

DA-DA Boost Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi

Design and Implementation of DC-DC Boost Converter

Nasır Çoruh¹, Tarık Erfidan², Satılmış Ürgün³

^{1,2} Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
³ Sivil Havacılık YO
Kocaeli Üniversitesi

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

Özet

DA-DA yükseltici(boost) dönüştürücüler endüstri uygulamalarında geniş olarak yer almaktadır. Da-Da dönüştürücüler üzerine yapılan araştırmaların çoğu, en iyi anahtarlama yönteminin ortaya konması üzerine yoğunlaşmıştır. Son 10 yıl boyunca güç elektroniğinde sayısal kontrol yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Performanslarındaki yükselme ve maliyetin azalması sayısal kontrol devrelerinin güç dönüştürücü devrelerine uygulanmasını mümkün hale getirmiştir. Bu çalışmada, temel yükseltici tip dönüştürücünün teorik analizi gerçekleştirilmiştir. Kontrol devre maliyetinin azaltılması için dsPIC mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Abstract

Dc-dc boost converters are widely used in industrial applications. Many researches on dc-dc converters concentrate on looking for the best control method. During last decade, digital control in power electronic has been intensively used. The increasing performance and cost reduction of digital circuits has made possible their application for power converters control. In this paper, conventional boost converter structure is theoretically analyzed and. decrease the cost of control circuit dsPIC microcontroller is used.

1. Giriş

Günümüzde Da-Da dönüştürücüler ve kontrolleri yaygın bir şekilde araştırılmaktadır [1]. Analog denetim yapıları oldukça yüksek performans vermesine rağmen, üzerinde değişiklik ve geliştirme yapılamaması nedeniyle yerlerini artık sayısal denetim yapılarına bırakmışlardır. Sayısal sistemler, kontrol programının kolaylıkla güncellenebilmesi, düşük gürültü hassasiyeti, harici birimler olmadan programlanabilmesi ve sistemin gözlenebilmesi için gerekli haberleşme protokollerini (RS232, RS485, SPI, ..) içermesi nedeniyle tercih edilirler. Sayısal yapıların ilkinde, kontrol yapısının DSP'lerle gerçekleştirildiği, dijital işaret işleme (DSP)

temelli çözümlerdir. Bu çözüm çok hızlı çalışması ve birçok birim içermesi yanında pahalı olması nedeniyle endüstriyel uygulamalarda tercih edilmemektedir. Mikrodenetleyici düşük maliyetli ve ihtiyaçlara uygun çevre birimlerine sahip olması alternatif bir çözümdür [1-4].

Bu çalışmada dönüştürücü yapısının kontrolünde güç elektroniği uygulamaları için geliştirilen Microchip firmasının dsPIC30F4011 kodlu mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

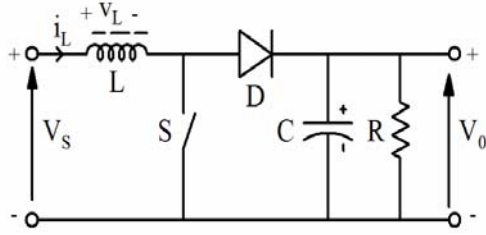
Anahtarlama güç kaynakları, güç ve kontrol katı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Güç katı, giriş geriliminden istenilen genlikte çıkış gerilimi elde etmek için, yarı iletken anahtarlar ve filtre elemanlarından oluşmaktadır. Kontrol devresi ise, yarı iletken anahtarlar için gerekli olan anahtarlama işaretlerini üretmek için kullanılmaktadır.

Yükseltici tip dönüştürücüler, diğer dönüştürücü yapılarında olduğu gibi anahtarlama işaretini kontrol devresinden alır. Son yıllarda, özellikle anahtarlama güç kaynakları konusunda yapılan çalışmalarda, kontrol devrelerinde mikrodenetleyici kullanılmaya başlanmıştır [5-8]. Bunun en büyük nedeni mikrodenetleyicilerde sayısal ve analog yapıların birlikte gerçekleştirilmesi ile denetimin basitleştirilmesidir. Mikrodenetleyicilerin programlanma yeteneği denetimi kolaylaştıran diğer bir önemli avantajdır.

Kontrol devresi için çok farklı yapılar kullanılabilir. Bu çalışmada kontrol devresinde mikrodenetleyici olarak MICROCHIP firmasına ait mikrodenetleyiciler kullanılmıştır. Bu denetleyicilerde analog-sayısal dönüştürücü ve PWM ara yüzleri mikrodenetleyicinin içinde bulunmaktadır.

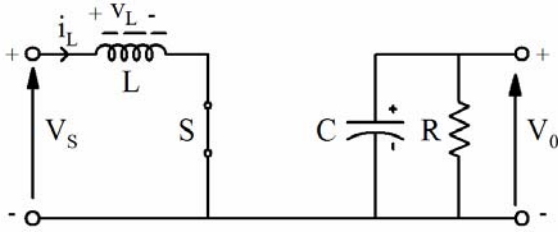
2. Yükseltici Tip Da-Da Dönüştürücülerin Analizi

İdeal bir yükseltici tip dönüştürücü yapısı Şekil 1'de görüldüğü gibi yarı iletken anahtar, diyot, bobin ve kapasite elemanlarından oluşmaktadır.



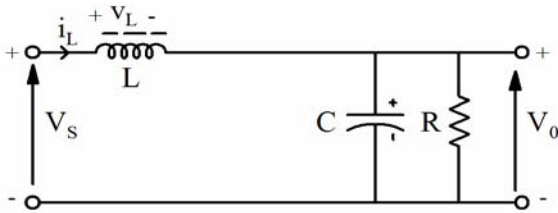
Şekil 1. Yükseltici tip DA-DA dönüştürücü yapısı.

Şekil 1’de gösterilen devrenin kontrol mekanizması, yarı iletken güç anahtarının iletme ve kesime götürülmesine göre gerçekleştirilmektedir. Anahtar iletme götürüldüğünde bobin içerisinde geçen akım artar ve bobin üzerinde enerji depolanmaya başlar. Anahtar kesime götürüldüğünde, bobin içerisinde geçmekte olan şarj akımı D diyotu üzerinden C kapasitesine ve yüke doğru akmaya başlar. Bobin, enerjisini deşarj eder ve bobin üzerindeki gerilimin polaritesinin yönü gerilim kaynağının polaritesi ile aynı olur ve D diyotu üzerinden yüke bağlanır. Böylece çıkış geriliminin seviyesi yükseltilmiş olur. Böylece D diyotu da kesime gider ve devre Şekil 2’de görüldüğü gibi iki farklı parçaya bölünür. RC devresinin zaman sabitinin anahtarlama periyodundan çok büyük olduğu sürece çıkış gerilimi sabit kalır.



Şekil 2. Yarıiletken anahtarın iletim durumu.

Yarıiletken anahtarın kesim durumunu gösteren devre Şekil 3’te gösterilmektedir. Bu durumda yük kaynak üzerinden beslenir.



Şekil 3. Yarıiletken anahtarın kesim durumu.

Analiz için, ilk olarak devre elemanlarının ideal olduğu kabul edilir. Buna göre,

Anahtar iletimdeyken üzerindeki gerilim düşümü sıfırdır, iletme ve kesime giderken akım ve gerilimde çakışmalar

oluşmamaktadır. Diyot iletimdeyken üzerindeki gerilim düşümü sıfırdır. Bobin ve kapasite kayıpsızdır.

Devrenin çalışması periyodik olarak gerçekleşmektedir. Yani, bobin içerisinde geçen akım periyodiktir ve anahtarlama periyodunun başındaki ve sonundaki değerleri aynıdır.

Yarı iletken anahtarın iletimi ve kesimi sabit frekansta yapılmaktadır ve bu frekans değeri T periyodunu belirler. İletim oranı D ile ifade edilir ve iletim süresi DT değerine eşit olur. Anahtarın kesimde olduğu süre ise (1-D)T ile ifade edilir.

Bobin akımı sürekli ve sıfırdan büyüktür.

Kapasite yeterince büyük kabul edildiği için RC zaman sabiti çok büyük olur. Bu nedenle, iletim ve kesim durumlarındaki kapasite üzerindeki gerilim değişimleri ihmal edilebilir.

Gerilim kaynağı V_s sabittir.

2.1. Anahtar İletimdeyken Bobin İçerisinden Geçen Akım

Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre Şekil 2’ de gösterildiği gibi olur. Gerilim kaynağı bobini besler ve bobin akımının yükselme oranı V_s kaynağına ve L değerine bağlı olarak aşağıdaki gibi değişir.

$$L \frac{di_L}{dt} = v_s(t) \quad (1)$$

Eğer gerilim kaynağı sabit ise bobin akımının yükselme oranı pozitif ve sabittir. Böylece bobin doyuma gitmez. Bu ifade aşağıdadır.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_s}{L} \quad (2)$$

Yarı iletken anahtar bir anahtarlama periyodundaki DT aralığı boyunca iletimde kalır ve DT aralığı Δt şeklinde ifade edilebilir. Anahtarın iletim durumunda, bobin akımındaki net yükselme miktarı aşağıdadır.

$$\Delta i_L = \frac{V_s}{L} (DT) \quad (3)$$

2.2 Anahtar Kesimdeyken Bobin İçerisinden Geçen Akım

Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre Şekil 3’ de gösterildiği gibi olur. Bu durumda bobin üzerindeki gerilim aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$v_L = V_s - V_o \quad (4)$$

Çıkış geriliminin kaynak geriliminden yüksek olduğu durumda ($V_o > V_s$) bobin üzerindeki gerilimin ve akan akımın yönü aşağıdaki ifade ile negatif olur.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (5)$$

Anahtar kesime götürüldüğünde aralık $(1-D)T$ ile ifade edilir ve bobin içerisinden geçen akım aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\Delta I_L = \frac{V_s - V_o}{L} (1-D)T \quad (6)$$

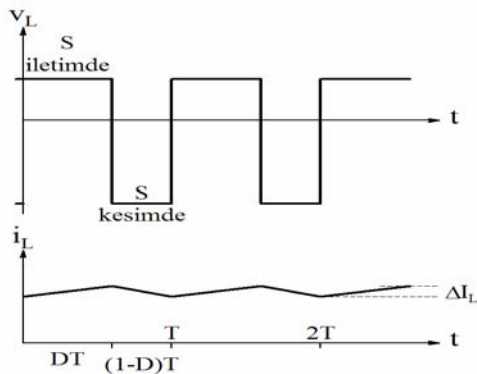
Bir periyottaki akımın net değişimi sıfır olduğundan, eşitlik 3 ve eşitlik 6'nın toplamı sıfır olur. Buna göre;

$$\frac{V_s}{L} DT + \frac{V_s - V_o}{L} (1-D)T = 0 \quad (7)$$

Bu ifadenin sadeleştirilmesi ile aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (8)$$

D değeri $0 < D < 1$ aralığında değişmektedir ve Eşitlik 8'den de görüleceği gibi çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olmaktadır. Böylece, bu devre yükseltici tip dönüştürücü olarak adlandırılır. Çıkış gerilimi en düşük değerini $D=0$ durumunda alır ve çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit olur. Doluluk oranı 1 olduğunda çıkış gerilimi sonsuz olmak isteyecektir. Bu nedenle uygulamalarda D değeri $0.1 < D < 0.9$ aralığında seçilir.



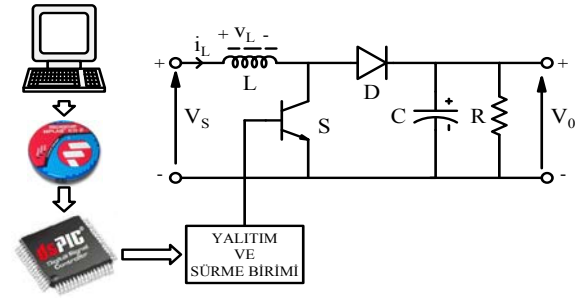
Şekil 4. Bobin gerilimi ve akımı.

Bobin üzerindeki gerilim ve akım değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu değişimler çıkış ve giriş gerilimlerinin kararlı olduğu göz önüne alınarak çizilmiştir.

3. Deneysel Çalışma Ve Sonuçlar

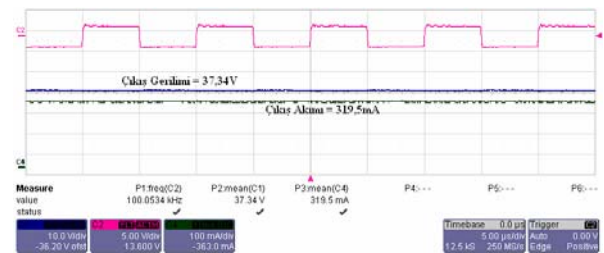
Şekil 5 'te uygulama devresinin basitleştirilmiş blok diyagramı verilmiştir. Anahtarlama işaretlerini üretebilmek için Microchip firmasının dsPIC30f4011 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu işlemci 120MHz hızına kadar çalışabilmekte, tümleşik ADC ve PWM kanallarına sahiptir. Güç devresinin anahtarlama işaretlerini üretmek için PWM kanalı, doluluk/boşluk oranını ayarlamak içinse ADC kanalı kullanılmıştır. Anahtarlama frekansı 100kHz seçilmiş ve farklı yük durumları ve doluluk oranları için sonuçlar alınmıştır. Devrede kullanılan malzemeler Tablo 1.'de verilmektedir.

V_s	20V
S	IRF510 (5 A – 100 V)
D	MUR415 (4 A – 150 V)
L	120μH
R	0-100Ω
C	100 μF elektrolitik 100V
F	100kHz

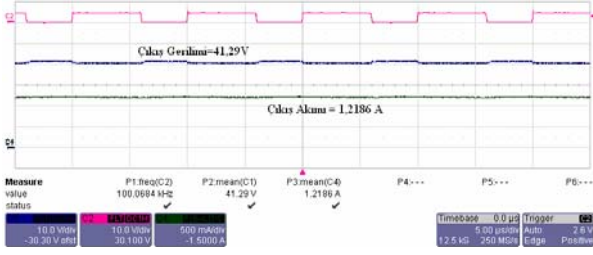


Şekil 5. Uygulama devresinin basitleştirilmiş blok şeması.

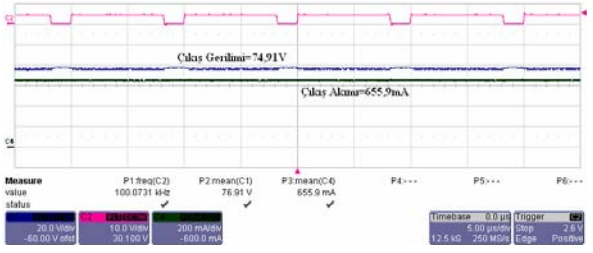
Devreden alınan deneysel sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 100Ω yük direnci, %50 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi



Şekil 7. 30Ω yük direnci, %60 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi



Şekil 8. 100Ω yük direnci, %80 doluluk için anahtarlama işareti, çıkış gerilim ve akımının zamana bağlı değişimi

4. Sonuçlar Ve Öneriler

Bu çalışmada, mikrodenetleyici kontrollü Boost 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 boost dönüştürücülerde kullanılması önerilmektedir. Elde edilen deneysel sonuçların teorik analizle örtüşmesi bu çalışmanın başarısını göstermektedir.

5. 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", Computers in Power Electronics, 2002. Proceedings. 2002 IEEE Workshop on 3-4 June 2002, pp. 18 - 22
- [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] Natarajan, K., and Qiu, J., Sampled-data Modeling of PWM Boost Converters in Continuous and Discontinuous Inductor Current Modes, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 247-250. 2006.
- [6] Xudong Huang, Nergaard, T., Jih-Sheng Lai, Xingyi Xu, and Lizhi Zhu, A DSP based controller for high power interleaved boost converters, *Eighteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC '03*, 327 – 333, 2003.
- [7] Wang, J., Dunford, W.G., and Mauch, K., A comparison of modified boost converters with continuous inductor current mode and ripple free input current with conventional converters, *Industry Applications Conference IAS '96*, 2, 878 – 885, 1996.
- [8] Hasaneen, B. M and Mohammed, A. A. E., "Design and Simulation of DC/DC Boost Converter", *International Middle-East Power System Conference MEPCON 2008*, 335 – 340, 2008