

Deney 6. Buck(Azaltan) Converter

Deneyin Amacı

DC-DC gerilim azaltan dönüştürücü (buck converter) devrelerinin davranışlarını incelemek. Bu deneyde gerilim azaltan 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. Anahtarlama elemanı olarak kullanılan mosfet ve diyotun anahtarlama karakteristikleri de gerektiği takdirde tekrar bu devreler üzerinde incelenebilir.

A. Teori

GİRİŞ

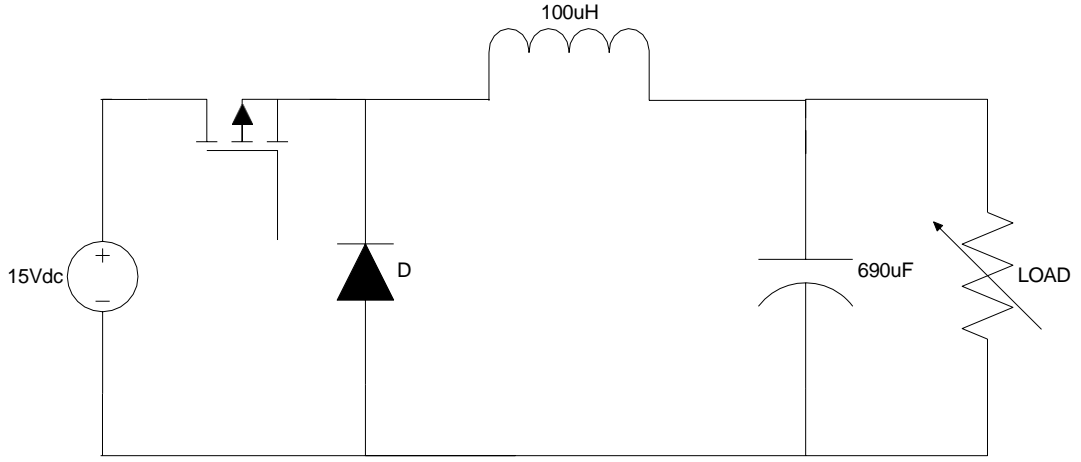
DC-DC dönüştürücüler endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman zaman doğrudan, ayarlanabilir gerilimli bir güç kaynağı uygulaması, herhangi bir uygulamada gerekli olan herhangi bir DC gerilim seviyesinin elde edilmesi , ya da empedansları uyumsuz olan ardışık 2 katın birbirine uydurulması vb. sebepler için kullanılırlar.

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

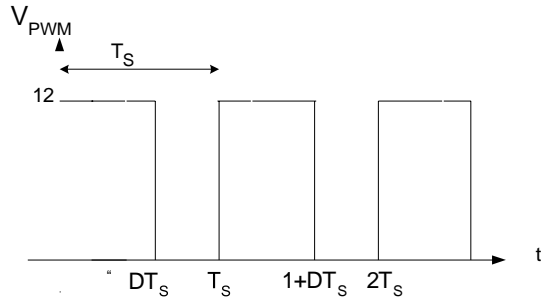
Gerilim Azaltan Dönüştürücünün Kalıcı Durum Devre Analizi

Şekil 5.1'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 5.2de 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.

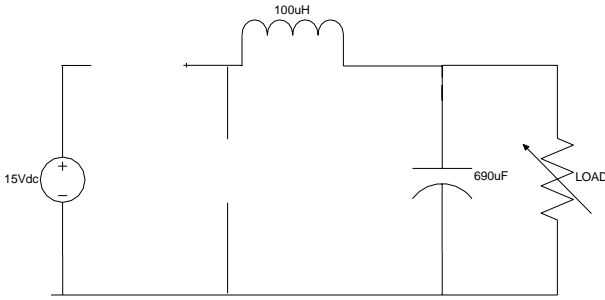


Şekil 5.1



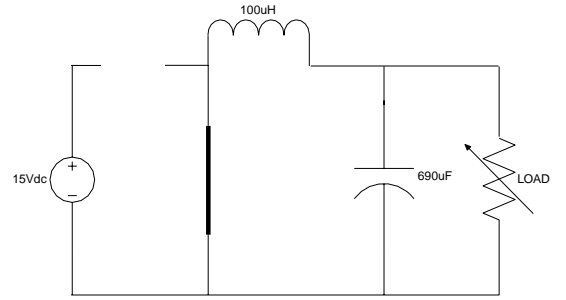
Şekil 5.2

Şekil 5.3.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

Şekil5.3a



MOD 2

Şekil 5.3b

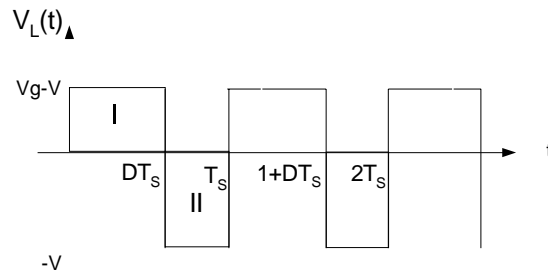
Şekilde de görüldüğü gibi mod 1'de indüktör , doğrudan çıkış ile giriş arasına bağlanmıştır. Bu durumda bu modda indüktörün uçları arasındaki gerilim giriş gerilim ile çıkış gerilimi arasındaki fark kadardır.

$$V_L = V_g - V$$

Şekil 5.3b'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 5.4'te gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 5.4

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 sifıra eşittir ve bu şekilde eşitliğin sol tarafının da sifıra 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 3'te gösterilen indüktör gerilimi dalga şeklinin altında kalan I ve II ile gösterilmiş alanlar toplamının sıfır olduğunu ifade etmektedir. Buna göre;

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

$$V_g DT_s - VDT_s - VT_s + VDT_s = 0 \rightarrow V_g DT_s - VT_s = 0$$

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

$$DV_g = V$$

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, 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 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.

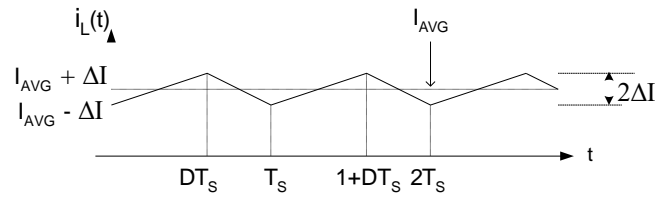
Bobin de devrede sürekli olarak enerji alışverişinde bulunan bir eleman olduğu için akımında değişimler olacaktır. Bu salınımların seviyeleri bobinin her modda maruz kaldığı gerilimler bilindiği takdirde hesaplanabilir.

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

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

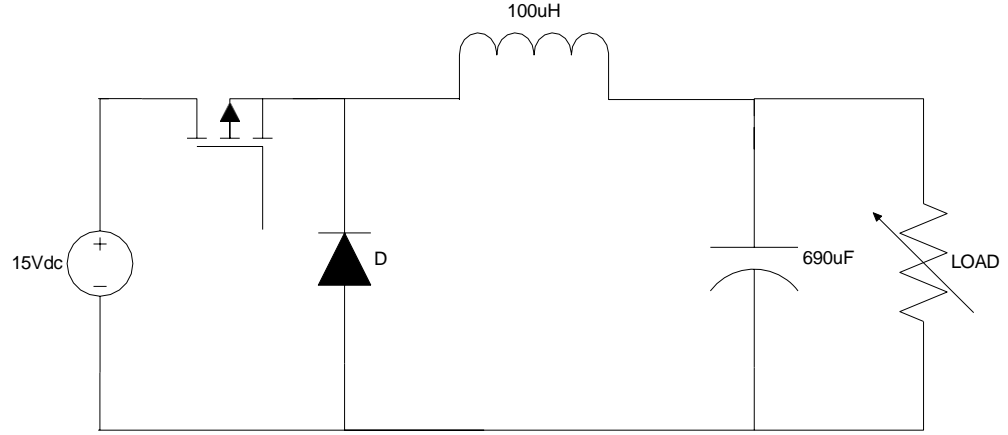
azalmaktadır. Bu değişim şekil 4'te gösterilmiştir.



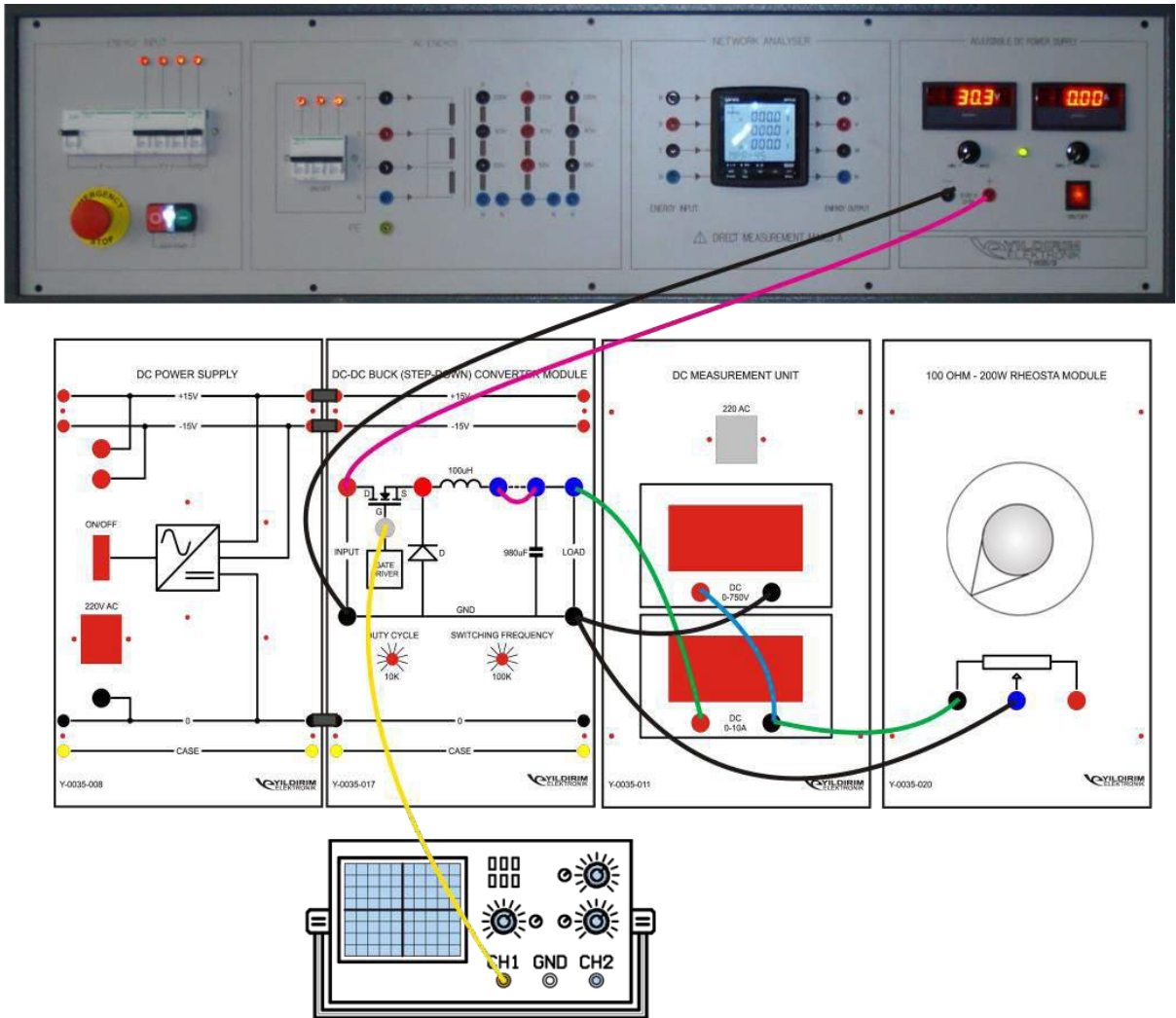
Şekil 5.5

5. 1 DC-DC Gerilim Azaltan Dönüştürücü (BUCK)

5.1.1. Darbe Genişliği Etkisi



Şekil 5.1.1



Şekil 5.1.2

Şekil 5.1.2'de görülen devreyi kurunuz. Yük olarak bağlayacağınız reostayı 100 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.

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 Gate girişindeki kare dalga işareti osiloskopta gözlemleyerek dalga şekillerinin çiziniz.

RL=100 R F=20KHz				
DUTY-CYCLE	Vin	Iin	Vout	Iout
%10	15V			
%20	15V			
%40	15V			
%60	15V			
%80	15V			

Çeşitli Duty-Cycle oranlarında akım ve gerilim değerleri
Tablo 5.1.1

5.1.2. Anahtarlama Frekansı Etkisi

Devreyi değiştirmeksizin darbe genişliğini 0.5'e ayarlayın. Yük gerilimi dalgalanmasının tepe-tepe değerini ölçünüz. Aynı işlemleri, 40kHz,60kHz, 80kHz ve 100 kHz için tekrarlayınız.

RL=100 R F=50KHz D-C =%50			
Vin	Iin	Vout	Iout
15V			
RL=100 R F=40KHz D-C =%50			
15V			
RL=100 R F=60KHz D-C =%50			
15V			
RL=100 R F=80KHz D-C =%50			
15V			

Çeşitli Ffrekans değerlerinde akım ve gerilim değerleri
Tablo 5.1.2

5.1.3. Yük Etkisi

Anahtarlama frekansını 100kHz'e , darbe genişliğini de 0.5'e ayarlayın. Yük olarak bağladığınız reostanın direncini devre süresiz akım moduna geçene kadar yavaş yavaş artırın. Çıkış geriliminin değerini ölçerek, mosfet (akaç-kaynak gerilimi) ve diyot gerilimleriyle birlikte dalga şekillerini çiziniz.

(Not: Mosfet'in akaç (drain) terminali de kaynak (source) terminalide toprakta olmadığı için bu elemanın gerilimini osiloskopta gözlerken daha dikkatli olunuz. Yanlış toprak kullanımı sigortaları attırabilir)

RL=100R F=100KHz D-C =%50			
Vin	Iin	Vout	Iout
15V			
RL=10R F=100KHz D-C =%50			
5V			

Değişik yük değerlerinde akım ve gerilim değerleri
Tablo 5.1.3

5.1.4. Verim

Anahtarlama frekansını 40kHz'e darbe genişliğini 0.5'e ayarlayınız. Yük direncini 10 ohm'a getiriniz. Giriş akımı ile, çıkış akım ve geriliminin ortalama değerlerinin ölçerek ortalama giriş ve çıkış güçlerinin hesaplayınız. Bu değerleri kullanarak dönüştürücünün bu frekanstaki verimini hesaplayınız. Aynı işlemleri 40kHz, 80kHz, 100kHz için tekrarlayınız.

Gerilim azaltan dönüştürücü için alınan bazı ölçümler aşağıda gösterilmiştir.

RL=10R F=40KHz D-C =%50			
Vin	Iin	Vout	Iout
15V			
RL=10R F=60KHz D-C =%50			
15V			
RL=10R F=100KHz D-C =%50			
15V			

Değişik frekans değerlerinde akım ve gerilim değerleri
Şekil 5.1.4

Verim bir devrede verilen güç ve alınan güç arasındaki orandır.

Yüzde olarak $n = \frac{P_o}{P_{in}} * 100$ olarak ifade edilir.

