Gazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

Gazi University
Journal of Science
PART C: DESIGN AND TECHNOLOGY

GU J Sci, Part C, 14(3): 1417-1425 (2026)

Ultra-Yükselten Luo Dönüştürücü için PID+D² Tabanlı Gürbüz Akım Denetleyici Tasarımı

Ahmet GANİ [1*]

[1]*Kayseri Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Turkey*

Article Info

Research article
Received: 28/06/2026
Revision: 30/08/2026
Accepted: 30/08/2026

Keywords

Ultra-Lift Luo Converter
PID+D²
Robust Current Control

Makale Bilgisi

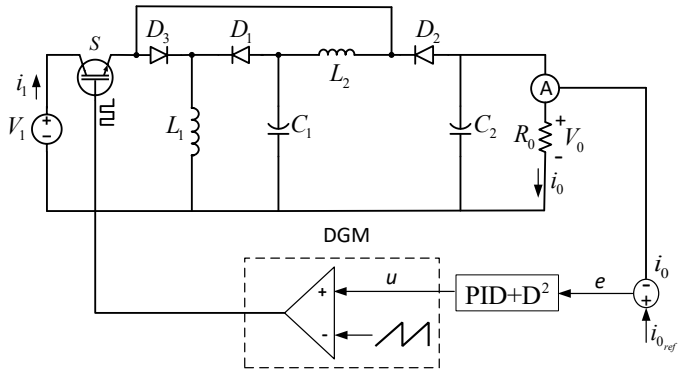
Araştırma makalesi
Başvuru: 28/06/2026
Düzeltme: 30/08/2026
Kabul: 30/08/2026

Anahtar Kelimeler

Ultra-Yükselten Luo Dönüştürücü
PID+D²
Gürbüz Akım Denetimi

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışma, ultra-yükselten Luo dönüştürücü için PID+D² tabanlı gürbüz akım denetimi önermektedir. Önerilen gürbüz akım denetleyicinin performansı, farklı çalışma koşulları altında PID akım denetleyici ile karşılaştırılarak dinamik performans incelemesi yapılmıştır. / This study proposes PID+D² based robust current control for the ultra-lift Luo converter. The performance of the proposed robust current controller is compared with that of a PID current controller under different operating conditions, and its dynamic performance is investigated.



***Şekil A:** PID+D² gürbüz akım denetleyici / **Figure A**: PID+D² robust current controller*

Önemli noktalar (Highlights)

- *Ultra-yükselten Luo dönüştürücünün çıkış akımı denetimi için PID+D² tabanlı gürbüz bir akım denetim yapısı önerilmiştir. / A PID+D² robust current control structure is proposed for the output current control of the ultra-lift Luo converter.*
- *Önerilen gürbüz akım denetleyicinin referans akım değişimleri ve akım kaynaklı bozucu değişimleri altındaki başarımı, klasik PID akım denetleyicisi ile detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. / The performance of the proposed robust current controller under reference current variations and current related disturbances is compared in detail with that of the conventional PID current controller.*
- *Yerleşme süresi, yüzde aşım, bozucu bastırma süresi ve integral karesel hata gibi temel performans ölçütleri esas alınarak önerilen gürbüz akım denetleyicinin başarımı detaylı biçimde karşılaştırmalı analiz edilmiştir. / The performance of the proposed robust current controller is comparatively analyzed using key performance metrics, including settling time, percentage overshoot, disturbance rejection time, and integral squared error.*

***Amaç (Aim):** Ultra-yükselten Luo dönüştürücü için PID+D² tabanlı gürbüz akım denetleyici tasarlamak ve klasik PID denetleyici ile karşılaştırmaktır. / To design a PID+D² robust current controller for the ultra-lift Luo converter and compare it with conventional PID controller.*

***Özgünlük (Originality):** PID+D² denetim yapısının ultra-yükselten Luo dönüştürücünün çıkış akım denetimine uygulanması çalışmanın temel özgünlüğüdür. / The main originality is the application of PID+D² control to output current control of the ultra-lift Luo converter.*

***Bulgular (Results):** PID+D², integral karesel hatayı %11,11, bozucu altındaki aşımı %11,98 azaltmış ve referans akım değişimindeki aşımı ortadan kaldırmıştır. / PID+D² reduced the integral squared error by 11.11%, disturbance induced overshoot by 11.98%, and eliminated overshoot during the reference current change.*

***Sonuç (Conclusion):** PID+D² denetleyici, klasik PID'ye göre daha başarılı akım izleme ve bozucu bastırma performansı sağlamıştır. / The PID+D² controller achieved better current tracking and disturbance rejection performance than the conventional PID controller.*

*Corresponding author, e-mail: ahmetgani@kayseri.edu.tr
DOI: 10.29109/gujsc.1980678

GU J Sci, Part C, 14(3): 1417-1425 (2026)

Gazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

Gazi University
Journal of Science
PART C: DESIGN AND TECHNOLOGY

http://dergipark.gov.tr/gujsc

Ultra-Yükselten Luo Dönüştürücü için PID+D^2 Tabanlı Gürbüz Akım Denetleyici Tasarımı

Ahmet GANİ [1*]

[1]*Kayseri Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Turkey*

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28/06/2026
Düzeltme: 30/08/2026
Kabul: 30/08/2026

Anahtar Kelimeler

Ultra-Yükselten Luo Dönüştürücü
PID+D^2
Gürbüz Akım Denetimi

Öz

Ultra-yükselten Luo dönüştürücü, yüksek verimli güç dönüşümü sağlayabildiği için sürdürülebilir enerji, elektrikli araçlar ve enerji depolama gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ultra-yükselten Luo dönüştürücünün çıkış akım denetimi için klasik PID denetleyiciye ikinci türev (D^2) bileşeni eklenerek tasarlanan PID+D^2 denetleyici önerilmektedir. Önerilen denetleyicinin başarımı, MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen benzetim çalışmalarıyla klasik PID denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada yerleşme süresi, yüzde aşım, bozucu bastırma süresi ve integral karesel hata ölçütleri esas alınmıştır. Benzetim sonuçlarında, önerilen PID+D^2 denetleyicinin referans akımını daha düşük integral karesel hata ile izlediği, akım kaynaklı bozucu etkisinde aşımı azalttığı görülmüştür. Elde edilen bulgular, önerilen PID+D^2 denetleyicinin ultra-yükselten Luo dönüştürücünün çıkış akım denetimi için güvenilir ve uygulanabilir bir performans verdiğini göstermiştir.

PID+D^2 Based Robust Current Controller Design of Ultra-Lift Luo Converter

Article Info

Research article
Received: 28/06/2026
Revision: 30/08/2026
Accepted: 30/08/2026

Keywords

Ultra-Lift Luo Converter
PID+D^2
Robust Current Control

Abstract

The ultra-lift Luo converter is widely employed in various power electronics applications, including sustainable energy systems, electric vehicles, and energy storage, owing to its high voltage gain and efficient power conversion capability. In this study, a PID+D^2 controller, obtained by augmenting the conventional PID controller with a second-order derivative (D^2) component, is proposed for the output current control of the ultra-lift Luo converter. The performance of the proposed controller is evaluated through MATLAB/Simulink simulations and compared with that of the conventional PID controller. The comparison is carried out using settling time, percentage overshoot, disturbance rejection time, and the integral squared error as performance criteria. Simulation results demonstrate that the proposed PID+D^2 controller tracks the reference current with a lower integral squared error and reduces the overshoot caused by current disturbances. These findings indicate that the proposed PID+D^2 controller provides a reliable, effective, and practical solution for the output current control of the ultra-lift Luo converter.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kendine özgü doğrusal olmayan devre yapısı, yüksek dereceli karmaşıklığı ve yapısal belirsizlikleri ultra-yükselten Luo dönüştürücünün denetimini zorlaştırmaktadır [1]. Doğrusal denetim yöntemleri arasında yer alan oransal (P), oransal-integral (PI), oransal-türevsel (PD) ve oransal-integral-türevsel (PID) denetleyiciler, basit tasarım yapıları ve ayarlanabilir parametre sayısının az olması nedeniyle doğrusal sistemlerin denetiminde başarılı olmaktadırlar [2]. Ultra-yükselten Luo dönüştürücü gibi yüksek dereceli ve doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde ise klasik denetleyiciler tek başlarına başarılı olamamaktadırlar. Bu durumun üstesinden gelmek için son yıllarda klasik PID denetleyiciye ikinci türev (D^2) bileşeninin eklenmesiyle oluşturulan PID+D^2 denetleyici kullanılmaya başlamıştır. Ultra-

*Corresponding author, e-mail: ahmetgani@kayseri.edu.tr
DOI: 10.29109/gujsc. 1980678

yükselten Luo dönüştürücü için tasarlanacak olan denetim yapısı hem hızlı geçici yanıt sağlamalı hem de herhangi bir çalışma koşulunda kararlılığı sağlamak için değişken giriş akımı, giriş gerilimi ve/veya yük değişimleriyle başa çıkmak zorundadır. Bu denetimin zorluğu nedeniyle pek çok araştırma yapılmış ve günümüzde bu konu üzerinde akademik çalışmalar halen devam etmektedir. Literatürde PID+D^2 denetleyici ile yapılan akademik çalışmaların özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PID+D^2 denetleyici literatür özeti (Literature review of PID+D^2 controller)

Referans	Uygulama Alanı	Denetim Değişkeni
[3]	Çok bölgeli yük frekans denetimi	Frekans
[4]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[5]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[6]	Manyetik sistem	Konum
[7]	Mikro şebeke	Frekans
[8]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[9]	Yenilenebilir enerji tabanlı yük frekans denetimi	Frekans
[10]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[11]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[12]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[13]	Otomatik gerilim düzenleyici	Gerilim
[14]	Sürdürülebilir enerji	Gerilim
[15]	Çok bölgeli frekans ve gerilim denetimi	Frekans/Gerilim

Tablo 1'de görüldüğü gibi literatürde kullanılan PID+D^2 denetleyicilerin birçoğu otomatik gerilim düzenleyicileri, yük-frekans denetimi ve sürdürülebilir enerji gibi doğrusal hale getirilebilen sistem modellerine uygulanmıştır [3-15]. Bununla birlikte, literatürdeki yüksek dereceli doğru akım (DA) dönüştürücüler ile ilgili çalışmaların birçoğu gerilim denetimine odaklanmış olup, akım denetimine yönelik araştırmalar oldukça sınırlıdır [16-18].Özellikle ultra-yükselten Luo dönüştürücünün doğrusal olmayan dinamiklerini dikkate alan bir akım denetleyicinin tasarlandığı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.Bu eksiklikten hareketle, bu çalışmada ultra-yükselten Luo dönüştürücü için PID+D^2 tabanlı gürbüz bir akım denetleyici tasarlanmıştır.Tasarlanan denetleyici, referans akım değişimleri ile akım kaynaklı bozucu altında yüksek akım izleme doğruluğu sağlayacak biçimde yapılandırılmıştır. Performans değerlendirmesi kapsamında yerleşme süresi, yüzde aşım, bozucu bastırma süresi ve integral karesel hata ölçütleri kullanılmış; önerilen akım denetleyici, klasik PID akım denetleyicisi ile aynı çalışma koşullarında karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın başlıca katkıları aşağıda özetlenmiştir.

- Ultra-yükselten Luo dönüştürücünün çıkış akımı denetimi için PID+D^2 tabanlı gürbüz bir denetim yapısı önerilmiştir.

- Önerilen denetleyicinin referans akım değişimleri ve akım kaynaklı bozucu altındaki başarımı, klasik PID denetleyicisi ile detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

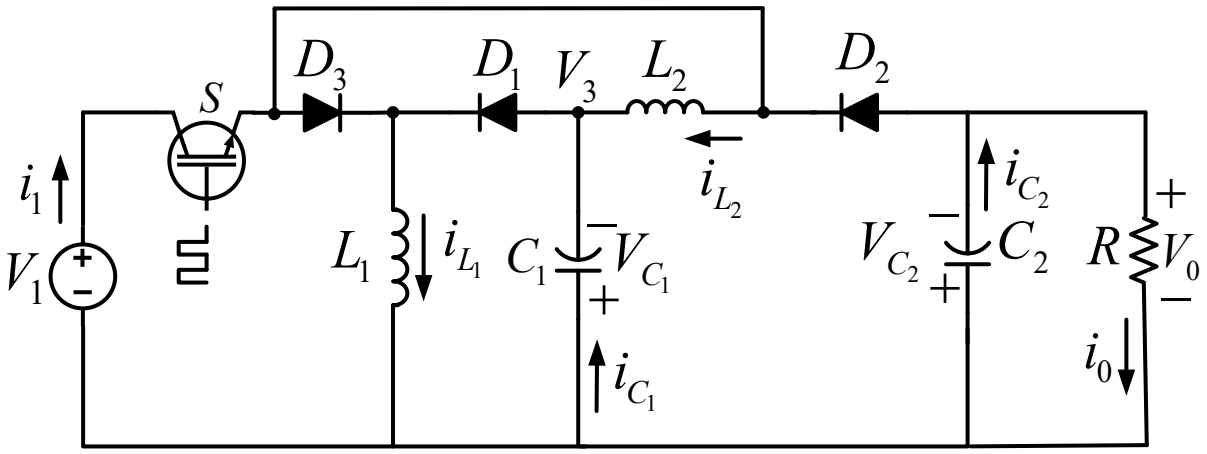
-Yerleşme süresi, yüzde aşım, bozucu bastırma süresi ve integral karesel hata gibi temel performans ölçütleri esas alınarak önerilen akım denetleyicinin başarımı detaylı biçimde karşılaştırmalı analiz edilmiştir.

Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde ultra-yükselten Luo dönüştürücünün matematiksel modeli analiz edilmiştir. Üçüncü bölümde PID+D^2 tabanlı gürbüz akım denetleyicinin tasarımı sunulmaktadır. Dördüncü bölümde benzetim çalışmaları ve karşılaştırmalı sonuçlar verilmiş, son bölümde ise elde edilen

sonuçlar özetlenerek gelecek çalışmalara ilişkin öneriler sunulmuştur.

2. ULTRA-YÜKSELTEN LUO DÖNÜŞTÜRÜCÜ (ULTRA-LIFT LUO CONVERTER)

Ultra-gerilim yükseltme yöntemi, geometrik gerilim yükseltme prensibine dayanan ve yüksek gerilim dönüşüm oranı elde etmeyi amaçlayan Luo dönüştürücülerde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, gerilim yükselten ve süper-gerilim yükselten yöntemlere kıyasla daha yüksek gerilim kazancı sağlaması nedeniyle güç elektroniği uygulamalarında önemli bir yere sahiptir [19-20]. Bu çalışmada kullanılan ultra-yükselten Luo dönüştürücü devre modeli şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ultra-yükselten Luo dönüştürücü devre modeli (Circuit model of ultra-lift Luo converter)

Ultra-yükselten Luo dönüştürücü; üç diyot (D_1, D_2 ve D_3), iki endüktör (L_1 ve L_2), iki kapasitör (C_1 ve C_2), bir güç anahtarı (S) ve yük direncinden (R) oluşmaktadır. Dönüştürücünün devre modelinin karakteristik özelliği, giriş gerilimine göre ters polaritede yüksek seviyeli bir çıkış gerilimi üretebilmesidir. Dönüştürücünün sürekli iletim modu altında giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki denklem (1) ile ifade edilmektedir.

$$V_o = -\left(\frac{D(2-D)}{(1-D)^2}\right) V_1 \quad (1)$$

Bu ifadede D görev döngüsünü, f ise anahtarlama frekansını göstermektedir. Anahtarlama periyodu $T = 1/f$ olup, anahtarın iletim ve kesim süreleri sırasıyla DT ve $(1-D)T$ olarak tanımlanmaktadır. Analiz süresince, dönüştürücü elemanlarında meydana gelen güç kayıplarının ihmal edildiği kabul edilmiştir. Sürekli iletim modunda çalışan ultra-yükselten Luo dönüştürücü, güç anahtarının (S) durumuna bağlı olarak iki temel çalışma durumundan oluşmaktadır.

2.1. Anahtar İletim Durumu (Switch on state)

Anahtar iletim durumuna geçtiğinde D_1 ve D_2 diyotları ters kutuplanarak iletimi keserken, D_3 diyotu doğru kutuplanır ve iletime geçer. Aynı anda C_1 kapasitörü L_2 endüktörü üzerinden şarj edilirken, C_2 kapasitörü daha önce depoladığı enerjiyi yüke aktararak çıkış akımının sürekliliğini korur.

2.2. Anahtar Kesim Durumu (Switch off state)

Bu durumda D_1 ve D_2 diyotları doğru kutuplanarak iletime başlarken D_3 diyotu ters kutuplanır ve iletimden çıkar. Endüktörlerde depolanan enerji serbest bırakılarak hem çıkış yüküne hem de C_2 kapasitörüne aktarılır. L_1 endüktörünün deşarj akımı D_1 diyotu üzerinden, L_2 endüktörünün akımı ise D_2 diyotu üzerinden akmaktadır [21]. Benzetim çalışmaları için ultra-yükselten Luo dönüştürücünün seçilen eleman değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

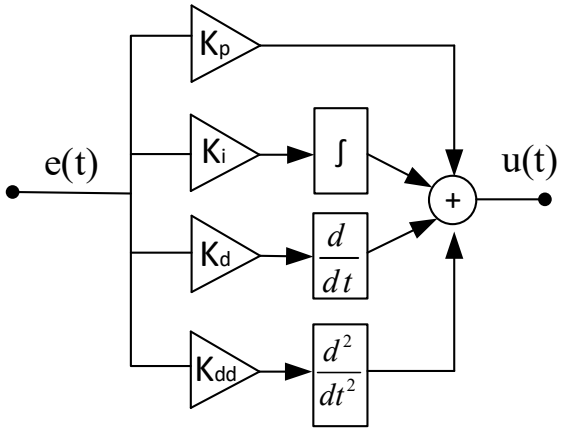
Tablo 2. Ultra-yükselten Luo dönüştürücünün seçilen eleman değerleri (Selected component values of the ultra-lift Luo converter)

Parametre	Sembol	Değer
İndüktör	L_1	3 mH
İndüktör	L_2	4.4 mH
Kapasitör	C_1	5 µF
Kapasitör	C_2	5 µF
Giriş Gerilimi	V_1	20 V
Çıkış Gerilimi	V_o	-156 V
Çıkış Akımı	i_o	-26 mA
Yük Direnci	R	6 kΩ
Anahtarlama frekansı	f	50 kHz
Görev Döngüsü	D	0.66

Tablo 2'de ultra-yükselten Luo dönüştürücü için seçilen eleman değerleri, sürekli iletim modu koşullarının sağlanması, çıkış gerilim/akım dalgalanmalarının sınırlandırılması ve kararlı çalışma performansının elde edilmesi amacıyla belirlenmiştir. Anahtarlama frekansı 50 kHz olarak belirlenmiş olup, daha düşük frekanslarda daha büyük endüktans ve kapasitans değerlerine ihtiyaç duyulurken, daha yüksek frekanslarda yarı iletken elemanların anahtarlama kayıpları artmaktadır. Bu nedenle seçilen eleman değerleri ve anahtarlama frekansı birlikte değerlendirilmiştir.

3.PID+D^2 TABANLI GÜRBÜZ AKIM DENETLEYİCİ TASARIMI (DESIGN OF PID+D^2 BASED ROBUST CURRENT CONTROLLER)

Ultra-yükselten Luo dönüştürücü gibi yüksek dereceli ve doğrusal olmayan dinamiklere sahip sistemlerde klasik PID denetleyicinin geçici rejim performansı ve bozuculara karşı dayanıklılığı sınırlı olmaktadır. Özellikle referans akım değişimleri ve akım kaynaklı bozucu altında daha hızlı tepki verebilen denetim yapılarının geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu amaçla önerilen PID+D^2 denetleyici, klasik PID denetleyiciye ikinci türev teriminin eklenmesiyle oluşturulmuş olup sistemsel değişimlere daha etkin şekilde uyum sağlamaktadır. Önerilen PID+D^2 denetleyicinin blok diyagramı şekil 2'de, zamana bağlı denetim işareti ise denklem (2)'de verilmiştir. Klasik PID denetleyiciden farklı olarak ikinci türev bileşeni (D^2), hata işaretindeki ani değişimleri daha duyarlı biçimde algılayarak denetim işaretine ilave bir düzeltici etki kazandırmaktadır. Böylece sistemin geçici rejim davranışı iyileştirilirken, yüksek dereceli doğrusal olmayan dinamikler altında daha kararlı bir çalışma elde edilmektedir.



Şekil 2. PID+D^2 denetleyici yapısı (Structure of PID+D^2 controller)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)\, dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_{dd} \frac{d^2 e(t)}{dt^2} \quad (2)$$

Burada *u(t)*, denetleyici tarafından üretilen çıkış işaretini; *e(t)*, referans akım ile ölçülen çıkış akımı arasındaki hata işaretini göstermektedir. Denetleyici parametrelerinden K_p oransal, K_i integral, K_d birinci türev ve K_{dd} ikinci türev kazancını temsil etmektedir.PID denetleyicinin K_p, K_i, K_d değerleri Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İlk olarak ultra-yükselten Luo dönüştürücüye

integral ve türev denetimler devre dışı bırakılarak yalnızca oransal denetim uygulanmış daha sonra K_p kademeli olarak artırılarak sistemin sürekli salınım yaptığı kritik K_u ve kritik salınım periyodu T_u elde edilmiştir. Ziegler-Nichols yöntemine göre klasik PID denetleyicinin K_p, K_i, K_d değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_p = 0.6K_u \tag{3}$$

$$K_i = \frac{1.2K_u}{T_u} \tag{4}$$

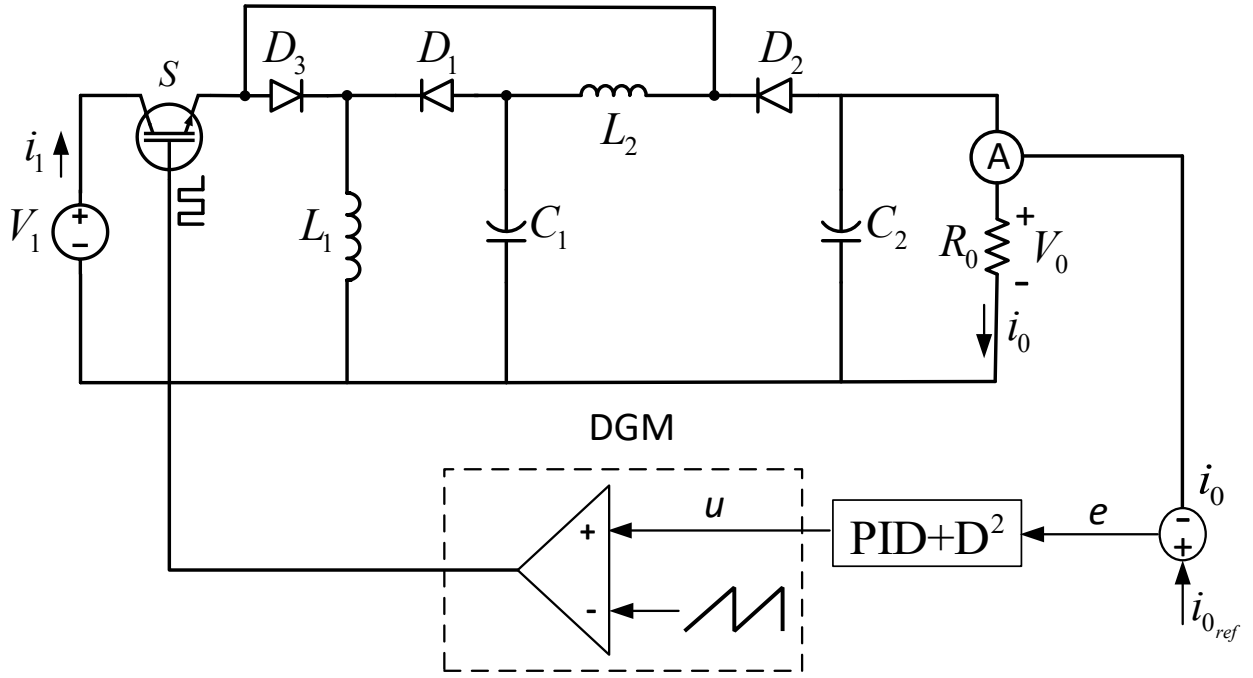
$$K_d = 0.075K_uT_u \tag{5}$$

Bu değerler elde edildikten sonra, K_{dd} kademeli olarak artırılarak sistemin dinamik davranışı incelenmiştir [22]. K_{dd} değeri, yerleşme süresi, aşım, integral karesel hata ve bozucu bastırma süresi dikkate alınarak 0.0004 olarak belirlenmiştir. Önerilen PID+D^2 denetleyicinin K_p, K_i, K_d, K_{dd} değerleri Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. PID+D^2 denetleyici için seçilen değerler (Selected values for PID+D^2 controller)

Parametre	Değer
K_p	1
K_i	25
K_d	0.01
K_{dd}	0.0004
K_u	1.66
T_u	0.08

Ultra-yükselten Luo dönüştürücü için önerilen PID+D^2 akım denetleyici şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. PID+D^2 akım denetleyici (PID+D^2 current controller)

Şekil 3'te verilen PID+D^2 akım denetleyici, ultra-yükselten Luo dönüştürücü, PID+D^2 denetleyici ve darbe genişlik modülasyonu (DGM) biriminden oluşmaktadır. Denetim bloğunda referans akım ile dönüştürücü çıkış akımı karşılaştırılarak hata işareti oluşturulmakta, elde edilen hata (e) denklem (6)'da tanımlanan ifadeye göre PID+D^2 denetleyiciye uygulanmaktadır. Denetleyici tarafından üretilen denetim işareti DGM bloğuna aktarılmakta ve uygun görev döngüsü oluşturularak güç anahtarı (S) sürülmektedir.

$$e = i_{o_{ref}} - i_o \tag{6}$$

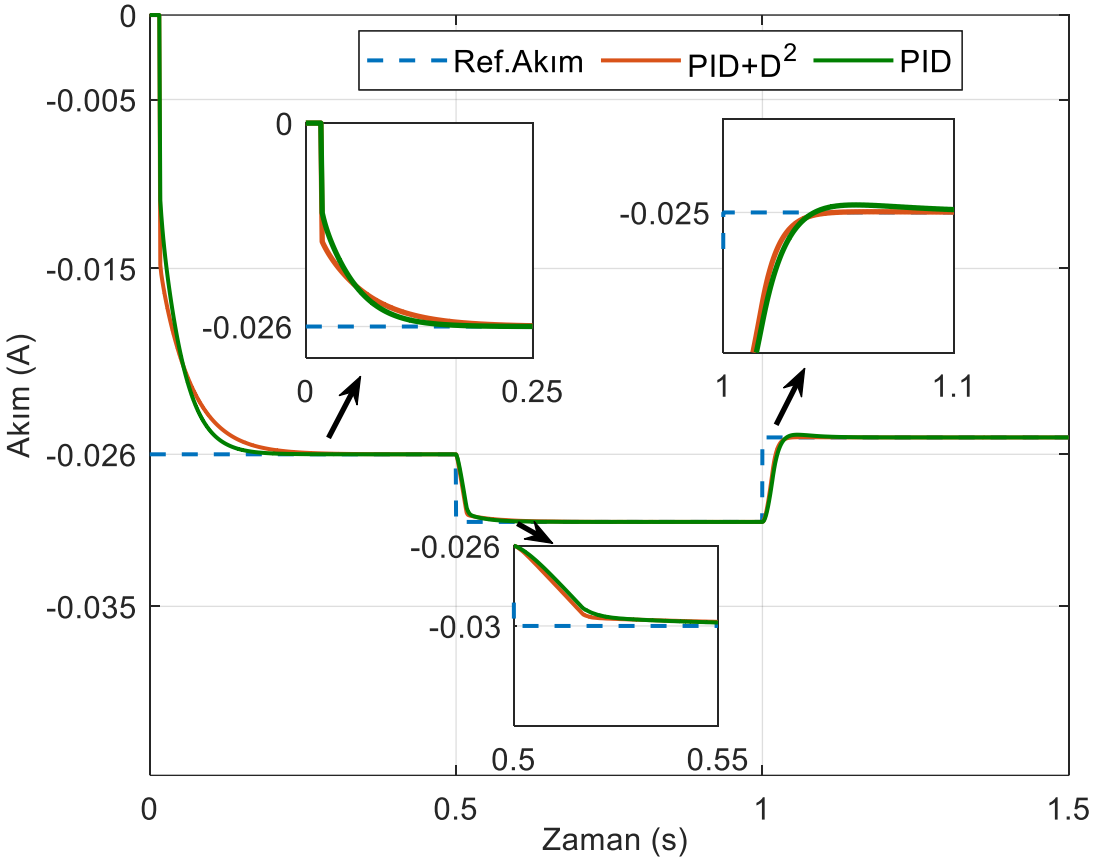
Burada, akım izleme hatası e, referans çıkış akımı $i_{o_{ref}}$ ile dönüştürücünün ölçülen çıkış akımı i_o arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Klasik PID denetleyiciden farklı olarak ikinci türev bileşeninin kullanılması, hata işaretindeki değişim hızının yanı sıra ivmesini de dikkate almaktadır. Bu sayede denetleyici, özellikle ani referans akım değişimleri ve akım bozucu altında daha düzeltici tepki üretebilmekte ve aşımı sınırlandırırken sistemin kararlılığını da koruyabilmektedir.

4. BENZETİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Önerilen PID+D^2 akım denetleyicinin performansı, ultra-yükselten Luo dönüştürücünün doğrusal olmayan devre modeli kullanılarak MATLAB/Simulink ortamında 100 µs örnekleme süresi ile değerlendirilmiştir. Denetleyicinin gürbüzlüğünü değerlendirebilmek amacıyla iki farklı çalışma senaryosu oluşturulmuştur. İlk senaryoda referans akımı belirli zamanlarda değiştirilerek denetleyicinin akım izleme performansı incelenmiştir. İkinci senaryoda ise dönüştürücü çıkışına bağımlı akım kaynağı bağlanarak yük tarafında ani akım değişimi oluşturulmuştur. Her iki senaryoda da ultra-yükselten Luo dönüştürücü eleman değerleri sabit tutulmuştur.

4.1. Senaryo 1 (Scenario 1)

İlk senaryoda önerilen PID+D^2 akım denetleyicinin referans akım değişimlerine verdiği cevap, klasik PID akım denetleyicisi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma öncesinde sistem nominal çalışma noktasında kararlı duruma ulaştırılmış, ardından referans akımı sırasıyla -0,026 A, -0,030 A ve -0,025 A değerleri olacak şekilde uygulanmıştır. Referans akım değişimleri sırasıyla 0,5 s ve 1 s anlarında gerçekleştirilmiş olup toplam benzetim süresi 1,5 s olarak belirlenmiştir. Denetleyicilerden elde edilen cevaplar şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. Farklı referans akım değişimleri için denetleyici cevapları (Controller responses for different reference current changes)

Performans değerlendirmesinde yerleşme süresi, yüzde aşım ve integral karesel hata (ISE) ölçütleri kullanılmıştır. Yerleşme süresi, çıkış akımının referans değer çevresinde kararlı hâle gelmesi için geçen süreyi ifade ederken, ISE değeri referans akımı ile çıkış akımı arasındaki hatanın karesinin zaman boyunca integrali olarak hesaplanmaktadır ve aşağıda verilmiştir.

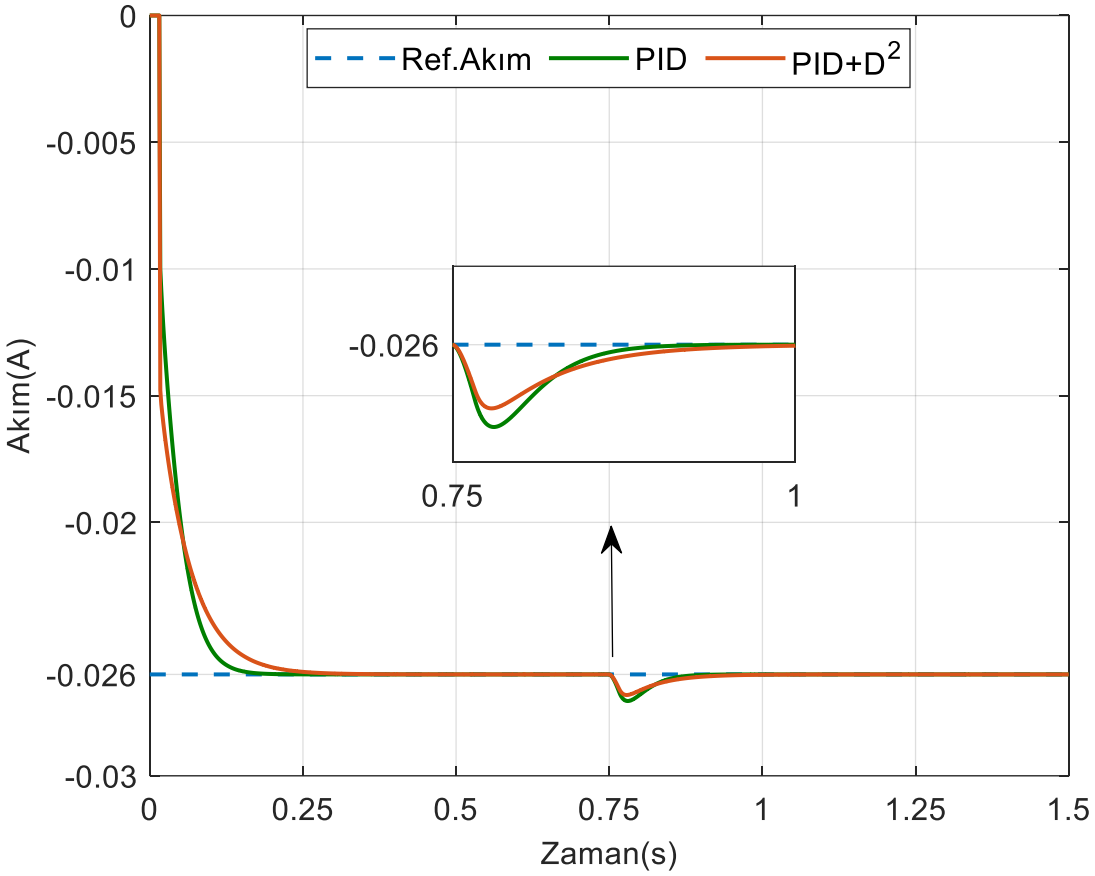
$$\text{ISE} = \int_0^T e^2(t)dt \quad (7)$$

Performans ölçütlerinden integral karesel hata (ISE), akım izleme hatası e'nin karesinin benzetim süresi boyunca zamana göre integrali alınarak hesaplanmıştır. Şekil 4'te verilen benzetim sonuçlarına göre önerilen PID+D^2 akım denetleyicinin yerleşme süresi 0,25 s, ISE değeri

0,0088 olup herhangi bir aşım gözlenmemiştir. Buna karşılık klasik PID denetleyicide yerleşme süresi aynı kalmasına rağmen ISE değeri 0,0099 olarak hesaplanmış ve %0,8 aşım meydana gelmiştir. Her iki denetleyici artan referans akımı sırasında benzer davranış sergilerken, referans akımının azaltıldığı durumda yalnızca klasik PID denetleyicide aşım oluşmuştur. Bu bulgular, önerilen PID+D^2 akım denetleyicinin referans akımı daha düşük hata ile izleyebildiğini ve yüzde aşım açısından klasik PID denetleyiciye göre daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

4.2. Senaryo 2 (Scenario 2)

İkinci senaryoda dönüştürücü çıkışında meydana gelen ani akım değişimlerinin denetleyicilerin performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla yük direncine paralel bağımlı akım kaynağı kullanılarak 0,75 s anında -0,013 A değerinde ilave akım uygulanarak akım bozucu oluşturulmuştur. Bu senaryo, pratik uygulamalarda karşılaşılan ani akım kaynaklı bozucuları temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Şekil 5, her iki akım denetleyiciye ait cevapları göstermektedir.



Şekil 5. Çıkış akımı değişimleri için akım denetleyicilerin cevabı (Response of the current controllers to output current variations)

Bu senaryoda karşılaştırma ölçütü olarak yüzde aşım ve bozucu bastırma süresi kullanılmıştır. Bozucu bastırma süresi, akım kaynaklı bozucunun ardından sistemin yeniden kararlı çalışma noktasına ulaşması için geçen süreyi ifade etmektedir. Bu ölçüt, özellikle gürbüz denetleyicilerin bozucular altındaki performansını değerlendirmede önemli bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Benzetim sonuçları incelendiğinde, önerilen PID+D^2 akım denetleyicinin bozucu bastırma süresi 0,20s olarak belirlenmiş ve klasik PID denetleyici ile aynı sürede yeniden kararlı çalışma durumuna ulaştığı görülmüştür. Buna karşın yüzde aşım değeri açısından belirgin bir iyileşme elde edilmiştir. Önerilen akım denetleyicide maksimum aşım %3,38, klasik PID denetleyici de ise %3,84 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, ultra-yükselten Luo dönüştürücünün akım denetimi için PID+D^2 tabanlı bir akım denetleyici önerilmiş ve önerilen akım denetleyicinin performansı klasik PID denetleyici

ile karşılaştırılmıştır. Önerilen akım denetleyicinin başarımı, MATLAB/Simulink ortamında referans akım değişimleri ve çıkış akım değişimleri altında yerleşme süresi, yüzde aşım, bozucu bastırma süresi ve integral karesel hata (ISE) ölçütleri kullanılarak incelenmiştir. Benzetim sonuçları, önerilen PID+D^2 akım denetleyicinin klasik PID denetleyiciye göre daha başarılı bir akım izleme performansı sunduğunu göstermiştir. Birinci senaryoda ISE değeri %11,11 oranında azalırken, referans akımının azaltıldığı durumda klasik PID denetleyicisinde gözlenen aşım önerilen denetleyici ile tamamen ortadan kaldırılmıştır. İkinci senaryoda ise her iki denetleyici aynı bozucu bastırma süresini sağlamasına rağmen, önerilen denetleyici yüzde aşımı %11,98 oranında azaltmıştır. Elde edilen bulgular, PID+D² tabanlı akım denetleyicinin referans akım takip doğruluğunu ve yüzde aşım performansını iyileştirdiğini açıkça göstermektedir. Gelecek çalışmalarda, önerilen denetleyicinin gerçek zamanlı donanım platformunda arıza senaryoları altında deneysel olarak doğrulanması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Çalışma araştırma kurumu veya fonu tarafından desteklenmemiştir.

This study was not supported by any research institution or funding agency.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI
(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı, çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul onayı ve/veya herhangi bir yasal ya da özel izin gerektirmediğini beyan eder.

The author of this article declares that the materials and methods used in the study did not require ethics committee approval and/or any legal or special permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

***Ahmet GANİ*:** çalışmanın kavramsallaştırılması, metodolojinin geliştirilmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin yazımı süreçlerinin tamamını yürütmüştür.

He carried out all aspects of the study, including conceptualization, methodology, analysis, evaluation of the results, and preparation of the manuscript.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Luo F.L., Ye H., Advanced DC/DC Converters, 1st ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2003.

[2] Nise N.S., Control Systems Engineering, 8th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2020.

[3] Raju M., Saikia L.C., Sinha N., "Automatic generation control of a multi-area system using ant lion optimizer algorithm based PID plus second-order derivative controller", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 80, pp. 52-63, 2016.

[4] Izci D., Ekinci S., "An improved RUN optimizer-based real PID plus second-order derivative controller design as a novel method to enhance transient response and robustness of an automatic voltage regulator", e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 2, Article 100071, 2022.

[5] Sahib M.A., "A novel optimal PID plus second-order derivative controller for AVR system", Engineering Science and Technology, an International Journal, vol. 18, no. 2, pp. 194-206, 2015.

[6] Izci D., Ekinci S., Eker E., Dündar A., "Assessment of slime mould algorithm based real PID plus second-order derivative controller for magnetic levitation system,"5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Turkey, pp. 6-10, 2021.

[7] Patel D., Shukla H., Patel M., Patel V., Bhavsar R., Patel N., "Controlling the load frequency of an urban microgrid with firefly algorithm tuned PID+D2 controller," Artificial Intelligence and Smart Technologies for Sustainability Conference (AISTS), Rajkot, India, pp. 1-5.2025.

[8] Chatterjee S., Dalel M.A., Palavalasa M., "Design of PID plus second-order derivative controller for automatic voltage regulator using whale optimization algorithm", Proceedings of the 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE), IEEE, pp. 574-579, 2019.

[9] Areeyat C., Audomsi S., Obma J., Yang X., Sa-Ngiamvibool W., "Chess optimizer for load frequency control of three-area multi-source renewable energy based on PID plus second-order derivative controller", International Journal of Robotics and Control Systems, vol. 5, no. 3, pp. 2053-2067, 2025.

[10] Mokeddem D., Mirjalili S., "Improved whale optimization algorithm applied to design PID plus second-order derivative controller for automatic voltage regulator system", Journal of the Chinese Institute of Engineers, vol. 43, no. 6, pp. 541-552, 2020.

[11] Tabak, A. "Maiden application of fractional order PID plus second order derivative controller in automatic voltage regulator", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol.31, no.12, e13211.2021.

[12] Micev M., Ćalasan M., Radulović M., "Optimal design of real PID plus second-order derivative controller for AVR system", Proceedings of the 25th International Conference on Information Technology (IT), IEEE, pp. 1-4, 2021.

[13] Izci D., Ekinci S., Mirjalili S., "Optimal PID plus second-order derivative controller design for AVR system using a modified Runge-Kutta optimizer and Bode's ideal reference model", International Journal of Dynamics and Control, vol. 11, no. 3, pp. 1247-1264, 2023.

[14] Prasad T., Lakshmi S., "Optimized PID-D² controlled ultra-lift Luo converter for efficient PV energy conversion", Journal of Circuits, Systems and Computers, Article 2650167, 2026.

[15] Shukla H., Raju M., "Application of COOT algorithm optimized PID plus D2 controller for combined control of frequency and voltage considering renewable energy sources", e-Prime- Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 6, Article 100269, 2023.

[16] Gani A., "Robust adaptive DC-voltage regulator design for ultra-lift Luo converter using PD interval type-2 TSK fuzzy controller", Journal of Electrical Engineering-Elektrotechnicky Casopis, vol. 76, no. 4, pp. 377-385, 2025.

[17] Sharifian A., Sasansara S.F., Ghadi M.J., Ghavidel S., Li L., Zhang J., "Dynamic performance improvement of an ultra-lift Luo DC-DC converter by using a type-2 fuzzy neural controller", Computers & Electrical Engineering, vol. 69, pp. 171-182, 2018.

[18] Toren M., Kaba B., Öztürk G., "Performance comparison of boost and super-lift Luo converters in solar energy systems using fuzzy logic-based MPPT control", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.vol.32, no.4, pp. 696-706, 2026.

[19] Mahalakshmi, S., Nammalvar, P., "Implementation of ultra-lift Luo converter for electric vehicle application", International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol.6, no.3, pp.1968-1975.2017.

[20] Kumar, A. V., Jayalakshmi, V., "Modelling of ultra-lift Luo converter using PI controller for stand-alone application", 2024 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE), Bangalore, Hindistan, 1-4.2024.

[21] Kevat, V., Sakhare, A., Mikkili, S., "Performance analysis of super-lift Luo, ultra-lift Luo, boost, buck-boost, Cuk, Zeta and Sepic DC-DC converters for extracting maximum power", International. Journal of Ambient Energy, vol.46, no.1, pp.2476047, 2025.

[22] Gani A., "A Lyapunov-stable interval type-2 fuzzy PID controller design for ultra-lift Luo converter", Journal of Electrical Engineering, vol. 77, no. 3, pp. 311-322, 2026.