



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Doğrusal Sistemlerin Model Bağımsız Kontrolü

Model Free Control of Linear Systems

Yazar(lar) (Author(s)): Fatih KORKMAZ¹, Hasari KARCI²

¹ORCID ID: 0000-0002-5182-3774

²ORCID ID: 0000-0002-2433-043X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Korkmaz F., Karci H., "Doğrusal Sistemlerin Model Bağımsız Kontrolü", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2): 122-133, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Doğrusal Sistemlerin Model Bağımsız Kontrolü

Fatih KORKMAZ¹, Hasari KARCI²

^{1,2}Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 63000, Haliliye/ŞANLIURFA

Öz

Bu çalışmada, doğrusal ve kararlı olmayan manyetik levitasyon sisteminin doğrusallaştırılmış sistem modeli kullanılarak model bağımsız kontrolü yapılmıştır. Akıllı PID kontrolün (iPID) ve klasik PID kontrolün performansı karşılaştırılmıştır. Manyetik levitasyon modeli üzerinde MATLAB-Simulink ortamında yapılan uygulamalar ile iPID kontrolörün PID kontrolöre sağladığı avantajlar gösterilmiş ve iki metot kapsamlı olarak karşılaştırılmıştır. iPID kontrol metodunun klasik PID kontrolöre göre avantajları gösterilmiştir. Ayrıca, iPID kontrol metodunda kontrolör performansını etkileyen ve değeri deneme yanılma ile tespit edilen α parametresinin gerçek zamanlı kestirimini mümkün kılan bir algoritma kontrolör yapısına dahil edilmiştir. iPID kontrolörün model bağımsız karakteristiğini incelemek amacıyla kurgulanan iki uygulama örneği üzerinde çalışılmıştır. Sistem modeline ait parametreler üzerinde yapılan değişikliklere ve dışardan dahil edilen bozucu etkilere karşı iPID ve klasik PID kontrolörün manyetik levitasyon modeli üzerinde aldığı sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. α parametresi için önerilen algoritmanın dahil edildiği iPID kontrolör ile iPID kontrolörün aynı senaryolar karşısında aldıkları sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece iPID uygulama metoduna dahil edilen bu güncellenmenin metoda sağladığı katkı ve ilerleme gösterilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 09/06/2020
Kabul: 29/07/2020

Anahtar Kelimeler

Model Bağımsız Kontrol
iPID
Manyetik Levitasyon

Keywords

Model Free Control
iPID
Magnetic Levitation

Model Free Control of Linear Systems

Abstract

In this study, linearized system model of magnetic levitation system which is nonlinear and unstable has been controlled with model free control method. Intelligent PID (iPID) and conventional PID controller performances have been compared. It has been shown that advantages of iPID controller over conventional PID controllers on magnetic levitation model with MATLAB-Simulink environment and results were compared. The advantages of iPID controller over PID method have been explained. Also, a method is developed and included to controller structure for online estimation of the α parameter which is critically essential on controller performance and yet its value is identified by trials and errors on system. It has been studied on two application examples built to emphasize the model free characteristics of iPID controller. The results PID and iPID controllers acquired have been examined comparatively on magnetic levitation model despite of the changes built on system model and disruptive effects included externally. The results acquired for same setups by conventional iPID and iPID controller structure which is updated with online estimation algorithm of α parameter were compared. The contribution and advance by the relevant update algorithm which is included to iPID control method have been shown in this manner.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kontrol sistemlerinin temel amacı kontrol edilen sistemin davranışlarını istenilen aralıkta veya değerde tutmaktır. Hassasiyet, tepki süresi ve değişken koşullara istenilen yanıtı verebilmesi bir kontrol sisteminden beklenen temel çıktılardan bazılarıdır.

Kontrol sistemlerinde, kontrolör tasarımı için sistemin modellenmesi temel adımlardan biridir. Endüstriyel anlamda kontrol edilmesi gereken birçok uygulama doğrusal olmayan süreçlerdir. Modelleme ve elde edilen doğrusal olmayan modellerin doğrusallaştırılması çoğu zaman zahmetli ve zaman alan süreçlerdir. Sistem modellemesi sırasında yapılan varsayımlar ve sistemin davranışına etki eden tüm parametrelerin modele dahil edilememesi nedeni ile literatürdeki kontrol metodlarının başarısı düşmektedir. Bu sebepten kontrol uygulamalarında modelden bağımsız kontrolör geliştirilmiştir. Fliess ve Join model bağımsız kontrol (model-free control) yaklaşımını öne sürmüşlerdir [1],[2]. Fliess ve Join ilgili çalışmalarında model parametrelerinden kısmen ya da tamamen bağımsız olarak tasarladıkları PID temelli kontrolörü iPID (intelligent PID) olarak adlandırmışlardır.

Denklem 2.1 de görüldüğü gibi, model bağımsız kontrol metodunda sadelik adına sistem tek bir kontrol değişkeni u ve tek bir çıkış değişkeni y ile sınırlandırılmıştır. Bu metod temelde sistem çıkışının sürekli güncellenen bir F değeri ve kontrol sinyali u 'nun sistem davranışları gözlemlenerek deneme yanılma yoluyla belirlenen α katsayısıyla çarpımının toplamı olarak ifade edilmesi ve çıkış değerine göre F değerinin özgül bir yöntemle sürekli güncellenmesine dayanır.

Model bağımsız kontrol metodu üzerine çok sayıda uygulamalı ve teorik çalışma yapılmıştır. Aktif manyetik rulman kontrolü, DC-DC dönüştürücü kontrolü, endüstriyel 6 DOF bir robot kolun kontrolü ve senkron motor kontrolü üzerine yapılan çalışmalar iPID metodunun endüstriyel uygulamalarda çalışıldığı örnekler arasındadır [3,4,5,6].

Model bağımsız kontrol metodu PID'nin yanı sıra birçok kontrol metoduyla bütünleştirilebilen bir yöntemdir. iPID kontrol yönteminin diğer kontrolör yapılarıyla hibrit olarak uygulandığı bir çalışmalar ise şöyle sıralanabilir: Model bağımsız metodunun kayan kipli denetim yöntemiyle birlikte uygulandığı rüzgar türbinlerinde hız kontrolü ve quadrotor modeli ile sliding mod kontrol ile aktif araç süspansiyonu kontrolü [7,8,9].

Bu çalışmada, iPID kullanılarak dinamik, kararsız ve doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahip manyetik levitasyon sisteminin pozisyon kontrolü gerçekleştirilmiştir. Simulasyonda sistemin doğrusallaştırılmış MATLAB Simulink modeli kullanılmıştır. Aynı zamanda bugüne kadar levitasyon modeli üzerinde yapılan model bağımsız kontrol uygulamalarından farklı olarak, kontrol edilen model parametreleri ve dış bozucularda bazı değişiklikler kurgulanmış ve iPID kontrolörün bu değişimlere karşı performansı değerlendirilmiştir. Bu uygulamalarda iPID metodu ve klasik PID kontrol yaklaşımı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Daha önce iPID üzerinde yapılan uygulamalardan farklı olarak model bağımsız kontrol yönteminde kontrolör performansını önemli ölçüde etkileyen α parametresinin belirlenmesi için bir algoritma önerilerek iPID- α kontrolörü geliştirilmiştir. iPID- α kontrolörün PID ve iPID kontrollöre göre başarımı incelenmiştir.

2. MODEL BAĞIMSIZ KONTROL YÖNTEMİ (MODEL FREE CONTROL METHOD)

Fliess ve Join model bağımsız kontrol metodunda kolaylık sağlaması için sistemin matematik modelini tek bir kontrol değişkeni (u) ve tek bir çıkış değişkeni (y) ile ifade etmiştir [10]. Kompleks matematiksel model yerel model ile değiştirilmiştir.

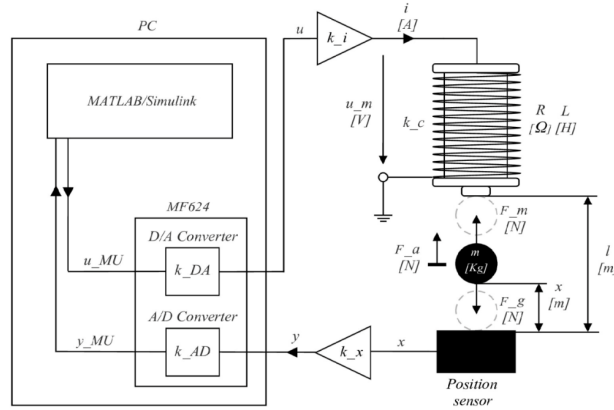
$$y^{(v)} = F + \alpha u \quad 2.1$$

Türev derecesi olan v uygulayıcı tarafından mümkün olduğunca düşük bir değer seçilir. ($v \geq 1$)

$\alpha \in R$ fiziksel olmayan sabit bir parametredir. Uygulayıcı tarafından αu ve $y^{(v)}$ sinyallerinin büyüklükleri eşit olacak şekilde seçilirler. Uygulamalarda α parametresinin değeri deneme-yanılma yöntemiyle belirlenmektedir [10].

Model bağımsız kontrol metodunda elde edilen hata değerine bağlı olarak kullanılan kontrolör hata sinyalini azaltacak doğrultuda bir kontrol sinyali üretir. Fakat üretilen kontrol sinyalinin sistem çıkışını istenilen aralığa yeterince hızlı bir şekilde getirmeye yetmediği durumlarda kontrol sinyalindeki açık sürekli olarak güncellenen F parametresi ile giderilmektedir. iPID yönteminde F parametresinin, kontrol sinyali u 'ya katkısı eşitlik 3.2' de gösterilmiştir. iPID ile kapalı döngü bir sistem elde edilirse kontrol sinyali (2.2) nolu denklemdeki gibi ifade edilmektedir [10].

nesnenin pozisyonunu iyileştirmek adına bobine veya bobinlere gönderilen akımı düzenler. Giriş sinyali kontrol sinyalidir, çıkış sinyali ise metal topun pozisyonu hakkında bilgi verir. Her iki sinyal değeri belirli bir aralıkta ölçeklendikten sonra işlenir.



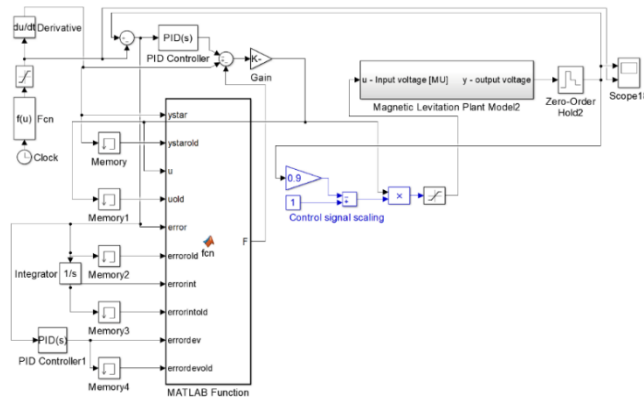
Şekil 2. CE 152 Manyetik Levitasyon Laboratuvar Ekipmanı Sistem Şeması [11]

Çalışmaları bilgisayar ortamında ve çeşitli senaryolar kurgulayarak, karşılaştırmalı bir şekilde sürdürmek amacıyla söz konusu sistem ile MATLAB-Simulink kütüphanesinde CE 152 MLE için oluşturulmuş yazılım kullanılarak çalışılmıştır.

iPID Kontrol

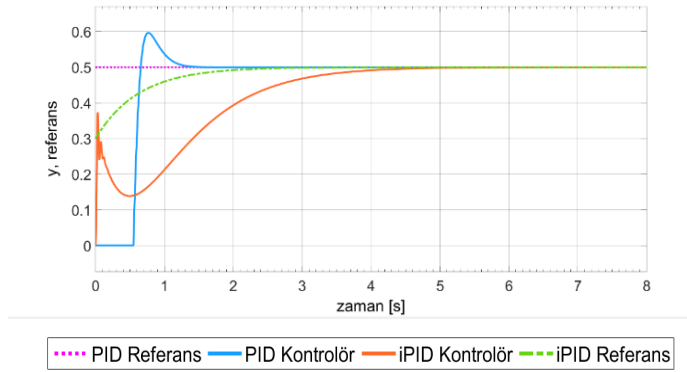
iPID kontrolörün model bağımsız karakteristiğini vurgulamak maksadıyla sistem modeli ve çevresel koşullar üzerinde kurgulanan değişiklikler ile uygulamalar yapılmış ve Simulink üzerinde alınan sonuç grafikleri paylaşılmıştır. Son bölümde ise model bağımsız kontrol yöntemi üzerinde yapılan ve parametre güncellemesine dayanan iyileştirmeye ilişkin detaylar bulunmaktadır. Model bağımsız kontrol metodunda uygulayıcı tarafından sistem davranışları göz önüne alınarak seçilen sabit α parametresinin kestirimine ilişkin bir geliştirme yapılmıştır. α parametresi için önerilen güncelleme (iPID- α) sonrası iPID kontrolörün, mevcut iPID kontrolör ile başarısı uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır.

Manyetik levitasyon modelinde referans değeri, metal topun hareket edebileceği maksimum aralık olan 0 ve 1 değerleri arasında seçilebilmektedir. PID kontrol düzeneği için referans değeri olarak 0.5 birim fonksiyon seçilmiştir. PID kontrolörün oransal, integral ve türevsel katsayıları *MATLAB PID Response Optimization* arayüzü ile $K_p = 0.4931$, $K_i = 3.0841$, $K_d = 0.0456$ olarak belirlenmiştir. iPID kontrol diyagramı için ise 0.5 birimlik referans değeri üstel bir fonksiyon olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. Simulink Üzerinde Model Bağımsız Kontrol Metodu Uygulanmış Manyetik Levitasyon Modeli

Referans değeri olarak $y^* = 0.5 - 0.2 \times e^{-1.6t}$ ifadesi seçilmiştir. Bu bölümde α parametresi için bir kestirim algoritması kullanılmamış, sistem davranışları gözlemlenerek en iyi sonucu alacak şekilde $\alpha = 0.4$ değeri seçilmiştir.



Şekil 4. Simulink Manyetik Levitasyon Modeli Üzerinde PID ve iPID Kontrol Düzenekleri Referans ve Çıkış Değerleri

Şekil 4' de levitasyon modelinin iPID ile kontrolü için oluşturulan simulink modeli görülmektedir. Şekil 4' de görülen fonksiyon bloğu F değişkeninin gerçek zamanlı kestirimi için kullanılmıştır. Yerel modelin derecesi $v= 1$ olarak seçilmiştir. iPID döngüsünde F parametresinin gerçek zamanlı kestirimi için denklem (2.4) ile gösterilen ve F parametresinin iPID döngüsünde eldesini gösteren eşitlik bir MATLAB fonksiyon bloğuyla oluşturulmuştur.

Şekil 4' de verilen benzetim grafiğinde PID kontrolör için verilen 0.5 birim fonksiyon ve iPID kontrolör için verilen ve üstel olarak 0.5 değerine ulaşan referans değerleri görülebilmektedir.

iPID kontrolör yapısının çıkış değeri incelendiğinde referans değeri olan 0.5 birimi başarıyla takip ettiği ve manyetik levitasyon modelinin kontrolünü sağlayabildiğini görmekteyiz. PID kontrolörün referans değerini 1.5 saniyede % 19.24' lük bir aşım değeriyle takip ettiği görülmektedir. iPID kontrolör ise 4.2 saniyede aşım meydana gelmeden kontrolü sağlamaktadır. Manyetik levitasyon modeli için 0 -1 arası seçilebilen referans değeri 1 değerine daha yakın seçildiğinde PID kontrolörün aşım değerinin ve iPID kontrolörün yerleşme zamanının düştüğü gözlemlenmiştir.

Model Bağımsız Kontrol Metodunda α Parametresinin Gerçek Zamanlı Kestirimi

Model bağımsız kontrol metodunda kontrol sinyalinin (u) elde edilmesinde ve F parametresinin güncellenmesinde α parametresi belirleyici bir rol oynamaktadır. Kontrol sinyalinin kazanç değeri de diyebileceğimiz α parametresinin belirlenmesinde sistem davranışları göz önüne alınarak bir değer belirlenmektedir [10]. Aldığı değer kontrolörün performansını doğrudan etkiliyor olması bu parametrenin belirlenmesini önemli kılmaktadır. Literatürde model bağımsız kontrol üzerine yapılmış olan çalışmalarda α parametresinin optimizasyonu ve ya belirlenmesi için bir metot üzerinde durulmamıştır. Fliess ve Join uygulamalarında α parametresini sabit bir değer olarak belirlemişlerdir [10].

Bu çalışmada, α parametresinin gerçek zamanlı kestirimi için bir algoritma önerilmiş ve kontrolör yapısına dahil edilmiştir. Yapılan bu güncelleme ile kontrolör performansının arttığı gözlemlenmiştir.

Önerilen algoritmaya göre; α parametresi başlangıç değeri olarak $\alpha = 1$ seçilir ve çıkış değeri ile referans değeri arasındaki anlık fark nispetinde çıkış kontrol sinyalini arttıracak ya da azaltacak şekilde parametre değişken bir kazanç değeriyle çarpılır. Bu işlem sırasında α değeri sistemin çıkışının kararsızlaşmasını önlemesi için 0-1.5 değer aralığında tutulur.

α parametresinin değerini güncelleyen algoritmanın temel yapısı bir if döngüsü içerisinde aşağıdaki sözde kod ifadesinde görülmektedir.

```
eğer ref-y1>0.001
    alfayı 0.0001 azalt;
eğer ref-y1>ref*0.1
```

```

alfayı %2 küçült;
eğer y1-ref>0.001
    alfabı 0.0001 arttır;
eğer y1-ref>ref*0.1
    alfabı %5 büyüt;
aksi takdirde
    alfa sabit kalır;
son

```

Önerilen algoritmanın iPID performansına etkisini görebilmek adına bir örnek üzerinde inceleme yapılmıştır. Fliess ve Join' in Model bağımsız kontrol üzerine söz konusu çalışmaları bir örnek oluşturması amacıyla tekrarlanmıştır [10]. İlgili çalışmada iP kontrolörün PID kontrolör üzerinde avantajlarını göstermek amacıyla üzerinde çalışılan sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki denklemde görülmektedir.

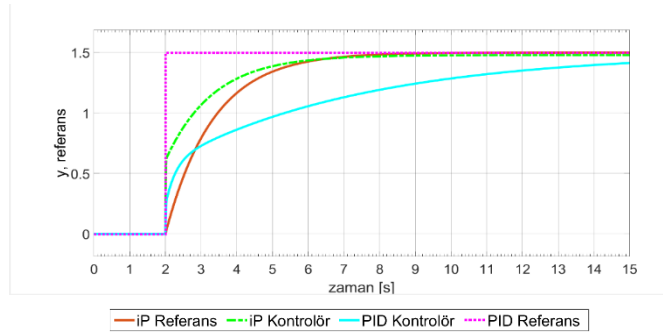
$$H_1(s) = \frac{(s+2)^2}{(s+1)^3} \quad 3.1$$

Söz konusu sistem için oluşturulan PID ve iP kontrolör yapıları referans değeri olan 1.5 birimi başarıyla takip edebilmişlerdir. Çalışmanın ikinci kısmında ise kontrol edilmek istenen sistemin transfer fonksiyonu üzerinde aşağıda verilen kök değişikliği yapılmıştır.

$$H_2(s) = \frac{(s+2)^2}{(s+2.2)^3} \quad 3.2$$

Transfer fonksiyonunda yapılan bu değişiklik sonrası PID ve iP kontrolörlerin referans değerini takip etmedeki performanslarına ilişkin veriler Şekil 5' de verilen grafikte paylaşılmıştır.

Şekil 5' da verilen grafikte görüldüğü gibi sistem modelinde yapılan değişikliğe rağmen iP kontrolör referans değerini bir miktar sapmayla dahi olsa yakalayabilmektedir.



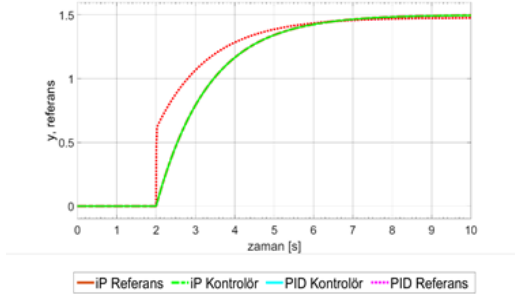
Şekil 5. Transfer fonksiyonu üzerinde değişiklik yapılan sistem üzerinde PID ve iP KontrolDüzenekleri Referans ve Çıkış Değerleri

Buna karşın PID kontrolör, sistem modelindeki değişiklik sonrası referans değerini yakalayamamaktadır. Bu çalışmada, α parametresinin değeri için herhangi bir metot kullanılmamış; yalnızca sistem davranışları gözlemlenmiştir. Fakat α parametresinin deneme yanılma yoluyla belirlenmesi esnasında sistemlerin salınımına girmesi ihtimalinden dolayı, bu yaklaşımın simülasyon ortamı dışında kontrolör tasarımı için kullanımının kısıtlı olduğu not edilmelidir.

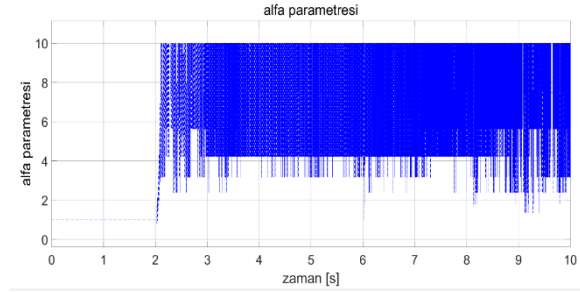
iP- α kontrolör yapısı yukarıda bahsi geçen senaryoda kullanılmak ve iP kontrolörün çıkış değerleriyle karşılaştırılmak için söz konusu sistem üzerinde uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler Şekil 6' da görülmektedir.

Şekil 7' de verilen grafikte görüldüğü iP- α kontrolör yapısı herhangi bir müdahaleye gerek kalmadan α parametresini optimum olarak ayarlamış ve kontrolörün sistemin referans değerini sürekli olarak hatasız bir şekilde takip etmiştir. Şekil 7' de verilen grafikte görüldüğü gibi simülasyon boyunca sistem çıkışının referans değerini minimum hatayla takibini mümkün kılacak şekilde α parametresi sürekli olarak güncellenmiştir.

Bu yaklaşım kontrolör performansını arttırmaktadır. Bunun yanı sıra iPID kontrolör tasarımında α parametresinin belirlenmesi problemi de ortadan kalkmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde geliştirilen güncelleme algoritmasının metoda sağladığı katkı sistem modelinin ve çevresel şartların standart dışı değiştirildiği uygulama örnekleriyle pekiştirilecektir.



Şekil 6. Transfer fonksiyonunda yapılan değişiklik sonrası iP ve iP- α kontrolör düzenekleri referans ve çıkış değerleri



Şekil 7. iP- α kontrolör yapısı üzerinde söz konusu α parametresinin değişimi

iPID ve PID Kontrollü CE 152 Manyetik Levitasyon Modellerinin Sistem Karakteristiğindeki Değişimlere ve Dış Değişkenlere Karşı Performansı

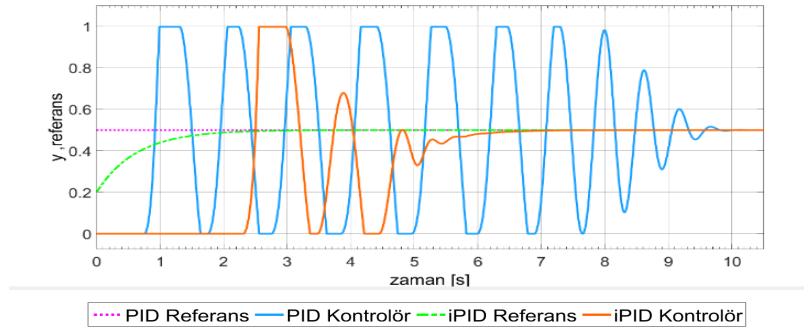
Çalışmada manyetik levitasyon modeli üzerinde kontrol sağlamayı zorlaştıracak ve iPID kontrolörün performansını değerlendirmemizi mümkün kılacak bazı temel değişiklikler yaptığımız uygulama örnekleri bulunmaktadır. Pozisyonu kontrol edilmek istenen metal topun kütlesi, manyetik alanı ve dolayısıyla kaldırma kuvvetini oluşturan bobin parametreleri sistem modelinin dışında değiştirilerek uygulama yapılmıştır. Bunların yanı sıra kontrol sinyalinin (u) güç kaybına uğradığı bir örnek de kontrolör performansını gözlemlemek amacıyla kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda klasik PID kontrolör ve iPID- α kontrolör yapılarının performansları karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise iPID- α kontrolör ile iPID kontrolör yapılarının manyetik levitasyon modeli üzerindeki kontrol performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Top kütle (m) değerinin değişimine karşı kontrolör performansları

Çalışmada kontrolör parametreleri; $K_p = 0.4931$, $K_i = 3.0841$, $K_d = 0.0456$ olarak Simulink PID Tuning Tool kullanılarak belirlenmiştir. Metal topun ağırlığı nominal değeri olan 8.37×10^{-3} ve 0.6 kg değerleri arasında 0.4 rad/s' lik frekansla salınım yapacak şekilde bir fonksiyonla ilişkilendirilmiştir.

iPID- α kontrolör yapısı klasik PID kontrolöre göre sistem modelinde meydana gelen ciddi bir değişiklik karşısında daha iyi bir performans göstermiştir. PID kontrolör yapısı referans değerini 9.8 s' de yakalarken iPID kontrolör ise 6.5 s' de referans değerini kararlı olarak takip etmiştir.



Şekil 8. Metal topun ağırlığının 0.008 ve 0.6 kg aralığında değiştiği durumda PID ve iPID-α kontrolörlerin manyetik levitasyon modeli üzerinde aldıkları çıkış değerleri

Bobin parametresindeki değişime karşı kontrolör performansları

Manyetik alan kuvvetini oluşturan güç amplifikatörü aşağıdaki transfer fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Bobin endüktansı nominal değeri olan $L=1$ H yerine 0.5-7.5 H değerleri arasında benzetim süresince değişim gösteren bir fonksiyonla ilişkilendirilmiştir.

$$\frac{I(s)}{U(s)} = \frac{\frac{k_{am}}{R_C + R_S + k_{am}R_S k_s}}{L} \frac{1}{R_C + R_S + k_{am}R_S k_s s + 1} \quad 3.3$$

Manyetik levitasyon modeli üzerinde kurgulanan sistemsel değişiklikler sonrası PID ve iPID-α kontrolör yapılarının referans ve çıkış değerlerini gösteren grafikte de görülmektedir. Kurgulanan bu değişiklik karşısında PID kontrolör yapısı referans değerine iPID kontrolöre göre daha çabuk yaklaşmasına rağmen sonrasında salınım durumundan çıkamayıp referans değerini takip edememiştir. iPID-α kontrolör yapısı ise 2.2 s' de referans değerini yakalamış ve çıkış değerini denge durumuna getirmiştir. Endüktans değerinin geniş bir aralıkta salınım yapıyor olmasına rağmen iPID kontrolör, referans değerini başarıyla takip etmiştir.

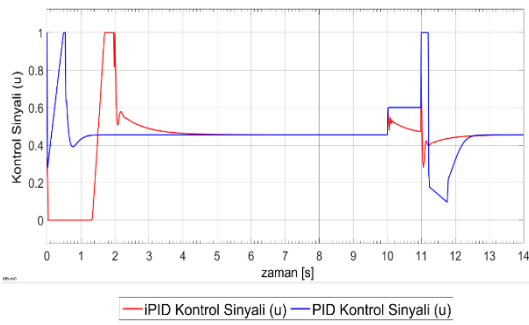


Şekil 9. Manyetik Levitasyon modeli güç amplifikatörü üzerinde bulunan elektromanyetik bobin endüktans değerinde kurgulanan değişiklikler sonrası PID ve iPID-α kontrolör yapılarının referans ve çıkış değerleri

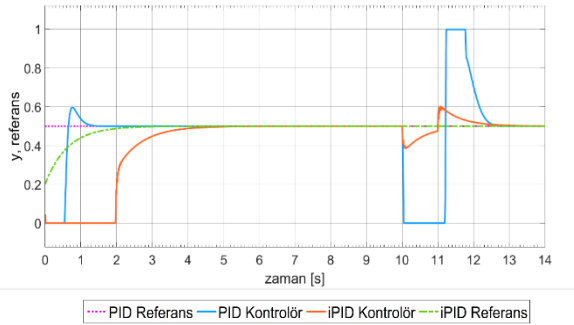
Eyleyici sinyalindeki güç kaybına karşı kontrolör performansları

Model bağımsız kontrolör yapısının öne çıkan özelliklerinden birisi de sistem modeli dışındaki çevresel değişimlerden veya donanımsal problemlerden doğabilecek sorunlara karşı da esneklik gösterebilecek ve kendisini adapte edebilecek bir kontrol algoritmasına sahip olmasıdır. Söz konusu etkilerin kontrolör performansına etkisini gözlemlemek amacıyla çalışmanın bu bölümünde kontrol sinyalinin gücü bir

süreliğine kontrol performansını etkileyecek düzeyde sınırlandırılmıştır. Simülasyonun 10.-11. saniyeleri arasında kontrol sinyali u , 0.6'lık bir kazanç değeriyle çarpılarak güç kaybına uğratılmıştır.



Şekil 10. Manyetik levitasyon modeli üzerinde iPID ve PID kontrolör yapıları için kontrol sinyalinin zamana karşı verilen grafiğinin 10.-11. saniyeler arasında yapay olarak oluşturulan güç kaybı görülebilmektedir.



Şekil 11. Kontrol sinyalinde 10.-11. Saniyeler arasında dahil edilen 0.6'lık kazanç değerine karşın PID ve iPID kontrolör yapılarının çıkış ve referans değerleri

Manyetik levitasyon modeli üzerinde PID ve iPID kontrol sinyallerinin zamana karşı grafikleri Şekil 10' da görülmektedir. PID ve iPID- α kontrolör yapılarının bu senaryo karşısında elde ettikleri çıkış değerleri ve referans sinyali ise Şekil 11' de verilmiştir.

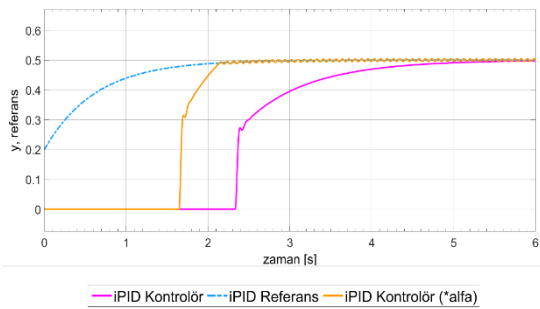
Şekil 11' de verilen grafik incelendiğinde kontrol sinyalinin güç kaybına uğratıldığı 10. ve 11. saniyeler arasında PID kontrolör yapısının referans değerini takip edemediği ve sistemin mutlak sınırları olan 0 ve 1 pozisyonları arasında bir salınım yaptığı görülmektedir.

Buna karşılık iPID kontrolör yapısı u sinyali üzerinde kurgulanan bu ciddi değişime karşın ± 0.1 birimi aşmayan bir salınım yapmıştır. Endüstriyel bir uygulamada ciddi problemlere sebep olabilecek bu değişime karşın, iPID kontrolör yapısı sistemin kontrolünü büyük ölçüde sürdürmüştür.

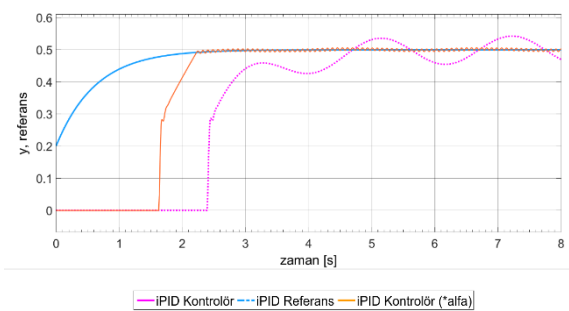
iPID kontrolör ile manyetik levitasyon sistemi kontrolünde α parametresinin güncellenmesinin kontrolör performansına etkisi

Çalışmanın bu bölümünde iPID- α kontrolör yapısı ile α parametresinin sabit bir değer olarak belirlendiği mevcut iPID kontrol yaklaşımıyla alınan sonuçlar karşılaştırıldı.

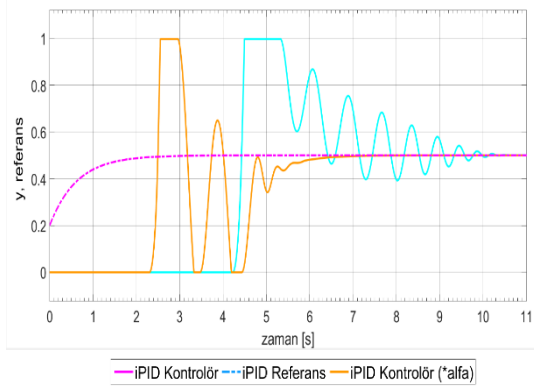
Sırasıyla herhangi bir değişiklik kurgulanmayan standart levitasyon modeli, bobin endüktans değerinin $L=0.5-7.5$ H aralığında değiştiği, top kütlelerinin $m=0.008-0.6$ kg aralığında değiştiği ve kontrol sinyalinin 10.-11. saniyeler aralığında % 40 güç kaybına uğratıldığı uygulamalarda



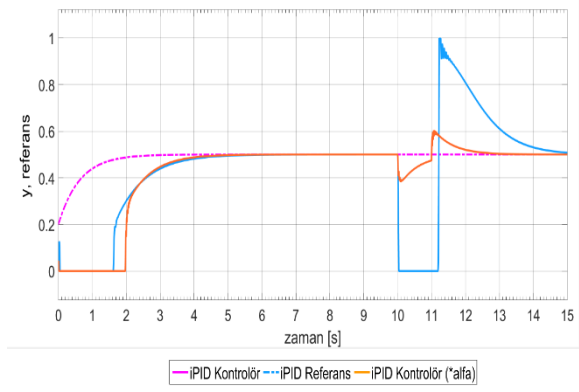
Şekil 12. α parametresinin 1 olarak seçildiği iPID kontrolör ve iPID- α kontrolör yapılarının manyetik levitasyon modeli üzerinde uygulanan referans sinyaline karşı çıkış değerleri



Şekil 13. α parametresinin 1 olarak seçildiği iPID kontrolör ve iPID- α kontrolör yapılarının bobin endüktans değerinin 0.5 ve 7.5 H aralığında değiştiği manyetik levitasyon modeli üzerinde çıkış değerleri



Şekil 14.a parametresinin 0.75 olarak seçildiği iPID kontrolör ve iPID-α kontrolör yapılarının metal top kütlelerinin 0.008 ve 0.6 kg aralığında değiştiği manyetik levitasyon modeli üzerinde çıkış değerleri



Şekil 15.a parametresinin 0.75 olarak seçildiği iPID kontrolör ve iPID-α kontrolör kontrol sinyalinin 10.-11. saniyeler arasında 0.6'lık bir kazanç değeriyle çarpılarak güç kaybına uğratıldığı manyetik levitasyon modeli üzerinde çıkış değerleri

standart ve iPID-α kontrolörlerin aldığı sonuçlar aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır. α parametresinin güncellendiği durumlarda kontrol performansının arttığı görülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada CE 152 manyetik levitasyon sisteminin Simulink modeli kullanılarak model bağımsız (iPID) metoduyla kontrolü sağlanmaktadır. iPID kontrol metodu yapılan çalışmalarda klasik PID tekniğiyle benzetim yöntemiyle karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Ayrıca, model bağımsız kontrol metodunda, kontrol performansı üzerinde belirleyici etkiye sahip olan ve değeri deneme yanılma yoluyla belirlenen α parametresinin gerçek zamanlı kestirimi için iPID-α kontrolör yapısı önerilmiş ve başarımlı incelenmiştir.

Kontrolörlerin başarımını incelemek amacıyla sistem parametreleri ve bozucu etkiler üzerinde değişikliklerin kurgulandığı çalışmalar yapılmıştır. Manyetik levitasyon modeli üzerinde pozisyonu kontrol edilmek istenen top kütleleri, bobin endüktans değerinde kurgulanan değişikliklere ve eyleyici sinyalinde oluşturulan güç kaybına karşı iPID ve PID kontrol yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Benzetim sonuçları ve yapılan çalışmalar sırası ile karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; iPID kontrolör manyetik levitasyon modelinin kontrolünü aşım değeri olmadan başarıyla sağlarken PID kontrolör iPID kontrolöre göre referans sinyalini daha çabuk yakalamakta fakat aşım değeri açığa çıkarmaktadır.

α parametresi için önerilen algoritma iPID kontrolörün performansını doğrusal bir sistem örneği üzerinde kök değişikliği uygulanan bir örnekte arttırmaktadır ve referans sinyalini hatasız olarak takibi mümkün kılmaktadır.

Manyetik levitasyon modelinde pozisyonu kontrol edilmek istenen top kütleleri standart değeri ile nominal aralığının bir hayli dışında olan 0.6 kg değeri arasında değiştirildiğinde iPID-α kontrolör PID kontrolöre kıyasla referans değerini daha kısa sürede ve daha az salınımla takip edebilmektedir.

Levitasyon modelinde topun hareketini mümkün kılan bobinin endüktans değeri standart değeri olan L = 1 H yerine 0.5 ve 7.5 H değerleri arasında benzetim süresince değiştirildiğinde PID kontrolör modeldeki bu parametre değişimini tolere edememekte ve sürekli salınım halinde kalmaktadır. iPID-α kontrolör ise modelde kurgulanan değişikliğe karşın sistem kontrolünü sağlamaktadır.

Eyleyici sinyalinde oluşturulan % 40'lık güç kaybına karşı iPID-α kontrolör PID kontrolöre göre daha başarılı sonuç vermektedir. PID kontrolör güç kaybı esnasında sistem kontrolünü kaybederken iPID-α kontrolör bu değişimden çok daha az etkilenmekte ve kontrolü büyük ölçüde sürdürmektedir.

iPID-α kontrolör, klasik iPID yöntemine karşı manyetik levitasyon modelinde daha başarılı olmakta ve referans sinyalini daha hızlı yakalamaktadır.

iPID- α kontrolör, manyetik levitasyon modeli üzerinde top kütlede kurgulanan değişikliğe rağmen kontrolü sağlamayı başarırken klasik iPID kontrolör salınım halinden çıkamamaktadır.

iPID- α kontrolör bobin endüktans değerindeki değişimlere karşı referans sinyali iPID kontrolöre göre daha kısa sürede yakalamaktadır.

Levitasyon modelinde eyleyici sinyalinde meydana gelen güç kaybına karşın α parametresi kestirimli iPID kontrolör, iPID kontrolöre göre bu değişimden daha az etkilenmekte ve sistem kontrolünü daha kısa sürede sağlamaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde iPID kontrol yönteminin manyetik levitasyon modelinin kontrolünü sağlayabildiği görülmektedir. Özellikle sistem parametreleri ve çevresel şartlarda değişiklik kurgulanan durumlarda model bağımsız kontrolör PID yöntemine göre daha başarılı olmaktadır. PID kontrolör yapılan değişiklikler karşısında kontrolü sağlayamamakta veya geç tepkiler vermekte iken iPID kontrolör bu değişimleri PID metoduna göre daha başarılı bir şekilde tolere etmektedir.

α parametresi için önerilen algoritma iPID metodunun tepki süresini iyileştirmekte, model parametrelerinde ve dış bozucularda meydana gelen değişimlere karşı tolerans aralığını arttırmaktadır. Aynı zamanda literatürde belirlenmesi için bir yöntem belirtilmeyen α parametresinin değerinin tespit edilmesi sorununa da çözüm getirmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Fliess, ve C. Join. Intelligent PID controllers. Mediterranean Conference on Control and Automation, Ajaccio, HAL, (2008) 326-331.
- [2] M. Fliess, ve C. Join. A mathematical explanation via "intelligent" PID controllers of the strange ubiquity of PIDs. 18th Mediterranean Conference on Control and Automation Marrakech, HAL,(2010) 395-400.
- [3] J. De Miras ve diğerleri. Active magnetic bearing: A new step for model-free control. Florence. IEEE Conference on Decision and Control, (2013) 7449-7454.
- [4] L. Michel, C. Join ve M. Fliess. Model-free control of dc/dc converters. IEEE 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics. COMPEL 2010. Boulder, Colorado, IEEE, (2010) 1-8.
- [5] H. Abouaïssa ve S. Chouraqui. On the control of robot manipulator: A model-free approach. Journal of Computational Science, (2019) 6-16.
- [6] Y. Zhou, H. Li ve H. Yao. Model-free Control of Surface Mounted PMSM, 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Taipei, IEEE, (2016) 175-180.
- [7] S. Li, H. Wang, Y. Tian ve A. Aitouche. A Sliding Model Control Based on Intelligent PID Control for Wind turbine System, Conference: Control Methodologies and Technology for Energy Efficiency Sousse, IEEE, (2015) 134-139.
- [8] H. Wang ve diğerleri. Model-Free-Based Terminal SMC of Quadrotor Attitude and Position. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, (2016) 5:52: 2519-2528.
- [9] H. Wang, I. Ghazally ve Y. Tian. Model-free fractional-order sliding mode control for an active vehicle suspension system. Advances in Engineering Software, Issue (2018) 115, 452-461.
- [10] M. Fliess, ve C. Join. Model-free control. International Journal of Control, 86:12 Taylor & Francis,(2013) 2228-2252.
- [11] P. Chalupa, M. Maly ve J. Novak,. Nonlinear Simulink Model of Magnetic Levitation. Regensburg, Curran Associates, Inc., 30th Conference on Modelling and Simulation, (2016) 293-299.

- [12] Y. Al Younes, ve diğeri. Model-Free Control of a Quadrotor Vehicle. 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2014 Orlando, IEEE, (2014) 1126-1131.
- [13] M. Fliess, ve H. Sira-Ramirez. An algebraic framework for linear identification. ESAIM Control, Optimization and Calculus of Variations, 9: (2003) 151–168.