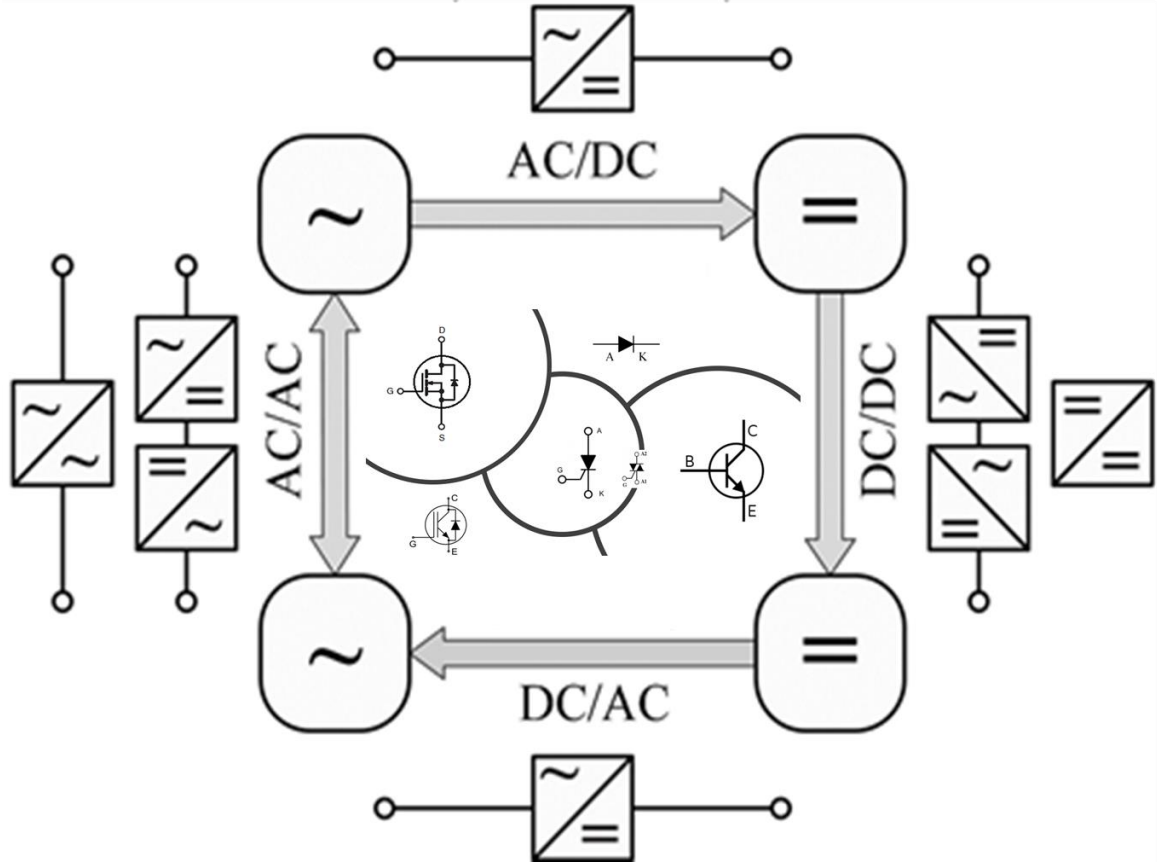


KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI
DENEY FÖYÜ

Prof. Dr. Ramazan AKKAYA

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

DENEY NO:1

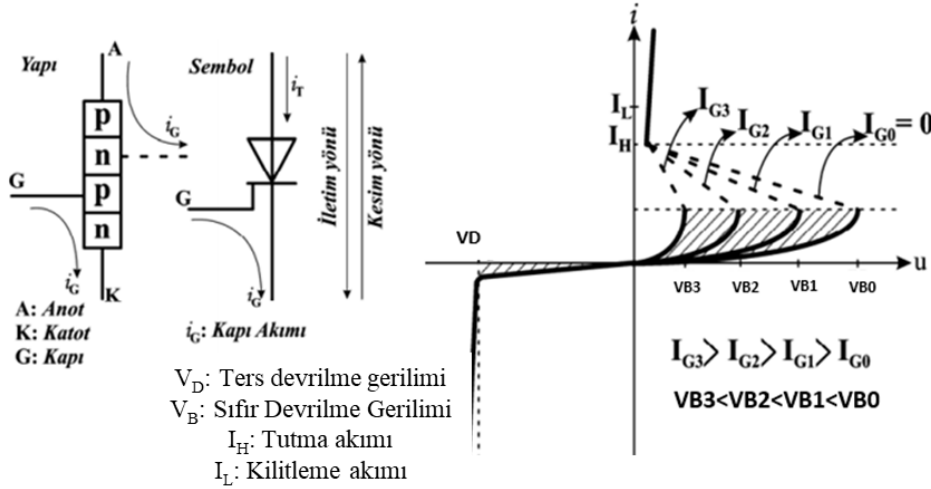
DENEYİN ADI : TRİSTÖR, MOSFET VE IGBT'NİN KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

DENEYİN AMACI : TRİSTÖR, MOSFET ve IGBT'nin V-I Karakteristiklerinin çıkartılması ve çalışma şekillerinin anlaşılması.

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR:

A) TRİSTÖR KARAKTERİSTİĞİ

Tristör, 4 Katman (p-n-p-n) ve 3 Ekleme sahip, 2 ana ve 1 kontrol ucu bulunan kontrollü ve tek yönlü yarıiletken güç elemanıdır. Ters gerilim tutma ve iletim özellikleri diyota eşdeğer olan tristör, ilave olarak ileri yönde gerilim tutma ve kontrol özelliklerine sahiptir. Şekil 1'de Tristörün yapısı, sembolü ve iletim karakteristiği verilmiştir.



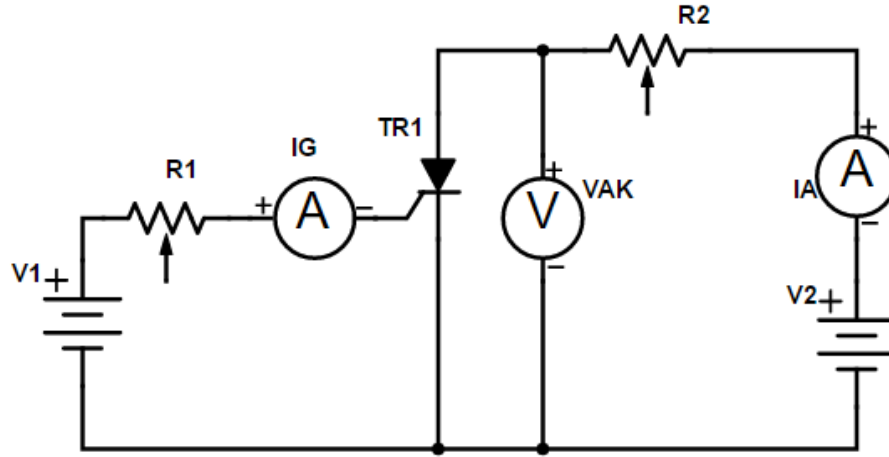
Şekil 1.Tristörün yapısı, sembolü ve iletim karakteristiği

Kapısına kısa süreli ve yeterli bir *akım sinyali* uygulanan tristör tetiklenir ve iletme girer. Kısa süreli bir sinyal ile iletme girdiği için tristöre *Tetiklemeli Eleman* da denmektedir. İletimdeki bir tristörün içinden geçen akım, *kilitleme akımına* (I_L) eriştiğinde, tristör iletim yönünde kilitlenir ve artık kapı akımı kesilse de iletimde kalır. İletimde olan bir tristörün içinden geçen akım herhangi bir şekilde *tutma akımının* (I_H) altına düşerse, tristör otomatik olarak kesime girer. Bu andan itibaren tristör, en az *sönme süresi* (t_q) kadar negatif bir gerilimle tutulur veya tekrar bir pozitif gerilim ($\geq 0,6$ V) uygulanmaz ise kesim yönünde kilitlenir ve artık pozitif gerilim uygulansa bile kesimde kalır. Bu nedenle, tristöre *Kilitlemeli Eleman* da denilmektedir.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Tristörün iletme girme işlemi kontrollü olup, kesime girme işlemi kontrolsüzdür. Bu nedenle tristöre *Yarı Kontrollü Eleman* da denilmektedir. Bir tristörün uçlarındaki gerilimin değeri bu tristörün sıfır devrilme gerilimi değerine erişirse, ($V_{AK} \geq V_{B0}$), uçlarındaki gerilimin yükselme hızı tristörün kritik gerilim yükselme hızını aşarsa ($\frac{dV_{AK}}{dt} \geq \frac{dAK}{dt} |_{krt}$) veya yeni iletimden çıkan bir tristörün negatif gerilimde tutulma süresi bu tristörün sönme süresinden küçükse, ($T_N < t_q$) bu tristör kendiliğinden iletme geçer.

MONTAJ-1: Tristör karakteristiğinin çıkarılmasında kullanılan devre



Şekil 2. Deneysel devre şeması

V-I Karakteristiğinin Çıkarılması:

1. Şekil 2'deki devreyi kurunuz.
2. R1 ve R2'yi orta konumlara ve V1 ve V2'yi minimuma ayarlayın.
3. R1 ve V1'i değiştirerek sonlu bir kapı akımı (I_G) ayarlayın.
4. V2'yi (veya R2) yavaşça değiştirin ve V_{AK} ve I_A 'yı not edin.
5. İkinci kapı akımı (I_G) değeri için 2., 3. ve 4. adımları tekrarlayın.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Örnek sayısı	$I_{G1} = \dots\dots\dots \text{Amper}$		$I_{G2} = \dots\dots\dots \text{Amper}$	
	V_{AK} (Volt)	I_A (Amper)	V_{AK} (Volt)	I_A (Amper)
1				
2				
3				
4				

2. Tutma akımının bulunması:

1. Tristörün iletim durumunda olduğundan emin olun.
2. Kapı gerilimini kaldırın ve V_{AK} 'ı azaltmaya başlayın; aynı anda tristör durumunu kontrol edin. Tristör iletimdeyken, akımı (I_A) sıfıra gelmeden hemen önce not edin.

3. Kilitlenme akımının bulunması:

1. Tristörün iletim durumunda olduğundan emin olun.
2. Anot gerilimini (V_{AK}) yavaş yavaş azaltmaya başlayın; kapı beslemesini kapatıp aynı anda tristörün durumunu kontrol edin. Tristör sadece kapı ucu çıkartılarak kesime sokulursa ve kapı beslemesi bağlanarak ilettime sokulursa, bunu sağlayan anot akımı (I_A), tristör için kilitleme akımıdır.

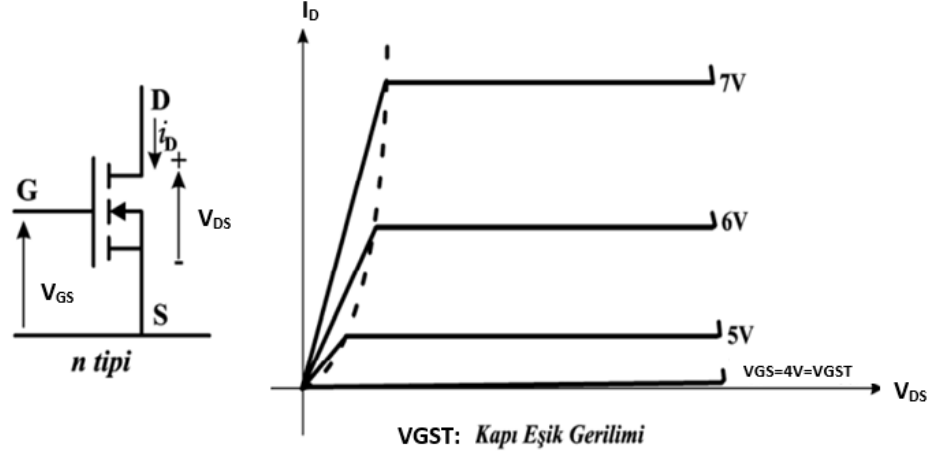
B) MOSFET KARAKTERİSTİĞİ

MOSFET, 2 ana (Drain-Source) 1 kontrol (Gate) ucu bulunan, *gerilim kontrollü* bir yarıiletken güç elemanıdır. MOSFET'ler düşük güç ve yüksek frekanslarda, inverter ve DC kıyıcı devrelerinde kullanılmaktadır.

Kapı gerilimi (V_{GS}) ile kanal akımı (I_D) kontrol edilir. Ancak kapı gerilimi bir eşik değerine (V_{GST}) sahip olup bu değer üzerinde etkilidir. Kapı gerilimi (V_{GS}) arttıkça MOSFET gerilimi (V_{DS}) düşer ve yük akımı (I_D) artar. Kapı geriliminin etkili olduğu bu çalışmaya *Aktif Çalışma* veya *Yarı iletimde çalışma* denir. Kapı geriliminin belli bir değere erişmesiyle MOSFET'in gerilimi minimum ve akımı maksimum olur. Buna tam *Tam İletimde* veya *Lineer çalışma* denir. Güç devrelerinde MOSFET hiç kapı gerilimi verilmeden kesimde veya yeterli bir kapı gerilimi ile tam iletimde çalıştırılmalıdır. İletime

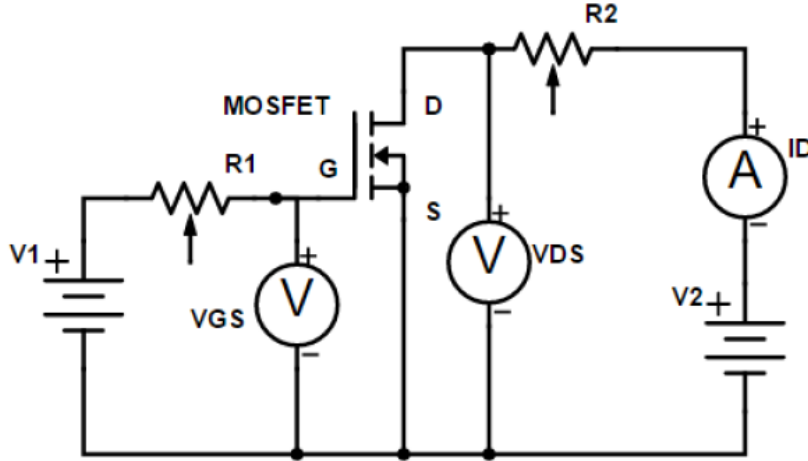
GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

girme işlemi, kesimde olan ve uçlarında pozitif gerilim bulunan bir MOSFET'in kapısına yeterli bir gerilimin uygulanmasıyla başlar. Kesime girme işlemi ise iletimde olan bir MOSFET'in kapı geriliminin kesilmesiyle başlar.



Şekil 3. MOSFET'in sembolü ve iletim karakteristiği

MONTAJ-2: MOSFET karakteristiğinin çıkarılmasında kullanılan devre



Şekil 4. Deneysel devre şeması

MOSFET'in statik karakteristiğinin çıkartılması:

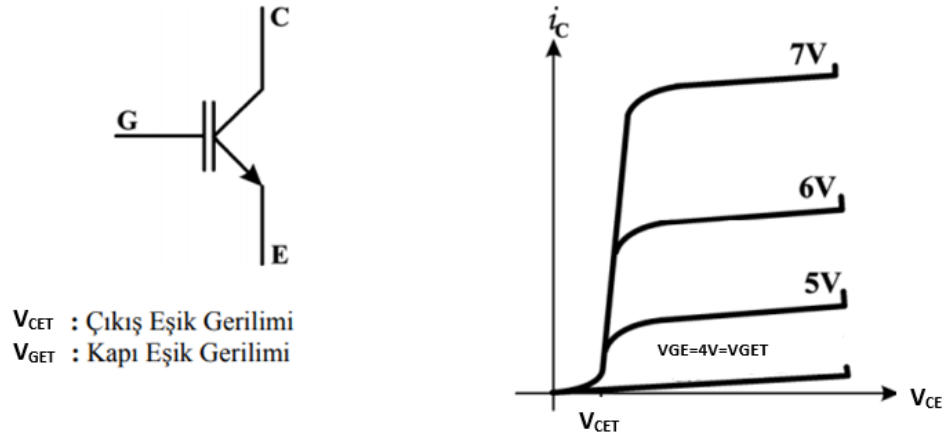
1. Şekil 4'teki gibi devreyi kurunuz.
2. R_1 ve V_1 'i değiştirerek sonlu bir kapı gerilimi (V_{GS}) ayarlayın.
3. V_2 'yi (veya R_2) değiştirerek, V_{DS} ve I_D 'yi not edin.
4. İkinci kapı gerilimi (V_{GS}) değeri için 2. ve 3. adımları tekrarlayın.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Örnek sayısı	$V_{GS1} = \dots\dots$ Volt		$V_{GS2} = \dots\dots$ Volt	
	V_{DS} (Volt)	I_D (Amper)	V_{DS} (Volt)	I_D (Amper)
1				
2				
3				
4				

C) IGBT KARAKTERİSTİĞİ

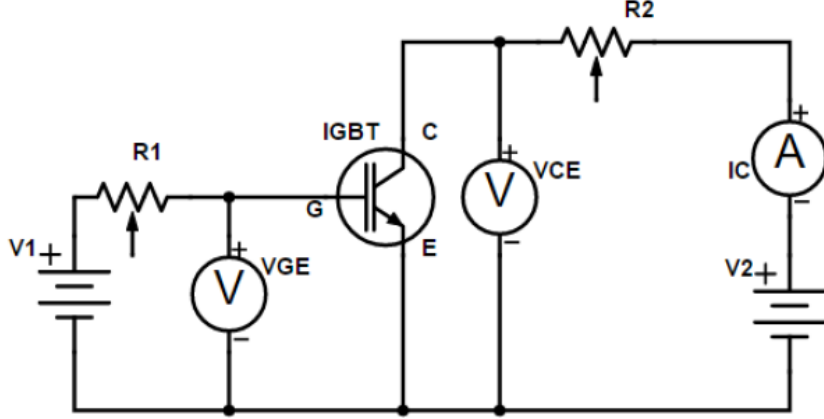
MOSFET'in ideal sürme karakteristiği ve BJT'nin düşük iletim gerilim düşümü özelliklerine sahip olan karma bir güç elemanıdır. IGBT'nin giriş ve kontrol özellikleri MOSFET'e, çıkış özellikleri BJT'ye benzer. Kapı gerilimi MOSFET'te olduğu gibi yine bir eşik (V_{GET}) değerine sahiptir. Şekil 5'te IGBT'nin sembolü ve iletim karakteristiği verilmiştir.



Şekil 5. IGBT'nin sembolü ve iletim karakteristiği

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

MONTAJ-3: IGBT karakteristiğinin çıkarılmasında kullanılan devre



Şekil 6. Deneysel devre şeması

IGBT karakteristik eğrilerinin çizilmesi:

1. Şekil 6'daki gibi devreyi kurunuz.
2. R1 ve V1'i değiştirerek sonlu bir kapı- emiter gerilimi (V_{GE}) ayarlayınız.
3. V2'yi (veya R2) değiştirerek, V_{CE} ve I_C 'yi not ediniz.
4. İkinci kapı gerilimi (V_{GE}) değeri için 2. ve 3. adımları tekrarlayın.

Örnek sayısı	$V_{GE1} = \dots \text{Volt}$		$V_{GE2} = \dots \text{Volt}$	
	V_{CE} (Volt)	I_C (Amper)	V_{CE} (Volt)	I_C (Amper)
1				
2				
3				
4				

D) TEMEL TRİSTÖR TETİKLEME DEVRELERİ

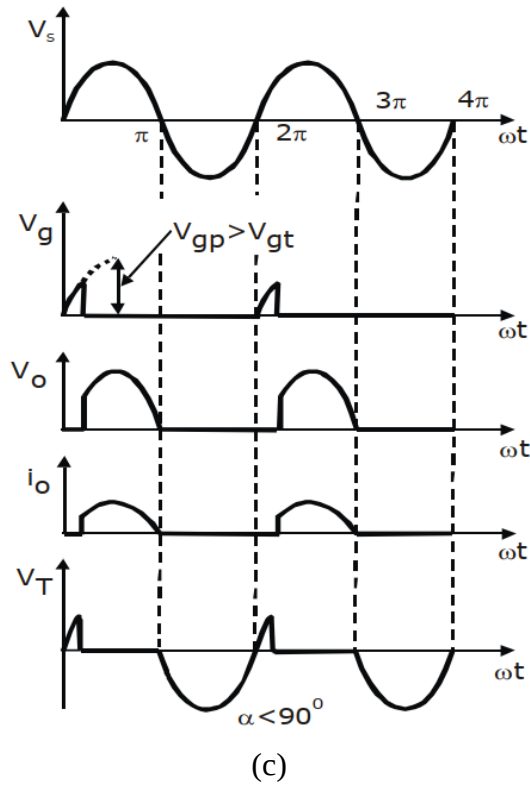
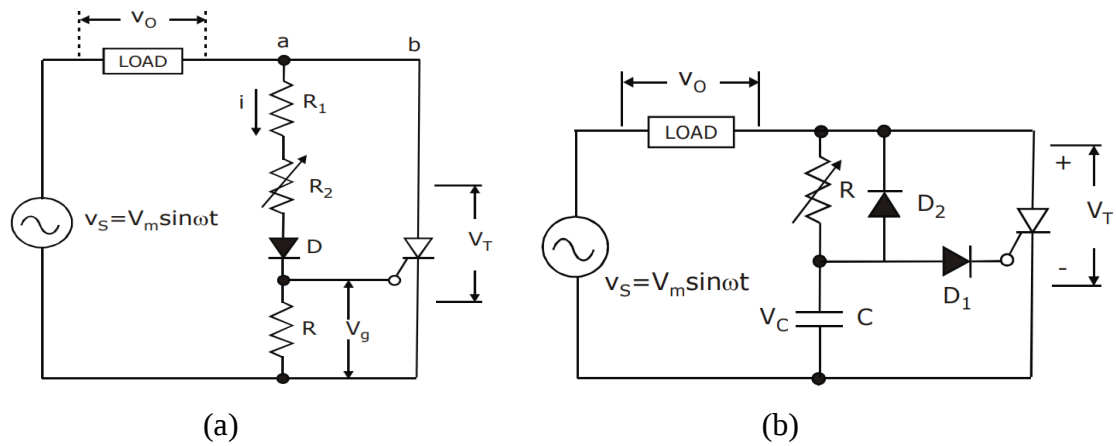
Bir tristörün tetiklenebilmesi için $I_G \geq I_{GT}$ olmalıdır. Bunu sağlamak amacıyla çeşitli tetikleme devreleri kullanılır. Bu devreler;

1. Dirençli (R) Tetikleme Devresi
2. Direnç-Kondansatörlü (RC) Tetikleme Devresi
3. Devrilen Eleman (Schockley diyodu, UJT, PUT) Tabanlı Tetikleme Devresi
4. IC Tabanlı (UAA145/146, TCA785) Tetikleme Devresi

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Bu devrelerin çoğu karmaşık değildir ve pratik olarak kullanılmazlar, ancak tristörün tetiklenmesinin kolayca anlaşılmasını sağlarlar. Bu deneyde R ve RC tetikleme devreleri deneysel olarak gerçekleştirilecek, diğer tetikleme devreleri ise AC kıyıcı ve Kontrollü Doğrultucu deneylerinde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Şekil 7’de verilen R ve RC tetiklemeli yarım dalga devre şemalarında tristör iletim yönünde kutuplanmış iken iletme geçebilmesi için kullanılan kontrol akımının yüksekliğine bağlı olarak kapı devrilme geriliminin değişmesi özelliğinden faydalanılır. Bu tip tetiklemede kapı akımı, bir akım sınırlayıcı ön direnç kullanılarak şebekeden sağlanır.

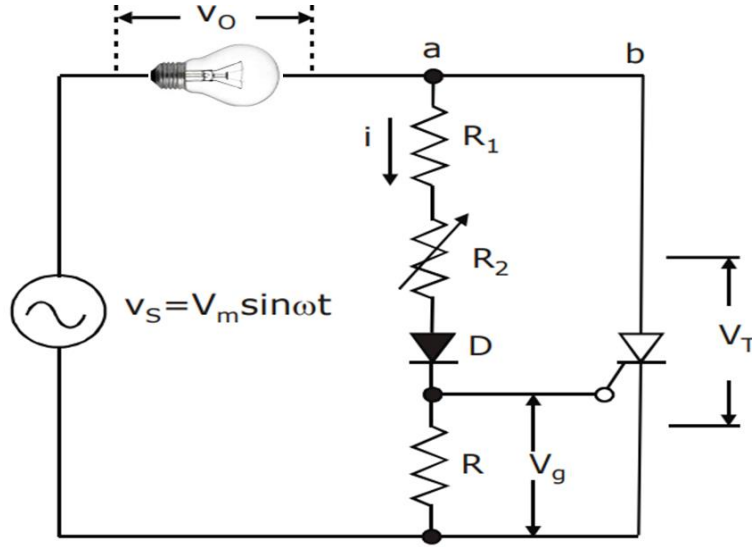


Şekil 7. a) R, b) RC tetikleme devreleri ve c) dalga şekilleri

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

MONTAJ-1: Dirençli (R) tetikleme devresi

Tristörün tetiklenmesi için gerekli olan kapı akımını sağlamak amacıyla Şekil 8’de görüldüğü gibi uygun bir akım sınırlayıcı direnç kullanılarak anot geriliminden faydalanılır.



Şekil 8. Tristörün direnç üzerinden tetiklenme devresi

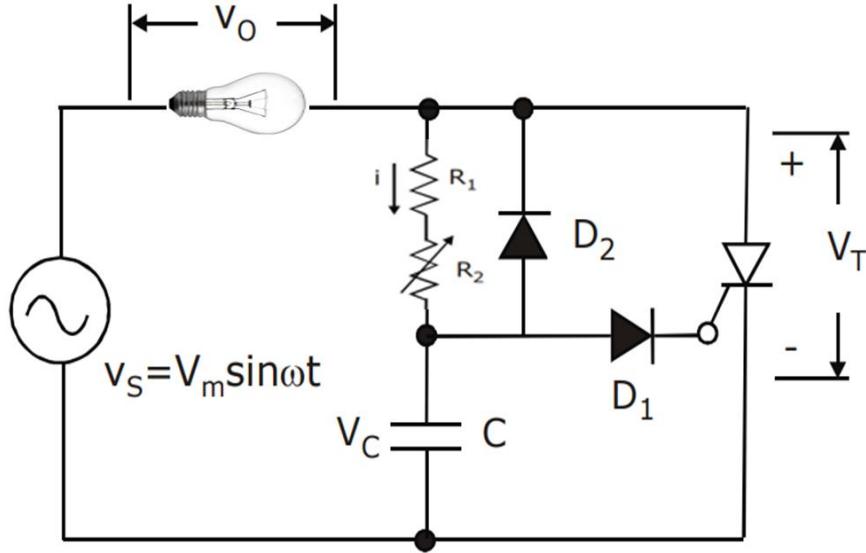
Tristörün tetiklenmesini izlemek için şekildeki devreyi kurunuz. Devrenin kapı tarafına R_1 ve R_2 (potansiyometre) üzerinden 220 V şebeke gerilimi uygulayarak tristörün tetiklenme işlemi gerçekleştirilir. 220 volt için yalıtılmış bir kaynak kullanınız ve osilaskop kullanırken aynı anda farklı GND noktaları kullanmayınız. 220 volt yalıtım transformatöründen önce ototrafo kullanınız. Ototrafoyu 110 volta ayarlayınız ve devreye enerji veriniz. Potansiyometreyi sağa sola çevirerek lambanın yandığını gözleyiniz. Şimdi potansiyometre ile lambanın yanma noktasına getiriniz (lamba sönmek olacaktır). Daha sonra ototrafo üzerinden gerilim arttırınız ve lambanın yandığını gözleyiniz. Aynı şekilde gerilimi tekrar 110 Volta ayarlayınız ve bu defa tristörün gövdesini bir kibrit veya çakmak gibi harici bir elemanla ısıtınız aynı şekilde lambanın yandığını gözleyiniz.

Sonuç: Bu şekilde tasarlanmış bir tristör tetikleme düzeneği arzu edilmez. Çünkü gerilim dalgalanması veya ısınma gibi problemler ortaya çıktığında tristör kontrol edilememektedir. Bu montajla tetikleme açısı potansiyometrenin değiştirilmesi ile 0-90 derece aralığında değiştirilebilir.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

MONTAJ-2: Direnç- Kondansatörlü (RC) tetikleme devresi

Dirençli tetiklemede olduğu gibi direnç ve kondansatörlü (RC) tetikleme devresi ile de tristörler kontrol edilir. Bu devreler pratikte dirençli tetikleme devrelerine göre daha yaygın kullanılmaktadır. Şekil 9’da yarım dalga RC tetikleme devresi verilmiştir.



Şekil 9. Tristörün direnç-kondansatör üzerinden tetiklenme devresi

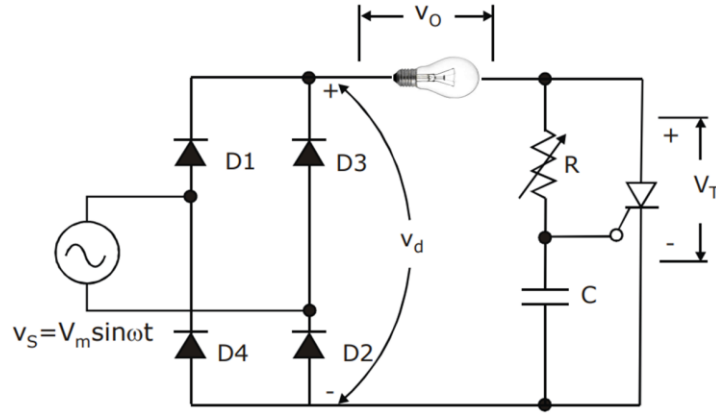
Tristörün tetiklenmesini izlemek için şekildeki devreyi kurunuz. Önceki deneydeki gibi 220 volt için yalıtılmış bir kaynak kullanınız ve osilaskop kullanırken aynı anda farklı GND noktaları kullanmayınız. 220 volt yalıtım transformatöründen önce ototrafo kullanınız. Potansiyometre ile lambanın parlaklık ayarının yapabildiğinizi gözlemleyiniz. Tristörün tetiklenmesinin istendiği anda kapısına bir darbe uygulanarak ilettime geçmesi sağlanır. Tristörün kapı ucunun boşta veya bir dirençle katoda bağlanması kapı devrilme gerilimini etkiler. Bundan dolayı bu devre yapısı ile tristörün daha emniyetli tetiklenmesi sağlanır.

Devreye ilk enerji verildiğinde pozitif alternansta kondansatör yük, R_1 ve R_2 üzerinden dolmaya başlar. Kondansatör gerilimi $V_C > V_{GT}$ olduğunda tristör tetiklenir ve ilettime geçer. AC gerilim sıfır noktasından geçinceye kadar tristör alternans boyunca iletide kalır. Bu arada kondansatör de pot’a paralel bağlı D_2 diyodu üzerinden boşalır. Negatif alternansta ise D_2 diyodu üzerinden ters yönde dolar. Sonraki periyotta olaylar tekrar edilir. Bu montajla tetikleme açısı potansiyometrenin değiştirilmesi ile 0-150 derece aralığında değiştirilebilir.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Sonuç: Lamba yarı parlak durumda iken tristörü ısıtınız ve parlaklığın kayda değer şekilde değişmediğine dikkat ediniz. Bu devre yapısı Şekil 8’de verilen devre yapısına göre gerilim dalgalanması veya ısınma gibi problemlere karşı daha güvenlidir.

Her iki montaj da sadece pozitif alternansı kontrol etmek için kullanılır. Her iki alternansın kontrol edilebilmesi için Şekil 10’daki tam dalga montaj kullanılır.



Şekil 10. Tristörün tam dalga montajında direnç-kondansatör üzerinden tetiklenme devresi

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

DENEY NO : 2

DENEYİN ADI : AC FAZ KONTROL DEVRELERİ

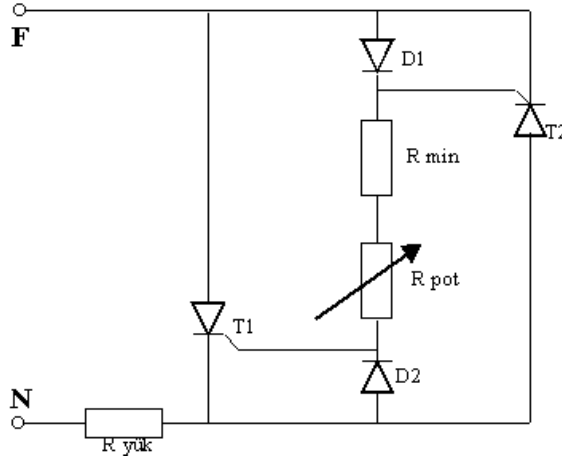
DENEYİN AMACI : Bu deneyde, sabit genlik ve frekanslı AC şebeke geriliminden, değişken genlikli bir AC gerilim elde edilmesi için tristör ve triyaklar ile gerçekleştirilen tek fazlı AC faz kontrol (AC kıyıcı) devrelerinin çalışması incelenecektir. Ayrıca doğrudan ve izolasyonlu (darbe transformatörü ve opto elemanlarla) tetikleme devrelerinin dirençle, diak ve UJT gibi tetikleme elemanlarıyla ve TCA 785 Faz kontrol entegresi ile kontrol edilmesinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER:

1. DOĞRUDAN TETİKLEMELİ FAZ KONTROL DEVRELERİ

MONTAJ -1 : Dirençli Tetikleme Devresi

Gerekli kapı akımını temin etmek için en basit çare sınırlayıcı direnç kullanarak anot geriliminden yararlanmaktır. Çünkü ilettime geçirilecek tristörün anot gerilimi pozitifdir. Şekil 1.1’de ters paralel bağlanmış tristör kullanılarak direnç tetiklemeli bir AC ayarlayıcı bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 1.1: Ters paralel bağlı iki tristör ve dirençlerle gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi

Devrede gate akımları şebekeye bağlı bulunan dirençler yardımıyla sağlanır. T1 tristörünün gate akımı sinüsoidal şebeke geriliminin pozitif alternansında elde edilir. Pozitif alternansta akım, D1 diyodu, R_{min} ve R_{pot} potansiyometresi üzerinden T1 tristörünün gate ucuna gelir. Böylece T1 tetiklenmiş olur. R_{pot} potansiyometre değeri ayarlanarak T1’in tetiklenme açısı değiştirilir ve yük üzerine düşen gerilim değeri sürekli değiştirilebilir.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

T2 tristörünün gate akımı ise sinüzoidal şebeke geriliminin negatif alternansından elde edilir. Negatif alternansta akım, D2 diyodu, R_{min} ve R_{pot} potansiyometresi üzerinden, T2 tristörünün gate ucuna gelir. Böylelikle T2 tetiklenmiş olur. T1’de olduğu gibi R_{pot} potansiyometresi üzerinden ayarlama yapılarak; yani direnç değeri değiştirilerek tetikleme açısı ve yük üzerine düşen gerilim değeri ayarlanabilir. Böylece hem pozitif hem de negatif alternansta gerilim ayarı gerçekleştirilir.

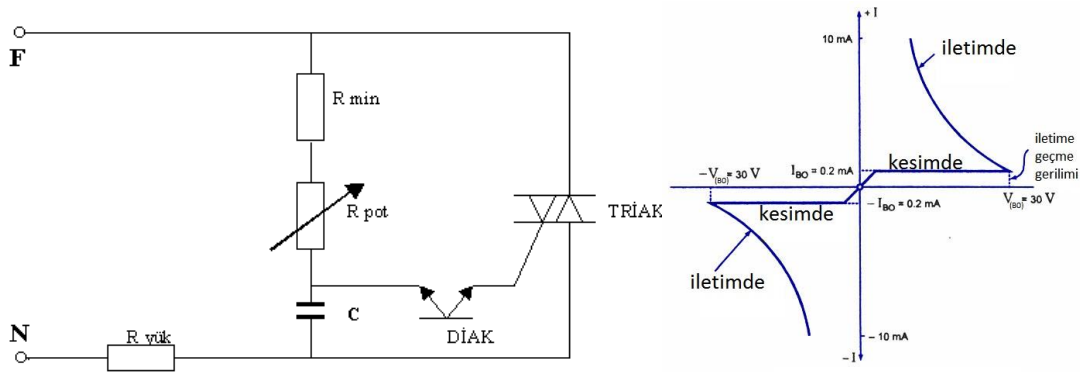
Bu devrede α açısı 90^0 ’e kadar ayarlanabilir. Bu nedenle akımın ayar sahası oldukça dardır. Aynı zamanda devrenin davranışı I_{GT} akımına bağlıdır. I_{GT} akımı ise sıcaklıkla çok değişir. Bu sebepten tristör ısındıkça α açısının kendiliğinden düşmesine neden olur. Tetikleme devresine kondansatör eklemek suretiyle bu sakıncalar bir dereceye kadar ortadan kaldırılmış olur.

MONTAJ- 2: Diyaklı Tetikleme Devresi

Triyak’ın AC’ de sürekli iletimde kalabilmesi için kapısına her iki alternansı da geçiren çift yönlü diyot gibi çalışan diyak bağlanmalıdır. Şekil 1.2’de diyak elemanının karakteristik eğrisi ve triyak kullanılarak gerçekleştirilen diyak tetiklemeli bir AC ayarlayıcı bağlantı şeması görülmektedir. ($R_{min}+R_{pot}$) direnci ile C kondansatörü devrede zamanlamayı sağlar. AC gerilim pozitif yönde artarken C kondansatörü şarj olacağından üzerindeki gerilimde artar. C kondansatörünün üzerindeki gerilim diyak’ın devrilme gerilimine ulaştığında diyak ilettime geçer ve triyak’ın A_2 ve A_1 uçları kısa devre olduğundan devre akımı yük- A_2 - A_1 üzerinden devresini tamamlar. Triyak iletimde olduğu sürece C kondansatörü üzerindeki gerilim “0” Volt’a yaklaşır.

AC girişindeki pozitif alternans “0” olduğunda triyak kesime gider. Negatif alternans süresince C kondansatörü bu sefer ters yönde dolmaya başlar. C kondansatörü üzerinden gerilim diyak’ın ters devrilme noktasına ulaştığı zaman diyak ilettime geçer. Diyak’ın ilettime geçmesi triyak’ın kapısına tetikleme darbesi uygular. Triyak ilettime geçer. Bu şekilde AC’ nin her iki alternansında da triyak iletimde olur. Böylece yük her iki alternansta sürekli devrede kalır.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ



Şekil 1.2: Triyak-diyaklı osilatör ile gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi ve diyak karakteristik eğrisi

MONTAJ- 3 : UJT’li Tetikleme Devresi

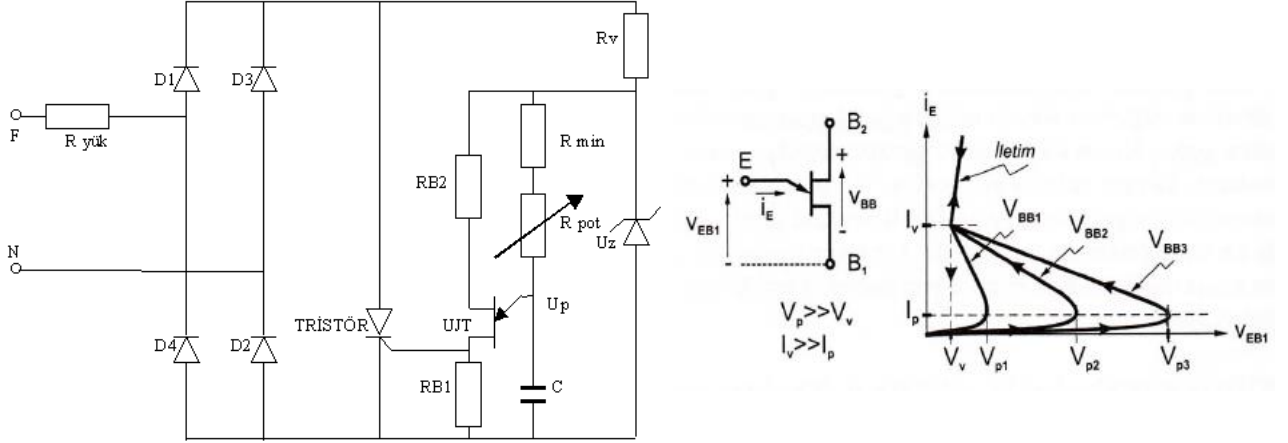
UJT, tristörün tetiklenmesi için gerekli darbe akımlarının elde edilmesinde kullanılabilen bir elemandır. Prensip olarak bir osilatör devresi olarak çalışır. Şekil 1.3’de UJT karakteristik eğrisi ve UJT kullanılarak gerçekleştirilmiş bir tristör tetikleme devresinin bağlantı şeması görülmektedir. UJT’nin tabanlar arasında uygulanan V_{BB} gerilimi arttıkça, emiter-taban gerilimi V_E ’nin maksimum değeri olan devrilme gerilimi V_p de artmaktadır. Emiter jonksiyonundaki gerilim düşümü olarak tanımlanır. Buna göre devrilme gerilimi;

$$V_p = V_D + \eta V_{BB} \quad (1)$$

olarak elde edilir. UJT’nin "Öz Standoff Oranı" olarak η simgesi kullanılır. V_E gerilimi V_p değerine ulaştığında Emiter ile B_1 tabanı arası iletken hale gelir ve direnci 5 ile 25Ω arasında bir değer alır.

C kondansatörü, R_{min} ve R_{pot} dirençleri üzerinden zener diyotun gerilimi yardımıyla şarj olur. Kondansatör gerilimi, V_p gerilimine ulaştığında R_{B1} direnci üzerinden deşarj olur. Böylece R_{B1} ’in uçlarında V_{B1} gerilimi oluşur. Deşarj sonucu V_E gerilimi belirli bir değer altına düştüğünde UJT iletimden çıkar. C kondansatörü tekrar şarj olmaya başlar. Bu olaylar periyodik olarak devam eder. Elde edilen gerilim darbesi, tristör kapı devresine doğrudan doğruya uygulanır.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ



Şekil 1.3: Diyot köprüsü, tristör ve UJT'li osilatör ile gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi ve UJT karakteristiği

Bu devreyle elde edilen tetikleme periyodunun yaklaşık değeri ise;

$$T = (R_{min} + R_{pot}) C \ln \left(\frac{1}{1 - \eta} \right) \quad (2)$$

Denklemden yararlanılarak bulunur. C kondansatörü tristörün tetiklenmesi için yeterli yükü depo edecek kapasitede olmalıdır. Çoğunlukta C kondansatörünün değeri 0.01µF ile 0.5µF arasında seçilir.

Kondansatör gerilimi artarak $V_E = V_P$ olduğunda UJT tetiklenerek iletme geçer. R_{min} ile R_{pot} direnç değerlerine bağlı olarak $V_E - I_E$ karakteristiği üzerinde stabil veya astabil bölgede bir çalışma noktası oluşur. Çoğunlukla 10 ila 100 Ω arasında değerler alan R_{B1} ; R_{min} ve R_{pot} toplamına göre çok küçük olduğundan denklemde ihmal edilmiştir. R_{min} ve R_{pot} toplam direnci $(R_{min} + R_{pot})_{min}$ gibi bir değer altında ise C kondansatörü B_1 tabanı ve R_{B1} direnci üzerinden deşarj olur. Çalışma noktası stabil bölgenin başladığı noktanın üstüne çıkmamalıdır.

V_z kaynak gerilimi tristörün tetiklenmesi için yeterli olan V_{B1} gerilimini temin edebilecek en az değerde olmalıdır. Aynı zamanda UJT'nin tabanları arasına uygulanacak V_{BB} gerilimi müsaade edilen en yüksek değeri aşmayacak kadar da küçük olmalıdır.

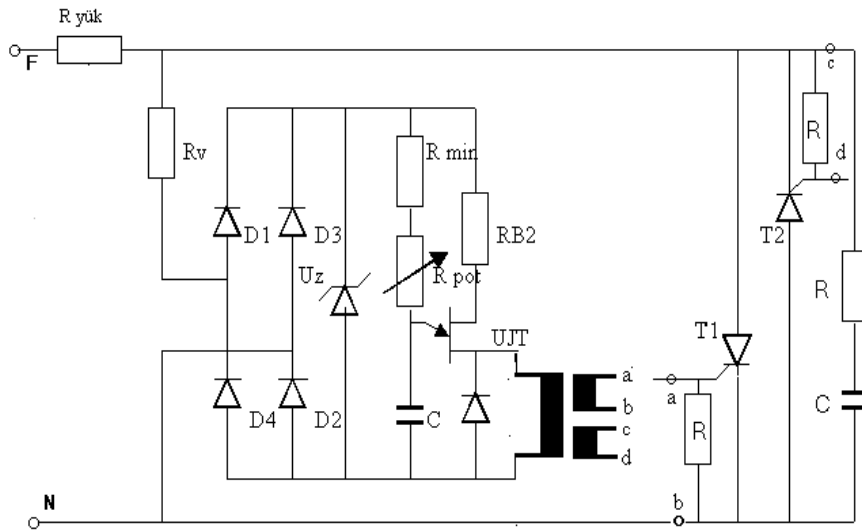
GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Genellikle V_z geriliminin 10 ila 35 V arasında seçilmesi gerekmektedir. Bu da devrede zener diyotu ile gerilimi sabit tutulan bir DC kaynaktan sağlanabilir. V_z gerilimi alternatif akımlı devrelerden bir güç direnci üzerinden şebekeden de sağlanabilir. İstenirse zener diyotla sinüs yarım dalgası kırılabilir. Bu tür devrelerde tetikleme noktasını emiter geriliminden çok tabanlar arası gerilim belirler. Çünkü V_{BB} 'nin aniden azalması halinde V_P gerilimi de aynı anda aniden düşer. Kondansatör gerilimine bağlı olarak V_E ; V_P 'den büyük veya ona eşit ise UJT hemen tetiklenir. Bu tür devrelerde, tetikleme darbelerinin şebeke ile senkronizasyonunu sağlamak kolaydır.

2. İZOLASYONLU TETİKLEMELİ FAZ KONTROL DEVRELERİ

MONTAJ-1 : UJT osilatörlü ve darbe transformatörlü tetikleme devresi

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi; diyot köprüsü, tristör ve UJT'li osilatör ile gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi bağlantı şeması görülmektedir. Montaj 3'deki RB_1 direncinin yerine darbe transformatörünün primer ucu bağlanmıştır. Bu sargıdan geçen doğru akım tristörden bir kapı akımı geçmesine sebep olmaz. Tetikleme transformatöründe yüksek güçlü transformatör kullanılması gerekir.



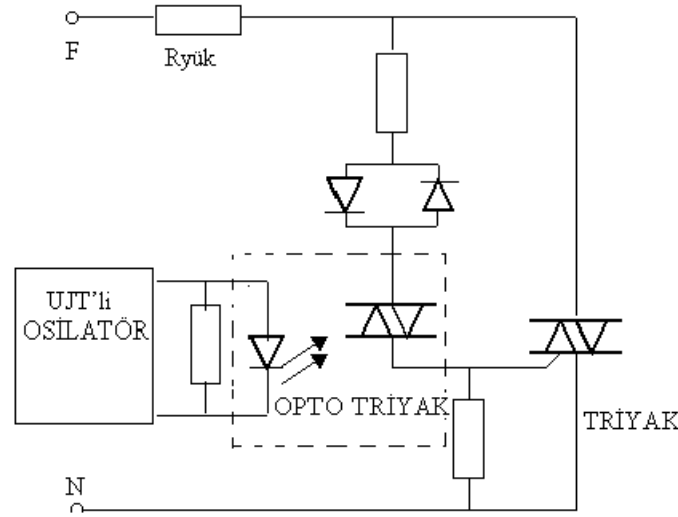
Şekil 2.1: UJT'li osilatör, tetikleme transformatörü ve ters paralel bağlı iki tristör ile gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Uzun süreli sinyallerde ilk anda çıkış verip sonra kısa devre özelliği gösteren tetikleme transformatörünün girişi bir transistör tarafından kuvvetlendirilerek daha olanaklı bir gerilim ve akım elde edilerek gate ucuna verilmelidir. Sekonder uçlarının polaritelerine dikkat edilerek gate uçlarına verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sekonder sargı uçları arasına bir diyot bağlanarak akımın bir yönde geçmesi sağlanır.

MONTAJ-2 : UJT Osilatörlü ve Optotriyaklı Tetikleme Devresi

UJT osilatör ile gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi çıkışına darbe transformatörü yerine optotriyak kullanılır. Şekil 2.2’de optotriyak’ın UJT çıkışına bağlantı şeması görülmektedir. Optotriyak bağlanmasının sebebi; tetikleme transformatörlerinin uzun süreli darbeleri iletememeleridir. Sürme devresi ile güç devresi arasına optotriyak bağlanarak izolasyon sağlanmaktadır. Aynı zamanda bu devrede triyak kullanıldığı için çift tetikleme olacağından dolayı yalıtım daha kolay olur.



Şekil 2.2: UJT osilatör, optotriyak ve triyakla gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi

Devrede opto elemanın girişine uygulanan sinyal ışık kaynağı olan led ile ışığa hassas bir yarı iletken üzerine düşürülerek çıkışından darbeler elde edilir. Bu darbelerle triyak’ın tetiklenmesi sağlanmış olur.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

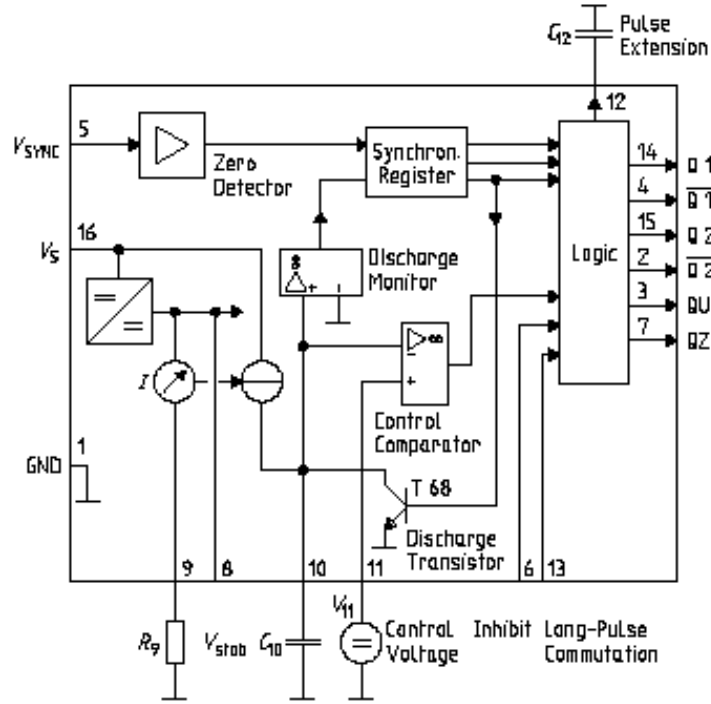
MONTAJ -3 : TCA785 Entegresi İle Gerçekleştirilen Tetikleme Devresi

Şekil 2.3’de TCA785 entegresinin iç yapısı görülmektedir. Senkronlama sinyali V_{SYN} , büyük bir direnç üzerinden AC şebekeden alınır. V_{SYN} gerilimi, 5 ve 1 şase bacakları arasına uygulanmalıdır. Bu sinyal, iç yapıdaki "Sıfır Gerilim Dedektörü" tarafından değerlendirilerek şebeke geriliminin sıfırdan geçiş anlarını belirler. Bu dedektörün çıkışı, testere dişi bir gerilim üreten rampa generatörünü kontrol etmek üzere "Senkronlama Hafızası"na uygulanmıştır. Rampa gerilimi prensip olarak dışarıdan 10 bacağına bağlanan C_{10} rampa kondansatörü, I_{10} sabit akımı ile şarj edilerek elde edilir. Rampa kondansatörünün kapasitesi ne kadar büyük seçilirse gerilimin eğimi o kadar azalır ve geri dönüş süresi uzar.

I_{10} sabit akımı, 9 bacağına dışardan bağlanan R_9 potansiyometresi ile rampa direnci yardımıyla ayarlanabilir. R_9 ile C_{10} birlikte rampa geriliminin eğimini belirlerler. Her rampa, senkronlama geriliminin sıfırdan geçişi ile başlar ve C_{10} rampa kondansatörünün entegre iç yapısındaki deşarj transistörü üzerinden boşalması ile sona erer. C_{10} ’un deşarj olduğu, iç yapıdaki C_{10} "Deşarj Denetleyici Komparatörü" tarafından "Senkronlama Hafızası"na bildirilir. Bu elemandaki lojik bağlantı sayesinde ancak deşarj tamamlandınca "Sıfır Gerilim Dedektörü"nden gelen sinyal işleme konur.

Kontrol gerilimi V_{11} , 1 şase ile 11 bacağı arasına uygulanır. İç yapıdaki kontrol komparatörü, bu gerilimle rampa gerilimini karşılaştırır. Rampa gerilimi V_{10} , kontrol gerilimi V_{11} ’u aşar aşmaz, α gecikme açısı elde edilir ve çıkıştaki darbe başlatılır. Bundan sonraki lojik blok içinde gerçekleştirilen bağıntılar sayesinde çıkış uçlarının farklı değerleri elde edilir. Ana çıkışlar Q_1 ve Q_2 olup, bu çıkışlar maksimum 250 mA’e kadar yüklenebilir. Bunlardan Q_1 , AC gerilimin sadece pozitif yarım dalgasında, Q_2 ise negatif yarım dalgasında darbe verirler. 12 bacağına hiçbir bağlantı yapılmazsa, bu darbeler oldukça kısa olup 30 μs sürelidir. 12 bacağına C_{12} dışardan bir darbe uzatma kondansatörü bağlamak suretiyle, Q_1 ve Q_2 çıkışlarındaki darbeler genişletilebilir. Bu durumda darbe genişliği $(\pi - \alpha)$ ’a yükseltilebilir. 3 bacağındaki Q_U ve 7 bacağındaki Q_Z yardımcı çıkışları da açık kollektörlü olup dışarıdaki başka bir lojik devreye kumanda etmek için kullanılabilir

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

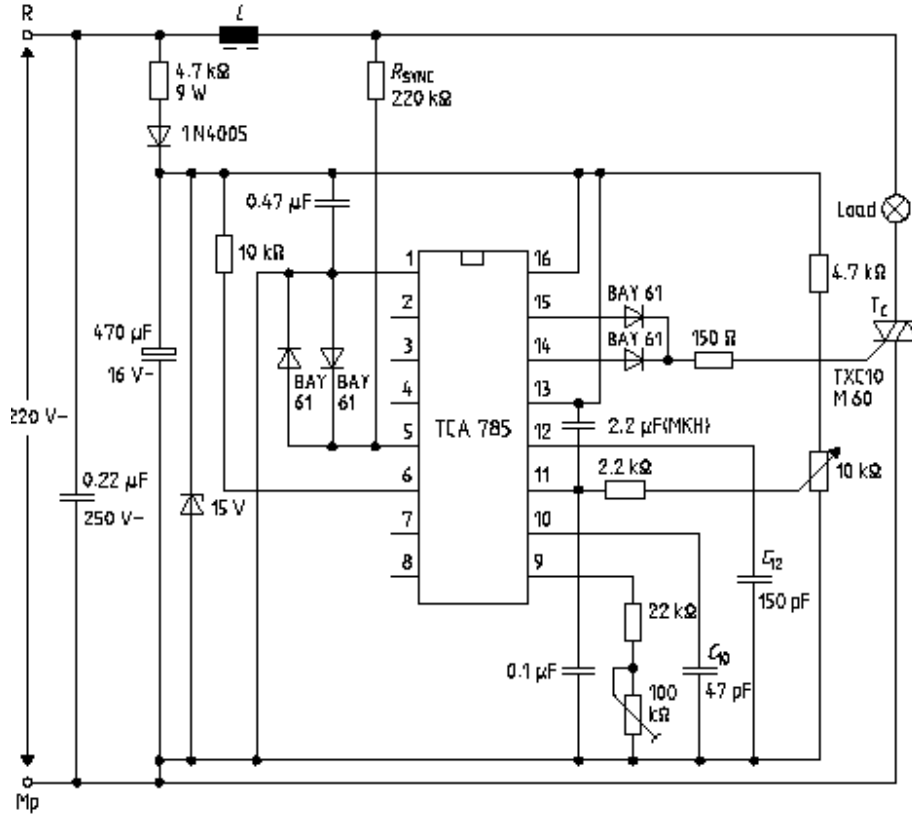


Şekil 2.3: TCA785 entegresinin iç yapısı

Şekil 2.4’de triyak kullanılarak gerçekleştirilen TCA785 entegresi ile tetiklemeli bir AC ayarlayıcı bağlantı şeması görülmektedir. Triyak’ın kapısına uzun darbeler uygulanmaktadır. C_{12} kondansatörünün değeri artırılarak, darbelerin genişliği artırılabilir. Triyak kapısındaki darbe en az, yük tarafından belirlenen akım triyak’ı iletimde tutacak seviyeye yükselinceye kadar devam etmelidir.

Testere dişi generatörünün frekansı, sıfır gerilim dedektörü tarafından belirlenir. Yani şebeke geriliminin her sıfırda geçişinden yeni bir testere dişi gerilim dalgası elde edilir. Testere dişi gerilimin yükselme hızı rampa kondansatörü (C_{10}) ve rampa direnci (R_9) ile ayarlanır. R_{11} potansiyometresi ile V_{ST} kontrol gerilimi, 0 ile 8V arasında değiştirilebilir. Testere dişi gerilim, 11 bacağına uygulanan kontrol gerilimine eriştiğinde entegrenin 15 nolu bacağında kumanda darbesi elde edilir. V_{ST} ’ne kadar artırılırsa, testere dişi gerilimin bu değere erişmesi o kadar geç olur ve dolayısıyla α gecikme açısı büyük olur. V_{ST} değiştirilmek suretiyle α açısı ayarlanır.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ



Şekil 2.4: TCA785 entegresi ve triyak ile gerçekleştirilen AC faz kontrol devresi

3. DENEYDE YAPILACAK İŞLEMLER

Devrelerle aşağıdaki işlemleri gerçekleştiriniz.

1. Osiloskobu yükün uçlarına bağlayınız. R_{pot} direncini değiştirerek yük, AC kısıyıcı ve elemanların gerilimlerinin değişimlerini inceleyiniz.
2. Osiloskop, ampermetre ve ohmmetre kullanarak ve R_{pot} direncini değiştirerek α_{min} , I_{max} , α_{max} ve I_{min} değerlerini ölçünüz. Tablo 1'e yazınız.
3. Tablo 2'de verilen α değerleri için R_{pot} değerlerini ölçünüz ve teorik olarak hesaplayınız. Elde ettiğiniz sonuçları Tablo 2'ye yazınız.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

4. Tabloda verilen α değerleri için I_{TEF} değerlerini hesaplayınız. I_{TEF} değerlerini ampermetre ile ölçünüz. Elde ettiğiniz değerleri Tablo 2'ye yazınız.

5. Tablo 2'de her bir devre için verilen değişimleri milimetrik kağıda alt alta çizin.

Tablo 1

Montaj no	α_{min}	α_{max}	I_{min}	I_{max}
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Tablo 2

Montaj no	α	$R_{pot-ölç}$	$R_{pot-hes}$	$I_{TEF-ölç}$	$I_{TEF-hes}$	Alınacak Değişimler
1	30°					U_A, U_Y, I_Y, U_G
2	45°					U_A, U_Y, I_Y, U_G, U_C
3	60°					$U_A, U_Y, I_Y, U_G, U_C, U_Z$
4	90°					$U_A, U_Y, I_Y, U_G, U_C, U_Z$
5	120°					$U_A, U_Y, I_Y, U_G, U_C, U_Z$
6	150°					U_A, U_Y, I_Y, U_G, U_Z

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

DENEY NO : 3

DENEYİN ADI : DOĞRULTUCULAR (AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER)

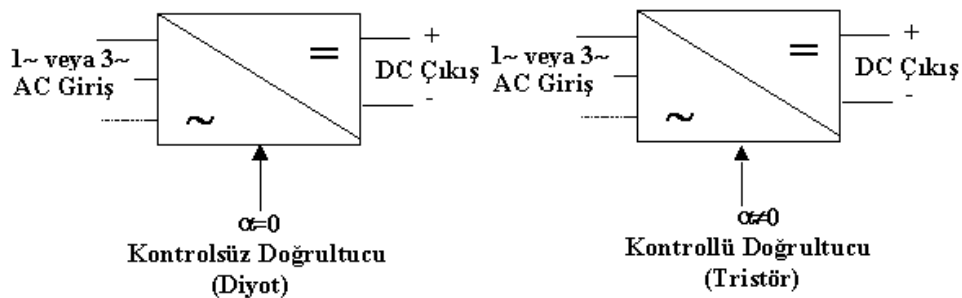
DENEYİN AMACI : Bu deneyde, tek fazlı ve üç fazlı AC şebeke geriliminden sabit veya değişken bir dc gerilim elde edilmesi için kullanılan kontrolsüz ve kontrollü AC-DC dönüştürücülerin çalışmasının incelenmesi hedeflenir. Ayrıca tek fazlı-üç fazlı kontrolsüz tek yönlü ve iki yönlü (köprü) devreler ve TCA 785 Faz kontrol Entegresi ile kontrol edilen tek fazlı yarı kontrollü devrenin çalışmasının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER:

1. GİRİŞ

Pek çok uygulamada AC gerilimin sabit veya ayarlanabilir bir DC gerilime dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla Doğrultucular (AC-DC dönüştürücüler) kullanılır. Doğrultucular, alternatif akımı doğru akıma çeviren şebeke denetimli, doğal komutasyonlu ve problemsiz devrelerdir. Pratikte Redresör olarak bilinirler. Doğrultucu bağlantıları tek yönlü ve iki yönlü olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tek yönlü bağlantılara, “Yarım dalga bağlantıları”, iki yönlü olanlara ise “Tam dalga bağlantıları” veya “köprü bağlantıları” da denir. Köprü montajlarında faz geriliminin hem pozitif hem de negatif yarım dalgasından faydalanılır. Bu sebeple elde edilen doğru gerilimin değeri, tek yönlü bağlantılarla elde edilen doğru gerilimin iki katı olur.

Tek yönlülerde, doğrultulmuş gerilimin bir periyodundaki tepe sayısı alternatif akımın faz sayısına ve doğrultucuların hasıl ettiği kol sayısına eşittir. Gerekli doğrultucu eleman (Diyot, Tristör) sayısı iki yönlü bağlantılardakilerin yarısı kadardır. Fakat buna karşılık kullanılacak elemanların gerilimi, aynı doğru gerilimin elde edilmesi için iki yönlüye göre iki katıdır.



Şekil 1. Kontrollü ve Kontrolsüz doğrultucuların temel blok diyagramı

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Doğrultucular, DC çıkış geriliminin kontrol edilebilirliğine göre ikiye ayrılırlar. Şekil 1’de görüldüğü gibi çıkış ayarı yapılabilenlere kontrollü doğrultucu yapılamayanlara ise kontrolsüz doğrultucu adı verilir. Kontrolsüz doğrultucular diyot, Kontrollü doğrultucular ise genellikle tristörler veya diğer kontrollü yarıiletken güç elemanlarıyla gerçekleştirilirler.

Bu deneyde temel amaç, teorik olarak Güç Elektroniği Derslerinde anlatılan kontrollü ve kontrolsüz doğrultucuların nasıl çalıştığını güç elektroniği laboratuvarındaki deney setlerinde öğrencilerin pratik olarak anlamasını sağlamaktır. Yapılacak çalışmada 1~ ve 3~ diyotlu doğrultucular ile 1~ tristörlü yarı kontrollü köprü doğrultucu devreleri pratik olarak deney seti üzerinden incelenecek ve çalıştırılacaktır.

2. KONTROLSÜZ DOĞRULTUCULAR

Kontrolsüz doğrultucularda doğrultma elemanı olarak diyotlar kullanılır. Kullanılan eleman sayısı, faz sayısı ile yol sayısının çarpımı kadardır. Çıkış gerilimi sabittir. Herhangi bir ayar yapılamaz. Buna karşılık basit ve ucuzdur. Doğrultucu ideal çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$V_{di} = s \frac{q}{\pi} \sqrt{2} V \sin \frac{\pi}{q} \quad (1)$$

Burada;

s = yol sayısı

Tek yollu bağlantıda s=1

İki yollu bağlantıda s=2

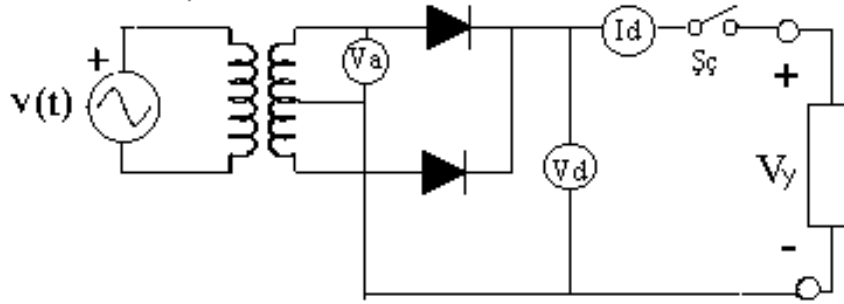
q = faz sayısı

V = faz gerilimi

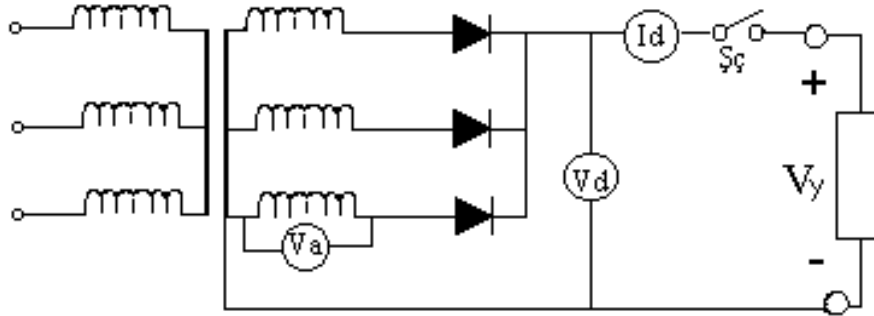
Görüldüğü gibi çıkış geriliminin değeri faz gerilimine, faz sayısına ve yol sayısına bağlıdır. Aynı giriş gerilimi için devrelerin çıkış gerilimleri farklıdır. Bu parametreler

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

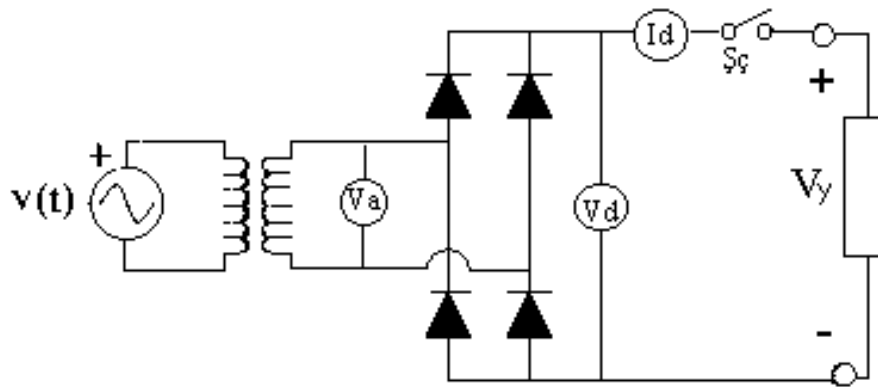
dikkate alınarak istenilen çıkış gerilimini elde etmek için uygun devre seçilmelidir. Çıkış gerilimini süzmek için + ve - bara arasına bir filtre (kondansatör) konulabilir. Şekil 2’de deneylerde kullanılacak olan kontrolsüz doğrultucuların temel bağlantı şemaları görülmektedir.



Şekil 2. 1. İki fazlı tek yollu bağlantı

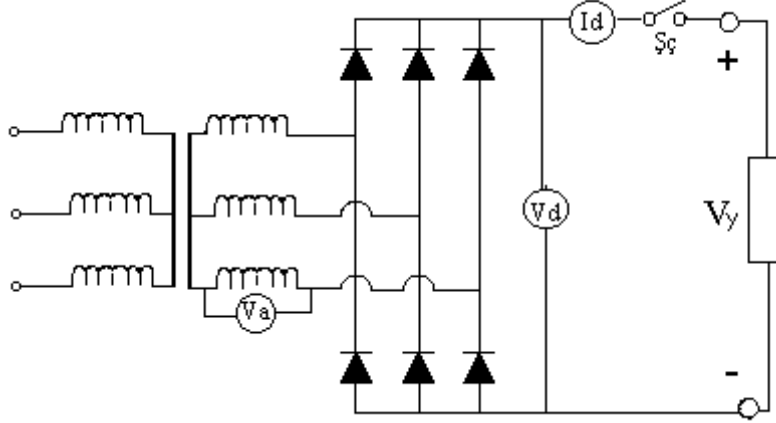


Şekil 2.2. Üç fazlı tek yollu bağlantı



Şekil 2.3. Tek fazlı köprü bağlantı

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ



Şekil 2.4. Üç fazlı köprü bağlantı.

3. KONTROLLÜ DOĞRULTUCULAR

Genellikle doğrultma elemanı olarak tristörler kullanılır. Çıkış gerilimi sıfır ile V_{di} arasında istenen değere ayarlanabilir. Bilindiği gibi tristör anot gerilimi pozitif olduktan sonra ancak tetiklenirse akımı üzerine alabilir. O halde biraz geç tetiklenerek akımı üzerine alma noktası geciktirilebilir. Bu gecikme açısı $0-\pi$ aralığında ayarlanarak DC çıkış geriliminin ortalama değeri değiştirilmiş olur. Şekil 2'deki bağlantılarda diyotların yerine tristörler kullanılırsa aynı montajlar kontrollü doğrultucu olarak kullanılabilir.

α = Tetikleme açısı (gecikme açısı) olmak üzere kontrollü doğrultucular için ideal çıkış gerilimi,

$$V_{di\alpha} = s \frac{q}{\pi} \sqrt{2} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha \quad (2)$$

$$V_{di\alpha} = V_{di} \cos \alpha$$

4. GERİLİM DÜŞÜMLERİ

Çalışma esnasında hem kontrollü hem de kontrolsüz doğrultucularda ideal çıkış gerilimi doğrudan yük üzerindeki gerilime eşit değildir. Çıkış Geriliminde azalmaya sebep olan gerilim düşümleri üç kısımdan oluşmaktadır.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

1.1. Endüktif Gerilim Düşümü

Komütasyon anında, yani akım bir koldan diğerine geçerken, kısa bir süre de olsa doğrultucu elemanlardan her ikisi de iletimdedir. Bundan dolayı elde edilen V_d gerilimi ne söndürülen ne de henüz ilettime geçen elemanın bağlı bulunduğu faz gerilimine eşittir. Kollar dengeli olduğundan meydana gelen gerilim düşümleri aynıdır. Bu nedenle V_d gerilimi iki faz geriliminin tam arasında bir değer alır. Bu durumda meydana gelen gerilim düşümü (3) nolu denklem ile hesaplanır.

$$D_x = s \cdot f \cdot q \cdot L_k I_d \quad (3)$$

1.2. Omik Gerilim Düşümü

Komütasyon direncinde meydana gelir. I_d yük akımı sadece tek elemandan geçtiğine göre omik gerilim düşümü (4) nolu denklem ile hesaplanır.

$$D_r = s \cdot R_k \cdot I_d \quad (4)$$

1.3. Doğrultucuların İletim Durumundaki Gerilim Düşümü

Doğrudan doğruya dönüştürücüde kullanılan yarı iletken güç elemanının geçirme karakteristiğine bağlıdır. Genelde sabit olarak kabul edilir.

$$D_T = s \cdot V_t \quad (5)$$

Bir fazlı köprü doğrultucuda gerilimler hesaplanırken sekonder devre gerilimi ile L_K ve R_K ikiye bölünür ve iki fazlı devre gibi düşünülerek işlem yapılır. Burada;

R_K = Transformator sekonder sargısı ve bağlantı iletkenlerinin direnci

L_K = Komütasyon self endüksiyon katsayısı

f = Şebeke geriliminin frekansı

I_d = DC yük akımı

V_T = Bir doğrultucu elemanın iletim durumundaki gerilim düşümü

Toplam gerilim düşümü:

$$\Delta V = D_x + D_r + D_T \quad (6)$$

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

4.4. Yük Uçlarındaki DC Çıkış Geriliminin Bulunması

Yük uçlarındaki gerilim kontrolsüz doğrultucuda,

$$V_d = V_{di} - \Delta V \quad (7)$$

Kontrollü doğrultucuda,

$$V_{d\alpha} = V_{di\alpha} - \Delta V$$

Doğrultucu elemanlardan birinin maruz kaldığı ortalama ve efektif akım değerleri (8) sırasıyla,

$$I_{AV} = \frac{I_d}{q} \quad (9)$$

$$I_{TEF} = \frac{I_d}{\sqrt{q}} \quad (10)$$

Bir elemanın maruz kalabileceği maksimum gerilim ise (11) nolu denklem ile hesaplanır.

$$V_m = 2\sqrt{2}V \sin(\pi / q) \quad (11)$$

5. TCA785 ENTEGRESİ İLE KONTROL EDİLEN TEK FAZLI YARI KONTROLLÜ KÖPRÜ DOĞRULTUCU

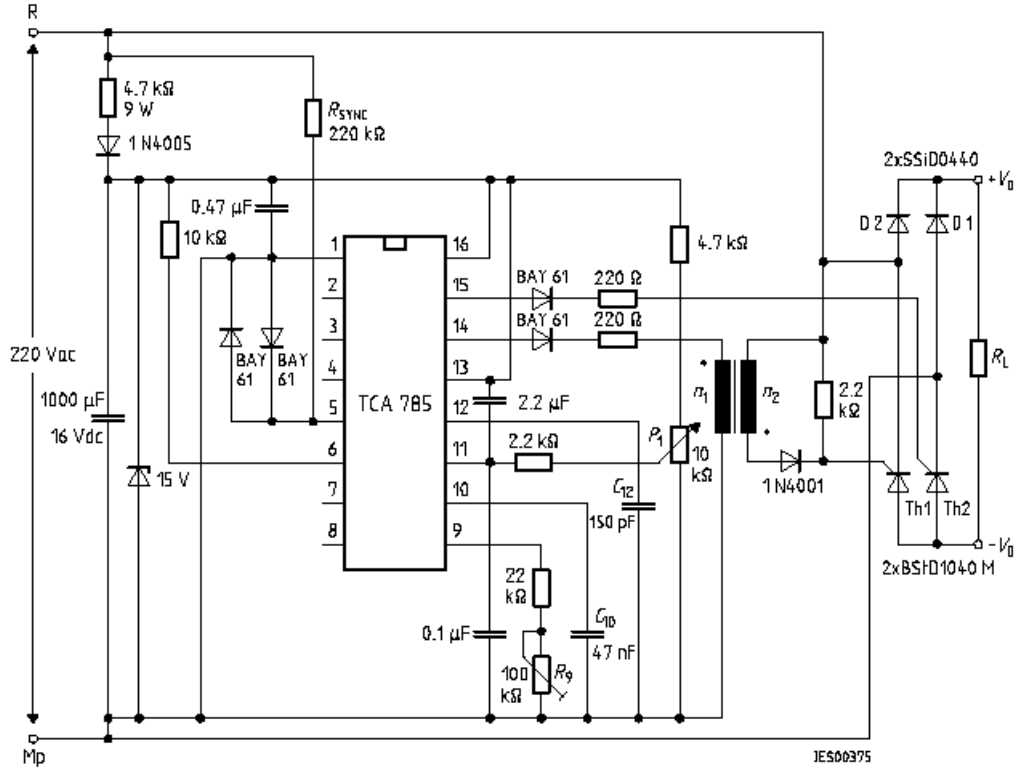
Bağlantı şeması Şekil 3’de verilen bu devrede akım, pozitif alternansta D_2 ve Th_2 üzerinden ve negatif alternansta D_1 ve Th_1 üzerinden devresini tamamlar. Bu montaj ile inverter çalışma modu gerçekleşmez. Böylece yük uçlarındaki gerilim daima pozitif olur. Doğrultucu çıkışındaki ortalama gerilim,

$$V_{di\alpha} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (12)$$

Pozitif alternansta akım D_2 -yük- Th_2 ’den geçerek devresini tamamlarken T_1 tristörü kesimdedir. Negatif alternansta ise akım D_1 -Yük- Th_1 ’den geçerek devresini tamamlarken de Th_2 tristörü kesimdedir. Bu iletim sırasına göre Th_1 ve Th_2 tristörlerinin iletim süreleri değiştirilerek çıkıştaki DC gerilim ayarlanır.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Gerçekleştirilen tek fazlı yarı kontrollü köprü doğrultucu devresinde tristörlerin gecikme açısı, TCA785 faz kontrol entegresinin 14 ve 15 numaralı bacaklarındaki tetikleme sinyallerini değiştiren 10 k Ω 'luk potansiyometre ile kontrol edilir. Giriş geriliminin pozitif alternansında 15 numaralı bacakta tetikleme sinyali ile Th₂ tristörü, negatif alternansta ise 14 numaralı bacakta tetikleme sinyali ile Th₁ tristörü gecikme açısına bağlı olarak ilettime geçer. 10 k Ω 'luk potansiyometre ile gecikme açısı değiştirilerek Th₁ ve Th₂ tristörlerinin iletimde kalma süreleri değiştirilir. Yük uçlarındaki DC çıkış gerilimi gecikme açısına bağlı olarak maksimum ve minimum değerler arasında ayarlanır. Gerçekleştirilen devrede entegrenin 14 numaralı bacağı ile Th₁ tristörünün kapısı arasında izolasyon amacıyla kullanılan tetikleme trafosunun yerine optotriyak kullanılmıştır.



Şekil 3. TCA785 Faz Kontrol Entegresi tarafından tetikleme sinyalleri üretilen tek fazlı yarı kontrollü köprü Doğrultucu

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

6. DENEYDE YAPILACAK İŞLEMLER

6.1. Kontrolsüz Doğrultucular için,

- 1- Giriş şalterini kapatarak, yüksüz durumda (S_{ϕ} açık) iken AC giriş gerilimini, ideal çıkış gerilimini ölçünüz ve çıkış geriliminin şeklini osiloskoptan bakarak çiziniz.
- 2- Çıkış şalterini kapatarak ve doğrultucuyu Tablo 3.1'deki akım kademelerinde yükleyerek, her bir kademe için yük uçlarındaki DC gerilimi voltmetre ile ölçünüz.
- 3- Yüklü ve yüksüz durumdaki çıkış gerilimlerinin değerlerini ve osiloskoptaki değişimlerini karşılaştırarak sonucu yorumlayınız.

6.2. Kontrollü doğrultucular için;

- 4- Tablo 3.2'de verilen α değerleri için yüksüz durumda iken $V_{d\alpha}$ değerlerini ölçerek kaydediniz ve dalga değişimlerini alt alta çiziniz.
- 5- $\alpha=45^\circ$ için Tablo 3.2'de verilen I_d değerleri için çıkış geriliminin değerini voltmetreden okuyarak kaydediniz.
- 6- Her bir bağlantı için deneyde ölçtüğünüz değerlerler V_d-I_d (kontrollü doğrultucu için $V_{d\alpha}-I_d$) karakteristiğini çiziniz.

Tablo 1

Bağlantı Şeması	Boşta Çalışma			Yükte Çalışma		
	V_a	V_d	Çıkış Geriliminin Değişimi	V_a	V_d	I_d
İki fazlı tek yöllü bağlantı						
Üç fazlı tek yöllü bağlantı						
Tek fazlı köprü bağlantı						

KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Tek fazlı köprü bağlantı						

Tablo 2

Bağlantı Şeması	Boşta Çalışma				Yükte Çalışma		
	V_a	α	$V_{di\alpha}$	Çıkış Geriliminin Değişimi	α	V_d	I_d
Tek fazlı							
tam dalga yarı kontrollü							
bağlantı							