

DİNAMİK SİTEMLERDE TİTREŞİM AZALTMA İÇİN YÖNTEMLER VE SİSTEM PARAMETRE DEĞİŞİMİNİN ÇALIŞMA VERİMİNE ETKİSİ

Sırrı Sunay GÜRLEYÜK¹

Şefik CİNAL²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 67100, İncivez, Zonguldak

¹e-posta: gurleyuk@yahoo.com

²e-posta: sefikcinal@yahoo.com

Anahtar sözcükler: Artık titreşim, Giriş şekillendirme, Bulanık mantık

ÖZET

Bu bildiride, Bulanık Mantık (BM) ve son yıllarda gelişmekte olan Giriş Şekillendirme tekniği ile kontrol edilen ikinci mertebeden bir dinamik sistemin performans analizi yapılmıştır. Dinamik sistemlerin hareketinin sonunda oluşan salınımlar sistemin performansını önemli ölçüde etkiler. Herhangi bir referans girişine karşı, sistem çıkışının girişi olabildiğince hızlı ve salınımsız olarak takip etmesi istenir. Bunların yanında önemli bir parametre ise kontrolörün sistem parametrelerindeki değişime karşı gösterdiği hassasiyettir. Bu çalışmada Giriş şekillendirme tekniği detaylı olarak anlatılmış, Bulanık Mantık denetimi ile Giriş Şekillendirme tekniklerinin sistem parametrelerine olan hassasiyetleri karşılaştırılmış ve sistemin gereksinimlerine göre seçilebilecek en uygun kontrol sistemi belirlenmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

İkinci mertebeden bir dinamik sistemin davranışını doğal frekans (ω) ve sönüm katsayısı (ζ) parametreleri belirler. Dinamik sistemlerin hareketinin sonunda oluşan artık titreşim sistem için ciddi bir sorun teşkil eder[1]. Kontrol yöntemlerinin esas hedefi artık titreşimi azaltmak ve sistemi en hızlı biçimde arzu edilen kararlı konuma getirmektir. Sistem parametrelerinin çeşitli nedenlerle değişmesi, kontrolör performansını ne derece etkileyeceği, kontrol sistemi tasarımında göz önüne alınması gereken önemli bir durumdur[2].

Bu bildiride bulanık mantık kontrolü ve gelişmekte olan bir kontrol türü olan giriş şekillendirme yöntemi, ikinci dereceden bir sistem göz önüne alınarak incelenmiş ve bu kontrol yöntemlerinin sistem parametrelerinin değişimine olan duyarlılıkları karşılaştırılmıştır.

2. BULANIK MANTIK TABANLI KONTROL

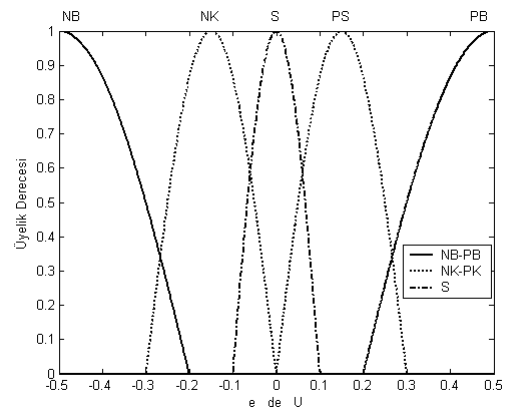
Bulanık mantık kontrol kural tabanlı bir yöntemdir. Giriş değişkenleri kendi anlam aralıklarında sözselsel

altkümelerine dönüştürülürler. Karar tablosu bu giriş altkümelerine göre tasarımcının tecrübelerine göre oluşturulur[3]. Klasik kontrol sistemlerinde ikili mantık (0 ve 1 değerleri) kullanılırken bulanık mantık kontrolünde 0 ve 1 arasındaki değerlerde göz önüne alınmaktadır. Giriş değerleri farklı kurallar için değişik anlamlar içerir. Kontrolör çıkışı, üretilen birçok değerlerin işlenmesi ile elde edilir.

Tablo 1 girişlerin durumuna göre oluşturulan kararları içeren kural tablosudur. Şekil 1 de seçilen hassasiyet bölgesindeki sinüs biçimindeki üyelik fonksiyonlarını görmektedir.

e de	NB	NK	S	PK	PB
NB	PB	PK	PK	NB	NB
NK	PB	PK	PK	NK	NB
S	PB	PK	S	NK	NB
PK	PB	PK	NK	NK	NB
PB	PB	PB	NK	NK	NB

Tablo 1. Bulanık mantık karar tablosu



Şekil 1. Hata, hatadaki değişim ve kontrol işaretleri için ortak seçilen üyelik fonksiyonları.

Kural tabanlı bir çözüm için giriş değişkenleri istenen hassasiyet aralıklarına getirilmek için ölçekleme işlemi yapılır. Bu sayede her bir

değişken için ayrı bir üyelik fonksiyonu kullanma zorunluluğu ortadan kaldırılır.

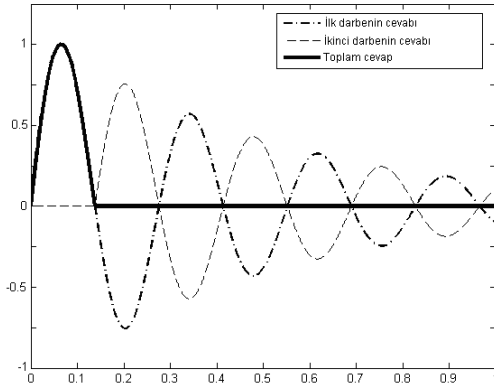
3. GİRİŞ ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİ

Giriş şekillendirme, dinamik sistemlere uygulanan giriş işaretinin uygun şekilde tasarlanmış darbe dizileri (giriş şekillendirici filtre) ile katlanarak şekillendirilmesi yöntemidir. Şekil 2’de giriş şekillendirme yönteminin uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 2. Giriş şekillendirme yönteminin uygulaması

Giriş şekillendirme yönteminin temel prensibi, kendi oluşturduğu titreşimi yok edebilen giriş işareti üretmektir. Bu işlem en basit olarak, belli bir zaman gecikmesi ile sisteme iki darbe girişi uygulanarak açıklanabilir. İlk darbe zamanın sıfır olduğu anda ikinci darbe ise sistem titreşiminin yarım periyodu kadar gecikme ile uygulanır. [2]



Şekil 3. İki darbe girişi kullanarak titreşimin sönümlenmesi.

Şekil 3. de görüldüğü gibi ikinci darbe uygun genlikte olursa ürettiği titreşim, ilk darbenin ürettiği titreşim ile birbirini sönümleyecektir.

Giriş şekillendirici tasarımı, darbelerin genlik ve uygulanış zamanlarının hesaplanması ile olur. Bu işlem sistem hareketinin sonunda oluşan artık titreşimin matematiksel ifadesinin bulunması ve bunun sıfıra eşitlenmesi ile yapılır. Böylece, her bir darbe için uygun genlik ve zaman değerleri ω ve ζ ye bağlı olarak yazılır. Dinamik bir sistem hareketi sonucunda oluşan genel bir artık titreşim ifadesi şu şekilde verilmiştir[4].

$$V(\omega, \zeta) = e^{-\zeta\omega t_n} \sqrt{K(\omega, \zeta)^2 + S(\omega, \zeta)^2} \quad (2)$$

$$K(\omega, \zeta) = \sum_{j=1}^n A_j e^{\zeta\omega t_j} \cos(\omega\sqrt{1-\zeta^2} t_j) \quad (3)$$

$$S(\omega, \zeta) = \sum_{j=1}^n A_j e^{\zeta\omega t_j} \sin(\omega\sqrt{1-\zeta^2} t_j) \quad (4)$$

Burada A_j j. darbenin genliğini, t_j j. darbenin uygulanış zamanını, n darbe sayısını ve t_n son darbenin uygulanış zamanını ifade etmektedir. En basit ve temel giriş şekillendirici filtre iki darbeden oluşur ve sıfır titreşim (ST) şekillendirici olarak adlandırılır. [2]

3.1. SIFIR TİTREŞİM ŞEKİLLENDİRİCİ

ST şekillendirici, $V(\omega, \zeta)$ artık titreşim ifadesinin sıfıra eşitlenmesi ile elde edilir. $V(\omega, \zeta)$ ifadesinin sıfır olması için $K(\omega, \zeta)$ ve $S(\omega, \zeta)$ ifadelerinin her biri sıfıra eşit olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^n A_j e^{\zeta\omega t_j} \cos(t_j \omega\sqrt{1-\zeta^2}) = 0 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n A_j e^{\zeta\omega t_j} \sin(t_j \omega\sqrt{1-\zeta^2}) = 0 \quad (6)$$

ST şekillendirici için $n=2$ 'dir ve hesaplanması gereken parametreler t_1 , t_2 , A_1 ve A_2 'dir.

Minimum zaman gecikmesi için ilk darbe $t_1 = 0$ anında uygulanmalıdır. Kararlı durum değerinin değişmemesi için filtre kazancının birim değerde olması gerekir.

$$\sum_{j=1}^N A_j = 1 \quad (7)$$

Bu denklemler çözüldüğünde ST şekillendirici parametreleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A_1 = \frac{1}{1 + e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (11)$$

$$A_2 = \frac{e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}}{1 + e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (12)$$

$$t_2 = \frac{\pi}{\omega\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (13)$$

3.2. TÜREVSEL SIFIR TİTREŞİM (TST) ŞEKİLLENDİRİCİ

ST şekillendirici ile çok hızlı ve salınımsız bir cevap elde edilir. Fakat bu cevap sistem frekansının ve sönüm katsayısının tasarım frekansına ve sönüm katsayısına eşit olduğu durumda geçerlidir. Uygulamada sistem parametreleri çok fazla değişim gösterir. ST şekillendirici bu parametre

değişimlerine karşı çok hassastır. Sistem parametrelerinin çok küçük bir aralıktaki değişiminde sistem cevabındaki salınımlar büyük miktarda artmaktadır. Bu özellik ST şekillendiricinin kontrol uygulamalarında kullanılmasını güçleştirir. Parametre değişimlerine karşı hassasiyeti azaltmak için artık titreşim ifadesinin frekansa göre türevi alınır ve sifıra eşitlenir. Yeni kısıtlama denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{d}{d\omega} \left[e^{-\zeta\omega t_n} \sqrt{C(\omega, \zeta)^2 + S(\omega, \zeta)^2} \right] = 0 \quad (14)$$

Elde edilen denklem ST şekillendirici denklemlerine eklenir. Yeni denklem takımı n=3 için çözülerek Türevsel Sıfır Titreşim (TST) şekillendirici elde edilir[5].

Bu denklemler çözüldüğünde TST şekillendirici parametreleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$A_1 = \frac{1}{1 + 2e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}^2}} \quad (15)$$

$$A_2 = \frac{2e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}}{1 + 2e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}^2}} \quad (16)$$

$$A_3 = \frac{e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}^2}}{1 + 2e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}^2}} \quad (17)$$

$$t_j = \frac{(j-1)\pi}{\omega\sqrt{1-\zeta^2}}, j=1,2,3, \quad (18)$$

TST ile sistemin parametre değişimlerine karşı hassasiyeti azaltılır, fakat ST⁷ ye oranla daha yavaş bir cevap elde edilir.

3.3. TÜREVSEL-TÜREVSEL SIFIR TİTREŞİM (TTST) ŞEKİLLENDİRİCİ

Artık titreşim ifadesinin 2. mertebeden türevinin alınması ve sifıra eşitlenmesi ile daha fazla hassasiyetsizlik elde edilebilir. Denklem (19) ile verilen bu ifade TST denklemlerine eklenerek TTST şekillendirici elde edilir[5].

$$\frac{d^2}{d\omega^2} \left[e^{-\zeta\omega t_n} \sqrt{C(\omega, \zeta)^2 + S(\omega, \zeta)^2} \right] = 0 \quad (19)$$

TTST şekillendirici için n=4⁷tür ve şekillendirici filtre dört adet darbe içerir. Denklemler çözüldüğünde TTST parametreleri aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$A_1 = \frac{1}{1 + 3e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + 3\left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^2 + \left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^3} \quad (20)$$

$$A_2 = \frac{3e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}}{1 + 3e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + 3\left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^2 + \left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^3} \quad (21)$$

$$A_3 = \frac{3\left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^2}{1 + 3e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + 3\left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^2 + \left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^3} \quad (22)$$

$$A_4 = \frac{\left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^3}{1 + 3e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} + 3\left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^2 + \left(e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}\right)^3} \quad (23)$$

$$t_j = \frac{(j-1)\pi}{\omega\sqrt{1-\zeta^2}}, j=1,2,3,4 \quad (24)$$

Sistem parametrelerine karşı hassasiyeti daha da azaltmak için, her defasında artık titreşim ifadesinin türevi alınıp daha önceki denklemlere eklenir ve bu şekilde daha sağlıklı bir şekillendirici elde edilir. Her bir türev alma işlemi ile şekillendiriciye yeni bir darbe eklenir. Bu nedenle şekillendirici süresi her defasında sistem frekansının yarım periyodu kadar artar. Bu da sistem cevabında gecikmeye yol açar.

3.4 EKSTRA HASSAS ŞEKİLLENDİRİCİ

Sistem parametrelerine karşı hassasiyetsizliği artırmanın diğer bir yolu sistem cevabında belirli (kabul edilebilir) seviyede bir titreşime razı olmaktır. Sistem parametreleri tasarım parametrelerine eşit iken artık titreşim ifadesi sifıra değil, bir V titreşim seviyesine eşittir. Artık titreşim ifadesinin türevi ise sifıra eşittir. Ayrıca tasarım frekansına eşit uzaklıkta alt ve üst iki frekans değerinde artık titreşim yine sifıra eşittir. Bu kısıtlamaların oluşturduğu şekillendirici filtre Ekstra-Hassas (EH), filtre olarak adlandırılmıştır[2,5,6]. EH şekillendirici TST şekillendirici ile aynı uzunlukta olmasına rağmen, daha fazla hassasiyetsizlik gösterir. EH şekillendirici kısıtlama denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$e^{-\zeta\omega t_n} \sqrt{C(\omega, \zeta)^2 + S(\omega, \zeta)^2} = V \quad (25)$$

$$\frac{d}{d\omega} \left[e^{-\zeta\omega t_n} \sqrt{C(\omega, \zeta)^2 + S(\omega, \zeta)^2} \right] = 0 \quad (26)$$

Sönümsüz sistemler ($\zeta=0$) için bu denklemlerin analitik bir çözümü yapılmış ve filtre katsayıları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$A_1 = \frac{1+V}{4} \quad (26)$$

$$A_2 = \frac{1-V}{2} \quad (27)$$

$$A_3 = \frac{1+V}{4} \quad (28)$$

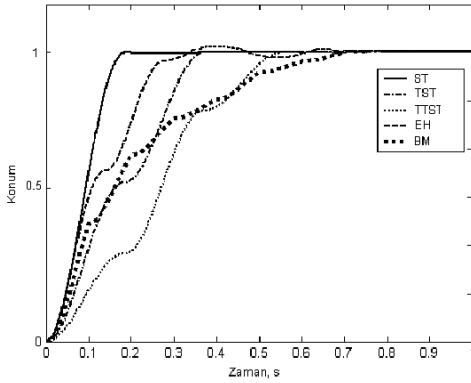
$$t_j = \frac{(j-1)\pi}{\omega\sqrt{1-\zeta^2}}, j=1,2,3 \quad (29)$$

Sönümlü sistemler için ($\zeta > 0$) denklemler nümerik olarak çözülür ve sistem parametreleri eğri uydurma yöntemi ile ζ ve ω' bağlı olarak ifade edilebilir. Bu ifadeler tek tepeli EH şekillendirici için geçerlidir. Daha az hassasiyet istenirse çok tepeli-EH şekillendiriciler kullanılır[2].

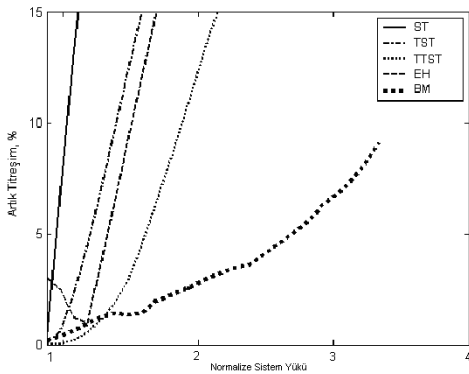
4. SONUÇ

Bu çalışmada, BM ve Giriş Şekillendirme tekniklerinin ikinci mertebeden bir dinamik sistemin performansına etkileri incelenmiştir. Şekil 4 de ST, TST, TTST ve EH şekillendiriciler ve BM yöntemleri ile kontrol edilen sistemin basamak cevapları görülmektedir. Şekil 5'te ise sistem parametrelerinin değişmesi durumunda artık titreşimin kararlı hal seviyesine göre yüzde olarak değişimini gösteren hassasiyet eğrileri [2,4,5,6] görülmektedir.

ST şekillendirici sistem parametreleri tasarım parametrelerine eşit iken, sıfır titreşimli ve çok hızlı bir kontrol sağlar. Fakat küçük parametre değişimlerinde sistem performansı önemli ölçüde düşer. Bu nedenle ST şekillendirici kontrol uygulamalarında kullanılmaz.



Şekil.4. Kontrolörlerin basamak cevapları



Şekil.5. Karşılaştırılan metotlar için hassasiyet eğrileri

TST ve TTST şekillendiriciler bir miktar zaman gecikmesi ile daha iyi bir performans sergilerler. Eğer kontrol sisteminde belli miktarda artık titreşim kabul edilebiliyorsa, TST ile aynı gecikmeye sahip fakat daha az hassas olan EH şekillendirici kullanılmalıdır. Yerleşme zamanları yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen BM denetim TTST'ye oranla daha gürbüz bir kontrol sağlar.

BM tabanlı kontrol sistemleri, geri besleme işareti ile elde edilen hata işaretini kullanarak kontrol işareti üretirler. Giriş şekillendirme yöntemi geri besleme işaretine ihtiyaç duymadığından algılayıcı kullanımını gerektirmez. Fakat tasarım için sistemin ω ve ζ katsayıları bilinmesi gereklidir. Özellikle geri besleme işaretinin elde edilmesi zor olan sistemlerde giriş şekillendirme yöntemi kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] S.S. Gürleyük, Vibration Reduction in a Step Motor Using Optimal Control Time Intervals and Amplitudes, ACTA MECHANICA, Vol 177, pp. 1619-1630, 2005
- [2] W. Singhose, L. Porter, and N. Singer, Vibration Reduction Using Multi-Hump Extra-Insensitive Input Shapers, AMERICAN CONTROL CONFERENCE, Seattle, WA, Vol 5, pp. 3830-3834, 1995.
- [3] I.H. Altas and A.M. Sharaf, A fuzzy logic power tracking controller for a photovoltaic energy conversion scheme, ELECTRIC POWER SYSTEM RESEARCH, Vol 25, pp.227-238, 1992.
- [4] N.C. Singer, Residual Vibration Reduction in Computer Controlled Machines, MIT ARTIFICIAL INTELLIGENCE LABORATORY Technical Report Number AITR-1030, MIT Artificial Intelligence Lab, 1989.
- [5] W. Singhose, N. Singer, and W. Seering, Comparison of Command Shaping Methods For Reducing Residual Vibration, THIRD EUROPEAN CONTROL CONF., Rome, Italy, Vol 2, pp. 1126-1131, 1995.
- [6] W. Singhose, W. Seering, and N. Singer, Residual Vibration Reduction Using Vector Diagrams to Generate Shaped Inputs, J. OF MECHANICAL DESIGN, June, pp. Vol 116, pp 654-659, 1994.
- [7] O.J.M.Smith, Feedback Control Systems, MCGRAW-HILL, 1958.