

TEK FAZLI VE ÜÇ FAZLI KONTROLLÜ DOĞRULTUCULAR

1. DENEYİN AMACI

Bu deneyin amacı, tek fazlı ve üç fazlı tristörlü doğrultucuların çalışmasını ve davranışlarını incelemektir. Bu deneyde, tek faz ve üç faz olmak üzere tüm yarım ve tam dalga doğrultucuları, omik ve indüktif yükler altında incelenecektir.

2. TEORİ

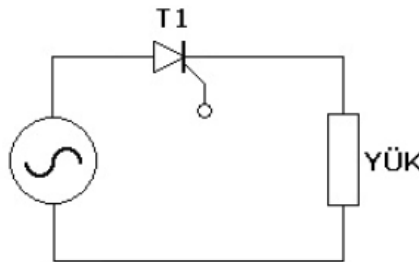
Endüstriyel uygulamalarda her ne kadar maliyet açısından diyotlu doğrultucular tercih edilse de, uygulamada sabit değil de ayarlanabilir bir gerilime ihtiyaç duyuyorsa bu durumda diyotlu doğrultucuları kullanamayız. Bu tip uygulamalarda diyotların yerini faz kontrollü tristörler alır. Tristörün çıkış 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'den MW seviyelerine kadar geniş bir aralıkta yaygın olarak kullanılırlar. Tristörlü doğrultucular, tek faz , üç faz ve yarım dalga , tam dalga doğrultucu şeklinde incelenecektir.

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

2.1. Tek Faz Yarım Dalga Tristörlü Doğrultucu

Şekil 1'de tek fazlı bir yarım dalga tristörlü doğrultucu görülmektedir.

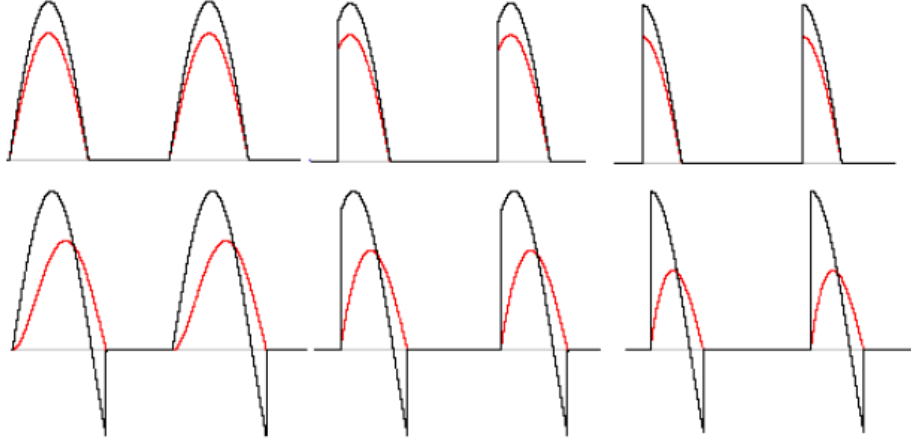


Şekil 1. Tek faz yarım dalga doğrultucu

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

Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

uygulanan ortalama gerilimin azalmasına sebep olacaktır. Şekil 2’de farklı ateşleme açıları için yarı dalga doğrultucunun çıkışında gözlenebilecek dalga şekilleri görünmektedir.



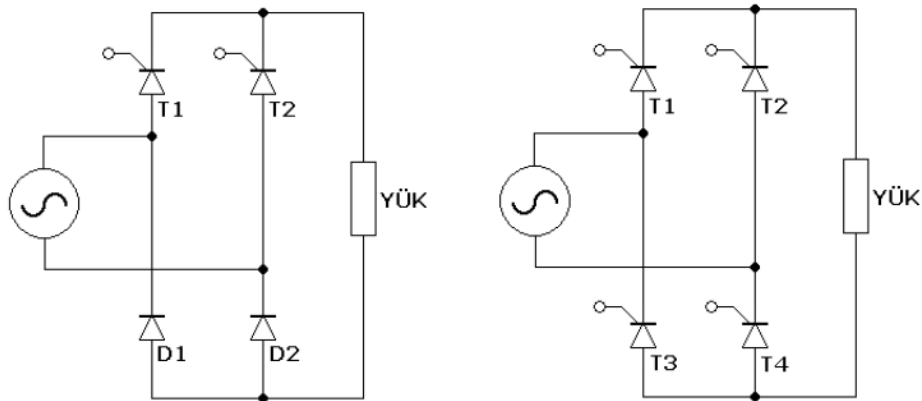
Şekil 2. Omik ve indüktif yükte 0, 60, 90° ateşleme açılarında çıkış akım, gerilim dalga şekilleri

Yarı dalga doğrultucu devreleri, düşük frekans bileşenleri ve yüksek salınımları sebebiyle endüstride tercih edilmezler. Çıkış geriliminin ortalama ve etkin değerleri diyotlu doğrultuculardaki gibi hesaplanabilir.

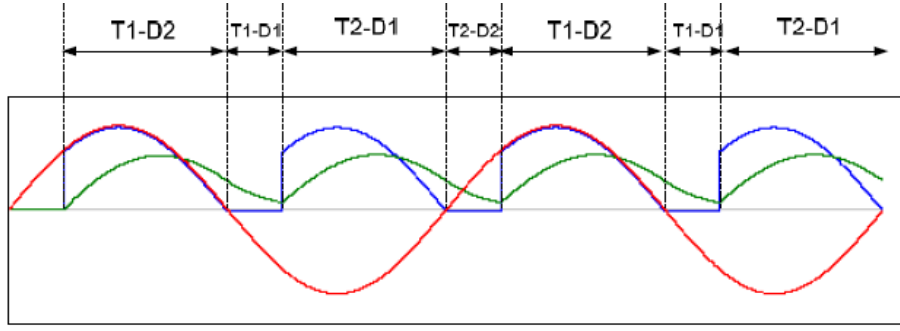
$$V_{ort} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\alpha) \quad , \quad V_{rms} = \frac{V_m}{2} \left[\frac{1}{\pi} (\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \right]^{0.5} \quad \alpha = \text{ateşleme açısı}$$

2.2. Tek Faz Tam Dalga (Köprü) Doğrultucu

Şekil 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 boşta 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 4’te indüktif yüklü, yarı kontrollü doğrultucu için tipik bir çıkış gerilimi dalga şekli ile tristör ve diyotların iletim aralıkları verilmiştir.



Şekil 3. Tek fazlı köprü doğrultucu



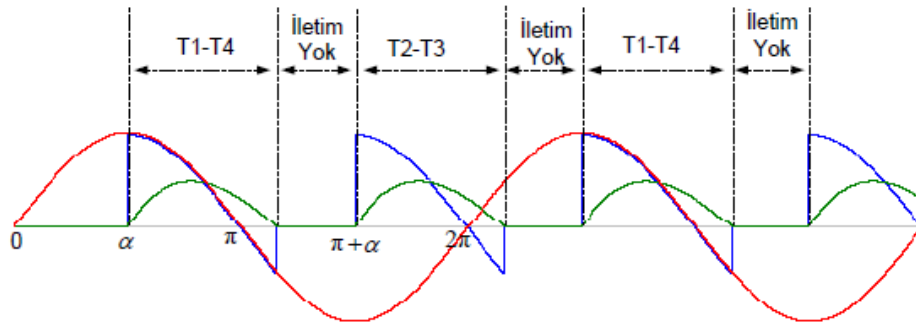
Şekil 4. Yarı kontrollü köprü doğrultucu

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. $wt = \pi + \alpha$ da T2 ateşlenir ve T2-D1 çifti iletimi alır.

Gerilimin ortalama ve etkin değerleri aşağıdaki gibidir.

$$V_{ort} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\alpha) , \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{0.5}$$

Tam kontrollü doğrultucuda diyotlar yerine de tristörler kullanıldığı için devre üzerindeki her anahtar kontrollüdür ve bu sebeple tam kontrollü denmektedir. Şekil 3'te görülen tam kontrollü devreye göre, T1-T4 tristörleri ve T2-T3 tristörleri kendi içlerinde birlikte çalışır. $wt = \alpha$ anında T1 ve T4 ateşlenir ve $wt = \pi$ anına kadar bu tristörler iletimde kalır. T2 ve T3 tristörleri $wt = \pi + \alpha$ '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. $wt = \alpha$ anında T2 ve T3 tristörleri ateşlenerek iletime başlayacaklardır. Bu durum tristörlerin iletim periyotlarıyla birlikte Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Tam kontrollü köprü doğrultucu

Şekil 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

Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

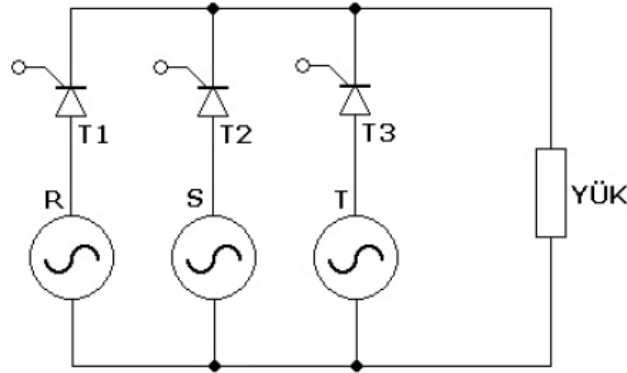
sağlanırken ortalama gerilim azalacaktır. α 'dan π 'ye kadar olan periyotta gerilim ve akım pozitifdir yani güç şebekeden yüke doğru akmaktadır. Bu durumda devre “doğrultma” (rectification) durumundadır denir. Gerilimin π 'den sonraki negatif kısmında ise akım yine pozitifdir. Güç yükten kaynağa akar. 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.

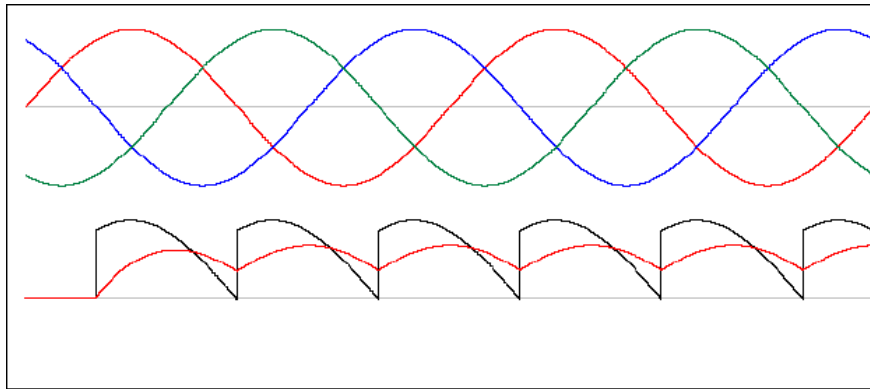
$$V_{ort} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha , \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

2.3. Üç Faz Yarım Dalga Tristörlü Doğrultucu

Üç faz yarım dalga doğrultucu, yüke daha yüksek bir ortalama gerilim sağlar ve gerilimin frekansı daha yüksek olduğu için filtrelenmesi daha kolaydır. Bu sebeple endüstride yaygın olarak kullanılan bir doğrultucu türüdür. Üç faz doğrultucu, kontrol prensibi fazlar arası gerilimin sıfır olduğu noktaya göre dir. Fazlar kendi içlerinde $\pi/6$ noktasında kesiştikleri için şekil 6'da görülen resme göre T1 $wt = \pi/6 + \alpha$ anında tetiklenir. Her bir tristör 120 derece iletimde kalır yani T2 $wt = 5\pi/6 + \alpha$, T3 de $wt = 3\pi/2 + \alpha$ anında ateşlenir.



Şekil 6. Üç faz yarım dalga tristörlü doğrultucu

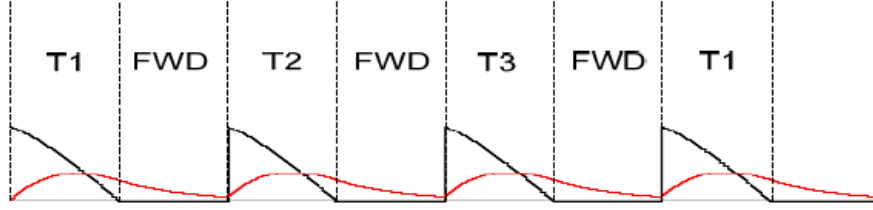


Şekil 7. İndüktif yük ile üç faz yarım dalga doğrultucu için giriş ve çıkış dalga şekilleri

Şekil 7'de ki dalga şekilleri $\alpha = 60^\circ$ için alınmıştır ve yük yeterince indüktif olduğu için akım sürekli dir. Eğer yük omik ise, $\alpha > \pi/6$ için akım süreksiz olacaktır. Sürekli akım durumunda da, gerilimin negatife inme durumu gerçekleşecektir.

Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

Bu durumda, bu doğrultucu türünde de boşa çalışma diyodu (FWD) kullanılabilir. İndüktif yüklü, boşa çalışma diyotlu bir üç faz yarım dalga tristörlü doğrultucunun yük akım ve gerilimi dalga şekilleriyle birlikte, anahtarların iletim periyotları şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Üç faz kontrollü yarım dalga doğrultucu için tristör iletim periyotları

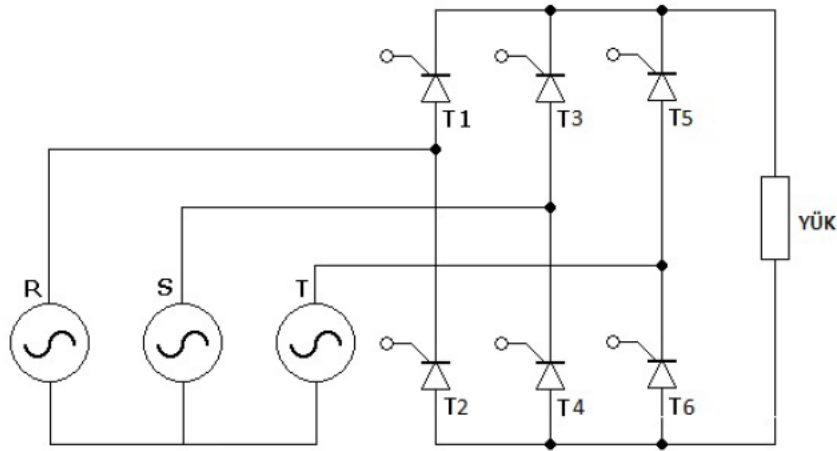
Maksimum ortalama gerilim $\alpha = 0$ için yani her bir tristör, fazların $wt = \pi/6$ anında ateşlendiğine gerçekleşir. Akımın sürekli olduğu durumlar için ortalama ve etkin gerilim değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$V_{ort} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos\alpha) \quad , \quad V_{rms} = \sqrt{3}V_m \left[\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha \right]^{0.5}$$

2.4. Üç Faz Tam Dalga (Köprü) Doğrultucu

Üç faz köprü doğrultucular endüstride oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Üç faz yarım dalga doğrultuculara göre daha da yüksek ortalama gerilim ve daha yüksek frekans sağlarlar. Ateşlemeler yine fazlar arası gerilimin sıfır olduğu noktalara göre her 60 derecede bir yapılır. Her tristör 120 derece iletimde kalır. Doğrultucunu devre şeması şekil 9’da verilmiştir.

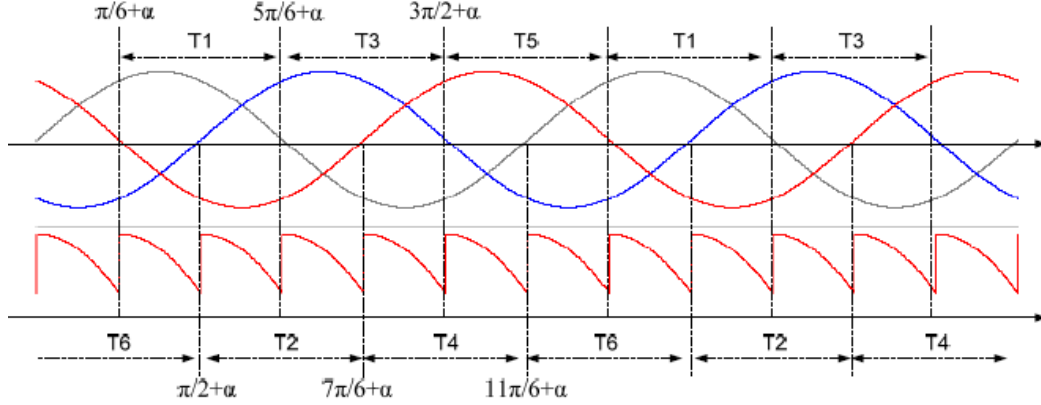
Üç fazlı gerilimin mevcut olduğu endüstriyel uygulamalarda, üç faz doğrultucular, tek faza tercih edilen bir doğrultucu çeşididir. Bunun sebebi ise, üç faz doğrultucunun, çıkışta daha düşük gerilim salınımları vermesi ve daha yüksek güç aktarabilmesidir. Üç faz tam dalga doğrultucu devre şeması Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 9. Üç faz köprü doğrultucu

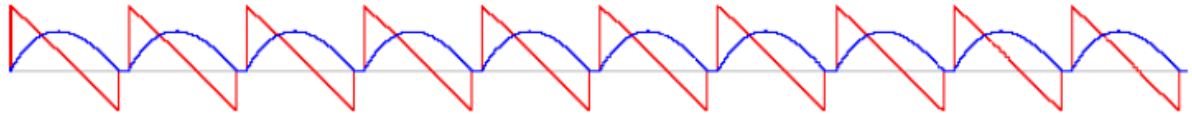
Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

$wt = \pi/6 + \alpha$ T1 tristörü ateşlenir ve bu anda T6 tristörü zaten iletimdedir. $(\pi/6 + \alpha) < wt < (\pi/2 + \alpha)$ T1-T6 tristörleri iletime devam ederler. $wt = \pi/2 + \alpha$ anında T2 ateşlenir ve $(\pi/2 + \alpha) < wt < (5\pi/6 + \alpha)$ aralığında iletime devam ederler. Bu anda artık 2. fazın gerilimi 1. faza göre daha büyük bir değere ulaşmıştır ve 2. fazın tristörü T3 ateşlenir. Ateşleme ve iletim sırası şu şekildedir. T6-T1, T1-T2, T2-T3, T3-T4, T4-T5, T5-T6. Tipik bir üç faz, kontrollü köprü doğrultucu çıkış geriliminin dalga şekli üzerinde bu durum gösterilmiştir.



Şekil 10. Üç faz kontrollü doğrultucu için tristör iletim periyotları

Tristörlerin ateşleme açısı 60 dereceden büyük olursa, omik yükler için akım süreksiz olacaktır. Bu durumda bir sonraki fazın tristörü ateşlenene kadar yükten akım geçmeyecektir. Eğer kullanılan yük indüktif ise bu durumda durum R-L zaman sabiti ve de ateşleme açısının büyüklüğüne göre değişecektir. Eğer ateşleme açısı çok büyük değilse akım sıfıra düşmeyecektir. Ancak ateşleme açısı büyük ama indüktans yeterince büyük değilse bu durumda akım yine de sıfıra düşerek süreksiz bir hal alacaktır. Şekil 11'de $\alpha = 115^\circ$ için bu durum gösterilmiştir.



Şekil 11. İndüktif yük ile süreksiz akım gösterimi

Şekilden de görüldüğü gibi akım sıfıra inene kadar gerilim de negatifte kalmış, ve akım sıfır olunca tristörler kapanmıştır. Buradan şunu da görüyoruz ki, üç faz, yarım dalga doğrultucuda bahsedildiği gibi evirici (inverter) olarak çalışma modu bu devrede de mevcuttur. Akım pozitifken, gerilim negatiftir ve bu bölgede güç akışı dc yükten, ac kaynağa doğrudur. Bu da sistemin bu bölgelerde bir evirici olarak çalıştığını gösterir.

Üç faz, kontrollü köprü doğrultucunun ortalama ve etkin gerilim formülleri aşağıda verilmiştir. Tekrar hatırlatmak gerekir ki bu formüller akım sürekli olduğu zaman kullanılabilir.

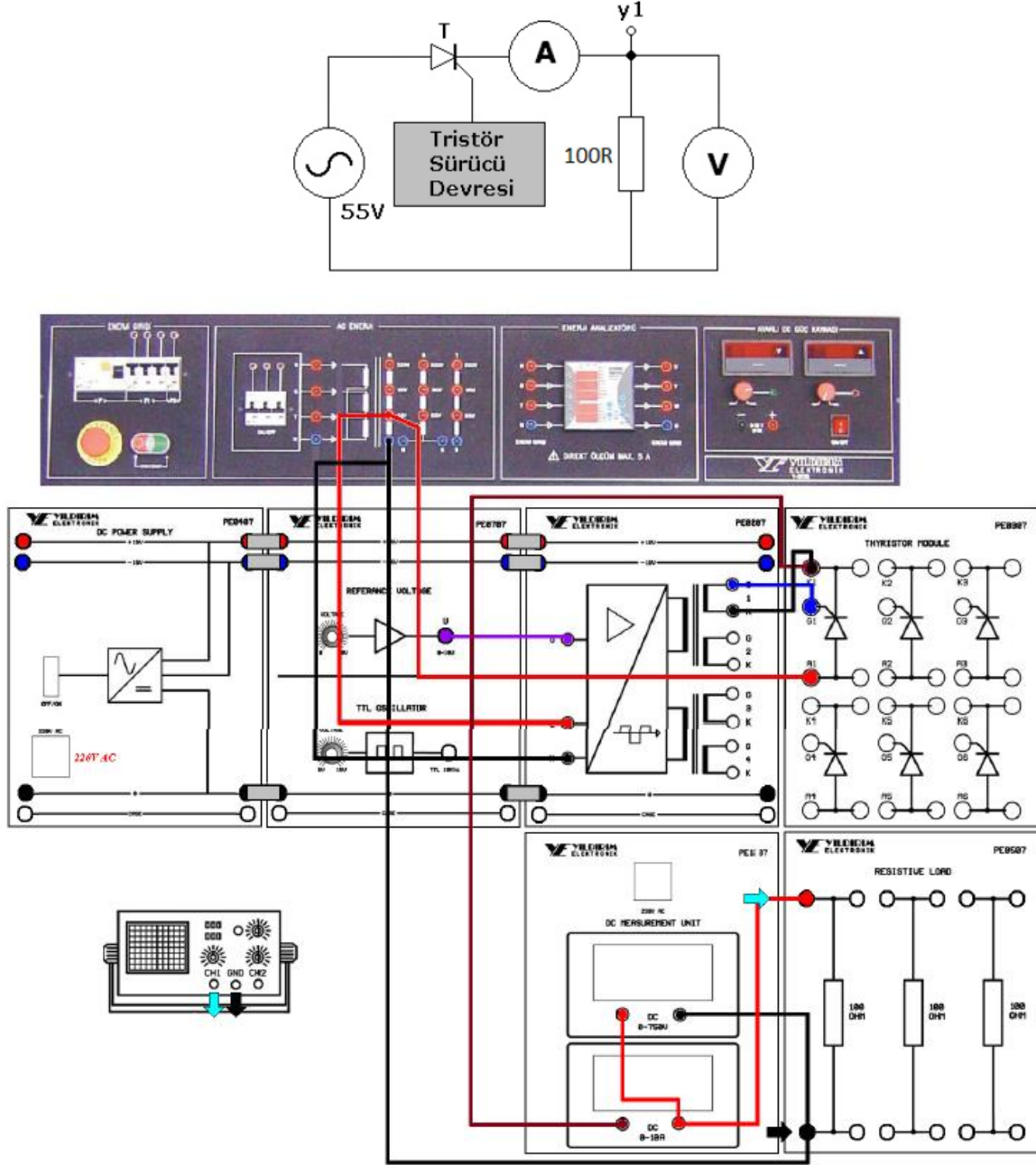
$$V_{ort} = \frac{3V_{L-L}}{\pi} (\cos \alpha) \quad , \quad V_{rms} = V_{L-L} \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right]^{0.5}$$

3. DENEYLER

3.1. Tek Faz Yarım Dalgı Doğrultucu

3.1.1. Tek Faz Yarım Dalgı Doğrultucu (Omik Yık)

Şekilde görülen devreyi kurunuz.



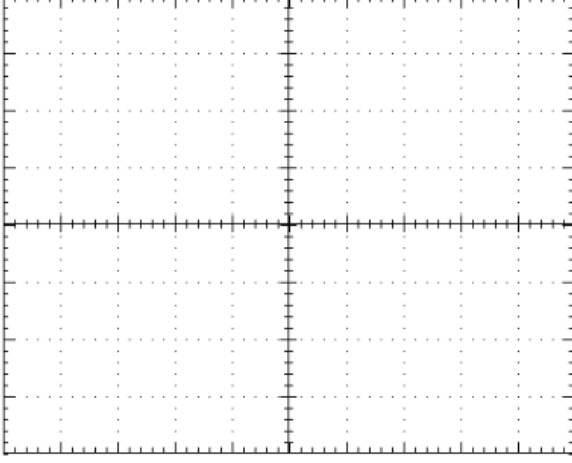
Şekil 12. Deney bağlantı şemaları

Tristörün ilettime geçmesi için kapı terminaline bir akım uygulanmalıdır. Tetikleme açısını 0° ye ayarlayın ($\alpha=0^\circ$). Böylece tristör, diyot gibi davranacak ve diyotlu yarım dalgı doğrultucuda olduğu gibi, giriş geriliminin pozitif evresi tamamen doğrultacaktır. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreyi çalıştırınız. Y1 kanalındaki çıkış gerilimi dalgı şekillerini çiziniz. Aynı işlemleri sırasıyla $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 120° dereceye ayarlayarak elde edilen çıkış gerilimlerini ölçekli olarak çiziniz.

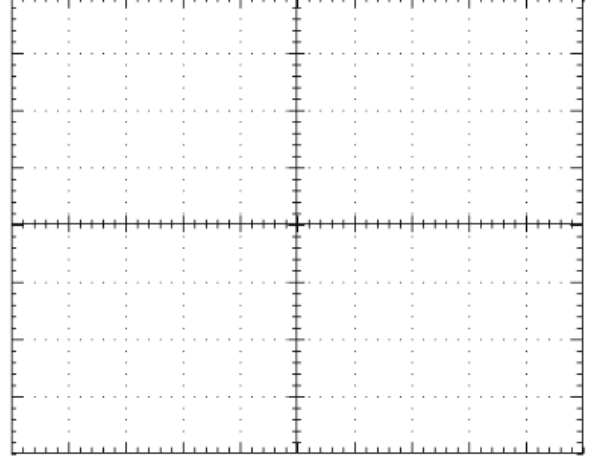
Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

Aşağıdaki ölçümleri not ediniz. Y1 Kanalında gördüğünüz gerilim dalga şekline göre, akım dalga şeklinin nasıl olmasını beklersiniz?

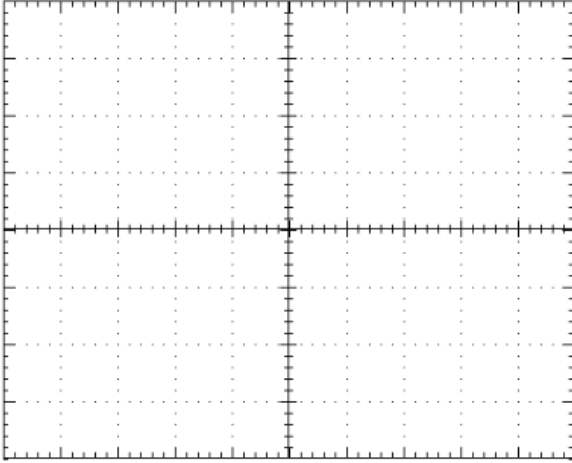
- Direnç üzerinden alınan yük geriliminin ortalama ve etkin değeri (V_{oort}, V_{orms})
- Direnç üzerinden geçen yük akımının ortalama ve etkin değeri (I_{oort}, I_{orms})
- Giriş akımının etkin değeri (I_{irms})



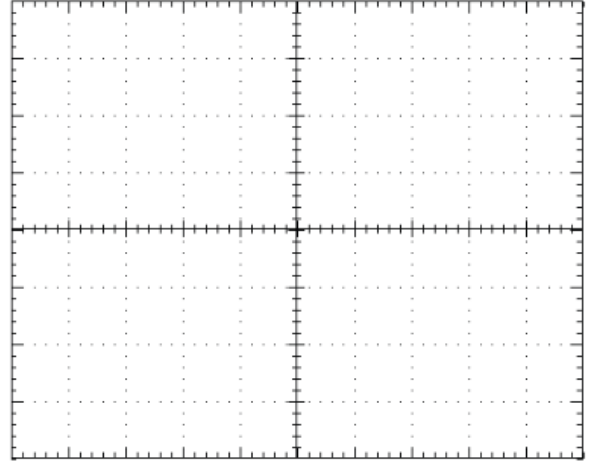
(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha = 0^\circ, 100 \Omega$)



(b) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha = 30^\circ, 100 \Omega$)



(c) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha = 60^\circ, 100 \Omega$)



(d) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha = 120^\circ, 100 \Omega$)

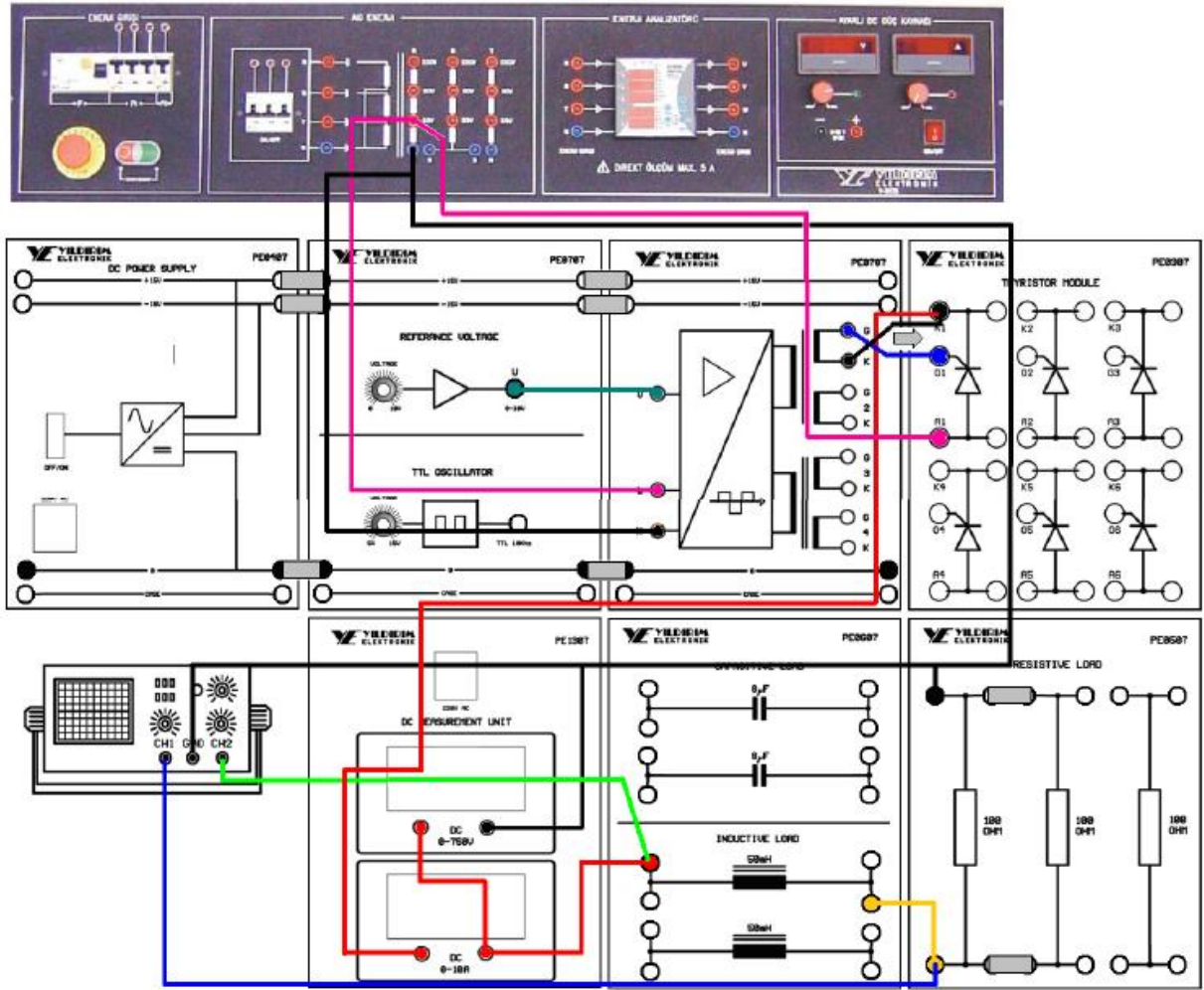
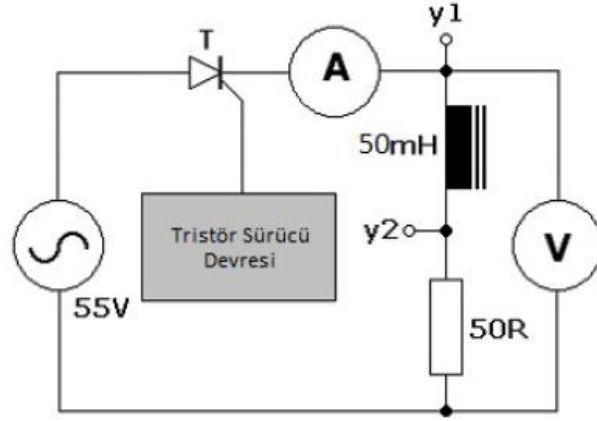
Tablo 1. Omik yüklü yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

100 Ω	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha = 0^\circ$				
$\alpha = 30^\circ$				
$\alpha = 60^\circ$				
$\alpha = 120^\circ$				

Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

3.1.2. Tek Faz Yarım Dalgı Doğrultucu (İndüktif Yük)

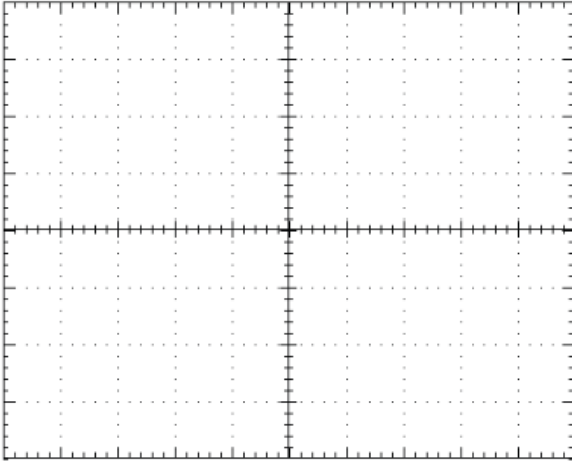
Şekilde görülen devreyi kurunuz. ($R = 50 \Omega$, $L = 50 \text{ mH}$)



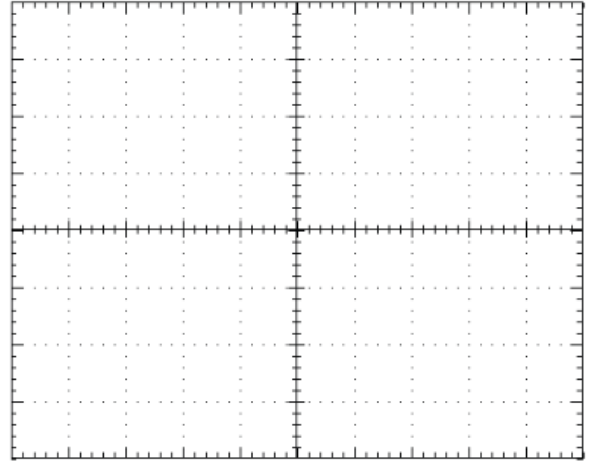
Şekil 13. Deney bağlantı şemaları

Osiloskop yardımı ile sırasıyla $\alpha = 0^\circ, 30^\circ$ ve 60° ateşleme açılarıyla beraber çıkış gerilim ve akımlarının dalga şekilleri ile tristör gerilimlerini çiziniz. Aşağıdaki ölçümleri alınız.

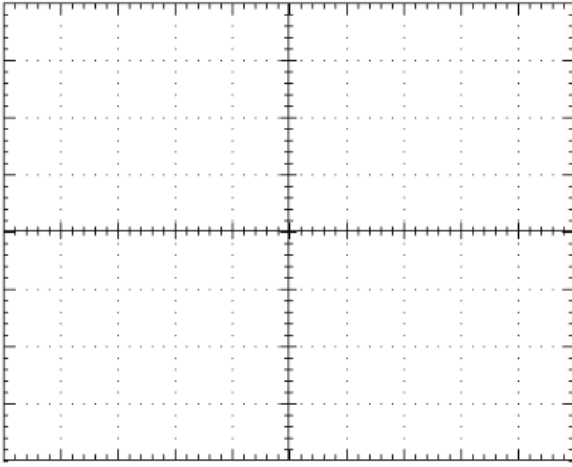
- Toplam yük üzerinden alınan çıkış geriliminin ortalama ve etkin değeri.
- Toplam yük üzerinden geçen akımın ortalama ve etkin değeri.
- Giriş akımının etkin değeri.



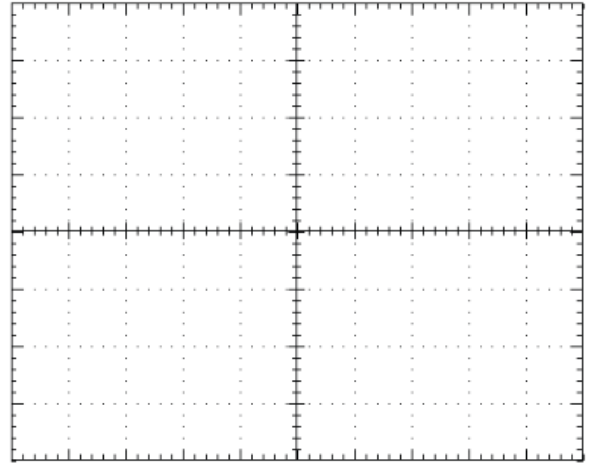
(a) Çıkış gerilim ve akımı ($\alpha = 0^\circ, 50 \text{ mH} - 50 \Omega$)



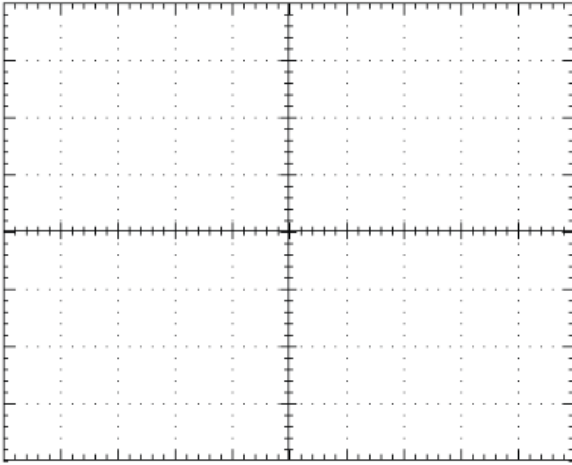
(b) Tristör gerilimi ($\alpha = 0^\circ, 50 \text{ mH} - 50 \Omega$)



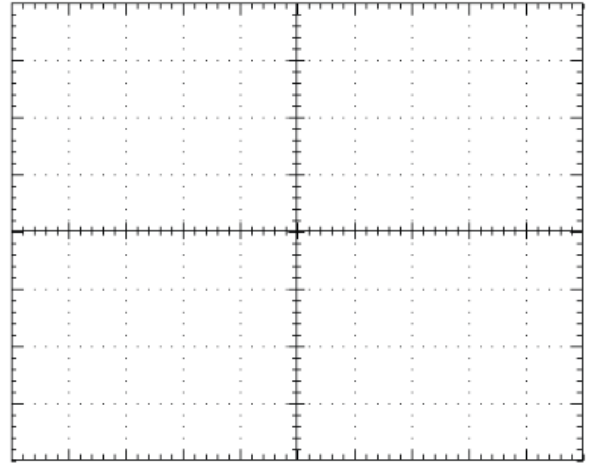
(c) Çıkış gerilim ve akımı ($\alpha = 30^\circ, 50 \text{ mH} - 50 \Omega$)



(d) Tristör gerilimi ($\alpha = 30^\circ, 50 \text{ mH} - 50 \Omega$)



(e) Çıkış gerilim ve akımı ($\alpha = 60^\circ, 50 \text{ mH} - 50 \Omega$)



(f) Tristör gerilimi ($\alpha = 60^\circ, 50 \text{ mH} - 50 \Omega$)

Şekil 13. İndüktif yüklü yarım dalga doğrultucu için dalga şekilleri

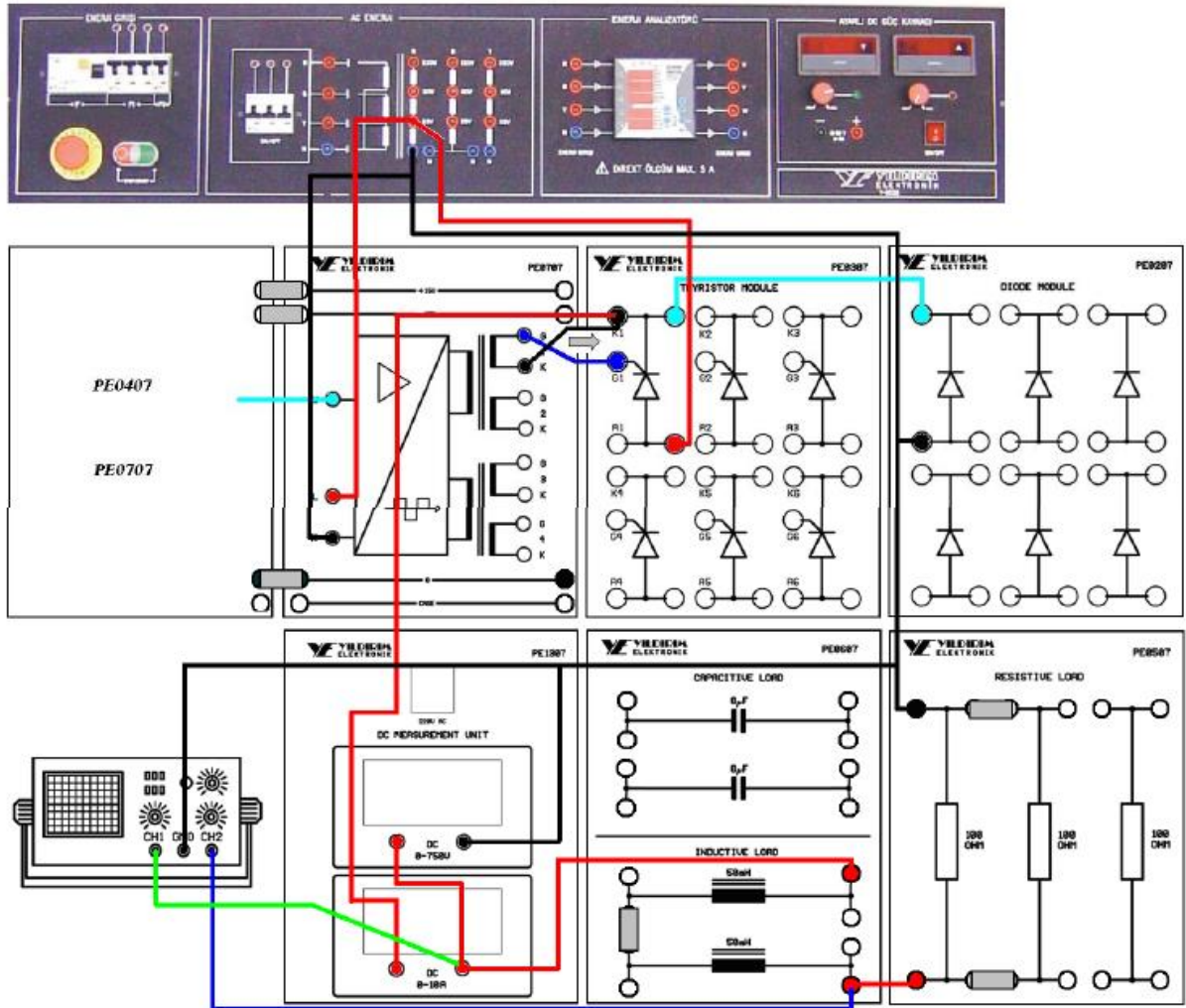
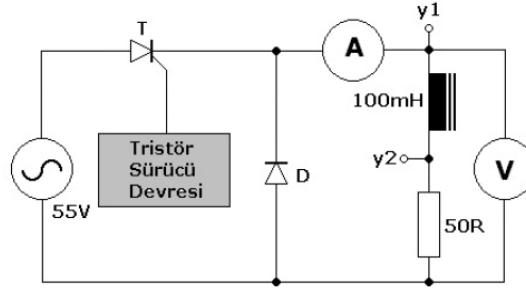
Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

Tablo 2. İndüktif yüklü yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

50 Ω , 50 mH	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha = 0^\circ$				
$\alpha = 30^\circ$				
$\alpha = 60^\circ$				

3.1.3. Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucu (Boşta Çalışma Diyotlu FWD)

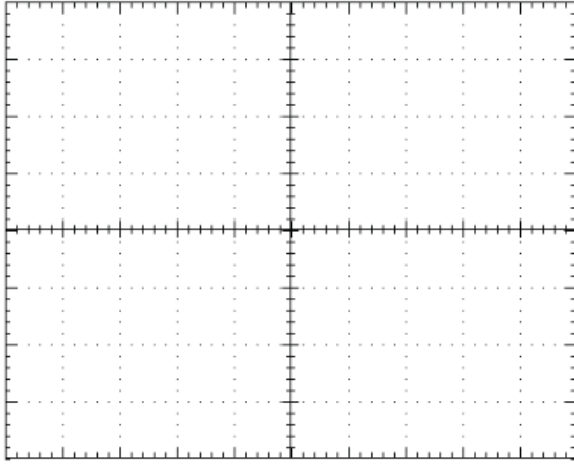
Şekilde görülen devreyi FWD diyotu bağlayarak kurunuz.



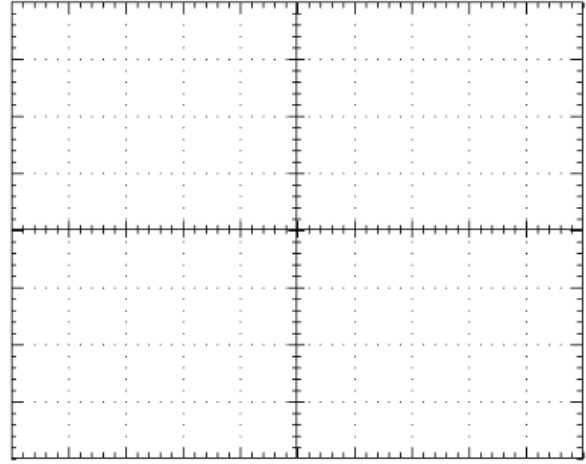
Şekil 14. Deney bağlantı şemaları

Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

Y1 ve Y2 kanallarındaki dalga şekillerini çiziniz. Bu yük altında, bir önceki deneyde aldığınız ölçümleri alınız. FWD devrede neyi etkilemiştir?



(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha = 60^\circ$ ve $50 \Omega, 100 \text{ mH}$)



(b) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha = 90^\circ$ ve $50 \Omega, 100 \text{ mH}$)

Şekil 15. Çeşitli tetikleme derecelerinde FWD diyotlu devre çıkışları

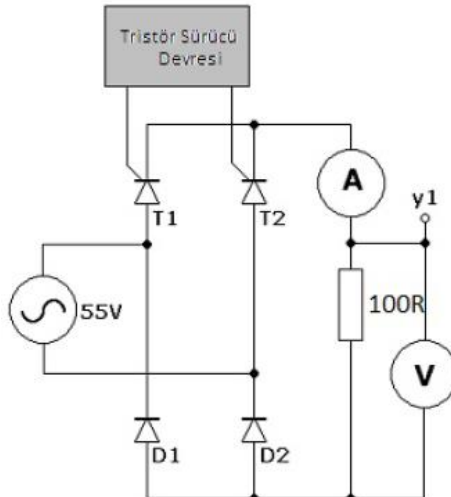
Tablo 3. İndüktif yüklü ve serbest dolaşım diyotlu yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

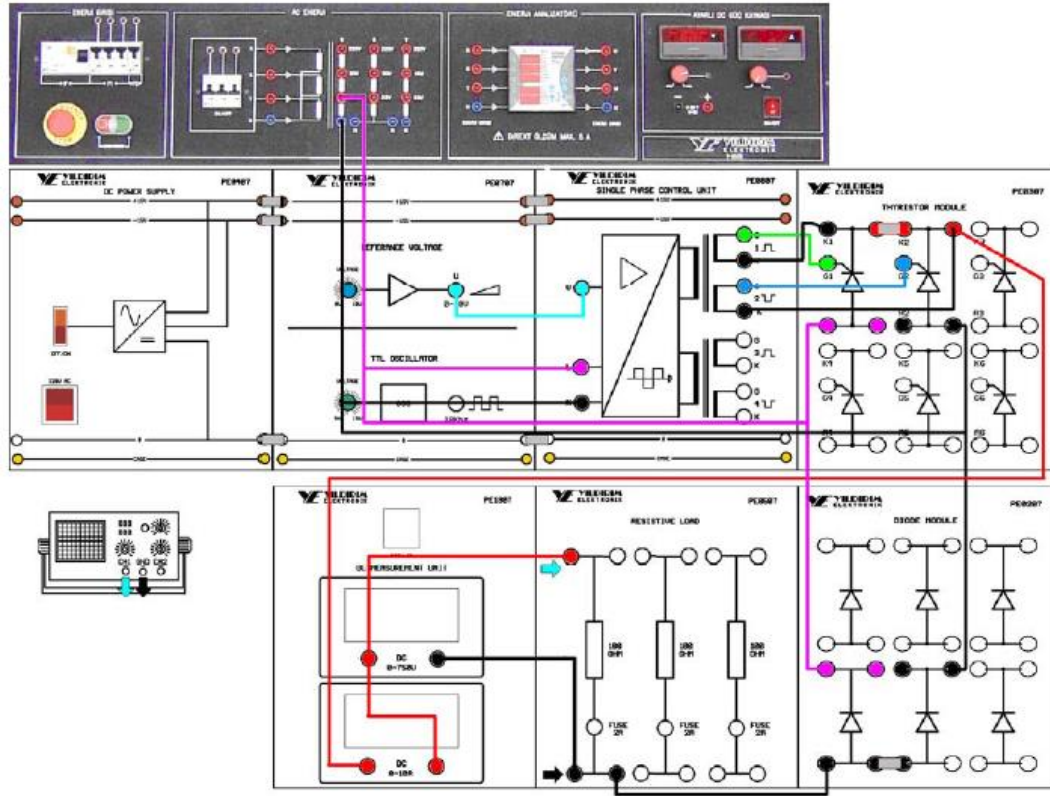
50 Ω , 100 mH	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha = 60^\circ$				
$\alpha = 90^\circ$				

3.2. Tek Faz Tam Dalga Doğrultucu – Köprü Doğrultucu

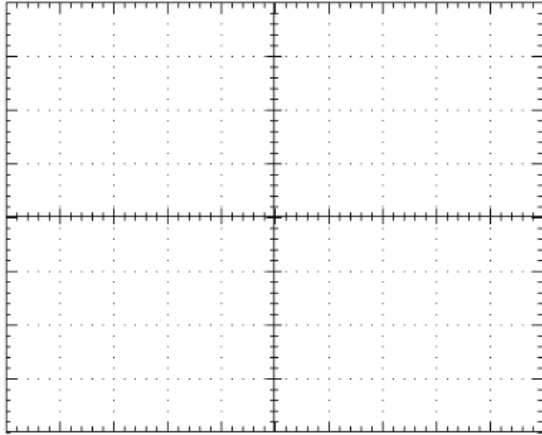
3.2.1. Tek Fazlı Yarı Kontrollü Doğrultucu (Omik Yük)

Tek fazlı yarı kontrollü doğrultucu devresi, şekil 16’da gösterilmiştir. Köprü doğrultucunun üst tarafı tristörlerden alt tarafı ise diyotlardan oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonun sadece üst kısmı kontrol edilebilmekte ve bu sebeple sisteme yarı kontrollü denilmektedir. Şekildeki devreyi, yük olarak 50 ohm bağlayarak kurunuz. 30° ve 60° ateşleme açıları için yük gerilim ve akımının dalga şekillerini çizerek, etkin ve ortalama değerleri not ediniz. Giriş akımını, ve tristör gerilimini çiziniz.

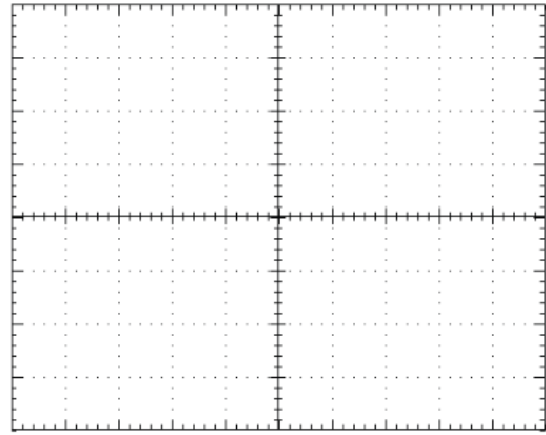




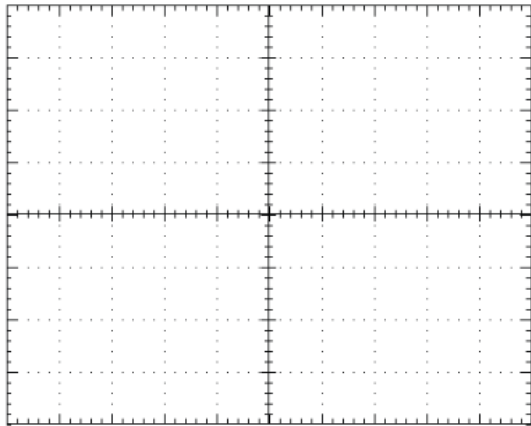
Şekil 16. Deney bağlantı şemaları



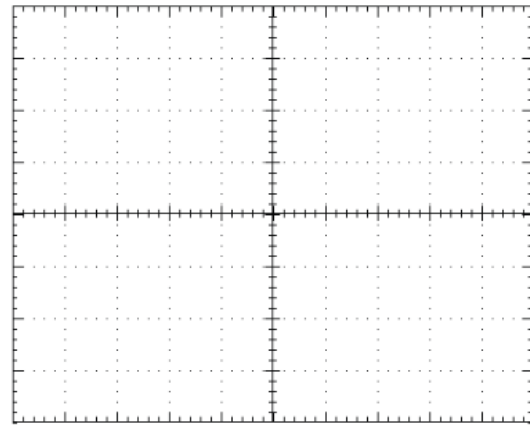
(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=60^\circ$)



(b) Tristör gerilimi ($\alpha=60^\circ$)



(c) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)



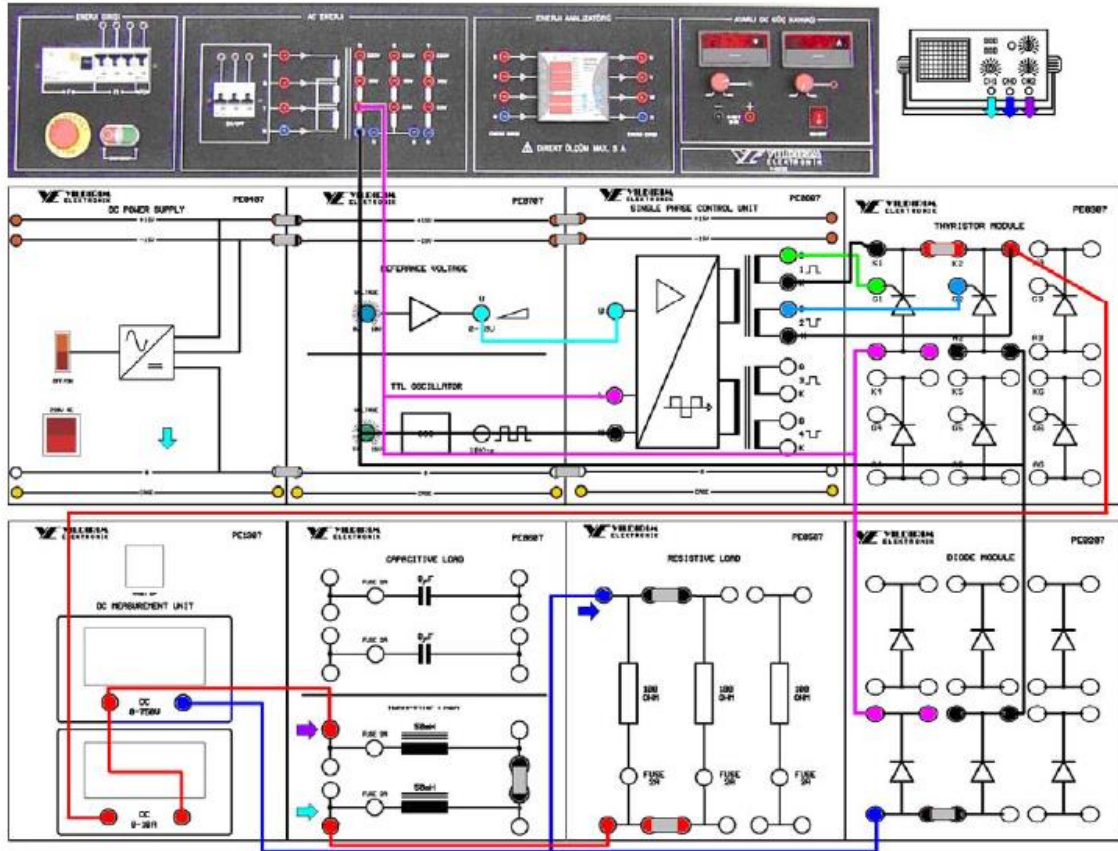
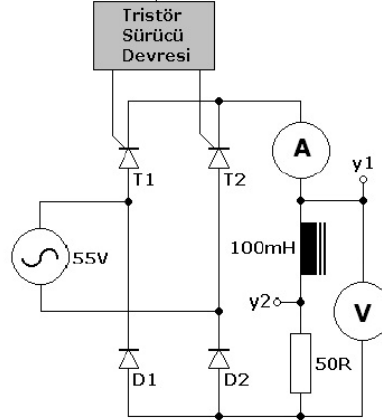
(d) Tristör gerilimi ($\alpha=90^\circ$)

Tablo 4. Omik yüklü köprü doğrultucu için deney sonuçları $\alpha = 60^\circ$

100 Ω	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				

3.2.2. Tek Faz Tam Dalga Doğrultucu (İndüktif Yük)

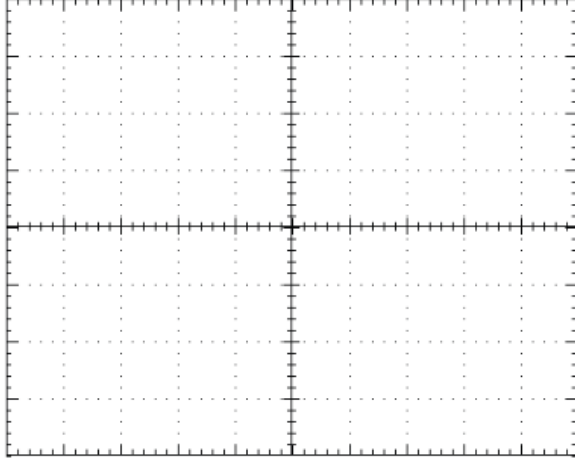
Şekilde görülen devreyi kurunuz.



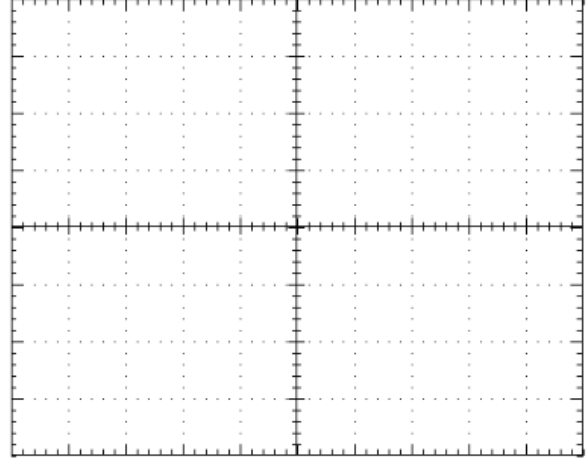
Şekil 17. Deney bağlantı şemaları

Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

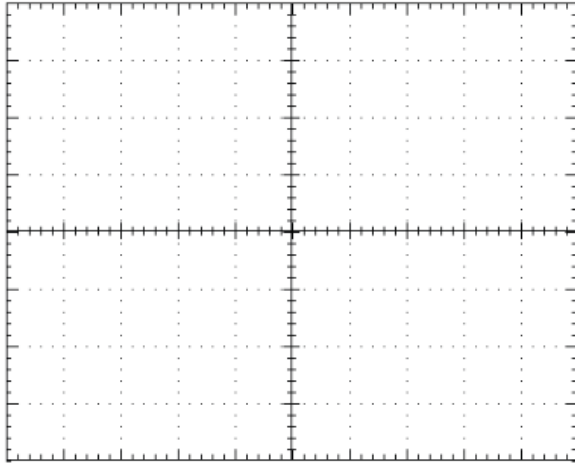
Devreyi çalıştırarak $\alpha=60^\circ$ ve $\alpha=90^\circ$ tetikleme açıları için çıkış geriliminin ve akımının dalga şekillerini ölçekli olarak çizip ortalama ve etkin değerlerini ölçerek not ediniz. İndüktif yük köprü doğrultucuda ne gibi etkilere sebep oldu? Köprü doğrultucularda da, endüktif yük altında, yarım dalga doğrultucuları gibi serbest dolaşım diyotuna (FWD) ihtiyaç var mıdır?



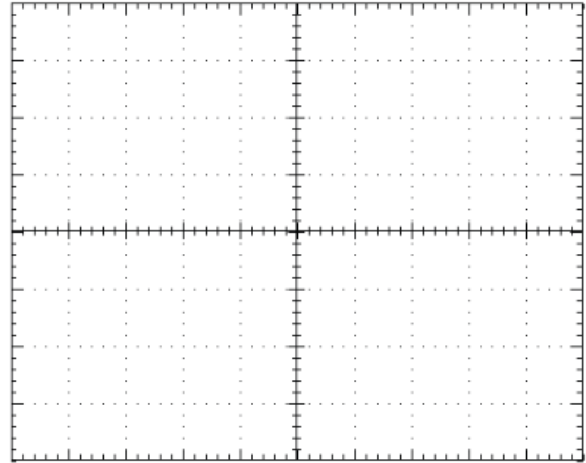
(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=60^\circ$)



(b) D1-T1 gerilimi ($\alpha=60^\circ$)



(c) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)



(d) D1-T1 gerilimi ($\alpha=90^\circ$)

Şekil 18. İndüktif yüklü köprü doğrultucu için dalga şekilleri

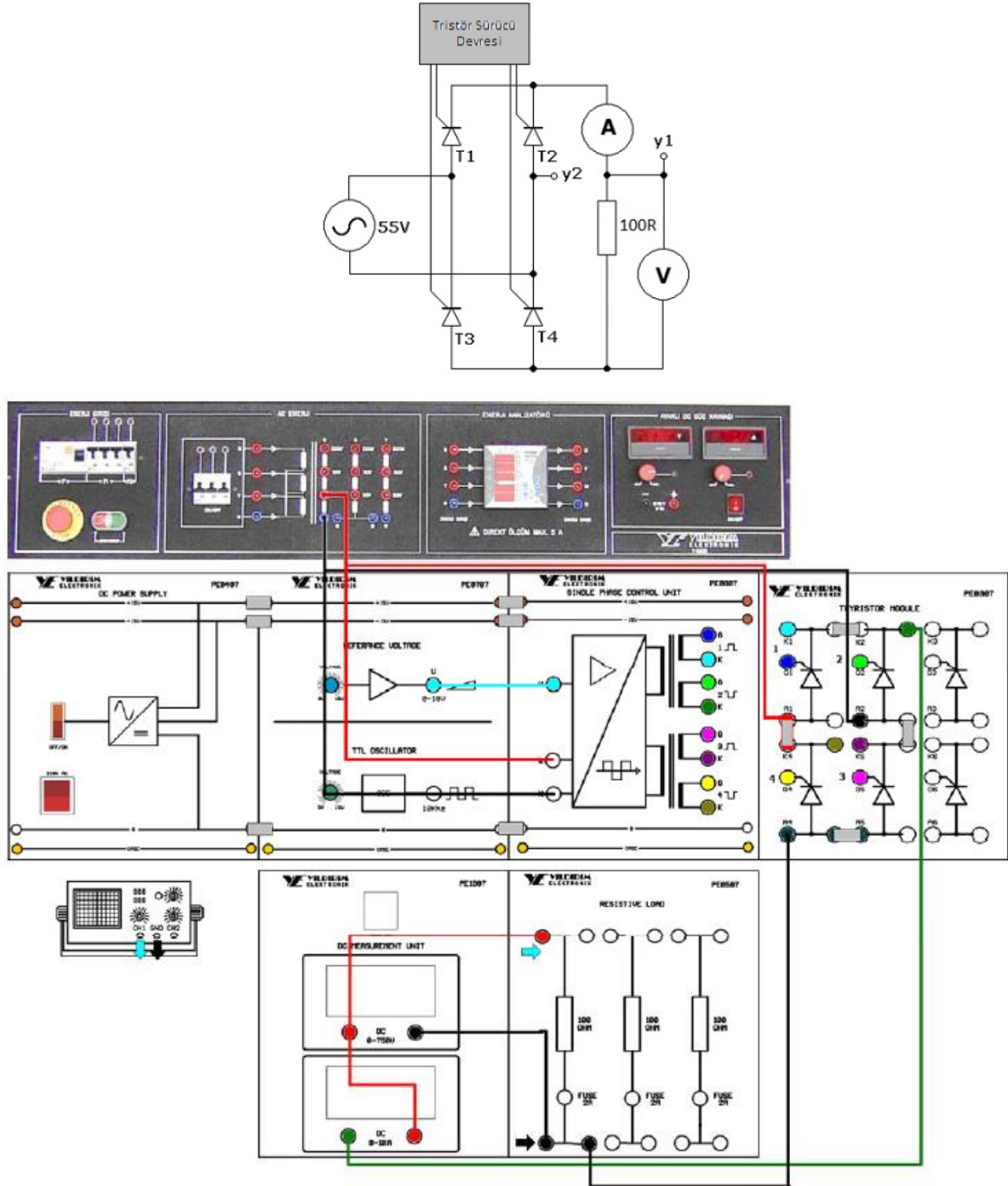
Tablo 5. İndüktif yüklü köprü doğrultucu için deney sonuçları

50 Ω , 100 mH	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				

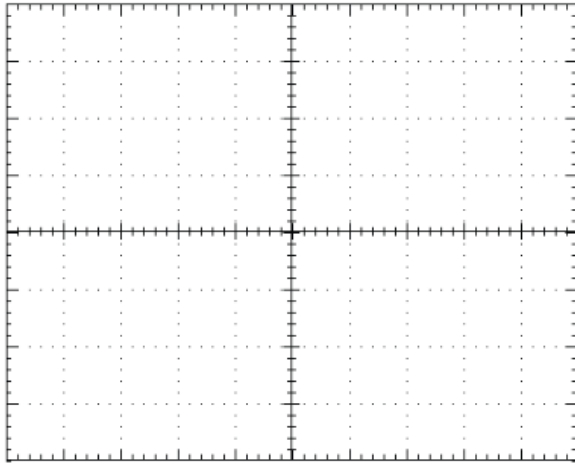
Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

3.2.3. Tek Faz Tam kontrollü Doğrultucu (Omik Yük)

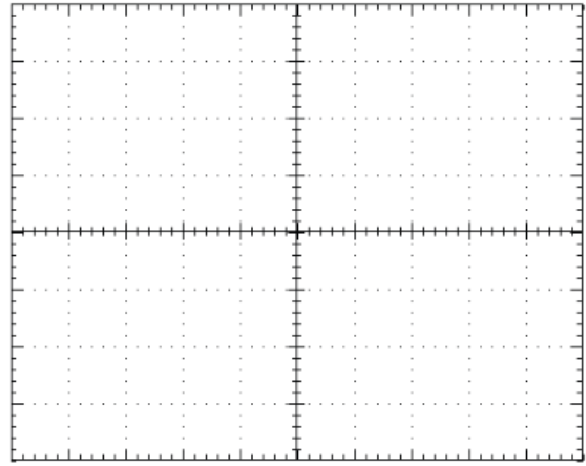
Şekil 19’ da görülen devreyi çıkışına 100 Ω ’ luk yük direnci bağlayarak kurunuz. Tristörün ateşleme açısını 0°’ye ayarlayın. Bu durumda sistem diyotlu köprü doğrultucu gibi çalışacaktır. Bağlantıları kontrol ettikten sonra sistemi çalıştırınız. Çıkış gerilimi, akımı ve üstteki iki tristör üzerindeki gerilimi farklı ateşleme açılarını ayarlayarak çiziniz. Çıkış akım ve geriliminin ortalama ve etkin değerlerini kaydediniz.



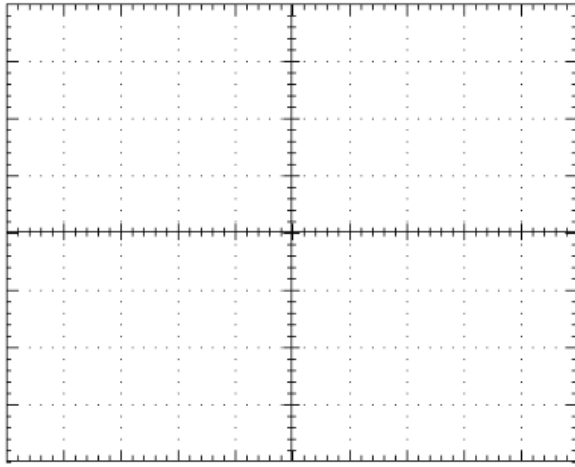
Şekil 19. Deney bağlantı şemaları



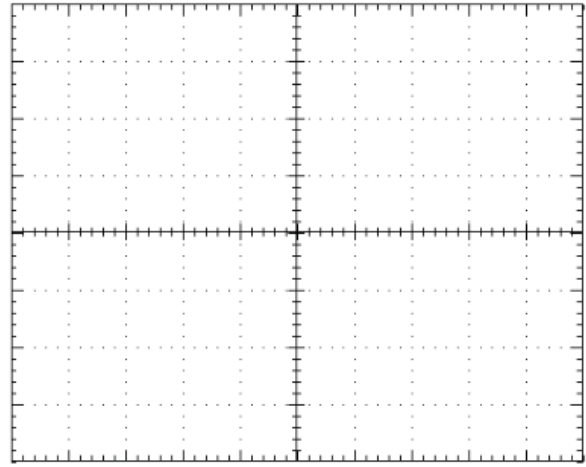
(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=0^\circ$)



(b) Tristör gerilimi($\alpha=0^\circ$)



(c) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=30^\circ$)



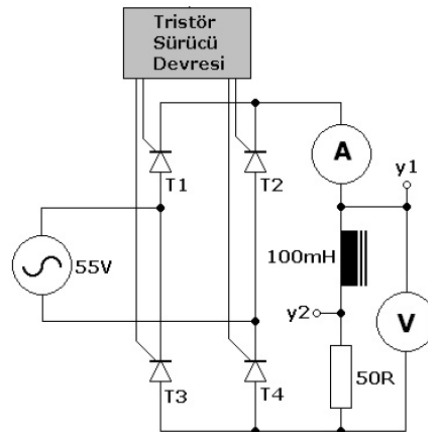
(d) Tristör gerilimi($\alpha=30^\circ$)

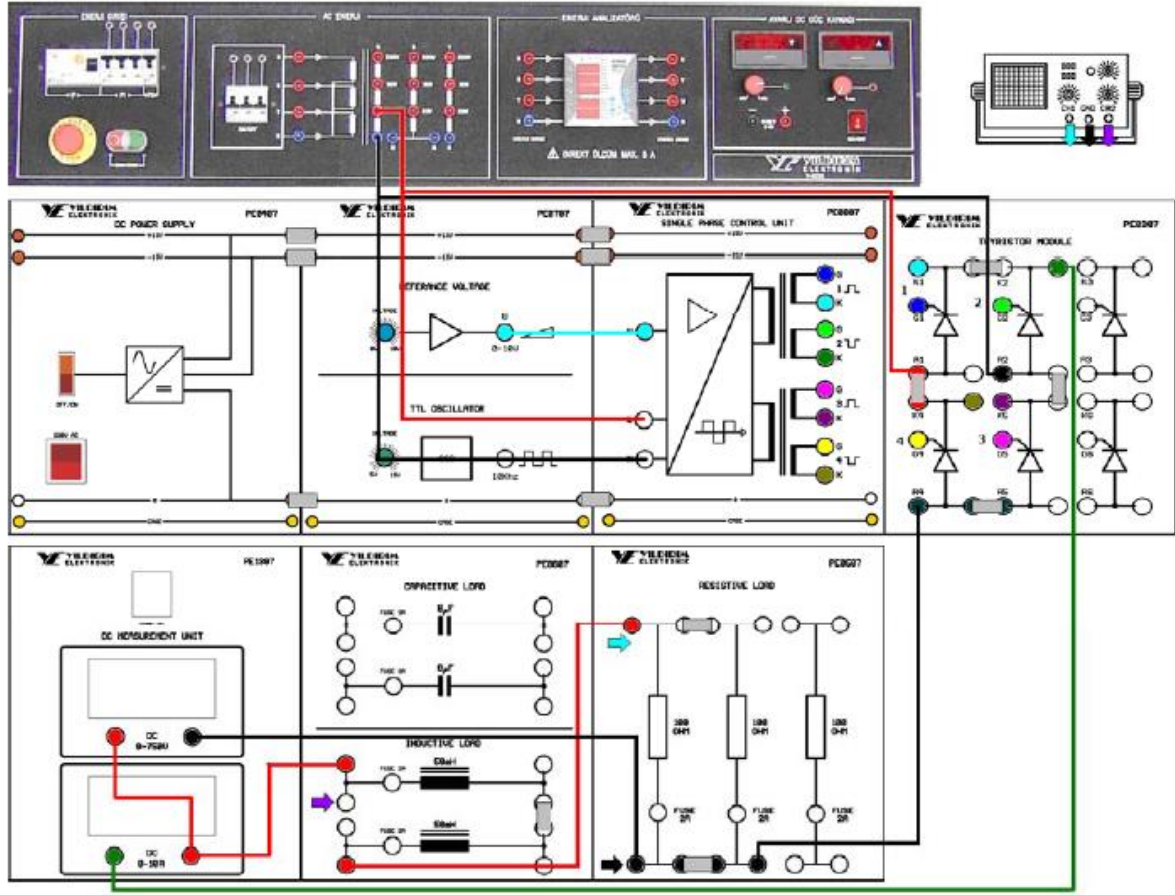
Şekil 20. İndüktif yüklü köprü doğrultucu için dalga şekilleri

Tablo 6. İndüktif yüklü köprü doğrultucu için deney sonuçları

100Ω	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=0^\circ$				
$\alpha=30^\circ$				

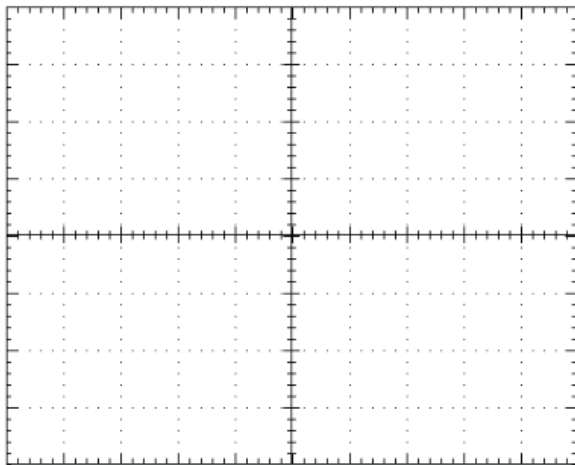
3.2.4. Tek Faz Tam kontrollü Doğrultucu (İndüktif Yük)



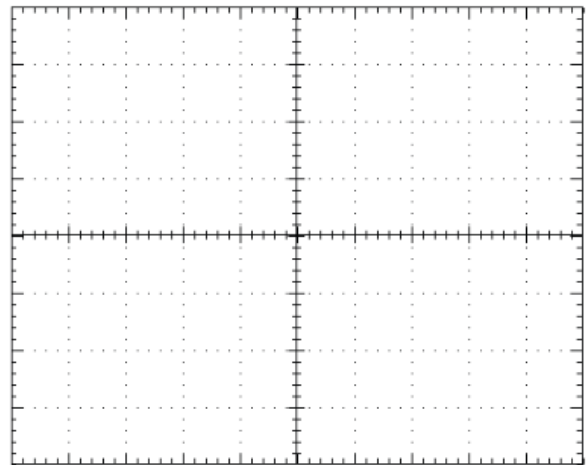


Şekil 21. Deney bağlantı şemaları

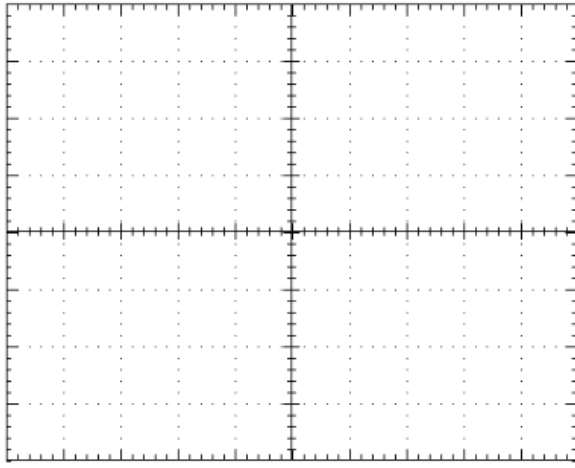
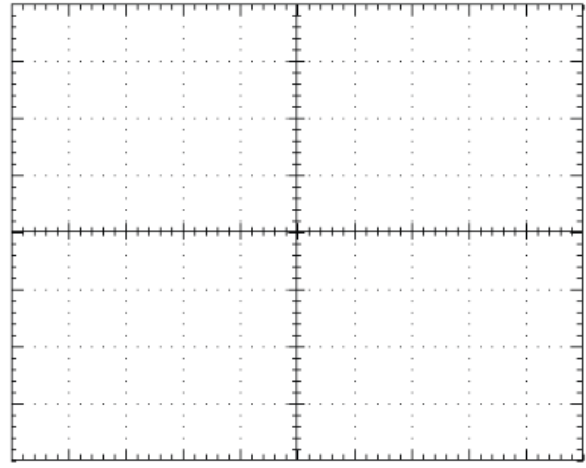
Devreyi çalıştırarak $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$, $\alpha=90^\circ$ ve $\alpha=120^\circ$ tetikleme açıları için çıkış geriliminin ve akımının dalga şekillerini ölçekli olarak çizip ortalama ve etkin değerlerini ölçerek not ediniz.



(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=30^\circ$)



(b) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=60^\circ$)

**(c)** Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)**(d)** Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=120^\circ$)**Şekil 22.** İndüktif yüklü köprü doğrultucu için dalga şekilleri**Tablo 7.** İndüktif yüklü köprü doğrultucu için deney sonuçları

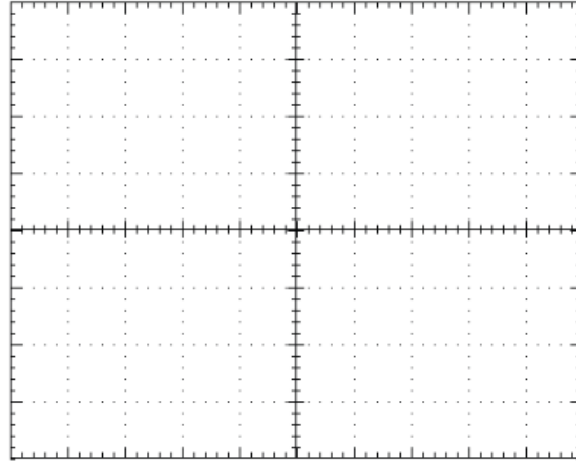
50 Ω , 100 mH	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=30^\circ$				
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				
$\alpha=120^\circ$				

3.3. Üç Faz Yarı Dalgalar Doğrultucu

3.3.1. Üç Faz Yarı Dalgalar Doğrultucu (Omik Yük)

Bu doğrultucularda da daha öncekilerde olduğu gibi tristörün ateşleme açısı değiştirilerek çıkış gerilimi ayarlanabilir. Şekil 23’ de ki devre kurulup çalıştırılarak istenilen çizim ve ölçümleri not ediniz.

Not: Ateşleme açısı $0-180^\circ$ arasında alınabilir. Ancak üç fazlı devrelerde ateşleme açısı için referans, genel olarak bir tek fazın değil de, fazlar arası gerilimlerin 0 volt olduğu noktaya göre alınır. Yani ilk fazın tristörü $\alpha+30^\circ$, ikinci fazın tristörü $\alpha+30^\circ+120^\circ$, üçüncü fazın tristörü $\alpha+30^\circ+240^\circ$ sırasıyla ateşlenir. (Fazların kendi aralarındaki açılarının da bu şekilde sıralandığı varsayılmıştır. Eğer faz sırası farklı ise, ateşleme sırası da ona göre değişmelidir.)



(c) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)

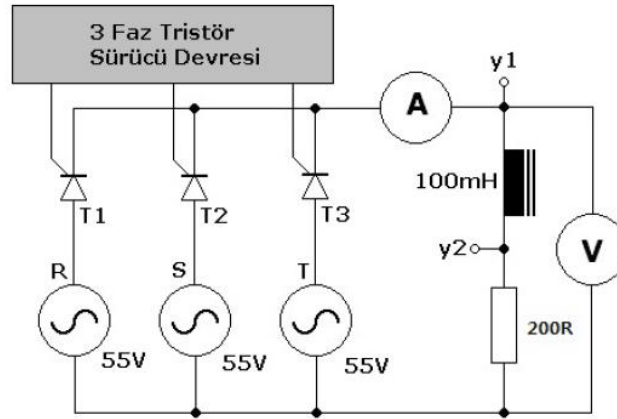
Şekil 24. Omik yüklü üç faz yarım dalga kontrollü doğrultucu için çeşitli tetikleme açılarında çıkış dalga şekilleri

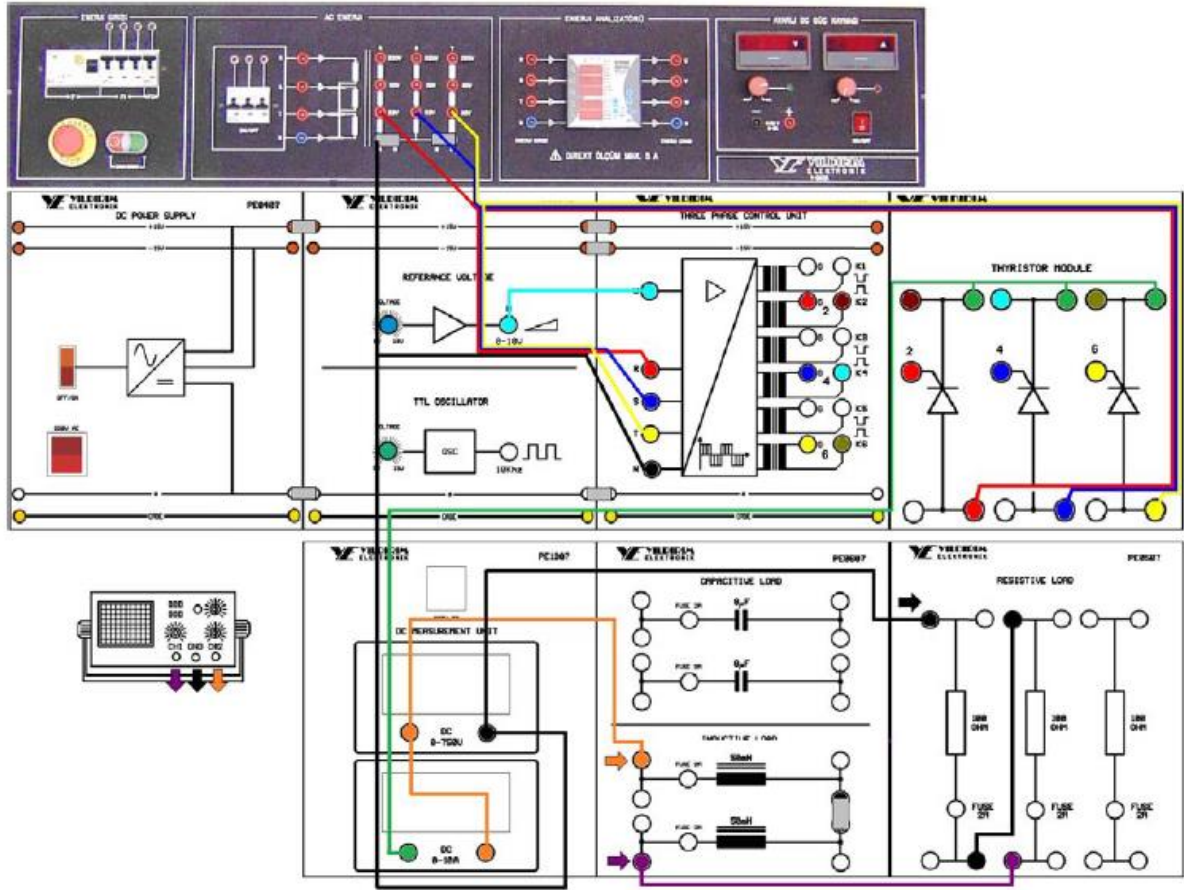
Tablo 8. Omik yüklü üç faz yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

100 Ω	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=0^\circ$				
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				

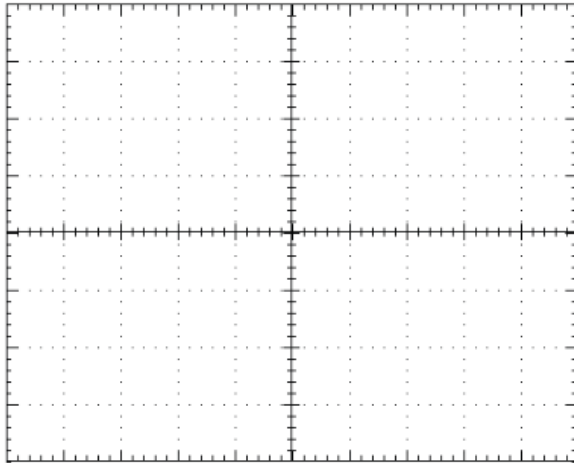
3.3.2. Üç Faz Yarım Dalga Doğrultucu (İndüktif Yük)

Şekilde görülen devreyi kurunuz. Gerekli ölçümleri alınız.

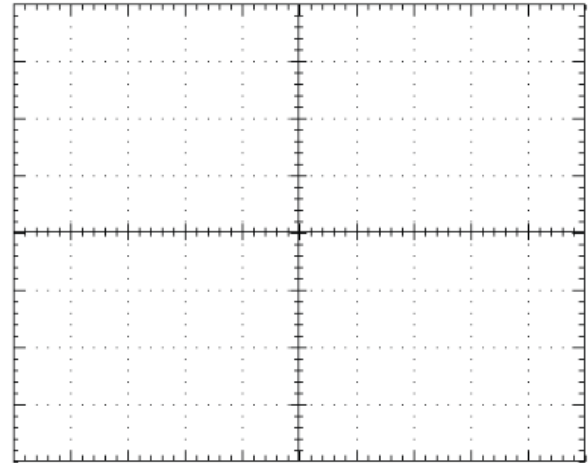




Şekil 25. Deney bağlantı şemaları



(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=60^\circ$)



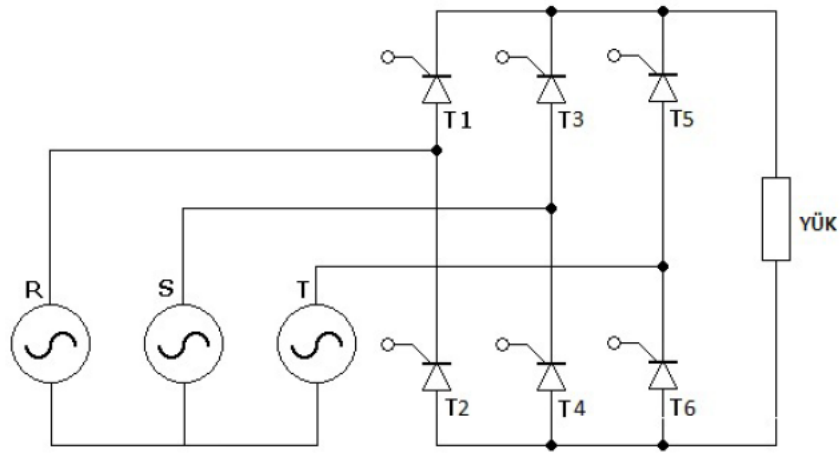
(b) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)

Şekil 26. İndüktif yüklü üç faz yarım dalga doğrultucu için dalga şekilleri

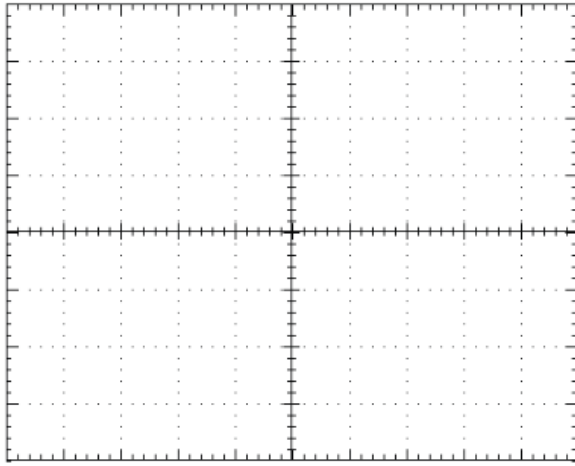
Tablo 9. İndüktif yüklü üç faz yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

200 Ω , 100 mH	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				

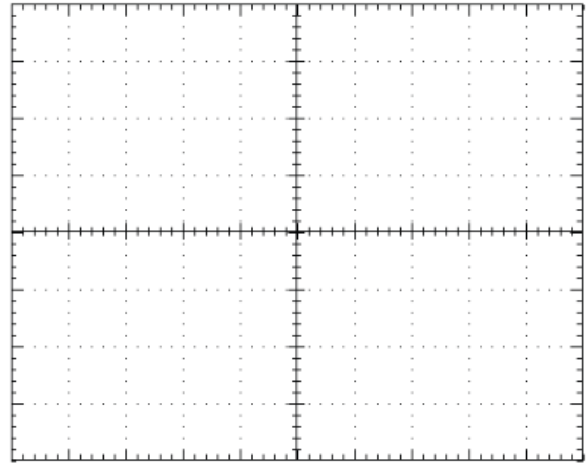
3.3.3. Üç Faz Tam Dalga Doğrultucu (Omik Yük)



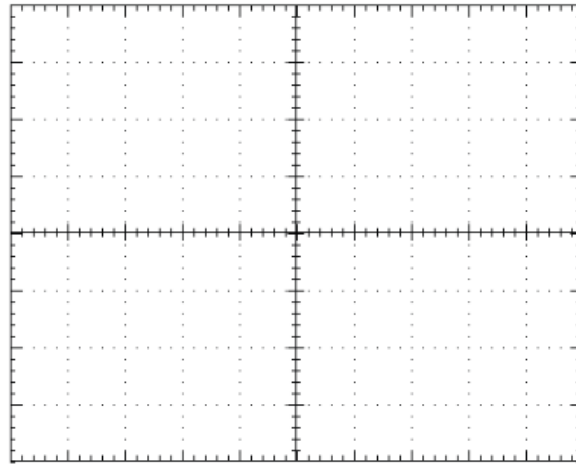
Şekil 26. Deney bağlantı şemaları



(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=0^\circ$)



(b) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=60^\circ$)



(c) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)

Şekil 27. Omik yüklü üç faz yarım dalga kontrollü doğrultucu için çeşitli tetikleme açılarında çıkış dalga şekilleri

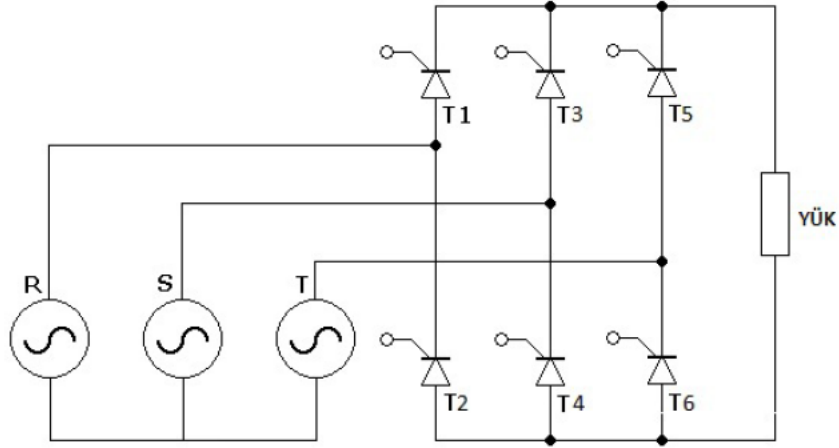
Tek Fazlı ve Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucular

Tablo 10. Omik yüklü üç faz yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

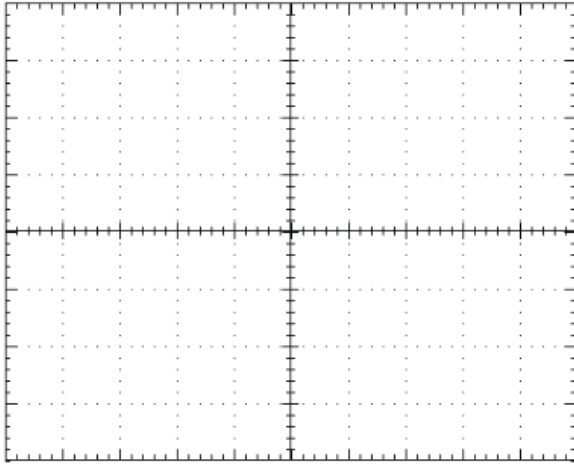
100 Ω	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=0^\circ$				
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				

3.3.4. Üç Faz Tam Dalga Doğrultucu (İndüktif Yük)

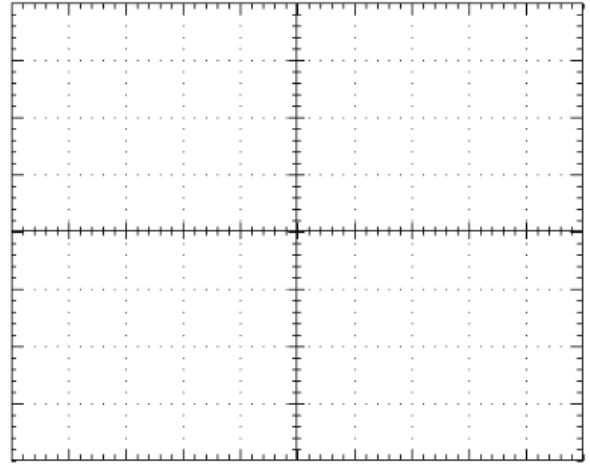
Şekilde görülen devreyi kurunuz. Gerekli ölçümleri alınız.



Şekil 28. Deney bağlantı şemaları



(a) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=60^\circ$)



(b) Çıkış gerilimi ve akımı ($\alpha=90^\circ$)

Şekil 29. İndüktif yüklü üç faz yarım dalga doğrultucu için dalga şekilleri

Tablo 11. İndüktif yüklü üç faz yarım dalga doğrultucu için deney sonuçları

200 Ω , 100 mH	Maksimum V_o	Ortalama V_o	Ortalama I_o	RMS I_o
$\alpha=60^\circ$				
$\alpha=90^\circ$				