

Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici PFC Dönüştürücünün Performans Değerlendirmesi

Yasin BEKTAŞ^{1*}, Onur AKAR²

^{1*}Elektrik-Enerji Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, <https://orcid.org/0000-0002-3681-0123>
¹Elektrik ve Otomasyon Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, <https://orcid.org/0000-0001-9695-886X>

^{*1}yasinbektas@aksaray.edu.tr, ²onur.akar@marmara.edu.tr

(Geliş Tarihi: 20 Kasım 2023, Kabul Tarihi: 26 Kasım 2023)

(4th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2023, November 20-21, 2023)

ATIF/REFERENCE: Bektaş, Y. & Akar, O. (2023). Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici PFC Dönüştürücünün Performans Değerlendirmesi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(10), 367-372.

Özet – Elektrik güç dönüştürücülerinin avantajlarına rağmen, özellikle şebeke tarafında ortaya çıkan güç kalitesi sorunları, önemli bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Artan enerji talebi göz önüne alındığında, güç kalitesi sorunları güç dönüştürücü verimini de etkilemektedir. Bu çalışma, AC-DC dönüştürücülerin güç kalitesi sorunlarına etkili çözümler sunabilen Güç Faktörü Düzeltmeli (PFC) dönüştürücülerden olan köprüsüz yükseltici ve totem-kutuplu köprüsüz dönüştürücüleri incelemektedir. PFC dönüştürücüleri sürekli iletim modunda çalıştırılmış, gerilim kontrolü için PI kontrolör, akım kontrolü için ise Oransal-Rezonans (PR) kontrolörü kullanılmıştır. PFC yapıları PLECS yazılımı ile simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, giriş akımının harmonik içeriği, güç faktörü ve verim açısından totem-kutuplu köprüsüz PFC yapısının, güç kalitesi sorunlarına karşı daha yüksek verimli bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler – Güç Faktörü Düzeltme (PFC), Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici, Güç Kalitesi, Verim, PLECS

I. GİRİŞ

Günümüzde elektrikle çalışan cihazların kullanımının artması, elektrik şebekesine bağlanan cihaz sayısını artırmıştır [1]. Ancak, artan bu talep, elektrik dağıtım şebekesindeki bozulmaların artmasına ve enerji sistemlerinde çeşitli sorunların oluşmasına neden olabilir [2]. Elektrik şebekesine geri beslenen bozulmalar, verimsiz enerji kullanımına neden olabilir ve bu da enerji kaynaklarının etkin kullanımını engelleyebilir [3].

Bu sorunları hafifletmek ve elektrikli sistemlerin daha etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için güç kaynağı tasarımları içerisinde yer alan PFC devreleri büyük bir öneme sahiptir [4]. PFC devreleri, elektrik şebekesinden alınan enerjiyi daha

etkili bir şekilde kullanarak güç faktörünü iyileştirmeye yönelik olarak tasarlanır.

Geleneksel olarak, PFC yapısı için yaygın olarak kullanılan topoloji yükseltici (boost) PFC yapısıdır. Yarı iletken teknolojinin ilerlemesi ve geniş bant aralıklı yarıiletkenlerin (örneğin GaN ve SiC) kullanımının yaygınlaşması, totem kutuplu PFC gibi köprüsüz topolojilerin uygulanmasını mümkün kılmıştır. Bu yeni topolojiler sayesinde geleneksel yapılara kıyasla daha yüksek verimlilik, daha düşük anahtarlama kayıpları ve daha kompakt tasarımlar sağlayabilir [5].

Yeni topolojilerin kullanımını kolaylaştırmak amacıyla geliştirilen ileri düzey totem kutuplu dönüştürücüler, özellikle totem kutuplu köprüsüz

PFC, karmaşık tasarımların kontrolünü basitleştirerek mühendislere büyük avantajlar sunmaktadır. Bu sayede, enerji sistemlerindeki güç faktörü düzenlemeleri daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

PFC dönüştürücüler, içerdikleri aktif elemanlar aracılığıyla şebeke frekansından çok daha yüksek frekansta anahtarlanabilirler. Bu özellikleri sayesinde, devrede hızlı bir enerji şarj ve deşarj döngüsü oluşturarak, ani akım çekmelerini şebekeden önlerler [6].

Eşitlik 1’de verildiği gibi güç faktörü gerilim ve akım harmonik değerine bağlıdır. Harmonik içeriğin küçülmesi PF değerinin 1 değerine yaklaşmasını sağlar.

$$PF = \frac{P_1}{S} = \frac{VI_1 \cos \theta_1}{V * I} = \frac{I_1}{I} \cos \theta_1 \quad (1)$$

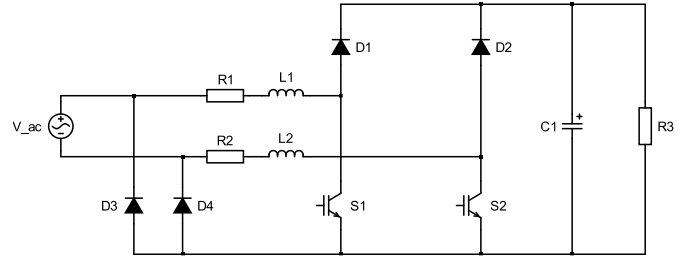
P_1 , I_1 ve θ_1 temel bileşenlere ait ifadelerdir. P_1 , aktif gücü, I_1 , akımı ve θ_1 , güç acısını temsil eder. Bu çalışmada, köprüsüz yükseltici PFC dönüştürücü ve totem-kutuplu köprüsüz yükseltici PFC dönüştürücü, simülasyon ortamında giriş akımı harmonik içerikleri, güç faktörü değerleri ve verimleri ölçülerek, birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

II. KÖPRÜSÜZ YÜKSELTİCİ PFC DÖNÜŞTÜRÜCÜ

A. Devre yapısı

AC/DC PFC (Güç Faktörü Düzeltmeli) dönüştürücülerinin temel amacı, elektrik şebekesinden aldıkları alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) çevirirken, güç faktörünü düzelterek enerji verimliliğini artırmaktır. Güç faktörü, bir elektrik devresinin etkin gücünün, toplam güce olan oranını ifade eder. Düşük güç faktörü, şebeke üzerindeki etkileşimleri artırabilir ve enerji sistemlerinin verimli çalışmasını engelleyebilir.

Köprüsüz PFC devresi, bir doğrultucu ve yükseltici dönüştürücünün birleşiminden oluşur. Bu yapı geleneksel iki aşamalı PFC devresinin yerine geçerek daha yüksek dönüştürücü verimliliği sağlayabilir. Şekil 1’de iki DC/DC yükseltici devreli bir köprüsüz PFC yükseltici doğrultucu topolojisini göstermektedir [7].



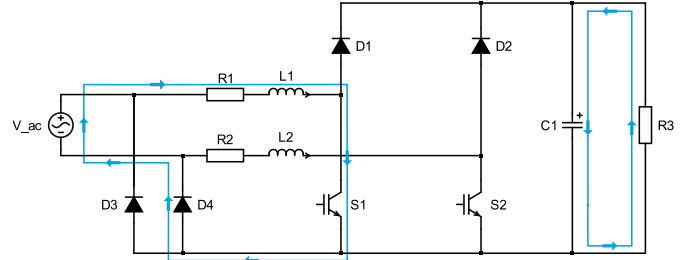
Şekil 1. Köprüsüz Yükseltici PFC devre şeması.

B. Çalışması

Devre, giriş AC hat geriliminin iki yarı döngü boyunca anahtarlamasıyla çalışır. İlk yarı döngüde, sadece bir anahtar (S_1 veya S_2) etkin bir şekilde modülasyon yapar, diğer anahtar ise yarı döngü boyunca sürekli olarak açık kalır. İkinci yarı döngüde, bunlar tersine çalışır.

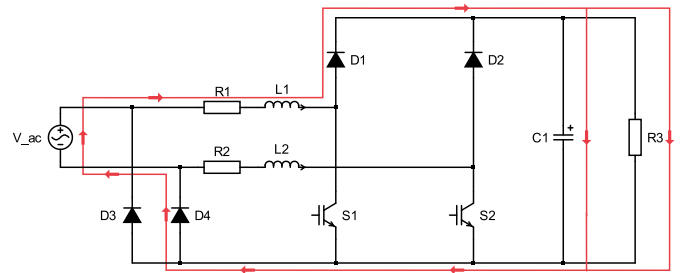
AC hat geriliminin pozitif yarı döngüsünde, S_1 anahtarı etkin bir şekilde modülasyon edilir ve S_2 anahtarı sürekli olarak iletim halindedir. Köprüsüz PFC devresinin pozitif yarı döngüdeki çalışma prensibi, Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilmiştir [7].

Durum 1: $V_{ac} > 0$, S_1 ve S_2 anahtarları iletimdedir. Şebeke akımı AC kaynağından S_1 , S_2 anahtarları ve D_4 diyotu üzerinden akar. Aynı zamanda, çıkış kondansatörü deşarj olur ve yükü besler.



Şekil 2. Durum 1, $V_{ac} > 0$; $S_1 =$ iletimde; $S_2 =$ iletimde.

Durum 2: $V_{ac} > 0$, S_1 anahtarı kesimde ve S_2 anahtarı iletimdedir. Şebeke akımı D_1 , çıkış kondansatörü, S_2 anahtarı ve D_4 kondansatörü üzerinden akar.

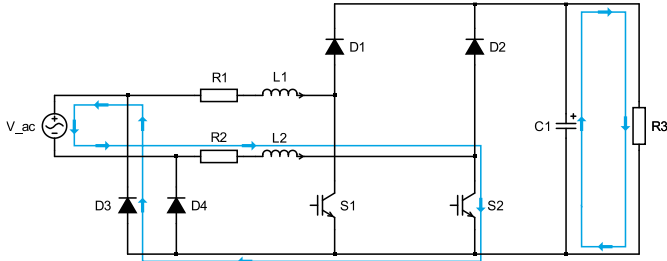


Şekil 3. Durum 2, $V_{ac} > 0$; $S_1 =$ kesimde; $S_2 =$ iletimde.

Giriş AC hattının negatif yarı döngü boyunca, S_2 anahtarı aktif bir şekilde modüle edilir ve S_1 anahtarı

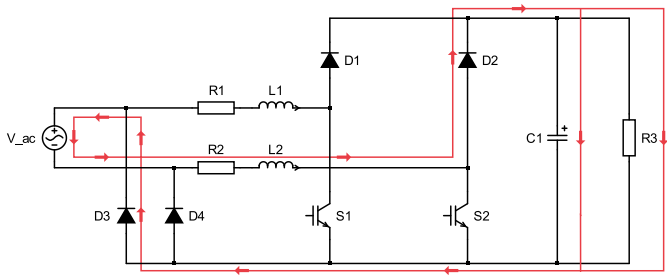
sürekli iletimde halindedir. Köprüsüz PFC devresinin negatif yarı döngüsü boyunca devre çalışması Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir [7].

Durum 3: $V_{ac} < 0$, S_1 ve S_2 anahtarları iletimde. Şebeke akımı D_3 , çıkış kondansatörü, S_2 ve S_1 anahtarları üzerinden akar. Aynı zamanda, çıkış kondansatörü deşarj olur ve yükü besler.



Şekil 4. Durum 3, $V_{ac} < 0$; S_1 = iletimde; S_2 = iletimde.

Durum 4: $V_{ac} < 0$, S_1 anahtarı iletimdedir ve S_2 anahtarı kesimdedir. Şebeke akımı D_2 , çıkış kondansatörü, yük, S_1 ve D_3 üzerinden akar.

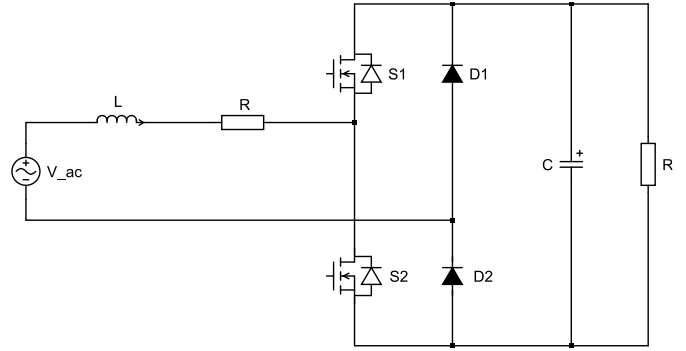


Şekil 5. Durum 4, $V_{ac} < 0$; S_1 = iletimde; S_2 = kesimde.

III. TOTEM-KUTUPLU KÖPRÜSÜZ YÜKSELTİCİ PFC DÖNÜŞTÜRÜCÜ

A. Devre yapısı

Totem-kutuplu köprüsüz bir PFC yükseltici doğrultucunun topolojisi Şekil 6'da verilmiştir [8]. Adını, S_1 ve S_2 anahtarlarının dikey konumlandırılmasından alır. Hattaki doğrultma diyotları, D_1 ve D_2 , yavaş toparlanan diyotlardır, ancak verimliliği artırmak için MOSFET anahtarla değiştirilebilirler. MOSFET versiyonunun çalışması diyotlu devre çalışmasıyla aynıdır, tek farkı MOSFET, yarı döngü doğrultması için aktif bir şekilde anahtarlamasıdır.

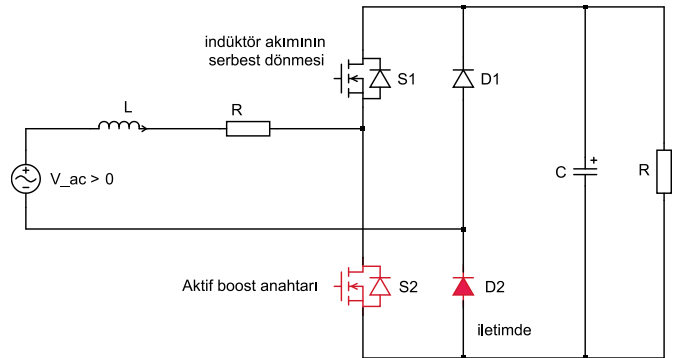


Şekil 6. Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici PFC devre şeması.

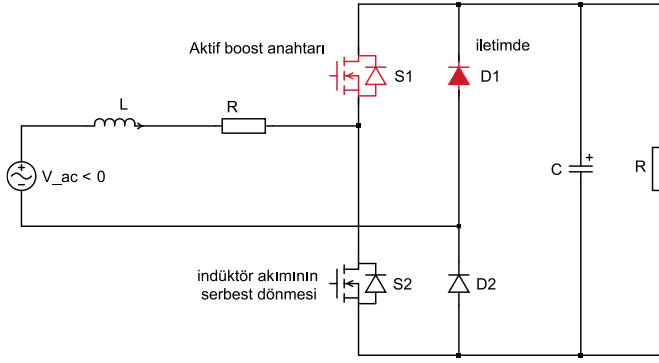
B. Çalışması

Devre çalışma modu, her AC sıfır geçişinde değişir. Şekil 7, totem-pole köprüsüz PFC'nin AC hattının pozitif yarı döngüsü sırasındaki çalışma durumunu göstermektedir [8]. Pozitif yarı döngü sırasında, D_2 iletim durumunda ve AC kaynağını çıkış toprağına bağlanır. Yükseltici görev oranı tarafından belirlenen PWM sinyali, S_2 anahtarını sürer; bu nedenle S_2 , aktif yükseltici anahtarıdır. S_1 anahtarı iletim kayıplarını azaltmak ve aynı zamanda bobin akımını serbest bırakmak ve bobin enerjisini çıkışı beslemek için S_2 anahtarına tamamlayıcı olarak açılır.

AC hattının negatif yarı döngüsü sırasında devre çalışma durumu, pozitif yarı döngüyle benzerdir, ancak bu durumda D_1 iletim durumunda ve S_1 aktif yükseltici anahtarıdır. Bu durum, Şekil 8'de gösterilmiştir [8].



Şekil 7. Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici yapısının pozitif yarı döngüde çalışması.

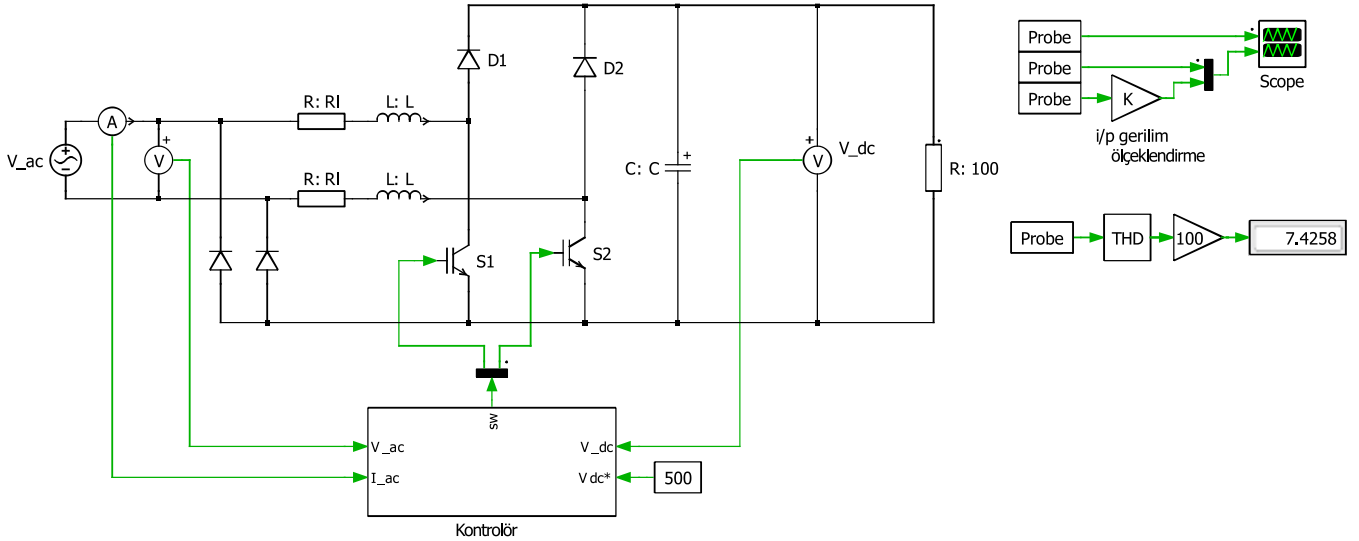


Şekil 8. Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici yapısının negatif yarım döngüde çalışması.

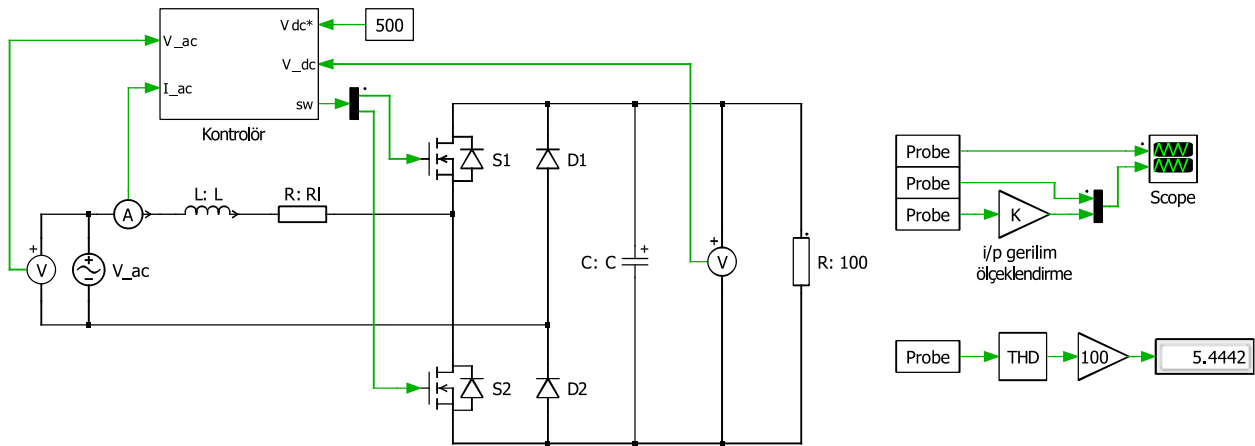
verilmiştir. Sonuçlarını doğru bir şekilde yorumlayabilmek amacıyla, her iki yapı için aynı şartlar altında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. İki dönüştürücüde 500V ve 1kW çıkış gücündedir. Her iki yapı için kontrol devre şeması Şekil 11 de verilmiştir [7,8]. Kontrol düzeni dış kontrolör gerilim döngüsü ve iç kontrolör akım döngüsü olarak iki döngüden oluşur. Ölçülen DC çıkış gerilimini referans gerilim ile karşılaştırarak elde edilen hata sinyali, dış döngüdeki PI kontrolcüsüne gerilim telafisi için iletilir. Gerilim döngüsü çıkışı, akım referansını oluşturmak için AC giriş gerilim sinyali ile çarpılır. İç döngüdeki PR kontrolcüsü [9], giriş akımını akım referansını takip etmek üzere kontrol eder. Elde edilen değer, PWM üretimi için bir modülatöre iletilir.

IV. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

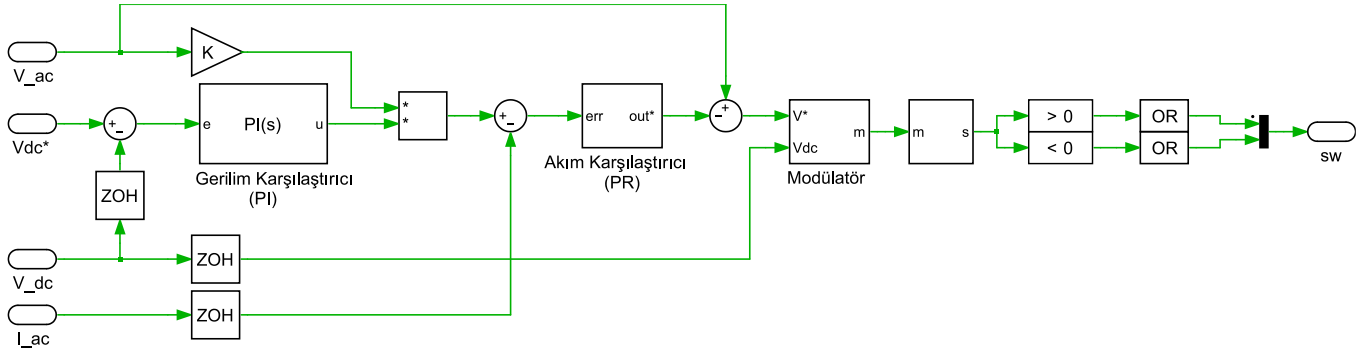
PLECS programının ile yapılmış dönüştürücülerin simülasyon modelleri Şekil 9'te ve Şekil 10'da



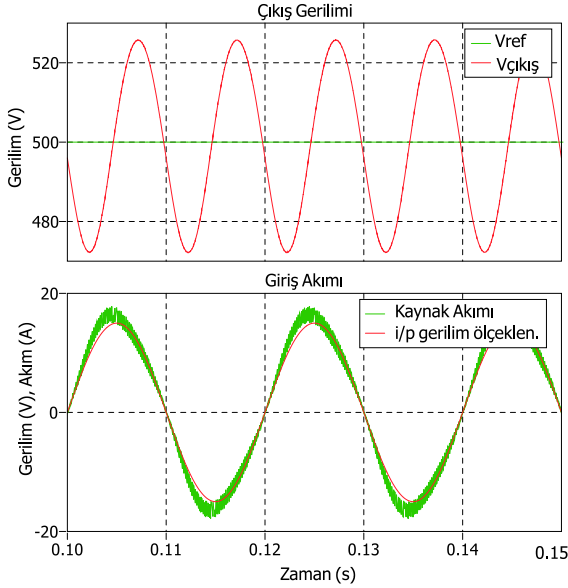
Şekil 9. Köprüsüz Yükseltici PFC dönüştürücü Plexim modeli.



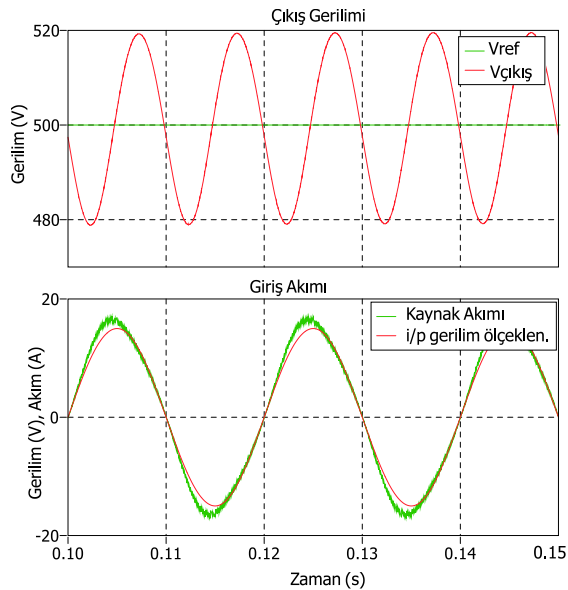
Şekil 10. Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici PFC dönüştürücü Plexim modeli.



Şekil 11. Kontrolör şematik yapısı.



Şekil 12. Köprüsüz Yükseltici PFC dönüştürücü dalga formları



Şekil 13. Totem-Kutuplu Köprüsüz Yükseltici PFC dönüştürücü dalga formları

Çıkış gerilimi ve giriş akım dalga formları, köprüsüz yükseltici dönüştürücü için Şekil 12'de ve

totem-kutuplu köprüsüz yükseltici dönüştürücü için Şekil 13'te gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, köprüsüz yükseltici yapısı için gerilim dalgalanması %9,1, THD değeri %7,4258 ve giriş akımına ilişkin bozulma güç faktörü 0,9981 olarak ölçülmüştür. Diğer taraftan, totem-kutuplu köprüsüz yükseltici yapısı için gerilim dalgalanması %8,1, THD değeri %5,4442 ve güç faktörü 0,9985 olarak belirlenmiştir.

Verim karşılaştırmalı verileri Tablo 1'de sunulmuştur. Köprüsüz yükseltici yapısının verimi %96,89 iken, totem-kutuplu yükseltici yapısının verimi %98,25 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, totem-kutuplu köprüsüz yükseltici dönüştürücünün daha yüksek verimlilik sağladığını göstermektedir.

Tablo 1. Güç ve verim karşılaştırma

	Köprüsüz PFC	Totem-Kutuplu Köprüsüz PFC
Pgiriş	1.032 kW	1017 kW
Pkayıp	32 W	17 W
Pçıkış	1 kW	1 kW
Verim	%96,89	%98,25

V. SONUÇLAR

AC-DC dönüştürücülerin şebekedeki olumsuz etkilerini azaltmak için Güç Faktörü Düzeltmeli (PFC) dönüştürücü yapıları kullanılmaktadır. PFC devreleri çeşitli tiplerde mevcut olup, temel amaçları şebekeden çekilen akımın harmonik içeriğini azaltarak güç faktörü değerini 1'e yaklaştırmaktır. Köprüsüz yükseltici PFC dönüştürücüler, özellikle yüksek güç uygulamalarında PF düzeltme için yüksek verimlilikleri nedeniyle tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, köprüsüz yükseltici yapılarından biri olan totem-kutuplu köprüsüz yükseltici PFC

yapısının simülasyon sonuçları, köprüsüz yükseltici PFC dönüştürücü ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, gerilim dalgalanması, giriş akımındaki Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD), güç faktörü ve verim gibi çeşitli açılardan yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, totem-kutuplu köprüsüz yükseltici dönüştürücünün, köprüsüz yükseltici dönüştürücü yapısına kıyasla daha üstün performans sergilediğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Şahin, E., Büyükkatırcı, O. ve Akın, B., “AC-DC Dönüştürücü Tabanlı Güç Faktörü Düzeltme Devresi Tasarımı ve Uygulaması”, ELECO Electrical – Electronics –Computer and Biomedical Engineering Symposium, 2014, 243-249.
- [2] Carrano, C. S., & Rino, C. L. (2016). A theory of scintillation for two-component power law irregularity spectra: Overview and numerical results. *Radio Science*, 51(6), 789-813.
- [3] Elektrik şebekesine geri beslenen bozulmalar, verimsiz enerji kullanımına neden olabilir ve bu da enerji kaynaklarının etkin kullanımını engelleyebilir.
- [4] García, O., Cobos, J. A., Prieto, R., Alou, P., & Uceda, J. (2003). Single phase power factor correction: A survey. *IEEE Transactions on Power electronics*, 18(3), 749-755.
- [5] Kim, Y. S., Sung, W. Y., & Lee, B. K. (2013). Comparative performance analysis of high density and efficiency PFC topologies. *IEEE transactions on power electronics*, 29(6), 2666-2679.
- [6] Ertürk, A., & Akkaya, R. Köprüsüz Boost PFC Dönüştürücünün Simülasyon Ortamında Performans Değerlendirmesi Performance Evaluation of Bridgeless Boost PFC Converter in Simulation Environment.
- [7] https://www.plexim.com/sites/default/files/demo_model_s_categorized/plecs/bridgeless_boost_pfc_converter.pdf
- [8] https://www.plexim.com/sites/default/files/demo_model_s_categorized/plecs/totem_pole_bridgeless_boost_pfc_converter.pdf
- [9] Teodorescu, R., Blaabjerg, F., & Liserre, M. (2006). Proportional-resonant controllers. A new breed of controllers suitable for grid-connected voltage-source converters. *Journal of Electrical Engineering*, 6(2), 6-6.