



Sıralı Kontrol; Giriş Şekillendirme (Input Shaping) ve PID Kontrolü Bir Araya Getiren Yeni Bir Kontrol Yöntemi*

Onur Örnek^{1**}, H. Ali Ertaş²

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9879-0674)

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8788-9011)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf24)

ATIF/REFERENCE: Örnek, O. & Ertaş, H. A. (2020). Sıralı Kontrol; Giriş Şekillendirme (Input Shaping) ve PID Kontrolü Bir Araya Getiren Yeni Bir Kontrol Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 188-196.

Öz

Dinamik sistemler çalışmaları esnasında titreşimlere sebep olur ve çeşitli bozucu etkilere maruz kalır. Sistemlerin maruz kaldığı bu etkiler hem sistemin performansını, hem de ömrünü negatif yönde etkiler. Bu etkilerin yok edilmesi ve sistemin çıkışının istenilen referans değerine hızlı ve kararlı bir şekilde getirilmesi için bu sistemler çeşitli kontrol yöntemleriyle denetlenmelidir. Bu kontrol yöntemleri üç ana grupta toplanabilir: Hızlı yanıt veren ancak bozucu etkilere karşı çaresiz açık çevrim kontrol yöntemleri, nispeten yavaş ancak bozucu etkilere karşı dayanıklı kapalı çevrim kontrol yöntemleri ve her iki yöntemin avantaj ve dezavantajlarını bir araya getiren hibrit kontrol yöntemleri. Bu çalışmada bu üç kontrol yönteminden farklı olarak, açık ve kapalı çevrim kontrol yöntemlerini sıralı bir şekilde bir araya getirerek her iki kontrol yönteminin avantajlarını barındırıp, dezavantajlarından kurtaran yeni bir kontrol yönteminin matematiksel alt yapısı oluşturulmuştur. Bunu gerçekleştirmek için öncelikle portal vinç sisteminin kinematik denklemleri elde edilmiş, sonrasında sistem MATLAB Simulink üzerinde modellenmiştir. Sisteme öncelikle herhangi bir kontrol yöntemi uygulanmadan giriş uygulanarak sistemin temel karakteristikleri elde edilmiştir. Daha sonra sisteme nispeten yeni bir kontrol yöntemi olan ve temelinde sisteme uygulanan giriş sinyallerinin sebep olduğu titreşimleri yok etme prensibi yatan giriş şekillendirme yöntemlerinden en basiti olan sıfır titreşim giriş şekillendirme kullanılmıştır. Kapalı çevrim kontrol yöntemi olarak üzerinde uzun yıllar çalışılmış ve güvenilirliği kanıtlanmış PID kontrol kullanılmıştır. Modellenen sisteme açık çevrim, kapalı çevrim ve hibrit kontrol yöntemleri uygulanarak sistemin çıkış karakteristikleri incelenmiştir. Sonrasında sisteme bozucu etki uygulanarak farklı kontrol yöntemlerinin performansları incelenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlardan daha başarılı bir performansa sahip olması amaçlanan sıralı kontrol yönteminin matematiksel varlığı çeşitli kabullerle kanıtlanmıştır. Ardından bulunan sıralı kontrol yönteminin her durumda diğer yöntemlerden üstün olmasını sağlamak adına yapılması gereken geliştirmeler için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Giriş şekillendirme, PID Kontrol, Hibrit Kontrol, Sıralı Kontrol.

Sequenced Control; A New Control Method That Combines Input Shaping and PID Control

Abstract

Dynamic systems cause and are subject to various vibrations and disturbances that not only reduce their lifespan, but also affect the overall performance in a negative way. To remove these effects and ensure the systems' output is within desired limits, these systems must be controlled using various control methods. These methods can be grouped under three major categories: Open loop control methods that have fast response time but are helpless against disturbances, closed loop control methods that are relatively slower but are resistant to disturbances, and hybrid methods that combine both the advantages and the disadvantages of both. In this study, mathematical foundations of a new control method is developed that combines the advantages of both methods without having their

* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

** Sorumlu Yazar: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9879-0674, onuornek@cumhuriyet.edu.tr

disadvantages. To achieve this goal, a gantry crane system is mathematically modelled using a pendulum analogy, then it is simulated on MATLAB Simulink interface. Afterwards the system is given input without any control method being applied to determine its characteristics. Then the system is controlled using the relatively new control method called "input shaping" which is based on eliminating the vibrations caused by the input signal from the output signal. PID controller is chosen as the closed loop control method as it is proven many times over the years, to be robust and reliable. The output characteristics of the system are attained for open loop, closed loop and hybrid control methods. Then the system is subjected to disturbance, to compare the performances of each control method. Finally a new control method which is as fast as input shaping and resistant to disturbances is developed under certain assumptions. Then solutions are provided to make sequenced control superior to other control methods under all circumstances.

Keywords: Input Shaping, PID Control, Hybrid Control, Sequenced Control.

1. Giriş

Dinamik sistemlerin çıkışlarının istenilen değerlerde tutulması amacıyla kullanılan kontrol sistemleri, araştırmacıların uzun yıllar üzerinde çalışmalar yaptığı konulardandır. Yapılan literatür taramasında kontrol sistemleri üzerinde çok sayıda araştırmaya rastlanmıştır. Araştırmalar genel olarak üç grupta toplanabilir: Kapalı çevrim kontrol sistemleri üzerine araştırmalar, açık çevrim kontrol sistemleri üzerine olan araştırmalar ve her iki yöntemin birleştirildiği hibrit kontrol sistemleri üzerine araştırmalar.

Giriş şekillendirme yöntemi sisteme herhangi bir sensör ya da aktüatör eklenmesine ihtiyaç duymayan ve temelinde sisteme uygulanan giriş sinyalinin oluşturduğu titreşimlerin kendi kendini yok etmesini amaçlayan bir titreşim azaltma yöntemidir (Seering vd., 1999). Bu konudaki ilk çalışmalar büyük oranda 1950'lerde O.J.M. Smith'in "Posicast Control" adlı çalışmasına atfedilir (Smith, 1957). Ardından Singer ve Seering'in bu konuda çok sayıda farklı araştırmasına rastlanmıştır. Bu çalışmalar ile giriş şekillendirmenin temellerinin atıldığı söylenebilir. Giriş şekillendirme işleminde uygulanan darbelerin zamanlarının ve sayısının belirlenmesi için kullanılan kısıtlama denklemlerinin farklı çözümleri ile sistemin modelleme hatalarının olduğu durumlarda bile düşük artık titreşim cevabı veren giriş şekillendirici tasarımları yapılabileceği Singer ve Seering'in çalışmalarında gösterilmiştir (Seering ve Singer, 1990). Singhose ve arkadaşları modelleme hatası ve parametre değişimlerinin olduğu durumlarda bile gürbüzlüğü yüksek giriş şekillendirme tekniği önerilerinde bulunmuştur (Roth ve Wiederrich, 1974; Singer vd., 1997). Solihin ve arkadaşları çalışmasında şekillendirilmiş sinyaller kullanarak, sensör olmadan sistemlerin yüksek oranda titreşimsiz kontrol edilebileceğini göstermiştir (Solihin ve Wahyudi, 2007). Türkçe kaynaklara bakıldığında ağırlıklı olarak Prof. Dr. Sırrı Sunay Gürleyük'ün çalışmalarına rastlanır. Gürleyük ve arkadaşları değişken parametrelili sistemlerde giriş şekillendirme uygulanması ile ilgili çeşitli çalışmalarda bulunmuştur (Gürleyük ve Cinal, 2005).

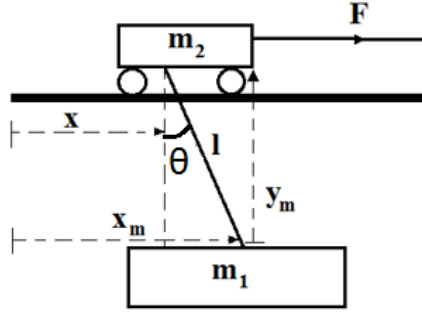
PID kontrol, üzerinde uzun yıllar boyu çalışılmış ve güvenilirliği kanıtlanmış en yaygın kontrol yöntemlerinden biridir. Üzerinde çok sayıda makale bulmak mümkündür. Ancak özellikle Tumari ve arkadaşlarının PID kontrol ve giriş şekillendirmeyi birlikte kullandığı hibrit kontrol üzerine çalışmaları dikkat çekmektedir (Tumari vd., 2013). Huey ise doktora tezinde PID kontrol ve giriş şekillendirmenin bir arada kullanımı hakkında detaylı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmasında Huey PID kontrol ve giriş şekillendirmenin klasik yöntemlerden farklı olarak, akıllı bir şekilde bir araya getirilmesi üzerinde çeşitli çözümler öne sürmüştür (Huey, 2006).

Bu çalışmada yapılan literatür taramalarında karşılaşılmayan yeni bir kontrol yöntemi geliştirilecektir. PID kontrol ve giriş şekillendirmenin her ikisinin de avantajlarını barındırıp dezavantajlarından kurtulan sıralı kontrol sisteminin teorik altyapısı oluşturulacak ve bu yöntem MATLAB Simulink ortamında simule edilerek elde edilen çıkışlar incelenecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Portal Vinç Sisteminin Modellenmesi

Farklı kontrol yöntemlerinin performanslarının ve çıkışa olan etkilerinin incelenmesi için portal vinçlerde kullanılan tramvay sistemini ele alalım. Bu sistemin basit bir sarkaç (pendulum) benzetimiyle serbest cisim diyagramının elde edilmesi mümkündür. Şekil 1'de gösterilen sistemin nonlineer modelinin elde edilmesi için Solihin ve Wahyudi'nin çalışması temel alınmıştır (Solihin ve Wahyudi, 2007). Bu model için m_1 kütlesi taşıyan kütle, m_2 ise tramvayın kütlesi olarak kabul edilip, m_1 kütle için θ açısı kadar hareket ettirilirse aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:



Şekil 1. Portal vinç sisteminin serbest cisim diyagramı (Solihin ve Wahyudi, 2007)

$$x_m = x + l \sin \theta \quad (1)$$

$$y_m = -l \cos \theta \quad (2)$$

Sistemin kinetik ve potansiyel enerji ifadeleri kullanılarak Lagrange denklemleri elde edilirse:

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_1 l (\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta}^2 \sin \theta) = F \quad (3)$$

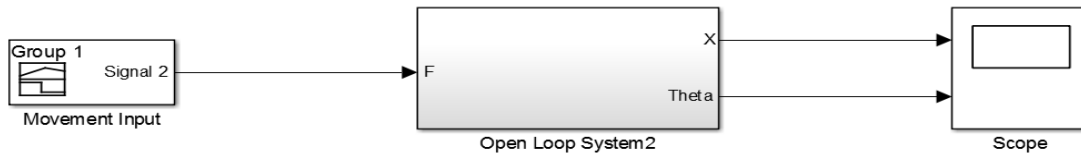
$$l\ddot{\theta} + \ddot{x} \cos \theta + g \sin \theta = 0 \quad (4)$$

θ açısının çok küçük olduğu durumlarda $\sin \theta \approx \theta$ ve $\cos \theta \approx 1$ kabulüyle denklemler lineerleştirilirse:

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_1 l \ddot{\theta} = F \quad (5)$$

$$\ddot{x} + l \ddot{\theta} + g \theta = 0 \quad (6)$$

Elde edilen bu denklemler MATLAB'in simulink arayüzünde modellenerek üzerinde çeşitli kontrol yöntemleri denenecektir. Modellenen sistemde, sistem sabitleri olarak, taşınan yükün kütlesi m_1 0,25kg, tramvay kütlesi m_2 1kg, ip uzunluğu l 0,6m, yer çekimi g ise $9,81 \text{m/s}^2$ alınmıştır.



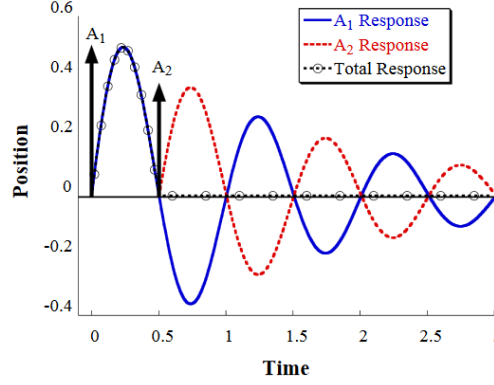
Şekil 2. Açık çevrim sistemin Simulink üzerinde görüntüsü

2.2. Giriş Şekillendirme

Giriş şekillendirme, sisteme uygulanan giriş sinyalinin, kendi yarattığı titreşimi yok etmesini amaçlayan açık çevrim bir komut üretme yöntemidir. Temelinde, sisteme uygulanmak istenen herhangi bir komutun, giriş şekillendirici tarafından uygun bir darbe dizisi ile konvüle edilmesi sonucu yeni bir girişin üretilmesine ve bu sayede titreşimlerin yok edilmesine dayanır.

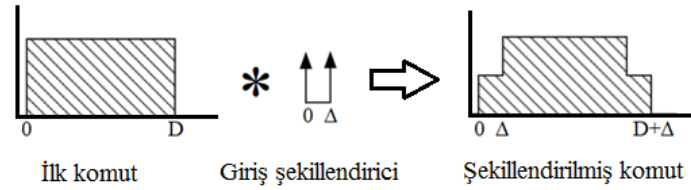
Dinamik bir sisteme darbe giriş verilmesinin titreşimlere sebep olacağı bilinmektedir; ancak sisteme doğru zamanda ikinci bir darbe giriş vererek bu titreşimin yok edilmesi mümkündür. Sisteme uygulanacak A_1 ve A_2 darbe girişlerinin sistem çıkışına yaratacağı etki Şekil 3'te gösterilmiştir (Singhose ve Singh, 2002).

Bu çalışmada giriş şekillendirme yöntemlerinin en basiti olan sıfır titreşim giriş şekillendirme yöntemi kullanılacaktır. Temel olarak sisteme uygulanmak istenen basamak giriş sinyalinin %50'si büyüklüğündeki ilk darbe $t=0$ anında, %100 büyüklükteki ikinci darbe ise sistemin yarı periyodunda uygulanacaktır. Sistemin beklenen çıkışı Şekil 1'deki grafikte gösterilen toplam cevap (total response) şeklinde olacaktır. Singhose ve arkadaşlarının Tutorial on Input Shaping / Time Delay Control of Maneuvering Flexible Structures adlı çalışmasında sıfır titreşim giriş şekillendirme işlemi için gerekli darbelerin ne zaman gelmesi gerektiğinin hesaplanması detaylı bir şekilde anlatılmıştır (Singhose ve Singh, 2002).



Şekil 3. Giriş şekillendirmenin sistem çıkışına etkisi (Singhose ve Singh, 2002)

Gerçek hayatta karşılaşılan sistemler darbelerle kontrol edilemezler, bu yüzden elde edilen darbe dizisinin sistemde kullanılabilecek komutlara dönüştürülmesi gerekir. Bunu gerçekleştirmek için hesaplanan darbe dizisi, sisteme uygulanmak istenen komut sinyaliyle konvüle edilir. Konvolüsyon işleminin sonucu ise sistemde giriş olarak kullanılır. Titreşime sebep olmayan darbe dizileri, konvolüsyon işlemi sonrası sisteme giriş olarak uygulandığında yine titreşime sebep olmayacaktır. (Singhose ve Singh, 2002)



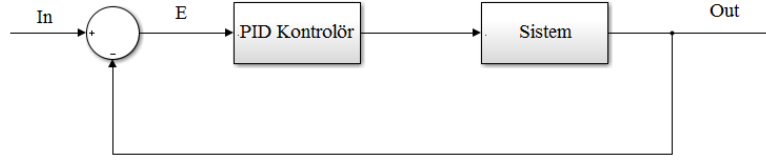
Şekil 4. Konvolüsyon işlemi ile şekillendirilmiş giriş sinyalinin elde edilmesi (Singhose ve Singh, 2002)

Bu çalışmada modellenen portal vinç sistemine sıfır titreşim giriş şekillendirici sinyal uygulanarak sistemin kendi oluşturduğu titreşimi yok ettiği gözlenecektir, ardından yeterli zaman geçtikten sonra uygulanan bozucu etki ile, sistemin bozucu etkilere karşı çaresiz olduğu gösterilecektir.

2.3. PID Kontrol

PID kontrol, üzerinde uzun yıllar araştırmalar yapılan, bozucu etkilere karşı dayanıklı, başarısı ve güvenilirliği yapılan sayısız araştırmalarla kanıtlanmış kapalı çevrim bir kontrol yöntemidir. Temelinde kontrol edilmek istenen sistemin giriş ve çıkışının sürekli olarak gözlenerek, çıkışın istenen referans değerine getirilmesi için kontrolör tarafından gerekli düzeltici sinyalin üretilmesi yatmaktadır (Franklin vd., 1994; Ogata, 1998; Yüksel, 2011). PID kontrol ile ilgili zaman ve frekans domainindeki eşitlikler Denklem (7) (Yüksel, 2011) ve Denklem (8)'de (Kuo, 1995) ve sistemin genel blok diyagramı Şekil 5'te verilmiştir.

Bu çalışmada modellenen portal vinç sistemine PID kontrol uygulanarak sistemin çıkışları gözlenecektir. Yapılan incelemelerde, sistemin kararlı duruma geçmesi için geçen süre (settling time) ve bozucu etkilere karşı dayanımı önemli parametrelerdir. PID kontrol parametrelerinin seçiminde aşım (overshoot) ve oturma zamanları istenen değerlerde tutulacak şekilde Simulink PID tuner arayüzünden yardım alınmıştır.



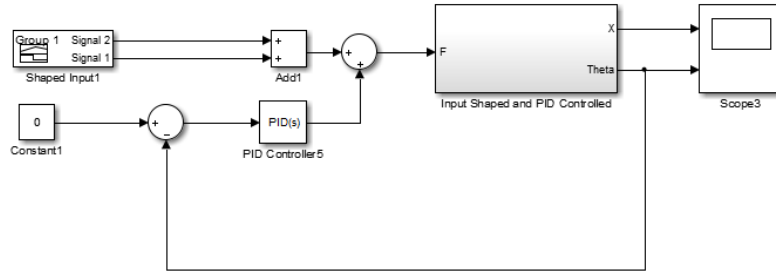
Şekil 5. PID kontrol blok diyagramı

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \right] \quad (7)$$

$$G_{PID} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s \quad (8)$$

2.4. Hibrit Kontrol

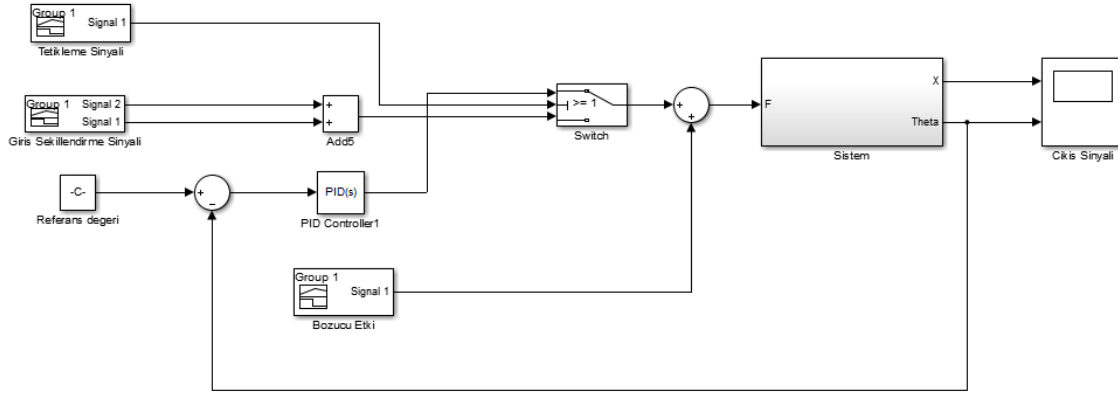
Hibrit kontrol sisteme PID kontrol ve giriş şekillendirmenin birlikte uygulanacağı bir kontrol yöntemidir. Temelde PID kontrolden farklı sisteme giriş sinyalinin şekillendirilmiş olarak verilmesidir. Şekil 6’da hibrit kontrol uygulanan sistemin Simulink modeli verilmiştir. Burada amaç hibrit kontrol uygulanan sistemin PID kontrole göre performans farklılıklarının incelenmesidir. Yine PID kontrolde olduğu gibi, sistemin oturma zamanı ve bozucu etkilere karşı dayanımı incelenecek en önemli noktalarıdır.



Şekil 6. Hibrit kontrol uygulanan sistemin Simulink modeli

2.5. Sıralı Kontrol

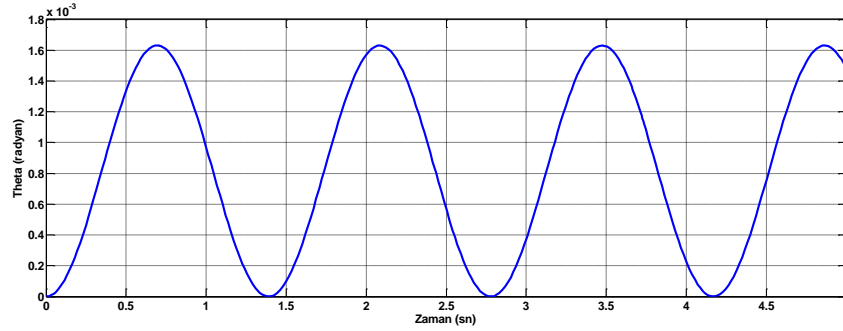
Sıralı kontrolde amaç PID kontrol ve giriş şekillendirmenin avantajlarını bir araya getirip, hibrit kontrolden daha verimli bir kontrol yöntemi geliştirmektir. Sisteme ilk hareket giriş şekillendirilmiş olarak verilecektir. Bu esnada, anahtar vasıtasıyla PID kontrolör devre dışı bırakılacaktır. Giriş şekillendirme sonrası sistemin çıkışı kararlı duruma geçtiğinde, yine anahtar yardımıyla PID kontrolör devreye alınacaktır. Böylece sistemde hem giriş şekillendirmenin hızlı yanıtından, hem de PID kontrolörün bozucu etkilere karşı dayanıklılığından faydalanılacaktır. Sistem kararlı hale geldikten sonra sisteme bozucu etki uygulanarak sistemin çıkışı gözlenecektir. Şekil 7’de sistemin Simulink modeli verilmiştir. Şekildeki tetikleme sinyali anahtar kontrol etmek için kullanılacaktır. Sistemin periyodu, giriş şekillendirme sonrası titreşimsiz hale geçtiği çıkış değeri, yükselme ve oturma zamanları yapılan deneylerle elde edilerek PID kontrolörün ne zaman devreye girmesi gerektiği ve alması gereken referans değeri belirlenecektir. Burada amaç sistem çıkışını 0 radyana getirmek değil, PID kontrolörün sisteme etkisini en aza indirerek, zorunlu olmayan tüm koşullarda sistemin giriş şekillendirmenin hızlı cevabına sahip olmasını sağlamaktır. Sisteme bozucu etki gelmesi gibi, giriş şekillendirmenin yetersiz kaldığı durumlarda ise PID kontrolör devreye girerek sistemi istenilen değere getirecektir.



Şekil 7. Sıralı kontrol uygulanmış sistemin Simulink modeli

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

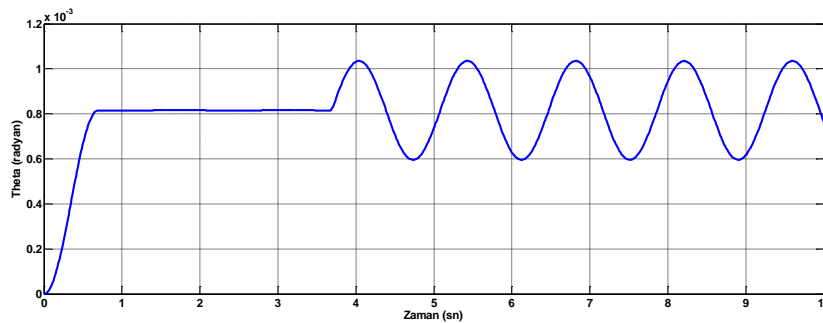
3.1. Açık Çevrim Cevabı



Şekil 8. Açık çevrim sistemin çıkışı

Sisteme 1N basamak giriş uygulanıp çıkışı incelendiğinde m_1 kütlelerinin 0 ile $1,6 \times 10^{-3}$ radyan arasında salınım yaptığı görülür. Sistemin periyodu 1,392 saniye olarak bulunmuştur. Sistemin periyodu giriş şekillendirme uygulanırken kullanılacaktır.

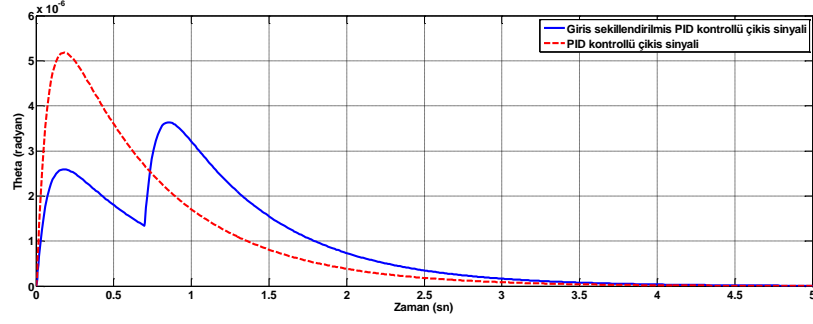
3.2. Giriş Şekillendirme Cevabı



Şekil 9. Giriş şekillendirmenin sistem çıkışına etkisi

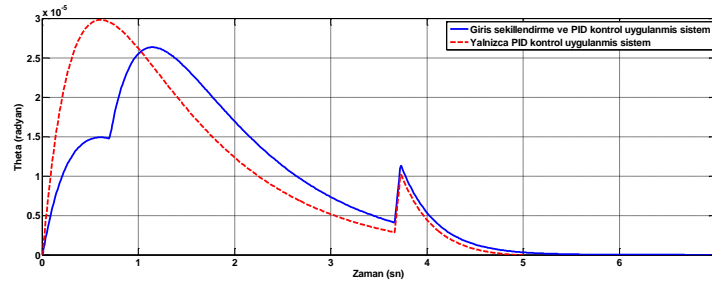
Sisteme 0,696 saniye ($T/2$ süre) boyunca 0,5 N geri kalan zamanlarda 1 N basamak giriş uygulandığında Şekil 7'deki çıkış grafiği elde edilir. Giriş şekillendirilmiş sistem, yarım periyotta uygulanan 2. darbe ile birlikte salınımsız hale gelmiş, ancak daha sonra gelen bozucu etkiye karşı çaresiz kalmıştır.

3.3. PID Kontrol ve Hibrit Kontrol Cevapları



Şekil 10. PID kontrol ve hibrit kontrol sistem çıkışları

Sisteme PID kontrol uygulandığında beklendiği gibi çıkışın 4.5 saniye sonra 0 radyana oturması sağlanmıştır. Ancak giriş şekillendirmeye karşılaştırıldığında sistemin salınımsız hale geçmesinin daha uzun sürdüğü görülmüştür. Yine aynı grafik incelendiğinde hibrit kontroldeki aşımın PID kontrole göre daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi şekillendirilmiş giriş sinyalinin kendi yarattığı salınımı sönümlenme eğilimidir. Ancak yalnızca giriş şekillendirme uygulanmış sistem ile karşılaştırıldığında sistemin kalıcı duruma gelmesinin daha uzun sürdüğü görülür.

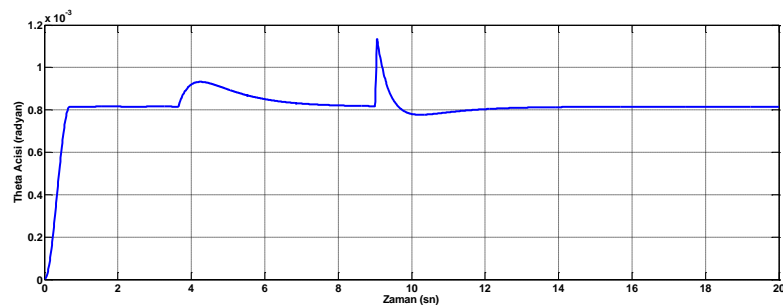


Şekil 11. Bozucu etki uygulanmış sistem için PID kontrol ve hibrit kontrol sistem çıkışları

Şekil 11 incelendiğinde, PID kontrol ve hibrit kontrol uygulanan sisteme bozucu etki geldiğinde, her ikisinin de çıkışı sorunsuz bir şekilde 0 radyana getirdiği gözlenmiştir. Her iki kontrol sisteminin de giriş şekillendirmeden yavaş olmakla birlikte, bozucu etkilere karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

3.4. Sıralı Kontrol Cevabı

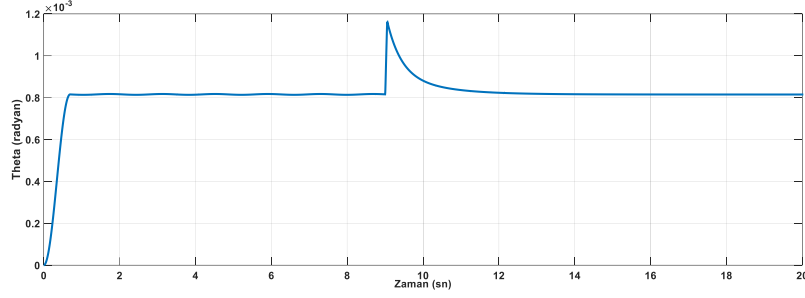
Daha önceki bölümlerde sistemin tüm kontrol yöntemleri ve bozucu etkiler karşısında yanıtları elde edilmiştir. Bu sayede sisteme sıfır titreşim giriş şekillendirme sinyali uygulandığında, sistemin yarım periyotta uygulanan 2. darbe ile birlikte $0,815 \times 10^{-3}$ radyanda kararlı hale geleceği bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak PID kontrolörün referans değeri ve ne zaman devreye girmesi gerektiği belirlenmiştir. Sistem kararlı hale geldikten sonra, PID kontrolör çıkışı $0,815 \times 10^{-3}$ radyanda tutmaya çalışmaktadır. Burada amaç PID kontrolörün sisteme minimum seviyede müdahale etmesini sağlamaktır. Rasgele seçilen 9. saniyede sisteme uygulanan bozucu etkinin çok kısa bir zaman içinde yok edildiği görülmektedir.



Şekil 12. Sıralı kontrol uygulanmış sistemin çıkışı

Uygulanan kontrol yöntemi sayesinde hem giriş şekillendirmenin hızlı cevabından, hem de PID kontrolün bozucu etkiye olan dayanıklılığından yararlanılmıştır. Kalkış anındaki birkaç saniyelik an haricinde sistemimiz hem hızlı hem de kararlı hareket eden bir hale getirilmiştir. Karşılaşılan tek sorun 3,66. saniyede PID kontrolörün devreye girişi esnasında ortaya çıkan bozucu etkidir. Bunun sebebi anahtarlama esnasında sisteme gelen kontrol sinyallerindeki süreksizlikten ortaya çıkan anlık değişimdir. Fazladan oluşan bu bozucu etkiyi engellemek için çeşitli yöntemler geliştirilebilir.

Sisteme PID kontrol aktif edilene kadar herhangi bir bozucu etki gelmeyeceğinin ve 9. saniyede bir bozucu etki geleceğinin bilindiğini kabul edelim. Bu durumda ilk 9 saniye boyunca PID kontrolörün aktif olmasına ihtiyaç duyulmayacaktır. PID kontrolör bozucu etkiyle aynı anda aktif edildiğinde çıkış sinyali Şekil 13'teki gibi olur.



Şekil 13. Sıralı kontrolün akıllı bir şekilde devreye alınması sonucu sistemin çıkışı

Grafikte görüldüğü gibi sistem hem PID kontrolörün bozucu etki dayanımına, hem giriş şekillendirmenin hızlı cevabına sahipken, kontrol sistemleri arasındaki geçiş esnasında oluşan fazlalık titreşimden kurtarılmıştır. Burada yapılan işlem sisteme dışarıdan gelen bozucu etkiyle anahtarlama esnasında sistemin kendi ürettiği bozucu etkiyi üst üste bindirmek olmuştur. Grafikte alınan sonuç, akıllı bir anahtarlama sistemi kullanıldığında, herhangi bir yan etkiye maruz kalmadan her iki kontrol yönteminin de iyi yanlarından yararlanılabileceğini göstermektedir.

4. Sonuç

Bozucu etkinin olmadığı durumlarda giriş şekillendirmenin hızlı cevabının avantajlı olduğu görülmektedir. PID kontrol ise bozucu etkiye karşı dayanım sağlamış ancak daha yavaş cevap vermiştir. PID kontrol ve giriş şekillendirmenin birlikte uygulanması her iki sistemin avantajlarını ve dezavantajlarını birlikte barındırmaktadır. Geliştirilen sıralı kontrol sistemi her iki sistemin avantajlarını barındırırken, dezavantajlarından kurtulmuştur.

Sıralı kontrol sisteminin tüm şartlarda rakiplerinden üstün olmasını sağlamak için anahtarlama sistemini kontrol eden akıllı bir karar mekanizması geliştirilmelidir. Bu mekanizma sisteme hangi giriş verildiğinde nasıl bir çıkış alınacağını tahmin edebilmeli, sisteme etkileyen bozucu etkinin sistem çıkışına olan etkisi istenilen değer aralığının dışına çıktığında PID kontrolörü devreye alarak sistemi istenilen değere çekebilmelidir. Bu sayede hem giriş şekillendirmenin hızlı cevabından, hem de PID kontrolün bozucu etki dayanımından yararlanmak mümkün olur.

Karar mekanizmasını geliştirmek için makine öğrenmesi kullanılarak, sistemin farklı girişlere verdiği tepkiler defalarca incelenebilir. Bu sayede sistemin hangi durumda nasıl tepki vereceğini bilmek mümkün olacaktır, sisteme giriş uygulandığı anda, sistemin çıkışının kestirilmesi ve hangi kontrol yönteminin uygulanmasının daha mantıklı olacağını bilmesi mümkün olur.

Kaynakça

- Franklin, G. F., Powell, J. D., Emami-Naeini (1994). A., Feedback Control of Dynamic Systems. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 3rd edition.
- Gürleyük, S. S., Cinal, Ş. (2005). Dinamik Sistemlerde Titreşimi Azaltmak için Yöntemler ve Sistem Parametre Değişiminin Çalışma Verimine Etkisi, Elektrik Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, Cilt II, İstanbul, 504-507.
- Huey, J. (2006). The Intelligent Combination of Input Shaping and PID Feedback Control School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology (PhD Thesis), Georgia, Atlanta 285p.
- Kuo C. B. (1995). Otomatik Kontrol Sistemleri, Prentice-Hall, New Jersey
- Ogata, K. (1998). System Dynamics. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 3rd edition.
- Roth, B., Wiederrich J. L. (1974). Design of low vibration cam profiles, Conference on cams and cam mechanisms, Liverpool UK.

- Singhose, W., Singh, T. (2002). Tutorial on Input Shaping / Time Delay Control of Maneuvering Flexible Structures, American Control Conference 2002.
- Seering, W., Singer N. (1990) Preshaping command inputs to reduce system vibration. J. Dynam Syst Measure Control March: 76-82.
- Seering, W, Singer, N., Singhose, W. (1999). Comparison of filtering methods for reducing residual vibration, European Journal of Control 1999 5:208-218.
- Singer, N., Singhose, W., Porter, L. J., Tuttle T. D. (1997). Vibration reduction using multi-hump input shapers. J Dynam Syst Measure Control; June: 198-205.
- Smith, O. J. M. (1957). Posicast Control of Damped Oscillatory Systems, Proceedings of the IRE, vol. 45, no. September, pp. 1249–1255.
- Solihin, M. I., Wahyudi (2007). Sensorless Anti-swing Control for Automatic Gantry Crane System Model-based Approach, International Journal of Applied Engineering Research Vol.2, No.1 pp. 147–161.
- Tumari M., Shabudin, L., Zawawi, M., Shah, A. (2013). Active sway control of a gantry crane using hybrid input shaping and PID control schemes, 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research, 50 012029.
- Stefano, M.-L. (1981). Optimal Design of PID Regulators, International Journal of Control, vol. 33, no. 4, pp. 601–616.
- Yüksel, İ. (2011) Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Nobel Yayınevi, 400s.