

Güç Faktörü Denetimli Faz Kaymalı Paralel DA-DA Yükselten Konvertör Tabanlı Enerji Besleme Sisteminin Elektrikli Trenlerde Uygulanması

Ertan MURAT

ASER Teknoloji

www.aser.com.tr

ertan@aser.com.tr

ÖZET:

Bu makalede ASER Teknoloji tarafından TCDD'nin elektrikli trenleri için geliştirdiği yardımcı sistemler güç elektroniği besleme güç katının, teknolojik altyapısı anlatılmıştır. Geliştirilen sistemin amacı, ilkel yöntemlerden üstün olarak ilave trafoya ihtiyaç duymadan daha güvenilir ve küçük boyutta, tren üzeri yardımcı sistem alternatif akım motorlarını sürücüler ile denetlemek ve korumaktır. Kataner hat geriliminin indirilerek yardımcı sistemlerin beslenmesini sağlayan trafonun aşırı yüklenerek ısınmasının önüne geçilebilmesi için, geliştiren konvertör güç faktörü denetimli olarak tasarlanmıştır. IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) tabanlı paralel bağlı yükselten konvertör, güç faktörünü 1'e yakınsayacak şekilde bir PWM (Pulse Width Modulation) yöntemi ile anahtarlama yapılmıştır. Konvertör, paralel koldaki anahtarlardan birinde oluşabilecek hata durumunda tam yük altında çalışmasına devam edecek ve yardımcı sistem motor sürücülerden biri hata verdiği durumda yedek sürücüyü devreye sokacak şekilde elektrikli tren uygulama gereksinimlerinden en önemlisi olan "her koşul altında çalışacak" talebini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

Abstract

Technological background of power converter as an electric train onboard auxiliary system power equipment developed by ASER Teknoloji for Turkish Railway Authority (TCDD) is presented in this paper. Purpose of the work is to drive and control electric train onboard auxiliary system AC motors in a more secure and better way without a need for large volumed additional transformer as it is done in primitive approaches. In order to prevent overheating of transformer which decrease catenary line voltage level to auxiliary system supply level; developed converter is a power factor controlled (PFC) type. PWM (Pulse Width Modulation) switching strategy is determined in a way to operate IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) based interleaved boost converter at unity power factor. Converter is designed to be able to continue its full load operation under one interleaved branch fault with left branches and under one AC drive fault with redundant AC drive to fulfill "Operation Under All Condition" requirement which is dictated for electric train power converter applications.

1. Giriş:

Elektrikli trenlerin yardımcı sistemlerinde kullanılan doğru akım motorların yerlerini, gelişen teknolojiler ile beraber asenkron motorlar almıştır[1]. Kataner hattındaki aşırı, sürekli ve anlık dalgalanmalar nedeni ile motor besleme regülatör güç katına ihtiyaç bulunmaktadır. Bakım gerektirmeyen 3 faz asenkron motorların tek faz dalgalı kataner hattından beslenebilmesi için, dengesiz tek fazdan, dengeli 3 faz alternatif gerilim üretebilen bir enerji besleme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. E14000 serisi elektrikli diziler yardımcı sistemler besleme trafosu 220V tek faz AA olup, hattaki dalgalanma 180-300V AA bandında seyretmektedir. Yardımcı sistemlerde kullanılan 3 faz asenkron motorlar ise toplam 30kW sürekli güç talep etmektedirler.

Yardımcı sistem besleme trafosunun güç değerleri ve özellikle yaz günlerinde çalışma ortam sıcaklığı dikkate alındığında, sistemin sağlıklı çalışmasını sağlamak amacı ile sistemin giriş katının güç faktörü denetimli tasarımı hedeflenmiştir. Böylelikle güç faktörü büyüdüğü oranda, besleme trafosu üzerindeki harmonik yükü azaltılarak, trafonun aşırı ısınması engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil-1 Geliştirilen 44kW Demir Konvertör - ASER

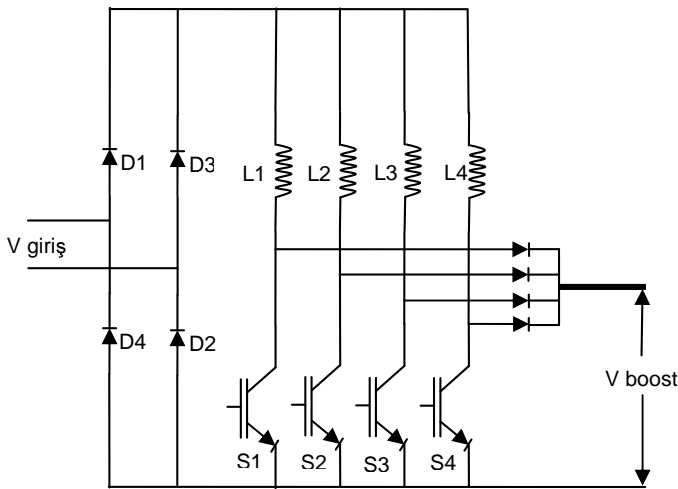
Giriş güç katında DA-DA yükseltici konvertör kullanılarak regüle edilmiş bir ortak doğru akım barası oluşturulmuştur. Ortak doğru baradan beslenen AA motor sürücülerini yardımcı sistem motorları sürülmüştür. DA-DA yükseltici güç konvertörü DSP tabanlı olup, sistemin genelini ise bir PLC denetlemektedir. Akım ve gerilim

ölçümü izole Hall etkili algılayıcılar ile sağlanmıştır. Cihazın konum, durum ve hata takibini, uzaktan internet üzerinden denetlemek üzere bir GPS/GPRS modem kullanılmıştır.

Trenlerde, konvertör kaynaklı arızalardan dolayı servis yapamama durumlarının önüne geçilmesi için, konvertörün yedekleme özelliğine sahip olması sektör yetkilileri tarafından ifade edilmiştir. Bu nedenle, giriş katı ve çıkış güç katı yedekleme özelliğine sahiptir. Giriş güç katında faz kaymalı paralel DA-DA yükseltici konvertör kullanılmış, çıkış güç katında ise bir adet sürücü soğuk yedek olarak hazır halde tutulmuştur.

2. Giriş Güç Katı

Sistemin giriş güç katında, paralel DA-DA yükseltici konvertör bulunmaktadır. Birden fazla koldan oluşan paralel konvertörün çalışma prensibi geleneksel DA-DA yükseltici konvertörden farklı değildir. Mimari olarak tamamen birbiri ile özdeş, birden fazla (4 adet) yüksek frekans DA-DA yükseltici konvertörün paralel bağlanmasından meydana gelmektedir[2]. Her bir konvertör böylesi mimarilerde kol olarak adlandırılmaktadır. Herbir kolda kullanılan yüksek frekans endüktanslarının tasarımı önem arz etmekte olup, endüktans parametrelerinin eşit olması gerekmektedir. Endüktans tasarımından kaynaklanan parametrik sapmalar, anahtarlama frekansına ve çalışma moduna bağlı olarak (sürekli - süreksiz) yük akımının paylaşımı açısından önem arz eder. Endüktansların özdeş olmamaları durumunda, yükün bir IGBT üzerine alınarak ilgili anahtarın kalıcı zarar görmesine neden olur. Kol sayısının tespiti, sistem gereksinimleri ışığında yapılan analizler sonucu ortaya çıkmıştır.



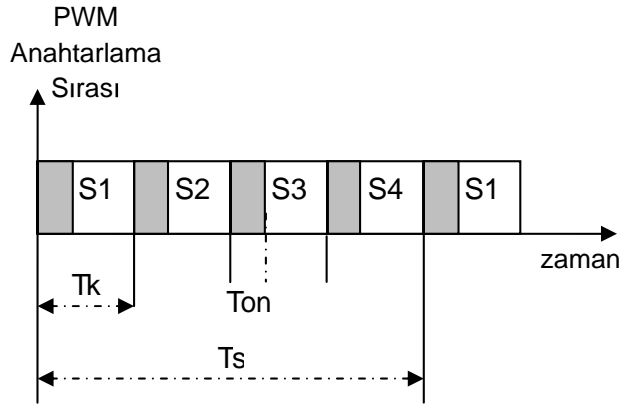
Şekil-2 Paralel 4 Kollu DA-DA Yükseltici Konvertör

Giriş güç katında kullanılan 4 kollu DA-DA yükseltici konvertör Şekil-2 de gösterilmiştir. Besleme trafosu ile konvertör arasında bulunan hat filtresi kolaylık için şekilde verilmemiş olmasına rağmen önemli bir tasarım bileşenidir. Elektrikli tren uygulamalarında nötr tren şasesi ve demiryol rayları olduğu için hat filtresi, tren elektronüğünün yapılan anahtarlamalardan etkilenmesini engellemek üzere tasarımda yer alması gerekli bir bileşendir. Hat filtresi kullanımı, elektrikli tren uygulamalarında tavsiye edilir.

Konvertör, S anahtarı açık iken endüktans üzerinde enerji depolayıp, S anahtarı kapalı iken endüktans üzerinde depolanan enerjinin daha büyük Vboost çıkış gerilim barasına diod üzerinden boşalması prensibi ile çalışır.

$$I_L = \frac{V_{giris}}{L} + I_0$$

Paralel DA-DA konvertörler anahtarlama işlemi sırası ile zaman içerisinde kaymış şekilde yapılırlar.



Şekil-3 Paralel DA-DA Konvertör Anahtarlama Sinyalleri

$$Tk = \frac{T_s}{N} \quad , \quad d = \frac{T_{on}}{T_s}$$

Ts: Sn anahtar periyodu

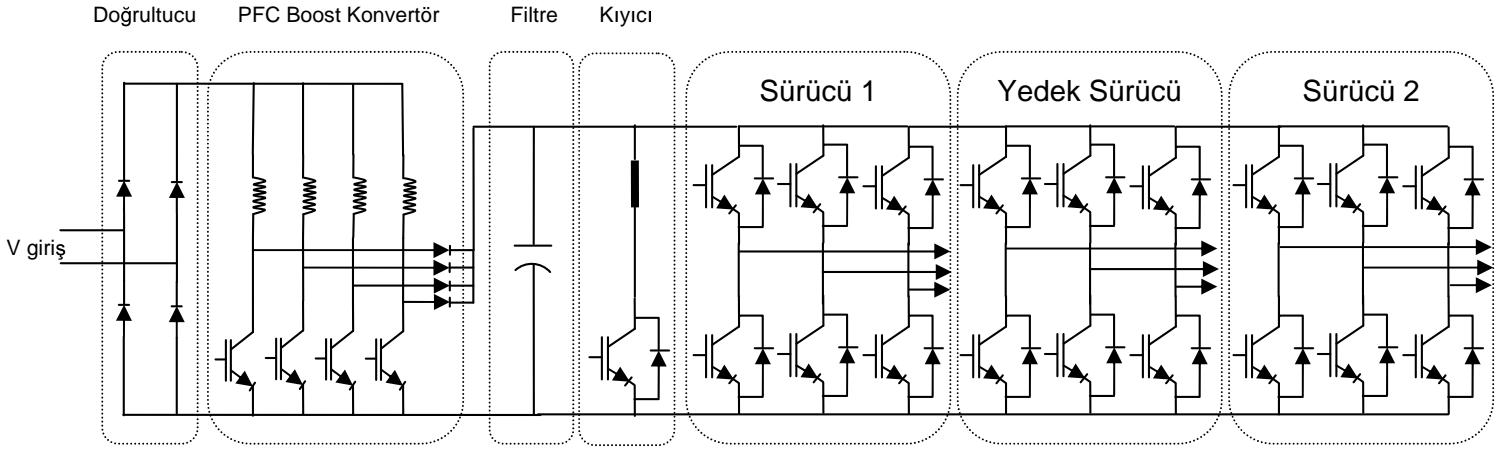
Tk: Konvertör anahtarlama periyodu

N: Konvertör kol sayısı

d: Görev periyodu

Ton: Sn anahtar iletimde kalma süresi

Faz kaydırmalı paralel konvertör anahtarlarının iletimde kalma sürelerinin hepsinin eşit olması tasarım için büyük önem taşır. Aksi halde, yük akımı paylaşımında oluşacak dengesizlik, anahtarlarda kalıcı hataya neden olabilir. DSP PWM çıkışlarından anahtarlama sinyallerinin oluşturulması için ilave lojik devre kullanılmıştır. Konvertör çıkış gerilimi, tek bir anahtarın dört katı frekansta elde edilmesi ile, yüksek dinamik performans ve düşük çıkış gerilim dalgalanması elde edilmiştir.



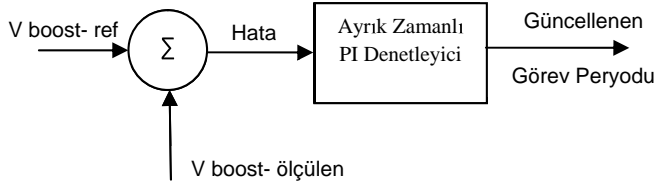
Şekil - 5 Sistemin Genel Mimarisi

Faz kaydırmalı paralel DA-DA konvertörlerin önemli avantajları sırası ile şöyle sıralanabilir:

- Düşük giriş ve çıkış akım dalgalanması
- Küçük endüktans boyutu
- Küçük değerde anahtar parametreleri
- Çıkış kapasitesi gerilim stres azlığı
- Küçük giriş filtre eleman parametreleri
- Yedekleme özelliği

Konvertörün uygulamadaki kullanım amacı, tek fazlı dengesiz şebekeden, regüleli DA bara oluşturup, vektör kontrollü motor sürücülerini beslemektir. Konvertör; endüktans ile yarıiletken anahtarları IGBT'lere ait elektriksel ve termal değerleri göz önünde tutularak, 4 (dört) paralel koldan oluşacak şekilde tasarlanmıştır.

Konvertör, oldukça değişken kataner gerilimi karşısında, hızla sisteme cevap vererek giriş gerilimini vektör denetimli asenkron motor sürücülerinin ihtiyaç duyduğu 580 V DC ye yükselterek, V boost gerilimini sabit tutma ya çalışır. Bu maksatla Vboost gerilimi izole bir Hall etkili ölçücü ile ölçülür. Gerilim ölçücüden gelen gerilim sürekli çıkış bilgisi, mikroişlemci Sürekli-Ayrık-Dönüştürücüsü (ADC) tarafından, ayırık bilgiye dönüştürülür. Elde edilen ayırık bilgi düşük kesme frekanslı sayısal bir filtre tarafından işlenir. Böylelikle sahadan ölçülen gerilim bilgisi, referans gerilim değeri ile karşılaştırılır.



Şekil-4 DA-DA Yükselten Konvertör Çıkış Gerilim Denetleyicisi

Gerçek değer ve referans değer arasındaki hata, anahtarların yeni görev periyotlarının belirlenmesi için ayırık zamanlı kontrolörde işlenir.

Sistem performansında en etkili bileşenlerden biri olan kontrolör parametrelerinin sahada test edilerek belirlenmesi, endüktans gibi üzerindeki enerji miktarının aniden değişimine önem vermeyen elemanlar açısından önem arz eder. Geliştirilen enerji besleme sisteminin genel mimarisi Şekil-5 te verilmiştir. Kolaylık açısından bu şekilde hat filtresi gösterilmemiştir. Dengesiz tek faz AA besleme gerilimi tek faz köprü doğrultucudan geçirildikten sonra doğrudan faz kaydırmalı paralel yükseltici DA-DA konvertör tarafından işlenerek yükseltilir. Oluşturulan yüksek gerilim ortak DA barası, sürekli kontrol edilerek denetim çevriminde kullanılır.

Geliştirilen enerji besleme sistemi gerek giriş güç katında ve gerekse çıkış güç katında bir yedekleme özelliği ile donatılmıştır. Şöyle ki; giriş güç katında DA-DA konvertör paralel kollarından birine ait güç anahtarının devre dışı kalması durumunda, sistem otomatik olarak bu hataya cevap vererek geride kalan 3 anahtar yük akımını üzerlerine almaktadır. Bu sıcak yedekleme özelliği sayesinde sistem giriş güç katındaki hataya en geç 300 mikro saniyede cevap vermektedir.

Elektrik tren uygulamalarında; özellikle yazın sıcaklığın çok yükselmesi, uygulamanın bir dışarı uygulaması olması nedeni ile dikkate alınmalıdır. Bu nedenle sistem verimliliği ve besleme trafolarının yüklenme şartları hassas bir şekilde dikkate alınmalıdır. Geliştirilen proje mevcut bir tren üzerine ilave olacağından mevcut yardımcı sistem besleme trafo yükünü en alt seviyede tutmak üzere DA-DA yükseltici konvertör güç faktörü denetimli olarak geliştirilmiştir. Böylelikle yüksek güç anahtarlamaından kaynaklanan harmoniklerin, trafosu yükleyerek ısınmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Harmonik distorsiyon değeri düşük tutularak, trafo kullanım oranının yüksek tutulması hedeflenmiştir.

3. Çıkış Güç Katı

Ortak DA barasında gerilim dalgalanmalarının belirlenen değer aralığında kalması için özel LC filtre tasarlanmıştır. DA barasında, alınan bütün tedbirlere rağmen oluşabilecek aşırı gerilimleri engellemek üzere; frenleme direnci kullanan bir kıyıcı kullanılmıştır. Yardımcı sistem elektrik motorlarını denetleyen sürücüler, elde edilen bu yüksek gerilim ortak DA barasından beslenmiştir.

Sistemin çıkış güç katında 3 adet özdeş AA motor sürücüsü ve sürücüler ile motorlar arasında bir by-pass kontaktör düzeneği bulunmaktadır. Çıkış güç katı yedekleme prensibi, ilave bir sürücünün soğuk yedekte tutulması sayesinde sağlanmaktadır. Yedek sürücünün hangi zamanda devreye gireceğine sistem denetim PLC si karar vermektedir. 1 dakika içerisinde herhangi bir sürücüden gelen hata sinyal sayacı 3 olduğunda, PLC otomatik olarak bypass kontaktör sistemini kullanarak hatalı sürücüyü devre dışı bırakarak, yedek sürücüye hatalı sürücü motor parametreleri yüklenerek ilgili motor sürülür. Kalan 2 sürücüden birinde oluşabilecek herhangi bir hata durumunda ise, sistem en son olarak ana cer motor fanını süren motoru devrede tutacak şekilde programlanmıştır. Ancak bu durum elektrikli tren kompresör motorunun devre dışı kalması nedeni ile üst düzey alarm seviyesi olarak ele alınır.

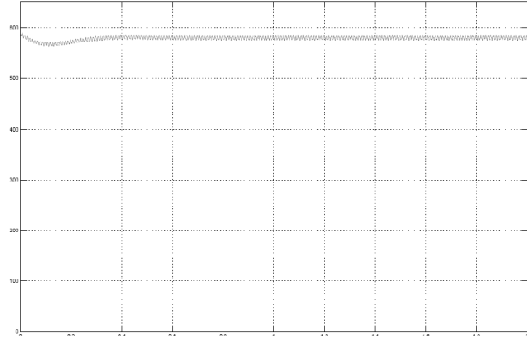
4. Konvertör Performans Göstergeleri

Yükselten DA-DA konvertör tarafından denetlenen DA ortak barasının gerilim değeri, AA motor sürücü isterlerini karşılayabilmesi için 400-800 VDC aralığında tutulmalıdır. Sistemi rezonans bölgesinden uzak tutmak, şebekeden görünür güç faktörünü birim değere yakın tutmak ve performansını yükseltmek üzere konvertör çıkış gerilim dalgalanmasının minimize edilmesi hedeflenir. Bu maksatla PI denetleyici referans değeri 580 VDC olarak seçilmiştir.

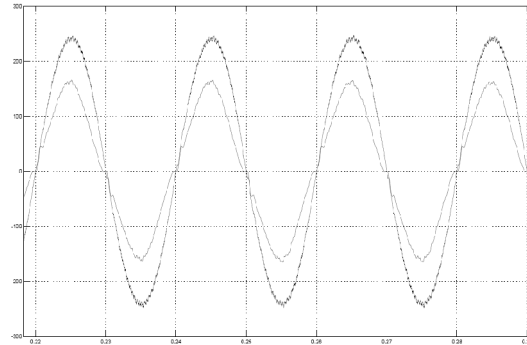
Konvertör ortak DA bara çıkışında bulunan düzeltme kapasitelerinin ön şarj edilme işlemi için ilave bir donanım kullanılması yerine yazılım içerisinde bir ön şarj algoritması eklenmiştir. Minimum görev periyodu ile kapasiteler şarj edilmesinin ardından, DSP den gelen sinyalden sonra PLC, sürücülere çalış komutu vermektedir.

Geliştirilen sistemin performansını test etmek üzere, tam yük altında kalkış ve ani yük değişme koşulları için; konvertör çıkış gerilimi, kaynak akımı gözlenmiştir.

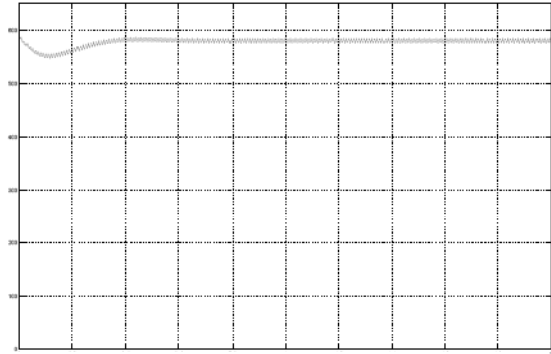
Konvertörün giriş güç katında kullanılan sıcak yedekleme prensibinin gösterilmesi için, yük altında 3 güç anahtarı ile konvertör çalışması incelenmiştir.



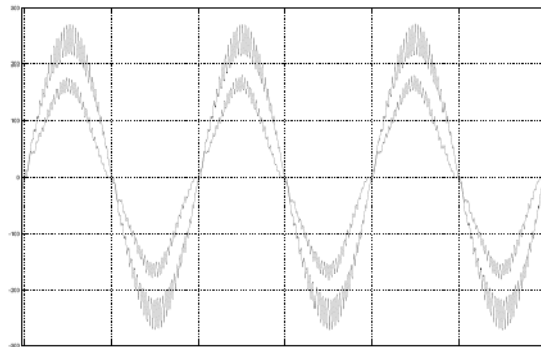
Şekil-6 Dört IGBT ile tam yük altında kalkan yükselten konvertör çıkış gerilimi



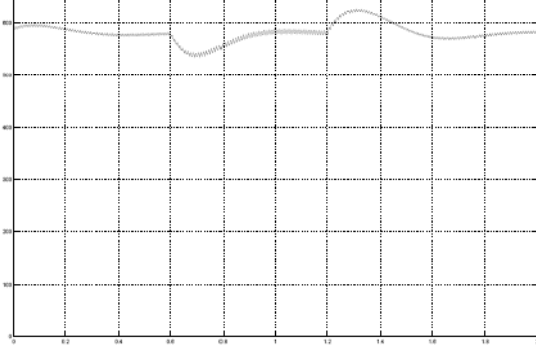
Şekil-7 Dört IGBT ile tam yük altında kalkan yükselten konvertör şebeke gerilim ve akımı (Birim Güç Faktörü)



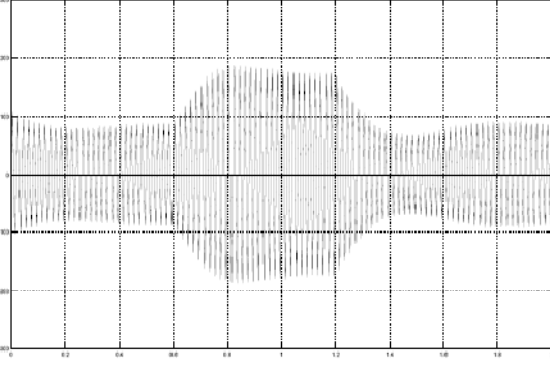
Şekil-8 Üç IGBT ile tam yük altında kalkan yükselten konvertör çıkış gerilimi



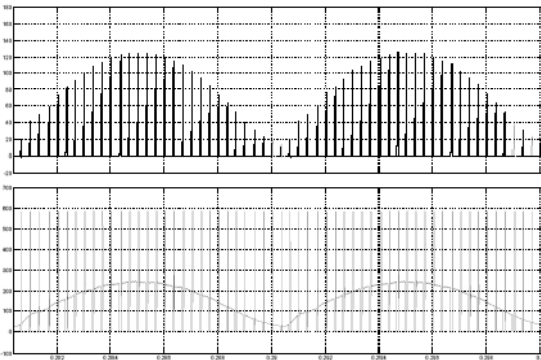
Şekil-9 Üç IGBT ile tam yük altında kalkan yükselten konvertör şebeke gerilim ve akımı (Birim Güç Faktörü)



Şekil-10 Üç IGBT ile fan sürücüsü sürekli devrede iken $T=0.6$ sn de kompresör sürücüsünün de devreye girip $T=1.2$ sn de kompresör sürücüsünün devreden çıkması durumunda yükselten konvertör çıkış gerilimi



Şekil-11 Üç IGBT ile fan sürücüsü sürekli devrede iken $T=0.6$ sn de kompresör sürücüsünün de devreye girip $T=1.2$ sn de kompresör sürücüsünün devreden çıkması durumunda yükselten konvertör şebeke akımı



Şekil-12 DA-DA Yükselten Konvertör Paralel kol IGBT akım ve gerilimi

5. Sonuç:

Bu çalışmada; faz kaydırmalı paralel DA-DA yükselten konvertörün, birim güç faktörü ile çalıştırılarak, yüksek gerilim ortak DA barasından beslenen AA motor sürücü sistemi incelenmiştir.

Giriş güç katında bulunan yükselten konvertörün paralel kollarından birinin hata nedeni ile devre dışı kalması durumunda konvertör çıkış gerilimi gözlenmiştir. Konvertör eksik bir kol ile tam yükü yüksek bir performansla kavramıştır. Paralel kolun eksilmesi, çıkış gerilim ve şebeke akım dalgalanmasının ihmal edilebilir oranda artmasına neden olmakla beraber, birim güç faktörünü korumaya çalışmıştır.

Faz kaydırmalı paralel konvertörler, özellikle yüksek güçlü uygulamalarda, güç anahtar yükünün paylaşılarak yüksek performansı ve sıcak yedekleme özelliği sayesinde öne çıkan bir güç elektroniği konvertör topolojisi olmuştur. Yüksek frekansta çalışarak düşük hacimde yüksek enerji depolama özelliklerinden dolayı, büyük hacimli trafoların kullanımı bertaraf edilmiştir. Paralel konvertör mimarisinin izolasyon gerektirmeyen güç elektroniği uygulamalarında kullanımı tavsiye edilir.

Böylesi paralel konvertörlerin elektrikli tren, elektrikli arabalar ve güneş ile rüzgar enerjisi gibi alternatif enerji kaynağı güç devrelerinde kullanımı, sisteme getirdiği avantajlar nedeni ile her geçen gün artmaktadır.

Geliştirilen konvertör; TCDD elektrikli trenlerinde denenmiş ve 8 aylık deneme sürecini hiç hata yapmadan başarı ile tamamlamıştır.

Teşekkür:

Bu çalışma süresince, her türlü desteğini esirgemeyen TCDD genel müdürlük makamına teşekkür ederiz.

Kaynak:

- [1] "Self Commissioning and Online Parameter Identification of Induction Motors", Ertan Murat, MSc Thesis, Supervisor: H.Bulent Ertan, METU, 2002
- [2] "Power Electronics Principles And Applications ", Joseph Vithayathil, McGraw-Hill, 1995

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.