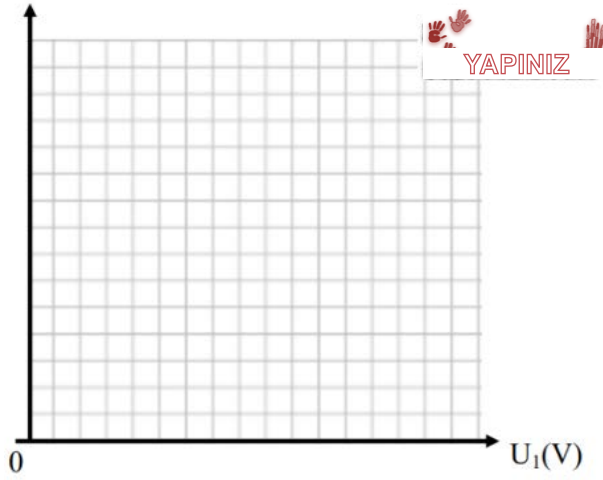
DZ6V2’nin kırılma bölgesi için katalog verileri:

$$U_{MIN} = 5,89 \text{ V,}$$

$$U_{MAX} = 6,6 \text{ V,}$$

$$P_{DMAX} = 225 \text{ mW.}$$

## Laboratuvar alıştırmalar



Bu diyotun maksimum güç tüketimi  $P_{DMAX} = 225 \text{ mW}$  ise Zener diyotun yanmıyacağı maksimum giriş gerilimi ne kadardır?

15 V sabit giriş gerilimi ile tüketicinin direnci tabloda verilen değerlerle değiştirilsin ve voltmetre ile çıkış gerilimin değerleri ölçülsün.

| $R \text{ (k}\Omega\text{)}$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 3 | 5 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
| $U_{RP} \text{ (V)}$         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |   |   |

Bu devrenin gerilim dengeleyici olarak çalışması için minimum tüketici direnç değerini belirleyin!

### Sonuç:

---



---



---



---



---

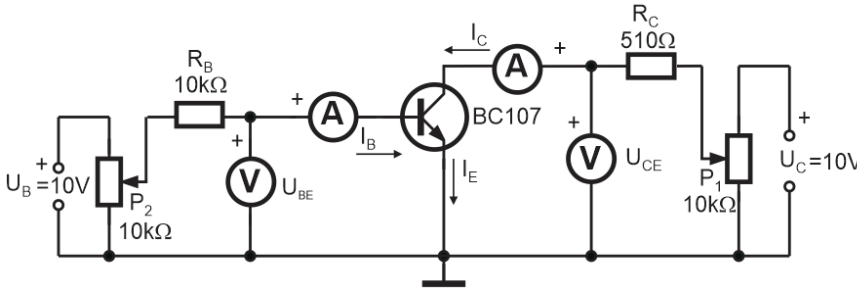
## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO 6

BİPOLAR TRANSİSTÖRLERİN STATİK ÖZELLİKLERİNİN  
KAYDEDİLMESİ

Ortak emitör bağlantılı transistöründe, dört büyüklüğün birbirine bağlılığı açıkça ifade edilir. Bunlar: giriş büyüklükleri olarak beyz akımı  $I_B$  ve beyz-emitör gerilimi  $U_{BE}$  ve çıkış büyüklükleri olarak kolektör akımı  $I_C$  ve kolektör-emitör gerilimi  $U_{CE}$ 'dir. Onların bağımlılıkları, transistörün statik karakteristikleri aracılığıyla grafiksel olarak gösterilebilir. Şunlar inceleniyor:

- $\Rightarrow I_B = const.$  için çıkış karakteristiği  $I_C = f(U_{CE})$ ;
- $\Rightarrow U_{CE} = const.$  için iletim karakteristiği  $I_C = f(I_B)$ ;
- $\Rightarrow I_B = const.$  için giriş karakteristiği  $I_B = f(U_{BE})$ .

Şekil 11'de, transistörün karakteristiklerini test etme devresi gösterilmiştir. Bir transistörün statik karakteristiklerini test etme süreci, yarı iletken diyotların karakteristiklerini test etme süreciyle aynıdır.



**Not:**

**Alıştırma başka bir transistörle de gerçekleştirilebilir!**

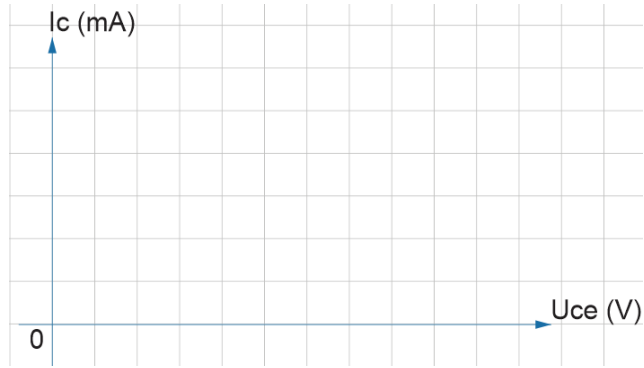
Şekil 11: NPN-transistörün statik karakteristiklerini kaydetme devresi

Ölçülen karakteristiklerden ilki, potansiyometre  $P_2$  ile akım  $I_B$ 'nin 0 olarak ayarlanır ve potansiyometre  $P_1$  ile  $U_{CE}$  gerilimin sıfırdan başlayarak 10 V'a kadar, 1 V'luk adımlarla değiştirilir ve  $I_B$  akımının gücünü değiştirmemeye dikkat ederek her adım için  $I_C$  akımın değeri kaydedilerek ölçülür. Ardından  $P_2$  potansiyometresi 10  $\mu A$ 'lık  $I_B$  akımı elde edecek şekilde düzenlenerek bir sonraki eğri kaydedilir ve tüm süreç daha önce olduğu gibi tekrarlanır.  $I_B$  akımının gücünü 20  $\mu A$ , 30  $\mu A$  değerlerine değiştirerek diyagramın diğer tüm kalan eğrileri elde edilir.

## Laboratuvar alıştırımlar

|                  | $U_{CE}$ (V) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $I_B = 0$        | $I_C$ (mA)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| $I_B = 10 \mu A$ | $I_C$ (mA)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| $I_B = 20 \mu A$ | $I_C$ (mA)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| $I_B = 30 \mu A$ | $I_C$ (mA)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

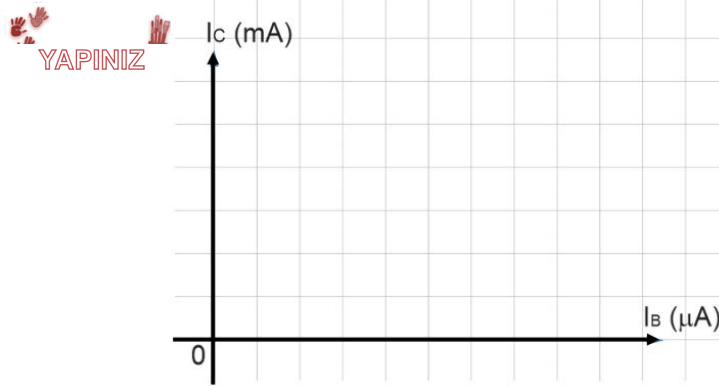
Elde edilen sonuçları  $I_C - U_{CE}$  koordinat sistemine girin ve noktaları birleştirerek  $I_B = 0/10/20/30 \mu A$  için  $I_C = f(U_{CE})$  eğrisini elde edeceksiniz.



İletim karakteristiklerinin kaydedilmesi aynı ölçüm devresi ile yapılabilir.  $U_{CE}$  gerilimi,  $P_1$  potansiyometresi ile bir değere, örneğin 2 V'luk değere ayarlanır, ardından  $P_2$  ile beyz akımı  $5 \mu A$ 'lık adımlarla değiştirilir ve miliampermetrede kolektör akımının değerleri okunur. Bu arada,  $U_{CE}$  gerilimin değerinin değişmediğinden emin olunmalıdır. Değişirse, önce o gerilime  $P_1$  ile düzeltme yapılır, ondan sonra  $I_C$  akımının değeri okunur. Bir sonraki ölçüm,  $U_{CE}$  gerilimin daha büyük değeri, örneğin 10 V gibi değerinde, sonraki ölçüm 15 V'ta vs.

|                 | $I_B$ ( $\mu A$ ) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|-----------------|-------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| $U_{CE} = 2 V$  | $I_C$ (mA)        |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| $U_{CE} = 10 V$ | $I_C$ (mA)        |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| $U_{CE} = 15 V$ | $I_C$ (mA)        |   |   |    |    |    |    |    |    |    |

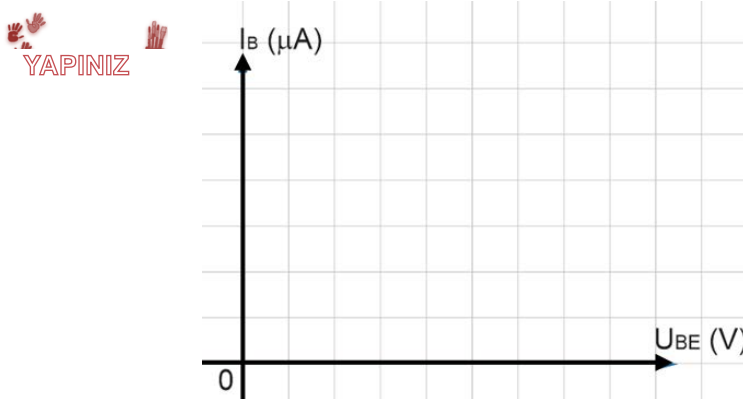
Elde edilen sonuçları  $I_C-I_B$  koordinat sisteminde girin:



Giriş karakteristikleri de aynı devre ile kaydedilir, ancak  $P_2$  potansiyometresi ile  $U_{CE}$  gerilimin değeri 2 V'a ayarlanır,  $P_1$  potansiyometresi ile ise  $U_{BE}$  gerilimi sıfırdan 0,7 V'a kadar değiştirilir ve her adım için  $U_{CE}$  gerilimin değişmediğine dikkat edilerek  $I_B$  akımının değeri not edilir. Bir sonraki eğrinin kaydedilmesi için, böylece  $P_2$  potansiyometresi  $U_{CE}$  gerilimin 10 V'luk elde edecek şekilde ayarlanır ve tüm süreç daha önce olduğu gibi tekrarlanır. Elde edilen sonuçlar  $I_B-U_{BE}$  koordinat sistemine girilir ve noktalar birleştirilerek  $U_{CE} = \text{const.}$  için  $I_B = f(U_{BE})$  eğrisi elde edilir.

|               | $U_{BE}$ (V) | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,62 | 0,65 | 0,7 |
|---------------|--------------|---|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|
| $U_{CE}=2$ V  | $I_B$ (μA)   |   |     |     |      |     |      |     |      |      |     |
| $U_{CE}=10$ V | $I_B$ (μA)   |   |     |     |      |     |      |     |      |      |     |

Elde edilen sonuçları  $I_B-U_{BE}$  koordinat sisteminde girin.

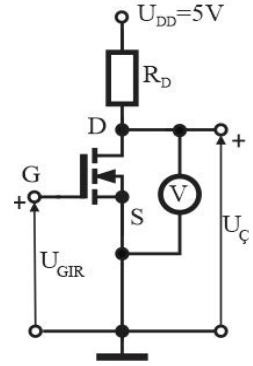


Laboratuvar alıştırımlar**LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO.7****UNİPOLAR MOSFET TRANSİSTÖRLERİNİN İLETİM KARAKTERİSTİKLERİNİN KAYDEDİLMESİ**

Şekil 12’de, N-kanallı MOSFET BS170’e sahip invertör devresini gösterilmiştir. Giriş gerilimi  $U_{GIR}$ , tabloda verilen değerlere ayarlanır,  $U_{ÇIK}$  çıkış geriliminin değeri ise voltmetrede okunur.

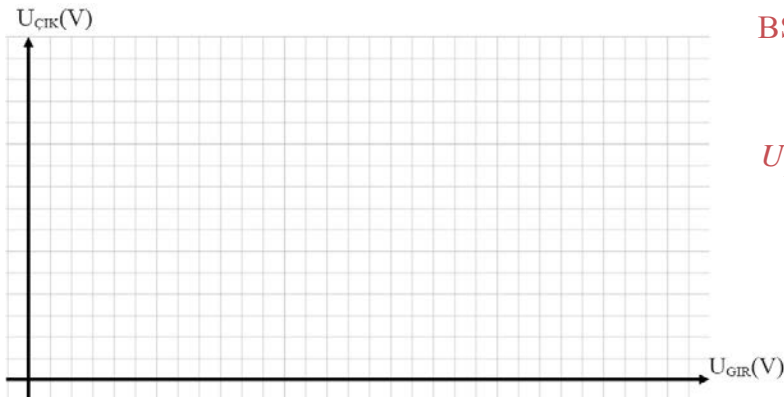
$R_D$  direncinin 100  $\Omega$ , 500  $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  gibi farklı değerleri için ölçülen değerler tabloda yazılsın.

Aynı grafikte,  $R_D$  direncinin her değeri için çıkış geriliminin girişe elde edilen bağımlılıkları çizsin.



Şekil 12: N-kanallı MOSFET’li invertör

| $U_{IN}$ (V)                               | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,9 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
|--|---|-----|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|---|-----|---|
| $U_{ÇIK}$ (V)/<br>$R_D=100 \Omega$         |   |     |   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |     |   |     |   |
| $U_{ÇIK}$ (V)/<br>$R_D=500 \Omega$         |   |     |   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |     |   |     |   |
| $U_{ÇIK}$ (V)/<br>$R_D=1 \text{ k}\Omega$  |   |     |   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |     |   |     |   |
| $U_{ÇIK}$ (V)/<br>$R_D=10 \text{ k}\Omega$ |   |     |   |     |   |     |     |     |     |     |     |   |     |   |     |   |



BS170 İndüklenmiş kanallı N-Kanallı MOSFET için katalog verileri:

$$U_{DS(SAT)}=60 \text{ V}, I_D=500 \text{ mA}, P_{D(MAX)}=830 \text{ mW}.$$



Grafikten  $U_T$  iletim geriliminin değerini belirleyin.  $U_T = \underline{\hspace{2cm}}$  (V)  
Elde edilen grafik neyi temsil ediyor?

## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 8

## ORTAK EMİTERLÜ YÜKSELTEÇİN TASARLANMASI

## Uygulama adımları:

İlk adım transistör seçmektir, bizim tercihimiz BC107 NPN transistördür. Seçilen transistörün karakteristiklerini çevrimiçi katalog kullanarak belirlensin (datasheet örneğin: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/21963/STMICROELECTRONICS/BC107.html>). Kolektörü beslemek için kullanılan doğru gerilim için, izin verilen maksimum  $U_{CEmax}$  gerilimden (katalog değeri 45 V) daha düşük değer seçilmiştir. 12 V'luk güç kaynağı seçiyoruz ( $U_{CC}=12$  V). Ardından rezistör için  $U_{RE}$  dengeleyici gerilimi belirliyoruz. Bu gerilimin yükseltmeye etkisinin olmaması için değeri  $U_{CC}$  gerilimin %10 ila %30'u arasında seçiliyor,  $U_{RE}=2$  V seçiyoruz. Çalışma noktasının en uygun konumu çalışma hattının ortası olduğundan, çalışma noktasındaki  $U_{CEM}$  kolektör-emitör gerilimi için  $U_{CEM}=6$  V değeri elde edilecektir.  $R_E$  rezistörün olması nedeniyle,  $U_{CEM}$  gerilimi şu şekilde belirlenir:

$$U_{CEM} = \frac{U_{CC} - U_{RE}}{2} = \frac{12 - 2}{2} = 5 \text{ V}$$

$R_C$  rezistörde gerilim düşüşünün büyüklüğüne göre:

$$U_{RC} = U_{CC} - U_{CE} - U_{RE} = 12 - 5 - 2 = 5 \text{ V}$$

$R_C$  rezistörün değeri 0,5 ila 5 k $\Omega$  arasında değişir, dolayısıyla  $R_C$  direnci için 2 k $\Omega$  değerini seçiyoruz.

Kolektör akımının çalışma noktasındaki değerini belirlemek için aşağıdaki ilişkiyi kullanacağız:

$$I_{CEM} = \frac{U_{CEM}}{R_C} = \frac{5}{2 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ mA}$$

$R_E$  rezistörün değerini  $I_E \approx I_C = 2,5$  mA olduğunu varsayarak belirliyoruz:

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_E} = \frac{2}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 0,8 \text{ k}\Omega$$

$R_E = 820 \Omega$  katalog değerini seçiyoruz.

Katalogdan beyz akımın değeri  $h_{fe} = 110$  ve bununla beyz akımını büyüklüğünü hesaplıyoruz:

## Laboratuvar alıştırmalar

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{110} = 22,7 \mu\text{A}$$

Beyzin gerilimi için aşağıdaki değeri elde ediyoruz:

$$U_B = U_{RE} + 0,7 = 2,7 \text{ V}$$

Beyzin kutuplanmasında  $R_1$  ve  $R_2$  rezistörlerin değerleri, içlerinden beyz akımından çok daha yüksek akımının aktığını varsayarak belirlenir. Beys akımı değişimi beyz kutupluluğunu etkilememek için  $I_1 \gg I_B$  olduğu alınabilir. Eğer şunu tahmin edersek:

$$I_1 = 5 \cdot I_B = 5 \cdot 22,7 \cdot 10^{-6} = 113,5 \mu\text{A}$$

$U_{CC} = (R_1 + R_2) \cdot I_1$  ifadesinden, şunu elde ediyoruz:

$$\rightarrow R_1 + R_2 = \frac{U_{CC}}{I_1} = \frac{12}{113,5 \cdot 10^{-6}} = 105,7 \text{ k}\Omega$$

$R_2$  rezistörün değerini beyzin geriliminden belirliyoruz:

$$R_2 = \frac{U_B}{I_1} = \frac{2,7}{113,5 \cdot 10^{-6}} = 23,7 \text{ k}\Omega$$

Rezistörler için katalog değerlerinden 24 k $\Omega$  değerini seçiyoruz.

$R_1$  rezistörün direncini aşağıdaki farktan belirliyoruz:

$$R_1 = 105,7 \cdot 10^3 - 24 \cdot 10^3 = 81,7 \text{ k}\Omega$$

$R_1 = 82 \text{ k}\Omega$  katalog değerini seçiyoruz.

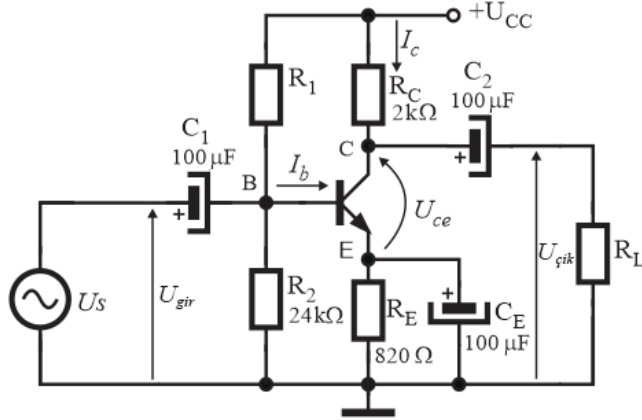
Elektrolitik bağlanma kapasitörleri  $C_1$  ve  $C_2$ , reaktansları  $X_C$ , yükselteçin giriş direncinden veya herhangi bir tüketici, direncinden yeterince düşük olacak şekilde seçilir. Bu nedenle onluklar deviyesinde, yani  $\mu\text{F}$  düzeyinde daha yüksek kapasitanslı kapasitörler seçilir.

Alternatif sinyalin  $R_E$  rezistöründen geçmemesi için elektrolitik kapasitör  $C_E$ 'nin de küçük  $X_{CE}$  reaktansına sahip olması gerekir. Aşağıdaki koşul karşılanırsa bu pratik olarak başarılabilir:

$$X_{CE} = \frac{1}{\omega C_E} \leq \frac{1}{10} R_E = \frac{1}{10} 0,82 \cdot 10^3 = 82 \Omega$$

Bizim durumumuzda 100  $\mu\text{F}$  değerindeki tüm kapasitörleri alacağız.

## Uygulamanın elektrik şeması

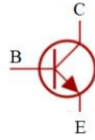


Şekil 13: Ortak emitör bağlantılı yükselteçin elektrik şeması şeması

1. Elde edilen elemanlar, yükselteçin verilen şemasına göre devre tahtasına monte edilsin (şekil 13)!

Transistörü devre tahtasına ve baskılı karta monte ederken terminallerin sırasına dikkat edilsin (şekil 14)!

Elektrolitik kapasitörün kutupluluğuna dikkat edilsin, negatif terminalin kasası üzerine “-” işaretinin yazılı olduğu dikey gri bir şerit ile işaretlenmiştir (şekil 15).



Şekil 14: Transistör terminallerinin sıralanması



Şekil 15: Elektrolitik kapasitörün işaretlenmesi

2. Üniversal aletle,  $U_{CE}$  doğru gerilimi, kolektör ve beyz akımları ölçülsün.

$$U_{CE} = \text{_____}, I_C = \text{_____}, I_B = \text{_____} .$$

3. Çıkış karakteristiklerinde çalışma doğrusu çizilsin!

Çalışma çığisinin uç noktaları aşağıda verilen denklemden belirlenir:

$$U_{CC} = U_{CE} + (R_C + R_E)I_C$$

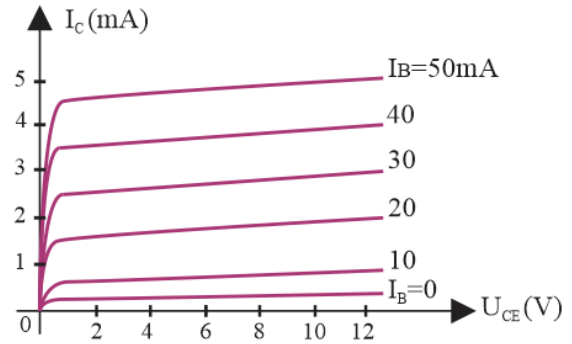
$$I_C = 0 \text{ olduğunda } U_{CE} \text{ için şu elde edilir: _____}$$

$$U_{CE} = 0 \text{ olduğunda } I_C \text{ için şu elde edilir: _____}$$

Laboratuvar alıştırılmalar

4. M çalışma noktasının konumu belirlensin!

5. Baskılı devre kartın yapılması için gerekli montaj şemasını yapılınsın.

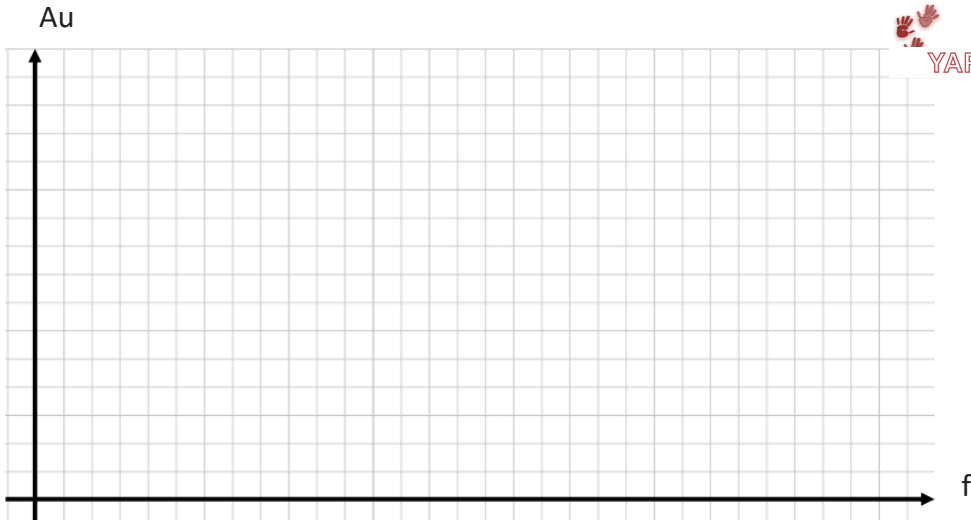


6. Baskılı devre kartı yapılınsın, elemanları verilen şemaya göre monte edilsin ve lehimlensin.

7. Yükseltecin girişine bir ses üretici bağlansın. Giriş gerilimin değeri 10 mV olarak ayarlansın. Frekans tablodaki verilen değerlere göre değışsin ve karşılık gelen çıkış gerilimin değeri ölçülsün. Sonuçlar tabloda yazılınsın. Gerilim yükeltmesi hesaplansın.

| $f$ (kHz)               | 0,02 | 0,05 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1 | 10 | 50  | 100 | 150 | 200 |
|-------------------------|------|------|-----|-----|-----|---|----|-----|-----|-----|-----|
| $\log(f)$               | 1,3  | 1,7  | 2   | 2,5 | 2,7 | 3 | 4  | 4,7 | 5   | 5,2 | 5,3 |
| $U_{çık}$ (V)           |      |      |     |     |     |   |    |     |     |     |     |
| $A_U = U_{çık}/U_{gir}$ |      |      |     |     |     |   |    |     |     |     |     |

8. Yükseltmenin frekansa bağımlılığı çizilsin.



## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO.9

## TRİSTÖRÜN STATİK KARAKTERİSTEKLERİNİN TEST EDİLMESİ VE KAYDEDİLMESİ

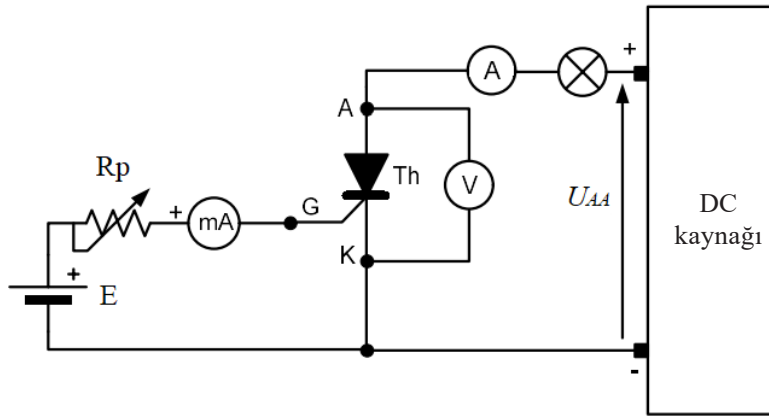


Şekil 16: Tristör sembolü

Tristör sembolünün bağlantıları A-anot, K-katot ve G-gejt veya kapı olarak işaretlenmiştir (Şekil 16). Bir tristör, bağlantıları arasındaki direnç ölçülerek test edilir. (A-K ve G-K). Anot ve katot arasındaki direnç her iki yönde yüksektir. Gejt ile katot arasındaki direnci ölçerken tristör türüne bağlı olarak farklı direnç elde edilmelidir. Bu direnç her iki yönde çok yüksekse tristörde kesinti olduğu demektir. Elde edilen sonuçlar verilen tabloda girilsin.

|                | Th1 | Th2 | Th3 |
|----------------|-----|-----|-----|
| $R_{AK}$       |     |     |     |
| $R_{KA}$       |     |     |     |
| $R_{GK}$       |     |     |     |
| $R_{KG}$       |     |     |     |
| Düzgün/arızalı |     |     |     |

Şekil 17’de, transistörün doğru gerilim yardımıyla karakteristiklerini test etme devresi gösterilmiştir. Gejt akımı ayarlanır ve ayarlanan değerde korunur.  $U_{AA}$  gerilimin değeri, tristör iletilinceye kadar kademeli olarak artar. Aynı süreç  $I_G$ ’nin diğer değerleri için de tekrarlanır.



Şekil 17: Tristörün statik karakteristiğini kaydetme devresi

## Laboratuvar alıştırımları

Anot ile katot arasındaki  $U_{AK}$  gerilimi ve bunlardan geçen akım için ölçülen değerler verilen tabloda yazılsın.

Doğrudan engelleme durumunda olan tristörün karakteristiğinin kaydedilmesi:

| $I_G = \underline{\hspace{2cm}}$ mA değerine ayarlınsın ve ayarlanan değerde korunsun |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $U_{AA}$ (V)  | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
| $I_{AK}$ (mA)   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $U_{AK}$ (V)  |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Tristör karakteristiğinin doğrudan iletim durumunda kaydedilmesi: Tristörün iletmeye başlayınca, uyarıma kapatılsın ve  $U_{AA}$  gerilimi tabloda verilen adımlarla kademeli olarak azalsın. Anot ile katot arasındaki  $U_{AK}$  gerilimi ve bunlardan geçen akım için ölçülen değerler verilen tabloda yazılsın.

| $I_G = \underline{\hspace{2cm}}$ mA, $U_{AA} = 15$ V'luk gerilim verilen adımlarla azalsın |    |    |    |   |   |   |   |
|--|----|----|----|---|---|---|---|
| $U_{AA}$ (V)   | 15 | 13 | 11 | 9 | 7 | 5 | 3 |
| $I_{AK}$ (mA)  |    |    |    |   |   |   |   |
| $U_{AK}$ (V)   |    |    |    |   |   |   |   |

Tristör karakteristiğinin Ters engelleme durumunda kaydedilmesi: Tristör uyarılmaz, kontrol devresi kapalıdır,  $U_{AA}$  gerilimi ile tabloda verilen ters gerilimler ayarlanır. Anot ile katot arasındaki  $U_{AK}$  gerilim ve bunlardan geçen akım için ölçülen değerler verilen tabloda yazılsın.

| $I_G = 0$ ve $U_{AA}$ gerilimi için verilen değerler ayarlınsın |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{AA}$ (V)  | 0   | -2  | -4  | -6  | -8  | -10 | -12 | -14 |
| $I_{AK}$ ( $\mu$ A)   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_{AK}$ (V)  |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_{AA}$ (V)  | -16 | -18 | -20 | -22 | -24 | -26 | -28 | -30 |
| $I_{AK}$ ( $\mu$ A)   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_{AK}$ (V)  |     |     |     |     |     |     |     |     |

7. Elde edilen karakteristikler çizilsin.



**Sonuç:**

---

---

---

---

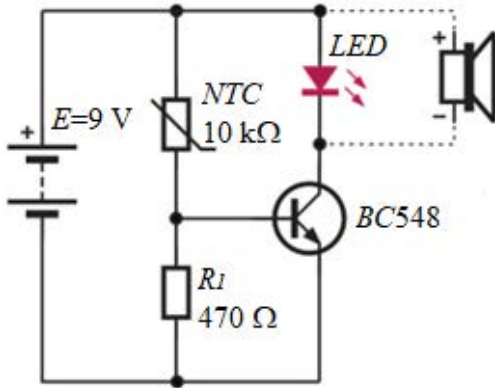
---

Laboratuvar alıştırmalar

## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO.10

### NTC TERMİSTÖRLÜ YANGIN ALARMI

Şekil 18’de yangın alarmının elektrik şeması gösterilmektedir. Alarmın sesli sinyalizasyon devresi ile değiştirilebilen LED diyotu, sıcaklık arttığında otomatik olarak açılacaktır. Bu elektirik devre, LED diyotunun fan ile değiştirilmesi durumunda otomatik fan kontrol cihazı olarak kullanılabilir. Termistörün oda sıcaklığındaki direnci, üretici tarafından katalog verilerinde belirtilir, böylece belirli bir uygulama için uygun termistör seçilebilir.



Şekil 18: Yangın alarmının elektrik şeması

Gerekli elemanlar:

NTC 103 termistörü (10 kΩ)

BC 548 NPN transistörü

$R_1=470 \Omega$  rezistörü

LED diyot

$E=9 \text{ V}$  pil.

⇒ Gerekli termistör için katalog verileri çıkarılsın!

⇒ BC548 için katalog verilerini kullanarak terminallerin sıralamasını belirleyin!

- Seçilen simülasyon programında elektrik devresi simüle edilsin.
- Baskılı devre kartın yapımı için gerekli montaj şeması oluşturulsun.
- Baskılı devre kartı yapılsın, elemanları verilen elektrik şemasına göre monte edilsin ve lehimlensin.

⇒ Devreyi farklı sıcaklıklarda test edin!

**Sonuç:**

---



---



---



---



---

## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 11

## PTC TERMİSTÖRLÜ SIVI SEVİYE ÖLÇERİ

Şekil 19’da, bir tanktaki sıvının seviyesini ölçmek için basit bir devre gösterilmiştir. Devre doğru gerilim kaynağı E ile beslenir. Belirli bir yükseklikte paralel bağlanan PTC termistörler yerleştirilir. Doğru güç kaynağı ile seri olarak PTC termistörlerinin yükseklik yerleşimine bağlı olarak kalibre edilen ampermetre aleti bağlanır. Havada tüm termistörler ısınır, dirençleri artar ve bu arada devrede çok küçük I akım kuvveti akar. Termistörlerden biri sıvıya battığında sıcaklığı düşer, bu da I akımının ani bir şekilde artmasına neden olur. Ampermetrenin gösterdiği değer sıvı seviyesiyle orantılıdır.

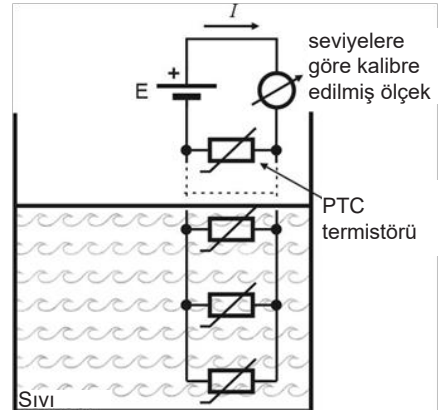
Gerekli elemanlar:

$E=30$  doğru gerilim kaynağı

B59001 (veya benzeri) - PTC termistörü

Ampermetre.

⇒ PTC termistörün için katalog verileri çıkarılsın!



Şekil 19: Sıvı seviyesi ölçme devresi

| Sıvı seviyesi      | Ölçülen akım |
|--------------------|--------------|
| Seviye 1 ( $R_1$ ) |              |
| Seviye 2 ( $R_2$ ) |              |
| Seviye 3 ( $R_3$ ) |              |
| Seviye 4 ( $R_4$ ) |              |

**Sonuç:**

---



---



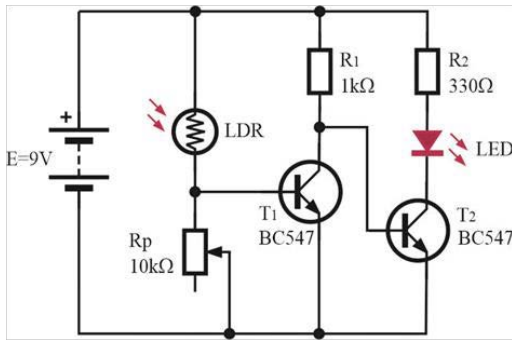
---



---

Laboratuvar alıştırımlar**LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 12****FOTOREZİSTÖRLÜ IŞIK SENSÖRÜ**

Basit bir ışık sensörün yapılması için, şekil 20’de gösterildiği gibi elektrik devresine bağlı fotoelektrik eleman olarak fotorezistör (LDR) kullanılabilir. Şekildeki devrenin yapısı çok basittir. Işık yokluğunda LED diyotun yandığı karanlık algılama sensörüdür.  $R_p$  potansiyometresi ve fotorezistör(LDR), T1 transistörünün tabanında dirençli gerilim bölücü oluşturur. LDR rezistörün üzerine belirli yoğunlukta ışık düştüğünde direnci azalacaktır. Bu arada, gerilim bölücünün akımı artarak T<sub>1</sub> transistörü iletecek, bu da T<sub>2</sub> transistörünün kapanmasına yol açar. T<sub>2</sub> transistöründe çıkış akımı olmadığından LED diyotu yanmaz. LDR rezistöründe ışık yokluğunda, yani daha karanlık koşullar altında, LDR rezistörün direnci büyük ölçüde artacak ve direnç bölücünden geçen akım azalır ve dolayısıyla T<sub>1</sub> transistörü ise iletken olmayan hale gelecektir. O zaman ikinci transistör T<sub>2</sub> açılır çünkü girişi T<sub>1</sub> transistörünün çıkışına bağlıdır. Sonuç olarak, T<sub>2</sub> transistörünün çıkışına bağlı olan LED diyotu yanacaktır. Bu tür elektrik devreler sokak aydınlatmanın açılma sistemlerinde kullanılabilirler.



**Şekil 20: Fotorezistörlü ışık sensörü**

Gerekli unsurlar:

2 x BC547 NPN transistörü

LDR - fotorezistör

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  rezistör

$R_2 = 330 \Omega$  rezistör

$R_p = 10 \text{ k}\Omega$  potansiyometre

LED diyotu

$E = 9 \text{ V}$  pil

⇒ Gerekli fotorezistör için katalog verileri çıkarılın!

- ◆ Seçilen simülasyon programında elektrik devresi simüle edilsin.
- ◆ Baskılı devre kartın yapımı için gerekli montaj şeması yapılsın.
- ◆ Baskılı devre kartı yapılsın, elemanlar verilen elektrik şemasına göre monte edilsin ve lehimlensin.
- ◆ Devreyi karanlıkta ve aydınlıkta test edin!
  - ⇒ BC547 için katalog verilerini kullanarak T1 ve T2 transistörlerin terminallerinin sıralamasını belirleyin!

## LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO.13

## FOTOTRANSİSTÖRLÜ IŞIK ANAHTARI

Basit bir ışık anahtarın yapılması için, Şekil 21’de gösterildiği gibi elektrik devresine bağlı bir fototransistör fotoelektrik elemanı olarak kullanılabilir. Fototransistör, beyzin ışığa açık kaldığında açılır ve bu arada kolektörden emitöre akım akar. Akım devresi E kaynağı ve  $R_1$  rezistörü aracılığıyla kapatılır. MOSFET kapalıdır, üzerinden akım geçmez ve lamba yanmıyor. Işık olmadığında fototransistör kapalıdır, akım devresi E kaynağı,  $R_1$  rezistörü ve MOSFET aracılığıyla kapatılır ve bu arada lambadan akım akar. Işık olmadığında lambanın yandığı sonucuna varıyoruz.

Gerekli elemanlar:

PT 331C fototransistör

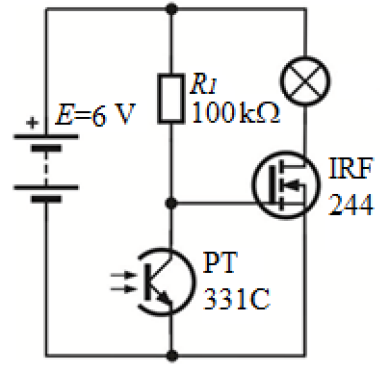
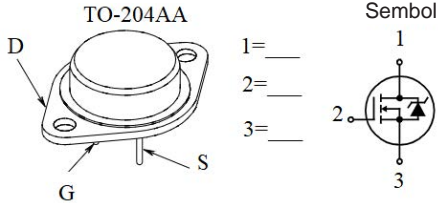
IRF 244 MOSFET

$R=100\text{ k}\Omega$  rezitör

Lamba

$E=6\text{ V}$  pil

Gerekli fototransistör için katalog verileri çıkarılsın!



Şekil 21: Fototransistörlü ışık anahtarı

IRF 244 için katalog verilerini kullanarak MOSFET terminallerinin düzenini belirleyin!

- Seçilen simülasyon programında elektrik devresi simüle edilsin.
- Verilen şema uygulansın ve işlevi gösterilsin!
- Baskılı devre kartın yapımı için gerekli montaj şeması yapılsın.
- Baskılı devre kartı yapılsın, elemanlar verilen elektrik şemasına göre monte edilsin ve lehimlensin.

**Sonuç:**

---



---



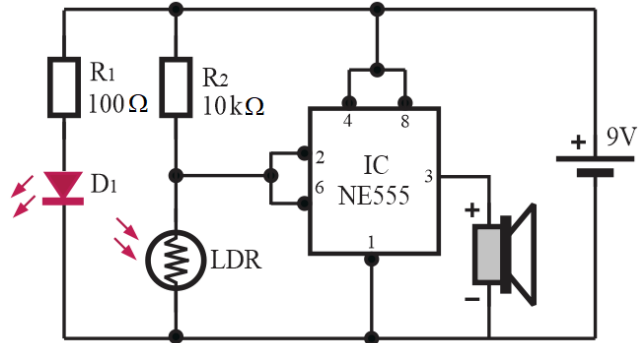
---

Laboratuvar alıştırmalar**LABORATUVAR ALIŞTIRMA NO. 14****GELEN POSTA İÇİN ELEKTRONİK ALARM**

Basit bir ışık sensörün yapılması için, şekil 22’de gösterildiği gibi elektrik devresine bağlanan fotorezistör (LDR), fotoelektrik elemanı olarak kullanılabilir. Elektronik alarm, posta kutusuna posta geldiğinde sinyal verir. Bu cihaz posta kutusuna monte edilir, ancak LED diyotun ve fotorezistörün posta kutusunun karşıt taraflarında aynı hatta yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Postacı zarfı posta kutusuna koyduğunda, fotorezistörün üzerine düşen LED diyotun ışığı kesiliyor. Bu, direncinin değişmesine neden olur ve NE555 entegre devre aracılığıyla hoparlör - zili etkinleştirir. Posta kutusu, yani zil, posta (zarf) içinden çıkarılıncaya kadar alarm verecektir.

Gerekli elemanlar:

- 9V pil
- $R_1=100\ \Omega$ -rezistör
- $R_2=10\ k\Omega$ -rezistör
- $D_1$ -beyaz LED diyotu
- NE555 entegre devre
- LDR-fotorezistör
- Hoparlör-zil

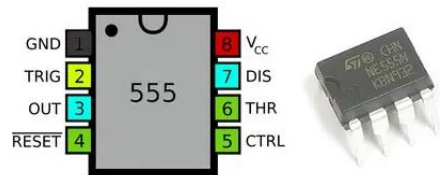


Şekil 22: Posta kutusu alarmı

Gerekli fotorezistör için kataloglar verileri çıkarılsın!

1. Seçilen simülasyon programında elektrik devresi simüle edilsin.
2. Baskılı devre kartın yapımı için gerekli montaj şeması yapılsın.
3. Baskılı devre kartı yapılsın, elemanlar verilen elektrik şemasına göre monte edilsin ve lehimlensin.
4. Doğruluğu test edilsin.

Katalog verilerini kullanarak NE555 entegre devresinin pin düzenini belirleyin!  
IC 555NE555 pin şeması!





## 1. Uluslararası birim sisteminde kullanılan önekler

| Değer      | Adı   | İşaret | Değer     | Adı   | İşaret |
|------------|-------|--------|-----------|-------|--------|
| $10^{-24}$ | yokto | y      | $10^{24}$ | yota  | Y      |
| $10^{-21}$ | zepto | z      | $10^{21}$ | zeta  | Z      |
| $10^{-18}$ | ato   | a      | $10^{18}$ | eksa  | E      |
| $10^{-15}$ | femto | f      | $10^{15}$ | peta  | P      |
| $10^{-12}$ | piko  | p      | $10^{12}$ | tera  | T      |
| $10^{-9}$  | nano  | n      | $10^9$    | giga  | G      |
| $10^{-6}$  | mikro | $\mu$  | $10^6$    | mega  | M      |
| $10^{-3}$  | mili  | m      | $10^3$    | kilo  | K      |
| $10^{-2}$  | santi | c      | $10^{-2}$ | hekto | h      |
| $10^{-1}$  | desi  | d      | $10^{-1}$ | deka  | da     |

## 2. Temel SI birimleri

| Fiziksel büyüklük     |        | Birim    |        |
|-----------------------|--------|----------|--------|
| Adı                   | İşaret | Adı      | İşaret |
| Uzunluk               | $l$    | Metre    | m      |
| Kütle                 | $m$    | Kilogram | kg     |
| Zaman                 | $t$    | Aaniye   | s      |
| Elektrik akım şiddeti | $I$    | Amper    | A      |
| Termodinamik sıcaklık | $T$    | Kelvin   | K      |
| Madde miktarı         | $n$    | Mol      | mol    |
| Işık şiddeti          | $I_v$  | Kandela  | cd     |

### 3. Türetilmiş SI birimleri

| Büyüküğü adı    | Büyüküğüün sembolü | Birimin adı        | Birimin sembolü        | Birimin tanımı  |
|-----------------|--------------------|--------------------|------------------------|---|
| <b>Kuvvet</b>   | <i>F</i>           | Newton             | N                      | $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$                          |
| <b>Basınc</b>   | <i>P</i>           | Pascal             | Pa                     | $\text{N}/\text{m}^2=\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| <b>Enerji</b>   | <i>E</i>           | Joule              | J                      | $\text{N}\cdot\text{m}=\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$  |
| <b>Yoğunluk</b> | $\rho$             | $\text{Kg m}^3$ te | $\text{Kg}/\text{m}^3$ | $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$                                       |

# İÇİNDEKİLER

## Modüler Birim 1 Enerji Elektronik Elemanları

|  |    |
|--|----|
| Giriş  | 3  |
| 1.1 Elektronik Elemanların Sınıflandırılması           | 4  |
| 1.2 Diyotlar   | 6  |
| 1.3 Transistörler                                      | 11 |
| 1.3.1 Bipolar Transistörler                            | 11 |
| 1.3.2 Tek Kutuplu Transistörler                        | 13 |
| 1.4 Tristörler   | 17 |
| 1.5 Doğrusal Olmayan Direnç Değişimi Olan Rezistörler  | 20 |
| 1.5.1 Termistörler                                     | 21 |
| 1.5.2 Varistörler                                      | 22 |
| 1.6 Fotoelektrik Elemanlar                             | 24 |
| 1.7 Entegre Devreler                                   | 27 |
| 1.7.1 Entegrasyon Türleri                              | 27 |
| 1.8 Elektronik Şemalar                                 | 30 |
| 1.8.1 LED Işığını Fotorezistörle Açma Devresi          | 31 |
| 1.8.2 LED'in Açılması İçin Tristörlü Anahtarlama Devre | 32 |
| 1.9 Katalog Verileri                                   | 33 |
| Modül 1'de edinen bilgileri belirleme soruları         | 35 |
| Tematik Belirleme                                      | 36 |

## Modüler Birim 2 Diyotlar

|  |    |
|--|----|
| 2.1 PN – Bağlantı                              | 41 |
| 2.2 Diyotun Kutuplanması                       | 44 |
| 2.3 Diyotun Akım-Gerilim Karakteristiği        | 46 |
| 2.4 Diyotların Sınıflandırılması               | 49 |
| 2.5 Diyot Devreleri                            | 52 |
| 2.5.1 Diyot Doğrultucuları                     | 52 |
| 2.5.1.1 Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu       | 54 |
| 2.5.1.2 Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu         | 56 |
| 2.5.1.3 Çok Fazlı Doğrultucu                   | 61 |
| 2.5.2 Diyot Sınırlayıcıları                    | 63 |
| 2.5.3 Diyot Gerilim Stabilizatörleri           | 67 |
| 2.5.4 Diyot Mantık Devreleri                   | 70 |
| Modül 2'de edinen bilgileri belirleme soruları | 73 |
| Tematik belirleme                              | 75 |

## Modüler Birim 3 Transistörler

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Transistör Terimi                    | 79 |
| 3.2 Bipolar Transistör Türleri           | 80 |
| 3.3 Unipolar Transistör Türleri          | 83 |
| 3.4 Transistörlerin Uygulanması          | 86 |
| 3.5 Bipolar Transistörlerin Kutuplanması | 87 |
| 3.6 Transistörün Statik Çalışma Düzeni   | 92 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.6.1 Transistörün Statik Karakteristikleri                                   | 92         |
| 3.6.2 Transistörün Statik Çalışma Noktası ve Çalışma Doğrusu                  | 95         |
| 3.7 Transistörün Dinamik Çalışma Düzeni                                       | 97         |
| 3.7.1 h-Parametreleri ile Transistörün Eşdeğer Şeması                         | 99         |
| 3.8 Bipolar Transistörün Bağlantıları   | 102        |
| 3.9 Unipolar Transistörün Kutuplanması  | 104        |
| 3.10 Unipolar Transistörün Bağlantıları                                       | 106        |
| 3.11 FET'in Statik Karakteristikleri  | 107        |
| 3.12 Yükselteç Olarak Transistör  | 110        |
| 3.13. Transistör Parametreleri  | 113        |
| 3.13.1 Ortak Emitör ile Bağlantılı Transistörün Parametrelerinin Belirlenmesi | 116        |
| 3.14 Anahtar Olarak Transistör  | 119        |
| 3.15 IGBT – İzole Geytli Transistör   | 122        |
| 3.16 Transistör Mantık Devreleri  | 124        |
| Modül 3'de edinilen bilgileri belirleme soruları                              | 128        |
| Tematik Belirleme   | 130        |
| <b>Modüler Birim 4 Tristörler</b>   | <b>133</b> |
| 4.1 Tristörler Terimi ve Bölümü   | 135        |
| 4.2 Tristörün Akım-Gerilim Karakteristiği                                     | 138        |
| 4.3 Tristörün Uyarımı   | 141        |
| 4.3.1 Triyakın Uyarımı  | 144        |
| 4.4 Tristörlerin Uygulanması  | 146        |
| 4.4.1 Tristörün Doğru Akım Devresinde Anahtar Olarak Uygulanması              | 147        |
| 4.4.2 Tristörün Alternatif Akım Devresinde Anahtar Olarak Uygulanması         | 148        |
| 4.4.3 Tristörlerin Yönetilebilir Doğrultucularda Uygulanması                  | 149        |
| Modül 4'te edinilen bilgileri belirleme soruları                              | 152        |
| Tematik Belirleme   | 153        |
| <b>Modüler Birim 5 Termistörler ve Özel Elektronik Elemanlar</b>              | <b>155</b> |
| 5.1 Termistörler  | 157        |
| 5.1.1 NTC-Termistörler  | 158        |
| 5.1.2 PTC –Termistörler   | 159        |
| 5.2 Fotoelektrik Eleman Türleri   | 161        |
| 5.2.1 Fotorezistörler   | 161        |
| 5.2.2 Fototranistörler  | 164        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.2.3 Fotojeneratörler  | 166        |
| 5.2.4 Varistörler   | 170        |
| 5.2.5 Sıvı Kristalli Ekran  | 171        |
| 5.2.6 Optokuplörler   | 175        |
| Modül 5’te edinilen bilgileri belirleme soruları                          | 178        |
| Tematik Belirleme   | 179        |
| <b>Modüler Birim 6 Eelektronik Kurgular ve Cihazlar</b>                   | <b>181</b> |
| 6.1 Elektronik Kurgu ve Cihaz Türleri                                     | 183        |
| 6.2 Dönüştürücüler  | 185        |
| 6.2.1 Kesintisiz Güç Kaynağı Cihazı                                       | 188        |
| 6.3 Alarm Sistemleri  | 189        |
| 6.3.1 Elektromekanik Sensörler  | 190        |
| 6.3.2 Alarm Sistemlerinde Temel Anahtarlama Devreleri                     | 192        |
| 6.3.3 Elektrikli Sensörler  | 193        |
| 6.3.4 Alarm Sisteminde Elektronik Elemanları                              | 194        |
| 6.3.5 Elektronik Zil  | 199        |
| 6.3.6 Ev Alarm Sistemi  | 200        |
| 6.3.7 PİR Sensörlü Hareket Algılama Sistemi                               | 201        |
| 6.3.8 Kablosuz Alarm Sistemi  | 201        |
| 6.4 Güvenlik Sistemleri   | 203        |
| 6.4.1 Video Gözetim   | 203        |
| 6.4.1.1 Video Gözetim Yazılımı  | 205        |
| 6.4.1.2 CCTV Güvenlik Sistemi Tasarımı İçin Çevrimiçi<br>Yazılım Araçları | 205        |
| 6.4.1.3 Güvenlik Sistemi Tasarımı İçin Bilgisayar Yazılımı                | 207        |
| 6.4.1.4 CCTV Güvenlik Sisteminin Yapılandırılması<br>ve Tasarlanması      | 210        |
| 6.4.2 Erişim Kontrol Sistemleri   | 212        |
| 6.4.3 Yangın Alarm Sistemleri   | 213        |
| 6.4.3.1 Yangın Dedektörleri   | 213        |
| Modül 6’da edinilen bilgileri belirleme soruları                          | 216        |
| Tematik Belirleme   | 217        |
| <b>Ödevler ve Çözülmüş Örnekler</b>                                       | <b>221</b> |
| <b>Laboratuvar Alıştırmalar</b>   | <b>233</b> |



## КАУНАКЌА

1. David Irwin David Kerns: Introduction to Electrical Engineering, Prentice Hall International Editions, 1995
2. Методија Камилоски: Електроника за III година, електротехничка струка, Просветно дело 1995
3. Milman – Halkias: Integrated electronics: analog and digital circuits and systems, 1972
4. Милутин Петковиќ: Електроника, учебник за III степен на занимањата од електротехничката струка со насока слаба струја и автоматика, Просветно дело, 1993
5. Зоран Тасиќ: Електроника II за електротехничките училишта, Просветно дело, 1982
6. Ратко Опачиќ: Електроника I за други разред електротехничке школе, Завод за учебнике, Београд, 2008
7. Александра Ристиќ: Електроника I за други разред електротехничке школе, Завод за учебнике, Београд, 2017
8. Наташа Божиновска: Електроника за II година електротехничка струка, МОН, 2010
9. Јани Сервини: Основи на мерењата и логички кола за II година електротехничка струка, МОН, 2010
10. Енергетска електроника - Збирка задачи, Милан Аџиќ, Суботица 2016 год.
11. Тиристорски претварачи, Радојле Радетиќ, Бор 2004 год.
12. Микроелектронски кола, Адел Седра/Кенет Ц. Смит, Арс Ламина, 2009 год.
13. ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY, Robert Boylestad/Louis Nashelsky, New Jersey Columbus, Ohio
14. Идустриска електроника, Василија Шарац, Штип, 2012 год.
15. Основи на применета електротехника, Влатко Чингоски, Штип, 2019 год.



