

# Ortalama Kayan Kip Metodu ile Denetlenen İki Fazlı Sarmışık Yapılı Yükseltici Tip Dönüştürücünün Performans Analizi

## Performance Analysis of Two Phase Interleaved Converter Controlled by Average Sliding Mode Control

Fatih Karık<sup>1</sup>

<sup>1</sup>T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Gen. Müd.  
fatihkarik@gmail.com

### Özet

*Bu çalışmada, sürekli iletim modunda (SİM) çalışan iki fazlı sarmışık yapılı güç faktörü düzelticinin kapsamlı analizi yapılmıştır. Birim güç faktörü (GF) ve daha düşük toplam harmonik bozulma (THB) sağlamak için dönüştürücünün gerilim kontrolü oransal-integral kontrolörle ve akım kontrolü ortalama kayan kip kontrolörle (OKKK) sağlanmıştır. Dönüştürücünün analizi 1kW gücünde ve 50kHz/hücre frekansında yapılan benzetimlerle sunulmuştur. Dönüştürücünün akım-gerilim kontrol metodunun performansı, giriş gerilimi ve yük değişimi gibi farklı durumlarda çalıştırılmasıyla Matlab/Simulink programı yardımıyla araştırılmıştır. Ek olarak, bobin değerinin değişimine göre kontrol yönteminin performansı gösterilmiştir.*

*Anahtar kelimeler:Sarmışık dönüştürücü, birim güç faktörü,ortalama kayan kip kontrol.*

### Abstract

*In this study, a comprehensive performance analysis of power factor correction control method is presented for two phase interleaved converter operating under continuous conduction mode (CCM). The control of the converter is achieved using proportional-integral controller for voltage control and average sliding mode controller (ASMC) for current control to obtain unity power factor (PF) and lower total harmonic distortion (THD) of input current. The analysis of the converter is presented by simulations carried out on 1 kW power and 50 kHz/cell frequency. The performance of the current-voltage control method for the converter is investigated by Matlab/Simulink program for different cases of operation such as changing the input voltage and the load. In addition, the performance of control method is showed according to the variation of inductor value.*

*Keywords:Interleaved converter, unity power factor, average sliding mode control*

### 1. Giriş

Günlük hayatta aa-da güç dönüşümü sağlamakta kullanılan güç kaynaklarının çoğu şebekeden sinüzoidal olmayan ve harmonik içeren akımlar

çekmektedir. Şebekeden çekilen bu şekildeki akımlar, düşük Güç Faktörü (GF) ve yüksek etkin hat akımlarının oluşmasına sebep olur. Şebekeden çekilen akımın kalitesinin düşmesi; şebeke geriliminde bozulmalara, kayıpların artmasına, elektromanyetik parazitlerin ortaya çıkmasına ve bütün bunların sonucunda şebekeden beslenen diğer cihazların bunlardan etkilenmesine sebep gücün verimsiz kullanımına neden olmaktadır. EN-61000-3-2 ve IEEE 519-1992 gibi uluslararası kuruluşlar tarafından getirilen standartları karşılamak için bir çok güç katsayısı düzeltme devresi tasarlanmıştır. Sözkonusu olumsuz etkileri gidermek amacıyla bu standartlar temel alınarak, pasif devreler kullanılarak harmonik bileşenleri azaltma, aktif güç katsayısı düzeltme ve aktif doğrultucular gibi teknikler kullanılmaktadır [1].

Klasik kontrolsüz köprü doğrultucular kullanılarak gerçekleştirilen aa-da dönüşümde GF değeri yaklaşık 0.65 civarında olmaktadır [2]. Bu doğrultucuların alternatif akım tarafına indüktans veya indüktans-kondansatör yapılarını içeren pasif devreler eklenerek harmonik bileşenler azaltılabilmekte ve beraberinde GF değeri de önemli ölçüde artırılabilir [3].

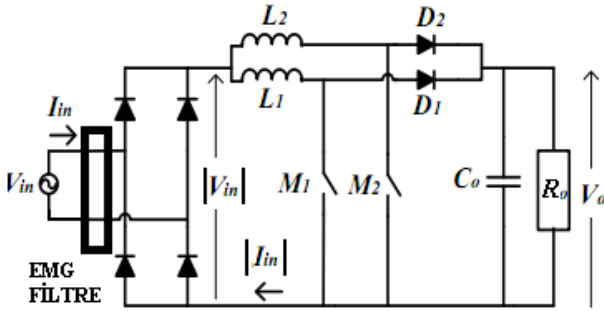
Son yıllarda, yarı iletken anahtarlama elemanlarının hız ve kapasitelerinin artışının yanı sıra denetleme elemanı olarak kullanılan mikrodenetleyici teknolojisinde de çok hızlı gelişmeler olmaktadır. Özellikle Sayısal İşaret İşlemcilerin (Sİİ) gerçek zamanlı kontrol tekniğinde kullanılması ve yüksek frekanslı anahtarlama elemanlarının üretilmesi ile yüksek performanslı yükseltici tip da-da dönüştürücüler için daha verimli algoritmalar geliştirilebilmektedir [4].

Bu çalışmada, faz farklı paralel yükselten tip dönüştürücünün güç anahtarı, yüksek GF değerleri elde etmek için denetlenmektedir. Bu amaçla, regüleli bir çıkış gerilimi elde etmek için bir gerilim denetleyici ve yüksek GF değeri için ise bir akım denetleyici kullanılmaktadır. Yükteki olası değişimler, hat gerilimindeki değişimler ve değişken çıkış gerilim isteği dayanıklı bir kontrol yöntemini zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla gerilim denetleyici olarak oransal-integral, akım denetleyici olarak OKKK yöntemi incelenip devrenin dayanıklılığı test edilmiştir.

## 2. İki fazlı sarmaşık yapılı yükseltici tip dönüştürücü

Bir çok uygulamada, düşük boyutlu Elektromanyetik Girişim (EMG) süzgeç gereksinimi için, endüktör akımının dalga şeklinin SIM olması ve bu akımın dalgacık oranının oldukça düşük olması istenir. Bu nedenle, orta ve yüksek güç uygulamalarında, dönüştürücü gücünü arttırmak ve giriş akım dalgacık oranını düşürmek için sarmaşık (faz farklı paralel) yükselten Güç Katsayısı Düzeltici (GKD) devreleri önerilmektedir [6-8]. Faz farklı paralelleme tekniği, birden çok güç katının faz farklı olarak anahtarlama yapmasıdır. Bu yöntemle giriş akım dalgacık oranı düşüldüğü gibi, çıkış gerilim dalgacık oranı da düşmektedir. Şekil 1'de aktarılan sarmaşık yükselten GKD devresinin uygulamadaki kullanım alanının genişliği ve diğer GKD devrelerine göre sahip olduğu avantajlardan dolayı bu çalışmanın konusu olmuştur.

Yükselten devrelerde faz farklı anahtarlama yönteminin kullanılması hem giriş akım dalgacık miktarını hem de çıkış gerilim dalgacık miktarını düşürmektedir. Bu yöntemle, dönüştürücü güç seviyesi arttırıldığı gibi daha düşük boyutlu EMG süzgece ihtiyaç duyulur [5].

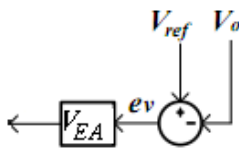


Şekil 1: Sarmaşık yükselten aktif GKD devresi

## 3. Uygulanan kontrol teknikleri

### 3.1. Oransal-integral kontrol metodu

Bu dönüştürücülerde gerilim döngüsü kontrolörü genelde oransal-integral kontrolördür ve bu kısmın tasarımı hepsinde aynıdır. Akım döngüsü yüksek hızlı (50kHz için), gerilim döngüsü ise yavaş (50Hz için) olduğundan tasarımları birbirinden bağımsızdır. Dolayısıyla bu dönüştürücüler akım döngüsünde kullanılan topolojilere göre isimler almaktadır. Gerilim döngüsü çıkış gerilimini regüle etmeyi sağlarken, akım döngüsü de giriş güç faktörü ve THB düzelmesini sağlar [2]. Şekil 2 kontrolcünün yapısını göstermektedir.



Şekil 2: Gerilim kontrolcünün yapısı

Burada gerilim hata yükseltici  $V_{EA}$ 'nın s alanında transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

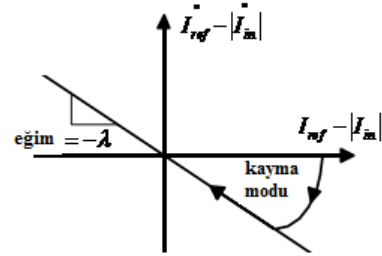
$$V_{EA} = (K_p + \frac{K_i}{s}) \quad (1)$$

Buradaki  $K_p$  ve  $K_i$  kontrolcü değerleri Ziegler-Nichols metoduna göre ayarlanabilir [12].

### 3.2. Ortalama kayan kip kontrol metodu

Doğrusal olmayan, parametreleri zamanla değişen ve karmaşık dinamiklere sahip sistemlerin kontrolü klasik denetleyicilerle zor olmaktadır. Bu tür sistemlerin denetiminde OKKK etkili bir kontrol yöntemidir. OKKK yönteminin kapalı çevrim kontrol sistemlerine uygulanmasında amaç, hatayı kayma yüzeyi veya diğer adıyla anahtarlama yüzeyine doğru itmek ve bu yüzeyde tutmaktır. Kayma yüzeyi durum değişkenlerinin doğrusal kombinasyonu olan bir fonksiyon olarak tanımlandığı için durum değişkenleri bu yüzey üzerine doğrusal bağımlıdır. Bu durumda, sistemin derecesi bağımsız giriş değişkeni kadar indirgenmiş olur ve sistem indirgenmiş bir kontrol kuralı ile denetlenir [9]. Bu yöntemin analizi [10-11] numaralı kaynaklarda detaylı olarak ele alınmıştır.

Kayan kipli denetimin en büyük sorunlarından bir tanesi anahtarlama frekansının değişken olmasıdır. Bu da frekansın çok yüksek değerlere çıkmasına neden olmaktadır. Bu soruna çarptırma problemi denmektedir. Anahtarlama frekansını sabitlemek için OKKK yöntemi kullanılabilir [11]. Şekil 3 tanımlanan kayma yüzeyini göstermektedir.



Şekil 3: Kayma yüzeyi

Kayan kipli denetim aşağıda verilen temel kurala dayanmaktadır.

$$S \cdot \dot{S} < 0 \quad (2)$$

Burada  $S$  ve  $\dot{S}$ 'in türevi Şekil 3'e göre Eş.3-4'teki gibi tanımlanabilir.

$$S = I_{in} - I_{ref} \quad (3)$$

$$\dot{S} = \dot{I}_{in} - \dot{I}_{ref} \quad (4)$$

Düzlem üzerinde seçilen anahtarlama doğrusu Eş. 5'te verilmiştir.

$$\dot{S} = -\lambda.S \quad (5)$$

Devrenin kontrolcü tasarımları bir fazlı yükseltici dönüştürücüye göre tasarlanmıştır. Çünkü tek fazlı ve çok fazlı sarmışık yapıları için temel kontrolcü tasarımı birbirinden farklı değildir. Sarmışık yükseltici devre için sadece  $d_2$  görev oranı süresi, 50kHz anahtarlama sinyali için  $180^\circ$  faz farklı uygulanmıştır. Bir fazlı yükseltici dönüştürücünün durum uzay ortalaması sonucu elde edilen bobin akımı denklemi -bu değer aynı zamanda doğrultulmuş giriş akımı- Eş.6'da verilmiştir. Eş. 7'deki bobin akımının türevi yerine Eş.6'daki bobin akımı türevi konulup  $L.I_{ref} \approx 0$  kabul edilerek  $d$  görev oranı yalnız bırakılırsa Eş.8'e ulaşılır.

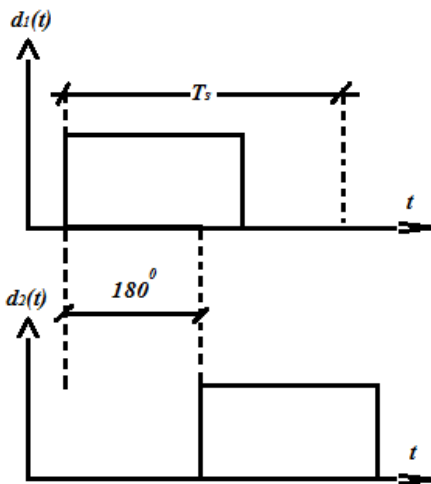
$$|I_{in}| = \left(\frac{d-1}{L}\right)V_o + \left(\frac{1}{L}\right)|V_{in}| \quad (6)$$

$$(I_{ref} - |I_{in}|) = -\lambda(I_{ref} - |I_{in}|) \quad (7)$$

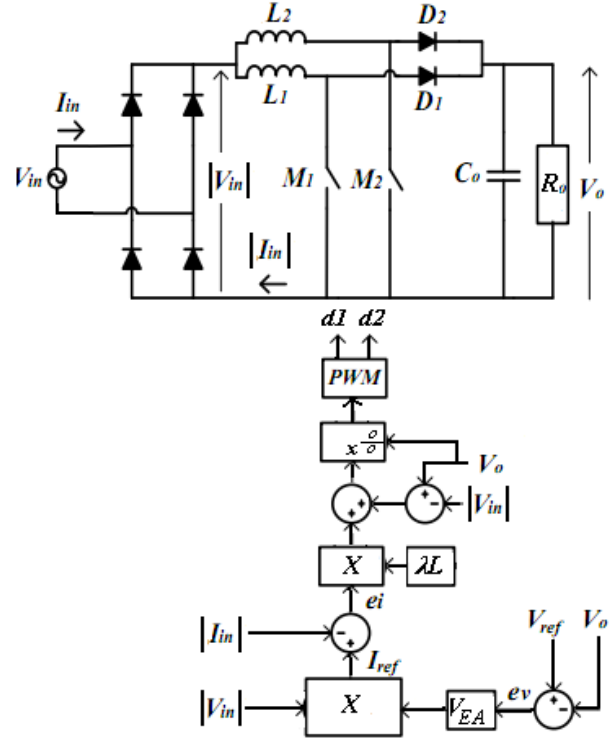
$$d = d_1 = \frac{V_o - |V_{in}| + \lambda L(I_{ref} - |I_{in}|)}{V_o} \quad (8)$$

$$d_2 = \frac{V_o - |V_{in}| + \lambda L(I_{ref} - |I_{in}|)}{V_o}. (180^\circ \text{ faz farklı})$$

verilen eşitlik incelendiğinde görev oranı değerinin oluşmasında  $V_{in}$  ve  $V_o$  gerilimi ileri besleme ile değişimini sağlamaktadır. Hata değeri bu değeri etkiler ve uygun  $d$  değeri üretilmesini sağlar. Aşağıdaki Şekil 4(a) görev oranı şekillerini, Şekil 4(b) ise gerilim ve akım döngüsüyle beraber tüm sistemi göstermektedir.



Şekil 4(a): Görev oranlarının zamana göre değişimi



Şekil 4(b): Tüm sistemin gösterimi

#### 4. Benzetim sonuçları

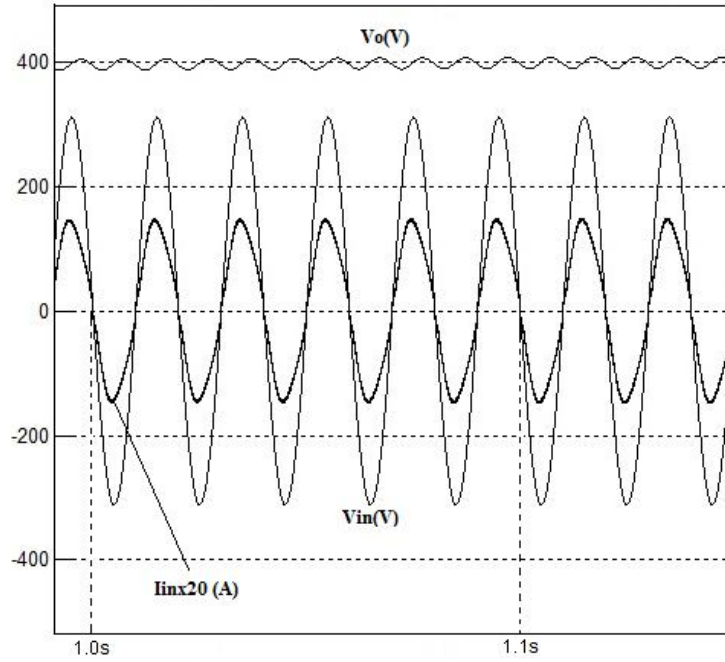
Aşağıdaki tabloda OKKK yöntemi anma yükü için kullanılan devre parametreleri gösterilmektedir.

Tablo 1: Anma yükü benzetim parametreleri

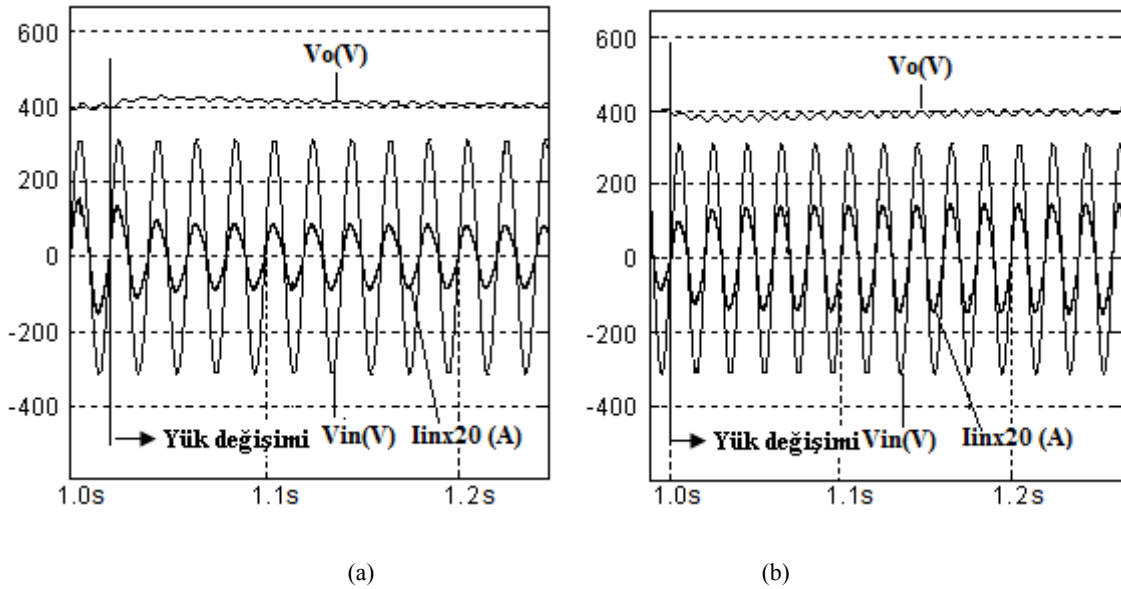
Parametre	Değer
Örnekleme periyodu, $T_s$	20µs
Anahtarlama frekansı, $f_s$	50 kHz
$C_o$	500 µF
$L_1=L_2$	1.5 mH
Yük, $P_o$	1kW
$V_{in}, f_{in}$	220Vrms, 50Hz
$V_o$	400Vrms
$K_p$	0.1
$K_i$	1
$\lambda.L$	0.0625

Şekil 5,6,7 benzetim devrelerini göstermektedir. Şekil 8 anma yükünde hat akımı, giriş-çıkış gerilimi değişimini göstermektedir. Şekil 9,10 sırasıyla yük ve giriş gerilimi değişimine göre devrenin tepkisini göstermektedir. Tablo 2 detaylı benzetim sonuçlarını göstermektedir.

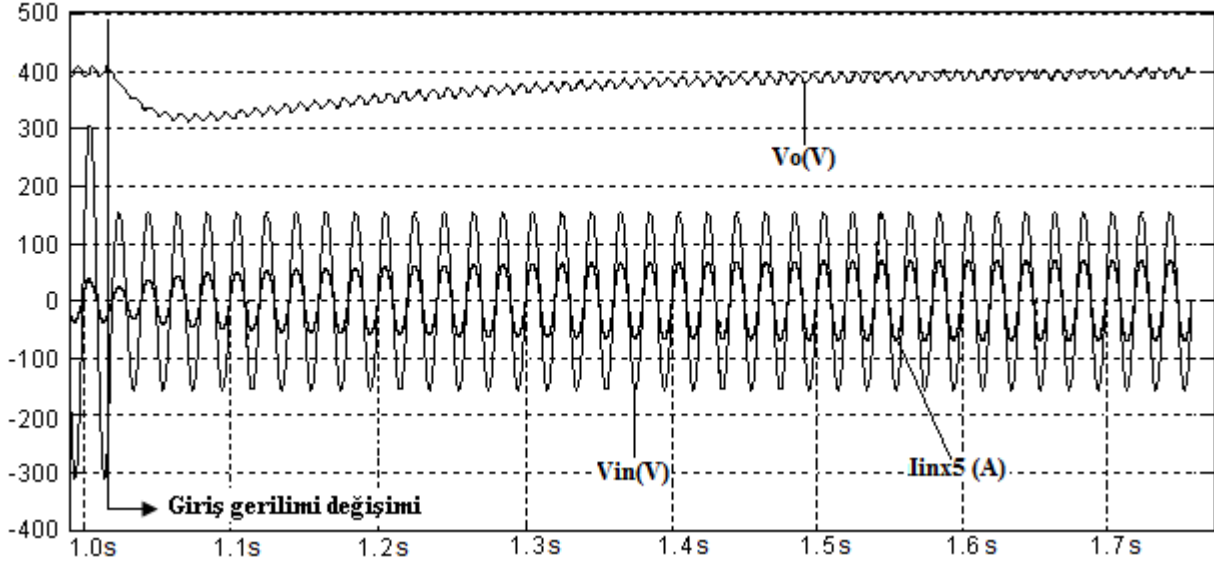




Şekil 8: Anma yükünde giriş gerilimi, hat akımı ve çıkış gerilimi değişimi.



Şekil 9: Yük değişimine göre giriş, çıkış gerilimi ve hat akımı davranışı: (a) 1 kW'tan 500W'a , (b) 500W'tan 1 kW'a



Şekil 10: Giriş gerilimi 220V'tan 110V'a indiğinde çıkış gerilimi ve giriş akımının değişimi

Tablo 2: Detaylı benzetim sonuçları

Benzetim No	1	2	3	4	5	6	7
<b>Parametre</b>							
$P_o$ (kW)	1	1	1	1	1	1	0.5
$L_1=L_2$ (mH)	1.5	1.5	1.5	1	1.5	0.8	1.5
$C_o$ ( $\mu$ F)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$V_{in}$ (Vrms)	250	300	220	220	110	220	220
$GF$	0.99	0.90	0.99	0.99	1	0.99	0.99
$THB$ (%)	9.5	300	7.7	9.3	2.6	10	11

## 5. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, şebekeye bağlanan elektrikli sistemlerin giriş enerjisi kalitelerini ifade eden güç katsayısı ve güç katsayısının aktif yöntemle düzeltilmesi üzerinde durulmuş, sarmaşık yapılu yükseltici tip bir aktif güç katsayısı düzeltme sistemi incelenmiştir. OKKK yöntemi yükselten tip güç katsayısı düzeltici devreye uygulanıp Matlab/Simulink programında benzetimleri gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar sunulmuş olup detaylı analizler yapılmıştır. Kullanılan tüm kontrol tekniklerinde sabit anahtarlama frekansı kullanılarak pratik çalışmalar için bir temel teşkil edilmiştir.

Benzetimler bir parametre değiştirilerek diğer parametreler aynı kalmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Değiştirilen temel parametreler giriş gerilimi, bobin değeri, çıkış yüküdür. Dönüştürücü 220Vrms/400Vrms,  $f_s=50$ kHz, 1kW şartlarında tasarlanıp performansı test edilmiştir. Dönüştürücünün bu anma değerlerinde 0.99 yüksek GF, %7.7'lik düşük bir THB ve sinüs şeklinde bir giriş hat akımı elde edilmiştir.

Tasarlanan 1kW'lık benzetim devresinde OKKK tekniğine göre endüktör değeri yarıya düşürüldüğünde devrenin giriş akımının şekli ve THB değerini çok fazla bozmadığı gözlemlenmiştir ve yine incelenen kontrol yönteminde yük ve giriş gerilimi değişimlerinde giriş hat akımının sinüs şeklinden uzaklaşmadığı görülmüştür. Bu sonuçlar devrenin güçlü bir denetim yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

Bundan sonra bu çalışmanın devamı olarak öngörülen kontrol tekniği pratik çalışmalara uyarlanarak sonuçları analiz edilebilir. Benzetimler sayısal olarak gerçekleştirildiğinden dolayı gelişmiş mikroişlemci devreleriyle uygulamalar gerçekleştirilebilir. Son yıllarda üretilen sayısal işaret işlemciler bu işlemleri gerçekleştirmeye çok uygundur. Ayrıca tasarlanan sabit anahtarlama frekansı blokları çatırdama sorununu engelleyeceğinden uygulamada büyük bir kolaylık sağlayacaktır.

## 6. Kaynaklar

- [1] Chen, Z., Raymond, B.R. ve Fred, C.L., "Design Analysis of a Hysteresis Boost Power Factor Correction Circuit", *Power Electronics Specialists Conference PESC '90 Record-21st Annual IEEE*, 1990, 800-807.
- [2] Rossetto, L., Spiazzi, G. ve Tenti, P., "Control Techniques For Power Factor Correction Converters", *Proc. Int. Conf. Power Electronics and Motion Control*, 1995, 1310-1318.
- [3] Mohan, N., Undeland, T.M. ve Robbins, W.P., *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, John Wiley&Sons, Inc. ,1995
- [4] Tuncer, S. ve Tatar, Y., "Yükseltici Tip Bir Dönüştürücü Devrede Güç Katsayısının Bulanık Denetimle Düzeltilmesi", *TOK'2000 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 21-22 Eylül 2000, 77-81.
- [5] Genç, N., *Yüksek Giriş Güç Katsayılı ve Sıfır-Gerilim-Geçişli Yeni Bir Paralel Yükselten AA/DA Devre Tasarımı ve Uygulaması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [6] Elmore, M. S., "Input current ripple cancellation in synchronized, parallel connected critically continuous boost converters", *IEEE APEC'96 Cnf., San Jose, CA*, 1996, 152-158.
- [7] Lee, P. W., Lee, Y. S., Cheng, D. K. W., ve Liu, X. C., "Steady-state analysis of an interleaved boost converter with coupled inductors", *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, 47(4), 787-795,2000.
- [8] Braga, H. A. C. ve Barbi, I., "A 3-kW unity-power-factor rectifier based on a two-cell boost converter using a new parallel-connection technique", *IEEE Trans. on Power Electronics*, 14(1), 209-217,1999.
- [9] Kayışlı, K., Tuncer, S. ve Poyraz, M., "Kayma Mod Denetleyici Kullanılarak Aktif Güç Faktörü Düzeltimi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 253-260, 2008.
- [10] Mattavelli, P., Rossetto, L. ve Spiazzi, G., "Small-Signal Analysis of DC-DC Converters with Sliding Mode Control", *IEEE Trans. Power Electronics*, 12 (1), 96-102, 1997.
- [11] Navarro-López, E.M., Cortés, D. ve Castro, C., "Design of practical sliding-mode controllers with constant switching frequency for power converters", *Electric Power Systems Research*, 79, 796-802, 2009.
- [12] Ziegler, J.G. ve Nichols, N.B., "Optimum settings for automatic controllers", *Transactions of the ASME*, 64, 759-768,1942.