

REZONANS BASTIRMA TEMELLİ YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİLERİN ANAHTARLAMA KARAKTERİSTİKLERİNDE VERİMİNİN ARTTIRILMASI VE GÜVENİLİRLİK YÖNTEMLERİ

Mustafa Nil¹

Metin Nil²

Bekir Cakir¹

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

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

Özet. Rezonans temelli 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.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, rezonans, verim

1. Giriş

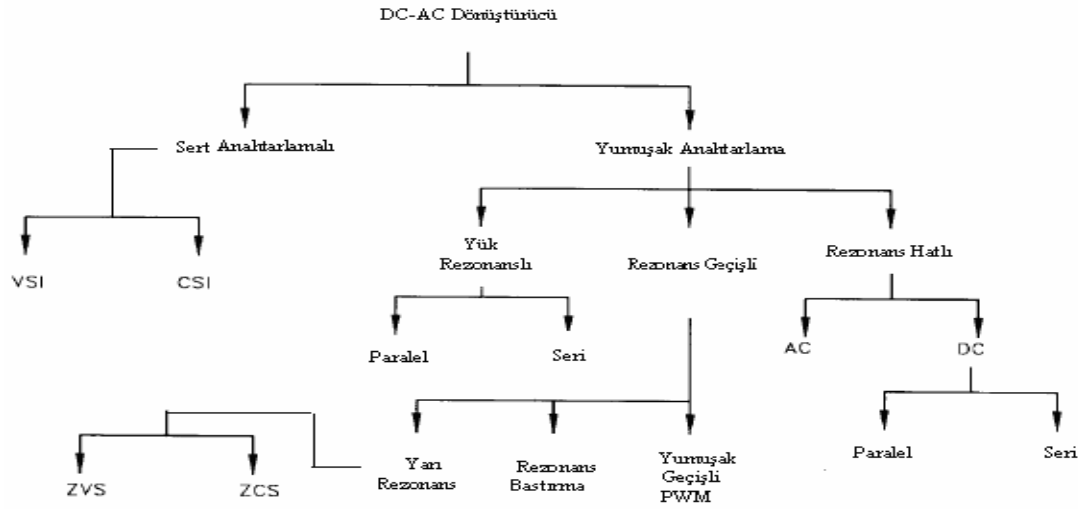
Son yirmi yıldır sert anahtarlama eviricilerin sakıncalarını ortadan kaldırmak için birçok yumuşak anahtarlama evirici yapıları geliştirilmiştir. Teknolojik gelişmeler ile yarı iletken güç anahtarlarının güçleri, anahtarlama hızları ve verimleri artırılmış boyutları küçülmüştür. Bu amaçla günümüzde düşük iletim direncine sahip az sayıda kapı sürme gücü gerektiren İzole Kapılı Bipolar Transistörler (IGBT) yumuşak anahtarlama devrelerinde oldukça yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Anahtarlama, temel olarak bir güç elemanın iletim ve kesime girme işlemleridir. IGBT orta güçlü çalışmalarda en önemli devre elemanıdır. Devrelerin tasarımında maliyet ve boyut açısından devre elemanlarının küçük boyutlu ve hafif olmaları istenir. Yumuşak anahtarlama devrelerinin en önemli avantajları akım ve gerilimdeki salınımların azaltılması, anahtarlama kayıplarının azaltılması ve rezonanslı devrelerde yüke bağımlı olmaması güvenilirliği arttırmaktadır. Devre düzeninin ek elemanlara ihtiyaç duyması ve de denetim güçlükleri bu alanda yeni yöntemlerin gelişmesinde çalışmalar yapılmasına neden olmaktadır. Son yıllarda DC-AC PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) evirici güç elektroniği uygulamalarının temel seçimi olmuştur, çünkü oldukça sade bir yapısı vardır. Kesintisiz güç kaynağı, motor sürücüleri ve de endüksiyonla ısıtma,...vb. uygulamalarda PWM'li evirici devrelerini görmek mümkündür. PWM eviricileri yarı iletkenin anahtarlama kayıpları ve sınırlamalarına karşı birkaç KHz ve 10 Kwattlar seviyesinde oldukça uygundur. Yapılan

çalışmalarla yüksek frekanslarda güç yoğunluğu ve devre performansı geliştirilmektedir. Yüksek anahtarlama bir PWM evirici için şu sınırlamalar mevcuttur: SOA (Güvenli Çalışma Alanı) dışındaki iletim ve kesim geçişleri esnasında güç elemanları üzerindeki anahtarlama stresleri ; Anahtarlama kayıpları; EMI (Elektro Manyetik Girişim) nin neden olduğu yüksek di/dt ve dv/dt 'dir Çeşitli yumuşak anahtarlama eviricili devrelerde ZVS ya da ZCS kullanılarak anahtarlama kayıpları ve EMI yüksek frekanslarda azaltılmıştır. Anahtarlama frekansı arttıkça (18 KHz'e kadar) harmoniklerin filtrelenmesiyle gürültü azaltılabilir. Özellikle bu durum gelişmiş motor sürücü sistemleri için oldukça önemlidir. Ancak yüksek akım ve gerilim streslerinde bu filtre devrelerinin karışıklığı ve pahalılığı nedeniyle PWM tekniklerinde kullanımına engel olmuştur. Bununla birlikte yakın geçmişte bu problemlerin çözümü için bazı düzeltilmiş topolojiler sunulmuştur. [4]

2. Yumuşak Anahtarlama Eviricilerin Sınıflandırılması

Sistemik olarak eviricilerin sınıflandırılması Tablo 1 ' de verildiği gibidir. Anahtarlama özelliklerine göre eviriciler genellikle sert ve yumuşak anahtarlama olarak sınıflandırılırlar. Sert anahtarlama PWM eviricisinde güç elemanları tamamen ya gerilim kaynağına (VSI (gerilim kaynaklı evirici)) ya da akım kaynağına (CSI (akım kaynaklı evirici)) bağlanır. Anahtarlama; akım ve gerilim dalga şekillerindeki ani değişimler anahtarlama kayıplarına ve EMI'ya sebep olur.

Parazitik kapasite ve kaçak endüktansın güç elemanları çevresinde neden olduğu yüksek gerilim ve/veya akım pikleri anahtarlama geçişleri sırasında gözlemlenebilir. Yumuşak anahtarlama topolojilerde geleneksel sert anahtarlama PWM evirici yapılarına yüksek frekanslı rezonans hücresi eklenerek elde edilir. Rezonans devresi pasif elemanlar L ve C ile yardımcı diyot(lar) ve /veya anahtar(lar) dan oluşur. Akım ve gerilim salınımları sıfırda çakıştığında yumuşak anahtarlama şartı sağlanmış olur. AC-AC dönüştürücüler doğrudan AC-AC, DC ve AC hatlı olmak üzere gruplandırılırlar. [3]



Tablo 1. Sistematik olarak eviricilerin sınıflandırılması

Anahtarlama kayıplarını enaza indirmek için anahtarlama işaretleri rezonans hücresindeki elemanlara bağlıdır. Uygun eleman seçimleriyle anahtarlama kayıpları minimize edilerek ve EMI önlenir. Eviricilerin sistematik olarak sınıflandırılmasında rezonans hücresinin bulunduğu yer [yük, eviriciye köprüsü ve dc hat (bara)], anahtarlama dalga şeklinin karakteristiği (ZVS ya da ZCS) ve rezonans tipi (seri ya da paralel) dikkate alınır. Yumuşak Anahtarlama eviriciler yapılarına göre şu şekilde tanımlanabilir:

I . Yük Rezonanslı Evirici: LC rezonans elemanlarından oluşan kısım yük tarafına seri, paralel ya da seri paralel LC nin kombinasyonları biçiminde bağlanır. Bu nedenle ZVS veya ZCS durumları evirici köprüsündeki aktif anahtarlar için yapılır.

II. Rezonans Geçişli Evirici: Rezonans hücresi evirici köprüsüne eklenerek ZVS ve ZCS durumları olur. DC hatta salınım oluşmaz.

III. Rezonans Hatlı Evirici: Rezonans hücresi DC kaynakla evirici köprüsü arasında bağlanır. Böylece giriş hattı güç elemanlarının yumuşak anahtarlama durumlarına bağlı salınım yapar. Bu nedenle rezonans hatlı eviricilerin giriş hattı geleneksel PWM sistemlerinden farklıdır. [1]

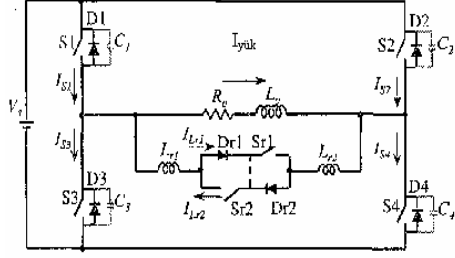
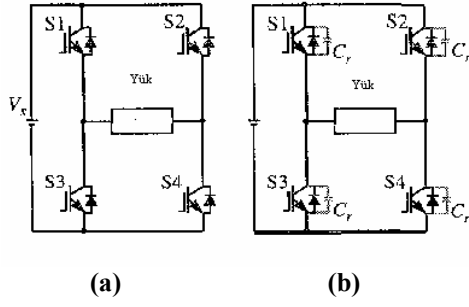
3. Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlama Eviricilerin Anahtarlama Karakteristikleri ve Veriminin Arttırılması

Rezonans bastırma temelli eviricilerin ana fikrinde rezonans kapasitesi düşük dv/dt ile kesime girme kayıpları sıfıra oldukça yakın olmasını ve yardımcı endüktans ile rezonans kapasitesi arasında oluşan rezonansla iletimde sıfır gerilimde anahtarlama sağlanmasını sağlarlar.

Yardımcı anahtar ana güç anahtarı konum değiştirilmedikçe iletime girmez. Yardımcı anahtar iletime girdikten sonra ters paralel diyot iletime girdiğinde ana anahtar ZVS altında iletime girer. Yardımcı devredeki salınımlar sıfıra düştüğünde yardımcı anahtar ZCS altında kesime gider. Sızıntı akım ve parazitikler azaltıldığında yüksek güçlü eviricilerde verimi arttırmak mümkündür. Rezonans bastırma temelli yumuşak anahtarlama evirici devreleri motora yıldız ve üçgen bağlanabilir. Üçgen bağlı rezonans bastırma evirici devreleri; yumuşak anahtarlama çalışmalarında ilave akım ve gerilim sensörlerine ihtiyaç duymaz, yardımcı anahtarlarda aşırı gerilim salınımı ya da taşması yapmadığı için yıldız bağlı olanına göre daha çok kullanım alanına sahiptir. Anahtarlama karakteristikleri bakımından eviricileri 3 farklı açıdan incelemek mümkündür:

- Sert anahtarlama hücreli tam köprü evirici
- Bastırma temelli sert anahtarlama hücreli tam köprü evirici
- Yumuşak anahtarlama rezonans bastırma temelli evirici

Bu eviriciler Şekil 1'de belirtildiği gibi gösterilirler. Güç anahtarının gate kapısına sinyal gelmesiyle güç anahtarının üzerindeki gerilim sıfıra düşerek serbest geçiş diyotunun iletime girer. S_1 ve S_4 iletimdeyken diğer iki anahtar kesimde olmalıdır. Yumuşak anahtarlama rezonans bastırma temelli eviricilerde akımdaki dalgalanmalar diğerlerine göre belirgin bir biçimde azalmaktadır. Ancak bu evirici devresinin uygulamasında sıfır akımda geçişin sağlanması kontrol açısından güçtür. Akımdaki dalgalanma gate sinyalinden görülebilir. Yumuşak anahtarlama rezonans bastırma temelli eviricinin Orcad 10.5 programında simülasyon çalışması yapılmıştır.



(c)

Şekil 1. a) Sert anahtarlama hücreli tam köprü evirici , b) Bastırma sert anahtarlama hücreli tam köprü evirici , c) Yumuşak anahtarlama rezonans bastırma temelli evirici

Yumuşak anahtarlama rezonans bastırma temelli eviricinin kontrolünde sabit ve değişken zamanlı kontrol uygulanabilir. Değişken zamanlı kontrolde verim artmaktadır ancak kontrolün uygulamada gerçekleştirilmesi daha zordur. Yük akımlı değişken zamanlı kontrolde verim geliştirilebilir çünkü yardımcı devrenin iletimde kalma süresi azalmıştır. Rezonans akımı yük akımının büyüklüğüne göre kontrol edilemezse yardımcı anahtarın iletime girmesi zamandan bağımsız olur ve ilave akım gerektirir.

Şekil 1. c 'deki yumuşak anahtarlama rezonans temelli evirici devresinde on aralıkta şu durumlar gerçekleşir:

- Ana anahtarlar MG100H1BS1
- Bastırma kondansatörleri 47 nF
- Endüktif yük 10µH
- Yardımcı anahtarlar IRGBC30F
- Rezonans endüktansı 5 µH

1. Aralık Mod 0 ($t < t_0$) : Başlangıç durumudur. S_1 ve S_4 'ün kesimde olduktan sonra S_2 ve S_3 'ün iletimde olması istenir.

2. Aralık Mod 1 ($t_0 \sim t_1$) : S_{r1} iletimdedir ve rezonans endüktans akımı doğrusal olarak artmaya başlar.

$$L_{r1} = L_{r2} = L_r$$

$$V_s = (L_{r1} + L_{r2}) \frac{dI_{Lr1}}{dt} = 2L_r \frac{dI_{Lr1}}{dt} \quad (1)$$

Rezonans endüktansından ve S_1 ve S_4 anahtarlarından geçen akım;

$$I_{Lr1} = \frac{V_s}{2L_r} (t - t_0)$$

$$I_{s1} = I_{s4} = I_{yük} + \frac{V_s}{2L_r} (t - t_0) \quad (2)$$

olur. Rezonans endüktans akımı ile yük akımının toplamı S_1 ve S_4 te görülen akımlardır. Bu durumda yeni bir anahtarlama gerektirir ve bu durumda ilave akım kayıpları harcanır.

3. Aralık Mod 2 ($t_1 \sim t_2$) : Rezonans endüktansları ve bastırma kapasiteleri arasındaki rezonans S_1 ve S_4 kesime girer. t_2 de C_1 ve C_4 DC hatlı gerilimle doluyken C_2 ve C_3 boş haldedir. Bu nedenle ZVS altında anahtarlama şartı mevcuttur.

4. Aralık Mod 3 ($t_2 \sim t_3$) : Artık S_2 ve S_3 anahtarları ZVS altında iletimdedir. Rezonans endüktansının akımı doğrusal olarak azalmaya başlarken D_2 ve D_3 diyotlarında iletimde olur.

5. Aralık Mod 4 ($t_3 \sim t_4$) : Bu aralıkta rezonans akımı sıfırdır. Böylece S_{r1} ZCS altında kesime gider. Yük akımı D_2 ve D_3 diyotları üzerinden iletime devam eder.

6. Aralık Mod 5 ($t_4 \sim t_5$) : S_{r2} iletimdedir rezonans endüktansı doğrusal olarak artmaya başlar.

$$V_s = (L_{r1} + L_{r2}) \frac{dI_{Lr2}}{dt} = 2L_r \frac{dI_{Lr2}}{dt}$$

$$I_{Lr2} = \frac{V_s}{2L_r} (t - t_4) \quad (3)$$

$$I_{Lr2} = -I_{Lr1}$$

S_2 ve S_3 anahtarları üzerindeki akım;

$$I_{s2} = I_{s3} = I_{yük} - I_{Lr1} = I_{yük} - \frac{V_s}{2L_r} (t - t_4)$$

(4)

'dir ve t_5 te sıfıra gider. 2. aralıktan farklı olarak S_2 ve S_3 anahtarları üzerindeki akım; daima yük akımından düşük olur.

7.Aralık Mod 6 ($t_5 \sim t_6$) : Bu aralıkta S_2 ve S_3 anahtarları üzerindeki akımın yönü değişmiştir. Böylece rezonans endüktans akımı sürekli azalır ve yük akımı geçmeye devam eder. Endüktans akımı yeterli seviyede rezonans endüktans üzerinde enerji depo edildiğinde bastırma kondansatörleri üzerinde dolma boşalma gerçekleşerek t_6 da S_2 ve S_3 anahtarları kesime gider. Yumuşak anahtarlamının olması için ;

$$(L_{r1} + L_{r2})(I_{lr2} - I_{yük})^2 \geq (C_1 + C_2 + C_3 + C_4)V_s^2 \quad (5)$$

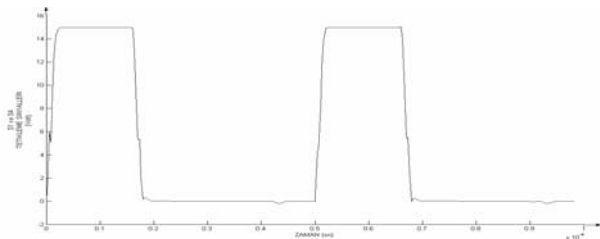
koşulunun gerçekleşmesi gerekir. Rezonansın aşırı dolma ve aşırı akımda ilave akım kayıpları doğuracağı sonucu unutulmamalıdır. Bu durum dikkat edilmediğinde ZVS gerçekleşmeyecektir. Yumuşak anahtarlamının geniş biçimde gerçekleştiği aralık Mod 6'dır.

8.Aralık Mod 7 ($t_6 \sim t_7$) : Bastırma kondansatörleri ile rezonans endüktansları arasında rezonans başlar. t_7 de C_2 ve C_3 doluyken C_1 ve C_4 boş haldedir. Bu koşul ZVS altında S_1 ve S_4 ün iletme girmesi için arzu edilen durumu sağlar.

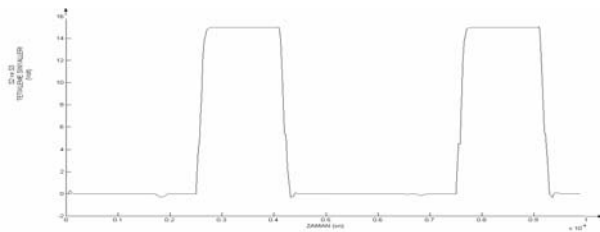
9.Aralık Mod 8 ($t_7 \sim t_8$) : Rezonans endüktans akımı D_1 ve D_4 ün iletme girmesiyle azalmaya başlar. Böylece S_1 ve S_4 ZVS altında iletme girer. t_8 de rezonans akımı yük akımına eşittir ve akımla S_1 ve S_4 iletmeye başlar.

10.Aralık Mod 9 ($t_8 \sim t_9$) : Rezonans akımı sürekli doğrusal bir biçimde azalır. t_9 da rezonans endüktansındaki akım sıfıra düşer. Böylece S_2 bastırma hücresi anahtarı ZCS altında kesime gider.

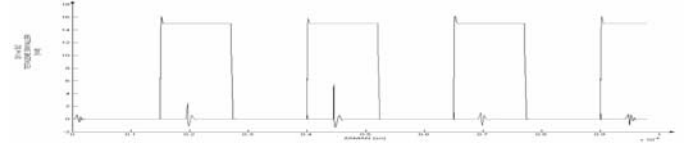
Bundan sonraki koşul artık 1.Aralıktaki Mod 0 başlangıç koşullarıdır ve bu işlemler evirici devresinde her seferinde tekrar eder. [2]



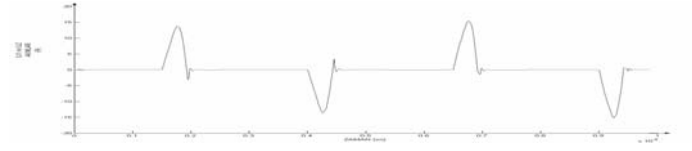
(A)



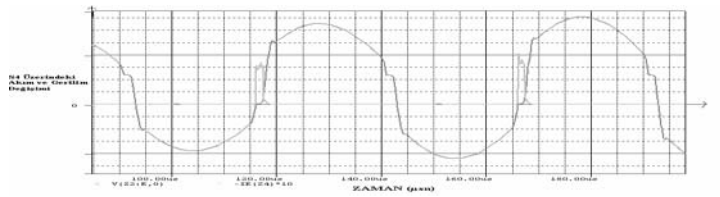
(B)



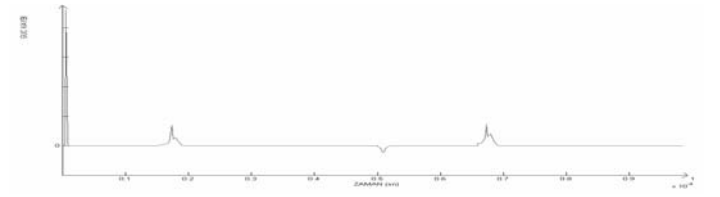
(C)



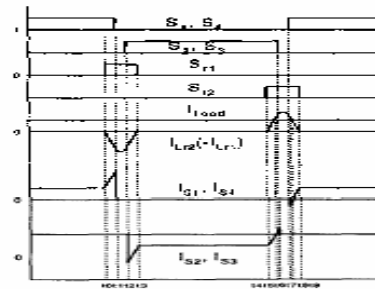
(D)



(E)



(F)



(G)

Şekil 2. (A): S_1 ve S_4 tetikleme işareti ,
(B): S_2 ve S_3 tetikleme işareti ,
(C): Rezonans anahtarlarına uygulanan işaretler
(D): Rezonans endüktanslarındaki akımın zamana göre değişimi ,
(E): S_4 üzerindeki akım ve gerilimin zamana göre değişimi ,
(F): S_4 üzerindeki güç kaybı
(G): Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlamalı Eviricinin Anahtarlama Karakteristikleri [2]

4. Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlama Eviricilerin Güvenilirlik Test Planı

Tasarım mühendisleri, tasarlanmış olan elektronik kartın veya cihazın veya sistemin ne kadar süre ile hatasız çalışacağını merak eder ve hata oranı düşük, kendisinden beklenen fonksiyonları en uzun sürede gerçekleştirmesini isterler. Bu amaca ulaşmak için matematik, istatistik ve mühendisliğin kurallarını uygularlar. Tasarımın anlık çalışıyor olması, doğru tasarlandığının tek göstergesi değildir. Tasarımda, doğru elektronik komponentin doğru çalışma aralığında seçilerek kullanılması, hem olası donanımsal hata durumunu azaltacak hem de maliyet açısından ucuz bir tasarım gerçekleşmiş olacaktır. Örneğin bir elektrolitik kapasitörün çalışma geriliminin %95 oranında çalışması belki o anlık çalışmasında engel teşkil etmeyecektir. Ancak aşırı stres geriliminde çalışan bu komponentin ömründe azalma olacağı için yakın bir gelecekte arıza yapması olasılıklar dahilindedir. Veya bir elektronik komponentin arıza yapma en önemli göstergesi olan çalışma sıcaklığının üretici firma speklerinde yer alan maximum izin verilir sıcaklık değerine yakın değerlerde çalışıyor olması, o anda bozulması anlamına gelmez ancak aşırı sıcaklık stres altında çalıştığı için firma tarafından belirlenmiş ömrünün çok daha kısa süresinde arıza yapacağı olasılıklar dahilindedir. Temelleri 1950'li yıllarda atılan Güvenilirlik Mühendisliği, bir ürünün veya sistemin sadece üretim süreçlerini değil yaşam ömrü boyunca ömür analizleri içeren bir mühendislik uygulamasıdır. Güvenilirlik; "bir ürünün, bir cihazın veya bir sistemin belirli koşullar altında, belirli zaman aralığında ve belirli bir güvenlik aralığında hatasız bir şekilde kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilme olasılığı" olarak tanımlanır. Dolayısıyla Rezonans bastırma temelli yumuşak anahtarlama eviricinin donanım olarak kendinden beklenen fonksiyonlarını yerine getirmede majör veya kritik problemlerin oluşmaması istenir. Bunu sağlayabilmek için öncelikle hata durumları analizinin gerçekleştirilmesi gerekir. Yani elektronik kart veya sistem hangi koşullar altında arıza yapıyor ve nedenlerinin araştırılarak gerekli tasarım iyileştirici önlemler ile hata durumu oluşmadan bu önleyici faaliyetlerin tasarıma uygulanması gerekir. Rezonans bastırma temelli yumuşak anahtarlama eviricilerin 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. SONUÇLAR

Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlama Eviricilerin Anahtarlama Karakteristiklerinde verimin artırılması kullanılan güç anahtarının karakteristiklerine (çalışma akım aralığı, frekansı,...) , bastırma devresinin özelliklerine bağlıdır. Rezonans süresi periyoda göre oldukça küçük olmalıdır. Sert anahtarlama bir devreye göre hacim oldukça düşük yer kaplar. Kullanılan soğutucunun ebadı küçülmektedir.[4] Ancak bu devrenin en önemli sorunu sıfır geçişlerinde anahtarlama sağlamaktır. Orcad 10.5 programı kullanılarak daha sonraki uygulamaya yönelik çalışmalara katkı sağladığı görülmektedir. Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlama Eviricinin elektronik kart seviyesi ve entegre olmuş ürün seviyesinde gerçekleştirilecek güvenilirlik testleri ile tasarım kalitesi artırılarak yüksek güvenilirlik seviyesinde ticari olarak üretilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1], M.D. Bellar, T.S.Wu, A.TCHamdjou, J.Mahdavi, and M.Ehsani, " A review of soft switched dc-ac converters," IEEE Trans.Ind. Applicat.vol.34, pp.847-860, July/Aug.1998
- [2], 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
- [3], V.Pickert, C.M.Johnson , "Three-phase soft-switching voltage source converters for motor drives. I. Overview and analysis" Proc.Inst.Elect.Eng., vol.146, no.2, pp. 147-154, 1999
- [4], H.Bodur " DC-DC Dönüştürücülerde Yumuşak Anahtarlama Teknikleri" ders notları