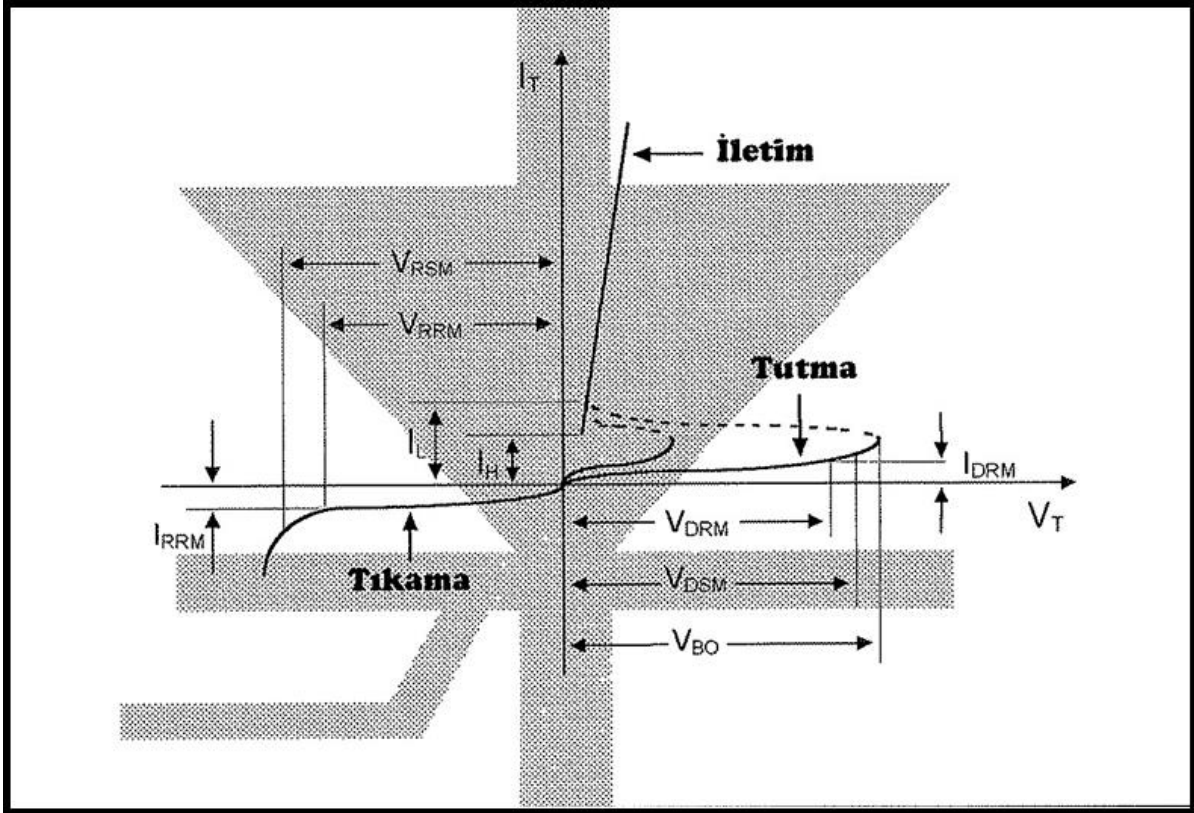




ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ



GÜÇ ELEKTRONİĞİ DERSİ
LABORATUVAR DENEYLERİ



HAZIRLAYANLAR

Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

Arş. Gör. Barış ÇAVUŞ

Arş. Gör. Seçil Genç

İÇİNDEKİLER

Deney 1: Diyot, Tristör ve MOSFET Karakteristiği

Deney 2: Güç MOSFETleri, Sürücü Devresi ve Kesimde Sönümleme Devreleri

Deney 3: Tek Fazlı Tam ve Yarım Dalga Doğrultucular

Deney 4: Bir Fazlı Değişken Gerilim Kıyıcı

Deney 5: Doğru Gerilim Kıyıcı

DENEY 1: DİYOT, TRİSTÖR ve MOSFET KARAKTERİSTİĞİ

HAZIRLIK SORULARI

1. Diyot, tristör ve mosfet yapısını açıklayınız.
2. Diyot, tristör ve mosfet hangi alanlarda kullanılır, sebebiyle açıklayınız.
3. Diyot, tristör ve mosfetin sağlamlık testleri nasıl yapılır?
4. Bir güç elektroniği devresinde kullanacağınız diyod, tristör veya mosfetin hangi özelliğinin dikkate alınması gerektiğini inceleyip belirtiniz.

DENEYİN AMACI:

- Diyot, tristör ve mosfetin yapısını incelemek.
- Diyot, tristör ve mosfetin çalışma karakteristiklerinin elde edilmesi

KULLANILAN ELEMANLAR: MOSFET, diyot, tristör, MOSFET kapı sürme entegresi, DA kaynak, sinyal üretici, osiloskop, direnç, Reosta.

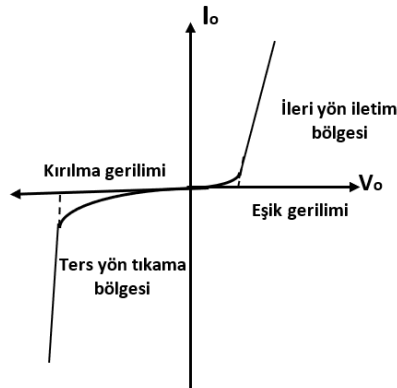
1. GİRİŞ

1.1. Diyot Yapısı ve Çalışma İlkesi

Yarı iletken diyot elemanı temelde bir p-n birleşiminden oluşmaktadır. Devre elemanı olarak, yalnızca bir yönde akım geçirebilen doğrusal olmayan uçludur. Diyotun yapısı ve gösterilimi Şekil-1'de, tipik akım-gerilim eğrisi Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil 1. Diyot yapısı ve gösterilimi



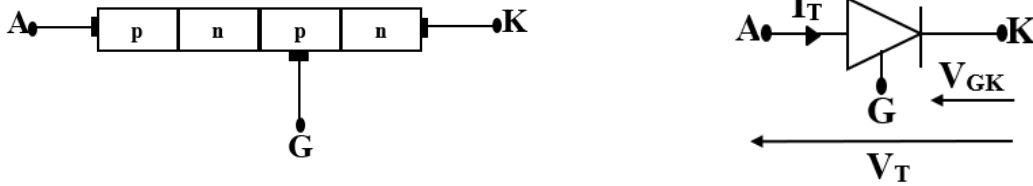
Şekil 2. Diyot akım-gerilim özgeğrisi

Diyot uçlarındaki gerilimin artı olduğu sağ yarı düzleme "İletken bölgesi", eksi değerli olduğu sol yarı düzleme ise "tıkkama bölgesi" adı verilir. İletimdeki diyot doğrusal olmayan direnç elemanı gibi davranır. Diyot üzerinden akım akabilmesi için ileri yönde kutuplanması ve uç geriliminin belirli bir eşik değerinden büyük olması gerekir. Bu değer silikon için 0,6-0,8 V dolaylarındadır. Ters yönde kutuplana bir diyotun üzerinden, çok küçük düzeyde bir "sızdırma akımı" akar. Ters yöndeki uç gerilimi belli bir düzeyin üzerine çıktığında sızdırma akımının birden

çok fazla arttığı gözlenebilir. "Zener bölgesi" adı verilen bu bölgede bir güç diyodunun çalışması imkansızdır. Dolayısıyla diyota ters yönde uygulanabilecek en büyük gerilim, zener gerilimidir. Güç diyotları uygulamada genellikle denetimsiz ve yarı denetimli köprü devrelerinde doğrultucu olarak, boşluk diyotu olarak veya denetimli devrelerde yardımcı eleman olarak kullanılırlar.

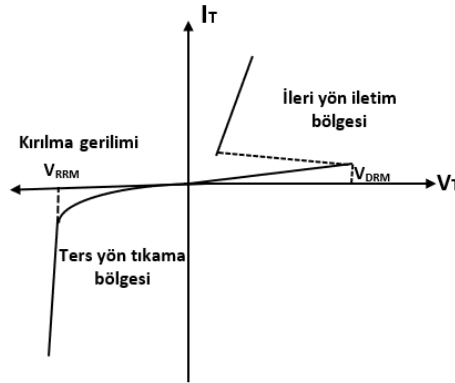
1.2. Tristör Yapısı ve Çalışma İlkesi

Tristörler, dört adet p-n-p-n katkılı yarı iletken tabakadan oluşan güç elektroniği devre elemanlarıdır. Tristörün yapısı ve gösterimi Şekil-3'teki gibidir.



Şekil 3. Tristör yapısı ve gösterimi

Tristörün statik davranışı Şekil-4'te verilen akım-gerilim karakteristiği ile tanımlanır. Eğri üç bölümden oluşur.

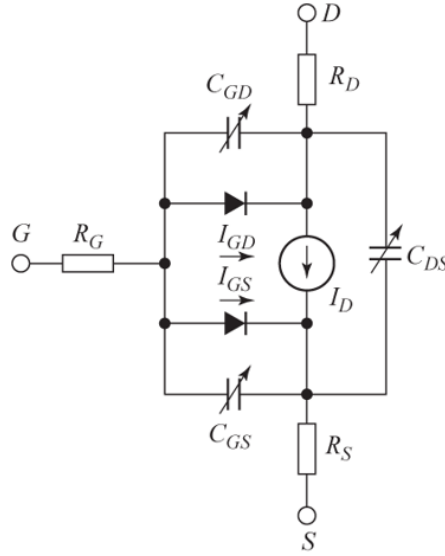


Şekil 4. Tristörün akım-gerilim öz eğrisi

Tristör iletim yönünde polarlanırken, farklı kapı akımları için anot-katot gerilimlerinde iletme geçmektedir. Kapı akımının sıfır olması durumunda iletme geçme gerilimi "ileri yönde kırılma gerilimi" olarak adlandırılabilir. İletime geçmiş tristör diyotta olduğu gibi doğrusal olmayan direnç özelliği gösterir. İletimdeki tristörün kapı akımı sıfır olsa bile iletim durumu devam eder. Ancak tristörden geçen akım belli bir değer altına düşürülürse, tristör iletim durumunu koruyamaz ve tıkkamaya geçer. Bu akım değerine "tutma akımı" denir. Tristörün ters yöndeki öz eğrisi ise diyotunkiyle aynıdır.

1.3. Mosfet Yapısı ve Çalışma İlkesi

MOSFET gerilim kontrollü bir anahtarlama elemanıdır. Şekil 3'te devre modeli gösterilen .MOSFET'i sürebilmek için MOSFET'in, doyum ve kesim bölgelerinde çalıştırılıyor olması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için MOSFETin gate-source uçları arasına yeterli seviyede gerilim uygulanmalıdır.



Şekil 5. Mosfetin devre modeli

Çalışma şekillerine ve yapısına göre farklı türlerde MOSFET'ler vardır. Yapısına (elektronları iletme şekline) göre P tipi ve N tipi olmak üzere iki tür MOSFET vardır. Bu iki MOSFET'in arasındaki fark, elektronları iletme şeklinin farklılığıdır. N-tip MOSFET'ler P-tip MOSFET'lere göre daha hızlıdır. Başka bir deyişle elektronları iletme hızı P-tip MOSFET'lerden daha hızlıdır. N-tip MOSFET'ler çok daha sık kullanılmaktadır.

Ayrıca MOSFET'lerin iç yapıları yine elektronları taşımak için kullandıkları yöntemlere göre enhancement (artış) modlu ve depletion (tüketim) modlu MOSFET'ler olmak üzere ikiye ayrılır. Tüketim tipi genellikle güç MOSFET'i olarak kullanılmamaktadır. Enhancement modlu N-tip MOSFET için, V_{gs} gerilimi 0 V iken, I_d akımı da 0 A olmaktadır. Fakat depletion modlu N-tipi MOSFET için, V_{gs} gerilimi 0 V iken I_d akımı 0 A değildir. Bu akımı 0 A yapabilmek için gate-source arasına negatif gerilim ($-V_{gs}$) uygulamak gereklidir.

Tüm MOSFET'lerin içinde gate-source (C_{iss}) ve gate-drain (C_{rss}) arasında belli değerlerde kapasitans vardır. Ayrıca drain-source (C_{oss}) arasında da kapasitans bulunur. Fakat MOSFET'in anahtarlama hızını ve performansını belirleyen gate-source ve gate-drain kapasitanslarıdır. Bu kapasitansların değeri MOSFET'lerin veri sayfalarında (datasheet) verilir ve MOSFET seçiminde oldukça önemlidir. C_{rss} kapasitansının diğer adı Miller kapasitansıdır.

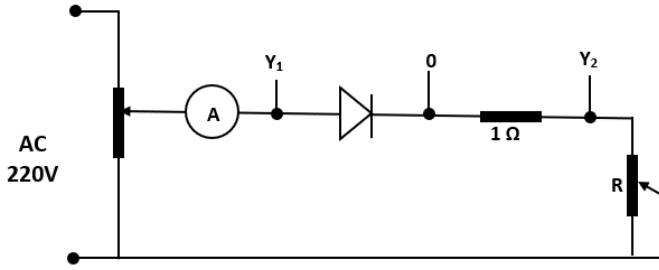
MOSFET'ler 2 durumda güç kaybı yaşatır ve ısınır.

1. İletim direnci ($R_{ds(on)}$) üzerinden geçen akımdan dolayı güç kaybı
2. Yükselme ve düşme sürecinde meydana gelen ısınma.

Yükselme ve düşme süresince, $V_{ds} \times I_d$ kadar güç kaybı (sınma) yaşanır. Bu süreç ne kadar uzun sürerse kayıp güç ve ısınma o kadar çok olur. MOSFET veri sayfasından elde edilecek olan Q_g değeri MOSFET'in iletme girme süresi ile doğru orantılıdır. Q_g MOSFET'in giriş kapasitörünü iletme geçirecek olan elektron yükü miktarıdır. $Q_g = I \times t$ eşitliğine göre Q_g değeri büyürse V_{gs}

Diyodun Çalışma Özelliğinin Yüklü Durumda İncelenmesi

1. Şekil 8'deki deney bağlantısını gerçekleştiriniz.



Şekil 8. Yüklü çalışma

2. İki kanallı osiloskobun ortak ucunu osiloskop "0", birinci kanal ucunu Y_1 ve ikinci kanal ucunu Y_2 noktasına bağlayınız.
3. Ayarlı transformatörün çıkış gerilimi 220V iken devredeki R direncini ayarlayarak diyottan yaklaşık 4A akım akmasını sağlayınız. Bu durumda osiloskobun her iki kanalında görülecek dalga biçimlerini kaydediniz.
4. Osiloskobu X ve Y konumuna alarak diyotun bu çalışma durumuna ilişkin akım-gerilim ölçümlerini tabloya yazınız.

U(Volt)	I(mA)

Tristörün Çalışma Özelliğinin Ters Kutuplanma Durumunda İncelenmesi

1. Şekil 6'daki deney bağlantısını diyotu tristörle değiştirerek yeniden kurunuz. Tristörün kapı ucunu açık bırakarak ve tristörün iletim yönünde kutuplanması durumundaki akım-gerilim ölçümlerini tabloya yazınız.

U(Volt)	I(mA)

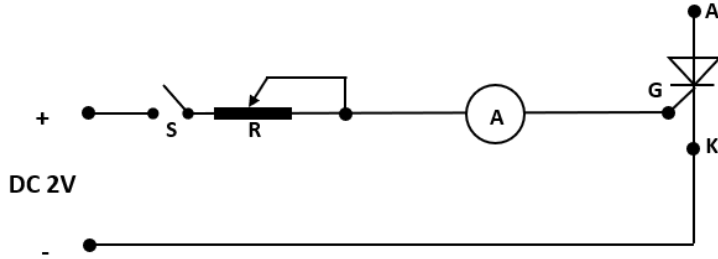
Tristörün Çalışma Özelliğinin İleri Yönde Kutuplanmış Tıkamada İncelenmesi

1. Kapı ucunu açık bırakarak anod ve katod uçlarını ters çeviriniz. Bu durumda tristör iletim yönünde kutuplanmış olacak fakat kapısına herhangi bir işaret uygulanmadığı için kesimde kalacaktır. Tristörün bu kutuplanma durumu için akım-gerilim ölçümlerini tabloya yazınız.

U(Volt)	I(mA)

Tristörün İletimde Çalışması

1. Şekil 7'deki diyodun yerine tristör bağlayınız ve kapı devresini Şekil 9'da görüldüğü gibi DC gerilim kaynağından besleyiniz. Kapı akımını tipik bir değere ayarlayınız ve bu durumda ileri yönde çalışma öz eğrisini elde ediniz.



Şekil 9. Tristörün iletimde çalışması

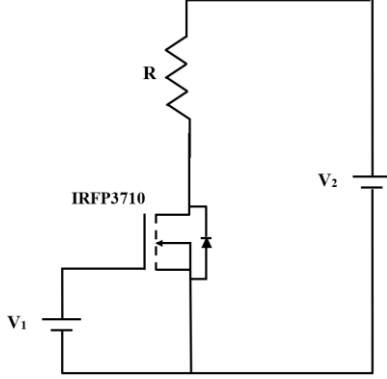
2. Anot akımını yavaş yavaş azaltarak tristörün kesime gittiği akım değerini belirleyiniz. Deneyi değişik kapı akımları için tekrarlayınız.
3. Şekil 8'deki diyodu tristörle değiştiriniz ve tristörün kapı devresini Şekil 9'da görüldüğü gibi doğru gerilimle besleyiniz. Tristörün anod-katod uçlarına tepe değeri yaklaşık 10V olan değişken gerilim uygulayınız. 0-V₁ uçları arasına bağlayacağınız osiloskop yardımıyla anod-katod gerilimini gözleyiniz. Kapı akımı 0 iken tristör kesimde olacağından osiloskopta izleyeceğimiz gerilim sinüs biçiminde olacaktır. Kapı akımını yavaş yavaş arttırarak osiloskoptaki dalga biçimini gözleyiniz. Tristörün iletime geçtiği V_i gerilim değerini kaydediniz.

Yüklü Çalışma: Tristör Şekil 8'deki diyot gibi bağlanmış ve kapı devresi Şekil 9'daki gibi beslenmiş olduğu halde, ayarlı transformatörün çıkış gerilimini 220V'a anod akımını yaklaşık 4 ampere ayarlayınız. Kapı akımının değişik değerleri için osiloskop yardımıyla anod-katod gerilimini ve anod akımını gözleyiniz. Her farklı kapı akımı için osiloskopu X-Y konumuna alarak akım gerilim öz eğrisini elde ediniz.

U(Volt)	I(mA)

Mosfetin Çalışma Özelliğinin İncelenmesi

1. Şekil 9'daki deney bağlantısını gerçekleştiriniz.



Şekil 10. Mosfetin çalışma özelliğinin incelenmesi

2. Kapı ucuna bağlı gerilim kaynağının seviyesini 0 V'tan itibaren yavaş yavaş arttırınız ve MOSFET'in iletme girdiği anı belirleyiniz. MOSFET'in iletme girme gerilimi not ediniz.
3. MOSFET'in kesime girmesi için V_{gs} negatif gerilim uygulayınız. MOSFET'in kesime girme gerilimini osiloskoptan gözlemleyerek çiziniz.

3. İSTENİLENLER

1. Deneyde kullandığınız diyot, tristör ve mosfetin katalog değerlerini veriniz.
2. Deneyin değişik aşamalarında bulunduğunuz değerleri veriniz ve gözlediğiniz dalga biçimlerini milimetrik kağıda çiziniz.
3. Diyod, tristör ve mosfetin akım gerilim öz eğrilerini çiziniz.
4. Deney sonuçlarını yorumlayınız.

DENEY 2: GÜÇ MOSFETLERİ, SÜRÜCÜ DEVRESİ ve KESİMDE SÖNÜMLEME DEVRELERİ

HAZIRLIK SORULARI

1. MOSFET nedir? Nasıl çalışır? Açıklayınız.
2. MOSFET seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler nelerdir?
3. MOSFET sürme devresi kullanılmasının nedenleri nelerdir?
4. MOSFET ile oluşturulan güç elektroniği uygulama devrelerinde (AA motor sürücü, DA motor sürücü vb.) oluşabilecek problemler nelerdir?

DENEYİN AMACI

- MOSFET'in yapısını tanımak
- MOSFET'in çalışma prensibi
- MOSFET seçim kriterleri
- MOSFET sürme devresi ve çalışması
- Anahtarlama işlemi sırasında MOSFET ve MOSFET'ler ile oluşturulan devrelerde meydana gelebilecek sorunlar ve çözümleri

KULLANILAN ELEMANLAR

MOSFET, MOSFET kapı sürme entegresi, DA kaynak, sinyal üretici, osiloskop, direnç, shottky diyot, TVS diyot.

1. GİRİŞ

A. MOSFET ve Özellikleri

MOSFET gerilim kontrollü bir anahtarlama elemanıdır. MOSFET'i sürebilmek için MOSFET'in, doyum ve kesim bölgelerinde çalıştırılıyor olması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için MOSFET'in gate-source uçları arasına yeterli seviyede gerilim uygulanmalıdır.

Çalışma şekillerine ve yapısına göre farklı türlerde MOSFET'ler vardır. Yapısına (elektronları iletme şekline) göre P tipi ve N tipi olmak üzere iki tür MOSFET vardır. Bu iki MOSFET'in arasındaki fark, elektronları iletme şeklinin farklılığıdır. N-tip MOSFET'ler P-tip MOSFET'lere göre daha hızlıdır. Başka bir deyişle elektronları iletme hızı P-tip MOSFET'lerden daha hızlıdır. N-tip MOSFET'ler çok daha sık kullanılmaktadır.

Ayrıca MOSFET'lerin iç yapıları yine elektronları taşımak için kullandıkları yöntemlere göre enhancement (artış) modlu ve depletion (tüketim) modlu MOSFET'ler olmak üzere ikiye ayrılır. Tüketim tipi genellikle güç MOSFET'i olarak kullanılmamaktadır. Enhancement modlu N-tip MOSFET için, V_{gs} gerilimi 0 V iken, I_{ds} akımı da 0 A olmaktadır. Fakat depletion modlu N-tipi MOSFET için, V_{gs} gerilimi 0 V iken I_{ds} akımı 0 A değildir. Bu akımı 0 A yapabilmek için gate-source arasına negatif gerilim ($-V_{gs}$) uygulamak gereklidir.

Tüm MOSFET'lerin içinde gate-source (C_{iss}) ve gate-drain (C_{rss}) arasında belli değerlerde kapasitans vardır. Ayrıca drain-source (C_{oss}) arasında da kapasitans bulunur. Fakat MOSFET'in anahtarlama hızını ve performansını belirleyen gate-source ve gate-drain kapasitanslarıdır. Bu kapasitansların değeri MOSFET'lerin veri sayfalarında (datasheet) verilir ve MOSFET seçiminde oldukça önemlidir. C_{rss} kapasitansının diğer adı Miller kapasitansıdır.

MOSFET'ler 2 durumda güç kaybı yaşatır ve ısınır.

3. İletim direnci (R_{dson}) üzerinden geçen akımdan dolayı güç kaybı
4. Yükselme ve düşme sürecinde meydana gelen ısınma.

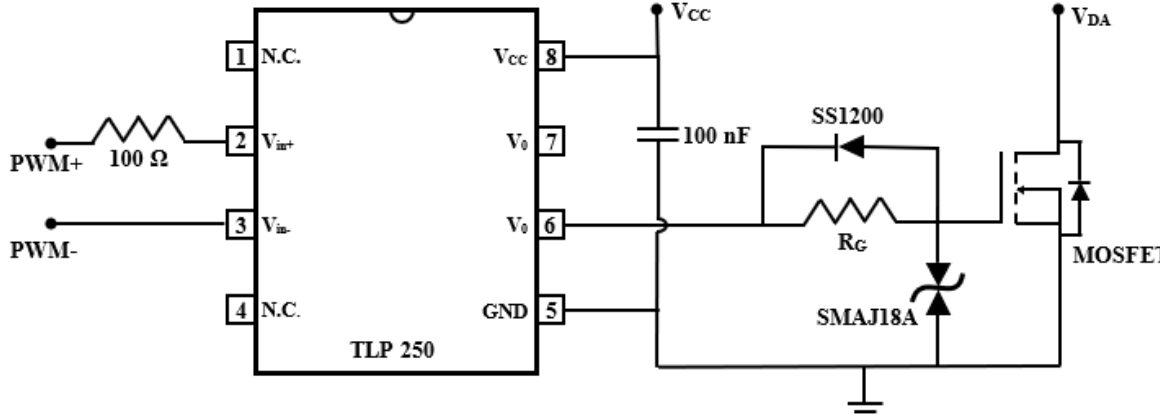
Yükselme ve düşme süresince, $V_{ds} \times I_{ds}$ kadar güç kaybı (sınma) yaşanır. Bu süreç ne kadar uzun sürerse kayıp güç ve ısınma o kadar çok olur. MOSFET veri sayfasından elde edilecek olan Q_g değeri MOSFET'in ilettime girme süresi ile doğru orantılıdır. Q_g MOSFET'in giriş kapasitörünü ilettime geçirecek olan elektron yükü miktarıdır. $Q_g = I \times t$ eşitliğine göre Q_g değeri büyürse V_{gs} gerimine ulaşma süresi uzar güç kaybı oluşur. Eğer bu değer küçük seçilmezse güç kaybı ve ısınma fazla olur.

B. Sürücü Devre ve Özellikleri

Güç elektroniği devrelerinde bulunan yarı iletken anahtarların ilettime girebilmesi için anahtarın kapı ucuna yeterli seviyede (akım veya gerilim) sinyal uygulanmalıdır. Mikrodenetleyici çıkışından alınan işaretin doğrudan anahtar kapısına uygulamanın iki önemli sakıncası vardır.

- Yarı iletken anahtarlarda oluşacak arızaların mikrodenetleyiciye yansması
- Mikrodenetleyici çıkışının (akım ve gerilim seviyesi) anahtarı ilettime geçirebilmek için yeterli düzeyde olmaması

Yukarıda verilen iki sorunu çözebilmek için anahtarlar ile mikrodenetleyici arasında kapı sürme devreleri kullanılmaktadır. Bu devreler içinde kullanılan kapı sürme entegreleri yapısında barındırdığı LED-fotodiyot/fototransistör sayesinde iki birim arasındaki yalıtımı sağlarlar. Ayrıca mikrodenetleyiciden gelen düşük seviyeli sinyali daha yüksek seviyeye çıkararak anahtarın sorunsuz çalışmasını sağlarlar. Bu çalışmada kullanılan kapı sürme devresi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. MOSFET ve kapı sürme devresi

Şekil 1’de yarı iletken anahtar olarak MDF13N50 MOSFET, kapı sürme entegresi olarak da Toshiba firmasına ait TLP250 entegresi kullanılmıştır. Kullanılan MOSFET’in kapı-kaynak arası ters gerilimin 18 V değerini aşmasını önlemek için TVS (SMAJ18CA) kullanılmıştır. Bu şekilde anahtarlar yüksek seviyede iletimde tutularak anahtar sıcaklıklarının yüksek değerlere çıkmasının önüne geçilmiştir.

Anahtarlama sırasında oluşabilecek gürültü vb. problemler çalışma başarımını önemli ölçüde etkilemektedir. Oluşabilecek gürültülerin önüne geçebilmek için MOSFET’in kapı girişine R_G direnci bağlanmıştır. R_G direnci eğer fazla düşük değerli seçilirse MOSFET’in erken iletime girmesi, yüksek değerli seçilirse geç iletime girmesi sorunu oluşur. Bu nedenle uygun R_G direnci kullanılmalıdır. Kapı sürme entegresi çıkışının sönümlü işaret üretebilmesi için kalite faktörü Q yaklaşık 1 alınırsa R_G direnci aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$R_G = \frac{\omega L_s}{Q}$$

L_s değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$L_s = \frac{1}{C_{ISS}(2\pi f_r)^2}$$

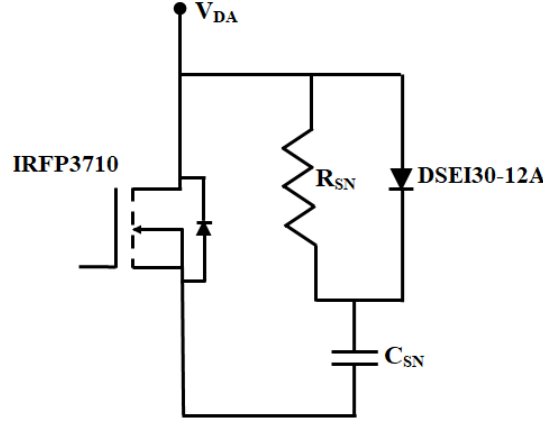
Yukarıdaki eşitliklerde C_{ISS} kullanılan MOSFET’in giriş kapasitesi, f_r ise osilasyon frekansıdır. Kullanılan MOSFET’in veri sayfasında C_{ISS} 1390 pF verilmiş, f_r osilasyon frekansı ise 3.5 MHz seçilmiştir. Bu durumda L_s değeri 1.488 μ H, R_G değeri ise 32.72 Ω olarak bulunmuştur.

Güç yarı iletkenlerinin çalışmasındaki önemli durumlardan biri anahtarın kesime giderken iç kapasitesinde biriken enerjiyi boşaltmaları gerektiğidir. Bu amaçla R_G direncine paralel SS1200 hızlı diyotu bağlanmıştır.

Kullanılan mikrodenetleyiciden gelen lojik 1 değeri genelde 3.3 V’tur (bazı mikrodenetleyiciler 5 V olabilir ve güncellenmesi gerekebilir) ve TLP250 entegresinin girişi 1.6-1.7 V-20 mA değerlerine sahip olduğu için mikrodenetleyici ile TLP250 arasına, TLP250 entegresinin girişine 1,6 V 20 mA değeri garanti eden 85 Ω direnç bağlanmalıdır.

C. Kesimde Sönüm Devresi ve Özellikleri

Yüksek güçlü devrelerde yarı iletkenler yardımı ile anahtarlama yaparken yaşanan önemli sorunlardan birisi de anahtarın ilettime veya kesime geçiş sürecinde akım ve gerilimin anlık değişim miktarının ($\frac{dV}{dt}$ ve $\frac{di}{dt}$) çok yüksek olmasıdır. Bu yüksek değişimlerin devre elemanlarına zarar vermesini önlemek için sönümlenme devreleri kullanılır. Bu amaçla oluşturulmuş kesimde sönümlenme devresi Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Kesimde sönümlenme devresi

Şekil 2’de verilen devrede $\frac{dV}{dt}$ oranı çok yüksek olduğu zaman (frekans çok yüksek olduğu zaman), C_{sn} kondansatörü $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ reaktans hesabına göre MOSFET uçlarında yüksek empedans oluşturur ve gerilimde sıçramanın önüne geçilmiş olur. DSEI130-12A diyotu kondansatörün hızlı bir şekilde dolup anahtar uçlarını açık devre gerilimine sabitlemek için kullanılır. Kullanılan R_{sn} direnci kondansatörün boşalma durumundaki akımını sınırlar. Kesimde sönümlenme devre elemanı seçiminde yüksek gerilim ve frekanslarda çalışma durumları göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır.

Kullanılan MOSFET parametreleri hesaba katıldığı zaman, MOSFET üzerinden akacak akımın en yüksek değerinin 57 A olduğu varsayılabilir. Kullanılan MOSFET’in veri sayfası incelendiği zaman toplam kapı yükü Q_G 130 nC, nominal kapı gerilimi 10V’tur. Harici kapı direnci 32.72 Ω olarak hesaplanmıştı. Bu durumda kapı akımı;

$$i_G = \frac{V_g}{R_G} = \frac{10}{32.72} = 0.306 \text{ A}$$

Toplam kapanma süresi;

$$t_k = \frac{Q_G}{i_G} = 425 \text{ ns}$$

Kullanılan MOSFET’in veri sayfası incelendiği zaman toplam kapanma süresinin yeterli olduğu görülür. Bu durumda sönümlenme devresi kondansatör değeri;

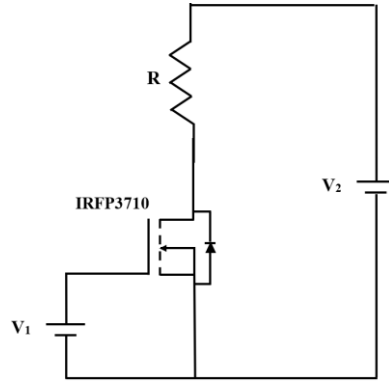
$$C_{sn} = \frac{It_k}{2V_{mak}} = \frac{57 \times 425 \times 10^{-9}}{2 \times 100} = 121,13 \text{ nF}$$

Kondansatörün hesaplanan kapanma süresinde tamamen boşalabilmesi için gereken direnç değeri;

$$t_k = 5R_{sn}C_{sn} \Rightarrow R_{sn} = 0.7 \Omega$$

2. DENEYİN YAPILIŞI

1. Şekil 3'te verilen devreyi kurunuz. Kapı ucuna bağlı gerilim kaynağının seviyesini 0 V'tan itibaren yavaş yavaş arttırınız ve MOSFET'in iletme girdiği anı belirleyiniz. MOSFET'in iletme girme gerilimi not ediniz.



Şekil 3. Deney devre düzeneği

2. Şekil 3'te verilen devrede kapı ucuna bağlı gerilim kaynağı yerine PWM kaynağı (sinyal üretici) bağlayınız ve maksimum seviyesini 10 V'a ayarlayınız. MOSFET'in drain-source uçları arasındaki gerilimi osiloskopta gözlemleyiniz ve MOSFET'in iletme ve kesime geçtiği bölümleri inceleyiniz ve grafiklerini çiziniz. Grafikleri yorumlayınız. Şekil 3'te verilen devrenin doğrudan kullanmanın dezavantajlarını yazınız.
3. Şekil 1'de verilen devreyi kurunuz. PWM sinyali olarak sinyal üreticiden tepe değeri 3.3 V olan kare darbe işareti uygulayınız. PWM işareti ve MOSFET'in drain-source uçları arasındaki gerilimi osiloskopta gözlemleyiniz. Grafikleri yorumlayınız.
4. Şekil 3'te verilen devreye Şekil 2'de verilen devreyi ekleyiniz. Devreyi çalıştırınız ve MOSFET'in drain-source uçları arasındaki gerilimi osiloskopta gözlemleyiniz. Elde edilen grafiği çiziniz ve yorumlayınız. Elde edilen sonucu adım 2'de elde edilen sonuçlarla karşılaştırınız.

İSTENENLER

1. MOSFET'in yapısını ve çalışmasını açıklayınız.
2. Schottky diyot nedir? Geleneksel diyotlardan fark(lar)ı nedir?
3. MOSFET'leri doğrudan sürülmesinin sakıncaları nelerdir?
4. Deneyin yapılışı 3. adımda elde edilen grafikleri çiziniz ve grafikleri yorumlayınız.
5. Deneyin yapılışı 4. adımda elde edilen grafikleri çiziniz ve grafikleri yorumlayınız.
6. Deneyin yapılışı 3 ve 4. aşamada elde edilen grafiklerden yararlanarak kesimde sönümlenme devresinin avantaj(lar)ını yazınız.

DENEY 3: TEK FAZLI TAM VE YARIM DALGA DOĞRULTUCULAR

HAZIRLIK SORULARI

1. Diyot ve tristörün çalışmasını ve özelliklerini kısaca açıklayınız.
2. Doğrultucu türleri nelerdir? Birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları nelerdir?
3. Harmonik nedir? Harmoniklerin oluşmasının sebepleri nelerdir? Güç sistemlerinde harmoniklerin etkisini açıklayınız.

DENEYİN AMACI

- Doğrultucu tiplerini tanımak
- Doğrultucuların çalışma prensibini anlamak
- Güç diyotları ve tristörlerin çalışma prensibini anlamak

KULLANILAN ELEMANLAR

Diyot, tristör, kapı sinyali üretme devresi, AA kaynak, osiloskop, reosta, endüktans, voltmetre.

1. GİRİŞ

Doğrultucular alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesini sağlayan devrelerdir. Doğrultucular besleme türü, kontrol edilebilirlik ve devre topolojisine bağlı olarak farklı türlerde doğrultucu devreler bulunmaktadır. Doğrultucu devre türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Tek fazlı doğrultucu
- Üç fazlı doğrultucu
- Kontrollü doğrultucu
- Kontrolsüz doğrultucu
- Tam dalga doğrultucu
- Yarım dalga doğrultucu

Bu deneyde tek fazlı tam dalga kontrolsüz ve kontrollü doğrultucu deneyleri gerçekleştirilecektir.

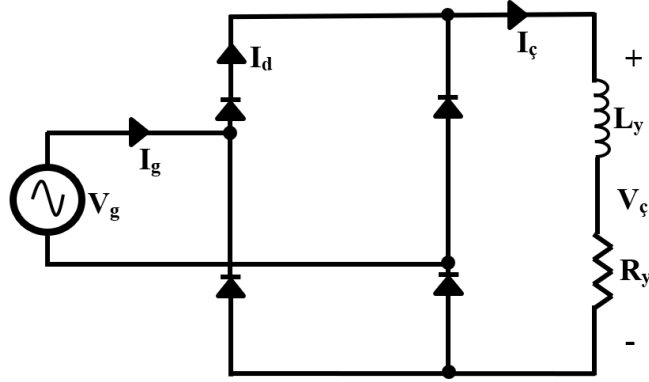
A. Tek Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu

Şekil 1’de verilen tam dalga kontrolsüz doğrultucu devresi dört adet diyottan oluşmaktadır. Bilindiği gibi anot-katot arasında uygun gerilim seviyesi bulunması durumunda diyotlar harici bir kontrol işlemine gerek duymadan ilettime girebilir.

Şekil 1’de verilen devrede;

- V_g : Giriş gerilimi
- $V_ç$: Çıkış gerilimi
- I_g : Giriş akımı
- I_d : Diyot akımı

- I_{ζ} : Çıkış akımı



Şekil 1. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu

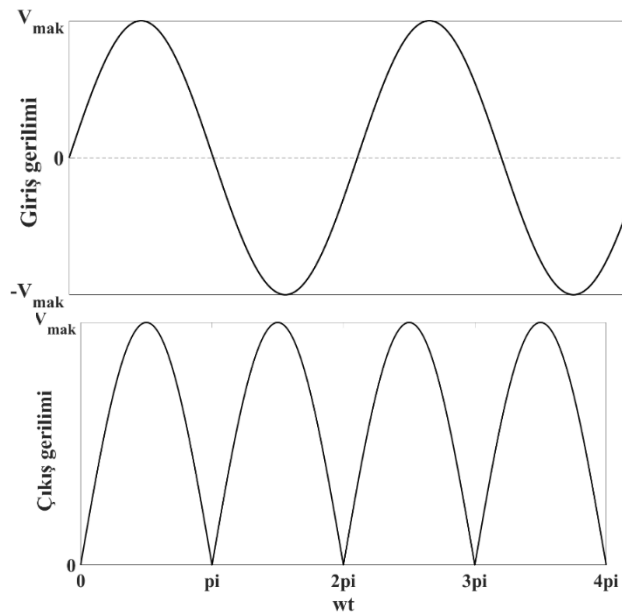
Şekil 1’de verilen devrenin girişine $V_g = V_m \sin(\omega t)$ gerilimi uygulanması durumunda giriş ve çıkış gerilimlerinin grafikleri Şekil 2’de görülmektedir. Burada girişin pozitif alternansı ($\omega t=0-\pi$) devre girişinde uygulandığı zaman D1-D4 diyotları iletimde D2-D3 diyotları ise tıkamadadır. Girişin negatif alternansı ($\omega t=\pi-2\pi$) devre girişine uygulandığı zaman ise D2-D3 diyotları iletimde D1-D4 diyotları ise tıkamadadır.

Devre çıkışında elde edilen gerilimin ortalama değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_{\zeta} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d\omega t$$

$$V_{\zeta} = -\frac{1}{\pi} V_m \cos(\omega t) \Big|_0^{\pi}$$

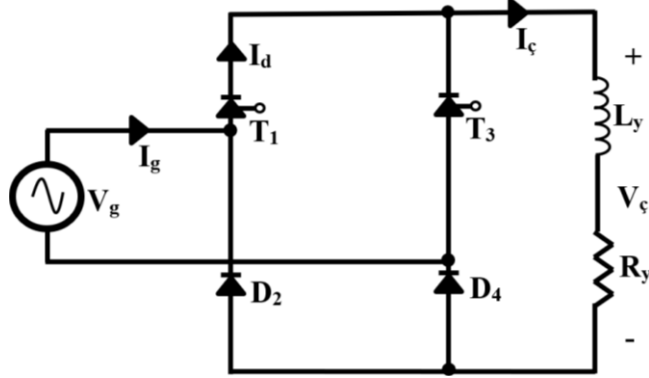
$$V_{\zeta} = \frac{2V_m}{\pi}$$



Şekil 2. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu grafikleri

B. TEK FAZLI TAM DALGA KONTROLLÜ DOĞRULTUCU

Şekil 3'te verilen tam dalga kontrolsüz doğrultucu devresi iki adet diyot ve iki adet tristörden oluşmaktadır. Tristörler diyotlardan farklı olarak, iletme girebilmesi için anot-katot arasında uygun gerilim seviyesi bulunmasının yanı sıra kapı ucuna uygun seviyede tetikleme işareti uygulanmalıdır.



Şekil 3. Tam dalga kontrollü doğrultucu

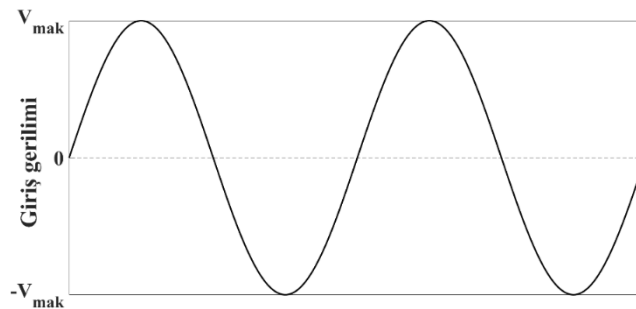
Şekil 3'te verilen devrede T1 ve T3 tristörlerine uygulanan tetikleme işaretinin uygulanma zamanını ($\omega t = \alpha$) değiştirerek çıkış geriliminin ortalama değeri ayarlanabilmektedir.

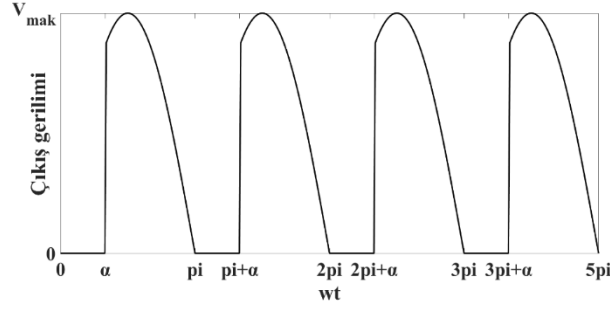
Şekil 3'te verilen devrenin girişine $V_g = V_m \sin(\omega t)$ gerilimi uygulanması durumunda giriş ve çıkış gerilimlerinin grafikleri Şekil 4'te görülmektedir. Burada girişin pozitif alternansın tetiklenme anından sonra ($\omega t = \alpha - \pi$) devre girişinde uygulandığı zaman T1-D4 anahtarları iletimde D2-T3 anahtarları ise tıkamadadır. Girişin negatif alternansın tetiklenme anından sonra ($\omega t = \pi + \alpha - 2\pi$) devre girişine uygulandığı zaman ise D2-T3 anahtarları iletimde T1-D4 anahtarları ise tıkamadadır. Devre çıkışında elde edilen gerilimin ortalama değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_c = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d\omega t$$

$$V_c = -\frac{1}{\pi} V_m \cos(\omega t) \Big|_{\alpha}^{\pi}$$

$$V_c = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos(\alpha))$$





Şekil 2. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu grafikleri

2. DENEYİN YAPILIŞI

2.1. Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu Deneyi

1. Şekil 1’de verilen devreyi kurunuz.
2. Osiloskop ile giriş gerilimi (V_g), çıkış gerilimi (V_c), diyot gerilimi (V_d), giriş akımı (I_g), çıkış akımı (I_c) ve diyot akımı (I_d) grafiklerini elde ediniz ve alt alta ölçekli olarak çizin.
3. Ampermetre ve voltmetre yardımıyla giriş gerilimi (V_g), çıkış gerilimi (V_c), diyot gerilimi (V_d), giriş akımı (I_g), çıkış akımı (I_c) ve diyot akımı (I_d) değerlerini ölçünüz ve kaydediniz.
4. Çıkış gerilimi (V_c), diyot gerilimi (V_d), giriş akımı (I_g), çıkış akımı (I_c) ve diyot akımı (I_d) değerlerini hesaplayınız ve değerleri kaydediniz.
5. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerleri karşılaştırınız.
6. Sonuçları ve grafikleri yorumlayınız.

2.2. Tam Dalga Kontrollü Doğrultucu Deneyi

1. Şekil 3’te verilen devreyi kurunuz.
2. α değerini $0-\pi$ arasında herhangi bir değere ayarlayınız ve osiloskop ile giriş gerilimi (V_g), çıkış gerilimi (V_c), diyot gerilimi (V_d), giriş akımı (I_g), çıkış akımı (I_c) ve diyot akımı (I_d) grafiklerini elde ediniz ve alt alta ölçekli olarak çizin.
3. Ampermetre ve voltmetre yardımıyla giriş gerilimi (V_g), çıkış gerilimi (V_c), diyot gerilimi (V_d), giriş akımı (I_g), çıkış akımı (I_c) ve diyot akımı (I_d) değerlerini ölçünüz ve kaydediniz.
4. Çıkış gerilimi (V_c), diyot gerilimi (V_d), giriş akımı (I_g), çıkış akımı (I_c) ve diyot akımı (I_d) değerlerini hesaplayınız ve değerleri kaydediniz.
5. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerleri karşılaştırınız.
6. Sonuçları ve grafikleri yorumlayınız.

DENEY 4: BİR FAZLI DEĞİŞKEN GERİLİM KIYICI

AMAÇ

Bu deneyde bir fazlı tristörlü değişken gerilim kıyıcı devresinin kullanımı incelenip; değişken gerilim kıyıcı devrelere ilişkin kavramlar ve uygulamalar değerlendirilecektir.

1. TEMEL İLKELER

Değişken gerilim kıyıcılar, denetimli yarı iletken anahtar olarak tristör kullanan devrelerdir. Daha uzun ömürlü olduklarından ve yüksek anahtarlama frekansının kullanımına olanak sağladıklarından yan iletken anahtarlar, mekanik anahtarlara seçenek olmuşlardır.

Değişken gerilim kıyıcıların başlıca uygulama alanları;

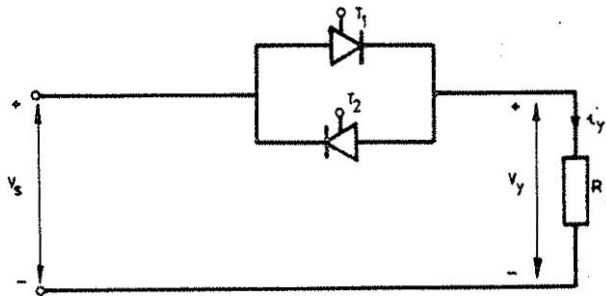
- Asenkron motorlarda yol verici ve hız denetimi
- Elektrikle ısıtma ve ergitme
- Transformatörde çıkış ucunun değiştirilmesi

1.1.Yapısı ve Çalışma ilkesi

Bir fazlı değişken gerilim kıyıcı her bir akım yarı dalgasını ileten, ters paralel bağlı iki tristör içerir. Şekil 1’de direnç yükünde değişken gerilim kıyıcı devre yapısı, Şekil 2’de çalışma dalga biçimleri verilmiştir. Tristörlerin tetikleme açısının değiştirilmesi. ile yüke uygulanan gerilimin etkin değeri değiştirilebilir. Yük geriliminin etkin değeri V_y , tetikleme açısına bağlı olarak;

$$V_{y\text{eff}} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2 \cdot V_s^2 \cdot \sin^2 \omega t (d\omega t) \right]^{1/2} = V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

biçiminde verilebilir.

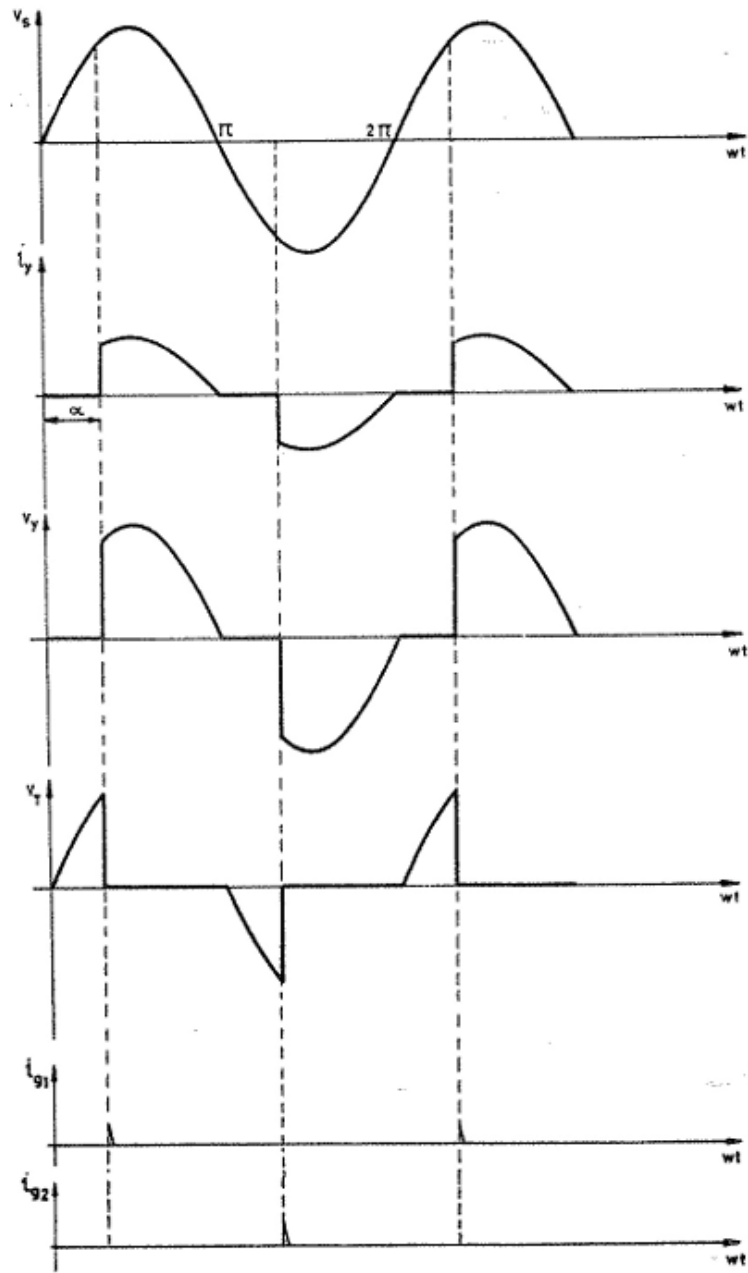


Şekil 1. Bir fazlı değişken gerilim kıyıcı (Direnç yükünde)

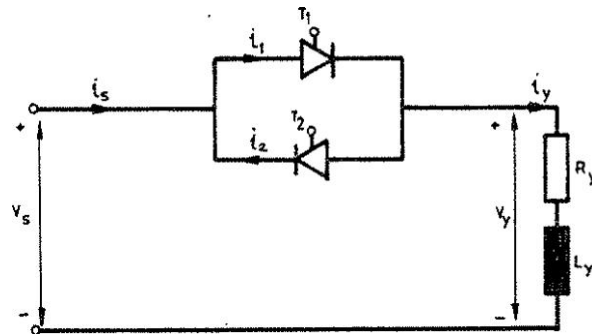
Devrenin direnç yükünü beslemesi durumunda her bir tristörün iletim süresi $\beta = \pi - \alpha$ kadardır.

Değişken gerilim kıyıcının yükünün Şekil 3’te görüldüğü gibi direnç-endüktans olması durumunda, her bir tristörün iletimde β süresi kadar kaldığı ($\beta > \pi - \alpha$) ve diğer tristörün

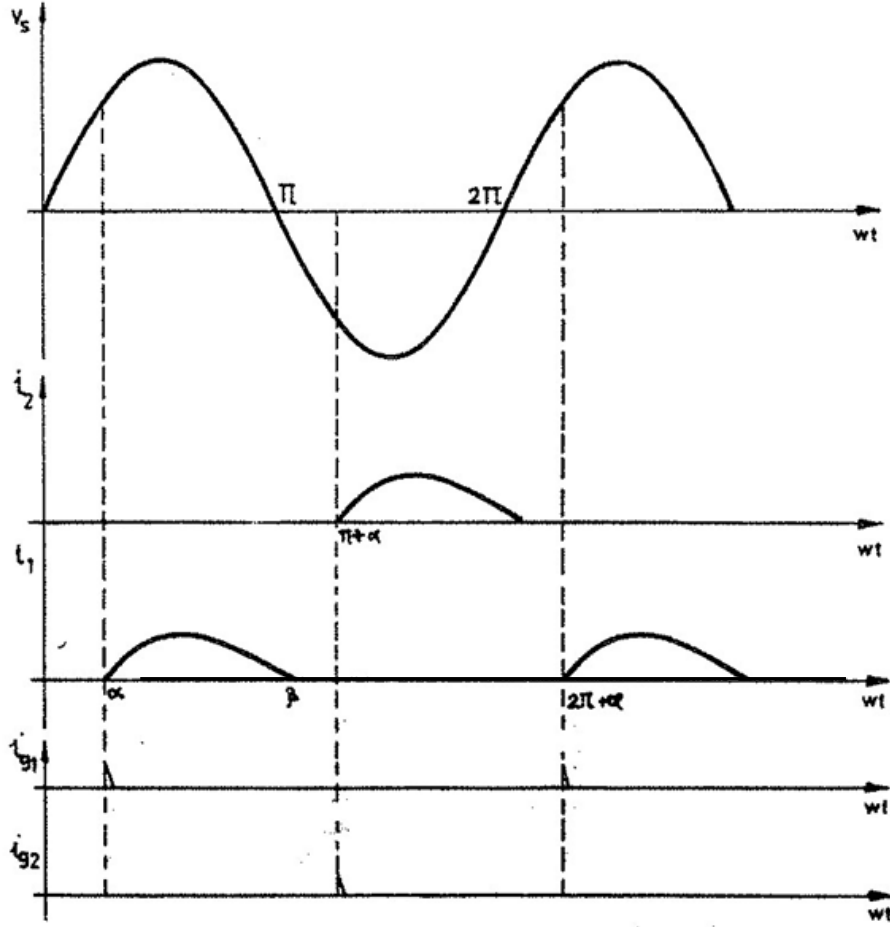
kapısında tetikleme darbesi olsa bile, iletimdeki tristör susmadıkça, iletime geçemeyeceği görülür. Bu durumda dalga biçimleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Devrenin direnç yükünü beslemesi durumunda dalga biçimleri



Şekil 3. Direnç-endüktans yükünde değişken gerilim kıyıcı devresi

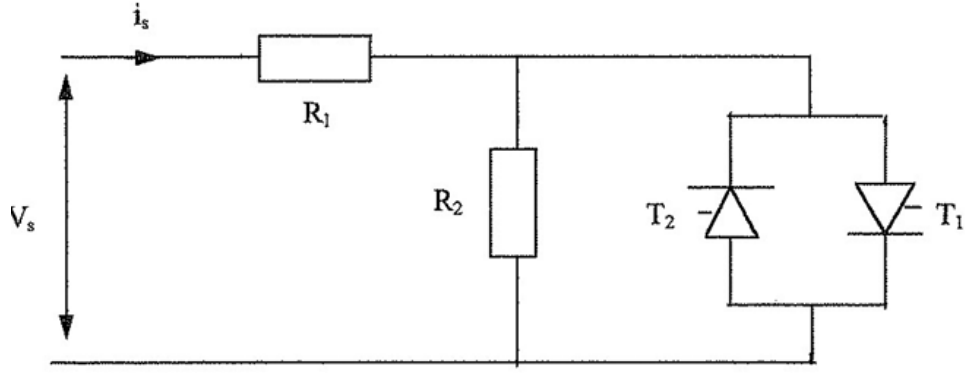


Şekil 4. Direnç-endüktans yükünde dalga biçimleri

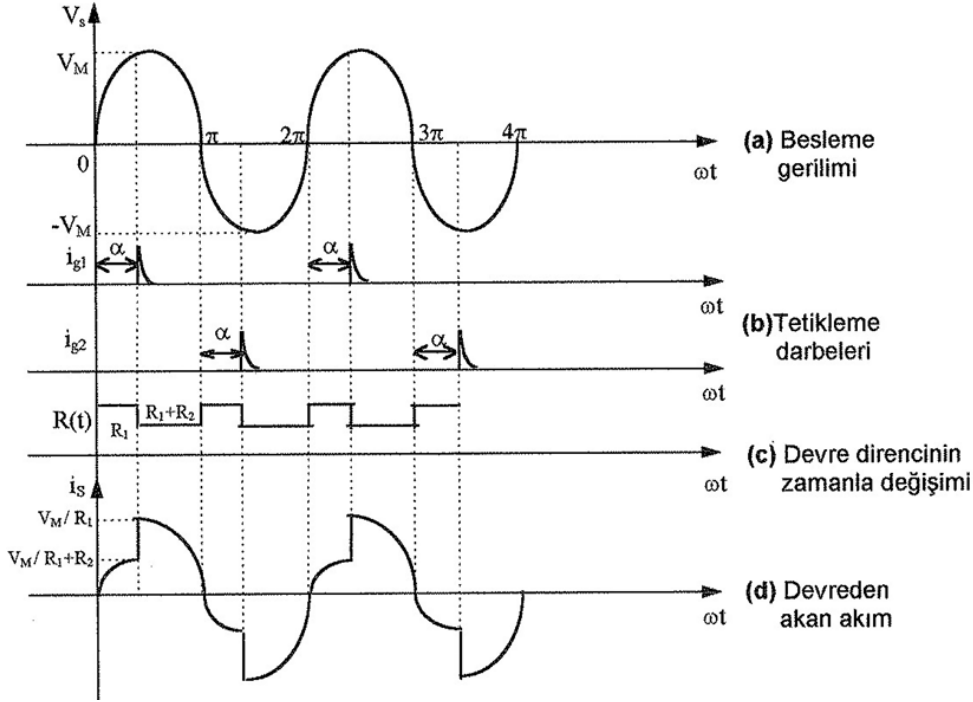
Değişken gerilim kıyıcılarında iletme girme güvenliğini sağlamak için uzun süreli tetikleme darbeleri kullanılır. Bu biçimde darbe kullanılmazsa (direnç-endüktans yükünde) gerilim ters yöne geçtiğinde iletimde olan tristör durumunu koruduğundan diğer tristör tetiklense bile iletme geçemez ve devre bir yolla doğrultucu olarak çalışır.

1.2. Değişken Alternatif Akım Direnci

Değişken gerilim kıyıcı olarak çalışan tristörlü devrenin Şekil 5'teki gibi bağlandığını varsayınız. T1 ya da T2 iletimde iken R2 direncinin kısa devre olduğu görülmektedir. Bu durumda, T1 ve T2 tristörlerinin sırayla alternatif akım besleme gerilimi dalga biçiminin birinci ve ikinci yarı dalgalarında simetrik olarak α açısı ile tetiklendiği düşünülürse, devre giriş direncinin zamanla değişimi ve bunun sonucu olarak devreden akan akımın dalga biçimli Şekil 6'daki gibi olacaktır. Burada α açısına bağlı olarak direncin R1 ile R1 + R2 değerleri arasında değişebileceği görülmektedir.



Şekil 5. Ayarlı Alternatif akım direnci için değişken gerilim kıyıcı devresi



Şekil 6. Dalga biçimleri

2. DENEYLER

1. Deneyde kullandığınız değişken gerilim kıyıcı devresini inceleyiniz.
2. Şekil 3'te verilen değişken gerilim kıyıcı devresini kurup direnç ve direnç-endüktans yükünde $\alpha = 60^\circ$ için V_y , V_{T1} ve i_y akımının değişimlerini inceleyiniz.
3. Şekil 3'teki devrede yük uçlarına ampermetre ve voltmetre bağlayarak direnç yükünde değişik tetikleme açılarında yük gerilimi ve akımı görünüz.

α	0	1	4	6	9	1	1	1	1	1
V										
I					-					

4. Şekil 5'teki devreyi kurup, değişken gerilim kıyıcının girişine ampermetre voltmetre, ampermetre ve wattmetre bağlayınız.
5. $\alpha = 90^\circ$ için giriş akımı i_1 , giriş gerilimi ve değişken gerilim kıyıcı üzerindeki gerilim dalga biçimini ölçekli olarak çiziniz.
6. Değişik tetikleme açılarında gerilim, akım ve güç değerlerini kaydediniz.

DENEY 5: DOĞRU GERİLİM KIYICI

AMAÇ: Bu deneyde Transistörlü Doğru Gerilim Kıyıcı devresinin çalışması incelenecektir.

1. TEMEL İLKELER

Doğru gerilim kıyıcılar, DA, DA dönüştürücü devrelerdir. Alternatif akım devrelerindeki transformatör işlevinin, doğru akım devrelerindeki benzerini yerine getirirler. Statik doğru gerilim kıyıcıların çıkış DA gerilimi uygun denetim yöntemiyle değiştirilebilir.

2. DÖNEMLİ DARBE DİZİSİ ORTALAMA DEĞER DENETİMİ

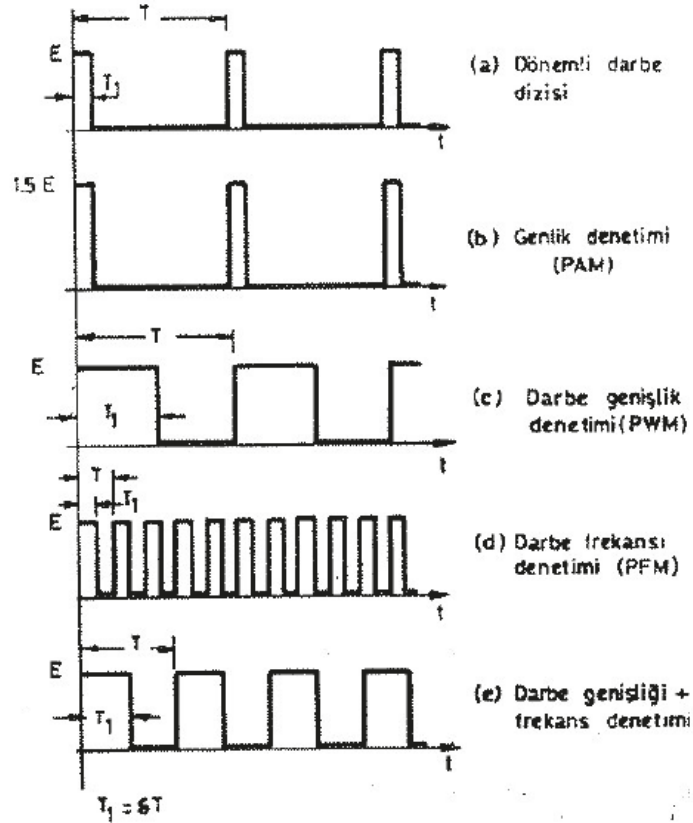
Şekil 1.a'da T dönemli bir darbe dizisi verilmiştir. Bu darbe dizisinin ortalama değeri;

$$V_{ort} = E \frac{T_1}{T_1 + T_2} = E \frac{T_1}{T} = \delta \cdot E$$

$$\delta = \frac{T_1}{T}$$

eşitliği ile verilir. Bu ortalama değeri değiştirmek için kullanılacak yöntemler bu eşitlikten çıkarılabilir.

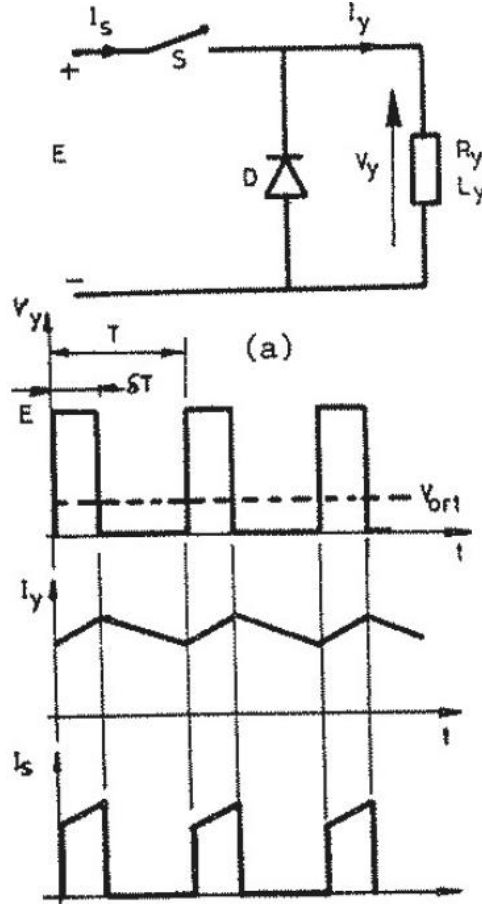
- Darbe Genlik Bindirimi (PAM), Şekil 1.a
- Darbe Genişlik Bindirimi (PWM), Şekil 1.b
- Darbe Frekans Bindirimi (PFM), Şekil 1.c
- Hem T_1 hem de T değerinin değiştirilmesi, Şekil 1.e



Şekil 1. Dönemli darbe dizisi ortalama değer denetimi

3. DOĞRU GERİLİM KIYICI ÇALIŞMA İLKESİ

Doğru gerilim kıyıcının ilkesel devresi ve dalga biçimleri Şekil2’de verilmiştir. Buna göre doğru gerilimle beslenen bir yükün akımı bir S anahtarı ile, yukarıda sözü edilen yöntemlerden biri kullanılarak denetlenebilir. Şekilde, uygulanan doğru gerilimin kıyılarak, yük üzerine bir darbe dizisi biçiminde oluştuğu görülmektedir.



Şekil 2. Doğru gerilim kıyıcı ilkesel devresi. (a) devre; (b) dalga biçimleri

Doğru gerilim kıyıcının temel ilkesi ve devresinin uygulamadaki gerçekleştirilmesi, anahtarlama elemanı S'nin özelliklerine ve çalışma biçimine bağlıdır. Doğru gerilim devre kıyıcı devresinde anahtarlama elemanı olarak transistör veya tristör kullanılmasına göre devrenin çalışma özellikleri farklılıklar gösterir. Doğru akım devresinde tetiklenerek ilettime geçmiş tristörün kendi devresindeki akım ve gerilimlerin doğal değişimleriyle tıkamaya geçmesinin sağlanması olanaksızdır. Bu koşulları sağlayabilmek için yük devresine ek elemanlar ve tristör tıkama yöntemleri gerekir. Bu yöntemlere kısaca “zorunlu aktarım yöntemleri” adı verilir. Zorunlu aktarım yöntemleri genellikle aktarım için gerekli devre elemanlarının türüyle çalışma biçimlerine göre sınıflandırılabilir. Bunlar;

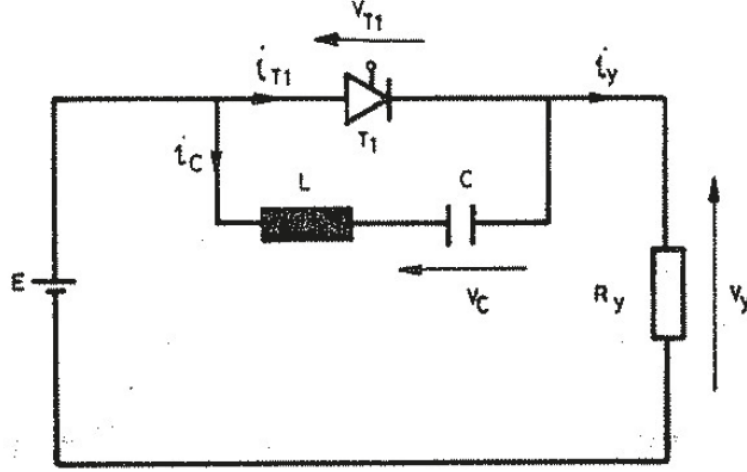
- Rezonans aktarım
- Öz aktarım
- Yardımcı tristörlü aktarım
- Tümleyen devreli aktarım
- Dıştan darbeleri aktarım

olarak adlandırılır.

4. DOĞRU GERİLİM KIYICI DEVRELERİ

4.1. Tek Tristörlü Doğru Gerilim Kıyıcı

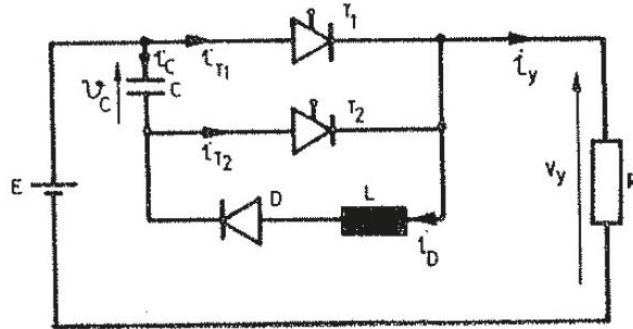
Bu kıyıcının devresi Şekil 3'te verilmiştir. Bu devrede yük geriliminin ortalama değerinin denetimi kapı tetikleme darbelerinin sıklığına bağlıdır. Ancak bu sıklık LC devresinin ve yükün özelliğine bağlı olarak belli bir üst sınıra kadar değiştirilebilir. Bu nedenle küçük ya da orta güçlerde ve sabit yük direnci durumlarında kullanılabilir.



Şekil 3. Tek tristörlü doğru gerilim kıyıcı devre bağlantısı

4.2. İki Tristörlü Doğru Gerilim Kıyıcı

Bu kıyıcının devresi Şekil 4'te verilmiştir. Bu devrenin çalışabilmesi için önce sığacın +E değerine dolu olması gereklidir. Yük geriliminin ortalama değer denetimi T1, T2 tristörlerinin tetiklemeleri arasındaki süre değiştirilerek yapılabilir. Ancak gerek RC zaman sabiti, gerekse salınımdaki devrenin yarı dönem süresi bu iki tetikleme darbesi arasındaki süreyi sınırlar.



Şekil 4. İki tristörlü doğru gerilim kıyıcı devresi

4.3. Transistörlü Doğru Gerilim Kıyıcı

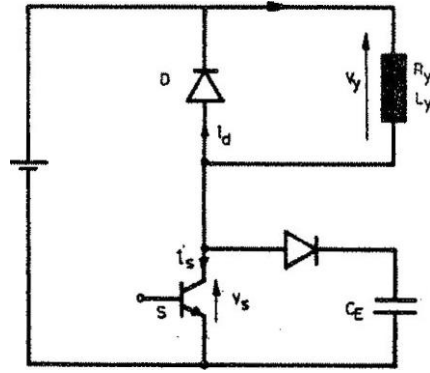
Transistörler anahtarlama elemanı olarak tristörlere göre daha kullanışlı olduğu gibi, tıkama sorunları olmadığı için ek aktarım devrelerine gerek göstermezler. Ancak güç transistörlerinin bugünkü sınır değerleri tristörler kadar yüksek olmadığından, transistörlü kıyıcılar özellikle küçük güçlerde teknik ve ekonomik bakımdan tristörlü kıyıcılara seçenek olabilirler.

Transistörlü bir doğru gerilim kıyıcının devresi Şekil 5'te, dalga biçimleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu devrede yük geriliminin ortalama değeri, anahtar olarak kullanılan transistörün bazına uygulanan dalga biçimindeki sıklık, darbe genişliği ya da her ikisi birden değiştirilerek denetlenebilir.

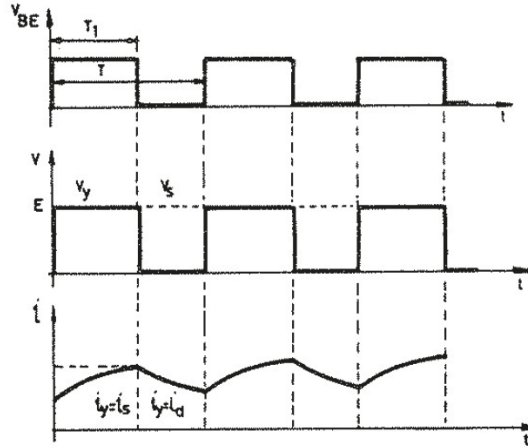
Transistörün bazına eşik geriliminin üzerinde bir darbe uygulanırsa ve baz akımı $I_B \geq I_C/h_{fe}$ ise transistör doymaya gider ve $V_{cE} = 0$ olur. Bu durumda E gerilimi yük üzerinde görülür. Transistörün bazına uygulanan gerilim kesildiğinde ya da transistörü kesime götürece kadar büyük bir negatif gerilim uygulandığında $V_{cE} = E$ olur. Bu durumda yükte biriken enerji D boşluk diyotu üzerinden boşalır ve yük gerilimi sıfır olur. Şekil 6'daki dalga biçimi incelendiğinde;

$$V_{\text{yort}} = \frac{T_1}{T_2} E$$

olduğu görülür. T sabit tutularak T_1 süresinin değiştirilmesiyle yük üzerindeki ortalama gerilim ayarlanabilir.



Şekil 5. Transistörlü doğru gerilim kıyıcı devresi



Şekil 6. Transistörlü doğru gerilim kıyıcı devresinin dalga biçimleri

Bu devrede, hızlı akım ve gerilim değişimlerine karşı transistörü korumak için Şekil 5'te görüldüğü gibi bazı ek elemanlar (sığaç, endüktans ve diyot) kullanılabilir.

5. DENEYLER

1. Deneyde kullanılan doğru gerilim kıyıcı devresini inceleyiniz.
2. Şekil-5' de verilen transistörlü doğru gerilim kıyıcı devresini kurup, değişik Direnç ve Direnç-Endüktans yüklerinde yük gerilimi ve akımının değişimin' inceleyip çiziniz.

6. İSTENENLER

1. Transistörün anahtarlama özelliklerini açıklayınız.
2. Deneyde elde ettiğiniz sonuçları milimetrik kağıda ölçekli olarak çiziniz.
3. Deney sonuçlarını yorumlayınız.