

ÇİFT ANAHTARLI BUCK-BOOST ÇEVİRİCİ BENZETİMİ

İlhan GARİP*, Necmi ALTIN, İbrahim SEFA

GEMEC-Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü,
06500 Beşevler Ankara

Özet

Buck-boost çeviriciler, giriş gerilim değerinin değişken olduğu ve bu değer çıkış gerilimine göre düşük ve yüksek olabileceği uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çeviricilerdeki güç elemanları üzerindeki gerilim stresi ve manyetik elemanların boyutları sadece buck veya sadece boost işlemi yapan çeviricilere göre daha yüksektir. Bu çalışmada kesintisiz güç kaynağındaki akü grubunu şarj etmek amacıyla kullanılan kaskat bağlı bir buck-boost çeviricinin MATLAB/Simulink'de benzetim çalışmaları yapılmıştır. Çift anahtarlı buck-boost çevirici kullanılarak elemanların gerilim stresinin ve enerji depo edebilen elemanlarının boyutları azaltılmıştır. Çeviricide akım ve gerilim olmak üzere iki kontrol döngüsü içeren bir denetleyici kullanılmıştır. Geliştirilen bu denetleyici ile akünün durumuna bağlı olarak çevirici sabit akım veya sabit gerilim durumlarından uygun olan birisi ile kontrol edilmektedir. Bu durumlar akülerin tamamen boş olması halinde sabit akım ve şarj akım limiti aşılmadığında ise sabit gerilim değerlerinde sarj durumları olarak açıklanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buck-boost çevirici, sabit akım kontrolü, sabit gerilim kontrolü

THE SIMULATION OF THE DUAL SWITCH BUCK-BOOST CONVERTER

Abstract

Buck-boost converters have been widely used in variable supply voltage applications when the output voltage level may be lower or higher than the supply voltage level. Voltage stress on the components of this converters and sizes of the magnetic components are higher than the buck or boost converters. In this study, simulation of a buck-boost converter used in uninterruptible power supply applications for charging the batteries has been carried out with MATLAB/Simulink. The voltage stresses on components and the sizes of energy storing elements are reduced using a dual switch buck-boost converter. The proposed converter has been controlled by a cascaded controller which includes a current controller and a voltage controller. So that, proposed converter can be operated either in constant current mode or constant voltage mode according to the batteries situations. These modes can be expressed as constant current mode when the batteries are fully discharged and constant voltage mode when the charge current is in limits.

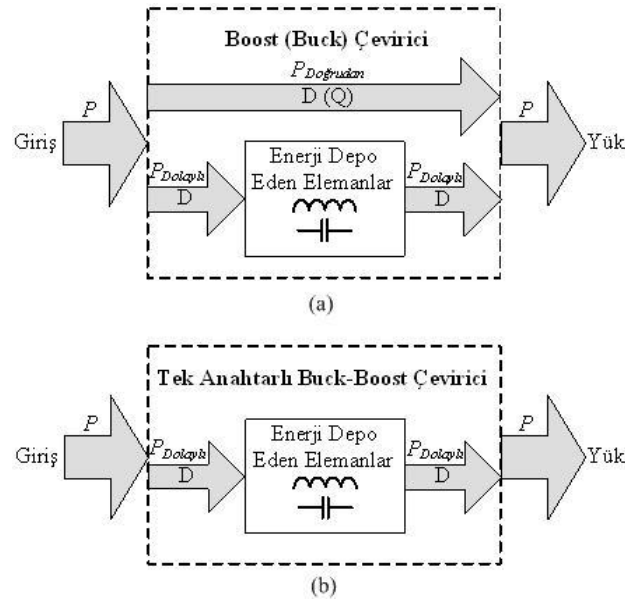
Key Words: Buck-boost converters, current controller, voltage controller

* E-posta: milhangarip@hotmail.com

1. Giriş

Çıkış gerilimini hem azaltabilen hem de yükseltebilen buck-boost, sepic, cuk gibi tek anahtarlı çeviriciler giriş ve çıkış geriliminin büyük oranda değişken olduğu akü şarj sistemleri, aktif güç faktörü düzeltme devreleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-7]. Şebeke geriliminin ve deşarj sonu gerilim değerinin büyük oranlarda değişebileceği kesintisiz güç kaynaklarının (KGK) akü şarj devrelerinde bu tip çeviriciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek anahtarlı gerilimi azaltıp yükseltebilen çeviricilerde devre elemanları üzerindeki akım ve gerilim stresi ve enerji depo eden elemanların boyutları, giriş gerilimi sadece azaltabilen buck ve giriş gerilimini sadece yükseltebilen boost çeviricilere göre önemli miktarda yüksektir. Buck ve boost çeviricilerde yüke aktarılan güç Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi direkt (P_{direkt}) ve enerji dapo eden elemanlar üzerinden dolaylı ($P_{dolaylı}$) olarak olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Çevirici tarafından yüke direkt aktarılan gücün toplam güce oranı yükseldikçe, çevirici elemanlarının gerilim stresi ve enerji depo eden elemanların boyutları azalır ve çevirici verimi artar [2-11]. Şekil 1(b)'de gösterildiği gibi tek anahtarlı buck-boost, sepic ve cuk çeviricilerde yüke aktarılan direkt güç sıfırdır ve gücün tamamı anahtarlama elemanları tarafından işlenerek yüke aktarılır. Bu özellik elemanların gerilim stresini ve enerji depo eden elemanların boyutlarının artmasına neden olur.

Paralel bağlı çevirici tasarımları ile akım paylaşımı, çok seviyeli çeviriciler ile de gerilim stresinin azaltılması sağlanabilir de bu tasarımlar hem akım hem de gerilim stresinin azaltılması için kullanılamazlar [3]. KGK'larda aküleri şarj etmek için doğrultucu çıkışındaki DA gerilim seviyesine bağlı olarak buck veya boost çevirici kullanılabilir de, şebeke geriliminde meydana gelebilecek değişimler bu tip çeviricilerin kullanımlarını kısıtlamaktadır. Bu durumlarda tek anahtarlı buck-boost çevirici kullanılabilir. Fakat bu çeviricilerde yüke aktarılan direkt güç sıfır olduğundan elemanlar üzerindeki gerilim stresi artar ve daha yüksek değerlerde enerji depo eden eleman kullanılması gerekir [4].

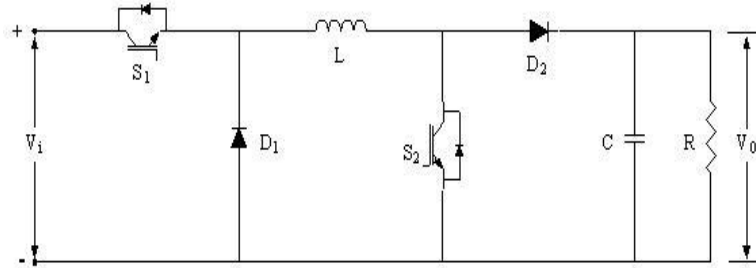


Şekil 1. Çeviricilerde yüke güç aktarımı (a) Buck ve boost çeviricilerde (b) Tek anahtarlı buck-boost çeviricilerde

Bu durumun önüne geçmek için buck-boost çeviricilerde de buck veya boost çeviricilerde olduğu gibi güç aktarımı için bir direkt yol oluşturulmalıdır. Bir buck ve bir boost çeviricinin arka arkaya bağlanması neticesinde elde edilen buck-boost çevirici Şekil 2'de gösterilmektedir [5]. Bu devrede uygun anahtarlama yöntemi ile güç aktarımı için bir direkt yol oluşturularak, dolaylı aktarılan güç en az değerine düşürülür.

Bu çalışmada, çevirici elemanları üzerindeki gerilim stresi ve enerji depo eden elemanlarının boyutları azaltan çift anahtarlı buck-boost çevirici sunulmuştur. Sunulan çevirici bir KGK akü şarj cihazı için modellenmiş ve MATLAB/Simulink'de benzetim çalışmaları yapılmıştır. Çeviricinin akım ve gerilim değerleri kontrol edilmektedir. Akım için belirlenen referans değeri aşılmamak kaydıyla çıkış gerilimi referans gerilimine göre kontrol edilmiş ve çevirici gerilim kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Eğer referans gerilimine ulaşılmadan akım referans değere ulaşıyor ise, bu defa çevirici akım kontrol modunda çalışmaktadır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda giriş geriliminin geniş bir aralıkta değişmesi durumunda dahi çıkış geriliminin istenilen seviyede tutulabildiğini ve farklı iki çalışma

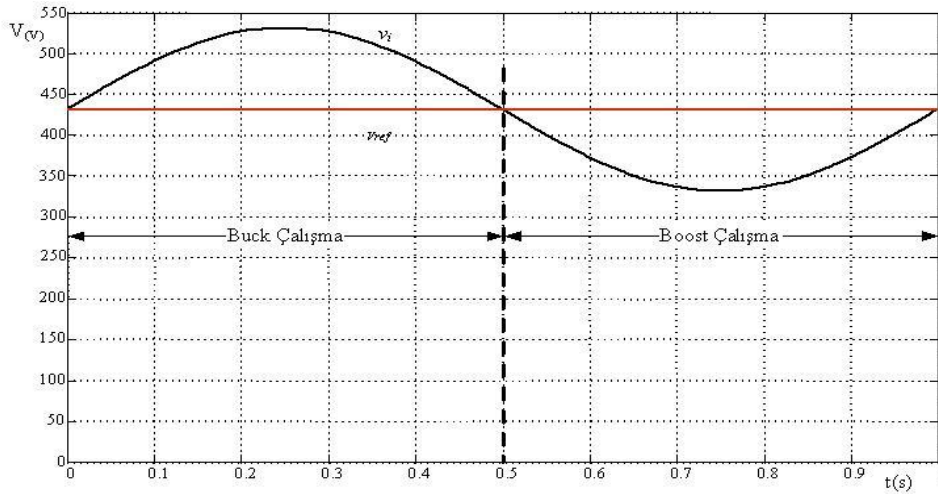
durumdaki geçişlerden çıkış geriliminin etkilenmediği görülmektedir. Ayrıca tek anahtarlı buck-boost çeviriciye göre çıkış gerilimindeki AA bileşen, bobin akım dalgalanması ve kondansatör akımı daha düşük olduğundan çift anahtarlı buck-boost çevirici kullanılarak bobin ve kondansatör değerlerinin azaltılabileceği görülmektedir.



Şekil 2. Buck ve boost çeviricinin arka arkaya bağlanması ile elde edilen buck-boost çevirici

2. Çevirici Devresinin Analizi

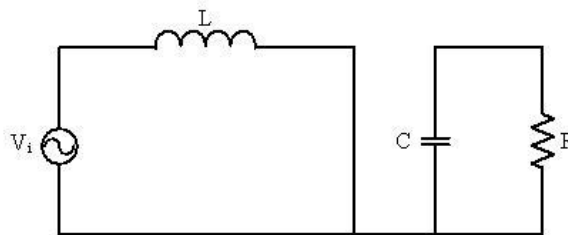
Şekil 2’de gösterilen çift anahtarlı buck-boost çevirici devresinde doğrudan güç aktarımını sağlayabilmek için iki anahtar aynı kontrol sinyali ile kontrol edilmemelidir. Bu devrenin iki ayrı çalışma durumu olup anahtarlama sinyalleri bu çalışma durumlarına göre değişmektedir. Şekil 3’de gösterildiği gibi giriş geriliminin çıkış referans geriliminden düşük olduğu durumda ($v_i < v_{ref}$) çevirici boost modunda, giriş geriliminin çıkış referans geriliminden büyük olduğu durumda ($v_i > v_{ref}$) ise buck modunda çalışacaktır. Boost çalışmada S_2 (boost) anahtarı denetleyici tarafından üretilen PWM sinyali ile kontrol edilirken, S_1 (buck) anahtarı sürekli iletimdedir (*ON* konumu). Buck çalışmada ise, S_1 (buck) anahtarı denetleyici tarafından üretilen PWM sinyali ile kontrol edilirken S_2 , (boost) anahtarı sürekli kesimdedir (*OFF* konumu).



Şekil 3. Giriş gerilimi seviyesine göre çeviricinin çalışma durumları

2.1. Çift anahtarlı buck-boost çeviricinin kararlı durum analizi

Şekil 4’de anahtarların her ikisinin de iletimde olduğu durum için çift anahtarlı buck-boost çeviricinin eşdeğer devresi gösterilmiştir.



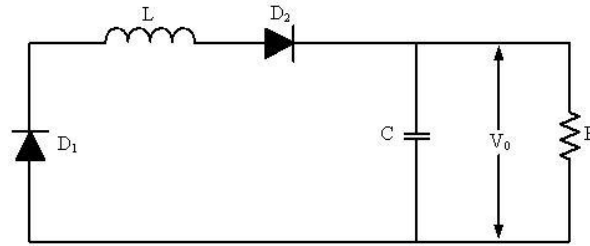
Şekil 4. Anahtarlar iletimde iken çevirici eşdeğer devresi

S_1 ve S_2 anahtarları iletimde iken bobin üzerinde düşen gerilim ve bobin akımı Eş. 1-2 ile verilmiştir [7].

$$V_l = L \frac{di}{dt} = V_i \quad (1)$$

$$I_l = \frac{V_i(t)}{L} dt \quad (2)$$

Burada V_l bobin üzerinde düşen gerilimi, I_l bobin akımı, dt =değişim, $V_i(t)$ giriş geriliminin zamana göre değeri ve L bobinin endüktans değerini göstermektedir.



Şekil 5. Anahtarlar kesimde iken çevirici eşdeğer devresi

S_1 ve S_2 anahtarların ikisinin de kesimde olduğu durum için çift anahtarlı buck-boost çeviricinin eşdeğer devresi ise Şekil 5'de gösterilmiştir. S_1 ve S_2 anahtarları kesimde iken bobin üzerinde düşen gerilim ve bobin akımı Eş. 3-4 ile bulunabilir.

$$V_l = L \frac{di}{dt} = V_o \quad (3)$$

$$I_l = \frac{V_o}{L} (1-D)T \quad (4)$$

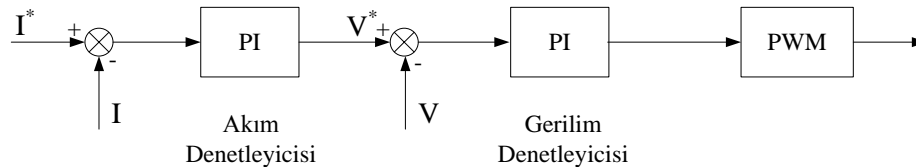
Buradan çift anahtarlı buck-boost çeviricinin dönüştürme oranı Eş. 5'de verilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D}{1-D} \quad (5)$$

Görüldüğü gibi tek anahtarlı buck-boost çeviricilerin çıkış gerilimini tersleme özelliği de ortadan kalkmıştır. Burada V_o çıkış gerilimi, V_i giriş gerilimi ve D darbeleme oranıdır [7].

3. Önerilen Kontrol Tekniği

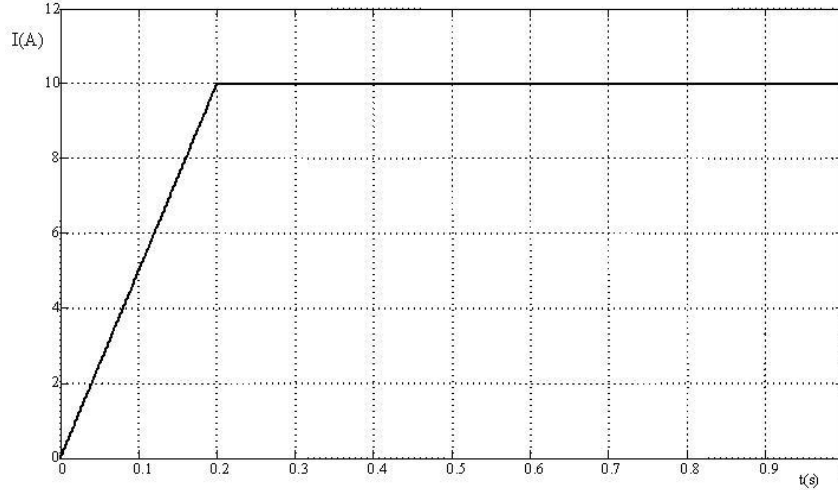
Çift anahtarlı buck-boost çeviricinin akım ve gerilimini kontrol etmek için iki durumlu bir kontrol sistemi uygulanmıştır. Kontrol sistemi Şekil 6'da gösterildiği gibi bir PI akım denetleyicisi ve bir PI gerilim denetleyicisinden oluşmaktadır. Çevirici akımı referans değeri ile karşılaştırılarak bulunan hata değeri PI denetleyiciden geçirilerek gerilim referans değeri elde edilmektedir. Elde edilen bu gerilim referansı ile çevirici çıkış geriliminden elde edilen hata sinyali PI denetleyici ile kontrol edilerek anahtarlara uygulanacak gate sinyalleri üretilir [8-13]. Ayrıca giriş geriliminin seviyesine göre çevirici buck veya boost olarak çalışacaktır.



Şekil 6. Kontrol sistemi blok diyagramı

Akım referansı Şekil 7'de gösterildiği gibi ilk çalışma anında rampa girişi ile yumuşak bir yükseliş elde edilmiştir. Akımın rampa şeklinde artabilmesi için çeviricinin buck olarak çalışmaya başlaması gereklidir. Akım denetleyicisinin çıkışı 432V değerinde sınırlandırılmıştır. Böylece çıkış gerilim referansı en büyük değeri 432V olarak belirlenmiş olmaktadır. Eğer çevirici akımı referans değerine ulaşmadan çıkış gerilimi belirlenen referans değeri olan 432V değerine ulaşırsa çevirici akımı daha fazla arttırılmaz, çevirici gerilim kontrollü olarak çalışmaya

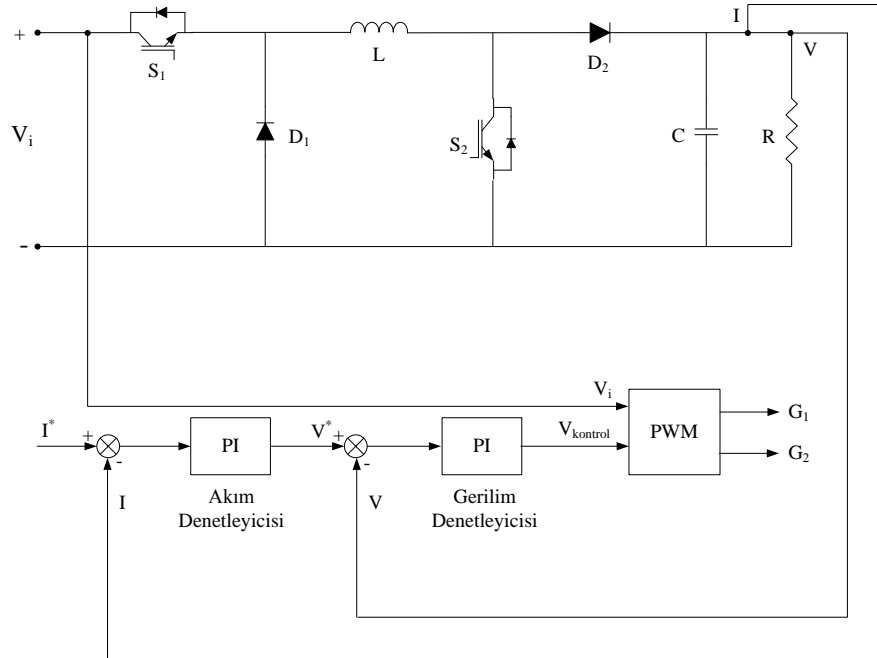
devam eder. Ancak çevirici akımı referans olarak belirlenen 10A değerine ulaştığında çıkış gerilimi 432V değerinden düşük olsa dahi, akım değerinin artmaması için gerilim referans akımını aşmayacak değere kadar düşürülür ve çevirici akım kontrollü olarak çalışmasına devam eder. Ayrıca istenildiğinde boost şarj yapılabilmesi mümkün olabilecektir.



Şekil 7. Akım referansı

4. Benzetim Sonuçları

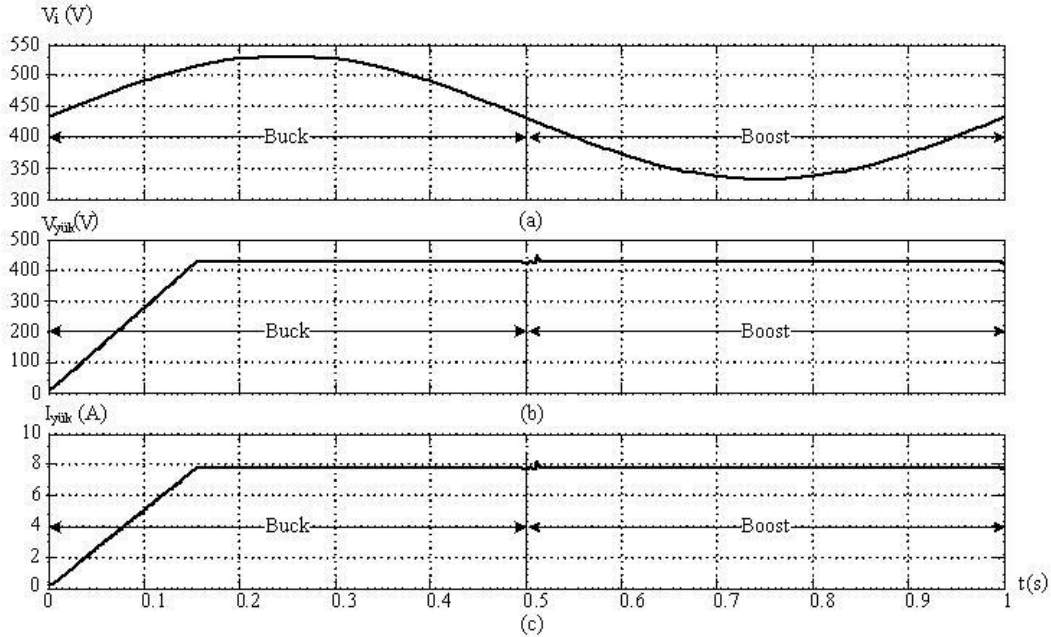
Benzetim çalışmaları yapılan sistemin blok diyagramı Şekil 8’de verilmektedir. Görüldüğü gibi giriş gerilim değeri ADC ile önceden belirlenerek çeviricinin buck veya boost olarak çalışacağı tespit edilmekte, buck (S_1) ve boost (S_2) anahtarlarının gate sinyalleri seçilmektedir. Devrede PWM anahtarlama frekansı 10kHz olarak seçilmiştir.



Şekil 8. Çift anahtarlı buck-boost çevirici ve kontrol sisteminin blok diyagramı

Çeviricinin giriş gerilimi, çıkış gerilim ve akımı Şekil 9’da gösterilmiştir. Önerilen çevirici, giriş geriliminin referans geriliminden yüksek olduğu durumda buck çevirici olarak, giriş geriliminin referans geriliminden düşük olduğu durumda ise boost çevirici olarak çalışmaktadır.

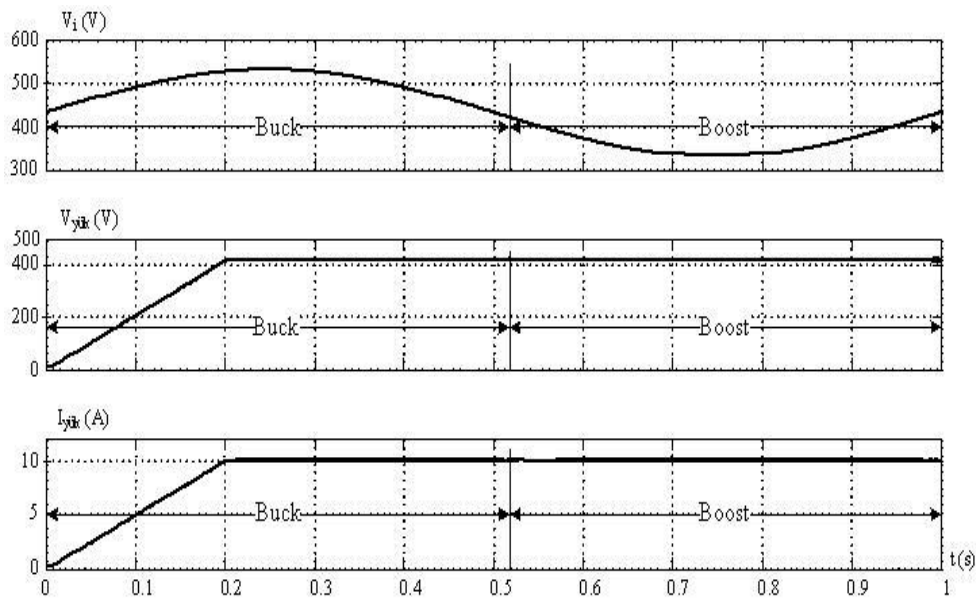
Çeviricinin iki durum arasındaki geçişinde çıkış gerilimi ve akımında yüksek büyüklüklerde geçici tepkiler oluşmamaktadır. Şekil 9'da çevirici akımı referans olarak belirlenen 10A'in altındadır. Referans gerilim değerine ulaşıldığında, akım referans değerine ulaşamadığından çevirici gerilim kontrollü olarak çalışmaktadır.



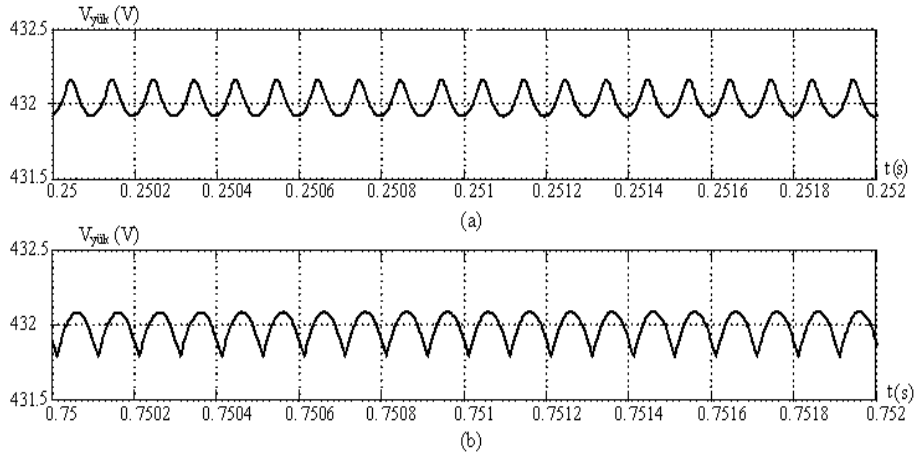
Şekil 9. Gerilim kontrollü çalışan çeviricinin çıkış akım ve gerilimi

Şekil 10'da akım kontrollü olarak çalışan çeviricinin çıkış akım ve gerilim eğrileri görülmektedir. Akım referans değerine ulaştığında gerilim belirlenen referanstan düşüktür. Çevirici bu durumda akım kontrollü olarak çalışmakta ve çevirici çıkış akımı kontrol edilmektedir. Burada önemli olan çeviricinin buck veya boost çalışması önceden belirlenen referans gerilimine göre değil yük durumuna göre akımın denetleyicisi tarafından üretilen gerilim referans değerine göre belirlenmelidir.

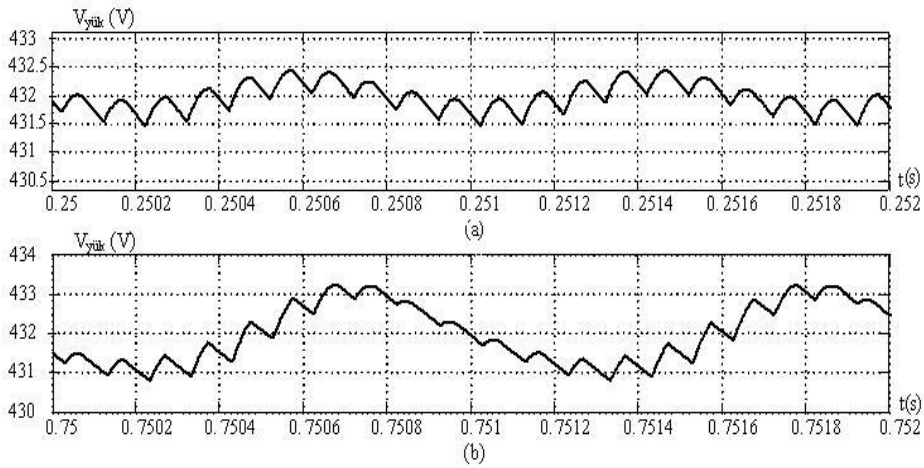
Şekil 11'de çift anahtarlı, şekil 12'de ise tek anahtarlı buck-boost çeviricinin buck ve boost çalışma durumlarında çıkış gerilim ripılları verilmiştir. Çift anahtarlı buck-boost çeviricinin çıkış gerilim dalgalanması özellikle boost çalışma durumunda tek anahtarlı çeviriciden daha düşüktür. Buradan aynı kalitede bir çıkış için daha küçük değerli kapasitede bir kondansatör kullanılmasının yeterli olacağı görülmektedir.



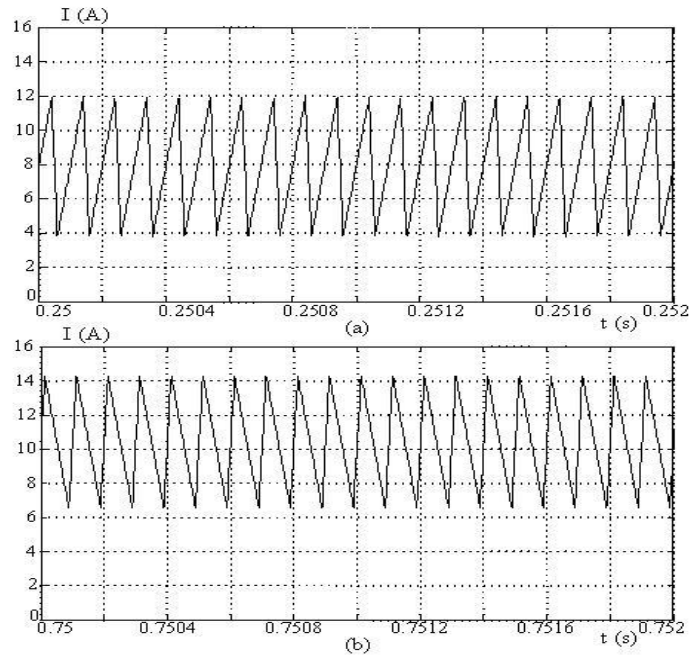
Şekil 10. Akım kontrollü çalışan çeviricinin çıkış akım ve gerilimi



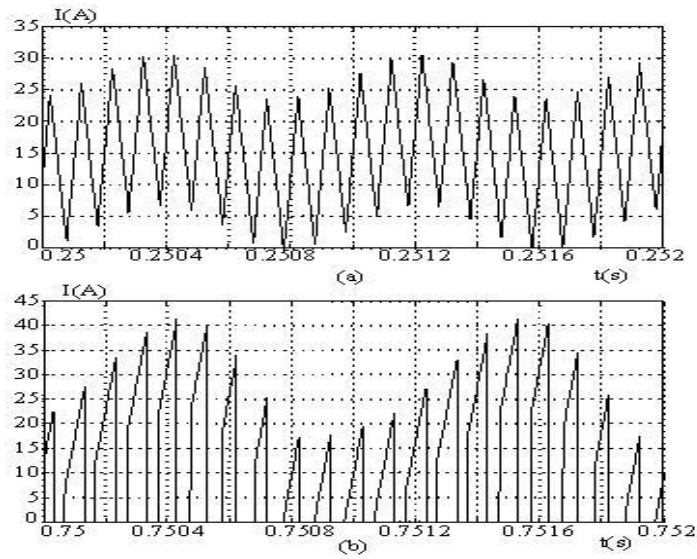
Şekil 11. Çift anahtarlı buck-boost çeviricinin çıkış gerilim ripılı (a) Buck çalışma durumu (b) Boost çalışma durumu



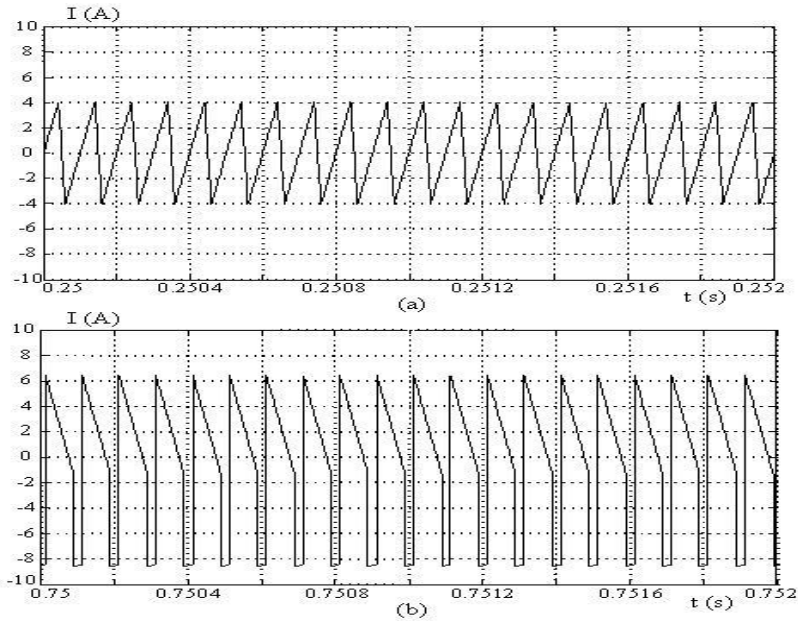
Şekil 12. Tek anahtarlı buck-boost çeviricinin çıkış gerilim ripılı (a) Buck çalışma durumu (b) Boost çalışma durumu



Şekil 13. Çift anahtarlı buck-boost çeviricinin bobin akımı (a) Buck çalışma durumu (b) Boost çalışma durumu



Şekil 14. Tek anahtarlı buck-boost çeviricinin bobin akımı (a) Buck çalışma durumu (b) Boost çalışma durumu



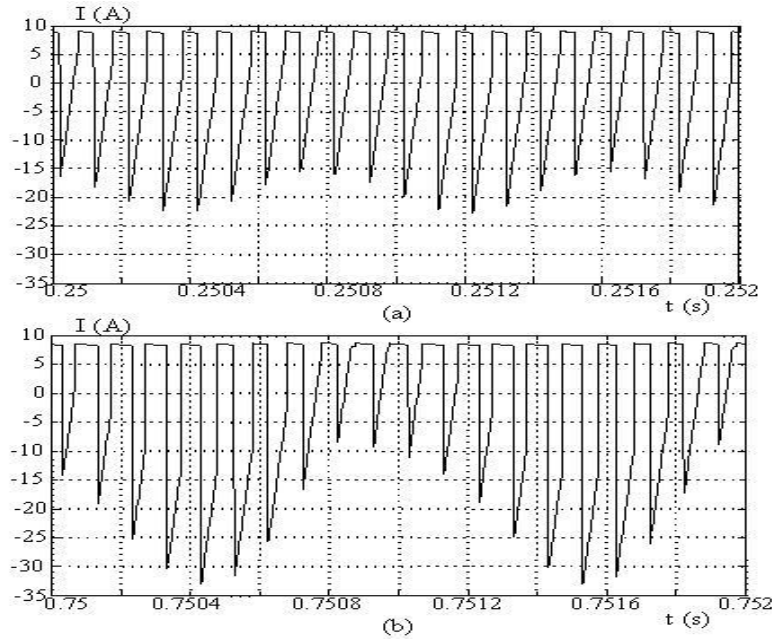
Şekil 15. Çift anahtarlı buck-boost çeviricinin kondansatör akımı (a) Buck çalışma durumu (b) Boost çalışma durumu

Şekil 13 ve 14'de sırasıyla çift anahtarlı ve tek anahtarlı buck-boost çeviricinin bobin akımları görülmektedir. Şekillerden de görüleceği gibi çift anahtarlı buck-boost çeviricinin bobin akımı tek anahtarlı çeviricinin bobin akımının yarısından daha azdır. Bu bobinin boyutlarını ve maliyetini önemli miktarda azaltmaktadır. Şekil 15 ve 16'da ise sırasıyla çift anahtarlı ve tek anahtarlı buck-boost çeviricinin kondansatör akımları görülmektedir. Akım değerlerinden anlaşılacağı gibi çift anahtarlı buck-boost çeviricide kullanılan kondansatörün ömrü daha uzun olacaktır.

5. Sonuç

Şebeke geriliminin geniş sınırlar arasında değiştiği ve bu nedenle buck veya boost çeviricinin kullanılmayacağı durumlar için KGK'larda akü şarjında kullanılabilecek gerilimi hem alçaltabilen hem de yükseltebilen bir buck-boost çeviricinin MATLAB/Simulink'de benzetim çalışmaları yapılmıştır. Çift anahtarlı buck-boost çevirici kullanılarak enerji depo edebilen elemanların değerlerinin dolayısıyla boyutlarının ve sistemin maliyetinin önemli miktarda azaltılabileceği yapılan benzetim çalışmaları sonucu gösterilmiştir. Ayrıca sunulan kontrol yöntemi ile yük

durumuna bağlı olarak çevirici akım veya gerilim kontrollü olarak çalıştırılabilmektedir. Böylece şarj akım ve geriliminin uygun değerlerde kalması sağlanmıştır.



Şekil 16. Tek anahtarlı buck-boost çeviricinin kondansatör akımı (a) Buck çalışma durumu (b) Boost çalışma durumu

Kaynaklar

- [1] Sefa I., Demirtaş M., Garip I., Çolak I., "Design and Implementation of Parallel Operation Set of Alternators for Educational Purpose", J. Fact. Eng. Arch. Gazi Univ., 23 (3), 729-739 (2008).
- [2] Chen, J., Maksimovic, D., Erickson, R., "Buck-Boost PWM Converters Having Two Independently Controlled Switches", 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference, IEEE., Page(s):736 - 741 vol.2. (2001).
- [3] Viswanathan K., Oruganti, R., Srinivasan D., "Dual-Mode Control of Cascade Buck-Boost PFC Converter", 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, pp:2178-2184, (2004)
- [4] Ghanem, M., C., Al-Haddad, K., Roy, G., "A New Single Phase Buck-Boost Converter With Unity Power Factor", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp:785-792, (1993)
- [5] Ghanem, M. C., Al-Haddad, K., Roy, G., "A New Control Scheme to Achieve Sinusoidal Line Current in Cascade Buck-Boost Converter", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 3, pp:441-449, (1996).
- [6] Murali, V. S., Tsc, C., K., Chow, M., H., L., "Small Signal Analysis of Single-Stage Cascaded Boost and Buck PFC Converters", IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp:608-614, (1998).
- [7] Mohan N., Unlead T.M., Robbins W.P., "Power Electronics", John Wiley & Sons Ltd., England, 185-191 (2002).
- [8] The Mathworks Inc., MATLAB/SIMULINK Release Notes for Release 14 with Service Pack 3.
- [9] www.national.com "Positive to Negative Buck-Boost Converter Using LM267X Simple Switcher Regulators" National Semiconductor Application Note 1157 November (2000).
- [10] Ortuzar M., Dixon J. and Moreno J., "Design, Construction and Performance of a Buck-Boost Converter for an Ultracapacitor-Based Auxiliary Energy System for Electric Vehicles" The 29th Annual Conference of the IEEE Volume 3, Issue , Page(s): 2889 – 2894, 2003.
- [11] El Fadil H., GIRI F., "Robuts Control of Motor Velocity Through DC-DC Buck Power Converter", IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on, 10: 1563-1568 (2006).
- [12] Tasi-Fu W., Yu-Kai C., "Modeling PWM DC/DC converters out of basic converter units", Power Electronics, IEEE Transactions on, 13(5):870 - 881 (1998).
- [13] Linares-Flores J. And Ramirez H.S., "DC Motor Velocity Control Through a DC-to-DC Power Converters", 43rd IEEE Conference on Decision and Control, Bahamas 14-17, (2004).