

## DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

### 1. DA-DA Dönüştürücüler

#### 1.1. Deneyin Amacı

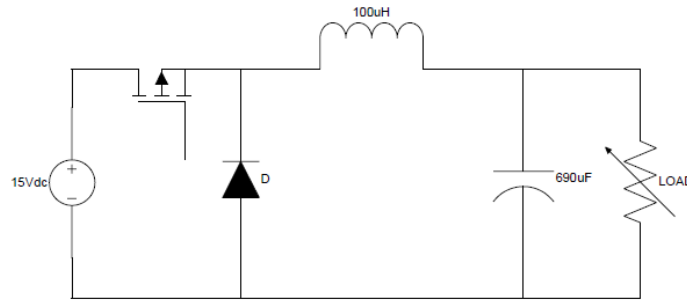
DA-DA gerilim azaltan dönüştürücü (buck converter) ve DA-DA gerilim artıran dönüştürücü (boost converter) devrelerinin davranışlarını incelemek. Bu deneyde gerilim azaltan ve gerilim artıran dönüştürücü devrelerinin kalıcı durum davranışları gözlenecektir. Darbe genişliğinin çıkış gerilimine etkisi ile birlikte yük değişiminin devre üzerindeki sonuçları ve anahtarlama frekansının dönüştürücünün verimine etkisi incelenecektir.

#### 1.2. Genel Bilgiler

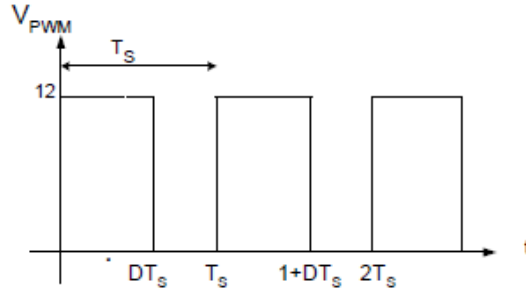
DA-DA dönüştürücüler endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman zaman doğrudan, ayarlanabilir gerilimli bir güç kaynağı uygulaması, herhangi bir uygulamada gerekli olan herhangi bir DA gerilim seviyesinin elde edilmesi ya da empedansları uyumsuz olan ardışık iki katın birbirine uydurulması vb. sebepler için kullanılırlar. Piyasada 1W seviyesinden birkaç yüz watt seviyesine kadar olan kHz seviyesinde frekanslarda anahtarlama yapan DA-DA dönüştürücüler bulunmaktadır.

#### 1.3. Gerilim Azaltan Dönüştürücünün Kalıcı Durum Devre Analizi

Şekil 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 1’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 iki ayrı modda çalışarak lineer olmayan bir yapı göstermesine sebep olur. Şimdi devrenin bu iki ayrı modunu inceleyerek gerilim azaltan dönüştürücünün giriş ile çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi bulabiliriz.

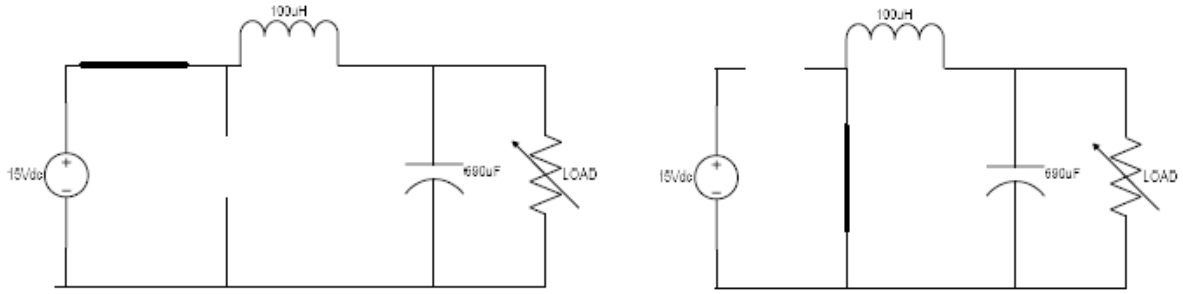


Şekil 1. Gerilim azaltan dönüştürücü devresi



Şekil 2. PWM dalga işareti

Şekil 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.



(a) Mod 1

(b) Mod 2

Şekil 3. Gerilim azaltan dönüştürücünün çalışma modları

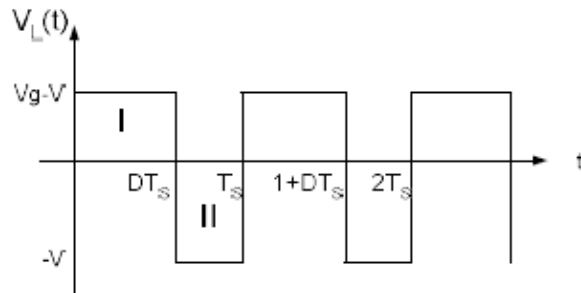
Şekilde de görüldüğü gibi mod 1'de indüktör, doğrudan çıkış ile giriş arasına bağlanmıştır. Bu durumda bu modda indüktörün uçları arasındaki gerilim giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki fark kadardır.

$$V_L = V_g - V \quad (1)$$

Şekil 3(b)'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.

$$V_L = -V \quad (2)$$

Bu durumda indüktör geriliminin dalga şekli Şekil 4'de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 4. İndüktör geriliminin değişimi

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.

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

$$[i_L(t)]_0^{T_s} = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt \Rightarrow i_L(T_s) - i_L(0) = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt \quad (3)$$

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.

$$\frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0 \Rightarrow \int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0 \quad (4)$$

Bu denklem açıkça Şekil 4’de gösterilen indüktör gerilimi dalga şeklinin altında kalan I ve II ile gösterilmiş alanlar toplamının sıfır olduğunu ifade etmektedir. Buna göre;

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

$$V_gDT_s - VDT_s - VT_s + VDT_s = 0 \quad (5)$$

$$V = DV_g$$

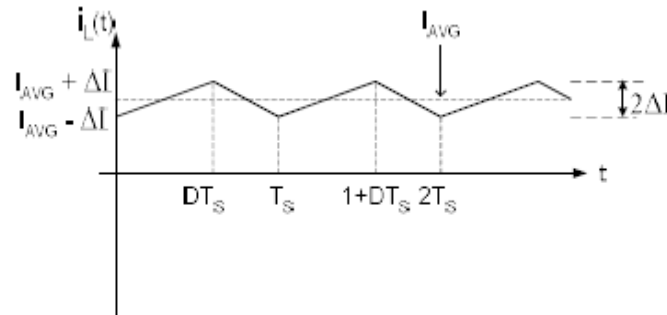
Görüldüğü gibi giriş gerilim ile çıkış gerilim arasındaki ilişkiyi indüktör volt-saniye dengesi prensibini kullanarak bulduk. Burada  $D$  darbe genişliği (duty cycle) değeri olup 0 ile 1 arasında değişmektedir. Yalnız bu ifadenin, birtakım yaklaşımlar ve varsayımlar yapılarak elde ettiğimiz bir sonuç 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 alışverişleri sebebiyle  $V + v(t)$  şeklinde  $V + \Delta V$  ile  $V - \Delta V$  arasında salınan bir değerdir. Dolayısıyla biz  $V$  değerini alarak bu  $\Delta V$  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.

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \Rightarrow \frac{V_L(t)}{L} = \frac{di_L(t)}{dt} \quad (6)$$

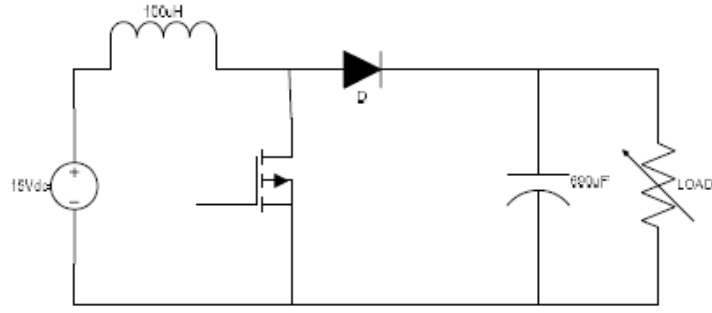
Burada  $di_L(t)/dt$  bize bobin akımının eğiminin ifadesini vermektedir. Yani bobin akımı mod 1'de  $(V_g - V)/L$  eğimiyle  $DT_s$  süresince artarken mod 2'de  $-V/L$  eğimiyle azalmaktadır. Bu değişim Şekil 5'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.** İndüktör akımının değişimi

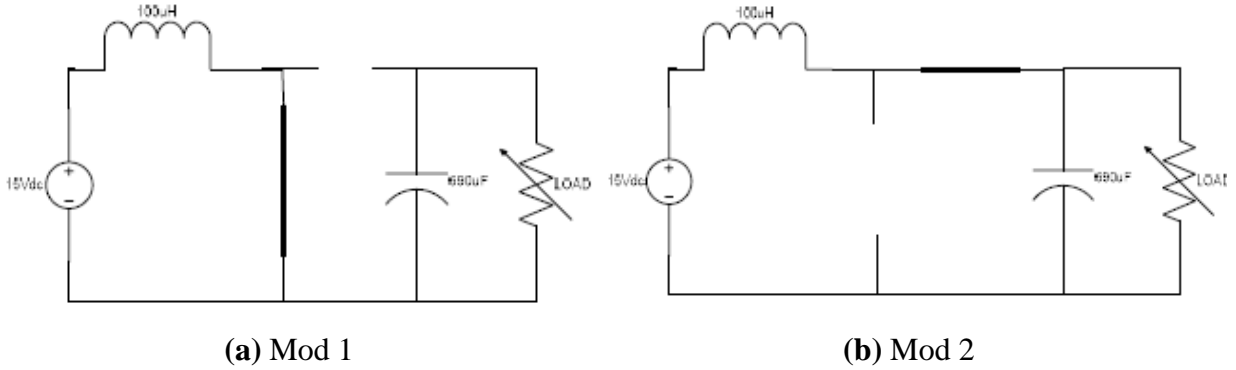
#### 1.4. Gerilim Artıran Dönüştürücünün Kalıcı Durum Devre Analizi

Şekil 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 6.** Gerilim artıran dönüştürücü devresi

Bu devre de diyotun ve transistorün iletimine göre çalışması iki moddan oluşmaktadır. Şekil 7’de bu modlar gösterilmektedir.



**(a) Mod 1**

**(b) Mod 2**

**Şekil 3.** Gerilim artıran dönüştürücünün çalışma modları

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.

$$V_L = V_g \quad (7)$$

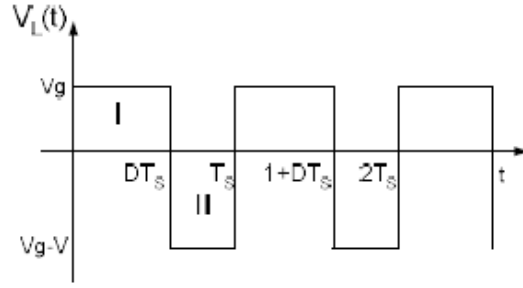
Mod 2’de transistör kesimdedir ve devre diyot üzerinden çıkışa enerji aktarmaktadır. Bu durumda bobin gerilimi giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki farka eşit olacaktır.

$$V_L = V_g - V \quad (8)$$

Buna göre bobinin terminalleri arasındaki gerilim Şekil 8’ de gösterildiği gibi olacaktır. Gerilim artıran dönüştürücüye de indüktör volt-saniye dengesi prensibini uygulayarak giriş-çıkış gerilimi ifadesini bulabiliriz. Bir önceki kısımda açıkladığımız şekliyle volt-saniye dengesi için

$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0 \quad (9)$$

durumu sağlanmalıdır. Bu da aynı şekilde indüktör gerilim dalga şeklinin altında kalan alanlar toplamıdır.



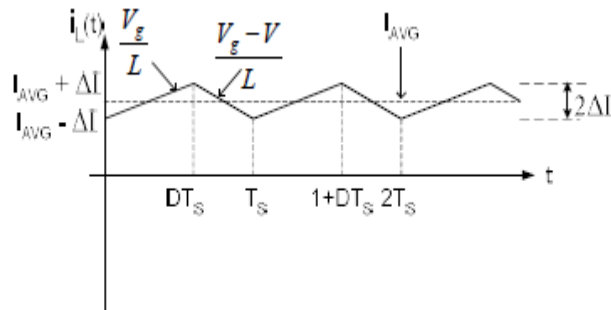
**Şekil 8.** İndüktör geriliminin değişimi

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

$$V_g DT_s + V_g T_s - VT_s - V_g DT_s + VDT_s = 0 \quad (10)$$

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

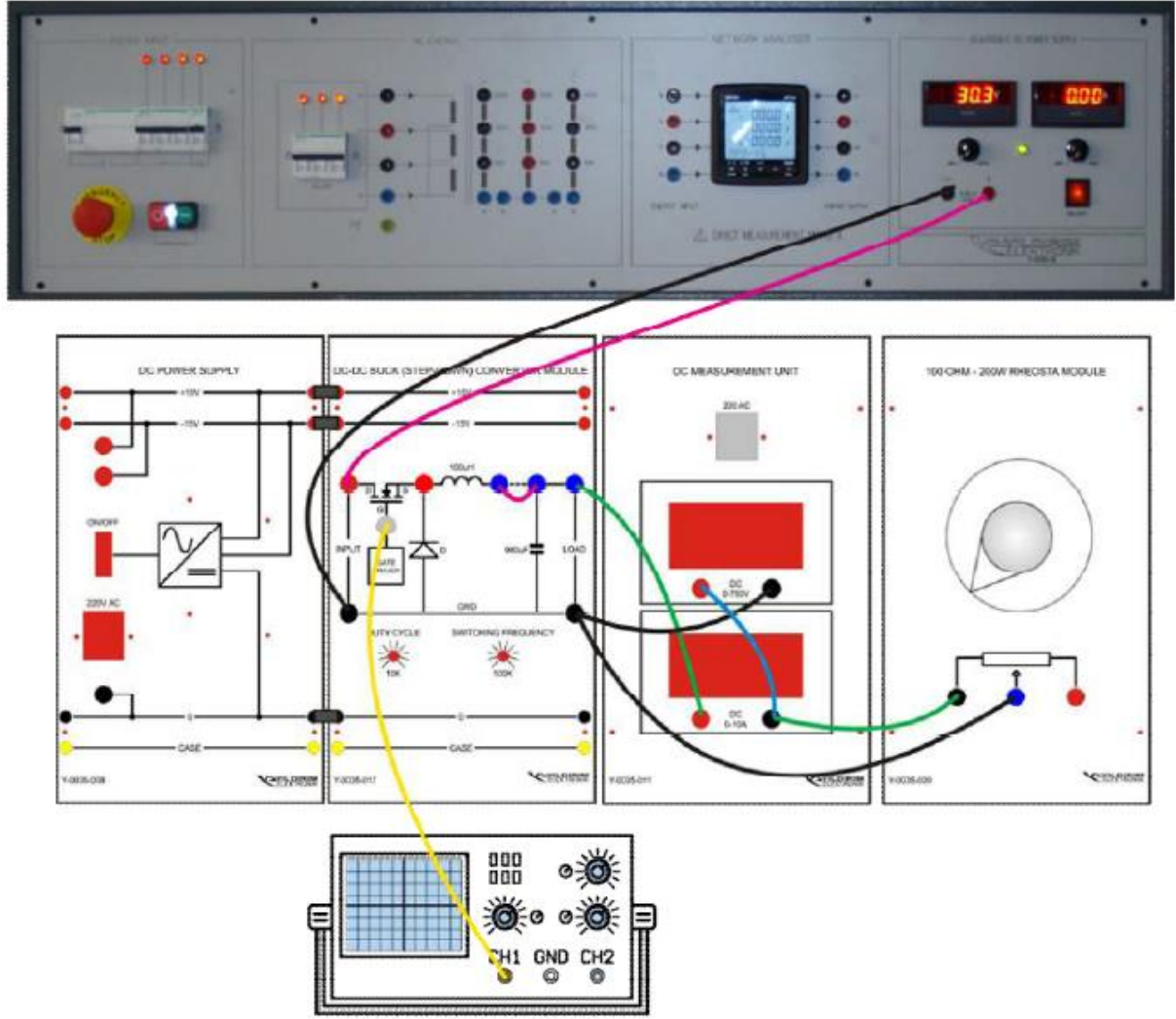
Bobin akımının eğimini yine benzer şekilde gerilimlerden hesaplayabiliriz. Buna göre mod 1’de bobin akımı  $V_g/L$  eğimiyle artacak ve mod 2’de  $(V_g - V)/L$  eğimiyle azalacaktır. Bu durum Şekil 9’da gösterilmiştir.



**Şekil 9.** İndüktör akımının değişimi

### 2. Deneylerin Yapılışı

#### 2.1. Gerilim Azaltan Dönüştürücü



Şekil 10. Gerilim azaltan dönüştürücü deneyi için bağlantı şeması

##### 2.1.1. Darbe Genişlik Etkisi

1. Şekil 10'da görülen devreyi kurunuz. Yük olarak bağlayacağınız reostayı  $100 \Omega$ 'a ayarlayınız. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz.
2. Dönüştürücünün girişine bağladığınız güç kaynağını açarak giriş gerilimini  $15 V$ 'a ayarlayınız.
3. Osiloskoptan bakıp "switching frequency" potunu kullanarak anahtarlama frekansını  $50 kHz$ 'e ayarlayınız.
4. Osiloskoptan bakıp darbe genişliğini  $0.1$ 'den  $0.9$ 'a kadar  $0.2$ 'lik adımlarla değiştirerek her adımda gerekli ölçümleri alınız.  $D = 0.1$ ,  $D = 0.5$  ve  $D = 0.9$  değerleri için kapı girişindeki kare dalga işaretini osiloskopta gözlemleyerek dalga şekillerini çizin.

**2.1.2. Anahtarlama Frekansı Etkisi**

1. Şekil 10'da görülen devreye ek olarak bobin çıkışına yani ampermetreye girmeden önce osiloskop ölçüm ünitesinin akım ölçme ucuna giriniz ve daha sonra ampermetreyi bağlayınız. Böylece bobin akımını osiloskop üzerinde gözlemleyebiliriz. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz.
2. Dönüştürücünün girişine bağladığınız güç kaynağını açarak giriş gerilimini 15 V'a ayarlayınız.
3. Darbe genişliğini 0.5'e ayarlayınız.
4. Osiloskoptan bakıp "switching frequency" potunu kullanarak anahtarlama frekansını 40 kHz'e ayarlayınız. Bobin akımı dalga şeklini çiziniz. Gerekli ölçümleri alınız.
5. Benzer işlemleri 60 kHz, 80 kHz ve 100 kHz için tekrarlayınız.

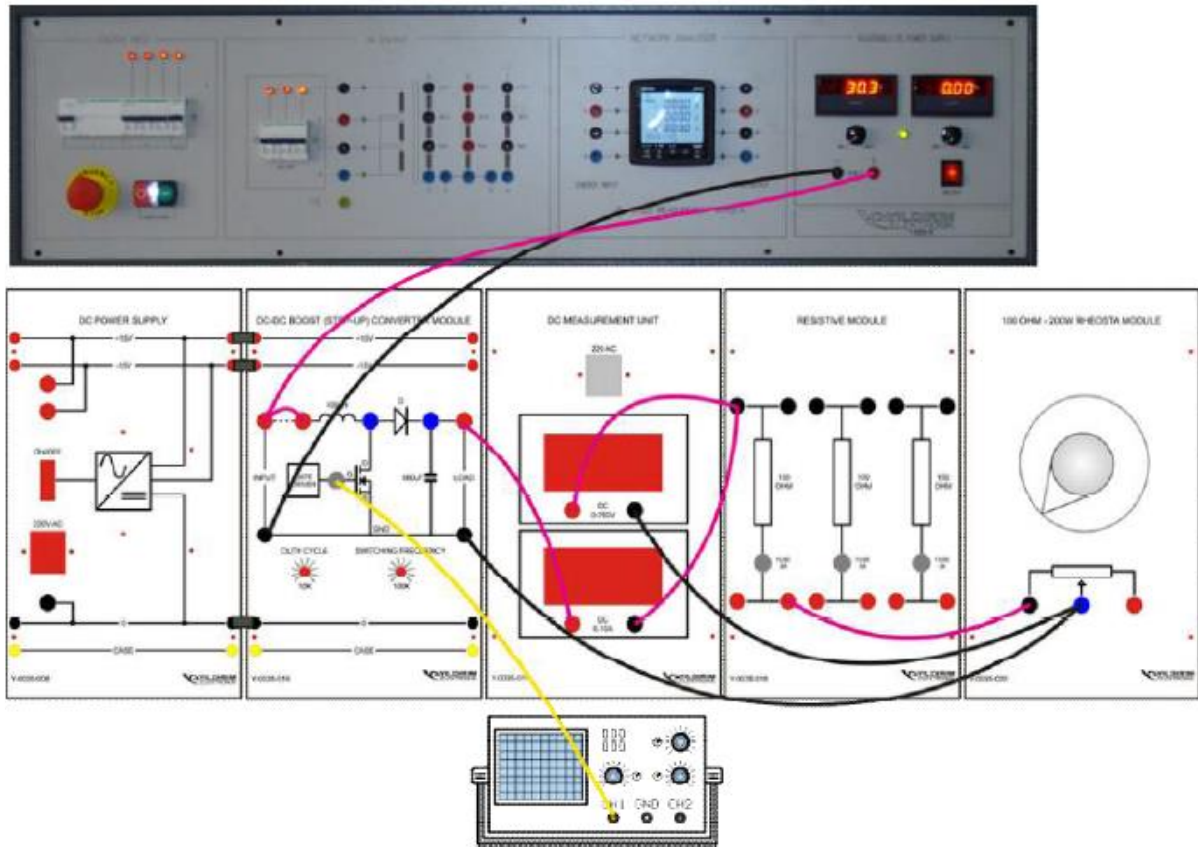
**2.1.3. Yük Etkisi**

1. Bir önceki bağlantılarda değişiklik yapmadan, yük olarak bağlayacağınız reostayı 10  $\Omega$ 'a ayarlayınız. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz.
2. Dönüştürücünün girişine bağladığınız güç kaynağını açarak giriş gerilimini 15 V'a ayarlayınız.
3. Darbe genişliğini 0.5'e, anahtarlama frekansını 100 kHz'e ayarlayınız.
4. Bu durumda ilk ölçümleri alınız.
5. Daha sonra reostayı 50  $\Omega$  ve 100  $\Omega$ 'a getiriniz ve benzer ölçümleri alınız.

**2.2. Gerilim Artıran Dönüştürücü****2.2.1. Darbe Genişlik Etkisi**

1. Şekil 11'de görülen devreyi kurunuz. Yük olarak bağlayacağınız reostayı 100  $\Omega$ 'a ayarlayınız. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz.
2. Dönüştürücünün girişine bağladığınız güç kaynağını açarak giriş gerilimini 5 V'a ayarlayınız.
3. Osiloskoptan bakıp "switching frequency" potunu kullanarak anahtarlama frekansını 50 kHz'e ayarlayınız.
4. Osiloskoptan bakıp darbe genişliğini 0.1'den 0.9'a kadar 0.2'lik adımlarla değiştirerek her adımda gerekli ölçümleri alınız.  $D = 0.1$ ,  $D = 0.5$  ve  $D = 0.9$  değerleri için kapı girişindeki kare dalga işaretini osiloskopta gözlemleyerek dalga şekillerini çiziniz.





Şekil 11. Gerilim artıran dönüştürücü deneyi için bağlantı şeması

### 2.2.2. Anahtarlama Frekansı Etkisi

1. Şekil 11’de görülen devreye ek olarak bobin girişine yani kaynağın pozitif terminalinden sonra osiloskop ölçüm ünitesinin akım ölçme ucuna giriniz ve daha sonra bobini bağlayınız. Böylece bobin akımını osiloskop üzerinde gözlemleyebiliriz. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz.
2. Dönüştürücünün girişine bağladığımız güç kaynağını açarak giriş gerilimini  $5\text{ V}$ ’a ayarlayınız.
3. Darbe genişliğini  $0.5$ ’e ayarlayınız.
4. Osiloskoptan bakıp “switching frequency” potunu kullanarak anahtarlama frekansını  $40\text{ kHz}$ ’e ayarlayınız. Bobin akımı dalga şeklini çiziniz. Gerekli ölçümleri alınız.
5. Benzer işlemleri  $60\text{ kHz}$ ,  $80\text{ kHz}$  ve  $100\text{ kHz}$  için tekrarlayınız.

### 2.2.3. Yük Etkisi

1. Bir önceki bağlantılarda değişiklik yapmadan, yük olarak bağlayacağınız reostayı  $10\ \Omega$ ’a ayarlayınız. Bağlantıları kontrol ettikten sonra devreye enerji veriniz.
2. Dönüştürücünün girişine bağladığımız güç kaynağını açarak giriş gerilimini  $5\text{ V}$ ’a ayarlayınız.
3. Darbe genişliğini  $0.5$ ’e, anahtarlama frekansını  $100\text{ kHz}$ ’e ayarlayınız.

#### **DA-DA Dönüştürücüler**

---

4. Bu durumda ilk ölçümleri alınız.
5. Daha sonra reostayı  $50\ \Omega$  ve  $100\ \Omega$ 'a getiriniz ve benzer ölçümleri alınız.