

DA-DA Buck Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi

Design and Implementation of DC-DC Buck Converter

Satılmış ÜRGÜN¹, Tarık. Erfidan², Nasır Çoruh³

¹ Sivil Havacılık YO

Kocaeli Üniversitesi

^{2,3} Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

ncoruh@kocaeli.edu.tr, tarik@kocaeli.edu.tr, urgun@kocaeli.edu.tr

Özet

Günümüzde kullanılan güç kaynaklarında yüksek verim, küçük hacim, düşük fiyat ve sabit çıkış gerilimi gibi özelliklerin bulunması istenmektedir. Bu özellikler lineer elektronik elemanlarla sağlanamamaktadır ve bu nedenle anahtarlama güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler güç elektroniğinin farklı uygulama alanlarında geniş yer bulmaktadır. Dönüştürücü, girişindeki dalgalı DA gerilimi düşürmek ve kararlı hale getirmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada temel düşürücü tip (buck) dönüştürücü yapısının teorik analizi ele alınmış ve kontrol devresinde maliyeti düşürmek amacıyla dsPIC mikrodeneleyici kullanılmıştır.

Abstract

High efficiency, small size, low cost and constant output voltage are desired specifications for today's power supplies. These conditions can't be established with linear electronic devices so that switch mode power supplies are needed. DC-DC Buck converters are widely used for many different applications of power electronics. Input DC voltage ripples are decreased and stabilized with buck converter. In this paper, conventional buck converter structure is theoretically analyzed and decrease the cost of control circuit dsPIC microcontroller is used.

1. Giriş

Anahtarlama güç kaynaklarının sayısal kontrolü ile çalışmalar yalnızca akademisyenler tarafından değil ayrıca güç elektroniği endüstrisinde de yoğun olarak yapılmaktadır. Bu alandaki çalışmalar iki farklı alanda yoğunlaşmaktadır. Bunlardan ilkinde, kontrol yapısının DSP'lerle gerçekleştirildiği, dijital işaret işleme (DSP) temelli çözümlerdir [1-3]. DSP temelli çözümlerde asıl amaç anahtarlama güç kaynaklarının performansının artırılması için analog sistemlerle gerçekleştirilen kontrol yöntemlerinin yazılımsal olarak gerçekleştirilmesidir. Analog yöntemlerle karşılaştırıldığında kontrol yapısının basitleştirmesi,

kablolu sorunlarını ortadan kaldırılması, sistemin dışarıdan gözlemlenmesi ve kolaylıkla yeni düzenlemelerin eklenebilmesi gibi nedenlerden ötürü bu yapılar endüstriyel cihazlarda tercih edilmektedir. Fakat buna rağmen DSP yapıları analog kontrol yapılarına göre daha çok güç harcar ve daha pahalıdır.

Dönüştürücü yapılarının kontrolünde kullanılan diğer bir yapıda mikrokontrolör temelli çözümlerdir[4]. Mikrokontrolörler devre yapılarının karmaşıklığını azaltmak için uygulama alanına göre üretilmektedir. Bu nedenle DSP'lerin karmaşıklığına sahip değildir ve fiyatları da düşüktür. En büyük dezavantajı da çok yönlü olmamaları nedeniyle güç faktörünün düzeltilmesi gibi özel uygulamalarda kullanılamamalarıdır[5,6].

Bu makalede dönüştürücü yapısının kontrolünde güç elektroniği uygulamaları için geliştirilen Microchip firmasının dsPIC30F4011 kodlu mikrodeneleyicisi kullanılmıştır.

Anahtarlama güç kaynakları güç ve kontrol katı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Güç katı, giriş geriliminden istenilen genlikte çıkış gerilimi elde etmek için, yarı iletken anahtarlar ve filtre elemanlarından oluşmaktadır. Kontrol devresi ise, yarı iletken anahtarlar için gerekli olan anahtarlama işaretlerini üretmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada düşürücü tip (buck) dönüştürücü yapıları kontrol devresi ile birlikte ele alınacaktır.

Düşürücü tip dönüştürücüler, diğer dönüştürücü yapılarında olduğu gibi anahtarlama işaretini kontrol devresinden alır. Son yıllarda, özellikle anahtarlama güç kaynakları konusunda yapılan çalışmalarda, kontrol devrelerinde mikrodeneleyici kullanılmaya başlanmıştır. Bunun en büyük nedeni mikrodeneleyicilerde sayısal ve analog yapıların birlikte gerçekleştirilebilmesi ile denetimin basitleştirilmesidir. Mikrodeneleyicilerin programlanma yeteneği denetimi kolaylaştıran diğer bir önemli avantajdır.

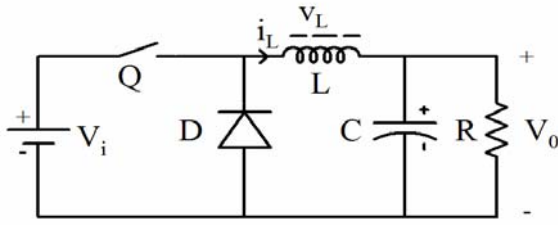
Kontrol devresi için çok farklı yapılar kullanılabilir. Bu çalışmada kontrol devresinde mikrodeneleyici olarak MICROCHIP firmasına ait mikrodeneleyiciler kullanılmıştır.

Bu denetleyicilerde analog-sayısal dönüştürücü ve PWM ara yüzleri mikrodenetleyicinin içinde bulunmaktadır.

Düşürücü tip (buck) dönüştürücü yalıtımsız DA-DA dönüştürücüler arasında çok kullanılan yapılardan bir tanesidir. Güç kaynağı tasarımcılarının düşürücü tip dönüştürücü yapılarını kullanmalarının sebebi istenilen çıkış geriliminin her zaman giriş geriliminden düşük olmasıdır. Yarı iletken anahtarın kaynak ve bobin arasına seri olarak bağlanmasından dolayı giriş akımı süreksizdir. Bunun dışında, bobinin ve kapasitenin her durumda yükü beslemesinden dolayı çıkış akımı da süreklidir [6-9].

2. Buck Da-Da Dönüştürücülerin Analizi

Şekil 1’de düşürücü tip dönüştürücü yapısının basitleştirilmiş bir şeması görülmektedir. L bobini ve C kapasitesi çıkış gerilimini filtrelemek için kullanılmaktadır. Devrede çıkış yükü R direnci ile gösterilmektedir. D diyotu genellikle serbest geçiş diyotu diye isimlendirilir.



Şekil 1. Düşürücü tip dönüştürücü.

Dönüştürücünün güç katı bobinin akımı için sürekli ya da süreksiz akım modunda çalışır. Kararlı hal için, sürekli akım modunda bobin içerisinde kesintisiz olarak akım geçişi olur. Süreksiz çalışma modunda bir periyotta bobin akımı sıfırdan başlar tepe değerine yükselir ve anahtarlama periyodu bitmeden tekrar sıfıra düşer. Pratikte dönüştürücü her iki çalışma modunda çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle dönüştürücü tasarımında her iki çalışma modunda göz önünde bulundurulması gerekir. Bu çalışmada sadece süreli akım modu göz önünde bulundurulacaktır.

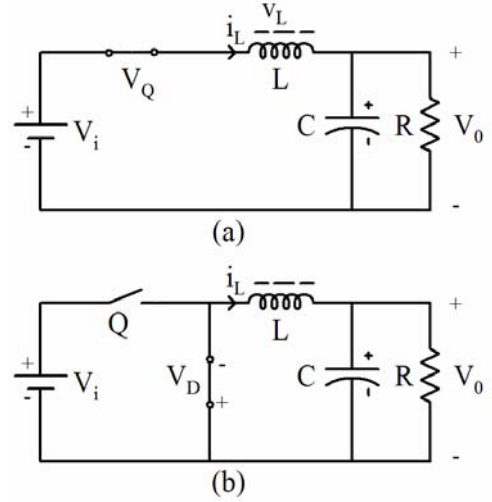
Süreli akım Modu;

Düşürücü güç katının iki farklı durumu göz önüne alınır. İlk olarak yarı iletken güç anahtarı, Q iletimde ve D1 diyotu kesimdedir. Süreksiz akım modunda ise Q kesimde ve D1 iletimdedir. Şekil 2’de basitleştirilmiş bir lineer devrede anahtar yerine eşdeğeri eklenerek bu iki durum gösterilmiştir.

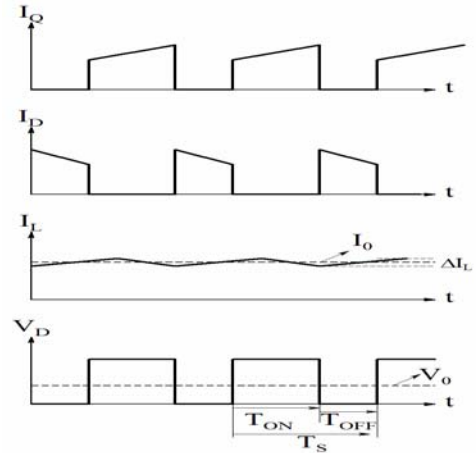
Yarı iletken anahtarın iletimde olduğu durum $D \times T_s = T_{ON}$ süresi ile ifade edilir ve burada D kontrol devresi tarafından belirlenen T_s periyodundaki iletim süresidir. Kesim süresi ise T_{OFF} sembolü ile ifade edilir.

Şekil 1 ve Şekil 2’ye göre bobin akımındaki artış uç denklemleri kullanılarak elde edilebilir.

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow \Delta I_L = \frac{V_L}{L} \Delta T \quad (1)$$



Şekil 2. Lineerleştirilmiş güç katı, (a) anahtarın iletim durumu ve (b) anahtarın kesim durumu.



Şekil 3. Sürekli çalışma modu için dalga şekilleri.

Buradan iletim durumu için bobin akımındaki yükselme aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\Delta I_L (+) = \frac{V_i - (V_Q - I_L R_L) - V_o}{L} T_{ON} \quad (2)$$

Burada R_L bobin eşdeğer devresindeki direnci, V_Q iletim durumunda yarı iletken üzerindeki gerilim düşümünü ve $\Delta I_L (+)$ bobinin akımındaki dalgalanma miktarının göstermektedir. Kesim durumu için bobin akımındaki azalma aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$\Delta I_L (-) = \frac{V_o + (V_D + I_L R_L)}{L} T_{OFF} \quad (3)$$

Burada da $\Delta I_L (-)$ bobinin akımındaki dalgalanma miktarının göstermektedir.

kullanılmıştır. Anahtarlama frekansı 100kHz seçilmiş ve farklı yük durumları ve doluluk oranları için sonuçlar alınmıştır. Devrede kullanılan malzemeler Tablo 1.'de verilmektedir.

$$V_0 = (V_i - V_Q) \left(\frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \right) - V_D \left(\frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \right) - I_L R_L \quad (4)$$

ve

$$V_0 = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T_S} \quad (5)$$

$$(1 - D) = \frac{T_{OFF}}{T_s} \quad (6)$$

eşitlikleri kullanıldığında çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde elde edilebilir

$$V_0 = (V_i - V_Q)D - V_D(1 - D) - I_L R_L \quad (7)$$

Yukarıdaki dönüşüm ilişkileri göstermektedir ki V_O çıkış gerilimi iletim süresi (D) ile belirlenmektedir. Bu nedenle çıkış gerilimi her zaman giriş geriliminden düşük olmaktadır. Genel bir basitleştirme yapmak için V_O , V_d , ve R_L değerlerinin yeterince küçük olduğu kabul edilirse çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde sadeleştirilebilir.

$$V_0 = V_i D \quad (8)$$

Devrenin çalışmasını basitçe anlayabilmek için çıkış filtresini ortalama bir şebeke gibi düşünmek gerekir. Bu geçerli bir varsayımdır çünkü şebekenin çalışma frekansı (genellikle 500Hz ve 5KHz aralığında) anahtarlama güç kaynaklarının anahtarlama frekansına (genellikle 100KHz civarı) göre çok düşüktür.

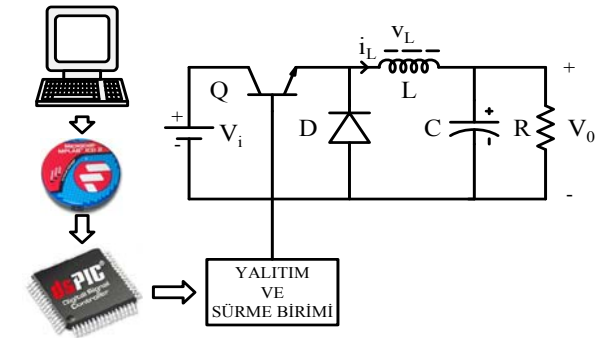
Giriş ve çıkış akımları arasındaki ilişkiyi kurabilmek için Şekil 2 ve Şekil 3'ü göz önünde bulundurmak gerekir. Buradan görüldüğü gibi bobin her bir anahtarlama periyodunda kapasiteye ve yüke akım göndermektedir. Bu nedenle, bobin içerisinde geçen akımın ortalama değeri çıkış akımının ortalama değerine eşit olacaktır. Bu ilişki aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$I_{L(avg)} = I_0 \quad (9)$$

3. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

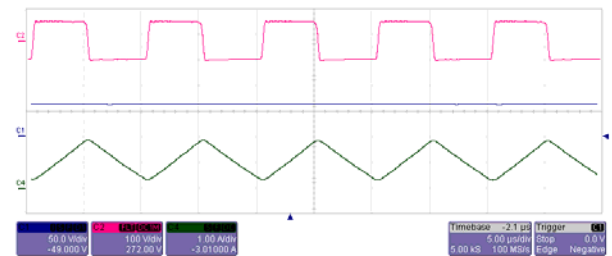
Uygulama devresinin basitleştirilmiş blok diyagramı Şekil 4 'te verilmektedir. Anahtarlama işaretlerini üretebilmek için Microchip firmasının dsPIC30f4011 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu işlemci 120MHz hıza kadar çalışabilmekte, tümleşik ADC ve PWM kanallarına sahiptir. Güç devresinin anahtarlama işaretlerini üretmek için PWM kanalı, doluluk/boşluk oranını ayarlamak içinse ADC kanalı

V _s	120V
S	G4PC40K (25 A – 600 V)
D	BYT30P60 (30 A – 600 V)
L	200μH
R	0-100Ω
C	380 μF elektrolitik 100V
F	100kHz

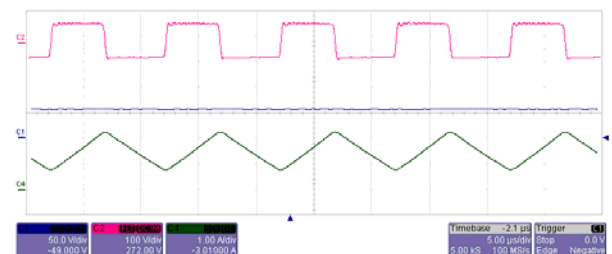


Şekil 4. Uygulama devresinin basitleştirilmiş blok şeması.

Devreden alınan deneysel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

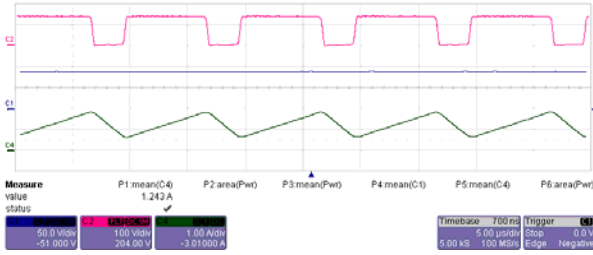


Şekil 6. 77Ω yük direnci, %50 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi

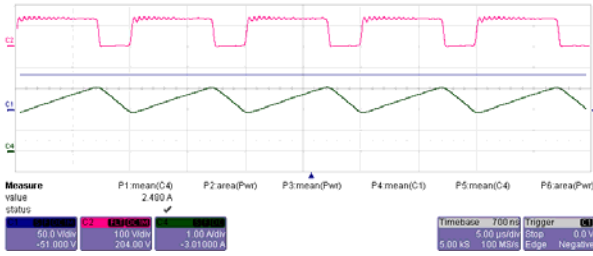


Şekil 7. 32Ω yük direnci, %50 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi.

Eşitlik 8 'e göre $V_o = 120 \cdot 0.5 = 60V$



Şekil 8. 77Ω yük direnci, %75 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi.



Şekil 9. 32Ω yük direnci, %75 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi.

Eşitlik 8 'e göre $V_o = 120 \cdot 0.75 = 90V$

Deneyisel sonuçların Eşitlik 8 'le uyumlu olması çalışmanın başarısını göstermektedir.

4. Sonuçlar Ve Öneriler

Bu çalışmada, mikrodenetleyici kontrollü buck dönüştürücü sunulmaktadır. Gerçekleştirilen güç ve kontrol devresi, yüksek anahtarlama frekansında, farklı yük durumları ve değişik doluluk oranları için çalıştırılmıştır. Bu çalışma ile, yazılımı ve donanımı gerçekleştirilen kontrol devresi düşük maliyetli ve yüksek hızlarda çalışabilmesi avantajlarından dolayı buck dönüştürücülerde kullanılması önerilmektedir. Elde edilen deneyisel sonuçların teorik analizle örtüşmesi bu çalışmanın başarısını göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Jaber A. Abu-Qahouq, Yangyang Wen, Liangbin Yao, Ehab Shoubaki, Issa Batarseh and Geoff Potter, "Digital Controller for an Isolated Half-Bridge DC-DC Converter", IEEE Applied Power Electronics Conference 2005, Vol. 2, pp. 1217-1223
- [2] Jakobsen, L.T. and Andersen, M.A.E., "Comparison of Two Different High Performance Mixed Signal Controllers for DC/DC Converters", IEEE Workshops

on Computers in Power Electronics, pp. 129 – 135, 2006.

- [3] Aleksandar Prodic and Dragan Maksimovic, "Design of a Digital PID regulator Based on Look-Up Tables for control of High-Frequency DC- DC Converters", Proceedings on Computers in Power Electronics, pp. 18 – 22, 2002
- [4] Jerry J. Zheng, Anatoly Shteynberg, Dongshen Zhou and Jim McCreary, "A Novel Multimode Digital Control Approach for Single-stage Flyback Power Supplies with Power Factor Correction and Fast Output Voltage Regulation", IEEE Applied Power Electronics Conference 2005, vol. 2, pp. 830 – 836
- [5] Uran, S., ve Milanovic, M., "Advanced control of buck converter", IEEE International Conference on Industrial Technology, 1, 602-607, 2003.
- [6] Veerachary, M., "Modelling and analysis of cascade step-down Converters", Electric Power Applications, 152, 41-50, 2005.
- [7] Oliva, A. R., Ang, S. S., ve Bortolotto, G. E., "Digital Control of a Voltage-Mode Synchronous Buck Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 21, 157-163, 2006.
- [8] Nagaraja, H. N., Kastha, D., ve Patra, A., "Magnetic Component based Analysis for Multiphase DC-DC Buck Converter", IEEE International Conference on Industrial Technology, 138-143, 2006.
- [9] He, M., Xu, J., Chen, N., ve Zhou, G., "Analysis of Buck Converter with Improved Digital Peak Voltage Control Technique", IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 1238-1243, 2007.