



MAKÜ
TBMYO

BURDUR
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
TEKNİK BİLİMLER MESLEK YÜKSEKOKULU

TAŞITLARDA GÜÇ ELEKTRONİĞİ

ÖĞR. GÖR. BUĞRA DAĞCI

2025-2026 GÜZ DÖNEMİ

DERS İÇERİĞİ



Hafta	Konu
Hafta 1	Güç Elektroniğine Giriş
Hafta 2	Güç Yarıiletkenleri ve Anahtarlama Elemanları ile Güç Hesaplaması
Hafta 3	AC-DC Çeviriciler (Tam Dalga, Yarım Dalga ve 3 Fazlı Çeviriciler)
Hafta 4	AC-DC Çeviriciler (Kontrollü ve Kontrolsüz Çeviriciler)
Hafta 5	AC Gerilim Denetleyicileri
Hafta 6	DC-DC Çeviriciler (Buck, Boost, Cuk)
Hafta 7	DC-DC Çeviriciler (Buck, Boost, Cuk)
Hafta 8	Ara Sınav

GİRİŞ

- Güç Yarıiletkenleri ve Anahtarlama Elemanları
- Güç Hesaplaması

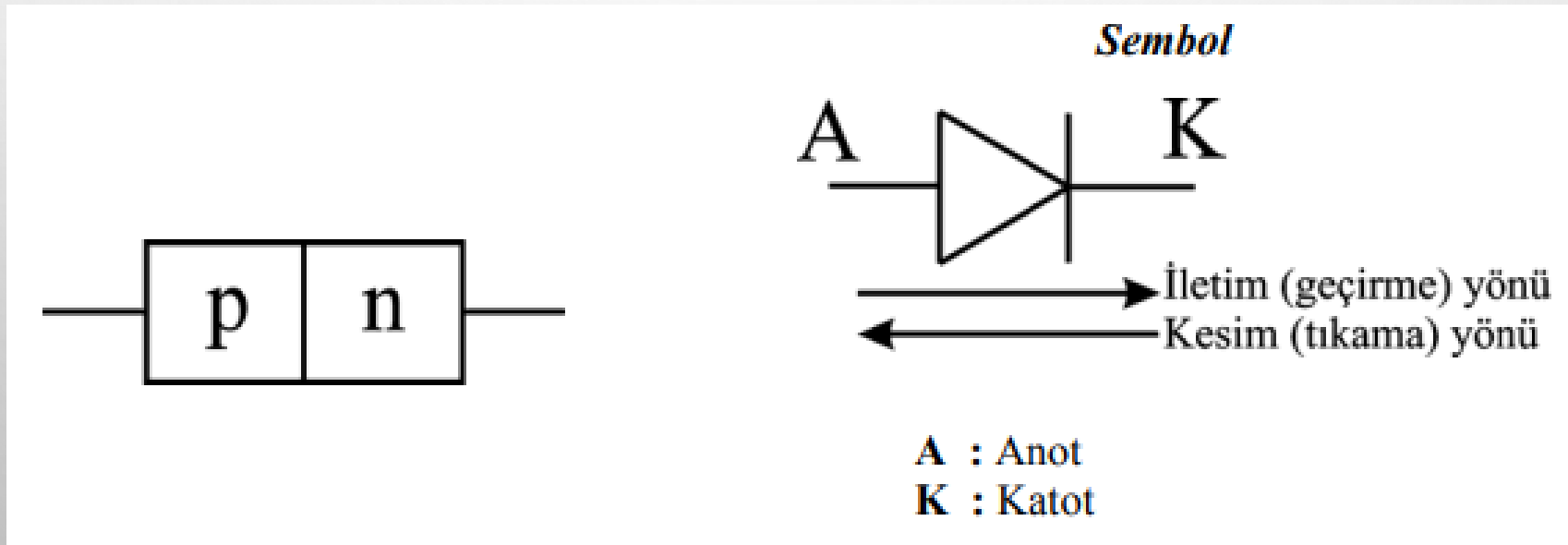


GİRİŞ

- Güç elektroniğinin kalbinde yarıiletken elemanlar vardır.
- Anahtarlama davranışı sayesinde enerji kontrol edilir.
- Hem DC hem AC devrelerde farklı uygulamalar.

KONTROLSÜZ ELEMANLAR

- Diyot: Tek yönlü akım iletimi
- Kullanım: Doğrultucular, serbest akım yolları
- Sadece ilettime geçer, kapanma kontrolü yok

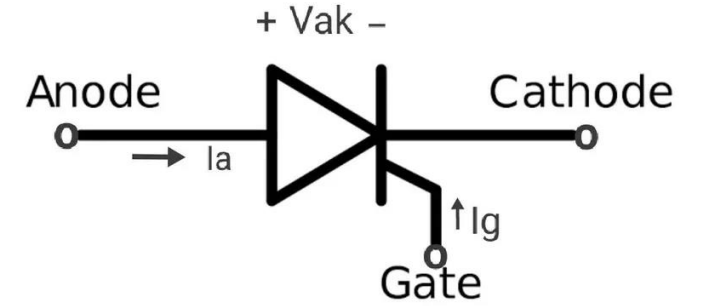


KONTROLLÜ ELEMANLAR (TRİSTÖR GRUBU)

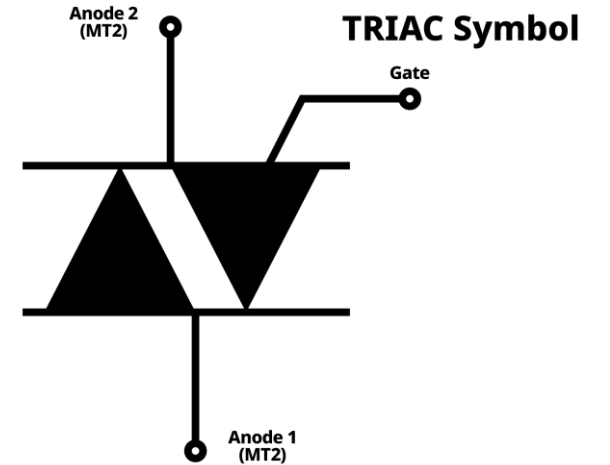
SCR (Silicon Controlled Rectifier): Kapı uyarısı ile açılır, doğal olarak kapanır.

TRIAC: AC'de çift yönlü kontrol sağlar.

Kullanım: AC motor kontrolü, dimmer devreleri.



Symbol of SCR



TRIAC Symbol

YARI KONTROLLÜ ELEMANLAR

- GTO (Gate Turn-Off Thyristor): Hem açılıp hem kapanabilir.
- IGCT: GTO'nun gelişmiş, hızlı versiyonu.

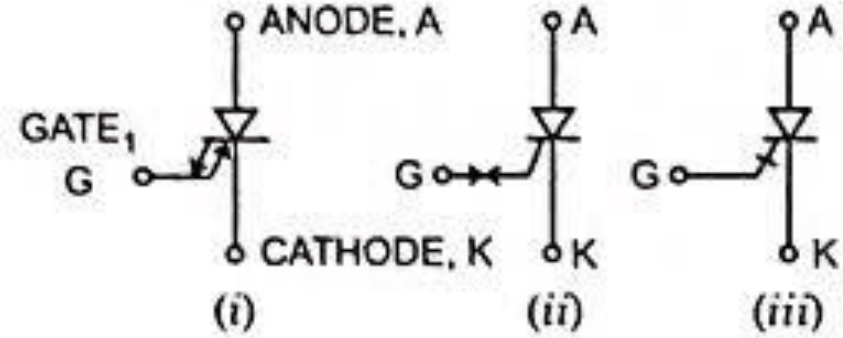
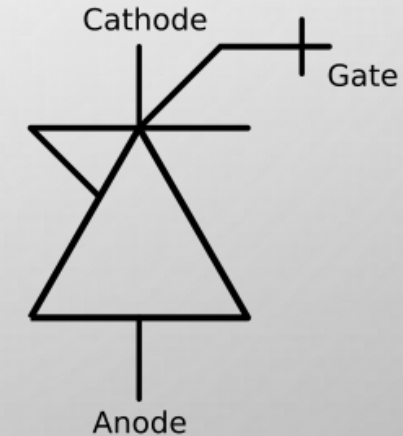


Fig. 26.64 *Circuit Symbols For GTO*



TAM KONTROLLÜ ELEMANLAR

BJT (Bipolar Transistör): Akım kontrollü anahtar.

MOSFET: Hızlı anahtarlama, düşük güç uygulamaları.

IGBT: MOSFET + BJT birleşimi, yüksek güçte yaygın.

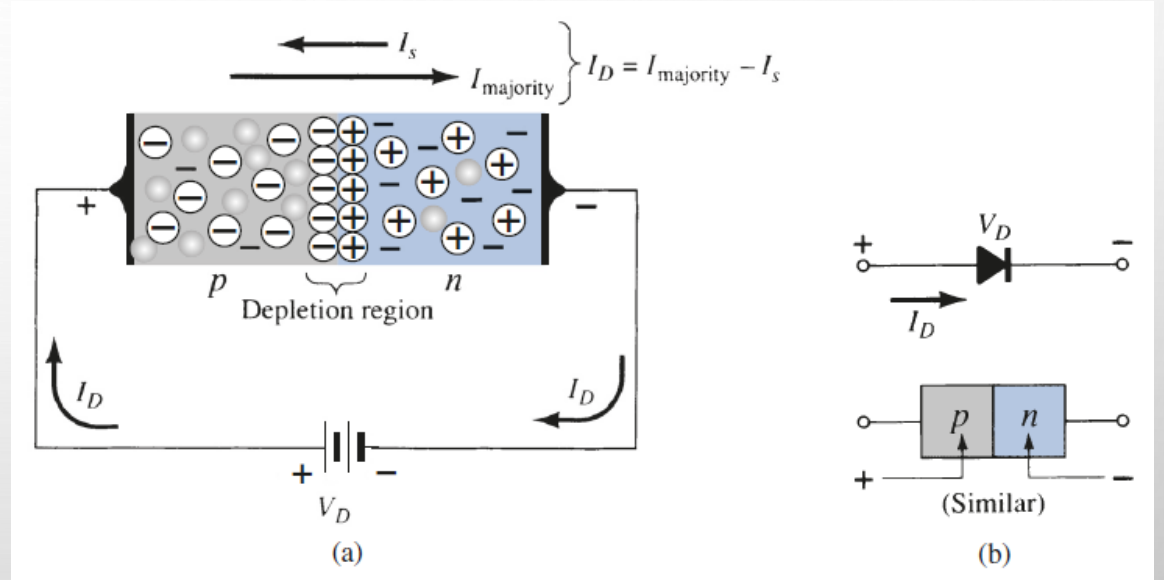
	MOSFET	IGBT
Hız	Yüksek	Düşük
Güç	Düşük - Orta	Yüksek
Verim	Yüksek	Yüksek
Uygulamalar	Anahtarlama güç kaynakları, Motor kontrol	İnvertörler. Motor sürücüleri
Avantajlar	Hızlı anahtarlama Düşük iletim kayıpları	Yüksek gerilim kapasitesi Düşük anahtarlama
Dezavantajlar	Sınırlı güç taşıma Daha yüksek maliyet	Yavaş anahtarlama Yüksek iletim kayıpları

ANAHTARLAMA ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ

DİYOT

İleri Öngerilimleme

- Diyot ileri yönde polarma edildiğinde, p bölgesi pozitif, n bölgesi negatif yapılır ve engel potansiyeli azalır.
- Taşıyıcılar birleşme bölgesinden geçerek akımın iletilmesini sağlar.
- Bu durumda diyot üzerinden I_D akımı akar ve uçlarda yaklaşık V_D gerilimi oluşur.



DİYOT

İleri Öngerilimleme

$$I_D = I_S(e^{V_D/nV_T} - 1)$$

- I_S : Ters doyum akımıdır.
- V_D : Diyot üzerindeki ileri kutuplama gerilimidir.
- n : İdeallik faktörüdür.
Belirtilmemişse 1 alınır.

$$V_T = \frac{kT_K}{q}$$

- k : Boltzmann sabiti
($1.38 \times 10^{-23} J/K$)
- T_K : Mutlak Sıcaklık (Kelvin)
 $K = 273 + ^\circ C$
- q : Elektron yükü
($1.6 \times 10^{-19} C$)

BİLİMSEL HESAP MAKİNESİ

- Derslerimizde ve sınavlarda kullanılacak olan hesap makinesi:

Casio FX-82MS



SORU

DİYOT

İleri Öngerilimleme

- 27°C sıcaklıkta (kapalı bir işletim sistemindeki bileşenler için yaygın sıcaklık), termal voltaj V_T 'yi belirleyin.

$$\begin{aligned} T &= 273 + ^\circ\text{C} = 273 + 27 = 300 \text{ K} \\ V_T &= \frac{kT_K}{q} = \frac{(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(300 \text{ K})}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \\ &= 25.875 \text{ mV} \cong 26 \text{ mV} \end{aligned}$$

DİYOT KARAKTERİSTİĞİ

Yük Doğrusu (Load Line) nedir?

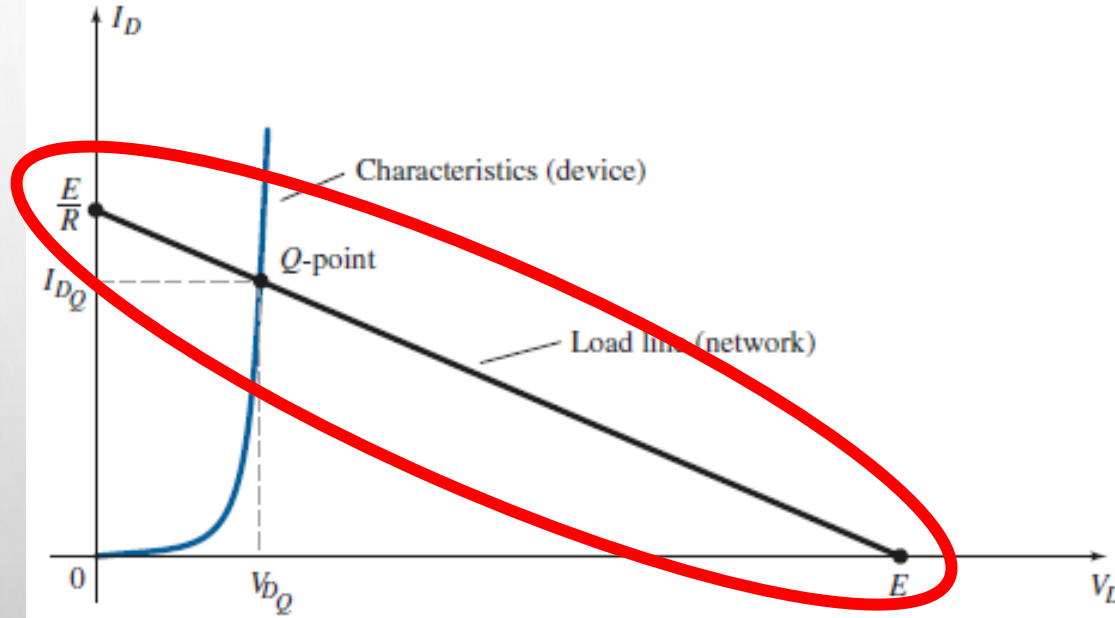


FIG. 2

Drawing the load line and finding the point of operation.

- Yük doğrusu, devredeki direnç ve gerilim kaynakları nedeniyle diyot veya transistör gibi elemanların çalışma aralığını belirleyen doğrusal bir denklemle elde edilir.

$$I_D = \frac{E - V_D}{R}$$

E : Kaynak gerilimi

R : Seri direnç

V_D : Diyot üzerindeki gerilim

I_D : Diyottan geçen akım

DİYOT KARAKTERİSTİĞİ

Elemanın Karakteristik Eğrisi

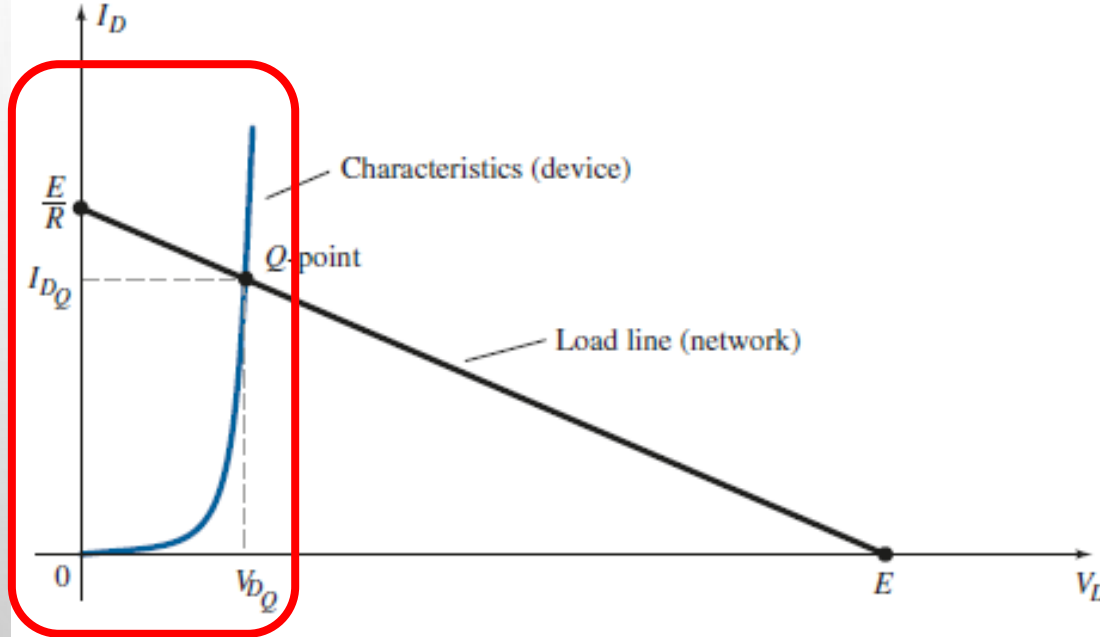


FIG. 2

Drawing the load line and finding the point of operation.

- Diyot veya transistörün akım-gerilim karakteristiği vardır.
- Örneğin diyotta, V_D belli bir eşiği geçene kadar akım çok küçüktür, sonra üstel artış başlar.
- Bu eğriye Characteristics (device) denir.

DİYOT KARAKTERİSTİĞİ

Çalışma Noktası (Q-Point)

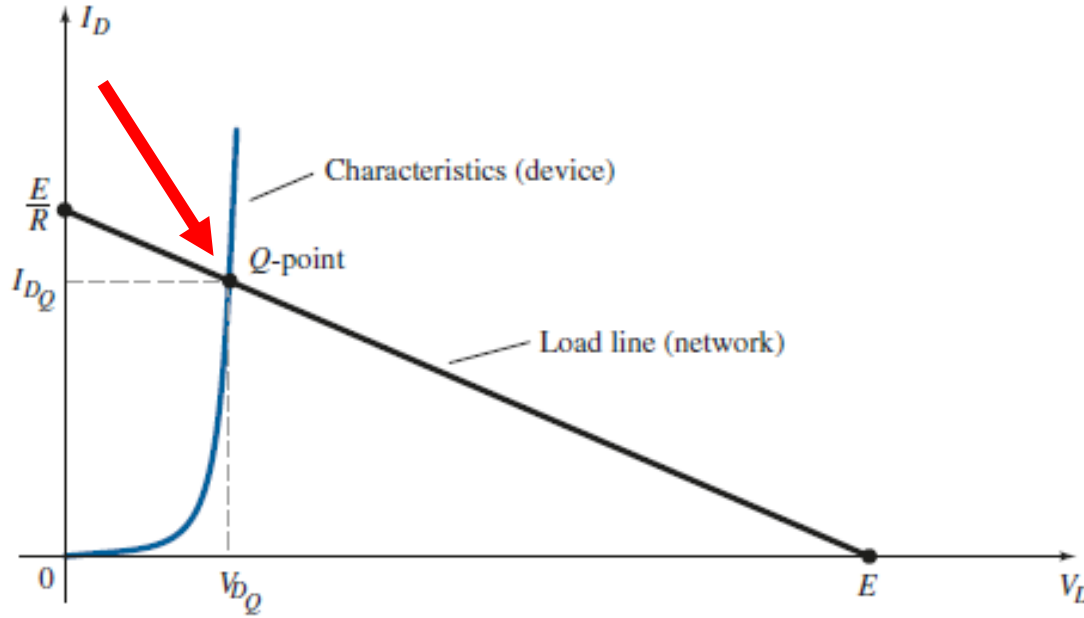


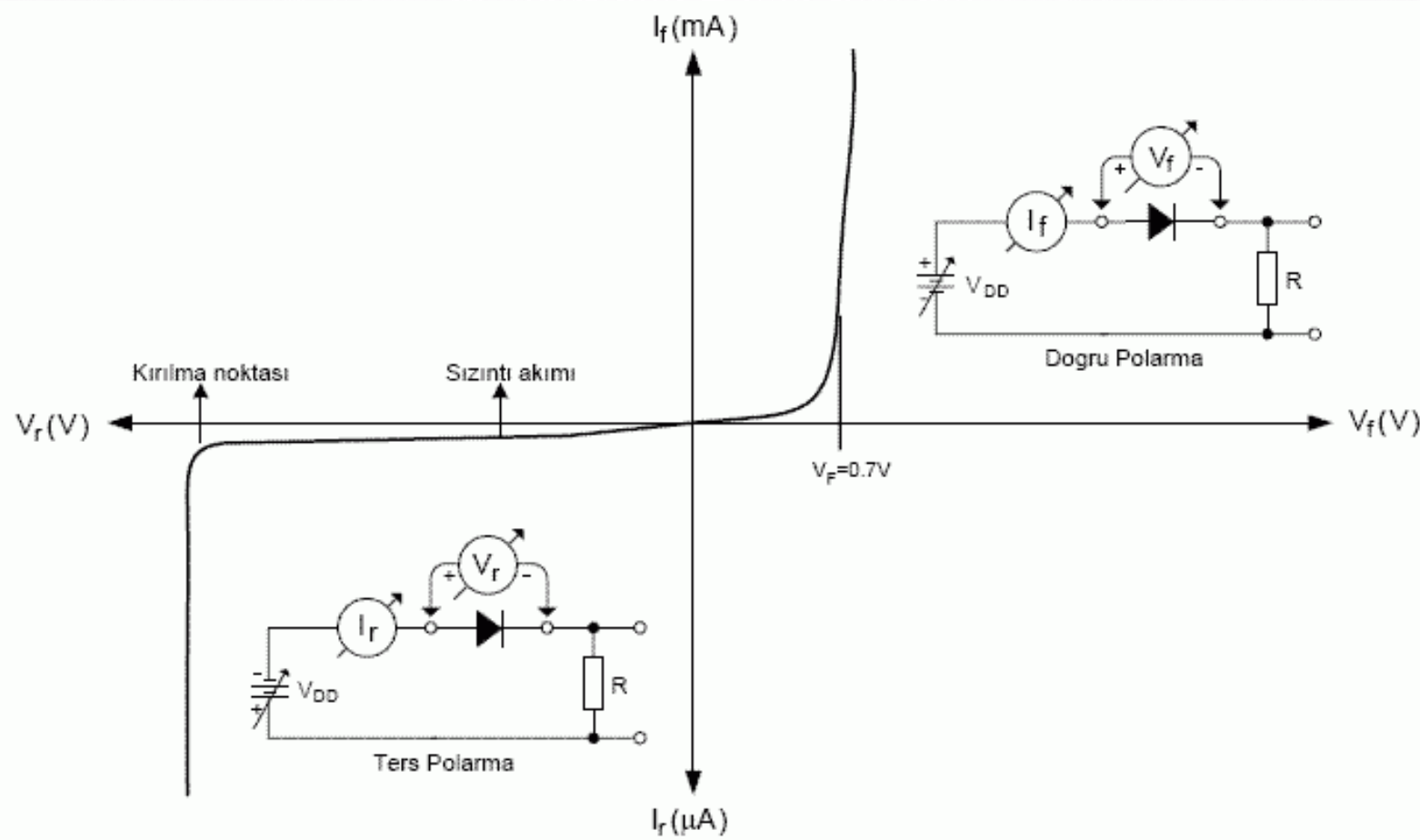
FIG. 2

Drawing the load line and finding the point of operation.

- Devrenin gerçek çalışma noktası, yük doğrusu ile elemanın karakteristik eğrisinin kesişim noktasıdır.
- Bu nokta Q-point (Quiescent Point) olarak adlandırılır.
- Q noktası, devrede diyodun/elemanın hangi gerilim ve akımda çalıştığını gösterir:
- V_{DQ} : diyot üzerindeki gerilim
- I_{DQ} : diyottan geçen akım

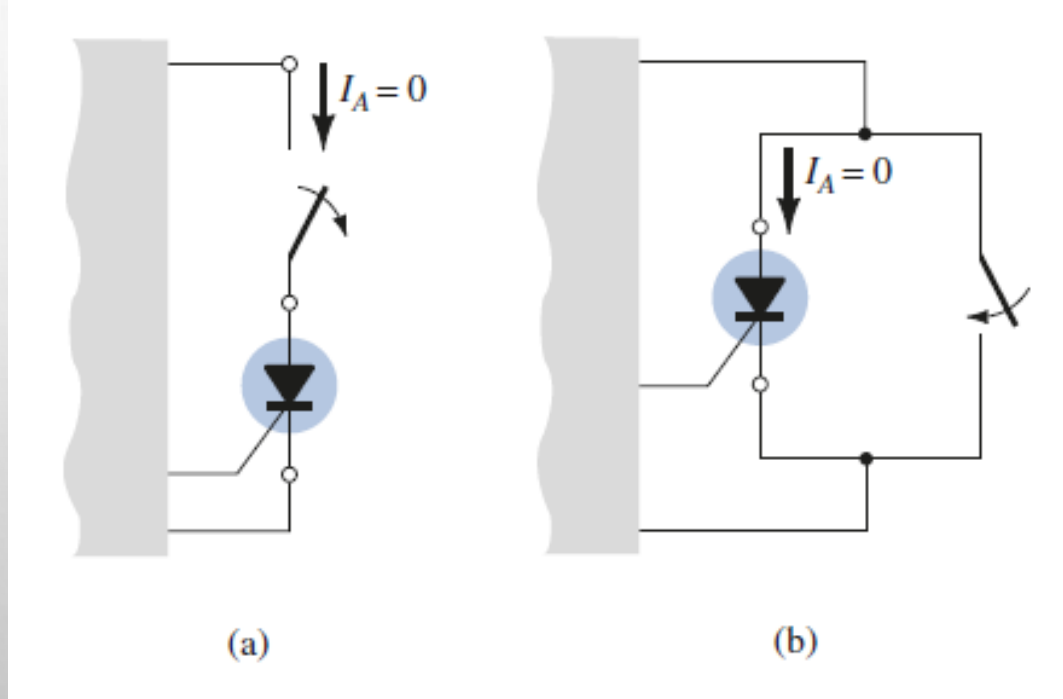
DİYOT KARAKTERİSTİĞİ

BÖLGELER



Şekil-1 Silisyum diyot'un V-I karakteristiği

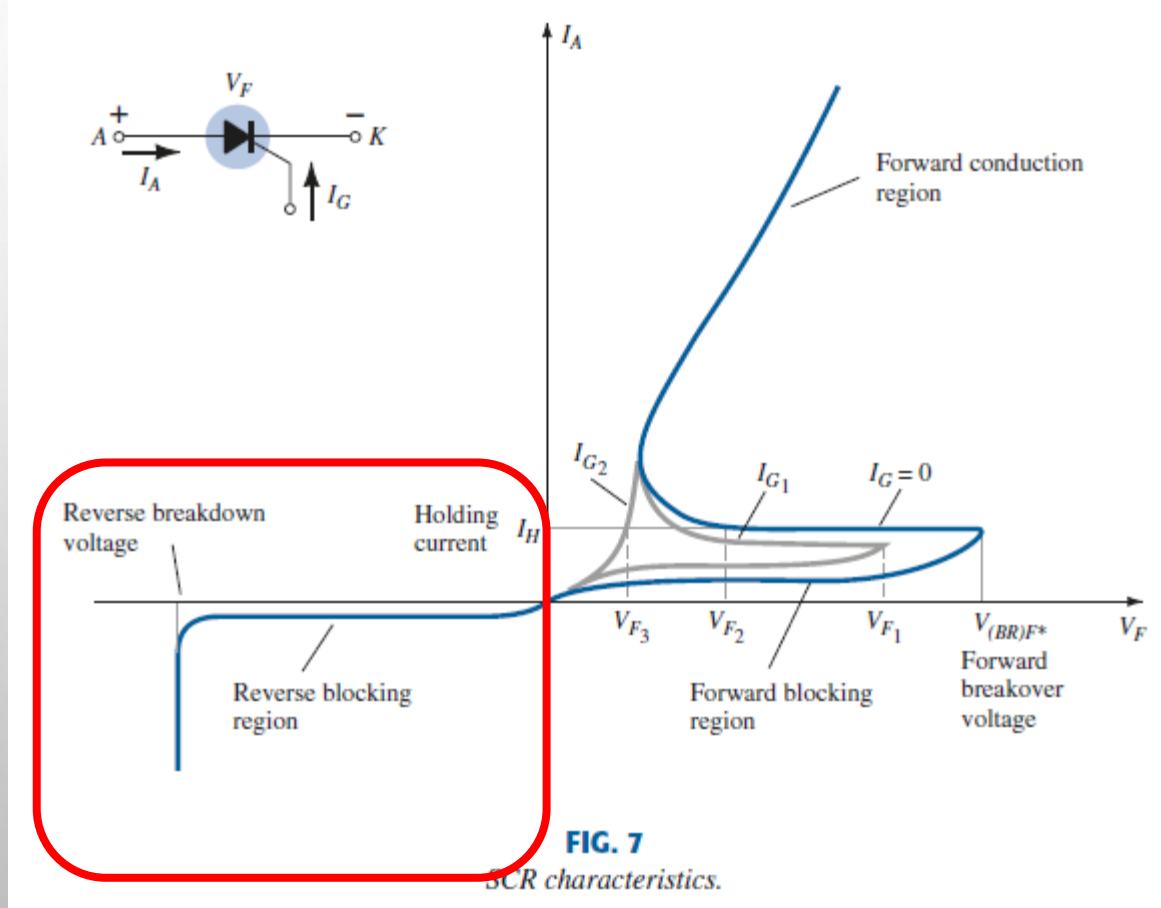
SCR (KONTROLLÜ DİYOT)



- SCR = Silicon Controlled Rectifier.
- Kapı (gate) akımıyla açılır.
- Kapanma: Anot akımı sıfırlanınca olur.
- Kullanım: AC güç kontrolü, motor yumuşak yol vericiler.

SCR KARAKTERİSTİĞİ

Reverse Blocking Region (Ters Yalıtım Bölgesi)



- Anot negatif, Katot pozitif ise diyot gibi ters polarmada çalışır.
- Çok küçük **sızıntı akımı** akar.
- Ters gerilim belirli bir değeri aşarsa **reverse breakdown voltage** ile eleman bozulur.

SCR KARAKTERİSTİĞİ

Forward Blocking Region (İleri Yalıtım Bölgesi)

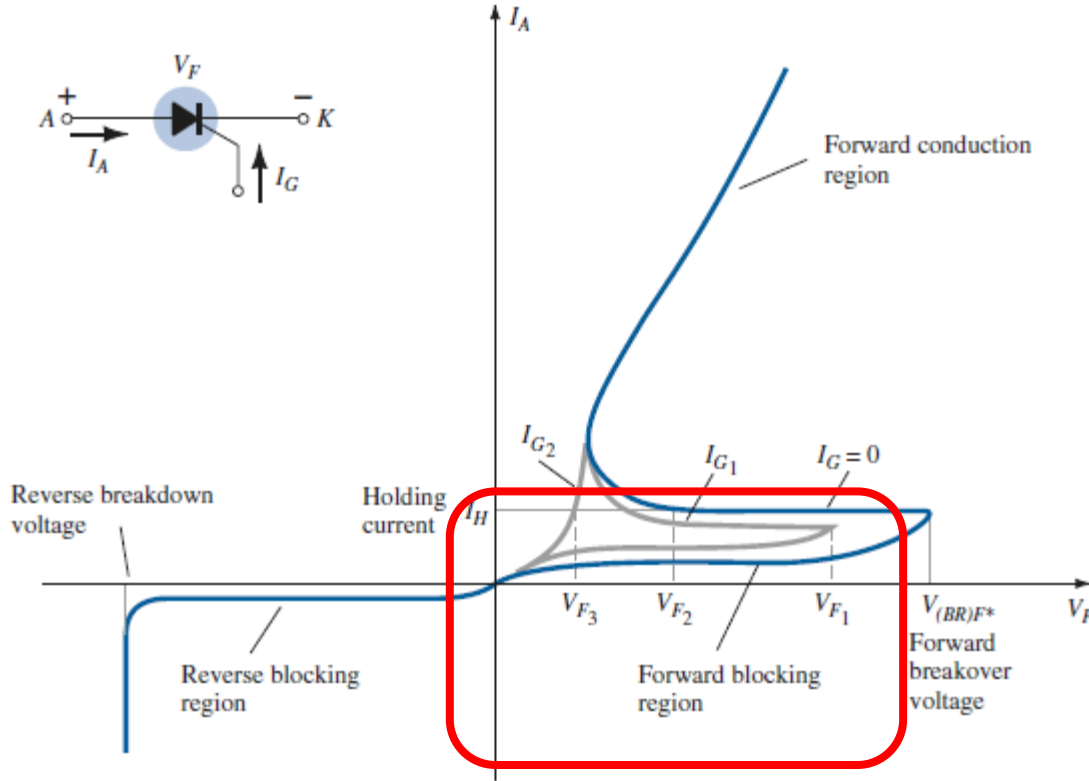


FIG. 7
SCR characteristics.

- Anot **pozitif**, Katot **negatif** ama **Gate akımı (I_G) = 0** ise SCR **kapalı kalır**.
- Küçük sızıntı akımı dışında akım geçirmez.
- Bu bölgeye **off durumu** denir.

SCR KARAKTERİSTİĞİ

Forward Breakover Voltage (İleri Kırılma Gerilimi)

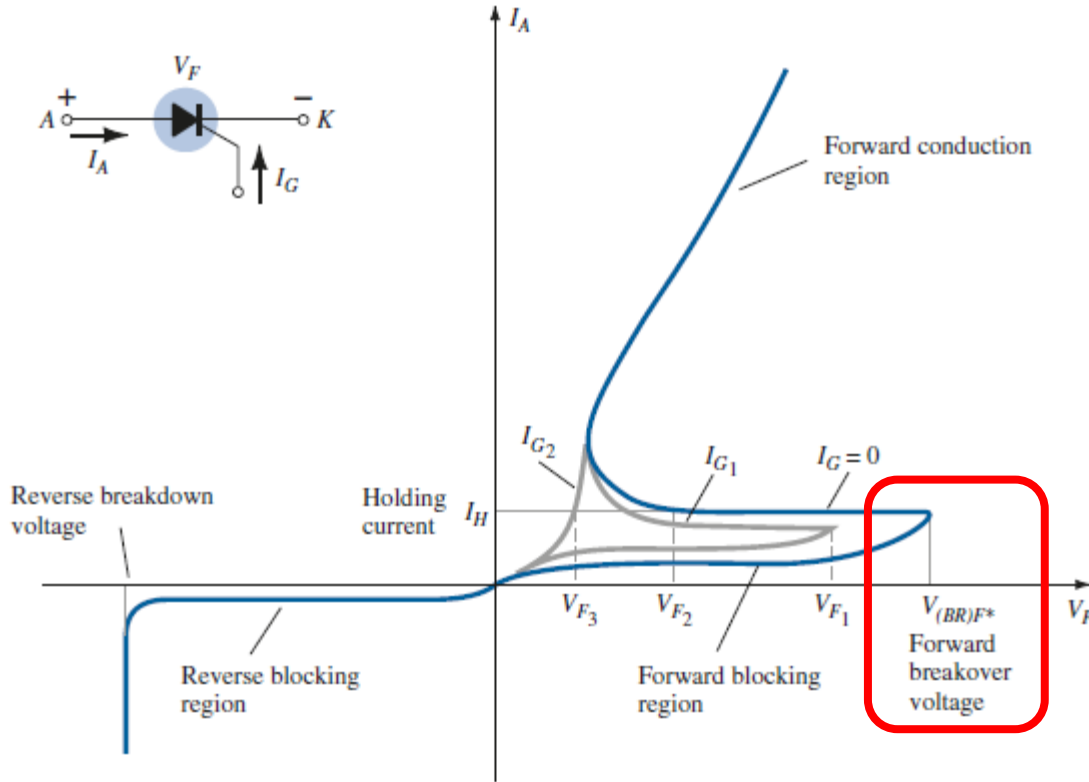


FIG. 7
SCR characteristics.

- Eğer Gate kullanılmazsa, Anot-Katot arasındaki ileri gerilim V_F , **breakover voltage**'ı aşarsa SCR kendiliğinden ilettime geçer.
- Bu durum genellikle **istenmez**, çünkü kontrol kaybolur.

SCR KARAKTERİSTİĞİ

Forward Conduction Region (İleri İletim Bölgesi)

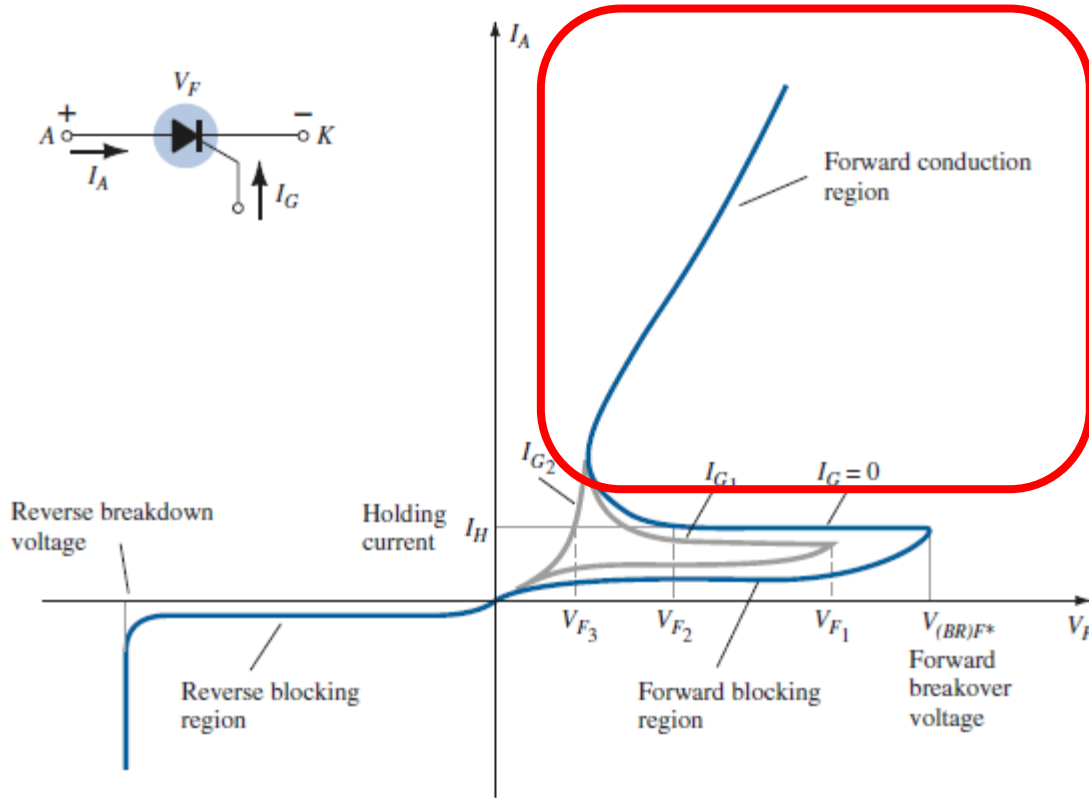


FIG. 7
SCR characteristics.

- Gate (G) ucuna tetikleme akımı (I_G) verildiğinde SCR hemen ilettime geçer.
- Bu durumda Anot-Katot arası direnç çok düşer → büyük akımlar geçebilir.
- SCR, gate sinyali kesilse bile iletimde kalır.

SCR KARAKTERİSTİĞİ

Holding Current

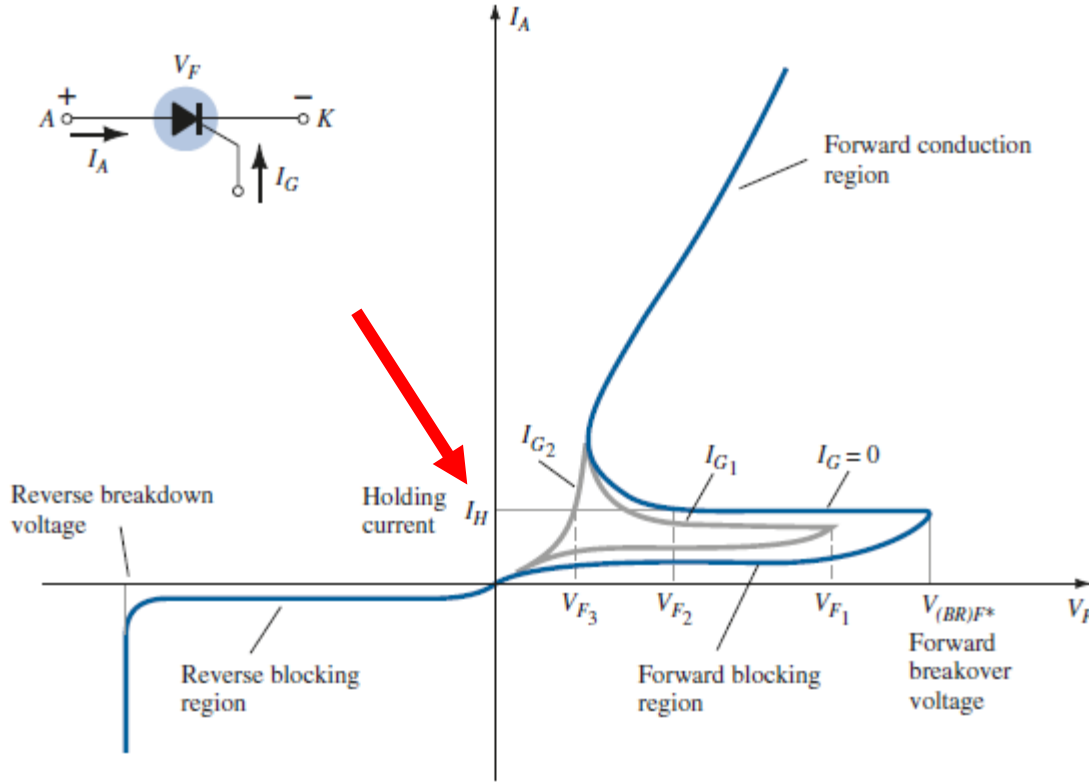


FIG. 7
SCR characteristics.

- SCR iletme geçtiğinde, akımı tamamen kapatmak için Anot akımının I_H (tutma akımı) değerinin altına düşmesi gerekir.
- Yani SCR'yi kapamak için gate değil, devre akımını azaltmak gerekir.

SCR KARAKTERİSTİĞİ

Gate Akımının Etkisi

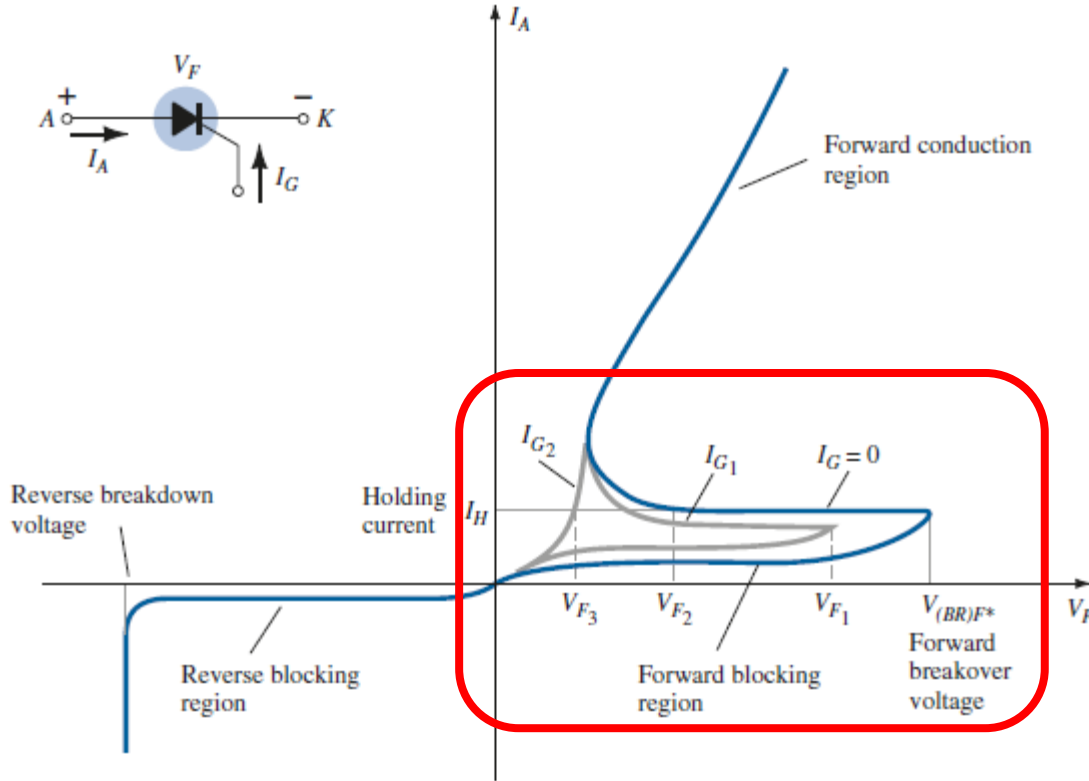


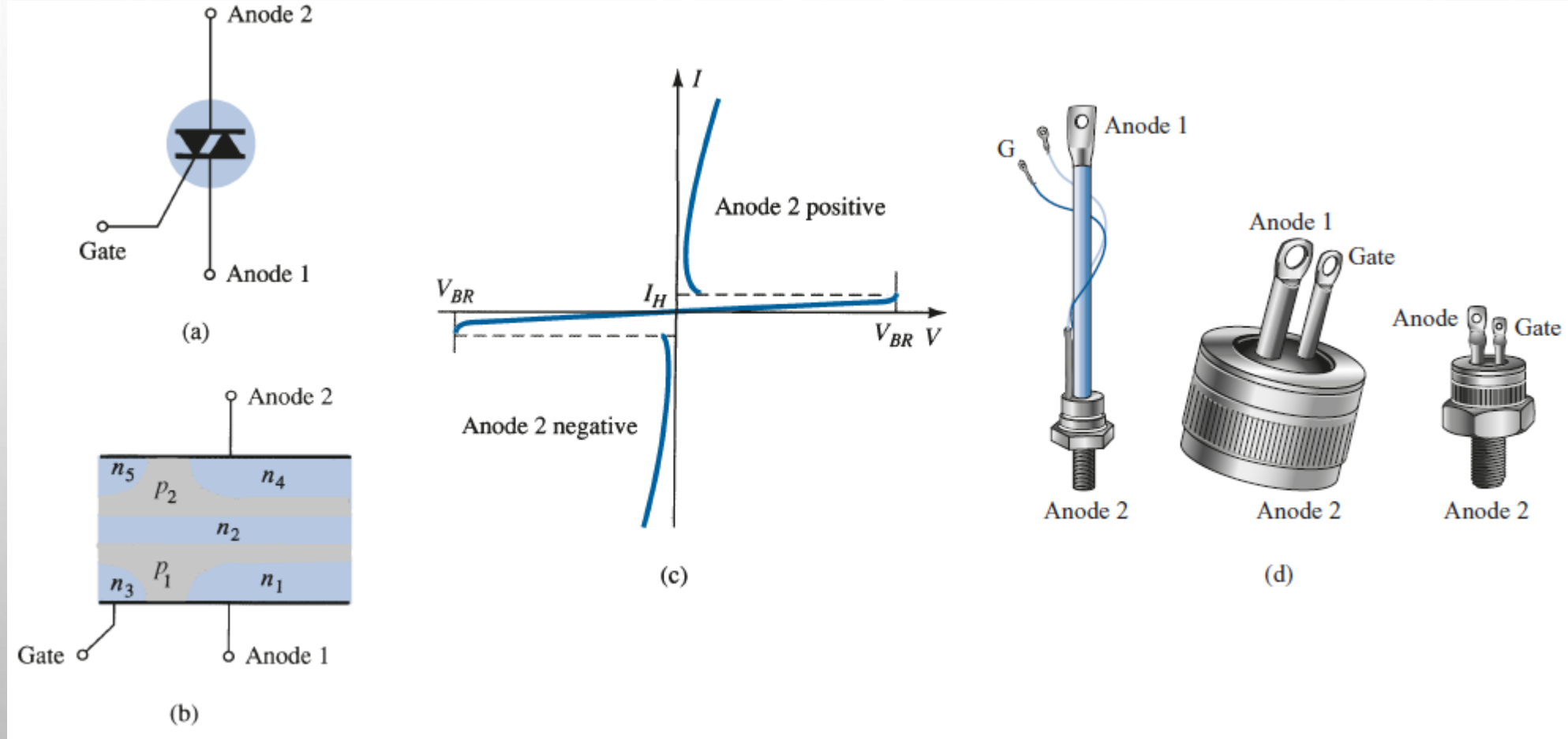
FIG. 7
SCR characteristics.

- Eğride farklı I_G değerleri (I_{G1} , I_{G2} , I_{G3} ...) gösterilmiş.
- **Gate akımı arttıkça** SCR daha düşük
- değerinde iletme geçer.
- Yani tetikleme **kolaylaşır**.

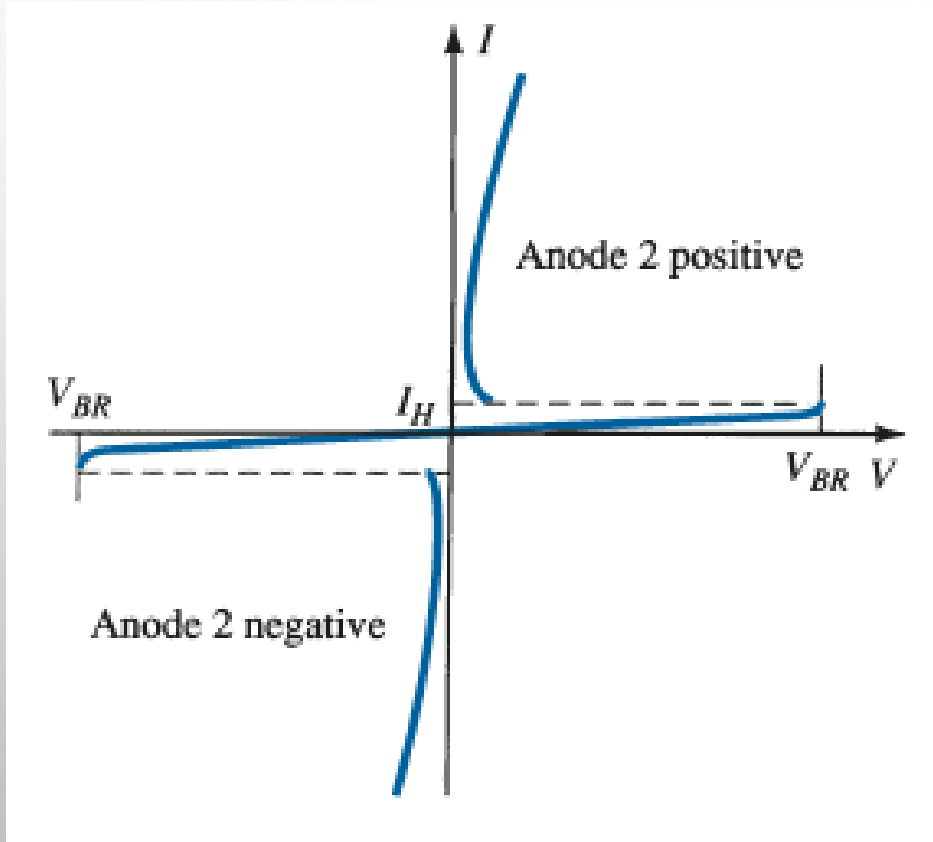
TRIYAK

- Triyak, iki yönlü akım iletebilen bir yarıiletken anahtarlama elemanıdır.
- Yapı olarak iki SCR'nin ters paralel bağlanmış hali gibidir.
- Üç ucu vardır: Anot 1 (MT1), Anot 2 (MT2), Gate (G).
- Avantajı: AC devrelerde hem pozitif hem negatif alternansta ilettime geçebilmesi.
- Kullanım alanları: Dimmerler (ışık kısma devresi), motor hız kontrolü, ısıtıcı kontrolü.

TRIYAK

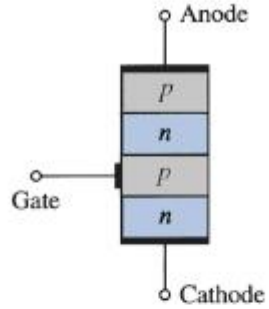


TRIYAK KARAKTERİSTİĞİ

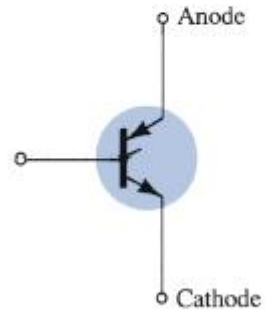


- a) Anode 2 Positive: MT2 pozitif olduğunda gate akımı verilirse ileri yönde ilettime geçer.
- b) Anode 2 Negative: MT2 negatif olduğunda da gate akımı ile ters yönde ilettime geçebilir.
- c) Breakover Voltage (V_{BR}): Gate akımı yoksa, sadece eşik gerilimine ulaştığında kendiliğinden ilettime geçer.
- d) Holding Current (I_H): İletimdeyken kapanması için akımın tutma akımının altına düşmesi gerekir.

GTO (GATE TURN-OFF SWITCH)



(a)



(b)

FIG. 20

Gate turn-off switch (GTO):
(a) basic construction; (b) symbol.

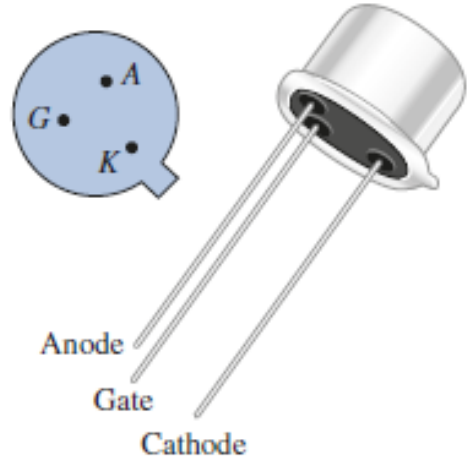
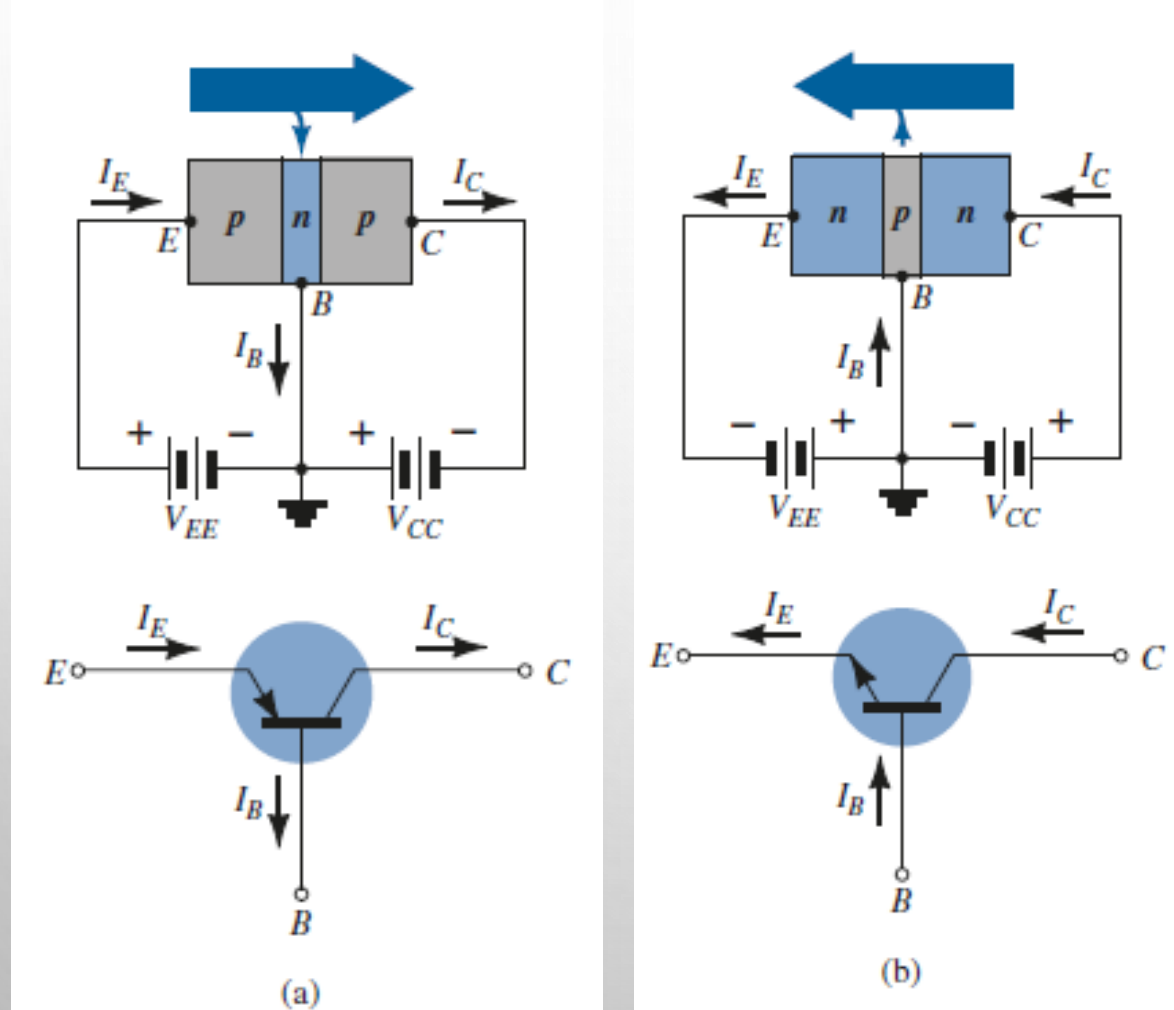


FIG. 21

Typical GTO and its terminal identification.

- GTO (Gate Turn-Off Thyristor), gate ucuna uygulanan negatif darbe ile kapatılabilen bir tristör türüdür.
- Normal SCR'lerde kapama akım düşümü ile gerçekleşirken, GTO aktif kontrol ile kapanabilir.
- Bu özelliği sayesinde yüksek güçlü devrelerde hızlı anahtarlama ve güvenilir kontrol imkânı sunar.

BJT (BİPOLAR JUNCTION TRANSİSTORS)



- BJT, üç bacaklı (emiter, baz, kollektör) bir yarıiletken elemandır ve küçük bir baz akımı ile büyük kollektör-emiter akımını kontrol eder.
- NPN ve PNP olmak üzere iki tipi vardır ve anahtarlama ile yükseltme devrelerinde yaygın olarak kullanılır.
- C: Collector
- B: Bias
- E: Emitter

BJT KARAKTERİSTİĞİ

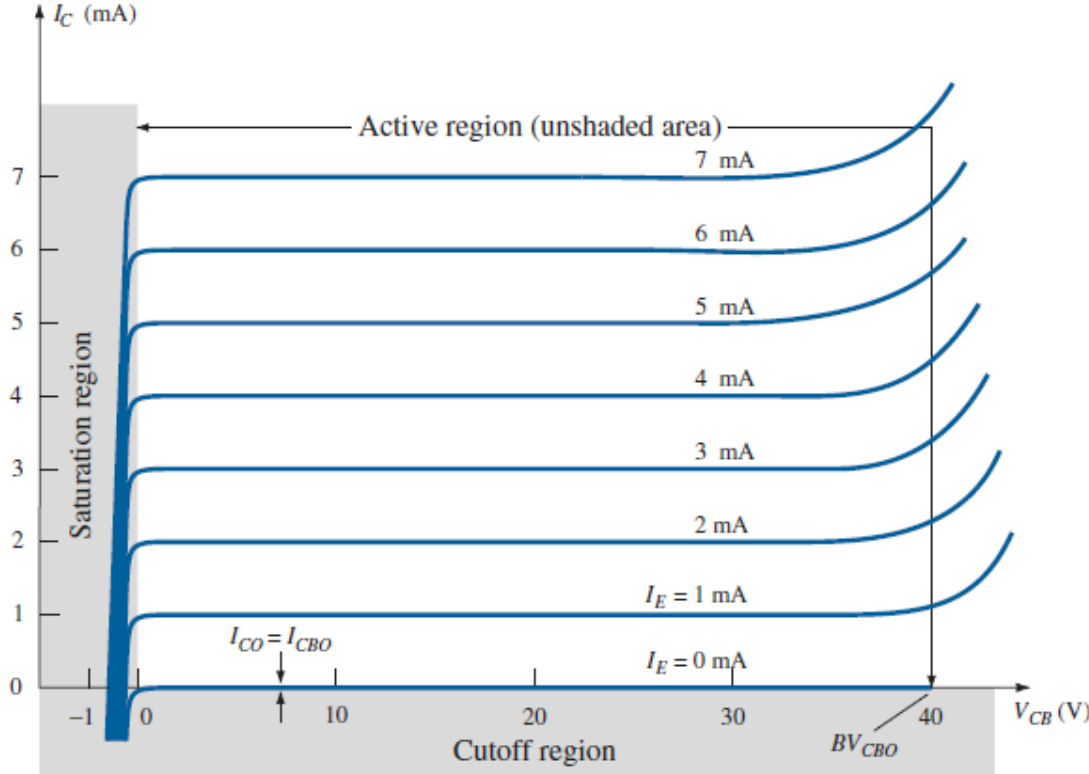


FIG. 8

Output or collector characteristics for a common-base transistor amplifier.

- **Saturation Region (Doyma Bölgesi):** Transistörün kolektör-emiter gerilimi çok düşükken (0'a yakın), kolektör akımı hızla artar.
- **Active Region (Aktif Bölge):** Kolektör akımı (I_C), emiter akımı (I_E) ile orantılıdır ve transistör yükselteç olarak çalışır.
- **Cutoff Region (Kesim Bölgesi):** $I_E = 0$ iken $I_C \approx 0$ olur, transistör akım geçirmez.
- **Breakdown (BV_{CBO}):** Kolektör-baz gerilimi belirli bir değeri aşarsa (yaklaşık 40 V), transistör ters kırılmaya girer.
- **Karakteristik Eğriler:** Farklı I_E değerleri için (0 mA'dan 7 mA'ya kadar) $I_C - V_{CB}$ ilişkisi görülür.

MOSFET

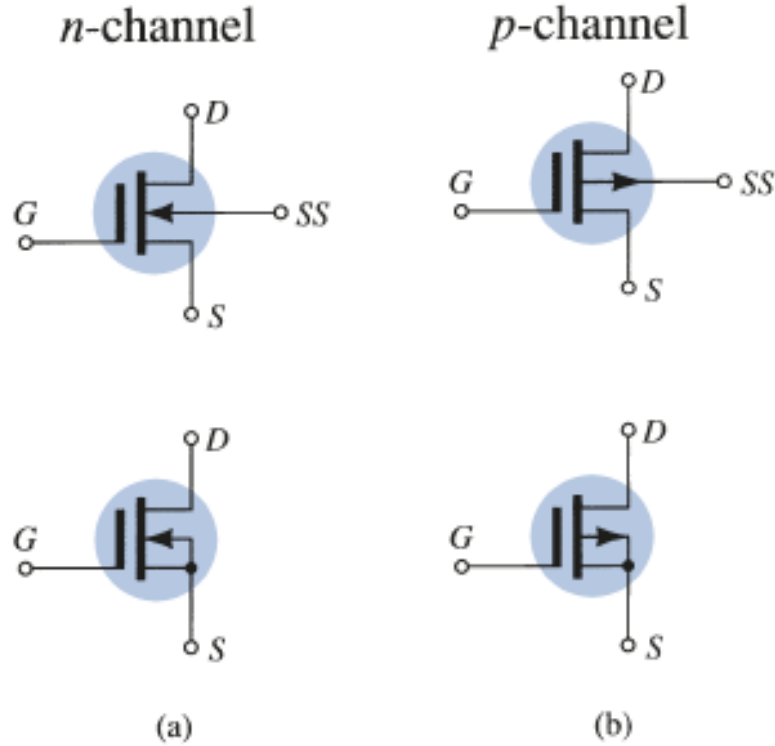
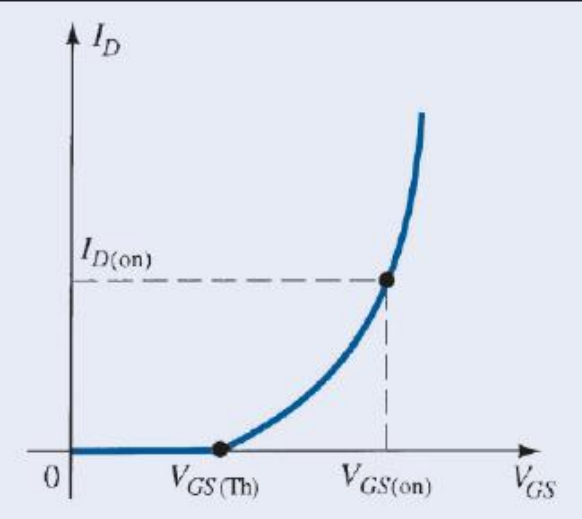
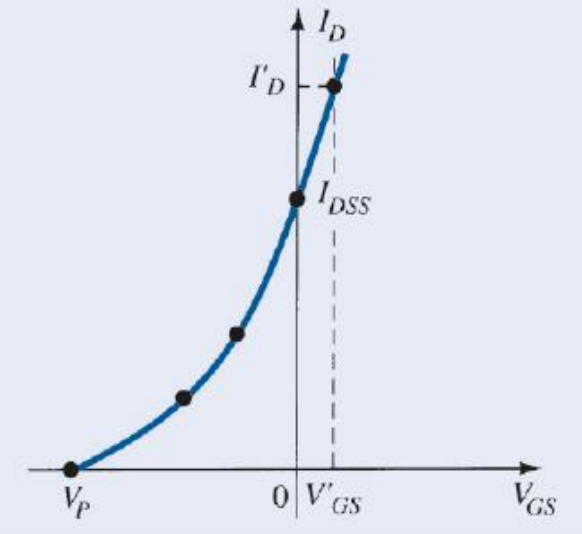


FIG. 30

Graphic symbols for: (a) n-channel depletion-type MOSFETs and (b) p-channel depletion-type MOSFETs.

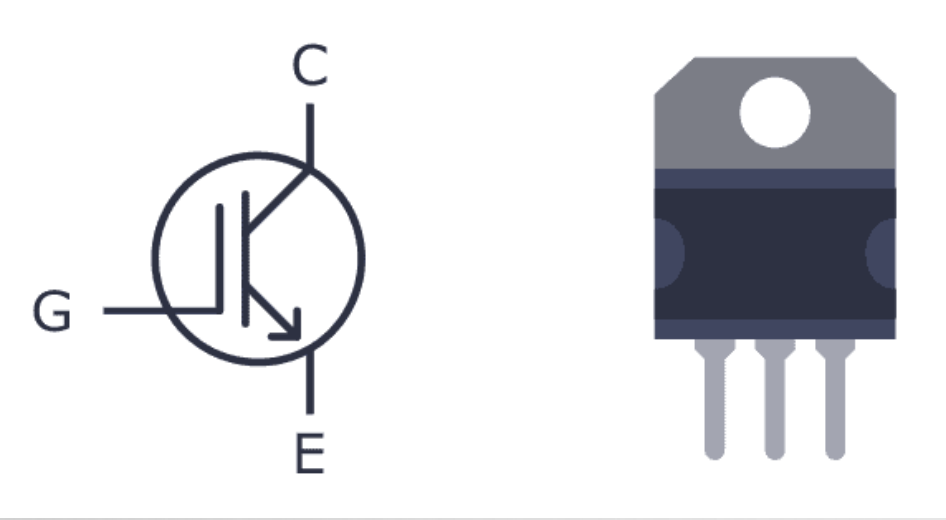
- **MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET):** Kapı (G), kaynak (S) ve drenç (D) olmak üzere üç uca sahiptir.
- **n-channel ve p-channel tipleri vardır:** Akım taşıyıcıları n-kanalda elektronlar, p-kanalda deliklerdir.
- **Enhancement ve depletion modları bulunur:** Enhancement modunda kapı gerilimi uygulanmadan akım akmaz, depletion modunda akım doğal olarak akar ve kapı gerilimi ile kesilir.
- **Avantajı:** Yüksek giriş empedansı sayesinde kontrol için çok az güç harcar.

MOSFET KARAKTERİSTİĞİ



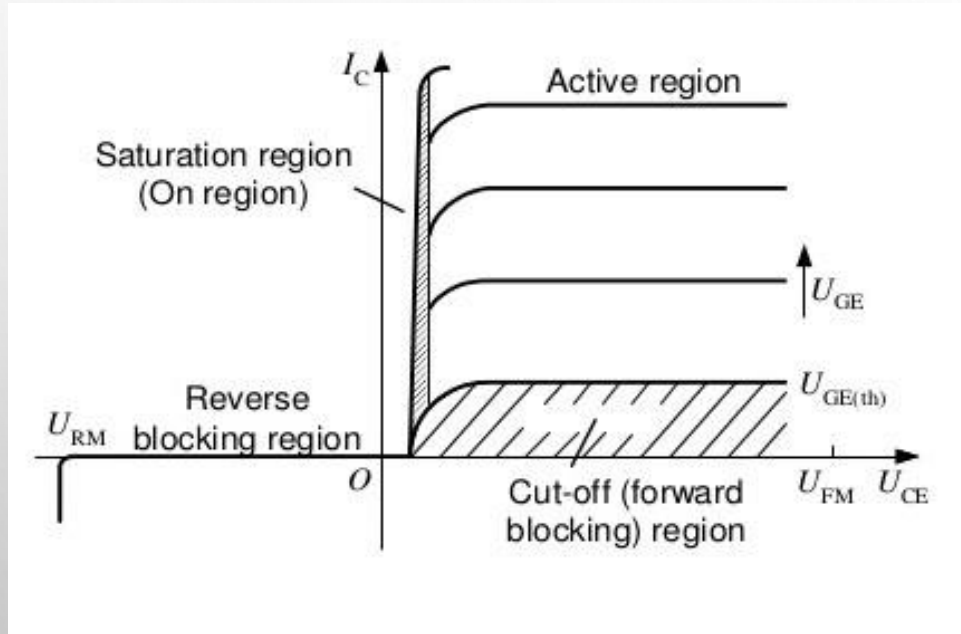
- MOSFET karakteristiği, kapı-kaynak gerilimi (V_{GS}) ile drenaj akımı (I_D) arasındaki ilişkiyi gösterir.
- Depletion tipi MOSFET'lerde, $V_{GS} = 0$ iken maksimum akım (I_{DSS}) akar. Negatif V_{GS} uygulanarak akım azaltılır ve V_P (pinch-off gerilimi) noktasında akım sıfırlanır.
- Enhancement tipi MOSFET'lerde, $V_{GS} = 0$ iken akım akmaz. Eşik gerilimi ($V_{GS(Th)}$) aşıldığında akım iletkenlik kazanır ve V_{GS} arttıkça I_D artar.
- Bu sayede MOSFET, gerilime duyarlı bir akım kontrol elemanı olarak çalışır.

IGBT



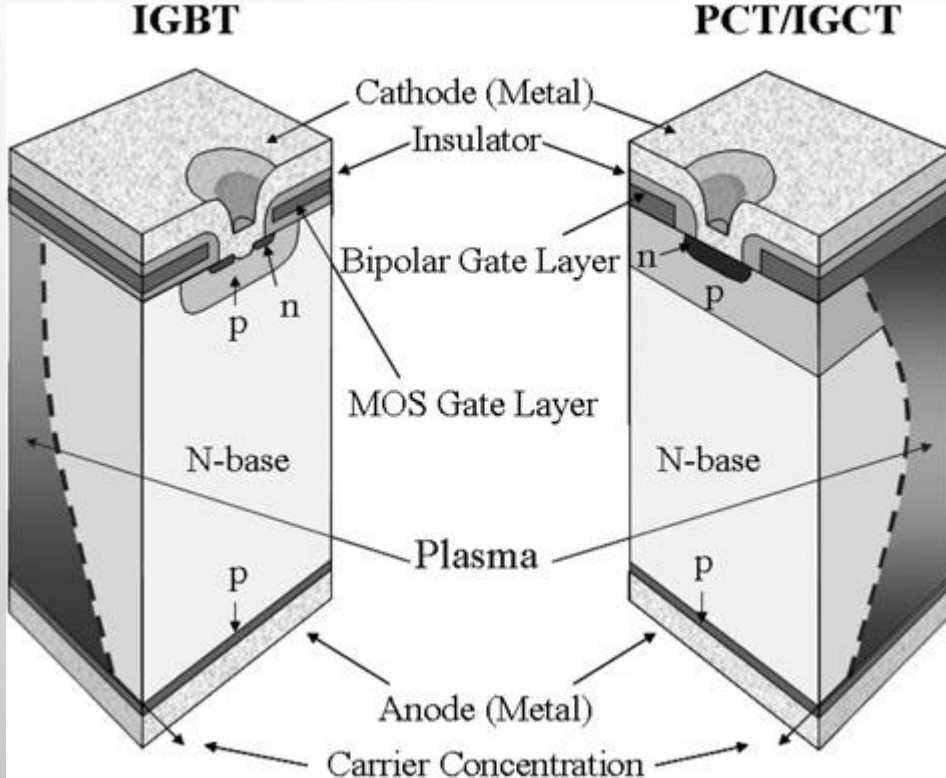
- IGBT, MOSFET'in kolay sürülme özelliğini ve BJT'nin yüksek akım taşıma kapasitesini birleştirir.
- Giriş (Gate) MOSFET yapısına benzer şekilde gerilim kontrollüdür, bu sayede sürülmesi kolaydır.
- Çıkış (Collector-Emitter) kısmı BJT yapısına benzer, yüksek akım ve yüksek gerilimleri taşıyabilir.
- Güç elektroniğinde özellikle orta ve yüksek güçlü uygulamalarda tercih edilir (inverter, motor sürücü, güç kaynakları).
- Avantajları: Düşük sürme gücü, yüksek verim, büyük akım taşıma kapasitesi.
- Dezavantajları: MOSFET'lere göre daha yavaş anahtarlama hızına sahiptir.

IGBT KARAKTERİSTİĞİ



- **Cut-off bölgesi (forward blocking region):** Gate-Emitter gerilimi (U_{GE}) eşik değer ($U_{GE(TH)}$) altında olduğunda, IGBT akım geçirmez.
- **Active bölge:** Gate-Emitter gerilimi eşik değerinin üstüne çıkınca, IGBT iletme geçer ve Collector akımı (I_C) artar.
- **Saturation bölgesi (On region):** IGBT tam iletimde, düşük kolektör-emiter gerilimi (U_{CE}) ile yüksek I_C akımı sağlar.
- **Reverse blocking bölgesi:** Ters yönde gerilim uygulandığında, IGBT belirli bir sınır gerilimine kadar (U_{RM}) akımı engeller.
- **Kontrol özelliği:** Gate uçuna uygulanan küçük bir gerilim, büyük kolektör akımlarını kontrol etmeye imkân tanır.

IGCT



- IGCT, GTO (Gate Turn-Off Thyristor) ve IGBT'nin avantajlarını birleştiren güçlü bir yarıiletken anahtarlama elemanıdır.
- Çok yüksek gerilim ve akımlarda çalışabilir, özellikle endüstriyel güç elektroniğinde tercih edilir.
- MOS kapı katmanı sayesinde hızlı anahtarlama yapabilir.
- N-base ve P tabakaları, akım taşıma kapasitesini artırır ve kayıpları düşürür.
- Metal anot ve katot yapısı sayesinde sağlam ve güvenilir bir mekanik yapıya sahiptir.
- Yüksek verim ve düşük anahtarlama kayıplarıyla motor sürücülerinde, HVDC sistemlerinde ve güç şebekesi uygulamalarında yaygın kullanılır.

GENEL KARŞILAŞTIRMA TABLOSU

Eleman	Kontrol Türü	Avantaj	Dezavantaj	Uygulama
Diyot	Kontrolsüz	Basit, ucuz	Tek yönlü	Doğrultucular
SCR	Yarı kontrol	Yüksek güç	Kapanışı kontrolsüz	AC kontrol
TRIAC	Yarı kontrol	AC çift yön	Yüksek akım sınırlı	Dimmer
GTO	Yarı kontrol	Gate ile kapanır	Yavaş	Endüstri
BJT	Tam kontrol	Güçlü	Yavaş, baz akımı	Eski sistemler
MOSFET	Tam kontrol	Çok hızlı	Yüksek güçte sınırlı	DC-DC
IGBT	Tam kontrol	Güç + hız	Orta hız	EV sürücü
IGCT	Tam kontrol	Çok güçlü	Pahalı	Endüstri