

GELENEKSEL GÜÇ KATSAYISI DÜZELTME DEVRELERİ İLE KÖPRÜSÜZ GÜÇ KATSAYISI DÜZELTME DEVRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Özgün GİRGIN

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
ogirgin@yildiz.edu.tr

Emrah SARITAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

İsmail AKSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
iaksoy@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Güç Katsayısı Düzeltme(GKD) kavramı üzerinde durulmuş, Geleneksel GKD devreleri ile Köprüsüz GKD devreleri karşılaştırılmıştır. Bu konu üzerine literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş olup, bu devrelerin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur[2-18]. Karşılaştırılan devrelerin bilgisayar ortamında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İlgili devreler anahtar sayısı, verim, giriş akımı toplam harmonik bozulması(THB) ve çıkış dalgalılığı bakımından ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç Katsayısı Düzeltme, Köprüsüz Güç Katsayısı Düzeltme ve Enerji Kalitesi

1. Giriş

Gerek uluslararası standartlar olan IEEE-519 ve IEC-61000-3-2 standartlarına uyumluluk, gerekse enerji tüketiminde verimliliği sağlamak amacıyla günümüzde enerji kalitesi önem arz etmektedir[1]. Şebeke enerjisine ihtiyaç duyan küçük cihaz grupları; televizyon, yazıcı, bilgisayar, floresan lambalar ve benzeri aletler sinüsoidal olmayan akımlar çekmektedirler. Bu sebepten ötürü şebekeden reaktif güç çekerler. Çekilen reaktif güç, işe yaramayan güç anlamına gelmektedir ve aktif (faydalı) gücün düşmesine yol açmaktadır. Reaktif gücün azaltılması için son yıllarda güç katsayısı düzeltme adına çalışmalar yapılmaktadır[4-5].

Faz farkı ve harmonikler nedeniyle düşen güç katsayısının 1'e yaklaştırılmasına Güç Katsayısının Düzeltmesi denir.

GKD kavramı hem reaktif gücün hem de harmoniklerin yok edilmesi veya en aza indirilmesi anlamlarını taşımaktadır. Aslında teorik olarak GKD'nin amacı, bütün güç kaynaklarının omik yük gibi davranmasını

sağlamaktır. Temel olarak düşük güç katsayısı ek kayıplara, ek ısınmalara, ek momentlere, ek gürültülere, ek titreşimlere, erken bozulmalara, kapasite kullanımını azalmalarına, hatalı çalışmalara neden olmaktadır. Reaktif güç ve harmoniklerin azaltılması suretiyle güç katsayısı klasik olarak; Reaktif Güç Kompanzasyonu ve filtreler kullanılarak veya modern olarak; Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu, GKD Kontrol Yöntemleri ve Aktif Filtreler kullanılarak yapılmaktadır[3]. Güç Katsayısı, temel olarak aşağıda verildiği gibi aktif gücün görünür güce oranı şeklinde tanımlanır ve 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir.

$$GK = \frac{P(W)}{S(VA)} \quad (1)$$

Bu çalışmada Geleneksel GKD ve Köprüsüz GKD topolojileri karşılaştırılmıştır. Aynı çalışma gücü için devrelerin bilgisayar ortamında simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlarda kontrol yöntemi olarak ortalama akım yöntemi kullanılmıştır. Topolojilerin genel değerlendirilmesi Tablo.1'de özetlenmiştir.

Topolojilerin genel değerlendirmesi sonucunda belirli güçlerin üzerinde, tasarımda bazı kısıtlamaların olduğu gözlemlenmiştir. Bu kısıtlamaların başında, kullanılan güç elemanının üzerinde oluşan güç kaybı yer alır. Çalışma gücündeki bir diğer kısıtlama ise pasif güç elemanı olan endüktans tasarımından kaynaklanmaktadır. Devrenin çalışma gücü arttıkça, endüktansın manyetik çekirdeğinin büyümesi ve kullanılan iletken kesitinin artması sonucu fiziksel boyutu artmaktadır. Dolayısıyla devrenin hacmi artmakta ve istenmeyen bir durum olan devrenin güç seviyesinin devrenin hacmine oranı yani güç yoğunluğu azalmaktadır [6].

Tablo 1. Topolojilerin Genel Değerlendirilmesi

TOPOLOJİ	GELENEKSEL PFC	KÖPRÜSÜZ PFC
Güç Seviyesi	< 1000 W	< 2000 W
Anahtar Sayısı	1	2
Hızlı Diyot	1	2
Doğrultucu Diyot	4	0
EMG/Gürültü	NORMAL	KÖTÜ
Manyetik Büyüklük	BÜYÜK	ORTA
Kondansatör Dalgalanması	YÜKSEK	YÜKSEK
Giriş Akım Dalgalanması	YÜKSEK	YÜKSEK
Verim	KÖTÜ	İYİ
Fiyat	DÜŞÜK	ORTA

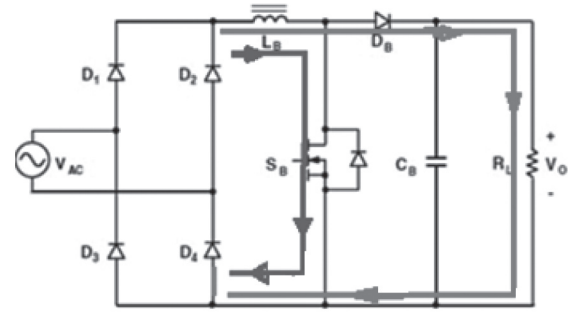
2. Geleneksel GKD Devreleri

Şebekeye bağlı güç elektroniği dönüştürücüleri (doğrultucular, ac kıyıcılar), şebekeye yüksek derecede harmonikler enjekte ederler. Bunların sonucunda Elektromagnetik Girişim (EMG), hat akımında bozulma ve hat akımında yükselmeler meydana gelir. Dolayısıyla, bu dönüştürücüler şebekedeki güç kalitesinde ve güç katsayısında düşüğe neden olurlar. Bu durumu önlemek amacıyla son yıllarda birçok aktif yöntem geliştirilmiştir [7-15]. Bu yöntemler arasında en popülerleri, aktif güç elemanları kullanılan ve yüksek frekansta anahtarlama dayalı olarak şebekeden çekilen akımın sinüsoidalı yaklaştırıldığı geleneksel yükselten çevirici tipidir. Bu topolojinin avantajları arasında, giriş akımında yumuşak değişimler olması nedeniyle EMG azalması ve bunun sonucunda girişte kullanılan filtrenin boyutunun küçülmesi yer almaktadır. Giriş akımının yumuşak değişim göstermesine neden olan devre elemanı yükselten çeviricinin girişinde bulunan endüktanstır. Yine endüktans sayesinde, güç elemanı üzerindeki akım stresi azalır. Dolayısıyla güç elemanındaki kayıplar azalır. Yükselten çeviricinin çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksektir. Bu sebeple çıkış kondansatörü daha fazla enerji depolar ve çıkış kondansatörünün, çıkış gerilimini tutma süresi uzar [16].

Geleneksel GKD devresi şekil 1’de verilmiştir. Devrede,

yükselten çeviricinin endüktansı (LB) üzerindeki akımın kontrolü ile güç elemanı için gerekli sürme sinyalleri üretilir. Çalışma frekansı endüktans üzerindeki akımın sifıra düşmeyeceği durumlar göz önüne alınarak ayarlanmalıdır. Böylelikle endüktans kontrollü akım kaynağı haline gelir[2].

Şekil 1’ de, girişteki köprü doğrultucunun çıkışı kaynak gerilimi olarak düşünülürse, kaynak gerilimi şebeke geriliminin tepe değerine eşittir. Devrenin çalışma prensibi ise şu şekildedir; MOSFET(SB) iletimdeyken endüktanstaki enerji seviyesi yükselir, diyot(DB) ters kutuplanır ve çıkışı yalıtır. Bu sırada yükü, kondansatör(CB) besler. DB iletime girdiğinde ise endüktanstaki enerji, kaynak gerilimi ile beraber çıkışa aktarılır. Böylece çıkış gerilimi kaynak geriliminden daha büyük hale getirilir. Şekil 1’de MOSFET’in iletim durumu mavi renkli yolla, diyodun iletim durumu ise kırmızı renkli yolla gösterilmiştir.

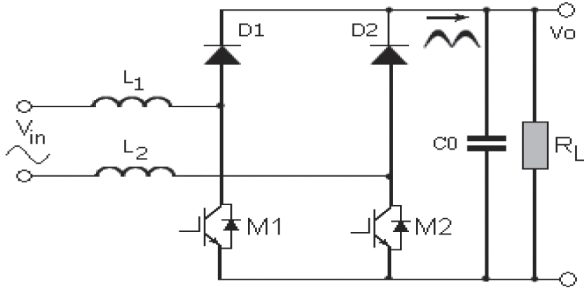


Şekil 1. Geleneksel GKD devresi

3. Köprüsüz GKD Devreleri

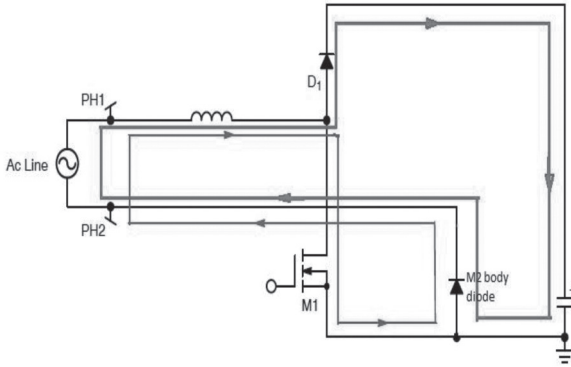
Yükselten çevirici devre topolojisinde, DC gerilimi sağlamak üzere girişte köprü doğrultucu kullanılmaktadır. Bu sebepten ötürü yarı iletken elemanlardaki kayıplar artmaktadır. Bu devre topolojisine alternatif olarak devre girişindeki köprü doğrultucuyu ortadan kaldıran, yeni bir topoloji geliştirilmiştir[17]. Girişteki köprü doğrultucunun kaldırılmasından dolayı bu topolojiye köprüsüz GKD ismi verilmiştir.

Köprüsüz GKD devrelerinde, giriş köprü doğrultucusunun ortadan kalkmasıyla yarı iletken eleman sayısında azalma olmuştur. Bununla birlikte, kayıplar azalmış ve devrenin verimi artmıştır[18]. Köprüsüz GKD devresi şekil 2’de görülmektedir.



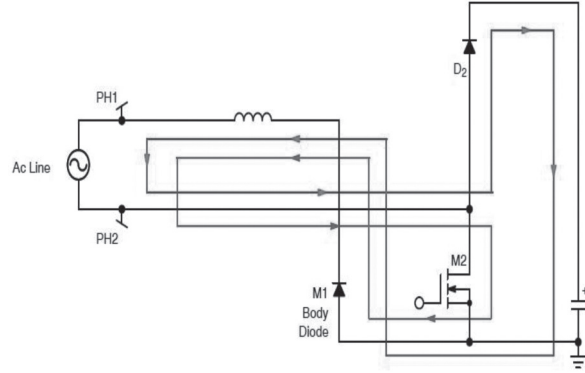
Şekil 2. Köprüsüz GKD devresi

Giriş geriliminin pozitif periyodunda devre iki ayrı durumda çalışmaktadır. MOSFET(M1)'in iletim durumu ve diyod(D1)'un iletim durumu göz önüne alınarak Şekil 3'de akım yolları gösterilmiştir. M1 iletimdeyken girişteki endüktansta enerji depolanır, D1 ters kutuplanır ve çıkışı yalıtır. Bu sırada yükü kondansatör besler. D1 iletimdeyken endüktanstaki enerji, giriş gerilimi ile beraber doğrultularak çıkışa aktarılır. Bu periyotta MOSFET'in iletim durumu mavi renkli, diyodun iletim durumu kırmızı renkli yolla gösterilmiştir.



Şekil 3. Giriş gerilimi pozitif iken iletim ve kesim durumu

Giriş geriliminin negatif periyodunda da devre iki ayrı durumda çalışmaktadır. MOSFET(M2)'in iletim durumu ve diyod(D2)'un iletim durumu göz önüne alınarak Şekil 4'de akım yolları gösterilmiştir. M2 iletimdeyken girişteki endüktansta enerji depolanır, D2 ters kutuplanır ve çıkışı yalıtır. Bu sırada yükü kondansatör besler. D2 iletimdeyken endüktanstaki enerji, giriş gerilimi ile beraber doğrultularak çıkışa aktarılır. Bu periyotta MOSFET'in iletim durumu mavi renkli, diyodun iletim durumu kırmızı renkli yolla gösterilmiştir.



Şekil 4. Giriş gerilimi negatif iken iletim ve kesim durumu

4. Simülasyonların Karşılaştırılması

Devreler aynı şartlar altında karşılaştırılmak üzere MATLAB/SIMULINK ortamında kurularak çalıştırılmış, hazırlanan benzetim modelleri ve elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda verilmiştir. Her iki topolojide de ortalama akım yöntemi kullanılmış ve anahtarlama frekansı 50 kHz'dir. Devrelerin endüktans ve kondansatör değerleri şu şekilde hesaplanmıştır:

Bağlı iletim süresi,

$$D = \frac{V_{\zeta} - V_{gmin}\sqrt{2}}{V_{\zeta}} = \frac{400 - 220\sqrt{2}}{400} = 0.22 \quad (2)$$

Giriş akımının tepe değeri,

$$I_{gtepemax} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_{\zeta}}{\eta_{min} \cdot V_{gmin}} \quad (3)$$

$$= \frac{\sqrt{2} \cdot 600}{0.9 \cdot 220} = 4.28 \text{ A}$$

Akım dalgalanma miktarı,

$$\Delta I_L = 0.15 \cdot I_{gtepemax} = 0.15 \cdot 4.28 = 0.64 \text{ A} \quad (4)$$

Endüktans değeri,

$$L_{min} = \frac{V_{gmin}\sqrt{2} \cdot D}{\Delta I_L \cdot f_s} = \frac{220\sqrt{2} \cdot 0.22}{0.64 \cdot 50\text{kHz}} \approx 2.2\text{mH} \quad (5)$$

Benzetim modelinde endüktans değeri 2.5 mH olarak seçilmiştir.

Çıkış kondansatörü değeri,

$$C_c = 1.1 \left(\frac{2.P\phi.\Delta t}{V\phi^2 - V_{gmin}^2} \right) \quad (6)$$

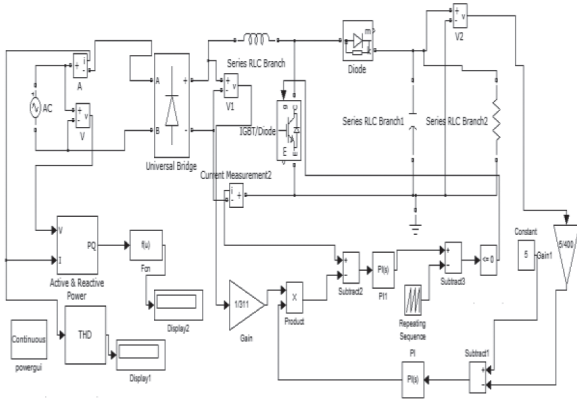
$$= 1.1 \left(\frac{2.600.30.10^{-3}}{400^2 - 311^2} \right) = 626 \mu F$$

Benzetim modelinde bu değer 680 μF olarak seçilmiştir.

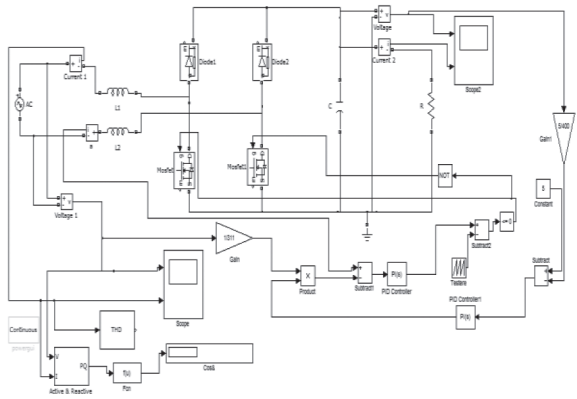
Her iki devrenin de benzetim parametreleri aynıdır ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Benzetim parametreleri

Güç	600 W
Çıkış Gerilimi	400 V
Endüktans	2.5 mH
Kondansatör	680 μF



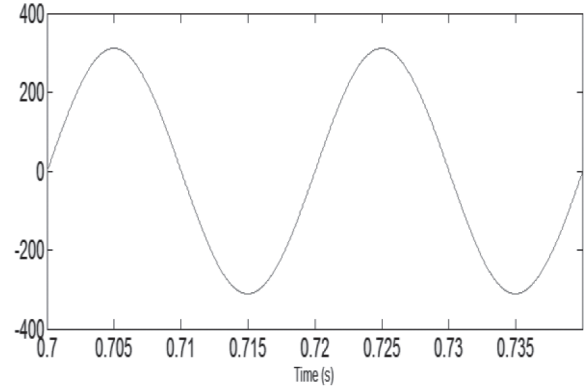
Şekil 5. Geleneksel GKD devresi benzetim modeli



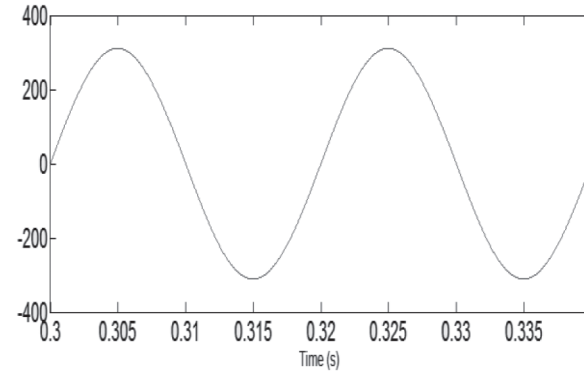
Şekil 6. Köprüsüz GKD devresi benzetim modeli

Kullanılan ortalama akım kontrol yönteminde,

çıkış gerilimi referans gerilim ile karşılaştırılarak PI denetleyicisine verilir. Buradan alınan örnek ile giriş geriliminden alınan örnek çarpılır. Böylece akım sinyali için, örnek sinüsoidal referans akım sinyali üretilmiş olur. Bu sayede alınan giriş akımı PI denetleyicisi ile sinüsoidale benzetilir. Testere dışı sinyallerle, üretilen bu sinüsoidal akım sinyalinin karşılaştırılması sonucu, güç anahtarları için sürme sinyalleri üretilir. Karşılaştırılan devrelerin benzetim sonuçları aşağıda verilmiştir.

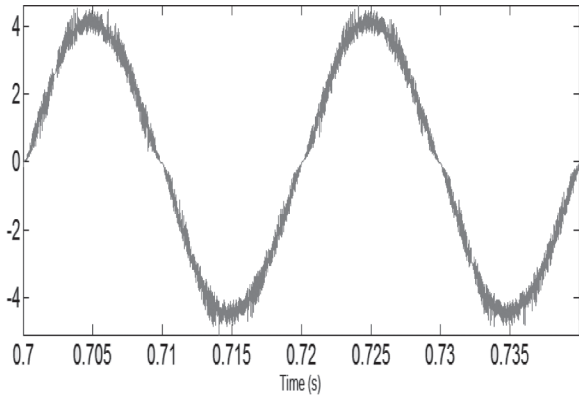


Şekil 7. Köprüsüz GKD giriş gerilimi dalga şekli

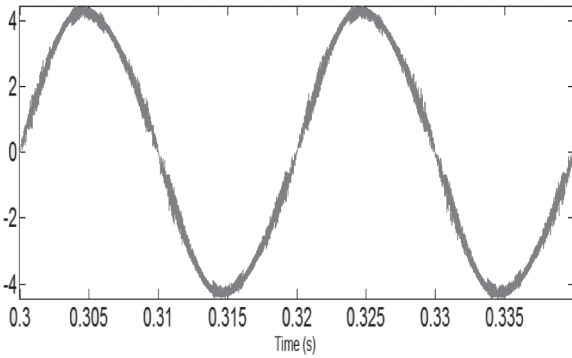


Şekil 8. Geleneksel GKD giriş gerilimi dalga şekli

Köprüsüz GKD devresinde giriş geriliminin maksimum değeri 311V, giriş akımının değeri ise 4.258A'dir. Çıkış geriliminin efektif değeri 400V, çıkış akımı ise 1.5A'dir. Kayıplar göz önüne alınarak analiz yapıldığında verimin %90,9 olduğu görülmüştür. Geleneksel GKD devresinde giriş geriliminin maksimum değeri 311V, giriş akım değeri ise 4.27A'dir. Çıkış geriliminin efektif değeri 400 V, çıkış akımının ise 1.5 A'dir. Kayıplar göz önüne alınarak analiz yapıldığında verim %87,9 olarak hesaplanmıştır.

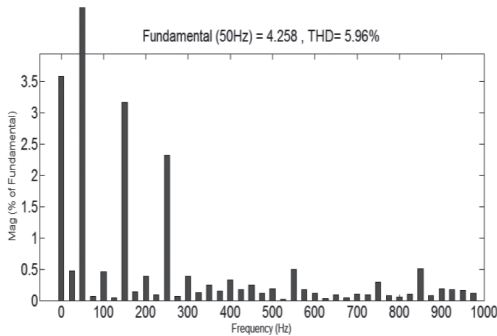


Şekil 9. Köprüsüz GKD giriş akımı dalga şekli

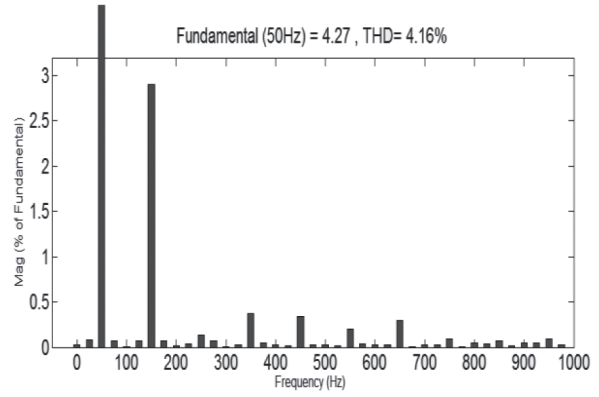


Şekil 10. Geleneksel GKD giriş akımı dalga şekli

Devreler giriş akımlarının harmoniği bakımından incelendiğinde çalışma gücü 600 W iken giriş akım THB'nın, geleneksel GKD'de daha iyi olduğu görülmektedir. Sürekli iletim modu (ŞİM) modunda çalışan köprüsüz GKD devresinde THB % 5.96, ŞİM modunda çalışan geleneksel GKD devresinde ise %4.16 olarak bulunmuştur. Fakat güç arttıkça bu durum değişmekte ve köprüsüz GKD devresinde THB, daha düşük değerlerde olmaktadır.

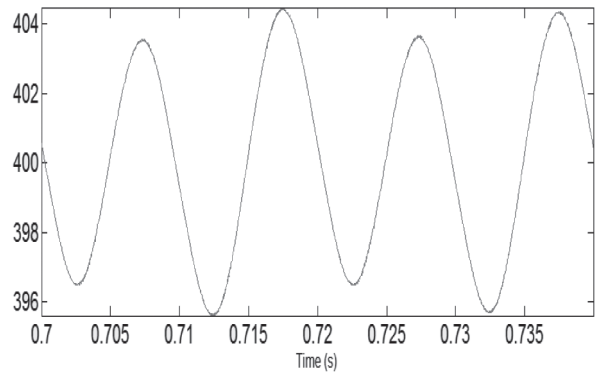


Şekil 11. Köprüsüz GKD giriş akımı THB'sı

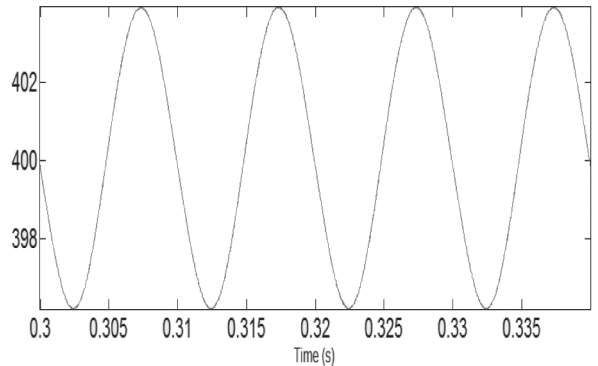


Şekil 12. Geleneksel GKD giriş akımı THB'sı

Köprüsüz GKD devresinde giriş akım ve gerilimine bağlı olarak güç katsayısı 0.998, geleneksel GKD devresinde ise güç katsayısı 0.995 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. Köprüsüz GKD kondansatör gerilimi dalga şekli



Şekil 14. Geleneksel GKD kondansatör gerilimi dalga şekli

5. Sonuçlar

Simülasyonu yapılan köprüsüz ve geleneksel GKD devreleri karşılaştırıldığında, aynı giriş ve çıkış değerleri altında devrelerin güç faktörleri birbirine çok yakındır fakat giriş akımı THB değerleri arasında bir fark bulunmaktadır. Köprüsüz GKD’de giriş akımı THB değeri %5.96 iken Geleneksel GKD’de %4.16 olarak ölçülmüştür. Bu fark geleneksel GKD’yi üstün gösterse de devrelerin analizi yapıldığında verim bakımından Köprüsüz GKD’nin Geleneksel GKD’ye göre üstünlüğü görülmüştür. Bununla beraber Köprüsüz GKD devresinde toplamda kullanılan eleman sayısı daha az olsa da anahtar sayısının artması ve anahtarların kontrolünün daha karmaşık olmasından dolayı sistem maliyeti daha fazladır. Sonuç olarak, sistem verimi bakımından köprüsüz GKD devrelerini kullanmak daha uygundur. Fakat sistem maliyeti ve kontrol kolaylığı bakımından geleneksel GKD devrelerinin üstün olduğu görülmektedir.

6. Kaynaklar

[1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Standard 519, 1992.

[2] Basu, S., Bollen, M.H.J., “A Novel Common Power Factor Correction Scheme for Homes And Offices”, IEEE Transactions On Power Delivery, 20(3): 2257-2263 (2005).

[3] Bodur H., “Güç Elektroniği Endüstriyel Uygulamaları 1” Ders Notu.

[4] O.Garcia, J.A. Cobos, R. Prieto, P.Alou, J.Uceda, “Single Phase Power Factor Correction: A Survey”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol.18, no.3, pp.749-755, May 2003

[5] O.Garcia, J.A. Cobos, R. Prieto, P.Alou, J.Uceda, “Power Factor Correction: A survey”, Power Electronics Specialists Conference(PESC), Canada, vol.1, pp.8-13, June 2001.

[6] Fariborz M., Wilson E., William G. D., “A High Performance Single-Phase Bridgeless Interleaved PFC Converter for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Battery Chargers”, IEEE transactions on Industry Applications, Vol. 47, NO. 4, July/August 2011.

[7] Kocher, M. J., and Steigerwald, R. L. (1983) “An ac-to-dc converter with high quality input waveform” IEEE Transactions on Industrial Applications, IA-19, 4

(July/Aug. 1983).

[8] Mohan, N., Undeland, T. M., and Ferraro, R. J. (1984) “Sinusoidal line current rectification with A 100 KHZ B-SIT step-up converter” In IEEE PESC Conference Record, 1984, 92—98.

[9] King, R. J. (1991) “Analysis and design of an unusual unity power factor rectifier” IEEE Transactions on Industrial Electronics, 38, 2 (Apr.1991), 126—134.

[10] Kelley, A. W., Hallouda, M. A., Moore, M. D., and Nance, J. L. (1991) “Near-unity-power-factor single-phase ac-to-dc converter using a phasecontrolled rectifier” In IEEE APEC 1991 Conference Record, 1991, 387—392.

[11] Erickson, R., Madigan, M., and Singer, S. (1990) “Design of a simple high power factor rectifier based on the flyback converter” In IEEE APEC Conference Record, 1990, 792-801.

[12] Kheraluwala, M. H., Steigerwald, R. L., and Gurumoorthy, R. (1991) “A fast response high power factor converter with a single power stage” In IEEE PESC Conference Record, 1991, 769— 779.

[13] Nalbant, M. K. (1990) “Power factor enhancement circuit” Application note, 11, Micro Linear Corporation, 1990.

[14] Todd, P. C. (1995) “UC3854 controlled power factor correction circuit design” U-134, Unitrode application note, 1995.

[15] Zhou, C., and Jovanovic, M. M. (1992) “Design trade-offs in continuous current mode controlled boost power factor correction circuits” HFPC Proceedings (1992), 209—220.

[16] Z. Yang, P.C.Sen “Power Factor Correction Circuits with Robust CurrentControl Technique” IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems Vol. 38, No. 4 October 2002.

[17] Huber, L.; Yungtaek J., Jovanovic, M. M., “Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers”, IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 23, Issue 3, 1381 – 1390, May 2008.

[18] Karaarslan A., İskender İ., “ Güç Katsayısı Düzeltim Devrelerinde Ortalama Akım Kontrol Tekniği ve Sayısal Sinyal İşlemcisi Kullanarak Yeni Bir Yöntemin Uygulanması” , Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 26, No 1, 2011.