

SERT VE YUMUŞAK ANAHTARLAMALI TAM KÖPRÜ ÇEVİRİCİLERDE KAYIP ANALİZİ

Nihat ÖZTÜRK

Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
ozturk@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 09.03.2007; Kabul/Accepted: 28.11.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, bir fazlı tam köprü çevirici için sıfır akım geçişli yumuşak anahtarlama tekniği önerilmiştir. Klasik sert anahtarlama bir fazlı çevirici yapısına, iki yardımcı anahtar, bir endüktans ve bir bobinden oluşan rezonans kol eklenerek sıfır akım geçişli çevirici oluşturulmuştur. Rezonans kol, ana anahtarların iletim ve kesim geçişlerinde çok kısa süreli olarak aktif duruma geçirilerek ana ve yardımcı anahtarlar için yumuşak anahtarlama şartları meydana getirilmektedir. Önerilen sıfır akım geçişli çeviricinin çalışma esasları ve analizi verildikten sonra, her iki çevirici de aynı yük ve anahtarlama frekanslarında çalıştırılarak anahtarlama kayıpları incelenmiştir. Gerçekleştirilen uygulama çalışmaları, önerilen sıfır akım geçiş yöntemi ile çeviricinin performansının önemli miktarda arttırıldığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak anahtarlama, anahtarlama kayıpları, sıfır akım geçiş, çevirici.

ANALYSIS OF SWITCHING LOSSES OF HARD AND SOFT SWITCHING IN FULL BRIDGE CONVERTER

ABSTRACT

In this study, zero current transition soft switching technique for one phase full bridge converter has been proposed. A zero current transition converter is formed by adding a resonance branch, which consists of an inductance and a capacitor, and two auxiliary switches to a traditional one phase converter. Soft switching conditions for the main and the auxiliary switches are maintained by activating the main switches in the resonance branch during on/off transitions for a short time. Firstly, the operation principles and the analysis of the zero current transition converters are given for the proposed system. Then, the switching losses of both converters have been examined by operating them under the same load and switching frequency conditions. The experimental studies show that the performance of the proposed zero current transition converter has been significantly increased.

Keywords: Soft switching, switching loss, zero current transition, converter.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Anahtarlama modda çalışan çeviriciler/eviriciler sabit genlikteki gerilim veya akımı yarı iletken anahtarlama elemanları vasıtasıyla belli aralıkta ani olarak kesip kaynaktan yüke aktararak güç aktarımını gerçekleştirirler. Bu gücün kesilmesi esnasında iki tarafın birleşme noktası olan yarı iletken anahtarlar üzerinde, hem anahtarların, hem de devre elemanlarının yapılarından dolayı kayıp bir enerji açığa çıkar. Bu tip çevirici/evirici yapıları sert anahtarlama (SA) çevirici/evirici olarak adlandırılır. Bu olay çalışma frekansını sınırlar, elektromanyetik etkileşimin (EMI) artması için potansiyel oluşturur.

Bu olumsuzluk yüksek frekanslı çalışmayı ve güç yoğunluğunu kısıtlar [1].

Anahtarlama elemanlarının hızı ne kadar artarsa artsın, ideal bir anahtarlama ulaşmadığı sürece anahtarlama kayıpları söz konusu olacaktır. Geleneksel anahtarlama modlu çeviricilerde kullanılan bastırma (snubber) devreleri sistemlerin kayıplarını etkili bir şekilde azaltamazlar [2-5]. Bu devreler anahtarlama esnasında oluşan enerjiyi kondansatör veya endüktans elemanlarına aktarır [3, 6]. Yumuşak anahtarlama (YA) tekniklerini Bellar ve Jovanovic [2, 3] sistematik bir şekilde; rezonans hatlı, yük rezonanslı ve rezonans geçiş olarak üç ana

başlıkta sınıflandırmıştır. Rezonans hatlı çeviriciler basit ve uygulama kolaylıkları nedeniyle ilgi çekmektedirler. Bu tip çeviricilerde rezonans sürekli ve çeviriciyi besleyen doğru akım (DA) hatta büyük gerilim baskıları meydana gelir. Anahtarlama modülasyonu olarak ayırık darbe modülasyonu kullanılması sistem performansını olumsuz etkiler [2-6]. Bu sakıncaların üstesinden gelmek için Venkataraman [7] ve Çolak [8] rezonans frekansı ile anahtarlama frekansının aynı seçilmesini önermişlerdir. Orijinal darbe genişlik modülasyonu (DGM) sinyalleri, yüksek rezonans frekanslı hat geriliminin sıfır geçiş anları ile senkronize olacak biçimde kaydırılarak yeni anahtarlama sinyalleri elde edilmiştir. Ancak bu kaydırma operasyonunun özellikle yüksek anahtarlama frekanslarında uygulama zorluğu vardır. Canesin ve Barbi anahtarlama tekniği olarak DGM ile çalışan sıfır akım anahtarlamalı çevirici önermişlerdir [9]. Tüm yük şartlarında sıfır akım anahtarlama gerçekleştirilse de yardımcı devre elemanları ve geri dönüşüm diyotları ana güç yolu üzerine bağlı olduğundan dolayı önerilen çeviricide elemanların gerilim ve akım baskılarına maruz kalması önlenememiştir. Rezonans elemanlarından dolayı oluşan ek kayıpları azaltmak için Hua ve diğerleri [10, 11] çalışmalarında rezonans elemanların, sürekli devrede kalması yerine sadece anahtarların durum değişikliği esnasında devreye alınmasından yola çıkarak rezonans geçişli çevirici/evirici yapıları önermiştir. Bu yöntem ile çevirici yapısında büyük verim artışları sağlanmakta aynı zamanda DGM çalışmada mümkün olmaktadır. Fakat önerilen yöntemde sirkülasyon akımları diyotlar üzerinde yüksek gerilim baskısı oluşturmaktadır. Kısmi rezonanslı (rezonans geçişli) fikri DA/DA DGM çeviricilerde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır[12, 13]. Fakat DA/AA çeviricilere uygulanması anahtarlama elemanı sayısını ve devrenin karmaşıklığını beraberinde getirmektedir [2,14]. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde YA anahtarlama ile ilgili farklı yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda rezonans elemanlarının sürekli devrede kalması, akım/gerilim baskıları, sirkülasyon akımları, yardımcı eleman sayısının artması, uygulama zorluğu ve devrenin karmaşıklığını gibi pek çok dezavantajın ortaya çıktığı görülmektedir. Literatürdeki mevcut dezavantajların en aza indirilmesi için bu çalışma yapılmıştır.

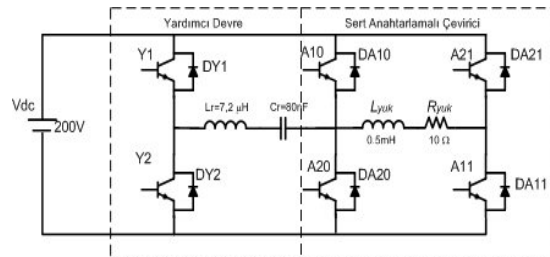
Bu çalışmada, bir faz tam köprü çevirici için sıfır akım geçişli YA tekniği önerilmektedir. YA tekniğinin çalışması, faz düzlem eğrisi ve rezonans kol elemanların seçim kriterleri açıklanmış ve çalışma modlarının detaylı analizi sunulmuştur. Rezonans kol ana güç iletimi yolundan kaldırılarak sadece anahtar geçişlerinde aktif duruma getirilmektedir. Böylece rezonans elemanlarından kaynaklanan ek kayıplar en aza indirgenmektedir. Ana ve yardımcı anahtarların çalışması birbirinden bağımsız olduğundan bu yöntem değişik anahtarlama tekniklerine uygulanabilir. Ayrıca,

geniş yük aralığında çalışma ve darbe genişlik modülasyonu uygulanabilmektedir. Hem SA hem de YA çevirici uygulaması aynı yük ve anahtarlama frekansları için yapılmıştır. Önerilen yöntem ile anahtarlama kayıplarında %52 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

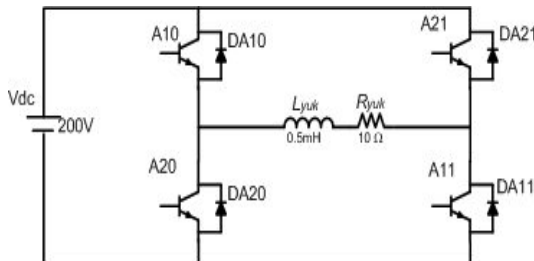
2. TAM KÖPRÜ ÇEVİRİCİLERİN TASARIMI (DESIGN CONCEPTS OF FULL BRIDGE CONVERTERS)

Geliştirilen bir fazlı tam köprü sıfır akım geçişli çevirici yöntemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Yöntemde hem ana, hem de yardımcı anahtarlar için sıfıra yakın bir akım değerinde anahtarlama yapma imkanı sağlanmakta, anahtarlar üzerinde ek baskılar oluşmamaktadır. Yöntemin DGM çevirici yapılarına uygulanması da mümkündür. Ana anahtarlardan geçen yük akımı iletim ve kesim anlarından önce yardımcı devreye yönlendirilmektedir. Anahtar akımının, sıfırdan geçişinin algılanmasında harici akım sensörlerine ihtiyaç duyulmamaktadır.

SA çevirici olarak tam köprü DA/DA çevirici göz önünde bulundurulmuştur. Çift kutuplu gerilim anahtarlamalı darbe genişlik modülasyonu kullanılmıştır. Anahtarlama işaretleri, anahtarlama frekanslı bir üçgen dalga ile denetim sinyalinin karşılaştırılması sonucu elde edilmektedir [15]. Geleneksel SA ile önerilen YA yönteminin karşılaştırılması için aynı yük ve aynı çalışma şartlarında, deneysel çalışmalar yapılmıştır. SA'lı çevirici Şekil 2'de görülmektedir. Sıfır akım anahtarlama yönteminde ise, bu devreye ek olarak Şekil 1'de olduğu gibi iki yardımcı anahtar ve bir rezonans kol ilave edilmiştir.



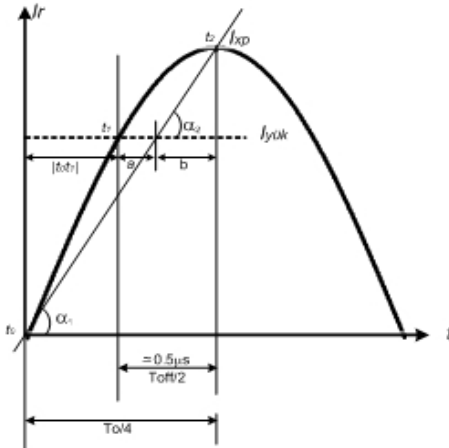
Şekil 1. Sıfır akım geçişli çevirici (Zero current transition converter)



Şekil 2. Bir fazlı sert anahtarlamalı çevirici (One phase hard switching converter)

2.1. Rezonans Devre Elemanlarının Seçimi (Selection of resonant circuit components)

Önerilen YA yönteminin başarısı, seçilen rezonans elemanlarının seçimi ile doğrudan ilgilidir. Yöntem, çeviricinin tüm çalışma şartlarında, kendinden beklenen YA'yı gerçekleştirmelidir. IGBT gibi azınlık taşıyıcı yarıiletken devre elemanları için ideal bir YA'lı düzenleme, iletim geçişinde (*turn-on*) sıfır akım veya sıfır gerilimde anahtarlama yapmakken kesim geçişinde (*turn-off*) sıfır akımda anahtarlama yapmaktır. IGBT için kesim geçişinde oluşan kuyruk akımlarından dolayı ek kayıplar meydana geldiğinden *turn-off* geçişi *turn-on* geçişinden daha kritiktir [16]. Rezonans kol elemanlarının seçimi Şekil 3'deki eğri vasıtasıyla yapılabilir. $I_x > I_{yük}$ şartı, kullanılan yarı iletken anahtarın ters toparlanma süresince sağlanmalıdır. Kullanılan CMD150NF-24 IGBT için $T_{off}/2$ süresi $0,5 \mu s$ 'dir [17]. Bu şart $|t_1-t_2|$ nin minimum değerini de belirler.



Şekil 3. Rezonans kol akımı I_x 'nin meydana gelmesi
(Occurrence of resonant branch current (I_x))

t_0 anında rezonans başlatılır ise, $I_{x(0)}=0$ olduğundan, rezonans kol akımı I_x , sinüsoidal olarak Şekil 3'te görüldüğü gibi oluşur ve denklemleri

$$I_x(t) = I_{xp} \sin \omega t \quad (1)$$

olarak yazılır. t_1 anında $I_{yük}=I_x$ olacağından, denklem

$$I_{yük} = I_{xp} \sin \omega t \quad (2)$$

olarak tekrar yazılır.

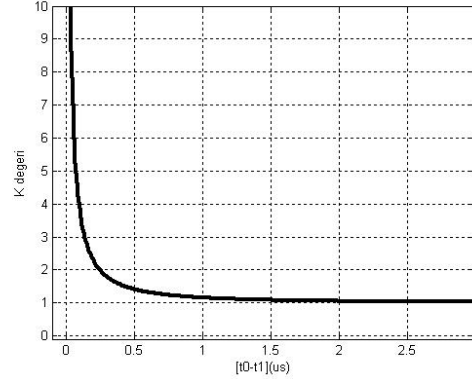
$|t_0-t_1|$ zaman aralığı için Denklem (2) aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$1 = \frac{I_{xp}}{I_{yük}} \sin \omega t \quad (3)$$

$$K = \frac{I_{xp}}{I_{yük}} \quad (4)$$

$$1 = K \sin \omega t \quad (5)$$

Denklem (5)'den $K \geq 1$ olması gerektiği anlaşılmaktadır. K 'ya 1'den büyük değerler verilmesi ve $|t_0-t_1|$ aralığının süresinin bulunması ile Şekil 4 oluşturulabilir. Şekil 4'te olduğu gibi, K katsayısı büyüdükçe rezonans koldan geçen akım artacaktır ve bu durum gereksiz akım baskılarına neden olacaktır.



Şekil 4. K değeri ve $|t_0-t_1|$ arasındaki ilişki
(Relationship of K value and $|t_0-t_1|$ interval).

K seçimini belirleyen diğer bir faktör de $|t_0-t_1|$ aralığının minimum değeridir. $T_{off}/2$ süresi $0,5 \mu s$ bulunmuş olduğundan, $|t_0-t_1| > 0,5 \mu s$ olması gerekir. Seçilecek K değeri bu iki şartı sağlamalıdır. Yatay ekseninde $0,5-1 \mu s$ aralığı ile dikey ekseninde $1-2$ aralığı K için seçilebilir. Bu çalışmada $K=1,4$ olarak alınmıştır. Buna karşılık gelen $|t_0-t_1|$ aralığı ise $0,6 \mu s$ olarak bulunmuştur.

Açısal rezonans, denklem (6) kullanılarak bulunabilir,

$$\omega_0 = \frac{\sin^{-1}(1/K)}{|t_0 - t_1|} \quad (6)$$

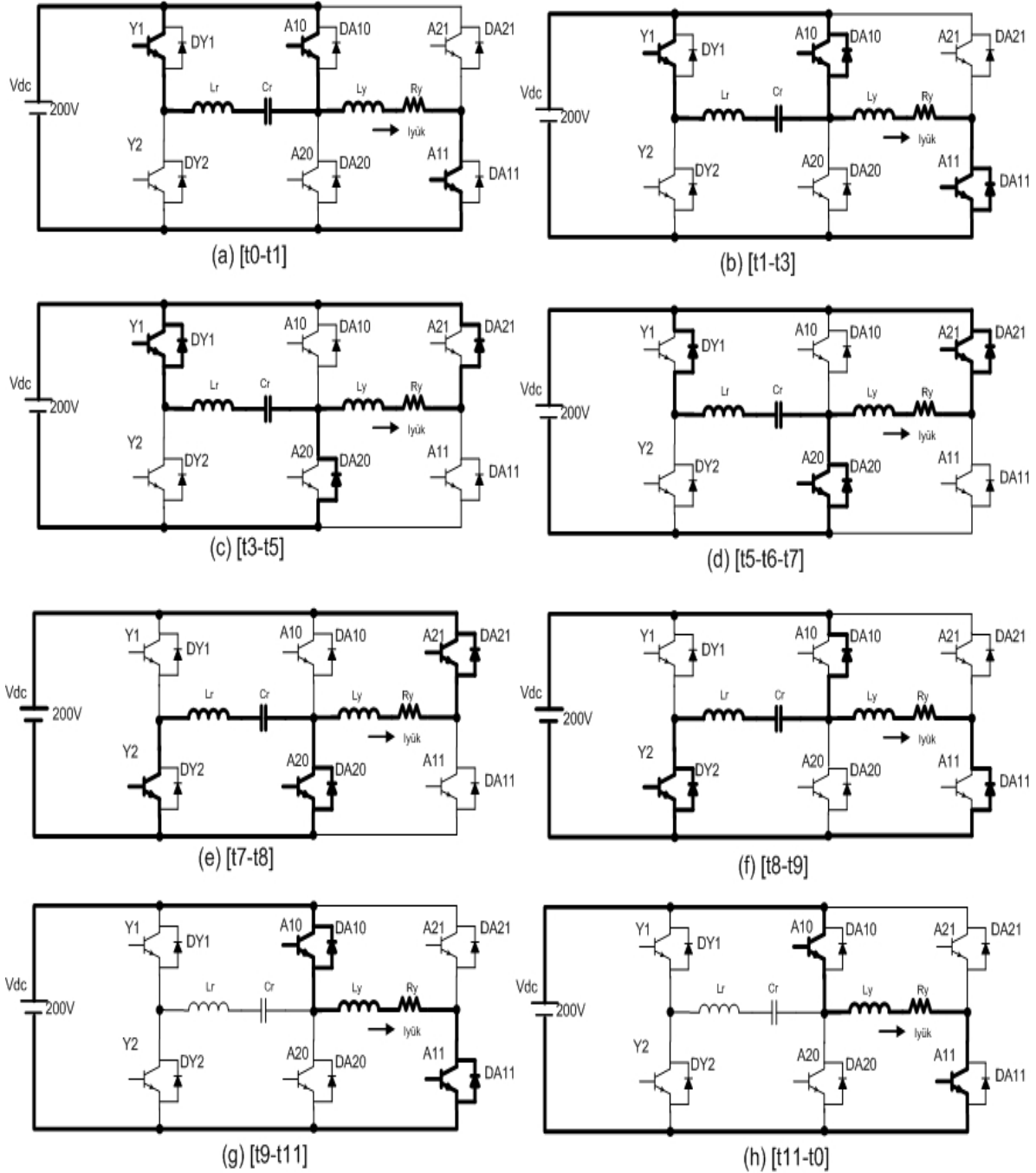
Rezonans kol ile ilgili diğer karakteristik empedans (Z_0), endüktans (L_s) ve kondansatör kapasitesi (C_s) ise aşağıdaki denklemler vasıtasıyla bulunabilir.

$$Z_0 = \frac{V_{dc}}{K * i_{yük}} \quad (7)$$

$$L_s = Z_0 \frac{T_0}{2\pi} \quad (8)$$

$$C_s = \frac{L_s}{Z_0^2} \quad (9)$$

Çalışmada $I_{yük}=15$ A için, rezonans endüktans $L_r = 7,2 \mu H$ ve rezonans kondansatör $C_r = 80$ nF olarak hesaplanmıştır. Devrenin rezonans frekansı 210 kHz ve periyodu ise $4,7 \mu s$ dir. Hem SA, hem de YA'lı devrede anahtarlama frekansı 20 kHz ve V_{dc} bara gerilimi sabit olup 200 V'tur. Analiz, $I_{yük} < 0$ durumu, $I_{yük} > 0$ durumunun eşleniği olduğundan, sadece $I_{yük} > 0$ şartları için yapılmıştır.



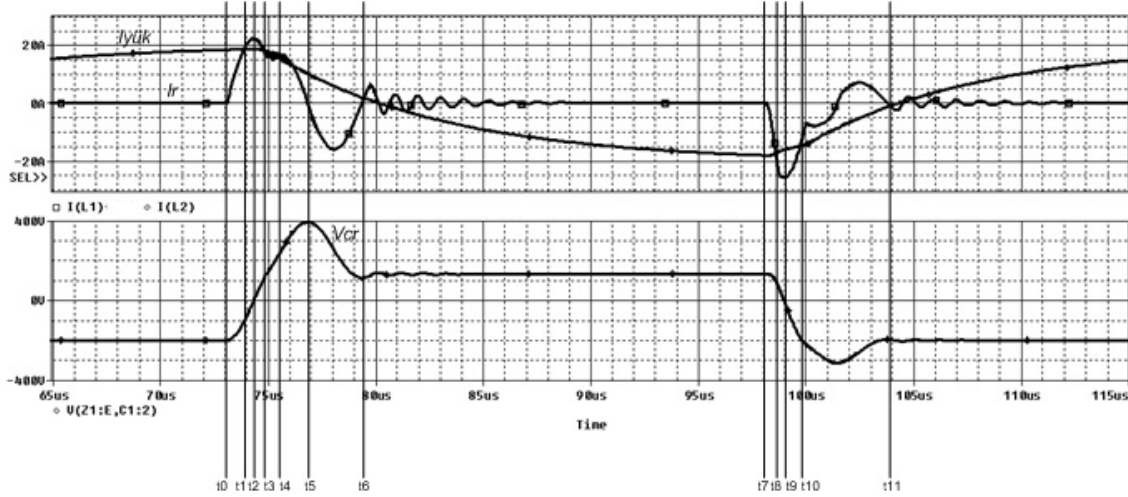
Şekil 5. Bir faz tam köprü yumuşak anahtarlmalı çeviricinin eşdeğer devreleri (Equivalent circuits of one phase full bridge soft switching converter)

3. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI ÇEVİRİCİNİN ÇALIŞMASI (OPERATION OF SOFT SWITCHING CONVERTERS)

Geliştirilen YA çeviricinin çalışması şöyle özetlenebilir. Şekil 1'deki A10 ve A11 ana anahtarları iletimden çıkmak üzere iken, buna paralel bağlı Y1 yardımcı anahtarı devreye alınarak, rezonans koldan geçen akım kısa sürede yük akımı seviyesine çıkartılmaktadır. Rezonans kol akımı, yük akımına eşit olduğu noktadan sonra, A10 ve A11'in ters paralel diyotları iletime gireceğinden, sürme sinyali

kesilerek A10 ve A11'in sıfır akım altında kesim yapması sağlanmaktadır. Rezonans kol akımı yön değiştirdikten sonra, yani Y1'in ters paralel diyotu iletime girdikten sonra, Y1 anahtarının sürme sinyali kaldırılabilir. Bu durumda, hem A10 ve A11 hem de Y1 anahtarları kayıpsız kesime götürülebilmektedir. Bu aralıklardaki YA çeviricinin eşdeğer devreleri Şekil 5'te verilmektedir.

Rezonans devrenin akım, gerilim ve yük akımı eğrileri Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 5'teki eşdeğer



Şekil 6. Rezonans kol akımı, rezonans kondansatör gerilimi ve yük akımı ilişkisi (Relationships of resonant branch current, resonant capacitor voltage and load current)

devreler ile Şekil 6'daki akım gerilim eğrilerinden yararlanarak devrenin çalışması 9 modda incelenebilir.

Mod -I [t_0-t_1] : t_0 anında Y1 anahtarı devreye alınarak yardımcı devrede rezonans başlatılır. t_1 anında i_r akımı $i_{yük}$ akımına ulaşacaktır. C_r gerilimi bu aralık boyunca pozitif yönde artacaktır. Eşdeğer modeli Şekil 5(a)'da verilen bu aralığa ait devreye Kirchhoff gerilim yasasının (KGY) uygulanması sonucu rezonans endüktans akımı (i_{lr}) ve rezonans kondansatörü gerilim (v_{cr}) denklemleri şöyle oluşur;

$$i_{lr}(t) = \frac{V_{c0}}{Z_0} \sin(\omega t) \quad (10)$$

$$v_{cr}(t) = -V_{c0} \cos(\omega t) \quad (11)$$

burada;

V_{c0} : Rezonans kondansatörün başlangıç değeri (V)

Z_0 : Eşdeğer devre empedansı (Ω) $\left(Z_0 = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \right)$

ω : Açısal frekans (rad/s)

Mod -II [$t_1-t_2-t_3$] : $i_r > i_{yük}$ olmasından sonra bu iki akım arasındaki fark DA10 ve DA11 diyotlarını iletme sokacaktır. t_2 anında i_r akımı tepe değerine ulaştığında, A10 ile A11 anahtarları sıfır akım altında kesime götürülebilir. Tepe değerine ulaşan i_r akımı t_2 anından sonra azalmaya başlamakta ve t_3 anında tekrar yük akımı seviyesine inmektedir. Şekil 5(b)'deki devreye KGY uygulanması ile;

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\omega t) + \frac{-V_{c0}}{Z_0} \sin(\omega t) \quad (12)$$

$$v_{cr}(t) = V_{c0} \cos(\omega t) + i_{l0} Z_0 \sin(\omega t) \quad (13)$$

elde edilir. Bu eşitliklerde;

i_{l0} : Rezonans endüktans akımının başlangıç değeridir (A)

Mod -III [t_3-t_4] : Bu aralık boyunca $i_{yük}$ akımı, rezonans kol vasıtasıyla devresini tamamlayacaktır. Aralık, $V_{cr} = V_{dc}$ gerilimi eşitliği sağlanana kadar devam eder. Bu aralıkta, salınımlı devre özelliği görülür. Eşdeğer devreye KGY uygulanması ile;

$$i_{lr}(t) = e^{-\alpha t} (A \cos(\beta t) + B \sin(\beta t)) \quad (14)$$

$$v_{cr}(t) = V_{dc} - L \frac{di}{dt} - R_y i(t) \quad (15)$$

elde edilir. Eşitliklerde;

V_{dc} : Evirici besleme gerilimi (V)

α = Neper frekansı (sönüm katsayısı) (1/s)

β = Doğal frekans (rad/s)

A ve B = Çözüm katsayıları

Mod -IV [t_4-t_5] : $V_{cr} = V_{dc}$ eşitliğinden sonra rezonans tekrar başlayacaktır. t_4 anında A20 ve A21 anahtarları kayıpsız bir şekilde devreye alınabilir. t_5 anında $i_r = 0$ olması ile bu aralık sona erer. Eşdeğer devreye KGY uygulanması sonucu;

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\omega t) + \frac{V_{dc} - V_{c0}}{Z_0} \sin(\omega t) \quad (16)$$

$$v_{cr}(t) = V_{dc} - (V_{dc} - V_{c0}) \cos(\omega t) + i_{l0} Z_0 \sin(\omega t) \quad (17)$$

elde edilir V, VI, VII, VIII ve IX modlarının denklemleri yukarıdaki modlarda olduğu gibi eşdeğer devreler vasıtasıyla çıkarılabilir. Tüm modları faz düzlem yöntemi ile analiz etmek de mümkündür.

3.1. Faz Düzlem Analizi (State Plane Analysis)

Önerilen yöntem LC rezonans kol içermektedir. Kol için oluşturulacak denklemler, ikinci mertebeden bir sistemdir. $\ddot{x} + 2\zeta\omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ formunda tanımlanan ikinci mertebeden sistemlerin grafiksel

incelenmesi faz düzlemi ile yapılabilmektedir. Böylece, ikinci mertebeden dinamik sistemlerin uzay durumunda çeşitli ilk değerlere karşılık gelen hareketli yörüngeleri üretmek ve bu yörüngelerin nicel özellikleri incelenebilmektedir. Sistemin kararlılık ve çeşitliliği (patterns) ile ilgili bilgiler elde etmek mümkün olmaktadır [2,18].

Rezonans endüktans akımı i_{lr} , ve rezonans kondansatör gerilimi V_{cr} durum değişkeni olarak seçildiğinde, rezonans koldaki akım ve gerilime ait diferansiyel denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{di_{lr}}{dt} = \frac{1}{L_r} V_{cr} + \frac{1}{L_r} V_{kol} \quad (18)$$

$$\frac{dV_{cr}}{dt} = \frac{1}{C_r} i_{lr} \quad (19)$$

Burada, V_{kol} rezonans kol gerilimini temsil etmektedir ve her anahtarlama modunda kondansatörde depolanan gerilim büyüklüğüne ve kola uygulanan gerilime bağlı olarak değişmektedir. Önerilen yöntem için oluşturulan faz düzlem yörüngesi Şekil 7’de verilmektedir.

Faz düzlem eğrileri vasıtasıyla devre elemanları üzerindeki akım gerilim miktarı tek bir egride görülebilmektedir. Faz düzlem eğrisine bakıldığında akım maksimum tepe değerlerine B ve D noktalarında ulaşmaktadır.

Bu değer;

$$I_{rtepe} = \frac{V_{dc}}{Z_0} \quad (20)$$

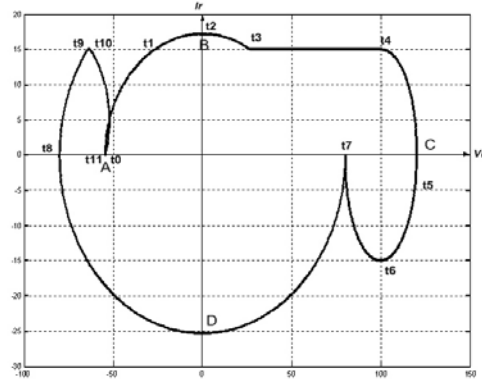
olarak bulunur. Gerilim ise en büyük değerine C noktasında ulaşır.

Bu değer

$$V_{crtepe} = 2V_{dc} - V_{cr0} \quad (21)$$

olmaktadır.

Şekil 7’de görülen faz düzlem yörüngesinde, eğrinin başlangıç noktası ($V_{r0}, 0$) koordinatıdır. Bu koordinat eğri üzerinde bir noktadır. Eğrinin tamamı bu tür noktaların birleştirilmesi sonucu oluşturulmaktadır. Zaman düzleminde bulunan dalga şekilleri faz



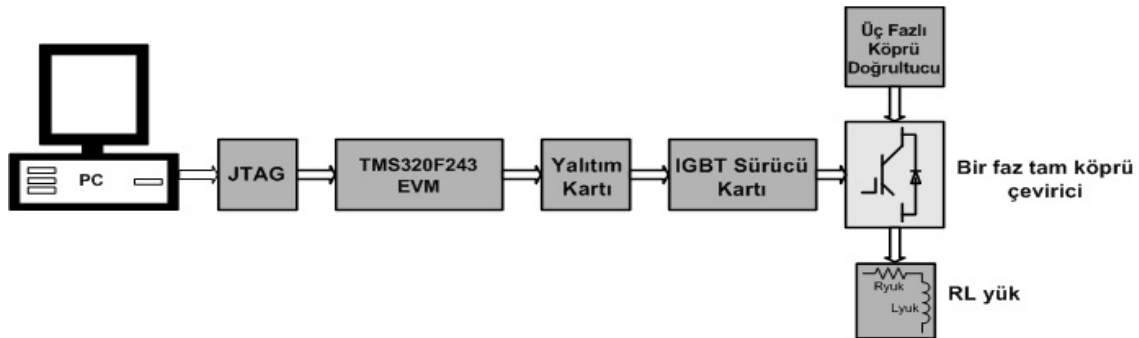
Şekil 7. YA yönteminin faz düzlem yörüngesi (State plane diagram related soft switching methods).

düzlemine dönüştürülürken dikey eksen I_r ve yatay eksen V_r olarak alınmaktadır [18]. Bu çalışmada, dikey eksen normalizasyon yapılmamıştır. Yörüngede zaman artışı saat yönündedir. Yörünge incelendiğinde, önerilen yöntemde rezonans kolun maruz kaldığı gerilim ve akım değerleri beklendiği gibi aynı anda görülebilmektedir.

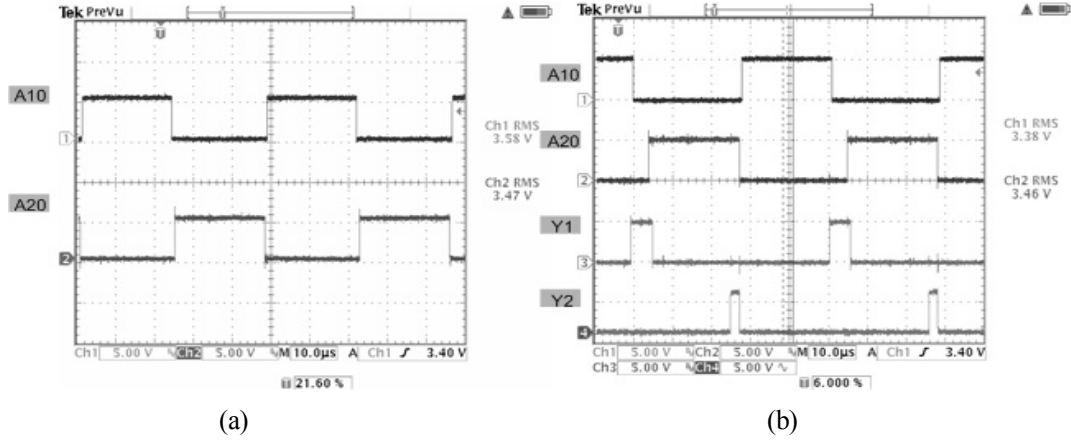
4. BENZETİM VE UYGULAMA SONUÇLARI (SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS)

SA ve YA çeviriciler uygulama esnasında 20 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılmıştır. Deneysel çalışmada tüm ölçümler Tektronix TDS 3014 sayısal osiloskobu vasıtasıyla yapılmıştır. Her iki çevirici yapısında da gerilim, yük ve anahtarlama frekansları aynı tutularak ölçümler yapılmıştır. Gerilim ölçümleri 1/50 çarpanlı yalıtımlı gerilim probu ile gerçekleştirilmiştir. Güç ölçmeleri ve özellikle anahtar üzerinde meydana gelen kayıp güç ölçümleri ise, akım ve gerilim değerlerinin osiloskop vasıtasıyla çarpıtılması sonucu elde edilmiştir.

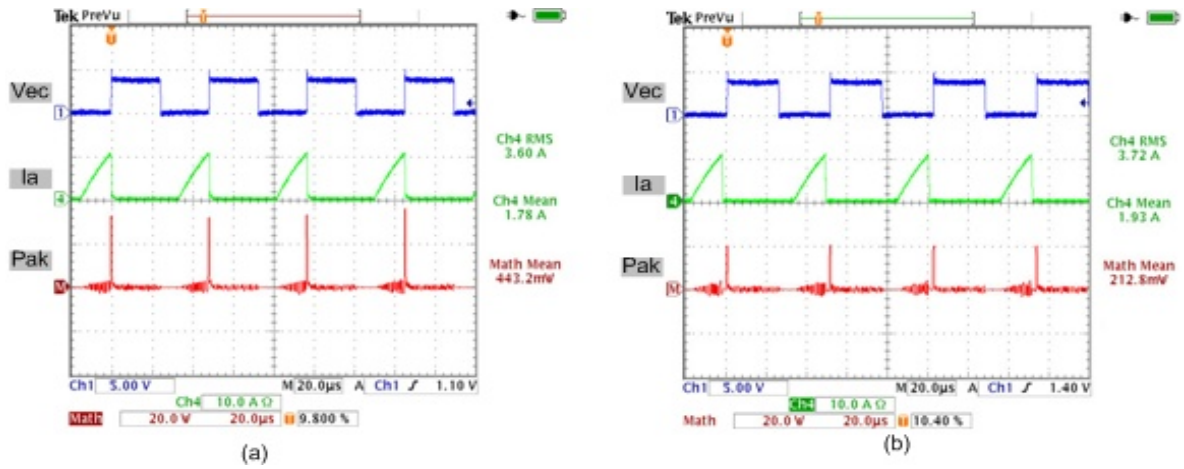
SA’lı çeviricinin alt ve üst anahtarlarına uygulanan sürme sinyali Şekil 9(a)’da gösterilmiştir. Burada üstteki ana anahtar ile alttaki ana anahtar arasında 1µs ölü zaman bırakılmıştır. YA’ çeviricinin bir fazı için uygulanan sürme sinyalleri ise Şekil 9(b)’de verilmektedir. Burada ölü zaman evirici yapısından dolayı kullanılmamaktadır. Y1 ve Y2 etiketli sinyaller yardımcı anahtarların sürme sinyallerini göstermektedir.



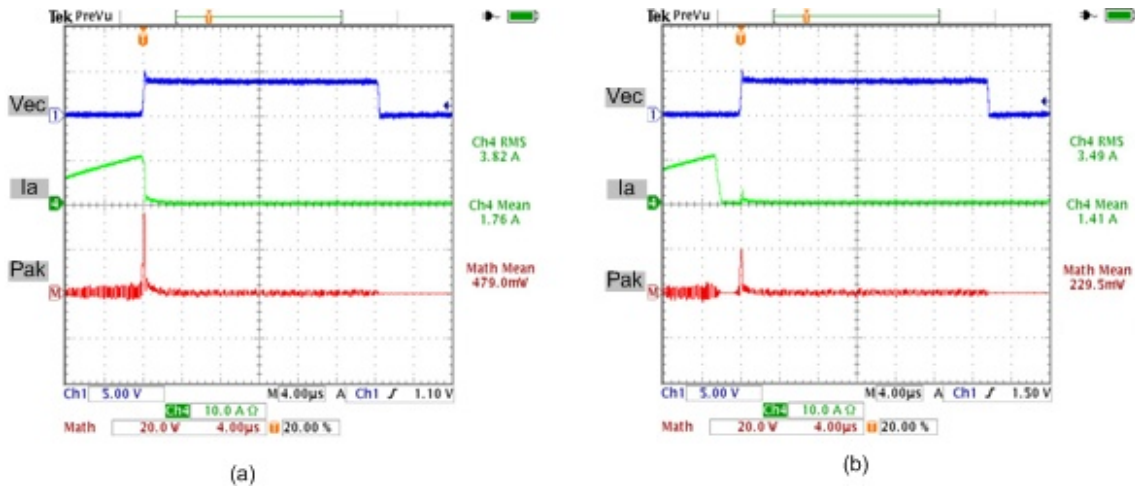
Şekil 8. Gerçekleştirilen bir fazlı tam köprü çeviricinin blok diyagramı (Block diagram of single phase full bridge converter).



Şekil 9. Çevirici anahtarlarının sürme sinyalleri, a) SA'lı yapı b) YA'lı yapı (Drive signals of the converter switches a) Hard switching b) Soft switching)



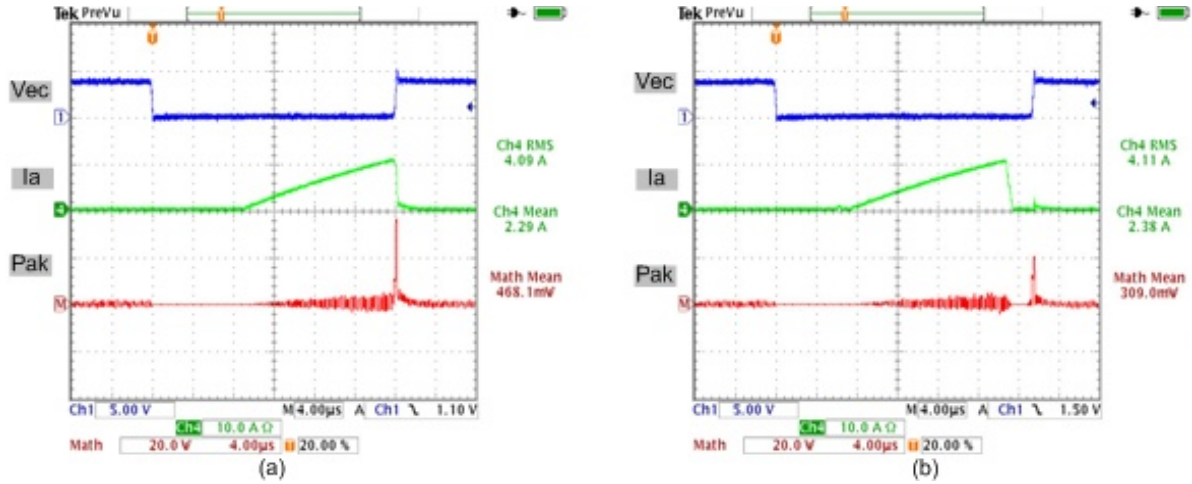
Şekil 10. 20 μ s'de V_{cc} gerilimi, I_a akımı ve P_{ak} güç kaybı sonuçları a) SA deneysel b)YA deneysel (V_{cc} voltage, I_a current and P_{ak} power loss results for 20 μ s a) Hard switching experimental b) Soft switching experimental)



Şekil 11. 4 μ s kesim geçişlerinde V_{cc} gerilimi, I_a akımı ve P_{ak} güç kaybı sonuçları a) SA deneysel b)YA deneysel (V_{cc} voltage, I_a current and P_{ak} power loss results for 4 μ s turn off transition a) Hard switching experimental b) Soft switching experimental).

Şekil 10, 20 μ s'de anahtar üzerindeki V_{cc} gerilimini, I_a anahtar akımını ve P_{ak} anahtar kayıp güçlerini göstermektedir. Şekil 10(a) SA (b) ise YA için sonuçları göstermektedir. Şekil 10'daki sonuçlar

incelendiğinde YA yapıda anahtardan geçen akımın etkin ve ortalama değeri SA'lı yapıdakinden daha büyüktür. Buna rağmen SA'lı yapıda ölçülen güç kaybı 22,15 W (0,443Wx50), YA'lı yapıda ise, güç



Şekil 12. 4 μ s iletim geçişinde V_{ec} gerilimi, I_a akımı ve P_{ak} güç kaybı sonuçları a) SA deneysel b)YA deneysel (V_{ec} voltage, I_a current and P_{ak} power loss results for 4 μ s turn on transition a) Hard switching experimental b) Soft switching experimental)

kayıbı 10,6 W (0,212Wx50) olarak bulunmuştur. Buna göre önerilen YA'lı yapıyla anahtar kayıplarında %52'lik bir iyileştirme sağlanmaktadır. Anahtarlama kayıplarının daha iyi bir şekilde incelenmesi için 4 μ s kesim ve iletim geçişleri de ölçülmüştür.

Şekil 11'de verilen 4 μ s kesim sonuçlarında, YA'lı yapıda anahtar akımı etkin değeri 3,49 A ve ortalama değeri 1,41 A iken, SA'lı yapıda anahtardan geçen akımın etkin değeri 3,82 A ortalama değeri ise 1,76 A dir. Buna göre meydana gelen anahtarlama kayıpları SA yapıda 23,95 W önerilen YA yapıda ise 11,47 W olarak bulunmaktadır. Geliştirilen YA yapısı ile aynı şartlardaki SA eviriciye göre anahtarlama

kayıplarında %52 iyileştirme yapıldığı anlaşılmaktadır. Şekil 11'de güç kaybının bulunduğu, P_{ak} etiketli sonuçlardan görüldüğü gibi SA'lı yapıda kayıp enerjinin tepe değeri oldukça yüksek olmaktadır. Şekil 11 (b)'de, ana anahtar akımının, kesim geçişinden önce sıfıra götürüldüğü görülmektedir. Bu nedenle anahtar kayıplarında özellikle kesim geçişlerinde büyük oranda azalma sağlanmaktadır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bir fazlı tam köprü çevirici için sıfır akım geçişli yumuşak anahtarlama yöntemi geliştirilmiştir. Aynı çalışma koşullarında klasik sert anahtarlamalı çevirici ile geliştirilen yumuşak anahtarlamalı çevirici ayrı ayrı denenmiştir. Uygulama sonuçlarına göre iletim kayıplarında %34, kesim kayıplarında %52 azalma sağlandığı görülmüştür. Sıfır akım geçişli çeviricilerin tasarımında karşılaşılan bir problem olan rezonans kol elemanlarının seçimi için yeni bir yöntem ortaya konmuştur. Klasik sert anahtarlamalı çeviriciye eklenen rezonans kol anahtarları iletim ve kesim geçişlerinde kısa süreli olarak iletme alındığından dolayı yük akımının dalga şeklinde bir bozulma olmamaktadır. Ana ve yardımcı anahtarlar üzerindeki maksimum gerilim baskısı, kaynak gerilimi

seviyesindedir. Önerilen yöntemin avantajlarından birisi de ana anahtar sürme sinyalinin yardımcı anahtarların sürme sinyalinden bağımsız olmasıdır. Bu nedenle, yöntem değişik modülasyon teknikleri ile beraber kolaylıkla kullanılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kazimierczuk M.K. and Czarkowski D., **Resonant Power Converters**, John Wiley&Sons, Inc., New York, 3-7, 1996.
2. Bellar M.D., Wu T.S., Tchamdjou A., Mahdavi J. and Ehsani M., "A review of soft switched DC-AC converters", **IEEE Transaction on Industry Applications**, Vol. 34, No 4, 847-860, 1998.
3. Jovanovic M.M., "Resonant, quasi-resonant, multi-resonant and soft-switching techniques merits and limitations" **International Journal of Electronics**, Vol. 77, No 5, 537-554, 1994.
4. Li Y., Lee F.C. and Boroyevich D., "A three phase soft transition inverter with a novel control strategy for zero current and near zero voltage switching" **IEEE Transaction on Power Electronics**, Vol. 16, No 5, 710-723, 2001.
5. Petterteig A., Lode J. and Undeland T.M., "IGBT turn off losses for hard switching and capacitive snubbers" **Industry Applications Society Annual Meeting Conference Record of the 1991 IEEE**, Vol. 2, 1501-1507, 1991.
6. Pickert V. and Johnson C.M., "Three phase soft switching voltage source converters for motor drives. Part 1: Overview and analysis", **IEE Proc. Electr. Power Appl.**, Vol. 146, No 2, 147-154, 1999.
7. Venkataraman G., Divan D.M., "Control of pulse width modulated resonant DC link inverter", **Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1992 IEEE**, Vol. 1, 737-743, 1992.
8. Çolak İ., Elmas Ç., Bal G. and Coşkun İ. "High frequency resonant DC link PWM inverter"

- Proceedings of IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON**, Vol. 1, 1251-1254, Antalya, 1994.
9. Canesin C.A. and Barbi I., "Novel zero-current-switching PWM converters" **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Vol. 44, No 3, 372-381, 1997.
 10. Hua G., Leu C.S., Jiang Y. and Lee F.C., "Novel zero voltage transition PWM converters", **Power Electronics Specialist Conference, PESC'92 Record 23rd Annual IEEE**, Vol. 1, 55-61, 1992.
 11. Hua G., Yang E.X., Jiang Y. and Lee F.C., "Novel zero current transition PWM converters", **Power Electronics Specialist Conference, PESC'93 Record 24th Annual IEEE**, Vol. 1, 538-544, 1993.
 12. Lee D.Y., Lee M.K., Hyun D.S. and Choy I., "New zero-current-transition PWM DC/DC converters without current stress", **IEEE Transaction on Power Electronics**, Vol. 18, No 1, 95-104, 2004.
 13. Liu K.W. and Lee F.C., "Zero-voltage switching technique in DC/DC converters", **IEEE Transactions on Power Electronics**, Vol. 5, No 3, 293-304, 1990.
 14. Li Y., Lee F.C., Lai J. and Boroyevich D., "A novel three phase zero current transition and quasi zero voltage transition inverter/rectifier with reduced stresses on devices and components" **Applied Power Electronics Conference and Exposition 2000, APEC 2000, Fifteenth Annual IEEE**, Vol. 2, 1030-1036, 2000.
 15. Mohan N., Undeland T.M. and Robbins W.P., **Güç Elektroniği**, Tuncay N., Gökaşan M. ve Boğosyan S., Literatür yayıncılık, 5-10, İstanbul, 2003.
 16. Ivensky G., Sidi D. and Ben-Yaakov S., "A Soft switcher optimized for IGBTs in PWM topologies" **INT. J. Electronics**, Vol. 83, No 5, 703-706, 1997.
 17. www.mitsubishielectric-mesh.com/mesh/power/select%20table/datasheet/IGBT/A-Series/cm150dy-24a_e.pdf
 18. Oruganti R. And Lee F.C., "Resonant power processors, part I state plane analysis" **IEEE Transactions on Industry App.**, Vol. IA-21, No 6, 1453-1460, 1985.