

ZCZVT DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU EVİRİCİLERDE YUMUŞAK ANAHTARLAMA KARAKTERİSTİKLERİ VE GÜVENİLİRLİK YÖNTEMLERİ

Mustafa Nil¹

Metin Nil²

Bekir Cakir¹

Murat Sönmez³

¹Elektrik Müh.Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, 41100 Kocaeli / Türkiye

²AR-GE RES Reliability EMC&Safety Bölümü VESTEL, 45030 Manisa / Türkiye

³Elektronik ve Hab. Müh.Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, 41100 Kocaeli / Türkiye

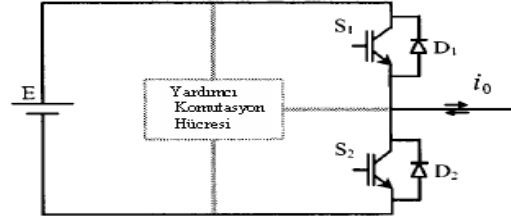
Özet. Rezonans temelli ZCZVT Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) yumuşak anahtarlama eviricilerin anahtarlama karakteristikleri incelenerek, veriminin artırılması ve güvenilirlik test yöntemleri üzerinde durulmuştur. Sert anahtarlama eviricilerin sakıncalarını ortadan kaldırmak için birçok yumuşak anahtarlama evirici yapıları geliştirilmiştir. Orcad 10.5 simülasyon programının doğru sonuçlar vererek yapılacak yeni özgün çalışmalara katkı sağlayabileceği görülmüştür. [5]

Anahtar Kelimeler: PWM , güvenilirlik, rezonans, verim

1. Giriş

Artan gereksinimleri karşılamak için güç eviricilerinin yüksek frekanslardaki güç yoğunluğunun iyileştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bununla beraber frekansın artmasıyla anahtarlama ötürü yüksek güç kayıpları yarılentken anahtarları üzerinde başlar. Yüksek dv/dt ve di/dt 'den dolayı elektromagnetik girişimleri (EMG) azaltmak için çeşitli yumuşak anahtarlama teknikleri tasarlanmıştır. Eviricilerde yumuşak anahtarlama teknikleri yük rezonanslı, hat rezonanslı ve rezonans geçişli devrelere uygulanır.

Yük rezonanslı eviricilerde rezonans hücresi yük tarafına seri, paralel ya da seri-paralel bağlanır. Sabit yüklü uygulamalarda görülür. ZVS ve ZCS durumları evirici köprüsündeki anahtarlar için yapılıdır. Çalışmanın rezonans kısmı anahtarlama periyodunda görülür. Hat rezonanslı eviricilerde rezonans hücresi DC besleme ve evirici köprüsü arasına bağlanır. Giriş hattı güç elemanın anahtarlama durumuna göre salınım yapar. Rezonans geçişli eviricilerde giriş hat gerilimi gerilim ara devreli (VSI) ya da akım ara (CSI) devrelidir. PWM yöntemi ve yumuşak anahtarlama teknikleri bu eviricilerde de kullanılmaktadır. Yardımcı hücre; evirici anahtarlarının yumuşak geçişini sağlamak amacıyla sadece anahtarlama geçiş periyotlarında çalıştırılmaktadır. Yumuşak anahtarlı yüksek frekanslı klasik PWM 'li evirici Şekil 1'de verildiği gibidir:



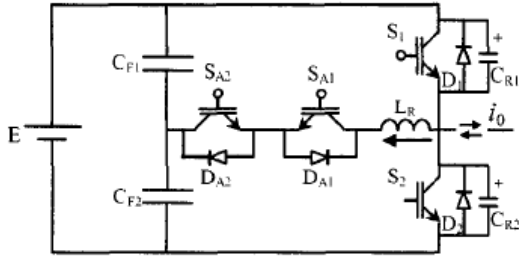
Şekil 1. Tek fazlı yardımcı komutasyon hücreli evirici

Komutasyon hücresi aşırı akım ve gerilim salınımlarının (di/dt ve dv/dt) azalmasına katkı sağlar. Oluşan rezonansla elektromagnetik girişimin etkisi düşerken anahtarlama stresleri en az seviyeye indirgenir. ZVS'li kısmi rezonanslı eviricinin en büyük dezavantajı akım stersleri; ZCS'li kısmi rezonanslı eviricide ise düşük akım oranlarına karşın yüksek gerilim oranlarına sahip olmasıdır. Rezonans bastırma temelli eviricilerde ana anahtarlar GTO veya IGBT gibi kendinden sönmümlü anahtarlarla ZVS' de, yardımcı anahtarlar ise ZCS' de çalışmaktadır. Yardımcı rezonans komutasyonlu kutuplu evirici (ARCPI) ile hedef; rezonans endüktansının ana güç hattından uzaklaşmasıdır. Rezonans geçişli eviricilerin temelinde ise (ZVT, ZCT , ZCZVT eviricileri) ARCPI yer almaktadır. [1]

2. Yumuşak Anahtarlı ZCZVT Eviricilerin Sınıflandırılması

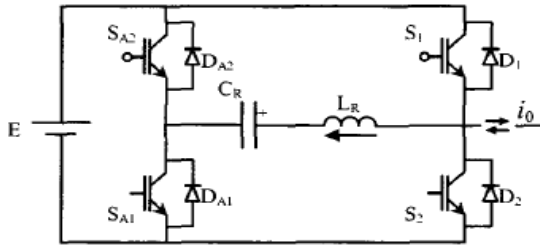
ZVT 'li rezonans geçişli eviricilerin en önemlilerinden bir tanesi Şekil 2'de belirtilen ARCPI 'dir. ZVT eviricilerin çalışma topolojisinde; ana anahtarlar sıfır gerilimde yardımcı anahtarlar ise sıfır akımda anahtarlanır. Yardımcı rezonans hücresi yük akımına bağlı olmadığı anlarda kondansatörlerin dolma boşalma zamanlarında etkili olur. Ana anahtar için IGBT kullanılarak kesimdeki yüksek anahtarlama kayıpları azaltılır. Yardımcı rezonans hücresinde değişiklikler yapılarak yeni rezonans hücresi oluşturmak mümkündür. Yardımcı rezonans hücresine transformatör ilave edilerek tasarlanan yumuşak geçişli ZVT eviricilerinde transformatörün gerilim oranından ötürü akım aşırı dalgalanmayabilir. Yardımcı anahtarlar sıfır akım durumu dışında

kesimdedirve transformatörün yapısından ötürü komutasyon süresi sınırlanır.



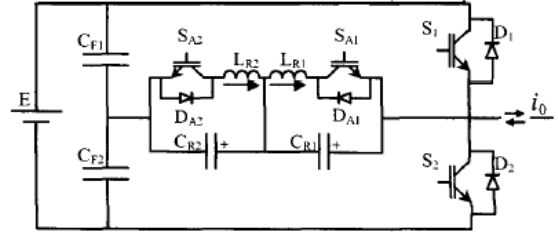
Şekil 2. Yumuşak Geçişli ZVT Evirici

Bu eviricilerde yardımcı rezonans hücresi yük akımı sırasında komutasyona sokulurlar. Ana anahtarlar ZCS altında çalıştırılır. Yumuşak geçişli ZCT evirici Şekil 3.'de verildiği gibidir. Bu eviricilerde tüm anahtarlar sıfır akımda komutasyonu gerçekleştirilir. Anahtarlama stratejisine bağlı olarak bu devre farklı şekillerde çalıştırılabilir. ZCT ve ZC-NZVT bunlardan ikisidir. ZCT eviricilerinde ana anahtarların iletimdeyken ortaya çıkan gerilim; iletim kapasitif kayıpları olarak bilinir. Ana diyodun ters toparlanma kayıpları ile ilgili problem en az seviyede değildir. Yardımcı anahtarlar çıkış seviyesine ulaştığı anda ana anahtarlar o anda hemen iletime girmelidir. Buradan çıkış akımının anlık değerine bağlı olduğu sonucu ortaya çıkar buda daha karmaşık bir devreyi gerektirir.



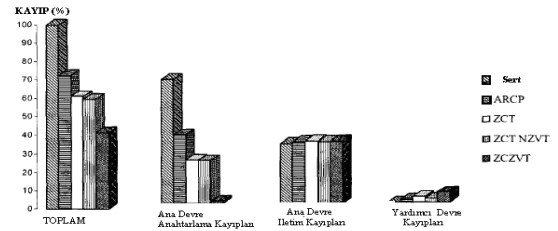
Şekil 3. Yumuşak Geçişli ZCT Evirici

Yumuşak geçişli ZCZVT evirici Şekil 4'te verildiği gibidir. Bu topolojide ana anahtarlar anlık olarak iletim ve kesime girerler. Yardımcı devre sadece komutasyon sırasında devrededir ve çıkış akımını üzerine alırlar ayrıca ana anahtarların ve diyotların yumuşak anahtarlama sırasında çalışırlar. Ana anahtarlar sıfır akımda kesime girdiğinde devredeki parazitik endüktansın olumsuzluk etkisini önemli ölçüde azaltır, sıfır gerilimde iletime girdiğinde elemanların kapasitif etkisini önemli ölçüde azaltır. di/dt ve dv/dt kontrol edilmesinden dolayı ana diyodun ters toparlanma etkisi en az seviyededir ve EMI azaltılmaktadır. Yardımcı devrenin süresi çıkış akımının anlık değerinde etkili değildir.



Şekil 4. Yumuşak Geçişli ZCZVT Evirici

Yumuşak geçişli eviricilerin tasarımında güç kayıpları oldukça önemli ve bu durumlarda uygun soğutucuların kullanılması gerekmektedir. İyi bir sonucun alınması için pasif elemanın, iletime giren anahtarlama kayıpları ve eklem sıcaklıklarının bilinmesi gerekir.



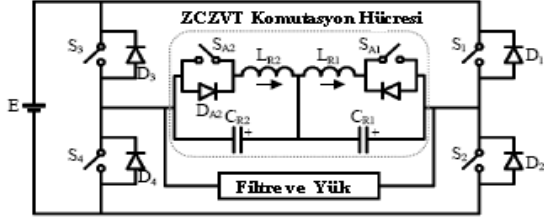
Tablo 1. Yumuşak Geçişli Evirici Tekniklerinde Kayıplar

Maksimum verim elde edebilmek için yumuşak geçişli eviricilerde ana anahtarlardaki iletim ve kesim kayıpları azaltılmalıdır. Ayrıca yardımcı hücredeki anahtarlar yumuşak anahtarlmalıdır. Yumuşak geçişli eviricilerde komutasyon elemanlarda ya da devrelerde aşırı gerilime, akıma ya da termal strese neden değildir. Yardımcı eleman sayısının azlığı fiyatının düşmesine ve devrenin basitleşmesine neden olmaktadır. Yapılan ZCT, ZVT ve ZCZVT çalışmalarının tablolardan verilen özellikleri pratik evirici uygulamalarına katkı sağlamaktadır. Geliştirilen ZCT ve ZCT-NZVT topolojileri kesimde ana anahtarlardaki anahtarlama kayıplarını azaltmaktadır ancak rezonans kapasitesi üzerindeki gerilim stresi ve diyot üzerindeki ters toparlanma kayıpları mevcuttur. [1]

3. ZCZVT Darbe Genişlik Modülasyonlu Eviricilerde Yumuşak Anahtarlama Karakteristikleri

ZCZVT'li PWM'li tam köprü evirici Şekil 5'de verildiği gibidir. Bu eviricinin sert anahtarlama tam köprü eviricisinden ayrılan tarafı rezonans hücresinde bulunan CR1-CR2 kondansatörleri, LR1-LR2 endüktansları, SA1-DA1 ve SA2-DA2 anahtarlarıdır. Yardımcı komutasyon hücresi sadece anahtarlama geçişleri sırasında aktiftir. I0 çıkış

akımı bir periyot için sabittir. I_0 akımı için $I_0 > 0$ ve $I_0 < 0$ iki durum geçerlidir. Devrenin çalışma prensibi sadece bir durum için geçerlidir. Bir anahtarlama periyodu için iletim D_2 - D_3 ile S_1 - S_4 arasındadır.



Şekil 5. Tam Köprü ZCZVT Evirici

1. Aralık (t_0 - t_1) : I_0 çıkış akımı D_2 ve D_3 diyotları arasından geçer. Rezonans kapasite gerilimleri $V_{CR1}(t) = -2E$; $V_{CR2}(t) = E$ değerindedir.

2. Aralık (t_1 - t_2) : S_{A1} anahtarı t_1 anında ZCS altında iletime girer. Bu andan itibaren $i_{LR1}(t)$ akımı artarak L_{R1} , C_{R1} ve C_{R2} arasında rezonansa girerken D_2 ana diyotu aynı oranda düşer. D_2 ana diyot akımı sıfıra düşmesiyle bu aralık sona erer.

3. Aralık (t_2 - t_3) : Bu aralıkta çıkış akımı doğrusal olarak C_{R2} üzerinden boşalır. $V_{CR1}(t)$ kapasite gerilimi artarak L_{R1} ve C_{R1} arasında rezonansa neden olur. $V_{CR2}(t)$ sıfıra ulaştığında D_{A2} diyotu iletime başlar.

4. Aralık (t_3 - t_4) : Bu aralıkta rezonans kapasite gerilimleri $V_{CR1}(t)$ ve $V_{CR2}(t)$ rezonansın etkisinde değişmektedir. $V_{CR1}(t)$ ve $V_{CR2}(t)$ gerilimlerinin toplamı sıfır olduğu anda D_1 ve D_4 diyotları iletime başlar.

5. Aralık (t_4 - t_5) : D_1 ve D_4 diyotları iletimdeyken S_1 ve S_4 ana anahtarlarının ZCS ve ZVS altında iletimde olması sağlanmalıdır. D_1 ve D_4 diyotlarındaki akım sıfıra düştüğünde S_1 ve S_4 iletime geçer.

6. Aralık (t_5 - t_6) : Bu aralıkta $i_{LR1}(t)$ akımı azalarak sıfıra düştüğünde D_{A1} diyotu iletime başlar.

7. Aralık (t_6 - t_7) : Bu aralıkta $i_{LR2}(t)$ akımı sıfır olduğunda D_{A2} diyotu kesime geçer. Bu aralıkta S_{A1} yardımcı anahtarı mutlaka ZCS ve ZVS altında kesimde olması sağlanmalıdır.

8. Aralık (t_7 - t_8) : Bu aralıkta $i_{LR1}(t)$ akımı sıfır olduğunda D_{A1} diyotu kesime geçer.

9. Aralık (t_8 - t_9) : Bu aralıktaki devrenin çalışması sert anahtarlama PWM tam köprü evirici gibidir. I_0 çıkış akımı S_1 ve S_4 ana anahtarları arasından geçer.

10. Aralık (t_9 - t_{10}) : t_9 anında S_{A1} yardımcı anahtarı ZCS altında tekrar iletime girer. $i_{LR1}(t)$ akımı artarak L_{R1} , C_{R1} ve C_{R2} arasında rezonansa neden olur. S_1 ve S_4 teki akım sıfıra düştüğünde D_1 ve D_4 diyotları iletime geçer. S_1 ve S_4 teki gerilim sıfırdır.

11. Aralık (t_{10} - t_{11}) : D_1 ve D_4 diyotları üzerindeki akım sıfıra düşene kadar rezonans gerçekleşir. S_1 ve S_4 anahtarlarına uygulanan gerilim ZVS altında kesilmelidir.

12. Aralık (t_{11} - t_{12}) : Bu aralıkta C_{R2} kapasitesi üzerindeki gerilimi çıkış akımı vasıtasıyla doğrusal olarak azalarak sıfıra düşer. Bu anda D_{A2} diyotu iletime başlar.

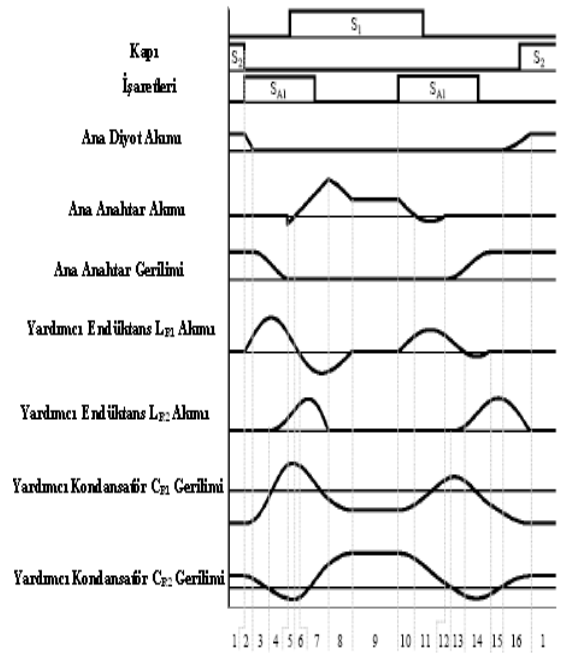
13. Aralık (t_{12} - t_{13}) : Bu aralıkta rezonans endüktans akımı $i_{LR1}(t)$ azalırken L_{R1} , L_{R2} , C_{R1} ve C_{R2} arasında rezonansa neden olur. $i_{LR1}(t)$ akımı sıfır olduğunda D_{A1} diyodu iletime başlar.

14. Aralık (t_{13} - t_{14}) : Bu aralıkta rezonans devam etmektedir. $i_{LR1}(t)$ akımı tekrar sıfır olduğunda D_{A1} diyodu kesime gider.

15. Aralık (t_{14} - t_{15}) : Bu aralıkta C_{R1} kapasitesi çıkış akımı vasıtasıyla doğrusal olarak boşalır ve rezonans kapasite gerilimi $V_{CR2}(t)$ artarak L_{R2} ve C_{R2} arasında rezonansa neden olur.

$V_{CR1}(t)$ ve $V_{CR2}(t)$ kapasitif gerilimlerinin toplamı giriş geriliminin negatif değerine ulaştığında D_2 ve D_3 diyotları iletime başlar.

16. Aralık (t_{15} - t_0) : Bu aralıkta rezonans endüktans akımı $i_{LR2}(t)$ azalarak L_{R2} , C_{R1} ve C_{R2} arasında rezonansa neden olur. Rezonans endüktans akımı $i_{LR2}(t)$ sıfır olduğunda D_{A2} kesimdedir ve diğer anahtarlama çevrimi başlar. [2]



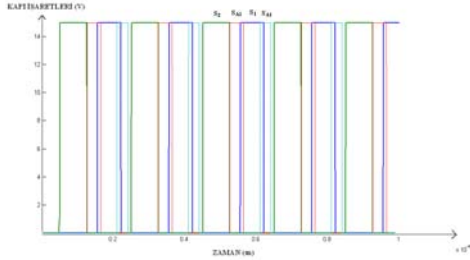
Şekil 6. Tam Köprü ZCZVT Eviricinin Bir Çevrimdeki Teoriksel Dalga Şekilleri [2]

Devrenin karakteristik empedansı Z ;

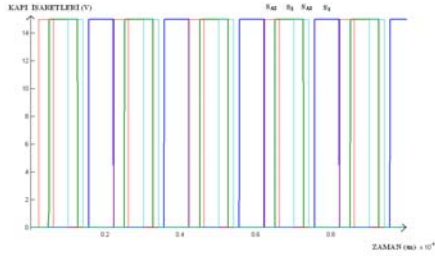
$$Z = \frac{E}{\sqrt{2} k I_0} \text{ dır. } (k = I_{pk}/I_0) \quad [2] \quad (1)$$

Rezonans frekansı ise ;

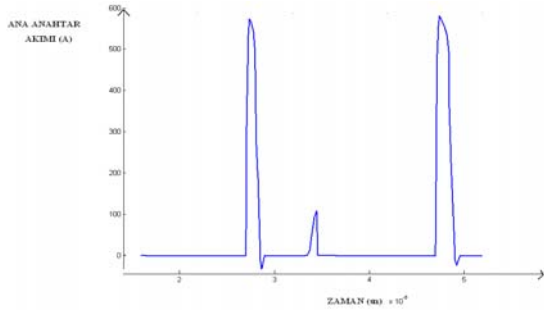
$$w = \frac{\frac{di}{dt} \sqrt{2}.a.\text{Sin}\left(\frac{1}{2k}\right)}{I_{0pk}} \text{ 'dir. [3] (2)}$$



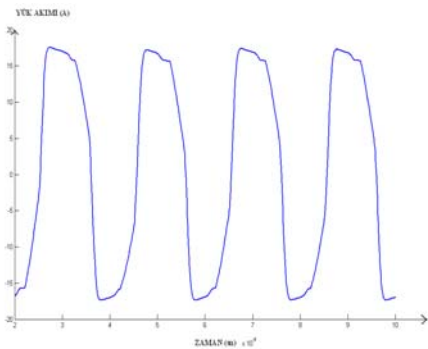
(A)



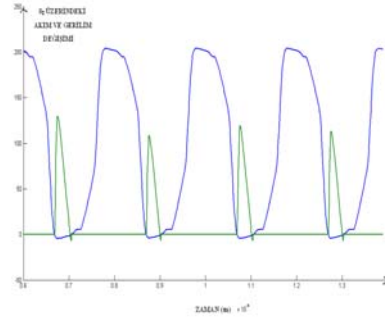
(B)



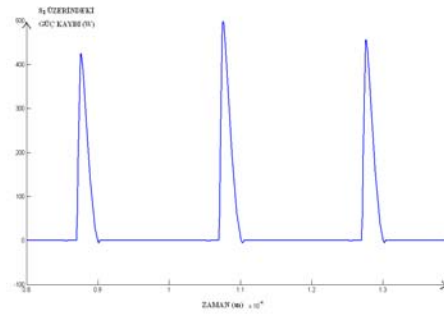
(C)



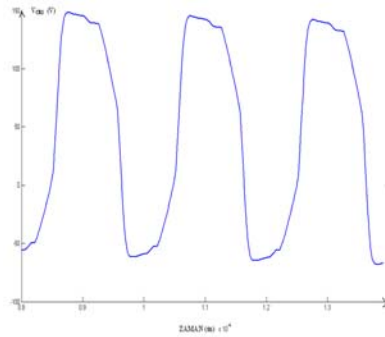
(D)



(E)



(F)



(G)

Şekil 7. Tam Köprü ZCZVT Eviricinin Orcad 10.5 ile Gerçekleştirilen Simulasyon Sonuçları

- (A) , (B): Ana ve yardımcı anahtarlardaki tetikleme işaretleri
- (C): Ana anahtar akımının zamana göre değişimi
- (D): Yük akımının zamana göre değişimi
- (E): S₂ üzerindeki akım ve gerilimin zamana göre değişimi
- (F): S₂ üzerindeki güç kaybı
- (G): C_{R2} üzerindeki gerilim

4. ZCVT Darbe Genişlik Modülasyonlu Yumuşak Anahtarlama Eviricilerde Güvenilirlik Test Planı

Güvenilirlik; Bir cihazın, bir ekipmanın veya bir sistemin belirli koşullar altında, fonksiyonlarını yerine getirebilme olasılığı olarak tanımlanır. Güvenilirlik mühendisliği ise; istatistik, matematik ve mühendisliğin kullanıldığı bir disiplindir.

Eviricinin tasarım aşamasında gerçekleştirildiği güvenilirlik testleri ile hata durumlarını simüle etmek ve bu hata durumlarının oluşmasına engel olmak; analizleri ile tasarım kalite seviyesini artırmak temel amaç olacaktır.

ZCVT Darbe Genişlik Modülasyonlu eviricilerde güvenilirlik testlerine başlamadan önce test planının çıkarılması gereklidir. Test planı iki seviyede yapılır:

4.1. Elektronik Kart Seviyesi Testleri

İşaret Bütünlüğü, Akım Gerilim Stres, Sıcaklık Stres, HALT (Highly Accelerated Life Test), ESD(Elektro Statik Boşalım), EMC/EMI, MTBF (Mean Time Between Failure) Hesaplaması testleridir

4.2. Sistem veya Ürün Seviyesi Testleri

Çevresel Testler: Yüksek/Düşük Sıcaklık Çalışma, Yüksek/Düşük Sıcaklık Depolama, Yüksek/Düşük Nem Çalışma, Yüksek/Düşük Nem Depolama, Sıcaklık Çevrim, Ani Isıl Değişim Testleridir.

Mekanik Testler: Yol Durumu Simülasyon (Elektro Dinamik Titreşim) ve Serbest Düşme Testleridir.

Elektriksel Testler: Heat-run ömür, Şebeke Bozulmaları, Elektriksel Performans Testleridir.

Akustik Testler : SPL(Sound Pressure Level) Testi
EMC/EMI : Radiated Emission, Conducted Emission, Harmonic&Flicker Testleridir

Yukarıdaki testlerden başarı ile sonuçlanmış evirici, tasarım doğrulaması gerçekleşmiş güvenilir bir ürün olarak adlandırılır. [5]

5. SONUÇLAR

ZCVT darbe genişlik modülasyonlu eviricilerin güç yarı iletkenlerinde ilave gerilim stresi görülmemiştir. Ana anahtarlar ZCS ve ZVS altında iletim ve kesime girmiştir. Yardımcı anahtarlar ZCS altında iletime ZCS ve ZVS altında kesime girmiştir. MOSFET, IGBT ve MCT gibi güç elemanlarıyla ZCVT komutasyonunu gerçekleştirmek mümkündür. Ana diyotlar ZVS

altında komutasyona girmesiyle ters toparlanma kayıpları en düşük seviyededir. Yardımcı komutasyon hücresi sadece anahtarlama sırasında aktif olmuştur. Yardımcı rezonans devre elemanları yumuşak anahtarlama yapısına uygun seçilmelidir. Evirici sabit frekansta PWM tekniği ile çalışır[2]. Rezonans bastırma temelli eviricinin farklı yumuşak anahtarlama eviricilerde kullanılabileceği fikri [4]; yumuşak geçişli ZCVT eviricisinde yardımcı rezonans hücresinde yapılan farklı bir düzenekle görülmüştür.

ZCVT darbe genişlik modülasyonlu eviricilerin elektronik kart seviyesi ve entegre olmuş ürün seviyesinde gerçekleştirilecek güvenilirlik testleri ile tasarım kalitesi artırılarak yüksek güvenilirlik seviyesinde ticari olarak üretilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

[1] C.M.O.Stein, H.A.Grundling, H.Pinheiro, J.R. Pinheiro, and H.L.Hey “ Analysis and Comparison of Soft-Transition Inverters”, pp.538-543, IEEE-2003

[2] C.M.O.Stein, H.L.Hey, J.R.Pinheiro, H.Pinheiro and H.A.Grundling “Analysis, Design and Implementation of a New ZCVT Commutation Cell for PWM DC-AC Converters”, pp.845-850, IEEE-2001

[3] C.M.O.Stein, H.A.Grundling, H.Pinheiro, J.R.Pinheiro, and H.L.Hey “ Zero-Current and Zero-Voltage Soft-Transition Commutation Cell for PWM Inverters ”, pp.396-403, IEEE-2004

[4] C.C.Chan, K.T.Chau, D.T.W.Chan, J.Yao,J.S. Lai,Y.Li “Switching characteristics and efficiency improvement with auxiliary resonant snubber based soft-switching inverters” , pp.429-435, IEEE – 1998

[5] Mustafa Nil, M.Nil, B.Çakır, “Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlama Eviricilerin Anahtarlama Karakteristiklerinde Veriminin Arttırılması ve Güvenilirlik Yöntemleri”, 116-120, ELECO 2006 - BURSA