

Bölüm-1

Giriş

I - GİRİŞ

- **TANIM:**

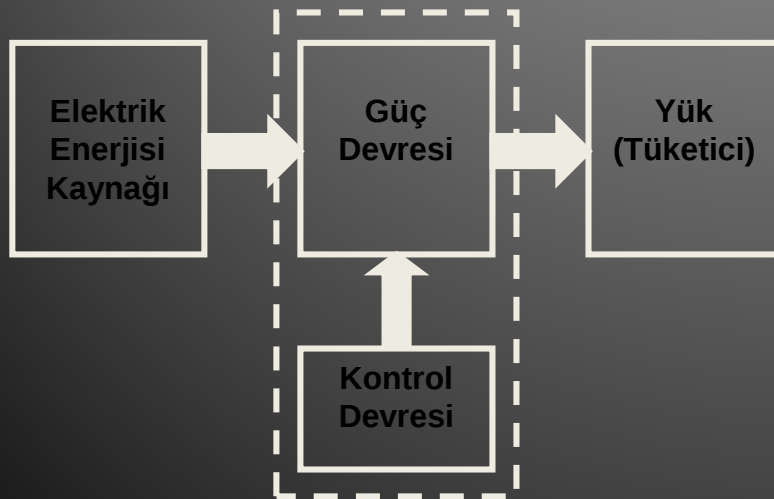
- Güç elektroniği, herhangi bir kaynaktan alınan elektrik enerjisinin, elektronik yöntemlerle kontrol edilerek (dönüştürülerek veya işlenerek) kontrollü olarak yüke aktarılması işlemidir.

- Güç Elektroniği, gün geçtikçe daha da genişleyen elektronik sektörünün en önemli dallarından birisidir.
- Önceleri endüstriyel alanlardaki elektronik çözümlerde kullanılan güç elektroniği devre ve düzenekleri, günümüzde endüstrinin dışına taşarak evlere, ofislere ve araçlara girmiştir.

I - GİRİŞ

■ TEMEL YAPI:

- Bir güç elektroniği düzeneğinin temel yapısı blok olarak Şekil-1.1'de görülmektedir.
- Şekilden görüldüğü gibi bir güç düzeneği, güç devresi ve kontrol devresi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.



• TARİHÇE:

- Güç elektroniği serüveni, 1900'lü yılların başlarında endüstriyel makinelerde çok yoğun olarak kullanılmakta olan doğru akım motorlarının hız kontrolü ile başlamıştır.
- 1950'li yıllara kadar güç elektroniğinin endüstriyel uygulamaları ile ilgili pek çok teorik çalışma yapılmış, fakat elektron tüplerinden başka kullanılabilecek malzeme geliştirilemediği için uygulamaya sokulamamıştır.

I - GİRİŞ

- 1950'lerin başında yarıiletken malzemelerin geliştirilmesi ve bu malzemeler kullanılarak diyot, transistor gibi devre elemanlarının yapılmaya başlanması güç elektroniği uygulamalarının önünün açılma işaretini vermiştir.
- Nihayet 1960'ların başında Tristör'ün bulunması güç elektroniği açısından çok önemli bir devrim olmuştur.
- Tristör'ün bulunmasıyla o zamana kadar elektron tüpleri ile yapılan uygulamalar artık tristörle yapılmaya başlamıştır.
- Tristör kullanılarak hem daha basit, hem daha küçük, hem de daha ucuza yapılabilir hale gelen güç elektroniği devrelerinin uygulama alanları da hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.
- Aynı zamanda, yine o zamana kadar düşünülüp de yapılamayan pek çok uygulama Tristör sayesinde yapılabilir hale gelmiştir.
- 1960'lı ve 1970'li yıllar tristör'ün altın yılları olmuş ve güç elektroniği uygulamaları her alana yayılmıştır.

I - GİRİŞ

- 1980'lerin başlarından itibaren ise sayısal elektronik alanındaki gelişmeler ve mikroişlemcilerin geliştirilmeye başlaması ile güç elektroniğinde yeni ufuklar açılmaya başlamıştır.
- Bu gelişmelere uygun olarak tristör'e alternatif yeni güç elektroniği elemanları geliştirilme çalışmaları başlamış ve bu çalışmalar sonucunda o zamana kadar düşük güçlülere kullanılmakta olan "Güç Transistör'leri ve Güç Mosfet'leri" geliştirilmiştir.
- Güç transistör'leri, güç mosfet'leri ve bu elemanların daha ileri versiyonlarının geliştirilmesiyle birlikte, daha önceki yıllarda tristörler kullanılarak hem daha zor hem de daha pahalı olarak yapılmaya çalışılan birtakım güç elektroniği devreleri ve endüstriyel uygulamalar, bu yeni elemanların kullanılmaya başlamasıyla, hem daha basit, hem daha küçük, hem daha fonksiyonel hem de çok daha ucuza yapılabilir ve kullanılabilir hale gelmiştir.

I - GİRİŞ

- GÜÇ ELEKTRONİĞİ
DEVRELERİNİN KULLANIM
ALANLARI:

- Endüstride;

- 1- Enerji iletimi ve dağıtımında,
- 2- Her tür motor kontrolunda,
- 3- Makine otomasyonunda,
- 4- Her tür ısıtma soğutma işlemlerinde,
- 5- Her tür üretim ve montaj sanayinde,
- 6- Her tür güç kaynağı ve güç kontrol sistemlerinde.

- Bina, Ofis ve Evlerde;

- 1- Bina otomasyon sistemlerinde,
- 2- Isıtma, soğutma, havalandırma ve güvenlik sistemlerinde,
- 3- Tüm ofis araçlarında,
- 4- Eğlence, spor ve oyun araçlarında,
- 5- Tıbbi cihazlarda,
- 6- Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, buzdolabı, klima, elektrik süpürgesi vb. ev cihazlarında.

I - GİRİŞ

- Ulaşım Araçlarında;

- 1- Uçak ve diğer hava araçlarındaki tüm güç sistemlerinde,
- 2- Demiryolu ve metro araçlarında ve yer sistemlerinde,
- 3- Otobüs, kamyon ve çekici gibi ağır vasıtaların tüm elektronik sistemlerinde,
- 4- Otomobillerdeki tüm elektriksel güç ve kontrol sistemlerinde,
- 5- Forklift, seyyar vinç, beton makinesi vb. araçlarda.

- Tarım ve Hayvancılıkta;

- 1- Sera otomasyonu ve kontrolünde,
- 2- Açık hava sulama ve ürün kontrol sistemlerinde,
- 3- Tarım makinelerinin otomasyonunda,
- 4- Kümes, ahır vb. hayvan yetiştirme tesislerinin bakım ve otomasyonunda,
- 5- Tarla ve arazilerin ekim, dikim ve gübreleme kontrollerinde.
- 6- Tohumculuk, fide yetiştirme vb. çalışmalarda.

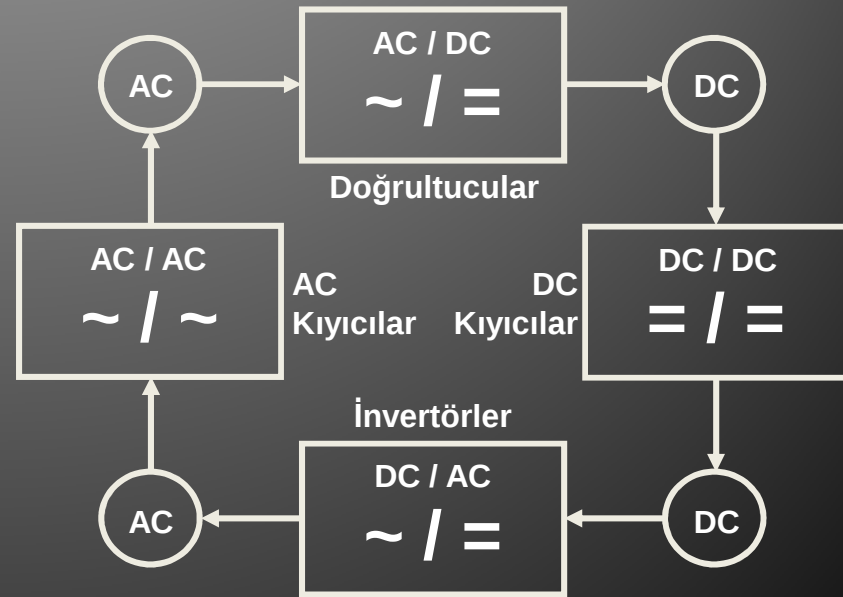
I - GİRİŞ

- **TEMEL GÜÇ DEVRELERİ:**

- Güç elektroniği kapsamında yapılan tüm işler ve uygulamalar 4 temel devre yapısı üzerine kurulmuştur.
- Bu devre yapıları, alternatif akım veya doğru akım türündeki elektrik enerjisinin bir birlerine veya kendi içlerinde farklı şekillere ve seviyelere döndürülmesi işlemini gerçekleştirmektedir.
- Bu durumda, güç elektroniğinin temel devre yapıları yan tarafta Şekil-1.2'de olduğu gibi gösterilebilmektedir.

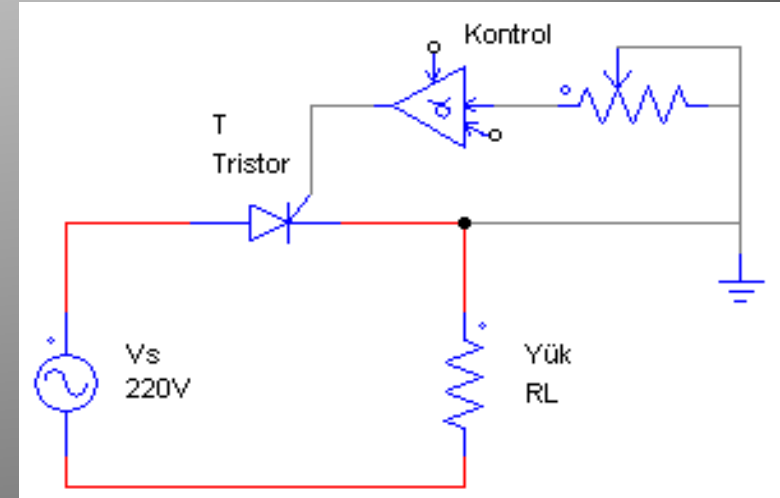
- Şekil-1.2'den görüldüğü gibi temel güç devreleri,

- 1) AC-DC dönüştürücüler,
- 2) AC-AC dönüştürücüler,
- 3) DC-DC dönüştürücüler,
- 4) DC-AC dönüştürücülerdir.

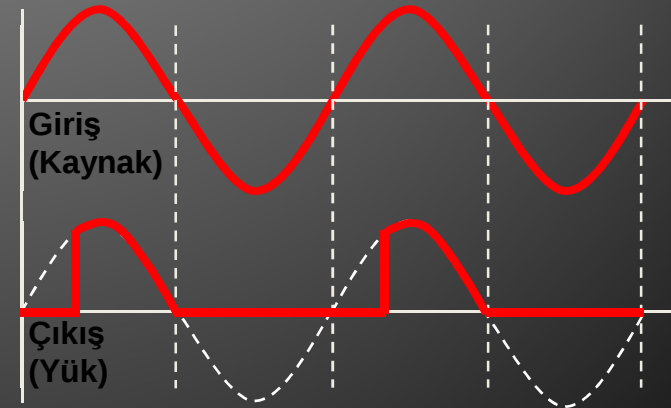


I - GİRİŞ

- AC-DC Dönüştürücüler (Doğrultucular);
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden birincisi olan doğrultucular, bir fazlı veya üç fazlı AC kaynağı kullanarak, sabit veya değişken DC gerilim elde etmek için kullanılmaktadır.
- AC-DC dönüştürücüler (doğrultucular);
 - 1- Kontrolsüz doğrultucular,
 - 2- Kontrollü doğrultucular,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.3'de basit bir kontrollü doğrultucu devresi ve dalga şekilleri görülmektedir.

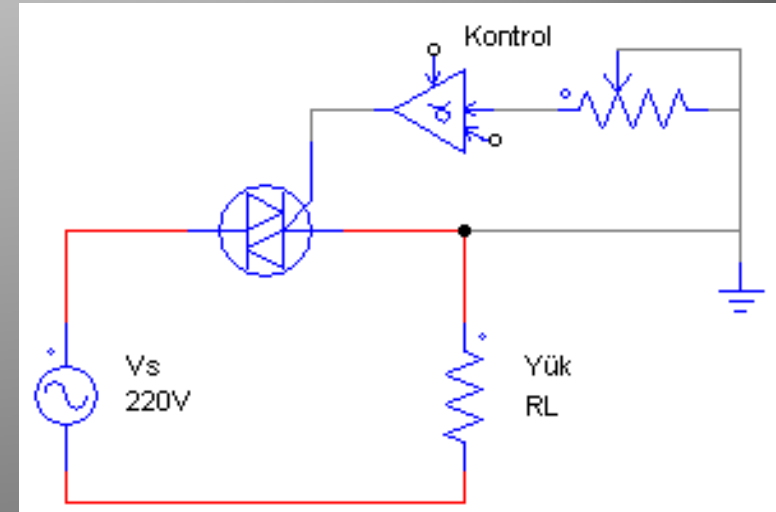


Şekil 1.3 - 1 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu devresi ve dalga şekilleri.

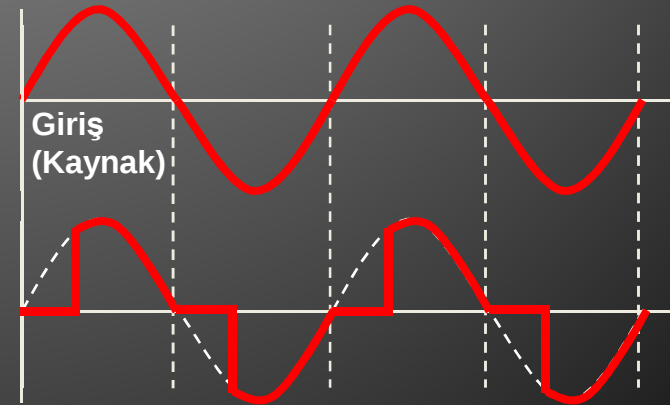


I - GİRİŞ

- AC-AC Dönüştürücüler (AC kıyıcılar);
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden ikincisi olan AC kıyıcılar, bir fazlı veya üç fazlı AC kaynağı kullanarak, sabit veya değişken frekanslı ve genlikli AC gerilim elde etmek için kullanılmaktadır.
- AC-AC dönüştürücüler;
 - 1- AC voltaj kontrolcular,
 - 2- Direkt frekans çeviriciler,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.4'de basit bir AC kıyıcı devresi ve dalga şekilleri görülmektedir.

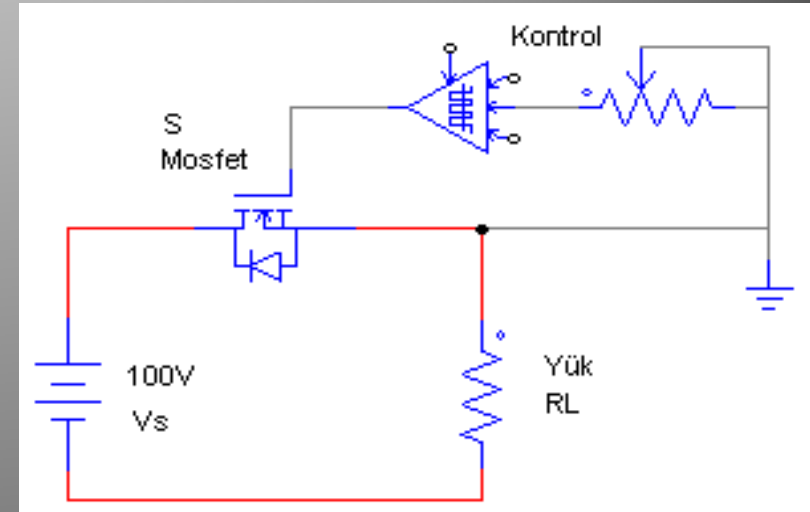


Şekil 1.4 - 1 fazlı faz kontrollu AC kıyıcı devresi ve dalga şekilleri.

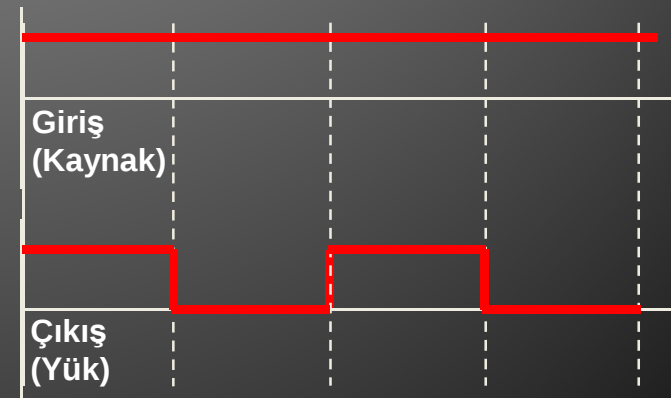


I - GİRİŞ

- **DC-DC Dönüştürücüler**
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden üçüncüsü olan DC-DC dönüştürücüler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi yükselterek , düşürerek veya çoğullayarak, sabit veya değişken DC gerilim(ler) elde etmek için kullanılmaktadır.
- DC-DC dönüştürücüler;
1- DC kıyıcılar,
2- Anahtarlama regülatörler, olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.5'de basit bir DC kıyıcı devresi görülmektedir.

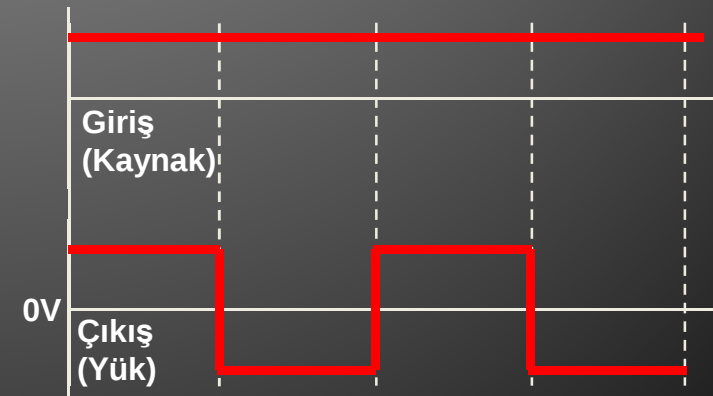
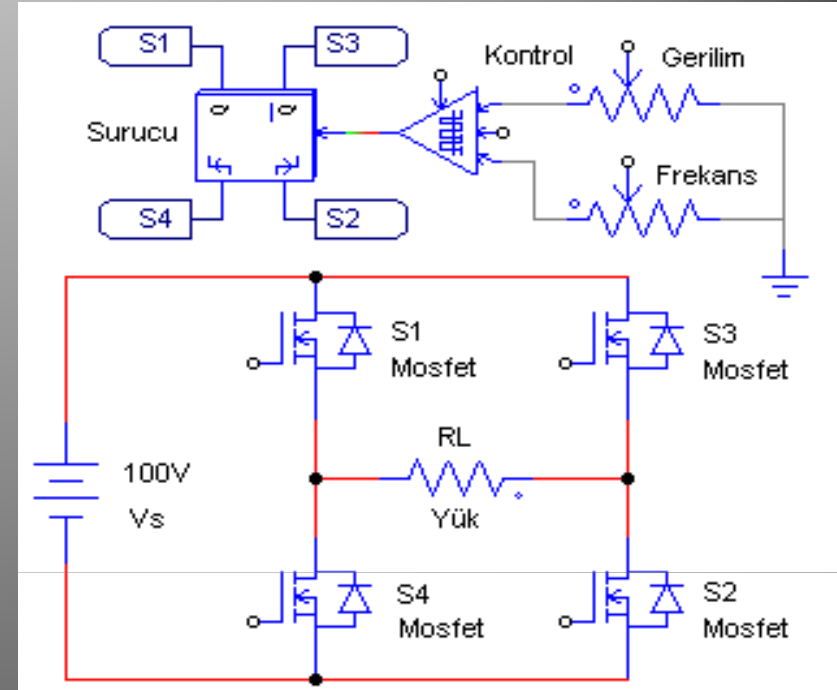


Şekil 1.5 – A sınıfı PWM kontrollü DC kıyıcı devresi ve dalga şekilleri.



I - GİRİŞ

- DC-AC Dönüştürücüler (İnvertörler);
- Güç elektroniğinin temel devrelerinden sonuncusu olan İnvertörler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi işleyerek, sabit veya değişken genlik ve frekanslı AC gerilim elde etmek için kullanılan güç elektroniği devreleridir.
- İnvertörler;
 - 1- PWM invertörler,
 - 2- Rezonanslı invertörler,olarak 2 ana gruba ayrılır. Şekil 1.6'da basit bir PWM invertör devresi görülmektedir.



I - GİRİŞ

- **Temel Güç Elemanları;**
- Güç devrelerinin, istenilen güç dönüşümlerini uygun olarak gerçekleştirebilmeleri, bu devrelerde kullanılan uygun güç elemanlarıyla mümkün olabilmektedir.
- Güç devrelerinde kullanılan güç elemanları, hangi tür dönüşümde olursa olsun, daima kaynak ile yük arasındaki bağlantıyı kesip bırakmakla görevlendirilmiştir. Dolayısıyla bu elemanlar birer “**ANAHTAR**” olarak çalışmakta ya da çalıştırılmaktadır.
- Bu durumda anahtar yapısı güç elektroniği için çok önemlidir ve burada ayrıntısı ile incelenecektir.
- **Anahtar Türleri;**
- Elektrik-Elektronik güç düzeneklerinde kullanılan 3 tür anahtar bulunmaktadır. Bunlar,
1- Mekanik anahtarlar,
2- Elektromekanik anahtarlar,
3- Yarıiletken anahtarlardır.
- Bu anahtar türlerini incelemeden önce “**ideal anahtar**” yapısı incelenmelidir.

I - GİRİŞ

- **İdeal Anahtar Özellikleri;**

İdeal anahtar, çalışması sırasında üzerinde herhangi bir kayıp oluşturmayan anahtardır.

İdeal anahtar sadece 2 durumda bulunabilir. Bunlar,

1- Yalıtım durumu (kapalı-off),

2- İletim durumu (açık-on).

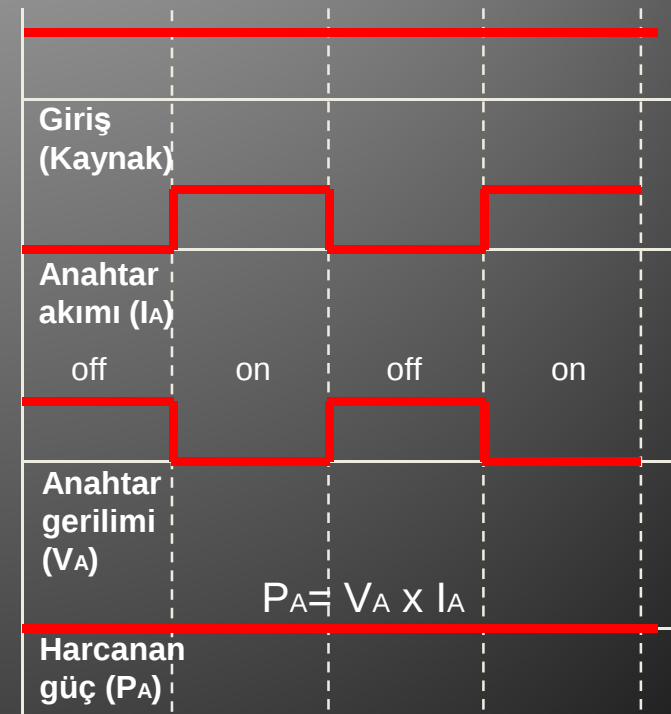
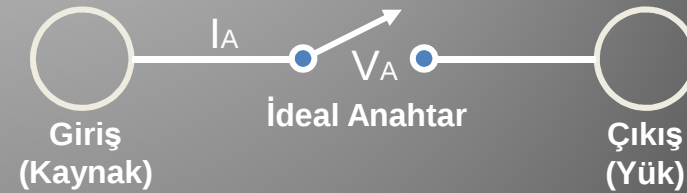
Anahtarların çalışması sırasında üzerinde iki tür kayıp oluşmaktadır. Bu kayıplar,

1- Anahtarlama (açma-kapama) kayıpları,

2- İletim kayıplarıdır.

Bu anahtarda kayıplar sıfırdır.

- Şekil-1.7, ideal anahtar.



I - GİRİŞ

- Bu durumda ideal anahtarlar ilgili önemli parametreler Tablo-1.1'deki gibi gösterilebilir.
- Tabii ki böyle bir anahtar gerçekte yoktur.

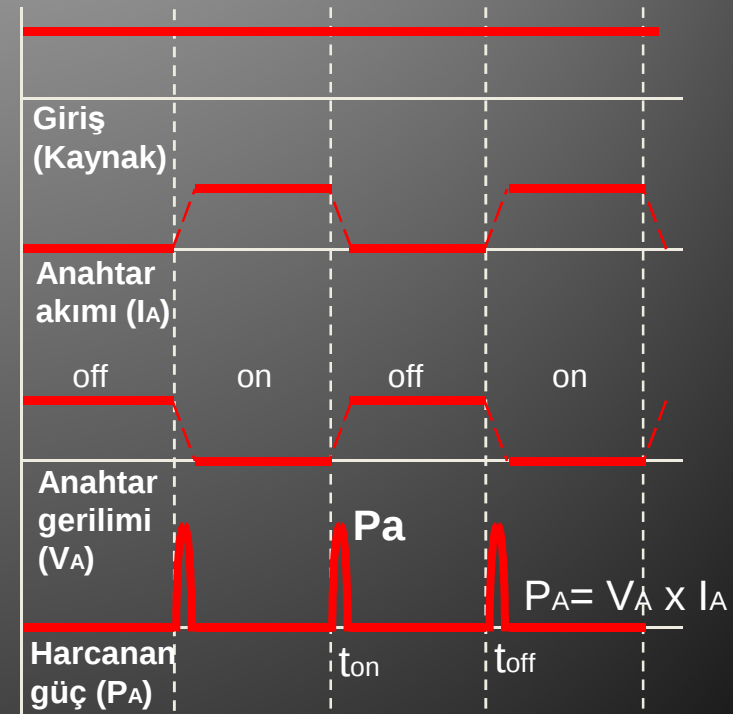
Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	∞ V	0 A	∞ Ω	∞	0	Ç i F T
 on	0 V	∞ A	0 Ω	Hz	s	Y Ö N

- Yandaki Tablo-1.1'den görülebileceği gibi anahtarlar için öncelikli 6 parametre kullanılmaktadır. Bunlar,
1) Çalışma gerilimi (V_A),
2) Çalışma akımı (I_A),
3) İletim direnci (R_{on}),
4) Çalışma frekansı (f_A),
5) Anahtarlama zamanı (t_A),
6) Anahtar yönüdür.
- İdeal bir anahtarda “iletim iç direncinin” ve “geçiş zamanının” sıfır olması nedeniyle iletim ve anahtarlama kayıpları sıfırdır.

I - GİRİŞ

- **Mekanik Anahtarlar;**
- Mekanik anahtarlar, elektrik devrelerini kesmek için kullanılan, adi anahtar, pako şalter vb. anahtarlardır.
- Mekanik anahtarlar da, iletimi sırasında üzerinde herhangi bir kayıp oluşturmeyen anahtardır.
- Mekanik anahtarlar da sadece 2 durumda bulunabilir.
1- Yalıtım durumu (kapalı-off),
2- İletim durumu (açık-on).
- Mekanik anahtarlar, devrelerde genellikle açma-kapama elemanı olarak kullanılmaktadır.

Şek



I - GİRİŞ

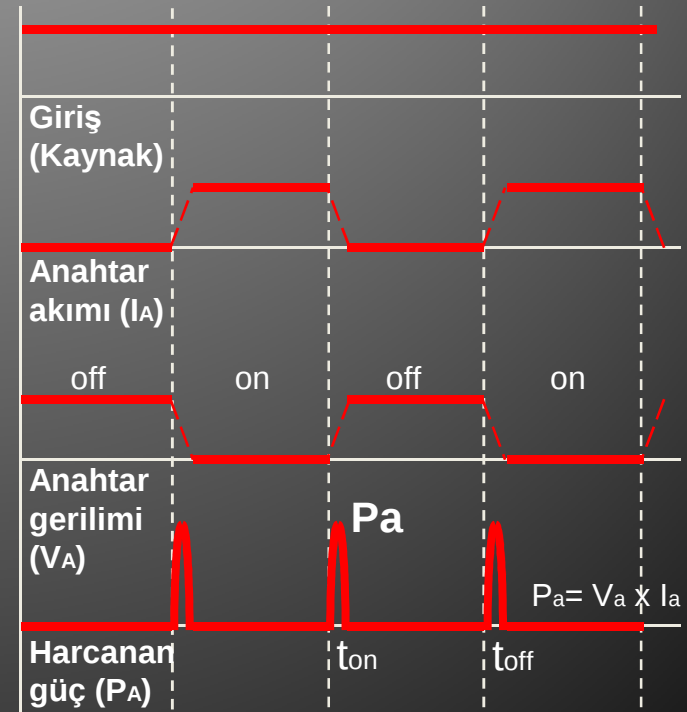
- Mekanik anahtarla ilgili öncelikli parametreler Tablo-1.2'de örnek değerler kullanılarak gösterilmiştir.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	500 V	0 A	∞ Ω	0 Hz	1 s	Ç İ F T
 on	0 V	25 A	0 Ω			Y Ö N

- Tablo-1.2'den görüldüğü gibi, mekanik anahtarda “iletim iç direncinin” sıfır olması nedeniyle iletim kayıpları da sıfır olacaktır.
- Yine Tablo-1.2'den görüldüğü gibi, mekanik anahtarlarda “frekans” ve “geçiş zamanı” parametreleri hızlı anahtarlama için uygun değildir.
- Piyasada anahtar, pako şalter, şalter, kesici vb. isimler verilen mekanik anahtarlar çeşitli gerilimlerde, birkaç amperden birkaç yüz ampere kadar bulunabilmektedir.

I - GİRİŞ

- **Elektromekanik Anahtarlar;**
- Elektromekanik anahtarlar, elektrik devrelerini kesmek-değiştirmek için kullanılan, röle, kontaktör, kesici vb. anahtarlardır.
- Elektromekanik anahtarlar da sadece 2 durumda bulunabilir.
1- Yalıtım durumu (kapalı-off),
2- İletim durumu (açık-on).
- Elektromekanik anahtarlar, devrelerde genellikle güç anahtarlama ve otomatik güç kontrol elemanı olarak kullanılmaktadır (Şekil-1.9).



I - GİRİŞ

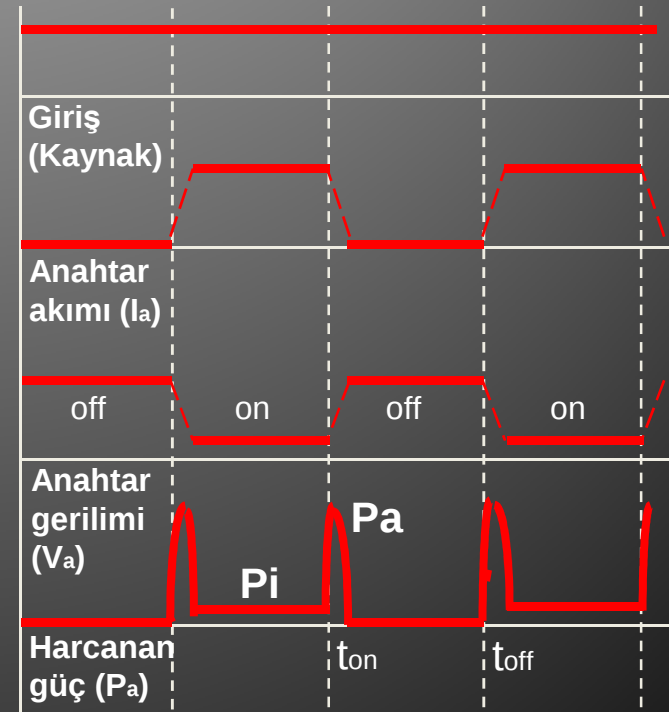
- Elektromekanik anahtarla ilgili öncelikli parametreler Tablo-1.3'de örnek değerler kullanılarak gösterilmiştir.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	380 V	0 A	∞ Ω	0 Hz	1 s	Ç İ F T Y Ö N
on 	0 V	63 A	0 Ω			

- Elektromekanik anahtarda kontakların temiz olması durumunda “iletim iç direnci” sıfır olması nedeniyle iletim kayıpları da sıfır olacaktır.
- Elektromekanik anahtarlarda da “frekans” ve “geçiş zamanı” parametreleri oldukça kötüdür. Bu nedenle hızlı anahtarlama yapamazlar.
- Elektromekanik anahtarda da hızlı anahtarlama yapılacak olursa, “geçiş zamanının” çok uzun olması nedeniyle ise anahtarlama kayıpları çok yüksek olacaktır.

I - GİRİŞ

- Yarıiletken (Statik) Anahtarlar;
- Yarıiletken anahtarlar, elektrik-elektronik devrelerde yüksek hızlı anahtarlama işleri için kullanılan, Tristör, Transistör, Mosfet vb. elemanlardır.
- Yarıiletken anahtarların pek çoğu 3 durumda bulunabilir.
 - 1- Tam yalıtım durumu,
 - 2- Tam iletim durumu.
 - 3- Ara (yükseltme) durumu.
- Bu anahtarlar, istenirse on-off anahtar olarak, istenirse de yükseltme elemanı olarak kullanılabilirler.



I - GİRİŞ

- Yarıiletken anahtarla ilgili öncelikli parametreler Tablo-1.4'de örnek değerler kullanılarak gösterilmiştir.

Kn.	V(a)	I(a)	R(o)	f(a)	t(a)	Yn.
off 	600 V	0 A	∞ Ω	20 kHz	10 μ s	T E K
on 	2,1 V	120 A	0,02 Ω			

- Tablo-1.4'den görüldüğü gibi, yarıiletken anahtarlarda “frekans” ve “geçiş zamanı” parametreleri çok çok iyidir. Bu nedenle çok hızlı anahtarlama yapılabilir.
- Fakat yarıiletken anahtarlarda “iletim iç direncinin” sıfır olmaması nedeniyle iletim kayıpları diğerlerinde olduğu gibi sıfır olamayacaktır.
- Yine bu anahtarlarda “geçiş zamanının” çok kısa olması nedeniyle hızlı anahtarlama yapılsa bile anahtarlama kayıpları az olacaktır.

I - GİRİŞ

- Güç Elektroniği Devrelerinde Kullanılan Anahtar Türü Hangisidir?
- Güç elektroniği devrelerinde daha önceden açıklanan güç dönüşümü işlemlerinin yapılabilmesinde kullanılacak anahtarların, basit bir dönüşüm işlemi için bile çok sayıda açma-kapama yapması gerekmektedir.
- Örneğin; basit bir şebeke doğrultucu devresinde, diyotlar 1 saniye içinde 50 kez açma-kapanma yapmak zorundadırlar.
- Bu durumda, güç dönüşümü için frekansları düşük olan mekanik veya elektromekanik anahtarları kullanma imkanı kesinlikle yoktur.
- Güç elektroniği devrelerinde güç dönüşümü için, iletim kayıpları yüksek olmasına rağmen, çalışma frekansları yüksek ve geçiş zamanları çok küçük olan **yarıiletken (statik) anahtarlar** kullanılmaktadır.
- Mekanik ve elektromekanik anahtarlar ise güç devrelerin giriş ve çıkışlarında enerji verme ve kesmede kullanılır.

I - GİRİŞ

- Yarıiletken Güç Anahtarlarının Kullanımı Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Konular;
- Mekanik ve elektromekanik anahtarların kullanımı sırasında anahtarın uygun yere yerleştirilmesi ve bağlantılarının doğru yapılması dışında dikkat edilmesi gereken bir şey yoktur.
- Yarıiletken güç anahtarlarında ise bu iki konu dışında anahtarın güvenli olarak çalışabilmesi (korunması) için bir takım işlemler yapılması (önlemler alınması) gerekmektedir.
- Yarıiletken anahtarın korunması için alınacak önlemler;
 - 1 – Güç anahtarının ısıl güvenliğinin sağlanması.
 - 2 – Güç anahtarının ani değişen gerilime karşı korunması.
 - 3 – Güç anahtarının ani değişen akıma karşı korunmasıdır.
- Yukarıda belirtilen önlemler alınmadığı takdirde güç anahtarı işini istendiği gibi yapamayacak ve bozulacaktır.

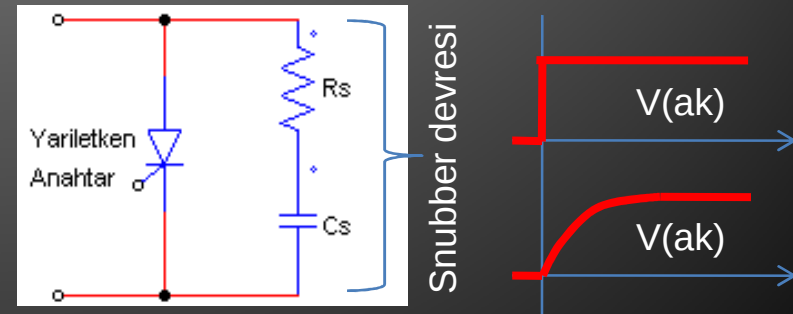
I - GİRİŞ

- Yarıiletken Güç Anahtarının Isıl Güvenliğinin Sağlanması;
- Yarıiletken güç anahtarları, küçük de olsa bir iletim direncine sahip oldukları için, iletimde kaldıkları sürece üzerlerinde bir güç harcaması olmaktadır ($I^2 \times R$).
- Ayrıca yarıiletken güç anahtarları devrelerde çok sayıda aç-kapa yapılarak çalıştırıldığı için anahtarlama sırasında da üzerlerinde güç harcaması olmaktadır.
- Harcanan bu güçler elemanın ısınmasına yol açmaktadır.
- Yarıiletken güç anahtarlarında sıcaklık arttıkça performans düşmekte ve belli bir seviyeden sonra da eleman yanmaktadır.
- Bu olumsuz durumun önüne geçebilmek için eleman üzerinde oluşan ısı enerjisinin alınarak dağıtılması gerekmektedir.
- Bu iş için uygun boyutta “Heatsink-Isı emici” yada yaygın söyleyişle “Soğutucu” kullanmak gerekmektedir.
- Soğutucu olarak, özel olarak üretilmiş yapraklı alüminyum levhalar kullanılmaktadır.

I - GİRİŞ

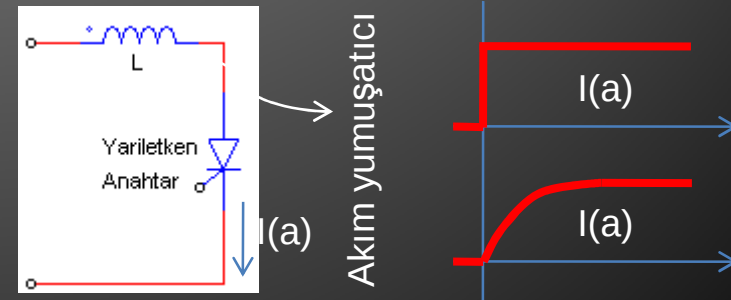
- Yarıiletken Güç Anahtarının Ani Değişen Gerilimden Korunması
- Yarıiletken güç anahtarları, p ve n katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmanlar arasındaki akım taşıma işlemi de elektron ve boşlukların yer değiştirmesi ile olmaktadır.
- Güç anahtarlarında akımın başlaması,
 - Elemanın uyarılması,
 - Aşırı derecede ısınması,
 - Yüksek voltaj verilmesi,
 - Ani voltaj değişikliği olması,durumlarında gerçekleşir.

- Yarıiletken güç anahtarlarının, ani voltaj değişikliklerinde istenmediği halde iletme geçerek hem kendisinin hem de devredeki diğer elemanların zarar görmesini engellemek için Şekil-1.11'de görüldüğü gibi bir "Snubber-Gerilim yumuşatma devresi" kullanılmaktadır.
- Bu sayede ani gelen gerilimin değişim hızı istenen seviyeye düşürülür.



I - GİRİŞ

- Yarıiletken Güç Anahtarının Ani Değişen Akımdan Korunması
- Yarıiletken güç anahtarları, kristalize yapıya sahip olan silisyum malzemesi kullanılarak yapılmışlardır.
- Bu malzemenin üretim sırasında belirlenen bir ani akım taşıma hızı bulunmaktadır.
- Üreticinin belirlemiş olduğu bu hız kullanıcı tarafından aşıldığı takdirde malzemenin kristal yapısı dağılır ve eleman yanar.
- Yarıiletken güç anahtarlarının, ani akım değişikliklerinde istenmediği halde bozularak hem kendisinin hem de devredeki diğer elemanların zarar görmesini engellemek için Şekil-1.12’de görüldüğü gibi bir “akım yumuşatma devresi” kullanılmaktadır.
- Bu sayede akımın değişim hızı istenen seviyeye düşürülür.



ÖDEV-1

1.1 - Güç elektroniğı devrelerinin enerji girişlerini kesmek ve bırakmakta kullanılan, **Mekanik Anahtarların** genel yapıları, türleri, üreticileri, satış fiyatları vb. konularda internet üzerinde araştırma yaparak bir rapor hazırlayınız.

1.2 - Güç elektroniğı devrelerinin enerji girişlerini kesmek ve bırakmakta kullanılan, **Elektromekanik Anahtarların** genel yapıları, türleri, üreticileri, satış fiyatları vb. konularda internet üzerinde araştırma yaparak bir rapor hazırlayınız.

Bölüm-2

Yarı İletken Güç Anahtarları

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Giriş;**
- Güç elektroniğinin temel taşları ve ağır işçileri olan Yarıiletken Güç Anahtarları, özel bazı elemanlar ile temel elektronikte kullanılan klasik elemanlardan bazılarının daha yüksek akım ve gerilimlerde çalışabilir hale getirilmesi veya ihtiyaca göre yeni bazı tasarımların yapılmasıyla ortaya çıkmışlardır.
- Yarıiletken güç anahtarlarının temel malzemesi diğer yarıiletken malzemelerde de olduğu gibi yine Silisyum'dur.
- Bu bölümde yarıiletken güç anahtarlarının;
 - 1) Temel yapıları ve çalışması,
 - 2) Temel test devreleri,
 - 3) Temel karakterisitik eğrileri,
 - 4) Temel uyarma yöntemleri,
 - 5) Çalışma dalga şekilleri,
 - 6) Seri ve paralel bağlanmaları
 - 7) Koruma yöntemleri,
 - 8) Güçleri ve kılıf yapıları,
 - 10) Temel kullanım alanları,vb. konular ayrıntısıyla incelenecek ve bu elemanlara hükmedilmesi öğretilcektir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Yariiletken Güç Anahtarlarının Türleri;

Yariiletken güç anahtarları 3 temel grup altında toplanmaktadır. Bunlar,

1- Güç Diyotları:

- a) Genel amaçlı diyotlar,
- b) Hızlı toparlanan diyotlar,
- c) Schottky diyotlar.

2- Güç Tristörleri:

- a) Genel amaçlı tristörler (SCR),
- b) Çift yönlü tristörler (TRIAC),
- c) Kapısından tıkanabilen tristörler (GTO).

3- Güç Transistörleri:

- a) Çift polariteli transistörler (BJT),
- b) MOS transistörler (MOSFET),
- c) Yalıtılmış kapılı transist. (IGBT).

- Yariiletken güç anahtarları piyasaya 3 farklı kılıf şeklinde sunulmuşlardır. Bunlar,

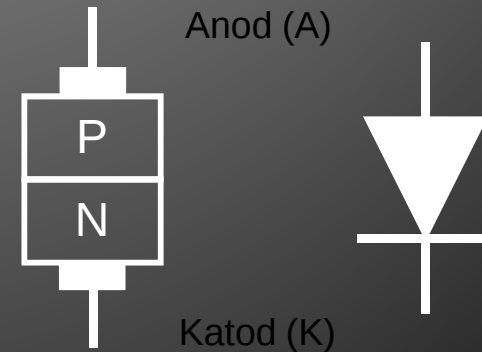
- a) Tek elemanlar.
- b) Güç modülleri.
- c) Akıllı modüller.

- Kurulacak devreye ve çalışılacak olan güce göre uygun kılıflı malzeme seçilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **GÜÇ DİYOTLARI:**
- Güç diyotları, kontrolsüz güç anahtarlarıdır. Bu diyotlar;
 - 1) Genel amaçlı (şebeke) diyotlar,
 - 2) Hızlı toparlanan (hızlı) diyotlar,
 - 3) Schottky (çok hızlı) diyotlar,olmak üzere 3 ayrı türde bulunmaktadır, bu türlerin kendilerine ait özellikleri ve buna bağlı olarak da kullanım alanları bulunmaktadır. Şimdi bu türleri ayrıntısıyla inceleyelim.

- **1) Genel Amaçlı Diyotlar;**
- Şekil-2.1'de yapısı görülen genel amaçlı güç diyotlarının genel yapısı ve çalışması temel elektronikte kullanılan diyotlarla aynıdır. Bu diyotlarda da normal diyotlarda olduğu gibi, anod terminali, katoda göre 0,7V daha pozitif olduğunda ilettime geçer.

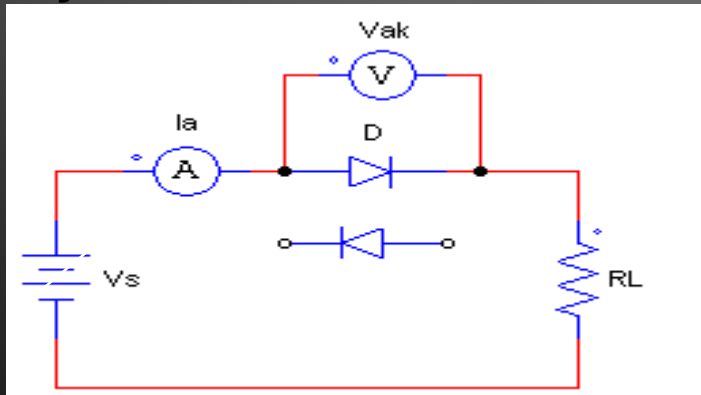


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

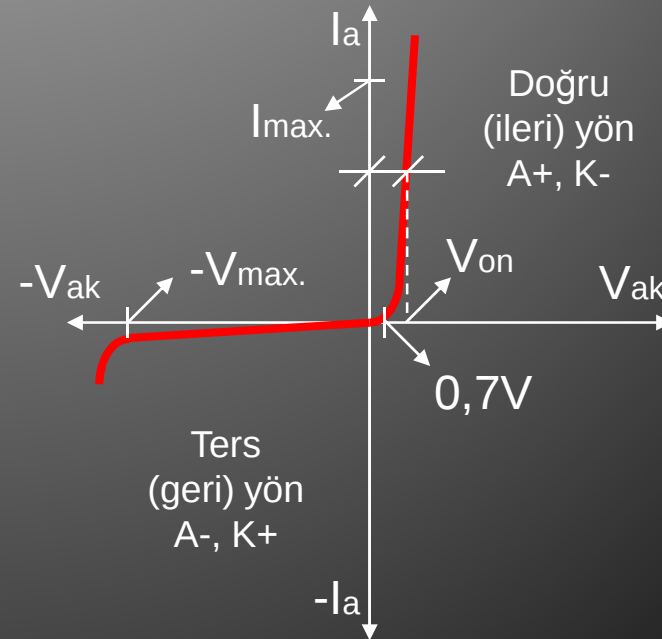
- Bilindiği gibi diyodun yalıtıma geçebilmesi içinse anod-katod arasındaki potansiyel farkının 0,7V altına inmesi veya negatife düşmesi yeterlidir.
- Diyot iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi ara durumu yoktur.
- Genel amaçlı diyotların en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır (ideal frekans 50-60Hz, max. frekans: 1kHz).
- Genel amaçlı diyotlar düşük frekansta çalışmaları nedeniyle çok yüksek akım-gerilimlerde kullanılabilirler (5kV-5kA gibi).
- Genel amaçlı diyotların en önemli özelliklerinden birisi de, geçiş zamanının uzun olmasına rağmen, iletim iç direncinin çok düşük olması nedeniyle iletim kayıplarının çok düşük olmasıdır.
- Bu özellikleri ile genel amaçlı diyotlar şebeke geriliminde kontrolsüz anahtar olarak çalışabilen çok kullanışlı yarıiletken elemanlardır.

II – YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Diyodun Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.2’de diyodun temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile diyodun doğru yön çalışması, devredeki “Vs” bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.3’de genel amaçlı diyodun temel karakteristik eğrilerinden olan akım-gerilim (I_a - V_{ak}) eğrisi görülmektedir.

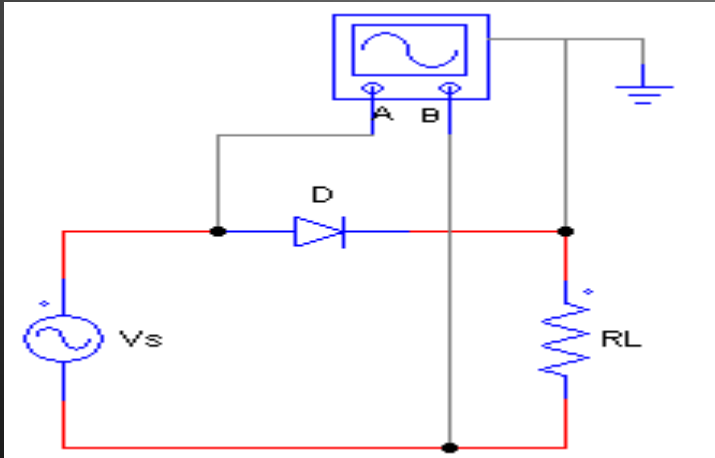


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

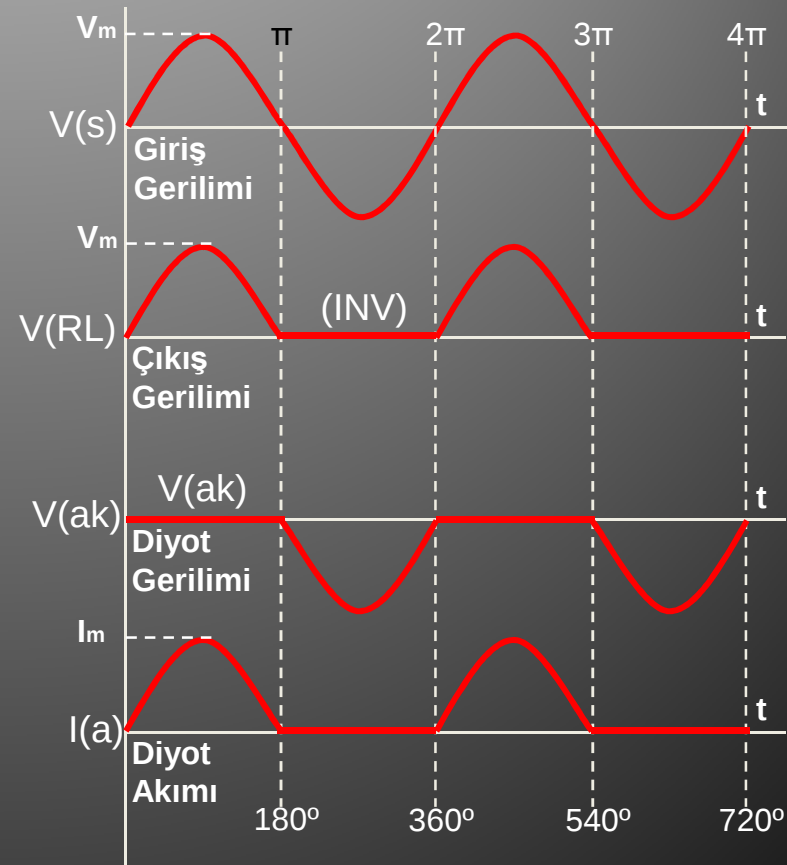
- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi doğru yönde 0,7V'dan sonra ilettime geçen diyot, I_{max} . akımına kadar güvenle çalışabilmektedir. Bu akım aşıldığında ise diyot yanar. Diyot üzerinden akacak akım değerini R_L yük direnci belirlemektedir.
- Ters yönde ise V_{max} . gerilim değerine kadar diyot güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise diyot yanacaktır. Diyot üzerine gelecek olan ters gerilim değeri, tamamen V_s kaynak gerilim değerine bağlıdır.
- Bu durumda, genel amaçlı diyodun; doğru yönlü (A+, K-) gerilimde kendiliğinden tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilimi asla bloke edemeyen, ters yönlü (A-, K+) gerilimde ise yine kendiliğinden tam yalıtıma geçen (ters yönlü gerilimi sürekli olarak bloke eden) bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- Diyot bu özellikleriyle AC'de tek yönlü iletim sağladığı için doğrultucu olarak, DC'de ise anahtarlama elemanı olarak çalıştırılabilmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Diyodun Çalışma Dalga Şekilleri;
- Yarıiletken güç anahtarlarının çalışma durumlarının görülmesi için aktif çalışma sırasındaki akım-gerilim dalga şekilleri incelenmelidir.
- Diyodun doğru ve ters polarmada davranışları Şekil-2.6'dan gözlenebilir.



- Şekil-2.7'de diyot devresinin AC kaynakta çalışması sırasındaki dalga şekilleri görülmektedir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.7'den görüldüğü gibi 0-180° aralığında diyot iletimde (on) olup, çıkış gerilimi giriş gerilimi ile aynıdır. Bu sırada diyot üzerindeki gerilim sıfır olacaktır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), diyot üzerinden geçen akım ise yüke bağlı olup, kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- 180°-360° aralığında ise diyot ters polarımda olduğu için yalıtmadadır (off). Bu durumda çıkış gerilimi sıfır, diyot üzerindeki gerilim düşümü ise kaynak gerilimi ile aynıdır (diyodun bloke ettiği gerilim). Bu durumda diyot üzerinden geçen akım, dolayısıyla da devre akımı ise sıfırdır.
- **Diyotların Seri Bağlanması;**
- Özellikle yüksek gerilim altında çalıştırılacak olan diyotlarda diyodun üzerine gelen çok yüksek ters gerilimleri bloke etmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen diyodun çalışma gerilimi, uygulamada üzerine gelecek olan ters gerilimden en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut diyotların bu şartı sağlayamaması durumunda diyotların seri bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma gerilimine ulaşılabilir.

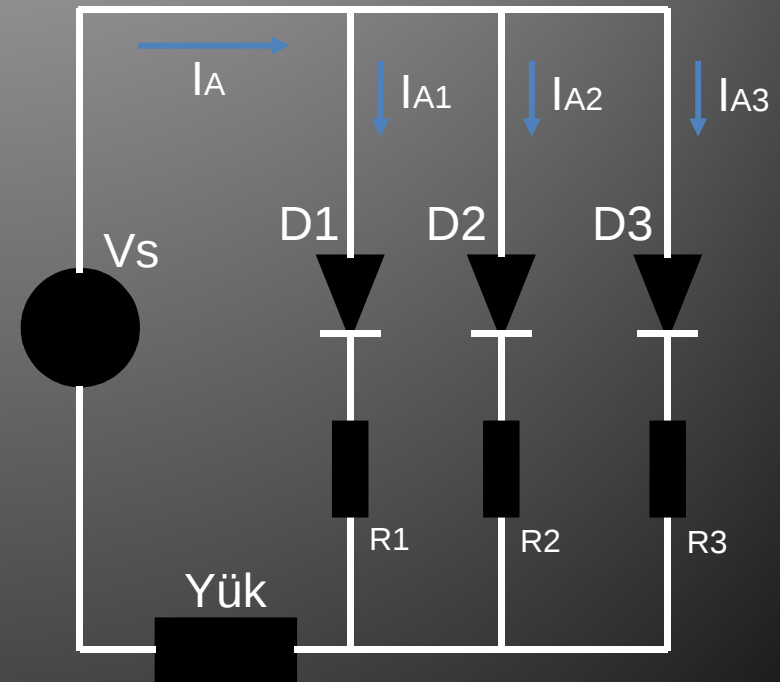
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Diyotların Paralel Bağlanması;**
- Özellikle yüksek akım altında çalıştırılacak olan diyotlarda diyodun üzerinden geçmesi gereken çok yüksek seviyeli akımı geçirebilmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen diyodun çalışma akımı, uygulamada üzerinden geçecek olan akımdan en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut diyotların bu şartı sağlayamaması durumunda diyotların paralel bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma akımına ulaşılabilir.

- Aşağıdaki Şekil-2.9'da diyotların paralel bağlanarak çalışma akımı artırılması görülmektedir.

- Burada toplam akım;

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A3} \text{ olacaktır.}$$

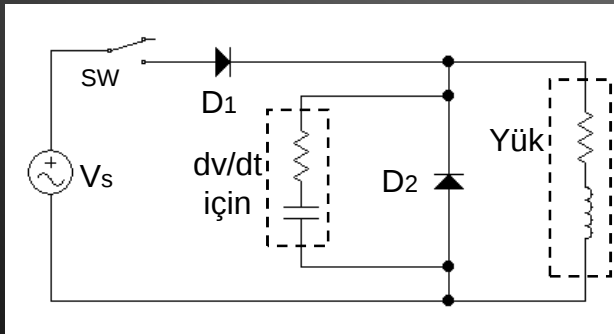
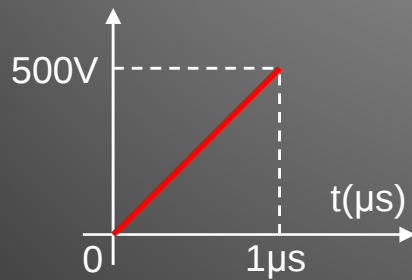


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.9'dan görüldüğü gibi yüksek akımda çalışma gerektiğinde diyotlar paralel bağlanarak bu akım değeri elde edilebilmektedir. Burada;
 $I_D \geq (I_{max.} + \%30)$ olacak şekilde paralel bağlanacak olan diyot sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, diyotların paralel bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü paralel bağlama sayesinde dayanma akımı artar fakat, diyotlar iletim dirençlerinin eşit olmaması nedeniyle, üzerlerinden geçecek akımı eşit paylaşamayacağı için seri dirençler kullanılması gerekir. Bu da ayrıca kayıp anlamına gelir.
- **Diyotlarda dv/dt Korumasının Sağlanması;**
- Yarıiletken malzeme, ani gerilim değişiminde istenmeyen davranışlar gösterebilmektedir.
- Güç diyotlarında, diyot üzerindeki ters gerilim çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa P-N birleşim yüzeyleri boş bir kondansatör gibi davranarak istenmeyen akımların akmasına neden olabilmekte bu da elemanda veya devrede hasarlar oluşturabilmektedir.
- Bu olayın sınırları üretici tarafından belirtilmekte olup kullanıcı buna göre uygun önlem almak zorundadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.10'da üretici tarafından verilen, diyodun örnek dv/dt karakteristik eğrisi ve diyodun bu olaydan etkilenmesini önlemek için alınan önlem görülmektedir.
- Burada örnek dv/dt : $500V/\mu s$



- Şekil-2.10'dan görüldüğü gibi, çok ani olarak ters gerilim altında kalma riski olan D2 diyodunun paraleline, onu bu ani ters gerilimin bozucu etkisinden korumak için bir R-C devresi yerleştirilmiştir.
- Bu sayede diyot üzerine gelen ani gerilim yumuşatılarak karakteristik eğrideki $500V/\mu s$ sınırının altına indirilmekte ve diyotta oluşacak olan ters akım (ters toparlanma) engellenmiş olmaktadır.

- Burada R-C devresi;

$$\tau = R.C$$

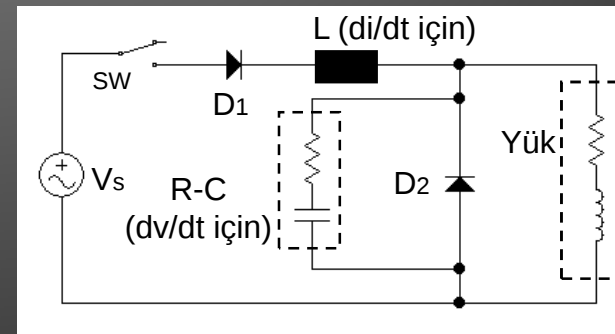
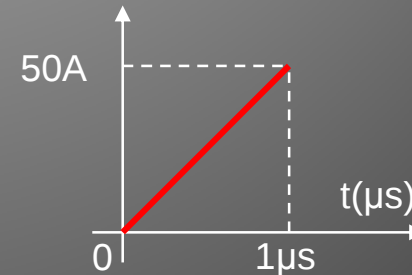
zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Diyotlarda di/dt Korumasının Sağlanması;**
- Yarıiletken malzeme, ani akım değişiminde istenmeyen davranışlar gösterebilmektedir.
- Güç diyotlarında, diyot üzerinden geçen akım çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa yarıiletken P-N maddesinin kristal yapısı dağılarak istenmeyen akımların akmasına neden olabilmekte bu da elemanın kısa devre olması ve devrede hasarlar oluşması anlamına gelmektedir.
- Bu olayın sınırları üretici tarafından elemanın di/dt eğrisi olarak belirtilmekte olup kullanıcı buna göre uygun önlem almak zorundadır.

- Aşağıdaki Şekil-2.11'de üretici tarafından verilen, diyodun örnek di/dt karakteristik eğrisi ve diyodun bu olaydan etkilenmesini önlemek için alınan önlem görülmektedir.

- Burada örnek di/dt : 50A/ μ s



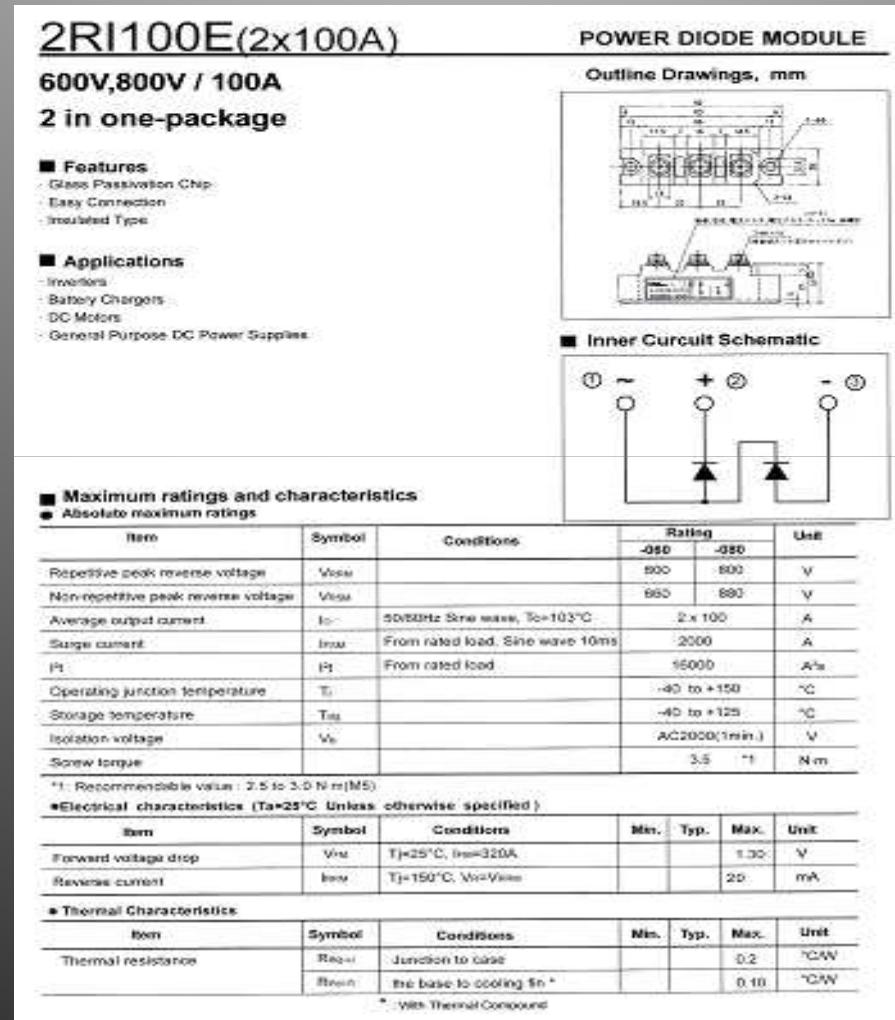
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.11'den görüldüğü gibi, çok ani olarak yüksek akım altında kalma riski olan D1 diyoduna seri olarak, onu bu ani yüksek akımın bozucu etkisinden korumak için bir “L” endüktansı yerleştirilmiştir.
- Bu sayede diyot üzerinden geçmek isteyen ani yüksek akım yumuşatılarak karakteristik eğrideki 50A/μs sınırının altına indirilmekte ve diyotta oluşacak olan kristal dağılması (yanma) engellenmiş olmaktadır.
- Burada L (L-R) devresi;
$$\mathcal{T} = L / R$$

zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.
- dv/dt ve di/dt önlemlerini her zaman kullanmak gerekli değildir. Ancak yüksek güçte ani yüksek gerilime veya ani yüksek akıma maruz kalma riski varsa kullanılması gerekmektedir.
- Diyotların seri ve paralel bağlanmaları sırasında da ani gerilim ve akım riski bulunduğu takdirde dv/dt ve di/dt önlemlerinin alınması gerekmektedir.
- Bu durumda gerekli yumuşatmayı sağlamak için, seri bağlama sırasında her bir seri diyoda paralel olarak R-C devresi, veya paralel bağlama sırasında her bir paralel diyoda seri olarak “L” elemanı yerleştirilmelidir.

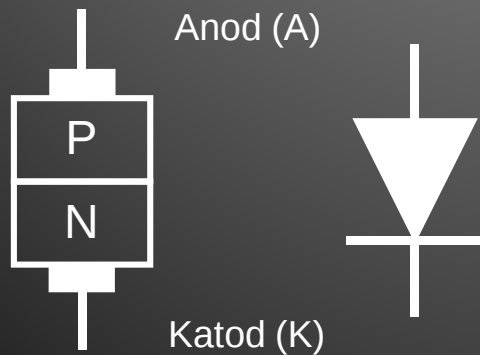
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda genel amaçlı bir diyodun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

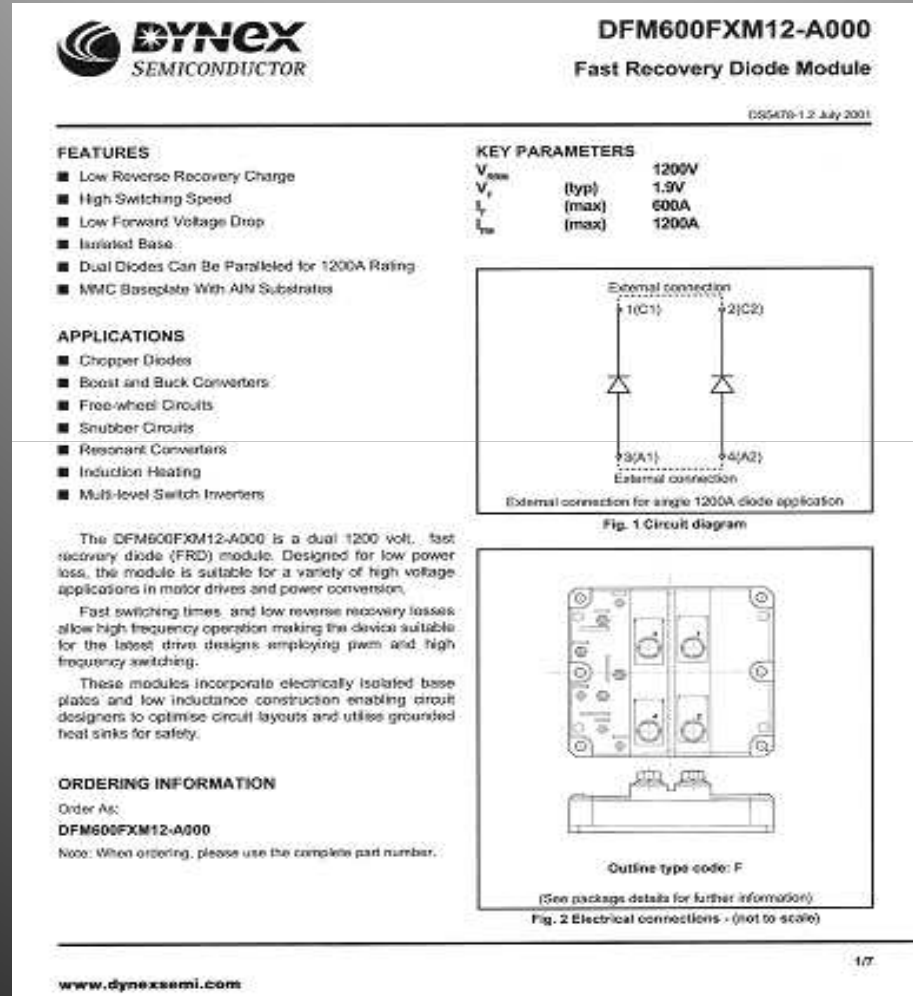
- **Hızlı Toparlanan Diyot;**
- Hızlı toparlanan güç diyotlarının genel yapısı ve çalışması da Şekil-2.12'de görüldüğü gibi temel elektronikte kullanılan diyotlarla tamamen aynıdır. Bu diyotlarda da normal diyotlarda olduğu gibi, anod terminaline, katoda göre 0,7V daha pozitif gerilim geldiğinde eleman kendiliğinden iletme geçer.



- Hızlı toparlanan (hızlı) diyotlarda, genel çalışma ilkeleri, temel karakteristik eğriler, ters toparlanma, çalışma dalga şekilleri, seri ve paralel bağlanmaları, ani akım ve gerilim davranışları ve korunmaları genel amaçlı diyotlardaki gibidir.
- Hızlı diyotların geçiş zamanları 3-5µs gibi çok kısa, dolayısıyla da çalışma frekanslarının 150-200kHz gibi yüksek olmasıdır. 2-3kV, 200-300A gibi değerlere kadar bulunabilen bu diyotlar DC-DC ve DC-AC dönüştürücülerde ve yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

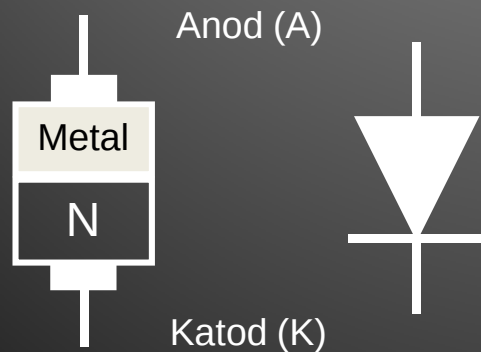
Aşağıda hızlı toparlanan bir diyodun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Schottky Diyot, Temel Yapısı ve Çalışması;

- Schottky güç diyotlarının genel yapısı, temel elektronikte kullanılan diyotlardan oldukça farklıdır. Bu diyotlarda Şekil-2.13'de görüldüğü gibi normal diyotlarda olduğu gibi P-N birleşimi yerine, daha hızlı olması için N-Metal birleşimi kullanılmıştır.



- Schottky diyotlarda N-Metal birleşimi kullanılması sayesinde çok düşük geçiş zamanı dolayısıyla da çok yüksek çalışma frekansı elde edilmekle beraber, N-Metal birleşiminin ters polarmada sızıntı akım seviyesinin oldukça yüksek olması en önemli dezavantajlarıdır.
- Bu diyotların daha çok düşük gerilim yüksek akımlı dönüştürücü devrelerinde anahtar olarak ve normal güç devrelerinde koruma elemanı olarak kullanımları yaygındır.
- Çalışma gerilimleri 100V civarında çalışma akımları ise 250-300A seviyelerine kadar çıkmaktadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir Schottky diyodun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

**MBR41H100CT,
MBRB41H100CT,
MBRB41H100CT-1**

**SWITCHMODE™
Power Rectifier
100 V, 40 A**

Features and Benefits

- Low Forward Voltage: 0.67 V @ 125°C
- Low Power Loss/High Efficiency
- High Surge Capacity
- 175°C Operating Junction Temperature
- 40 A Total (20 A Per Diode Leg)
- Guard-Ring for Stress Protection
- Pb-Free Package is Available

Applications

- Power Supply – Output Rectification
- Power Management
- Instrumentation

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Epoxy Meets UL 94 V-0 @ 0.125 in
- Weight (Approximate): 1.9 Grams (TO-220AB)
1.7 Grams (D²PAK)
1.5 Grams (TO-262)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 Units Per Plastic Rail for TO-220AB and TO-262
Shipped 800 Units Per Tape & Reel for D²PAK

MAXIMUM RATINGS:

Please See the Table on the Following Page

ON Semiconductor®
<http://onsemi.com>

MARKING DIAGRAM

TO-220AB
CASE 221A
PLASTIC

D²PAK
CASE 418B
STYLE 1

IPAK (TO-262)
CASE 419D
PLASTIC

841H100 = Device Code
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
AKA = Polarity Designator
G = Pb-Free Device

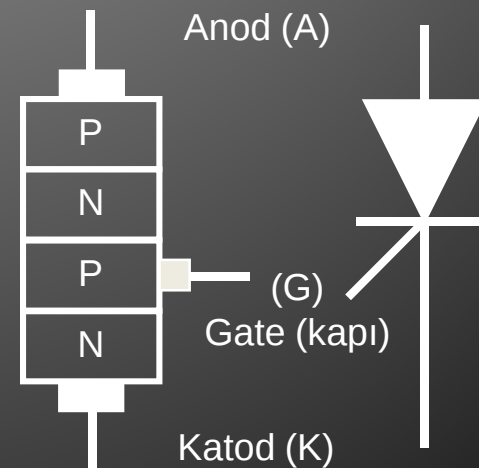
ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MBR41H100CT	TO-220	50 Units/Rail
MBR41H100CTG	TO-220 (Pb-Free)	50 Units/Rail
MBR41H100CT-1G	TO-262 (Pb-Free)	50 Units/Rail
MBR41H100CTT4G	D ² PAK (Pb-Free)	800 Units/ Reel

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Güç Tristörleri;
- Güç tristörleri, kontrollu güç anahtarlarıdır. Bu tristörler;
 - 1- Genel amaçlı tristörler (SCR),
 - 2- Çift yönlü tristörler (TRIAC),
 - 3- Kapısından tıkanabilen tristörler (GTO),olmak üzere 3 ayrı türde bulunmaktadır.
- Bu türlerin kendilerine ait özellikleri ve buna bağlı olarak da kullanım alanları bulunmaktadır. Şimdi bu türleri ayrıntısıyla inceleyelim.

- 1- Genel Amaçlı Tristör (SCR), Temel Yapısı ve Çalışması:
- Genel amaçlı güç tristörlerini “genel amaçlı diyodun kontrollu versiyonu” olarak tanımlamak mümkündür. Şekil-2.14’de görülen bu tristörler normal diyotlarda olduğu gibi kendiliğinden ilettime geçmezler, ancak bir uyarı aldıklarında ilettime geçerler.

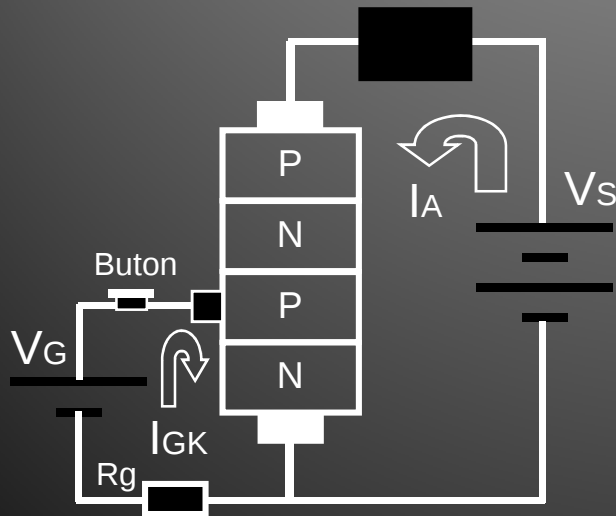


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün (SCR) yalıtıma geçebilmesi için içinden geçmekte olan akımın sıfıra düşmesi veya düşürülmesi gerekmektedir.
- Tristör iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi bir ara durumu yoktur.
- Genel amaçlı tristörlerin en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır (ideal frekans 50-60Hz, max.1kHz).
- Genel amaçlı tristörler düşük frekansta çalışmaları nedeniyle yüksek akım ve gerilimlerde kullanılabilirler (5kV-5kA gibi).
- Genel amaçlı tristörlerin en önemli özelliklerinden birisi de, geçiş zamanının uzun olmasına rağmen, iletim iç direncinin çok düşük olması nedeniyle iletim kayıplarının çok düşük olmasıdır.
- Bu özellikleri ile genel amaçlı tristörler, şebeke geriliminde kontrollü anahtar olarak çalışabilen ve yaygın kullanılan yarıiletken elemanlardır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

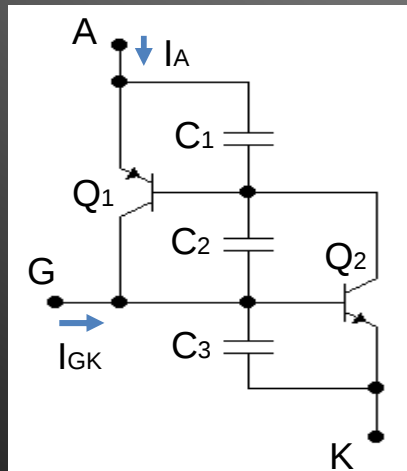
- Genel Amaçlı Tristörün (SCR) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.15'de genel amaçlı tristörün çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada V_S kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır, V_G ise tristörü uyarmak için kullanılan kaynaktır.



- Devrede butona basılmadığı sürece tristör, doğru yönde blokaj (yalıtım) durumunda kalacaktır. Tristörü ilettime geçirebilmek için butona basıldığında tristörün G-K terminalleri arasından çok kısa bir süre için I_{GK} akımı dolaşır.
- Bu durumda G-K arasındaki P-N maddeleri iletken haline gelir ve A-K arasında sadece tek P-N birleşimi kalacağı için tristör iletim "on" durumuna geçer ve yük üzerinden I_A akımı akar.
- Tristör dc'de ilettime geçtiğinde artık uyarma gerektirmez.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

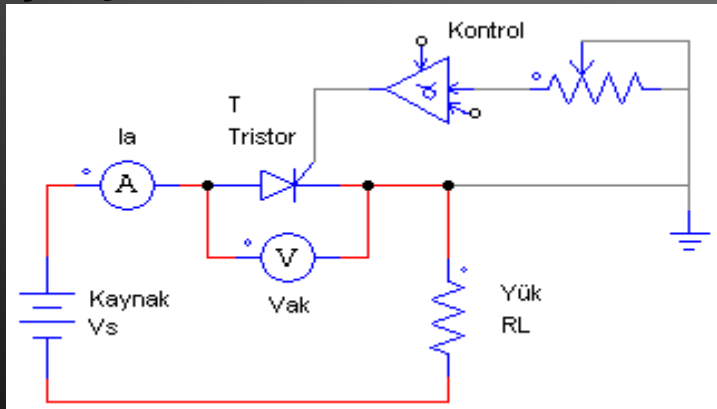
- **Tristörün Eşdeğer Devresi;**
- Şekil-2.16'da tristörün çalışmasını farklı bir şekilde açıklamak için kullanılmakta olan transistörlü eşdeğer devresi görülmektedir.
- Devredeki transistörler P-N birleşimlerini, kondansatörler ise kaçak kapasitelerdir.



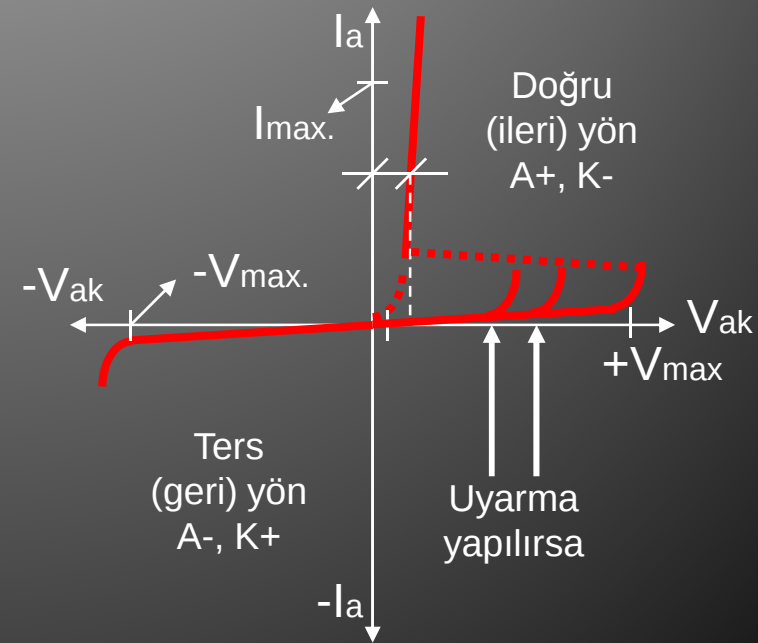
- Eşdeğer devreye göre, G-K terminalleri arasına bağlanan bir kaynak yardımıyla I_{GK} akımı akıtıldığında Q_2 ilettime geçer ve Q_1 'in baz akımını sağlayarak, I_{GK} kesilse de Q_2 'nin iletimde kalmasını sağlar. Böylelikle ana besleme kaynağından çekilen I_A akımı akmaya başlar, yani tristör tamamen ilettime geçmiş olur.
- $C_{1,2,3}$ kondansatörleri ise P-N birleşimleri arasındaki boşluktan kaynaklanan kapasiteleri ifade etmekte olup tristörün kontrolsüz ilettime geçmesine neden olur.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün (SCR) Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.17'de genel amaçlı tristörün temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile SCR'nin doğru yön çalışması, devredeki " V_s " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil2.18'de genel amaçlı tristörün (SCR) temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim (I_a - V_{ak}) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

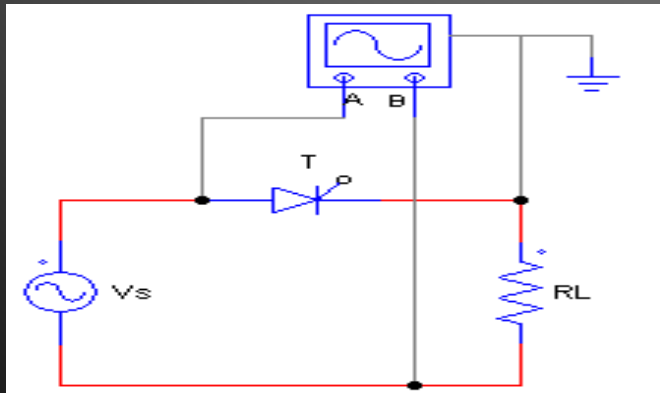


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

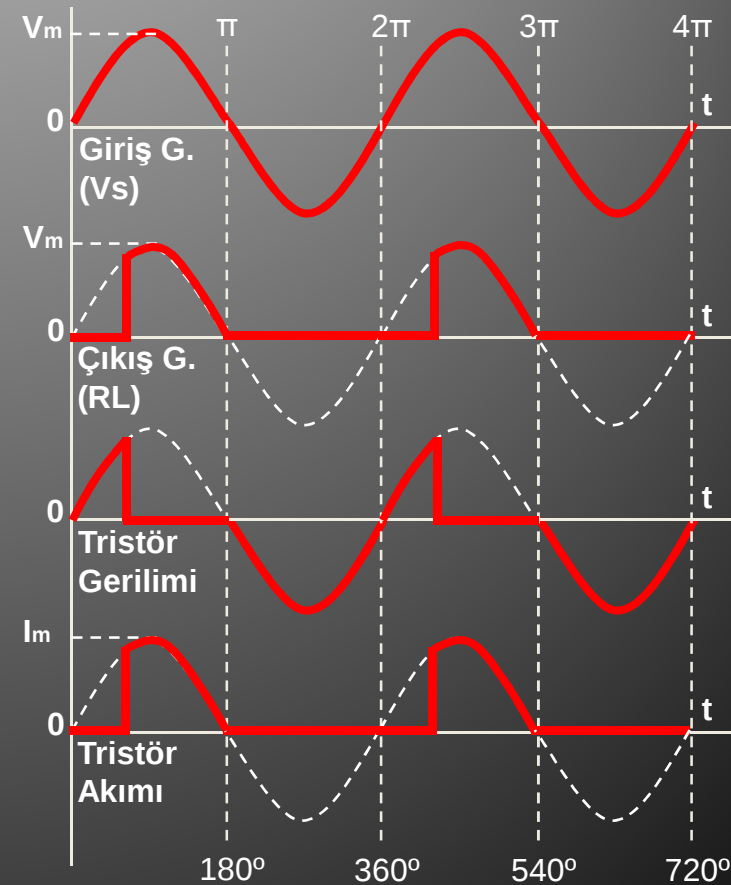
- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde $0,7V$ 'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, SCR ancak V_{max} . gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. SCR'nin normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarılması gerekmektedir.
- SCR'nin uyarılması G-K terminalleri arasından yapılır.
- Ters yönde ise V_{max} . gerilim değerine kadar yine SCR güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise ilettime geçerek yanacaktır. Tristör üzerine gelecek olan ters gerilim değeri, tamamen V_s kaynak gerilim değerine bağlıdır.
- Bu durumda, genel amaçlı tristörün; doğru yönlü (A+, K-) gerilimde uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında kontrol edilebilen, ters yönlü (A-, K+) gerilimde ise tam yalıtımda kalan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- Genel amaçlı tristör (SCR), bu özellikleriyle hem AC, hem de DC'de çalıştırılabilmektedir.
- SCR'nin bazı durumlarda sıkıntıya yol açan özelliği ise, doğru yönde ilettime geçirildikten sonra, üzerine gelen gerilim doğru da olsa ters de olsa, ancak içinden geçen akım sıfıra düşünce yalıtıma geçmesidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün Çalışma Dalga Şekilleri;
- Güç anahtarlarının çalışma durumlarının görülmesi için aktif çalışma sırasındaki akım-gerilim dalga şekillerinin incelenmesi gerekmektedir. Tristörün doğru ve ters polarmada davranışları inceleyebilmek için Şekil-2.19'daki bağlantı yapılabilir.



- Şekil-2.20'de tristörün devresinin AC kaynaktan çalışması sırasındaki dalga şekilleri görülmektedir.



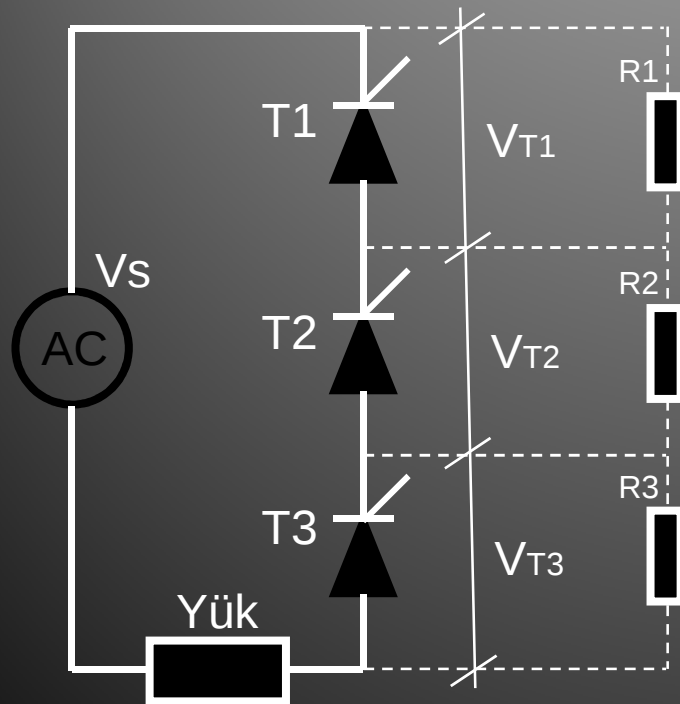
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.20'den görüldüğü gibi 0-180° aralığında tristör istenirse uyarılarak iletme (on) geçirilebilir, çıkış gerilimi tristörün iletme geçmesinden itibaren görünmeye başlar. Bu sırada tristör üzerindeki gerilim sıfır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), tristör üzerinden geçen akım ise kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- 180°-360° aralığında ise tristör ters polarmada olduğu için yalıtımdadır (off). Bu durumda çıkış gerilimi sıfır, tristör üzerindeki gerilim düşümü ise kaynak gerilimi ile aynıdır (tristörün bloke ettiği gerilim). Bu durumda tristör üzerinden geçen akım, dolayısıyla da devre akımı ise sıfırdır.
- **Tristörlerin Seri Bağlanması;**
- Özellikle yüksek gerilim altında çalıştırılacak olan tristörlerde tristörün üzerine gelen çok yüksek doğru ve ters gerilimleri bloke etmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen tristörün çalışma gerilimi, uygulamada üzerine gelecek olan gerilimden en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut tristörlerin bu şartı sağlayamaması durumunda tristörlerin seri bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma gerilimine ulaşılabilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.21'de tristörlerin seri bağlanarak çalışma geriliminin arttırılması görülmektedir. Burada gerilim;

$$V_T = V_{T1} + V_{T2} + V_{T3} \text{ olur.}$$



- Şekil-31'den görüldüğü gibi yüksek gerilimde çalışma gerektiğinde tristörler seri bağlanarak bu gerilim değeri elde edilebilmektedir. Burada;
 $V_T \geq (V_{max.} + \%30)$ olacak şekilde seri bağlanacak olan tristör sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, tristörlerin seri bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü seri bağlama sayesinde dayanma gerilimi artar fakat buna bağlı olarak anahtarın iletim iç direnci de yükselir. Bu da kayıpların artması anlamına gelir.
- Ayrıca tristörlerin hepsinin aynı anda ve birbirinden yalıtılarak uyarılması gerekecektir.

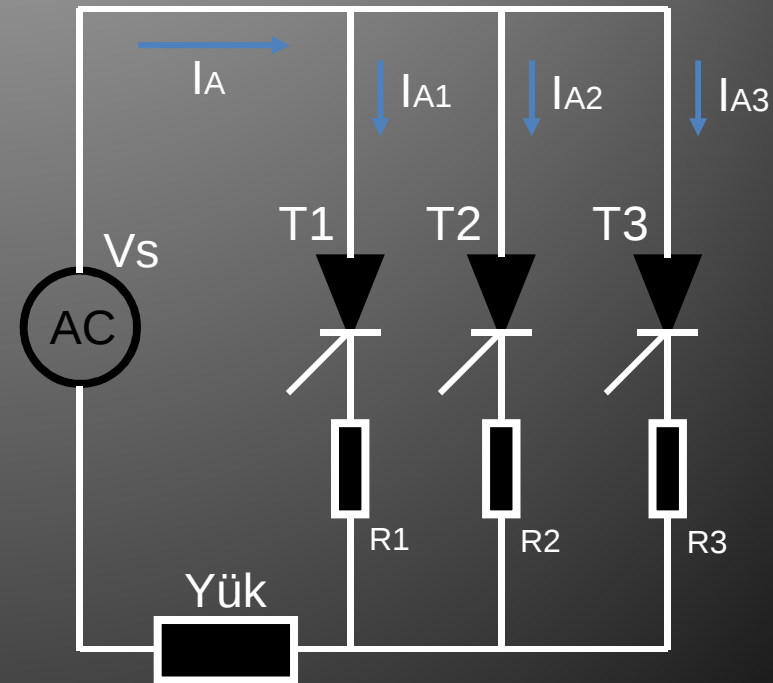
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Tristörlerin Paralel Bağlanması;**
- Özellikle yüksek akım altında çalıştırılacak olan tristörlerde, tristörün üzerinden geçmesi gereken çok yüksek seviyeli akıma dayanabilmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen tristörün çalışma akımı, uygulamada üzerinden geçecek olan akımdan en az %30 daha fazla olması gerekmektedir.
- Uygulama sırasında mevcut tristörlerin bu şartı sağlayama durumunda tristörlerin paralel bağlama yoluna gidilir. Bu sayede istenilen çalışma akımına ulaşılabilir.

- Aşağıdaki Şekil-2.22'de tristörlerin paralel bağlanarak çalışma akımı artırılması devresi görülmektedir.

- Burada toplam akım;

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A3}$$

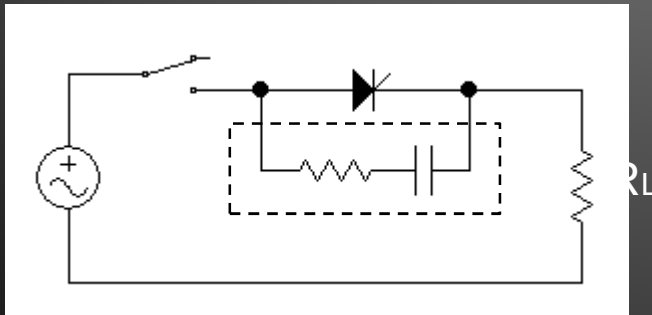
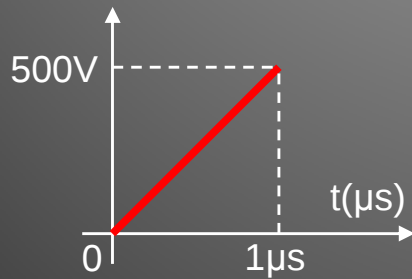


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.22'den görüldüğü gibi yüksek akımda çalışma gerektiğinde tristörler paralel bağlanarak bu akım değeri elde edilebilmektedir. Burada;
 $I_T \geq (I_{max.} + \%30)$ olacak şekilde paralel bağlanacak olan tristör sayısı belirlenebilmektedir.
- Fakat, tristörlerin paralel bağlanması çok istenen bir uygulama değildir. Çünkü paralel bağlama sayesinde dayanma akımı artar fakat, tristörlerin iletim dirençlerinin eşit olmaması nedeniyle, üzerlerinden geçecek akımı eşit paylaşamayacağı için seri dirençler kullanılması gerekir. Ayrıca ayrı ayrı uyarılmalıdırlar.
- Tristörlerde dv/dt korumasının sağlanması;
- Yarıiletken malzeme, ani gerilim değişiminde istenmeyen davranışlar gösterebilmektedir.
- Güç tristörlerinde, tristör üzerindeki gerilim çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa P-N birleşim yüzeyleri boş bir kondansatör gibi davranarak istenmeyen akımların akmasına ve iletme neden olabilmekte bu da elemanda veya devrede hasarlar oluşturabilmektedir.
- Bu olayın sınırları üretici tarafından belirtilmekte olup kullanıcı buna göre uygun önlem almak zorundadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.23'de üretici tarafından verilen, tristörün örnek dv/dt karakteristik eğrisi ve tristörün bu olaydan etkilenmesini önlemek için alınan önlem görülmektedir.
- Burada örnek dv/dt : $500V/\mu s$



- Şekil-2.23'den görüldüğü gibi, çok ani olarak doğru veya ters gerilim altında kalma riski olan T tristörünün paraleline, onu bu ani gerilimin bozucu etkisinden korumak için bir R-C devresi yerleştirilmiştir.
- Bu sayede tristör üzerine gelen ani gerilim yumuşatılarak karakteristik eğrideki $500V/\mu s$ sınırının altına indirilmekte ve istenmeyen kontrol dışı iletim (akım) engellenmiş olmaktadır.
- Burada R-C devresi;

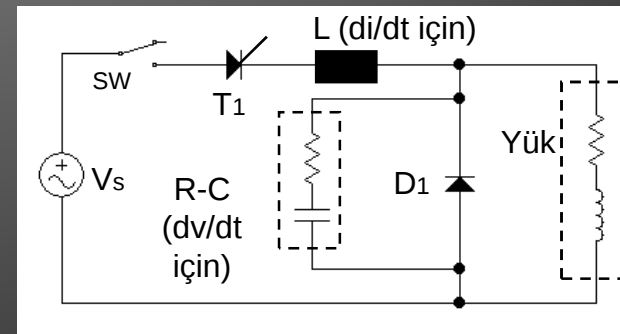
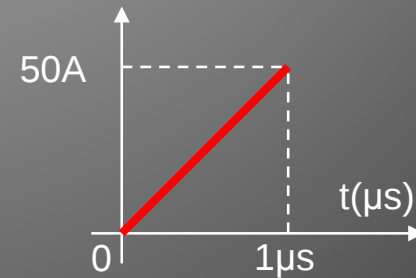
$$\tau = R.C$$

zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörlerde di/dt korumasının sağlanması;
- Güç tristörlerinde, tristör üzerinden geçen akım çok kısa sürede çok ani olarak değer değiştirecek olursa yarıiletken P-N maddesinin kristal yapısı dağılarak istenmeyen akımların akmasına neden olabilmekte bu da elemanın kısa devre olması ve devrede hasarlar oluşması anlamına gelmektedir.
- Bu olayın sınırları üretici tarafından elemanın di/dt eğrisi olarak belirtilmekte olup kullanıcı uygun önlem almak zorundadır.

- Aşağıdaki Şekil-2.24'de üretici tarafından verilen, tristörün örnek di/dt karakteristik eğrisi ve tristörün bu olaydan korunması görülmektedir.
- Burada örnek di/dt : $50A/\mu s$ 'dir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.24'den görüldüğü gibi, çok ani olarak yüksek akım altında kalma riski olan T₁ tristörüne seri olarak, onu bu ani yüksek akımın bozucu etkisinden korumak için bir “L” endüktansı yerleştirilmiştir.
- Bu sayede tristör üzerinden geçmek isteyen ani yüksek akım yumuşatılarak karakteristik eğrideki 50A/μs sınırının altına indirilmekte ve tristörde oluşacak olan kristal dağılması (yanma) engellenmiş olmaktadır.
- Burada L (L-R) devresi;
$$T = L / R$$

zaman sabitesine göre istenilen oranda yumuşatma yapmaktadır.
- dv/dt ve di/dt önlemlerini her zaman kullanmak gerekli değildir. Ancak yüksek güçte ani yüksek gerilime veya ani yüksek akıma maruz kalma riski varsa kullanılması gerekmektedir.
- Tristörlerin seri ve paralel bağlanmaları sırasında da ani gerilim ve akım riski bulunduğu takdirde dv/dt ve di/dt önlemlerinin alınması gerekmektedir.
- Bu durumda gerekli yumuşatmayı sağlamak için, seri bağlama sırasında her bir seri tristöre paralel olarak R-C devresi, veya paralel bağlama sırasında her bir paralel tristöre seri olarak “L” elemanı yerleştirilmelidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün (SCR) Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
 - Bilindiği gibi tristörlerin kontrollu olarak ilettime geçirilmesi için G-K arasından kısa süreli bir akım akıtmaktadır. Bu durumda tristör “off” konumdan “on” konuma geçmektedir.
 - Bazı durumlarda ise tristör istenmediği halde kontrol dışı olarak ilettime geçebilmekte ve hem kendisinin, hem yükün hem de etrafındaki elemanların tahrip olmasına neden olmaktadır.
- Tristörlerin kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
 - 1) Yüksek sıcaklık,
 - 2) Yüksek voltaj,
 - 3) Hızlı gerilim değişimi,
 - 4) Hızlı akım değişimi.
 - 1- Yüksek sıcaklıkla iletim;

Tristör, çalışması sırasında iletim ve anahtarlama kayıpları nedeniyle ısınmaktadır. Eğer bu ısı enerjisi tristör üzerinden yeterince alınamazsa ısınmaya devam eder ve dayanma sıcaklığı aşıldığında yanar.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Tristörün yüksek sıcaklıktan etkilenerek zarar görmesini engelleyebilmek için tristör üzerinde oluşacak ısı enerjisi hesaplanarak bu enerjiyi ortama yaymak için uygun boyutta soğutucu belirlenmeli ve tristör bu soğutucuya bağlanmalıdır.
- Eğer gerekiyorsa fan veya sıvılı soğutma düzeneği kullanılarak soğutucu üzerinden ısı transferi daha hızlı yapılmalıdır.
- 2- Yüksek voltajla iletim;
Yüksek voltaj nedeniyle tristörün kontrol dışı olarak ilettime geçerek zarar görmesi, tristörün üzerine gelen doğru veya ters yönlü gerilimin, tristörün dayanma (çalışma) geriliminin üzerine çıkması durumunda gerçekleşir.
- Tristörün bu olaydan zarar görmesini engelleyebilmek için tristör gerilimi, tristör üzerine gelebilecek olan en yüksek gerilim değerinden en az %30 daha yüksek seçilmelidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 3- Hızlı gerilim değişimi (dv/dt);

Daha önce açıklandığı gibi tristör, üretici tarafından belirlenen dv/dt değerinden daha hızlı değişen bir gerilimle karşı karşıya kaldığında, iç kapasitelerinin etkisiyle uyarılmadığı halde üzerinden akım akıtmaya başlar yani ilettime geçer. Bu istenmeyen iletim tristöre, yüke ve devreye zarar verir.

- Bilindiği gibi bu olayı engellemek için, ani gerilimi yumuşatmak amacıyla, tristöre paralel olarak bir RC bağlanır.

- 4- Hızlı akım değişimi (di/dt);

Yine daha önce açıklandığı gibi tristör, üretici tarafından belirlenen di/dt değerinden daha hızlı değişen bir akımla karşı karşıya kaldığında, iç kapasitelerinin etkisiyle uyarılmadığı halde üzerinden akım akıtmaya başlar ve kısa devre olur. Bu istenmeyen iletim tristöre, yüke ve devreye zarar verir.

- Bilindiği gibi bu olayı engellemek için, ani akımı yumuşatmak amacıyla, tristöre seri olarak bir “L” bağlanır.

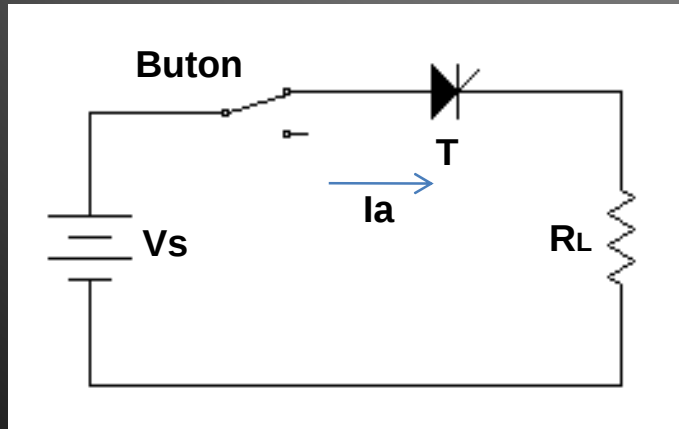
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Tristörün Yalıtıma Geçirilmesi;**
- Bilindiği gibi tristör (SCR), iletme geçmesi kontrol edilebilen fakat yalıtıma geçmesi kontrol edilemeyen bir yarıiletken güç anahtarıdır.
- Tristörün yalıtıma geçebilmesi için diyotlarda olduğu gibi ters polarma altına girmesi yeterli değildir. Tristörün yalıtıma geçebilmesinin tek şartı, A-K arasından akmakta olan akımın çok kısa bir süre için “sıfır”a çekilmesidir. **AC kaynakta yön değiştiği için bu olay kendiliğinden gerçekleşir.**
- Bu durumda özellikle DC’de çalışmakta olan bir tristörü yalıtıma geçirebilmek için içinden geçen akımı kısa bir süre için sıfıra düşürebilecek yöntemler kullanmak gerekmektedir. Bu durumda, tristörü susturma yöntemleri;
 - 1) Seri anahtar kullanarak,
 - 2) Paralel anahtar kullanarak,
 - 3) Seri ayarlı direnç kullanılarak,
 - 4) Ayarlı kaynak kullanarak,
 - 5) Ters gerilim kullanılarak,olmak üzere 5 farklı türdedir. Bu yöntemleri ayrıntılı olarak açıklayalım.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 1- Tristörün (SCR) seri anahtar kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.25'de görüldüğü gibi tristörün anod devresine seri bir anahtar (buton) bağlayarak uygulanabilmektedir. Burada iletimde olan bir tristör görülmektedir.

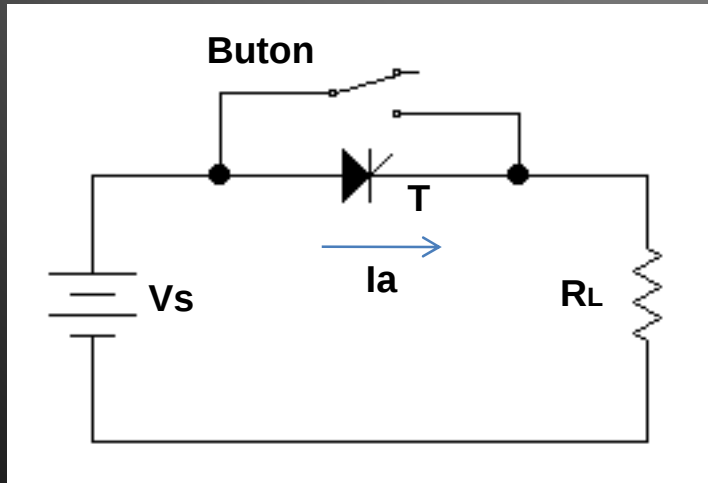


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla butona basılarak çok kısa bir süreliğine “ I_a ” akımı kesildiğinde tristör içinden geçen akım sıfıra düşeceği için yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem çok basit ve kolay uygulanabilir olmasına karşın ancak düşük akım ve gerilim seviyelerinde kullanılabilir.
- Bunun nedeni, yüksek akım ve gerilimde ark oluşması nedeniyle buton ile kontrolün imkansız hale gelmesidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 2- Tristörün (SCR) paralel anahtar kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.26'da görüldüğü gibi tristörün anod-katod arasına paralel bir anahtar (buton) bağlayarak uygulanabilmektedir. Burada iletimde olan bir tristör görülmektedir.

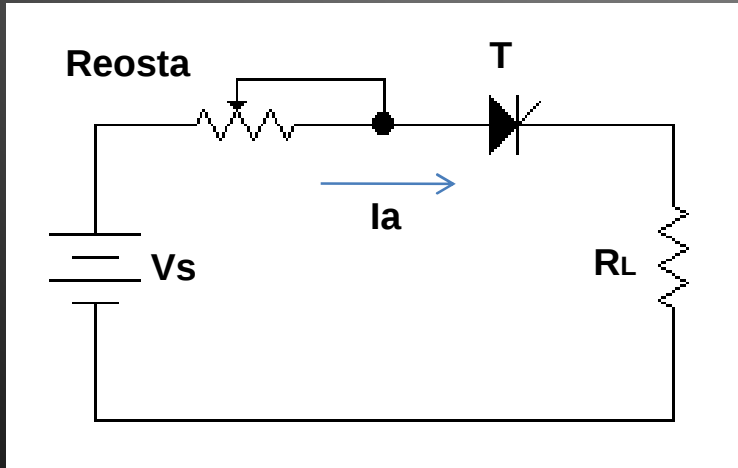


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla butona basılarak çok kısa bir süreliğine devreden geçen “ I_a ” akımı buton üzerine alınır, bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem çok basit ve kolay uygulanabilir olmasına karşın ancak düşük akım ve gerilim seviyelerinde kullanılabilir.
- Bunun nedeni, yüksek akım ve gerilimde ark oluşması nedeniyle buton ile kontrolün imkansız hale gelmesidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 3- Tristörün (SCR) seri direnç kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.27’de görüldüğü gibi tristöre seri bir ayarlı direnç (reosta) bağlayarak ve bu ayarlanarak uygulanabilmektedir. Burada tristör iletimde, reosta ise kısa devre konumundadır.

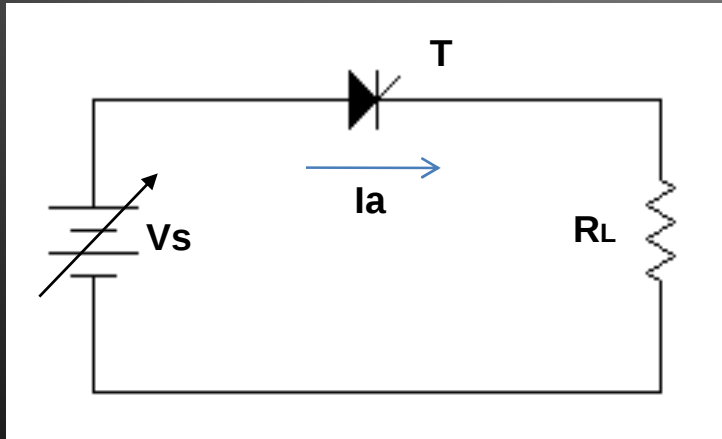


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla reosta değeri artırılıp açık devreye götürülerek, bir süreliğine “I_a” akımı sıfırlanır, bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem çok basit ve yüksek güçte uygulanabilir olmasına karşın, reosta maliyeti, boyutu ve kayıpları oldukça büyüktür.
- Ayrıca, her seferinde tristör susturulduktan sonra reostanın tekrar kısa devre konumuna getirilmesi gerekmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 4- Tristörün (SCR) ayarlı kaynak kullanarak yalıtıma geçirmesi;

Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.28'de görüldüğü gibi yükü besleyen ana kaynağı ayarlı yaparak ve bu ayarlanarak uygulanabilmektedir. Burada tristör iletimde, kaynak ise en yüksek değer konumundadır.

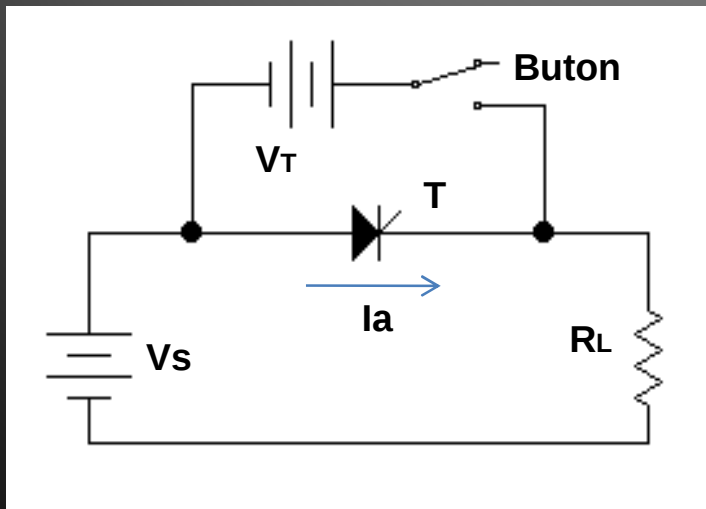


- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla kaynak gerilimi değeri azaltılıp sıfıra doğru götürülerek, bir süreliğine “ I_a ” akımı sıfırlanır, bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem yüksek güçte uygulanabilir olmasına karşın, ayarlı kaynak maliyeti oldukça yüksek, hızı düşük olacaktır.
- Ayrıca, bu kaynak başka yükleri beslemek için kullanılamayacaktır. Bu nedenle pek uygun değildir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 5- Tristörün (SCR) ters gerilim kullanarak yalıtıma geçirmesi;

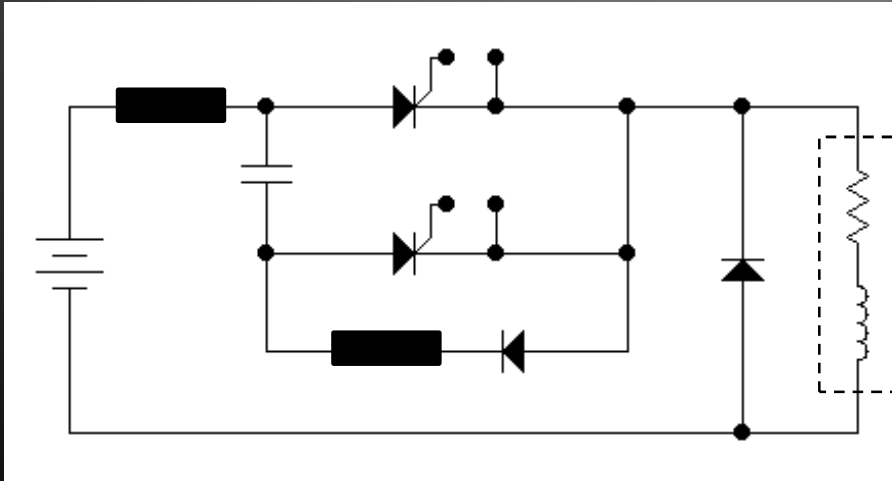
Bu yöntem, aşağıdaki Şekil-2.29'da görüldüğü gibi, tristör uçlarına, bir anahtar üzerinden ters bir kaynak bağlanarak uygulanabilmektedir. Burada tristör iletimde, ters kaynak ise pasif konumdadır.



- Bu yöntemde, iletimde olan “T” tristörünü yalıtıma geçirebilmek amacıyla butona basılarak “ V_T ” kaynağı tristör uçlarına ters olarak bağlanır. $V_T \geq V_S$ olduğundan V_T kaynağı V_S 'nin tristör üzerinden geçirmekte olduğu “ I_a ” akımını bastırarak kendi akımını akıtmak isteyecektir. Bu sırada tristör akımı sıfıra düşeceğinden eleman yalıtıma geçmiş olur.
- Bu yöntem tüm güçlerde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Uygulamada “ V_T ” kaynağı yerine şarj edilmiş bir kondansatör kullanılmaktadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

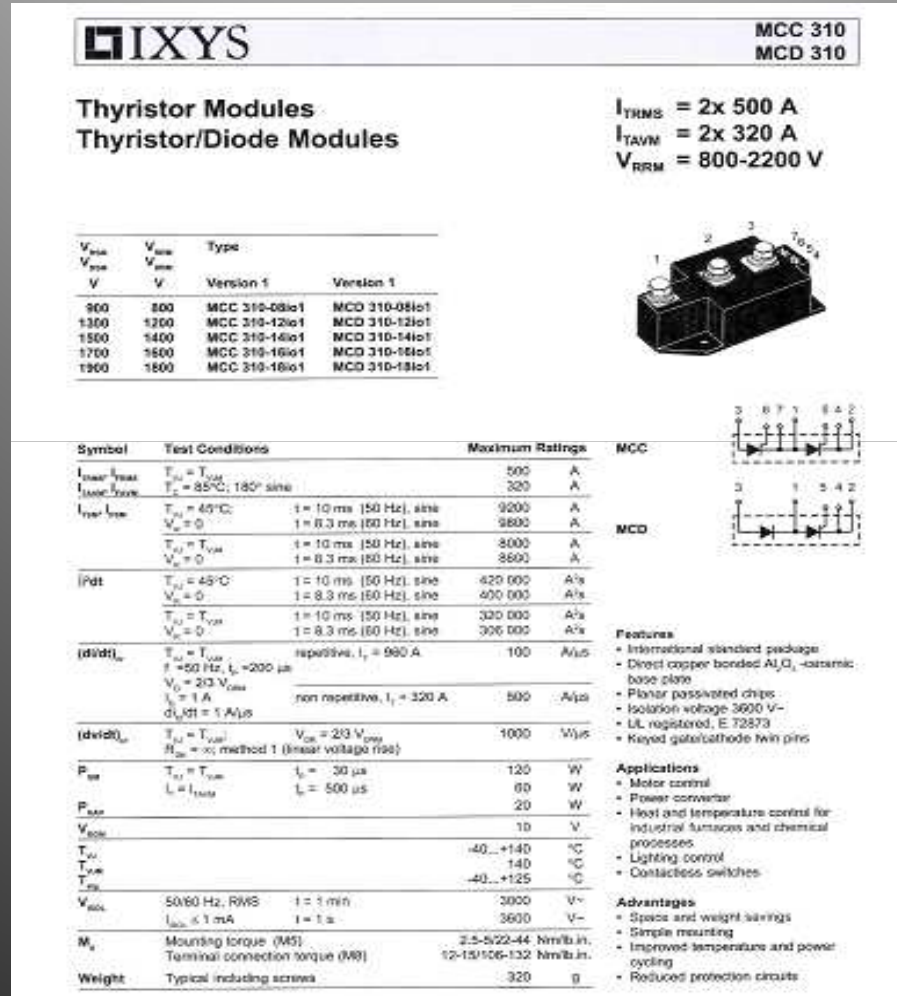
- Özellikle orta ve yüksek güçlü DC kaynaklı uygulamalarda, anahtar olarak tristör seçilmesi durumunda, kullanılmakta olan ters gerilimle susturma (yalıtıma geçirme) yöntemi ile ilgili bir uygulama devresi aşağıdaki Şekil-2.30'da görülmektedir.



- Şekil-2.30'dan görüldüğü gibi T1 tristörünün susturmak için gerekli olan ters gerilim "C" kondansatörüne depolanmakta T2 tristörü ise bu kondansatör üzerindeki ters gerilimin, susturulmak istenen T1 tristörüne uygulanmasını sağlamaktadır.
- Kısacası, T1 tristörü uyarıldığında devre çalışmakta, T2 tristörü uyarıldığında ise durmaktadır.
- Bu arada kondansatör de yardımcı elemanlar üzerinden tekrar şarj olmaktadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda genel amaçlı bir tristörün bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



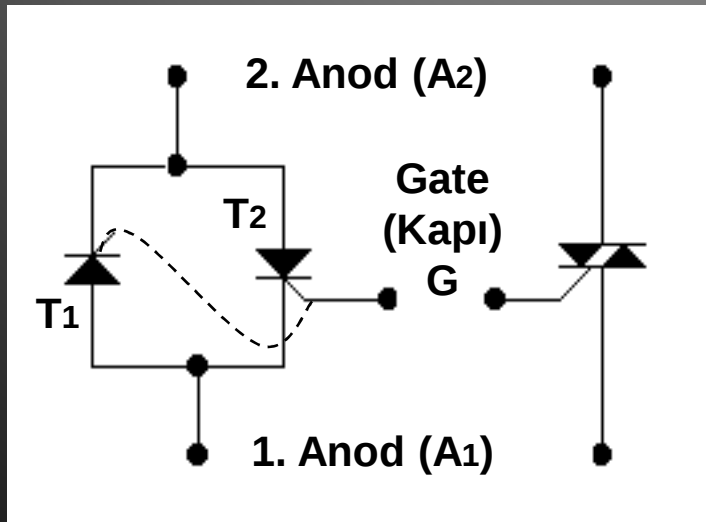
ÖDEV-2

2.1 - 380V-50Hz 3 fazlı şebekeden yararlanarak 512V-50A'lık bir kontrolsüz doğrultucu yapılmak istenmektedir. Bu doğrultucu için uygun bir **diyot** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Diyot yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

2.2 - 380V-50Hz 3 fazlı şebekeden yararlanarak 512V-100A'lık bir kontrollü doğrultucu yapılmak istenmektedir. Bu doğrultucu için uygun bir **tristör** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Tristör yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Çift Yönlü Tristör (Tiyak),
Temel Yapısı ve Çalışması;
- Çift yönlü tristörler (Triac-
Tiyak), aslında aşağıdaki
Şekil-2.31'de görüldüğü gibi
birbirine ters paralel bağlanmış
iki adet tristör gibi
düşünülebilmektedir.



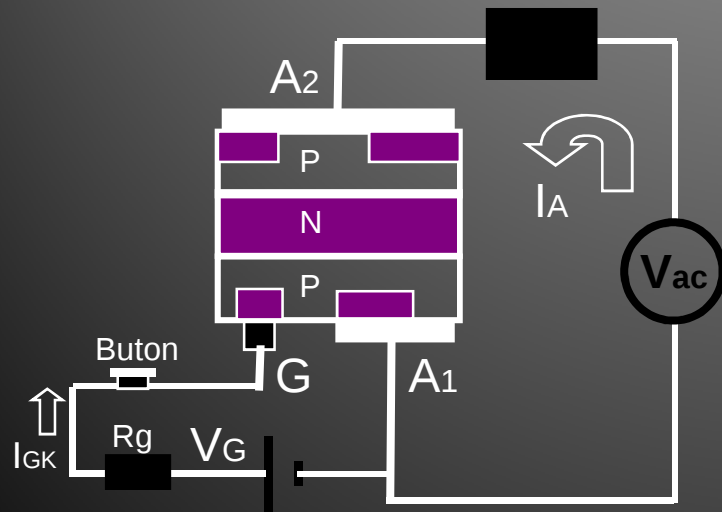
- Triyak, her alandaki endüstriyel elektronik uygulamalarında, AC gerilimin anahtarlama ve kontrol edilmesi amacıyla çok yoğun olarak kullanılan bir güç yarıiletken elemanıdır.
- Yapısından da anlaşılabileceği gibi tristör (SCR) ile aynı özellikleri göstermektedir. Tristörden tek farkı, her iki yönde de rahatlıkla iletme geçebilmesidir.
- Triyak, tıpkı SCR gibi sadece iletme geçmesi kontrol edilebilen bir anahtardır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın yalıtıma geçebilmesi için ise içinden geçmekte olan akımın sıfıra düşmesi veya düşürülmesi gerekmektedir.
- Triyak, iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi ara durumu yoktur.
- Triyak'ın, genel amaçlı tristörler (SCR) gibi en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır ki ideal çalışma frekansları 50-60Hz, max. frekansları ise 1kHz'dir.
- Triyaklar, çift yönlü olmaları nedeniyle, genel amaçlı tristörler gibi, çok yüksek akım ve gerilimlerde kullanılamamaktadır. Ancak 1200V-300A civarına kadar olanlar bulunmaktadır.
- Ayrıca triyakların iletim iç dirençleri de SCR'ler gibi çok düşük değildir. Bu nedenle çok yüksek akımlı uygulamalarda genellikle triyak yerine birbirine ters paralel bağlanmış olan SCR'ler tercih edilmektedir.
- Bu özellikleri ile triyaklar, şebeke geriliminde kontrollü anahtar ve şebeke değiştirici olarak çalışabilen çok kullanışlı yarıiletken elemanlardır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

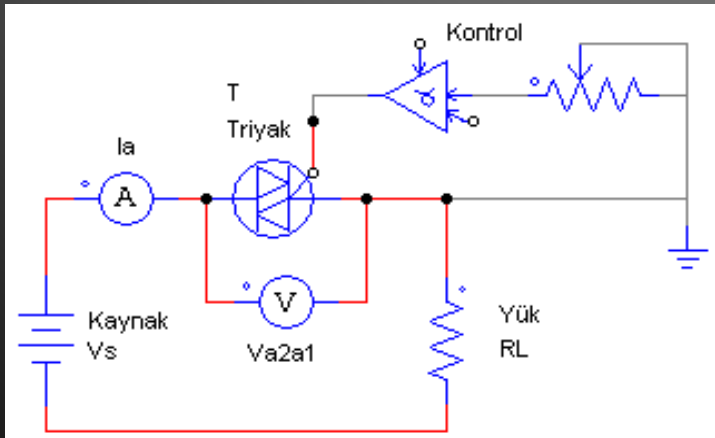
- Çift Yönlü Tristörün (Triyak) Çalıştırılması;
- Şekil-2.32'de triyak'ın çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada " V_{ac} " kaynağı, yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır. V_G ise tristörü uyarmada kullanılan kaynaktır.



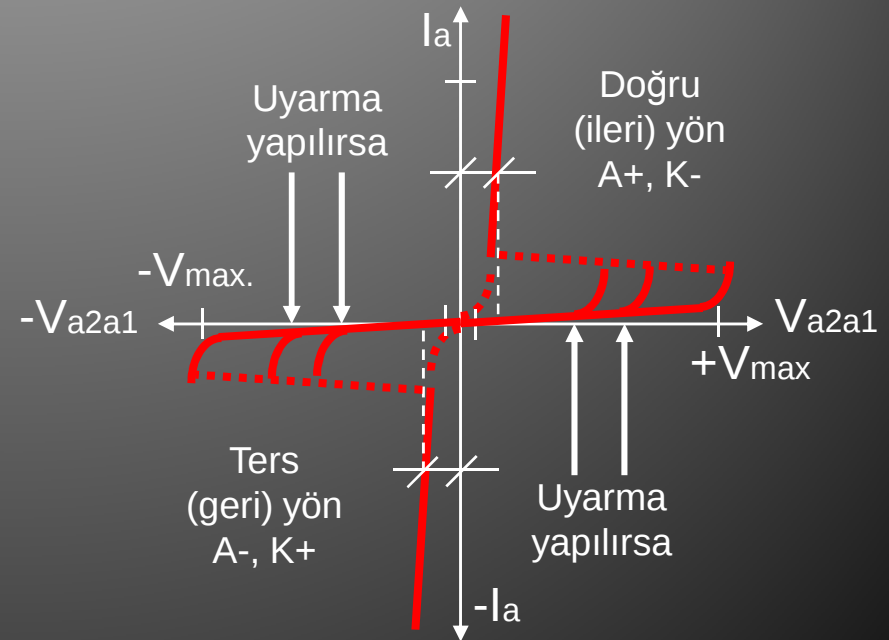
- Triyak'ın çalışmasını görebilmek için Şekil-2.32'de görülen bağlantı yapılır. Butona basılmadığı sürece triyak, doğru ve ters yönde blokaj (yalıtım) durumunda kalacaktır.
- Triyak'ı ilettime geçirebilmek için butona basıldığında triyak'ın G-A1 terminalleri arasından çok kısa bir süre için I_{GK} akımı dolaşır.
- Bu durumda G-K arasındaki P-N maddeleri iletken haline gelir ve A2-A1 arasında sadece tek P-N birleşimi kalacağı için triyak iletim "on" durumuna geçer ve yük üzerinden I_A akımı akar.
- Triyak ilettime geçtikten sonra alternans değişiminde susacağı için butona sürekli basmalıdır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.33'de triyak'ın temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile Triyak'ın doğru yön çalışması, devredeki " V_s " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.34'de ise triyak'ın temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim (I_a - V_{a1a2}) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.



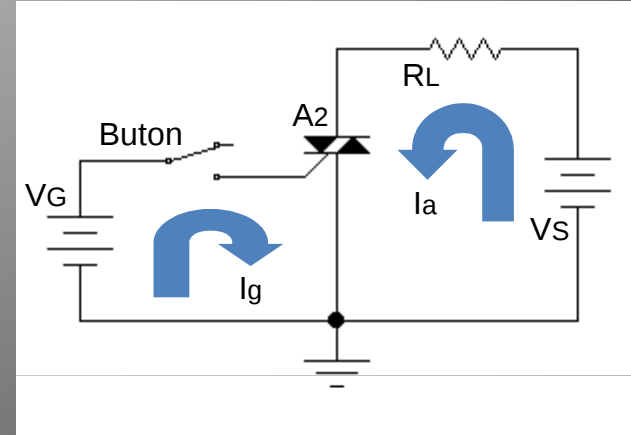
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, triyak ancak V_{max} gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. Triyak'ın her iki yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarılması gerekmektedir.
- Triyak'ın uyarılması G-A₁ terminalleri arasından yapılır.
- Ters yönde ise triyak yine V_{max} gerilim değerine kadar güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise ilettime geçecektir. Tabii ki bu şekilde ilettime geçme asla istenmez.
- Bu durumda, triyak'ın, doğru yönlü (A₂+, A₁-) gerilimde uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (A₂-, A₁+) gerilimde ise yine uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçen, hem doğru hem de ters yönlü gerilim altında kontrol edilebilen, bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- Triyak, bu özellikleriyle AC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
- Fakat, triyak da SCR gibi içinden geçen akım sıfıra düşmedikçe yalıtıma geçememektedir.

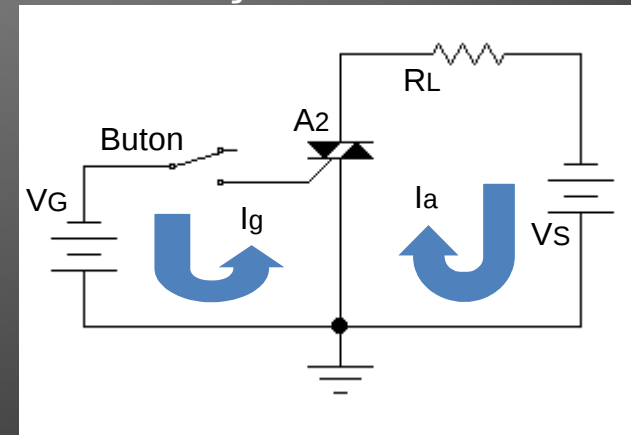
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın uyarılma yöntemleri;
- Triyak'ın G-A₁ arasından uyarılması sırasında 4 farklı durum bulunmaktadır.
- 1- A₂(+) A₁(-) olması durumunda, G(+) A₁(-).
- 2- A₂(-) A₁(+) olması durumunda, G(-) A₁(+).
- 3- A₂(+) A₁(-) olması durumunda, G(-) A₁(+).
- 4- A₂(-) A₁(+) olması durumunda, G(+) A₁(-) olması durumlarıdır.

- 1. ve 2. durumlar Şekil-2.35 ve Şekil-2.36'da gösterilmiştir.



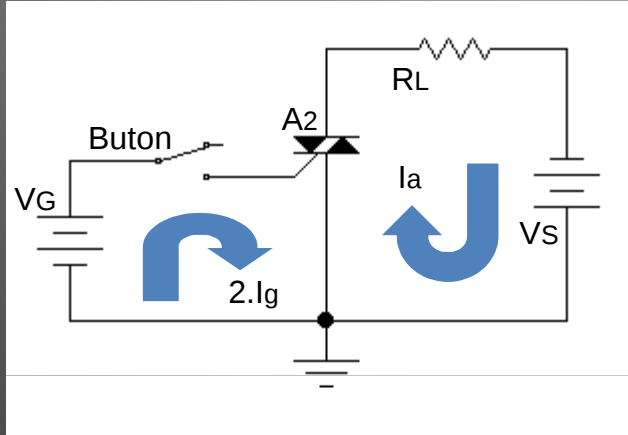
ŞEKİL-2.35



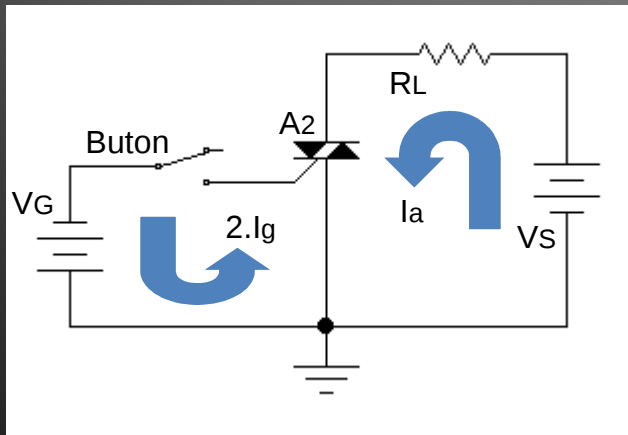
ŞEKİL-2.36

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 3. ve 4. durumlar ise Şekil-2.37 ve Şekil-2.38'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 2.37



ŞEKİL 2.38

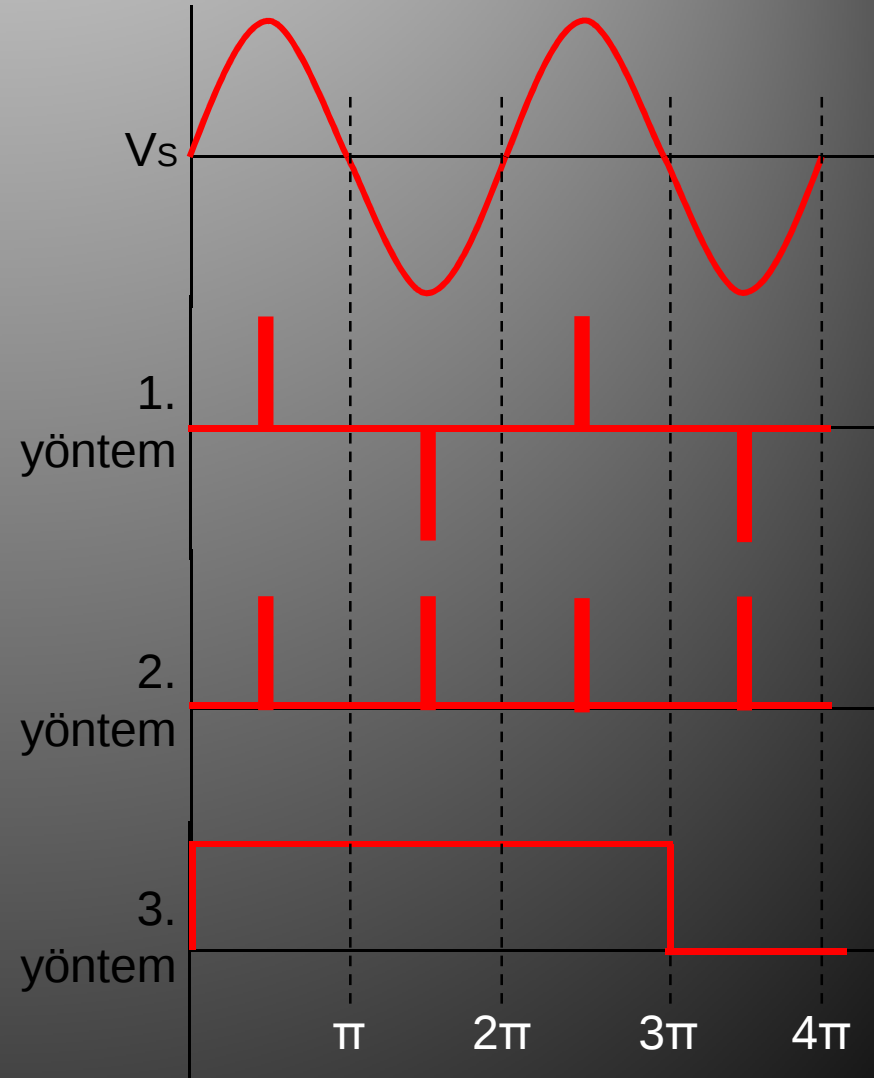
- Şekillerden görüldüğü gibi 1. ve 2. durumlarda triyakın gate (I_g) ve anod (I_a) akımları aynı yönlü olarak, 3. ve 4. durumlarda ise bu akımlar birbirlerine ters hareket etmektedir.
- Her durumda da triyak'ın uyarılması mümkün olmaktadır. Fakat, triyak 1. ve 2. durumlarda daha düşük uyarma akımıyla ve daha kolaylıkla uyarılabilirken, 3. ve 4. durumlarda ise daha yüksek uyarma akımıyla (yaklaşık 2 kat) uyarılabilmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bu durumda triyak'ın AC kaynakta çalıştırılırken uyarılabilmesi için farklı farklı uyarma yöntemi kullanılmasına imkan tanımaktadır.

Buna göre triyak'ın uyarılması Şekil-2.39'dan görüldüğü gibi,

- 1- Çift yönlü iğne pals kullanılarak uyarma,
 - 2- Tek yönlü iğne pals kullanılarak uyarma,
 - 3- Düşük frekanslı kare dalga kullanarak uyarma,
- olmak üzere 3 farklı şekilde yapılabilmektedir.

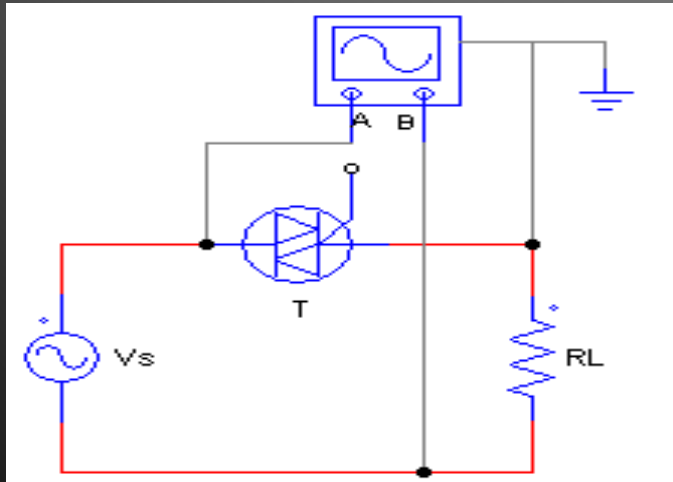


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

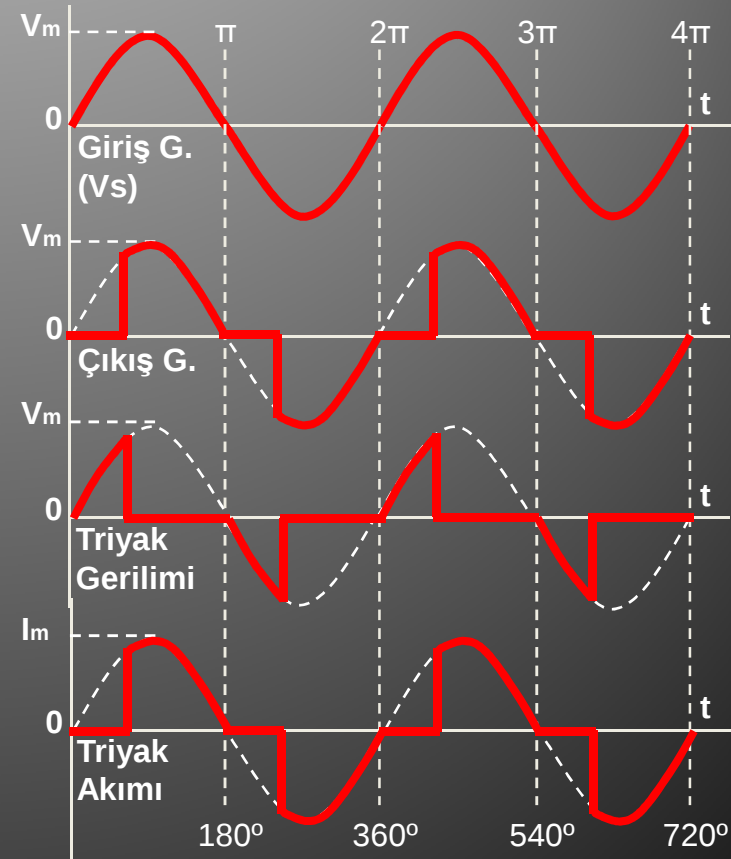
- Uygulamada, yukarıda belirtilen uyarma yöntemlerinin hepsi de triyak uyarmak için kullanılabilmesine rağmen, triyak'ın kullanıldığı yere ve yapacağı işe göre en uygun yöntem seçilerek kullanılmaktadır.
- Bu yöntemlerden birincisi, triyak uyarmak için, daha sonra ayrıntısıyla tanıtılacak, özel olarak üretilmiş olan “Diyak” isimli uyarma elemanı ile oluşturulmakta ve basit uygulamalarda kullanılmaktadır.
- İkinci uyarma yöntemi özel uyarma entegreleri veya analog-lojik devre elemanları yardımıyla oluşturulup profesyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.
- Üçüncü yöntem ise kare dalga üreteçleri veya mikroişlemci yardımıyla oluşturulmakta ve hem basit hem de profesyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.
- Bu uyarma sinyallerinin üretilmesi ve triyak'a uygulanması daha sonra ayrıntısıyla açıklanacaktır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın Çalışma Dalga Şekilleri;
- Yarıiletken güç anahtarlarının çalışma durumlarının görülmesi için aktif çalışma sırasındaki akım-gerilim dalga şekillerinin incelenmesi gerekmektedir.
- Triyak'ın doğru ve ters polarmada davranışlarını inceleyebilmek için Şekil-2.40'daki bağlantı yapılabilir.



- Şekil-2.41'de ise triyak devresinin AC kaynaktan çalışması sırasındaki dalga şekilleri görülmektedir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.41'den görüldüğü gibi 0-180° aralığında triyak istenirse uyarılarak iletme (on) geçirilebilir, çıkış gerilimi triyak iletme geçmesinden itibaren görünmeye başlar. Bu sırada triyak üzerindeki gerilim sıfır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), triyak üzerinden geçen akım ise kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- 180°-360° aralığında ise triyak istenirse uyarılarak iletme (on) geçirilebilir, çıkış gerilimi triyak iletme geçmesinden itibaren görünmeye başlar. Bu sırada triyak üzerindeki gerilim sıfır (iletim gerilim düşümü ihmal ediliyor), triyak üzerinden geçen akım ise kaynak veya yük akımı ile aynıdır.
- **Triyakların Seri Bağlanması;**
- Özellikle yüksek gerilim altında çalıştırılacak olan triyaklarda triyak, uyarılmadığında üzerine gelen çok yüksek doğru ve ters gerilimleri bloke etmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen triyak'ın çalışma gerilimi, uygulamada üzerine gelecek olan gerilimden en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut triyakların bu şartı sağlayamaması durumunda daha önce açıklanan kurallara uygun olarak seri bağlama yoluna gidilir ve istenilen çalışma gerilimine ulaşılabilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

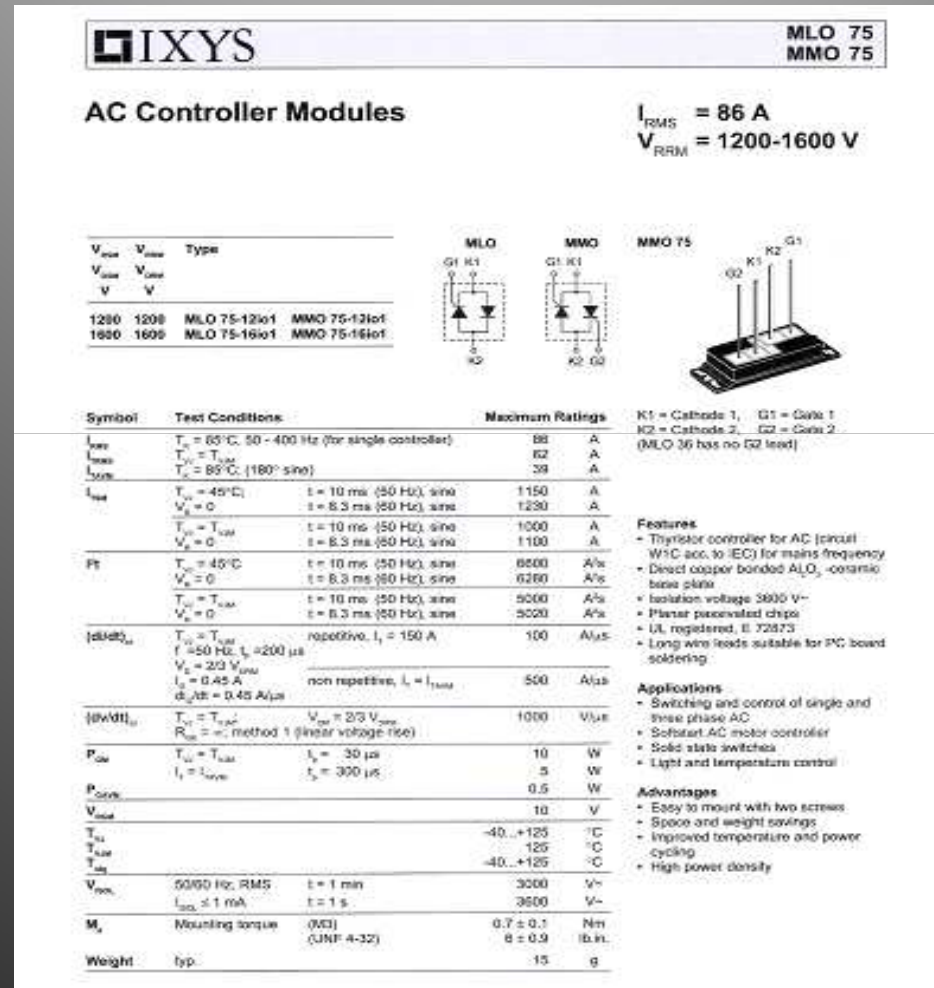
- Triyakların Paralel Bağlanması;
- Özellikle yüksek akım altında çalıştırılacak olan triyak'larda, triyak'ın üzerinden geçmesi gereken çok yüksek seviyeli akıma dayanabilmesi gerekir.
- Bu durumda üretici tarafında belirtilen triyak çalışma akımı, uygulamada üzerinden geçecek olan akımdan en az %30 daha fazla olması gerekmektedir ki sağlıklı bir çalışma sağlanabilsin.
- Uygulama sırasında mevcut triyakların bu şartı sağlayamaması durumunda daha önceden açıklandığı gibi paralel bağlama yoluna gidilir ve bu sayede istenilen çalışma akımına ulaşılabilir.
- Triyaklarda dv/dt ve di/dt korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- Triyak için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- dv/dt için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- di/dt için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Triyak'ın Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- Triyakların kontrol dışı olarak iletme geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
 - 1- Yüksek sıcaklık,
 - 2- Yüksek voltaj,
 - 3- Hızlı gerilim değişimi,
 - 4- Hızlı akım değişimidir.
- Triyakın bu durumlarda kontrol dışı olarak iletme geçmesini engellemek için genel amaçlı tristörde (SCR) açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.
- Triyak'ın Yalıtıma Geçirilmesi;
- Triyak, genel amaçlı tristör (SCR) gibi iletme geçmesi kontrol edilebilen fakat yalıtıma geçmesi kontrol edilemeyen bir yarıiletken güç anahtarıdır.
- Triyak'ın yalıtıma geçebilmesi için diyotlarda olduğu gibi ters polarma altına girmesi yeterli değildir. Triyak'ın yalıtıma geçebilmesinin tek şartı, A_2-A_1 arasından akmakta olan akımın çok kısa bir süre için "sıfır"a çekilmesidir. AC'de çalışma sırasında bu olay kendiliğinden gerçekleşir.

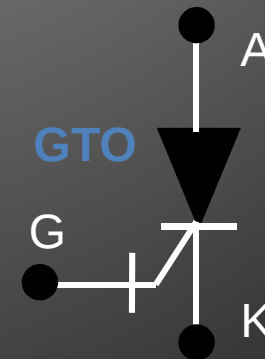
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir triyak'ın bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **Kapısından Tıkanabilen Tristör (GTO), Yapısı ve Çalışması;**
 - Bilindiği gibi genel amaçlı tristörler ve triyak'larda sadece iletme geçme işi kontrol terminalleri üzerinden kontrol edilebilmekte, yalıtıma geçmeleri ise kontrol terminalleri üzerinden kontrol edilememektedir.
 - Bu olay özellikle DC kaynakta çalışma sırasında bu çok kötü bir özellik ve eksiklik olarak karşımıza çıkmakta ve elemanı yük altında susturabilmek için başka işlemler gerekmektedir.
- İşte GTO bu eksikliği gidermek amacıyla yapılan çalışmalar sonrasında ortaya çıkan bir güç anahtarıdır. Şekil-2.42'de sembolü görülen GTO, gate (kapı) terminali ile katod terminali arasından, pozitif puls ile uyarıldığında iletme, negatif puls ile uyarıldığında ise yalıtıma geçmektedir.

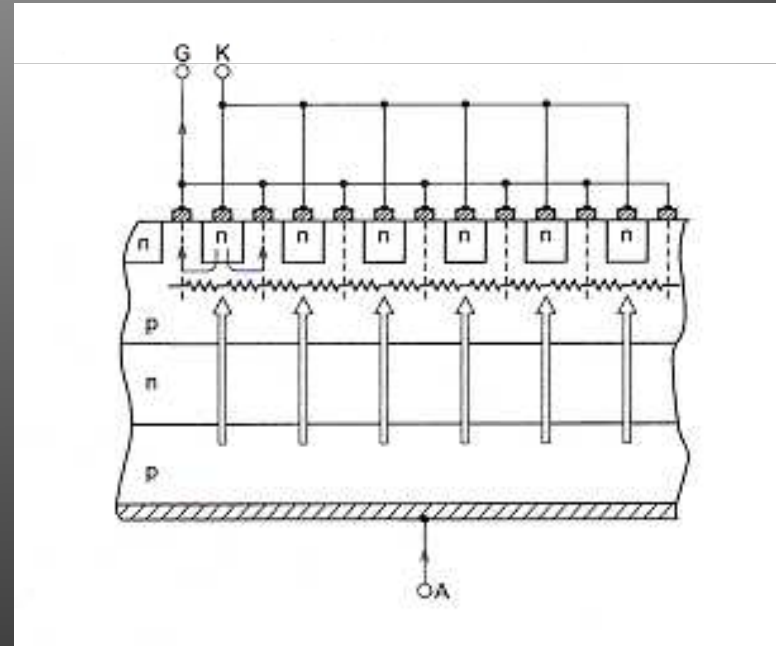


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- GTO'nun kontrollu olarak ilettime geçirilebilmesi için SCR ve triyak'ta olduğu gibi çok kısa süreli (1-2ms) bir pozitif pals uygulanması ve G'den K'ya doğru küçük bir uyarma akımının akıtılması yeterli olmaktadır.
- Yine GTO'nun kontrollu olarak yalıtıma geçirilebilmesi için ise çok kısa süreli fakat bu defa G-K arasına negatif bir palsin uygulanması ve K'dan G'ye doğru daha büyük negatif bir susturma akımının akıtılması gerekmektedir.
- Bu özellikleri nedeniyle kapısından tıkanabilen tristör(GTO), DC'de çalıştırılan bir SCR'ye göre aşağıdaki avantajlara sahip olunmaktadır.
 - 1- Tristör susturma düzeneklerinden kurtulma,
 - 2- Daha temiz, küçük, ucuz düzenekler elde edilmesi,
 - 3- Hızlı susturulabildiği için yüksek frekansta çalışma,
 - 4- Devre veriminin artmasıdır.
- Bu durumda özellikle yüksek güçlü DC devrelerde uygundur.

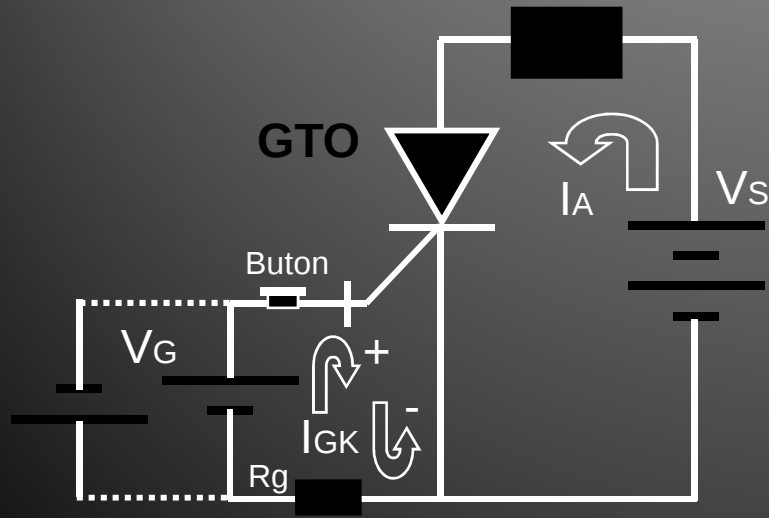
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- 1200V-500A seviyelerine kadar versiyonları olan GTO'lar özellikle çok yüksek güçlü DC-DC dönüştürücülerde ve yüksek güçlü düşük frekanslı invertör uygulamalarında tercih edilmektedirler.
 - Özellikle metro, elektrikli tren gibi toplu taşıma araçlarında DC motor kullanılması durumunda GTO'lar çok yüksek güçlü olan bu motorların kontrolunda vazgeçilmez hale gelmektedir.
 - Örnek olarak, 750Vdc ile çalışan İzmir metrosunun araçlarıdır.
- Aşağıdaki şekilde bir GTO'nun yarıiletken katman yapısı görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi tek gate (kapı) terminali olduğu halde açma ve kapatma işi farklı tabakalardan yapılmaktadır.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

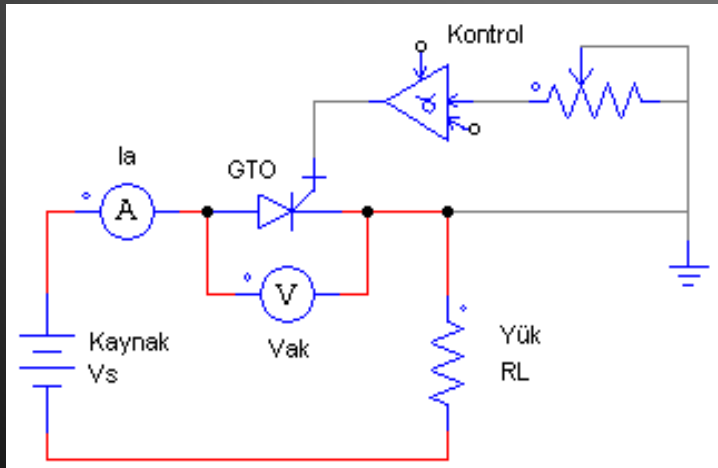
- **Kapısından Tıkanabilen Tristörün Çalıştırılması;**
- Aşağıdaki Şekil-2-44'de GTO'nun çalıştırılması görülmektedir. Burada " V_s " kaynağı, yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır. V_G ise GTO'yu uyarmada kullanılan kaynaktır.



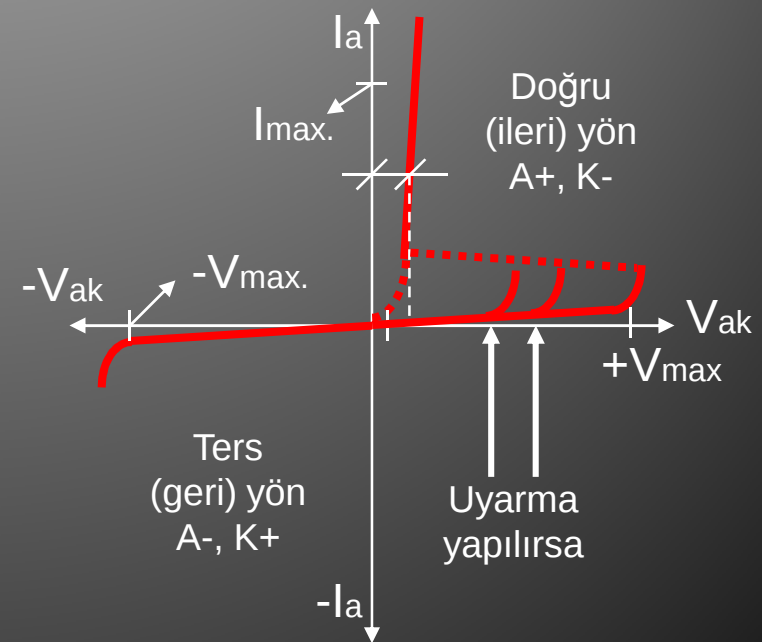
- Şekil-2.44'den görüldüğü gibi GTO pozitif akımla (gate'den katod'a) veya negatif akımla (katod'dan gate'e) uyarılabilmekte fakat yük akımı olarak (I_A) sadece pozitif yönde (anod'dan katod'a doğru) akabilmektedir.
- GTO iletme geçirilmek istendiğinde çok kısa bir süre için butona basılarak G-K arasından düz (pozitif) bir akım akması sağlanır.
- GTO yalıtıma geçirilmek istendiğinde ise G-K arasından ters (negatif) akım akıtılır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- GTO'nun Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.45'de GTO'nun temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Şekil-2.45'de verilen bağlantı ile GTO'nun doğru yön çalışması, devredeki " V_s " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.46'da ise GTO'nun temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim (I_a - V_{ak}) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

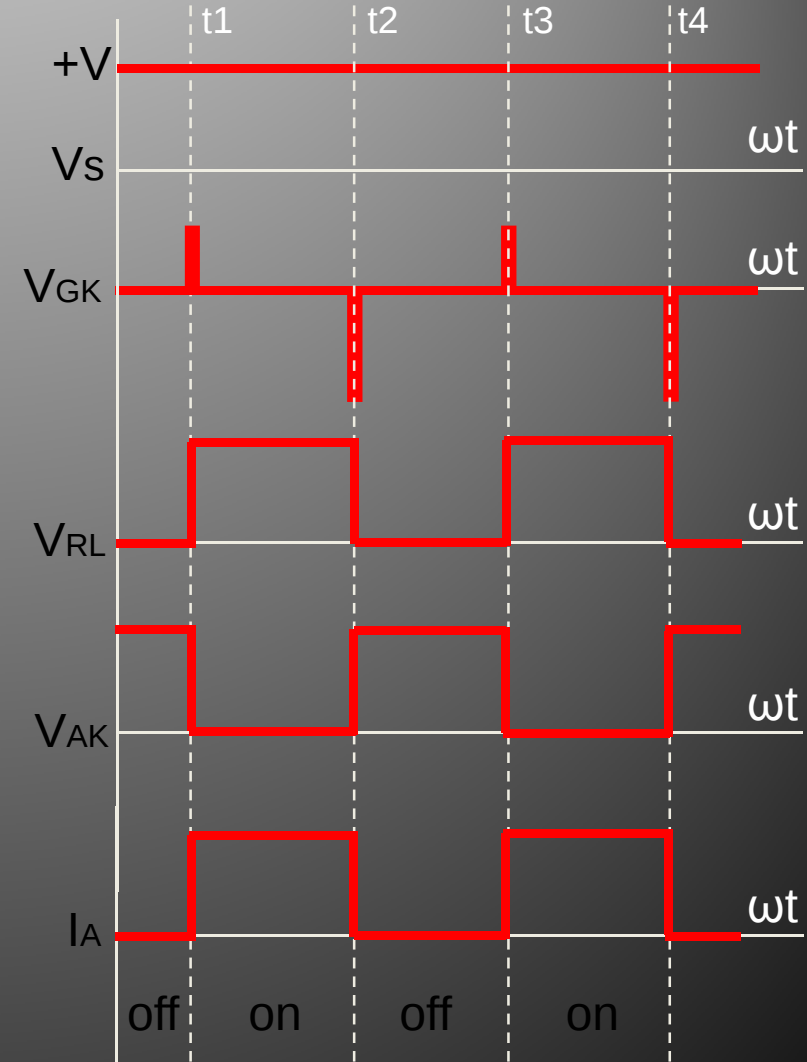
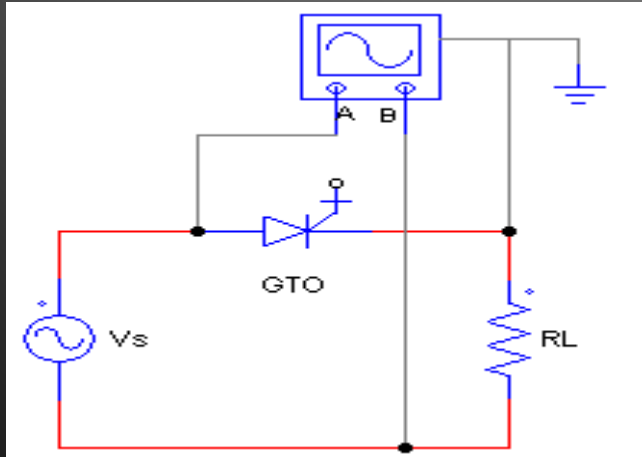


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, GTO ancak V_{max} gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. GTO'nun doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için pozitif akımla, yalıtıma geçirilebilmesi içinse negatif akımla uyarılması gerekmektedir.
- Ters yönde ise GTO yine V_{max} gerilim değerine kadar güvenle yalıtımda kalacak (blokaj yapacak), bu değer aşılsa ise ilettime geçecektir. Tabii ki bu şekilde ilettime geçme asla istenmez.
- Bu durumda GTO'nun, doğru yönlü (A+, K-) gerilimde uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçen, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (A-, K+) gerilimde ise yine uyarılmaz ise blokaj yapan, uyarıldığı taktirde ise bozulma ihtimali yüksek olan tek yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- GTO, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için çok uygun bir anahtar durumundadır.
- GTO'nun bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.47'de GTO'nun DC çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.48'de ise GTO'nun DC kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

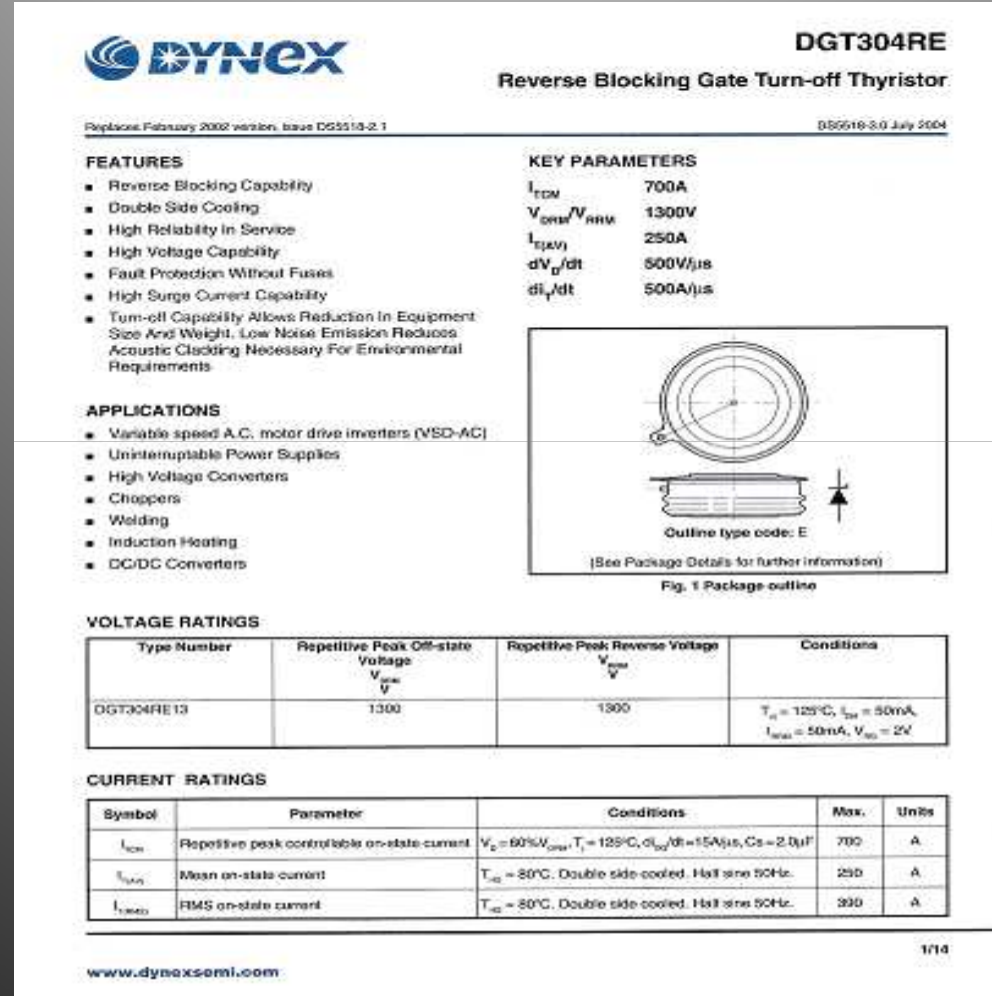
- Şekil-2.48'den görüldüğü gibi 0-t₁ aralığında herhangi bir uyarı verilmediği için GTO yalıtımda bulunmaktadır.
 - t₁ anında GTO'nun G-K arasına pozitif bir uyarma (tetikleme) palsi uygulandığında eleman hemen ilettime geçmektedir.
 - t₁-t₂ aralığında iletimde kalan GTO'ya t₂ anında daha büyük ve negatif bir tetikleme palsi uygulandığında eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
 - t₃ anında eleman tekrar pozitif pals ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
 - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi G-K arasından rahatlıkla kontrol edilebilir ve bu işlem istenilen sıklıkta yapılır.
- **GTO'ların Seri ve Paralel Bağlanması;**
 - GTO'lar özellikle DC'de yüksek akım ve gerilimlerde çalışmak için imal edilmiş yarıiletken güç anahtarları olduğu için pek fazla seri ve paralel bağlamaya ihtiyaç olmaz.
 - Buna rağmen çok daha yüksek akım ve gerilimlerde çalışılması gerektiğinde tıpkı tristörlerde olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanır.
 - Tabii ki kontrol devresi de tüm elemanlar için yapılandırılır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- GTO'larda dv/dt ve di/dt korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- GTO için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- dv/dt için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- di/dt için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- GTO'nun Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- GTO'nun kontrol dışı olarak iletme geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
 - 1) Yüksek sıcaklık,
 - 2) Yüksek voltaj,
 - 3) Hızlı gerilim değişimi,
 - 4) Hızlı akım değişimi.
- GTO'nun bu durumlarda kontrol dışı olarak iletme geçmesini engellemek için diyotlarda ve genel amaçlı tristörde (SCR) açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir GTO'nun bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



ÖDEV-3

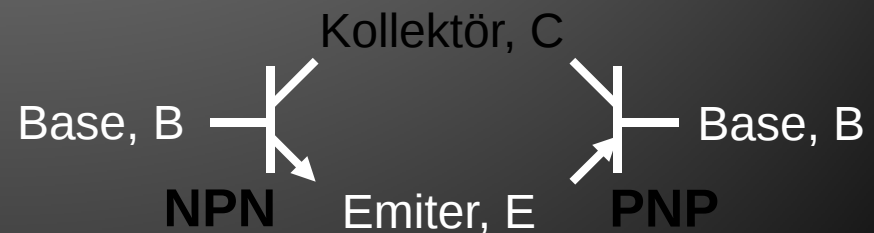
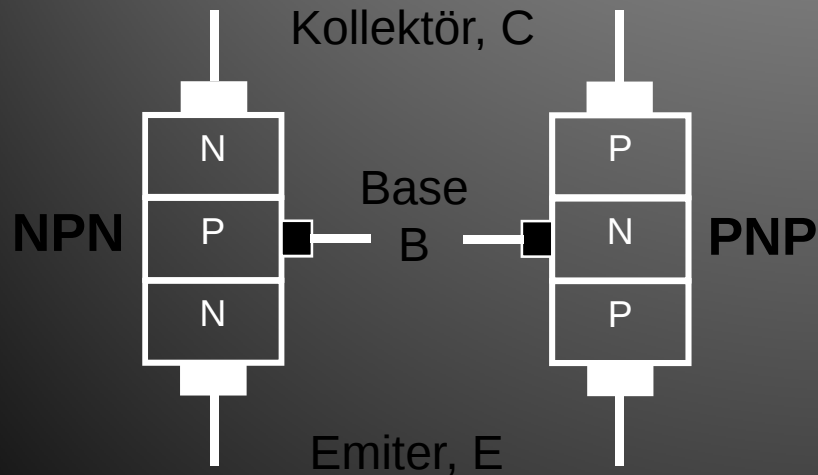
- 3.1) 380V-50Hz 3 fazlı şebekede çalışacak 380V-50A'lık bir AC kıyıcı yapılmak istenmektedir. Bu kıyıcı için uygun bir **Triyak** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Triyak yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.
- 3.2) 750Vdc şebekede çalışacak 100A'lık bir DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) yapılmak istenmektedir. Bu devre için uygun bir **GTO** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. GTO yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- **GÜÇ TRANSİSTÖRLERİ:**
- Güç transistörleri, kontrollu güç anahtarlarıdır. Üç temel yapıda bulunan bu transistörler;
- 1- Çift polariteli, genel amaçlı transistör (BJT),
- 2- Metal oksitli, alan etkili transistörler (MOSFET),
- 3- Yalıtılmış kapılı transistörler (IGBT),
- Bu türlerin kendilerine ait özellikleri ve buna bağlı olarak da kullanım alanları bulunmaktadır. Şimdi bu türleri ayrıntısıyla inceleyelim.
- **Çift Polariteli Transistör (BJT), Temel Yapısı ve Çalışması:**
- Elektronik alanında ilk geliştirilen ve çok kullanılan elemanlardan birisi olan BJT, bu güne kadar pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Bu alanlardan bazıları;
- Yükselteç olarak,
- Sinyal üretici (osilatör) olarak,
- Alıcı-verici olarak,
- Mantık işlemcisi olarak,
- Anahtarlama elemanı vb. olarak.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bu kadar fazla iş için kullanılan BJT, güç elektroniği devrelerinde ve endüstriyel elektroniğe de “anahtar” olarak kullanılmaktadır.
 - Şekil-2.51’de temel transistör (BJT)’nin yarıiletken yapısı ve sembolleri görülmektedir.
- Görüldüğü ve önceden de bilindiği gibi yarıiletken katmanların sıralanışına göre NPN ve PNP olmak üzere iki tür transistör (BJT) bulunmaktadır.
 - Transistör (BJT), şu ana kadar tanıtılan elemanların aksine, sadece “on” ve “off” olmak üzere iki durumu olan bir yarıiletken anahtar değildir.
 - BJT’nin on ve off arasında bir de amplifikasyon (yükseltme) durumu (bölgesi) bulunmaktadır.

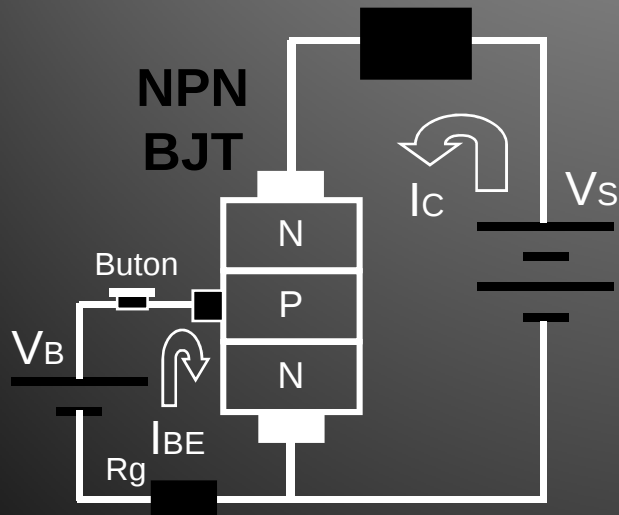


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- BJT' bu sayede çok farklı uygulamalarda kullanılabilir.
 - Fakat güç elektroniği uygulamalarında transistörün (BJT) bir anahtar gibi çalışması ve sadece “on” ve “off” durumlarında olması istenmektedir.
 - Bu nedenle güç elektroniğinde transistörün (BJT) kullanılması sırasında “anahtar” olarak çalışacak şekilde kontrol edilir.
 - Ayrıca güç elektroniği uygulamalarında daha çok NPN transistör tercih edilir.
- Güç elektroniği uygulamalarında daha çok DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) ve DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devrelerinde tercih edilen transistör (BJT), çok düşük frekanslardan (1-2Hz), yüksek frekanslara (20-30kHz) kadar kontrollü anahtar olarak kullanılabilir.
 - BJT, tıpkı tristör, triyak ve GTO gibi akım kontrollü bir yarıiletken anahtardır. Farkı ise uyarıldığı sürece iletimde olması uyarı kesildiğinde ise yalıtıma geçmesidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

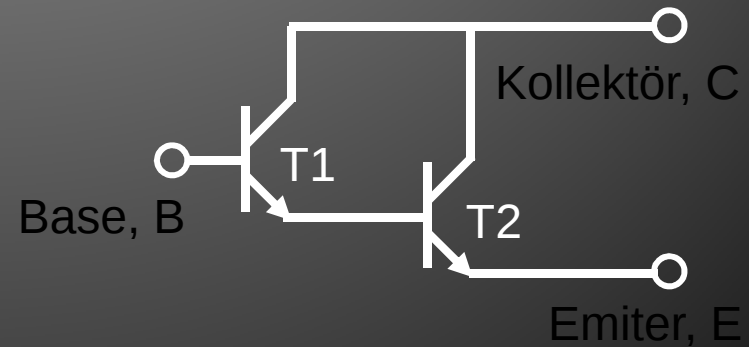
- Çift Polariteli Transistörün (BJT) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.52'de çift polariteli transistörün çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada V_s kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır. V_B ise transistörü uyarmada kullanılan kaynaktır.



- Şekil-2.52'den görüldüğü gibi, uyarma butonuna basılmadığı sürece BJT, kollektörü ile emiteri arasına gelen doğru yönlü gerilime blokaj yapacak ve yalıtımda kalacaktır.
- BJT iletme geçirilmek istendiğinde ise uyarma butonuna basılarak beyz (base)'den emitere doğru bir uyarma akımı (I_{BE}) akması sağlanır ve bu sayede BJT iletme geçerek kollektörden emitere doğru yük akımını (I_C) akıtmaya başlar. I_{BE} akımı kesildiğinde BJT susar.

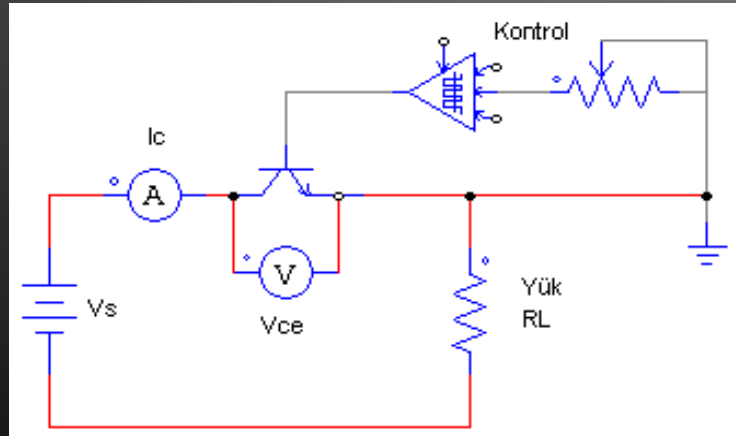
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Yalnız burada çok önemli bir ayrıntı vardır. BJT'nin sadece “on” ve “off” durumları olmadığı ve ara durumlarda da yarı geçirgen olarak çalışabildiği için, güç elektroniği uygulamalarında BJT'yi uyuracak olan akımın (I_{BE}), elemanı tam olarak ilettime geçirebilecek akım seviyesinde olması gerekmektedir.
- BJT'yi tam ilettime geçirecek olan uyurma akımı (I_{BE}) seviyesi, üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında ayrıntılı olarak verilmektedir.
- Güç elektroniği uygulamalarında transistör tek olarak kullanılabildiği gibi, yüksek akım seviyelerine çıkabilmek için genellikle üretici tarafından veya kullanıcı tarafından aşağıdaki Şekil-2.53'de görüldüğü gibi “darlington” bağlanarak kullanılmaktadır.

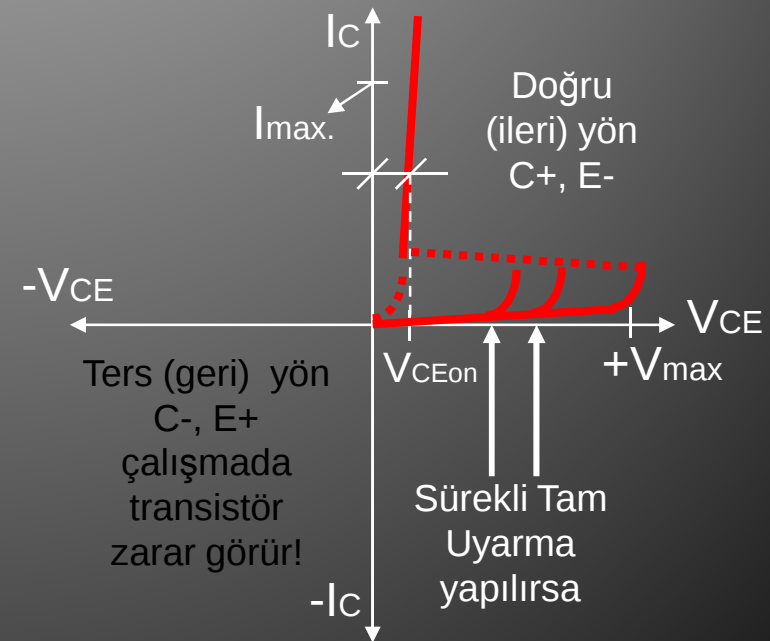


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- BJT'nin Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.54'de BJT'nin temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Şekil-2.54'deki bağlantı şekli ile BJT'nin doğru yön çalışması, devredeki " V_s " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.55'de BJT'nin temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim (I_c - V_{CE}) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) farklı bir şekilde görülmektedir.

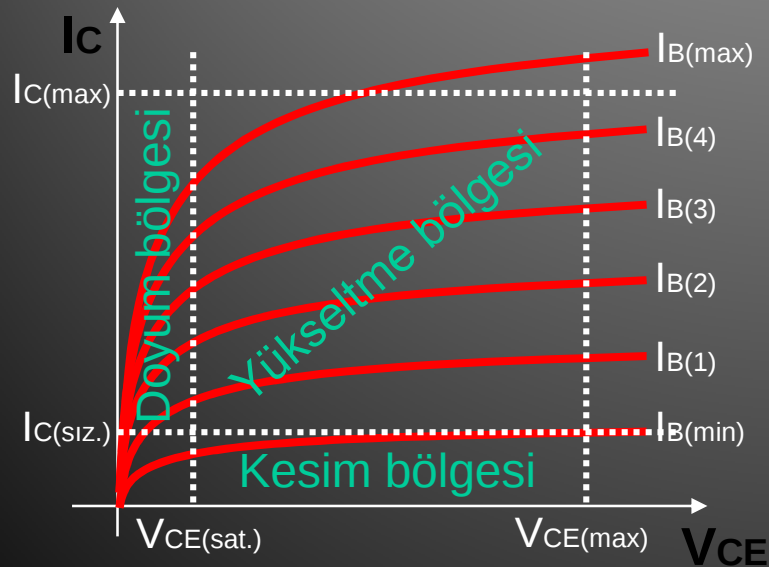


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra ilettime geçerken, BJT ancak V_{max} gerilimine ulaşıldığında ilettime geçer fakat bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. BJT'nin doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarı verilmesi, yalıtıma geçirilebilmesi içinse uyarının çekilmesi gerekmektedir.
- Ters yönde ise BJT asla çalışmaz, yani BJT'nin ters gerilim blokaj kabiliyeti yoktur.
- Bu durumda BJT'nin, doğru yönlü (C+, E-) gerilimde, uyarılmaz ise blokaj yapan, **tam uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen**, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (C-, E+) gerilimde ise asla çalışamayan, çalıştırıldığı takdirde bozulan, tek (+) yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- BJT, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
- BJT'nin bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

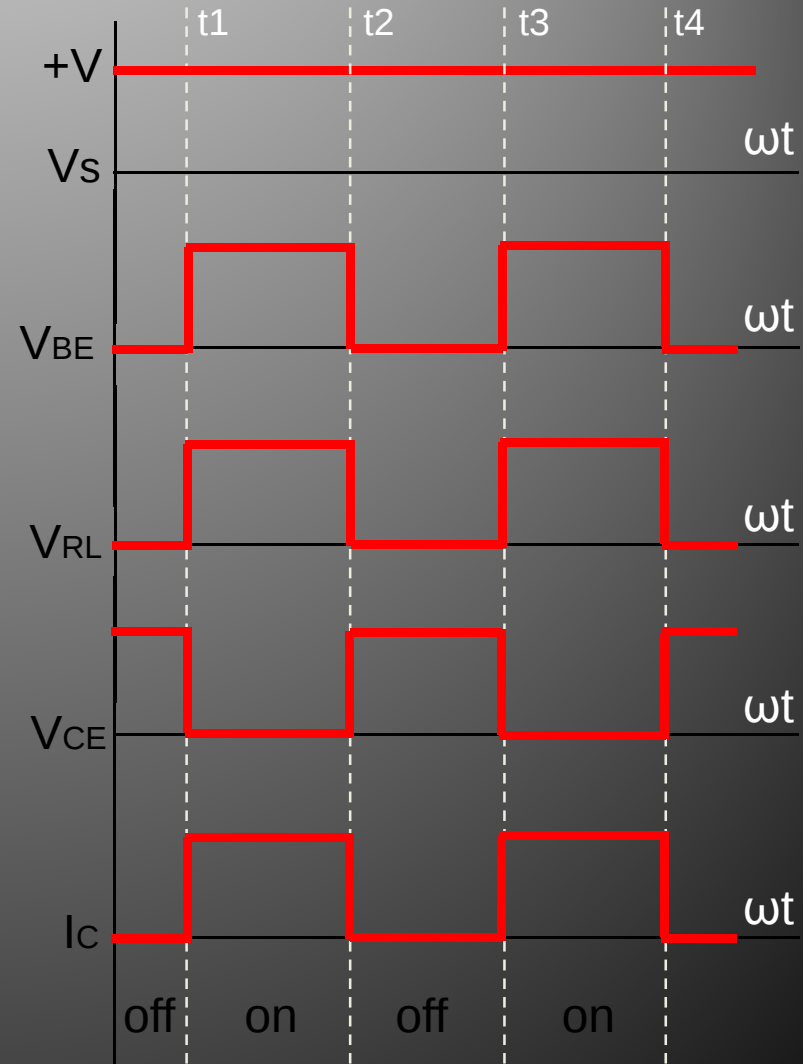
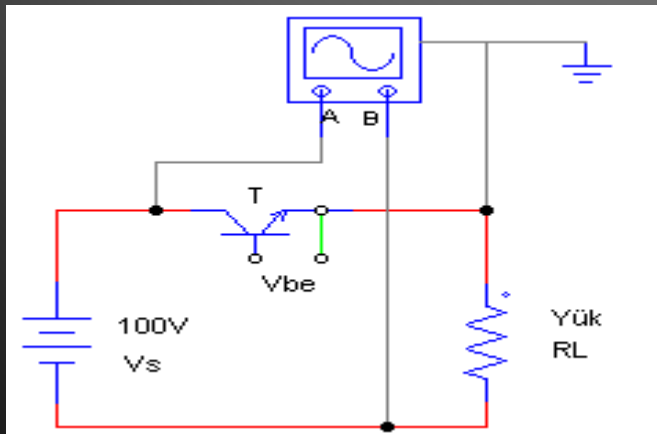
- BJT'lerde elemanın hangi durumlarda tam iletim veya tam yalıtım, hangi durumlarda da amplifikasyon (yükseltme) modunda olduğunu gösteren çok önemli bir karakteristik eğri daha vardır, bu eğri aşağıda Şekil-2.56'da görülmektedir.



- Şekil-2.56'dan görüldüğü gibi BJT'nin kollektör akımının (I_C) miktarı, tamamen B-E arasından akıtılan akımın (I_B) değerine bağlıdır.
- Bu bağlantı üretici tarafından bir parametreyle (β) verilmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir;
- Örnek, $\beta = 150$ ($\beta = I_C / I_B$)
- $I_C = \beta \cdot I_B$ veya $I_B = I_C / \beta$
- Görüldüğü gibi kollektör akımı beyz akımının " β " katıdır.
- Anahtarlama uygulamalarında beyz akımı (I_B), ya "max." yada "0" seçilerek kontrol yapılır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.57'de BJT'nin DC'de çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.58'de ise BJT'nin dc kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.
- Zaten BJT ac kaynakta asla çalıştırılmaz çünkü ters gerilimi bloke edemez ve yanar.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

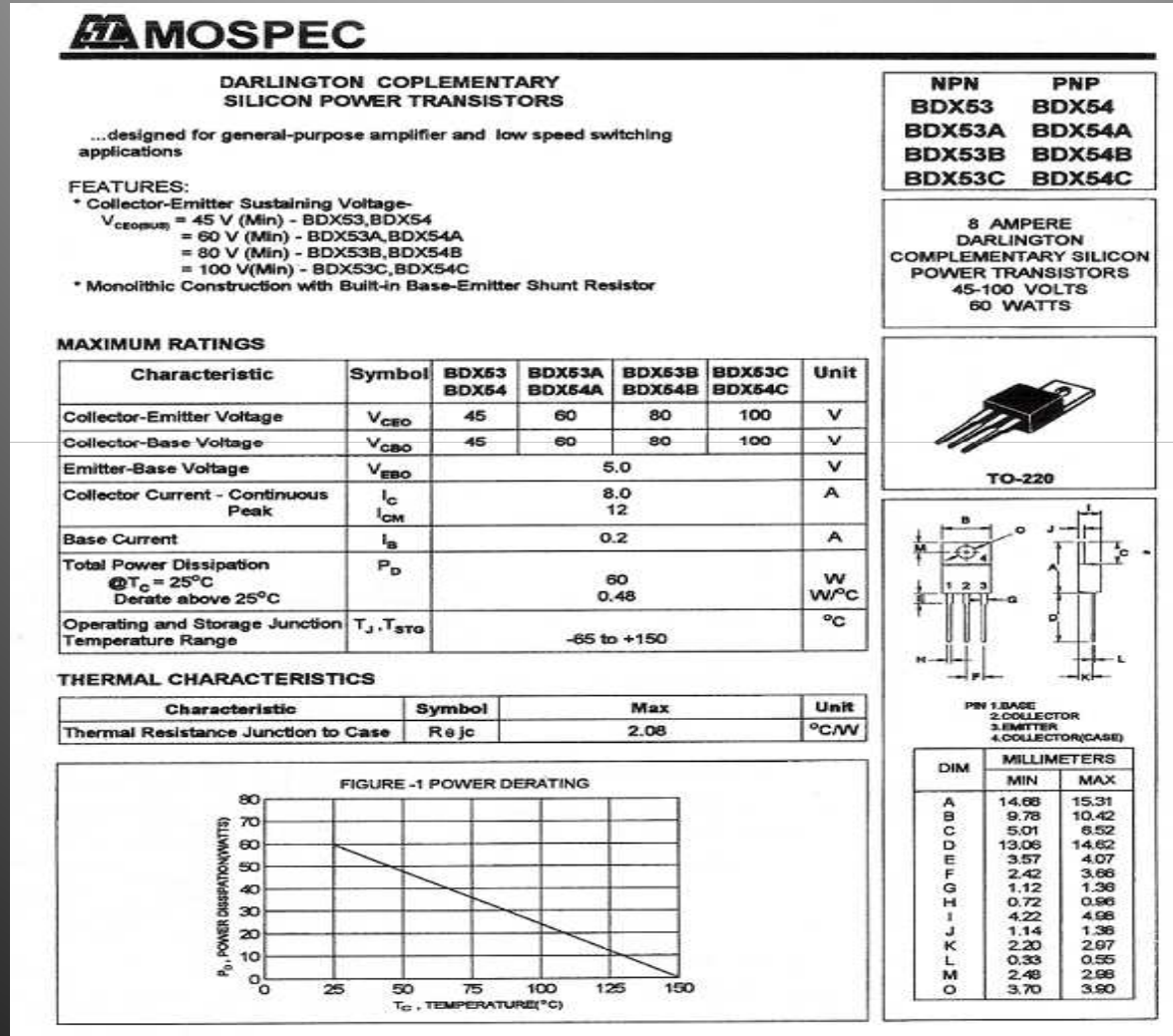
- Şekil-2.58'den görüldüğü gibi 0-t1 aralığında BJT yalıtımda bulunmaktadır. t1 anında BJT'nin B-E arasına pozitif bir uyarma gerilimi uygulandığında I_B akarak eleman hemen ilettime geçmektedir.
 - t1-t2 aralığında iletimde kalan BJT'nin t2 anında uyarma gerilimi dolayısıyla da I_B akımı kesildiğinde, eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
 - t3 anında eleman tekrar pozitif gerilim ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
 - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi B-E arasından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.
- BJT'lerin Seri ve Paralel Bağlanması;
 - BJT'ler, sadece DC'de çalışabilen yarıiletken elemanlar olduğu için daha çok dc-dc dönüştürücü ve invertörlerde eskiden yoğun olarak kullanılmak idi.
 - Günümüzde pek fazla kullanılmamasına rağmen yüksek akım ve gerilimlerde çalışılması gerektiğinde **darlington bağlantı yapılır** veya diğer elemanlarda olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanabilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- BJT'lerde dv/dt ve di/dt korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- BJT için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- dv/dt için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- di/dt için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- BJT'nin Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- BJT'nin kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar yine;
 - 1) Yüksek sıcaklık,
 - 2) Yüksek voltaj,
 - 3) Hızlı gerilim değişimi,
 - 4) Hızlı akım değişimi.
- BJT'nin bu durumlarda kontrol dışı olarak ilettime geçmesini engellemek için diyotlarda ve diğer güç elemanlarında ayrıntısıyla açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir BJT'nin bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

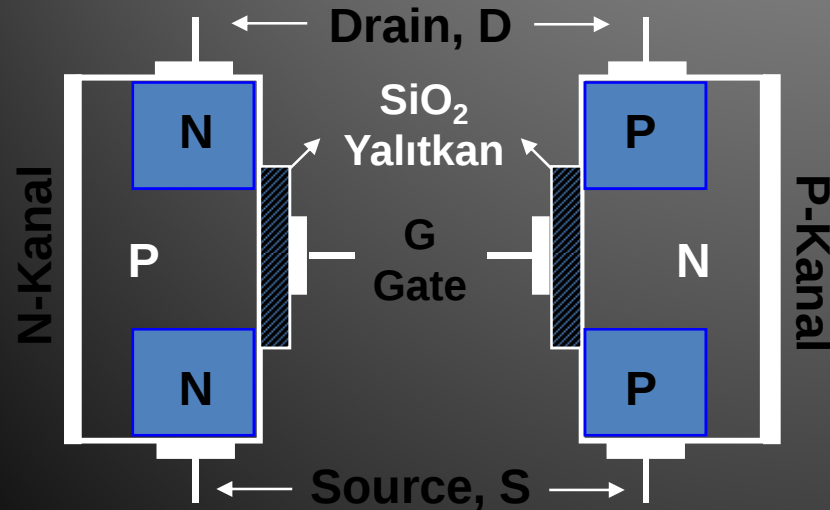


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

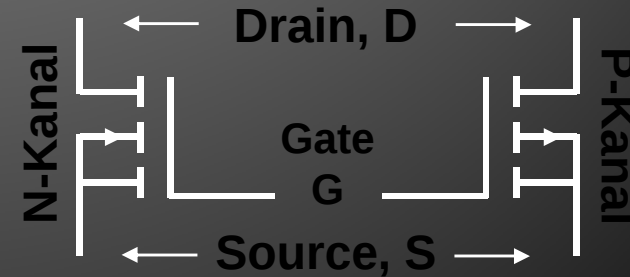
- Metal Oksitli Alan Etkili Transistör (Mosfet) Temel Yapısı ve Çalışması;
- Elektronik alanında çok kullanılan elemanlardan birisi olan Mosfet, bu güne kadar pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Bu alanlar;
 - Yükselteç olarak,
 - Sinyal üretici (osilatör) olarak,
 - Regülatör olarak,
 - Alıcı-verici olarak,
 - Mantık işlemcisi olarak,
 - Anahtarlama elemanı olarak.
- Mosfet'in temeli alan etkili transistöre (FET) dayanmaktadır. Alan etkili transistörler analog elektroniğin temel elemanlarından birisi olup özellikle yükseltme ve osilasyon üretme işlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Mosfet'ler FET'in bir ileri versiyonu olup, transistör gibi kontrol edilebilme özelliğine sahip elemanlardır.
- Mosfet'ler D ve E-Mosfet olarak ikiye ayrılmaktadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Bunlardan arttırmalı Mosfet olarak bilinen E-Mosfet'ler güç elektroniği devrelerinde yarı iletken “anahtar” olarak kullanılmaktadır.
- Aşağıdaki Şekil-2.59'da E-Mosfet'in yarıiletken yapısı ve sembolleri görülmektedir.



- Şekilden görüldüğü gibi yarıiletken katmanların sıralanışına göre N-Kanal ve P-Kanal olmak üzere iki tür E-Mosfet bulunmaktadır.
- E-Mosfet, tıpkı transistör (BJT) gibi, sadece “on” ve “off” olmak üzere iki durumu olmayan, ara durumlara da sahip olan bir yarıiletken anahtardır.
- E-Mosfet'in on ve off arasında bir de amplifikasyon (yükseltme) durumu (bölgesi) bulunmaktadır.

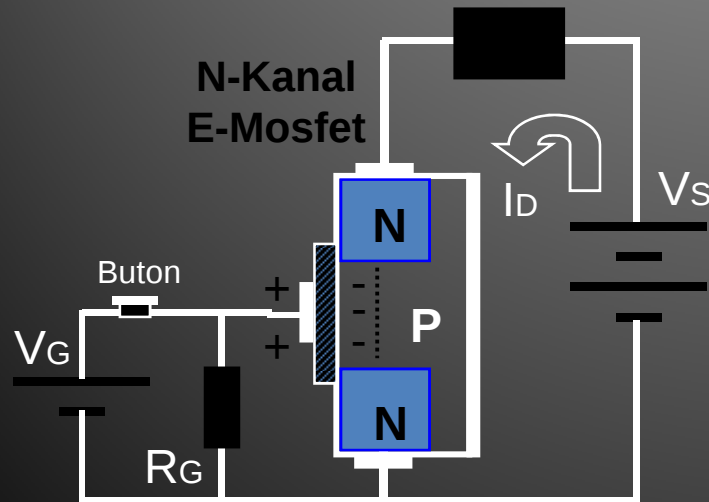


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- E-Mosfet, bu sayede çok farklı uygulamalarda kullanılabilmektedir.
 - Fakat güç elektroniği uygulamalarında E-Mosfet'in bir anahtar gibi çalışması ve sadece "on" ve "off" durumlarında olması istenmektedir.
 - Bu nedenle güç elektroniğinde E-Mosfet'in kullanılması sırasında "anahtar" olarak çalışacak şekilde kontrol edilir.
 - Ayrıca güç elektroniği uygulamalarında daha çok N-Kanal E-Mosfet tercih edilir.
- Güç elektroniği uygulamalarında daha çok DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) ve DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devrelerinde tercih edilen E-Mosfet'ler, çok düşük frekanslardan (1-2Hz), yüksek frekanslara (80-100kHz) kadar kontrollü anahtar olarak kullanılabilir.
 - E-Mosfet, tıpkı MCT gibi gerilim kontrollü bir yarıiletken anahtardır. Farkı ise uyarıldığı sürece iletimde olması uyarı kesildiğinde ise yalıtıma geçmesidir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Metal Oksitli Fet Transistörün (E-Mosfet) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.60'da N-kanal E-Mosfet'in çalıştırılması yarıiletken yapı üzerinde görülmektedir. Burada V_S kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır. V_G ise transistörü uyarda kullanılan kaynaktır.



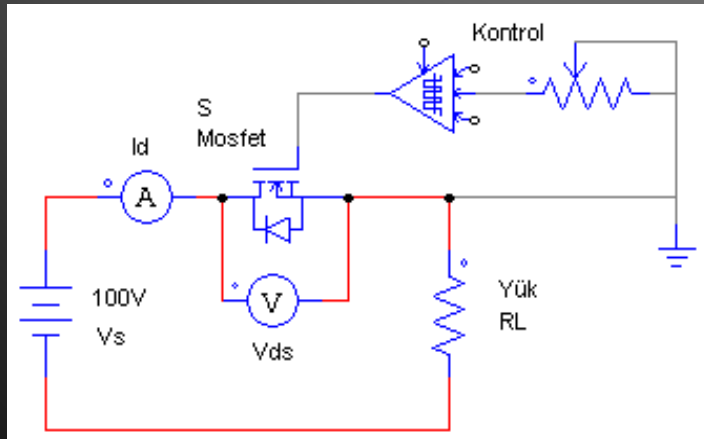
- Şekil-2.60'dan görüldüğü gibi, uyarma butonuna basılmadığı sürece E-Mosfet, Drain ile Source arasına gelen doğru yönlü gerilime blokaj yapacak ve yalıtımda kalacaktır.
- E-Mosfet iletme geçirilmek istendiğinde ise uyarma butonuna basılarak Gate (kapı) ile Source arasında bir uyarma geriliminin oluşması sağlanır ve bu sayede E-Mosfet iletme geçerek Drain'den Source'e doğru yük akımını (I_D) akıtmaya başlar. V_G s gerilimi kesildiğinde E-Mosfet susar.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

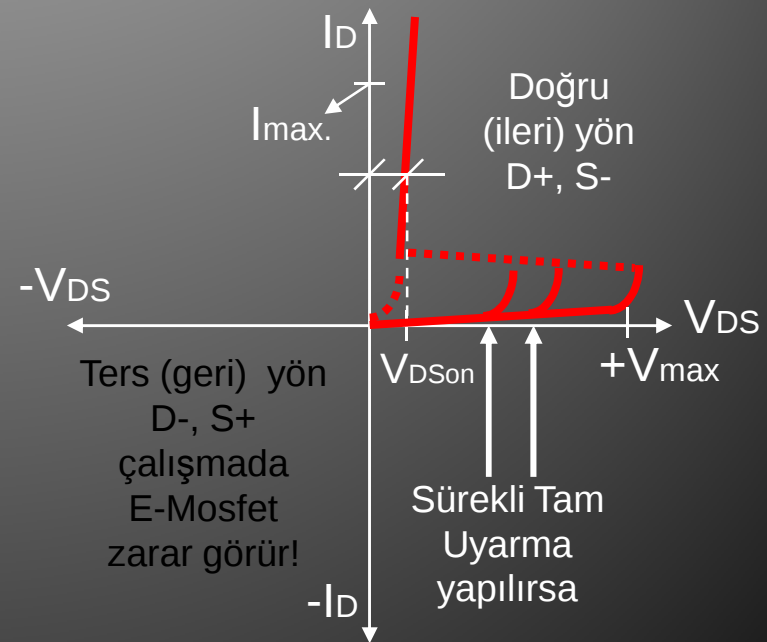
- Yalnız burada çok önemli bir ayrıntı vardır. E-Mosfet'in sadece "on" ve "off" durumları olmadığı ve ara durumlarda da yarı geçirgen olarak çalışabildiği için, güç uygulamalarında E-Mosfet'i uyarmak olan gerilimin (V_{GS}), elemanı tam olarak ilettime geçirebilecek gerilimin seviyesinde olması gerekmektedir.
- E-Mosfet'i tam ilettime geçirecek olan uyarma gerilimi (V_{GS}) seviyesi, üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında verilmektedir.
- Buraya kadar açıklananlardan yola çıkarak E-Mosfet ile transistörün (BJT) aynı mantıkla çalıştıkları yani uyarıldığı sürece iletimde oldukları, uyarı kesildiğinde ise başka bir işleme gerek kalmaksızın yalıtıma geçtikleri görülmektedir.
- Peki ikisi arasındaki fark ne?
- E-mosfet ile BJT arasındaki fark, BJT'nin akımla (I_{BE}), E-Mosfet'in ise gerilimle (V_{GS}) kontrol edilmesidir ki bu sayede E-Mosfet BJT'e göre daha hızlı anahtarlabilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- E-Mosfet'in Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.61'de E-Mosfet'in temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile E-Mosfet'in doğru yön çalışması, devredeki " V_s " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.62'de ise E-Mosfet'in temel karakteristik eğrilerinden akım-gerilim (I_D - V_{DS}) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

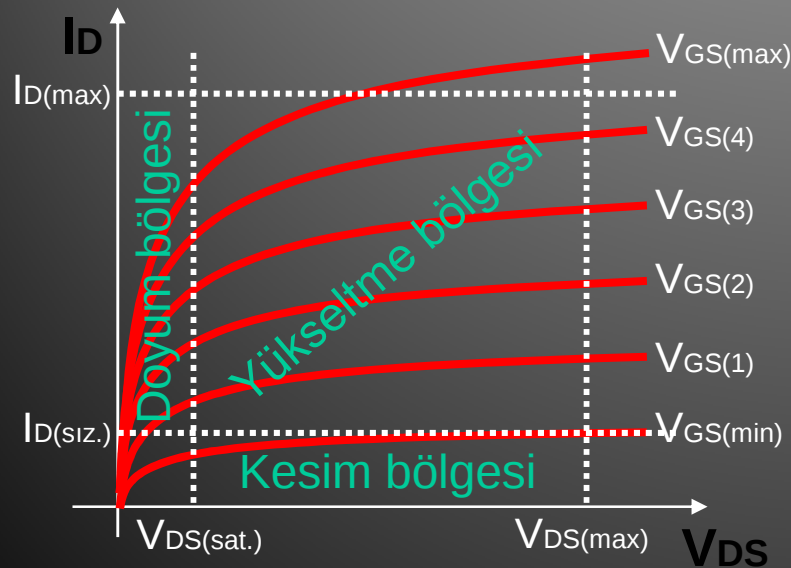


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, E-Mosfet ancak V_{max} gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. E-Mosfet'in doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarı verilmesi, yalıtıma geçirilebilmesi içinse uyarının çekilmesi gerekmektedir.
- Ters yönde ise E-Mosfet asla çalışmaz, yani E-Mosfet'in ters gerilim blokaj kabiliyeti yoktur. Ters gerilim verildiğinde BJT blokaj yapamayarak yanar.
- Bu durumda E-Mosfet'in, doğru yönlü (D+, S-) gerilimde, uyarılmaz ise blokaj yapan, **tam uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçen**, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (D-, S+) gerilimde ise asla çalışamayan, çalıştırıldığı taktirde bozulan, tek (+) yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- E-Mosfet, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
- E-Mosfet'in bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

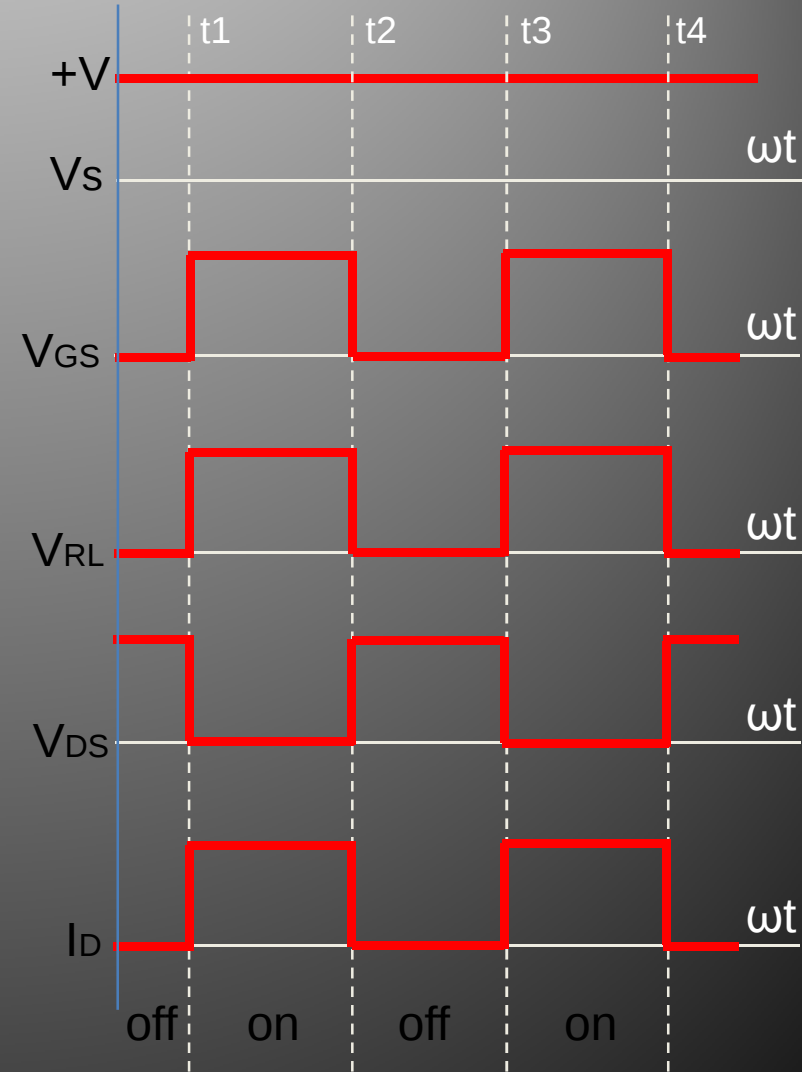
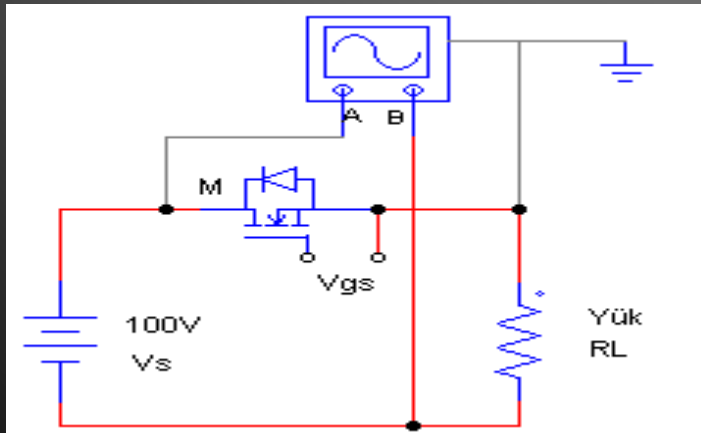
- E-Mosfet'lerde, elemanın hangi durumlarda tam iletim veya tam yalıtım, hangi durumlarda da amplifikasyon (yükseltme) modunda olduğunu gösteren çok önemli bir karakteristik eğri daha vardır, bu eğri aşağıda Şekil-2.63'de görülmektedir.



- Şekil-2.63'den görüldüğü gibi E-Mosfet'in Drain akımının (I_D) miktarı, tamamen G-S arasındaki kontrol geriliminin değerine bağlıdır.
- Bu bağlantı üretici tarafından parametreyle (g_m) verilmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir;
- Örnek, $g_m = 50$ ($g_m = I_D / V_{GS}$)
- $I_D = g_m \cdot V_{GS}$ veya $V_{GS} = I_D / g_m$
- Görüldüğü gibi Drain akımı V_{GS} geriliminin " g_m " katıdır.
- Anahtarlama uygulamalarında V_{GS} gerilimi ya "max." yada "0" seçilerek kontrol yapılır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.64'de E-Mosfet DC'de çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.65'de ise E-Mosfet'in DC kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.
- Zaten E-Mosfet'ler ac kaynakta asla çalıştırılmaz çünkü ters gerilimi bloke edemez ve yanarlar.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

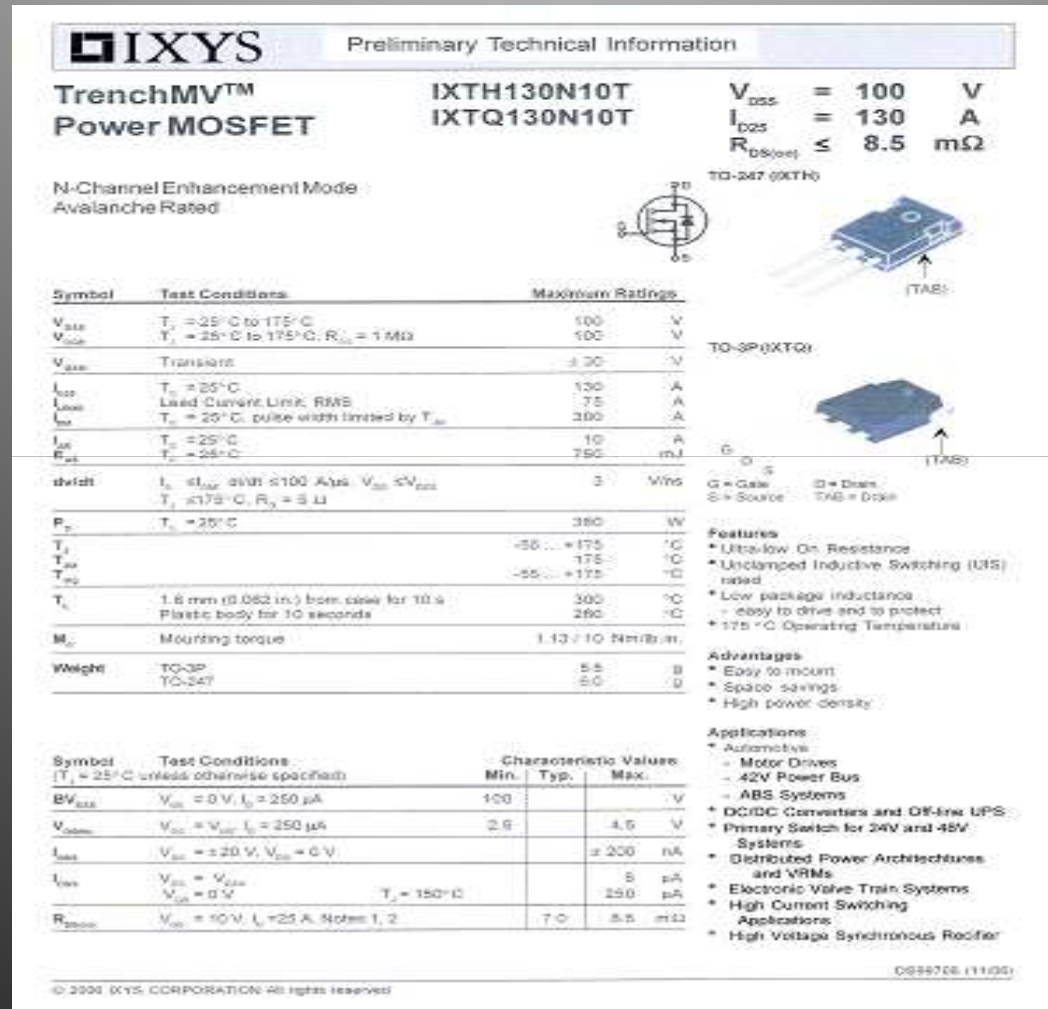
- Şekil-2-65'den görüldüğü gibi 0-t1 aralığında E-Mosfet yalıtımda bulunmaktadır.
 - t1 anında E-Mosfet'in G-S arasına pozitif bir uyarma gerilimi uygulandığında eleman hemen ilettime geçmektedir.
 - t1-t2 aralığında iletimde kalan E-Mosfet'in t2 anında uyarma gerilimi kesildiğinde (sıfıra düştüğünde), eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
 - t3 anında eleman tekrar pozitif gerilim ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
 - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi G-S arasından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.
- E-Mosfet'lerin Seri ve Paralel Bağlanması;
 - E-Mosfet'ler, sadece DC'de çalışabilen yarıiletken elemanlar olduğu için daha çok DC-DC dönüştürücü ve invertörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır.
 - Günümüzde oldukça fazla kullanılan E-Mosfetler'in yüksek akım ve gerilimlerde çalışması gerektiğinde diyot, tristör ve diğer elemanlarda olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanabilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- E-Mosfet'lerde dv/dt ve di/dt korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- E-Mosfet'ler için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- dv/dt için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- di/dt için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- E-Mosfet'in Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- E-Mosfet'in kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
 - 1) Yüksek sıcaklık,
 - 2) Yüksek voltaj,
 - 3) Hızlı gerilim değişimi,
 - 4) Hızlı akım değişimi.
- E-Mosfet'in bu durumlarda kontrol dışı olarak ilettime geçmesini engellemek için diyotlarda ve diğer güç elemanlarında ayrıntısıyla açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir E-Mosfet'in bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.

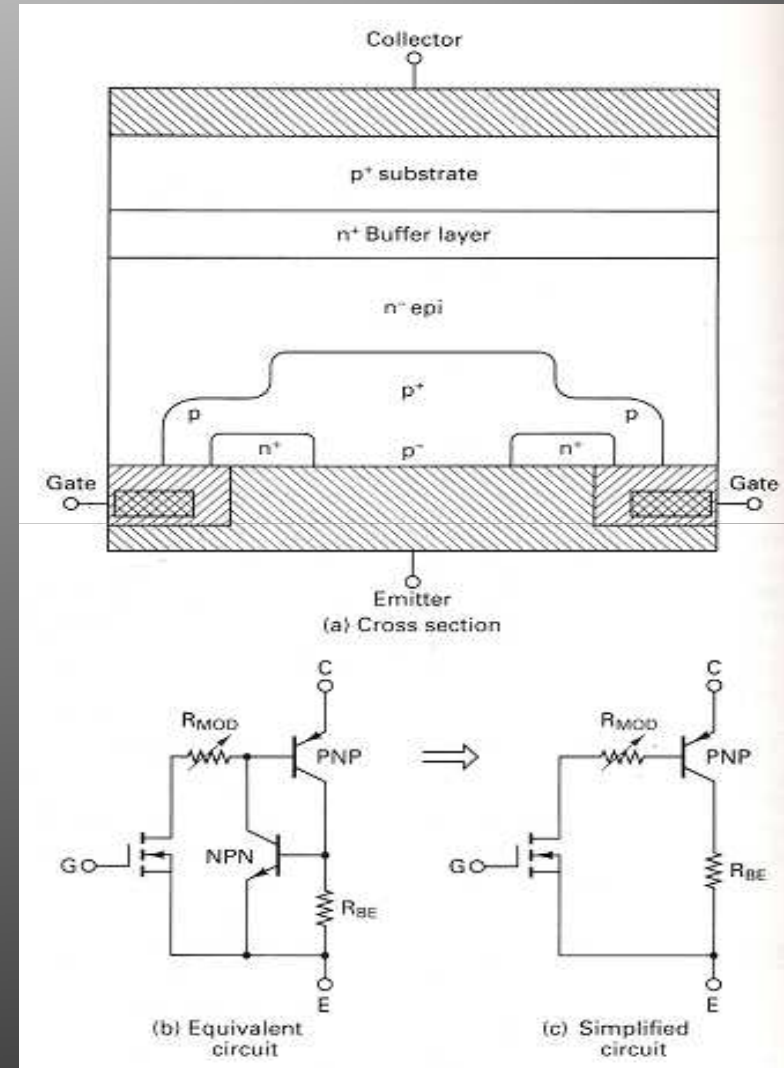


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Yalıtılmış Kapılı Transistör (IGBT), Temel Yapısı ve Çalışması;
- Günümüzde güç elektroniği uygulamalarında en fazla kullanılan elemanlardan birisi olan IGBT, transistör (BJT) ile E-Mosfet karışımı özel bir elemandır.
- Bilindiği gibi BJT'nin iyi tarafı iletim iç direncinin dolayısıyla da iletim kayıplarının düşük olmasıdır. Kötü tarafı ise anahtarlama süresinin uzun olması dolayısıyla da anahtarlama kayıplarının yüksek olmasıdır.
- E-Mosfet'lerde ise BJT'ye göre tam tersi durum söz konusudur. Yani Mosfet'in kötü tarafı, iletim iç direncinin yüksek dolayısıyla da iletim kayıpları transistöre göre daha fazla olmasıdır. İyi tarafı ise anahtarlama süresinin düşük, dolayısıyla da anahtarlama kayıplarının transistöre göre daha az olmasıdır.
- İşte her iki elemanın iyi özellikleri alınarak yeni bir eleman geliştirilmiştir. Bu eleman girişi mosfet gibi yapılandırılmış çıkışı ise transistör gibi yapılandırılmış olan IGBT'dir.

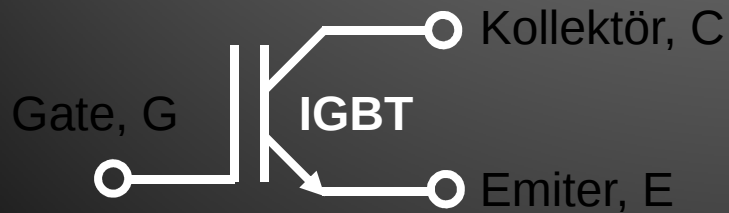
II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- IGBT'er kontrol sırasında mosfet gibi çalışma sırasında ise transistör gibi davranan ve sadece anahtar olarak kullanılan elemanlardır.
- Şekil-2.66'da IGBT'nin yarıiletken yapısı ve eşdeğer devresi görülmektedir. Eşdeğer devreden görüldüğü gibi IGBT yapısı, giriş terminalleri arasına N-Kanal E-Mosfet bağlanmış bir PNP transistör gibidir. Bu sayede Mosfet gibi hızlı anahtarlanan, transistör (BJT) gibi iletim iç direnci düşük olan yeni bir eleman oluşturulmuştur.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

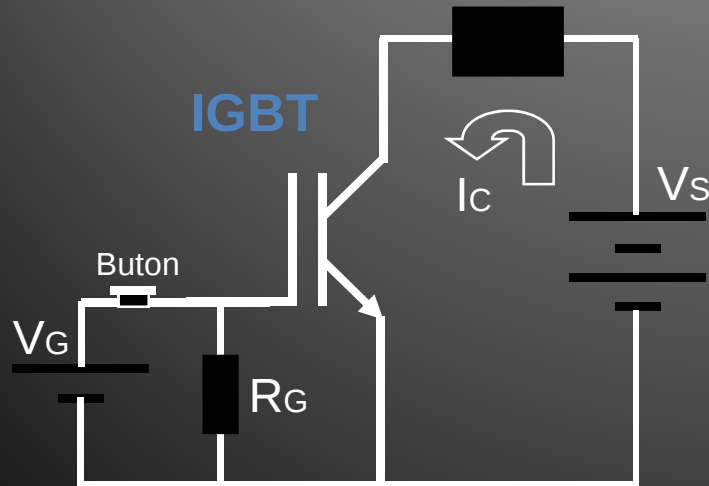
- IGBT, bu sayede son zamanlarda daha önceden transistör ve E-Mosfet'in kullanıldığı tüm anahtarlama uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Pratikte düşük gerilimli uygulamalarda daha çok E-Mosfet, yüksek gerilimli (400V ve üzeri) daha çok IGBT tercih edilmekte olup sembolü Şekil-2.67'de görüldüğü gibidir.



- Güç elektroniği uygulamalarında daha çok DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) ve DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devrelerinde tercih edilen IGBT'ler, çok düşük frekanslardan (1-2Hz), orta frekanslara (20kHz) kadar kontrollü anahtar olarak kullanılabilmekte olup, 1200V-400A seviyelerine kadar olan versiyonları bulunmaktadır.
- IGBT'ler, tıpkı E-Mosfet'ler gibi gerilim kontrollü bir yarıiletken anahtardır ve kontrolunda E-Mosfet prosedürü uygulanır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Metal Oksitli Fet Transistörün (E-Mosfet) Çalıştırılması;
- Aşağıdaki Şekil-2.68'de IGBT'nin çalıştırılması sembolü üzerinde görülmektedir. Burada V_s kaynağı yükü beslemekle görevli olan ana kaynaktır. V_G ise transistörü uyarmada kullanılan kaynaktır.



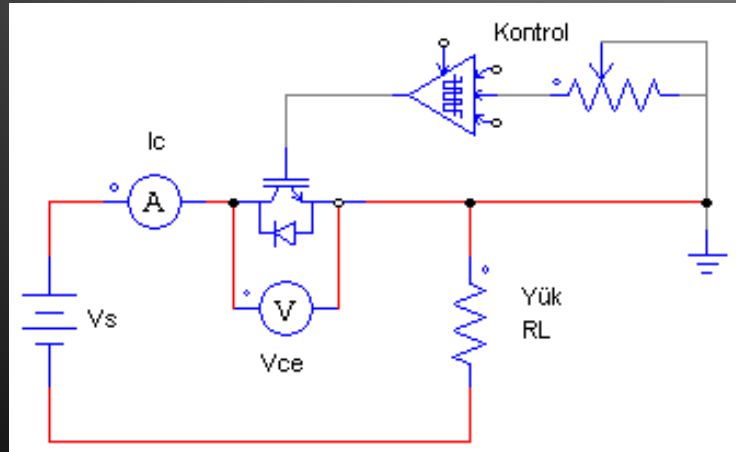
- Şekil-2.68'den görüldüğü gibi, uyarma butonuna basılmadığı sürece IGBT, kollektör ile emiter arasına gelen doğru yönlü gerilime blokaj yapacak ve yalıtımda kalacaktır.
- IGBT iletime geçirilmek istendiğinde ise uyarma butonuna basılarak Gate (kapı) ile Emiter arasında bir uyarma geriliminin oluşması sağlanır ve bu sayede IGBT iletime geçerek kollektör'den emiter'e doğru yük akımını (I_C) akıtmaya başlar. V_{GE} gerilimi kesildiğinde IGBT susar.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

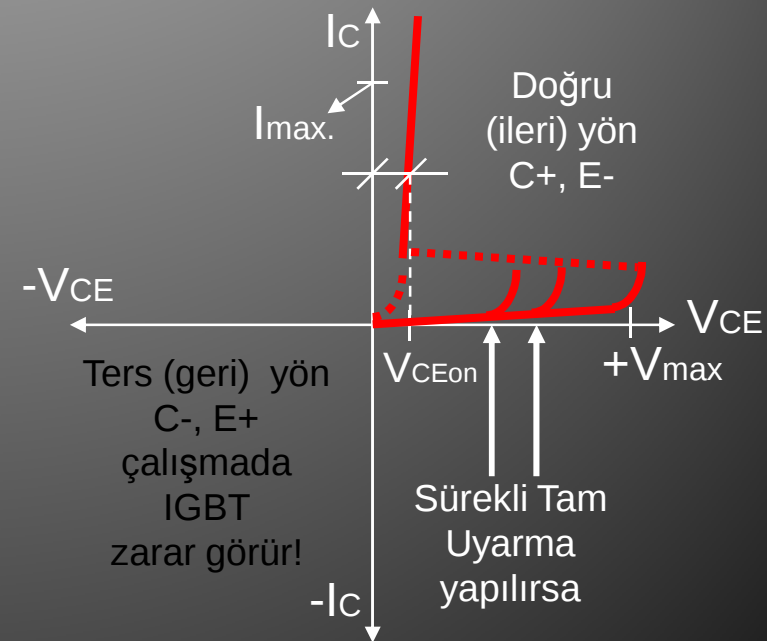
- Yalnız burada çok önemli bir ayrıntı vardır. IGBT'nin sadece “on” ve “off” durumları olmadığı ve ara durumlarda da yarı geçirgen olarak çalışabildiği için, güç elektroniği uygulamalarında IGBT'yi uyaracak olan gerilimin (V_{GE}), elemanı tam olarak ilettime geçirebilecek gerilimin seviyesinde olması gerekmektedir.
- IGBT'yi tam ilettime geçirecek olan uyarma gerilimi (V_{GE}) seviyesi, üretici tarafından elemanın bilgi yapraklarında ayrıntılı olarak verilmektedir.
- Buraya kadar açıklananlardan yola çıkarak IGBT'i ile E-Mosfet'in aynı mantıkla çalıştıkları yani uyarıldığı sürece iletimde oldukları, uyarı kesildiğinde ise başka bir işleme gerek kalmaksızın yalıtıma geçtikleri görülmektedir.
- Peki ikisi arasındaki fark ne?
- IGBT, özellikle yüksek gerilim ve akım altında hızlı olarak anahtarlatabilecek şekilde imal edildiğinden, yüksek gerilim ve akımda E-Mosfet'e göre avantajlı durumdadır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- IGBT'nin Temel Test Devresi ve Karakteristik Eğrisi;
- Aşağıdaki Şekil-2.69'da IGBT'nin temel karakteristik eğrisinin çıkarıldığı temel test devresi görülmektedir.
- Aşağıdaki bağlantı şekli ile IGBT'nin doğru yön çalışması, devredeki " V_s " bataryası ters çevrilerek de ters yön çalışması test edilebilmektedir.



- Aşağıdaki Şekil-2.70'de IGBT'nin temel karakteristik eğrilerinden olan akım-gerilim (I_c - V_{CE}) eğrisi (çıkış karakteristik eğrisi) görülmektedir.

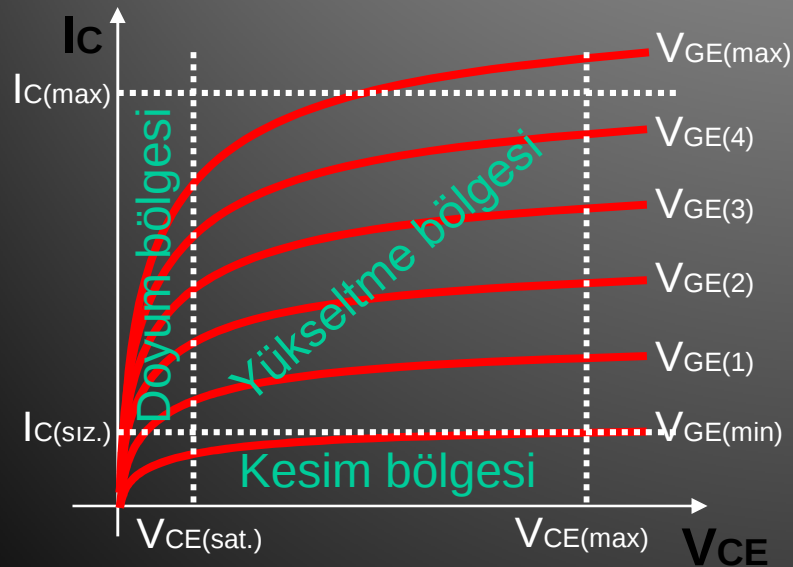


II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, IGBT ancak V_{max} gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. IGBT'nin doğru yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarı verilmesi, yalıtıma geçirilebilmesi içinse uyarının çekilmesi gerekmektedir.
- Ters yönde ise IGBT asla çalışmaz, yani IGBT'nin ters gerilim blokaj kabiliyeti yoktur. Ters gerilim verildiğinde IGBT blokaj yapamayarak yanar.
- Bu durumda IGBT'nin, doğru yönlü (C+, E-) gerilimde, uyarılmaz ise blokaj yapan, **tam uyarıldığı takdirde ise tam ilettime geçen**, doğru yönlü gerilim altında iletimi ve yalıtımı kontrol edilebilen,
- Ters yönlü (C-, E+) gerilimde ise asla çalışmayan, çalıştırıldığı takdirde bozulan, tek (+) yönlü akım akıtan bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.
- IGBT, bu özellikleriyle DC'de çalıştırılmak için uygun bir anahtar durumundadır.
- IGBT'nin bu özelliği sayesinde SCR'de kullanılan zorla susturma düzenekleri kullanılmaz.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

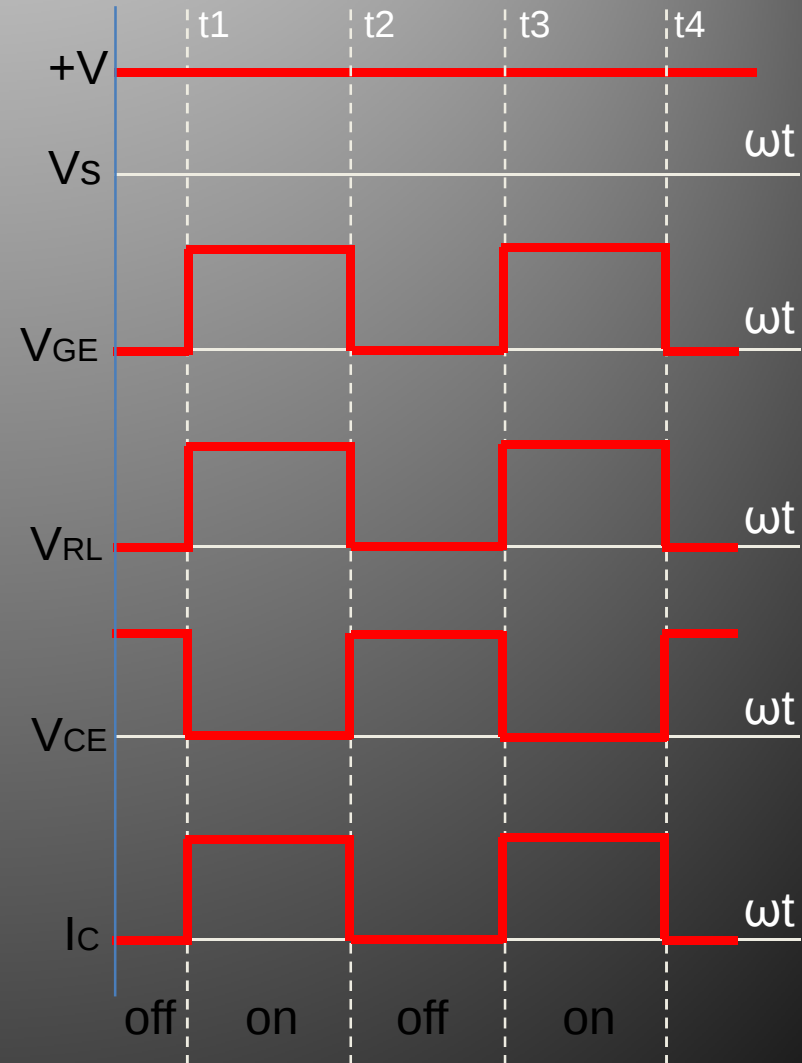
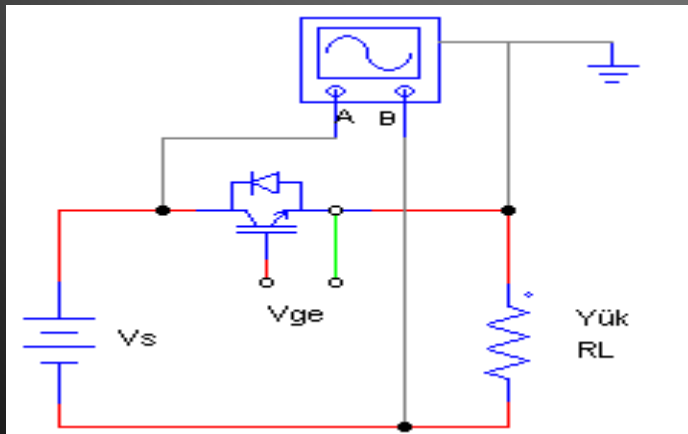
- IGBT'lerde, elemanın hangi durumlarda tam iletim veya tam yalıtım, hangi durumlarda da amplifikasyon (yükseltme) modunda olduğunu gösteren çok önemli bir karakteristik eğri daha vardır, bu eğri aşağıda Şekil-2.71'de görülmektedir.



- Şekil-2.71'den görüldüğü gibi IGBT'nin Kollektör akımının (I_c) miktarı, tamamen C-E arasındaki kontrol geriliminin değerine bağlıdır.
- Bu bağlantı, üretici tarafından parametreyle (g_m) verilmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir;
- Örnek, $g_m = 50$ ($g_m = I_c / V_{GE}$)
- $I_c = g_m \cdot V_{GE}$ veya $V_{GE} = I_c / g_m$
- Görüldüğü gibi kollektör akımı V_{GE} geriliminin " g_m " katıdır.
- Anahtarlama uygulamalarında V_{GE} gerilimi ya " $max.$ " yada " 0 " seçilerek kontrol yapılır.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Aşağıdaki Şekil-2.72'de IGBT'nin dc'de çalışmasını izleyebilmek için kurulan devre görülmektedir.
- Yandaki Şekil-2.73'de ise IGBT'nin dc kaynak altında iletim ve yalıtımının kontrol edilmesi, devrenin çalışma dalga şekilleriyle birlikte verilmiştir.
- Zaten IGBT'ler ac kaynakta asla çalıştırılmaz çünkü ters gerilimi bloke edemez ve yanar.



II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- Şekil-2.73'den görüldüğü gibi 0-t₁ aralığında IGBT yalıtımda bulunmaktadır.
 - t₁ anında IGBT'nin G-E arasına pozitif bir uyarma gerilimi uygulandığında eleman hemen ilettime geçmektedir.
 - t₁-t₂ aralığında iletimde kalan IGBT'nin t₂ anında uyarma gerilimi kesildiğinde (sıfıra düştüğünde), eleman hemen yalıtıma geçmektedir.
 - t₃ anında eleman tekrar pozitif gerilim ile uyarıldığında yine ilettime geçmektedir.
 - Kısacası hem ilettime hem de yalıtıma geçmesi G-E arasından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.
- IGBT'lerin Seri ve Paralel Bağlanması;
 - IGBT'ler, sadece DC'de çalışabilen yarıiletken elemanlar olduğu için daha çok DC-DC dönüştürücü ve invertörlerde çok yoğun olarak kullanılmaktadır.
 - Günümüzde oldukça fazla kullanılan IGBT'lerin yüksek akım ve gerilimlerde çalışılması gerektiğinde diyot, tristör ve diğer elemanlarda olduğu gibi seri veya paralel bağlanma prosedürü uygulanabilir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

- IGBT'lerde dv/dt ve di/dt korumasının sağlanması;
- Bilindiği gibi ani değişen akım ve gerilimde yarıiletken güç anahtarları istenmediği halde üzerlerinden akım geçirmekte ve yanmaktadırlar.
- IGBT'ler için de bu olay tamamen geçerlidir ve bu iş için mutlaka önlem alınmalıdır.
- dv/dt için alınması gereken önlem tıpkı diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana paralel olarak uygun bir R-C devresinin bağlanmasıdır.
- di/dt için alınması gereken önlem ise yine diyot ve tristörde olduğu gibi, elemana seri olarak uygun bir endüktansın (L) bağlanmasıdır.
- IGBT'nin Kontrol Dışı İletime Geçmesi;
- IGBT'nin kontrol dışı olarak ilettime geçmesine, dolayısıyla da bozulmasına neden olan 4 durum vardır. Bu durumlar;
 - 1) Yüksek sıcaklık,
 - 2) Yüksek voltaj,
 - 3) Hızlı gerilim değişimi,
 - 4) Hızlı akım değişimi.
- IGBT'nin bu durumlarda kontrol dışı olarak ilettime geçmesini engellemek için diyotlarda ve diğer güç elemanlarında ayrıntısıyla açıklandığı gibi alınan tüm önlemlerin aynı şekilde alınması gerekmektedir.

II - YARIİLETKEN GÜÇ ANAHTARLARI

Aşağıda bir IGBT'nin bilgi yaprağı (datasheet) görülmektedir.



ÖDEV-4

- 4.1) 200Vdc şebeke çalışacak ve 5Ω 'luk bir yükü besleyecek olan DC-DC dönüştürücü (DC kıyıcı) devresi için uygun bir **Mosfet** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. Mosfet yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.
- 4.2) 600Vdc şebeke çalışacak ve 5Ω 'luk bir yükü besleyecek olan DC-AC dönüştürücü (İnvertör) devresi için uygun bir **IGBT** belirleyerek internet ortamında bilgi yaprakları (datasheets) üzerinden araştırınız. IGBT yapısını, genel özelliklerini, temel parametrelerini, üretici firmalarını, Türkiye temsilcilerini ve satış fiyatını gösteren bir rapor hazırlayınız.