

PEM Yakıt Hücresi Ömrünü Uzatmaya Yönelik Temel Seri Pozitif Süper Gerilim Yükseltmeli Luo Çevirici Tasarımı

Ahmet Gani*¹ 

*1 Kayseri Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 11.09.2023, Kabul / Accepted: 17.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Anahtar Kelime 1, Temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici
Anahtar Kelime 2, PEM yakıt hücresi
Anahtar Kelime 3, Oransal+integral anti-wind-up denetleyici

Öz: Sürdürülebilir enerji kaynaklarından birisi olan PEM yakıt hücreleri düşük hacim, yüksek güç yoğunluğu ve verimlilik gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Kararlı çalışma süresince yakıt hücresi çıkış akımı dalgalılık oranının fazla olması, yakıt hücresi çalışma ömrünü kısaltacağından, güç aktarımında kullanılacak çeviricinin bu durumu iyileştirecek devre yapısına sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada, çıkış gerilimi düşük değerlerde olan PEM yakıt hücresi için giriş akım dalgalılık oranı düşük, gerilim dönüştürme oranı yüksek temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici önerilmiştir. Aynı zamanda, önerilen çeviricinin çıkış geriliminin belirli bir gerilim değerinde sabit tutulması için oransal+integral anti-wind-up denetleyici tasarlanmıştır. Yakıt hücresi ve önerilen çeviriciden oluşan benzetim modeli Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuş olup çevirici çıkış geriliminin denetimi oransal+integral anti-wind-up denetleyici ile yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında yakıt hücresi için nominal çalışma şartlarında oransal+integral anti-wind-up denetleyicinin dinamik performansı; farklı basamak referans giriş gerilimi ve ani yük değişimlerinde ise oransal+integral anti-wind-up denetleyici ve oransal+integral denetleyicinin dinamik performansları birlikte incelenmiştir. Benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlara göre önerilen çevirici ve denetleyici yapısı ile yakıt hücresi akım dalgalılığı azaltılarak devre güç yoğunluğu artırılmaktadır.

Design of Basic Series Positive Super Voltage Lift Luo Converter to Prolong PEM Fuel Cell Life

Keywords

Keywords 1, Basic series positive super voltage lift Luo converter
Keywords 2, PEM fuel cell
Keywords 3, Proportional + integral anti-wind-up controller

Abstract: PEM fuel cells, one of the sustainable energy sources, offer significant advantages such as low volume, high power density and efficiency. Since a high fuel cell output current fluctuation ratio during stable operation is likely to shorten the fuel cell operating life, the converter to be used for power transfer must possess a circuit structure that will improve it. In this study, basic series positive super voltage lift Luo converter with a low input fluctuation ratio and a high voltage conversion ratio is proposed for the PEM fuel cell with a low output voltage. At the same time, a proportional+integral anti-wind-up controller was designed to keep the output voltage of the proposed converter constant at a certain voltage value. The simulation model consisting of a fuel cell and proposed converter was created in Matlab/Simulink environment, and the converter output voltage was controlled with a proportional + integral anti-wind-up controller. In simulation studies, the dynamic performance of the proportional+integral anti-wind-up controller for the fuel cell under nominal operating conditions; The dynamic performances of the proportional+integral anti-wind-up controller and the proportional+integral controller were examined together under different step reference input voltage and sudden load changes. According to the results obtained from the simulation study, the circuit power density is increased by reducing the fuel cell current fluctuation with the proposed converter and controller structure.

*İlgili Yazar, email: ahmetgani@kayseri.edu.tr

1. Giriş

PEM yakıt hücreleri yüksek verimlilik, yüksek güç yoğunluğu, düşük hacim ve düşük çalışma sıcaklığına sahiptirler [1-3]. Yakıt hücrelerinde verimli güç aktarımı için gerilimi denetlenebilir bir güç elektroniği çevircisine ihtiyaç vardır. Ayrıca, yakıt hücresi ömrünün uzaması için kullanılacak güç elektroniği çevircisi, yakıt hücresinden çekilen akımın dalgalılık oranını azaltmalı ve mümkün olduğunca az salınım yapmalıdır [4]. Literatürde gerilim kazancı sağlamak amacıyla kullanılan Zeta, Cuk, Sepic ve Luo gibi birçok güç elektroniği çevirici devre yapısı mevcuttur [5]. Yukarıda bahsedilen güç elektroniği çevirici devre yapıları arasında Luo çevirici süper gerilim yükseltme yöntemine göre tasarlanmaktadır [6]. Süper gerilim yükseltme yöntemi gerilim kazancını geometrik olarak artırmaktadır. Diğer güç elektroniği çevirici devre yapıları ile karşılaştırıldığında, süper gerilim yükseltmeli Luo güç elektroniği çevircisi daha yüksek verim, daha yüksek gerilim kazancı ve daha düşük anahtarlama kaybına sahiptir [7]. Aynı koşullar altında süper gerilim yükseltmeli Luo çevircinin devre yapısı gereği ortalama indüktör akımı diğer güç elektroniği çevircilerine göre daha azdır. Bu sayede süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici girişindeki güç kaynağından daha az dalgalılıkta ve salınımda akım çekmektedir [8]. Ani gerilim ve yük değişimleri süper gerilim yükseltmeli Luo güç elektroniği çevircinin kararsız çalışmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzluğun üstesinden gelebilmek için çevirici mutlaka kapalı bir çevrime sahip denetim sistemi tarafından denetlenmelidir. Kapalı çevrim denetimde sistem çıkışından alınan geri besleme ile doğruluğu daha yüksek bir denetim gerçekleştirilmektedir [9]. Klasik denetim türü olan oransal+integral (PI) anti-wind-up (AW) tipi denetim yapısı ayarlanacak parametre sayısının az olması ve kalıcı durum hatasını azaltması sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir [10]. PEM yakıt hücresinde kullanılan güç elektroniği çevirici devre yapılarından, giriş akımının (yakıt hücresinden çekilen akım) dalgalanmasını azaltmaya ve dolayısıyla hücre ömrünü uzatmaya yönelik çalışmalar mevcuttur. A. Kollı ve ark. [11], PEM yakıt hücresi beslemeli izoleli ve izolesiz güç çevircilerinin akım dalgalılık durumlarını detaylıca analiz etmişlerdir. P. Thounthong ve ark. [12], PEM yakıt hücresi beslemeli dört fazlı paralel yükselten güç çevirici ile deneysel ortamda çevircinin akım dalgalılığının azaldığını ve hücre ömrünün uzadığını gözlemlemişlerdir. G. Marsala ve ark. [13], PEM yakıt hücresi ömrünü uzatmaya yönelik yeni bir yükselten güç çevirici devre topolojisi önermişlerdir. Önerdikleri güç çevirici devre topolojisinin gerçek zamanlı tasarımını gerçekleştirmişlerdir. S.-J. Cheng ve ark. [14], PEM yakıt hücresi giriş akım dalgalanmasını azaltmak için paralel bağlı akım beslemeli tam köprü güç çevircisi önermişlerdir. L. Palma ve ark. [15], yakıt hücresi beslemeli akım ve gerilim modlu çalışan tam köprü güç çevircilerinin giriş düşük akım frekans dalgalılığını iyileştirme performanslarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. E. Yıldız ve ark. [16], paralel yapıli çift anahtarlı düşürücü yükseltici doğru akım güç elektroniği çevircisi kullanarak PEM yakıt hücresi ömrünü uzatmaya odaklanmışlardır. Bu çalışmada ise daha önceki çalışmalardan farklı olarak PEM yakıt hücresi ömrünü uzatmak için temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici önerilmiştir. Temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevircinin çıkış (yük) gerilimi düzenlemesi için ise PI+AW denetleyici önerilmiştir. Çalışmanın literatüre ana katkıları şöyle özetlenebilir:

- PEM yakıt hücresi ömrünü uzatmak için temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici ilk defa önerilmiştir.

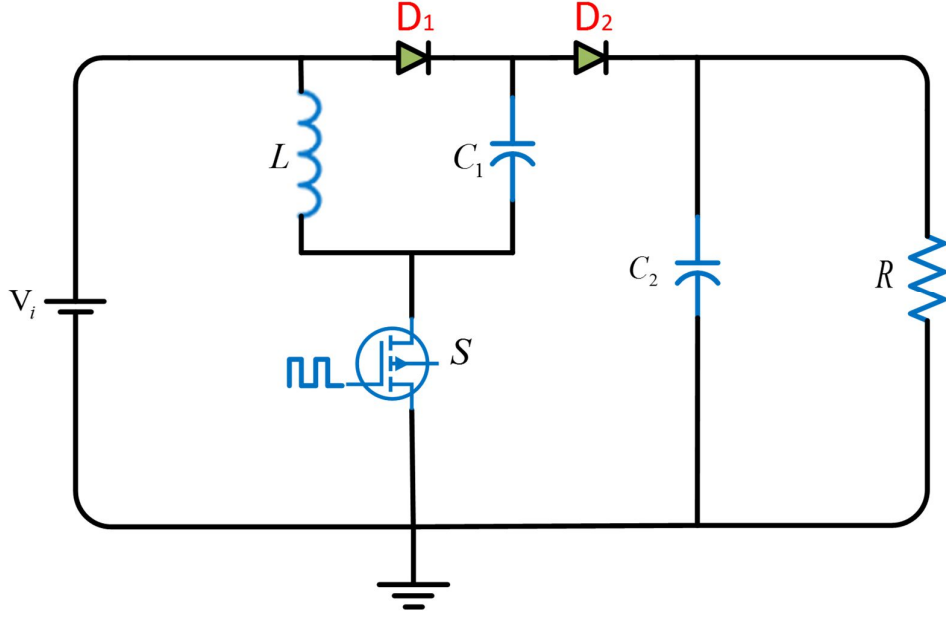
- Önerilen PI+AW denetleyici ile yakıt hücresinden çekilen gücün yük direncine daha verimli (akım dalgalılığı az, güç yoğunluğu yüksek) bir şekilde aktarılmıştır.

Çalışmanın diğer bölümleri şöyle özetlenebilir: İkinci bölümde materyal ve metot sunulmuş olup bulgular ve tartışma üçüncü bölümde verilmiştir. Dördüncü bölümde ise sonuçlar bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Temel Seri Pozitif Süper Gerilim Yükseltmeli Luo Çevirici

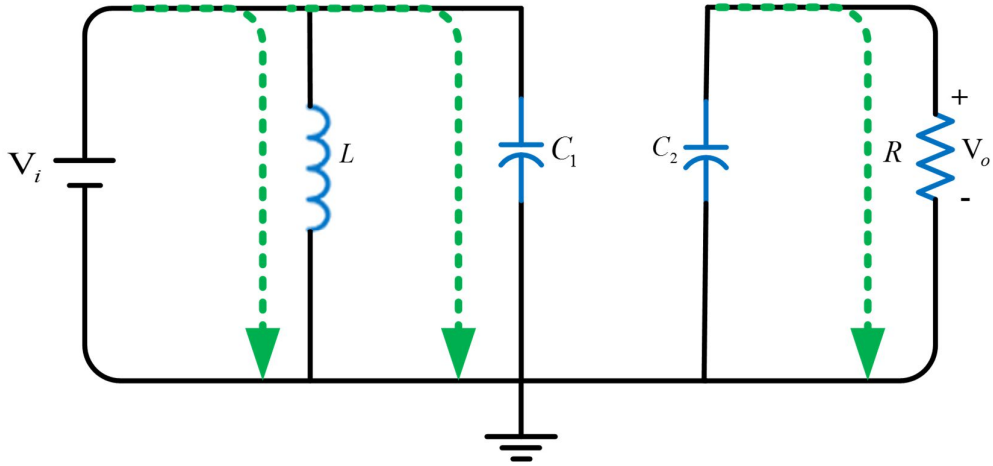
Süper gerilim yükseltmeli Luo çevircilerde iki alt seri bulunmaktadır. Birincisi temel seri, diğeri de ek seridir. Bu çalışmada temel seriden oluşan pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici kullanılmıştır. Temel seri çevirici devre bir yarı iletken anahtarlama elemanı S ; 1 adet indüktör L ; 2 adet kapasitör C_1, C_2 ; ve 2 adet diyot içerir. Temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici devre şekil 1'de verilmiştir.



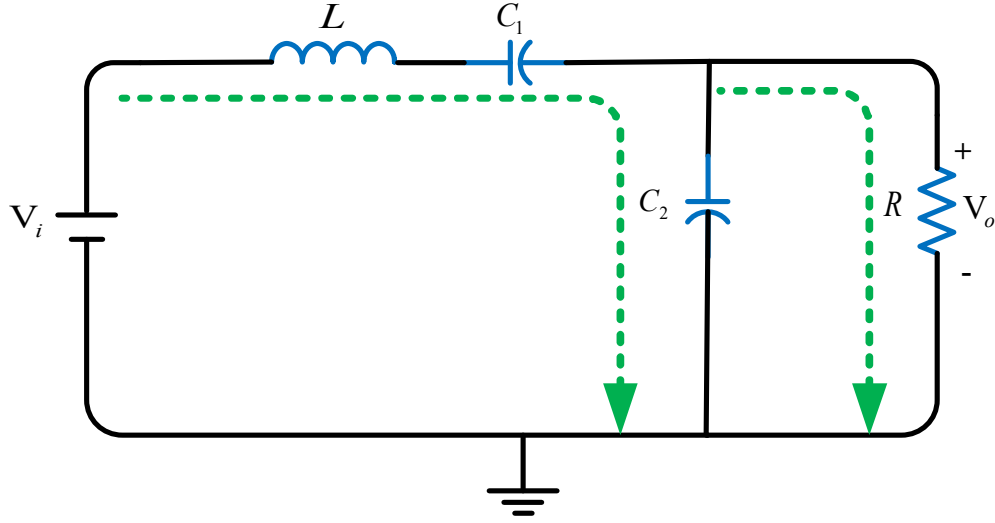
Şekil 1. Temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici

S yarı iletken elemanı ve D_1 diyodunun iletimde olma durumunda şekil 2'deki devre oluşur. Bu durumda L indüktörü üzerinden akım akar ve C_1 kapasitörü V_i gerilimi ile yüklenir. S yarı iletken elemanı ve D_1 diyodunun kesimde olma durumunda ise şekil 3'teki devre oluşur. Bu durumda indüktör üzerindeki gerilim değeri $(2V_i - V_0)$ değerine azalır [17]. Temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin gerilim kazancı (G) aşağıdaki gibi olur.

$$G = \frac{V_0}{V_i} = \frac{2-D}{1-D} \quad (1)$$



Şekil 2. S yarı iletken elemanı ve D_1 diyodunun iletimde olma durumu


 Şekil 3. S yarı iletken elemanı ve D_1 diyodunun kesimde olma durumu

Temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici analizinde, L indüktöründeki akım değişim oranı (δ) ve C_1 , C_2 kapasitörleri üzerindeki gerilim değişim oranlarına (ε) bağlı olarak devre eleman sınır değerleri sırasıyla denklem (2-3) kullanılarak hesaplanır.

$$\delta = \frac{D(1-D)^2 R}{2(2-D)fL} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{D}{2RfC_{1,2}} \quad (3)$$

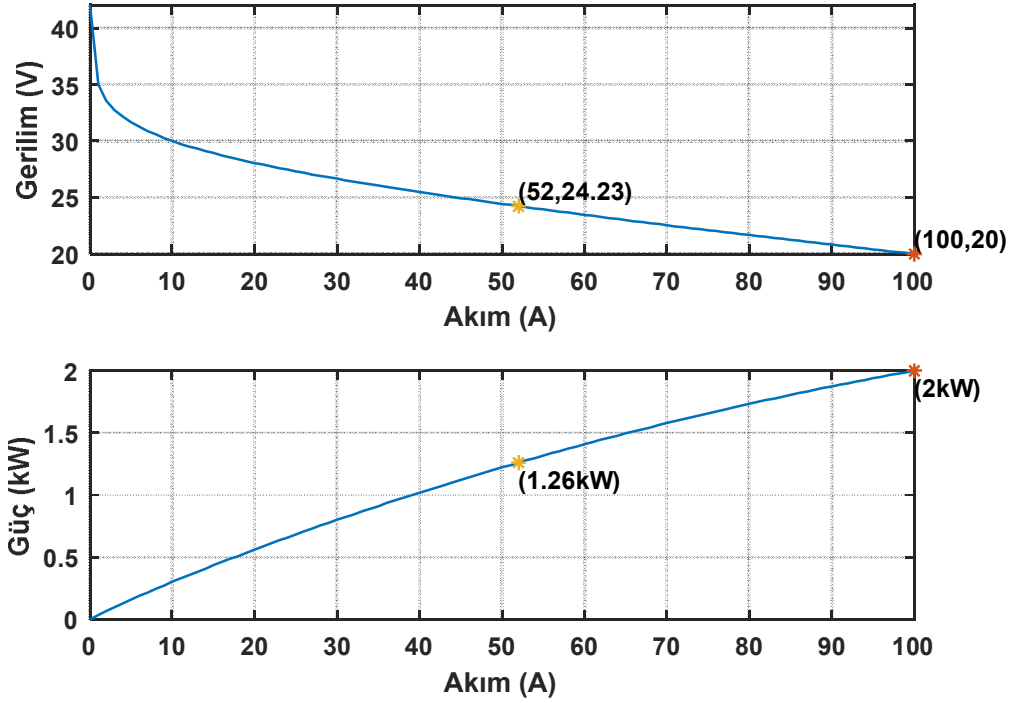
L indüktöründeki akımın değişim oranı (δ) ve C_1 , C_2 kapasitörlerindeki gerilimlerin değişim oranları (ε) sırasıyla 0.02 ve 0.02 olarak seçilmiştir. Çeviricinin sürekli iletim çalışma modu (SİÇM) için gerçek çevirici eleman değerleri hesaplanan sınır eleman değerlerinden daha yüksek değerde seçilmelidir [18]. Benzetim çalışmaları için belirlenen, hesaplanan ve seçilen temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli çevirici eleman değerleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Benzetim çalışması için belirlenen, hesaplanan ve seçilen değerler

Belirlenen değerler		
Giriş Gerilimi	V_i	24.23V
Çıkış (Yük) Gerilimi	V_o	96.92V
Yük Direnci	R	7Ω
Anahtarlama Frekansı	f	50Khz
L indüktöründen akan akımın dalgalılık oranı	δ	0.02
$C_{1,2}$ kapasitörlerinin üzerindeki gerilimlerin dalgalılık oranları	ε	0.02
Hesaplanan Sınır Değerler		
İndüktör	L_K	0.5mH
Kapasitör	$C_{1,2K}$	18.52 μ F
Seçilen Değerler		
İndüktör	L	10mH
Kapasitör	$C_{1,2}$	220 μ F

2.2. PEM Yakıt Hücresi

PEM yakıt hücresinde, akıma bağlı olarak gerilim ve güç değişimleri doğrusal olmamaktadır. Şekil 4'te 1.26 kW nominal güçte çalışan bir PEM yakıt hücresinin akım-gerilim (I-V) ve akım-güç (I-kW) karakteristiği verilmiştir.

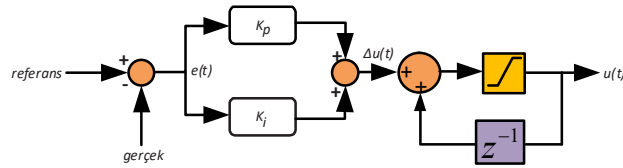


Şekil 4. 1.26kW nominal güçte çalışan bir PEM yakıt hücresinin (I-V) ve (I-kW) karakteristiği

Şekil 4'te I-V karakteristiğinde yakıt hücresinden çekilen akım arttıkça hücre geriliminin düştüğü görülmektedir. I-kW karakteristiğinde ise maksimum güç değerine (2kW) ulaşılan kadar yakıt hücresinden çekilen akım arttıkça, yakıt hücresinden çekilen güç değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yakıt hücresinden yüke verimli bir güç aktarımı için gerilimi denetlenebilir bir güç çevircisine gereklidir. Aynı zamanda yakıt hücresi ömrünün uzaması için seçilecek güç çevircisi yakıt hücresinden çekilen akımın dalgalılığını mümkün olduğunca en aza indirmelidir [19-20].

2.3. PI+ AW Denetleyici

PI+AW denetleyici klasik denetim türlerinden biri olan PI tipi denetim yapısına AW bloğu eklenmesiyle oluşturulur. PI denetleyici denetim sisteminin yükselme zamanını azaltarak geçici durum cevabını iyileştirmektedir. Aynı zamanda yapısındaki AW bloğu sayesinde kalıcı durum hatasını en aza indirmektedir. Şekil 5'te PI+AW denetim yapısı verilmiştir.



Şekil 5. PI+AW denetim yapısı

Şekil 5'ten görüldüğü gibi PI denetleyicinin oransal (K_p) ve integral (K_i) gibi sabit kazanç parametreleri bulunmaktadır. PI+AW denetim yapısına ait denetim işareti eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (4)$$

K_p ve K_i sabit kazanç parametrelerinin değerlerini belirlemek için araştırma literatüründe çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada çevirici matematiksel modeli gerektirmeden sabit kazanç parametresi hesaplayabilen Ziegler-Nichols yöntemi kullanılmıştır [21]. Kazanç parametreleri bu yöntem ile en iyi denetleyici cevabı oluşturacak şekilde $K_p=0.00625$ $K_i=15$ olarak seçilmiştir. AW bloğunun satürasyon üst ve alt sınır değerleri ise sırasıyla 0.1 ve 0.95 olarak belirlenmiştir. Tablo 2’de ise PI denetleyicinin sabit kazanç parametrelerinin sistem cevabına olan etkileri verilmiştir.

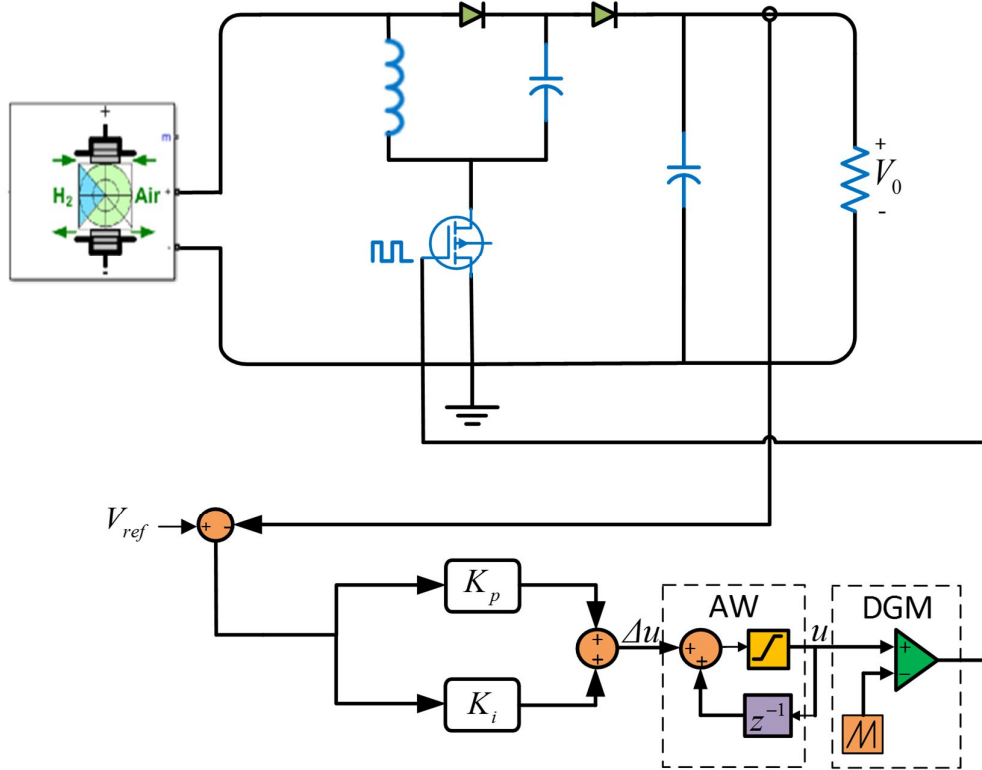
Tablo 2. PI denetleyicinin sabit kazanç parametrelerinin sistem cevabına olan etkileri

Parametre	Yükselme Zamanı	Aşım	Yerleşme Zamanı	Kalıcı durum hatası
K_p	Azaltır	Artırır	Az değişir	Azaltır
K_i	Azaltır	Artırır	Artırır	Yok eder

3. Bulgular

3.1 Benzetim Çalışmaları

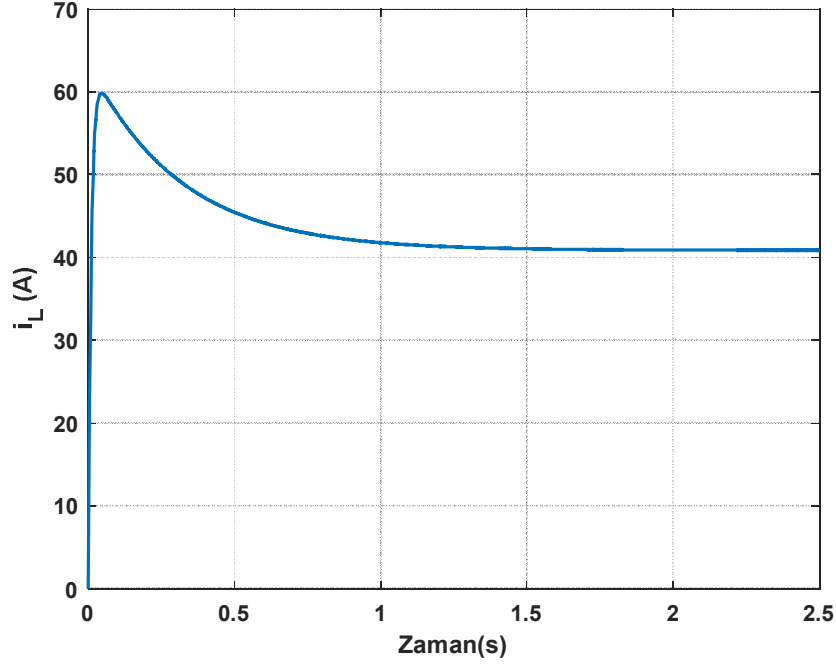
Benzetim çalışmalarında Matlab/Simulink programının 2023a lisanslı versiyonu kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları için kullanılacak pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviriciye ait temel seri devrenin; giriş-çıkış (yük) gerilimi, yük değeri ve anahtarlama frekansı değerleri tablo 1’de belirtilmiştir. Önerilen denetleyici yapısı ile PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin blok diyagramı şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Önerilen denetleyici yapısı ile PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin blok diyagramı

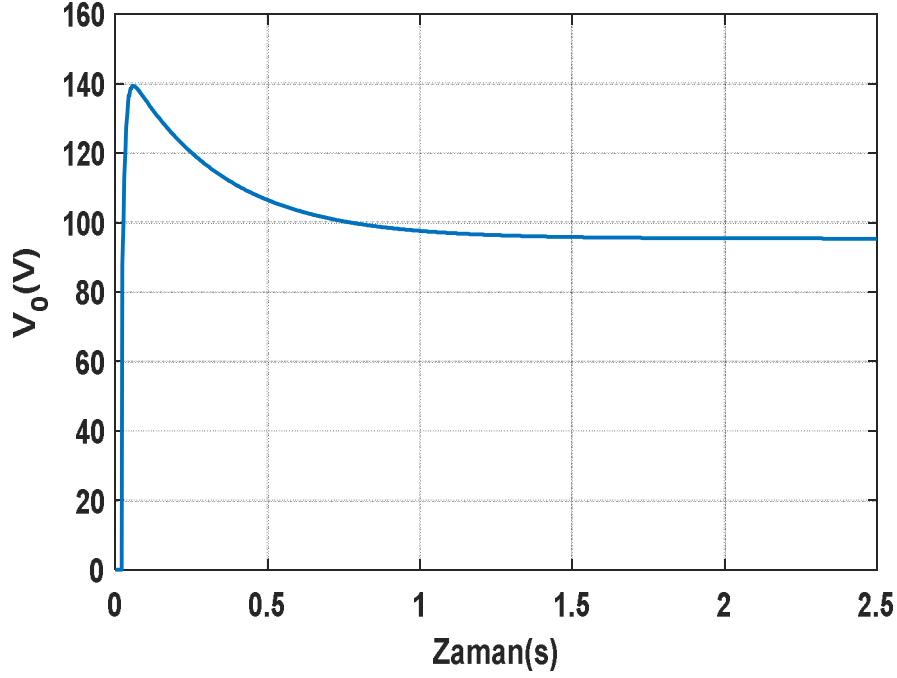
Şekil 6’den görüleceği üzere V_{ref} temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin çıkışının (V_0) getirilmek istenen referans gerilim değeridir. V_0 ise temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin çıkış (yük) gerilimidir. Δu ise önerilen denetleyicinin denetim işaretindeki değişim olup AW bloğunun girişidir.

AW bloğu çıkışındaki u denetim işareti darbe genişlik modülasyonu (DGM) bloğu aracılığıyla yarı iletken anahtarlama elemanına uygulanmaktadır. Benzetim çalışmalarında ilk olarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin tablo 1'de verilen tasarım kriterlerine uygunluğu incelenmiştir. Bu amaçla sabit 0.667 anahtarlama oranı için nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici açık çevrim çalıştırılmıştır. Nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin açık çevrim indüktör akımı ve çıkış (yük) gerilimi cevapları sırasıyla şekil 7-8'de verilmiştir.



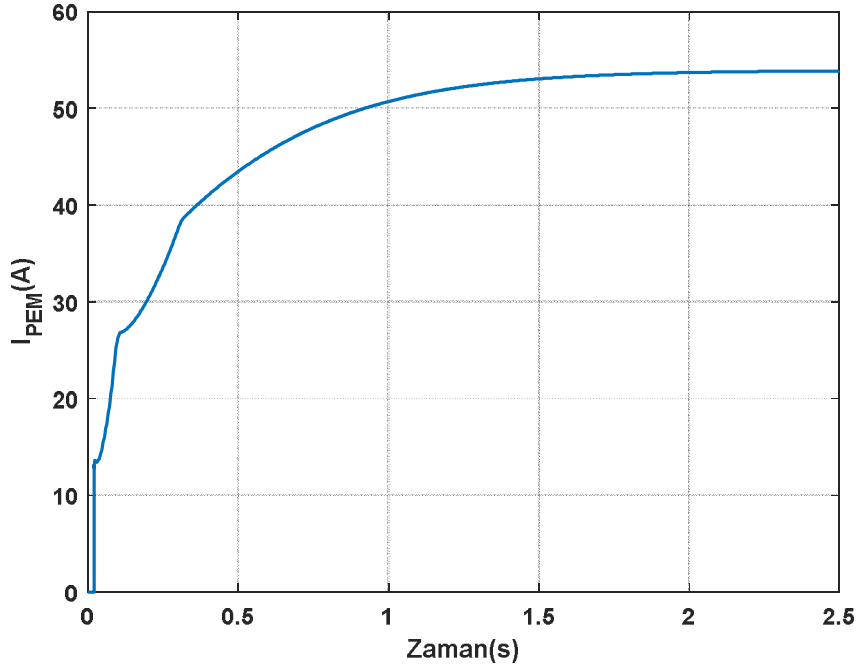
Şekil 7. Nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin açık çevrim indüktör akımı cevabı

Şekil 7'de görüldüğü gibi indüktör akımı (i_L) belirlenen dalgalılık sınır oranı içerisinde ortalama 43.49 A'dır.



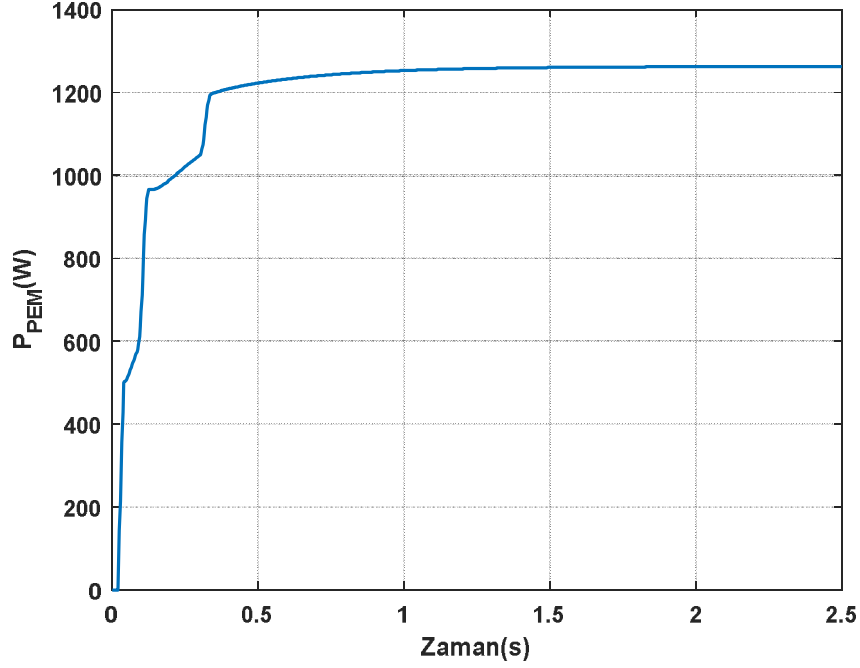
Şekil 8. Nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi beslemeli temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin açık çevrim çıkış (V_o) gerilimi cevabı

Şekil 8'de görüldüğü gibi çıkış gerilimi 96.92V değerine belirlenen sınır dalgalılık oranında oturmuştur. İkinci olarak önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresinden çekilen akım (I_{PEM}), güç (P_{PEM}) ve hücre gerilim (V_{PEM}) değerleri incelenmiştir. Bu değerler sırasıyla şekil 9-10-11'de verilmiştir.



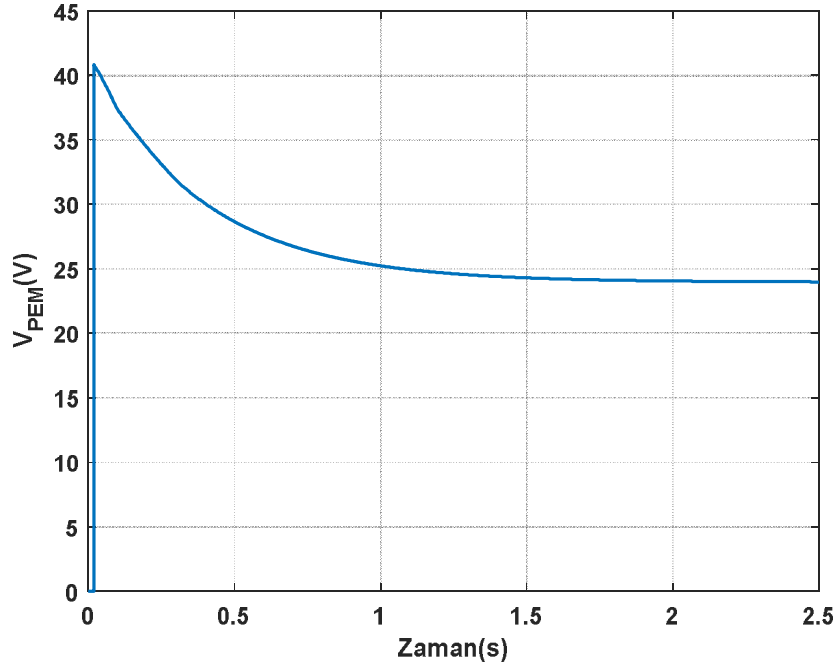
Şekil 9. Önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresinden çekilen akım

Şekil 9'da görüldüğü gibi önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresinden çekilen akım 53.87 A'dir.



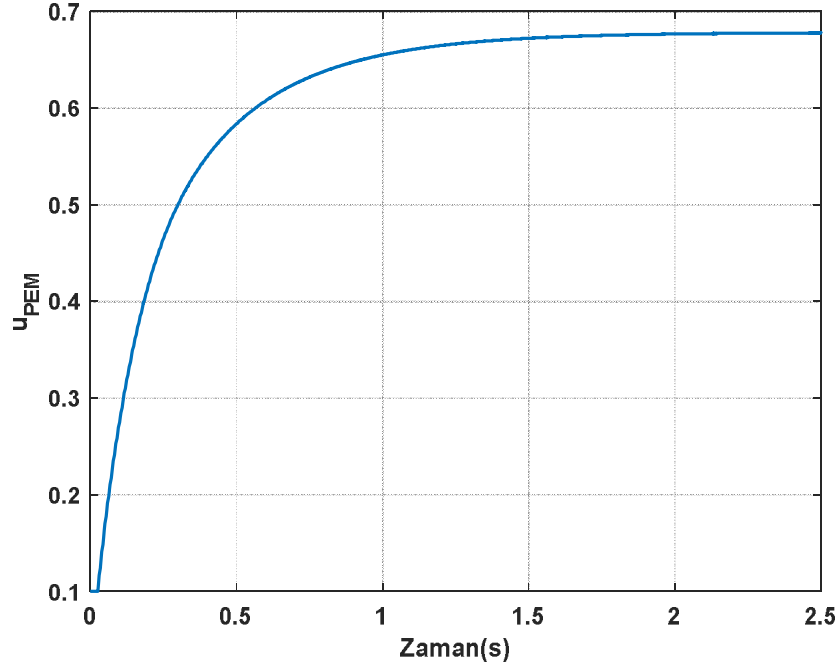
Şekil 10. Önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresinden çekilen güç

Şekil 10'da görüldüğü gibi önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresinden çekilen güç 1263 W'tır.



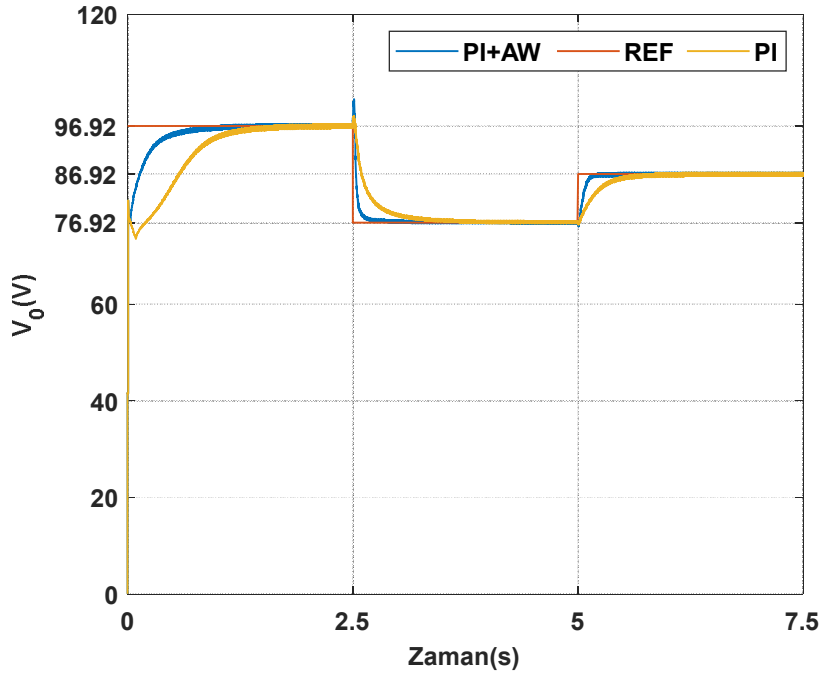
Şekil 11. Önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi gerilimi

Şekil 11 incelendiğinde önerilen denetleyici kullanılarak nominal çalışma şartlarında çalışan PEM yakıt hücresi gerilimi 23.99V'tur. Önerilen denetleyicinin denetim işareti (u) ise şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Önerilen denetleyicinin denetim işareti

Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PEM yakıt hücresi ömrünü uzatmak için tasarlanan çeviricinin belirlenen sınır akım ve gerilim dalgalılık oranlarında önerilen denetleyici kullanılarak yakıt hücresinden çekilen akımın az salınım yaptığı ve kısa zamanda nominal şartlardaki değere yakınsadığı görülmüştür. Benzetim çalışmalarında ikinci olarak, farklı basamak referans giriş gerilimleri için önerilen denetleyicinin yerleşme zamanı denetim performans kriteri PI denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Basamak fonksiyonu şeklindeki referans giriş gerilim değerleri sırasıyla (96.92V), (76.92V) ve (86.92V)'dur. Değişen basamak fonksiyonu şeklindeki referans gerilimi için önerilen ve PI denetleyicinin çıkış (yük) gerilimi cevapları şekil 13'te verilmiştir.



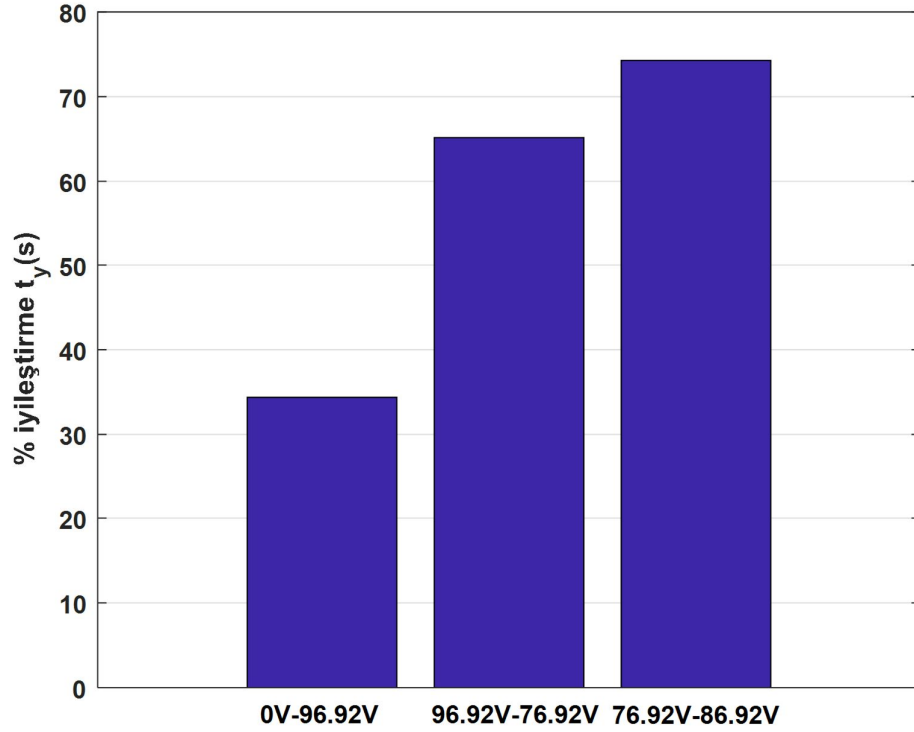
Şekil 13. Değişen basamak fonksiyonu şeklindeki referans gerilim için önerilen ve PI denetleyicinin çıkış (yük) gerilimi cevapları

Şekil 13'ten görüldüğü gibi önerilen denetleyici (0V)→(96.92V) basamak referans gerilim artışında 1.05s sonra referans gerilim değerine ulaşırken, PI denetleyici ise 1.6s sonra referans gerilim değerine ulaşmıştır. (96.92V)→(76.92V) basamak referans gerilim düşümünde önerilen denetleyici 0.31s sonra referans gerilimi yakalarken, PI denetleyici ise 0.89s sonra referans gerilim değerini yakalamıştır. Benzer şekilde (76.92V)→(86.92V) artan referans gerilim değişiminde önerilen denetleyici 0.18s sonra istenilen referans gerilim değerini takip ederken, PI denetleyici ise 0.7s sonra referans gerilim değerini takip etmiştir. Denetleyicilerin basamak geçişlerindeki yerleşme zamanları tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Denetleyicilerin basamak geçişlerindeki yerleşme zamanları (t_y)

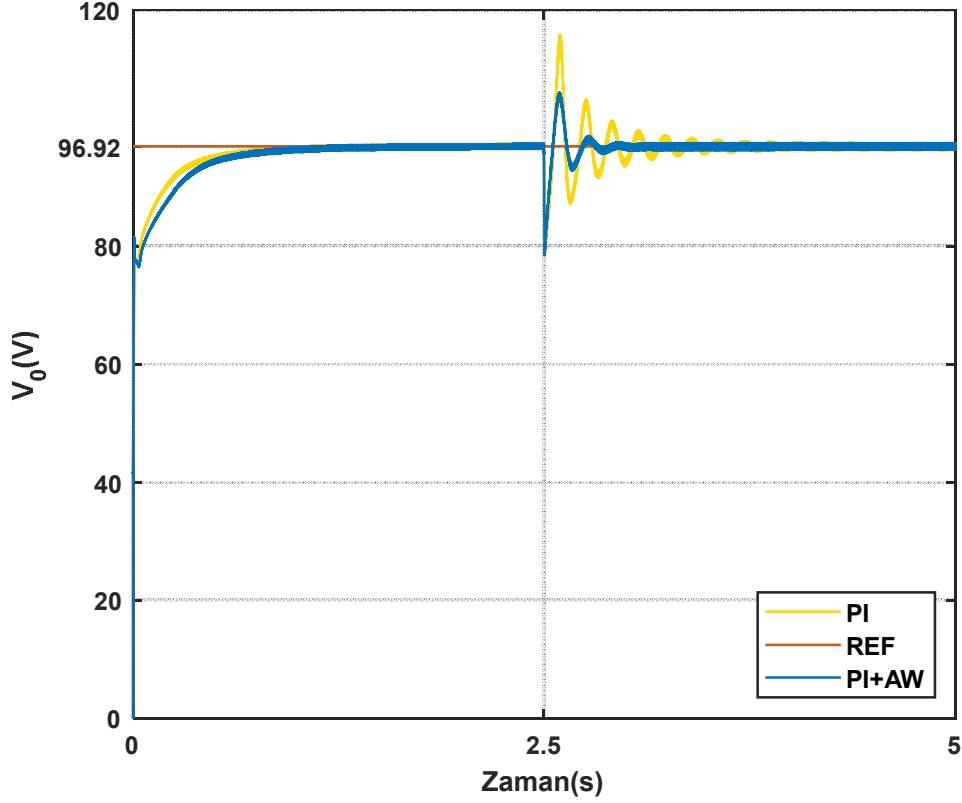
$V_0(V)$	0→96.92		96.92→76.92		76.92→86.92	
	PI+AW	PI	PI+AW	PI	PI+AW	PI
$t_y(s)$	1.05	1.6	0.31	0.89	0.18	0.7

Önerilen denetleyicinin 0V→96.92V, 96.92V→76.92V ve 76.92V→86.92V basamak geçişlerindeki yerleşme zamanı iyileştirme değerleri sırasıyla %34.375, %65.16 ve %74.28'dir. Önerilen denetleyicinin iyileştirme değerleri şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Önerilen denetleyici iyileştirme değerleri

Benzetim çalışmalarında son olarak yük değişimi yapılarak önerilen denetleyicinin yenilenme zamanı denetim performans kriteri PI denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Yük değişimi için önerilen ve PI denetleyicinin çıkış (yük) gerilimi cevapları şekil 15'te verilmiştir.



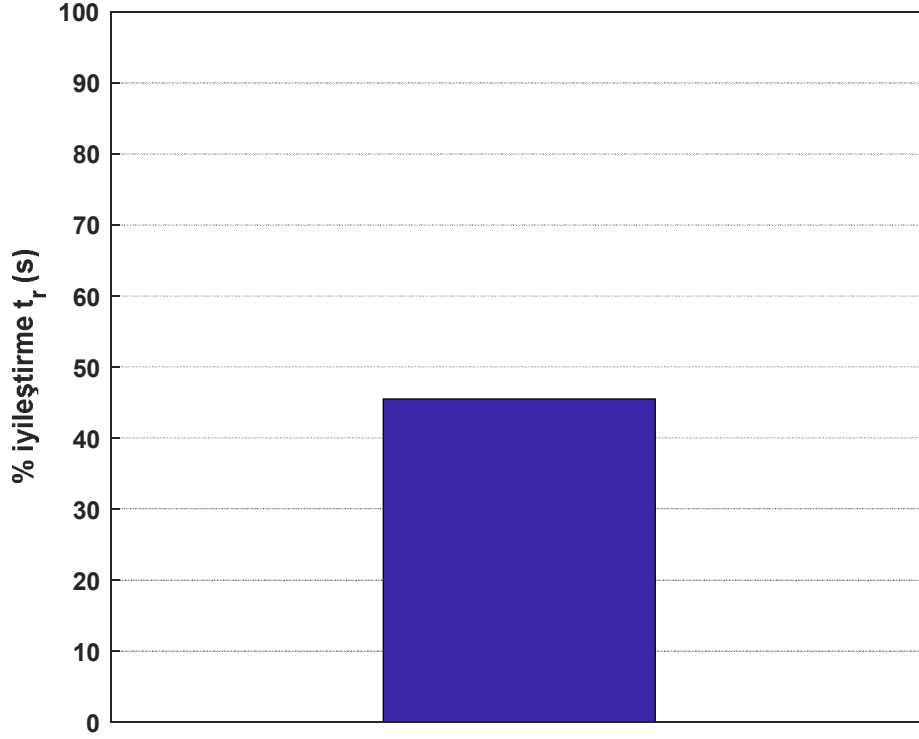
Şekil 15. Yük değişimi için önerilen ve PI denetleyicinin çıkış (yük) gerilimi cevapları

Şekil 15'ten görüldüğü gibi yük değeri $t = 2.5s$ anında 7Ω değerinden 5.6Ω değerine düşürülerek %20 oranında yük değişimi yapılmıştır. Önerilen ve PI denetleyicinin yenilenme zamanı değerleri sırasıyla $0.72s$ ve $1.32s$ 'dir. Denetleyicilerin ani yük değişiminde yenilenme zamanı t_r (s) değerleri tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Denetleyicilerin basamak geçişlerindeki yenilenme zamanları (t_r)

$R(\Omega)$	$7\Omega \rightarrow 5.6\Omega$	
$t_r(s)$	PI+AW	PI
	0.72	1.32

Önerilen denetleyicinin %20 oranında yük değişiminde yenilenme zamanı $t_r(s)$ iyileştirme değeri %45.45'dir. Önerilen denetleyicinin iyileştirme değeri şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16.Önerilen denetleyici iyileştirme değeri

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada PEM yakıt hücresi ömrünü uzatmak için yakıt hücresi giriş akımı dalgalılığını azaltan bir temel seri pozitif süper gerilim yükseltmeli Luo çevirici önerilmiş ve önerilen çevirici ile bir yükün yakıt hücresi tarafından denetimli bir şekilde beslenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla PI+AW denetleyici tasarlanmıştır ve PI+AW denetleyicinin dinamik performansı PI denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışması sonuçlarına göre önerilen denetleyici yapısı denetim sisteminin yerleşme zamanını ortalama %57.93 yenilenme zamanını ise %45.45 iyileştirmiştir. Aynı zamanda önerilen çevirici ve denetleyici yapısı ile yakıt hücresi giriş akım dalgalılığı azaltılmakta, kararlı çalışma aralığına hızla ulaşılmaktadır. Tasarlanan çevirici devre yapısı sadece yakıt hücreleri ile değil aynı zamanda elektrikli araçlarda da kullanılabilir. Gelecek çalışmalarda çevirici giriş akım dalgalılığını azaltan farklı çevirici devre yapıları ve denetim yöntemlerinin incelenmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kayseri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FKB-2022-1087 numaralı 'Yüksek Kazançlı DA/DA Çevirici için İleri Bulanık Mantık Tabanlı Denetim Yöntemlerinin Geliştirilmesi' isimli proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Şefkat, G., Özel, M. A. 2018. PEM Yakıt Pilinin Simulink Modeli ve Analizi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(2), 351-366.
- [2] Wahdame, B., Girardot, L., Hissel, D., Harel, F., François, X., Candusso, D., Dumercy, L. 2008. Impact of Power Converter Current Ripple on the Durability of a Fuel Cell Stack. In 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1495-1500.
- [3] De Bernardinis, A., Frappé, E., Béthoux, O., Marchand, C., Coquery, G. 2012. Electrical Architecture for High Power Segmented PEM Fuel Cell in Vehicle Application. In 2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology, 5-22.
- [4] Choi, W., Enjeti, P. N., Appleby, A. J. 2004. An Advanced Power Converter Topology to Significantly Improve the CO Tolerance of the PEM Fuel Cell Power Systems. In Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting 1185-1191.

- [5] Mahdavi, M., Shahriari-Kahkeshi, M., Abjadi, N. R. 2019. An Adaptive Estimator-Based Sliding Mode Control Scheme for Uncertain POESLL Converter. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 55(6), 3551-3560.
- [6] Luo, F. L., Ye, H. 2003. Positive Output Super-Lift Converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 18(1), 105-113.
- [7] Gani, A. 2022. Yüksek Kazançlı Luo Çevirgeç için Uyarlamalı Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi Tabanlı Gerilim Düzenleyici Tasarımı, *Fırat Üniversitesi Uzay ve Savunma Teknolojileri Dergisi*, 1(1),8-13.
- [8] Jazi, H. N., Goudarzian, A., Pourbagher, R., Derakhshandeh, S. Y. 2017. PI and PWM Sliding Mode Control of POESLL Converter. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 53(5), 2167-2177.
- [9] Rigan, M., Keçecioglu, Ö.F., Gani, A., Şekkeli, M. 2019. Negatif Çıkışlı Luo Dönüştürücünün Analizi ve Denetimi, *International Symposium on Advanced Engineering Technologies*,1080-1085.
- [10] Bereketoğlu, S., Gani, A., Keçecioglu, Ö.F., Şekkeli, M. 2019. Fırçasız DA Motorun Denetimi için PI Denetleyicinin Performansının İncelenmesi, *International Symposium on Advanced Engineering Technologies*,1059-1064.
- [11] Kolli, A., Gaillard, A., De Bernardinis, A., Bethoux, O., Hissel, D., Khatir, Z. 2015. A Review on DC/DC Converter Architectures for Power Fuel Cell Applications. *Energy Conversion and Management*, 105, 716-730.
- [12] Thounthong, P., Sethakul, P., Rael, S., Davat, B. 2008. Modeling and Control of a Fuel Cell Current Control Loop of a 4-Phase Interleaved Step-up Converter for DC Distributed System. *IEEE Power Electronics Specialists Conference*.230-236.
- [13] Marsala, G., Pucci, M., Rabbeni, R., Vitale, G. 2011. Analysis and Design of a DC-DC Converter with High Boosting and Reduced Current Ripple for PEM FC. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*.1-8.
- [14] Cheng, S. J., Lo, Y. K., Chiu, H. J., Kuo, S. W. 2012. High-Efficiency Digital-Controlled Interleaved Power Converter for High-Power PEM Fuel-Cell Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(2), 773-780.
- [15] Palma, L. 2012. DC/DC Converter Topology Selection for Low Frequency Ripple Reduction in PEM Fuel Cell Applications. In *International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion* 315-319.
- [16] Yıldız, E., Vural, B., Akar, F. 2016. Current Ripple Minimization of a PEM Fuel Cell via an Interleaved Converter to Prolong the Stack Life. In *2016 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies*.1-4.
- [17] Şener, E., Şebeke Bağlantılı İnverterlerde Super Lift Luo Konverter Uygulaması., *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*,67s, Bilecik,2016.
- [18] Gani, A., 2023.PD-Type-2 Fuzzy Neural Network Based Control of a Super-lift Luo Converter Designed for Sustainable Future Energy Applications. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* 561-568.
- [19] Rakhtala, S. M., Ghaderi, R., Ranjbar, N. A. 2011. Prolong the Stack Life of PEM Fuel Cell System via Higher Order Sliding Mode Control. In the *2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation*. pp. 13-18.
- [20] Yıldız, E. PEM tipi Yakıt Pillerinde Çıkış Akımının Dalgalanmasını Azaltmaya Yönelik bir DC/DC Dönüştürücü Tasarımı ve Uygulaması. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*,80s, İstanbul, 2016.
- [21] Bereketoğlu, S., Açıkgöz, H., Şekkeli, M. 2020. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Hız Denetimi. *EMO Bilimsel Dergi*, 10(2), 33-42.