



Optimum PID Kazançları Genetik Algoritma İle Hesaplanan Otomatik Gerilim Regülatörü

Automatic Voltage Regulator with Optimum PID Gains Calculated by Genetic Algorithm

İbrahim Eke¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TURKEY

Başvuru/Received: 18/09/2022

Kabul / Accepted: 30/12/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2022

Öz

Elektrik güç sistemlerinin en önemli parametrelerinden biri olan gerilim değerinin korunması modern güç sistemleri için hayati önem taşımaktadır. Otomatik gerilim regülatörleri güç sistemlerinde gerilim değerinin istenilen değerde korunmasını sağlarlar. Bu çalışmada, otomatik gerilim regülatör sisteminde kontrolör yapısı olarak literatürde en yaygın kullanılan kazanç güncellemeli oran integral-türev (PID) kontrolör yapısı kullanılmıştır. Bu çalışmada, kontrolör parametre değerlerini ayarlamak için Genetik algoritma (GA) tekniği kullanılmıştır. Kullanılan tekniğin başarısı literatürde PID kontrolör kazanç değerlerini ayarlama en yaygın kullanılan tekniklerden biri olan Ziegler-Nichols yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sunulan tekniğin başarısını göstermek için hem zaman domeni analiz yöntemleri hem de frekans domeni analiz yöntemleri bu çalışmada kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Otomatik gerilim regülatörü, Genetik Algoritma, Zaman domeni analizi, Frekans domeni analizi”

Abstract

Voltage level protection, which is one of the most important parameters of electrical power systems, is critical for modern power systems. Automatic voltage regulators make ensure that power systems' desired voltage level is maintained. The automatic voltage regulator system's controller structure in this study is based on the PID controller structure that has been utilized the most extensively in the literature. In this research, the controller parameter values are modified using a genetic algorithm technique. The Ziegler-Nichols approach, one of the most popular methods in the literature for modifying PID controller gain levels, is utilized to compare the effectiveness of the strategy used. Both time domain analysis methods and frequency domain analysis methods are employed in this study to show the effectiveness of the proposed strategy.

Key Words

“Automatic voltage regulator, Genetic Algorithm, Time domain analysis, Frequency domain analysis”

1. Giriş

Güç sistemi dağıtıcıları, kârlarını optimize ederken kesintisiz elektrik enerjisi tedarikini garanti etmek için gerilim ve frekans dalgalanmalarını her zaman belirli sınırlar içinde tutmalıdırlar. Bu belirtilen amacı gerçekleştirmek için sisteme bağlı donanım ve cihazlar, belirli nominal değerler içinde çalışacak şekilde tasarlanırlar (Moschos & Parisses, 2022). Teorik olarak, bir elektrik şebekesinin aktif gücü frekansa, reaktif gücü ise gerilime bağlıdır. Bu yüzden güç sisteminde gerilim kontrolü önemli konulardan biridir. Senkron bir jeneratörün terminal gerilimini belirli bir seviyede tutmak için kullanılan otomatik gerilim regülatör (OGR) sistemi bu kontrol problemlerinin üstesinden gelmek için güç sistemine uygulanır (Chatterjee & Mukherjee, 2016; Gözde, Taplamacioglu, & Ari, 2017).

Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin normal çalışma sürelerinde ve bir arıza ile karşılaştıktan sonra tüm baralardaki gerilim değerlerini verilen sınırlar içinde tutma yeteneğidir (Shankar & Kundur, 1994; YILDIRIM, 2017; YILDIRIM & GENÇOĞLU, 2017a, 2017b). Güç sisteminin gerilim kararlılığı, yükler tarafından talep edilen reaktif güç ve senkron jeneratör tarafından sağlanan reaktif güç dengesine bağlıdır. Gerçekte, modern güç sistemi teknolojisinde bu dengeyi sağlamak için şönt kapasitörler, şönt/seri reaktörler ve esnek alternatif akım iletim sistemi (FACTS) cihazları gibi birçok gelişmiş yöntem bulunmaktadır. Ancak literatürde belirtilen en etkili teknik halen OGR kullanımınıdır (Eke, Saka, Gozde, Arya, & Taplamacioglu, 2021; Mosaad, Abdelaziz, & Attia, 2017). OGR' nin birincil amacı, reaktif yüklerde meydana gelen nominal, küçük ve yavaş değişimlerde uyarı akımını kontrol ederek çıkış geriliminin veya reaktif gücün mutlak değerinde tutulmasını sağlamaktır. OGR, jeneratörün çıkış gerilimindeki değişiklikleri tespit eden ve kontrol eden bir uyarma akımı sağlayan kontrol mekanizmasıdır. Güç sisteminin güvenliği ve güvenilirliği, OGR sisteminin kararlılığından ciddi şekilde etkilenecektir. Bu nedenle, OGR sisteminin düzgün çalışması için uygun kontrol mekanizması gereklidir (Balu & Maratukulam, 1994; Dembicki & Chi, 1989; Özdemir & Çelik, 2017; Shankar & Kundur, 1994).

OGR'lerin tepki hızı kararlılık için kritik öneme sahiptir. Çünkü OGR'lerin elektrik sistemlerinde meydana gelen geçici olaylar üzerinde önemli etkileri vardır (Özdemir & Çelik, 2017). Basit yapısı ve kolay uygulanması nedeniyle günümüzde gerçek OGR sistemlerinin çoğu PID kontrolör içermektedir. Bu nedenle, sağlam ve güvenilir OGR sistemi elde etmek için daha karmaşık teknikler kullanarak PID kontrolörünün parametrelerinin ayarlanması da halen güncel bir araştırma ve uygulama alanıdır. Sezgisel optimizasyon teknikleri, optimum kendi kendine ayarlama sağlayan önemli ve nispeten basit araçlardır. Aslında OGR için öz ayarlamalı PID kontrolörünün popülaritesindeki ivmenin 2000'li yılların başında sezgisel algoritmalar kullanılarak başladığı ve bugüne kadar bu konuda birçok uygulama önerildiği söylenebilir (Eke et al., 2021).

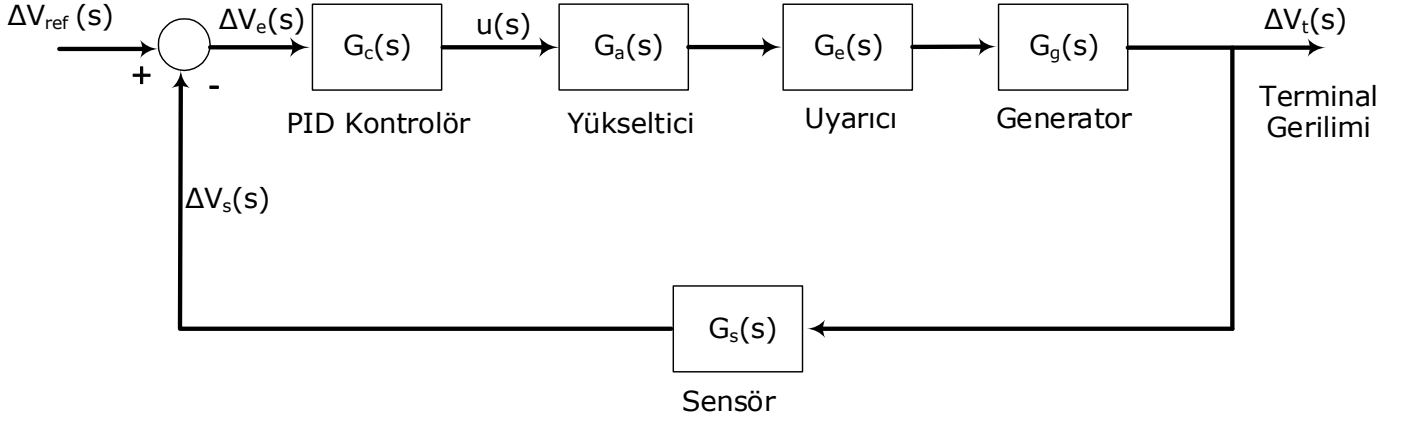
2004 yılında parçacık sürüsü optimizasyonu-PID (PSO-PID) denetleyicisine yeni zaman alanlı performans kriteri eklenerek parametre ayarı PSO algoritması ile sağlanmıştır (Gaing, 2004). 2007 yılında önerilen geliştirilmiş GA algoritması, bozulma reddetme fonksiyonu ile OGR sisteminin PID kontrolörünün ayarlanması için kullanılmıştır (Kim & Abraham, 2007). Aynı yıl içerisinde OGR sistemi kontrolü için çilgin tabanlı parçacık sürüsü optimizasyonu ve ikili kodlanmış genetik algoritma ile PID kontrolörünün optimum ayarı yapılmıştır (Mukherjee & Ghoshal, 2007). Birkaç yıl sonraki çalışmada, kaotik karınca sürüsü (CAS) algoritmasını kullanarak otomatik gerilim regülatör sisteminin optimal PID denetleyici parametrelerini belirlemek için yeni bir tasarım yöntemi sunulmuştur (Zhu, Li, Zhao, Guo, & Yang, 2009). 2010 yıllarda OGR sisteminde PID parametre ayarı için yapay arı kolonisi kullanılmıştır. Bu çalışmada, bode ve geçici tepki analizleri de yapılmıştır (Gozde & Taplamacioglu, 2011). Benzer yıllarda otonom bir güç üretim sisteminde gerilimin akıllı kontrolü için verimli birçok optimizasyon bağlantısı olan PID kontrolörü tasarlanmış ve uygulanmıştır (Panda, Sahu, & Mohanty, 2012). Son yıllarda ise OGR sisteminde en uygun PID parametrelerinin belirlenmesi için çoklu amaç fonksiyonunu kullanmışlardır (Kılıç & Özdemir, 2019).

Sezgisel algoritmaların kolay uygulama ve kararlı yakınsama özelliği gibi avantajları nedeniyle bu çalışmada da PID kontrolör parametreleri genetik algoritma ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada, Genetik algoritma ile parametreleri ayarlanmış PID sistemi denetleyicisi OGR sistemine dahil edilerek kararlı durum hatasının en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de OGR sistem modeli de PID hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3'te, makalede önerilen genetik optimizasyon algoritmasının çalışma prensibi anlatılmıştır. Bölüm 4'te zaman ve frekans bölgesi analizleri incelenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Otomatik Gerilim Regülatör Sistemi

Otomatik Gerilim Regülatörünün (OGR) amacı, uyarma sistemini kontrol ederek senkron jeneratörün terminal gerilimini sabit tutmaktır (Güngör, OZTURK, Selim, & Kenan). OGR'ler senkron jeneratörün terminal gerilimini düzenlemek için alan akımını kullanırlar ve bu yöntemle çıkış gerilimini istenilen değerde korunmasını sağlarlar. Bir OGR sistemini terminal gerilimini belirlenen değerde tutmaya çalışan kapalı bir kontrol sistemi olarak ifade edilebilir (Kılıç & Özdemir, 2019).

Bir OGR sistemi yükseltici, uyarıcı, jeneratör ve sensör olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır. Her bileşen, Şekil 1'de gösterildiği gibi sırasıyla K_a , K_e , K_g ve K_s kazançları ve τ_a , τ_e , τ_g ve τ_s zaman sabitleri ile birinci dereceden bir sistem olarak temsil edilir (Munagala & Jatoh, 2022). OGR sistemine bir PID kontrolör sistemin dinamik tepkisini iyileştirmek ve terminal gerilimini 1.0 per unit (p.u.)'de tutmak için eklenir. Yapısında PID kontrolör bulunduran OGR sisteme ait diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Bu blok diyagramı oluşturan elemanlara ait bilgiler aşağıda verilmiştir (Gaing, 2004; Gozde & Taplamacioglu, 2011; Özdemir & Çelik, 2017; Shankar & Kundur, 1994; Yildirim, ÖZDEMİR, & İbrahim, 2019; Zamani, Karimi-Ghartemani, Sadati, & Parniani, 2009).



2.1. Yükseltici modeli

Denklem 1’de verilen yükseltici transfer fonksiyonu bir kazanç K_a ve bir zaman sabiti τ_a ile modellenir. Denklem 1’de, K_a kazancının tipik değerleri 10-500 arasında değişir iken yükseltici zaman sabiti τ_a , genellikle 0.02-0.1 sn arasında değişir.

$$G_a(s) = \frac{K_a}{\tau_a \cdot s + 1} \quad (1)$$

2.2. Uyarıcı modeli

Denklem 2’de verilen uyarıcı transfer fonksiyonu bir kazanç K_e ve bir zaman sabiti τ_e ile modellenir. Denklem 1’de, K_e kazancının tipik değerleri 1-10 arasında değişir iken uyarıcı zaman sabiti τ_e , genellikle 0.4-1.0 sn arasında değişir.

$$G_e(s) = \frac{K_e}{\tau_e \cdot s + 1} \quad (2)$$

2.3. Jeneratör modeli

Denklem 3’te verilen jeneratör transfer fonksiyonu bir kazanç K_g ve bir zaman sabiti τ_g ile modellenir. Denklem 1’de, K_g kazancının tipik değerleri 0.7-1.0 arasında değişir iken jeneratör zaman sabiti τ_g , genellikle 1.0-2.0 sn arasında değişir.

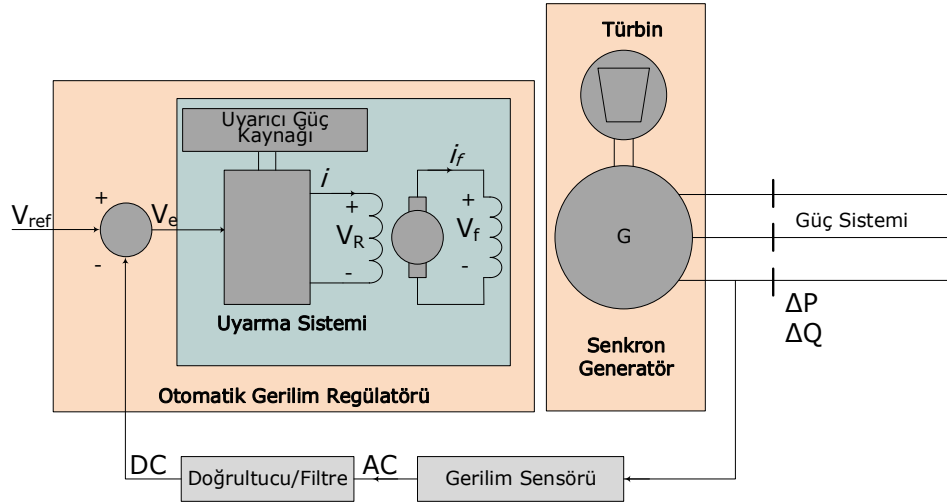
$$G_g(s) = \frac{K_g}{\tau_g \cdot s + 1} \quad (3)$$

2.4. Sensör modeli

Denklem 4’te verilen sensör transfer fonksiyonu bir kazanç K_s ve bir zaman sabiti τ_s ile modellenir. Denklem 1’de, K_s kazancının tipik değeri yaklaşık 1 iken sensör zaman sabiti τ_s , genellikle 0,001-0,06 sn arasında değişir.

$$G_s(s) = \frac{K_s}{\tau_s \cdot s + 1} \quad (4)$$

Şekil 2’de bir OGR sisteminin şematik diyagramı gösterilmektedir.



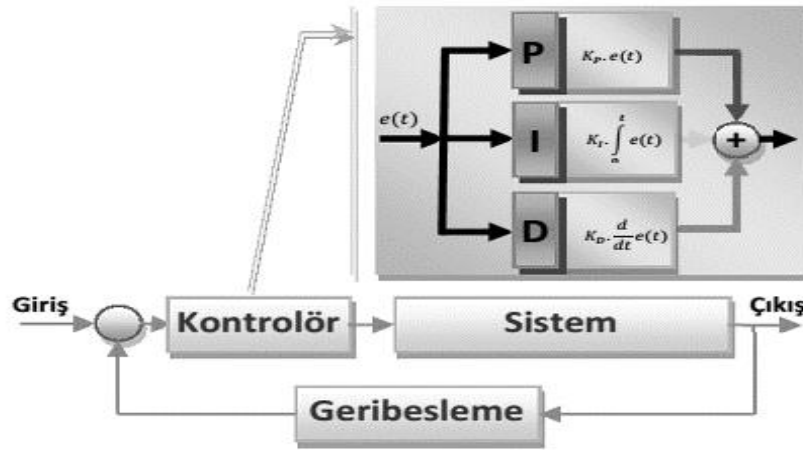
Şekil 2. OGR sisteminin şematik modeli [13]

2.5. PID Denetleyici

PID kontrolör, basit yapıları nedeniyle endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PID kontrolün transfer fonksiyonu Denklem 5'te gösterilmektedir (GÜVENÇ, IŞIK, YİĞİT, & Akkaya, 2016). Ayrıca geri beslemeli bir kontrol sistemi için PID kontrolör yapısı Şekil 3'te gösterilmiştir.

$$G(S) = \frac{U_S}{E_S} = K_p + \frac{K_i}{S} + K_D S \quad (5)$$

Denklem 5'de K_p oransal kazancı, K_i integral kazancını ve K_d ise diferansiyel kazancı gösterir. K_p kazancı, kontrol sisteminde döngü kazancını artırır. K_d diferansiyel kazanç değeri ise sistemin geçici yanıtı geliştirir. Son olarak K_i integral kazancı sistemin kararlı durum (steady-state) hatasını azaltır.



Şekil 3. Geribeslemeli kontrol sistemi ve PID kontrolör (VATANSEVER & Deniz, 2013).

Oransal integral türev (PID) denetleyici OGR sistemde dinamik yanıtı iyileştirmek ve azaltmak için kullanılır ve sabit durum hatasını ortadan kaldırır. PID kontrolöre sahip OGR sistem için transfer fonksiyonu Denklem 6'da verilmiştir (GÜVENÇ et al., 2016).

$$\frac{\Delta V_e(S)}{\Delta V_{ref}(S)} = \frac{(S^2 K_d + S K_p + K_i)(K_a K_e K_g)(1 + S T_s)}{S(1 + S T_s)(1 + S T_e)(1 + S T_g)(1 + S T_s) + (S^2 K_d + S K_p + K_i)(K_a K_e K_g)} \quad (6)$$

3. Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritmalar (GA) yapay zekanın bir araştırma alanıdır ve birçok alanda kullanılmaktadır. Bu optimizasyon ve araştırma yöntemi Darwin'in doğal seçim ve evrim kuramı prensibine dayanmaktadır. Genetik algoritmaların temelleri 1970'li yıllarda John Holland tarafından ortaya atılmıştır (Yıldız, Çiftçi, Ayan, & Türkay). Doğada yaşayanlar, hayatta kalmak için savaşır ve savaşı güçlü olan kazanır. Burada çocuklar yeni bir nesillerden türetilir. Bunu yapabilmek için nesillerden en iyi bireyler seçilir. Anne ve babalarına benzeyen çocuklar kesinlikle ebeveynleri ile aynı değillerdir. Bu sebeple, baba ve annelerinden iyi ya da kötü olabilirler. Burada amaç daha iyi bir kuşak elde etmektir.

Genetik Algoritma'nın her zaman optimum çözümü bulmadığını da hatırlatmak gerekir. Güncel problemler için en iyiye yakın çözümleri bulmada klasik hesaplama yöntemleri ile çözülemeyen problemler genetik algoritma ile saniyeler içinde çözülebilir. Ayrıca rastgelelik bu algoritmanın en önemli hususudur. Genetik algoritmalar birçok alanda uygulanabilir: biyogenetik, bilgisayar bilimi, mühendislik uygulamaları ekonomi, kimya, imalat, matematik, fizik ve diğer alanlar. Aşağıdaki adımlar uygulanarak genetik algoritma kısa kodu oluşturulur (Şahin & Çoklar):

1. Rastgele olarak başlangıç popülasyonunu oluştur.
2. Amaç fonksiyonunun tüm popülasyon için hesaplanması.
3. Operatörlerin (Tekrar üreme, çaprazlama ve mutasyon) uygulanması.
4. Üretilen her yeni kromozomun amaç fonksiyonu değerinin belirlenmesi.
5. Popülasyondan amaç fonksiyonu değerine göre uygun olmayan kromozomların çıkarılması.
6. Hedefe ulaşan kadar 3-5 arasındaki basamakları tekrar et.

3.1. Genetik algoritma ayarlama yöntemi

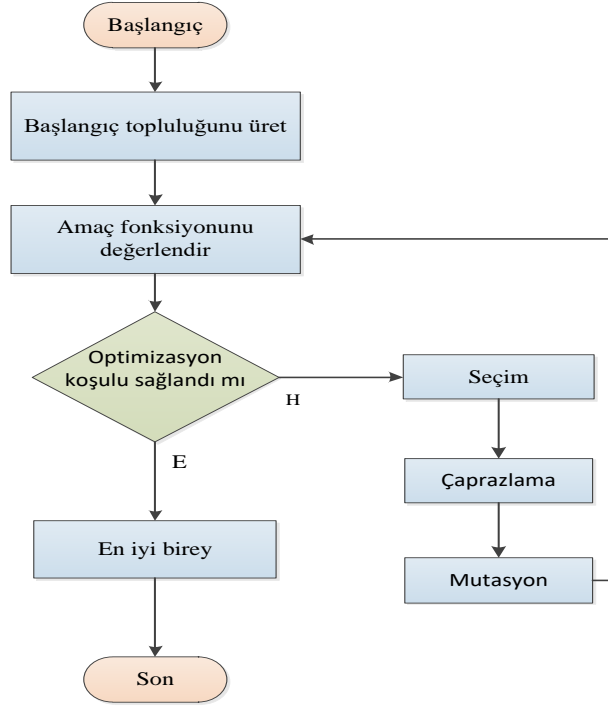
Uygunluk (Fitness) fonksiyonu, GA'yı kullanmak için en iyi yaklaşımdır. Uygunluk değeri, yeni popülasyona taşınacak kromozomların belirlenmesinde kullanılan bir araçtır. Bu nedenle, algoritmanın her iterasyonunda popülasyondaki kromozomların uygunluk değeri hesaplanır. Yüksek uygunluk değerine sahip bireyler daha büyük olasılıkla seçilmelidir. Hedef fonksiyonu şu şekilde verilir:

$$U = \int_0^T t \cdot |e(t)| dt \quad (7)$$

Kromozomların seçim işlemi için aritmetik değeri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$A = (1 - U) \quad (8)$$

İlk popülasyon oluşmasından sonra, her kromozom için hedef fonksiyonu hesaplanır ve çoğunlukla sonuçlar sonlandırma kriterlerini sağlamaz. Bundan dolayı yeni bir popülasyon (yeni nesil) oluşturmak için bir ihtiyaç doğar. Şekil 4 'deki akış şemasında bu adımlar gösterilmektedir.



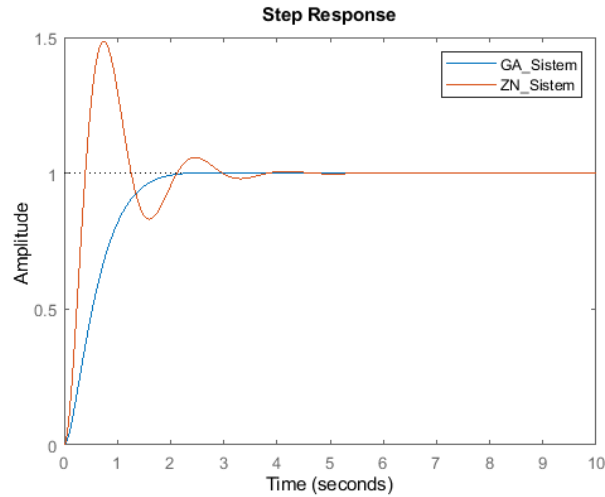
Şekil 4. Genetik Algoritma programı akış şeması

4. Analiz Sonuçları

Bu bölümde Genetik algoritma ile ayarlanmış PID parametrelerinin OGR'deki etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçlarında genetik algoritma için elde edilen sonuçlar literatürde PID kontrolörlerin parametre değerlerini ayarlama için yaygın olarak kullanılan Ziegler-Nichols (Z-N) yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Analiz işlemleri hem zaman domeni hem de frekans domeniinde gerçekleştirilmiştir. Sistem parametre değerleri $K_a = 10$, $\tau_a = 0.1s$, $K_e = 1$, $\tau_e = 0.4s$, $K_g = 1$, $\tau_g = 1s$, $K_s = 1$ ve $\tau_s = 0.05s$ olarak seçilmiştir [7], [12], [13], [15]–[17].

4.1. Zaman domeni analiz sonuçları

Bu bölümde OGR sistemi için elde edilen zaman analiz sonuçları verilmiştir. Analiz çalışmalarında sisteme birim basamak giriş uygulayarak gerilimin zamana göre değişimi elde edilmiştir. Gerilimin zamana göre değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'te verilen zaman yanıtı cevabına ait değerler ayrıca Tablo 1'de verilmiştir.

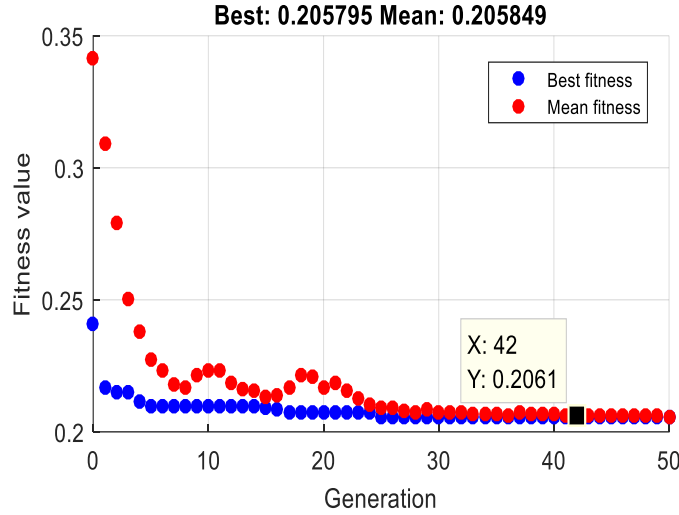


Şekil 5. Klasik Z-N ve optimizasyon GA ile OGR sisteme ait gerilimin zamana göre değişimi

Tablo 1. Genetik algoritma ve Z-N ayarlama yöntemleri ile ayarlanan PID kontrolöre ait performans karşılaştırması

| Parametreler | Ayarlama yöntemi | |
|---------------------|------------------|-------------------|
| | Z-N | Genetik Algoritma |
| K_p | 0,7294 | 0.20 |
| K_i | 1,1168 | 0.1476 |
| K_D | 0,1191 | 0.05 |
| Aşma (%) | 11.8 | 0 |
| Yerleşim zamanı (s) | 10.35 | 2.53 |

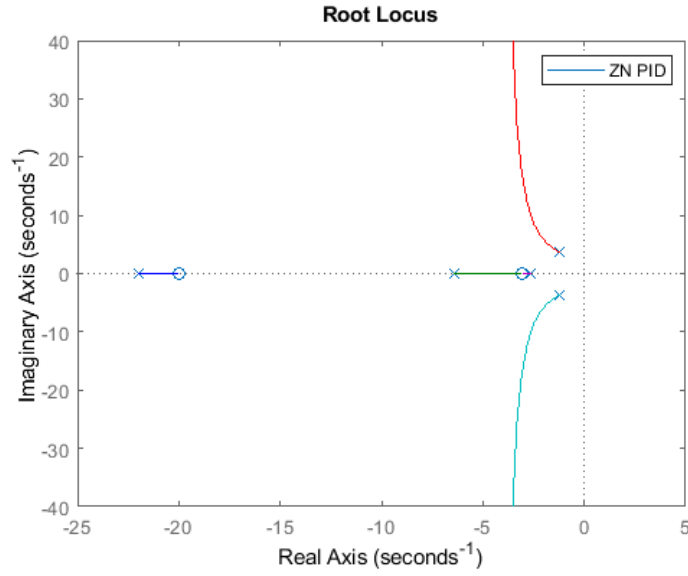
Şekil 5 incelendiği zaman önerilen genetik algoritma yöntemi ile elde edilen sonuçların klasik Z-N yöntemine göre daha iyi bir dinamik yanıt sağladığı görülmektedir. Şekilde görüleceği üzere genetik algoritma yöntemi ile elde edilen zaman yanıtında sistemde daha küçük bir aşma meydana gelmiş ve ayrıca sistem sürekli duruma daha hızlı bir şekilde ulaşmıştır. Ayrıca Tablo 1’de verilen değerler incelendiği zaman bu değerlerinde şekil 5 ile uygun olduğu görülmektedir. Tabloda görüleceği üzere önerilen yöntem ile sistemde aşma meydana gelmemiştir ve bu yönüyle daha iyi dinamik performans sergilemiştir. Ayrıca yerleşme süresi açısından genetik algoritma 1.7623 yerleşme süresi meydana gelirken Z-N yönteminde bu değer 3.3621 saniyeyi bulmaktadır. Ayrıca aşım değeri olarak Ga ile 1.011 iken Z-N metodu ile 1.4856 bulunmaktadır. Bu yönüyle de yine önerilen yöntem daha iyi bir dinamik yanıtı sahiptir. Şekil 6’da her iterasyonda en iyi uygunluk değerini göstermektedir. 42 iterasyondan sonra uygunluğun değerinin değişmediğine dikkat edilmiştir.

**Şekil 6.** Her iterasyonda en iyi fitness değeri

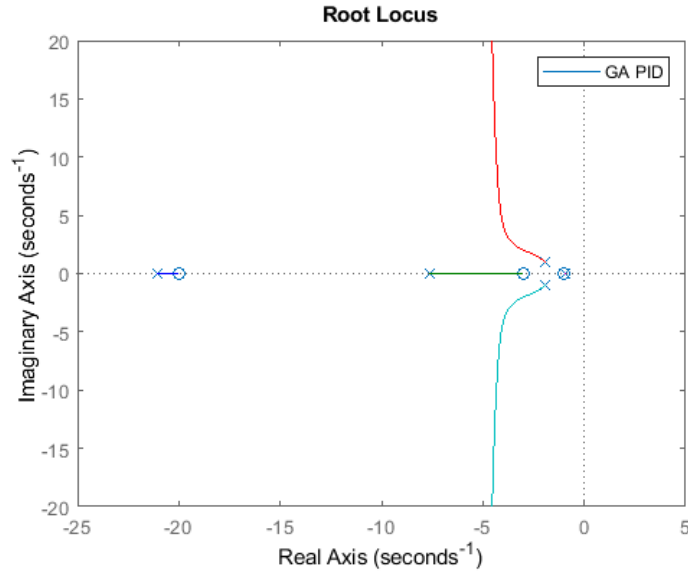
4.2. Frekans domeni analiz sonuçları

4.2.1. Kök eğrileri yöntemi

Kontrolde geri besleme kazancının artırılması sonucu kutup ve sıfırların yeni pozisyonlarını belirlemeye yarayan yöntemdir. Burada açı ve büyüklük koşulları kullanılır ve kolay bir yöntemdir. Bu yöntem herhangi bir sistemin kararlılık tepkisine ve geçici hal tepkisine bakarak sistem hakkında analiz yapabilmemizi sağlar. Kök yer eğrileri, Z-N için Şekil 10 ve GA için Şekil 11’de gösterilmektedir. Kapalı döngü kutupları ve sönüm oranları Tablo 2’de gösterilmektedir.



Şekil 10. Kök yer eğrileri, Z-N yöntemi



Şekil 11. Kök yer eğrileri Genetik algoritma yöntemi

Tablo 2. Kapalı döngü kutupları ve sönüm oranları

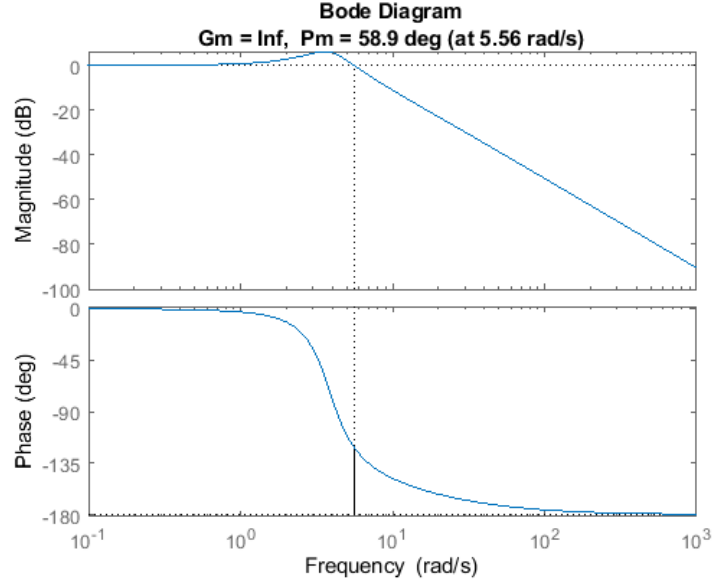
| Geleneksel PID | | Genetik Algoritma | |
|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Kapalı Döngü Kutupları | Sönüm Oranı | Kapalı Döngü Kutupları | Sönüm Oranı |
| -21.9804 | 1 | -21.0462 | 1 |
| -6.3843 | 1 | -7.6119 | 1 |
| -2.6657 | 1 | -0.9534 | 1 |
| -1.2348 + 3.6609i | 0.32 | -1.9442 + 1.0255i | 0.884 |
| -1.2348 - 3.6609i | 0.32 | -1.9442 - 1.0255i | 0.884 |

Tablo 2’de gösterildiği gibi kutup ne kadar sol yarı düzlemde olursa o kadar sistemin hızı düşer. Sönüm katsayısı küçüldükçe çıkış daha osilasyonlu olur. Genetik algoritmanın sistem kararlılığına etkisinin daha büyük olduğunu gösterir. GA ile sönüm oranı 0.90 iken geleneksel PID ayarlama yönteminde 0.53’tür.

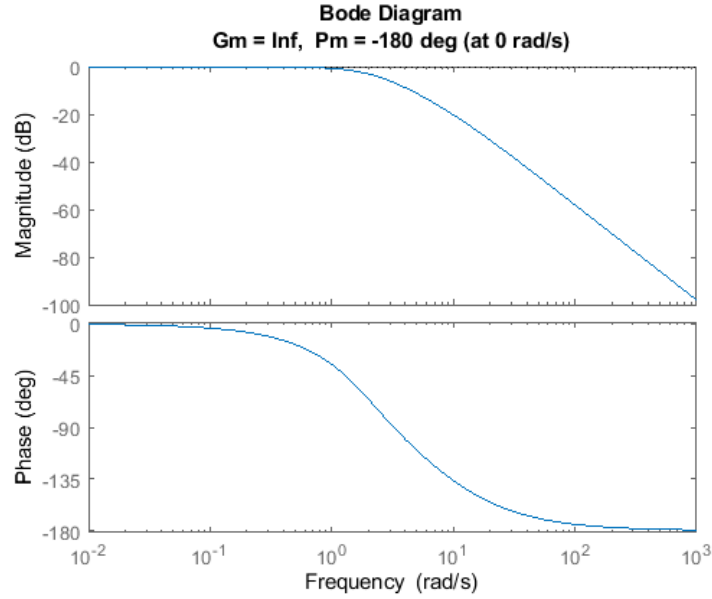
4.2.2. Bode Diyagramı

Bir sistemin frekans cevabı olarak tanımlanır. Bode diyagramı, Bode genlik diyagramı ve Bode faz diyagramı olan iki bileşenden oluşur. Kazanç Marjini ve Faz Marjini ise Göreceli Kararlılığı belirlemek için kullanılır. Bunlar Şekil 12 ve Şekil 13’te gösterilmektedir.

Kazanç Marjini, kapalı sistemin kararlılığı bozulmadan açık döngü sistemin kazancını ne kadar daha arttırabileceğimizi gösterir. Faz Marjini, kapalı sistemin kararlılığı bozulmadan açık döngü sistemin fazına ne kadar daha faz ekleyebileceğimizi gösterir. Bu durum Tablo 3’te gösterildiği gibidir.



Şekil 12. Bode genlik diyagramı ve Bode faz diyagramı, Z-N yöntemi



Şekil 13. Bode genlik diyagramı ve Bode faz diyagramı, GA yöntemi

Tablo 3. OGR sisteminin kararlılık karşılaştırması

| Ayarlama yöntemi | Tepe kazanç | Kazanç Marjini | Faz Marjini (deg) | Gecikme Marjini |
|--------------------------|-------------|----------------|-------------------|-----------------|
| Geleneksel PID | Sonsuz | Sonsuz | 58,9299 | 5,5564 rad/sn |
| | Sonsuz | Sonsuz | -180 | 0 rad/sn |
| Genetik Algoritma | | | | |

Tablo 3'te OGR sisteminin kararlılık karşılaştırması için Kazanç Marjini, Faz Marjini (deg) ve Gecikme Marjini gösterilmiştir. Burada Genetik Algoritma tarafından ayarlanan sistemin en iyi frekans cevabı verdiği görülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, OGR sisteminin kontrolörü için PID kullanılmıştır. PID parametrelerini ayarlamak için ise GA kullanılmıştır. Ayrıca GA'nın optimizasyon performansı, Z-N ayarlama yöntemin performansı ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar için zaman ve frekans bölgesi analizi kullanılmıştır. Analiz sonunda GA ile optimize edilen kontrol sisteminin maksimum aşımaları ve oturma süreleri klasik yöntemle göre daha küçüktür. Bu sonuçlara göre GA'nın daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. Son olarak ileri çalışmalar için GA'nın diğer popülasyon tabanlı optimizasyon algoritmaları ile performans karşılaştırılması yapılabilir.

Bilgilendirme

Bu çalışma mühendislik bilimleri araştırma ve geliştirme uygulamaları özel sayısı çağırısı kapsamında değerlendirilmiştir.

Kaynaklar

Balu, C., & Maratukulam, D. (1994). *Power system voltage stability*: McGraw-Hill New York, NY, USA.

Chatterjee, S., & Mukherjee, V. (2016). PID controller for automatic voltage regulator using teaching–learning based optimization technique. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 77, 418-429.

Dembicki, E., & Chi, T. (1989). System analysis in calculation of cantilever retaining walls. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 13(6), 599-610.

Eke, I., Saka, M., Gozde, H., Arya, Y., & Taplamacioglu, M. C. (2021). Heuristic optimization based dynamic weighted state feedback approach for 2DOF PI-controller in automatic voltage regulator. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(4), 899-910.

Gaing, Z.-L. (2004). A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system. *IEEE transactions on energy conversion*, 19(2), 384-391.

Gozde, H., & Taplamacioglu, M. C. (2011). Comparative performance analysis of artificial bee colony algorithm for automatic voltage regulator (AVR) system. *Journal of the Franklin Institute*, 348(8), 1927-1946.

Gözde, H., Taplamacioglu, M. C., & Ari, M. (2017). *Simulation study for global neighborhood algorithm based optimal automatic voltage regulator (AVR) system*. Paper presented at the 2017 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG).

Güngör, B., OZTURK, N., Selim, Ö., & Kenan, Ü. Otomatik gerilim regülatörü için hibrit bir denetleyici tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

GÜVENÇ, U., IŞIK, A. H., YİĞİT, T., & Akkaya, I. (2016). Performance analysis of biogeography-based optimization for automatic voltage regulator system. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24(3), 1150-1162.

Kılıç, E., & Özdemir, M. T. (2019). Güç sistemlerindeki optimum otomatik gerilim regülasyonu için çoklu amaç fonksiyonunun belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 1-12.

Kim, D.-H., & Abraham, A. (2007). A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization and robust tuning of PID controller with disturbance rejection *Hybrid evolutionary algorithms* (pp. 171-199): Springer.

Mosaad, A. M., Abdelaziz, A. Y., & Attia, M. A. (2017). A Survey on Optimal Design of Controller for AVR Performance Enhancement. *i-Manager's Journal on Instrumentation & Control Engineering*, 6(1), 31.

- Moschos, I., & Parisses, C. (2022). A novel optimal PI λ DND $2N_2$ controller using coyote optimization algorithm for an AVR system. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26, 100991.
- Mukherjee, V., & Ghoshal, S. (2007). Intelligent particle swarm optimized fuzzy PID controller for AVR system. *Electric Power Systems Research*, 77(12), 1689-1698.
- Munagala, V. K., & Jatoth, R. K. (2022). Improved fractional PI λ D μ controller for AVR system using Chaotic Black Widow algorithm. *Computers & Electrical Engineering*, 97, 107600.
- Özdemir, M., & Çelik, V. (2017). Stability analysis of the automatic voltage regulation system with PI controller. *Sakarya University Journal of Science*, 21(4), 698-705.
- Panda, S., Sahu, B. K., & Mohanty, P. K. (2012). Design and performance analysis of PID controller for an automatic voltage regulator system using simplified particle swarm optimization. *Journal of the Franklin Institute*, 349(8), 2609-2625.
- Shankar, R., & Kundur, P. (1994). Power system stability and control II. *New York, McGraw-Hill Books pp581*.
- Şahin, A. G. Y. L., & Çoklar, A. G. A. N. ÖĞRETİM YAZILIMLARININ TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMALARIN KULLANILMASI.
- VATANSEVER, F., & Deniz, S. E. (2013). Genetik Algoritma Tabanlı PID Kontrolör Simülatörü Tasarımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 18(2), 7-18.
- YILDIRIM, B. (2017). Investigation with modal analysis of effects of high PV penetration on power system voltage stability. *International Journal of Energy and Smart Grid*, 2(1), 17-26.
- YILDIRIM, B., & GENÇOĞLU, M. T. (2017a). Impact of Microgrid on Power System Voltage Stability. *integration*, 1, 2.
- Yildirim, B., & Gençoğlu, M. T. (2017b). Modal Analysis of Power System with a Microgrid. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(10), 1068-1073.
- Yildirim, B., ÖZDEMİR, M. T., & İbrahim, E. (2019). *Design of integer order approximation fractional order controller with for automatic voltage regulation system*. Paper presented at the 2019 4th International conference on power electronics and their applications (ICPEA).
- Yıldız, B., Çiftçi, H., Ayan, O., & Türkay, B. E. Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu Cost Analysis of the Effect of Electric Vehicles on Distribution Network and Optimization with Genetic Algorithm.
- Zamani, M., Karimi-Ghartemani, M., Sadati, N., & Parniani, M. (2009). Design of a fractional order PID controller for an AVR using particle swarm optimization. *Control Engineering Practice*, 17(12), 1380-1387.
- Zhu, H., Li, L., Zhao, Y., Guo, Y., & Yang, Y. (2009). CAS algorithm-based optimum design of PID controller in AVR system. *Chaos, Solitons & Fractals*, 42(2), 792-800.