

Yüksek Güç Katsayılı Serpiştirilmiş Yükseltici GKD AC/DC Dönüştürücü

Mehmet Can Kaya¹

Ahmet M. Hava²

¹Aselsan A.Ş.

Mikroelektronik Güdüm ve Elektro-Optik Grubu, Elektronik Tasarım Mdl., 06011, Etlik, Ankara
mckaya@mgeo.aselsan.com.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara
hava@metu.edu.tr

Öz- Bu çalışmada kilovatlar ölçeğinde güç uygulamaları için verimli bir güç katsayısı düzeltici (GKD) AC/DC doğrultucu olan serpiştirilmiş yükseltici GKD incelenecektir. Serpiştirilmiş yükseltici dönüştürücünün fazlarına birbiri ile belli miktarda faz kaymalı anahtarlama işaretleri uygulanarak kırıltıların serpiştirilmesi, böylece dönüştürücünün toplam giriş ve çıkış kırıltısının paylaştırılması ve GKD devresini paralellerken önemli ek getiri sağlanması söz konusudur. Çalışmada paralelleme teknikleri, serpiştirmeli anahtarlamanın ilkesi ve getirileri incelenecek ve yöntem iki fazlı bir GKD'ye uygulanacaktır. Giriş ve çıkış başarmı benzetim ve deneylerle 2.5 kW'lık prototip devre üzerinde ayrıntılı incelenecektir. Ayrıntılı güç kalitesi incelemesi ile, yüksek güçlerde uygulanabilen bu yapının hem giriş hem de çıkışta uluslararası standartlara tanımlanan güç kalitesi ölçütlerini fazlasıyla sağladığı gösterilecektir.

Anahtar sözcükler- AC/DC dönüştürücü, anahtarlama, doğrultucu, güç kalitesi, güç katsayısı, güç kaynağı, harmonik, paralelleme, serpiştirme, toplam harmonik bozulma.

I. GİRİŞ

Sanayi, ofis ve ev ortamlarında kullanılan pek çok elektronik aletin DC gerilim ile çalışması nedeniyle şebeke AC geriliminin güç elektroniği devreleri ile DC'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. Ekonomik olması ve basit yapısı nedeniyle “doğrusal olmayan yük” olarak da anılan, diyotlu veya tristörlü doğrultucular AC/DC dönüşüm uygulamaları için en yaygın kullanılan güç elektroniği devreleridir. Bu devre yapısında diyotlu ve tristörlü köprü doğrultucu yapılarıyla DC'ye dönüştürülen gerilim yüksek kapasitans değerli bara kondansatörü ile düzeltilir. Bu basit ve ucuz yapının bazı olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Öncelikle şebeke gerilimindeki bozulmalar doğrultucunun çalışmasını olumsuz etkiler. Örneğin şebeke gerilimi genliğinde meydana gelebilecek bir düşüş bara DC gerilimi seviyesini düşürür ve özellikle sabit güç çeken yüklerde aşırı akım çekilmesine neden olur. Ayrıca DC gerilimin üzerindeki AC bileşenin süzülmesi için takılan bara kondansatörü şebekeden çekilen akımın kesintili darbeler halinde çekilmesine; dolayısıyla yüksek miktarda harmonik bileşen içermesine ve şebeke güç kalitesinin düşmesine yol açar. Şebeke elektrığının kalitesinin korunması amacıyla ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından elektrikli aletlerin harmonik yayınımlarını kısıtlayan standartlar yayımlanmış ve üreticilerin ve tüketicilerin standartlarda belirtilen yükümlülükleri uymaları istenmiştir. Faz başına 16A değerine kadar akım çeken ekipman için yayımlanmış olan IEC 61000-3-2 [1] ile 16A ile 75A arasında akım çeken ekipman için yayımlanmış IEC 61000-3-12 [2] dünya çapında kabul görmüş standartlardır. Uluslararası piyasaya için üretim yapan üreticilerin bu standartlarda belirtilen kısıtlamalara uymaları gerekmektedir.

Şebekeden çekilen gücün kalitesini artırmak için güç elektroniği çözümleri yüksek verim ve başarımlı sağlamaları nedeniyle gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Aktif güç katsayısı

düzeltilme (GKD) yöntemleri bir kilovata kadar olan ev, ofis, sanayi vb., uygulamaları için yaygınca kullanılmaktadır. Şebekeden çekilen akım dalgasının, tek (transistör) anahtarlı gerilim yükseltici (boost) AC/DC dönüştürücü devresindeki yarıiletken anahtarın (IGBT, MOSFET) kontrollü biçimde anahtarlara sinüs biçimle şekillendirilmesi ilkesine dayanan aktif GKD aynı zamanda doğrultucu DC bara gerilimini de kontrol ederek yüklemeye ve şebeke gerilimi değişimine bağlı olan DC bara gerilim çökmesi sorunlarını bertaraf eder.

Tek anahtarlı aktif GKD yöntemlerinin bir kilovattın üstündeki uygulamalarda kullanılması yarıiletken anahtarlar üzerindeki kayıpların ve zorlanmaların artması ve giriş akımında anahtarlardan kaynaklı kırıltıları bastırmak için kullanılan süzgeçlerin boyut ve maliyetlerinin artması nedenleriyle pratik değildir. Güç seviyesini artırabilmek için yarıiletken anahtarların, indüktör, transistör ve diyottan oluşan LTD güç katlarının veya tüm dönüştürücünün paralel bağlanması gibi yöntemler uygulamada sıklıkla görülmektedir. Bu yöntemler devre elemanları üzerindeki baskıları paylaştırsa da uygulamaya yönelik başka sorunlara yol açarlar. Paralel bağlanmış LTD güç katlarındaki transistörlerin belli bir faz farkıyla anahtarlama ilkesine dayanan “Serpiştirilmiş” Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) yöntemi ile bu sorunlar çözülür ve giriş akımındaki ve çıkış gerilimindeki kırıltılar aktif olarak azaltılır. Böylelikle güç seviyesi artarken giriş EMI süzgecinin, indüktörün ve çıkış kondansatörünün boyutları daha az oranda artar. Böylece kilovat üstü güçlerde yüksek güç kalitesi başarımlı GKD doğrultucu gerçekleştirilmiş olur.

Bu çalışmada 2.5 kW gücünde 2 fazlı “serpiştirilmiş” bir GKD tasarlanmıştır. Uygulamada ortalama akım denetim (OAD - average current mode control) yöntemi kullanılmıştır. Tasarım bilgisayar benzetimleri ve laboratuvar prototipi üzerinde yapılan deneylerle doğrulanmıştır. Çalışmada serpiştirilmiş GKD'nin yüksek güç kalitesi başarımlı sergilenmiş ve pratikte uygulanabilirliği gösterilmiştir.

II. GÜCE BAĞLI GKD DEVRE YAPILARI

Elektrikli aletlerin harmonik yayınımlarını uluslararası standartlar ile belirlenen sınırların içinde tutmak ve bu aletlerin güç katsayılarını artırmak için uygulamanın türüne göre pasif veya aktif GKD yöntemleri uygulanmaktadır. Pasif GKD yöntemleri şebeke akımının şeklinin LC süzgeç yapılarından oluşan reaktif devre elemanları kullanılarak yumuşatılması esasına dayanan yöntemlerdir. Uygulamanın gereksinimlerine göre LC süzgeçler şebeke tarafına, yük tarafına veya her iki tarafa da konur. Pasif GKD yöntemleri düşük güç uygulamalarında basitlikleri, güvenilirlikleri ve ucuzluklarıyla ön plana çıkmaktadırlar. Şebeke akımına sinusoidal şekil tam olarak verilemese de doğru bir

tasarımda güç katsayısı ve harmonik yayılım istenen sınırlar içinde tutulabilmektedir (tipik olarak $THD_i < 5\%$ ve $PF > 0.95$). Uygulamada güç seviyeleri arttıkça çıkış gerilim regülasyonunun sağlanamaması, dinamik tepkilerin çok yavaş olması ve LC süzgeç boyutlarının çok büyümesi gibi nedenlerle pasif GKD yöntemleri yetersiz kalmaya başlar.

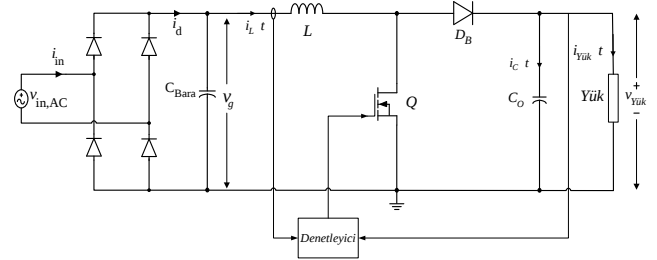
Modern güç elektroniğinde pasif yüklü AC/DC dönüştürücü uygulamalarında birkaç kilovatlık uygulamalara kadar güç kalitesi çözümü aktif GKD yöntemleridir. Şebeke akımı dalga şeklinin yarıiletken anahtarın yüksek frekansta kontrollü olarak anahtarlanması ilkesine dayanan bu yaklaşım yüksek başarımın yanı sıra gerilim regülasyonu sağlamasıyla da ön plana çıkar. Şekil 1’de verilen tek anahtarlı gerilim yükseltici DC/DC dönüştürücü yapısı 1-2 kilovata kadar olan uygulamalarda yaygınca kullanılır. Bu devre yapısı giriş akımının sürekli olması nedeniyle GKD uygulamaları için çok uygundur. Ayrıca transistörün toprağa referanslı olması kapı sürücü elektronik devrelerinin karmaşıklığını ve maliyetini azaltır. Giriş akımı ortalama, tepe veya histerezis akım denetimi gibi yöntemler ile, çıkış gerilimi de doğrusal denetleyle denetlenir [3]. Bu çalışmada yüksek güç ve sürekli (sinüs) akım durumuna en uygun yapı olması nedeniyle ortalama akım denetimi yöntemi tercih edilmiştir.

Güç seviyesinin birkaç kilovat'a çıktığı uygulamalarda tek anahtarlı GKD yapısı devre elemanları üzerinde artan zorlanmalar ve ısı sorunları nedeniyle pratik olmaktan çıkmaktadır. Genellikle ekonomiklik bakımından tekil (discrete) diyot ve IGBT elemanları kullanılarak tasarlanan GKD devresinde güç artımı üretimdeki en büyük tekil anahtarlarla sınırlı olup günümüzde var olan tekil IGBT'ler ile en çok 2-3 kilovat değerinde tek anahtarlı GKD yapılabilir. Güç seviyesinin artması için literatürde ve uygulamada çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Örneğin diyot ve transistörlerin paralel bağlanmasıyla bu elemanlar üzerine düşen akımı paylaştırılması sıklıkla görülen bir uygulamadır. Ancak bu kolay yöntemin IGBT gibi negatif sıcaklık katsayılı (NTC) yarıiletken anahtarlar üzerinde uygulanması zordur [4]. Birbirinden bağımsız dönüştürücülerin paralel bağlanarak güç seviyesinin artırılması uygulama ve bakım kolaylığı nedeniyle sıkça kullanılsa da çeşitli sorunları içermektedir. Öncelikle akımın dönüştürücü katlar tarafından eşit olarak paylaşılması için akım paylaşım devrelerinin kurulması gerekir. Ayrıca yükseltici devre yapısı galvanik yalıtımlı bir yapı olmadığı için, bir dönüştürücü katının akımı diğerinin üzerinden dönebilir ve gürültünün yayılması ve ısı dengesizlikleri gibi sorunlara yol açabilir [5].

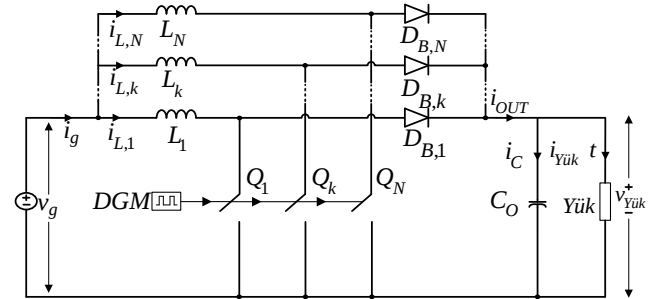
Sadece indüktör, diyot ve transistörden oluşan güç LTD katlarının Şekil 2’de gösterildiği gibi paralel bağlanması yaygın bir uygulamadır. Denetleyici tarafından üretilen DGM işaretleri ayrı katlardaki transistörlere aynen uygulanmaktadır. Bu yöntem elemanların üzerlerine düşen baskıyı paylaşmakta başarılı olsa da anahtarlama frekansında akım, gerilim kırıltılarının azaltılması ve EMI uyumluluğu konusunda ek bir başarıyı artırmı sağlamaz. Aynı yapıda ayrı güç katlarının akım denetiminin ayrı ayrı yapılmasıyla ve her katın transistörlerine anahtarlama darbelerinin belli bir faz farkıyla uygulanmasıyla giriş akımı ve çıkış gerilimi kırıltıları serpiştirilir. Şekil 3’te N-fazlı serpiştirilmiş yükseltici GKD devresinin genel yapısı verilmiştir.

Şekil 3'te verilen yapıda her akım kolu kendi akım denetleme katına sahiptir. Böylece hem giriş akımının kolları eşit olarak paylaşılması sağlanır, hem de tüm indüktörlerin üzerinden geçen akımlar sürekli sinüs şeklinde olurlar. Transistörlere uygulanan anahtarlama

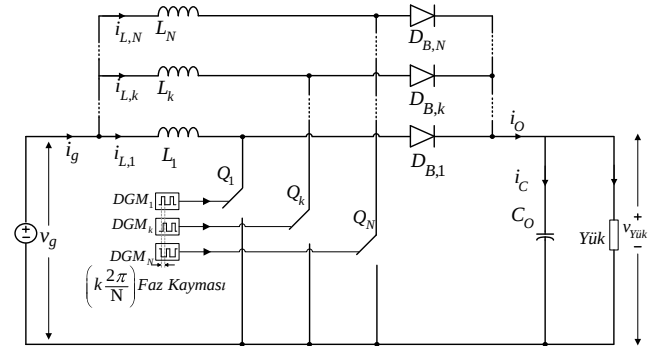
darbeleri N-fazlı bir serpiştirilmiş GKD’de ($2\pi/N$) radyan kadar kaydırılır. Bu sayede ayrı güç kollarındaki akımlar ($i_{L,1}$, $i_{L,2}$, ... , $i_{L,N}$) arasında eşit miktarda faz kayması elde edilir. Giriş akımı (i_g) faz akımlarının toplamı olduğu için giriş akımı kırıptılarının frekansı ve genliği, anahtarlama darbelerinin çalışma oranına ve faz sayısına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4’te 4-fazlı bir serpiştirilmiş GKD’nin indüktör ve giriş akımlarının dalga şekilleri verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi giriş akımı kırıptılarının genliği düşmüş, frekansı ise dört kat artmıştır.



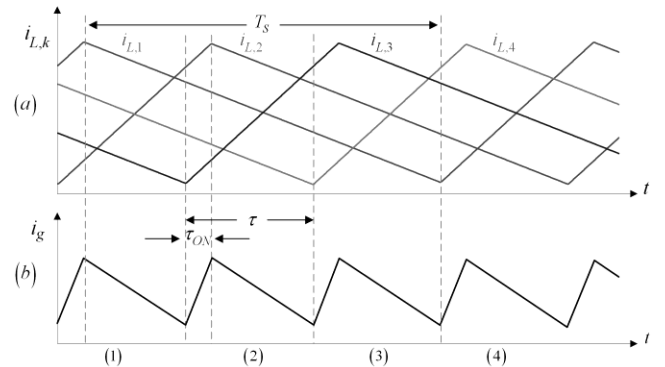
Şekil 1. Tek anahtarlı AC/DC gerilim yükseltici GKD yapısı.



Şekil 2. Güç katlarının paralel bağlanması.



Şekil 3. N-fazlı serpiştirilmiş yükseltici GKD devre yapısı.

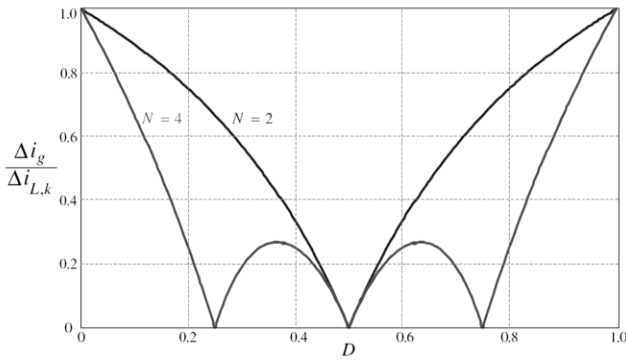


Şekil 4. 4-fazlı bir “Serpıştırılmış” GKD’de akım dalga şekilleri, (a) indüktör akımları, (b) giriş akımı.

Serpiştirme ile giriş akımı kırıltı genliğindeki azalmanın analizi [6] ve [7]'de ayrıntılı olarak yapılmış ve giriş akımı kırıltı genliği (1)'de verilen eşitlikteki gibi ifade edilmiştir:

$$\Delta i_g = N \frac{V_g}{L} \left(1 - \frac{1}{ND'} \sum_{k=1}^N s'_k \right) q\tau \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de; N faz sayısını, V_g giriş gerilimini, D' anahtarlama darbelerinin çalışma oranının tümleyenini ($1-D$), s'_k anahtarlama fonksiyonunun tümleyenini (anahtar iletimdeyken $s'=0$, kesimdeyken $s'=1$), q giriş akımı çalışma oranını, τ ise giriş akım kırıltısı periyodunu ifade etmektedir. Bu eşitlikten anlaşılabileceği üzere, N-fazlı bir GKD'de k 1'den N'e kadar bir tamsayı olmak kaydıyla çalışma oranı $kx(1/N)$ olduğunda giriş akım kırıltı genliği teorik olarak sıfır olabilmektedir. Şekil 5'te 4-fazlı ve 2-fazlı serpiştirilmiş GKD'lerin giriş akımların faz akımlarına oranı karşılaştırılmıştır. Şekilde akım kırıltılarının sıfır olduğu çalışma oranları ve faz sayısı arttıkça kırıltı genliğinin düştüğü gösterilmiştir.



Şekil 5. Çalışma oranı ve faz sayısı değişiminin giriş akımı kırıltı genliğine etkisi.

Serpiştirilmiş DGM yöntemiyle çıkış kondansatörü üzerindeki yüksek frekans gerilim kırıltıları da azaltılabilir. Çıkış kondansatörü gerilimi yüksek frekans kırıltılarının genliği (2)'deki gibi ifade edilebilmektedir [6], [7]:

$$\Delta V_o = \frac{T_s}{N^2} \frac{V_o}{R_{yük} C_o} \frac{qq'}{D'} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de, T_s anahtarlama periyodunu, V_o çıkış gerilimini, C_o çıkış kondansatörü kapasitansını, $R_{yük}$ de yük direncini ifade etmektedir. Akıma benzer olarak, çıkış gerilimi kırıltısı da faz sayısı ile ters orantılı biçimde değişmekte ve çok fazlı sistemde kırıltı azalmaktadır.

Serpiştirme yönteminin sağladığı bir diğer fayda da toplam indüktör boyutunun güç seviyesi artsa da yükselmemesi, hatta düşmesidir [8], [7]. Tek fazlı bir GKD'de indüktörde depolanan enerji (3) ile ifade edilir:

$$E_{1-faz} = \frac{1}{2} \times L \times i_{L,1-faz}^2 \quad (3)$$

N-fazlı bir GKD'de tek bir indüktör üzerinden geçen akımın tepe değeri bir önceki duruma göre (1/N) oranında olacağı için bu durumda tüm indüktörler üzerinde depolanması gereken enerji (4)'te verildiği gibi olacaktır.

$$E_{N-faz} = N \left(\frac{1}{2} \times L \times \left(\frac{i_{L,1-faz}}{N} \right)^2 \right) = \frac{E_{1-faz}}{N} \quad (4)$$

N-fazlı bir GKD'de tüm indüktörler üzerinde depolanan enerji tek fazlı GKD'ninkinin (1/N)'sidir. Indüktör boyutunu etkileyen faktörlerden biri de indüktörün depolaması gereken enerji olduğu için N-fazlı bir GKD'deki toplam indüktör boyutu tek fazlı bir GKD'dedeki aynı indüktans değerine sahip olan indüktörün boyutuna göre (1/N) oranına düşebilir.

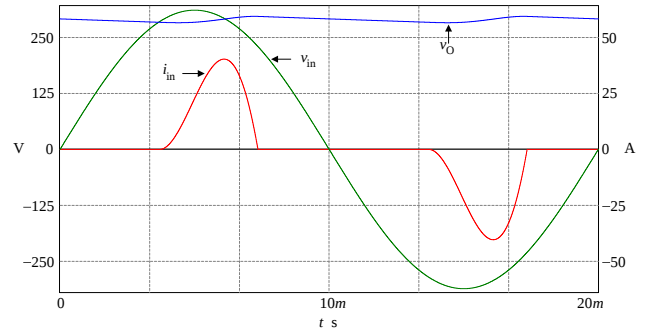
III. 2-FAZ SERPİŞTİRİLMİŞ YÜKSELTİCİ GKD BİLGİSAYAR BENZETİM SONUÇLARI

2.5 kW'lık 2-faz serpiştirilmiş GKD tasarımının başarımının doğrulanması için uygulama devresi benzetim ortamında modellenmiştir. Çizelge I'de parametreleri verilen benzetim Ansoft-Simplorer yazılımında yapılmıştır.

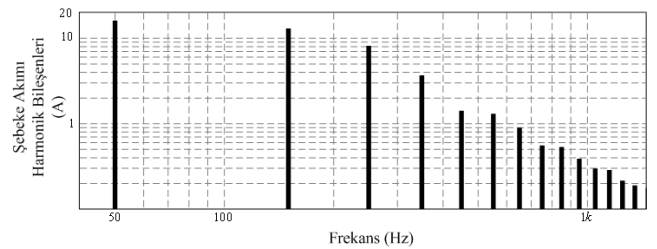
ÇİZELGE I: BENZETİM PARAMETRELERİ

Parametre	Değer
V_s (Şebeke gerilimi)	220 Vrms
$V_{o,REF}$ (Çıkış DC gerilimi referansı)	390 V
L_1, L_2	1 mH
C_o (Çıkış kondansatörü değeri)	2.4 mF
$R_{yük}$ (Yük direnci)	64 Ω
f_s (Anahtarlama frekansı)	40 kHz

Şekil 6'da aktif GKD yapısı devreye eklenmeden elde edilen giriş akımı çıkış gerilimi dalga şekilleri verilmiştir. Burada görüldüğü gibi giriş akımı süresizdir ve bu nedenle Şekil 7'de gösterildiği gibi çok miktarda harmonik bileşene sahiptir. Yapılan güç kalitesi analizinde giriş akımının toplam harmonik bozulması (THB) %99.5, giriş güç katsayısı 0.68 olarak bulunmuştur.



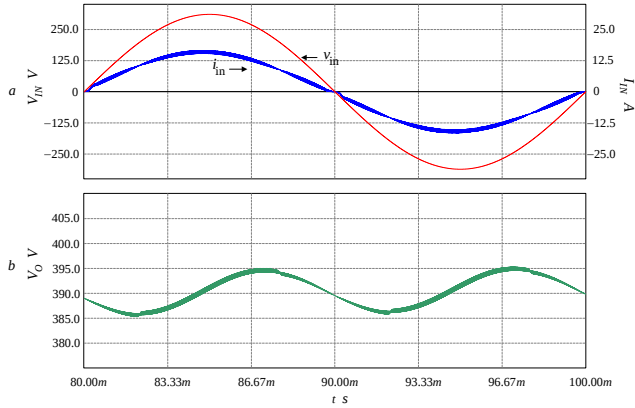
Şekil 6. GKD'siz doğrultucu giriş gerilim, giriş akım ve çıkış gerilim dalga şekilleri.



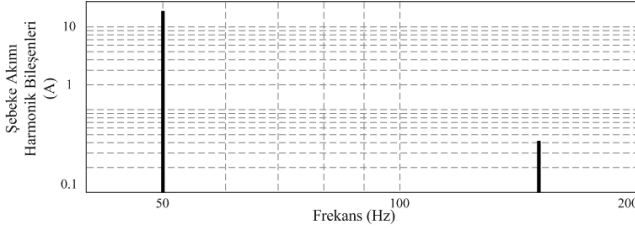
Şekil 7. GKD'siz giriş akımı harmonik bileşenleri.

Şekil 8'de aktif GKD devreye girdikten sonra elde edilen akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi giriş akımı artık sürekli olup sinüs şeklini almıştır ve giriş gerilimini takip etmektedir. Bu nedenle harmonik bileşenleri oldukça azalıp güç katsayısı 1'e

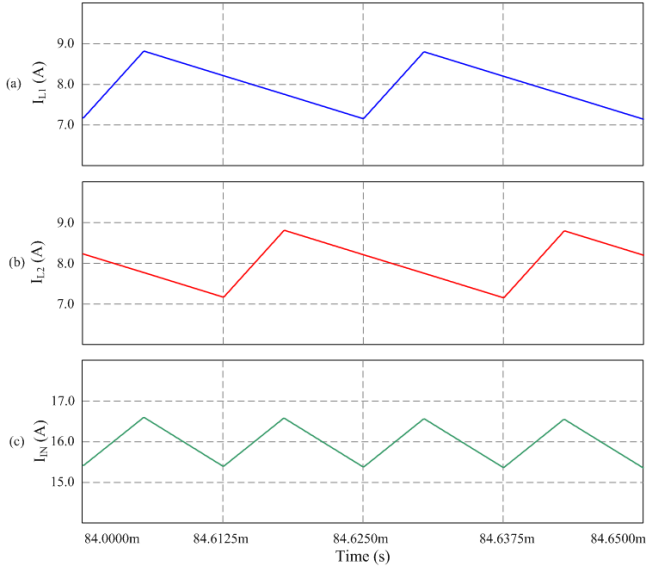
yaklaşmıştır. Şekil 9’da gösterildiği gibi giriş akımı, anahtarlama frekansı bileşenleri gözardı edildiğinde yalnızca 3. harmonik bileşenine sahiptir ve bu bileşenin de boyutu ana bileşen yanında oldukça azdır. Şekil 8.b’de 390V’ye regüle edilmiş olan çıkış geriliminin dalga şekli verilmiştir. Çıkış gerilimi GKD’nin yapısı gereği ikinci harmonik bileşeni içerir [9] ve bu bileşenin genliği çıkış kondansatörünün kapasitans değerini artırarak azaltılabilir. GKD’li durumda giriş akımının THB’si %3.997’ye kadar düşmüş, giriş güç katsayısı 0.997’ye yükselmiştir.



Şekil 8. GKD’li dalga şekilleri. (a) giriş gerilimi ve giriş akımı, (b) çıkış gerilimi.



Şekil 9. GKD’li giriş akımı harmonik bileşenleri.



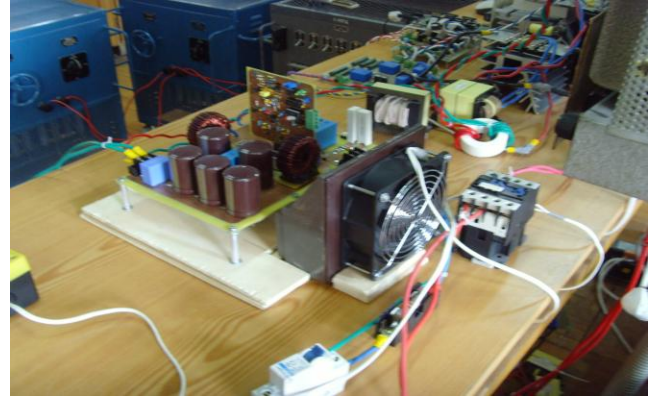
Şekil 10. Akım dalga şekilleri (a) birinci faz indüktör akımı, (b) ikinci faz indüktör akımı, (c) giriş akımı.

Şekil 10’da faz akımlarının ve giriş akımının tepe noktasındaki ($\omega_e t = 90^\circ$) ayrıntılı dalga şekilleri verilmiştir. Serpiştirme yöntemiyle fazlardaki akımlar arasında 180° faz farkı oluşturulmuştur. Faz akımı yüksek frekans

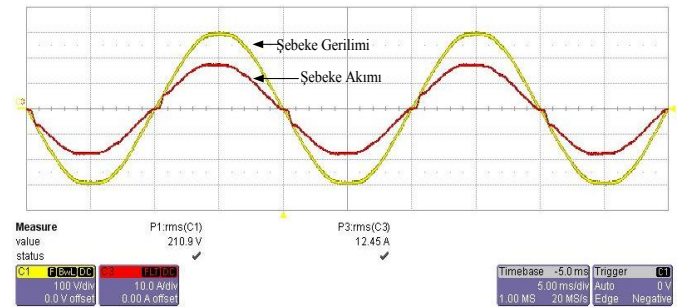
kıpırtılarının genliği yaklaşık 1.8A iken giriş akımı kıpırtı genliği yaklaşık 1.2A’ya kadar düşmüştür. Ayrıca giriş akım kıpırtılarının frekansı, faz akımı kıpırtılarının iki katıdır. Bu da giriş EMI süzgecini küçülten bir etkidir.

IV. DENEY SONUÇLARI

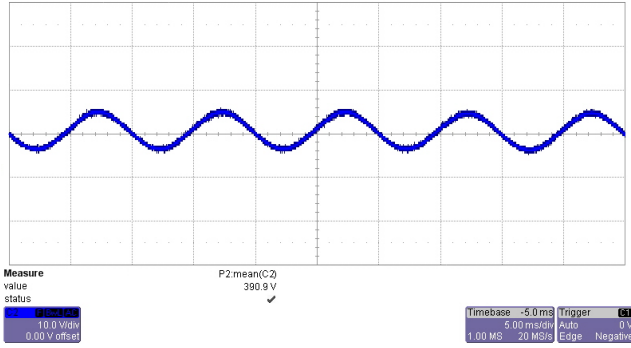
İki fazlı serpiştirilmiş GKD’nin çalışmasını daha ayrıntılı inceleyebilmek ve teorik tasarımı doğrulamak amacıyla Şekil 11’de gösterilen 2.5kW’lık uygulama devresi kurulmuştur. Uygulama devresinde serpiştirilmiş GKD denetimi Texas Instruments firmasınca üretilen UCC28070 monolitik entegre devresi ile yapılmıştır. Harmonik analizi Fluke-43B güç kalitesi analizörü ile yapılmıştır. Giriş gerilimi ve giriş akımı dalga şekilleri Şekil 12’de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi, giriş akımı giriş gerilimini takip etmektedir ve yaklaşık olarak sinüs şekline sahiptir. Çıkış geriliminin dalga şekli Şekil 13’te verilmiştir. Çıkış gerilimi 390V’de regüledir ve üstünde yaklaşık 10V genliğinde ikinci harmonik bileşeni bulunmaktadır. Giriş akımının ayrı fazlarda eşit olarak paylaşıldığı Şekil 14’te görülmektedir. Bu sayede devre elemanları üzerine düşen zorlanma azaltılmıştır. Giriş akımının ve faz akımlarının tepe noktasındaki ayrıntılı dalga şekilleri Şekil 15’te verilmiştir. Faz akımlarının yüksek frekans kıpırtılarının maksimum genliği yaklaşık 2.4A iken bu değer giriş akımında 1.7A civarına gerilemiştir. Şekil 16’da ve Şekil 17’de Fluke-43B güç kalitesi analizörü ile alınan güç kalitesi ölçümlerine yer verilmiştir. Burada görüldüğü gibi giriş güç katsayısı 1.0 olarak, giriş akımı THB’si ise %4.2 olarak ölçülmüştür. Bu değerler bilgisayar benzetim sonuçlarıyla da uyumludurlar. Sonuç olarak, serpiştirilmiş GKD devresi ile şebekeden çekilen gücün kalitesi oldukça iyileştirilmiş, ve uluslararası standartların gerektirdiği değerlerden oldukça iyi kalite katsayılarına ulaşılmıştır.



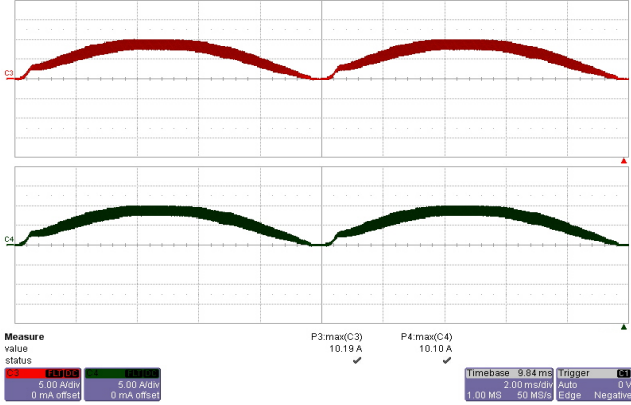
Şekil 11. İki fazlı “serpiştirilmiş” GKD uygulama devresi.



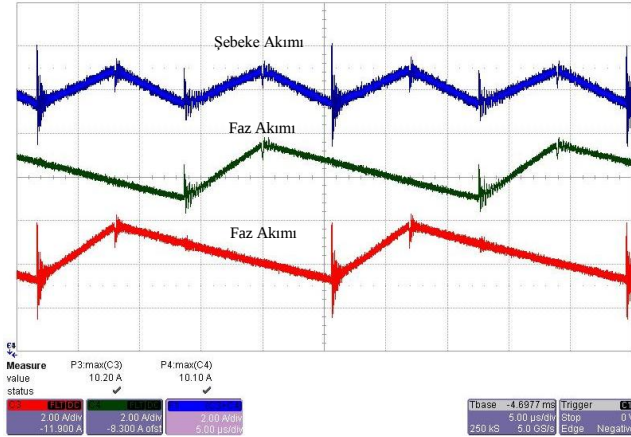
Şekil 12. Giriş akımı ve giriş gerilimi.



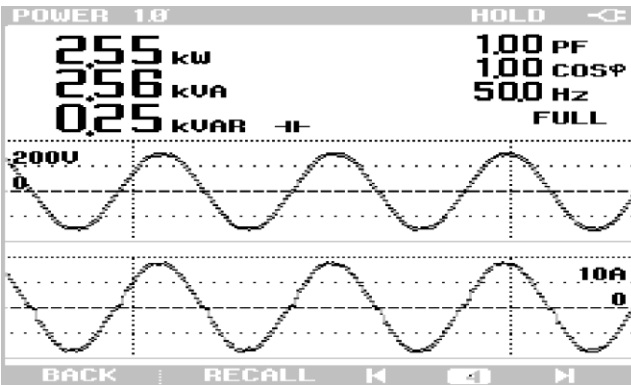
Şekil 13. Doğrultucu çıkış gerilimi AC bileşeni (10V/kare).



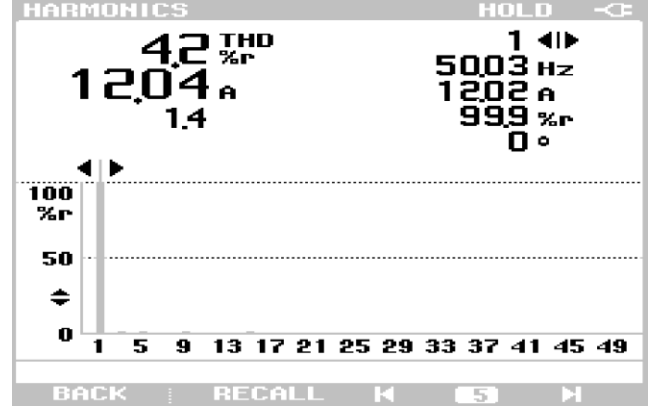
Şekil 14. Serpiştirilmiş GKD faz indüktör akımları.



Şekil 15. Faz akımlarının ve giriş akımının şebeke geriliminin (ve akımının) tepe noktasında ($\omega_e t = 90^\circ$) ayrıntılı dalga şekilleri.



Şekil 16. Serpiştirilmiş GKD doğrultucu giriş gücü, güç katsayısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.



Şekil 17. Serpiştirilmiş GKD giriş akımı harmonik spektrumu ve giriş akımı THB'si.

V. SONUÇ

Bu çalışmada kilovatlar ölçeğinde güç uygulamaları için verimli bir güç katsayısı düzeltici (GKD) AC/DC doğrultucu olan serpiştirilmiş yükseltici GKD incelenmiştir. Giriş güç katsayısını pratik olarak "bir" değerinde, giriş akımı toplam harmonik bozulmasını %5 değerinin altında tutan, DC bara gerilim regülasyonu yüksek, dönüştürücü içinde akım ve gerilim kırıltılarını verimli biçimde serpiştirerek gerekli anahtarlama frekansı ve anahtarlama geçiş frekansı süzgeç boyutlarını oldukça küçültten iki fazlı serpiştirilmiş GKD incelenmiş, analiz, benzetim ve deneysel çalışmalarla doğrultucunun başarımlı doğrulanmıştır. 2.5 kW'lık doğrultucunun deneysel başarımlı sergilenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] EN-61000-3-2 Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), Şubat 2009.
- [2] EN-61000-3-12 Std., Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and < 75 A per phase, Kasım 2004.
- [3] J. Sebastián, M. Jaureguizar, J. Uceda, "An Overview Of Power Factor Correction in Single-Phase Off-Line Power Supply Systems" in IECON, s. 1688–1693, 1994.
- [4] Ron Randall, "Choosing Power Switching Devices for SMPS Designs MOSFETs or IGBTs", Fairchild Semiconductor Application Note, AN-7010, 2005.
- [5] K. C. Wu, *Switch-Mode Power Converters: Design and Analysis*, Academic Press, s. 203-236, 2005.
- [6] H. B. Shin, J.G. Park, S.K. Chung, H.W. Lee, T.A. Lipo, "Generalised steady-state analysis of multiphase interleaved boost converter with coupled inductors", IEEE Proceedings on Electric Power Applications, s. 584 – 594, May 2005.
- [7] M. C. Kaya, "Design, Implementation, And Control Of A Two-Stage AC/DC Isolated Power Supply With High Input Power Factor And High Efficiency", Msc. Thesis, METU, 2008.
- [8] M. O'Loughlin, "An Interleaving PFC Pre-Regulator for High-Power Converters", Texas Instruments Power Supply Design Seminar, 2006.
- [9] R. W. Erickson, D. Maksimović, *Fundamentals of Power Electronics*, Springer, 2. Baskı, 1999.