

GÜÇ ELEKTRONİĞİNDE KULLANILAN ANAHTARLAMA ELEMENLARININ İNCELENMESİ

Teorik Bilgiler

Güç elektroniği devreleri ile güç dönüşümü anahtarlama teknikleri kullanılarak yapılır. Yarıiletken güç elemanları açık veya kapalı durumlu bir anahtar olarak kullanılır. Güç elektroniği devrelerinde amaç gücü denetlemek olduğundan, verimlilik büyük önem taşır. Bu yüzden, güç elektroniğinde anahtar biçiminde çalışan elemanlardan yararlanılmaktadır. Günümüzde bu elemanlar yarıiletken teknolojiyle üretilmektedir.

Güç elektroniğinin başlangıcı 1957 yılında ilk tristörün (SCR) icadıyla baslar. 1970 yılına kadar tristör yalnızca endüstriyel uygulamalarda güç kontrolü için kullanılmıştır. 1970 yılından sonra yarıiletken güç elemanlarının çeşitli tipleri üretilmiştir.

Günümüzde var olan yarıiletken güç elemanları kontrol edilebilirlik derecelerine göre üç sınıfa ayrılabilirler;

1. Diyotlar; İletim ve kesim durumları güç devresi tarafından kontrol edilir.
2. Tristörler; Bir kontrol işaretiyle ilettime girer fakat güç devresi tarafından kesime götürülür.
3. Kontrollü anahtarlar; Kontrol işaretiyle ilettime geçer ve kesime giderler.

Kontrollü anahtarlar sınıflandırmasında, iki kutup jonksiyonlu transistörler (bipolar junction transistors: BJT), metal-oksit yarıiletken alan etkili transistörler (Metal-oxide-semiconductor field effect transistor: MOSFET), yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistör (Insulated gate bipolar transistors: IGBT), Kapıdan tıkanabilen tristör (gate turn off thyristors= GTO), çift yönlü kapı kontrollü tristör (bidirectional gate-controlled thyristor: TRIAK) gibi birkaç eleman olarak sayabiliriz.

İdeal karakteristiğe sahip bir güç elemanı aşağıdaki özellikleri içerir;

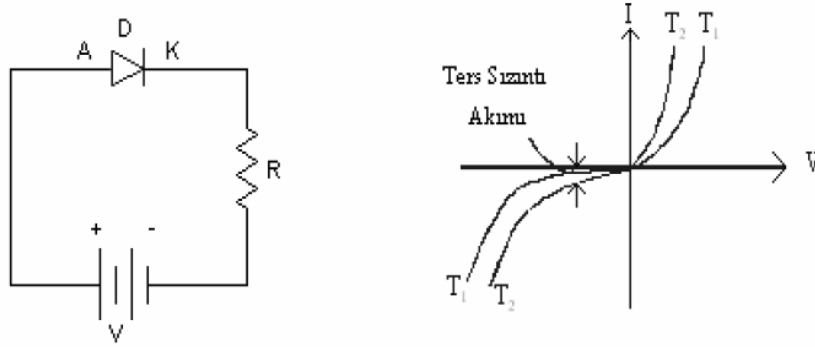
1. Büyük devrilme (breakdown) gerilimi
2. Düşük iletim-durumu gerilimi ve direnci
3. Hızlı ilettime ve kesime geçme (anahtarlama turn-on ve turn-off)
4. Büyük güç harcama kapasitesi

Güç elemanlarının gelişmesindeki önemli ilerlemelere rağmen bu özelliklerin tümüne sahip bir güç elektroniği elemanı mevcut değildir. Bütün eleman türlerinde devrilme gerilimleri ve iletim kayıpları arasında ters bir ilişki vardır. Hepsinin ortak özelliği, doğrusal olmayan gerilim-akım karakteristiklerine sahip olmalarıdır.

Diyotlar

Güç diyotları, anod ve katot olmak üzere iki terminalli p-n silikon jonksiyondan yapılmış en çok kullanılan güç doğrultma elemanlarıdır. Sadece bir tek yönde akım geçirebilen doğrusal olmayan iki uçlu devre elemanıdır. Diyotlarda ileri yönde kutuplandığında uçlarında ileri yönde uygulanan küçük değerde bir gerilimle ilettime geçer. Diyot ters yönde kutuplandığında ihmal edilebilecek derecede küçük bir sızıntı akımı, eleman üzerinden ters devrilme gerilimine ulaşınca kadar akar.

Diyotun kesime gitme, ters kutuplanma durumunda küçük bir sızıntı akımı aktığı ve ilettime girdiği durumda ise küçük bir gerilim düşümü olduğu göze alınarak şekilde gösterilen karakteristik ele alınabilir.



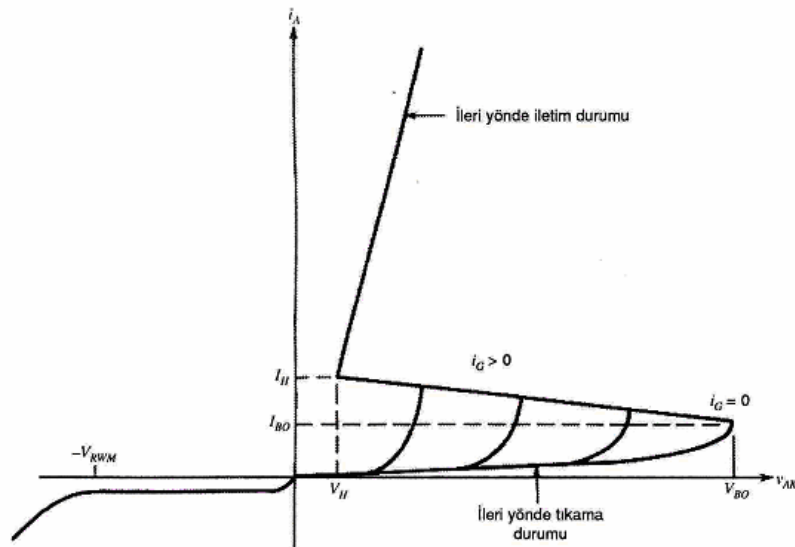
Şekil 1. Diyot I-V Karakteristiği

İletim durumunda, diyot ideal bir anahtar gibi düşünülebilir. Güç devresinde geçici rejime göre daha hızlı iletme geçer. Buna rağmen tıkama yönünde akım sıfıra düşmeden önce diyot üzerinden ters yönde bir akım akar. Bu ters sızıntı akımı diye adlandırdığımız akımın akması, diyaodun negatif gerilimle durdurulabilmesi için gereklidir.

Tristörler (SCR=silicon controlled rectifier)

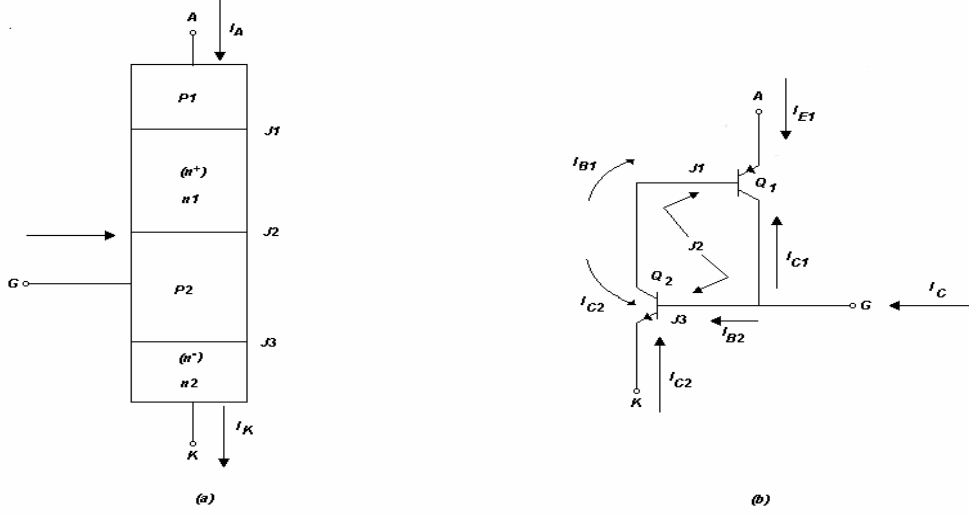
Tristörler, silikon kontrollü doğrultucu olarak adlandırılır ve basit olarak dört katmanlı, üç jonksiyonlu bir yarı iletken elemanlardır. Anot, katod ve kapı (gate) olmak üzere üç terminale sahiptir. Tristörleri basit olarak konverter sınıfı ve inverter sınıfı olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu iki sınıf arasındaki farklılık ise inverter sınıfında kesime gitme süresi kısadır (birkaç mikrosaniye veya daha az). Konverter sınıfı tristörler inverter sınıfına göre yavaş tiptir ve doğal komütasyon uygulamalarında kullanılır. İnverter sınıfı tristörler ise zorlayıcı komütasyon uygulamalarında kullanılır. İnverter sınıfı tristörler dışarıdan komütasyonlu devrelerde kuvvetli bir akım tarafından kesime götürülür.

İleri yönde tristörün iki kararlı çalışma durumu vardır. Bu iki çalışma durumu arasında i-v karakteristiğinde negatif bir direnç olarak beliren kararsız bir çalışma durumu söz konusudur. Şekil 2’de tristörün akım-gerilim karakteristiği görülmektedir. Düşük akım, yüksek gerilim bölgesi ileri yön kesim durumuna ve düşük gerilim, yüksek akım bölgesi iletim durumuna karşılık gelir.



Şekil 2. Tristörün Akım-Gerilim Karakteristiği

Fiziksel bakış açısıyla tristörün çalışma mantığı Şekil 3.a'da görülen tek boyutlu modelden kolaylıkla elde edilen ve birer pnp ve npn transistörden oluşan bir düşük frekans yaklaşık eşdeğer devresi de Şekil 3.b'de görülmektedir.



Şekil 3. Tristörün Basitleştirilmiş Modelleri:
(a) Tristörün Tek Boyutlu Modeli, (b) Tristörün İki Transistörlü Eşdeğer Devresi.

Ters yönde tıkama durumunda, anot gerilimi katoda göre negatiftir. Şekil 3.a'da görülen J_1 ve J_3 jonksiyonları ters, J_2 jonksiyonu ileri yönde kutuplanır. J_3 jonksiyonunun her iki yanındaki yoğun katkılama sonucu devrilme geriliminin düşük olması nedeniyle, J_1 jonksiyonu bu ters gerilime dayanabilmelidir.

İleri yön kesim durumunda J_1 ve J_3 jonksiyonları ters, J_2 jonksiyonu ileri yönde kutuplanır. Katmanlardaki katkılama yoğunlukları nedeniyle J_2 jonksiyonunun fakirleşmiş bölgesi n- katmanında (n_1 katmanı) oluşur. Böylece yine n-bölgesi, bu kez ileri yönde tıkama durumunda, gerilim dayanımını belirlemektedir. Tristörler genellikle ileri yönde tıkama gerilimi V_{BO} , yaklaşık olarak ters yönde tıkama gerilimi V_{RWM} 'ye eşit olacak şekilde tasarlanırlar. Tristörler katı hal güç elektroniği elemanlarının en eskilerindendir. Kontrol ucu (kapı-gate) ile ilettime geçirilen ancak bu uç ile kesime götürülemeyen kilitlenme anahtarları olarak kullanılırlar. Tristörü ayrıcalıklı kılan temel özelliği Şekil 2'de gösterilen i-v karakteristiğinde (anot akımı i_A 'nın, anot-katod gerilimi v_{AK} 'ya göre fonksiyonu) yatar. Tristör, ters yönde çıkış devrilme olayı oluşuncaya kadar çok küçük miktarda akım ileten, tıkama yönünde kutuplanmış bir diyot gibi davranır. İleri yönde tristörün iki kararlı çalışma durumu vardır. Bu iki çalışma durumu arasında i-v karakteristiğinde negatif bir direnç olarak beliren kararsız bir çalışma durumu söz konusudur. Düşük akım, yüksek gerilim bölgesi ileri yön kesim durumuna ve düşük gerilim, yüksek akım bölgesi iletim durumuna karşılık gelir.

Tristör iletim durumuna geçirildikten sonra kapı bağlantısının elemanın durumu üzerine herhangi bir kontrol işlevi söz konusu değildir. Özet olarak söylemek gerekirse, kapı tristörü kesime sokmak için kullanılamaz. Kesim, ancak bir dış devrenin anot akımını belli bir minimum süre için tutma akımının altına azaltılmasıyla sağlanır. Bu süre boyunca iç birleşmeler ve taşıyıcıların süpürülmesi beraberce BJT'lerin doymadan aktif bölgeye geçmesini sağlayacak şekilde birikmiş yüklerin yeter miktarda yok edilmesini sağlar. Bu oluştuğunda, tristörlerin geri kazanımlı bağlantısıyla eleman kesime gidecektir.

Standart bir tristörde negatif bir kapı akımı, katot bölgesi alanının geçit alanına göre çok büyük olması nedeniyle elemanı kesime geçirmeyecektir. Negatif kapı akımı aktığında Şekil 4'te görüldüğü gibi sadece yerel olarak kapı-katod (nnp transistörün baz-emiter) jonksiyonu ters kutuplanır. Negatif I_G 'nin neden olduğu p_2 bölgesindeki gerilim düşümleri BJT'nin kesime gitmesi sırasında oluşan emiter akım yığılmasına benzer bir şekilde katodun merkezine doğru bir akım yığılması sonucunu doğurur.

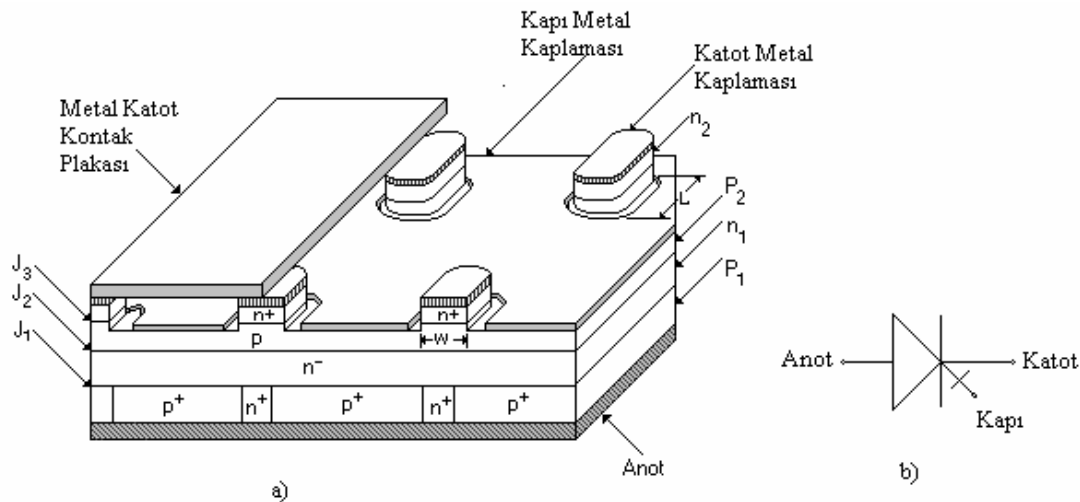
GTO (Gate Turn Off Thyristors =Kapıdan Tıkanabilen Tristör)

Normal tristörler güç elektroniği uygulamalarında hemen hemen ideal şalterler olarak kullanılır. Kapama yönünde birkaç bin volt değerindeki gerilimleri ve iletim yönünde ise birkaç bin ampere kadar çıkan akım değerlerini birkaç voltluk gerilim düşümü ile iletirler. En çok kullanımları, tristörün kapısına bir kontrol sinyali uygulayarak istenildiği anda iletime geçirilmeleridir. Bununla birlikte tristörlerin anahtarlama uygulamalarındaki kullanımlarını önleyen ciddi bir eksikliği vardır. Bir kontrol sinyali uygulayarak tıkamaya geçirilemezler. Bu tıkamaya geçirilme özelliğinin kazandırılması için eleman yapısında bazı değişiklikler yapılmalıdır.

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

- a) Tristörde olduğu gibi, ileri akımını tutma akımı I_{H0} 'dan düşük bir değere azaltılmasıyla,
b) Kapıya negatif kapama akımının uygulanmasıyla.

Geriye kalan işlevler, özellikler, karakteristiği, normal tristör ile aynıdır.



Şekil 4. GTO'nun Düşey Kesit Perspektif Görünüşü ve GTO'nun Devre Sembolü

BJT (Bi-Polar Junction Transistors= Bipolar Jonksiyonlu Transistör)

Yüksek gerilim ve yüksek akım değerlerine sahip transistörler güç transistörleri olarak adlandırılırlar. Anahtarlama elemanı olarak kullanılan güç transistörleri saturasyon bölgesi içerisinde yüksek gerilim düşümü durumunda çalışır. Anahtarlama hızı, tristöre göre yüksektir. Transistörler D.A-D.A ve D.A-A.A çevirici devrelerinde paralelinde bir diyot bağlantısıyla kullanılır. Güç transistörlerini dört ana kategoriye ayırabiliriz;

- 1- BJT (Bi-Polar Junction Transistors= Bipolar Jonksiyonlu Transistör)
- 2- MOSFET (Metal-Oxide Semi-Conductor Field Effect Transistors= Metal oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)
- 3- IGBT (Insulated Gate Bi-Polar Transistors = Yalıtılmış Kapı Bipolar Transistör)
- 4- SIT (Static Induction Transistors= Statik İndüksiyon Transistörü)

BJT Güç transistörlerinin en geniş alanda kullanılan ve ideal anahtar yaklaşımı gösteren bir güç anahtarıdır. BJT üç katmanlı ve üç terminalli bir yarıiletken elemandır. Üç jonksiyondan oluşur. NPN ve PNP olmak üzere iki çeşit transistör bulunmaktadır.



Transistör anahtar olarak kullanıldığında kesime gitme bölgesinde veya saturasyon bölgesinde çalışır. İletim bölgesinde transistör doyuma yakın bir durumdadır veya doyum durumundadır. Transistör doğrusal bölgeden doyum durumuna geçerken kısmi doyum bölgesi oluşur. Burada Base akımı I_B 'nin artışı ile kollektör gerilimi V_{CE} azalır. Doğrusal bölgede V_{CE} 'nin değeri kollektör akımı I_C 'ye bağlıdır. Doyumda veya doyuma yakın çalışma için zorlanmış bir kazanç tanımlanır.

$$\text{Kazanç}=\beta=\frac{I_C}{I_B}$$

Transistörü doyuma götürmek için çok büyük base akımı I_B akımı gerekmektedir. Denklemden de anlaşılacağı gibi I_C akımı arttıkça kazanç azalacaktır. I_C akımının denklemini yazacak olursak;

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R}$$

MOSFET (Metal-Oxide Semi-Conductor Field Effect Transistors= Metal oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)

MOSFET'in açılımı Metal oksit Yarıiletken Alan Etkili transistördür. Küçük değerlerde bir kapı giriş gerilimi ile gerilim kontrollü bir elemandır. Yüksek frekanslı anahtarlamanın gerektiği MOSFET'ler BJT'lere göre kayıplarının daha az olması nedeniyle daha çok tercih edilir. Giriş empedansı transistöre göre büyüktür. MOSFET açma ve kapama bölgeleri olmak üzere iki bölgede çalışır. MOSFET'in anahtarlama hızı oldukça yüksektir. MOSFET'ler Kapı (Gate), Kaynak (Source) ve Akaç (Drain) olmak üzere üç terminalden oluşur. MOSFET'lerin devamlı iletimde olması için kapı-kaynak geriliminin sürekli olarak uygulanması gerekmektedir. MOSFET iletim durumundan kesime veya kesim durumundan iletim durumuna geçerken transistör gibi kapı akımı geçirmez. MOSFET'lerin anahtarlama hızları yüksek olduğundan anahtarlama kayıpları da düşüktür.

IGBT (Insulated Gate Bi-Polar Transistors = Yalıtılmış Kapı Bipolar Transistör)

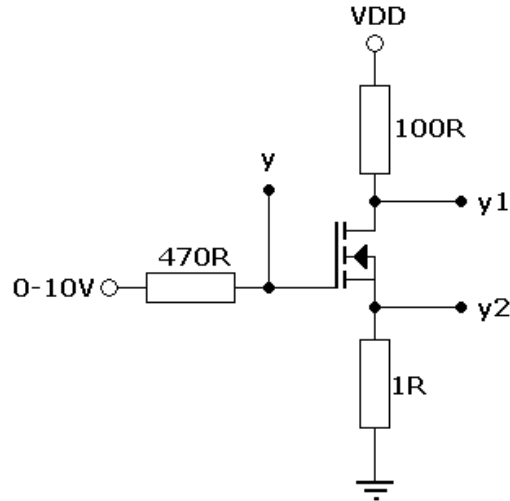
IGBT'ler MOSFET ve BJT elemanlarının avantajlarını bir arada bulunduran gerilim kontrollü bir yarıiletken anahtardır. IGBT'ler BJT ye göre hızlı bir elemandır, ancak MOSFET kadar hızlı değildir. IGBT'ler yüksek akım, yüksek gerilim ve yüksek frekanslar için uygun bir elemandır. IGBT üç terminalden oluşur ki bunlar: kapı (gate) , kolektör (collector) ve emiter (emitter)'dir.

IGBT elemanını iletime geçirmek için MOSFET'e benzer olarak küçük bir enerjinin uygulanması yeterli olacaktır. IGBT elemanı yine aynı MOSFET'e benzer yüksek giriş empedansa sahiptir.

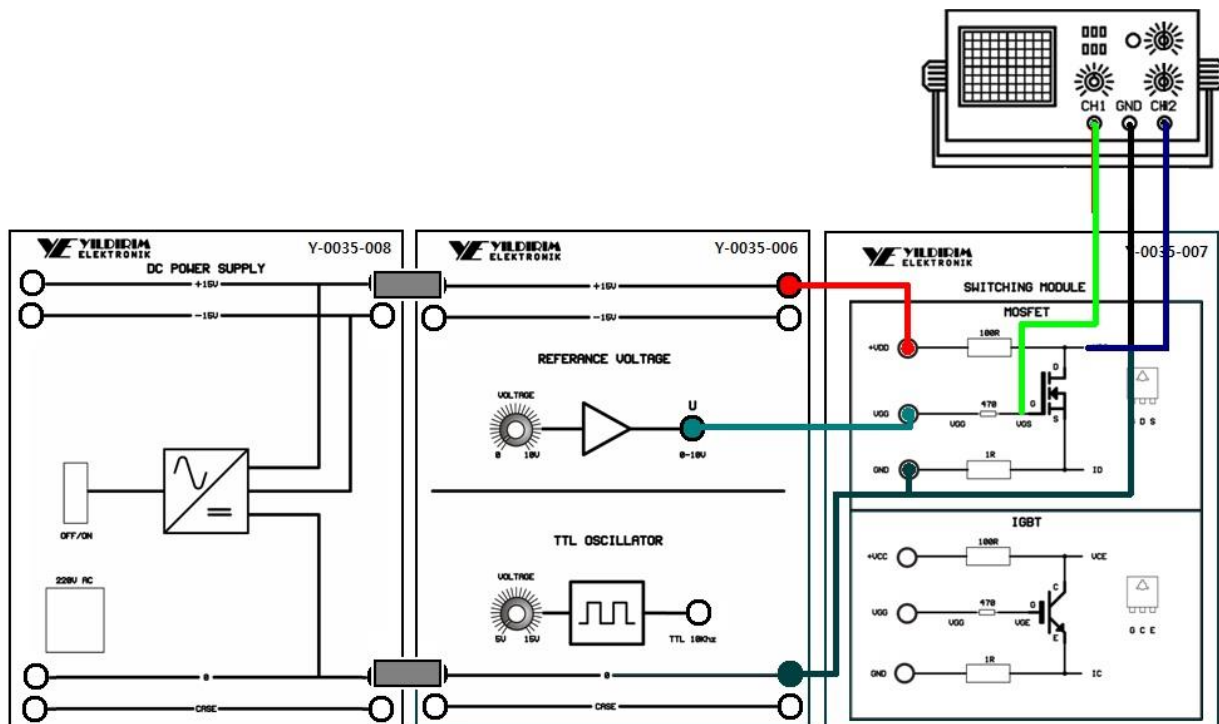
DENEYLER

MOSFET Açılma Testi

Devreyi Şekil 5'teki gibi kurunuz.



Şekil 5. Devre bağlantı şeması



Şekil 6. Deney seti bağlantı şeması

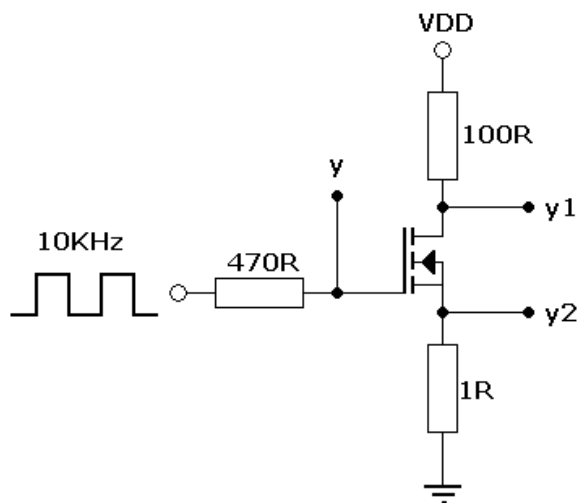
DENEYİN YAPILIŞI:

1. Gerekli bağlantıları yaptıktan sonra devreye gerilim veriniz.
2. Gate gerilimine yavaş yavaş artırarak osiloskoptan çıkış gerilimini izleyiniz. Bu anda çıkış gerilimi besleme gerilimi olan 15V civarında olmalıdır.
3. Gate gerilimi 3V civarına gelince çıkış gerilimi yavaşça azalmaya başlayacaktır. Bu andaki gate gerilimini kaydediniz. (Mosfet iletime geçmeye başlamıştır.)
4. Gate gerilimini artırmaya devam ediniz. Çıkış gerilimi kısa bir süre sonra en az seviyesine inecek ve artık düşmeyecektir. (Mosfet iletimdedir.) Bu gerilim değeri 4.3V civarındadır.
5. Gate gerilimine göre çıkış grafiğini çiziniz.

[illegible]

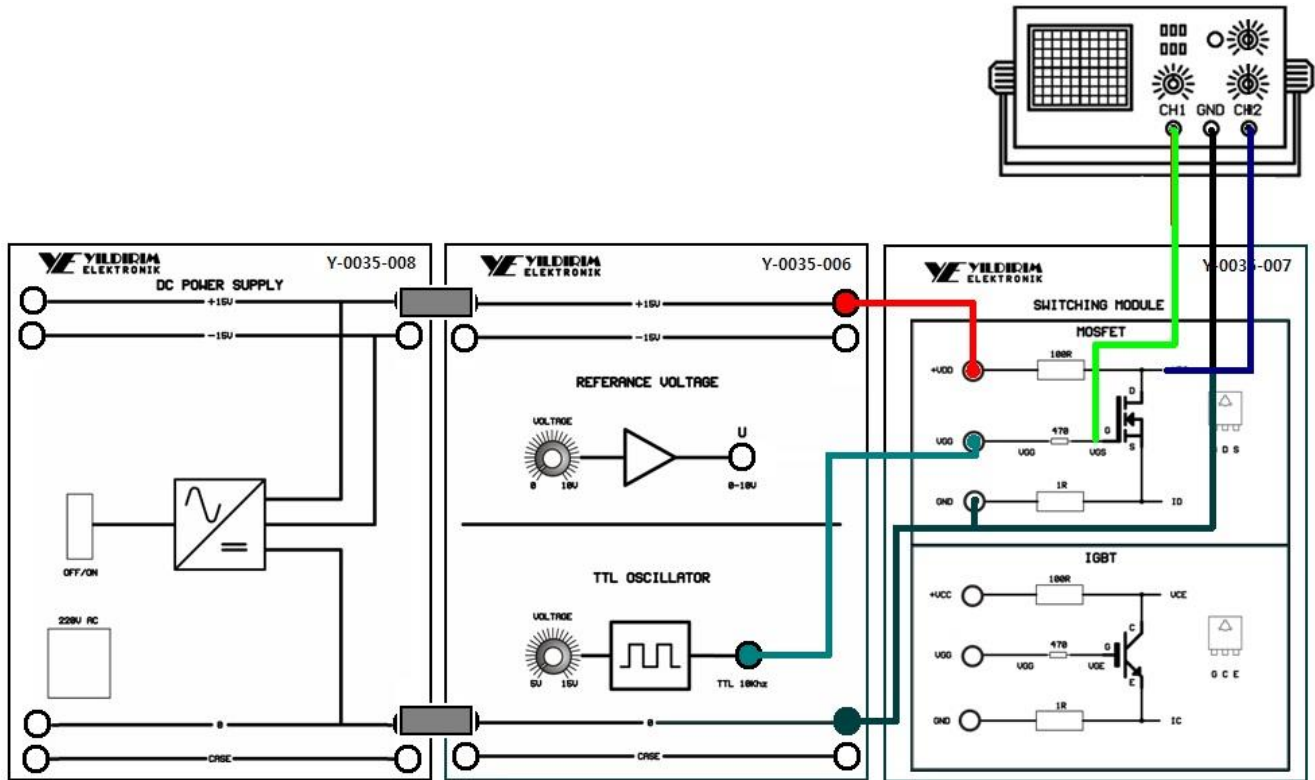
MOSFET Anahtarlama Testi

Devreyi Şekil 7'deki gibi kurunuz.



Şekil 7. Devre bağlantısı





Şekil 8. Deney seti bağlantı şeması

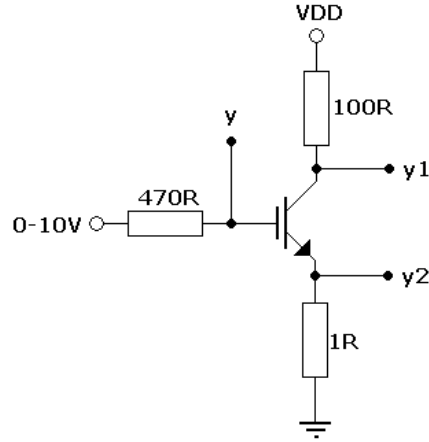
DENEYİN YAPILIŞI:

1. Girişe 10V tepe değerine sahip, 10kHz'lik kare dalga uygulayarak, V_{GS} kapı kaynak gerilimini (Y1), ve V_{DS} akaç-kaynak gerilimini (Y2) osiloskopta gözlemleyerek çiziniz. Y2 kanalından gördüğünüz akaç-kaynak gerilimi gerçek akaç-kaynak gerilimi midir? Osiloskobun ölçüm problemlerinden birini Y ile gösterilen noktaya takarak, akaç akımını gözlemleyiniz ve çiziniz.
2. Uyguladığınız kare dalganın tepe değerini 10V'den yavaş yavaş düşürerek, bir önceki aşamada ölçüm aldığınız dalga şekillerini gözlemleyiniz. Ne gibi değişiklikler gözlemliyorsunuz? Gerilimi düşürmeye devam ediniz ve MOSFET'in açılması için gerekli olan eşik gerilimi(V_{th}) değerini tespit ederek, not alınız.

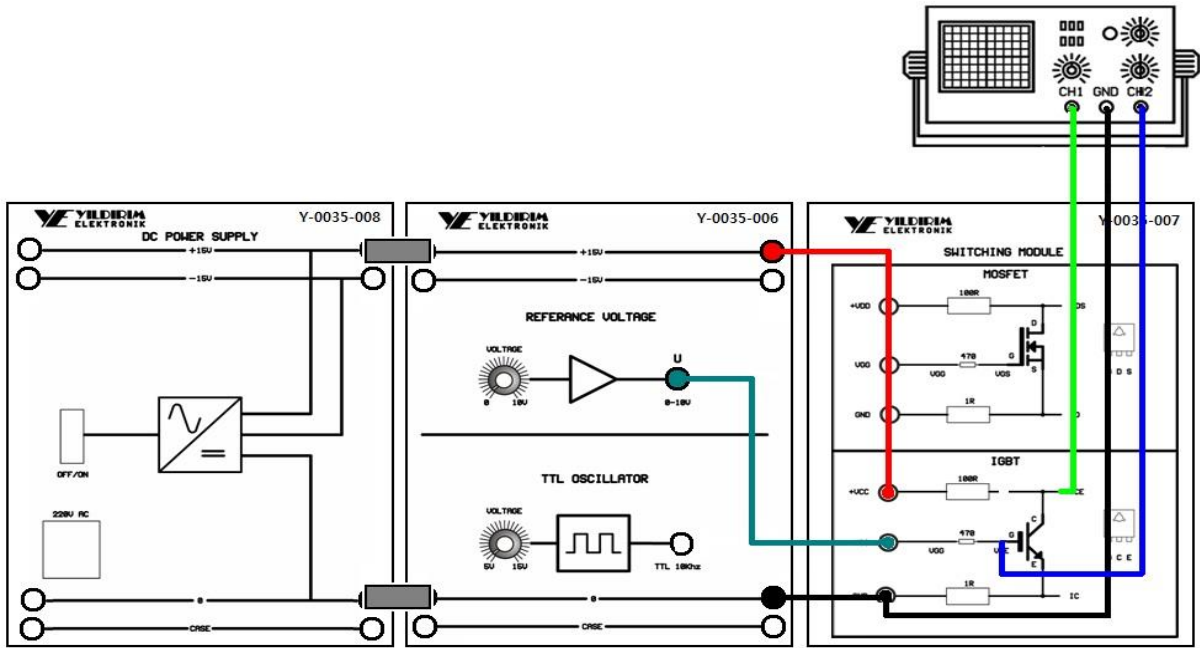
[illegible][illegible]

IGBT Açılma Testi

Şekil 9'daki devreyi kurunuz.



Şekil 9. Devre bağlantı şeması



Şekil 10. Deney seti bağlantı şeması

DENEYİN YAPILIŞI:

1. Gerekli bağlantıları yaptıktan sonra devreye gerilim veriniz.
2. Gate gerilimine yavaş yavaş artırarak osiloskoptan çıkış gerilimini izleyiniz. Bu anda çıkış gerilimi besleme gerilimi olan 15V civarında olmalıdır.
3. Gate gerilimi 5V civarına gelince çıkış gerilimi yavaşça azalmaya başlayacaktır. Bu andaki gate gerilimini kaydediniz. (IGBT iletme geçmeye başlamıştır.)
4. Gate gerilimini artırmaya devam ediniz. Çıkış gerilimi kısa bir süre sonra en az seviyesine inecek ve artık düşmeyecektir. (IGBT iletimdedir.) Bu gerilim değeri 7V civarındadır.
5. Gate gerilimine göre çıkış grafiğini çizin.

V_{GG}	$V_{Çıkış}$
0V	15V
10V	



TEK FAZLI DOĞRULTUCULAR

Teorik Bilgi

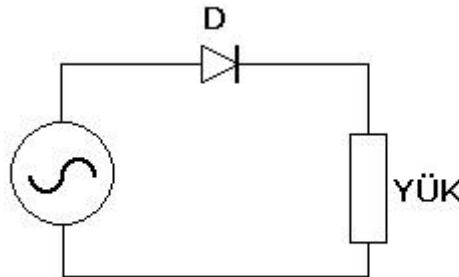
Pek çok güç elektroniği uygulamasında, giriş gücü şebekeden alınan 50-60 Hz’lik AC güç şeklindedir ve uygulamada DC’ye çevrilir. Endüstride kontrollü gerilim ya da güç aktarımı gerekmeyen uygulamalarda maliyet açısından genel eğilim diyotlu doğrultucular kullanmak yönündedir. Diyotlu doğrultucularda güç akışı, şebekeden yüke doğru olup sadece tek yönlüdür. DC güç kaynağı, AC motor sürücüler ve daha pek çok alanda diyotlu doğrultucular tercih edilmektedir.

Diyotlu doğrultucular, gerilimi şebekeden doğrulttukları için üzerlerinde, doğrultucunun türüne göre şebekenin harmoniklerinin frekansında gerilim salınımları olur. Bunları azaltmak için çıkışa yükten önce bir kapasitör eklenir. Kapasitör ne kadar büyük olursa çıkış gerilimindeki salınımlar da o kadar az olacaktır. Diyotlu doğrultucuların kötü özelliklerinden bir tanesi ise şebekeden oldukça yüksek distorsiyonlu akım çekmeleridir. Bu da harmonik standartlarıyla sınırlandırıldığı için her durumda diyotlu doğrultucular kullanılamayabilir. Bunların yerine kontrollü doğrultucular kullanılarak çeşitli denetim stratejileriyle birlikte akım sinüse benzetilir.

Diyotlu doğrultucuları, tek faz, üç faz ve yarım dalga doğrultucu, tam dalga doğrultucu şeklinde sınıflandırabiliriz. Şimdi bunları inceleyelim.

Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucu:

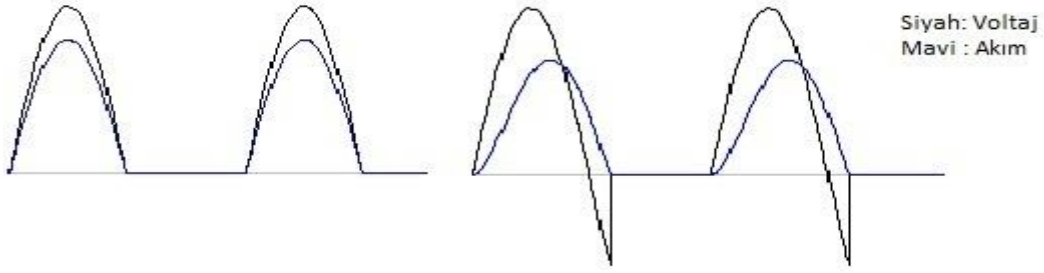
Tek faz yarım dalga doğrultucular pek kullanılmazlar da, doğrultucu çalışmasının anlaşılması açısından iyi bir örnek teşkil ederler. Şekil 1’de tek fazlı bir yarım dalga doğrultucu görülmektedir.



Şekil 1. Tek faz, yarım dalga doğrultucu

Yarım dalga doğrultucu, diyotun üzerine gelen negatif gerilimi iletmemesinden dolayı, sinüs şeklindeki gerilimin sadece pozitif kısmını doğrultacaktır.

Yük omik ya da indüktif olabilir. Eğer yük omik bir yük ise, diyot sadece pozitif evreyi doğrultur ve kesim durumuna geçer, ancak yük indüktif bir yük ise, yük akımı, gerilim sıfıra düştükten sonra, bir süre daha pozitif yönde akmaya devam edeceği için diyot hemen kesime geçemez ve üzerindeki akım sıfıra düşene kadar negatif gerilimi iletir. Bütün bu durumlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2. Omik ve indüktif yük ile gerilim-akım ilişkisi
(Üstteki sinyal gerilimi, alttaki sinyal akımı göstermektedir.)

Gerilimin negatife düştüğü durumları engellemek için indüktif yüklü uygulamalarda çıkışa, boşa çalışma diyodu (FWD) bağlanır. Bu, yüke ters paralel olarak bağlanan standart bir diyottur ve gerilim negatife düşme eğilimi gösterdiği zaman ilettime geçerek, şebeke diyodunun üzerindeki akımı kendi üzerine alır. Böylece yük akımı boşa çalışma diyodu üzerinden akmaya devam eder ve yük üzerinde sadece oldukça küçük olan diyodun negatif gerilimi gözlenir.

Çıkışta gözlenen gerilimin tepe değeri, diyot üzerindeki gerilim düşümü ihmal edilirse yaklaşık olarak giriş işaretininkiyle aynıdır. Bu dalga şeklinin ortalama ve etkin değerleri integral alınarak hesaplanabilir. Aşağıda yarım dalga doğrultucunun çıkış geriliminin ortalama ve etkin değerleri ve nasıl hesaplandığı verilmiştir.

$$V(t) = V_M \sin(\omega t)$$

$$V_{ORT} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \rightarrow V_{ORT} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_M \sin(\omega t) d(\omega t) \rightarrow V_{ORT} = \frac{V_M}{2\pi} (-\cos \omega t)_0^\pi$$

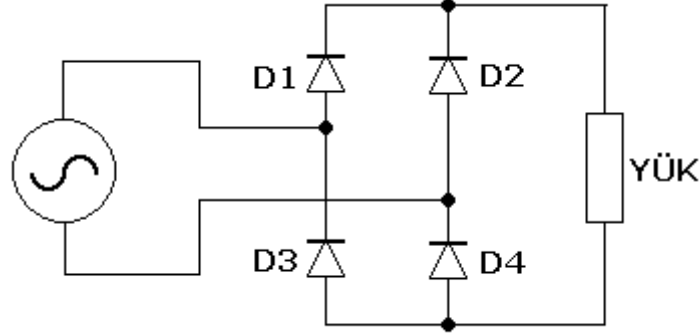
$$V_{ORT} = \frac{V_M}{2\pi} [-\cos \pi - (-\cos 0)] \rightarrow V_{ORT} = \frac{V_M}{2\pi} [2] \rightarrow V_{ORT} = \frac{V_M}{\pi}$$

$$V_{ORT} = \frac{V_M}{\pi} \quad I_{ORT} = \frac{I_M}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt \right]^{0.5} \quad V_{RMS} = \frac{V_M}{2} \quad I_{RMS} = \frac{I_M}{2}$$

Tek Faz Tam Dalga Doğrultucu:

Tek fazlı uygulamalar için oldukça sık kullanılan tam dalga ya da köprü doğrultucu devresi şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Tek Fazlı Köprü Doğrultucu

4 tane diyottan oluşan devrede, D1 ve D4 diyotları alternatif gerilimin pozitif evresini geçirecek, D2 ve D3 diyotları da gerilimin negatif evresinde aktif olarak bu bölgeyi doğrultacaktır. Böylece çıkışta, girişteki ac gerilimin iki katı frekansında dc bir gerilim elde edilecektir. Eğer yük indüktif olursa akım gerilimin gerisine düşecek, ancak akımı üzerine alacak pozitif gerilim evresine geçmekte olan başka bir diyot olduğu için yarım dalga doğrultucuda gözlenen negatif voltaj durumu köprü diyotta gerçekleşmeyecektir. Bunlara ilişkin dalga şekilleri şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Omik ve indüktif yükte köprü doğrultucu gerilim-akım ilişkisi

Tek fazlı köprü diyotta da yük gerilim, akımlarının ortalama ve etkin değerleri aynı şekilde integral olarak hesaplanır. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

$$V_{ORT} = \frac{2V_M}{\pi} \quad I_{ORT} = \frac{2I_M}{\pi}$$

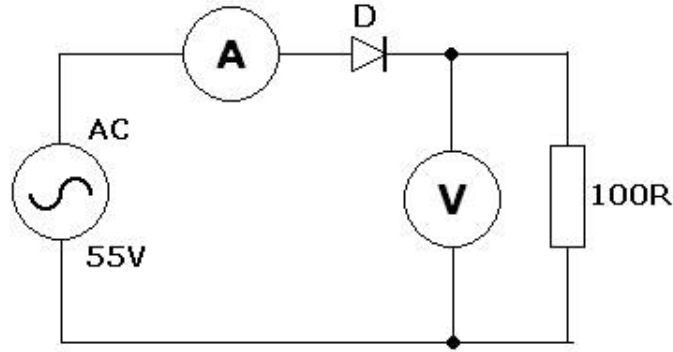
$$V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \quad I_{RMS} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$$

Bu formüllerle verilen akım değerleri sadece omik yükler için kullanılabilir. Çünkü sadece bu durumda akım ve gerilimlerin dalga şekilleri aynıdır.

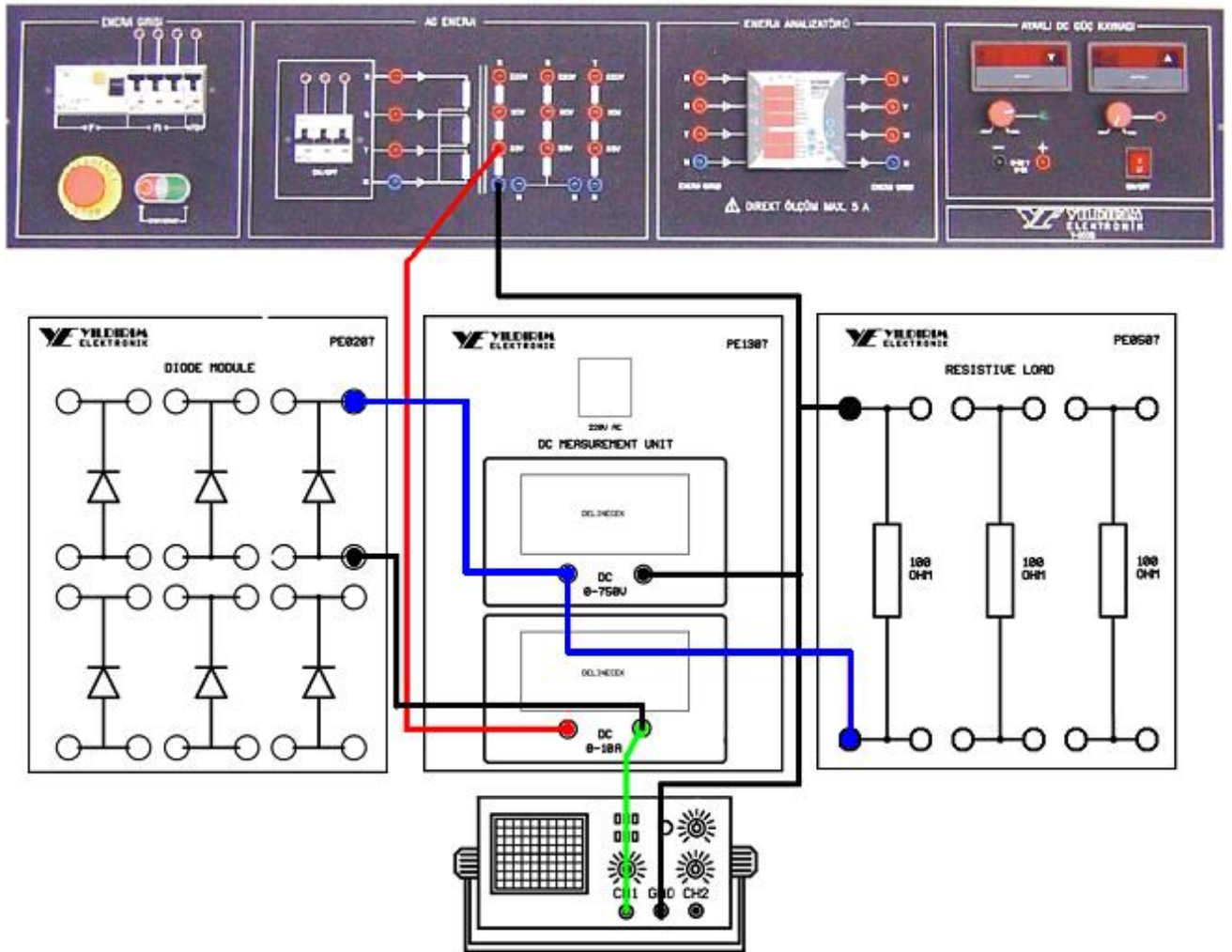
DENEYLER

Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu (Omik Yükle)

Şekil 5'te görünen devreyi kurunuz.



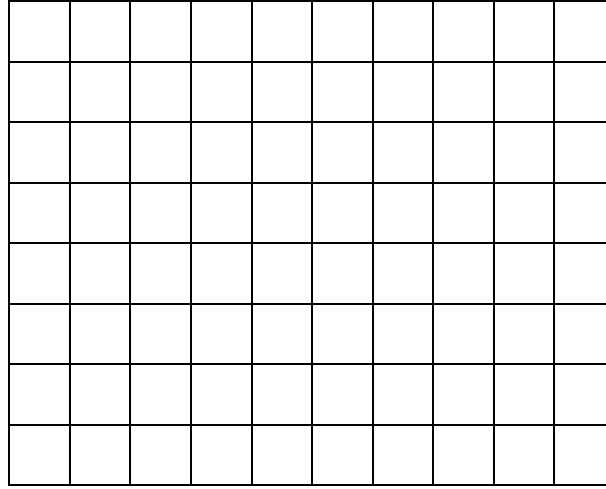
Şekil 5. Bağlantı Şeması



Girişten verilen 55 Vrms'lik alternatif gerilimin pozitif evresi diyot tarafından geçirilecek, negatif evresi ise, diyotun geri bloklama durumuna geçmesi sebebiyle kesilecektir. Alternatif gerilimin sadece bir evresi geçirildiği için bu devreye yarım dalga doğrultucu denmektedir. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreyi çalıştırınız. Y1 kanalındaki çıkış dalga şeklini çiziniz. Aşağıdaki ölçümleri not ediniz. Y1 Kanalında gördüğünüz gerilim dalga şekline göre, akım dalga şeklinin nasıl olmasını beklersiniz?

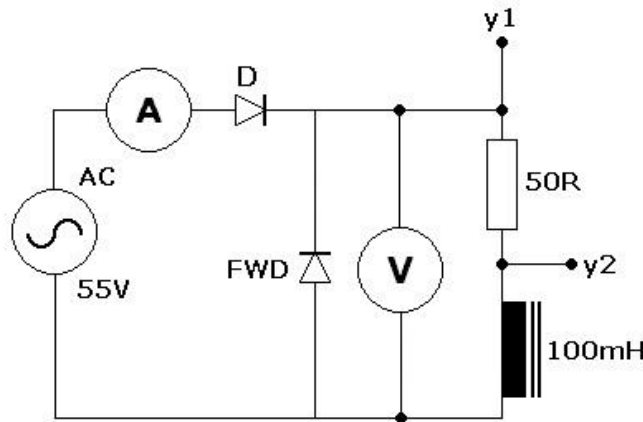
- Direnç üzerinden alınan yük geriliminin ortalama ve etkin değeri (V_{o_mean} , V_{o_rms})
- Direnç üzerinden geçen yük akımının ortalama ve etkin değeri. (I_{o_mean} , I_{o_rms})
- Giriş akımının etkin değeri. (I_{in_rms})

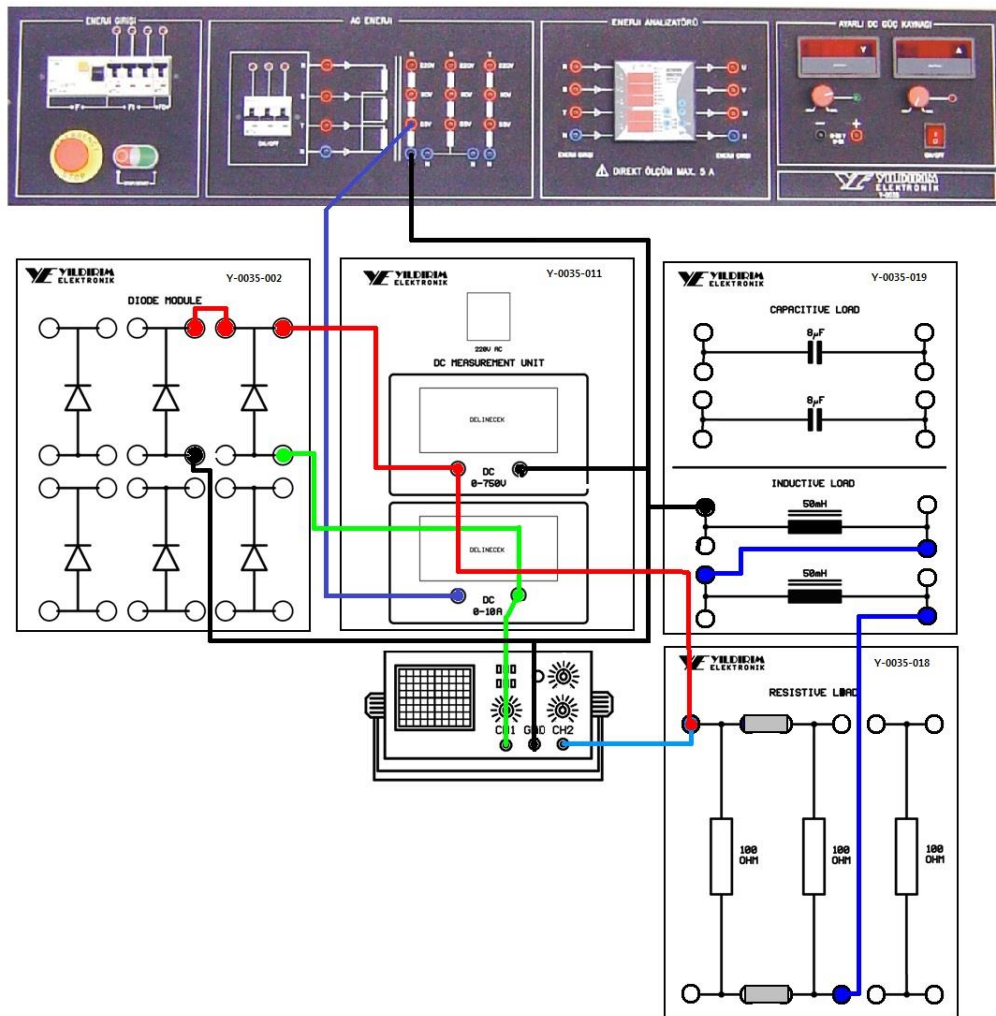
Max. V_o (Yük gerilimi)	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_{in}



Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu Boşta Çalışma Diyotu İle (FWD)

Şekilde görülen devreyi kurunuz. Tabloda görülen ilk değer için deney bağlantısında boşluk diyotu olmayacaktır.



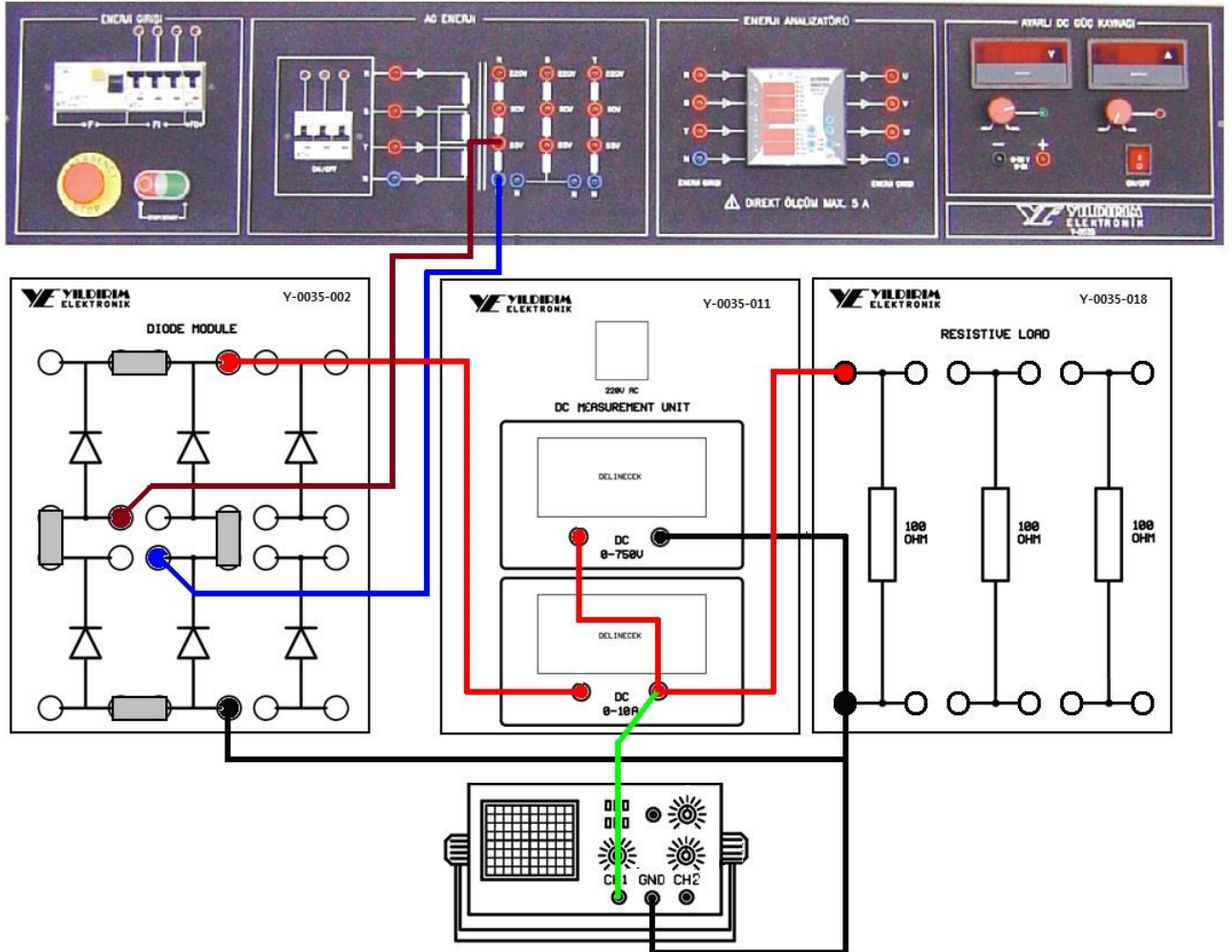
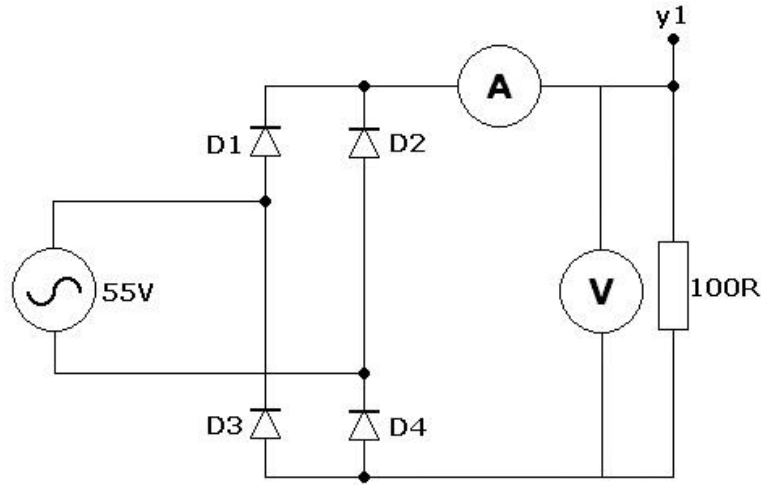


Y1 ve Y2 kanallarındaki dalga şekillerini çiziniz. FWD devrede neyi etkilemiştir?

	Max Vo	Ortalama Vo	Ortalama Io	RMS Iin
50 ohm 100mH				
50 ohm 100mH FWD ile				

[illegible]

Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu (Omik yükü)



Şekilde görülen tam dalga doğrultucu devreyi kurunuz. Bu kez giriş geriliminin pozitif evresini D1-D4 diyot çifti negatif evresini de D2-D3 diyot çifti geçirecektir. Bu sayede sinüs eğrisi şeklinde bir gerilimin her iki evresi de pozitif bir gerilime dönüştürülmüş olacaktır. Bağlantıları kontrol ederek devreyi çalıştırınız. Osiloskobun Y1 kanalından görülen çıkış geriliminin dalga şeklini çiziniz. Çıkış geriliminin ve akımının, ortalama ve etkin değerlerini not ediniz.

Giriş geriliminin bir periyodunda, çıkış geriliminde 2 darbe gözlendiği için bu doğrultucuya 2 darbeli doğrultucu da denmektedir.

Max. Vo(Yük gerilimi)	Ortalama Vo	Ortalama Io	RMS Iin

TEK FAZLI KONTROLLÜ (TRİSTÖRLÜ) DOĞRULTUCULAR

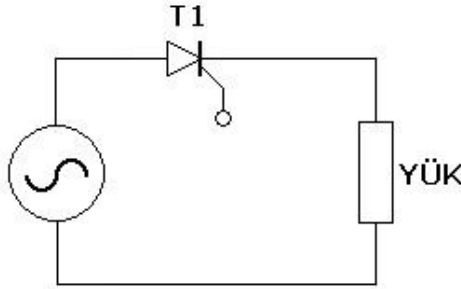
Teorik Bilgi

Deney 2’de sabit çıkış gerilimi üretebilen diyotlu doğrultucuları inceledik. Eğer endüstriyel uygulama sabit değil de ayarlanabilir bir gerilime ihtiyaç duyuyorsa bu durumda diyotlu doğrultucuları kullanamayız. Bu tip uygulamalarda diyotların yerini faz kontrollü tristörler alır. Tristörün çıkış gerilimi, tristörün gecikme ya da ateşleme açısı değiştirilerek kontrol edilebilir. Tristör, kapı terminaline uygulanan bir akım darbesiyle ilettime sokulur ve ancak üzerindeki gerilim negatifken, akım da belli bir değerin altına düşerse kapanır. AC sistemlerde gerilim ve akım doğal olarak negatife inerler ancak DC sistemlerde böyle bir durum söz konusu olmadığı için bu sistemlerde tristör kullanılamaz.

Faz kontrollü sistemler basit, verimli ve nispeten ucuz oldukları için endüstriyel uygulamalarda, özellikle ayarlanabilir hızlı sürücü sistemlerinde birkaç kW’dan MW seviyelerine kadar geniş bir aralıkta yaygın olarak kullanılırlar.

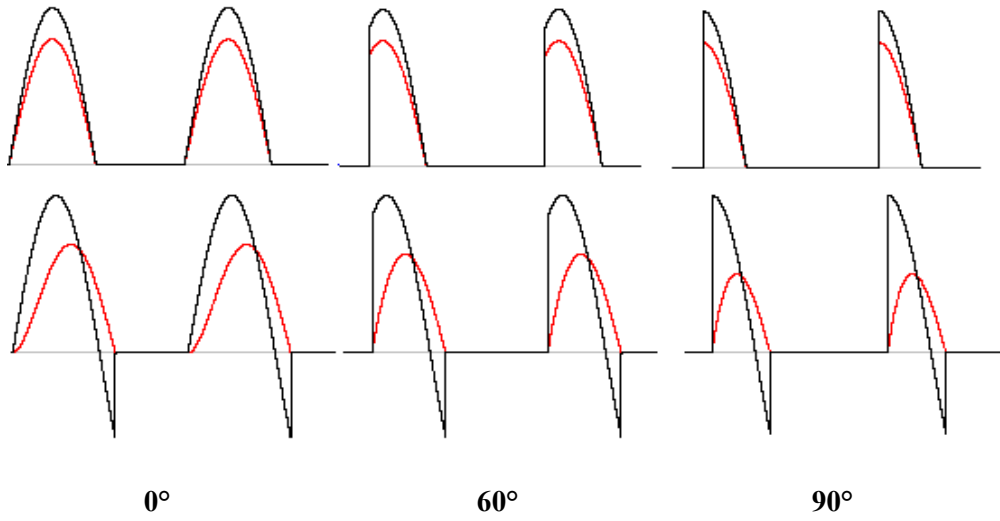
Tek Faz Yarım Dalga Tristörlü Doğrultucu:

Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi devrede yarım dalga diyotlu doğrultucudaki diyodun tristörle değiştirilmesi dışında bir fark yoktur.



Şekil 3.1. Yarım dalga tristörlü doğrultucu

Faz kontrolü, giriş geriliminin pozitif evresinin istenildiği anında, tristörün ilettime sokulmasıyla sağlanır. Bu noktadan itibaren üzerindeki gerilim negatif olup, akım azalana kadar tristör iletimde kalır. Eğer yük omik bir yük ise tristör akım ve gerilimlerinin dalga şekli aynı olur ve negatif gerilim sorunu yaşanmaz. Ancak diyotlu yarım dalga doğrultucuda olduğu gibi, indüktif yükte, tristörlü doğrultucu da, akım geriden geldiği için geç kapanarak bir süre negatif gerilimi geçirecek bu da yüke uygulanan ortalama gerilimin azalmasına sebep olacaktır. Şekil 3.2’de farklı ateşleme açıları için yarım dalga doğrultucunun çıkışında gözlenebilecek dalga şekilleri görünmektedir.



Şekil 3.2. Omik ve indüktif yükle 0° , 60° , 90° ateşleme açılarında çıkış akım, gerilim dalga şekilleri

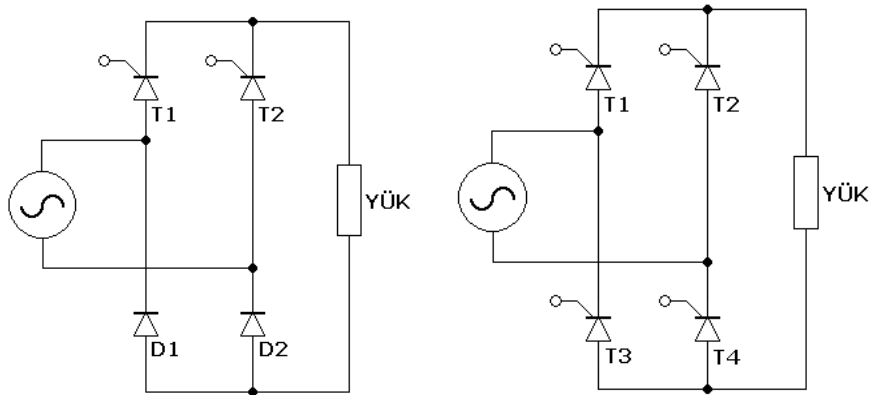
Yarı dalga doğrultucu devreleri, düşük frekans bileşenleri ve yüksek salınımları sebebiyle endüstride tercih edilmezler.

Çıkış geriliminin ortalama ve etkin değerleri diyotlu doğrultuculardaki gibi hesaplanabilir.

$$V_{ORT} = \frac{V_M}{2\pi} (1 + \cos\alpha) \quad V_{RMS} = \frac{V_M}{2} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{0.5} \quad (\alpha = \text{Ateşleme açısı})$$

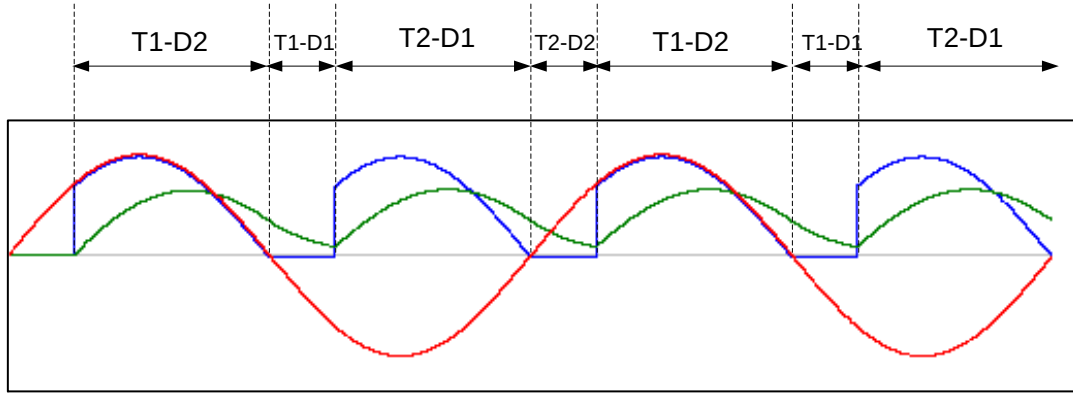
Tek Faz Tam Dalga (Köprü)Doğrultucu:

Şekil 3.3'te yarı kontrollü ve tam kontrollü köprü doğrultucu görünmektedir. Tam kontrollü doğrultucu 4 tane tristörden oluşurken, yarı kontrollü doğrultucu 2 tristör 2 diyottan oluşmaktadır. Yarı kontrollü doğrultucuda gerilim ve akım daima pozitifdir, yani sadece tek kadranda çalışan bir doğrultucudur. Tam kontrollü doğrultucuda ise boşa çalışma diyodu kullanılmadığı takdirde gerilim negatife düşebilir. Akım ise burada da daima pozitifdir. Bu sistem de pozitif akım ve pozitif-negatif gerilimle yani 2 kadranda çalışmaktadır.



Şekil 3.3. Tek faz, yarı-kontrollü ve tam kontrollü doğrultucu

Şekil 3.4'te indüktif yüklü, yarı kontrollü doğrultucu için tipik bir çıkış gerilimi dalga şekli ile tristör ve diyotların iletim aralıkları verilmiştir.



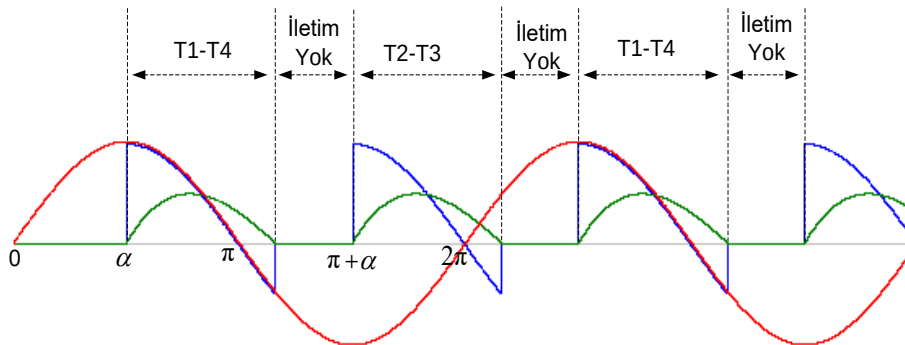
Şekil 3.4. Yarı kontrollü köprü doğrultucu

Şekilde de görüldüğü gibi gerilimin pozitif evresini T1-D2 negatif evresini de T2-D1 anahtarları iletmektedir. Gerilim pozitif evrenin sonuna gelip negatife geçtiğinde T1-D2 çiftinin görevi biter ve gerilim negatife geçtiği için D2 kapanarak üzerinde pozitif gerilim olan D1 açılır. Bu noktada T2 henüz ateşlenmediği için ve de yük akımı sıfıra düşmediği için T1 tristörü T2 ateşlenene kadar iletimde kalır. $\omega t = \pi + \alpha$ 'da T2 ateşlenir ve T2-D1 çifti iletimi alır.

Gerilimin ortalama ve etkin değerleri aşağıdaki gibidir.

$$V_{ORT} = \frac{V_M}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{0.5}$$

Tam kontrollü doğrultucuda diyotlar yerine de tristörler kullanıldığı için devre üzerindeki her anahtar kontrollüdür ve bu sebeple tam kontrollü denmektedir. Şekil 3.3'te görülen tam kontrollü devreye göre, T1-T4 tristörleri ve T2-T3 tristörleri kendi içlerinde birlikte çalışır. $\omega t = \alpha$ anında T1 ve T4 ateşlenir ve $\omega t = \pi$ anına kadar bu tristörler iletimde kalır. T2 ve T3 tristörleri $\omega t = \pi + \alpha$ 'ya kadar ateşlenmeyeceği için, eğer yük indüktif ise T1 ve T4 tristörleri kesim durumuna geçmeyip yük akımını taşımaya devam edecekler; T2 ve T3 diyotlarının açılma anına kadar da negatif gerilimi çıkışa ileteceklerdir. $\omega t = \alpha$ anında T2 ve T3 tristörleri ateşlenerek iletime başlayacaklardır. Bu durum tristörlerin iletim periyotlarıyla birlikte Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5

Şekil 3.5'e göre yük akımının süreksiz olduğu görünmektedir. Bu sebeple devredeki hiçbir anahtarın iletimde olmadığı zaman dilimleri vardır. Sürekli yük akımı olması durumunda akım, T1-T4 tristörleri tarafından diğer tristör çifti ateşlenene kadar taşınacaktır. Bu durumda da akımın sürekliliği sağlanırken ortalama gerilim azalacaktır. α 'dan π 'ye kadar olan periyotta gerilim ve akım pozitifdir yani güç şebekeden yüke doğru akmaktadır. Bu durumda devre “doğrultma” (rectification) durumundadır denir. Gerilimin π 'den sonraki negatif kısmında ise akım yine pozitifdir. Güç yükten kaynağa akar. Bu konumda da devre “evirici” (inverter) modunda çalışıyor denir.

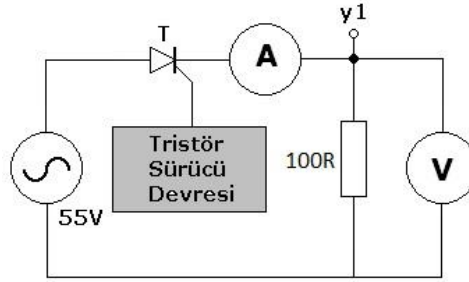
Akım sürekli olduğu takdirde, tam kontrollü köprü doğrultucu için, ortalama ve etkin gerilim aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$V_{ORT} = \frac{2V_M}{\pi} (\cos \alpha) \quad V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}}$$

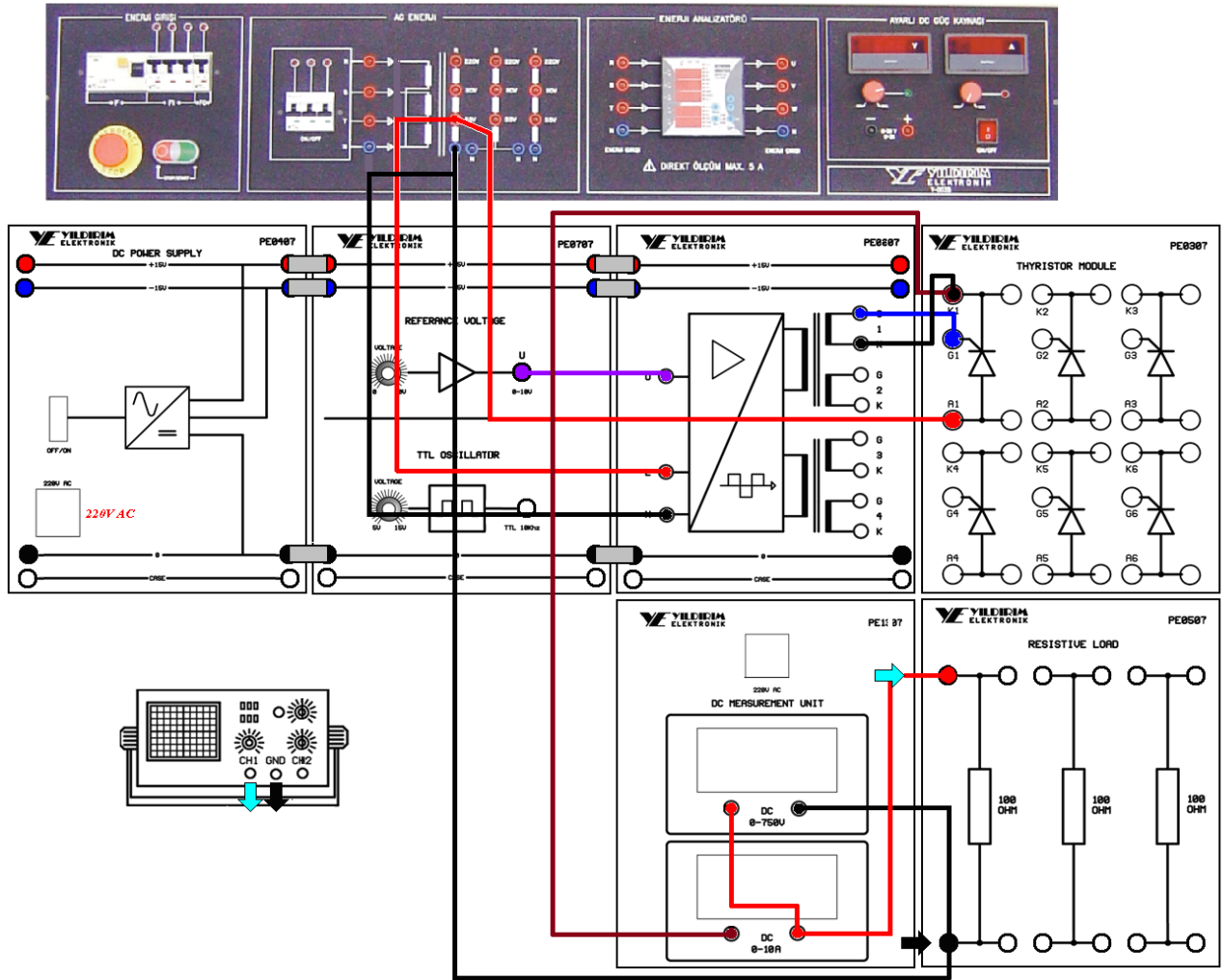
DENEYLER

Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu (Omik Yükle)

Şekil 3.6'da görülen devreyi kurunuz. **Not:** Ampermetre tristör girişinde AC, çıkışında DC bağlanacaktır. Deney şemasında karışıklığı önlemek için DC bağlantı kullanılmıştır.



Şekil 3.6



Şekil 3.7

DENEYİN YAPILIŞI:

Tristörün iletme geçmesi için kapı terminaline bir akım uygulanması gerektiğini görmüştük. Şimdi bu akımın gecikme açısını 0 dereceye ayarlayın. ($\alpha=0^\circ$). Böylece tristör, diyot gibi davranacak ve diyotlu yarım dalga doğrultucuda olduğu gibi, giriş geriliminin pozitif evresini tamamen doğrultacaktır. Ateşleme açısının (α) 0° olduğu bu durumdaki yük gerilimi ve akımıyla, giriş akımı ve tristör geriliminin dalga şeklini çiziniz. Yük gerilim ve akımının, ortalama ve etkin değerlerini ölçünüz.

Tristörün ateşleme açısını 30° , 60° , 90° , 120° , 150° ve 180° dereceye ayarlayarak dalga şekillerini gözlemleyiniz. Yukarıdaki basamaklarda alınan çizimleri ve ölçümleri bu basamaklar için de tekrarlayınız.

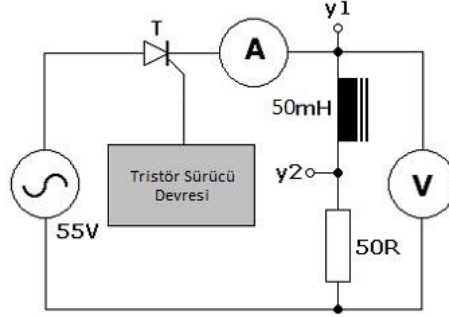
NOT: Tristör sürücü devresindeki 220V referans gerilimi 3 fazlı trafo çıkışındaki 220V gerilimden alınması sonuçların doğruluğu açısından tavsiye edilir.

Tablo 3.1. Tek faz, Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucu İçin Deney Sonuçları

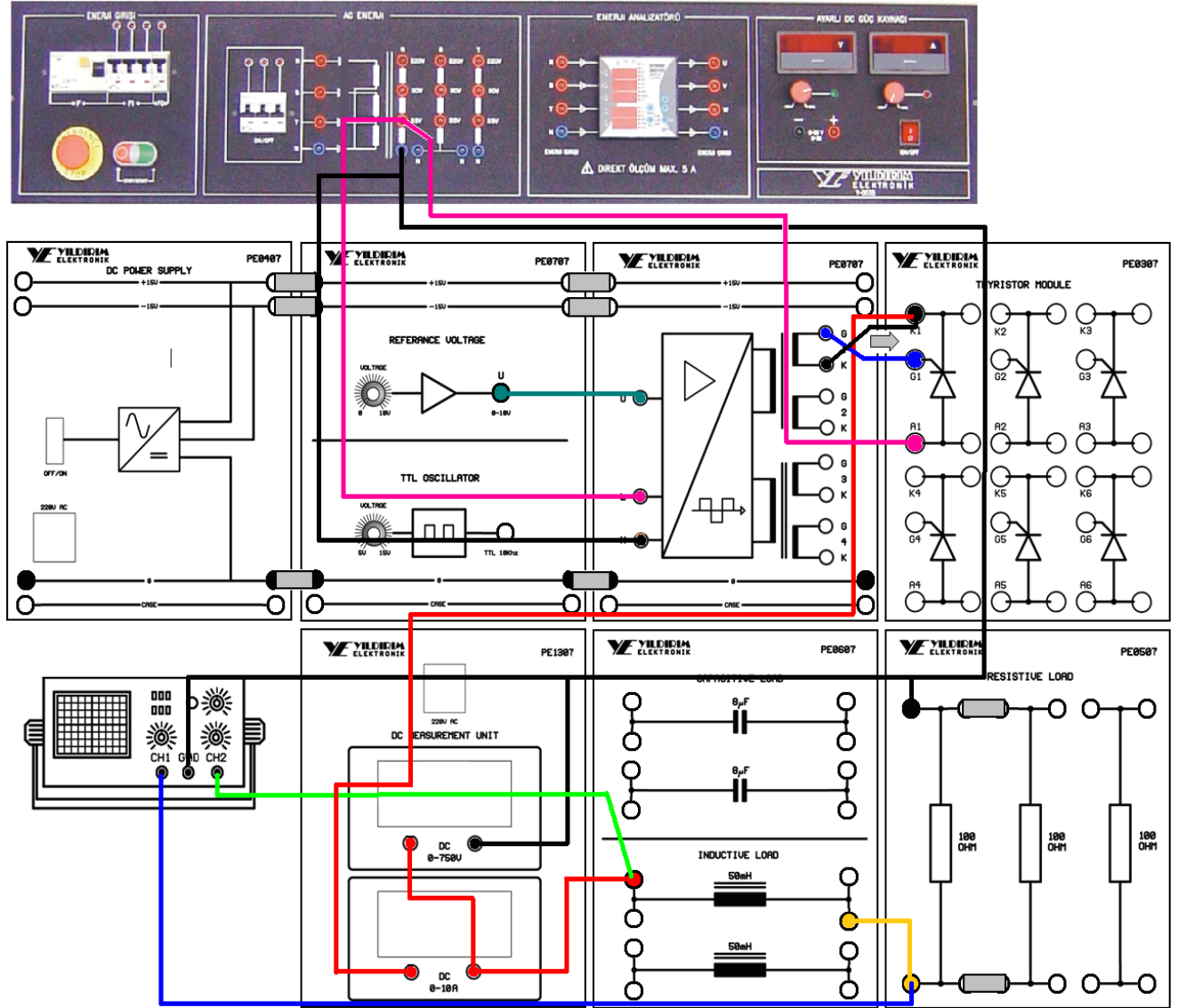
$(\alpha=60^\circ)$	Maximum	Ortalama	Etkin	Etkin(A.C)
I_0				
V_0				
I_{in}				
$(\alpha=90^\circ)$	Maximum	Ortalama	Etkin	Etkin(A.C)
I_0				
V_0				
I_{in}				
$(\alpha=120^\circ)$	Maximum	Ortalama	Etkin	Etkin(A.C)
I_0				
V_0				
I_{in}				

Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu (İndüktif Yükle)

Çıkışa 50 mH'lik bir indüktör ekleyerek önceki deneydeki prosedürü indüktif yük ile tekrarlayınız.



Şekil 3.8



Şekil 3.9

Osiloskop ekranından faydalanarak, gerilimin negatif değerde kaldığı açı değerini yaklaşık olarak ölçerek not ediniz (Bu açıya Beta (β) diyelim).

Tablo 3.2. Endüktif Yük İle Tek faz, Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucu İçin Deney Sonuçları

$(\alpha=0^\circ)$	Maximum	Ortalama	Etkin	Etkin(A.C)
I_0				
V_0				
I_{in}				
$(\alpha=60^\circ)$	Maximum	Ortalama	Etkin	Etkin(A.C)
I_0				
V_0				
I_{in}				
$(\alpha=120^\circ)$	Maximum	Ortalama	Etkin	Etkin(A.C)
I_0				
V_0				
I_{in}				

DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

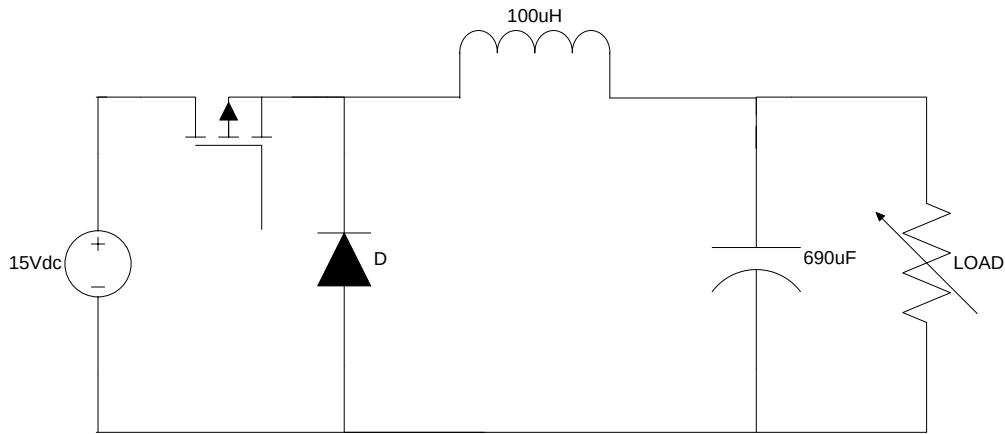
Teorik Bilgi

DC-DC dönüştürücüler endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman zaman doğrudan kullanılırken, ayarlanabilir gerilimli bir güç kaynağı uygulamasında, herhangi bir uygulamada gerekli olan herhangi bir DC gerilim seviyesinin elde edilmesinde ya da empedansları uyumsuz olan ardışık 2 katın birbirine yudurulmasında vb. sebeplerde kullanılırlar.

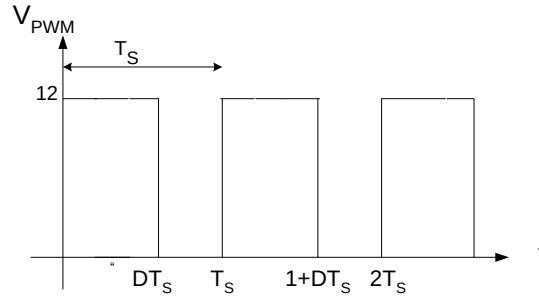
Piyasada 1W seviyesinden birkaç yüz watt seviyesine kadar olan kHz seviyesindeki frekanslarda anahtarlama yapan DC-DC dönüştürücüler bulunmaktadır.

Gerilim Azaltan Dönüştürücünün Kalıcı Durum Devre Analizi

Şekil 4.1’de tipik tek transistorlü bir gerilim azaltan dönüştürücü devre şeması görünmektedir. Görüldüğü üzere devrede biri kontrollü (MOSFET) diğeri ise kontrolsüz (diyot) olan iki adet anahtar bulunmaktadır. MOSFET’in kapı-kaynak terminaline sabit frekansta, ayarlanabilir darbe genişliğine sahip, yine Şekil 4.2’de görülen PWM sinyali uygulanmaktadır. Bu sinyalin DT_s süresince (yani darbenin uygulandığı sürede) transistör, geriye kalan $(1-D)T_s$ ile gösterilen süresinde de diyot iletimde olacaktır. Bu durum devrenin 2 ayrı modda çalışarak lineer olmayan bir yapı göstermesine sebep olur. Şimdi devrenin bu 2 ayrı modunu inceleyerek gerilim azaltan dönüştürücünün giriş ile çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi bulabiliriz.

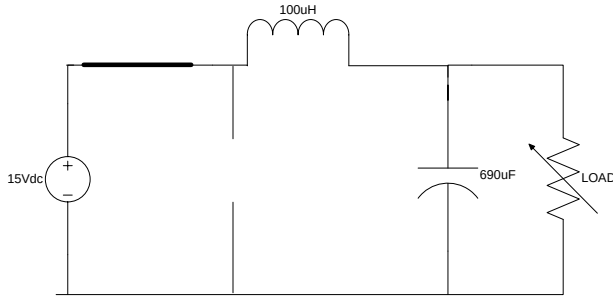


Şekil 4.1



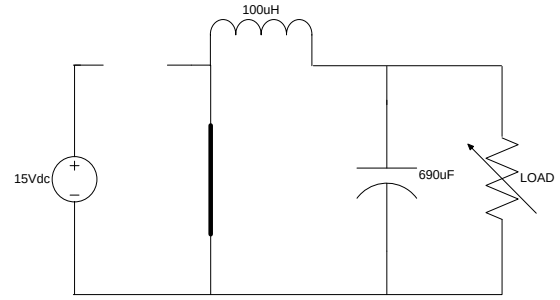
Şekil 4.2

Şekil 4.3.a'da dönüştürücünün, transistörün iletimde diyotun kesimde olduğu mod 1'deki durumu gösterilmiştir. Transistör iletimde olduğu için kısa devre olarak, diyot ise kesim durumunda olduğu için açık devre olarak gösterilmiştir.



MOD 1

Şekil 4.3a



MOD 2

Şekil 4.3b

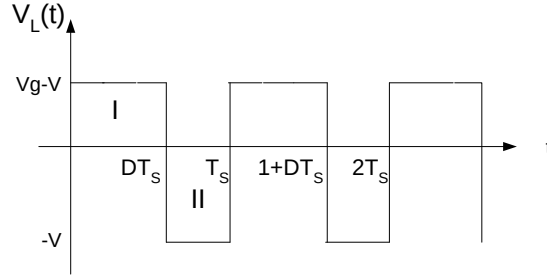
Şekilde de görüldüğü gibi mod 1'de indüktör, doğrudan çıkış ile giriş arasına bağlanmıştır. Bu durumda bu modda indüktörün uçları arasındaki gerilim giriş gerilim ile çıkış gerilimi arasındaki fark kadardır.

$$V_L = V_g - V$$

Şekil 4.3b'deki mod 2 durumunda bakarsak bu kez transistorün kesimde diyotun iletimde olduğunu görürüz. Bu durumda indüktör üzerinde, çıkış gerilimine eşit ve ters polariteli bir gerilim gözlemleriz.

$$V_L = -V$$

Bu durumda indüktör geriliminin dalga şekli şekil 4.4'te gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 4.4

Artık bobinin her iki modda da hangi gerilim değerlerini aldığını biliyoruz. Bu durumda giriş ve çıkış arasında bir bağıntı bulabiliriz. Kalıcı duruma ulaşmış, dengedeki bir sistemde, bir anahtarlama periyodu süresinde indüktörün akımındaki net değişim sıfırdır. Bu indüktör volt-saniye dengesi olarak bilinir. Buna göre aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz.

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \rightarrow [i_L(t)]_0^{T_s} = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt \rightarrow i_L(T_s) - i_L(0) = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt$$

Burada T_s ifadesi bir anahtarlama periyodunu ifade etmektedir ve yukarıda da söylediğimiz gibi bir anahtarlama periyodunda akım değişimi sıfırdır. En sondaki eşitliğin sol tarafı bir anahtarlama periyodunun başı ve sonundaki akım değerlerinin birbirinden çıkarılmasını yani bir anahtarlama periyodu boyunca akımdaki değişimini ifade etmektedir. Dolayısıyla sıfıra eşittir ve bu şekilde eşitliğin sol tarafının da sıfıra eşit olmasını gerektiren aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0 \rightarrow \int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0$$

Bu denklem açıkça Şekil 4.4'te gösterilen indüktör gerilimi dalga şeklinin altında kalan I ve II ile gösterilmiş alanlar toplamının sıfır olduğunu ifade etmektedir. Buna göre;

$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = (V_g - V)(DT_s) + (-V)(1 - D)T_s = 0$$

$$V_g DT_s - \underline{VDT_s} - VT_s + \underline{VDT_s} = 0 \rightarrow V_g DT_s - VT_s = 0$$

$$T_s (V_g D - V) = 0 \rightarrow V_g D - V = 0$$

$$DV_g = V$$

Görüldüğü gibi giriş gerilim ile çıkış gerilim arasındaki ilişkiyi indüktör volt-saniye dengesi prensibini kullanarak bulduk. Burada D darbe genişliği (duty cycle) değeri olup 0 ile 1 arasında değişmektedir.

Yalnız bu ifadenin, bir takım yaklaşımlar ve varsayımlar yapılarak elde ettiğimiz bir sonuç olduğunun **farkında olunmalıdır**. Bu varsayımlar devrenin ideal olduğuna dair olan varsayımlardır. Örneğin her iki modda da, indüktör gerilimi denklemini yazarken transistör ve diyot üzerindeki gerilim düşümünü hesaba katmayarak bunların sıfır olduğunu varsaydık. Ayrıca mod 2’de transistör kesimde olduğu için girişteki kaynak devreyi beslememekte yani çıkış devresi akımını dolayısıyla enerjisini kendi içinde çevirmektedir. Yük, bu modda kaynaktan enerji almadığı için enerjisini kapasitör ve indüktörde depolanan enerjiden almaktadır. Bu sebeple enerjisi azalan bu elemanların akım ve gerilimlerinde azalmalar olacaktır.

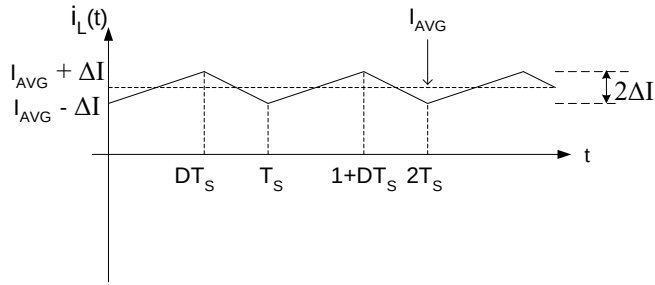
Daha sonra devre tekrar mod 1’e dönünce kaynak devreye bağlanacak ve transistör üzerinden yüke enerji aktarmaya başlayacaktır. Dolayısıyla kapasitör ve indüktörün de enerjisi artacak ve sırasıyla gerilim ve akımları da artacaktır. Yani biz her iki modun denklemini de yazarken çıkış gerilimini V gibi sabit bir değer olarak aldık. Oysa çıkış gerilimi, kapasitörün az önce bahsettiğimiz enerji alış verişleri sebebiyle $V+v(t)$ şeklinde $V+\Delta V$ ile $V-\Delta V$ arasında salınan bir değerdir. Dolayısıyla biz V değerini alarak bu ΔV salınımının V ortalama değerine göre çok küçük ve ihmal edilebilir olduğunu varsaydık.

Son olarak, önemli olan bir başka parametremiz de indüktör akımıdır. Çünkü devreden de görüldüğü gibi yük akımının sürekliliği indüktör sayesinde sağlanmaktadır. Kapasitör ve yükün çektiği akımların toplamı bize bobinin akımını verecektir.

Bobin de devrede sürekli olarak enerji alışverişinde bulunan bir eleman olduğu için akımında değişimler olacaktır. Bu salınımların seviyeleri bobinin her modda maruz kaldığı gerilimler bilindiği takdirde hesaplanabilir.

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \rightarrow \frac{V_L(t)}{L} = \frac{di_L(t)}{dt}$$

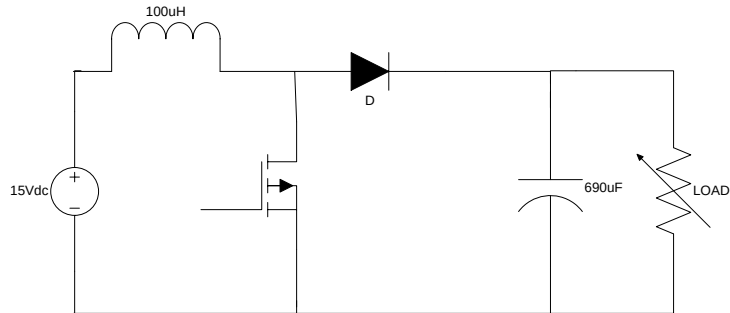
Burada $\frac{di_L(t)}{dt}$ bize bobin akımının eğiminin ifadesini vermektedir. Yani bobin akımı mod 1’de $\frac{V_g - V}{L}$ eğimiyle DT_s süresince artarken mod 2’de $\frac{-V}{L}$ eğimiyle azalmaktadır. Bu değişim Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5

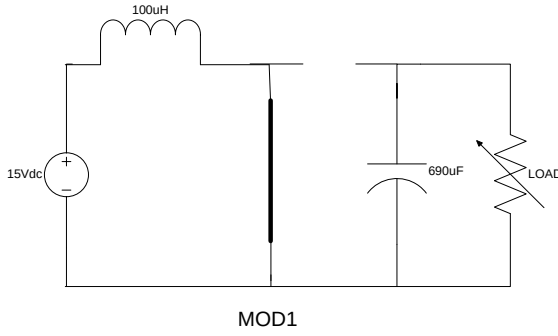
Gerilim Artıran Dönüştürücünün Kalıcı Durum Devre Analizi

Şekil 4.6’ da tek transistörlü tipik bir gerilim artıran dönüştürücünün (boost converter) devre şeması görülmektedir. Bu devre de gerilim azaltan dönüştürücü devresi gibi anahtar olarak bir mosfet bir de diyot bulundurmaktadır. Mosfet yine aynı şekilde, sabit frekanslı bir PWM sinyali ile sürülmektedir.

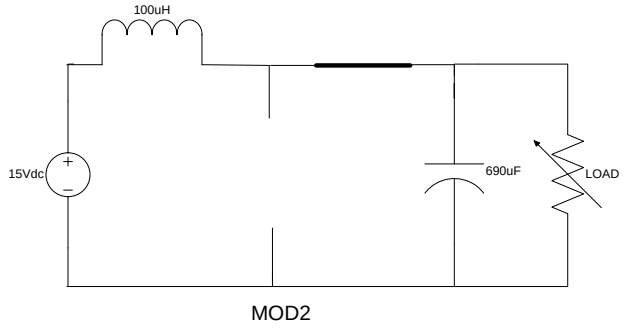


Şekil 4.6

Bu devre de diyotun ve transistorün iletimine göre 2 moddan oluşmaktadır. Şekil 4.7’de bu modlar gösterilmektedir.



Şekil 4.7a



Şekil 4.7b

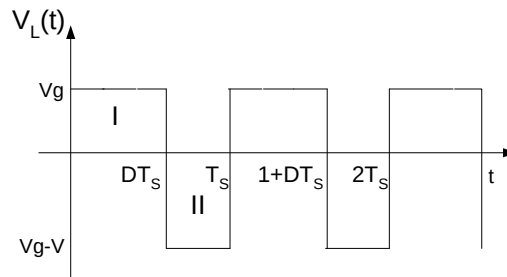
Devreyi, gerilim azaltan dönüştürücüde yaptığımız gibi bobin gerilimi üzerinden modelleyerek, giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasında ilişkiyi elde edebiliriz. Transistorün iletimde diyotun kesimde olduğu mod 1’de bobin, transistör üzerinden doğrudan toprağa bağlanmış durumdadır. Dolayısıyla üzerinde giriş gerilimi olduğu gibi görünecektir.

$$V_L = V_g$$

Mod 2’de transistör kesimdedir ve devre diyot üzerinden çıkışa enerji aktarmaktadır. Bu durumda bobin gerilimi giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki farka eşit olacaktır.

$$V_L = V_g - V$$

Buna göre bobinin terminalleri arasındaki gerilim Şekil 4.8’de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 4.8

Gerilim artıran dönüştürücüye de indüktör volt-saniye dengesi prensibini uygulayarak giriş-çıkış gerilimi ifadesini bulabiliriz. Bir önceki kısımda açıkladığımız şekliyle volt-saniye dengesi için

$\int_0^{T_s} V_L(t)dt = 0$ durumu sağlanmalıdır. Bu da aynı şekilde indüktör gerilim dalga şeklinin altında kalan alanlar toplamıdır.

$$\int_0^{T_s} V_L(t)dt = (V_g)(DT_s) + (V_g - V)(1-D)T_s = 0$$

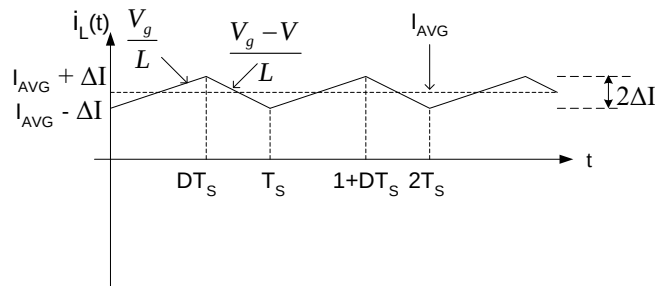
$$\underline{V_g DT_s} + V_g T_s - VT_s - \underline{V_g DT_s} + VDT_s = 0$$

$$V_g T_s - VT_s + VDT_s = 0 \rightarrow T_s (V_g - V + VD) = 0$$

$$V_g - V + VD = 0 \rightarrow V_g = V - VD \rightarrow V_g = V(1-D)$$

$$V = \frac{V_g}{1-D}$$

Bobin akımının eğimini yine benzer şekilde gerilimlerden hesaplayabiliriz. Buna göre mod 1'de bobin akımı $\frac{V_g}{L}$ eğimiyle artacak ve mod 2'de $\frac{V_g - V}{L}$ eğimiyle azalacaktır. Bu durum Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

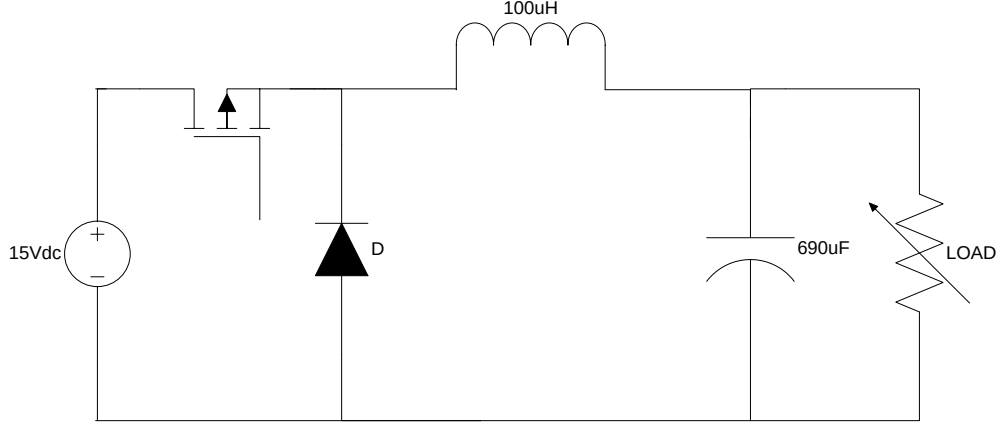


Şekil 4.9

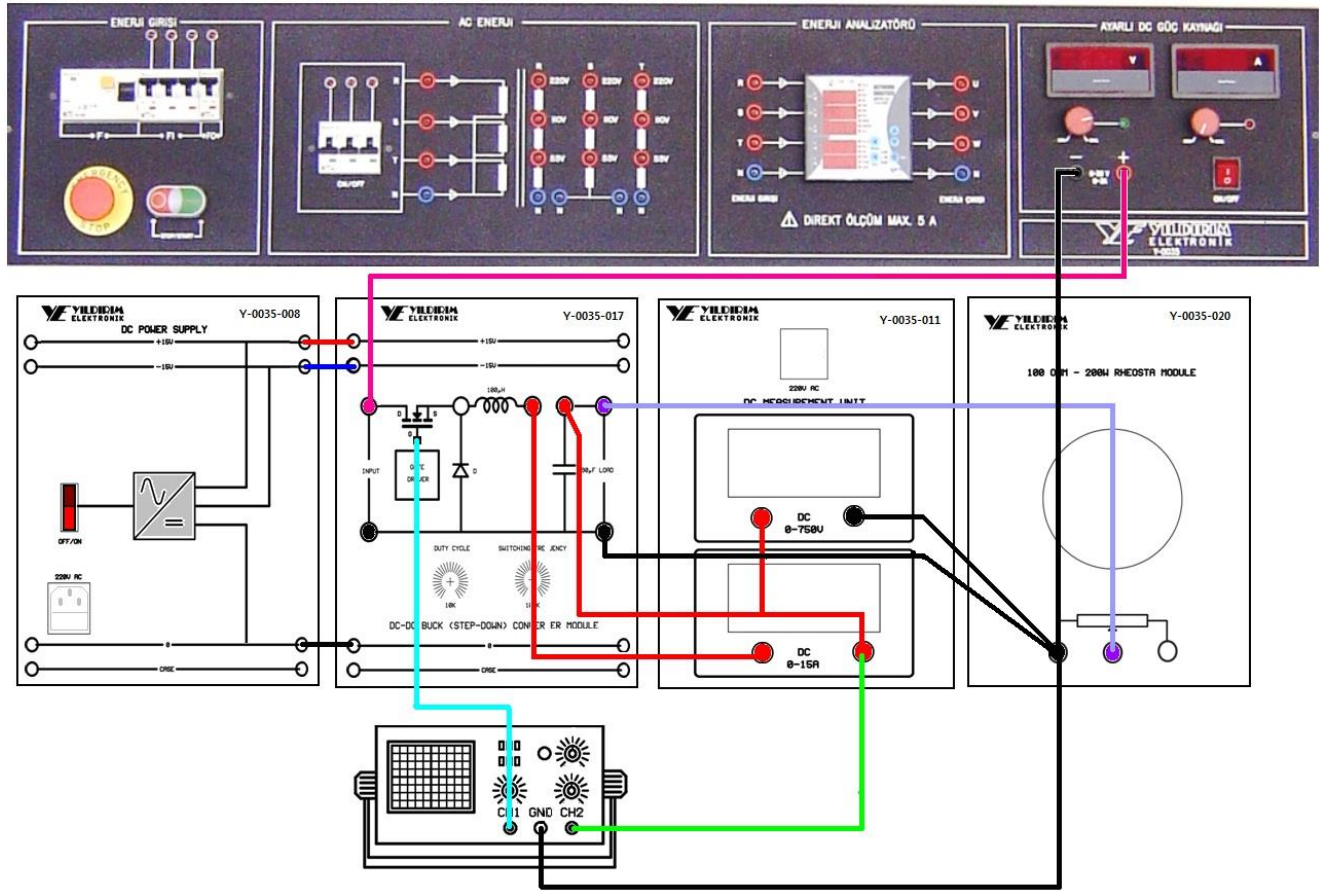
DENEYLER

DC-DC Gerilim Azaltan Dönüştürücü

Darbe Genişliği Etkisi



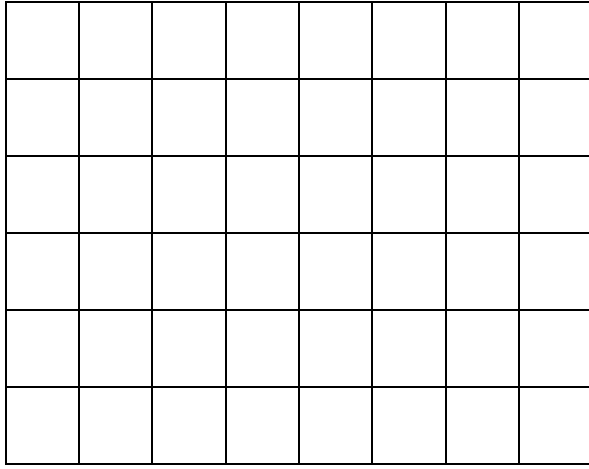
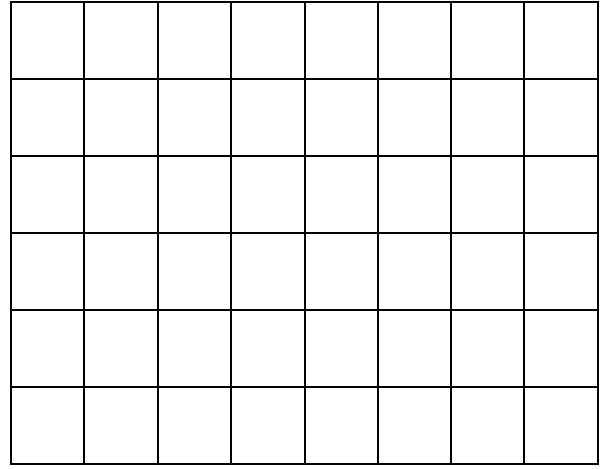
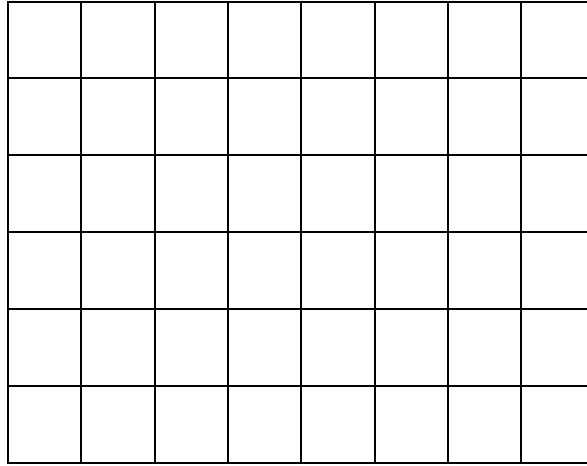
Şekil 4.10



Şekil 4.11

1. Şekil 4.10’da görülen devreyi kurunuz. Yük olarak bağlayacağınız reostayı 10 ohm’a ayarlayınız. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz. Osiloskoptan bakıp “duty cycle” potunu kullanarak darbe genişliğini 0.5’e ayarlayınız. Yine aynı şekilde “switching frequency” potunu kullanarak anahtarlama frekansını 20kHz’e ayarlayınız.

2. Yükü bağladıktan sonra dönüştürücünün girişine bağladığınız güç kaynağını açarak giriş gerilimini 15V’a ayarlayınız. Darbe genişliğini 0.1’den 0.9’a kadar 0.1 lik adımlarla değiştirerek her adımda çıkış geriliminin ortalama değerinin ölçünüz. $D=0.1$, $D=0.5$ ve $D=0.9$ değerleri için çıkış geriliminin üzerindeki dalgalanmayı osiloskopta gözlemleyerek dalga şekillerini çiziniz.

**D=0.1****D=0.5****D=0.9**

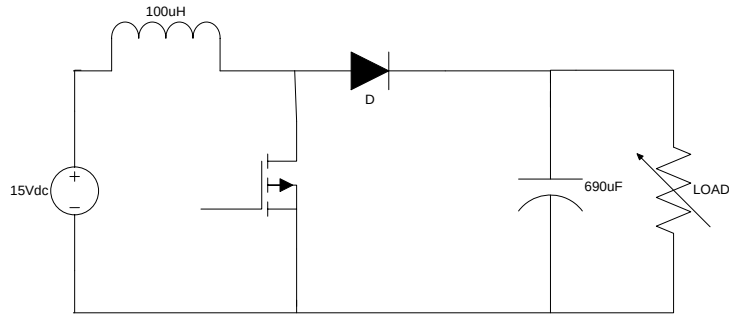
Anahtarlama Frekansı Etkisi

Devreyi değiştirmeden darbe genişliğini 0.5'e ayarlayın. Yük gerilimi dalgalanmasının tepe-tepe değerini ölçünüz. Aynı işlemleri, 40kHz, 60kHz ve 80kHz için tekrarlayınız.

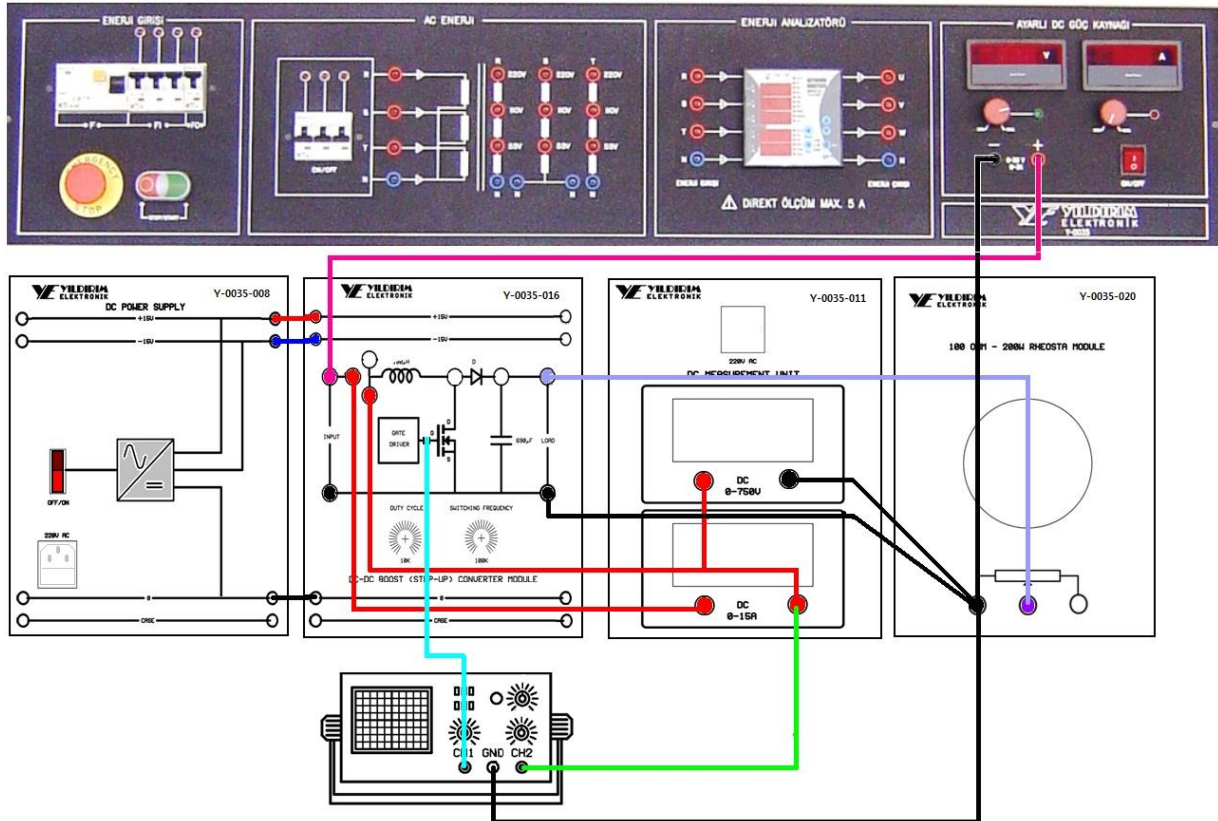
Frekans	20 kHz	40 kHz	60 kHz	80 kHz
V_{p-p}				

DC-DC Gerilim Artıran Dönüştürücü

Darbe Genişliği Etkisi



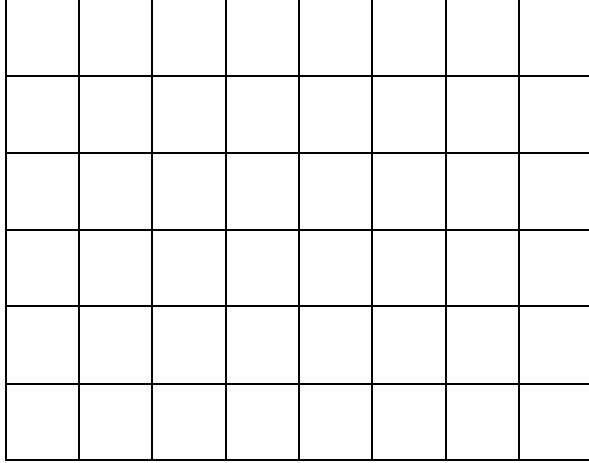
Şekil 4.12



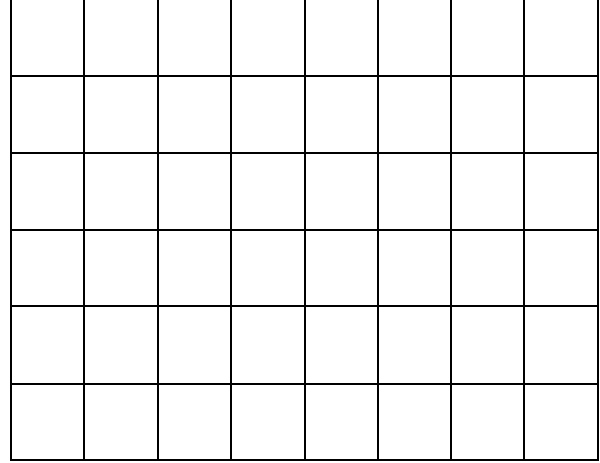
Şekil 4.13

1. Şekil 4.12’de görülen devreyi kurunuz. Yük olarak bağlayacağınız reostanın direncini 50 ohm’a ayarlayınız. Giriş gerilimini 10 V’a ayarlayınız. Bağlantıları kontrol ederek devreye enerji veriniz. Anahtarlama frekansını 50kHz’e ayarlayınız.

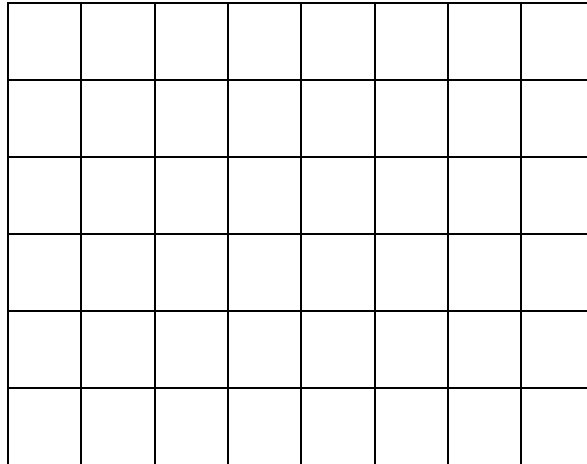
2. Darbe genişliğini minimumdan 0.7’e kadar 0.1’lik adımlarla artırınız. Her adımda yük geriliminin ortalama değerini kayıt ediniz. Çıkış gerilim üzerindeki dalgalanmayı osiloskopta gözlemleyerek dalga şekillerini çiziniz.



D=0.1



D=0.5



D=0.7