

PWM-CCM-PFC-Yükseltici Dönüştürücüler İçin Yeni Bir ZVT Bastırma Hücresi

A New ZVT Snubber Cell for PWM-CCM-PFC-Boost Converters

Suat YILDIRMAZ¹, Hacı BODUR²

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
suatyildirmaz@hotmail.com

²Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
bodur@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada yeni bir sıfır gerilim geçişli (ZVT) bastırma hücresi önerilmiştir. Ana anahtar için ZVT ile iletme girme, sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ile kesime girme sağlanmıştır. Ayrıca yardımcı anahtar sıfır akımda anahtarlama (ZCS) ile iletme, ZVS ile kesime girer. Bu bastırma hücresinin ana avantajı, bastırma hücresinin akım stresinin önemli ölçüde azaltularak toplam verimin artırılmasının sağlanmasıdır. Sunulan yeni ZVT'li darbe genişlik modülasyonlu(PWM) sürekli iletim modlu (CCM) güç faktörü düzeltmeli (PFC) yükseltici dönüştürücünün kararlı durum analizi yapılmış ve bu analiz 2 kW 100 kHz'lik simülasyon ve uygulama devresi ile doğrulanmıştır.

Abstract

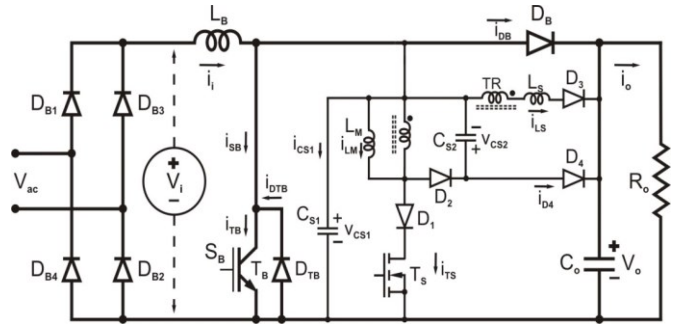
In this study, a new Zero Voltage Transition (ZVT) snubber cell is proposed. Zero Voltage Transition (ZVT) turn on and zero voltage switching (ZVS) turn off are achieved for the main switch. Also, the auxiliary switch is turned on with zero current switching (ZCS) and turned off with ZVS. The main advantage of this snubber cell is that it reduces the current stresses of the auxiliary circuit components significantly. The proposed snubber cell, which has been used in Pulse Width Modulated (PWM) - Continuous Current Modulation (CCM) - Power Factor Correction (PFC) boost converter, has been verified both by simulation software and experimentally.

1. Giriş

Teknolojik gelişmelerle birlikte, elektrikli cihazların kullanımı ve buna bağlı enerji tüketimi artmıştır. Bu nedenle enerjinin daha verimli kullanılması kavramı ortaya çıkmıştır. Kesintisiz ve anahtarlama güç kaynakları gibi lineer olmayan yükler şebekede harmoniklere ve bozulmalara neden olur. Bilgisayar ve mikroişlemcili ürünler şebekedeki bu bozulmalardan etkilenirler. Bu sebeple enerjinin kaliteli olması önem kazanır. Dünyada enerjinin kaliteli kullanılması için cihazların uyması gereken uluslararası standartlar vardır. Bu standartlara

uyulması için kullanılan güç faktörü düzeltme(PFC) devreleri için akademik ve endüstriyel alanda farklı yaklaşımlar ortaya konmuştur[1-35].

Temel olarak PFC, reaktif gücün ve harmoniklerin sıfıra yaklaştırılmasıdır. Prensipte AC-DC converter mümkün olduğu kadar yüksek frekansta çalıştırılmalıdır. PFC'li AC-DC dönüştürücülerin; basit yapısı, kontrol kolaylığı ve yüksek güç yoğunluğu nedeniyle geniş bir kullanım alanı vardır. Yüksek güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda sürekli iletim modunda (CCM) çalışan dönüştürücüler kullanılır.



Şekil 1: Sunulan PWM-CCM-PFC Yükseltici Dönüştürücü Devre Şeması

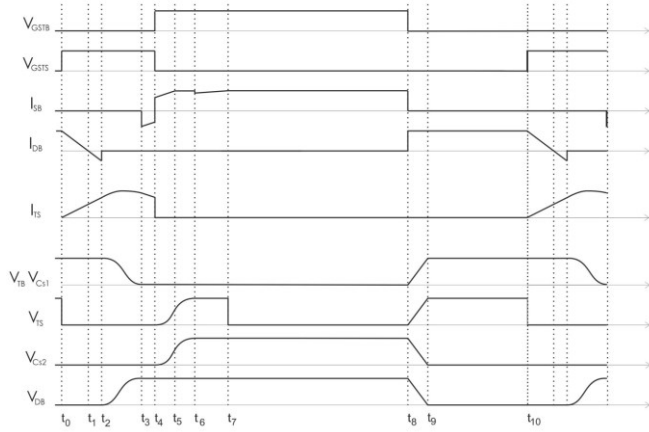
2. Çalışma Prensipleri

Sunulan AC-DC dönüştürücünün devre şeması Şekil 1'de verilmiştir. Ana devrede V_{ac} şebeke gerilimi, V_i doğrultulmuş giriş gerilimi, V_o çıkış gerilimi, L_B yükseltici endüktansı, C_o çıkış kondansatörü, T_B ana anahtar, D_B ana diyot, T_S yardımcı anahtar, TR orta uçlu transformator, L_S bastırma endüktası, C_{S1} ve C_{S2} bastırma kondansatörleridir. D_1 , D_2 , D_3 , D_4 yardımcı diyotlardır.

Sürekli halde D_B diyotu hariç tüm yarıiletkenler, endüktanslar ve kondansatörler ideal kabul edilmiştir. Bir anahtarlama periyodu için L_B endüktansından geçen akım sabit kabul

edilebilir. Sunulan devrenin teorik dalga şekilleri Şekil 2’de görülebilir.

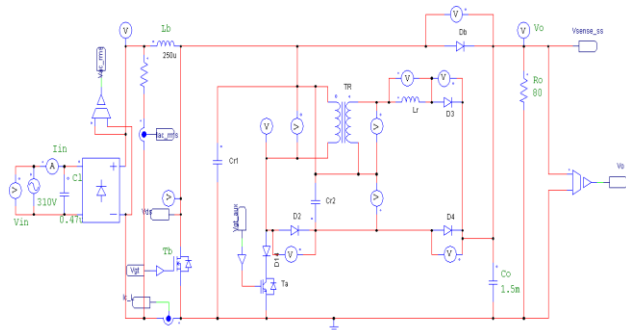
Bir anahtarlama periyodu D_B giriş akımı I_i ’yi geçirirken, T_S ’ye uygulanan kontrol sinyali ile başlar. D_B diyotu $-I_r$ akımını geçirinceye kadar T_S ve L_r ’nin akımları lineer olarak artar. T_S anahtarı ZCS ile ilettime, D_B diyotu ZVS ile kesime girer. Bu aralıktan sonra C_{S1} , L_S ve L_M ’den oluşan eşdeğer endüktans üzerinden sinüsoidal bir akımla deşarj olmaya başlar. Bu aralık sonunda C_{S1} uçlarındaki gerilim sıfır olur. C_{S1} gerilimi negatif olmaya başlar başlamaz D_{TB} ilettime girer tam bu noktada T_S ’nin sinyali kesilir, T_B ’nin sinyali verilir. Böylelikle T_B anahtarı mükemmel biçimde ilettime, T_S anahtarı ise ZVS ile kesime girer. Bu aralıklar süresince anahtarlama enerjilerinin çoğu transformatör aracılığı ile çıkışa aktarılır.



Şekil 2: Teorik Dalga Şekilleri

2.1. Simülasyon Sonuçları

Sunulan dönüştürücünün simülasyonu Şekil 3.’de görüldüğü gibi PSIM’de yapılmıştır. Simülasyon parametreleri Tablo 1’de verildiği gibidir.



Şekil 3: Simülasyon Devre Şeması

Simülasyon sonucu elde edilen dalga şekilleri Şekil 4.’de verilmiştir. Akım ve gerilimin detaylı incelenebilmesi için gerilim dalga şekli yaklaşık 0.05 katsayısı ile çarpılmıştır. Şekil 4(a)’dan görüleceği gibi T_B mükemmel biçimde ZVT ile ilettime, ZVS ile kesime gitmektedir. ZVT geçişi ana anahtarın ters paralel diyotunun ilettime olması esnasında gerçekleştirilmektedir. Ana anahtarın anahtarlama kayıpları minimuma indirilmiş ve ilave bir akım veya gerilim stresine maruz bırakılmamıştır.

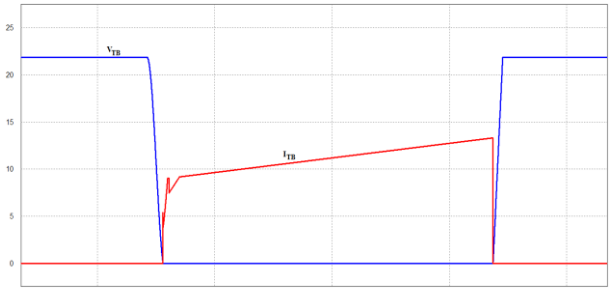
Tablo 1: Simülasyon Parametreleri

	Parametere		Tanımı
1	V_i	Giriş Gerilimi	220 VAC
2	P_i	Giriş Gücü	2000 W
3	f_i	Giriş Frekansı	50Hz
4	f_p	Anahtarlama Frekansı	100 kHz
5	V_o	Çıkış Gerilimi	400 VDC
6	R_o	Çıkış Direnci	80Ω
7	L_B	Ana Endüktans	250 μH
8	L_M	Mıknatıslanma Endüktansı	20 μH
9	L_S	Bastırma Endüktansı	10 μH
10	C_O	Çıkış Kondansatörü	1500 μF
11	C_{S1}	Bastırma Kondansatörü	3.3 nF
12	C_{S2}	Bastırma Kondansatörü	3.3 nF

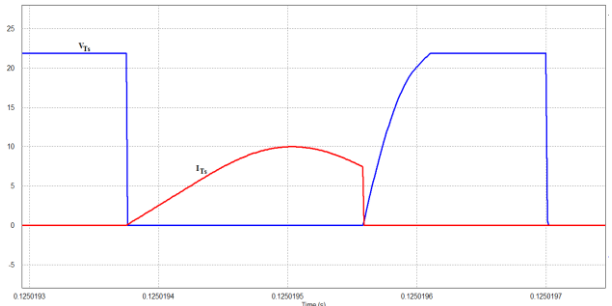
Yardımcı anahtar T_S ’nin dalga şekilleri Şekil 4(b)’de görülmektedir. Yardımcı anahtar, ana anahtar ilettime girmeden hemen önce çok kısa bir süre ilettime kalarak anahtarlama enerjilerinin çıkışa aktarılmasına yardımcı olur. Şekilde de görüleceği gibi T_S , ZCS ile ilettime, ZVS ile kesime girer. Anahtar üzerinde herhangi bir gerilim stresi oluşmaz. Buna yanında orta uçlu trafo sayesinde üzerindeki akım stresi önemli ölçüde azalır.

Şekil 4(c)’de D_B ’nin ZCS ile kesime, ZVS ile ilettime girmesi görülebilir. Ayrıca bu eleman üzerinde herhangi bir akım veya gerilim stresi oluşmamıştır.

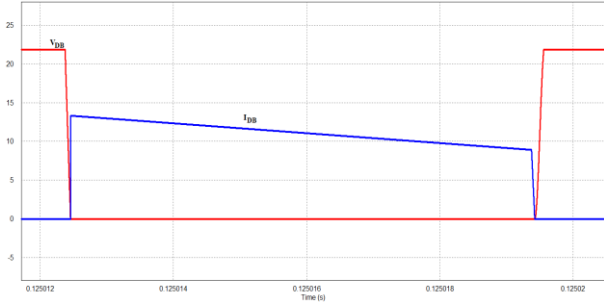
Şebeke gerilimi ve akımı Şekil 4(d)’de görülebilir. Güç faktörü, 220 V / 50 Hz gerilim için 0.99 ölçülmüştür. Şekilde görülen giriş akımındaki yüksek harmonikler düşük fiyatlı bir şebeke filtresi ile giderilebilir.



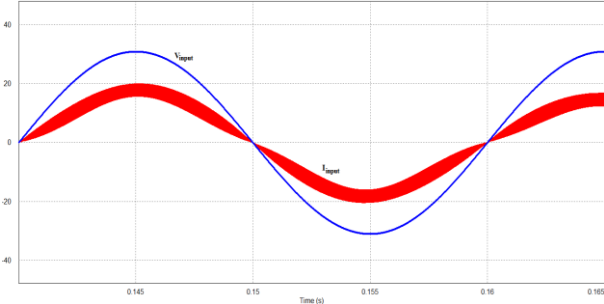
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4: Simülasyon Dalga Şekilleri (a) T_B akım ve gerilimi. (b) T_S akım ve gerilimi. (c) D_B akım ve gerilimi. (d)Şebeke akım ve gerilimi.

2.2. Deneysel Sonuçlar

Deneysel sonuçlar için 2 kW'lık AC-DC dönüştürücü tasarlanmıştır. Tasarımda Texas Instruments firmasının UC3855 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre hem ortalama akım modlu PFC işlemini gerçekleştirirken hem de ZVT için ilave bir yardımcı anahtar sinyali vermektedir [36].

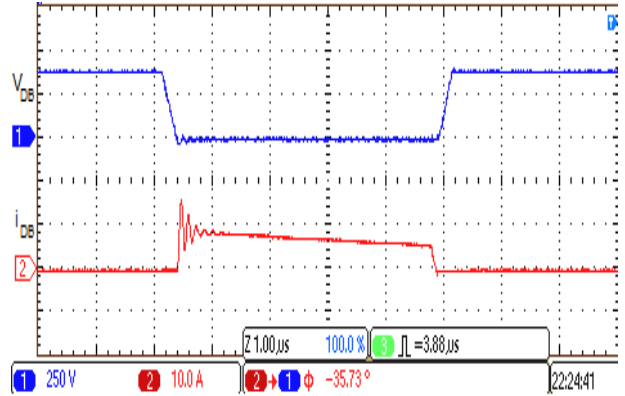
L_B endüktansı CCM modu ve PFC'yi sağlaması için uygun biçimde seçilir. Bu tasarımda L_B 250 μ H, C_O kondansatörü ise 1500 μ F / 500V seçilmiştir. Tasarım kriterlerine göre, $L_M=20$ μ H, $L_S=10$ μ H, $C_{S1}=C_{S2}=3.3$ nF bulunur. Tablo 2'de uygulamada kullanılan yarıiletkenler verilmiştir.

Tablo 2: Uygulama Devresinde Kullanılan Yarıiletkenler ve Nominal Değerleri

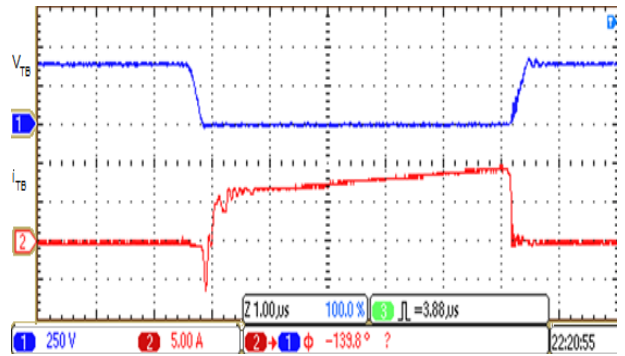
Semiconductor Devices	V (V)	I (A)	t_r (ns)	t_f (ns)	t_{rr} (ns)
S_B (IXFH50N60P)	600	50	20	17	200
T_S (IXFH30N60P)	600	30	20	25	200
D_B (DSEP8-06B)	600	10	-	-	30
D_2, D_4 (UF4005)	600	1	-	-	75
D_3 (UF4007)	100	1	-	-	75

Şekil 5, uygulama devresinden alınan osiloskop görüntülerinden oluşmaktadır. Ana diyot D_B 'nin akım ve gerilimi Şekil 5(a)'da, ana anahtar T_B 'nin akım ve gerilimi

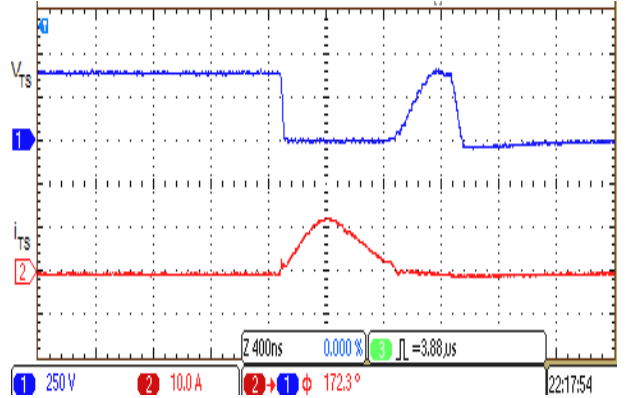
Şekil 5(b)'de, yardımcı anahtar T_S 'in akım ve gerilimi Şekil 5(c)'de, şebeke akım ve gerilimi ise Şekil 5(d)'de görülebilir.



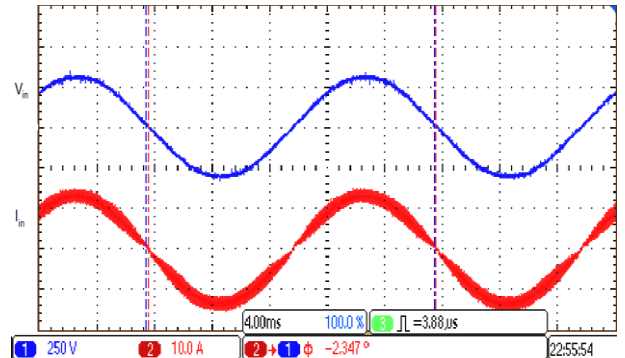
(a)



(b)



(c)



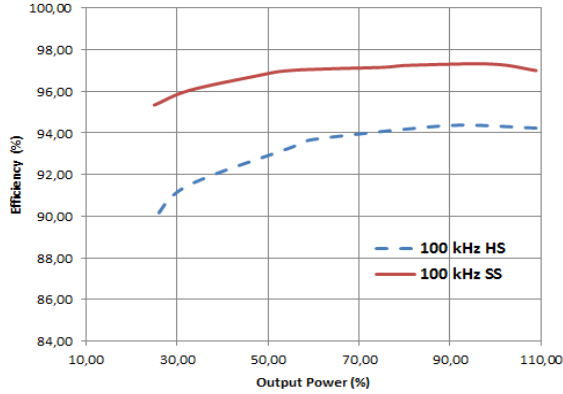
(d)

Şekil 5: Osiloskop Görüntüleri(a) D_B akım ve gerilimi. (b) T_B akım ve gerilimi. (c) T_S akım ve gerilimi. (d)Şebeke akım ve gerilimi.

Şekil 5(a)'dan görüleceği gibi D_B yumuşak anahtarlama ile çalışır ve akım gerilim dalga şekilleri üst üste çakışmaz. Şekil 5(b)'de ana anahtar T_B 'nin ZVT ile iletme, ZVS ile kesime gitmesi görülmektedir.Şekil 5(c)'de T_S ZCS ile iletme, ZVS ile kesime girer. Aynı zamanda transformatör aracılığı ile T_S 'nin akım stresi önemli ölçüde azaltılmış olur. Şebeke gerilimi ve akımı Şekil 5(d)'de görülmektedir. Burada düşük fiyatlı basit bir filtre ile akım harmonikleri daha da azaltılabilir.

Osiloskop dalga şekillerinden de görüleceği üzere bastırma hücresi devrenin toplam çalışma süresi içinde çok kısa bir aralıkta çalışmasına rağmen verime çok ciddi katkıları olmaktadır.

Şekil 6'da devrenin toplam verimi, 2 kW 100 kHz'de %97.5 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6: Sunulan Dönüştürücünün Yumuşak ve Sert Çalışmadaki Verim Eğrileri

3. Sonuçlar

Bu bildiriye yüksek verim ve güç faktörlü sıfır gerilim geçişli(ZVT) AC-DC dönüştürücü sunulmuştur. Sunulan AC-DC dönüştürücüde bütün yarı iletken elemanlar yumuşak çalışır. Ana anahtar, yardımcı anahtar ve ana diyot üzerinde herhangi bir ilave akım veya gerilim stresi bulunmaz. Bunun yanında yardımcı anahtardaki akım stresi bastırma trafosu ile önemli ölçüde azaltılır. Yumuşak anahtarlama, geniş bir şebeke aralığı ve farklı yük değişimlerinde sorunsuz biçimde çalışmasını sürdürür. Bastırma için gerekli olan süre çok kısadır ve ana akım yoluna herhangi bir eleman koyulmamıştır.Sunulan AC-DC dönüştürücü, simülasyonda ve 2 kW – 100 kHz'lik uygulama devresinde sorunsuz biçimde çalıştırılmıştır.

4. Kaynaklar

[1] Garcia, O., Cobos, J.A., Prieto, R., Alou, P., Uceda, J., (2003). "Single Phase Power Factor Correction: A Survey", IEEE Transactions on Power Electronics, 18 (3): 749-755.

[2] Qiao, C., Smedley, K.M., (2001). "A topology Survey of Single-Stage Power Factor Corrector with a Boost Type Input Current Shapper", IEEE Transactions on Power Electronics, 16 (3): 360-368.

[3] Liu, H.F., Chang, L.K., (2008). "Flexible and Low Design for a Flyback AC/DC Converter With Harmonic Current Correction", IEEE Transactions on Power Electronics, 20 (1): 17-24.

[4] Luo, S., Qiu, W., Wu, W., Batarseh, I., (2005). "Flyboost Power Factor Correction Cell and a New Family of Single Stage AC/DC Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, 20 (1): 25-34.

[5] Lazaro, A., Barrado, A., Sanz, M., Salas, V., Olias, E., (2007). "New Power Factor Correction AC-DC Converter With Reduced Storage Capacitor Voltage", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54 (1): 384-397.

[6] Lu, D.D.C., Iu, H.H.C., Pjevalica, V., (2008). "A Single Satge AC/DC Converter With High Power Factor, Regulated Bus Voltage, and Output Voltage", IEEE Transactions on Power Electronics, 23 (1): 218-228.

[7] Lee, J.J., Kwon, J.M., Kim, E.H., Choi, W.Y., Kwon, B.H., (2008). "Single-Stage Single-Switch PFC Flyback Converter Using A Synchronous Rectifier", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55 (3): 1352-1365.

[8] Ismail, E.H., Sabzali, A.J., Al-Saffar, M.A., (2008). "Buck-Boost-Type Unity Power Factor Rectifier with Extended Voltage Conversion Ratio", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55 (3): 1123-1132.

[9] Alonso, J.M., Dalla Costa, M.A., Ordiz, C., (2008). "Integrated Buck-Flyback Converter as a High-Power-Factor Off-Line Power Supply", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55 (3): 1090-1100.

[10] Huber, L., Jang, Y., Jovanovic, M.M., (2008). "Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers", IEEE Transactions on Power Electronics, 23 (3): 1381-1390.

[11] Jang, Y., Jovanovic, M.M., (2009). "A Bridgeless PFC Boost Rectifier with Optimized Magnetic Utilization", IEEE Transactions on Power Electronics, 24 (1): 85-93.

[12] Ismail, E.H., (2009). "Bridgeless SEPIC Rectifier with Unity Power Factor and Reduced Conduction Losses", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 56 (4): 1147-1157.

[13] Hua, G., Leu, C.S., Jiang, Y., Lee, F. C., (1994). "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters",

IEEE Transactions on Power Electronics, 9 (2): 213-219.

[14] Hua, G., Yang, E. X., Jiang, Y., Lee, F. C., (1994). "Novel Zero-Current-Transition PWM Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 9 (6): 601-606, Nov. 1994.

[15] Mao, H., Lee, F. C., Zhou, X., Dai, H., Cosan, M., Boroyevich, D., (1997). "Improved Zero-Current-Transition Converters for High-Power Applications", IEEE Transactions on Industrial Applications, 33 (5): 1220-1232.

[16] Cho, J. G., Baek, J. W., Rim, G. H., Kang, I., (1998). "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Multiphase Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, 13 (1): 152-159.

[17] Tseng, C. J., Chen, C. L., (1998). "Novel ZVT-PWM Converters with Active Snubbers", IEEE Transactions on Power Electronics, 13 (5): 861-869.

[18] Menegaz, J. M. P., Co., M. A., Simonetti, D. S. L., Vieira, L. F., (1999). "Improving the operation of ZVT DC-DC Converters," 30th Power Electronics Specialist Conference (PESC'99), 27 June-1 July, Charleston, USA, 293-297.

[19] Smith, K.M., Smedley, K.M., (1999). "Properties and Synthesis of Passive Lossless Soft-Switching PWM Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, 14 (5): 890-899.

[20] Lee, D. Y., Lee, B. K., Yoo, S. B., Hyun, D.S., (2000). "An Improved Full-Bridge Zero-Voltage-Transition PWM DC/DC Converter with Zero-Voltage / Zero-Current Switching of The Auxiliary Switches", IEEE Transactions on Industrial Applications, 36 (2): 558-566.

[21] Stein, C. M. D. O., Hey, H. L., (2000). "A True ZCZVT Commutation Cell for PWM Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, 15 (1): 185-193.

[22] Bodur, H., Bakan, A. F., (2002). "A New ZVT-PWM DC-DC Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 17 (1): 40-47.

[23] Yu, H., Song, B. M., Lai, J.S., (2002). "Design of a Novel ZVT Soft-Switching Chopper", IEEE Transactions on Power Electronics, 17 (1): 101-108.

[24] Lee, D.Y., Lee, M.K., Hyun, D.S., Choy, I., (2003). "New Zero-Current-Transition PWM DC/DC Converters Without Current Stress", IEEE Transactions on Power Electronics, 18 (1): 95-104.

[25] Bodur, H., Bakan, A.F., (2004). "A New ZVT-ZCT-PWM DC-DC Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 19 (3): 676-684.

[26] Bakan, A.F., Bodur, H., Aksoy, I., (2005). "A Novel ZVT-ZCT PWM DC-DC Converter", 11th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE2005), 11-14 September, Dresden, 1-8.

[27] Jang, Y., Jovanovic, M.M., Fang, K.H., Chang, Y.M., (2006). "High-Power-Factor Soft-Switched Boost Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 21 (1): 98-104.

[28] Wang, C.M., (2006). "Novel Zero-Voltage-Transition PWM DC-DC Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53 (1): 254-262.

[29] Huang, W., Moschopoulos, G., (2006). "A New Family of Zero-Voltage-Transition PWM Converters with Dual Active Auxiliary Circuits", IEEE Transactions on Power Electronics, 21 (2): 370-379.

[30] Kim, T.S., Koo, G.B., Moon, G.W., Youn, M.J., (2006). "A Single-Stage Power Factor Correction AC/DC Converter Based on Zero Voltage Switching Full Bridge Topology With Two Series-Connected Transformers", IEEE Transactions on Power Electronics, 21 (1): 89-97.

[31] Jang, Y., Jovanovic, M.M., Dillman, D.L., (2006). "Soft-Switched PFC Boost Rectifier With Integrated ZVS Two-Switch Forward Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 21 (1): 1600-1606.

[32] Jang, Y., Javanovic, M.M., (2008). "Fully Soft-Switched Three-Stage AC-DC Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 23 (6): 2884-2892.

[33] Park, S., Choi, S., (2010). "Soft-Switched CCM Boost Converter With High Voltage Gain for High-Power Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, 25 (5): 1211-1217.

[34] Wang, C.M., (2005). "A Novel Zero-Voltage-Switching PWM Boost Rectifier With High Power Factor and Low Conduction Losses", IEEE Transaction on Industrial Electronics, 52 (6): 427-435.

[35] Aksoy, İ., Bodur, H., Bakan, F.B., (2010). "A New ZVT-ZCT PWM DC-DC Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, 25 (8): 2093-2105.

[36] Noon, J. "UC3855A/B High Performance Power Factor Preregulator" Texas Instruments Application Report, April 2004.