

TEK-FAZLI TAM-DALGA KONTROLSÜZ VE KONTROLLÜ DOĞRULTUCULAR

1. Giriş

Doğrultucular, ac giriş gerilimini dc çıkış gerilimine dönüştürmek için kullanılır. Doğrultucular, tiplerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Doğrultucuyu besleyen ac gerilim kaynağının faz sayısı – tek fazlı ve üç fazlı doğrultucular.
- Ortalama çıkış geriliminin kontrol edilebilirliği – kontrolsüz ve kontrollü doğrultucular.
- Yük gerilimi ve akımının polaritesinin değiştirilebilirliği – yarı kontrollü ve tam kontrollü doğrultucular.
- Kaynak geriliminin bir periyodu süresince yük akımı darbe sayısı – yarım dalga ve tam dalga doğrultucular.

2. Tek-Fazlı Tam-Dalga Kontrolsüz Doğrultucu

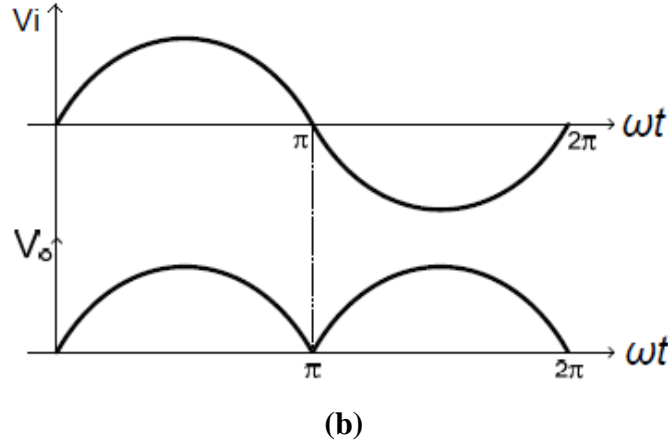
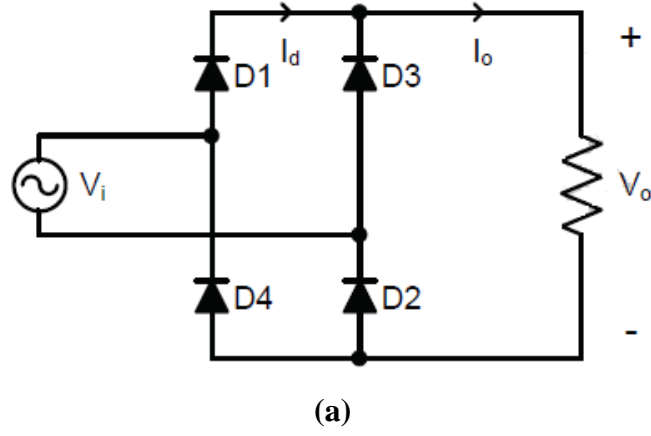
2.1. Deneyin Amacı

- Tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucunun çalışma prensibini anlamak.
- Tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucunun akım ve gerilimini ölçmek.
- Tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucunun gücünü hesaplamak.
- Tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucunun karakteristiklerini doğrulamak.

2.2. Genel Bilgiler

Tek-fazlı yarım-dalga kontrolsüz doğrultucuya kıyasla, tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucu (köprü doğrultucu) daha iyi karakteristiklere sahiptir. Bundan dolayı, tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucu, güç elektroniği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 1’de, omik yüke sahip tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucunun devre şeması ve dalga şekilleri görülmektedir. V_i ’nin pozitif alternansında $D1$ ve $D2$ diyotları iletim yönünde, $D3$ ve $D4$ diyotları ise tıkama yönünde kutuplanır. Diyotlar ideal kabul edilirse, V_o , V_i ’nin pozitif alternansına eşit olur. V_i ’nin negatif alternansında $D3$ ve $D4$ diyotları iletim yönünde, $D1$ ve $D2$ diyotları ise tıkama yönünde kutuplanır. Böylece tam dalga doğrultma işlemi gerçekleşmiş olur.



Şekil 1. Omik yüklü tek-fazlı tam-dalga doğrultucunun devre şeması ve dalga şekilleri

Bu devrenin karakteristiklerini tanımlamadan önce kullanılacak sembol ve kısaltmalar aşağıda verilmiştir.

- V_i : Giriş gerilimi
- V_m : Giriş geriliminin tepe değeri
- I_m : Giriş akımının tepe değeri
- $V_{i(rms)}$: Giriş geriliminin etkin değeri
- V_o : Çıkış gerilimi
- $V_{o(ort)}$: Çıkış geriliminin ortalama değeri
- $V_{o(rms)}$: Çıkış geriliminin etkin değeri
- $I_{o(ort)}$: Çıkış akımının ortalama değeri
- $I_{o(rms)}$: Çıkış akımının etkin değeri
- $I_{d(ort)}$: Diyot akımının ortalama değeri
- $I_{d(rms)}$: Diyot akımının etkin değeri
- $P_{o(ort)}$: Çıkış gücünün ortalama değeri
- $P_{o(rms)}$: Çıkış gücünün etkin değeri
- η_r : Doğrultucu verimi

P_d : Dalgallık artık gücü

λ : Dalgallık katsayısı

$V_{r(rms)}$: Dalgalanma geriliminin etkin değeri

Aşağıdaki denklemler, saf dirençsel yüke sahip tek-fazlı tam-dalga kontrolsüz doğrultucunun önemli karakteristiklerini tanımlamaktadır.

$$V_m = \sqrt{2}V_{i(rms)} \quad , \quad V_i = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$V_{o(ort)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} = 0.9V_{i(rms)} \quad (2)$$

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_{i(rms)} \quad (3)$$

$$I_m = \frac{V_m}{R} \quad , \quad I_{o(ort)} = \frac{V_{o(ort)}}{R} = \frac{2I_m}{\pi} \quad , \quad I_{o(rms)} = \frac{V_{o(rms)}}{R} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$I_{d(ort)} = \frac{I_{o(ort)}}{2} \quad , \quad I_{d(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2} = \frac{\pi}{4} I_{o(ort)} \quad (5)$$

$$P_{o(ort)} = \frac{V_{o(ort)}^2}{R} = V_{o(ort)} I_{o(ort)} \quad , \quad P_{o(rms)} = \frac{V_{o(rms)}^2}{R} = V_{o(rms)} I_{o(rms)} \quad (6)$$

$$\eta_r = 100 \times \frac{P_{o(ort)}}{P_{o(rms)}} = 100 \times \frac{0.9^2}{1^2} = 80.1 \% \quad (7)$$

$$P_d = P_{o(rms)} - P_{o(ort)} = \frac{V_{r(rms)}^2}{R} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{V_{r(rms)}}{V_{o(ort)}} = \frac{\sqrt{V_{o(rms)}^2 - V_{o(ort)}^2}}{V_{o(ort)}} = 0.482 \quad (9)$$

Tek-fazlı tam-dalga doğrultucunun doğrultucu verimi ve dalgallık katsayısı gibi karakteristikleri, tek-fazlı yarım-dalga doğrultucudan daha iyidir. Ayrıca Şekil 1(b)'den görülebileceği gibi, tek-fazlı tam-dalga doğrultucunun diğer bir avantajı, çıkış geriliminin dalgalanma frekansının, kaynak frekansının iki katı olmasıdır. Böylece filtrelemeden sonra daha küçük bir dalgalanma bileşeni elde edilebilir.

Tek-fazlı tam-dalga köprü doğrultucunun tek dezavantajı dört adet diyot gerektirmesidir.

Bununla birlikte, giriş geriliminin her bir yarım alternansında iki diyot iletimde diğer iki diyot tıkamada olmaktadır. Bu yüzden, her bir diyot için gerekli Ters Tepe Gerilimi (PIV) değeri, giriş tepe geriliminin sadece yarısıdır.

3. Tek-Fazlı Tam-Dalga Kontrollü Doğrultucu

3.1. Deneyin Amacı

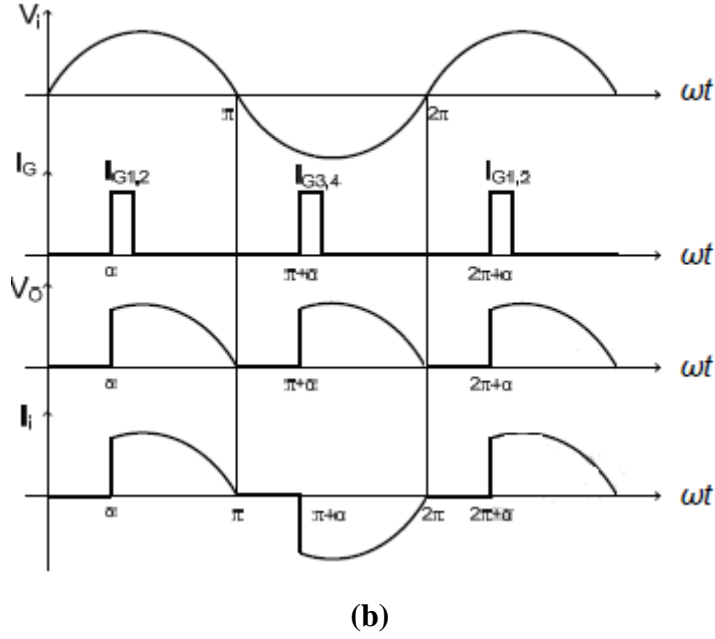
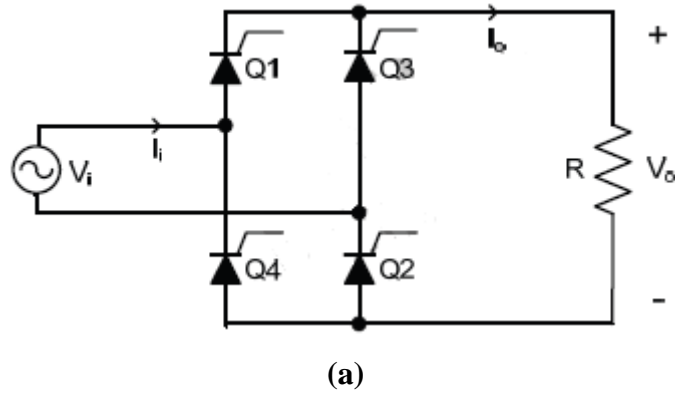
- Tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun çalışma prensibini anlamak.
- Tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun akım ve gerilimini ölçmek.
- Tristör ateşleme açısının, tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun çıkış gerilimine etkisini incelemek.
- Tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun karakteristiklerini doğrulamak.

3.2. Genel Bilgiler

Tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucu devresini oluşturmak, tek-fazlı tam-dalga diyot doğrultucunun ki ile benzerdir. Çıkış gerilimin ortalama değerini kontrol edebilmek için, diyot yerine tristör (SCR) kullanılmıştır. Tristörün α ateşleme açısı değiştirilerek, tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun ortalama çıkış gerilimi değiştirilebilir.

Şekil 2’de, omik yüke sahip tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun devresi ve dalga şekilleri görülmektedir. V_i ’nin pozitif alternansında, $\omega t = \alpha$ ’da, Q_1 ve Q_2 tetiklenerek ilettime geçer ve V_i , $\alpha \leq \omega t \leq \pi$ aralığında Q_1 ve Q_2 üzerinden yüke bağlanır. V_i ’nin negatif alternansında, $\omega t = \pi + \alpha$ ’da, Q_3 ve Q_4 tetiklenerek ilettime geçer ve V_i , $\pi + \alpha \leq \omega t \leq 2\pi$ aralığında Q_3 ve Q_4 üzerinden yüke bağlanır. Tetikleme açısı α ’nın, 0° ile 180° arasında değişmesine karşılık gelen çıkış gerilimi dalga şekli Şekil 2(b)’de gösterilmiştir. Çıkış akımı I_o ve çıkış gerilimi V_o aynı dalga şekline sahiptir, fakat genlikleri farklıdır. Q_3 ve Q_4 ’ün tetikleme sinyallerinin, Q_1 ve Q_2 ’nin kapı sinyallerine göre 180° geri fazda olduğuna dikkat edilmelidir. Q_1 ve Q_2 ’nin (Q_3 ve Q_4) tetikleme sinyalleri elektriksel olarak birbirinden yalıtılmalıdır, aksi takdirde kısa devre oluşacaktır.

Tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucu, giriş gerilimi V_i ’nin bir tam periyodunda yüke iki çıkış darbesi sağladığı için, bu devre **iki-darbeli kontrollü doğrultucu** olarak da adlandırılır. Bu doğrultucu, giriş akımı dc bileşen içeren yarım-dalga kontrollü doğrultucunun bu dezavantajını ortadan kaldırır. Şekil 2(b)’de görüldüğü gibi, giriş akımı I_i , simetrik dalga şekline sahiptir ve dc bileşen içermez.



Şekil 2. Omik yüklü tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun devre şeması ve dalga şekilleri

Şekil 2(b)'de gösterildiği gibi, tristör ateşleme açısı α 'nın, 0° ile 180° arasında değiştirilmesiyle çıkış geriliminin ortalama değeri değiştirilebilir. $\alpha = 0$ iken, bu devre, tam dalga diyot doğrultucu ile aynı fonksiyona sahiptir ve bu durumda ortalama çıkış gerilimi V_{d0} ile ifade edilir. $\alpha \neq 0$ iken, ortalama çıkış gerilimi $V_{d\alpha}$ ile gösterilir. Örneğin, $\alpha = 90^\circ$ için ortalama çıkış gerilimi V_{d90} olur.

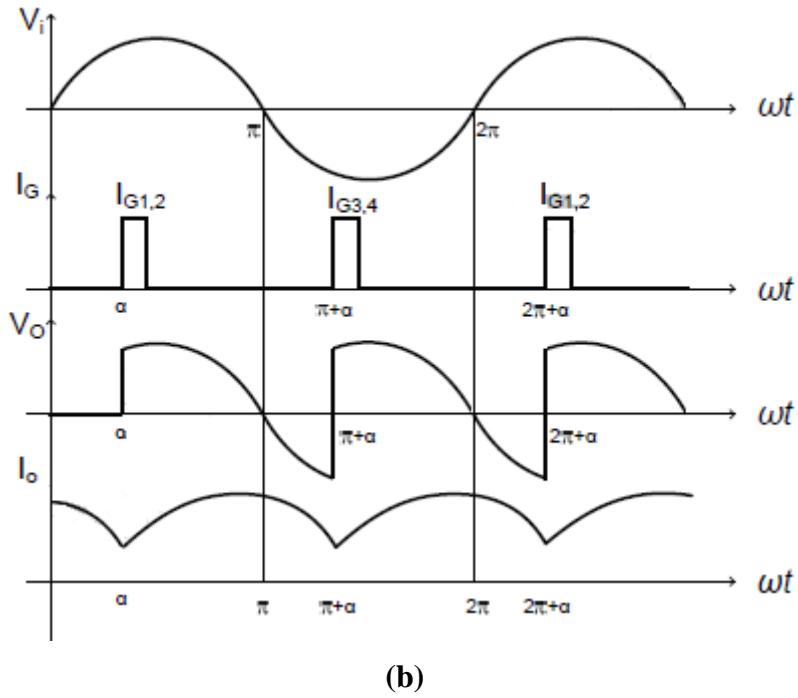
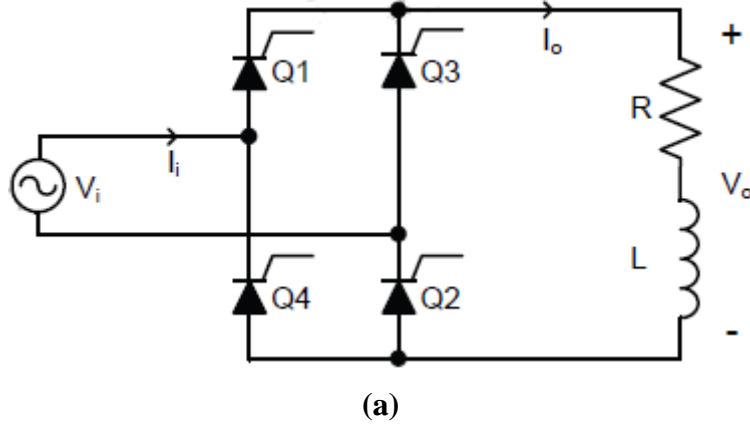
$$V_{d0} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} V_m \quad (10)$$

$$V_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_\alpha^{\pi+\alpha} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{\pi} V_m (1 + \cos \alpha) \quad (11)$$

Denklem (10), denklem (11)'de yerine konursa,

$$V_{da} = 0.45V_{i(rms)}(1 + \cos \alpha) = \frac{V_{d0}}{2}(1 + \cos \alpha) \quad (12)$$

Burada, $V_{i(rms)}$, rms giriş gerilimidir. Tetikleme açısı α 'yı, 0° 'den 180° 'e değiştirerek, ortalama çıkış gerilimi $0.9V_{i(rms)}$ 'den $0 V$ değerine kadar değiştirilebilir. Böylece, V_{da} 'nın en büyük değeri $0.9V_{i(rms)}$ olur.



Şekil 3. RL yüklü tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun devre şeması ve dalga şekilleri

Şekil 3'de, RL yüke sahip tek-faz tam-dalga kontrollü doğrultucunun devre ve dalga şekillerini göstermektedir. V_i 'nin pozitif alternansında, $\omega t = \alpha$ 'da, $Q1$ ve $Q2$ tetiklenerek ilettime geçer ve V_i , $\alpha \leq \omega t \leq \pi$ aralığında $Q1$ ve $Q2$ üzerinden yüke bağlanır. Bu sırada L endüktansı, manyetik alan formunda enerji depolar. V_i 'nin negatif alternansında, $\pi \leq \omega t \leq \pi + \alpha$ aralığında, $Q1$ ve $Q2$ iletmeye devam eder ve bu aralıkta L endüktansı depoladığı enerjiyi boşaltır. $\omega t = \pi + \alpha$ anında, $Q1$ ve $Q2$ kapalı, $Q3$ ve $Q4$ açık durumda olur.

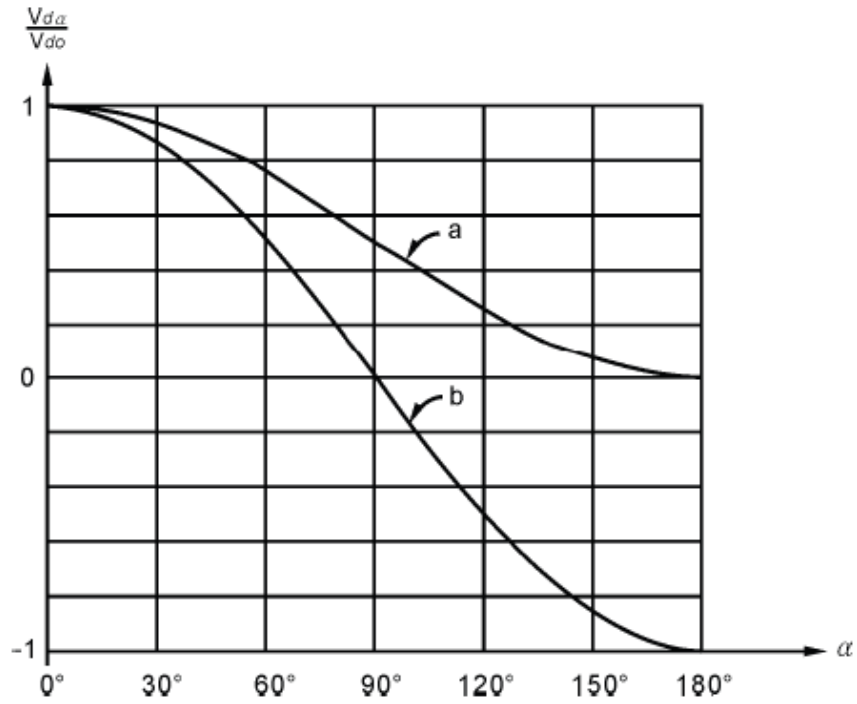
Şekil 3(b)'den, tetikleme açısı α değiştirilerek tek-faz tam-dalga kontrollü doğrultucunun ortalama çıkış gerilimi pozitif ya da negatif yapılabilir. Saf endüktif yük durumunda, yük akımı sürekli olarak değiştirilebilir ve çıkış gerilimi şu şekilde ifade edilebilir.

$$V_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} V_m \cos \alpha \quad (13)$$

Denklem (10), denklem (13)'de yerine konursa,

$$V_{d\alpha} = 0.9V_{i(rms)} \cos \alpha = V_{d0} \cos \alpha \quad (14)$$

Tetikleme açısı α 'nın, 0° 'den 180° 'e değiştirilmesiyle, ortalama çıkış gerilimi $-0.9V_{i(rms)}$ 'den $0.9V_{i(rms)}$ değerine kadar değiştirilebilir. Böylece, $V_{d\alpha}$ 'nın en büyük değeri $0.9V_{i(rms)}$ olur.



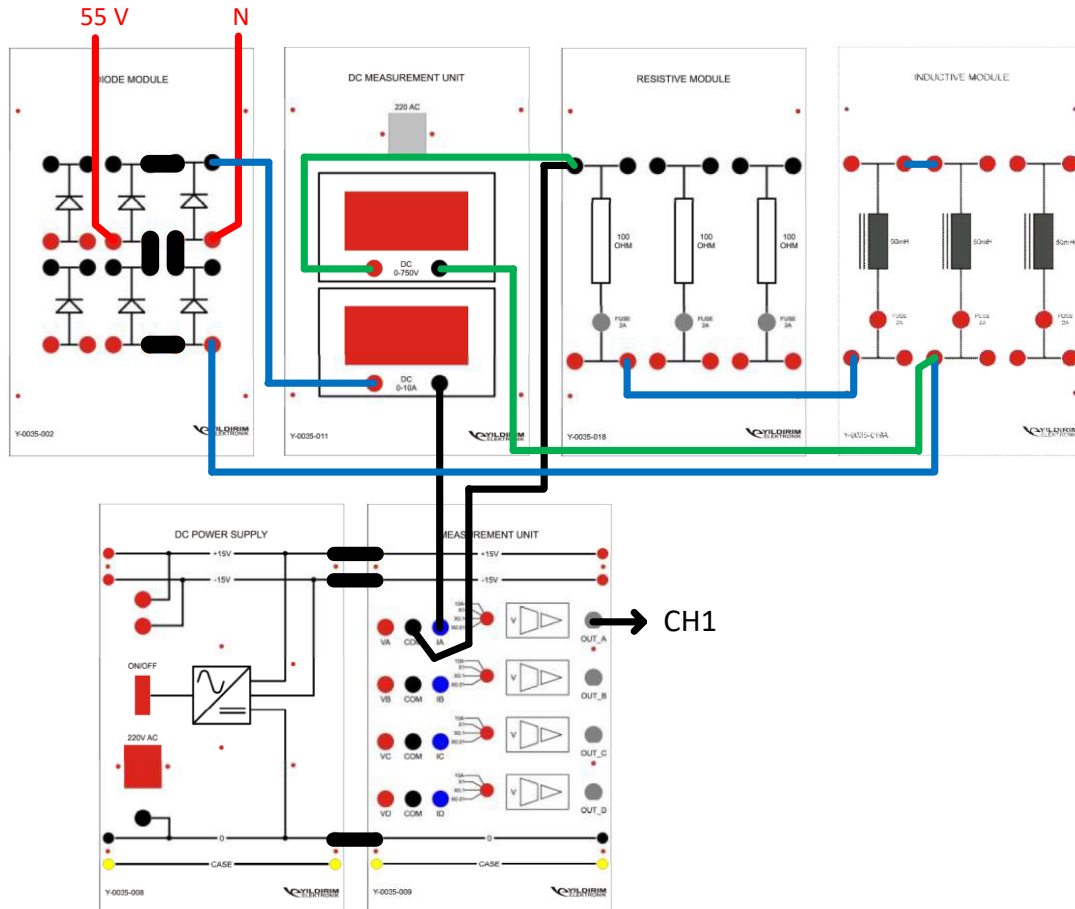
Şekil 4. Tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucunun $V_{d\alpha}/V_{d0} - \alpha$ eğrisi

(12) ve (14) denklemlerine göre, tek-fazlı tam-dalga kontrollü doğrultucuda, $V_{d\alpha}/V_{d0}$ 'ın, α tetikleme açısına göre değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. a eğrisi, saf dirençsel yüke sahip doğrultucunun karakteristik eğrisini, b eğrisi ise saf endüktif yüke sahip doğrultucunun karakteristik eğrisini göstermektedir. Endüktif yüke sahip doğrultucunun karakteristik eğrisi, a ve b eğrileri arasında yer almalıdır.

4. Deneylerin Yapılışı

4.1. Tek-Fazlı Tam-Dalga Kontrolsüz Doğrultucu

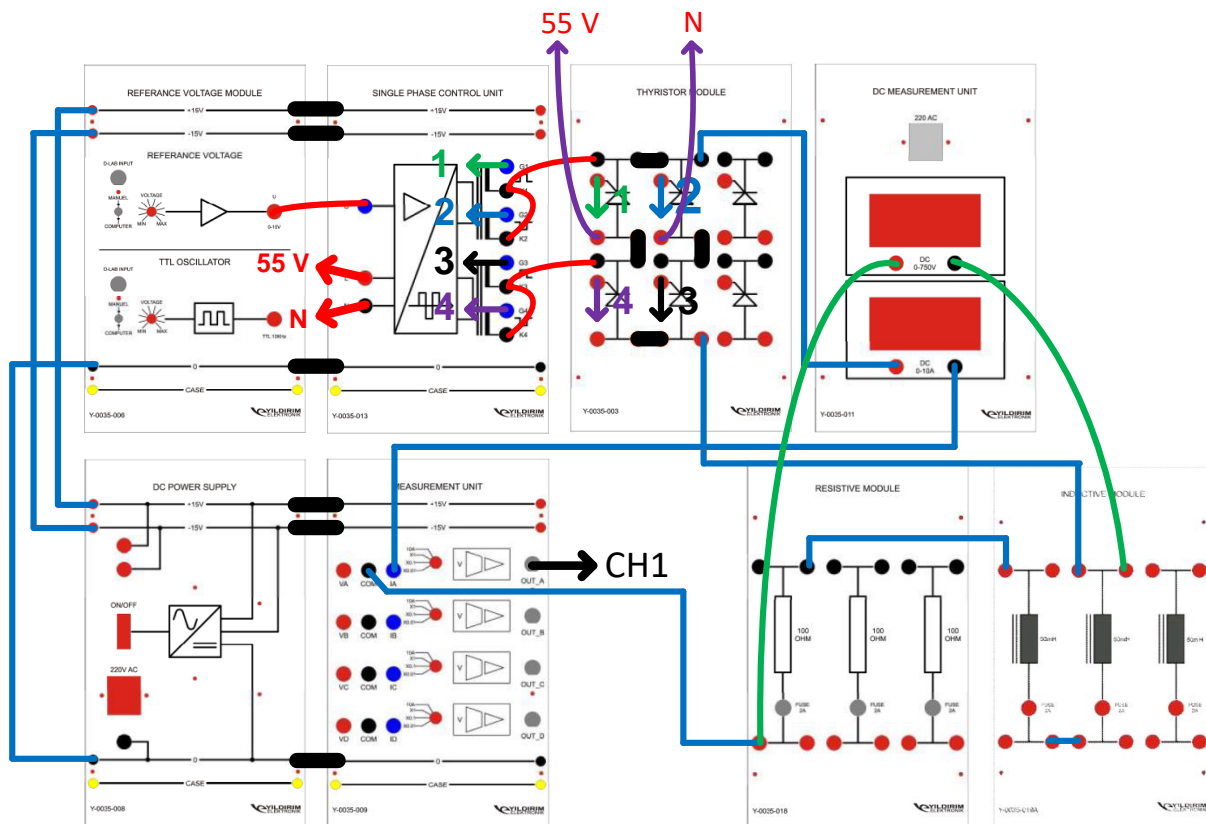
1. Bağlantı kabloları ve köprüleme klipslerini kullanarak, Şekil 5'te verilen bağlantıları yapınız. Endüktif yükün uçlarını kısa devre ediniz. Böylece devrede sadece omik yük olacaktır.
2. Doğrultma öncesi ve sonrasındaki gerilim dalga şekillerini gözlemleyebilmek için osiloskobun CH1 girişini ac kaynak gerilimini, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. *Ölçümler osiloskop ölçüm ünitesi kullanılarak yapılacaktır.* Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
3. Osiloskobun CH1 girişini yük akımını, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
4. Osiloskobun CH1 girişini $D1$ diyot gerilimini, CH2 girişini ise $D2$ diyot gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
5. Endüktif yükü devreye alınız. Osiloskobun CH1 girişini yük akımını, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.



Şekil 5. Tek-Fazlı Tam-Dalga Kontrolsüz Doğrultucu bağlantı şeması

4.2. Tek-Fazlı Tam-Dalga Kontrollü Doğrultucu (Omik Yük)

1. Bağlantı kabloları ve köprüleme klipslerini kullanarak, Şekil 6’da verilen bağlantıları yapınız. Endüktif yükün uçlarını kısa devre ediniz. Böylece devrede sadece omik yük olacaktır.
2. Doğrultma öncesi ve sonrasındaki gerilim dalga şekillerini gözlemleyebilmek için osiloskobun CH1 girişini ac kaynak gerilimini, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. ***Ölçümler osiloskop ölçüm ünitesi kullanılarak yapılacaktır.*** Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
3. Osiloskobun CH1 girişini yük akımını, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
4. Osiloskobun CH1 girişini $T1$ tristör gerilimini, CH2 girişini ise $T2$ tristör gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
5. Endüktif yükü devreye alınız. Osiloskobun CH1 girişini yük akımını, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.

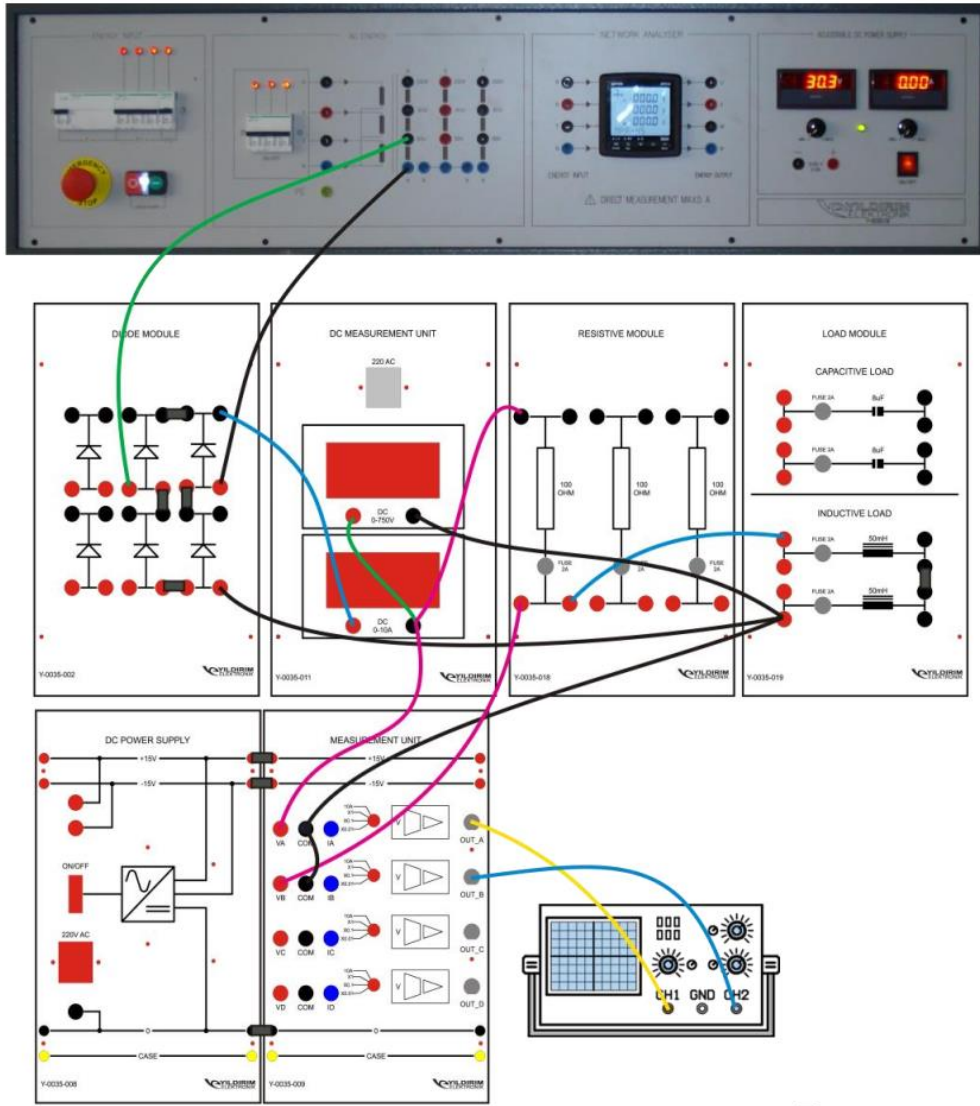


Şekil 6

4.2. Tek-Fazlı Tam-Dalga Kontrollü Doğrultucu (Endüktif Yük)

6. Bağlantı kabloları ve köprüleme klipslerini kullanarak, Şekil 7’de verilen bağlantıları yapınız. Endüktif yükün uçlarını kısa devre ediniz. Böylece devrede sadece omik yük olacaktır.
7. Doğrultma öncesi ve sonrasındaki gerilim dalga şekillerini gözlemleyebilmek için osiloskobun CH1 girişini ac kaynak gerilimini, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. *Ölçümler osiloskop ölçüm ünitesi kullanılarak yapılacaktır.* Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
8. Osiloskobun CH1 girişini yük akımını, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
9. Osiloskobun CH1 girişini $T1$ tristör gerilimini, CH2 girişini ise $T2$ tristör gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.
10. Endüktif yükü devreye alınız. Osiloskobun CH1 girişini yük akımını, CH2 girişini ise yük gerilimini ölçmek için kullanınız. Elde edilen dalga şekillerini rapor tutanağına kaydediniz.

Devreyi çalıştırarak $Y1$ kanalındaki çıkış geriliminin ve $Y2$ kanalındaki direnç geriliminin dalga şeklini çiziniz. Çıkış geriliminin ve akımının 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?



Şekil 7