

## DENEY 8

### TRİSTÖRLÜ DOĞRULTUCULAR

#### Deneyin Amacı

Tek faz ve 3 faz tristörlü doğrultucuların çalışmasını ve davranışlarını incelemektir.

Bu deneyde tek faz olmak üzere tüm yarım ve tam dalga tristörlü doğrultucular, omik yükler altında incelenecektir. Deney 2’de diyotlar kullanılarak incelenen doğrultucu devreler, bu deneyde tristörlerle kontrollü bir hal almıştır. Yani yük gerilimi tristörlerin iletme geçme zamanlamaları kontrol edilerek değiştirilebilir. Bu sebeple tristörlü doğrultuculara kontrollü doğrultucular da denir.

#### Teori: Tristörlü Doğrultucular

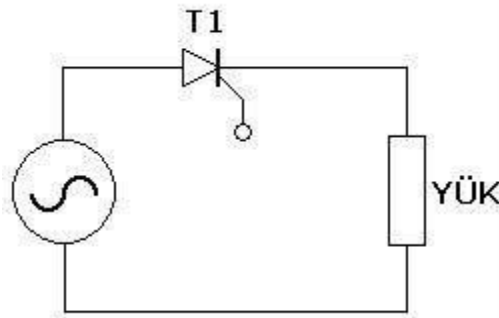
#### GİRİŞ

Daha önceki deneylerde 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 iletme sokulur ve ancak üzerindeki gerilim negatifken, akım da belli bir değer 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. Tristörlü doğrultucular da diyotlu doğrultucular gibi, tek faz , yarım dalga , tam dalga doğrultucu şeklinde incelenecektir.

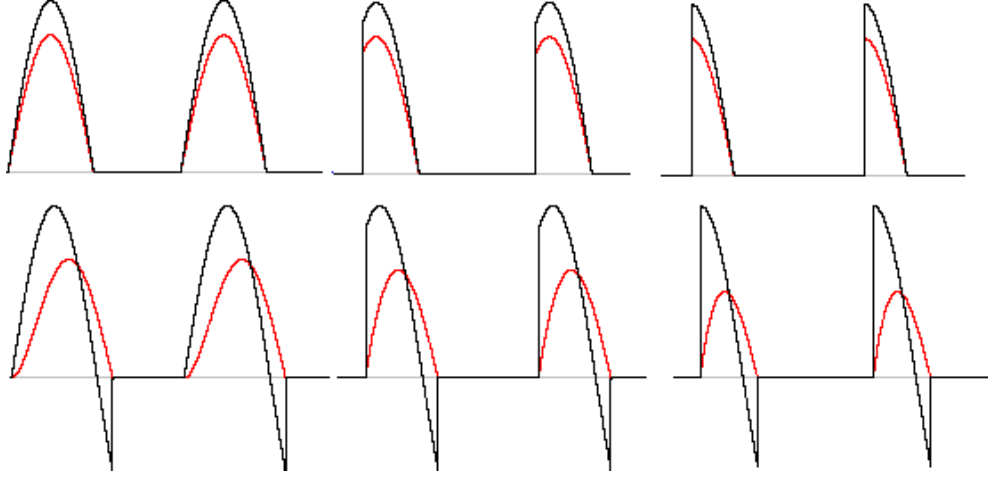
#### **Tek Faz Yarım Dalga Tristörlü Doğrultucu:**

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 iletme 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 yükte 0,60,90° ateşleme açılarında çıkış akım, gerilim dalga şekilleri

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

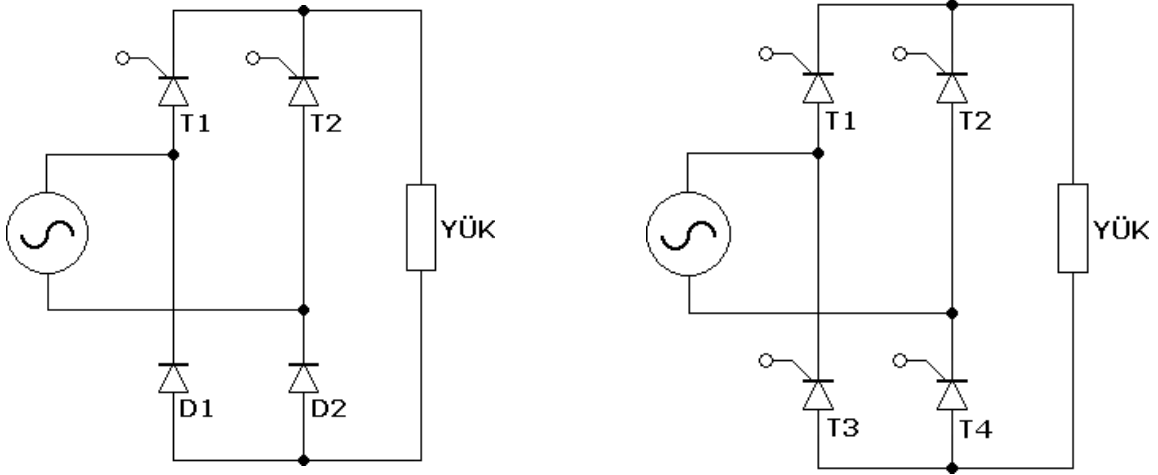
Çıkış geriliminin ortalama ve etkin değerleri diyotlu doğrultuculardaki gibi hesaplanabilir.

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

( $\alpha$  = Ateşleme açısı)

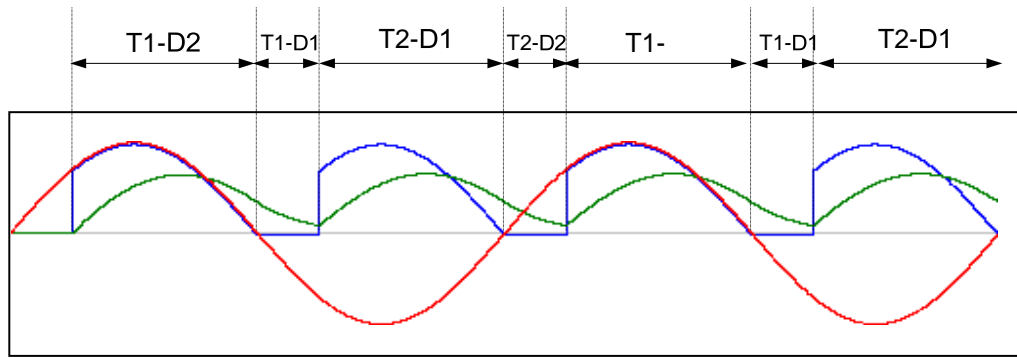
### **Tek Faz Tam Dalga (Köprü )Doğrultucu:**

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 pozitiftir, yani sadece tek kadranda çalışan bir doğrultucudur. Tam kontrollü doğrultucuda ise boşta çalışma diyodu kullanılmadığı takdirde gerilim negatife düşebilir. Akım ise burada da daima pozitiftir. 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

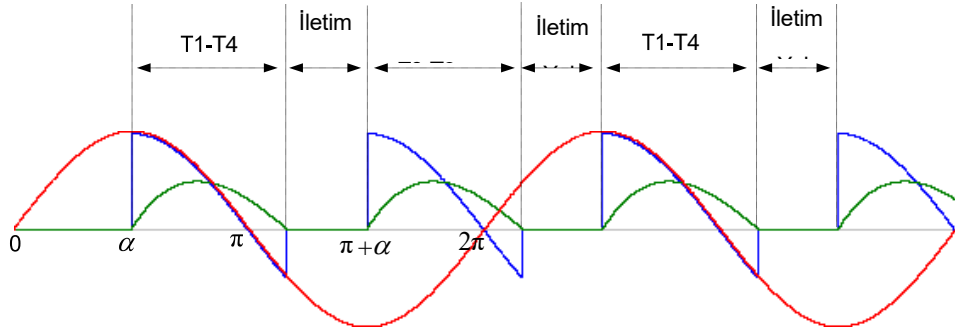
Şekilde de görüldüğü gibi gerilimin pozitif evresini T1-D2 negatif evresini de T2-D1 anahtarları iletmektedir. Gerilim pozitif evrenin sonuna gelip negatife geçtiğinde T1-D2 çiftinin görevi biter ve gerilim negatife geçtiği için D2 kapanarak üzerinde pozitif gerilim olan D1 açılır. Bu noktada T2 henüz ateşlenmediği için ve de yük akımı sıfıra düşmediği için T1 tristörü T2 ateşlenene kadar iletimde kalır.  $wt = \pi + \alpha$  '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.  $wt = \alpha$  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.  $\omega t = \alpha$  anında T2 ve T3 tristörleri ateşlenerek iletim 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.  $\alpha$ 'dan  $\pi$ 'ye kadar olan periyotta gerilim ve akım pozitifdir yani güç şebekeden yüke doğru akmaktadır. Bu durumda devre "doğrultma" (rectification) durumundadır denir. Gerilimin  $\pi$ 'den sonraki negatif kısmında ise akım yine pozitifdir. Güç yükten kaynağa akar. Bu konumda da devre "evirici" (inverter) modunda çalışıyor denir.

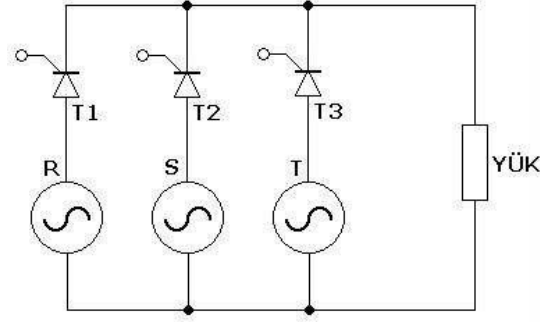
Akım sürekli olduğu takdirde, tam kontrollü köprü doğrultucu için, ortalama ve etkin gerilim aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

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

### **Üç Faz, Yarım Dalga, Tristörlü Doğrultucu:**

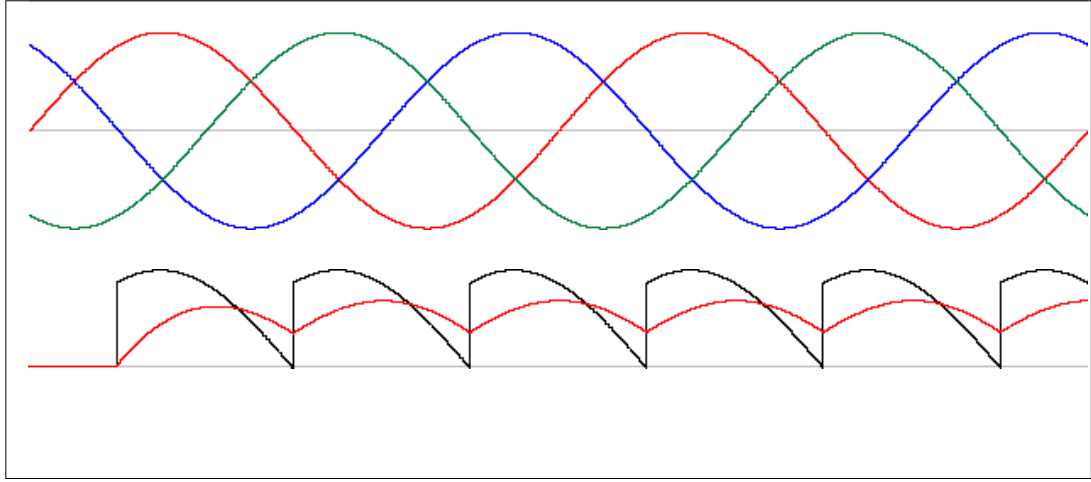
Üç faz yarı dalga doğrultucu, daha önce diyotlu doğrultucularda da bahsedildiği gibi yüke daha yüksek bir ortalama gerilim sağlar ve gerilimin frekansı daha yüksek olduğu için filtrelenmesi daha kolaydır. Bu sebeple endüstride yaygın olarak kullanılan bir doğrultucu türüdür. Üç faz doğrultucu, kontrol prensibi fazlar arası gerilimin sıfır olduğu noktaya göredir. Fazlar kendi içlerinde  $\pi/6$  noktasında kesiştikleri için şekil 3.6'da görülen resme göre T1

$\omega t = \pi/6 + \alpha$  anında tetiklenir. Her bir tristör 120 derece iletimde kalır yani T2  $\pi/6 + \alpha$ , T3 de  $3\pi/2 + \alpha$  anında ateşlenir.



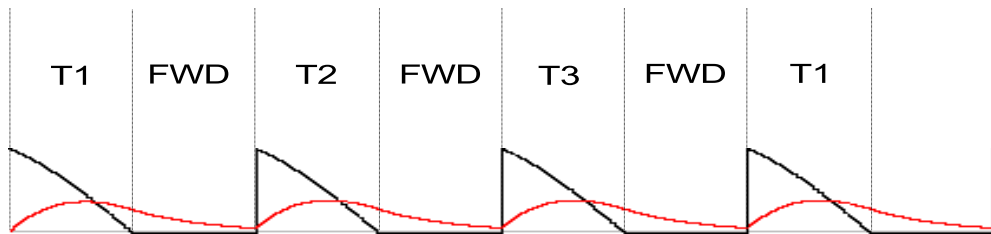
Şekil 3.6

Aşağıdaki dalga şekilleri üç fazlı yarım dalga doğrultucu için verilen tipik bir çıkış gerilimi dalga şeklindedir.



Şekil 3.7 İndüktif yük ile üç faz yarım dalga doğrultucu için giriş ve çıkış dalga şekilleri

Şekil 3.7'deki dalga şekilleri  $\alpha=60^\circ$  için alınmıştır ve yük yeterince indüktif olduğu için akım süreklidir. Eğer yük omik ise,  $\alpha > \pi/6$  için akım süreksiz olacaktır. Sürekli akım durumunda da, gerilimin negatife inme durumu gerçekleşecektir. 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 3.8'de gösterilmiştir.



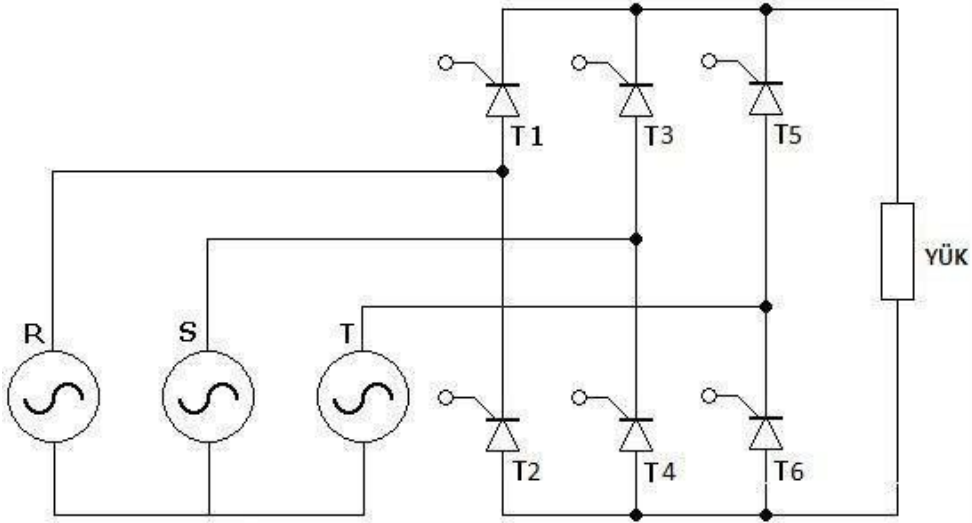
Şekil 3.8 Üç faz, kontrollü yarım dalga doğrultucu için tristör iletim periyotları Maksimum

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

$$V_{ORT} = \frac{3\sqrt{3}V_M}{2\pi} \cos\alpha \quad V_{RMS} = \sqrt{3}V_M \left( \frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha \right)^{0.5}$$

### 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 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Üç fazlı köprü doğrultucu

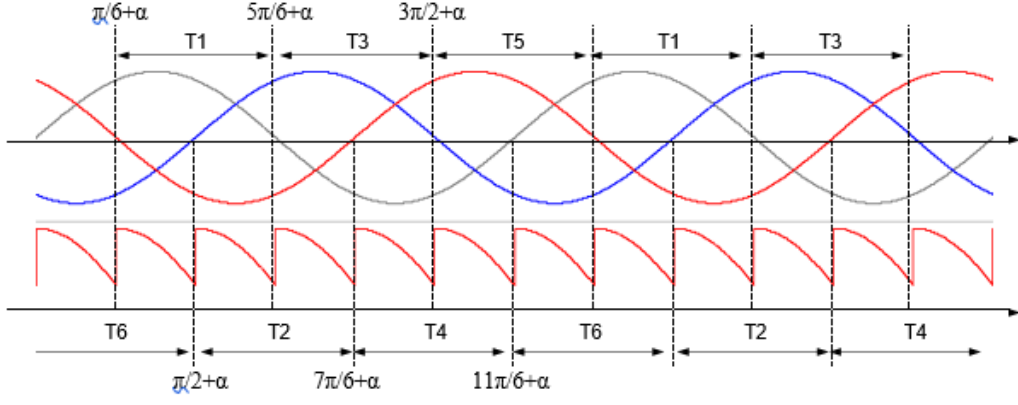
$\omega t = \pi/6 + \alpha$  anında T1 tristörü ateşlenir ve bu anda T6 tristörü zaten iletimdedir.

$(\pi/6 + \alpha) < \omega t < (\pi/2 + \alpha)$  T1-T6 tristörleri iletime devam ederler.  $\omega t = \pi/2 + \alpha$  anında T2 ateşlenir ve

$(\pi/2 + \alpha) < \omega t < (5\pi/6 + \alpha)$  aralığında iletime devam ederler.

Bu anda artık 2. fazın gerilimi 1. faza göre daha büyük bir değere ulaşmıştır ve

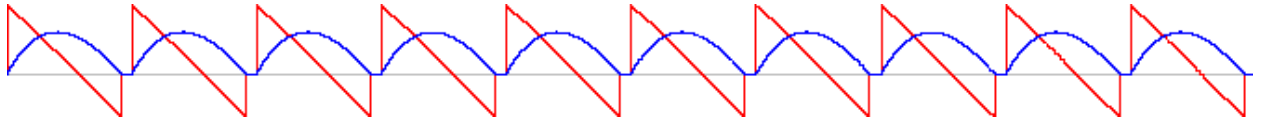
2. fazın tristörü T3 ateşlenir. Ateşleme ve iletim sırası şu şekildedir. T6-T1, T1-T2, T2-T3, T3-T4, T4-T5, T5-T6. Tipik bir üç faz, kontrollü köprü doğrultucu çıkış geriliminin dalga şekli üzerinde bu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Üç faz, kontrollü doğrultucu için tristör iletim periyotları

$\alpha > \pi/3$ :

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 3.11'de  $\alpha=115^\circ$  için bu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.11 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 bahsettiğimiz 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.

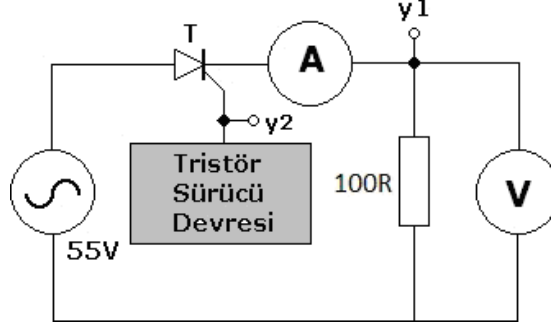
$$V_{ORT} = \frac{3V_{L-L}}{\pi} \cos\alpha \quad V_{RMS} = V_{L-L} \left( \frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right)^{0.5}$$

### 3.1.1 Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu (Omik Yükle)

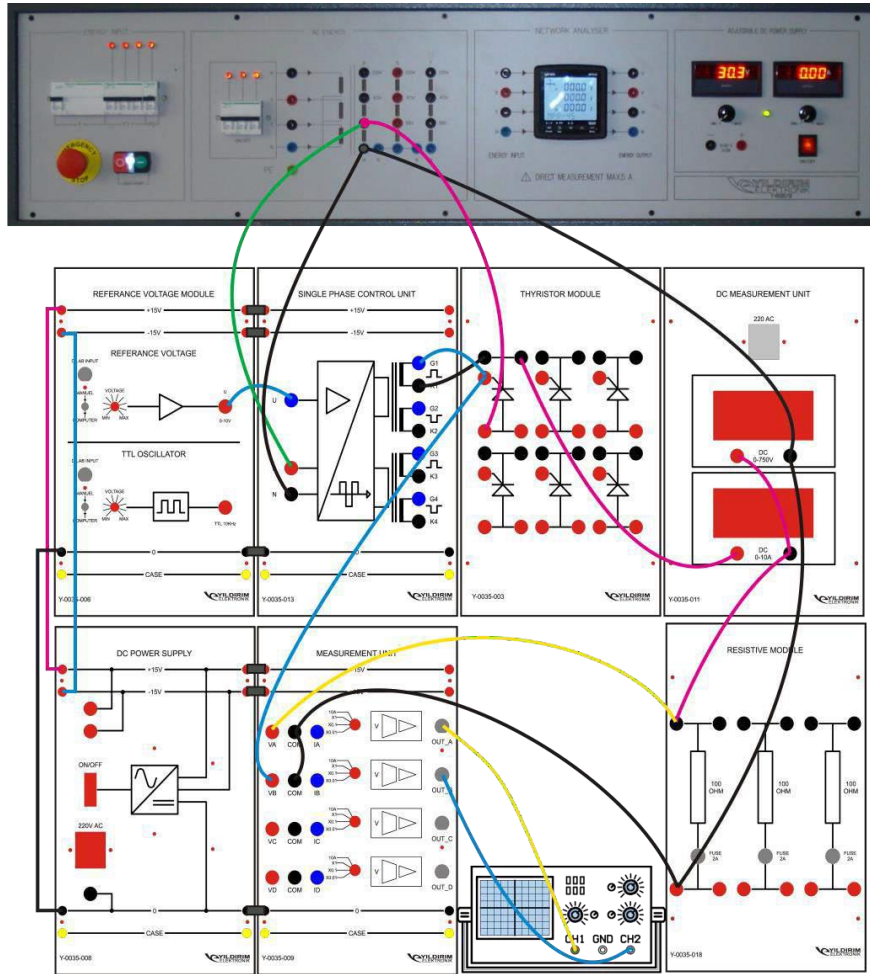
Şekil 3.1.1'de görülen devreyi kurunuz.

Not: Ampermetre tristör girişinde AC, çıkışında DC bağlanacaktır. Yer açısından sıra ile bağlanabilir. Deney şemasında karışıklığı önlemek için DC bağlantı kullanılmıştır.

Ölçüm ünitesinin (Measurement unit) yük uçlarında kullanılan kanalı (y1) prob x0.1 kademesinde, gate sinyalini ölçen kanalı ise (y2) x1 kademesinde olmalıdır.



Şekil 3.1.1



Şekil 3.1.2



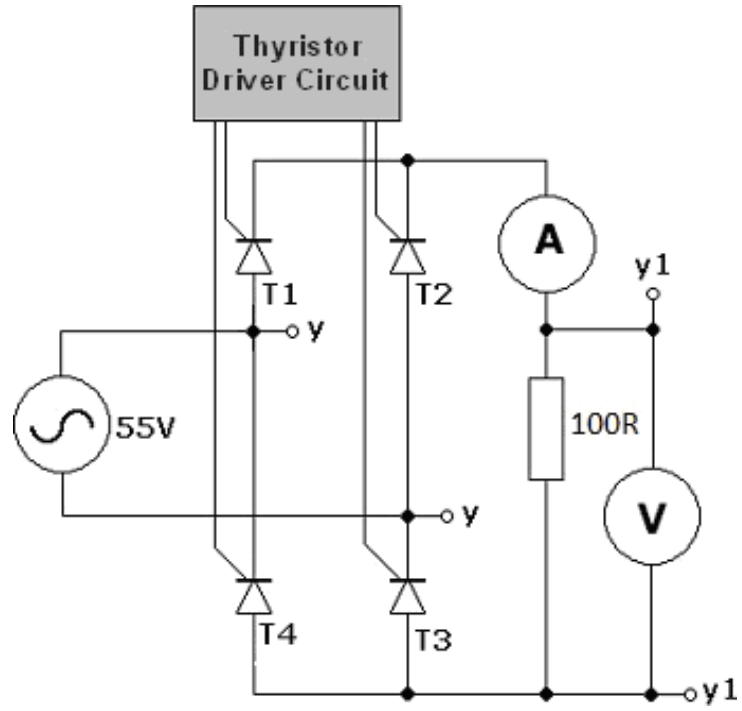
### *DENEYİN YAPILIŐI:*

Tristörün ilettime geçmesi için kapı terminaline bir akım uygulanması gerektiğini deney 1'de 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 ( $\alpha$ )  $0^\circ$  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 0, 45, 90 ve 135 dereceye ayarlayarak dalga şekillerini gözlemleyiniz. Yukarıdaki basamaklarda alınan çizimleri ve ölçümleri bu basamaklar için de tekrarlayınız.

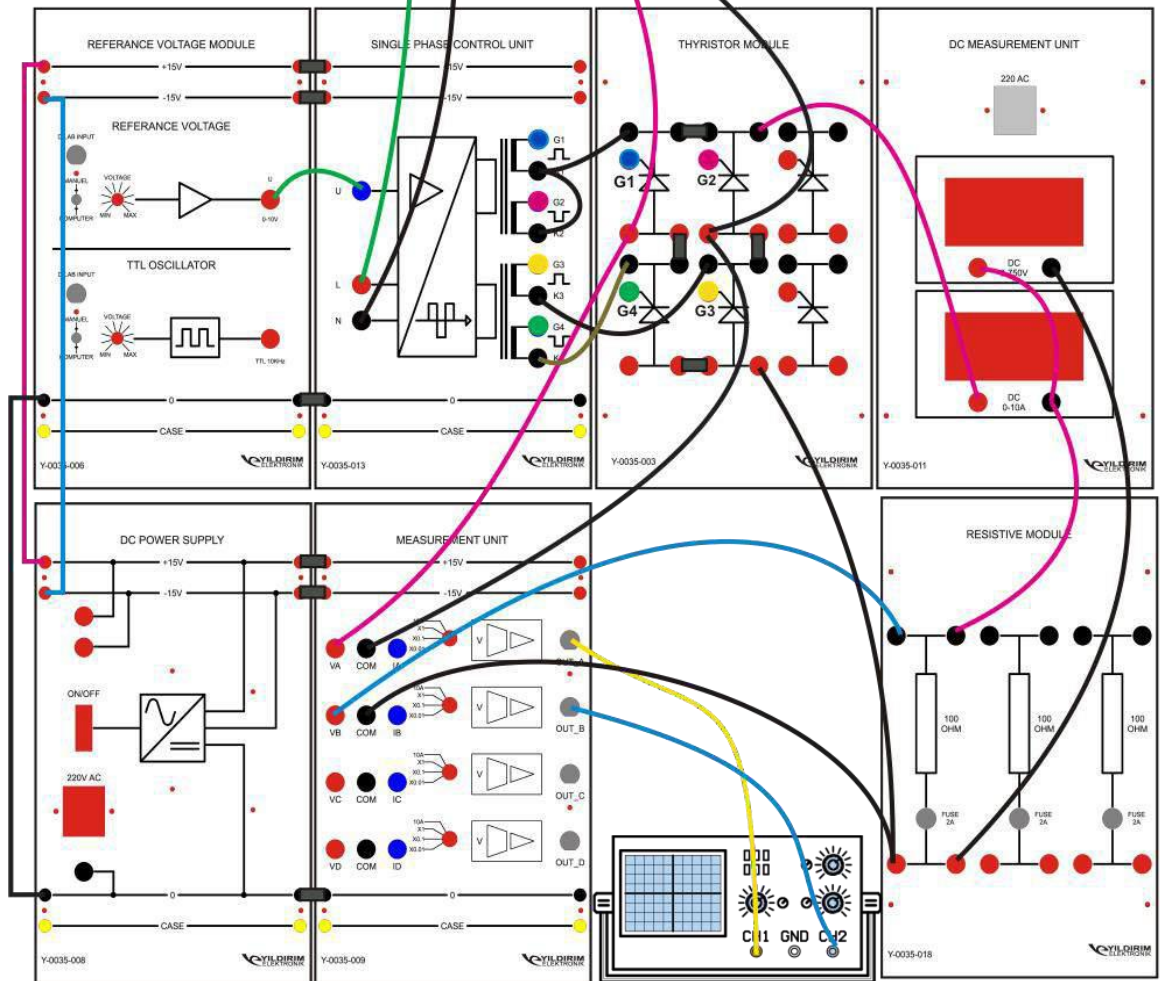
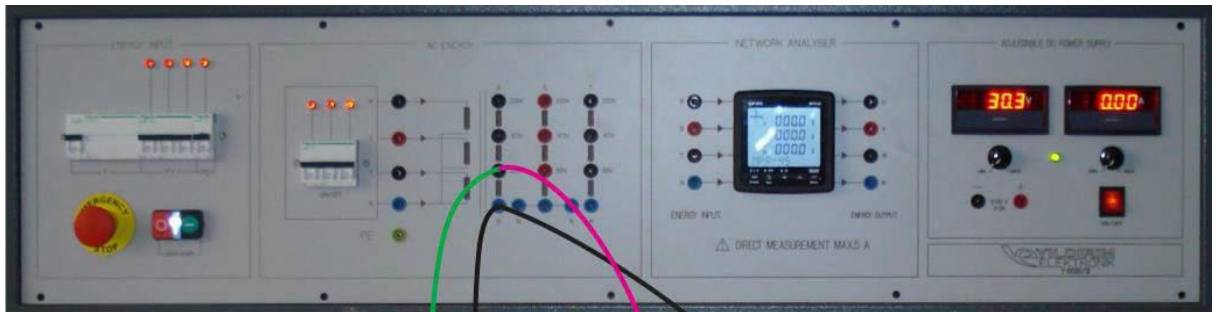
**NOT: Tristör sürücü devresindeki referans gerilimi 3 fazlı trafo çıkışındaki 55V gerilimden alınması sonuçların doğruluğu açısından tavsiye edilir.**

$(\alpha=0^\circ)$	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				
$(\alpha=45^\circ)$	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				
$(\alpha=90^\circ)$	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				
$(\alpha=135^\circ)$	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				

### 3.2.1 Tek Fazlı Tam Kontrollü Doğrultucu (Omik Yükle)



Şekil 3.2.11



Şekil 3.2.12

Şekil 3.2.11'de verilen tek fazlı tam kontrollü doğrultucu devresini, çıkışına 100 ohm'luk yük direnci bağlayarak kurunuz. Tristörün ateşleme açısını 0 dereceye ayarlayın. Bu durumda sistem, diyotlu köprü doğrultucu gibi çalışacaktır. Bağlantıları kontrol ettikten sonra sistemi çalıştırınız. Yük ve üstteki 2 tristörün geriliminin dalga şeklini çiziniz. Çıkış akım ve geriliminin ortalama ve etkin değerlerini not ediniz . Ateşleme açısını 0, 45, 90 ve 135 dereceye ayarlayarak gerilim ve akım dalga şekillerini gözlemleyiniz. Her bir açı için tipik bir gerilim ve akım dalga şekli çizimi alarak, ortalama ve etkin değerleri ölçünüz.

<b><math>\alpha=0^\circ</math></b>	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS in(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				
<b><math>\alpha=45^\circ</math></b>	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS in(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				
<b><math>\alpha=90^\circ</math></b>	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS in(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				
<b><math>\alpha=135^\circ</math></b>	<b>Maximum</b>	<b>Ortalama</b>	<b>TRMS</b>	<b>TRMS in(A.C)</b>
Io				
Vo				
Iin				
Po				
Pin				