

T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



# MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN  
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

## BİYOMEDİKAL CİHAZ TEKNOLOJİLERİ

### BİYOMEDİKAL SİSTEMLERDE ÖZEL YARI İLETKENLİ ANANAHTARLAMA

ANKARA 2007

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	iii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. KUADRAK .....	3
1.1. Diyak Yapısı .....	3
1.1.1. Diyak'ın Çalışması.....	4
1.1.2. Diyak'ın AVometre ile Sağlık Kontrolü .....	5
1.1.3. Diyak'ın Kullanım Amacı .....	5
1.1.4. Diyak'ın AC Akımda Çalışması .....	7
1.2. Triyak Yapısı .....	8
1.2.1. Triyak'ın Çalışması .....	9
1.2.2. Triyak'ın İletim Halleri .....	10
1.2.3. Triyak'ın AVometre ile Sağlık Kontrolü .....	10
1.2.4. Triyak'ın Kullanım Amacı .....	12
1.2.5. Triyak'ın Tetiklenme Şekilleri.....	13
1.3. Kuadrak Yapısı ve Çalışması.....	14
1.3.1. Kuadrak'ın Özellikleri.....	15
1.3.2. Kuadrak'ın AVometre ile Sağlık Kontrolü .....	15
1.3.3. LDR'li Karanlıkta Çalışan Lamba Uygulaması.....	15
UYGULAMA FAALİYETİ.....	18
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	20
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	21
2. UJT.....	21
2.1. Yapısı ve Özellikleri.....	21
2.2. Çalışma İlkesi ve Kullanıldığı Yerler .....	22
2.3. UJT' nin Sağlık Kontrolü .....	24
2.4. UJT' nin Uçlarının Bulunması.....	25
2.5. PUT(programlanabilen Unijunction Transistör).....	25
2.6. UJT'li (Gevşemeli) Osilatör Devresi .....	27
UYGULAMA FAALİYETİ.....	33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	33
ÖĞRENME FAALİYETİ-3 .....	33
3. EĞRİ İZLEYİCİLER .....	33
3.1. Yapısı .....	33
3.2. Çalışması .....	33
3.3. Kullanım Alanları .....	33
3.4. Cihaz Üzerindeki Ölçüm Ayarlamaları .....	33
UYGULAMA FAALİYETİ.....	33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	33
ÖĞRENME FAALİYETİ-4.....	33
4. GTO.....	33
4.1. Tristörün Yapısı ve Özellikleri .....	33
4.1.1. Tristörü İletime Götürme Yöntemleri .....	33
4.1.2. Tristörü Yalıtıma Götürme Yöntemleri.....	33

4.1.3. Tristörün AVometre ile Sağlık Kontrolü ve Uçlarının Bulunması.....	33
4.1.4. Tristörün Eğri İzleyici ile Ölçülmesi.....	33
4.2. GTO Yapısı ve Özellikleri.....	33
4.2.1. GTO'ların SCR'lere Göre Üstünlükleri .....	33
4.2.2. Temel Yapısı ve Akım Gerilim Karakteristiği.....	33
4.2.3. Kapama Kazancı .....	33
4.2.4. Gerekli Yapısal Değişiklikler .....	33
4.2.5. GTO Tetikleme Yöntemleri.....	33
4.2.6. İletime Geçmedeki Geçici Rejim .....	33
4.2.7. Kesime Geçmedeki Geçici Rejim .....	33
4.2.8. Minimum Kapama ve Geçirme Süreleri.....	33
4.2.9. Maksimum Kontrol Edilebilir Anot Akımı .....	33
4.2.10. GTO'larda Aşırı Akım Koruması .....	33
4.2.11. GTO Uygulamaları.....	33
UYGULAMA FAALİYETİ.....	33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	33
ÖĞRENME FAALİYETİ-5.....	33
5. IGBT .....	33
5.1. IGBT Yapısı, Özellikleri ve Çalışması.....	33
5.1.1. Statik Davranışları (Karakteristikleri) .....	33
5.1.2. Güvenli Çalışma Bölgesi .....	33
5.1.3. Sürme (Tetikleme)Devreleri .....	33
5.1.4. Diğer Özellikleri ve Uygulama Alanları ve IGBT'nin Korunması .....	33
5.1.5. Biyomedikal Cihazlarda ve Cihazların Beslemelerinde IGBT Kullanımı.....	33
5.1.6. Çok Devirli Motorlarda IGBT Kullanımı .....	33
5.1.7. IGBT'İN AVometre ile Kontrolü .....	33
5.1.8. IGBT'İN AC Akımda çalışması.....	33
5.1.9. IGBT'in DC Akımda Çalışması.....	33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	33
MODÜL DEĞERLENDİRME.....	33
CEVAP ANAHTARLARI .....	33
ÖNERİLEN KAYNAKLAR .....	33
KAYNAKÇA .....	33

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>522EE0151</b>
<b>ALAN</b>	<b>Biyomedikal Cihaz Teknolojileri</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Alan Ortak</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Biyomedikal Sistemlerde Özel Yarı İletken Anahtarlama</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Özel yarı iletkenlerin biyomedikal cihazlarda kullanımı ile ilgili temel bilgi ve becerilerin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/32
<b>ÖN KOŞUL</b>	Ön koşulu yoktur.
<b>YETERLİK</b>	Özel yarı iletkenli anahtarlama elemanlarıyla uygulama devreleri yapmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<p><b>Genel Amaç</b> Bu modül sonrasında, özel yarı iletkenli anahtarlama ve tetikleme elemanlarını tanıyacak, katalog bilgilerine ve (TSE, ISO) standartlarına uygun olarak elektronik devrelerde kullandığımız elemanlarla uygulama devreleri yapabileceksiniz.</p> <p><b>Amaçlar</b> Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında,</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Ø Eğri izleyicilerle ölçüm yapabilecek eleman karakteristik özelliklerini gözleyebileceksiniz.</li><li>Ø IGBT yapısını ve özelliklerini, tetikleme yöntemlerini bilecek ve eğri izleyicilerle ölçümünü yapabilecek, istenen özellikte IGBT seçebilecek ve IGBT kullanarak uygulama devresi yapabileceksiniz.</li><li>Ø GTO yapısını ve özelliklerini, tetikleme yöntemlerini bilecek ve eğri izleyicilerle ölçümünü yapabilecek, istenen özellikte GTO seçebilecek ve GTO kullanarak uygulama devresi yapabileceksiniz.</li><li>Ø UJT'lerin yapısını, çalışmasını ve özelliklerini tanıyacak, istenen özellikte UJT seçebilecek ve pals osilatör devresinde UJT kullanımının uygulamasını yapabileceksiniz.</li><li>Ø Kuadrakın yapısını, çalışmasını ve özelliklerini tanıyacak, istenen özellikte kuadrak seçebilecek ve AC'de güç kontrolü uygulaması yapabileceksiniz.</li></ul>
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	Atölye ortamı, laboratuvar donanımları, eğri izleyici ( Osiloskop, özel yarı iletken anahtarlama ve tetikleme elemanları, elektronik devre tasarım boardları, ayarlanabilir AC ve DC güç kaynakları, uygun kablo ve donanımları, endüstriyel elektronik devre elemanları, katalog, ürün bilgi sayfaları.

**ÖLÇME VE  
DEĞERLENDİRME**

Her faaliyet sonrasında o faaliyetle ilgili değerlendirme soruları ile kendi kendinizi değerlendireceksiniz.

Öğretmeniniz modül sonunda size ölçme aracı (uygulama, soru-cevap ) uygulayarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek değerlendirecektir.

# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

Bu modül sonunda edineceğiniz bilgi ve beceriler ile biyomedikal cihaz teknolojileri alanında önemli kullanımı olan özel yarı iletken anahtarlama ve tetikleme elemanlarını tanıyacak, bu elemanlarla devre tasarımları yapabilecek ve bunların uygulama sonuçlarını hayata geçirebileceksiniz.

Teknolojinin her geçen gün hızla geliştiği günümüzde özel yarı iletken anahtarlama ve tetikleme elemanlarında sürekli yenilikler olmaktadır. Daha kullanışlı, daha güvenli ve akım kapasiteleri oldukça geniş sınırlar içinde kullanılabilir hale getirilen özel yarı iletken anahtarlama ve tetikleme elemanlarını tanımanızın önemini, mesleğinizi uygularken birçok güçlüğün üstesinden kolayca geldiğinizde kavrayacaksınız.

Günümüzde tıp elektroniğinden imalat endüstrisine günlük kullandığımız elektrikli ve elektronik birçok ev ve el aletinden askeri alana, uydu haberleşme cihazlarından bilgisayarların vazgeçilmez kesintisiz güç kaynaklarına kadar birçok alanda özel yarı iletken anahtarlama ve tetikleme elemanlarını göreceksiniz ve bu alanda sahip olduğunuz bilgiyle gurur duyacaksınız.

Özellikle biyomedikal cihazların tamamına yakın bir kısmı, elektrik kesintisinin kabul edilemez olması nedeniyle kesintisiz güç kaynakları üzerinden çalıştırılmaktadır. Yine biyomedikal cihaz beslemesinin dışında IGBT lerin endüksiyonla ısıtma sistemlerindeki üstünlükleri ve geniş ayar karakteristik özellikleri fizik tedavi cihazlarında yaygın olarak kullanılma koşulunu oluşturmaktadır. Özel yarı iletkenlerin büyük akımları oldukça küçük gerilim değerleriyle kontrol edebilir olması hem cihazı kullanan tıp personelinin hem de hastaların güvenliklerini artırmıştır.

Tanıdığınız ve kullanmasını bildiğiniz bu elemanlarla mesleğinizin dışında kendinize ait alet, makine ve araçlarınızı tamir edebilecek, günümüzde belki de petrolden bile önemli hale gelen alternatif enerji sistemlerinden güneş pilleriyle enerji üretiminin en önemli unsurunun özel yarı iletken anahtarlama ve tetikleme elemanları olduğunu şaşırarak öğreneceksiniz. Hobi amaçlı çalışmalarla boş zamanlarınızı değerlendirecek, hoşça vakit geçirebileceksiniz.

Bu modülün beklentilerinizi karşılayacağını umuyor, çalışmalarınızda başarılar diliyoruz.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda KUADRAK 'ın yapısını, çalışmasını ve özelliklerini tanıyacak, istenilen özellikte KUADRAK seçebilecek ve AC ' de güç kontrolü uygulaması yapabileceksiniz.

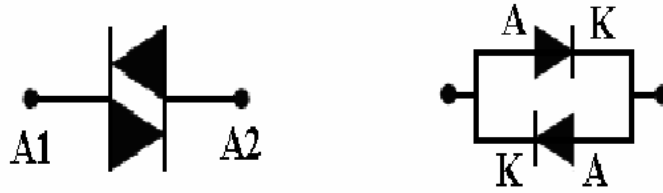
## ARAŞTIRMA

Otomatik çalışan sokak aydınlatma lambaları, merdiven otomatığı, ışık şiddeti ayarlanabilir lamba devrelerinin çalışmasını araştırınız. Bu devrelerin fonksiyonlarını yerine getirmek için kullandıkları aktif devre elemanlarını araştırınız ve devrelerin çalışmasını rapor haline getirin.

## 1. KUADRAK

Kuadraklar yapı olarak içlerinde Diyak ve Triyak barındırdıkları için öncelikle Diyak ve Triyak'ın yapıları, özellikleri çalışma prensipleri, AVOMETRE ile kontrolleri incelenecektir.

### 1.1. Diyak Yapısı



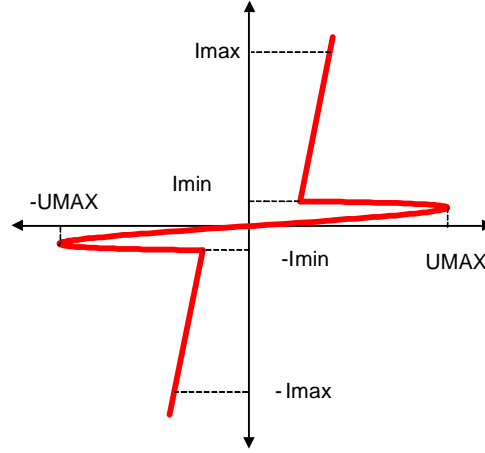
Şekil 1.1: Diyak sembolü ve diyak iç yapısı

Her iki yönde akım geçirecek şekilde iki adet pnpn diyodun birbirlerine ters yönlü olarak paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş tetikleme elemanıdır. Diyak çift yönde de aynı görevi gören bir zener Diyot gibi çalışır

### 1.1.1. Diyak'ın Çalışması

Diyak'ın kırılma ( geçirme ) gerilimi 24 – 36 volt aralığındadır. Bu gerilimlerin altında Diyak yalıttır. Yani akım geçirmez. A1 A2 olarak adlandırılan uçlarının devreye bağlanma şekli önemli değildir. Her iki şekilde de bağlanabilir. Diyak üzerinden geçecek maksimum akım değeri  $I_{max} = 2$  amper dolayındadır. Diyak üzerinden geçecek akım değeri  $I_{min}$  değerinin altına düştüğünde Diyak yalıttır yani akım geçirmez.

Üzerinden sadece sızıntı akımı geçer. Üzerine uygulanan gerilim Diyak geriliminin üstüne çıktığında ise Diyak iletme geçer. Fakat iletme geçer geçmez Diyak'ın uçlarındaki gerilimde bir düşüş görülür. Bu düşüş değeri Diyak geriliminin yaklaşık %20 'si kadardır. Diyak'ın üzerine uygulanan gerilim Diyak geriliminin altına da düşse Diyak yine de iletimde kalır. Fakat Diyak'a uygulanan gerilim düşüş anından sonraki gerilim seviyesinin altına düşürüldüğünde Diyak yalıttır geçer. Diyak iki yöndeki uygulanan polarmalarda da aynı tepkiyi verecektir. Diyak'ın bu özellikleri alternatif akımda kullanılabilmesine olanak verir.



Şekil 1.2: Diyak'ın karakteristik eğrisi

$I_{max}$  = Diyak üzerinden geçirilebilecek maksimum akım

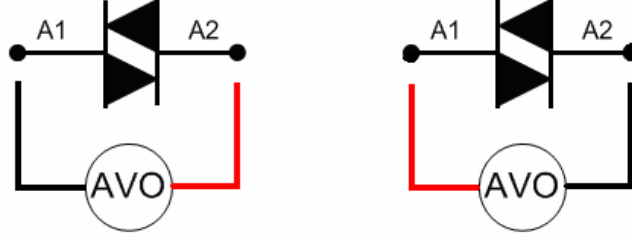
$I_{min}$  = Diyak'ı iletimde tutacak en az akım

$U_{max}$  = Diyak'ın iletme geçeceği (kırılma ) gerilim

$U_{min}$  =Diyak'ın yalıttır geçeceği gerilim sınırı

### 1.1.2. Diyak'ın AVOMETRE ile Sağlamlık Kontrolü

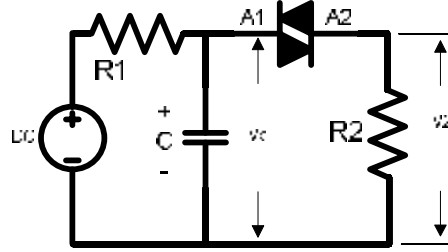
AVO metre ile Diyak'ın sağlamlık kontrolünde, ölçü aletinin omaj kademesinde her iki yönde yapılan ölçümde yüksek direnç gösterir. Diyak arızalı ise her iki yönde de düşük direnç ölçülür. Güvenilir sağlamlık kontrolü ancak Diyak devrede, iletimde ve yalıtımda iken yapılacak ölçümle ya da basit bir Triyak tetikleme devresindeyken deneyerek yapılabilir.



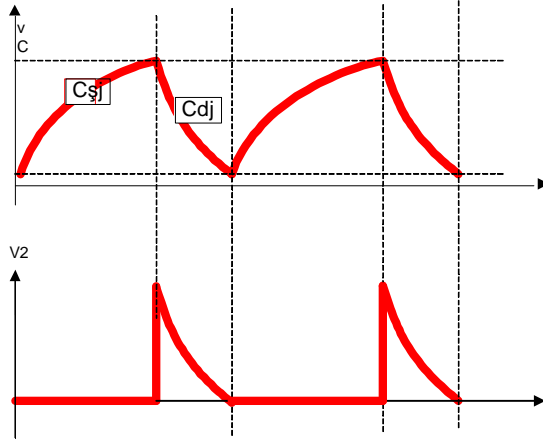
Şekil 1.3 Diyak'ın AVO metre ile kontrolü

Her iki yönlü ölçümde yüksek direnç okunmalıdır

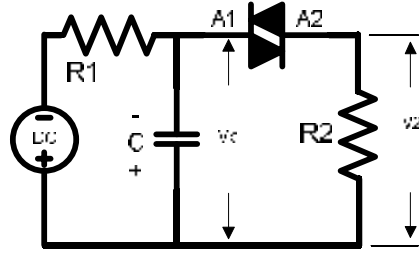
### 1.1.3. Diyak'ın Kullanım Amacı



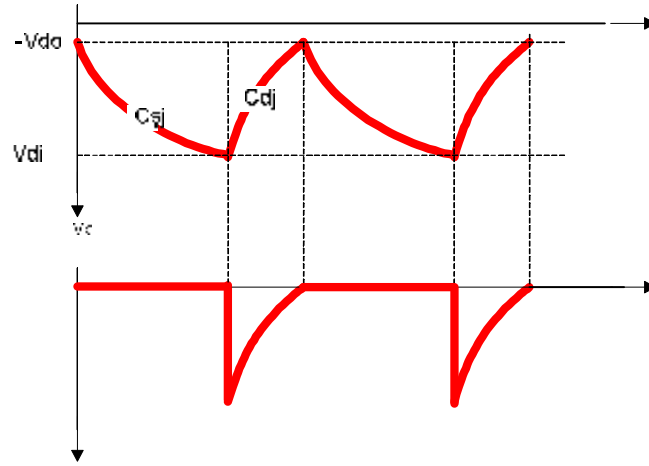
Şekil 1.4: Diyakla yapılan osilatör devresi kondansatörün şarj anı



Şekil 1.5: Diyak'ın DC akımdaki kondansatörün şarj anındaki dalga şekilleri



Şekil 1.6: Diyakla yapılan osilatör devresi kondansatörün deşarj anı



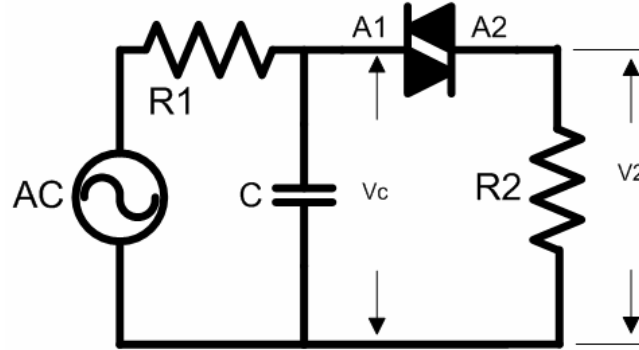
Şekil 1.7: Diyak'ın DC akımdaki kondansatörün deşarj anındaki dalga şekilleri

Şekil 1. 4'te ve 1. 6 da Diyakla yapılan osilatör devresinde DC akımın kutbuna göre Diyak pozitif ve negatif darbeler meydana getirir. Devredeki kondansatör R1 direnci üzerinden şarj olur. Kondansatör uçlarındaki gerilimin değeri Diyak iletim gerilimine eşit olduğunda Diyak iletime geçer ve kondansatörü R2 direnci üzerinden deşarj eder. Kondansatör üzerindeki gerilim değeri Diyak iletim geriliminden küçük olduğu anda Diyak yalıtıma geçer, bu şekilde pozitif ve negatif darbeler meydana gelir.

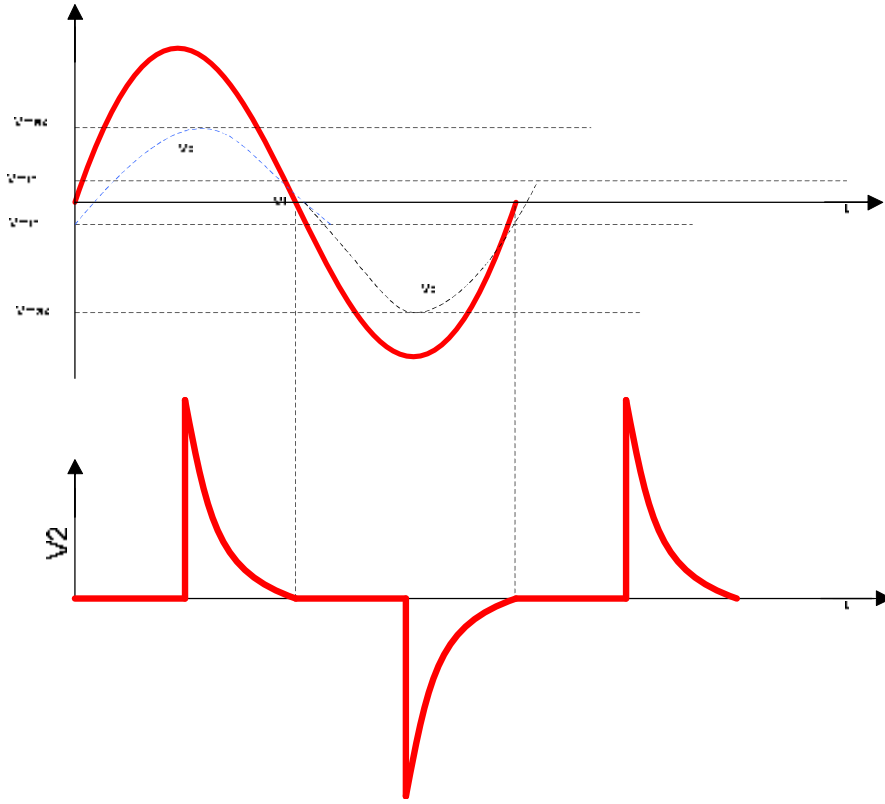
Yukarıda açıklandığı gibi diyak darbeler üreterek tetikleme elemanı olarak kullanılan bir yarı iletkenidir

#### 1.1.4. Diyak'ın AC Akımda Çalışması

Şekil 1. 8 de Diyak'ın AC akımda çalışması gösterilmektedir. AC akımda Kondansatörün uçlarındaki gerilimin yönü sürekli değiştiği için Kondansatörün pozitif alternansta şarj olup Diyak'ı iletime geçirip pozitif darbe üretmesine neden olur. Kondansatör deşarj olurken Diyak'ı yalıtıma geçirir. Negatif alternansta Kondansatör şarj olurken Diyak'ı iletime geçirip negatif darbe üretmesine neden olur. Kondansatör deşarj olurken Diyak'ı yalıtıma geçirir. Bu işlem periyodik olarak devam eder.



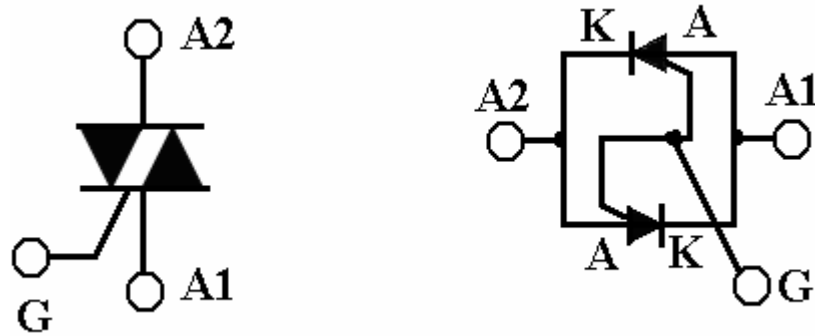
Şekil 1.8: Diyak'ın AC akımdaki osilatör devresi



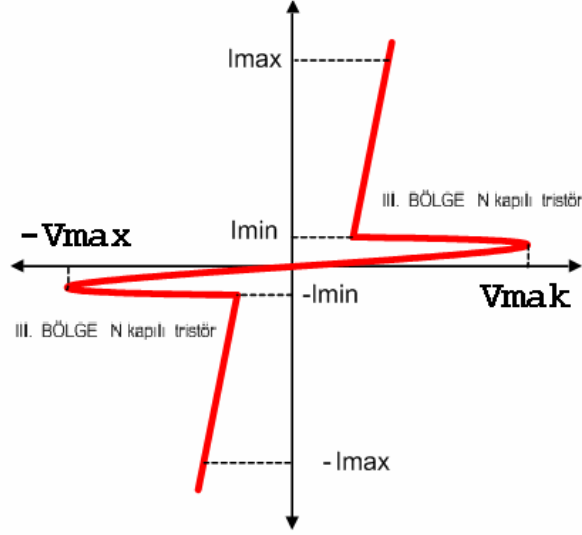
Şekil 1.9: Diyak'ın AC akımdaki dalga şekilleri

## 1.2. Triyak Yapısı

n kapılı ve p kapılı iki adet tristörün ters paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş alternatif akımda her iki yönde akım geçiren yarı iletken anahtarlama elemanıdır.



Şekil 1.10: Triyak sembolü ve Triyak'ın iç yapısı



Şekil 1.11: Triyak'ın karakteristik eğrisi

### 1.2.1. Triyak'ın Çalışması

Triyak alternatif akımda çalışırken pozitif alternasta bir tristör negatif alternasta ise diğer tristör iletme geçer. İç yapısında da görüleceği gibi iki tristör birbirine ters olarak paralel bağlanmıştır. Böylece bağlantı noktaları anot - katot diye değil A2 - A1, kontrol ucu da geyt (G) olarak adlandırılmıştır.

Triyağın karakteristik eğrisinde görüldüğü gibi A1 – A2 uçlarına uygulanan gerilim  $V_{max}$  değerini aştığında Triyak tetiklenmeden kendi kendine iletme geçer, fakat bu durumda Triyak iş göremez hale gelir.

Triyak grafiğın I. ve III. bölgelerinde kararlı olarak çalışır bu bölgeler 1.ve 2. Tristörün iletimde olduğu bölgelerdir.  $V_{max}$  gerilimi aşılmadığı sürece geyt ucundan bir tetikleme darbesi uygulanmadan Triyak yalıtımdadır. Yani akım geçirmez. Geyt ucuna (eksi) ya da ( artı ) gerilim uygulandığında Triyak iletme geçer ve üzerinden akım geçirir. Triyak üzerinden geçecek akım  $I_{max}$  ve  $I_{min}$  değerlerinin dışına çıkmamalıdır.  $I_{max}$  sınırı aşılsa Triyak yırtılır yani iş göremez hale gelir.  $I_{min}$  altına düştüğünde ise Triyak yalıtıma geçer.

Triyak DC akımda da kullanılabilir, DC akımda tristör gibi çalışır.

### 1.2.2. Triyak'ın İletim Halleri

1. hal; I. bölge çalışması A<sub>2</sub> (artı) A<sub>1</sub> (eksi) G (artı) kararlı iletim
2. hal; III. bölge çalışması A<sub>2</sub> (eksi) A<sub>1</sub> (artı) G (artı) kararsız iletim
3. hal; I. bölge çalışması A<sub>2</sub> (artı) A<sub>1</sub> (eksi) G (eksi) kararsız iletim
4. hal; III. bölge çalışması A<sub>2</sub> (eksi) A<sub>1</sub> (artı) G (eksi) kararlı iletim

1. ve 3. hallerde A<sub>2</sub> ucuna uygulanan gerilimin yönü geyt ucuna uygulanan gerilimin yönüyle aynı olduğu için Triyak kararlı iletimdedir. Kararsız iletimin olduğu 2. ve 4. hallerde Triyak'ın iletime geçebilmesi için geyte uygulanan gerilim diğer hallerde uygulanan gerilimden daha büyük olmalıdır.

Alternatif akımda çalıştırılacak Triyak'ın kararlı çalışma halinde olabilmesi için A<sub>2</sub> ucu ile geyt ucu aynı polariteden beslenmelidir.

### 1.2.3. Triyak'ın AVOMETRE İLE SAĞLAMLIK KONTROLÜ

AVOMETRENİN DİRENÇ KONUMUNDA YAPILAN ÖLÇÜMLERDE A<sub>1</sub> – G ARASI ÇİFT YÖNLÜ TRİSTÖR OLDUĞU İÇİN HER İKİ YÖNDE DE DÜŞÜK DİRENÇ ÖLÇÜLMELİDİR.

A<sub>2</sub> – G ARASI YAPILAN HER İKİ YÖNLÜ ÖLÇÜMDE YÜKSEK DİRENÇ ÖLÇÜLMELİDİR

A<sub>1</sub> – A<sub>2</sub> ARASI YAPILAN HER İKİ YÖNLÜ ÖLÇÜMDE YÜKSEK DİRENÇ ÖLÇÜLMELİDİR

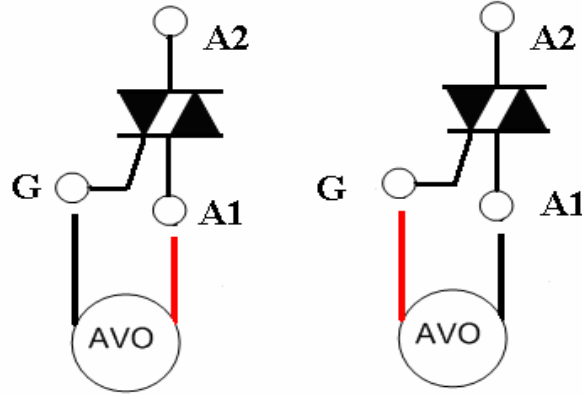
A<sub>1</sub> – A<sub>2</sub> ARASI ÖLÇÜM YAPILIRKEN AVOMETRENİN UÇLARINDAN HERHANGİ BİRİ GEYT UCUNA DOKUNDURULUP ÇEKİLDİĞİNDE OKUNAN DİRENÇ DEĞERİ DÜŞÜYÖRSE TRİYAK İLETİME GEÇİYOR DEMEKTEDİR. AVOMETRENİN UÇLARI DEĞİŞTİRİLİP İŞLEM TEKRARLANDIĞINDA AYNI ŞEKİLDE DİRENÇ DÜŞÜYÖRSE TRİYAK HER İKİ TETİKLEME HALİNDE DE İLETİME GEÇTİĞİ İÇİN SAĞLAMDIR.

Yukarıdaki anlatılanlardan biri gerçekleşmezse ya da A<sub>1</sub> – A<sub>2</sub> ARASI DÜŞÜK DİRENÇ DEĞERİ GÖSTERİYÖRSE TRİYAK ARIZALIDIR.

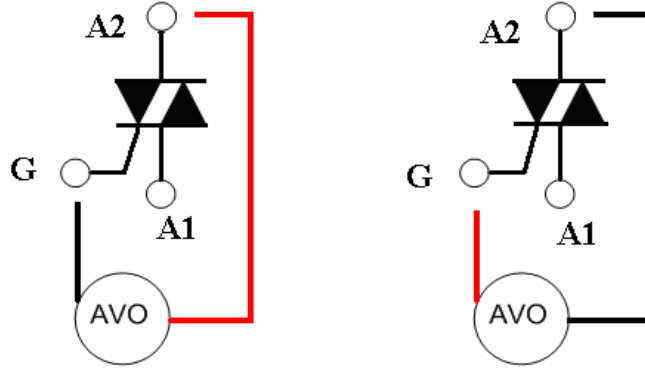
Triyak'ın bacaklarını aşağıya, yazısını okuyacak şekilde bize çevirdiğimizde; soldan 1. bacak =A<sub>1</sub>; 2. bacak= A<sub>2</sub>; 3.bacak=Geyt şeklindedir.

Dış görünüşleri aynı olan tristör ve Triyak'ı birbirinden ayırt etmek için eleman uçları A<sub>1</sub> - G arası yapılan iki yönlü ölçümde düşük direnç ölçülürse eleman Triyak'tır. Bir yönde düşük diğer yönde yüksek direnç ölçülürse eleman tristördür.

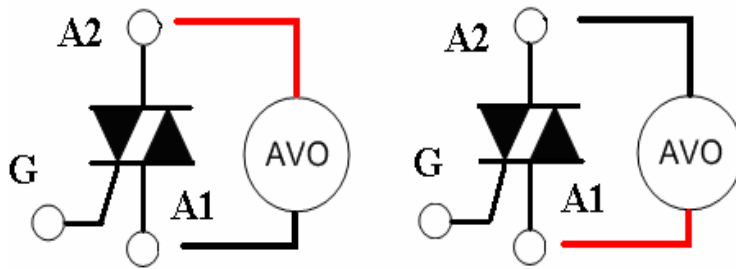




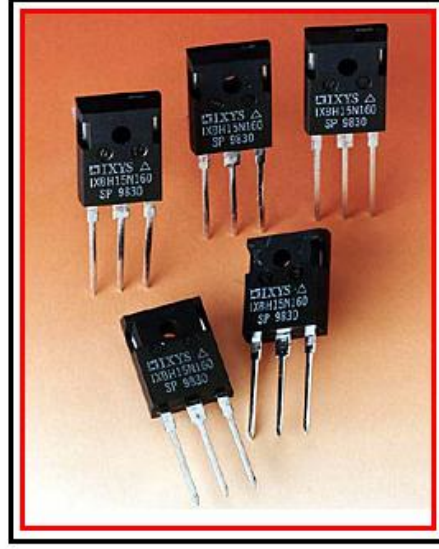
Şekil 1.12: (a) Geyt - A<sub>1</sub> arası ölçüm (Her iki yönlü ölçümde düşük direnç okunmalıdır)



Şekil 1.12: (b) Geyt - A<sub>2</sub> arası ölçüm (Her iki yönlü ölçümde yüksek direnç okunmalıdır)



Şekil 1.12: (c) A<sub>1</sub> - A<sub>2</sub> arası ölçüm (Her iki yönde yapılan ölçümde yüksek direnç okunmalıdır)



Resim 1.1: Triyak çeşitleri



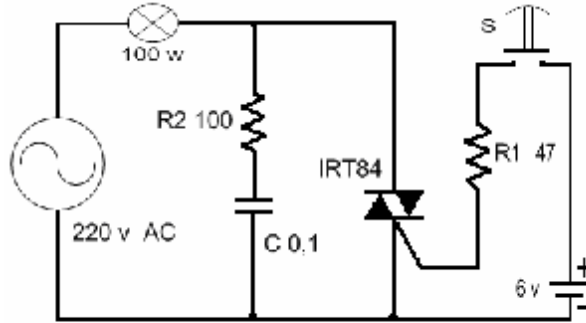
Resim 1.2: Triyak ve kullanım alanları

#### 1.2.4. Triyak'ın Kullanım Amacı

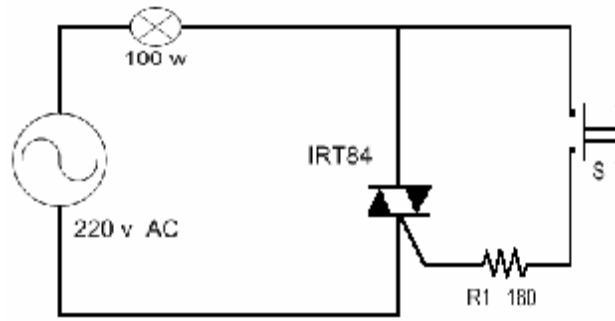
Triyaklar genellikle alternatif akım devrelerini kumanda etmede kullanılır. Yüksek akımları küçük akımlarla kontrol edebilir olması kullanım alanlarını artırmıştır. Ayrıca sessiz çalışması bakım gerektirmemesi problemsiz ve rölelere göre oldukça hızlı açma kapama yapması, açma kapama esnasında ark oluşmaması Triyakları üstün kılan özellikleridir. Triyaklar, 220 volt altında 10 amper gibi yüksek bir akım geçirirken uçlarında bulunan gerilim 1,5 volt civarındadır. Bu anda Triyak üzerindeki harcanan güç 15 wat dolayında iken yük üzerinde harcanan güç 2200 watttır. Triyaklar uygun şekilde soğutulurlarsa üzerlerinde harcanan güç kaybının oluşturacağı ısı dağıtılarak ömürlerinin uzun olması sağlanır.

Triyak ile AC akımların DC akımlarla da kontrolü sağlanabilir.

### 1.2.5. Triyak'ın Tetiklenme Şekilleri

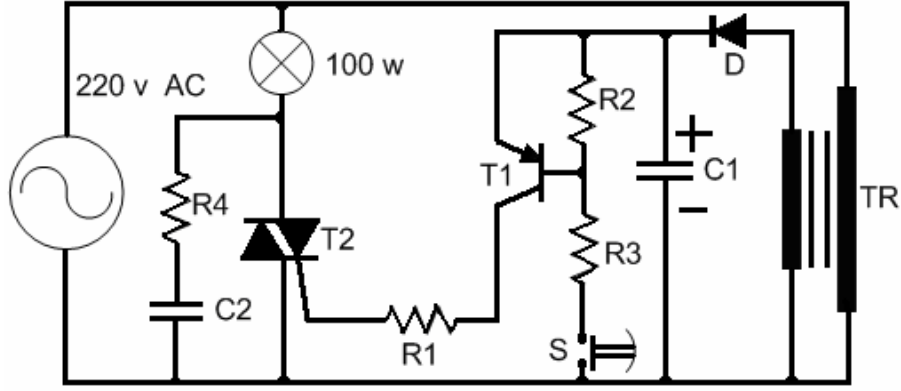


Şekil 1.13: DC akımla tetikleme



Şekil 1.14: AC akımla tetikleme

Ø **Devre Elemanları:** R1 = 68 Ω R2 = 10 KΩ R3 = 3,3 KΩ R4 = 100 Ω C1 = 1000 (30 v) C2 = 0,1 µF(400 v) T1 = 2N3702 T2 = IRT84 D = 1N4001

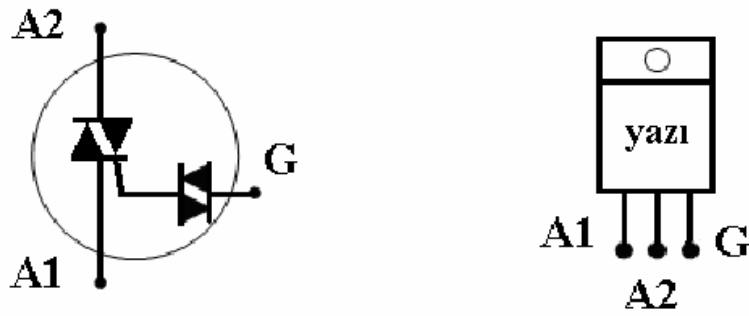


Şekil 1.15: AC akımda transistorle tetikleme

Açıklanan tetikleme yöntemlerinin dışında Triyak, UJT – SBS – SUS - Diyak gibi devre elemanları ile de tetiklenebilir.

### 1.3. Kuadrak Yapısı ve Çalışması

Kuadrak, bir Triyak ile bir Diyak'ın tek bir yapı içinde beraber olarak üretilmesiyle meydana getirilmiştir. Triyak'ı tetikleyici eleman olarak genellikle Diyak kullanıldığı için bu iki eleman yerine tek eleman olarak Kuadrak tasarlanmıştır. Triyak'ın kullanıldığı bütün devrelerde Diyak kullanmadan tek eleman olarak Kuadrak kullanmak mümkündür.



Şekil 1.16: Kuadrak'ın sembolü ve yapısı

### 1.3.1. Kuadrak'ın Özellikleri

Kuadrak Triyak'ın kullanıldığı devre tasarımlarında uygulama kolaylığı ve sadelik sağlar. Bunun dışında Kuadrak'ın soğutucusuyla soğutulması işlemine Diyak'ın da soğuması sağlanmış olur. Böylece lehimleme işleminden ve olası eklem sorunlarından uzaklaşmış olunur.

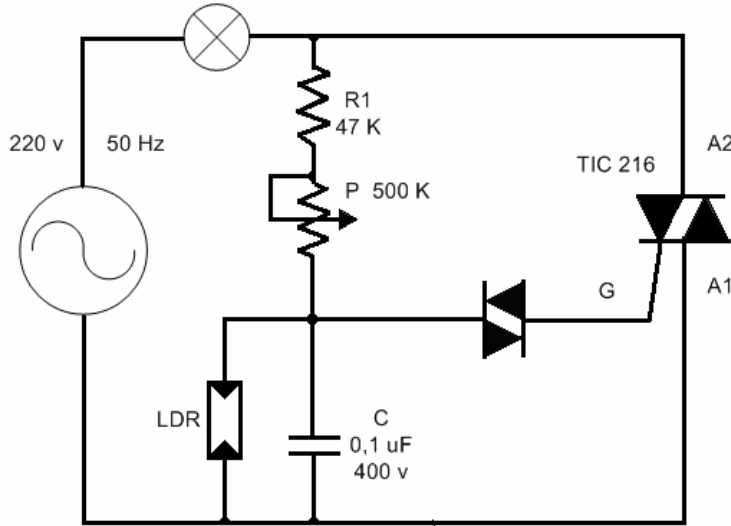
### 1.3.2. Kuadrak'ın AVometre ile Sağlamlık Kontrolü

AVOmetreyle yapılan sağlamlık kontrolünde üç uç arasında yapılan her iki yönlü ölçüm sonucu yüksek direnç ölçülür bunun nedeni Triyak'ın geytine Diyak eklenmiş olmasıdır.

### 1.3.3. LDR'li Karanlıkta Çalışan Lamba Uygulaması

Aşağıdaki devreye gerilim uygulandığında LDR'ye ışık düştüğü anda LDR' nin direnci düşeceği için akım R1, P ve LDR üzerinden devresini tamamlar, kondansatör uçlarında Diyak'ı ilettime götürecektir 30 voltluk gerilim oluşmadığı için Diyak Triyak'ı tetikleyemez ve lamba yanmaz.

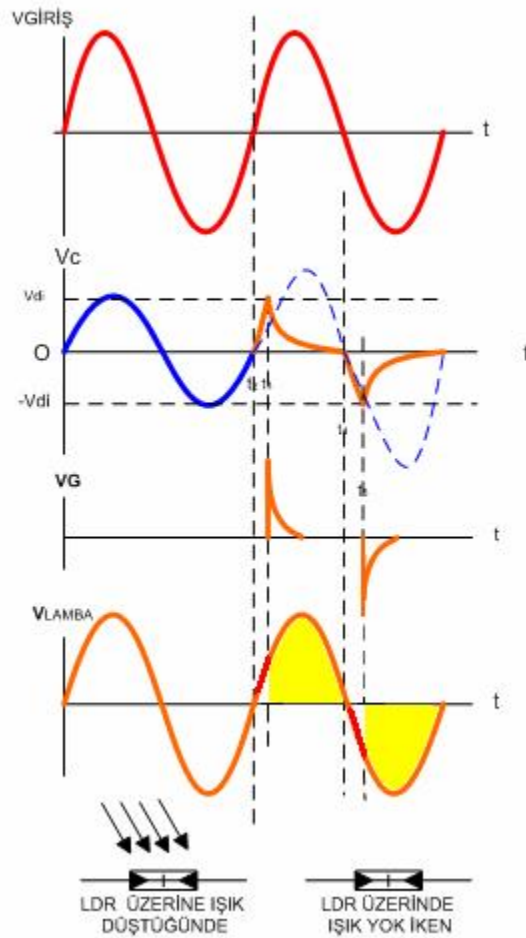
- Ø **Devre elemanları:** R<sub>1</sub>= 47 Ω - P = 500 KΩ - C = 0,1 μF 400 volt - Diyak = mcr 100 Triyak = TIC 216 - LDR - Lamba = 220 volt 100 wat - Güç kaynağı = 220 volt 50 Hz



Şekil 1.17: LDR kontrollü lamba karartma devresi

t2 anında LDR üzerine düşen ışığı engellediğimizde LDR' nin direnci yükselir ve akım R1, P ve C kondansatörü üzerinden devresini tamamlar. C kondansatörünün uçlarındaki gerilim, Diyak'ı iletme geçirmeye yeter. İletime geçen Diyak alternasın t3 anında pozitif darbe uygulayarak Triyak'ı tetikler, Triyak'ın iletme geçtiği anda lamba yanar. Bu durum alternasın sona erdiği t4 anına kadar sürer. t4 anında kondansatör negatif yönde sarj olmaya başlar. Kondansatörün uçlarındaki gerilim değeri 30 volt' u aştığında Diyak iletme geçer ve negatif darbe üreterek Triyak'ı tetikler ve Triyak iletme geçerek t6 anında alternasın sona ermesine kadar lambayı yakar.

Devredeki pot ayarlanarak Triyak'ın tetikleme açısı ve bu yolla da lambanın parlaklığı değiştirilebilir.



Şekil 1.18: LDR kontrollü dimmer dalga grafisi (sarı bölge lambanın yandığı an)

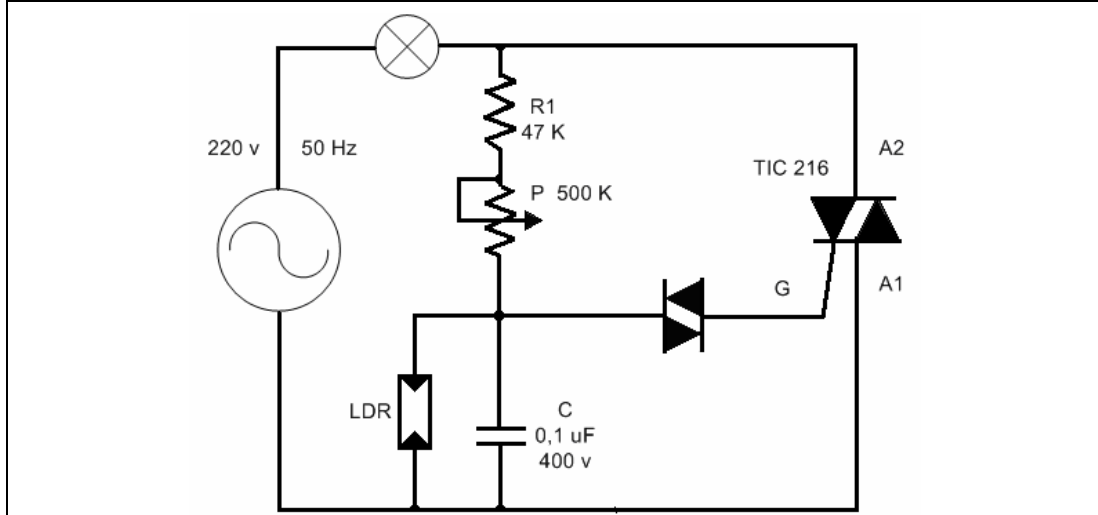


**Resim 1.3: Muhtelif Kuadrak çeşitleri**



**Resim 1.4: Kuadrakla yapılan bir anahtarlama devresi  
(Boyutuna Dikkat ediniz)**

## UYGULAMA FAALİYETİ



Şekil 1.17: LDR kontrollü lamba karartma uygulama devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Ø Kuracağınız LDR'li dimmer devresinin elemanlarını hazırlayınız.</p> <p>—R<sub>1</sub> = 47 Ω - P = 500 KΩ, C = 0,1 µF 400 volt, Diyak = mcr 100, Triyak = TIC 216, LDR</p> <p>Lamba = 220 volt 100 watt, Güç kaynağı = 220 volt 50 Hz</p> <p>—Bread-Board</p> <p>—Değişik uzunlukta ve kesitlerde kablo</p>	<p>Ø Elemanları öncelikle gözle kontrol ediniz. ( Kırık, kopuk, çatlak, izalasyonu bozuk, bağlantı uçları yıpranmış olabilir.)</p> <p>Ø Elektronik elemanlarını bölüm içerisinde anlatıldığı şekilde ölçü aletleriyle kontrol ediniz.</p> <p>Ø Lambayı, lamba deneme panosunda yakarak kontrol ediniz.</p> <p>Ø 220 volt beslemeli işlemler yaparken çalıştığınız düzlemin ıslak olmamasına dikkat ediniz.</p>
<p>Ø Devreyi şemaya uygun olarak kurunuz.</p>	<p>Ø Devreyi kurarken elektronik elemanların bacaklarının kırılıp kırılmamasına dikkat ediniz. Bunun için elektronik eleman cımbızlarını kullanabilirsiniz.</p> <p>Ø Triyak'ın tetikleme ve akım taşıyıcı uçlarına uygun kesitlerde kablolar kullanınız.</p>



Ø Gereklİ kontrollerİ yaparak devreye enerji veriniz.	Ø Güç kaynağı çıkışını AVO metre ile ölçerek gereklİ kademe seçimini yapınız.
Ø LDR üzerine düşen ışığı uygun materyal kullanarak engelleyiniz.	Ø LDR üzerine gelen ışığı yalıtkan ve koyu renklİ materyal ile engelleyiniz.
Ø Devrede kullanılan “pot”un ayarını değiştirerek lambanın parlaklığını azaltıp çoğaltmasını izleyiniz.	Ø Devredeki elemanlara enerjiyi kapamadan elle dokunmayınız. Ø Devredeki elemanların ısınıp ısınmadıklarını enerjiyi kapadığınızda parmak ucunuzla dokunarak anlayabilirsiniz.
Ø Gereklİ bilgi notlarını alıp anlamadığınız konuları öğretmeninize danışınız.	Ø Oluşan ısıdan Triyak’ın etkilenmemesi için, ısıyı çabuk emen, metal bir soğutucu kullanabilirsiniz.
Ø Devrenin özelliklerini ve iş hayatına uygulama tasarımlarını arkadaşlarınızla tartışınız.	Ø Devreyi kurarken ve enerji verip denerken dikkatinizi işlem üzerine yoğunlaştırınız.
Ø Devreyi elemanlarına zarar vermeden sökünüz.	Ø Arkadaşlarınızla çalışma esnasında şakalaşmayınız.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki cümleleri doğru veya yanlış olarak değerlendiriniz.

1. Diyaklar tetikleme elemanı olarak kullanılan iki uçlu elektronik devre elemanıdır.
2. Diyaklar aynı Diyotlar gibi tek yönlü akım geçirir.
3. Diyağın AVO metre ile kontrolünde bir yönde yüksek diğer yönde düşük direnç ölçülür.
4. Diyağın kırılma gerilimi 24–36 volt civarındadır.
5. Triyak iki adet tristörün ters paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş üç uçlu anahtarlama elemanıdır.
6. Triyak geytinden tetiklenmediği sürece uçlarına uygulanan gerilimin değeri ne olursa olsun yalıtımda kalır.
7. Triyakların üzerindeki oluşan ısı uygun soğutucularla dağıtıldığı zaman ömürleri uzun olur.
8. Triyaklar sadece alternatif akımda kullanılmaz, DC akımda da anahtarlama yapabilir.
9. UJT' ler de Triyakları tetiklemede kullanılır.
10. KUDRAK ' lar içinde sadece iki adet Triyak barındırır.
11. KUDRAK 'ın AVO metre ile yapılan ölçümlerinde her üç uç arasında yapılan ölçümde yüksek direnç ölçülür.
12. KUADRAĞI Triyağın kullanıldığı bütün devrelerde Diyak kullanmadan kullanmak mümkündür.

SORU	D	Y	SORU	D	Y
1.			7.		
2.			8.		
3.			9.		
4.			10.		
5.			11.		
6.			12.		

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı modül sonundaki cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz.

Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer faaliyete geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

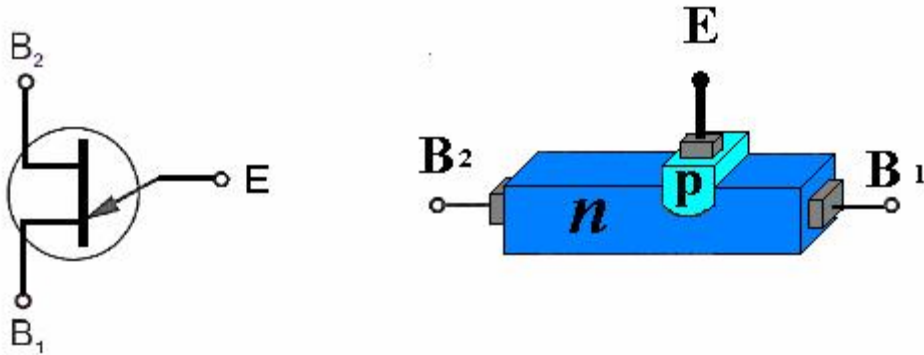
Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda UJT'nin yapısını, çalışmasını ve özelliklerini tanıyacak, istenilen özellikte UJT seçebilecek ve pals osilatör devresinde UJT kullanımının uygulamasını yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

Dc motor hız kontrol devrelerinde kullanılan devre yapılarını ve devre elemanlarını, gevşemeli(Relaxation) osilatör devresinin nerelerde ve ne amaçla kullanıldığını araştırarak raporlayınız.

## 2. UJT

### 2.1. Yapısı ve Özellikleri



Şekil 2.1: UJT sembolü ve iç yapısı

UJT üç uçlu bir elemandır. Temel yapısı şekil 2. 1'deki gibi hafif katkılanmış (direnç karakteristiği yükseltilmiş), kalınca bir dilim n tipi silisyum malzemesi üzerinde p malzemesi oluşturularak elde edilir. (Difüzyon yöntemi ile transistör üretim tekniği). Yapısında tek p - n eklemi bulunmasından dolayı kendisine uni-junction (tek eklemli) denir. n malzemesinin iki ucu Beyz1 ve Beyz2 olarak adlandırılır. Bu özelliği dikkate alınarak UJT ye çift beyzli diyot da denir. Sembolündeki emitör ucunun eğimli olması UJT'yi FETten ayıran özelliğidir.

Yapısında tek bir p- n jonksiyonu bulunduğu için dilimize tek bileşimli transistör olarak çevrilen

“ Uni – Jonksiyon – Transistör ” kelimelerinin baş harflerini kullanarak “UJT” adını almıştır.

İçinde; RB2 olarak adlandırılan sabit değerli direnç, RB1 olarak adlandırılan değeri değişebilen ikinci bir direnç ve bir Diyot bulunur. B1 – B2 uçlarındaki direnç değeri 5KΩ-10 KΩ arasında değişir.

#### Ø UJT'lerin genel özellikleri

- h; sıcaklık değişimlerine karşı oldukça kararlıdır -50 derece ile +125 c arasında karakteristiğindeki farklılaşma %10'dan küçüktür.
- Sıcaklık attıkça h azalır, fakat  $R_{BB}$  artar
- Aynı tip UJT'ler arasındaki sıcaklık kararlılığı iyi değildir. h %30 veya daha fazla olabilir.
- h; 0,5 ile 0,8 arasındadır.

## 2.2. Çalışma İlkesi ve Kullanıldığı Yerler

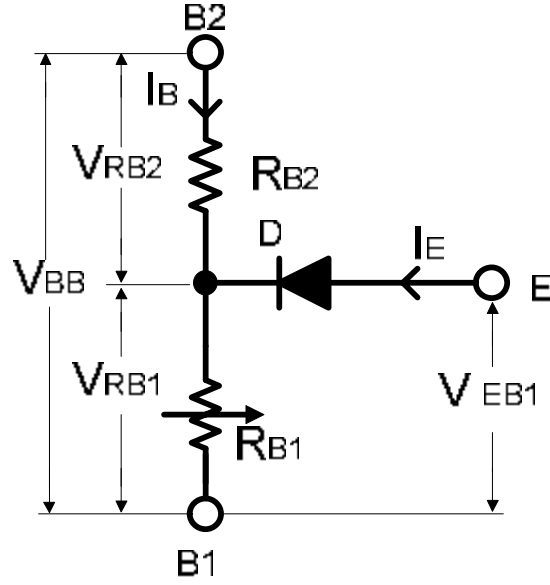
UJT'nin iletken olabilmesi için E-B1 uçlarının doğru, E-B2 uçlarının ters polarize edilmesi gerekir. E ucuna (+) B1 ucuna (-) B2 ucuna (+) gerilim uyguladığımızda B2 ucundan B1 ucuna doğru geçen IB akımı RB2 direnci üzerinde VRB2; RB1 direnci üzerinde de VRB1 gerilim düşümlerini oluşturur. Emiter ve B1 uçları uygulanan gerilime de VEB1 adı verilir.

UJT nin iletimde ya da yalıtımda olması VRB1 VEB1 arasındaki bağıntıya göre belirlenir.

$VEB1 < VRB1$  ise UJT yalıtıktır.

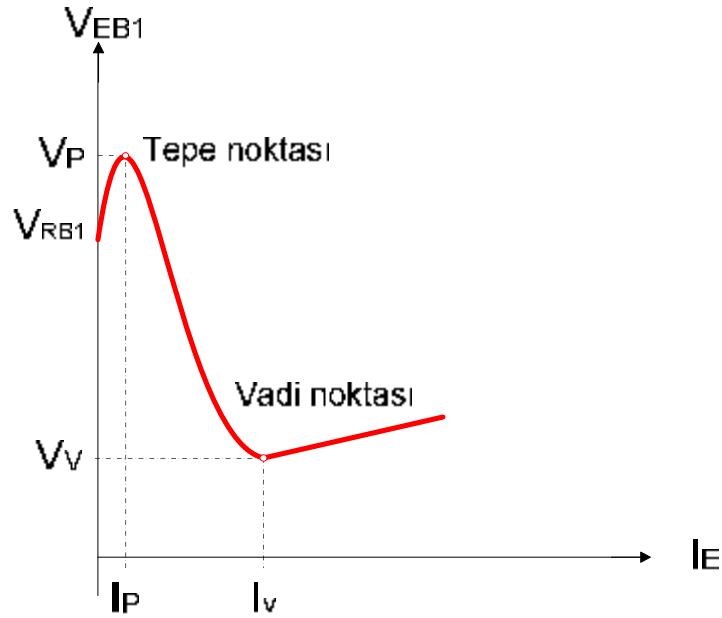
$VEB1 = VRB1$  ise UJT yine yalıtıktır.

$VEB1 > VRB1$  ise UJT iletken olur.



Şekil 2.2: UJT çalışma devresi

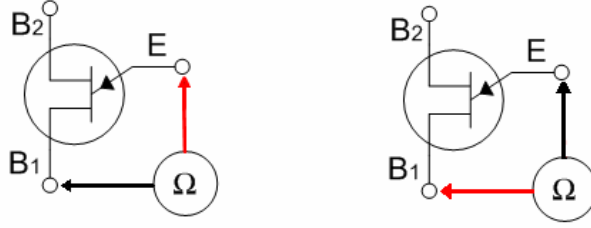
Bu durumda emiter ucundan B1 ucuna doğru  $I_E$  akımı geçer.  $V_{EB1}$  gerilimi VP tepe gerilimine ulaştığında  $I_E$  akımı UJT' yi ilettime götürür. Bu durum UJT' nin yalıtım noktası olan VV vadi gerilimine kadar devam eder.



Şekil 2.3: UJT' nin karakteristik eğrisi

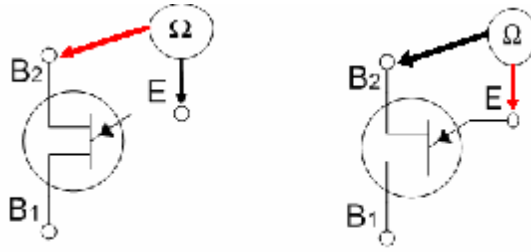
UJT'ler anahtar, pals jeneratörü, testere dişi jeneratörü olarak; çoğunlukla osilatör, zamanlayıcı devrelerinde; tristör, Triyak gibi elektronik anahtarların tetiklenmesi işleminde kullanılır. UJT tetiklemeli tristörün yarım dalga yük kontrolü ve UJT tetiklemeli tristörün tam dalga yük kontrolü sıkça karşılaşılabileceğiniz uygulama devreleridir.

### 2.3. UJT' nin Sağamlık Kontrolü



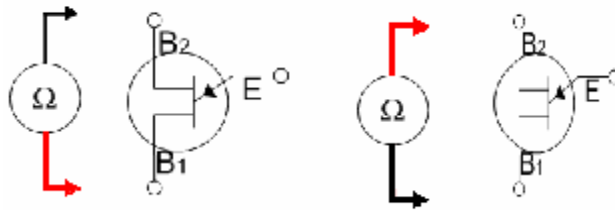
Şekil 2.4: (a)

AVOmetrenin direnç konumunda, E - B1 arasında yapılan ölçümde bir yönde yüksek, diğer yönde düşük direnç ölçülür.



Şekil 2.4: (b)

AVOmetrenin direnç konumunda, E - B2 arasında yapılan ölçümde bir yönde yüksek, diğer yönde düşük direnç ölçülür.



Şekil 2.4: (c)

AVOmetrenin direnç konumunda, B1 - B2 arasında yapılan ölçümde her iki yönde düşük direnç ölçülür. ( yaklaşık 5 – 10 K $\Omega$  )

## 2.4. UJT' nin Uçlarının Bulunması

UJT nin uçları bulunurken öncelikle emiter ucu tesbit edilir. İkişerli ölçümlerde her iki yönde düşük direnç okunan grup **B1 – B2** uçlarıdır. Kalan diğer uç emiter ucudur. Emiter ucu bulunduktan sonra **E** ucuyla diğer iki uç arasında yapılan ölçümde daha büyük okunan uç **B1**, daha küçük ölçülen uç **B2** ucudur. Emiter ucuyla diğer **B1** ve **B2** uçlarının ölçümünde direnç okunduğu andaki AVO metrenin probunun kırmızı ucu sabit tutuluyorsa "**n**" kanal UJT, AVO metrenin siyah ucu sabit tutuluyorsa "**p**" kanal UJT demektir.

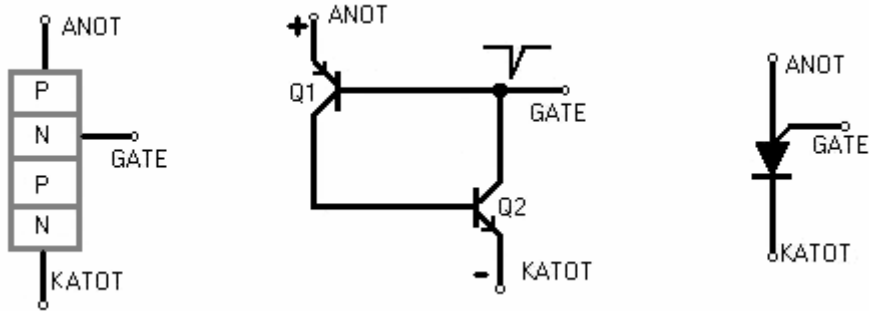
### Bilgi Notu:

UJT' nin programlanabilen eşleniğine PUT denir.

Uçları A (anot) K (katot) ve G (geyt) olarak adlandırılır. PUT'un dış devresine bağlanan R<sub>B1</sub> ve R<sub>B2</sub> dirençleriyle PUT un tepe, vadi ve V<sub>RB1</sub> değerleri programlanabilir.

## 2.5. PUT(programlanabilen Unijunction Transistör)

Programlanabilen tek eklemli transistör (PUT); yapısı ve sembolü yaklaşık SCR'ye, karakteristik eğrisi ve çalışma prensibi UJT'ye benzeyen bir devre elemanıdır. Genellikle osilatör olarak kullanılır. Yapısı, elektriksel eşdeğeri ve sembolü şekil 2. 5 'teki gibidir.



Şekil 2.5: PUT'un yapısı, transistör eşleniği, sembolü

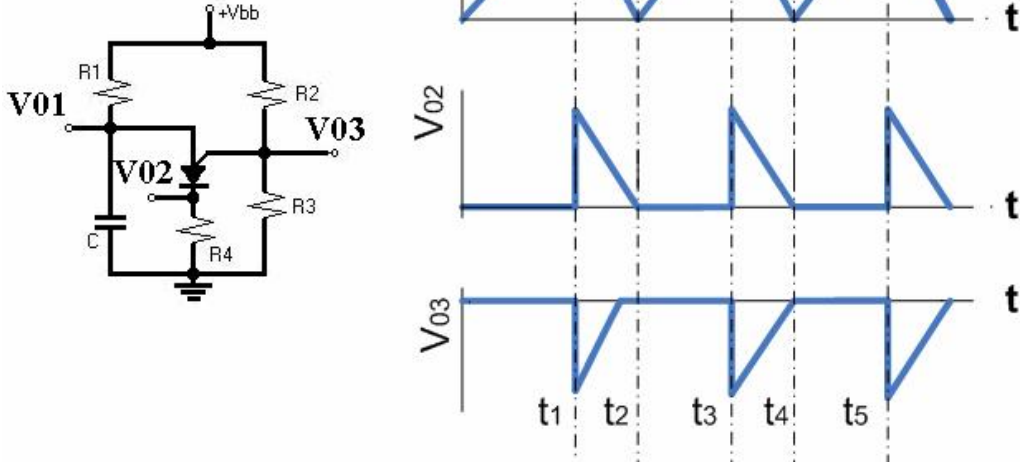
PUT'un gate ucu, anot ucunun yanındaki N malzemesine bağlanmıştır. İletime geçebilmesi için gate ucuna, anot ucuna göre negatif bir gerilim uygulanmalıdır.

PUT'un katot ucu, UJT'nin B1 ucuna benzer. Tetiklendiğinde çıkış sinyali bu uçtan alınır.

PUT'un anot ucu, UJT'nin emitör ucuna benzer. Anot gerilimi, tepe(pik) gerilim olarak adlandırılan,  $V_p$  değerine ulaştığında PUT tetiklenir.

PUT'un gate ucu, UJT'nin B2 ucuna benzer. Gate gerilimi, besleme kaynağından gerilim bölücü ile elde edilir.

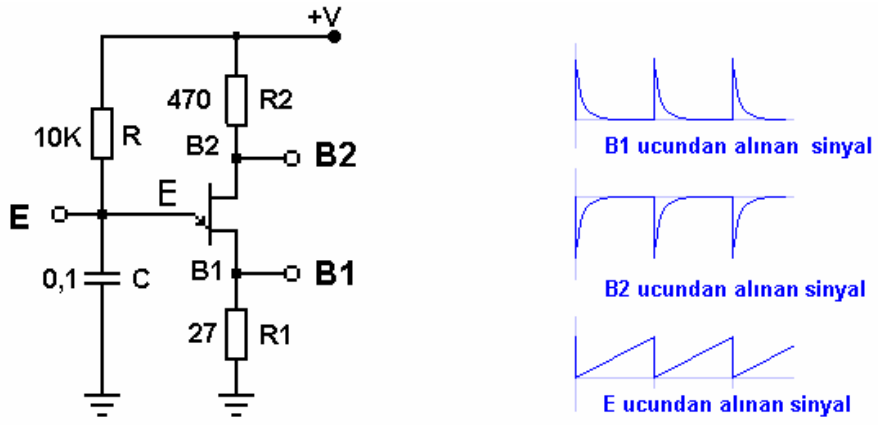
Şekil 2. 5' teki transistör eşleştiği devrede gate ucuna anot ucuna göre negatif bir puls uygulanırsa, Q1 transistörü iletime geçer ve aynı anda Q2 transistörünü de iletime sokar. Böylece Anot-Katot arasından akım akar. Gate ucuna uygulanan puls kesilirse, Anot-Katot akımı kesilir.



Şekil 2.6: PUT ile yapılan tipik bir osilatör devresi ve osiloskopta izlenen sinyali

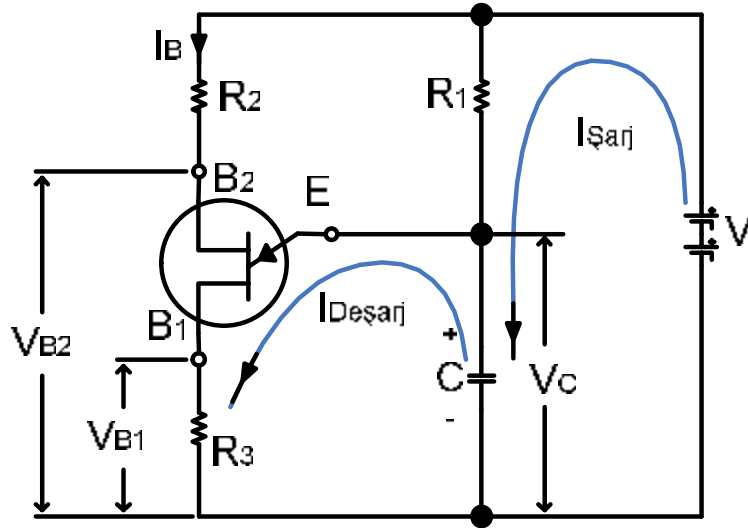
Şekildeki devreden alınabilecek üç farklı sinyalden en çok kullanılanı V<sub>02</sub> sinyalidir ancak yapılacak tasarıma göre diğer sinyaller de kullanılabilir.





Şekil 2.7: Osiloskop ile UJT'nin incelenmesi

## 2.6. UJT'li (Gevşemeli) Osilatör Devresi



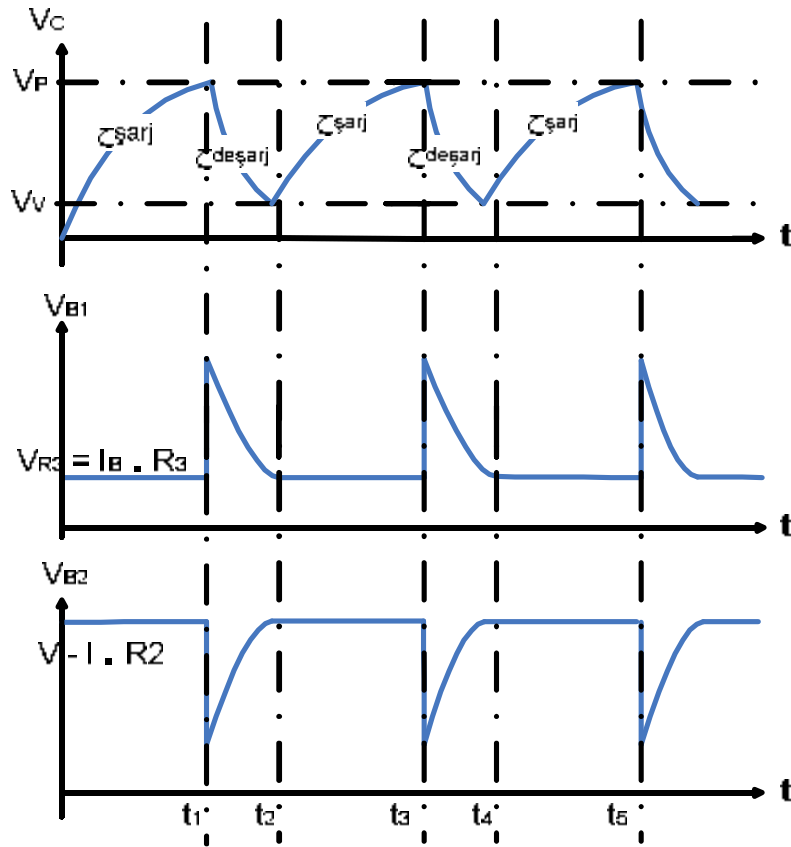
Şekil2.8: UJT ile yapılan osilatör devresi

Osilatör devresine gerilim uygulandığında kondansatör R1 direnci üzerinden şarj olmaya başlar.

( $\tau_{ş} = R1 \cdot C$ ) şarj olmaya başlayan kondansatör uçlarındaki gerilimin değeri  $t1$  anında  $V_P$  tepe değerine ulaştığında UJT'yi iletme sokar. Kondansatör UJT içerisinde bulunan  $R_B1$  direnci ve  $R3$  dış devre direnci üzerinden  $t1 - t2$  zaman dilimleri arasında deşarj olur ( $\tau_d = (R_{B1} + R3) \cdot C$ ).

UJT iletken olduğunda Kondansatör deşarj olacağı için kondansatör uçlarındaki gerilim  $V_v$  değerine kadar düşer, bu durumda UJT tekrar yalıtkan olur. UJT'nin tekrar iletken olması için emiter geriliminin tekrar  $V_p$  değerine ulaşması gerekir. UJT iletken olduğunda grafik üzerinde de görüldüğü gibi  $B_1$  ucundan pozitif darbe elde edilir. Bu darbe genellikle tristör ve triyak gibi elektronik elemanları tetiklemek için kullanılır.

UJT ile ilgili  $I_p$ ,  $I_v$ ,  $V_v$  ve  $\zeta$  gibi büyüklüklerin değerleri kataloglarda verilmiştir. Osilasyonun iyi olabilmesi için dış devre dirençlerinin ve uygulanması gereken gerilimin hesaplanarak uygun seçilmesi gerekir.



Şekil 2.9: UJT ile yapılan osilatör devresine ait dalga şekilleri

- $I_p$  = Tepe noktası akımı (Pic)
- $I_v$  = Vadi noktası akımı (Vallee)
- $V$  = Devreye uygulanan dış devre gerilimi
- $V_p$  = UJT 'nin iletken olduğu tepe noktası gerilimi

$V_v$  = Kondansatörün deşarjı sırasındaki minumum nokta

$\zeta$  = Stand-off sabiti

$R_{BB}$  = Beyzler arasındaki direnç

$$R_{BB} = R_{B1} + R_2$$

Beyzler arasındaki direnç değeri 5 K $\Omega$  ile 10 K $\Omega$  arasında değişir.

$R_{B1}$

$$\zeta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

UJT sabiti 0,5 ile 0,75 arasında değişen değerlerdir.

$$V_{RB1} = \zeta \cdot V_{BB}$$

UJT sabitinin beyzler arasındaki gerilimle çarpımı  $R_{B1}$  direnci üzerine düşen gerilimi verir.

$$V_P = V_{RB1} + V_D$$

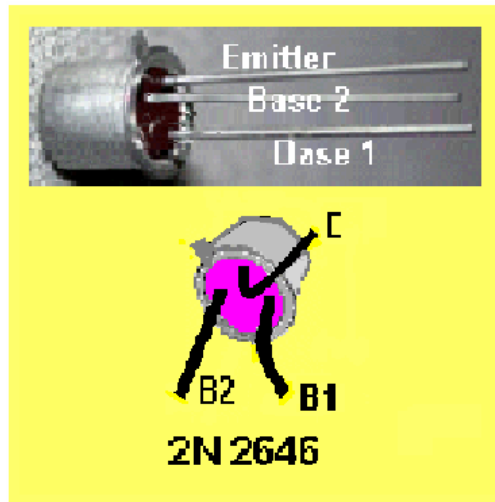
$V_D$  silisyum transistör için 0,7 volt sabittir

$$V_P = \zeta \cdot V_{BB} + V_D$$

UJT'nin iletken olduğu tepe noktası gerilimi devreye uygulanan gerilimin değerine göre değişir

$$\frac{V - V_V}{I_V} < R_1 > \frac{V - V_P}{I_P}$$

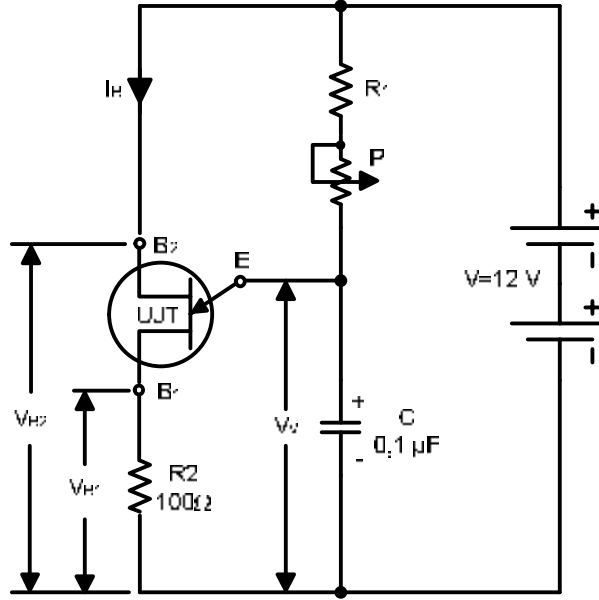
Kondansatörün şarj süresini tayin eden  $R_1$  direncinin sağlıklı bir osilasyon devresi için minimum ve maksimum değeri



Resim 2.1: UJT nin bacak yapısı ve kılıf şekli

## ÖRNEK

Verilen devre ve eleman değerlerine göre;



Şekil 2.10: UJT ile yapılan osilatör devresi

### Kullanılan UJT'nin katalog değeri

$$V_V = 2 \text{ volt}$$

$$I_V = 2 \text{ mA}$$

$$I_P = 5 \mu\text{A}$$

$$\zeta = 0,7$$

$$R_{BB} = 6 \text{ K}\Omega$$

1-  $R_{B1}$  ve  $R_{B2}$  değerlerini bulunuz

2- UJT'nin iletken olduğu  $V_P$  tepe değerini bulunuz

3-  $R_1$  direncinin minimum değerini ve  $P$  potansiyometresinin maksimum değerini bulunuz

4- Bulduğunuz değerlere göre grafiği çiziniz.

### ÇÖZÜM

1-

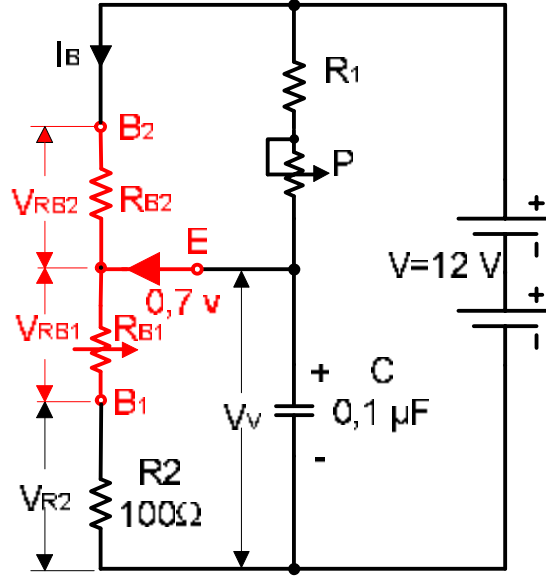
$R_{B1}$

$$\zeta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} \quad \text{den} \quad R_{B1} = \zeta \cdot R_{BB} \quad R_{B1} = 0,7 \cdot 6 \quad R_{B1} = 4,2 \text{ K}\Omega$$

$R_{BB}$

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \quad \text{den} \quad R_{B2} = R_{BB} - R_{B1} \quad R_{B2} = 6 - 4,2 \quad R_{B2} = 1,8 \text{ K}\Omega$$

2- $V_P$  değerini bulmadan önce **UJT**'nin iç devresini çizmek işimizi kolaylaştıracaktır.



Şekil 2.11: UJT'nin iç devresi

Kırmızı ile çizilen kısım UJT'nin iç devresini temsil etmektedir buna göre,

$$I_B = \frac{V}{R_{B2} + R_{B1} + R_2} = \frac{12}{4,2 + 1,8 + 0,1} = \frac{12}{6,1} = 1,96 \text{ mA}$$

$$V_P = V_D + V_{RB1} + V_{R2}$$

transistör için

$$V_D = 0,7 \text{ volt silisyum}$$

$$V_P = 0,7 + I_B \cdot R_{B1} + I_B \cdot R_2 = 0,7 + 1,96 \cdot 4,2 + 1,96 \cdot 0,1 \quad V_P = 9,128 \text{ volt}$$

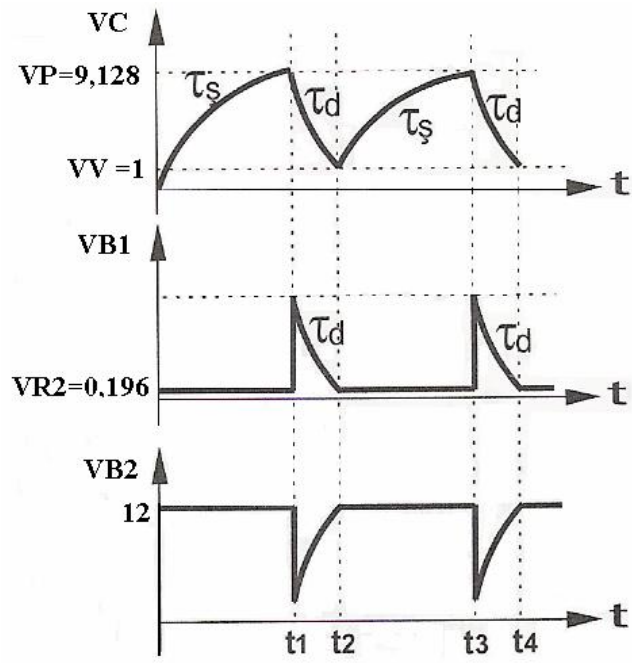
$$V_{R2} = 0,196 \text{ volt}$$

$$\begin{array}{l} 3- \quad \frac{V - V_v}{R_1 + P} = \frac{V - V_P}{R_1 + P} \\ 5- \quad \frac{12 - 1}{R_1 + P} = \frac{12}{R_1 + P} \\ \text{-----} \\ \quad \quad I_v \quad \quad \quad I_p \quad \quad \quad 2 \text{ mA} \quad \quad \quad 5 \text{ IA} \end{array}$$

$$5,5 \text{ K}\Omega < R_1 + P < 1,4 \text{ M}\Omega$$

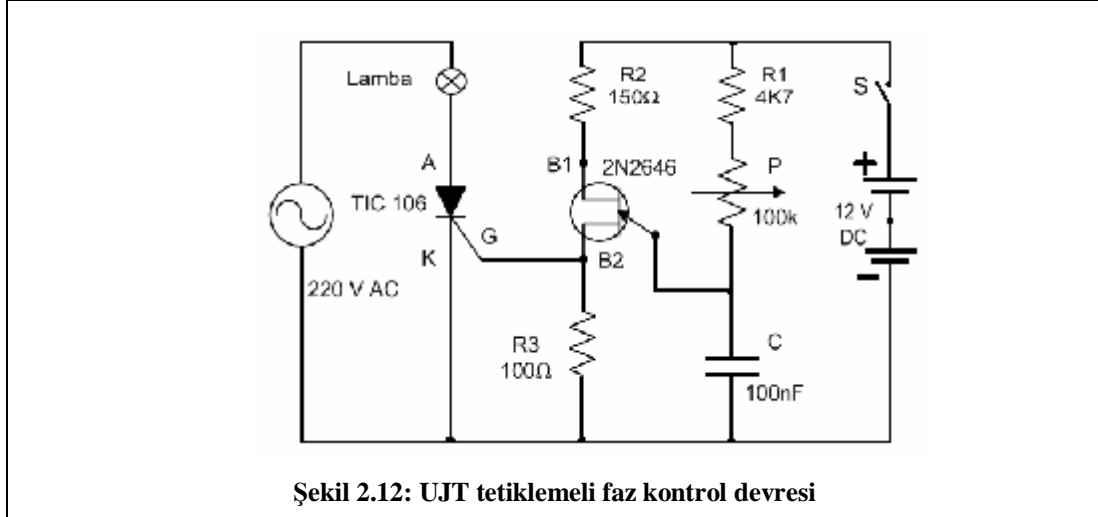
$$\underline{R_1 \geq 5,5 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{P \leq 1,4 \text{ M}\Omega}$$



Şekil 2.12: UJT'nin dalga grafisi

## UYGULAMA FAALİYETİ



Şekil 2.12: UJT tetiklemeli faz kontrol devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Ø Kuracağınız UJT tetiklemeli faz kontrol devresinin elemanlarını hazırlayınız.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>—Bread-Board</li> <li>—Tristör TIC 106</li> <li>—UJT 2N2646</li> <li>—Pot 100 KΩ</li> <li>—Direnç R1 = 47 KΩ</li> <li>—Direnç R2 = 150 Ω</li> <li>—Direnç R3 = 100 Ω</li> <li>—Kondansatör 100 nF</li> <li>—S anahtarı ( mikro anahtar)</li> <li>—DC güç kaynağı (12 volt )</li> <li>—Lamba ( 220 volt 100 wat )</li> <li>—AC güç kaynağı ( 220 volt 50 Hz )</li> <li>—Değişik uzunlukta ve kesitlerde kablo</li> </ul>	<p>Ø Elemanları öncelikle gözle kontrol ediniz. ( Kırık, kopuk, çatlak, izalasyonu bozuk, bağlantı uçları yıpranmış olabilir.)</p> <p>Ø Elektronik elemanları bölüm içerisinde anlatıldığı şekilde ölçü aletleriyle kontrol ediniz.</p> <p>Ø Lambayı lamba deneme panosunda yakarak kontrol ediniz.</p>
<p>Ø Devreyi şemaya uygun olarak kurunuz.</p>	<p>Ø Devreyi kurarken elektronik elemanların bacaklarının kırılıp kıvrılmamasına dikkat ediniz. Bunun için elektronik eleman cımbızlarını kullanabilirsiniz.</p> <p>Ø Tristörün tetikleme ve akım taşıyıcı uçlarına uygun kesitlerde kablolar kullanınız.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devreyi kurarken ve enerji verip denerken dikkatinizi işlem üzerine yoğunlaştırınız.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Gerekli kontrolleri yaparak devreye enerji veriniz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Güç kaynağı çıkışı AVO metre ile ölçerek gerekli kademe seçimini yapınız.</li> <li>Ø DC güç kaynağını AVO metre ile kontrol ediniz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø S anahtarını kapatıp lambanın yanmasını izleyiniz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devre deki elemanlara enerjiyi kapamadan elle dokunmayınız.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devrede kullanılan “Pot”un ayarını değiştirerek lambanın parlaklığını azaltıp çoğaltmasını izleyiniz.</li> <li>Ø Gerekli bilgi notlarını alıp anlamadığınız konuları öğretmeninize danışınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devredeki elemanların ısınıp ısınmadıklarını enerjiyi kapadığımızda parmak ucunuzla dokunarak anlayabilirsiniz.</li> <li>Ø Oluşan ısıdan tristörün etkilenmemesi için soğutucu kullanabilirsiniz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devrenin özelliklerini ve iş hayatına uygulama tasarımlarını arkadaşlarınızla tartışınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Arkadaşlarınızla çalışma esnasında şakalaşmayınız.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devreyi elemanlarına zarar vermeden sökünüz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø 220 volt beslemeli işlemler yaparken çalıştığınız düzlemin ıslak olmamasına dikkat ediniz.</li> </ul>



## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki cümleleri doğru veya yanlış olarak değerlendiriniz.

1. UJT tetikleme elemanı olarak kullanılan iki uçlu elektronik devre elemanıdır.
2. UJT'ler tristör gibi elemanların tetiklenmesinde kullanılır.
3. UJT'nin AVO metre ile kontrolünde  $B_1 - B_2$  arasında bir yönde yüksek diğer yönde düşük direnç ölçülür.
4. UJT n tipi malzemenin üzerinde p tipi malzeme yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur.
5. UJT'nin iletme geçebilmesi için  $V_{EB1} > V_{RB1}$  olması gerekir.
6. UJT'nin oskopskla incelenmesinde E ucundan alınan sinyal testere dişine benzer.
7. UJT'lerin programlanabilen benzerine PUT denir.
8. UJT'nin soğutucusuyla kullanılması gerekir.
9. UJT ler Triyakları tetiklemede de kullanılır.
10. UJT'nin içinde üç adet direnç bulunur.
11. UJT'nin beyzleri arasında ölçülen direnç değeri, 5 ila 10 ohm civarındadır.
12. UJT'ler zamanlayıcı devrelerinde kullanılamaz..

SORU	D	Y	SORU	D	Y
1.			7.		
2.			8.		
3.			9.		
4.			10.		
5.			11.		
6.			12.		

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı modül sonundaki cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz

Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer faaliyete geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-3

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda eğri izleyicilerle ölçüm yapabilecek elemanların karakteristik özelliklerini gözleyebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

Elektronik cihazların tasarımında, ayarlarının yapılmasında, arıza aramada kullanılan görüntülü cihazları araştırınız. Frekans, genlik, faz açısı ölçmek için ne tür cihazlara ihtiyaç duyulduğunu araştırınız.

## 3. EĞRİ İZLEYİCİLER

Orijinal (İngilizce) adı Curve Tracer olarak bilinen elektronik elemanların dinamik karakteristiklerinin çıkarılmasında kullanılan osiloskop ekranı ve sinyal jeneratöründen oluşmuş üzerinde değişik elemanların ölçümünde kullanılan ve jantları bulunan ölçü aletidir.

Elektronik elemanların kararlı çalışmaları ideale çok yakın karakteristik eğrileri olmasıyla doğrudan ilgilidir. Hassas cihazlarda özellikle biyomedikal cihazlar gibi insan sağlığıyla direkt ilintili olan cihazlarda bir elemanın çalışması yeterli değildir, doğru ve uygun nitelikte çalışması gerekir.

Eğri izleyici cihazlarla elektronik elemanların kendilerine has karakteristik eğrilerini gözlemlememiz ve bu elemanların hassas cihazlarda kullanım uygunluğunu test etmemiz mümkündür.

### 3.1. Yapısı

Bazı elektronik cihazlar kullanılarak Diyot karakteristikleri direkt olarak elde edilebilir. Örneğin; eğri izleyici cihaz (Curve Tracer) karakteristikleri bir osiloskop ekranında hemen görmemizi sağlar.

Eğri izleyici cihazlar; bir osiloskop ekranından, elaman giriş soketlerinden; elamana ölçüm için gereken akım, gerilim, ön direnç, polarite seçim ayar komitatörlerinden ve sinyal jeneratöründen oluşmuştur.

## 3.2. Çalışması

Ölçümü yapılacak eleman, eğri izleyici cihaz'ın soketlerine takılarak eleman için uygun parametreler cihaza girilir, gerekli dinamik karakteristiği oldukça kolay ve hızlı bir şekilde ölçülür.

## 3.3. Kullanım Alanları

Eğri izleyici cihazlar elektronik ölçümlerde elemanların hızlı ve kolay bir şekilde karakteristiğinin çıkarılmasında, elemanların sağlamlık kontrolünde ve eleman uçlarının tesbitinde sıkça kullanılır.

## 3.4. Cihaz Üzerindeki Ölçüm Ayarlamaları

Eğri izleyici cihaz üzerinde bir osiloskop ekranı ve aşağıdaki ayar komitatörleri mevcuttur. Ancak farklı tip ve modeldeki eğri izleyicilerde farklı seçici anahtarların da bulunması mümkündür.

Ölçümü yapılacak cihazın, çıkarılması istenen karakteristiğine göre seçim yapılarak ölçüm yapılır.

- Ø X eksen voltaj komitatörü ( seçici anahtar)
- Ø Y eksen akım komitatörü
- Ø Step voltaj komitatörü
- Ø Kolektör voltaj komitatörü
- Ø Seri direnç seçim komitatörü
- Ø Kolektör polarite seçim komitatörü
- Ø Step polarite seçim komitatörü
- Ø Normal osiloskoplarda bulunan dikey ve yatay positon ( kaydırma) potansiyometresi
- Ø Fokus ayar potansiyometresi
- Ø Tek ve çift eğri seçim komitatörü
- Ø Karşılaştırmalı ölçüm seçim komitatörü
- Ø Eğri kalibrasyon potansiyometresi
- Ø AC ve DC seçim anahtarı
- Ø Invert tersleme tuşu
- Ø Step sayısı seçim potansiyometresi
- Ø Eğri ayırıcı potansiyometresi

Aşağıdaki sayfalarda değişik firmaların ürettiği eğri izleyici cihazlar'ın resimleri verilmiştir. Bulduğunuz eğitim kurumunda bulunan eğri izleyici cihazlarla bu cihazları karşılaştırınız.



**Resim 3.1: TYPE 576 modeli**



**Resim 3.2: CA 4810 A modeli eğri izleyici**



**Resim 3.3: Laboratuvar ortamında TYPE 576**



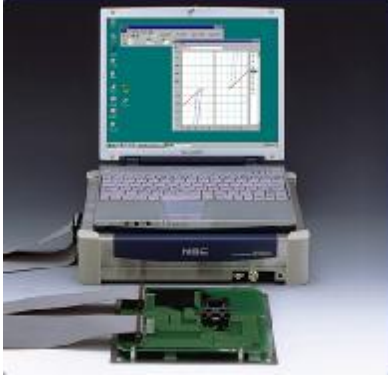
**Resim 3.4: Eğri izleyici cihaz ekranında karakteristik eğrisi**



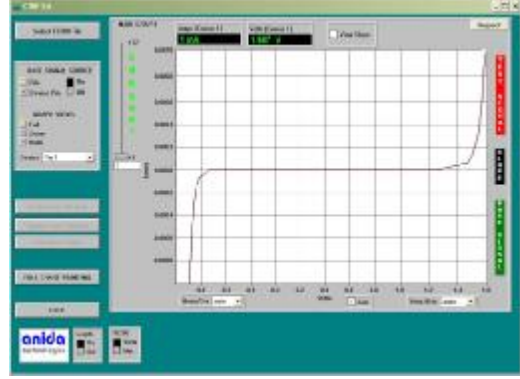
**Resim 3.5: Eğri izleyici cihazla yüksek gerilim ölçüm seti**



**Resim 3.6: Bilgisayar eşlenikli Eğri İzleyici**



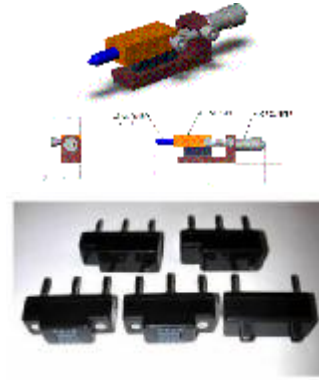
Resim 3.7: Bilgisayar eşlenikli eğri izleyici



Resim 3.8: Bilgisayarlı eğri izleyici ekran görüntüsü



Resim 3.9: Eğri izleyici cihazların gelişmiş örneği spektrum analizör



Resim 3.10: Eğri izleyici cihazların değişik ölçümlerde kullanılan propları



Resim 3.11: TYPE 576



Resim 3.12: Portatif amaçlı eğri izleyici



Resim 3.13 37: GA modeli eğri izleyici



Resim 3.14: Eski tip eğri izleyiciler

### Ø Dinamik Diyot Karakteristiği

Bu deneyde, eğri izleyici kullanarak Diyot karakteristiklerini direkt olarak çıkarmayı öğreneceğiz. Eğri izleyici cihazın ön görünümü şekil 3. 18’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Statik metot kullanarak diyot karakteristiğini çıkarmak oldukça zaman alacak ve yorucu bir çalışmadır. Karakteristik değerlerinin hemen ölçülmesi veya koordinat eksenlerin de görülmesi istenir. Bu bölümde karakteristik çıkarmak için “Eğri İzleyici - Curve Tracer” cihazını kullanmayı öğreneceğiz.

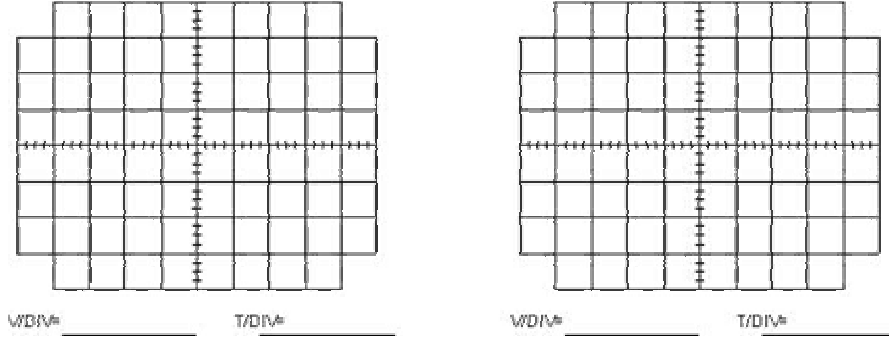
### Ø Deneyin Yapılışı

Eğri izleyici cihaz üzerinde diyot için ayrılmış soketlere diyodu (1N4148) takınız. “Polarity” anahtarını “Diode Forward (ileri polarma)” konumuna alınız. “Selector” anahtarını diyodu taktığımız yöne (A/B) alınız.

Eğri izleyici cihazının “Current Limit” anahtarını “Power” konumuna alınız. Osiloskobun “y” girişine Eğri İzleyicinin “vertical” çıkışını, “x” girişine ise eğri izleyicinin “horizontal” çıkışını bağlayınız. Osiloskobun V/cm düğmesini 2V/cm konumuna ayarlayınız.

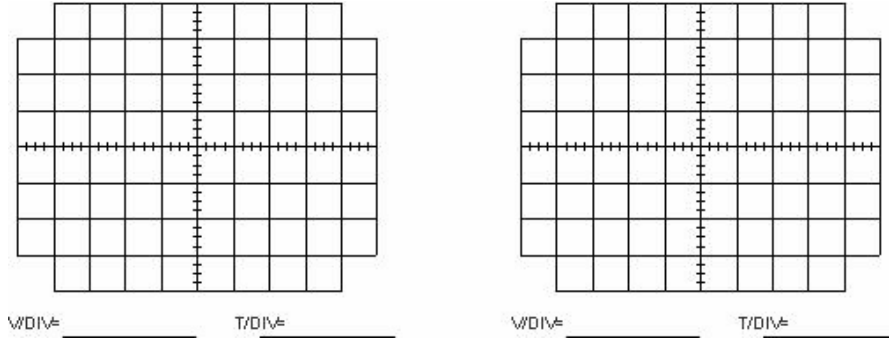
Eğri İzleyicinin “power” anahtarını “on” konumuna alarak cihazı çalıştırınız. Eğri İzleyicinin “Base current” ve “Sweep Voltage” komütatörlerini Osiloskop ekranında Diyodun ileri yön karakteristiğini görene kadar ayarlayınız Osiloskop ekranında elde ettiğiniz karakteristiği, şekil 3. 9 (a)'daki koordinat eksenine orantılı olarak çiziniz.

**Not:** Diyot karakteristiğini osiloskop ekranında ters olarak göreceksiniz. Karakteristiği koordinat eksenine çizerken düzeltiniz.



**Şekil 3.9: a ve b Eğri izleyici ile diyot karakteristikleri**

Diyodun ters yön karakteristiğini elde etmek için Polarity anahtarını "Diode Backward (ters polarma)" konumuna alınız, deneyi tekrarlayınız. Elde edilen karakteristiği şekil 3. 9 (b)'deki koordinat eksenine orantılı olarak çiziniz. Bu deneyi, germanyum diyot (AA143) için de aynı şekilde tekrarlayınız. Osiloskop ekranında elde ettiğiniz ileri yön (Forward) karakteristiğini şekil 3. 10 (a)'.ya, ters yön karakteristiğini ise şekil 3. 10 (b)'ye çiziniz.



**Şekil 3.10: .a ve b Eğri izleyici ile germanyum diyot karakteristikleri**

## UYGULAMA FAALİYETİ

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Ø Eğri İzleyici ile ölçümünü yapacağınız elektronik devre elemanlarını hazırlayınız.</p> <p>—Eğri İzleyici “Curve – Tracer” —Bread-Board —NPN 9013 Transistör —N kanal FET Transistör —1N4148 Diyot —IRF 840 VMOS Transistör —Değişik uzunlukta ve kesitlerde kablo</p> <p>Ø Gerekli kontrolleri yaparak eğri izleyici cihazı çalıştırınız</p> <p>Ø Malzemeleri Eğri izleyici cihaza uygun bir şekilde yerleştiriniz.</p> <p>Ø Gerekli bilgi notlarını alıp anlamadığınız konuları öğretmeninize danışınız.</p> <p>Ø Cihazın özelliklerini ve iş hayatına uygulama tasarımlarını arkadaşlarınızla tartışınız.</p> <p>Ø Devreyi elemanlarına zarar vermeden sökünüz.</p>	<p>Ø Elemanları öncelikle gözle kontrol ediniz. ( kırık, kopuk, çatlak, ızalosyonu bozuk, bağlantı uçları yıpranmış olabilir.)</p> <p>Ø Elektronik elemanları bölüm içerisinde anlatıldığı şekilde ölçü aletleriyle kontrol ediniz.</p> <p>Ø Eğri İzleyici cihazın gerekli kademe seçimini yapınız.</p> <p>Ø Devreyi kurarken ve enerji verip denerken dikkatinizi işlem üzerine yoğunlaştırınız.</p> <p>Ø Devreyi kurarken elektronik elemanların bacaklarının kırılıp kıvrılmamasına dikkat ediniz. Bunun için elektronik eleman cımbızlarını kullanabilirsiniz.</p> <p>Ø Devredeki elemanlara enerjiyi kapamadan elle dokunmayınız.</p> <p>Ø Devredeki elemanların ısınıp ısınmadıklarını enerjiyi kapadığınızda parmak ucunuzla dokunarak anlayabilirsiniz.</p> <p>Ø Arkadaşlarınızla çalışma esnasında şakalaşmayınız.</p> <p>Ø 220 volt beslemeli işlemler yaparken çalıştığınız düzlemin ıslak olmamasına dikkat ediniz.</p>



## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki cümleleri doğru veya yanlış olarak değerlendiriniz.

1. Eğri İzleyici cihazlar osiloskop ekranından ve sinyal jeneratöründen oluşmuştur.
2. Eğri İzleyici cihazların orijinal adı Curve Tracer dir.
3. Eğri İzleyici cihazlarla sadece üç uçlu elemanların ölçümü yapılır.
4. Eğri İzleyici cihazlar ile dinamik karakteristik çıkarmak oldukça hızlı ve kolaydır.
5. Eğri İzleyici cihazla ölçüm yapabilmek için elemanlara enerji vermek gereklidir.
6. Eğri İzleyici cihazlarla elektronik ölçüm dışında mekanik, titreşim ölçümleri de yapılabilir.
7. Eğri İzleyici cihazda ölçümü yapılan elemanlar için cihazda uygun jaklar bulunur.
8. Eğri İzleyici cihazda ölçümü yapılan elemana dışarıdan ön direnç bağlanmalıdır.
9. Eğri İzleyici cihazlar sadece labratuvar ortamında kullanılır.
10. Eğri İzleyici cihazlarla iletkenlerin kopukluk kontrolü yapılabilir.
11. Eğri İzleyici cihazlar enerjilerini ölçüm yapılan elemanlardan sağlar.
12. Spektrum analizörler eğri izleyici cihazların geliştirilmiş şeklidir.

### Test - 3

SORU	D	Y		SORU	D	Y
1.				7.		
2.				8.		
3.				9.		
4.				10.		
5.				11.		
6.				12.		

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı modül sonundaki cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz

Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer faaliyete geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-4

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda GTO' nun yapısını, özelliklerini, tetikleme yöntemlerini bilecek, eğri izleyicilerle ölçümünü yapabilecek, istenilen özellikte GTO seçebilecek ve GTO kullanarak uygulama devresi yapabileceksiniz.

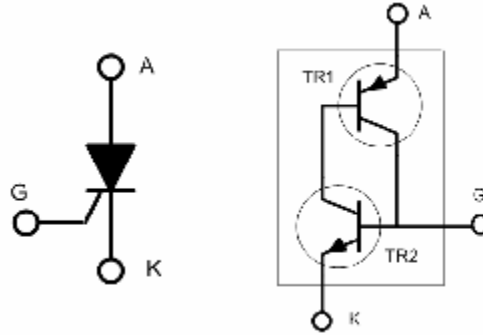
## ARAŞTIRMA

Yüksek güçlü akımların doğrultulması amacıyla kullanılan devre elemanlarını ve devre türlerini araştırınız. Kontrollü doğrultucuların ve yük kontrol elemanlarının çalışması ve uygulamaları hakkında bilgi toplayarak raporlayınız.

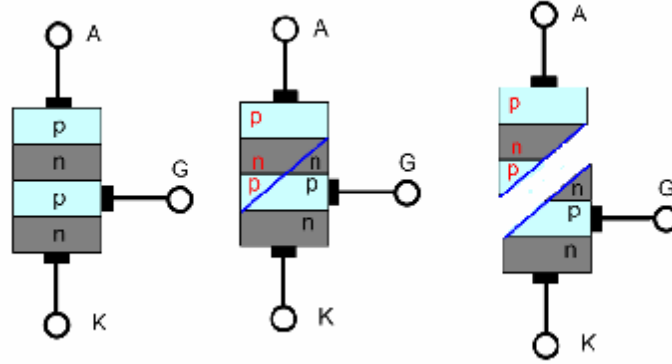
## 4. GTO

GTO'nun tanıtılmasına geçilmeden tristörün tanınması gerekmektedir. Çünkü GTO'lar tristörün yalıtıma geçirmedeki zorluklarını gidermek için tasarlanmış yarı iletkenlerdir.

### 4.1. Tristörün Yapısı ve Özellikleri

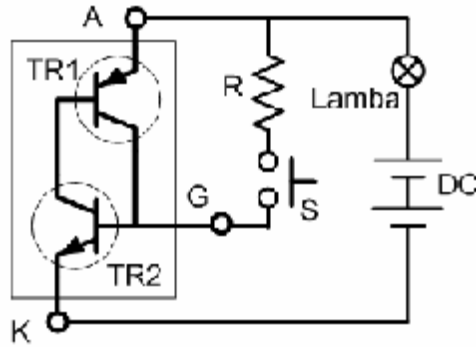


Şekil 4.1: Tristörün sembolü ve transistör eşleniği



**Şekil 4.2: Tristörün madde yapısı**

Tristör pnpn tipi maddelerin yan yana getirilmesiyle meydana getirilmiştir. Anot (A), katot (K) ve Geyt (G) diye adlandırılan üç ucu vardır. Değişik kılıf şekillerinde Anot ve Katot uçları Geyt ucuna göre daha kalın imal edilir. Geyt ucunun bağlı olduğu maddeye göre n kapılı ya da p kapılı olarak ikiye ayrılır. Uygulamada daha çok p kapılı olanları kullanılır. Bu nedenle p kapılı tristörler daha çok üretilir. İç yapısından da görüldüğü gibi içerisinde pnp ve npn tipi iki transistör barındırır. Tristörün A ucuna (+), K ucuna (-) G ucuna (+) gerilim uygulanırsa tristör iletme geçer. İletime geçmesi için Geyt ucuna çok kısa bir süre (+) tetikleme gerilimi uygulamak yeterlidir. Bir kere iletme geçen tristörü geyt ucuna uygulanan tetikleme gerilimini keserek yalıtıma götürmek mümkün değildir.

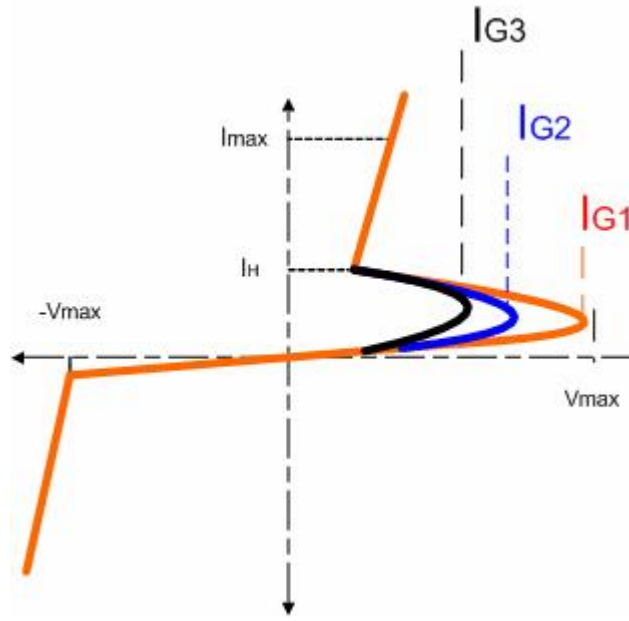


**Şekil 4.3: Tristörün çalışma devresi**

Şekil 4. 3' teki devrede S anahtarına basıldığında TR2 transistörünün beyzine (+) gerilim uygulandığı için TR2 iletken olur. İletken olan TR2' nin emiteri üzerinden TR1' in beyzine negatif gerilim uygulandığı için TR1 de iletken olur. İletken olan TR1'in emiteri ve kolektörü üzerinden TR2'nin beyzine pozitif gerilim uygulandığından bu durum TR2 yi iletimde tutar. İki transistör birbirlerine doyuma götürerek tristörün anot katot arasından akım geçişine izin verir.

Şekil 4.4 deki karakteristik eğrisinde görüldüğü gibi; Anot katot arasındaki gerilim değeri (+)  $V_{max}$  değerine kadar arttırılırsa Tristör geytinden tetiklenmeden iletme geçer. Anot katot arasındaki gerilim (-)  $V_{max}$  değerine ulaştığında Tristör üzerinden ters yönde maksimum akım geçeceği için Tristör yırtılır. Tristörün geytine uygulanan akım miktarı arttıkça anot katot arasına uygulanan gerilim değeri küçük olsa da Tristör iletme geçer.

$$I_{G3} > I_{G2} > I_{G1}$$



Şekil 4.4: Tristörün karakteristik eğrisi

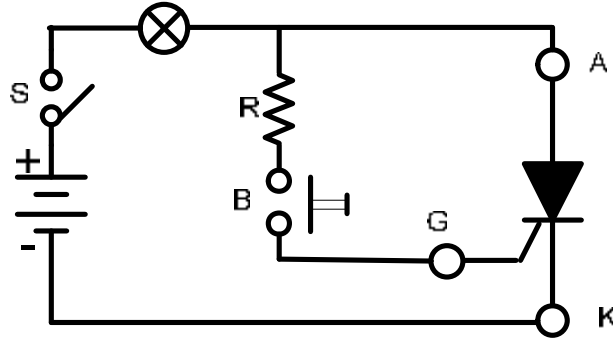
#### 4.1.1. Tristörü İletime Götürme Yöntemleri

- Ø Doğru yönlü anod katod gerilimini artırmakla “ +  $V_{max}$  değerine ulaştığında Tristör tetiklenmeden iletme geçer.”
- Ø Geyt ucuna pozitif gerilim uygulamakla “ Geyte küçük bir (+) gerilim uygulanırsa tristörün içindeki transistörler birbirlerini doyuma götürerek Tristörü iletme geçirir.”
- Ø Anod katod uçlarındaki gerilimin değeri çok hızlı değiştirilirse “**pnpn** maddelerinin birleşme noktaları Kondansatör etkisi oluşturup Tristör üzerinden deşarj olmaya çalıştığında Tristör iletken olur.”
- Ø Tristörün çalışma sıcaklığı arttırılırsa “Tristör düşük ısılarda daha büyük akımlar ile tetiklenebilirken yüksek ısılarda oldukça düşük akım değerleri ile tetiklenebilir, ayrıca çalışma ısısı attıkça sızıntı akımları artar ve bu durum Tristörü iletme geçirir. Bu durum istenmeyen bir durumdur.”

#### 4.1.2. Tristörü Yalıtıma Götürme Yöntemleri

- Ø Seri anahtarla durdurma
- Ø Paralel anahtarla durdurma
- Ø Kapasitif durdurma
- Ø Rezonans durdurma
- Ø Alternatif akımda durdurma

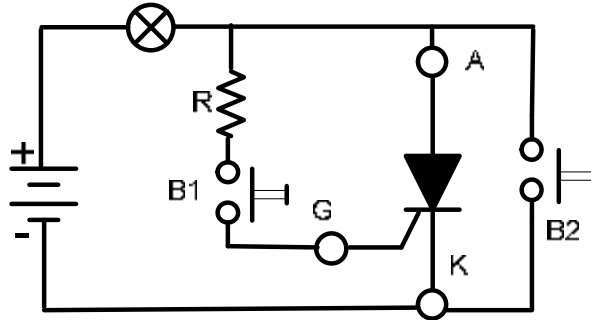
##### 4.1.2.1. Seri Anahtarla Durdurma



Şekil 4.4: Tristörü seri anahtarla durdurma

Şekil 4.4' te Tristörü yalıtıma götürmek için yüke ve Tristöre seri bağlı S anahtarını açılarak anot ve katot uçlarındaki gerilim kesilir. Sık açma kapama yapılmayan küçük bir gerilimle kumanda edilebilen devrelerde kullanılır. Uygulamada sık kullanılmaz.”

##### 4.1.2.2. Paralel Anahtarla Durdurma

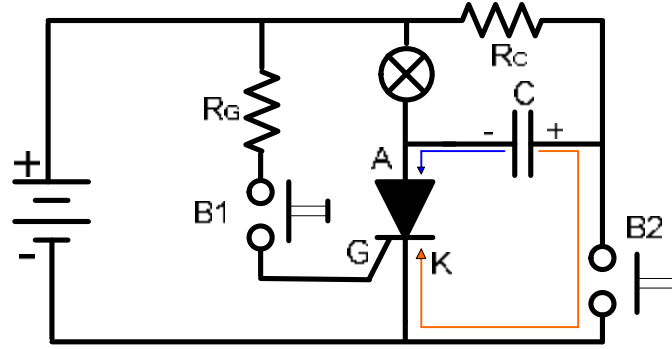


Şekil 4.5: Tristörü paralel anahtarla durdurma

Şekil 4. 5' te yük üzerinden geçen akım B2 anahtarını üzerinden bir süre geçirilerek Tristörün anot katot gerilimi kesilir. Böylece Tristör yalıtıma götürülür. B2 butonuna bir süre basmak gerekir. Butondan elimizi çektiğimizde Tristör yalıtıma geçer tekrar ilettime geçirmek için B1 butonuna basmak gerekir. Bu sistemde, görüldüğü gibi çok kullanışlı bir sistem değildir. B2 butonunun akım ve gerilim değerleri en az tristörün değerleri kadar olmalıdır. Aklınıza şu sorular gelebilir.

Seri anahtar ve paralel anahtarla durdurma sistemlerinde Tristör değerlerine sahip anahtarlar kullanılması zorunlu ise niye Tristör kullanılıyor? Yukarıda değindiğimiz gibi seri ve paralel anahtarla durdurma işlemi sık kullanılan durdurma sistemlerinden biri değildir.

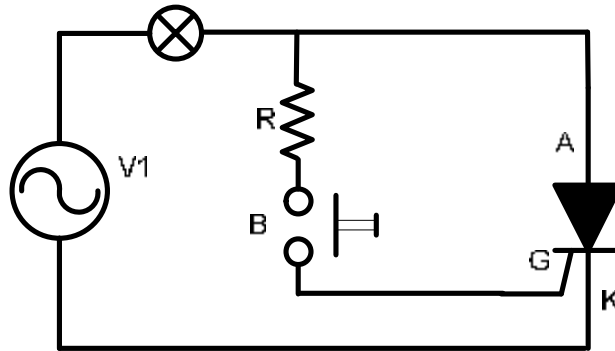
#### 4.1.2.2. Kapasitif Anahtarla Durdurma



Şekil 4.6: Tristörü Kapasitif anahtarla durdurma

Şekil 4. 6' da görüldüğü gibi B1 butonuna basıldığında tristör iletme giderek lambanın yanmasını sağlar. Aynı anda  $R_c$  direnci üzerinden C kondansatörü şarj olur. Tristörü yalıtıma geçirmek istediğimizde B2 butonuna basarsak C kondansatörü tristörün anot katot uçlarına ters polarma vereceği için tristör kısa sürede yalıtıma geçer. Bu sistem uygulamada en çok kullanılan sistemdir.

#### 4.1.2.3. Alternatif Akımda Durdurma



Şekil 4.7: Tristörü AC akımda durdurma

Şekil 4. 7 de B butonuna bastığımızda Tristör pozitif alternasta iletme geçer, lamba yanar; ancak negatif alternasta kendiliğinden yalıtıma geçer. Tristörün devamlı iletimde kalabilmesi için B anahtarının devamlı kapalı durması gerekir. B anahtarı devamlı kapalı durumda kalsa bile Tristör, AC akımın pozitif alternaslarında iletimde, negatif alternaslarında yalıtımda kalır ve lamba normal AC akımda yandığı gibi parlak yanmaz. Biz Tristörün bu özelliğini lamba karartma devrelerinde yarım dalga yük kontrollerinde kullanabiliriz.

Yukarıda öğrendiğimiz gibi tristörle çok büyük yükleri devreye almak oldukça kolay olmasına karşın, aynı yükleri devreden çıkarmak oldukça zordur. Başka bir deyişle Tristör geytine uygulanan oldukça küçük doğru polarmalı bir gerilimle de iletime geçirilebilir, ancak geytine uygulanan gerilim kaldırılrsa da yalıtıma geçirilemez. Yalıtıma geçirmek için yukarıda da açıklandığı gibi karmaşık ve maliyet açısından büyük sistemler kullanmak gerekir.

İşte tristörün bu eksikliğini gideren iletime geçirmedeki kolaylığı yalıtıma götürürken de sağlayabilen elemanlara ihtiyaç duyulmuş ve üretici firmalar GTO adını verdiğimiz yeni bir eleman üretmişlerdir.

#### **4.1.3. Tristörün AVOMETRE ile Sağlık Kontrolü ve Uçlarının Bulunması**

AVOMETRENİN direnç konumunda yapılan ölçümlerde A – G her iki yönde de yüksek direnç ölçülmelidir.

K – G arası yapılan her iki yönlü ölçümde bir yönde yüksek diğer yönde düşük direnç ölçülmelidir. Düşük direnç okunduğu anda AVO metrenin kırmızı probunun dokunduğu uç Geyt ucu, siyah probunun dokunduğu uç katot ucudur.

A – K arası yapılan her iki yönlü ölçümde yüksek direnç ölçülmelidir

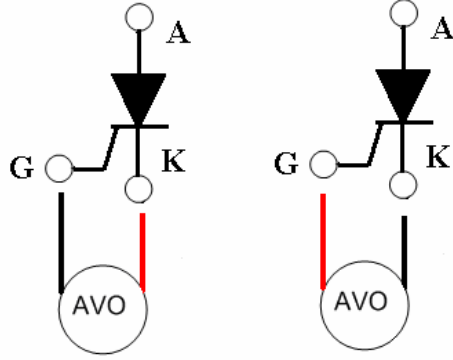
Tristörün üzerindeki yazıları okuyacak gibi bize çevirdiğimizde bacakları aşağıya gelecek şekilde sırasıyla;

1. bacak =K; 2. bacak= A; 3.bacak=G (geyt) şeklindedir.

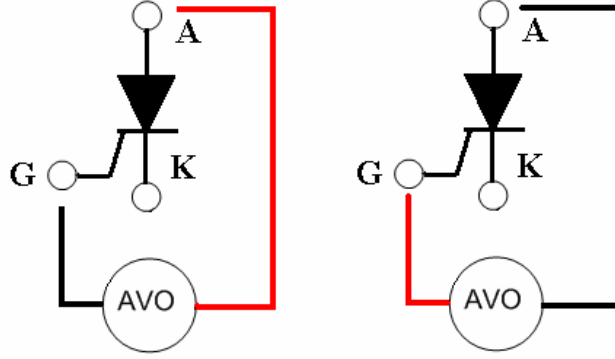
#### **Bilgi notu**

Soğutucu bağlanabilen kılıf şekillerinde soğutucuya temas edecek çıplak kısım anot ucu olarak da adlandırılır. Bu yüzden 220 voltla çalışmalarda tristörün bağlı olduğu soğutucuya dokunmak oldukça tehlikelidir.

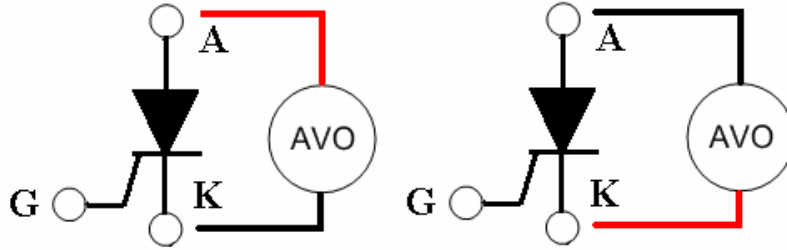
Dış görünüşleri aynı olan tristör ve triyağı birbirinden ayırt etmek için eleman uçları A1 - G arası iki yönlü ölçümde düşük direnç ölçülürse eleman triyaktır. Bir yönde düşük diğer yönde yüksek direnç ölçülürse eleman tristördür.



Şekil 4.8 (a) Geyt Katot arası yapılan ölçümde bir yönde yüksek direnç diğer yönde düşük direnç okunmalıdır.



Şekil 4.8 (b) Geyt anot arası yapılan her iki yönlü ölçümde yüksek direnç okunmalıdır



Şekil 4.8 (c) anot katot arası yapılan her iki yönlü ölçümde yüksek direnç okunmalıdır

Şekil 4.8: Tristörün AVOMETREYLE KONTROLÜ



## 4.1.4. Tristörün Eğri İzleyici ile Ölçülmesi

### 4.1.4.1. Dinamik Tristör Karakteristiği

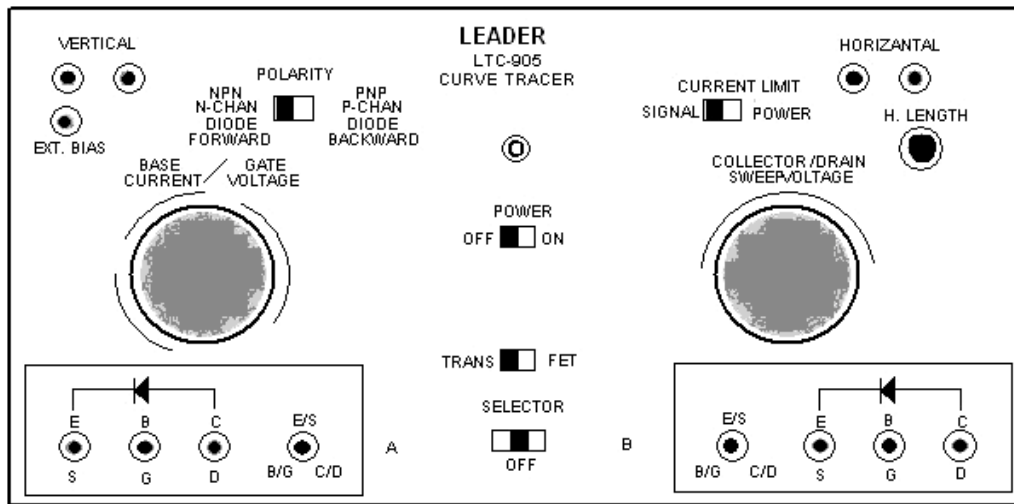
Statik metot kullanarak tristör karakteristiğini çıkarmak oldukça zaman alıcı ve yorucu bir çalışmadır. Karakteristik değerlerinin hemen ölçülmesi veya koordinat eksenlerinde görülmesi istenir. Bu bölümde karakteristik çıkarmak için eğri izleyici (Curve tracer) cihazını kullanmayı öğreneceğiz.

#### Ø Ön bilgi

Bazı elektronik cihazlar kullanılarak tristör karakteristikleri direkt olarak elde edilebilir. Örneğin eğri izleyici cihaz (Curve Tracer); karakteristikleri bir Osiloskop ekranında hemen görmemizi sağlar. Bu deneyde eğri izleyici kullanarak tristör karakteristiklerini direkt olarak çıkarmayı öğreneceğiz. Eğri izleyici cihazının ön görünümü şekil 4. 9'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

### 4.1.4.2. Deneyin Yapılışı

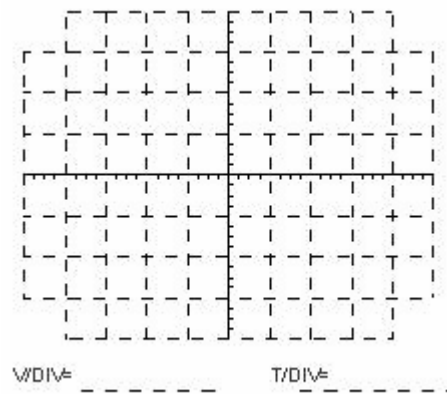
Eğri izleyici cihaz üzerinde tristör için ayrılmış soketlere tristörü(BT 150) takınız. "Polarity" anahtarını "diode forward (ileri polarma)" konumuna alınız. "Selector" anahtarını Tristörü taktığımız yöne (A/B) alınız.



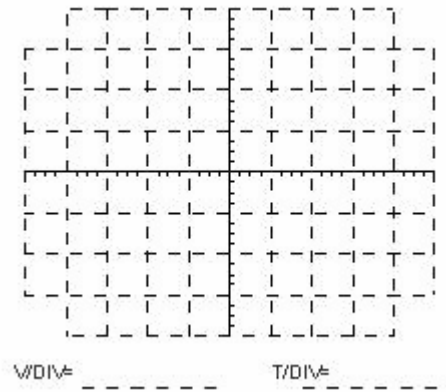
Resim 4.1: Curve tracer (eğri izleyici) cihazının ön görünüşü

Eğri izleyici cihazının "Current Limit" anahtarını "power" konumuna alınız. Osilaskobun "y" girişine eğri izleyicinin "vertical" ıkışını, "x" girişine ise eğri izleyicinin "horizontal" ıkışını bağlayınız. Osilaskobun V/cm dđđmesini 2V/cm konumuna ayarlayınız.eğri izleyicinin "power" anahtarını "on" konumuna alarak cihazı çalıştırınız. Eğri izleyicinin "Base current" ve "sweep voltage" komutatrlerini Osiloskop ekranında Tristörün ileri yön karakteristiğini görene kadar ayarlayınız. Osiloskop ekranında elde ettiğiniz karakteristiği şekil 4.10' daki koordinat eksenine orantılı olarak çiziniz.

**Not:** Tristör karakteristiğini Osiloskop ekranında ters olarak göreceksiniz. Karakteristiği koordinat eksenine çizerken düzeltiniz.



**şekil 4.10: Eğri izleyici ile tristörün doğru yön karakteristikleri**

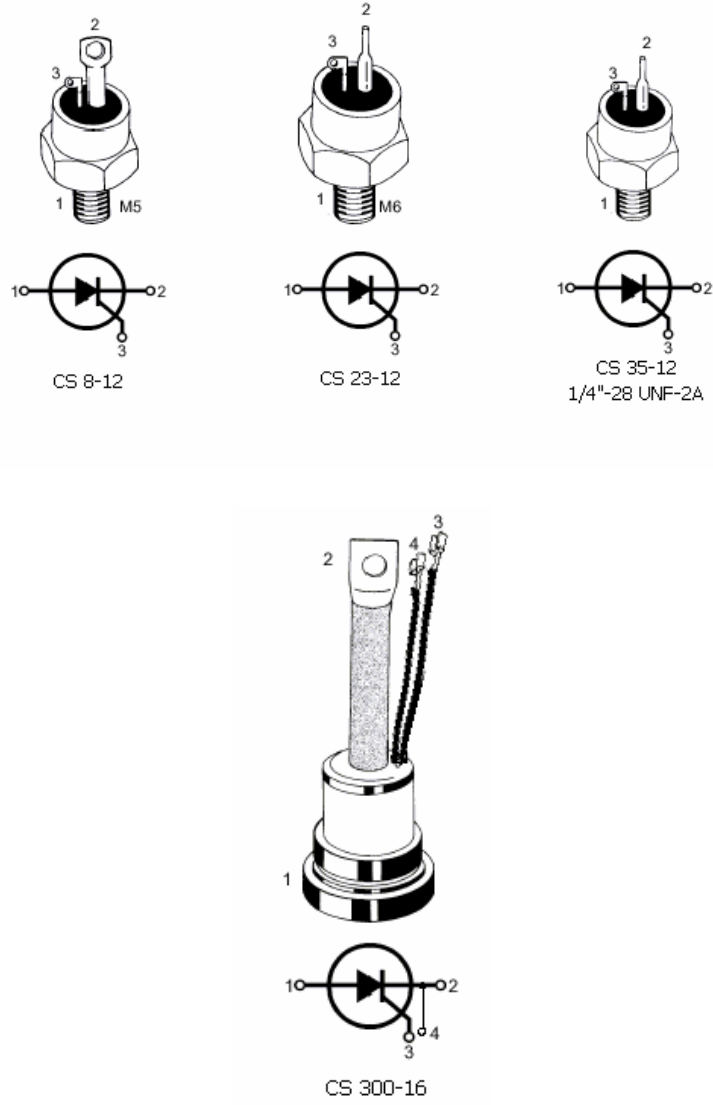


**şekil 4.11: Eğri izleyici ile tristörün ters yön karakteristikleri**

Tristörün ters yön karakteristiğini elde etmek için Polarity anahtarını "Diode Backward (ters polarma)" konumuna alınız deneyi tekrarlayınız. Elde edilen karakteristiği şekil 4. 11' deki koordinat eksenine orantılı olarak çiziniz.

## Ø Özet

Bu test sonucunda, herhangi bir Tristörün anot ve katot uçlarının belirleneceği gibi sağlamlık kontrolü de yapılabilmektedir. dinamik tristör karakteristiğinin eğri izleyici cihaz kullanarak çıkarılması görülmüştür.



**Resim 4.2: Yüksek güçlü tristör kılıf şekilleri ve bağlantı terminalleri**



**Resim 4.3: Yüksek güçlü GTO tristörler**



**Resim 4.4: Yüksek güçlü oldukça küçük boyutlu GTO tristörler**



**SCR Driver Card**

**Resim 4.5: Tristör sürücü devresi**

## 4.2. GTO Yapısı ve Özellikleri

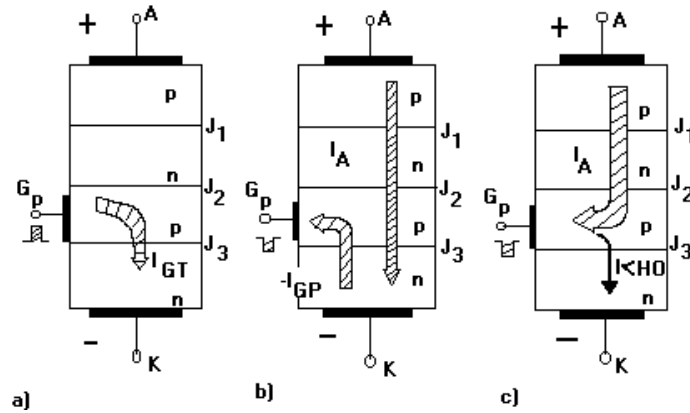
Normal Tristörler güç elektroniği uygulamalarında hemen hemen ideal şalterler olarak kullanılır. Kapama yönünde birkaç bin volt değerindeki gerilimleri ve iletim yönünde ise birkaç bin ampere kadar çıkan akım değerlerini birkaç voltluk gerilim düşümü ile iletir. Tristörler kapılarına bir kontrol sinyali uygulanarak istenildiği anda iletime geçirilebilir. Bununla birlikte Tristörlerin anahtarlama uygulamalarındaki kullanımlarını önleyen ciddi bir eksikliği vardır. Bir kontrol sinyali uygulayarak tıkamaya geçirilemez. Bu tıkamaya geçirilme özelliğinin kazandırılması için eleman yapısında bazı değişiklikler yapılmalıdır.

GTO Tristör (Gate Turn-Off thyristor), normal bir Tristörde olduğu gibi p-n-p-n yapıya sahiptir fakat katot bölgesi, kapıya uygulanan pozitif bir akımın elemanı iletime sokacağı ve kapıya uygulanan negatif bir akımın elemanı iletimden çıkaracağı şekilde tasarlanmıştır. Sonuç olarak, sıradan bir Tristörle karşılaştırırsak, GTO Tristör iki yolla iletimden çıkarılabilir:

Sıradan bir Tristördeki gibi, ileri akımının tutma akımı  $I_{H0}$ 'dan düşük bir değere azaltılmasıyla

Kapıya negatif kapama akımının uygulanmasıyla

Bunun dışındaki özellikleri, karakteristiği normal Tristör ile aynıdır.



Şekil 4.13: GTO Tristörün çalışması

Şekil 4.13 (a)'da tetikleme için, pozitif akım uygulanışı ; (b)'de GTO'dan geçen ileri akım  $I_A$  ve  $J_3$  jonksiyon bölgesinde  $I_A$  'den çıkarılan negatif kapama akımı  $I_G$  ; (c)' de ise sonuç olarak,  $I_A - I_G$  sonucunda  $I < I_{H0}$  olması gereken  $I$  akımı  $J_3$  jonksiyonundan geçer. Bu durum olursa, Tristör iletimden çıkar. Eğer p-n-p-n yapısı alanı yeteri derecede büyükse, yanal elektrik alanları ve yanal taşıyıcı yoğunlaşma iniş çıkışları oluşur. Bu nedenle, açıklanan  $I_A - I_G$  çıkartması sadece kapı çevresinde uygulanabilir. Daha uzak bölgelerde bu unsur uygulanamaz ve GTO, negatif kapı akımı ile ( $I_G$ ) iletimden çıkarılamaz. İletimden çıkarılma mekanizmasının işlemlerini sağlamak için p-n-p-n yapısının katot bölgesi için özel bir tasarım uygulanması gerekir.

GTO Tristör; inverterlerde, chopper devrelerinde, elektronik anahtarlama ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. GTO' nun avantajlı olması, sıradan bir tristörü iletimden çıkarmayı kolaylaştıran komutasyon zamanını elde etmek için gerekli olan chopper devrelerinde yardımcı endüktanslar ve kapasitelerin atılması olayına bağlıdır.

İletimden çıkma kazancı, anot akımının kapamaya yol açan kapı akımına oranına eşittir ve tipik değeri 3 – 5 mertebesindedir. Tam yük durumları altında, uygunsuz ısınma ve kapı bağlantısında olası erime meydana gelebilir. Tetikleme darbesi, darbe şeklinde başlamalı ve  $t_{GD}$  (maksimum kapı kontrolü gecikme zamanı) zamanına uygun olacak bir biçimde devam etmelidir.

Yüksek kapama kazancı elde etmek için geri tıkama gerilimi etkili bir şekilde azaltılmıştır. Bir devrede kullanılıyorsa Tristörü korumak için seri bir diyot bağlanmalıdır.

İletime girme ve serbest kalma süreleri bu elemanlar için genelde bir mikro saniye mertebesindedir. GTO' nun iletimdeki gerilim düşümü aynı büyüklükteki normal bir tristörle karşılaştırılırsa, GTO' nun eş değer direncinin büyük olmasından dolayı daha fazladır ve nominal akımdaki tipik değeri 3 volt mertebesindedir. Kilitleme ve tutma akımları da yüksek değerdedir. İletimde iken anot akımı tutma akımı seviyesine kadar azalırsa, kristal yapıda akımın geçmediği izole adalar oluşabilir. Anot akımı tekrar artırıldığında ve kapı akımı bulunmaması halinde, akımın tekrar tüm yüzeye yayılmaması ihtimali vardır. Sonuçta, bölgesel ısınma sonucu eleman tahrip olabilir. Böyle bir sorunu meydana gelme olasılığı bulunan uygulamalarda, GTO' nun iletim süresince kapı akımının sürekli olarak geçirilmesi gerekir.

GTO Tristörün mevcut akım değeri 3500 A, gerilimi 6000 V' tur.

#### 4.2.1. GTO'ların SCR'lere Göre Üstünlükleri

- Ø Zorlanmış komitasyon teknikleri kullanılmadığı için komütasyon elemanları yoktur böylece fiyat ağırlık ve hacim yönünden düşüktür,
- Ø Komütasyon bobinlerinin olmayışından dolayı akustik ve elektromanyetik gürültüleri yoktur,
- Ø Hızlı yalıtıma gitme özelliğinden dolayı yüksek anahtarlama frekanslarında kullanılır,
- Ø Kullanıldıkları konvertörlerin verimini yükseltir.

#### 4.2.2. Temel Yapısı ve Akım Gerilim Karakteristiği

GTO 'nun geçirme mekanizması normal tristörle benzerlik taşır. 4 katmanlı eleman, iki transistörün bağlanması ile düşünülebilir fakat elemanın iletimdeki ve aşırı akımdaki davranışı için iyi bir örnek değildir. Anot katot uçlarına ileri gerilim uygulandığında geri gerilimli merkez jonksiyonu bulunduğundan akım geçmez. Eğer bir pozitif akım geçirilirse, akım taşıyıcılar jonksiyon merkezinde oluşur ve eleman iletime geçer. Akım taşıyıcıların oluşumuna göre jonksiyon merkezindeki akım aşağıdaki gibidir.

$$I_A = I_{C0} + a_{npn} I_A + a_{pnp} I_A = \frac{I_{C0}}{1 - a_{npn} - a_{pnp}}$$

Burada,  $I_{C0}$ , Tristördeki sızıntı akımdır ve  $\alpha$ , transistör ortak baz kazancına eşittir. Buradan, taşıyıcıların artış oranı "C", p bölgesinin içlerinde;

$$C = I_L (\alpha_{npn} - 1 + \alpha_{pnp}).$$

Eğer  $C > 0$  ise, taşıyıcı sayısı artar ve bu da iletime neden olur.  $\alpha_{npn} + \alpha_{pnp}$ ,  $I_L$  akımına bağlıdır.

Eğer  $C < 0$  olduğunda, taşıyıcılar taşınır fakat ikinci jonksiyonundaki boşaltma tabakasının artması, bu taşınma oranına karşı koyar. bu da bir potansiyel tepe oluşturur ki bu da iletime karşı koyar. Bu durum, kapıdan akımı geri çekme ile oluşturulabilir. Böylece yeni oran:

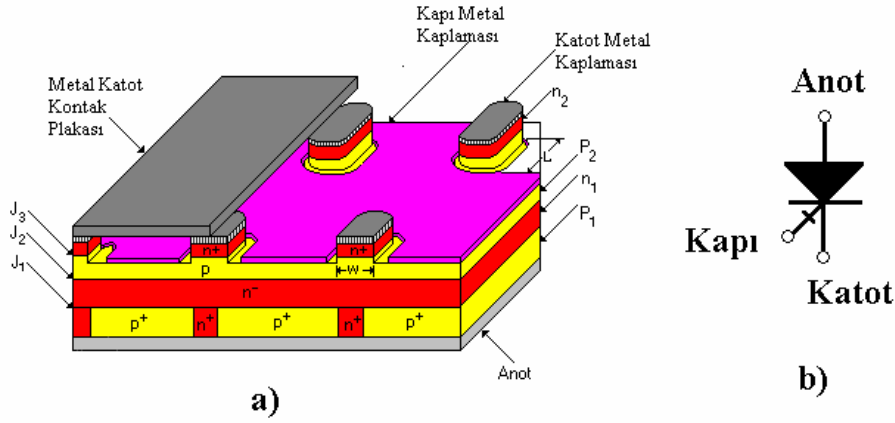
$$C = I_G \alpha_{npn} + I_L (\alpha_{npn} + \alpha_{pnp} - 1) \text{ olur.}$$

Kapı akımı negatiftir ve böylece, taşıyıcı oranı "C" nin negatif olmasına neden olabilir.

$$I_G \left\langle -I_L \frac{(a_{npn} + a_{pnp} - 1)}{a_{npn}} \right\rangle$$

Uygun bir geri devrilme gerilimine uygun olarak  $\alpha_{npn}$  ve  $\alpha_{pnp}$ ' nin seçimiyle, iletimden çıkma oranı  $I_L/I_G$ , 2-10 oranındaki değerlere sahip olabilir.

Maksimum periyodik frekansı yaklaşık olarak 100 kc/s' dir. Yüksek frekanslar büyük anahtarlar kayıpları anlamına gelir.



Şekil 4.14: GTO'nun kesit perspektif görünüşü ve GTO'nun sembolü

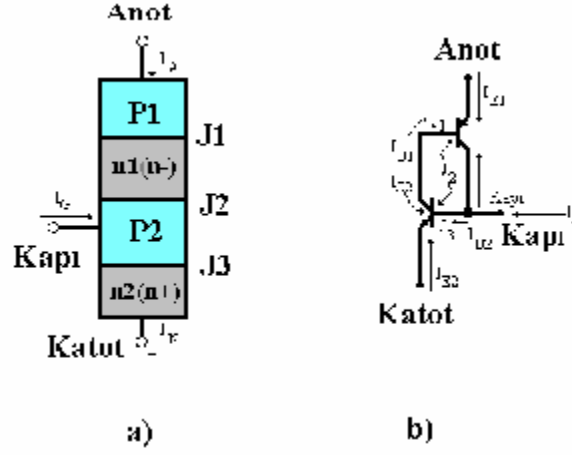
Şekil 4. 14a' da, kapı katot yapısının birbiriyle çoğalan bölgeleriyle GTO' nun dikey kesiti gösterilmiştir. GTO' da  $p_2$  baz tabakasının kalınlığı, sıradan bir Tristöre oranla biraz daha küçüktür GTO ve sıradan bir Tristör yapıları arasında üç önemli fark vardır. İlk fark, kapı ve katot yapılarının, karmaşık kıvrımlı yapıları içeren çeşitli tipteki geometrik formlarla birçok bölmelere ayrılmış olmasıdır. Temel amaç, katot çevresini büyütme ve kapıdan katot bölgesi merkezine olan uzaklığın azaltılmasıdır.

İkinci fark, katodu çevreleyen silisyumun asitle aşındırılarak uzaklaştırılması ile katot bölgelerinin oluşturulmasıdır. Böylece, katot bölgeleri, şekilde de gösterildiği gibi adalar veya yükseltmeler olarak görünür. Bu katot adaları, direkt olarak metal soğutucu plakasına bağlıdır ve bu da katot bağlantısının dışarıya verilmesini sağlar.

Üçüncü ve daha önemli fark ise, GTO' nun anot bölgesiyle ilgilidir. Düzenli aralıklarda,  $n_1$  baz tabakasını biçimlendiren  $n^-$  bölgesiyle temas sağlamak için  $n^+$  bölgesi,  $p$  tipi anoda ( $p_1$  tabakası) sızır.  $n^+$  bölgeleri, aynı maden kaplama üzerinde,  $p$  tipi anotla temas halindedir ve kısa devre anot oluşur. Kısa devre anot yapısı GTO' nun kapamaya geçmesini hızlandırmak için kullanılır. Eleman geri gerilimleri tıkasın diye, bazı GTO 'lar kısa devre anotsuz yapılıdır. GTO 'nun ileri yöndeki I-V karakteristiği sıradan bir tristörünkiyle aynıdır. Bununla beraber, geri yönde, kısa devre anot yapısından dolayı GTO aslında tıkama yeteneğine sahip değildir. Geri yönde tıkama yapan tek jonksiyon J3 'tür ve oldukça düşük bir devrilme gerilimine (tipik olarak 20 – 30 V) sahiptir. GTO 'nun devre sembolü şekil 4. 14 b'de gösterilmiştir.



### 4.2.3. Kapama Kazancı



Şekil 4.15: Bir tristörün basitleştirilmiş modeli

GTO 'nun temel işleyişi, sıradan bir Tristörle aynıdır. İki eleman arasındaki başlıca farklar, kapıdan kapamaya sokulabilme özelliğinin kazandırılması için ana Tristör yapısında yapılan değişikliklere dayanır. GTO yapısının sıradan bir Tristörle neden farklılıklar taşıdığı ve hangi uzlaşmaların yapılması gerektiğinin anlaşılması iki Transistör eş değer devresinde kapama durumlarının incelenmesiyle mümkün olur (şekil 4. 15) **p** devresine gelen pozitif bir darbe ile Q1 transistörü ve ardından Q2 iletme geçer. Devre kilitlenir ve kapıdaki darbe kesildiği halde transistörler hala iletimde kalır. GTO 'nun iletimden çıkabilmesi için uygulanacak negatif bir akımın Q2 transistörünün  $I_{C2}$  akımını kesmesi gerekir. Eş değer devredeki Q1 - Q2, Tristör geçirmedeyken doymuştur. Bununla beraber, eğer Q2 ' ye doğru olan temel akımı, doymayı korumak için ( $I_{a2} < I_{C2} / \hat{a}_2$ ), gerekli olan değerden az yapılmalıdır. Daha sonra, Q2 aktif olur ve bir veya her iki Transistör aktif olunca, devrede mevcut olan yenileyici hareketten dolayı tristör kapamaya geçer.

Şekil 2,3 (b)'deki eş değer devreyi kullanarak, Tristör uç akımlarına göre  $I_{a2}$  'yi yazabiliriz:

$$I_{a2} = \hat{a}_1 \cdot I_A - I_G'$$

Burada  $I_G'$  ,normal kapı akımının negatifidir. Eş değer devreden, Q2 'yi doymadan çıkarmanın tek yolunun bir negatif kapı akımı  $I_G'$  olduğu görülebilir. Kollektör akımı  $I_{C2}$  şu şekildedir:

$$I_{C2} = (1 - \hat{a}_1) \cdot I_A$$

$I_{a2} < I_{C2} / \hat{a}_2$  eşitsizliğini,  $\hat{a}_2 = \hat{a}_1 / (1 - \hat{a}_1)$  ve yukarıdaki iki denklemi kullanarak düzenlersek:

$$I_G' = \frac{I_A}{b_{OFF}}$$

$\hat{a}_{OFF}$  parametresi, kapama kazancıdır

#### 4.2.4. Gerekli Yapısal Değişiklikler

Normal bir tristörü GTO 'ya değiştirmek için ilk adım, kapama kazancını uygulanabilir kadar büyük yapmaktır. Böylece negatif kapı akımının çok yüksek değerlerinin önüne geçilmiş olur. Bu durumda  $\hat{a}_1$  küçüktür ve  $\hat{a}_2$  de bir yakınındadır.  $\hat{a}_2$  ' yi bu durumda yapmak, **n-p-n** transistörü  $Q_2$  için dar bir  $p_2$  tabakasının kullanımını ister. Bu adımlar, bir BJT 'de büyük bir beta değeri elde etmek için gerekli olan ve sıradan bir tristörün fabrikasyonunda kullanılan normal adımlardır.

$\hat{a}_1$  'i küçük yapmak için,  $n_1$  tristör tabakası ( $Q_1$  transistörünün bazı) mümkün olduğunca kalın olmalıdır ve taşıyıcı ömrü bu katmanda kısa olacaktır. Kalın bir  $n_1$  tabakası, bir tristör fabrikasyonunda standarttır çünkü bu katman, ileri tıkama durumundaki eleman çalışması sırasında  $J_2$  jonksiyonunun boşaltma tabakasını barındırmalıdır. Bununla birlikte, kısa ömürlü taşıyıcılara duyulan ihtiyaçla, bu bölgede geçirmedeki güç kayıplarını en aza indirmek için uzun ömürlü taşıyıcılara duyulan ihtiyaç arasında uyumsuzluk vardır. Kapıdan tıkamaya sokulabilme özelliğinin elde edilmesi için taşıyıcı ömürlerindeki bazı azalmalar kabul edilmelidir ve sonuç olarak GTO' nun sıradan bir Tristöre göre, verilen bir akım değerinde, daha yüksek bir geçirme gerilim düşümü vardır.

Yukarıda anlatılan, taşıyıcı ömürlerdeki uyumsuzluk ihtiyaçları, şekil 4.14' te gösterildiği gibi kısa devre anot yapısıyla büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. GTO' nun kapamaya sokulması için, aşırı miktardaki taşıyıcıların özellikle deliklerin  $n_1$  tabakasından taşınması (kaldırılması) gerekir. Kısa devre anot yapısından dolayı, hiç geri anot katot gerilimi olamaz ve böylece aşırı miktardaki taşıyıcıların temizlenmesi (taşınması) için gereken geri anot akımları da olamaz. Aşırı miktardaki bu taşıyıcıların taşınması için tek yol, difüzyon ve iç tekrar birleşmelidir.

Bununla beraber, GTO'daki  $n^+$  bölgeleri, delik difüzyonu duvarını (engelini) kaldırır. Bu, delik difüzyonunun büyük bir oranda olmasına izin verir. Böylece  $n_1$  tabakasındaki aşırı miktardaki delikler en azından difüzyonla olduğu kadar iç tekrar birleşme ile de taşınır. Net sonuç, elemanın kapanması sırasında toplam depolanmış yükün daha hızlı taşınmasıdır ve böylece iletimdeki kayıplar dışında sıradan bir tristörle karşılaştırıldığında GTO'nun daha kısa serbest kalma (Turn Off) ve ileri algılama zamanları vardır.

Bu kısa devre anot yapısı, serbest kalma ve algılama zamanlarının azaltılmasında çok etkilidir ve bazen RCT denilen özel Tristör yapılarında da kullanılır. RCT'lerin GTO'da olduğu gibi kısa serbest kalma ve algılama zamanları vardır fakat bir negatif kapı akımıyla tıkamaya geçirilemez çünkü gerekli bazı yapısal değişiklikleri içermez.

GTO'nun kapıdan tıkamaya sokulma yeteneği için gereken, çoğalan bölmeli bir yapıya sahip olan kapı ve katot yapısının kullanımıdır. Bu, (çoğalan bölmeli kapı ve katot yapısının kullanımı) da geçirme ve kapama sırasında  $p_2$  tabakasındaki yanal gerilim düşümlerini en aza indirir. Bu yanal gerilim düşümleri, özellikle sıradan Tristörlerde göze çarpar. Bu gibi yanal gerilim düşümleri, akım yığılması problemleri ve  $di/dt$  sınırlamalarına neden olur. Bununla birlikte, çoğalan bölmeli kapı- katot yapısının kullanımı - ki bu yapılar, kapı kontakları ve katot bölgesi ortası arasında oldukça kısa mesafelere sahiptir - bu problemleri en az indirir. Büyük kapı kapama akımları ile kapı metal kaplamasında önemli gerilim düşümlerinin önüne geçmek için kapı metaline gelen kontaklar, ince yüzeyde aralıklı dizilmiştir.

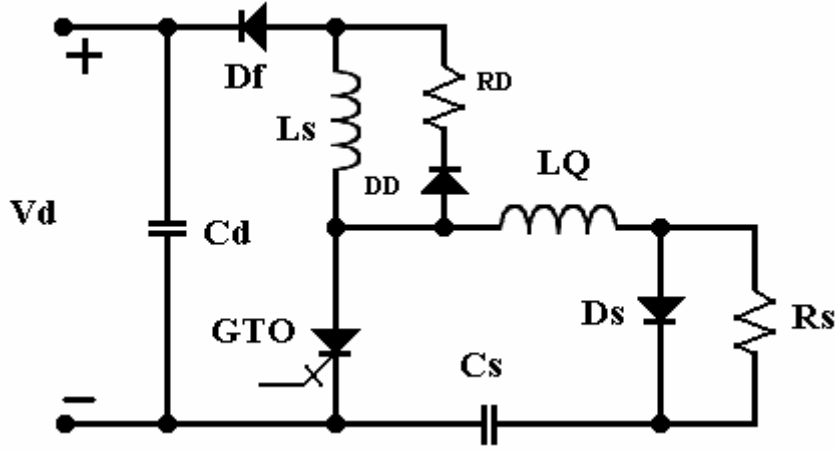
#### 4.2.5. GTO Tetikleme Yöntemleri

GTO' lar, normalde bastırma devreleriyle birlikte kullanılmalıdır. GTO anahtarlama davranışının gerçekçi bir açıklaması bastırma devrelerinin etkilerini de içermelidir.

Şekil 4.16' da gösterilen gerilim azaltıcı konvertör devresi (Bu devre anahtarlama elemanı olarak GTO' yu kullanır.) anahtarlama dalga şekillerinin açıklanmasında kullanılacaktır.

GTO sadece akım gerilim seviyelerinin büyük olduğu yerlerde değil, ayrıca GTO ile birleştirilen diğer yarı iletken bileşenlerin yavaş olduğu, sadece orta-yüksek güç uygulamalarında kullanılır. Bu nedenle, şekil 4. 16'daki Df diyodu, çok hızlı bir algılama diyodu olmayacaktır.

Diğer taraftan, GTO' nun çoğalan bölmeli kapı katot yapısından dolayı diyodun geri algılama zamanıyla karşılaştırıldığında GTO'nun daha hızlı akım yükselme zamanı vardır. Bunun sonucu olarak, koruyucu devreler olmadan, diyodun oldukça yavaş geri algılaması nedeniyle çok büyük aşırı akımlar hem GTO'dan hem de Diyottan geçebilecektir. Bastırma devresi, GTO' nun uçlarına uygulanabilecek gerilim yükselme hızını artırır ve iletimden çıkma kabiliyetini iyileştirir. Bir pozitif kapı akımı darbesiyle GTO ilettime sokulur. İletime geçmeden önce  $C_S$  bastırma devresi kondansatörü,  $U_D$  kaynak gerilimi ile şarjlıdır. İletime geçerken  $C_S$  ,  $R_S$  ve GTO üzerinden boşalır . Enerjisinin büyük bir bölümü  $R_S$  ' de harcanır. Negatif kapı akımı darbesi ile GTO kesime geçirildiğinde  $C_S$  ,  $D_S$  diyodu üzerinden salınarak dolar.Seri bağlı olan kaçak endüktanslar, GTO' nun uçlarındaki gerilim yükselme hızını sınırlar.Bastırma devresinin güç kaybı yaklaşık olarak;



Şekil 4.16: Kapama ve geçirme bastırmalarıyla birlikte gto' nun kullanıldığı bir konvertör devresi

$P_s = (1/2) \cdot C_s \cdot U_D^2 \cdot f$  'dir. Burada "f" işletme (darbe) frekansıdır.

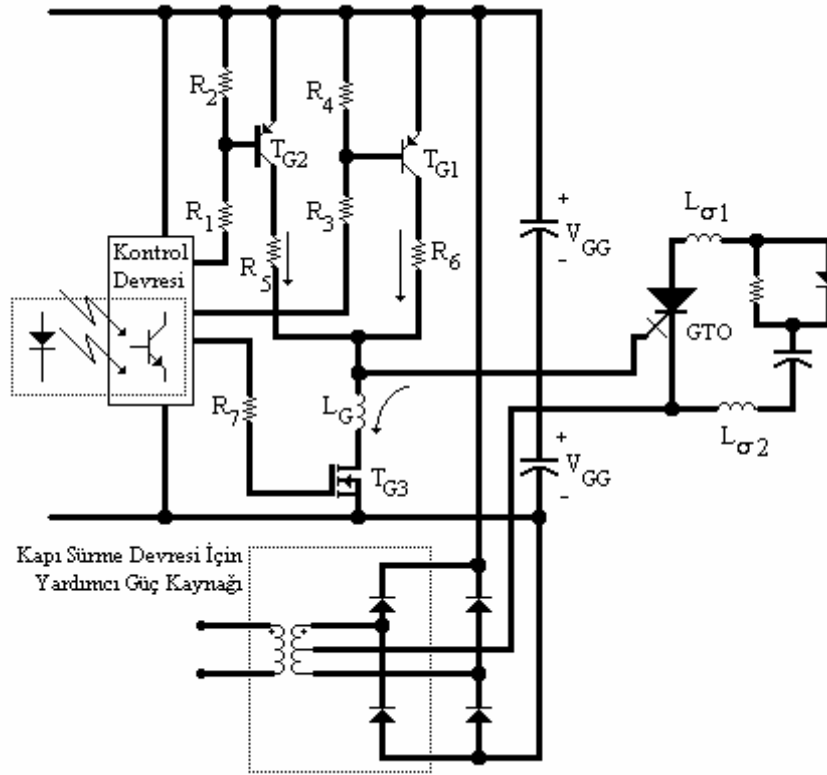
Şekil 4. 16'daki bastırma indüktörü, devrede bir geçirme bastırması olarak davranması için devrede bulunmaktadır.

GTO 'nun iletme geçemedeki davranışı normal tristörünkine benzerdir fakat iletimden çıkma karakteristikleri farklıdır (şekil 4.19).negatif kapı akımı oluştuğunda, anot akımı ( $I_A$ ) belirli bir gecikmeden sonra düşmeye başlar. Bu süre çok kısadır (yaklaşık olarak  $<1\mu s$ ), Geçirme yönünde pozitif bir anot gerilim oluşmaya başladığında ve anot akımı bastırma devresi üzerinden geçmeye çalıştığında,  $L_s$  kaçak endüktansı bir gerilim sıçramasına neden olur. Eğer bu gerilim tepesi büyükse zararlıdır ve akım yoğunluğu bölgesel ısınmalar sonucu, sekonder devrilmeye sebep olabilir. Bu da arıza durumudur. Bu problem, bastırma devresi kaçak endüktansının minimuma indirilmesiyle giderilebilir. Sıçrama geriliminden sonra anot gerilimi normal  $U_D$  değerini almadan önce bastırma devresi rezonansından dolayı büyük bir değerden geçerek salınır. Bu sırada, anot akımında, bir sapma akımı oluşur. Bu akıma kuyruk akımı denir.

Bastırma devresi kondansatörünü arttırarak, kuyruk akımı ve bu gerilim darbesi küçültülebilir fakat bu da bastırma devresi kayıplarının artmasına neden olur. Normalde GTO 'nun bastırma kondansatörü, normal tristörünkine göre birkaç kat daha büyüktür.

GTO, kapamaya sokulduğunda, anot-katot geriliminin büyüme oranı,  $dv/dt$  belirli seviyelerde sınırlandırılmalıdır. Yoksa GTO' nun tekrar geçirmeye tetiklenmesi meydana gelir.

Bu sebepten, şekil 4. 16'da gösterildiği gibi, anahtarlama devresinin bir parçası olan kapama bastırması bulunmaktadır. Tavsiye edilen kapı durumlarını karşılayan bir kapı sürme devresi şekil 4.17'de gösterildiği gibi-GTO tristör üreticileri tarafından önerilmiştir.

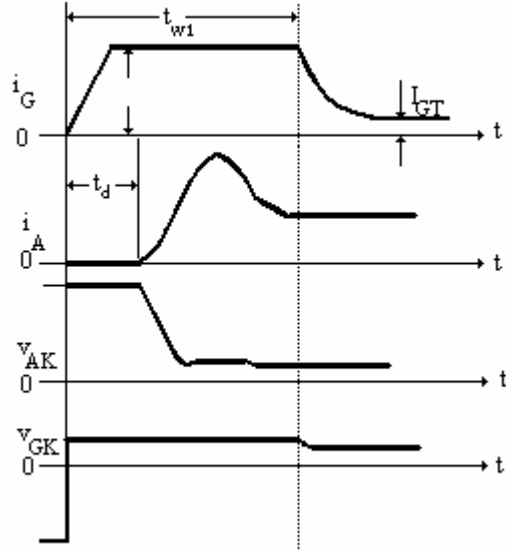


Şekil 4.17: Bir GTO için kapı sürme devresi

#### 4.2.6. İletime Geçmedeki Geçici Rejim

Şekil 4. 16'daki konvertör devresinde, GTO kapamadayken, akım  $D_f$  Diyodu serbest döngüdedir. Şekil 4. 18'de gösterildiği gibi bir kapı akımı darbesi iletme geçmeyi başlatır . Geçirmeye girme süresince, hem kapı akımı artış oranı,

$di_G/dt$  ve hem de kapı akımı tepe değeri,  $I_{GM}$ , bütün katot adalarının iletme geçmesini ve anot akımının uygun dinamik bir paylaşımı olmasını sağlamak için büyük olmalıdır. Yoksa çok az bir miktarda olan adalar toplam akımı taşıyacak ve yerel termik kaçış olayı meydana gelecek ve GTO da zarar görecektir. İletime geçme işleminin tamamlanmasını sağlamak için yeterli bir zaman gerekir bunun için, mesela  $10\mu s$ , büyük bir  $I_{GM}$  değeri sağlanır. İletime girmenin tamamlanmasının ardından, istenmeyen kapamayı önlemek için bütün bir geçirme periyodu süresince bir minimum sürekli kapı akımı  $I_{GT}$ 'nin akması gereklidir. Kapı akımı sıfırsa ve anot akımı çok düşük bir değere inerse, bazı katot adaları iletimi kesebilir. Eğer anot akımı sonradan artarsa, geri kalan iletimdeki adalar akımı tutamayabilir ve sonuç olarak ortaya çıkan bir termik kaçış sonucu GTO tahrip olabilir.



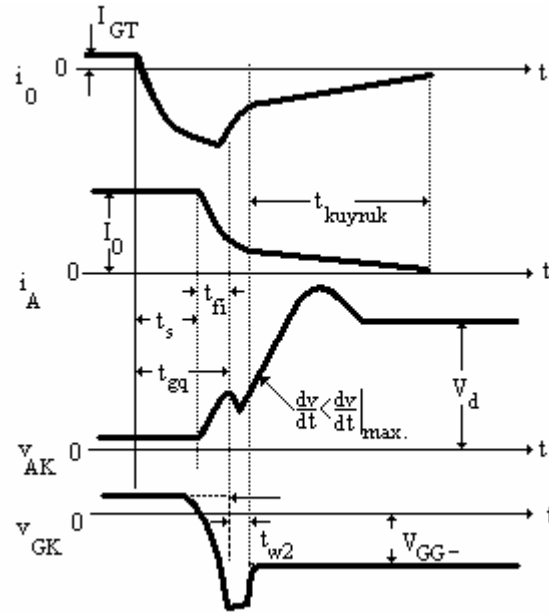
**Şekil 4.18: Geçirme ve kapama bastırma devreli bir konverterdeki GTO 'nun geçirme dalga şekilleri**

$T_{G1}$  ve  $T_{G2}$  transistörlerinin her ikisinin de ilettime geçmesiyle ,ilk kapı akımı büyük darbesi şekil 4. 17'deki kapı sürme devresi tarafından sağlanır. Pozitif kapı sürme devresindeki kaçak endüktans, iletimde büyük bir  $di_G/dt$  değeri elde etmek için minimum değerde tutulmalıdır. Bir süre sonra ( $t_{w1}$ ),  $T_{G1}$  ' in kapamaya geçmesiyle kapı akımı IGM değerinden  $I_{GT}$  ' ye azaltılacaktır.

Anot akımının büyümesi süresince, giriş gerilimi, GTO ve geçirme bastırma endüktansı arasında paylaşılır. Eğer anot akımının  $di/dt$  ' si, büyük değerinden dolayı bu endüktans tarafından sınırlandırılırsa, daha sonra (şekil 4. 18) GTO üzerindeki gerilim aniden oldukça düşük bir değere düşecektir. Anot akımındaki darbe,  $D_F$  diyodunun geri algılamasından gelir.

#### 4.2.7. Kesime Geçmedeki Geçici Rejim

Şekil 4.19'da gösterildiği gibi, GTO, büyük bir negatif kapı akımının uygulanmasıyla kapamaya sokulur. Meydana gelen akım ve gerilim dalga şekilleri şekil 4.16' daki devredeki GTO için yukarıda gösterilmiştir. Kapama sırasında birkaç farklı zaman aralığı vardır. Şekil 4. 17'deki kapı sürme devresi,  $T_{G3}$  transistörünün ilettime geçmesiyle negatif kapı akımı sağlar.



**Şekil 4.19: Geçirme ve kapama bastırma devreli bir konverterdeki GTO 'nun kapama dalga şekilleri**

Kapı akımı (iletimden çıkma kazancı 3–5 değerine karşılık olarak ) anot akımının %20 - % 35'i gibi çok büyük bir değerde olmalıdır. Bu büyük negatif akım sadece kısa bir zaman için istenir. Düşük gerilimli MOSFET 'ler, TG3 için hemen hemen ideal bir seçimdir. Kısa bir depolama (storage time) zamanı ve kısa bir anot akımı düşüş zamanına sahip olmak için ve kapı güç kaybını azaltmak için, negatif  $di_G/dt$  büyük bir değerde olmalıdır. Bununla birlikte, çok büyük değerdeki negatif  $di_G/dt$ , anot kuyruk akımının daha kısa tanımlanması sonucunu doğurur. Bu nedenle,  $di_G/dt$ , eleman üreticisi tarafından belirtilmiş sınırdaki tutulmalıdır.

Negatif  $di_G/dt$ , kapı sürme devresinin negatif kapı sürme parçasındaki  $L_G$  ve  $V_{GG-}$  ile kontrol edilir. Burada  $V_{GG-}$ , kapı-katot jonksiyon devrilme geriliminden daha küçük seçilmelidir.  $V_{GG-}$ 'nin bilinmesiyle, belirtilmiş  $di_G/dt$  'yi verecek şekilde  $L_G$  seçilir. Büyük GTO için negatif kapı sürme devresindeki kaçak endüktans, gereken  $L_G$  değerine eşit olabilir.

İlk zaman aralığı süresince, depolama zamanı  $t_s$  süresince, büyüyen negatif kapı akımı (şekil 4. 20) katot adalarının çevresindeki  $p_2$  ve  $n_2$  tabakalarındaki depolanmış yükleri taşır.

Depolanmış yük, çevreden taşınmaya devam ederken, boş plazma bölgesi büyüklüğü ( katot adalarının ortalarına doğru yanal bir yönde yayılma hızı denilen bir hızla genişleyerek) artar. Depolanmış yükün yeterli bir miktarı taşınmışsa, GTO'daki yenileyici hareket durdurulmuştur ve anot akımı düşmeye başlar. Bu da, depolanma zamanının sonunu belirtir.

GTO'nun yenileyici hareketi durdurulduğunda, anot akımı hızla düşmeye başlar.  $I_0 - i_A$  akımı, GTO uygulamalarında oldukça büyük olan kapama bastırma kapasitesi  $C_S$ 'i söndürür. Kapama bastırma devresi çevrimindeki kaçak endüktanstan dolayı, GTO üzerindeki gerilimde eşzamanlı hızlı bir yükselme vardır. Anot akımı düşüş zaman aralığı süresince gerilim tepesi tepe değerini belirtilmiş bir değerde tutmak için, bu kaçak endüktans (şekil 4. 16'daki  $L_G$ ) minimumda tutulmalıdır. Kapı katot jonksiyonundaki aşırı miktardaki taşıyıcılar dışarı taşındığında ve jonksiyon geri tıkama yeteneğini tekrar elde ettiğinde, anot akım düşüş zamanı ( $t_{fi}$ ) sona erer.

Kapı katot jonksiyonunun geri tıkama yeteneğini tekrar elde etmesiyle birlikte, kapı-katot gerilimi negatif değerlere artmaya başlar ve böylece negatif kapı akımı hızla azalmaya başlar (şekil 4. 19).  $L_G$  endüktansında endüklenen gerilim kapı akımının azalmasına izin vermez (akımı akmaya zorlar) ve kapı katot jonksiyonu primer devrilmeye (çığ olayı sonucu meydana gelen devrilme) girer. Daha sonra, kapı-katot jonksiyonu bir zener diyot gibi çalışmaktadır. Bu süre içinde,  $di_G/dt$  şöyle verilir:

$$\frac{di_G}{dt} = \frac{V_{GK, Devrilme} - V_{GG}}{L_G}$$

Bu primer devrilme kısa bir süre için düşünüldüğünde istenilir bir olaydır. Bu süre,  $t_{w2}$ , kapı-katot jonksiyonu primer devrilme zamanıdır. Bu olayın istenmesinin nedeni, mümkün olduğunca çok depolanmış yükün kapı ve  $p_2$  tabakasından sürüklenmesini sağlamaktır. Bu süre  $L_G$  ve  $V_{GG}$ 'nin seçimiyle kontrol edilebilen  $di_G/dt$ 'ye bağlıdır.  $t_{w2}$  süresi, kapı-katot jonksiyonunun tahribatını engellemek için belirtilen maksimum değer altında tutulmalıdır.

$t_{w2}$  süresinin sonunda, GTO'nun iki temel bölgesinde ( $n_1$  ve  $p_2$  tabakaları) hala bazı aşırı depolanmış yük bulunacaktır. Bu kalan yüklerin hareketi sonucu, anot ve negatif gerilimli kapı arasında anot kuyruk akımı olarak adlandırılan küçük bir anot akımı akmaya devam eder. Bu akım, anot ve kapı gerilim farkının büyümesiyle sürülür. Kuyruk akımının aktığı süre anot kuyruk akım zamanı "**tkuyruk**" olarak adlandırılır. **tkuyruk** zamanının büyük bölümü süresince kapı gerilimi  $V_{GG}$ -değerindedir. Bu değer bütün bir kapama süresi boyunca kapı geriliminin sahip olacağı bir değerdir.

$$\frac{dV_{AK}}{dt} \approx \frac{I_0}{C_S}$$

Kuyruk akımı zaman aralığı süresince, GTO gerilimi –aşağıdaki bağıntıyla bulunan-sabit bir değere doğru büyür:

Bu aralık ( $t_{kuyruk}$ ), kapama kayıplarının büyük bir bölümünü oluşturur çünkü bu süre oldukça uzundur ve GTO gerilimi de büyük değerdedir.

Kapamadaki aşırı gerilim (şekil 4. 19), güç devresindeki kaçak endüktanstan dolayıdır. Anot-katot aşırı gerilimi, aşırı gerilim bastırma devreleriyle azaltılabilir.



#### 4.2.8. Minimum Kapama ve Geçirme Süreleri

GTO, belirli bir süre geçmeden, kapamadan işleminden iletme geçirilmemelidir. Bunun nedeni, çeşitli katot adaları arasında zayıf akım paylaşımı olasılığındandır. Azınlık taşıyıcılar, uzun ömürlü olduklarından dolayı uzun süre GTO' da kalır. Bu geriye kalan azınlık taşıyıcıları, taşıyıcıların çevresinde bazı katot adalarına neden olurlar ki, bu adaların diğerlerine göre daha iyi bir iletme karakteristiği vardır. Buradan, eğer taşıyıcılar tekrar birleşmeden veya sürüklenmeden önce GTO iletme sokulmaya çalışılırsa, akımın büyük miktarı bu az sayıdaki adalar (zayıf akım paylaşımı ) tarafından taşınır ve eleman tahribi meydana gelebilir.

Benzer olarak, kapama başlatılmadan önce, belli bir zaman periyodu için GTO iletimde tutulmalıdır. Nedeni ise, çeşitli katot adaları arasında zayıf akım paylaşımı olasılığı gösterilir.

Devre tasarımcısının, uygun bir çalışma için, iletim ve kapama bastırmalarının (anılan sıraya göre ) bir minimum kapama durumu ve bir minimum geçirme durumu süresine ihtiyacı olduğunu bilmesi gerekir.

#### 4.2.9. Maksimum Kontrol Edilebilir Anot Akımı

Maksimum kontrol edilebilir akım, kapısından kontrol edilerek kesilebilen en büyük akımdır.

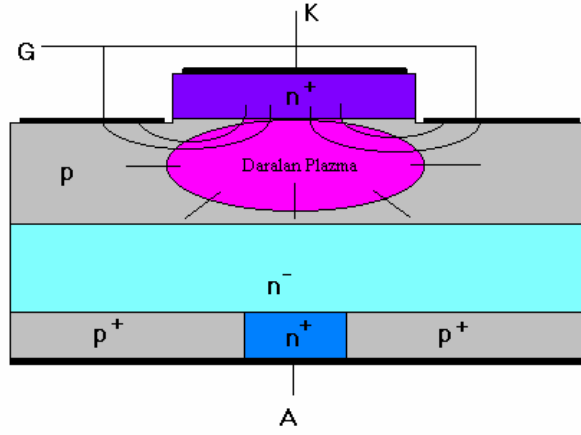
Negatif kapı akımının yükselme hızı artırılarak daha büyük anot akımları kontrol edilebilir.  $p_2$  tabakasındaki aşırı taşıyıcılar, negatif kapı akımı için taşıyıcıların kaynağıdır. Negatif kapı akımı ve boş plazma bölgesi büyüdükçe (şekil 4. 20), kapı katot jonksiyonundaki gerilimde bir artma vardır ( $p_2$  katmanındaki kapı akımının yanal geçişinden dolayı olduğu belirtilmiştir).

Katot çevresinde kapı kontağına yakın noktalarda jonksiyon gerilimi en yüksektir. Eğer bu gerilim jonksiyon devrilme gerilimini aşarsa negatif kapı akımı sadece devrilmenin olduğu katot çevresinde akar. Geriye kalan depolanmış yüklerin hiçbiri taşınmayacaktır ve GTO kapamaya geçirilmeyecektir. Bu nedenle,  $V_{GG}$  gerilimi, kapı - katot jonksiyon devrilme geriliminden daha az tutulmalıdır.

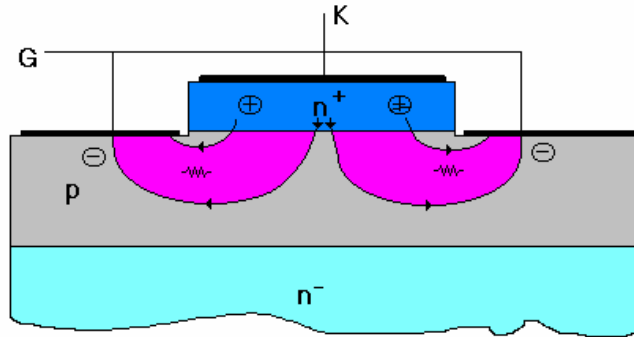
Negatif kapı-katot gerilimindeki sınırlama, GTO 'dan çıkarılabilecek bir maksimum kapı akımının olduğu anlamına gelir. Depolanmış yükün taşınması son evresine girdiğinde, aşırı taşıyıcıların bölgesi, katot adası merkezi yakınlarındaki küçük bir alanda daralmıştır ve kapı bağlantı noktasından en uzak noktadadır. Bu durumlar altında, geri gerilim en yüksek değerindedir. Yanal omik direnci (şekil 4. 20(b)) eleman geometrisinin bir fonksiyonu olup maksimum negatif kapı akımının ne kadar olacağını belirlemede kullanılır. Bu da ayrıca, iletimden çıkarılabilecek bir maksimum anot akımının olduğu anlamına gelir.

$$I_G' \rangle \frac{I_A}{b_{OFF}} \Rightarrow I_A \langle b_{OFF} \cdot I_{G, \max} .$$

Kontrol edilebilir maksimum anot akımı eleman üreticisi tarafından verilen kataloglarda gösterilmiştir.



Şekil 4.20: (a)



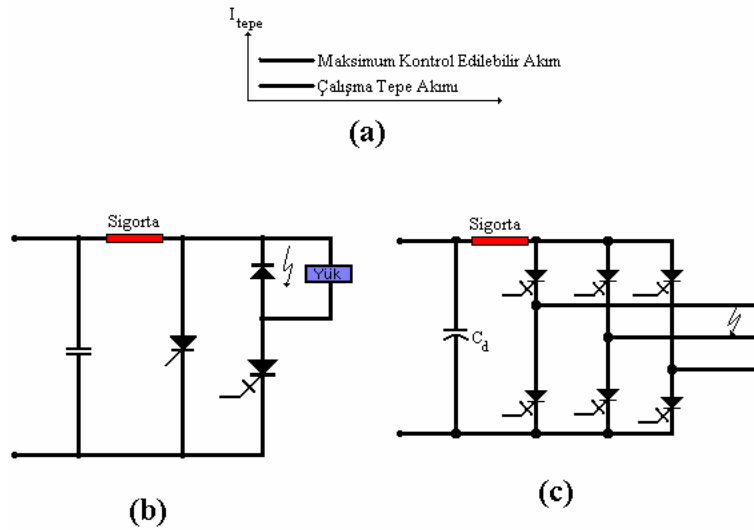
Şekil 4.20: (b)

Şekil 4.20: Bir negatif kapı akımıyla kesilebilen maksimum anot akımını belirleyen mekanizma.

- Ø Yoğun-taşıyıcı plazmayı katot adasının merkezinde küçük bir hacme sıkıştıran negatif kapı akımı.
- Ø Maksimum kapı akımını sınırlandıran, p<sub>2</sub> tabakasındaki yanıl omik direnç.

#### 4.2.10. GTO’larda Aşırı Akım Koruması

MOSFET ve BJT ‘de olağan dışı bir olay sonucu oluşan aşırı akım, elemanın doymadan çıkıp aktif bölgeye girmesine neden olur. Eleman, maksimum akımı kendisi sınırlar ama eleman üzerindeki gerilim çok büyük değerlere ulaşır. Böylece, aşırı akım durumu, elemanın iletimdeki geriliminin ölçülmesiyle kolaylıkla bulunabilir. Aşırı akım, akım sensörü vasıtasıyla veya MOSFET için bir SENSEFET kullanarak bulunabilir. Bu aşırı akım bulunduğunda, BJT veya MOSFET’ler birkaç mikrosaniyede kesime geçirilerek koruma gerçekleştirilir.



Şekil 4.21: GTO İçin aşırı akım koruma yöntemleri

- Ø Aşırı akımların tanımı,
- Ø Çoğalma metodu ile aşırı akım koruması,
- Ø Sigortanın açmasına kadar köprüdeki bütün gto'ların akımı paylaşmak için ilettime geçirilmeleriyle gerçekleşen aşırı akım koruma metodu.

Bu koruma işlemi, GTO’larda çok daha karmaşıktır. Şekil 4. 21 (a)’da gösterildiği gibi, müsaade edilen akım tepe değeri, güvenlik faktörü tarafından, maksimum kontrol edilebilir akımdan küçük seçilmelidir. GTO’da aşırı akım, akım algılanmasıyla bulunmalıdır. Eğer saptanan akım, maksimum kontrol edilebilir akımdan küçükse, örneğin şekilde A noktasındaysa, GTO bir negatif kapı akımıyla iletimden çıkarılabilir.

Bununla birlikte, eğer aşırı akım maksimum kontrol edilebilir akımdan büyükse, örneğin şekilde B noktasındaysa, GTO bir negatif kapı akımıyla iletimden çıkarılmaya çalışılırsa GTO bozulur. Bu nedenle, GTO “çoğalma tekniği” (crowbarring) denilen yöntemle korunur. Böyle bir devrede, bir tristör GTO’ya paralel bağlıdır (şekil 4. 21(b)) ve tristörün aniden iletime geçmesiyle sigorta atar. Çoğalma tekniği olmadan şekil 4. 21 (b) ‘deki devrede GTO’yu korumanın tek yolu, daha büyük akım değerlerindeki bir GTO kullanmaktır, fakat bu da pahalıdır.

Şekil 4. 21 (c)'de gösterildiği gibi bir üç faz konfigürasyonunda, altı adet GTO'nun da aynı anda ilettime geçmesiyle çoğalma tekniği elde edilebilir. Üç koldaki GTO'ların hepsinin aynı anda ilettime geçmesiyle sigortadan geçen akım 3 kola ayrılır ve GTO da sigorta atıncaya kadar bu akımı taşıyabilecek kapasitededir.

#### 4.2.11. GTO Uygulamaları

Şekil 4.22' deki devre GTO DC amfidir. Giriş uçlarına pozitif gerilim uygulandığında,  $C_1$  kapasitesi,  $R_1$  direnci ve uygulanan gerilime bağlı olarak belirli bir değere kadar şarj olur. Eğer uygulanan gerilim (4 katmanlı D) diyodu devrilme geriliminden yüksekse, belirli bir zaman sonra ( $t_1$ ) diyot ilettime geçer.

$$t_1 = R_1 \cdot C_1 \cdot \log_e [V_{giriş} / (V_{giriş} - V_{B0})] \text{ saniye}$$

GTO'da meydana gelen akım geçişi, onun ilettime geçmesini sağlar ve akım yük direnci  $R_L$  den akar.

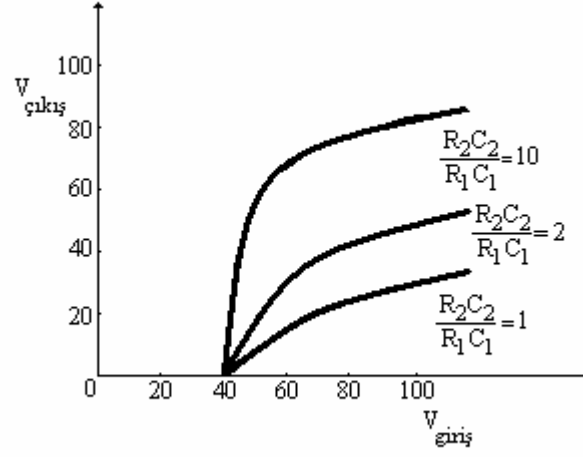
Aynı zamanda,  $C_3$  kapasitesi yük gerilimi +E değerine kadar şarj olur ve  $C_2$  kapasitesi  $R_2$  direnci üzerinden şarj olur.  $C_2$  üzerindeki gerilim, Zener diyot devrilme gerilimini aştığında  $T_H$  tristörünün kapısından bir akım geçecektir. Yükte gerilimin görüldüğü noktaya kadar olan zaman gecikmesi  $t_2$ 'dir:

$$t_2 = R_2 \cdot C_2 \cdot \log_e [E / (E - V_2)] \text{ saniye}$$

Tristör ilettime geçer, yük akımı bir anlık GTO kapısından geçer ve GTO iletimden çıkar. Tam bir iletimden çıkmayı gerçekleştirmek için  $C_3$  kapasitesi sayesinde GTO kapı-katot geri gerilimi sürdürülür (korunur).  $C_1$  kapasitesinde yeterli yük depolanmışsa  $T_H$  tristörü 4 katmanlı D diyodunun ilettime geçmesine neden olacaktır. Böylece devre resetlenir ve işlemler tekrarlanır.

Ortalama çıkış gerilimi, giriş gerilimi  $V_{giriş}$  'nin bir fonksiyonu olduğu için devre bir DC amfi gibi davranır. Ortalama çıkış gücü  $\{ V_{çıkış} = [t_2 / (t_1 + t_2)] \cdot E \}$  voltur ve bu da :

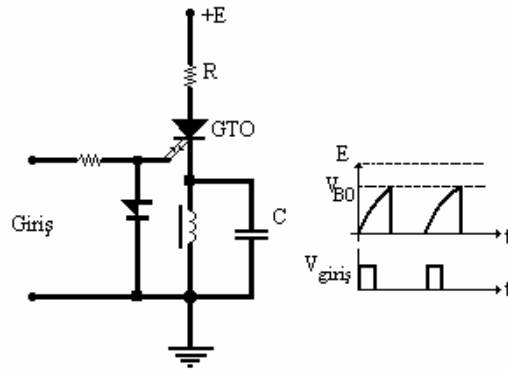
$$V_{ÇIKIŞ} = \frac{R_2 \cdot C_2 \cdot \log_e [E / (E - V_2)]}{R_1 \cdot C_1 \cdot \log_e [V_{giriş} / (V_{giriş} - V_{B0})] + R_2 \cdot C_2 \cdot \log_e [E / (E - V_2)]} \text{ Volttur.}$$



Şekil 4.23: Giriş gerilimi ( $V_{in}$ ) ile çıkış geriliminin değişimi.

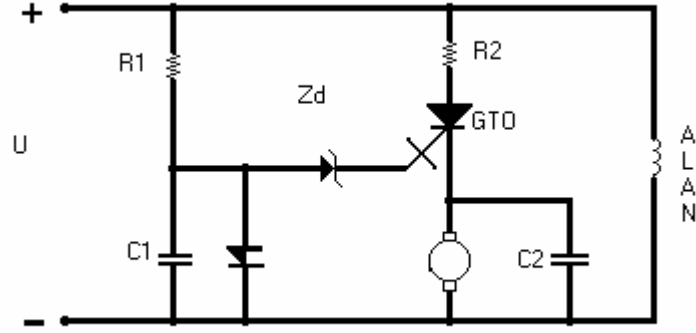
Bu ilişki şekil 4.23'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Daha lineer bir ilişki istenirse, bir geri besleme sistemi kullanılmalıdır. Şekil 4. 24'te bir yüksek güç solenoid sürücüsü gösterilmiştir. Giriş uçlarına pozitif bir gerilim darbesi uygulandığında, GTO iletme geçer ve solenoid üzerindeki gerilim ( $E$ ), kaynak gerilimine doğru üstel bir şekilde artar. Bununla birlikte, bu seviyeye ulaşılmadan önce, 4 katmanlı diyot ( $D$ ) devrilme gerilimine ulaşır ve bir anlık olarak GTO kapısına gelen akım GTO'yu iletimden çıkartır.

Darbe uzunluğu:



Şekil 4.24: Yüksek güçlü solenoid sürücüsü ve devre dalga şekilleri

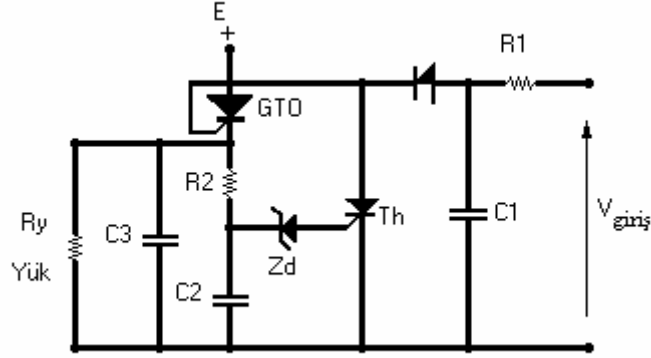
$$T = R.C.\log_e[E/(E - V_{B0})] \text{ saniyedir}$$



**Şekil 4.25: Sabit gerilimle motor sürme devresi**

Bir başka uygulama ise şekil 4. 25' te gösterilmiştir. Bu düzenleme, bir DC motor armatür (rotor) geriliminin sabit tutulması için tasarlanmıştır. Güç uygulandığında, C1 kapasitesi gerilimi, Zener Diyot ZD 'nin zener gerilimini aşmasına kadar GTO kapamada kalır. Bu olay olursa GTO kapısından akım geçer ve böylece GTO ilettime geçer.C2 kapasitesi şarj olur ve- 4 katmanlı D Diyodu devrildiğinde GTO iletimden çıkar. Daha sonra C1 şarj olur ve GTO' nun tekrar ilettime geçmesine neden olur. Böylece motor üzerindeki gerilim istenen değer üzerinde salınır.

## UYGULAMA FAALİYETİ



Şekil 4.22: GTO ile yapılan DC yükseltec

<p>Ø Kuracağınız GTO DC devresinin elemanlarını hazırlayınız.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>—Bread-Board</li> <li>—GTO</li> <li>—Tristör</li> <li>—Zener diyot</li> <li>—Direnç R1 = 47 KΩ</li> <li>—Direnç R2 = 150 Ω</li> <li>—Direnç Ry = 100 Ω</li> <li>—Kondansatör C1=100 nF</li> <li>—Kondansatör C2=100 nF</li> <li>—Kondansatör C3=100 nF</li> <li>—4 katmanlı diyot</li> <li>—DC güç kaynağı (12 volt )</li> <li>—AC Güç kaynağı ( 220 volt 50 Hz )</li> <li>—Değişik uzunlukta ve kesitlerde kablo</li> </ul>	<p>Ø Elemanları öncelikle gözle kontrol ediniz. (kırık, kopuk, çatlak, izalasyonu bozuk, bağlantı uçları yıpranmış olabilir.)</p> <p>Ø Elektronik elemanları bölüm içerisinde anlatıldığı şekilde ölçü aletleriyle kontrol ediniz.</p>
<p>Ø Devreyi şemaya uygun olarak kurunuz.</p>	<p>Ø Devreyi kurarken elektronik elemanların bacaklarının kırılıp kırılmamasına dikkat ediniz. Bunun için elektronik eleman cımbızlarını kullanabilirsiniz.</p> <p>Ø Tristörün tetikleme ve akım taşıyıcı uçlarına uygun kesitlerde kablolar kullanınız.</p>
<p>Ø Gerekli kontrolleri yaparak devreye enerji veriniz.</p>	<p>Ø Güç kaynağı çıkışını AVO metre ile ölçerek gerekli</p>

	<p>kademe seçimini yapınız.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ø DC güç kaynağını AVO metre ile kontrol ediniz</li> <li>Ø Devredeki elemanların ısınıp ısınmadıklarını enerjiyi kapadığınızda parmak ucunuzla dokunarak anlayabilirsiniz.</li> </ul>
Ø Gerekli bilgi notlarını alıp anlamadığınızı konuları öğretmeninize danışınız.	Ø Devredeki elemanlara enerjiyi kapamadan elle dokunmayınız.
Ø Devrenin özelliklerini ve iş hayatına uygulama tasarımlarını arkadaşlarınızla tartışınız.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Oluşan ısıdan tristörün etkilenmemesi için alüminyum soğutucu kullanabilirsiniz.</li> <li>Ø Arkadaşlarınızla çalışma esnasında şakalaşmayınız.</li> </ul>
Ø Devreyi elemanlarına zarar vermeden sökünüz.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Devreyi kurarken ve enerji verip denerken dikkatinizi işlem üzerine yoğunlaştırınız.</li> <li>Ø 220 volt beslemeli işlemler yaparken çalıştığınız düzlemin ıslak olmamasına dikkat ediniz.</li> </ul>



## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki cümleleri doğru veya yanlış olarak değerlendiriniz.

1. GTO tetikleme elemanı olarak kullanılan üç uçlu elektronik devre elemanıdır.
2. GTO'lar tristörün kullanıldığı tüm devrelerde kullanılır.
3. Tristörün eğri izleyici ile dinamik karakteristiğini çıkarmak mümkündür.
4. Tristörler pnpn maddelerin yan yana getirilmesiyle oluşturulmuştur.
5. Tristörün'nün iletme geçebilmesi için geyt ucundan tetiklenmesi tek yoldur.
6. Tristör'ün yalıtıma geçmesi için geyt akımını kesmek yeterlidir.
7. GTO lar Tristörün kolay bir şekilde yalıtıma geçirilebilen benzeridir.
8. Tristör'ün soğutucuyla kullanılması gerekir.
9. GTO lar oldukça büyük güçlü yapılıdır.
10. Tristörün AVOMETREyle anot katot arası ölçümde her iki yönde de yüksek direnç ölçülmelidir.
11. Tristörün çıplak kısmında anot gerilimi olduğundan çıplak elle dokunmak tehlikelidir.
12. GTO'lar geyt kapılarına uygulanan negatif kapama akımıyla durdurulurlar.

#### Test - 4

SORU	D	Y	SORU	D	Y
1.			7.		
2.			8.		
3.			9.		
4.			10.		
5.			11.		
6.			12.		

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı modül sonundaki cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz

Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer faaliyete geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-5

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda IGBT' nin yapısını, özelliklerini, tetikleme yöntemlerini bilecek, eğri izleyicilerle ölçümünü yapabilecek, istenilen özellikte IGBT seçebilecek ve IGBT kullanarak uygulama devresi yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

Yüksek güçlü ve yüksek frekanslı devrelerde kullanılan anahtarlama elemanlarını araştırınız. İnternet arama motorlarında IGBT ve uygulamaları hakkında araştırma yaparak raporlayınız.

## 5. IGBT

Orijinal adı Insulated Gate Bipolar Transistor kelimesinin baş harflerinden oluşmuştur. Geyti izole edilmiş Bipolar Transistör demektir.

### 5.1. IGBT Yapısı, Özellikleri ve Çalışması

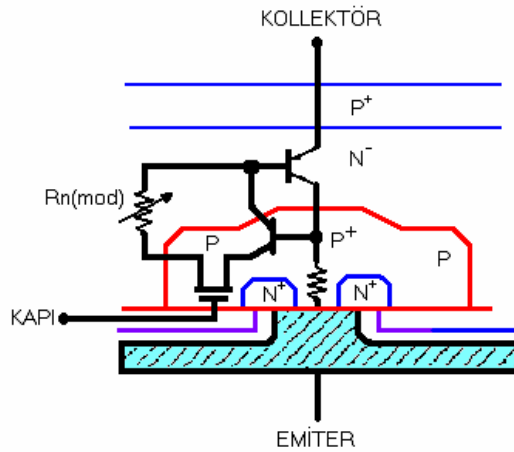
Gerilim kontrollü bir eleman olan İzole Kapılı Bipolar Transistörün (IGBT) yapısı eş değer devresi ve sembolü şekil 5. 1' de görülmektedir. Bipolar Transistör (BJT) ve MOSFET'in iyi taraflarının IGBT'de bir araya getirilmesi amaçlanmıştır. Yapısındaki MOSFET nedeniyle giriş empedansı yüksek, BJT yapısı nedeniyle iletimdeki gerilim düşümü azdır. BJT'deki gibi sekonder devrilme sorunu yoktur. Anahtarlama hızları MOSFET'ten düşük BJT'den yüksektir.

Yapısı MOSFET'in yapısına benzer. Aradaki fark burada Drain'deki "N" tabakasının yerini, kolektördeki "P" tabakasının almasıdır. Eğer kapı ucu emitere göre pozitif yapılırsa "P" bölgesinde bir "N" kanalı oluşur. Taban-emiter jonksiyonu geçirme yönünde kutuplanmış olan pnp Transistörü iletime geçer ve "N" bölgesinin iletim durumunu değiştirir. Bu durumda iletimdeki gerilim düşümünde MOSFET'e göre çok büyük bir iyileşme olur. Parazit npn transistörü yüzünden, tristördeki gibi kilitlenme olayı meydana gelmesi "P tabakası direncin iyi ayarlanması ile engellenmiştir. Normal olarak eleman sıfır geriliminde kesimdedir. Bu gerilim "P" bölgesindeki iletim kanalını ortadan kaldırır. Modern IGBT'lerde "N" bölgesinde proton ışınlanmış azınlıktaki taşıyıcı ömrünün kontrolü ve emitere bir "N" ara tabaka eklemek suretiyle, kuyruk akımı çok azaltılmıştır.

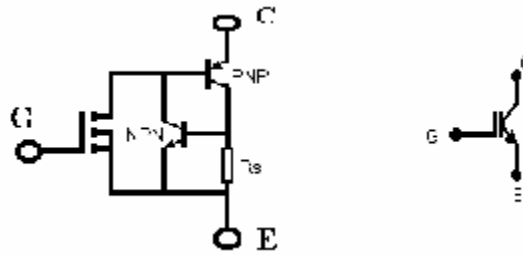
BJT ve MOSFET'e kıyasla IGBT daha yüksek bir akım yoğunluğuna sahiptir. Aynı anma değerlerine sahip MOSFET'e göre boyutları % 30 oranındadır. MOSFET'e göre giriş empedansı çok düşüktür. Aynı zamanda kapı kollektör kapasitesinin, kapı emiter emiter kapasitesine oranı daha düşüktür.

İnsulated Gate Bipolar Transistor genellikle güç elektroniği devrelerinde kullanılan (kgk[ups], doğrultucu, ac/dc motor kontrolü vs) bir yarı iletken elemandır. Kontrolü mosfet Transistöre benzer. Gerilim farkı ile sürüldüğünden kontrol sırasında güç kaybı düşüktür. Kontrol edilen akımın akışı transistor gibidir. Dolayısı ile mosfet ve normal transistorun pozitif yönlerini kullanan güzel bir elemandır.

Son yıllarda, IGBT'nin başarısı çarpıcı olarak gelişmiştir ve IGBT'nin uygulama alanları, özellikle yüksek güç uygulamalarında oldukça büyük gelişme göstermiştir. IGBT ve diyot, son derece düşük kaçak endüktansla bir güç modül paketinin içinde birleştirilmiştir. IGBT'lerin, daha düşük kayıp, uzun süre dayanma yeteneği, düşük gürültü ve düşük maliyet gibi birçok avantajları vardır.



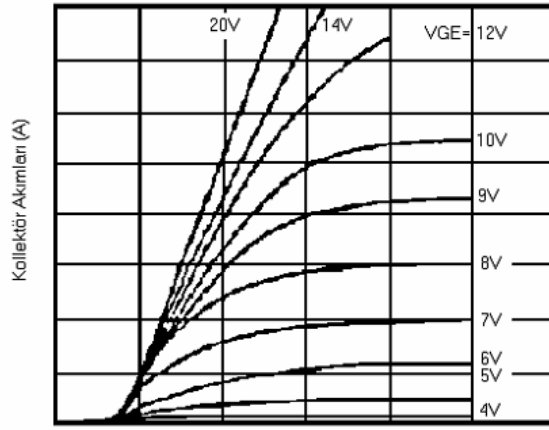
Şekil 5.1: IGBT'nin yapısı



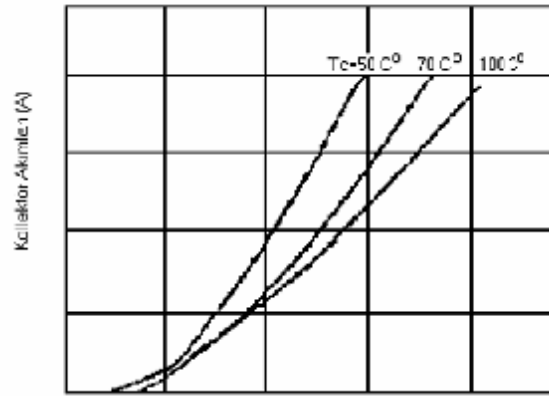
Şekil 5.2: IGBT'nin transistör eşleniği ve sembolü

### 5.1.1. Statik Davranışları (Karakteristikleri)

Şekil 5. 3'te IGBT'ye ait tipik bir kolektör emiter akım gerilim karakteristiği verilmiştir. Karakteristik prensip olarak MOSFET'inkine benzer. Fakat burada Drain ve Kaynak uçlarının yerini sırasıyla kolektör ve emiter almıştır. Ayrıca kolektör emiter gerilimi hiçbir zaman sıfır olmamakta, bir eşik gerilimi değerinden başlayarak doyma bölgesinde yaklaşık doğrusal olarak değişmektedir. Pratik olarak kolektör emiter geriliminin 1,2 Volt mertebesindeki eşik gerilimi ile bir eşdeğer dirençteki gerilim düşümünden ibaret olduğu söylenebilir. Bunların ikisinde, taban emiter gerilimine (UGF) bağlıdır. Nominal akımdaki toplam gerilim düşümü yaklaşık 3–3,5 voltur.



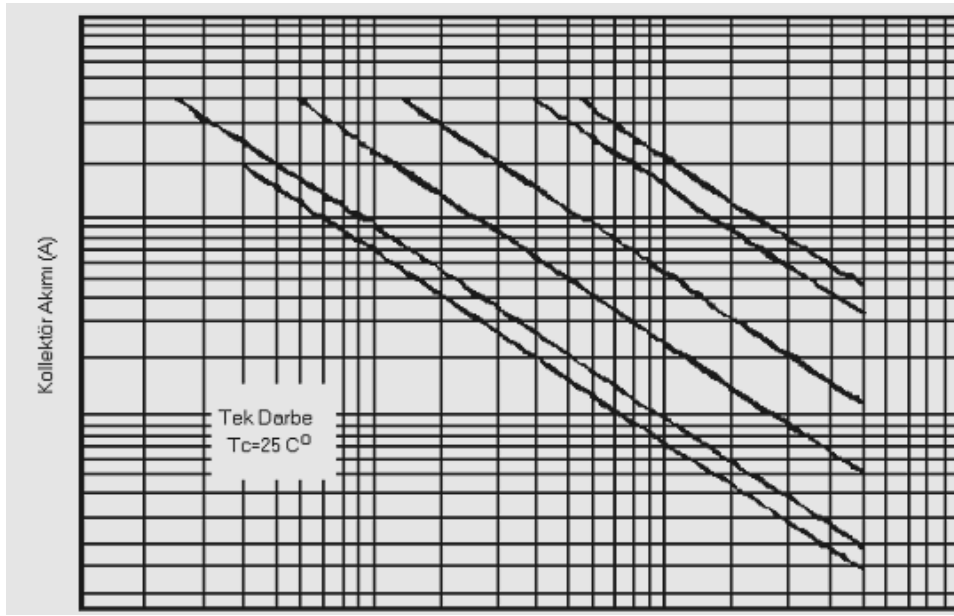
Şekil 5.3: IGBT'nin kolektör emiter karakteristiği



Şekil 5.4: Kolektör emiter doyma geriliminin sıcaklıkla ilişkisi

### 5.1.2. Güvenli Çalışma Bölgesi

IGBT' de sekonder devrilme söz konusu olmadığı için güvenli çalışma bölgesi; kontrol edilebilen maksimum kolektör akımı, maksimum kolektör emiter gerilimi ve maksimum Jonksiyon sıcaklığı ile sınırlıdır. Eğer kontrol edilebilen akımın maksimum değeri kısa bir süre için bile aşılsa IGBT kilitlenir ve artık kapıdan kontrol edilemez. Bu durumda IGBT'nin iletimden çıkabilmesi için, tristörde olduğu gibi yük akımının belirli bir tutma akımının altına düşürülmesi veya dış bir komitasyon devresi ile kolektör emiter geriliminin yönünün değiştirilmesi gerekir. Şekil 5. 5'te IGBT' ye ait tipik bir SOA karakteristiği verilmiştir.

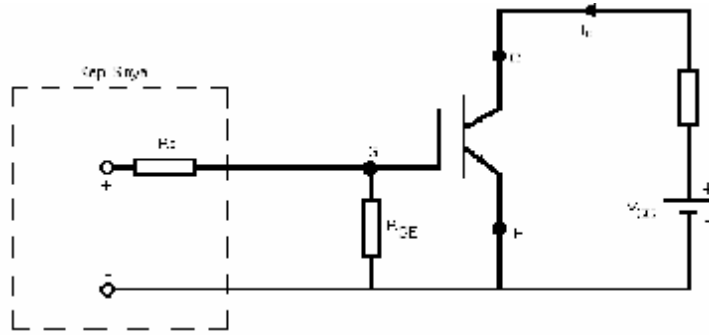


Şekil 5.5: Bir IGBT'ye ait güvenli çalışma bölgesi

### 5.1.3. Sürme (Tetikleme)Devreleri

IGBT'nin sürülmesi aynı MOSFET'in sürülmesi gibidir. İletime sokulup çıkarılması için kaçak kapasitelerinin şarj ve deşarj edilmesi gerekir. IGBT'de kaçak kapasiteler, aynı nominal değere sahip MOSFET'e göre oldukça düşüktür. 200 volt 500KHz'e kadar olan uygulamalarda IGBT'deki kapasitif kayıplar ihmal edilebilir düzeydedir. IGBT sürme devresinin prensip şeması şekil 5. 6 da verilmiştir. Daha önce öğrendiğiniz MOSFET sürme devrelerinden IGBT içinde yararlanılabilir. Kapı sinyal kaynağı iç direncinin yeterli olmadığı durumlarda, kapiya en az 10Ω'luk bir direncin seri olarak bağlanması gerekir. IGBT ve MOSFET'lerin sürülebilmesi için bazı entegre kapı sürücüleri geliştirilmiştir. Buna örnek olarak IR2110 kapı sürücüsünü gösterebiliriz.

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) sürme açısından MOSFET gibi davranırken güç iletimi açısından bipolar transistör gibi davranır. Hem sürmesi kolay hemde, verimi yüksektir. Genelde bu tür elemanlar kıyıcı köprü devrelerde kullanılırlar. Köprünün beslendiği DC bara gerilimi çok önemlidir. Bu yüzden köprünün altındaki IGBT'leri sürmek kolaydır, fakat üst taraftaki IGBT'leri yüzdükleri için sürmek zordur. Bu nedenle üst taraftaki IGBT'lerin sürme devresini beslemek için izole ve ayırık bir besleme kaynağı gerekir. Normal MOSFET driver'lar IGBT içinde kullanılır. Önemli olan ilk olarak kıyıcı işareti üretmek (bu PWM yada fixed duty cycle olabilir), daha sonra bu işareti izole olarak (izolasyon pulse trafolarla sağlanabilir ) güç katına iletmek ve orada IGBT'yi sürmektir. Burada güzel bir konu da IGBT için sadece solid state elektronik elemanlardan ( diyot, transistör, vs) kurulu çok ucuz koruma devrelerinin olmasıdır. Ayrıca bu yüzen sürme devresi gerilim kaynağının diyot kapasite çifti ile yapılabiliyor olmasıdır. Bu konuda "www.International Rectifier.com" den çok güzel bilgiler elde edinilebilir.



Şekil 5. 6 IGBT sürme devresi prensip bağlantı şeması

#### 5.1.4. Diğer Özellikleri ve Uygulama Alanları ve IGBT'nin Korunması

IGBT'ler piyasaya ilk olarak 1983 yılında sürülmüş, o zamandan beri, anma akım gerilim değerleri büyük ölçülerde artırılmış ve karakteristikleri iyileştirilmiştir. Bugün için (600V - 400A) – (1200V - 300A) – (1200V - 500A)'lık IGBT'ler bulmak mümkündür. Gün geçtikçe gerilim ve akım değerleri daha yükseklere çekilmektedir.

IGBT'ler yüzlerce kW güç ve 500 kHz'e kadar frekanslardaki konvertörlerde, BJT ve MOSFET'e göre önemli avantajlar sağlar. IGBT'ler son zamanlarda DC ve AC motorların sürülmesinde kesintisiz güç kaynaklarında (UPS), çeşitli bobin röle ve kontaktörlerin sürülmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Asenkron motorların sürülmesinde kullanılan invertörler IGBT ile gerçekleştirilmekte ve anahtarlama frekansı 15–20 kHz'e çıkarılarak gürültüsüz çalışma sağlanmaktadır.

İleride birçok uygulamada BJT'nin yerine IGBT kullanılacağı düşünülmektedir. IGBT'ler BJT'lere göre oldukça pahalıdır, fakat sürülmeleri kolaydır. Normal olarak bastırma devresi gerektirmezler ve anahtarlama kayıpları daha azdır. Bu nedenle IGBT'li konvertörlerin verimleri daha yüksek, boyutları daha küçük ve maliyetleri daha ucuzdur.

IGBT'nin anahtarlama kayıpları tarafından sınırlanan, pratik olarak kullanılabileceği frekans değeri, uygulama alanına göre farklılık gösterir. Örneğin darbe genişlik modülasyonlu (PWM) bir invertörde frekans yükseldikçe, iletimden çıkma sırasındaki komütasyon diyodundaki kayıplar çok artar. Bu durum IGBT'nin kullanımını 50kHz ile sınırlar. Fakat diğer uygulamalarda, örneğin yüksek frekanslı rezonans tipi invertörlerde 250 kHz civarındaki frekanslarda pratik olarak kullanılabilir. IGBT'yi anma değerleri aynı olan MOSFET ile iletimdeki kayıplar açısından karşılaştıracak olursak; 50 kHz'lik uygulamalarda IGBT'de 6 W kaybolurken MOSFET'te bu değer, 9 W'tır iletme geçme olayı sırasındaki kayıplar ise IGBT'den geçen akımın yükselme hızına bağlıdır. Örneğin 250 kHz'lik bir uygulamada IGBT için kayıp güç 0,8 W olduğu halde MOSFET'te bu kayıp ihmal edilebilecek düzeydedir. MOSFET'ten farklı olarak, IGBT'de yapısı nedeniyle ters paralel bağlı bir diyot yoktur. Kapama yönünde 5ila 10 volt civarında bir tutma gerilimi vardır. Bu nedenle geri beslemeli invertör uygulamalarında gerekli olan ters paralel diyotun dışarıdan bağlanması gerekir. Özellikle endüktif yüklerde iletimden çıkarken, aşırı  $dv/dt$ 'ye karşı bir bastırma devresine ihtiyaç duyulabilir.

### 5.1.5. Biyomedikal Cihazlarda ve Cihazların Beslemelerinde IGBT Kullanımı

Biyomedikal cihazlarda IGBT' ler genellikle hayati önem taşıyan aletlerin beslemesinde kullanılan DC-AC çevirici invertör devrelerinde sıkça kullanılır. Bu cihazlar üretim şekline göre bazı durumlarda besleme direk olarak şehir şebekesinden yapılacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Bu tip cihazlar dışarıdan bir invertör yardımıyla beslenir. Ancak son zamanlarda medikal cihaz teknolojisinin ve tıp elektroniğinin gelişmesiyle, medikal cihazların hemen hemen hepsi kendi içlerinde invertör devrelerini barındırır. Bu tip cihazlar şehir şebekesine direk bağlansa bile cihaz enerjisini içerisinde bulunan UPS üzerinden alır.

Bunun dışında fizik tedavi cihazlarında elektrik enerjisinin değişik dalga şekilleri ve frekansları kullanılarak hastalıklar tedavi edilebilmektedir. İşte bu tip cihazlarda IGBT-Tristör-GTO-Triyak gibi elemanlar cihazın besleme hattında değil bizzat cihazın bir elemanı olarak kullanılmaktadır.

Yine BT ve MR olarak bilinen gelişmiş doku ve lezyon analizi yapan cihazların gerek besleme hatlarında gerekse makinenin bir elemanı olarak görev yapmaktadır.

Günümüz koşullarında tıpta devrim sayılabilecek birçok yenilik hayata geçirilmektedir. Bunlar standart hekim kontrolünde tanı koymadan tedavi aşamasına kadar uzayan, kesili operasyonlardan herhangi bir kesi yapılmadan vücudun dışından yapılan müdahalelere kadar birçok teknik elektroniğin bu harika elemanlarından yararlanılarak geliştirilmiş ve geliştirilmektedir.

### 5.1.5.1. Özel Yarı İletkenlerin Kullanıldığı Biyomedikal Cihazlar

- Ø BT bilgisayarlı tomografi
- Ø MR manyetik rönans
- Ø Operasyon sonrası yoğun bakım üniteleri
- Ø Operasyon odalarının aydınlatılması
- Ø Otoklav üniteleri
- Ø Operasyon odalarının sterilizasyon üniteleri
- Ø Operasyon aletleri
- Ø Röntgen cihazları
- Ø Tanı koyma aletleri
- Ø Ortopedi bölümlerinde kullanılan alçı kesme cihazları
- Ø Böbrek taşlarını yüksek frekansla kırma üniteleri
- Ø Işınla kanser tedavi üniteleri
- Ø Lazerli göz operasyon üniteleri
- Ø Böbrek diyaliz üniteleri
- Ø Diş hekimliği operasyon masalarında
- Ø Işınli diş dolgu cihazlarında
- Ø Doğumhanelerde tanı ve operasyon üniteleri
- Ø Ultrason gibi batın kontrol üniteleri
- Ø Lapiraskopi –endoskopi üniteleri
- Ø Elektrokater üniteleri
- Ø Lazerle yapılan kesili operasyonlarda
- Ø Akopuntur uygulamalarında
- Ø Tıbbi laboratuvar işlemleri
- Ø Elektroşok acil müdahale üniteleri
- Ø EKG üniteleri
- Ø Kardiyogram üniteleri
- Ø Yanık tedavi üniteleri

### 5.1.6. Çok Devirli Motorlarda IGBT Kullanımı

Bunların dışında yüksek devir gerektiren AC ya da DC motorlarda; IGBT' lerle motor devirleri frekans değiştirilerek sıfırdan oldukça yüksek devirlere kadar kolayca ayarlanabilir. Özellikle ortopedi operasyonlarında kemik kesme işlemlerinde yüksek devirli motorlar hayati önem arz etmektedir. Burada IGBT' ler frekans değiştirme ve yumuşak kalkış işlemini oldukça kolay bir şekilde yerine getirebilmektedir.

Görüldüğü gibi liste uzayıp gitmektedir. Yukarıda sayılan cihazların hem besleme hattında hem de cihazın işlem gerçekleştiren bir elemanı olarak özel yarı iletkenler biyomedikal cihazların vazgeçilmez unsurlarıdır.

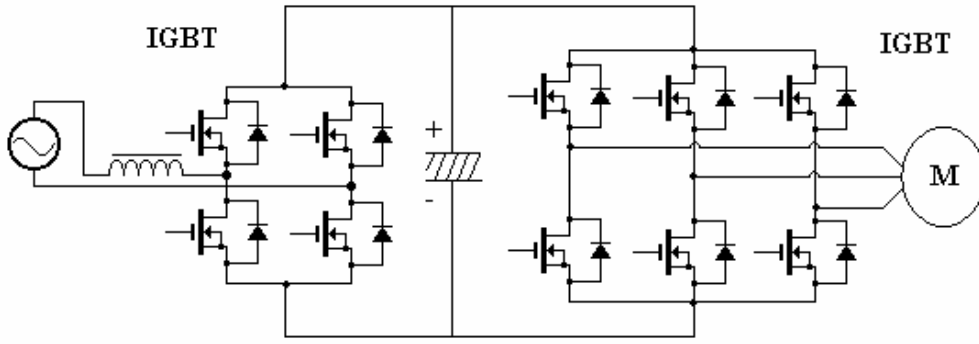


### 5.1.7. IGBT'NİN AVometre ile Kontrolü

IGBT'lerin AVometre ile güvenilir bir ölçümünü yapmak oldukça zordur. Sürücü devresiyle tetiklenen IGBT'nin Osiloskopa ölçümü daha güvenilir sonuç vermektedir.

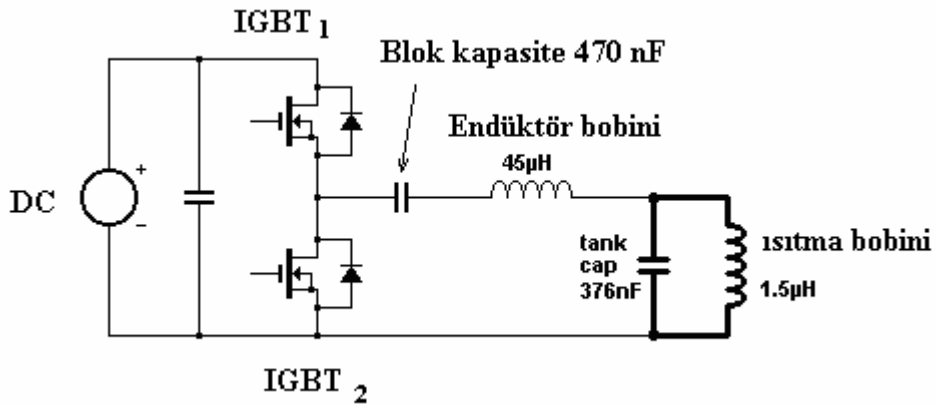
### 5.1.8. IGBT'NİN AC Akımda çalışması

Şekil 5. 7 deki devrede tek fazlı AC akımdan 3 fazlı AC akım elde edilmesi gösterilmektedir. Bu devrede bulunan birinci grup 4 adet IGBT tek fazlı AC akımı DC akıma çevirerek kondansatörü şarj etmektedir. İkinci gruptaki 6 adet IGBT' oluşan DC gerilimi 3 fazlı AC gerilime çevirmektedir.



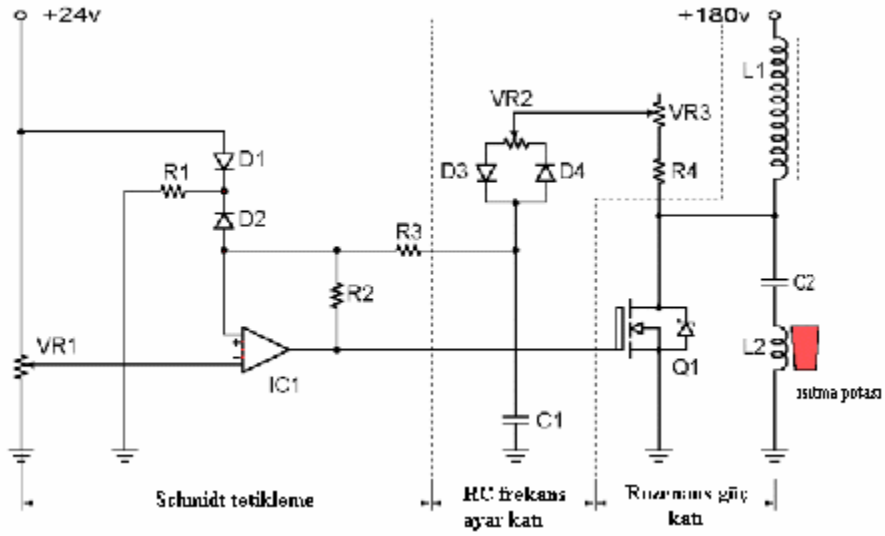
Şekil 5.7: IGBT'nin AC akımda kullanıldığı devre

### 5.1.9. IGBT'in DC Akımda Çalışması



Şekil 5.8: IGBT'nin DC akımda kullanıldığı devre

Şekil 5. 7' deki devrede DC gerilimden yüksek frekanslı AC gerilim elde edilmesine ait prensip şeması görülmektedir. Bu devre invertörlerde kullanılan devrenin benzeridir. Burada IGBT'ler sırasıyla sürülmekte böylece yüksek frekanslı AC akım elde edilmektedir. Birinci IGBT sürüldüğünde akım endüktör bobininden geçerek tank kondansatöründen ve ısıtma bobininden geçmektedir. Bu anda tank kondansatörü şarj olmaktadır. İkinci IGBT sürüldüğünde şarj olmuş kondansatör deşarj olurken bobinlerden ters yönlü bir akım geçmesine neden olmaktadır. Bu durum yüksek frekanslı bir AC' nin oluşmasına neden olmakta ve ısıtıcı bobinin içindeki malzemede yüksek ısı meydana getirmektedir.



Şekil 5.9: IGBT'li ısıtma devresi



Resim 5.1: Büyük güçlü IGBT



Resim 5.2: Yüksek güçlü IGBT bağlantı terminalleri



Resim 5.3: Yüksek güçlü IGBT



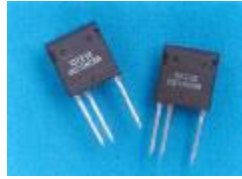
Resim 5.4: Güçlü IGBT'i



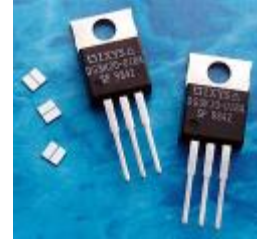
**Resim 5.5: Değişik bir IGBT'i**



**Resim 5.6: Küçük boyutuna karşı oldukça güçlü bir IGBT**



**Resim 5.7: Küçük güçlü IGBT'ler**



**Resim 5.8: Orta güçlü IGBT'ler**

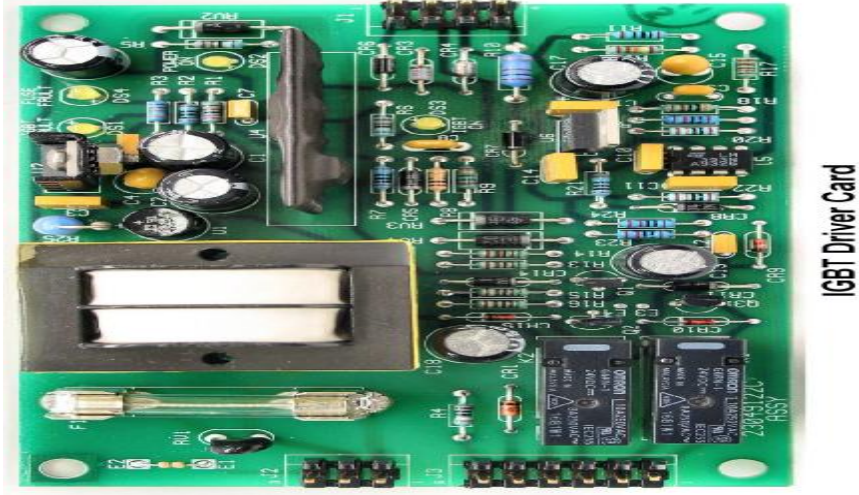


**Resim 5.9: Büyük güçlü IGBT**



**Controller Card**

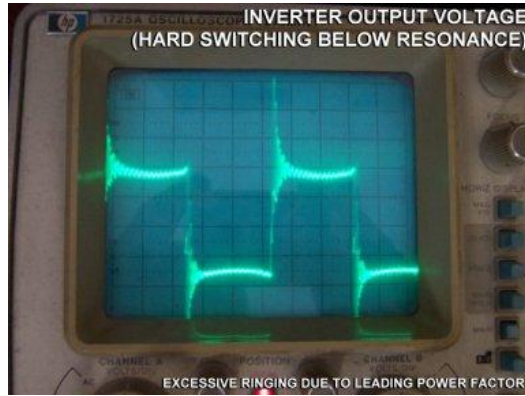
**Resim 5.10: IGBT kontrol kartı**



Resim 5.11: IGBT Sürücü devresi



Resim 5.11: IGBT ile yapılan endüksiyonla ısıtma devresi



Resim 5.11: Sürülmüş bir IGBT'nin osiloskoptaki eğrisi

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki cümleleri doğru veya yanlış olarak değerlendiriniz.

1. IGBT'ler yüksek güçlü anahtarlama elemanı olarak kullanılan üç uçlu elektronik devre elemanıdır.
2. IGBT'ler MOSFET'lerin sürüldüğü gibi sürülür.
3. IGBT'ler Biyomedikal cihazların beslemesinde sıkça kullanılır.
4. IGBT'ler geytlere direk enerji verilerek ilettime geçirilir.
5. IGBT'nin ilettime geçebilmesi için geyt ucundan tetiklenmesi tek yoldur.
6. IGBT'nin yalıtıma geçmesi için geyt akımını kesmek yeterlidir.
7. IGBT'ler MOSFET'lerin kolay bir şekilde yalıtıma geçirilebilen benzeridir.
8. IGBT'nin soğutucuyla kullanılması gerekir.
9. IGBT ler oldukça küçük güçlü yapılıdır.
10. IGBT'nin emiter kollektör arası ölçümünde her iki yönde de yüksek direnç ölçülmelidir.
11. IGBT'nin çıplak kısmında anot gerilimi olduğundan çıplak elle dokunmak tehlikelidir.
12. IGBT'ler güç iletimi açısından bipolar transistör gibi davranır.

SORU	D	Y		SORU	D	Y
1.				7.		
2.				8.		
3.				9.		
4.				10.		
5.				11.		
6.				12.		

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı modül sonundaki cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz.

Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz modül değerlendirme testine geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Modül ile kazandığınız yeterliğiniz aşağıdaki kıstaslara göre değerlendirilecektir.

<b>AMAÇ</b>	Bu modül ile öğrenci, gerekli ortam sağlandığında Biyomedikal ihazlarda Özel Yarı İletken Anahtarlama elemanlarını tanımlayabilecek ve uygulama devrelerinde kullanabilecektir.			
<b>Öğrencinin</b>				
<b>Adı</b>	<b>Soyadı</b>	<b>Nosu</b>		
<b>AÇIKLAMA :</b> Aşağıda listelenen davranışları öğrencide gözlemleyemediyse (0), zayıf nitelikli gözlemlediyseniz (1), orta düzeyde gözlemlediyseniz (2), yüksek düzeyde gözlemlediyseniz (3) rakamının altındaki kutucuğa " X "işareti koyunuz				
<b>GÖZLENECEK DAVRANIŞLAR</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>KUADRAK</b>				
A) Diyak'ı tanımlayabilme				
B) Triyak'ı tanımlayabilme				
C) Kuadrak'ı tanımlayabilme				
D) Kuadrak ile uygulama devreleri yapabilme				
<b>UJT</b>				
A) UJT'yi tanımlayabilme				
B) PUT'u tanımlayabilme				
C) UJT ile uygulama devreleri yapabilme				
<b>EĞRİ İZLEYİCİ</b>				
A) Eğri İzleyici Cihazları tanımlayabilme				
B) Eğri İzleyici ile ölçme işlemi yapabilme				
C) Dinamik karakteristik çıkarabilme yeterliliği				
<b>GTO</b>				
A) Tristörü tanımlayabilme				
B) GTO'yu tanımlayabilme				
C) GTO'yu uygulama devrelerinde kullanabilme				
<b>IGBT</b>				
A) IGBT'yi tanımlayabilme				
B) IGBT'yi Biyomedikal Cihazlarda kullanabilme				

## **DEĞERLENDİRME**

Yaptığınız değerlendirme sonucunda eksikleriniz varsa öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Modülü tamamladınız, tebrik ederiz. Öğretmeniniz size çeşitli ölçme araçları uygulayacaktır. Öğretmeninizle iletişime geçiniz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1 CEVAP ANAHTARI

1	D
2	Y
3	Y
4	D
5	D
6	Y
7	D
8	D
9	D
10	Y
11	D
12	D

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2 CEVAP ANAHTARI

1	Y
2	D
3	Y
4	D
5	D
6	D
7	D
8	Y
9	D
10	Y
11	D
12	Y



### ÖĞRENME FAALİYETİ-3 CEVAP ANAHTARI

1	D
2	D
3	Y
4	D
5	Y
6	D
7	D
8	Y
9	Y
10	Y
11	Y
12	D

### ÖĞRENME FAALİYETİ-4 CEVAP ANAHTARI

1	Y
2	D
3	D
4	D
5	Y
6	Y
7	D
8	D
9	D
10	D
11	D
12	D

## ÖĞRENME FAALİYETİ-5 CEVAP ANAHTARI

1	D
2	D
3	D
4	Y
5	D
6	D
7	D
8	D
9	Y
10	Y
11	Y
12	D

## ÖNERİLEN KAYNAKLAR

- Ø **HINÇAL Ali Ercan**, Elektrik Bölümü Teknik Lise 12 İleri Kumanda Ders Notları''Elektrik Öğretmeni''
- Ø [www.antrak.org.tr](http://www.antrak.org.tr) Güç Elektroniği 1-2-3
- Ø **TUNCAY Ersoy**, Endüstriyel Elektronik, Kocaeli 2004 ''Elektrik Öğretmeni''
- Ø <http://www.dynexsemi.com/>
- Ø <http://www.industrialheating.com/>
- Ø <http://ogretmenlerim.net/default.asp>
- Ø [http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/dire\\_mod.gif](http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/dire_mod.gif)
- Ø [http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/Halb\\_mod.gif](http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/Halb_mod.gif)
- Ø <http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/prinzip.gif>
- Ø <http://www.dansworkshop.com/Induction%20Heating.shtml>
- Ø <http://www.ameritherm.com/aboutinduction.html>
- Ø <http://www.ohm.com.tr/index.php?dil=tr>
- Ø <http://www.plustherm.com/>
- Ø **Prof. GÜLGÜN Remzi- Emre AKADUR** Özel Tristörler ,Y. Tek. Ü.İstanbul 2000.
- Ø <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/1998/0023/data/inhalt.htm#Inhaltsverzeichnis>
- Ø <http://www.tu-chemnitz.de/>
- Ø [www.ceia-power.com/](http://www.ceia-power.com/)
- Ø [www.geocities.com/dmitryrizh/plate-curve-trac...](http://www.geocities.com/dmitryrizh/plate-curve-trac...)
- Ø [www.teknomerkez.net/](http://www.teknomerkez.net/)
- Ø <http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml>
- Ø <http://www.ameritherm.com/booth.html>
- Ø [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/tekno\\_tezgah/tekno\\_tezgah.php?proje\\_id=484](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/tekno_tezgah/tekno_tezgah.php?proje_id=484)
- Ø <http://contact.tm.agilent.com/Agilent/tmo/an-150-1/index.html>
- Ø <http://www.argeelektronik.com/amatorler.html>
- Ø **ÜRKMEN Yavuz-GENÇTAN Ceyhan**, Kumanda Devreleri -2
- Ø **KARAYAZI Bülent**, İleri Kumanda Tekniği, ''Elektrik Öğretmeni''
- Ø [www.ari.cankaya.edu.tr/~dere/diyak.htm](http://www.ari.cankaya.edu.tr/~dere/diyak.htm)

- Ø [www.fizikmuh.ankara.edu.tr/](http://www.fizikmuh.ankara.edu.tr/)
- Ø [www.rayer.ic.cz/teslatr/sstc.htm](http://www.rayer.ic.cz/teslatr/sstc.htm)
- Ø [www.inductotherm.com.tr](http://www.inductotherm.com.tr)
- Ø <http://www.unilayer.com/sayfalar/ruzgar.html>
- Ø [www.bnl.gov/magnets](http://www.bnl.gov/magnets)
- Ø [www.elec.gla.ac.uk/.../papers/igbt/igbt.html](http://www.elec.gla.ac.uk/.../papers/igbt/igbt.html)
- Ø [www.aavidthermalloy.com/products/igbt/index.shtml](http://www.aavidthermalloy.com/products/igbt/index.shtml)
- Ø [www.geda.seul.org/symlibrary/symbols/analog/](http://www.geda.seul.org/symlibrary/symbols/analog/)
- Ø [www.fairchildsemi.com/.../fmg2g50\\_75us120.htm](http://www.fairchildsemi.com/.../fmg2g50_75us120.htm)
- Ø [www.hitachi.co.jp/.../product/tekkou/igbt.htm](http://www.hitachi.co.jp/.../product/tekkou/igbt.htm)
- Ø [www.it.wikipedia.org](http://www.it.wikipedia.org)
- Ø [www.fujisemiconductor.com/test\\_web/igbt/](http://www.fujisemiconductor.com/test_web/igbt/)
- Ø <http://heatinginduction.com/igbt/>
- Ø [www.nina.ecse.rpi.edu/shur/remote/NIGBT\\_IcVce.htm](http://www.nina.ecse.rpi.edu/shur/remote/NIGBT_IcVce.htm)
- Ø [www.service.semic.sanyo.co.jp/.../igbt\\_driver.htm](http://www.service.semic.sanyo.co.jp/.../igbt_driver.htm)
- Ø <http://www.fairchildsemi.com/news/2002/0205/fgl60n100d.htm>
- Ø [www.semicon.toshiba.co.jp/.../eye200505\\_04.html](http://www.semicon.toshiba.co.jp/.../eye200505_04.html)
- Ø [www.pi.hitachi.co.jp/.../igbt/2005273\\_14287.html](http://www.pi.hitachi.co.jp/.../igbt/2005273_14287.html)
- Ø [www.hy-line.de/.../produkte/leistungselektronik](http://www.hy-line.de/.../produkte/leistungselektronik)
- Ø [www.st-japan.co.jp/data/press/p1569d.html](http://www.st-japan.co.jp/data/press/p1569d.html)
- Ø [www.acal.nl/cosmos/frontoffice/dispatcher.jsp...](http://www.acal.nl/cosmos/frontoffice/dispatcher.jsp...)
- Ø [www.pppower.co.uk/product150.htm](http://www.pppower.co.uk/product150.htm)
- Ø [www.darrahelectric.com/srcontactors\\_solid.htm](http://www.darrahelectric.com/srcontactors_solid.htm)
- Ø [www.galco.com/scripts/cgiip.exe/WA/WCat/itemd...](http://www.galco.com/scripts/cgiip.exe/WA/WCat/itemd...)
- Ø [www.igtrading.com/](http://www.igtrading.com/)
- Ø [www.pwr.com/military.asp?catid=75](http://www.pwr.com/military.asp?catid=75)
- Ø [www.italwest.it/eng/products.php?rif=1](http://www.italwest.it/eng/products.php?rif=1)

# KAYNAKÇA

- Ø **HINÇAL Ali Ercan**, Elektrik Bölümü Teknik Lise 12 İleri Kumanda Ders Notları’’Elektrik Öğretmeni’’
- Ø [www.antrak.org.tr](http://www.antrak.org.tr) Güç Elektroniği 1–2–3
- Ø **TUNCAY Ersoy** Endüstriyel Elektronik Kocaeli 2004 ‘‘Elektrik Öğretmeni’’
- Ø <http://www.dynexsemi.com/>
- Ø <http://www.industrialheating.com/>
- Ø <http://ogretmenlerim.net/default.asp>
- Ø [http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/dire\\_mod.gif](http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/dire_mod.gif)
- Ø [http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/Halb\\_mod.gif](http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/Halb_mod.gif)
- Ø <http://www.igbt-driver.com/english/products/scale/prinzip.gif>
- Ø <http://www.dansworkshop.com/Induction%20Heating.shtml>
- Ø <http://www.ameritherm.com/aboutinduction.html>
- Ø <http://www.ohm.com.tr/index.php?dil=tr>
- Ø <http://www.plustherm.com/>
- Ø **Prof. GÜLGÜN Remzi–Emre AKADUR** Özel Tristörler Y. Tek. Ü.İstanbul 2000
- Ø <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/1998/0023/data/inhalt.htm#Inhaltsverzeichnis>
- Ø <http://www.tu-chemnitz.de/>
- Ø [www.ceia-power.com/](http://www.ceia-power.com/)
- Ø [www.geocities.com/dmitryrizh/ plate-curve-trac...](http://www.geocities.com/dmitryrizh/plate-curve-trac...)
- Ø [www.teknomerkez.net/](http://www.teknomerkez.net/)
- Ø <http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml>
- Ø <http://www.ameritherm.com/booth.html>
- Ø [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/tekno\\_tezgah/tekno\\_tezgah.php?proje\\_id=484](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/tekno_tezgah/tekno_tezgah.php?proje_id=484)
- Ø <http://contact.tm.agilent.com/Agilent/tmo/an-150-1/index.html>
- Ø <http://www.argeelektronik.com/amatorler.html>
- Ø **TÜRKMEN Yavuz–Ceyhan GENÇTAN** Kumanda Devreleri -2
- Ø **KARAYAZI Bülent** İleri Kumanda Tekniği ‘‘Elektrik Öğretmeni’’
- Ø [www.ari.cankaya.edu.tr/ ~dere/diyak.htm](http://www.ari.cankaya.edu.tr/~dere/diyak.htm)

- Ø [www.fizikmuh.ankara.edu.tr/](http://www.fizikmuh.ankara.edu.tr/)
- Ø [www.rayer.ic.cz/teslatr/sstc.htm](http://www.rayer.ic.cz/teslatr/sstc.htm)
- Ø [www.inductotherm.com.tr](http://www.inductotherm.com.tr)
- Ø <http://www.unilayer.com/sayfalar/ruzgar.html>
- Ø [www.bnl.gov/magnets](http://www.bnl.gov/magnets)
- Ø [www.elec.gla.ac.uk/.../papers/igbt/igbt.html](http://www.elec.gla.ac.uk/.../papers/igbt/igbt.html)
- Ø [www.aavidthermalloy.com/products/igbt/index.shtml](http://www.aavidthermalloy.com/products/igbt/index.shtml)
- Ø [www.geda.seul.org/symlibrary/symbols/analog/](http://www.geda.seul.org/symlibrary/symbols/analog/)
- Ø [www.fairchildsemi.com/.../fmg2g50\\_75us120.htm](http://www.fairchildsemi.com/.../fmg2g50_75us120.htm)
- Ø [www.hitachi.co.jp/.../product/tekkou/igbt.htm](http://www.hitachi.co.jp/.../product/tekkou/igbt.htm)
- Ø [www.it.wikipedia.org](http://www.it.wikipedia.org)
- Ø [www.fujisemiconductor.com/test\\_web/igbt/](http://www.fujisemiconductor.com/test_web/igbt/)
- Ø <http://heatinginduction.com/igbt/>
- Ø [www.nina.ecse.rpi.edu/shur/remote/NIGBT\\_IcVce.htm](http://www.nina.ecse.rpi.edu/shur/remote/NIGBT_IcVce.htm)
- Ø [www.service.semic.sanyo.co.jp/.../igbt\\_driver.htm](http://www.service.semic.sanyo.co.jp/.../igbt_driver.htm)
- Ø <http://www.fairchildsemi.com/news/2002/0205/fgl60n100d.htm>
- Ø [www.semicon.toshiba.co.jp/.../eye200505\\_04.html](http://www.semicon.toshiba.co.jp/.../eye200505_04.html)
- Ø [www.pi.hitachi.co.jp/.../igbt/2005273\\_14287.html](http://www.pi.hitachi.co.jp/.../igbt/2005273_14287.html)
- Ø [www.hy-line.de/.../produkte/leistungselektronik](http://www.hy-line.de/.../produkte/leistungselektronik)
- Ø [www.st-japan.co.jp/data/press/p1569d.html](http://www.st-japan.co.jp/data/press/p1569d.html)
- Ø [www.acal.nl/cosmos/frontoffice/dispatcher.jsp...](http://www.acal.nl/cosmos/frontoffice/dispatcher.jsp...)
- Ø [www.pppower.co.uk/product150.htm](http://www.pppower.co.uk/product150.htm)
- Ø [www.darrahelectric.com/srcontactors\\_solid.htm](http://www.darrahelectric.com/srcontactors_solid.htm)
- Ø [www.galco.com/scripts/cgiip.exe/WA/WCat/itemd...](http://www.galco.com/scripts/cgiip.exe/WA/WCat/itemd...)
- Ø [www.igtrading.com/](http://www.igtrading.com/)
- Ø [www.pwr.com/military.asp?catid=75](http://www.pwr.com/military.asp?catid=75)
- Ø [www.italwest.it/eng/products.php?rif=1](http://www.italwest.it/eng/products.php?rif=1)