

KİSMİ REZONANSLI ve GERİ DÖNÜŞLÜ BİR DC GÜÇ KAYNAĞININ GELİŞTİRİLMESİ, İNCELENMESİ ve GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

İsmail AKSOY Hacı BODUR A.Faruk BAKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34349 Beşiktaş, İstanbul

iaksoy@yildiz.edu.tr, bodur@yildiz.edu.tr, fbakan@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: Yumuşak Anahtarlama, Geri Dönüşlü DC Güç Kaynağı, Rezonans

ÖZET

Bu bildiri de kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü bir dönüştürücü geliştirilmiş ve detaylı olarak analizi verilmiştir. Geliştirilen dönüştürücüde, yarı iletken güç elemanının sıfır gerilimde geçiş (ZVT) ile ilettime ve sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ile kesime girmesi sağlanmıştır. İlave bir anahtar kullanmadan başarılı yumuşak anahtarlama (SS) ile anahtarlama kayıpları bastırılarak çalışma frekansı yükseltilmiş, devre boyutu küçültülerek güç yoğunluğu artırılmıştır. Teklif edilen dönüştürücü, giriş gerilimi 12 V, çıkış gerilimi 2400 V, çalışma frekansı 125 kHz ve çıkış gücü 24 W olan bir prototip ile doğrulanmıştır.

1. GİRİŞ

Geri dönüşlü (Flyback) dönüştürücü, genellikle yüksek gerilim ve düşük güç uygulamalarında kullanılan bir anahtarlama DC-DC dönüştürücü türüdür. Anahtarlama DC-DC dönüştürücüler, genellikle darbe genişlik modülasyonu (PWM) tekniği ile kontrol edilmektedir. Hızlı geçiş cevabı ve yüksek güç yoğunluğu nedeniyle bu dönüştürücüler endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Anahtarlama dönüştürücülerin çalışma prensibi, anahtarlama endüktansın enerji aktarımına dayalıdır. Eleman sayısının azlığı ve ekonomik olmasından dolayı, yaklaşık 150 W'ın altındaki güçlerde geri dönüşlü güç kaynağı yaygın olarak kullanılmaktadır [1]-[12].

Dönüştürücülerde, yüksek güç yoğunluğu ve hızlı geçiş cevabı ancak anahtarlama frekansı artırılarak elde edilebilmektedir. Fakat, anahtarlama frekansı arttığında, anahtarlama kayıpları ile Elektromanyetik ve Radyo Frekans Girişimi (EMI ve RFI) gürültüleri de artmaktadır. Sert Anahtarlama (HS) yerine Yumuşak Anahtarlama (SS) tekniklerinin kullanılmasıyla, anahtarlama kayıpları düşürülerek frekansın yükseltilmesi mümkün olmaktadır [1]-[12].

Klasik bastırma devreleri ile sağlanan yumuşak anahtarlama, yarı iletken güç kayıpları azalmakta, fakat toplam kayıplar azalmamaktadır. Ancak rezonans devreleriyle elde edilen sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ve/veya sıfır akımda anahtarlama (ZCS) ile sağlanan yumuşak anahtarlama, devrenin

toplam enerji kaybının azaltılabildiği bilinmektedir [7]-[8].

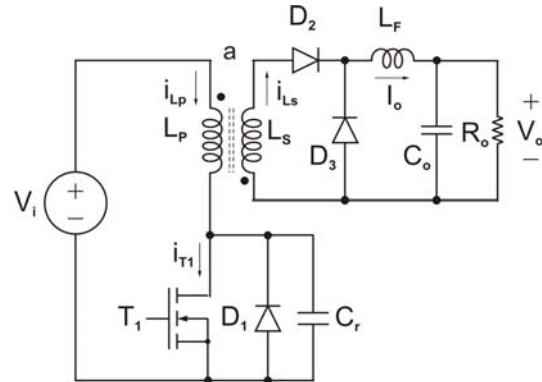
Geri dönüşlü güç kaynakları için bir çok yumuşak anahtarlama tekniği önerilmiştir. Bu tekniklerin kısmi rezonanslı ve modern olanları, pasif ve aktif bastırılmalı olmak üzere iki grupta toparlanabilir.

Pasif bastırılmalı tekniklerde, yumuşak anahtarlama sağlanırken, dönüştürücünün ana anahtar ve ana diyodu üzerinde genellikle ilave akım ve gerilim stresleri meydana gelir. Aktif bastırılmalı tekniklerde ise, ilave anahtarlar kullanılarak hem yumuşak anahtarlama sağlanır hem de stresler azaltılabilir. Ancak, devrenin kontrolü zorlaşır ve maliyeti artar. Bu nedenle, iyi tasarlanmış pasif bastırılmalı dönüştürücüler tercih edilebilir [1]-[5], [9].

Bu çalışmada, ilave bir anahtar kullanmadan yumuşak anahtarlamanın sağlandığı kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü bir DC güç kaynağı sunulmuştur. İncelenen dönüştürücü, giriş gerilimi 12 V, çıkış gerilimi 2400 V, çalışma frekansı 125 kHz ve çıkış gücü 24 W olan bir prototip ile doğrulanmıştır.

2. ÇALIŞMA PRENSİBİ ve ANALİZ

Sunulan kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü DC güç kaynağı Şekil 1' de görülmektedir.



Şekil 1. Sunulan kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü güç kaynağı.

Şekil 1’de verilen devreden de görüldüğü gibi, normal geri dönüşlü dönüştürücüde kullanılan elemanlara ilave olarak bir rezonans kondansatörü kullanılmıştır. Devrenin bir anahtarlama periyodu içerisindeki kararlı durum analizini kolaylaştırmak için, giriş geriliminin sabit ve yarı iletken elemanların ideal olduğu kabul edilmiştir.

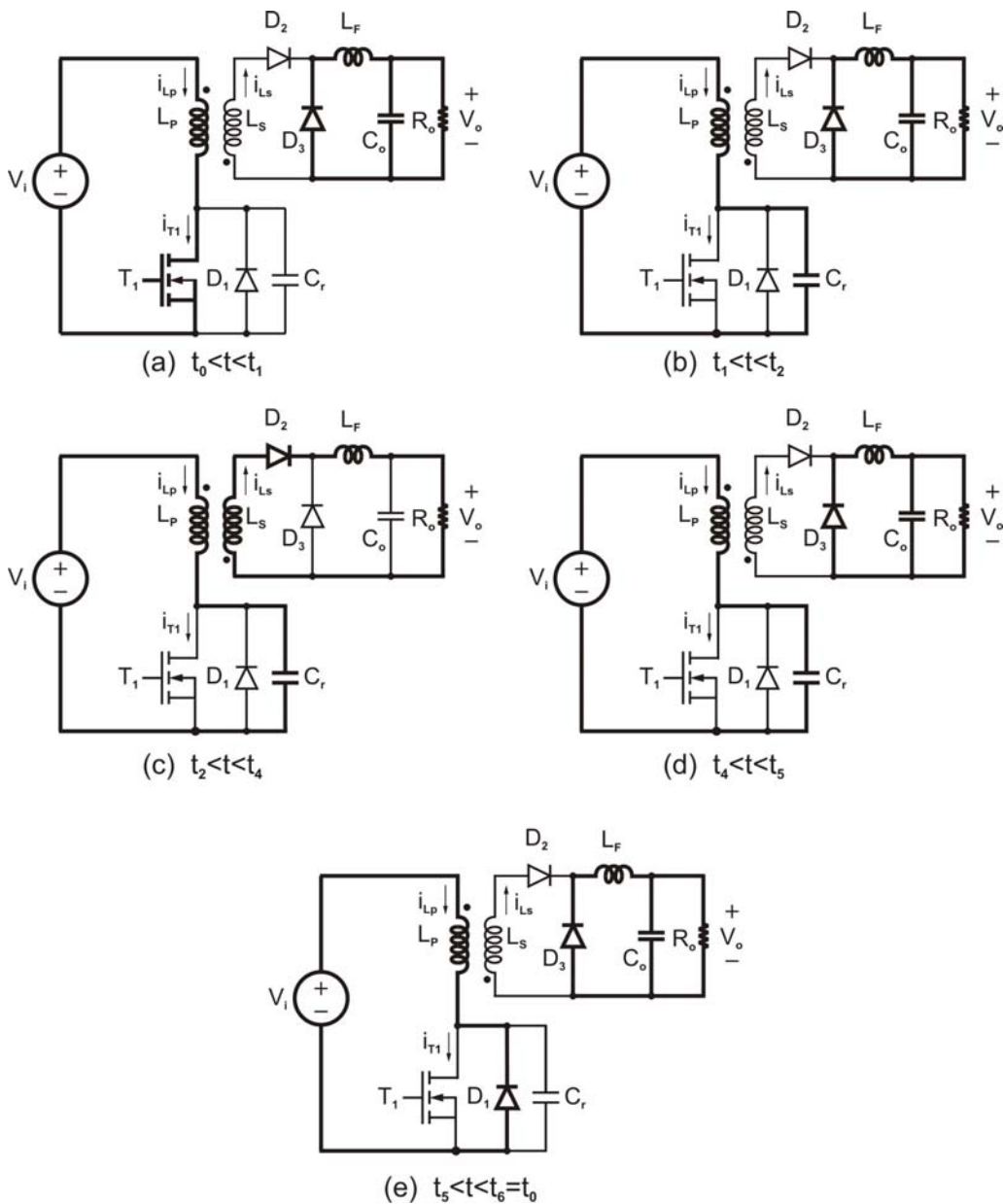
Kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü dönüştürücünün bir anahtarlama periyodundaki kararlı durum çalışmasında 5 aralık oluşur. Bu aralıkların eşdeğer devre şemaları Şekil 2’de ve bu aralıklarla ilgili temel dalga şekilleri Şekil 3’te görülmektedir.

Aralık 1 [$t_0 < t < t_1$: Şekil 2(a)]: T_1 ’in iletme girmesi ile başlayan bu aralık için,

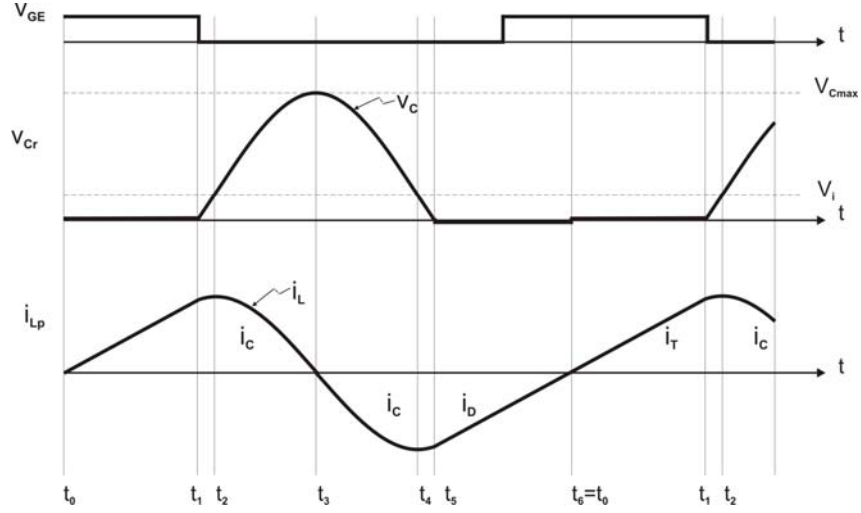
$$i_{Lp} = \frac{V_i}{L_p}(t - t_0) \quad (1)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu aralıkta, endüktans akımı lineer olarak artar. T_1 ’in kontrol sinyalinin kesilmesiyle birlikte bu aralık biter.

Aralık 2 [$t_1 < t < t_2$: Şekil 2(b)]: T_1 anahtarının kesime girmesiyle V_i - L_p - C_r yolu ile bir seri rezonans oluşur.



Şekil 2. Önerilen dönüştürücüde çalışma aralıklarının eşdeğer devreleri.



Şekil 3. Önerilen dönüştürücüde çalışma aralıkları ile ilgili temel dalga şekilleri.

Bu rezonans için,

$$i_{Lp} = I_{Lpl} \cos(\omega(t - t_1)) + \frac{V_i}{Z} \sin(\omega(t - t_1)) \quad (2)$$

$$v_{Cr} = Z I_{Lpl} \sin(\omega(t - t_1)) - V_i \cos(\omega(t - t_1)) + V_i \quad (3)$$

$$I_{Lpmax} = \sqrt{I_{Lpl}^2 + \left(\frac{V_i}{Z}\right)^2} \quad (4)$$

bağıntıları çıkarılır. Burada,

$$\omega = 1/\sqrt{L_p C_r} \quad (5)$$

$$Z = \sqrt{L_p / C_r} \quad (6)$$

eşitlikleri mevcuttur. i_{Lp} akımının maksimum değerine ve v_{Cr} geriliminin V_i değerine erişmesiyle D_2 diyodu ilettime girer ve bu aralık biter.

Aralık 3 [$t_2 < t < t_4$: Şekil 2(c)]: Önceki aralıkta başlayan rezonans devam eder. D_2 diyodunun ilettime olduğu bu aralık boyunca sekonder sargı yükü besler.

$$i_{Lp} = I_{Lpmax} \cos(\omega(t - t_2)) \quad (7)$$

$$v_{Cr} = Z I_{Lpmax} \sin(\omega(t - t_2)) + V_i \quad (8)$$

$$V_{Crmax} = \sqrt{(Z I_{Lpmax})^2 + V_i^2} + V_i \quad (9)$$

Bu aralıkta iki kademe oluşur. İlk kademede, v_{Cr} gerilimi maksimum değerine ulaşır ve i_{Lp} akımı sıfır olur. İkinci kademede ise, v_{Cr} geriliminin tekrar V_i seviyesine düşmesiyle birlikte D_2 diyodu kesime girer. i_{Lp} akımı negatif maksimum değerine ulaşır ve bu aralık biter.

Aralık 4 [$t_4 < t < t_5$: Şekil 2(d)]: L_p - C_r arasındaki rezonans bu aralıkta da devam eder. Bu aralıkta,

$$i_{Lp} = -I_{Lpmax} \cos(\omega(t - t_4)) \quad (10)$$

$$v_{Cr} = -Z I_{Lpmax} \sin(\omega(t - t_4)) + V_i \quad (11)$$

eşitlikleri geçerlidir. v_{Cr} geriliminin sıfır olmasıyla D_1 diyodu ilettime girer ve bu aralık sona erer.

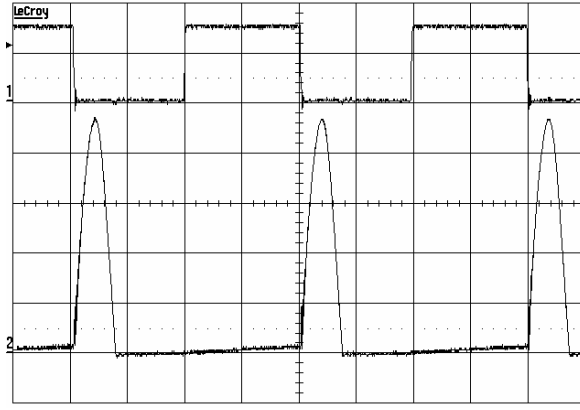
Aralık 5 [$t_5 < t < t_6 = t_0$: Şekil 2(e)]: D_1 diyodunun ilettime girmesiyle birlikte i_{Lp} akımı lineer olarak azalır. D_1 diyodu ilettime iken T_1 anahtarının sinyali başlatılmalıdır. i_{Lp} akımının sıfır olmasıyla T_1 anahtarı ZVS altında ilettime girer.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

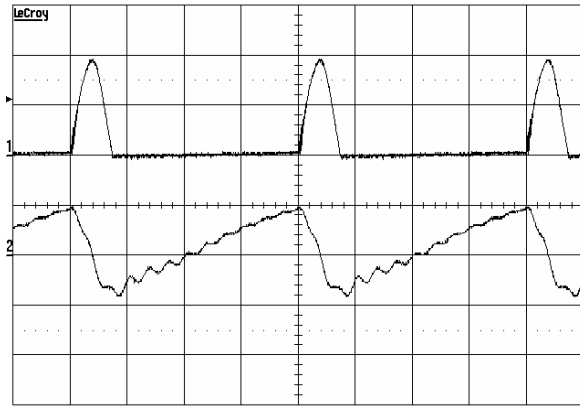
İncelenen kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü DC güç kaynağı devresinin teorik analizini doğrulamak için laboratuvarında bir prototip gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen devrenin giriş gerilimi 12 V, çıkış gerilimi 2400 V, çalışma frekansı 125 kHz, çıkış gücü 24 W'tır. Devrede kullanılan elemanların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 4'te uygulama devresinden alınan değişimler gösterilmiştir.

Tablo 1. Devrede kullanılan elemanların özellikleri.

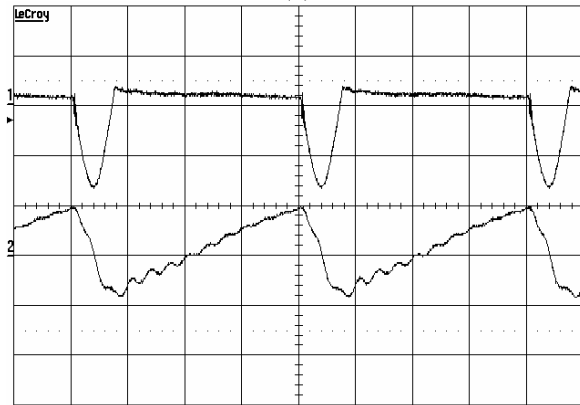
$T_1 + D_1$	200 V, 20 A MOSFET
D_2, D_3	1500 V, 1 A hızlı diyot
a	1 : 100
L_p	8 μ H
L_F	1 mH
C_r	22 nF, 250 V
C_o	100 nF, 5000 V



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Uygulama devresinden alınan değişimler. a) Sürme sinyali (10V/div) ve MOSFET gerilimi (20V/div), b) MOSFET gerilimi (50V/div) ve primer akımı (10 A/div) ve c) Primer gerilimi (50 V/div) ve akımı (10 A/div).

Şekil 4'teki değişimlerde, sürme sinyalinin diyot iletimde iken verildiği ve yarı iletken güç elemanının sıfır gerilimde geçiş (ZVT) ile iletime girdiği görülmektedir. Sürme sinyali kesildiğinde, elemana paralel bağlı olan rezonans kondansatöründen dolayı MOSFET sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ile kesime girmektedir. Devrenin yaklaşık sıfır anahtarlama kaybı ile çok yüksek frekanslarda ve istenilen güçte, problemsiz bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, geliştirilen kısmi rezonanslı ve geri dönüşlü bir DC güç kaynağı incelenmiştir. İncelenen dönüştürücü, giriş gerilimi 12 V, çıkış gerilimi 2400 V ve gücü 24 W olan bir prototip ile doğrulanmıştır. Devrede yarı iletken güç elemanının sıfır gerilimde geçiş (ZVT) ile iletime ve sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ile kesime girdiği gözlenmiştir. Devre, yüksek frekansta yumuşak anahtarlama ile çalıştırılarak, yüksek güç yoğunluğu elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ridley R. B., Lotfi A., Vorperian V., Lee F. C., "Design and control of a full-wave quasi-resonant flyback converter", IEEE APEC Proceedings, 1988, pp.41-49.
- [2] Tabisz W. A., Gkatzki P. M., Lee F. C., "Zero-voltage-switched quasi-resonant buck and flyback converters - experimental results at 10 MHz", IEEE Trans. Power Electron., 1989, 4, (2). pp.9-17.
- [3] Yoshida K., Ishii T., Nagagata N., "Zero voltage switching approach for flyback converter", Proc. of the Fourteenth International Telecommunications Energy Conference, 1992, pp.324-329.
- [4] Watson R., Lee F. C., Hua G. C., "Utilization of an active-clamp circuit to achieve soft switching in flyback converters", IEEE PESC Record, 1994, pp.909-916.
- [5] Lio J. B., Lin M. S., Chen D. Y., Feng W. S., "Single switch soft switching flyback converter", Electronics Letters, Vol. 32, no. 16, pp.1429-1430, 1996.
- [6] Bodur H., Bakan A. F., "A new ZVT-PWM DC-DC converter", IEEE Trans. on Power Electron., vol. 17, pp.40-47, Jan. 2002.
- [7] Bodur H., Aksoy İ., Akın B., "DC-DC dönüştürücülerde yumuşak anahtarlama teknikleri", Kaynak Elektrik, Haziran 2002, Sayı 158, Sayfa 100-108.
- [8] Bodur H., Aksoy İ., Akın B., "Anahtarlama Rezonanslı Dönüştürücüler", Kaynak Elektrik, Ağustos 2002, Sayı 160, Sayfa 104-112.
- [9] Bodur H., Bakan A.F., Baysal M., "A detailed analytical analysis of a passive resonant snubber cell perfectly constructed for a pulse width modulated DC-DC buck converter", Electrical Engineering, Springer-Verlag, Berlin, vol.85, no.1, pp.45-52, February 2003.
- [10] Bodur H., Bakan A.F., "A new ZVT-ZCT-PWM DC-DC converter", IEEE Trans. on Power Electron., vol.19, no.3, pp.676-684, May 2004.
- [11] Obdan H., Bodur H., Aksoy İ., Bekiroğlu N., Yıldırım G., "A new parallel resonant DC link for soft switching inverters", Electric Power Components and Systems, vol.33, no.2, pp.159-169, Feb 2005.
- [12] Aksoy İ., Bodur H., Obdan H., Bekiroğlu N., "Analysis and simulation of active clamped quasi-resonant DC link inverter", Applications of Electrical Engineering (AEE'05), Prague (Czech Republic), March 13-15, 2005, pp.225-230.