



**Research Article / Araştırma Makalesi**  
**AN IMPROVED ZCZVT-PWM DC-DC BOOST CONVERTER**

**Yakup ŞAHİN\*, İsmail AKSOY, Naim Süleyman TINÇ**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa-İSTANBUL*

**Received/Geliş: 20.08.2015 Accepted/Kabul: 09.12.2015**

**ABSTRACT**

In this paper, an improved active snubber cell for ZCZVT PWM DC-DC converter is proposed. The improved snubber cell provides zero-voltage transition (ZVT) turn on and zero-current transition (ZCT) turn off for main switch. The snubber decreases EMI noise and operates with soft switching in a wide range of input line and load voltages. Besides, all of the semiconductor devices in the converter operate with soft switching. There is no additional voltage and current stress on the main devices. The improved snubber cell has a low cost and simple structure. The theoretical analysis of converter is clarified and the operating stages is given in detail. Both simulation results and experimental results of converter are obtained by prototype of 500 W and 100 kHz. It is observed that the results are suitable with each other perfectly.

**Keywords:** ZVT, ZCT, DC-DC converters, soft switching.

**GELİŞTİRİLMİŞ BİR ZCZVT-PWM DC-DC YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ**

**ÖZ**

Bu çalışmada ZCZVT PWM DC-DC dönüştürücülere uygulanmak üzere geliştirilmiş aktif bir bastırma hücresi sunulmuştur. Geliştirilmiş bastırma hücresi ana anahtar için iletme girmede Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT) ve kesime girmede Sıfır Akımda Geçiş (ZCT) anahtarlama sağlar. Bastırma hücresi, geniş giriş hat gerilimi ve yük gerilimi değişimlerinde EMI gürültülerini azaltır ve yumuşak anahtarlama sağlar. Aynı zamanda dönüştürücüdeki tüm yarıiletken elemanlar yumuşak anahtarlama ile çalışır. Ana elemanlarda akım ya da gerilim stresi oluşmaz. Geliştirilmiş bastırma hücresi düşük bir maliyete ve basit bir yapıya sahiptir. Dönüştürücünün teorik analizleri ile beraber çalışma aralıkları da detaylarda verilmiştir. Dönüştürücünün 500 W ve 100 kHz değerlerinde hazırlanan prototipi için simülasyon sonuçları ve deneysel veriler verilmiştir. Her iki sonucunda birbiriyle harika bir şekilde uyduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** ZVT, ZCT, DC-DC dönüştürücüler, yumuşak anahtarlama.

**1. GİRİŞ**

Harika dinamik performansı, basitliği, ucuzluğu ve kontrol kolaylığı dolayısıyla PWM DC-DC dönüştürücüler endüstride geniş ölçekte kullanılmaktadır [1]. PWM DC-DC dönüştürücülerde güç yoğunluğunu arttırmak ve maliyeti düşürmek için yüksek frekanslarda

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ysahin@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 58 61

anahtarlama yapılmalıdır. Çünkü yüksek frekanslara çıkıldıkça endüktans, kondansatör ve transformator boyutları ciddi oranda küçülmektedir. Fakat anahtarlama frekansı arttıkça anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik girişim (EMI) artmaktadır. Bu olumsuzluklar ise dönüştürücünün toplam verimi ve çalışma performansını düşürmektedir. Anahtarlama kayıplarının üstesinden gelebilmek için sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS, SGA) ve sıfır akımda anahtarlama (ZCS, SAA) teknikleri geliştirilmiştir.

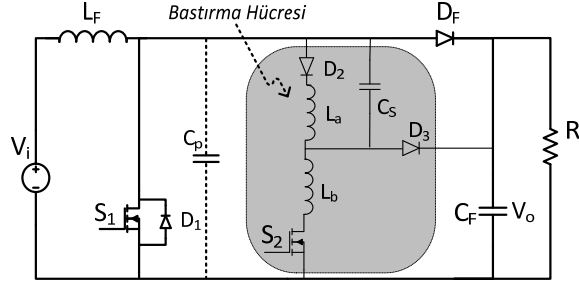
Sıfır gerilimde geçiş (ZVT, SGG) ile anahtarlama sağlayan ilk dönüştürücüde ana anahtar kesimdeyken, aktif bir bastırma hücresi yardımıyla önce ana anahtarın gerilimi sıfıra düşürülür ve daha sonra anahtar gerilimi sıfırda tutuluyorken iletim sinyali verilir [2]. Böylece ana anahtar ZVS yumuşak anahtarlar (SS, YA) ile iletime girmiş olur. Ayrıca bu dönüştürücüde ana diyot ZCS ile kesime girerken yardımcı anahtar seri endüktanstan ötürü ZCS ile iletime girer. Fakat bu dönüştürücüde ana anahtarın kesime girmesi yeterince iyi değildir. Bununla beraber yardımcı anahtarın kesime girmesi de sert anahtarlama (HS, SA) şeklinde gerçekleşir. Ayrıca dönüştürücünün hafif yüklerde çalışma performansı ise kötüdür. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için birçok çalışma yapılmıştır [3-6].

Sıfır akımda geçiş (ZCT, SAG) ile anahtarlama sağlayan ilk dönüştürücüde kesime girme işlemi sırasında, aktif bir bastırma hücresi yardımıyla önce ana anahtarın içinden geçen akım sıfır seviyesine düşürülür [7]. Anahtar akımı sıfırda tutuluyorken anahtarın iletim sinyali kesilir ve anahtar SS ile kesime girmiş olur. Bu dönüştürücüde ana diyot yumuşak anahtarlama ile iletime girerken yardımcı anahtar ZCS ile iletime girer. Fakat ana anahtarın iletime girmesi ve ana diyotun kesime girmesi HS ile gerçekleşir. Ayrıca yardımcı anahtarın kesime girmesi de HS altında gerçekleşir. Son olarak, ana diyotta oluşan ters toparlanma akımları büyük kayıplara neden olur. ZCT tekniğinde ortaya çıkan bu olumsuzlukların üstesinden gelebilmek için birçok çalışma yapılmıştır [8-11].

ZVT tekniğinde iletime girme esnasında kayıpsız bir anahtarlama gerçekleştirilirken ZCT tekniğinde kesime girme esnasında kayıpsız bir anahtarlama gerçekleştirilir. Bu tekniklerdeki olumsuzlukları ortadan kaldırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Yalnız, bu çalışmalarda sert anahtarlama, yüksek EMI, akım veya gerilim stresleri gibi birçok olumsuzluk bulunmaktadır. Ortaya çıkan tüm bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için en iyi çözüm ZVT ve ZCT tekniklerini bir tek hücrede bir araya getirmektir. ZVT ve ZCT tekniklerini birleştirme (ZCZVT) konusunda birçok çalışmalar mevcuttur [12-18].

[6]'da ZVT tekniğinin dezavantajlarını aşmak için yeni bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ana anahtar ZVT ile iletime girmektedir. Ayrıca ana diyot ZCS ile kesime girerken yardımcı anahtar ZCS ile iletime ve kesime girmektedir. Dönüştürücüde yardımcı anahtardaki makul akım stresi dışında hiçbir elemanda akım ya da gerilim stresi oluşmamaktadır. Fakat bu dönüştürücüde ana anahtarın kesime girmesi SS ile olmamaktadır. Bu çalışmada, kesime girme işlemi esnasında ortaya çıkan kayıplar, dönüştürücünün toplam verimini düşürdüğü gibi ısınma problemlerine de yol açmaktadır.

Bu çalışmada [6]'da ortaya çıkan olumsuzlukların üstesinden gelebilmek için yeni bir kontrol yöntemi sunulmuştur. Kontrol yöntemi değiştirilen dönüştürücüde iletime girme aşamasında ZVT tekniğiyle anahtarlama ve kesime girme aşamasında ZCT ile anahtarlama gerçekleştirilerek ZCZVT çalışma sağlanmıştır. Bu şekilde dönüştürücüdeki olumsuzlukların önüne geçilerek dönüştürücünün toplam verimi artırılmıştır. Sunulan dönüştürücü Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sunulan ZCZVT PWM DC-DC dönüştürücü

## 2. DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÇALIŞMA ARALIKLARI

Şekil 1’de sunulan dönüştürücüde  $V_i$ , giriş gerilimi,  $L_F$ , ana endüktans,  $S_1$ , ana anahtar,  $D_1$ , ana anahtarın dahili diyotu,  $C_p$ , ana anahtarın parazitik kondansatörü ve ona eklenen diğer parazitik kondansatörlerin toplamı,  $D_F$ , ana diyot ve  $C_F$ , çıkış filtre kondansatörüdür. Bastırma hücresinde ise  $S_2$ , yardımcı anahtar,  $L_a$  ve  $L_b$ , bastırma endüktansları,  $C_s$ , bastırma kondansatörü,  $D_2$  ve  $D_3$  ise yardımcı diyotlardır. Teorik analizi kolaylaştırmak için aşağıdaki varsayımlarda bulunulmuştur.

- Giriş gerilimi  $V_i$  sabittir
- $C_F$  kondansatörü çıkış gerilimini sabit tutacak kadar büyüktür.
- $L_F$  endüktansı giriş akımını sabit tutacak kadar büyüktür.
- Tüm yarıiletken elemanlar idealdir.

Dönüştürücünün bir periyot çalışmasında toplam on iki aralık bulunmaktadır. Bu aralıklara dair eşdeğer devreler Şekil 2’de verilmiştir. Dalga şekilleri ise Şekil 3’te verilmiştir.

### Aralık 1 ( $t_0 < t < t_1$ ) [a]

$t < t_0$  anında  $S_1$  ana anahtarı ve  $S_2$  yardımcı anahtarı kesimdedir.  $D_F$  ana diyotu giriş akımını geçirmektedir. Parazitik kondansatör çıkış gerilimine şarj olmuştur ve bastırma kondansatörü tamamen deşarj olmuştur.  $t=t_0$  anında  $S_2$  yardımcı anahtarının iletim sinyali verilmesiyle bu aralık başlar ve  $L_a$ - $L_b$ - $C_s$  arasında bir rezonans oluşur.  $S_2$  yardımcı anahtarının akımı artarken  $D_F$  ana diyotunun akımı azalır.  $t=t_1$  anında  $L_b$  alt bastırma endüktansının akımı giriş akımı seviyesine ulaştığında ana diyotun akımı sıfır seviyesine düşer ve aralık sona erer.  $S_2$  yardımcı anahtarı seri bağlı  $L_a$  ve  $L_b$  endüktanslarından dolayı ZCS ile iletime girerken  $D_F$  ana diyotu rezonanstan dolayı ZCS ile kesime girer. Tüm aralıklar boyunca  $S_2$  yardımcı anahtarının akımının  $L_b$  bastırma endüktansı akımına eşittir.

$$i_{L_a} = i_{D_3} = \frac{V_o}{L_s}(t - t_0) - \frac{V_o}{\omega_e L_s} \sin(\omega_e(t - t_0)) \quad (1.1)$$

$$i_{L_b} = i_{S_2} = \frac{V_o}{L_s}(t - t_0) - \frac{V_o}{\omega_e L_s L_b} \sin(\omega_e(t - t_0)) \quad (1.2)$$

$$V_{C_s} = V_o \frac{L_a}{L_s} (1 - \cos(\omega_e(t - t_0))) \quad (1.3)$$

Burada,

$$L_s = L_a + L_b \quad (1.4)$$

$$L_e = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \quad (1.5)$$

$$Z_e = \sqrt{\frac{L_e}{C_s}} \quad (1.6)$$

$$\omega_e = \sqrt{\frac{1}{L_e C_s}} \quad (1.7)$$

**Aralık 2 ( $t_1 < t < t_2$ ) [b]**

$t=t_1$  anında  $D_F$  ana diyotunun kesime girmesiyle başlayan bu aralıkta parazitik kondansatör  $C_p$  ile bastırma hücresi arasında  $C_p$ - $L_a$ - $L_b$ - $C_s$  yollu yeni bir rezonans başlar.  $C_p$  kondansatörü tüm enerjisini bastırma hücresine aktardığında  $V_{C_p} = 0$  olur ve  $S_1$  ana anahtarının dahili diyotu  $D_1$  iletime girer.  $t=t_2$  anında  $D_1$  diyotunun iletime girmesiyle bu aralık sona erer.

$$L_a \frac{di_{L_a}}{dt} = V_{C_s} \quad (1.8)$$

$$L_b \frac{di_{L_b}}{dt} = V_{C_p} - V_{C_s} \quad (1.9)$$

$$C_s \frac{dv_{C_s}}{dt} = i_{L_b} - i_{L_a} \quad (1.10)$$

$$C_p \frac{dv_{C_p}}{dt} = I_i - i_{L_b} \quad (1.11)$$

**Aralık 3 ( $t_2 < t < t_4$ ) [c]**

$t=t_2$  anında  $D_1$  diyotunun iletime girmesiyle başlayan bu aralıkta bastırma hücresindeki  $L_a$ - $L_b$ - $C_s$  yollu rezonans devam eder. Bu esnada  $D_1$  diyotu giriş akımının üstündeki akımı geçirir.  $D_1$  diyotunun iletimde olduğu bu aralığa ZVT aralığı denir ve bu aralığın ortalarında  $S_1$  ana anahtarının iletim sinyali verilir. Böylece ana anahtar ZVT ile kayıpsız bir şekilde iletime girer.  $L_b$  alt bastırma endüktansının akımı azalır  $t=t_3$  anında giriş akımı seviyesine düştüğünde  $D_1$  diyotu kesime girer.  $D_1$  diyotunun kesime girmesiyle ana anahtar akımı artmaya başlar ve  $L_b$  endüktansının akımı azalmaya devam eder.  $t=t_4$  anında ana anahtar akımı giriş seviyesine ulaşınca alt bastırma endüktansın akımı sifıra seviyesine düşer ve bu aralık sona erer.

$$i_{L_a} = \frac{L_e}{L_a} I_{L_{b2}} (1 - \cos(\omega_e(t-t_2))) + I_{L_{a2}} \cos(\omega_e(t-t_2)) - \frac{V_{C_{s2}}}{\omega_e L_a} \sin(\omega_e(t-t_2)) + \frac{L_e}{L_b} I_{L_{a2}} (1 - \cos(\omega_e(t-t_2))) \quad (1.12)$$

$$i_{L_b} = \frac{L_e}{L_a} I_{L_{b2}} (1 - \cos(\omega_e(t-t_2))) + I_{L_{b2}} \cos(\omega_e(t-t_2)) - \frac{V_{C_{s2}}}{\omega_e L_b} \sin(\omega_e(t-t_2)) + \frac{L_e}{L_b} I_{L_{a2}} (1 - \cos(\omega_e(t-t_2))) \quad (1.13)$$

$$v_{C_s} = V_{C_{s2}} \cos(\omega_e(t-t_2)) + Z_e (I_{L_{b2}} - I_{L_{a3}}) \sin(\omega_e(t-t_2)) \quad (1.14)$$

Burada,

$$Z_e = \sqrt{\frac{L_e}{C_s}} \quad (1.15)$$

$$\omega_e = \sqrt{\frac{1}{L_e C_s}} \quad (1.16)$$

**Aralık 4 ( $t_4 < t < t_5$ ) [d]**

$t=t_4$  anında  $S_1$  ana anahtarı akımının giriş akımı seviyesine ulaşmasıyla bu aralık başlar.  $S_2$  yardımcı anahtarının akımı ZCS ile sıfır düştüğü için bu aralıkta  $S_2$  anahtarının iletim sinyali

kesilir.  $L_a$  üst bastırma endüktansında biriken enerji ise  $L_a$ - $D_3$ - $C_s$  yollu rezonans ile  $C_s$  kondansatörüne aktarılır.  $t=t_5$  anında  $C_s$  kondansatörünün geriliminin maksimum seviyeye ulaşmasıyla bu aralık sona erer.

$$i_{L_a} = I_{L_{a5}} \cos(\omega_1(t - t_5)) + \frac{V_{C_{s5}}}{Z_1} \sin(\omega_1(t - t_5)) \quad (1.17)$$

$$v_{C_s} = V_{C_{s5}} \cos(\omega_1(t - t_5)) + Z_1 I_{L_{a5}} \sin(\omega_1(t - t_5)) \quad (1.18)$$

Burada,

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L_a}{C_s}} \quad (1.19)$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{L_a C_s}} \quad (1.20)$$

$$V_{C_{smax}} = \sqrt{V_{C_{s5}}^2 + (Z_1 I_{L_{a4}})^2} \quad (1.21)$$

#### Aralık 5 ( $t_5 < t < t_6$ ) [e]

Aralık boyunca  $S_1$  ana anahtarı giriş akımını geçirir. Klasik PWM iletim aralığı.

$$i_{S1} = I_i \quad (1.22)$$

#### Aralık 6 ( $t_6 < t < t_8$ ) [f]

$t=t_6$  anında  $S_2$  yardımcı anahtarının iletim sinyalinin verilmesiyle bu aralık başlar.  $C_s$  bastırma kondansatörü ile alt bastırma endüktansı  $L_b$  arasında bir rezonans başlar.  $L_b$  endüktansının akımı artarken  $S_1$  ana anahtarının akımı azalır.  $t=t_7$  anında  $L_b$  bastırma endüktansının akımı giriş akımı seviyesine ulaşınca ana anahtarın akımı sıfıra düşer ve  $D_1$  diyotu iletime girer.  $D_1$  diyotunun giriş akımının üstünde kalan akımı geçirdiği bu aralığa ZCT aralığı denir ve bu aralığın ortalarında ana anahtarının iletim sinyali kesilir.

Böylece  $S_1$  ana anahtarı ZCT ile kayıpsız bir şekilde kesime girer.  $t=t_8$  anında  $C_s$  kondansatörünün geriliminin sıfıra düşmesiyle  $L_b$  endüktansının akımı maksimum seviyeye ulaşır ve aralık sona erer.

$$i_{L_b} = i_{S2} = \frac{V_{C_{smax}}}{Z_2} \sin(\omega_2(t - t_6)) \quad (1.23)$$

$$v_{C_s} = V_{C_{smax}} \cos(\omega_2(t - t_6)) \quad (1.24)$$

$$i_{L_bmax} = \frac{V_{C_{smax}}}{Z_2} \quad (1.25)$$

Burada,

$$Z_2 = \sqrt{\frac{L_b}{C_s}} \quad (1.26)$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{L_b C_s}} \quad (1.27)$$

#### Aralık 7 ( $t_8 < t < t_9$ ) [g]

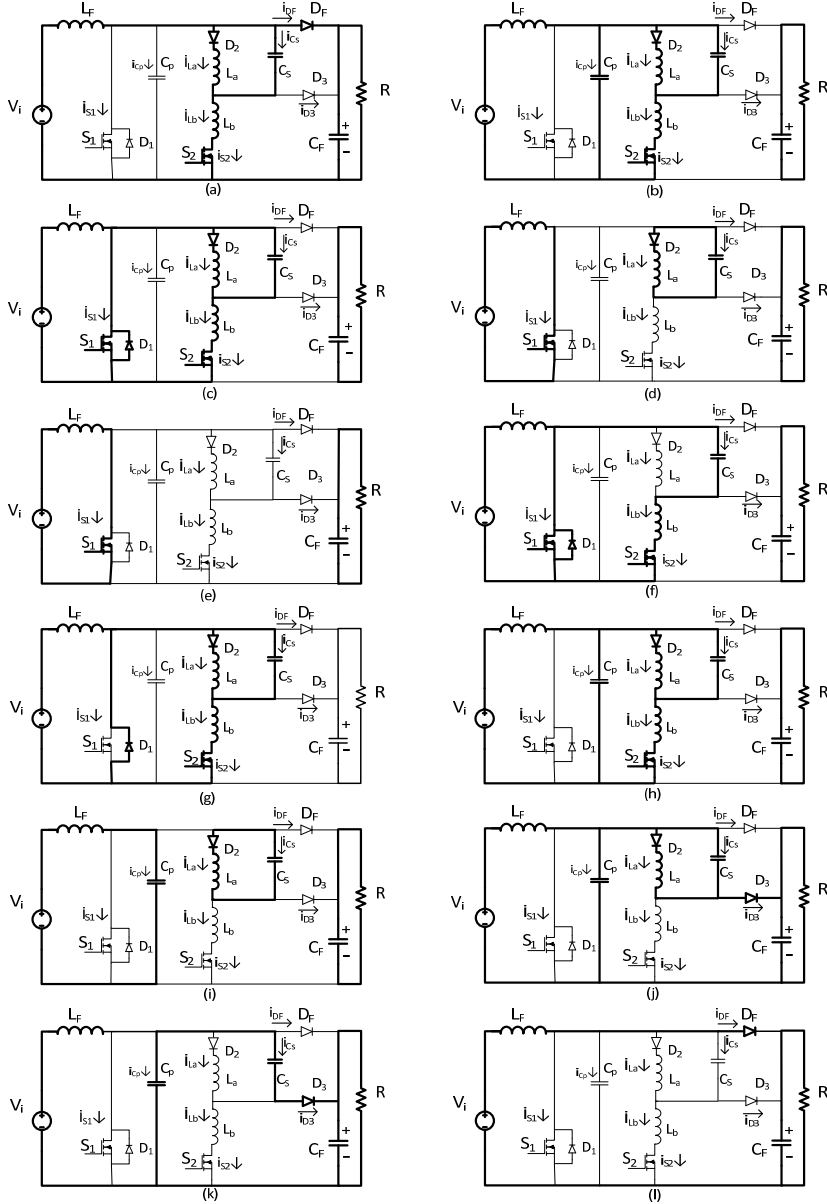
$t=t_8$  anında  $C_s$  bastırma kondansatörünün geriliminin pozitif olmaya başlamasıyla birlikte  $D_2$  diyotu iletime girer ve  $L_a$ - $L_b$ - $C_s$ - $S_2$ - $D_1$  yollu bir rezonans başlar.  $t=t_9$  anında  $L_b$  endüktansının akımının giriş akımı seviyesine düşmesiyle  $D_1$  diyotu kesime girer ve aralık sona erer.

$$i_{L_a} = \frac{L_e}{L_a} I_{L_bmax} (1 - \cos(\omega_e(t - t_8))) \quad (1.28)$$

$$i_{L_b} = \frac{L_e}{L_a} I_{L_bmax} (1 - \cos(\omega_e(t - t_8)))$$

$$+I_{Lb\max}(1 - \cos(\omega_e(t - t_8))) \quad (1.29)$$

$$v_{C_S} = \frac{I_{Lb\max}}{\omega_e C_S} \sin(\omega_e(t - t_8)) \quad (1.30)$$



Şekil 2. Eşdeğer aralıklara ait dalga şekilleri

**Aralık 8 ( $t_9 < t < t_{10}$ ) [h]**

$t=t_9$  anında  $D_1$  diyotunun kesime girmesiyle başlayan bu aralıkta sabit giriş akımı altında  $C_p$ - $L_a$ - $L_b$ - $C_s$  yollu yeni bir rezonans oluşur. Aralık boyunca  $L_b$  alt bastırma endüktansının akımı azalır ve  $t=t_{10}$  da sıfır seviyesine düşer.  $S_2$  yardımcı anahtarından geçen akım sıfır seviyesine düşünce bu anahtarın iletim sinyali kesilir. Böylece yardımcı anahtar ZCS ile kesime girmesiyle bu aralık sona erer.

$$L_a \frac{di_{L_a}}{dt} = v_{C_s} \quad (1.31)$$

$$L_b \frac{di_{L_b}}{dt} = v_{C_s} - v_{C_s} \quad (1.32)$$

$$C_s \frac{dv_{C_s}}{dt} = i_{L_b} - i_{L_a} \quad (1.33)$$

$$C_p \frac{dv_{C_p}}{dt} = I_i - i_{L_b} \quad (1.34)$$

**Aralık 9 ( $t_{10} < t < t_{11}$ ) [i]**

$t=t_{10}$  anında  $S_2$  yardımcı anahtarının kesime girmesiyle başlayan bu aralıkta iki kapalı devre oluşur.  $C_p$  parazitik kondansatörü sabit giriş akımı ile lineer bir şekilde şarj olurken  $L_a$  bastırma endüktansında biriken enerji  $C_s$  kondansatörüne aktarılır.  $t=t_{11}$  anında  $C_p$  kondansatörü gerilimi ile  $C_s$  kondansatörü gerilimleri toplamı çıkış gerilimine şarj olunca bu aralık sona erer.

$$i_{L_a} = I_{L_{a10}} \cos(\omega_1(t - t_{10})) + \frac{V_{C_{s10}}}{Z_1} \sin(\omega_1(t - t_{10})) \quad (1.35)$$

$$v_{C_s} = V_{C_{s10}} \cos(\omega_1(t - t_{10})) - Z_1 I_{L_{a10}} \sin(\omega_1(t - t_{10})) \quad (1.36)$$

$$v_{C_p} = \frac{I_i}{C_p} (t - t_{10}) \quad (1.37)$$

**Aralık 10 ( $t_{11} < t < t_{12}$ ) [j]**

$t=t_{11}$  anında  $D_3$  diyotunun iletime girmesiyle başlayan bu aralıkta sabit giriş akımı altında  $C_p$ - $L_a$ - $C_s$  yollu bir rezonans oluşur.  $L_a$  bastırma endüktansındaki enerjinin tamamı  $t=t_{12}$  anında  $C_s$  kondansatörü ve çıkışa aktarılınca aralık sona erer.

$$i_{L_s} = (I_{L_{s11}} - I_i) \cos(\omega_3(t - t_{11})) - \frac{V_{C_{s11}}}{Z_3} \sin(\omega_3(t - t_{11})) + I_i \quad (1.38)$$

$$v_{C_s} = V_o - v_{C_p} = V_{C_{s11}} \cos(\omega_3(t - t_{11})) + Z_3 (I_{L_{s11}} - I_i) \sin(\omega_3(t - t_{11})) \quad (1.39)$$

$$C_3 = C_p + C_s \quad (1.40)$$

$$\omega_3 = \frac{1}{\sqrt{L_s C_3}} \quad (1.41)$$

**Aralık 11 ( $t_{12} < t < t_{13}$ ) [k]**

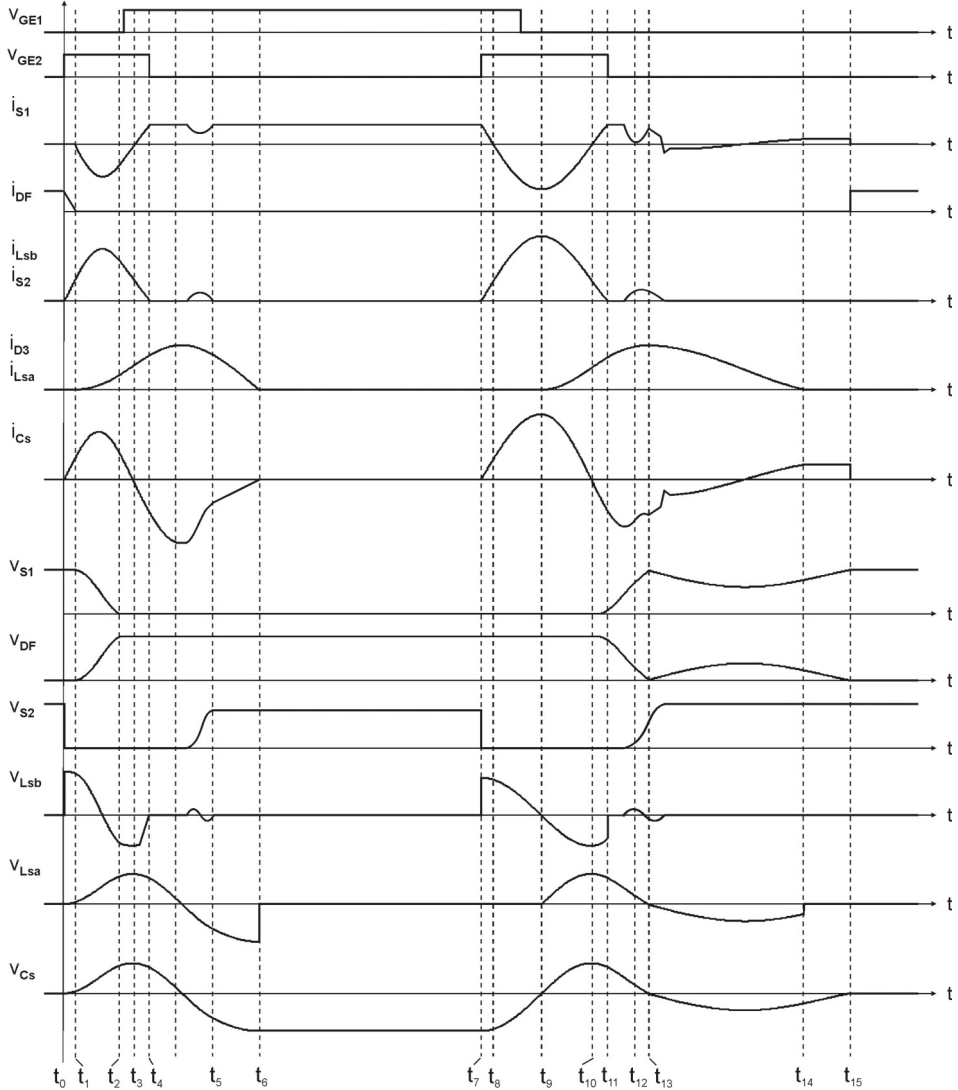
$t=t_{12}$  anında  $L_a$  bastırma endüktansının akımının sıfır seviyesine düşmesiyle başlayan bu aralıkta  $C_p$  parazitik kondansatörü sabit giriş akımı altında lineer bir şekilde şarj olurken  $C_s$  bastırma kondansatörü lineer bir şekilde deşarj olur.  $t=t_{13}$  anında  $C_p$  kondansatörü gerilimi çıkış gerilimi seviyesine ulaşınca  $C_s$  kondansatörü gerilimi sıfır seviyesine düşer ve  $D_F$  ana diyotu iletime girer.

$$v_{C_s} = V_{C_{s12}} - \frac{I_i}{C_s} (t - t_{12}) \quad (1.42)$$

**Aralık 12 ( $t_{13} < t < t_{14} = t_0$ ) [I]**

$t=t_{14}$  anında  $D_F$  ana diyotunun iletme girmesiyle başlayan bu aralıkta giriş akımı  $D_F$  üzerinden çıkışa aktarılır. Bu aralık klasik PWM kesim aralığıdır. Böylece başlangıç koşullarına dönmüş olur. Bir sonraki periyotta anlatılan aralıklar tekrar eder.

$$\dot{i}_{DF} = I_t \quad (1.43)$$



**Şekil 3.** Eşdeğer aralıklara ait dalga şekilleri



### 3. TASARIM KRİTERLERİ

1-  $C_p$  parazitik kondansatörü ana anahtarın parazitik kondansatörü ve ona katılan diğer parazitik kondansatörün toplamından oluşmaktadır. Bu değer de yaklaşık olarak 1-2 nF civarındadır. Bu sebeple ekstra bir parazitik kondansatöre ihtiyaç yoktur.

2-  $L_b$  bastırma endüktansı, yardımcı  $S_2$  anahtarının iletme girme aşamasında ZCS ile yumuşak bir şekilde iletme sokacak bir değerde seçilmelidir. Bu değer belirlenirken  $S_2$  anahtarının iletme girme süresi  $t_r$  referans alınır.

$$\frac{V_o}{L_b} t_r \leq I_{imax} \quad (1.44)$$

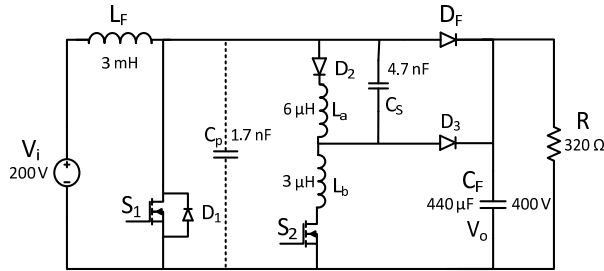
Buna paralel olarak  $S_2$  yardımcı anahtarının ZCS ile kesime girebilmesi için  $L_a$  üst bastırma endüktansı değerinin  $L_b$  alt endüktansı değerinden en az iki katına eşit veya büyük olması gerekir.

$$L_a \geq 2L_b \quad (1.45)$$

$L_b$  endüktansı değeri 3  $\mu\text{H}$  olarak belirlenirse  $L_a$  endüktansı değeri de 6  $\mu\text{H}$  olur.

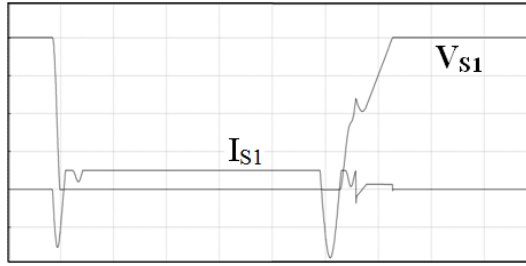
### 4. DENEYSEL SONUÇLAR

Sunulan ZCZVT PWM DC-DC dönüştürücünün laboratuvar ortamında 500 W gücünde ve 100 kHz anahtarlama frekansında bir prototipi yapılarak deneysel veriler elde edilmiştir. Ayrıca PROTEUS programında dönüştürücünün simülasyonu yapılmış ve dalga şekilleri elde edilmiştir. Daha sonra Şekil 5 ile Şekil 10 arasındaki osilogramlarda deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçları verilmiş ve tüm dalga şekillerinin birebir uyduğu gösterilmiştir.

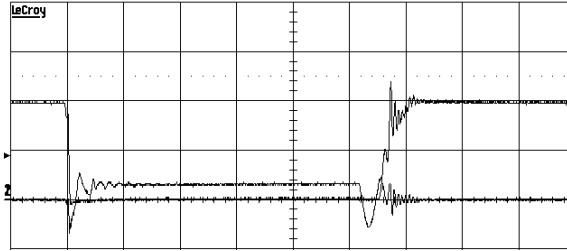


Şekil 4. Prototip 500 W ve 100 kHz için deneysel devre

Sunulan dönüştürücünün laboratuvar ortamında uygulanan prototipinin eşdeğer devresi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 5'de ana anahtarın simülasyon akım ve gerilim dalga şekilleri görülürken Şekil 6'da deneysel olarak elde edilen dalga şekilleri görülmektedir. Her iki gösterimde de dalga şekillerinin tamamıyla uyduğu görülebilmektedir. Dalga şekillerinden, ana anahtarın ZVT ile iletme girdiği ve ZCT ile kesime girdiği görülebilir. Ayrıca ana anahtarında ilave akım ve gerilim stresi oluşmamaktadır.

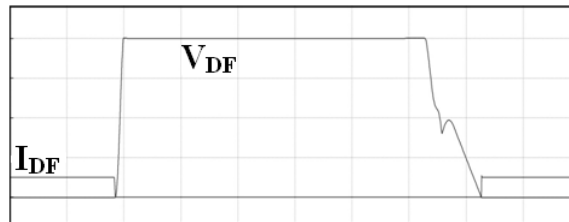


Şekil 5. Simülasyonda ana anahtarın akımı ve gerilimi. 100 V/kare, 5 A/kare ve 1 µs/kare değerlerinde

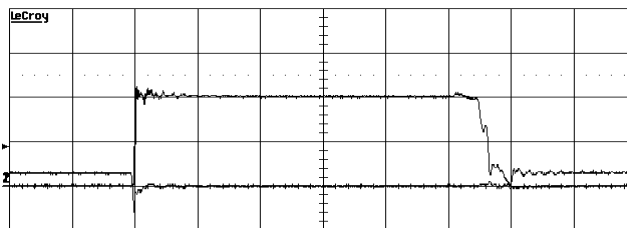


Şekil 6. Deneysel sonuçlarda ana anahtarın akımı ve gerilimi. 200 V/kare, 10 A/kare ve 1 µs/kare değerlerinde

Şekil 7’de ana diyotun simülasyon akım ve gerilim dalga şekilleri görülürken Şekil 8’de deneysel olarak elde edilen dalga şekilleri görülmektedir. Şekillerden ana diyotun ZCS ile kesime girdiği ve ZVS ile iletme girdiği kolaylıkla görülebilir. Ayrıca ana diyotta ilave akım yada gerilim stresi oluşmamaktadır. Simülasyon ve deneysel sonuçlar bütünüyle uyuşmaktadır.

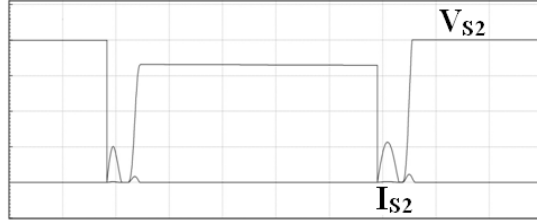


Şekil 7. Simülasyonda ana diyotun akımı ve gerilimi. 100 V/kare, 5 A/kare ve 1 µs/kare değerlerinde

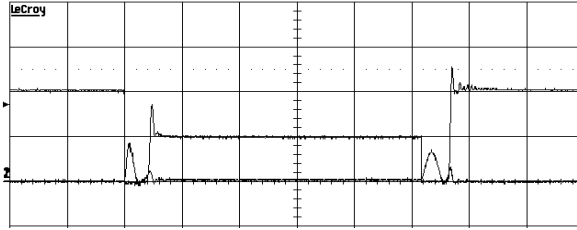


Şekil 8. Deneysel sonuçlarda ana diyotun akımı ve gerilimi. 200 V/kare, 10 A/kare ve 1 µs/kare değerlerinde

Şekil 9’da yardımcı anahtarın simülasyon akım ve gerilim dalga şekilleri görülürken Şekil 10’da deneysel olarak elde edilen dalga şekilleri görülmektedir. Şekillerden yardımcı anahtarın ZCS ile iletme ve kesime girdiği görülmektedir. Ayrıca yardımcı anahtarda ilave gerilim stresi olmadığı görülmektedir. Anahtardaki akım stresi ise oldukça makul bir seviyededir. Şekillerden görüleceği gibi simülasyon ve deneysel dalga şekilleri oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

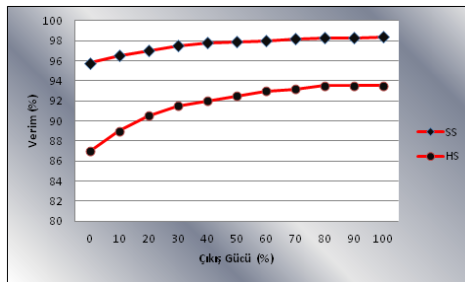


Şekil 9. Simülasyonda yardımcı anahtarın akımı ve gerilimi. 100 V/kare, 5 A/kare ve 1  $\mu$ s/kare değerlerinde



Şekil 10. Deneysel sonuçlar yardımcı anahtarın akımı ve gerilimi. 200 V/kare, 10 A/kare ve 1  $\mu$ s/kare değerlerinde

Dönüştürücünün deneysel prototipinden alınan sonuçlardan elde edilen maksimum verim %98.3 değerindedir. 500 W ve 100 kHz değerlerindeki verim eğrisi Şekil 11’de gösterilmiştir. Şekilde hem sert anahtarlama hem de yumuşak anahtarlama değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 11. Sert anahtarlama ve yumuşak anahtarlama verim eğrisi

## 5. DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN ÖZELLİKLERİ

Sunulan ZCZVT PWM DC-DC dönüştürücü ZVT ve ZCT bastırma hücrelerini tek bir bastırma hücresinde bir araya getirirken her iki çalışmanın avantajlarını sağlamış ve dezavantajlarını ise elimine etmiştir. Sunulan dönüştürücünün özellikleri şöyledir.

- 1- Ana anahtar ZVT ile iletme ve ZCT ile kesime girer.
- 2- Ana diyot ZCS ile kesime girerken ZVS ile iletme girer.
- 3- Yardımcı anahtar ZCS ile iletme ve kesime girer.
- 4- Dönüştürücüdeki diğer yardımcı elemanlar yumuşak anahtarlanır.
- 5- Ana anahtarlar ilave akım ya da gerilim stresi oluşmaz.
- 6- Ana diyotta ilave akım ya da gerilim stresi oluşmaz
- 7- Yardımcı anahtarlar ilave gerilim stresi oluşmaz ve akım stresi ise makul bir seviyededir.
- 8- Dönüştürücü geniş bir yük aralığında yumuşak anahtarlamayı sağlar. Bastırma hücresi hafif yük koşullarında bile ZVT ile iletme girmeyi ve ZCT ile kesime girmeyi sağlar.
- 9- Dönüştürücü yüksek frekanslarda bile normal PWM çalışmayı sürdürür.
- 10- Geçici rejim aralıkları periyodun çok küçük bir kısmında gerçekleşir. Sirkülasyon enerjisi ise oldukça düşük seviyelerdedir.
- 11- Ana anahtar ve yardımcı anahtarın ortak emitterli olması kontrolü kolaylaştıran bir unsurdur.
- 12- Daha önce yapılmış çalışmalara nazaran basit ve ucuz olan bu dönüştürücü oldukça az eleman ile ZVT ve ZCT çalışmanın istenilen özellikleri bir tek bastırma hücresinde birleştirilmiştir.
- 13- Sunulan dönüştürücü diğer DC-DC dönüştürücülere kolaylıkla uygulanabilir.
- 14- Bastırma hücresi ekstra pasif bastırma hücrelerine ihtiyaç duymaz.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada aktif bastırma hücresine sahip geliştirilmiş ZCZVT PWM DC-DC yükseltici bir dönüştürücü sunulmuştur. Dönüştürücü kendisinden önceki ZVT ve ZCT dönüştürücülerin istenilen özelliklerini taşıyarak bu dönüştürücülerin dezavantajlarının ise üstesinden gelmektedir. Sunulan dönüştürücüdeki bastırma hücresi periyodun çok küçük bir kısmında çalışarak ana anahtarın kayıpsız bir şekilde ZVT ile iletme ve ZCT ile kesime girmesini sağlamaktadır. Ayrıca ana diyotun ZCS ile kesime girmesini ve ZVS ile iletme girmesini sağlamakta ve diyotun ters toparlanma kayıplarını minimize etmektedir. Bir yumuşak anahtarlama hücresinden beklenen tüm bu özellikleri sağlarken ana elemanlarda hiçbir akım ya da gerilim stresi oluşturmamaktadır.

Yardımcı anahtarlar gerilim stresi oluşmazken bu anahtar ZCS ile iletme ve kesime girmektedir. Ayrıca yardımcı anahtarlar oluşan akım stresi oldukça makul seviyededir. Diğer yardımcı elemanların hepsi yumuşak bir şekilde anahtarlanırken hiç birinde akım ya da gerilim stresi oluşmamaktadır. Sunulan ZCZVT PWM DC-DC dönüştürücünün öne çıkan en önemli özelliği dönüştürücüdeki tüm elemanların yumuşak iletme ve kesime girmesiyle beraber yardımcı anahtarlardaki makul akım stresi dışında hiç bir elemanda akım ya da gerilim stresi oluşmamasıdır. Böylece PWM çalışma ile rezonansın istenilen özelliklerini bir araya getiren ve istenmeyen taraflarının üstesinden gelen geliştirilmiş bir ZCZVT PWM DC-DC dönüştürücü sunulmuştur.

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] H. Bodur, and A. F. Bakan, "A New ZVT-PWM DC-DC Converter" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 17, no. 1, pp. 40-47, Jan. 2002.
- [2] H. Guichao, C. S. Leu, Y. Jiang and F. C. Y. Lee, "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 9, no. 2, pp. 213-219, Marc. 1994.
- [3] S. H. Park, S. R. Park, J. S. Yu and others, "Analysis and Design of a Soft-Switching Boost Converter With an HI-Bridge Auxiliary Resonant Circuit" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 25, no. 8, pp. 2142-2149, Aug. 2010.

- [4] N. Jain, P. K. Jain and G. Joos, "A Zero Voltage Transition Boost Converter Employing a Soft Switching Auxiliary Circuit With Reduced Conduction Losses" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 29, no. 1, pp. 130-139, Jan. 2004.
- [5] R. Gurunathan and A. K. S. Bhat, "A Zero-Voltage Transition Boost Converter Using a Zero-Voltage Switching Auxiliary Circuit" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 17, no. 5, pp. 658-668, Sep. 2002.
- [6] W. Huang, X. Gao, S. Bassan and G. Moschopoulos, "Novel dual auxiliary circuits for ZVT-PWM converter" *Can. J. Elect. Comp. Eng.*, Vol. 33, no. 3/4, Summer/Fall 2008
- [7] G. Hua, E. X. Yang, Y. Jiang, F. C. Lee "Novel Zero-Current-Transition PWM Converters" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 9, no. 6, pp. 601-606, Nov. 1994.
- [8] H. Bodur and A. F. Bakan "An Improved ZCT-PWM DC-DC Converter for High-Power and Frequency Applications" *IEEE Tans. Ind. Electron.* Vol. 51, no. 1, pp. 89-95, Feb. 2004.
- [9] E. Adib and H. Fazenahfard "Family of Zero-Current Transition PWM Converters" *IEEE Tans. Ind. Electron.* Vol. 55, no. 8, pp. 3055-3063, Aug. 2008
- [10] P. Das and G. Moschopoulos "A Comparative Study of Zero-Current-Transition PWM Converters" *IEEE Tans. Ind. Electron.* Vol. 54, no. 3, pp. 1319-1328, Jun. 2007
- [11] D. Y. Lee, M. K. Lee, D.S. Hyun and I. Choy "New Zero-Current-Transition PWM DC/DC Converters Without Current Stress" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 18, no. 1, pp. 95-104, Jan. 2003.
- [12] H. Bodur and A. F. Bakan "A New ZVT-ZCT-PWM DC-DC Converter" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 19, no. 3, pp. 676-684, May. 2004.
- [13] B. Akin and H. Bodur "A New Single-Phase Soft-Switching Power Factor Correction Converter" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 22, no. 2, pp. 436-443, Feb. 2011.
- [14] C. M. O. Stein and H. L. Hey "A True ZCZVT Commutation Cell for PWM Converters" *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 15, no. 1, pp. 185-193, Jan. 2000.
- [15] S. P. Yang, J.L. Lin, and J.S. Chen, "A Novel ZCZVT Forward Converter With Synchronous Rectification," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 21, no. 4, pp. 912-922, Jul. 2006.
- [16] I. Aksoy, H. Bodur and A. F. Bakan, "A New ZVT-ZCT PWM DC-DC Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 25, no. 8, pp. 2093-2105, Aug. 2010.
- [17] A. F. Bakan, H. Bodur and I. Aksoy, "A Novel ZVT-ZCT PWM DC-DC Converter," in *Power Electronics and Applications (EPE 2005)*, Dresden, Germany, pp.1-8.
- [18] J. L. Lin, J. C. Hsien and C. Yeh, "A Novel ZCZVT Soft-Switching Single-Stage High Power Factor Correction Converter," in *The 2004 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems*, Taiwan, Dec. 2004.