İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELİŞTİRİLMİŞ TEPE GÖZLEMLEYİCİSİ ile PI KONTROLÖR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdinç ŞAHİN

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELİŞTİRİLMİŞ TEPE GÖZLEMLEYİCİSİ ile PI KONTROLÖR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erdinç ŞAHİN
504091103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İbrahim EKSİN
Prof. Dr. Serhat ŞEKER

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında değerli zamanını bana ayıran, sahip olduğu bilgi birikimini benimle paylaşan, sabır ile bana sürekli yol gösteren değerli hocam Sn. Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA'ya, çalışmam sırasında destek ve yorumlarıyla katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. İbrahim EKSİN'e, manevi desteğini her zaman hissettiğim aileme ve kadim dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2011

Erdinç ŞAHİN
Elektrik-Elektronik Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
KISALTMALAR ... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xi**
ÖZET ... **xiii**
SUMMARY ... **xv**
1 GİRİŞ ... **1**
2.SİSTEMLERİN BASİT İÇSEL MODEL KONTROL YÖNTEMİ İLE KONTROLÜ ... **3**
2.1 Giriş ... 3
2.2 Basit İçsel Model Kontrol Yöntemi İle Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Sistem Yaklaşımı ... 3
2.2.1 Basit içsel model kontrol yöntemi ile birinci dereceden ölü zamanlı sistem yaklaşımı benzetimleri ... 4
2.3 Basit İçsel Model Kontrol Yöntemi İle PI Kontrolör Parametrelerinin Hesaplanması ... 7
2.3.1 Basit içsel model kontrol yöntemi ile değişik sistemler üzerinde benzetim çalışmaları ... 10
3. AŞIMLI SİSTEM YANITLARINA TEPE GÖZLEMLEYİCİSİNİN UYGULANMASI ... **13**
3.1 Giriş ... 13
3.2 Tepe Gözlemleyicisi Yöntemi ... 13
3.2.1 Rastgele seçilmiş kontrol parametreleri ve basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiş sistemlerin tepe gözlemleyicili benzetim uygulamaları ... 15
3.3 Geliştirilmiş Tepe Gözlemleyicisi Yöntemleri ... 25
3.3.1 Aşıma bağlı salınım indirgeme çarpanının belirlenmesi ... 25
3.3.2 Model taban öngörülü tepe sönümleyicisi ... 33
4.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR ... **43**
KAYNAKLAR ... **45**
ÖZGEÇMİŞ ... **47**

KISALTMALAR

PI **:** Proportional Integral (Oransal integral)
PID **:** Proportional Integral Derivative (Oransal integral türevsel)
SIMC **:** Simple Internal Model Control (Basit İçsel model kontrol)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : 2.6'da verilen sistemden elde edilen aşım ve salınım indirgeme çarpanı değerler……30

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 2.6'da verilen sistemin yaklaşık ve orijinal modellerinin karşılaştırılması. 5
Şekil 2.2 : 2.10'da verilen sistemin yaklaşık ve orijinal modellerinin karşılaştırılması 6
Şekil 2.3 : 2.14'te verilen sistemin yaklaşık ve orijinal modellerinin karşılaştırılması 7
Şekil 2.4 : Geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı. 7
Şekil 2.5 : 2.6'da verilen sistemin basit içsel model kontrol ile basamak yanıtı. 10
Şekil 2.6 : 2.10'da verilen sistemin basit içsel model kontrol ile basamak yanıtı....11
Şekil 2.7 : 2.14'te verilen sistemin basit içsel model kontrol ile basamak yanıtı …..12
Şekil 3.1 : Tepe gözlemleyicisinin blok diyagramı. 13
Şekil 3.2 : Tepe gözlemleyicisinin tepe anında hesapladığı katsayılar 14
Şekil 3.3 : Şekil 2.5'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı. 15
Şekil 3.4 : Şekil 2.5'te verilen sistemin ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri. 16
Şekil 3.5 : Şekil 2.6'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı. 16
Şekil 3.6 : Şekil 2.6'da verilen sistemin ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri 17
Şekil 3.7 : Şekil 2.7'de verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı …. 17
Şekil 3.8 : Şekil 2.7'de verilen sistemin ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri. 18
Şekil 3.9 : 2.6'da verilen sistemin k_p=23 ve k_i=15 ile sistem yanıtı 19
Şekil 3.10 : Şekil 3.9'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı....19
Şekil 3.11 : Şekil 3.9'da verilen sistemin ilk tepede hesaplanan lamda değeri....20
Şekil 3.12 : Şekil 3.9'da verilen sistemin ilk üst ve ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı. 20
Şekil 3.13 : Şekil 3.9'da verilen sistemin ilk alt aşımda hesaplanan lamda değeri .. 21
Şekil 3.14 : 2.6'da verilen sistemin k_p=82,5 ve k_i=103,25 ile sistem yanıtı 21
Şekil 3.15 : Şekil 3.14'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı....22
Şekil 3.16 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk tepede hesaplanan lamda değeri 22
Şekil 3.17 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk üst ve ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı 23
Şekil 3.18 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk alt aşımda hesaplanan lamda değeri.. 23
Şekil 3.19 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk alt ve ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı. 24
Şekil 3.20 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ikinci üst aşımda hesaplanan lamda değeri 24
Şekil 3.21 : Şekil 3.14'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve gözlemleyicisiz yanıtı …. 25
Şekil 3.22 : Şekil 2.5'te verilen sistemin salınım indirgeme çarpanlı yanıtı. 26
Şekil 3.23 : Şekil 2.5'te verilen sistem için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı.. 26
Şekil 3.24 : Şekil 3.9'da verilen sistemin salınım indirgeme çarpanlı yanıtı.. 27
Şekil 3.25 : Şekil 3.9'da verilen sistem için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı.. 28
Şekil 3.26 : Şekil 3.14'te verilen sistemin salınım indirgeme çarpanlı yanıtı. 29

Şekil 3.27 : Şekil 3.14'te verilen sistem için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı. 29
Şekil 3.28 : Salınım indirgeme çarpanı ile aşım arasında kurulan bağıntı 31
Şekil 3.29 : 2.10'da verilen sistemin k_p=13 ve k_i=17 ile sistem yanıtı 31
Şekil 3.30 : 2.10'da verilen sistemin k_p=13 ve k_i=17 iken tepe gözlemleyicili yanıtı… 32
Şekil 3.31 : 2.10'da verilen sistemin k_p=13 ve k_i=17 iken fonksiyondan elde edilen salınım indirgeme çarpanlı sistem yanıtı 32
Şekil 3.32 : 2.6'da verilen sistemin 1/aşım değeri 34
Şekil 3.33 : 2.6'da verilen sistemin referanstan sonra kontrolöre etki ettirilen 1/aşım değerli sistem yanıtı 34
Şekil 3.34 : Referanstan sonra 1/aşım ile çarpılan 2.6'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı 35
Şekil 3.35 : 2.6'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtları 35
Şekil 3.36 : 2.10'da verilen sistemin 1/aşım değeri 36
Şekil 3.37 : 2.10'da verilen sistemin 1/aşım katsayılı yanıtı 37
Şekil 3.38 : 2.10'da verilen aşımı azaltılmış sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı 37
Şekil 3.39 : 2.10'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtı 38
Şekil 3.40 : 2.14'te verilen sistemin 1/aşım katsayılı yanıtı 39
Şekil 3.41 : 2.14'te verilen 1/aşım katsayılı sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı 39
Şekil 3.42 : 2.14'te verilen sistemin model taban öngörülü tepe sönümleyicili yanıtı.... 40
Şekil 3.43 : 2.10'da verilen sistemin model taban öngörülü yöntem ile gürültülü yanıtı 41
Şekil 3.44 : 2.10'da verilen sistemin model taban öngörülü yöntem ile referans değişikliklerine karşı yanıtı 41

GELİŞTİRİLMİŞ TEPE GÖZLEMLEYİCİSİ ile PI KONTROLÖR TASARIMI

ÖZET

PID kontrolör basit, dayanıklı olması ve kontrol alanında ki geniş uygulama çeşitliliği sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, PID kontrol endüstride en fazla tercih edilen kontrol tekniğidir. PID kontrolörün ayarlanabilir üç parametresi bulunmasına rağmen, iyi sonuç verecek parametreleri bulmak kolay değildir ve birçok kontrolör kötü ayarlanır. Bu yüzden, PID kontrolör parametrelerini ayarlamak için birçok araştırma yapılmaktadır.

Basit içsel model kontrol ayarlama kuralları tek formüle dayalı bir parametre ayarlama metodudur. Bu yöntem hem referans hem de bozucu girişi için integral etkili ve sadece ölü zamanlı sistem yanıtlarında iyi sonuç sağlayan basit bir yöntemdir. Fakat basit içsel model kontrol ayarlama kuralları ile kontrol edilmiş sistemlerin yanıtlarında belirli bir aşım gözlemlenmektedir.

Kontrolörlerin ayarlama parametreleri sistem yanıtını iyileştirmek için çevrim içi olarak da hesaplanabilir. Kontrol edilmiş sistem yanıtlarında salınımı engellemek için bulanık mantık tipi PID kontrolör yapılarında kullanılan Tepe Gözlemleyicisi yöntemi önerilmektedir.

Bu çalışmada, tepe gözlemleyicisi yöntemi klasik bir PI kontrolöre uyarlanmıştır. Tepe gözlemleyicisi, sistem ilk tepe noktasına ulaştıktan sonra salınımları azaltır. Bu bağlamda, sistem yanıtları daha kararlı hale getirilir. Bu çalışmada, ilk olarak, salınımları daha fazla azaltmak için sistemin ilk tepe değerine bağlı bir katsayı bulunur. İkinci olarak, model taban öngörülü tepe sönümleyicisi yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntemde amaç, sisteme referans noktasında etki etmeye başlayacak olan azaltılmış tepe değerinin elde edilmesidir. Sonrasında, burada geliştirilen yaklaşımlar basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiş sistemlere uygulanır. Böylece daha düşük salınımlar ve oturma zamanları elde edilir.

CONTROLLER DESIGN WITH IMPROVED PEAK OBSERVER

SUMMARY

The PID controller is widely used in the process industry due to its simplicity, robustness and wide ranges of applicability in the control layer. Because of this, PID control is by far the most control technique used in the process industry. Although PID controller has three adjustable parameters, it is not simple to find good settings and many controllers are poorly tuned. So, many searches have been done to tune the PID controller parameters.

Simple Internal Model Control (SIMC) tuning rules, one of the parameter tuning methods, provides a single formula. It is a simple method which performs well both integrating and pure time delay processes for both set point and load disturbance inputs. However, the systems controlled with SIMC tuning rules have been observed to have overshoots in their system responses.

The tuning parameters of a controller also can be calculated in an on-line manner to enhance the process performance. To prevent oscillations on the controlled system responses, Peak Observer method has been suggested to be used for fuzzy PID controller structures.

In this study, peak observer method is adapted to a classic PI controller. The peak observer reduces the oscillations after the first peak has been reached. In this respect, the system responses are more settled. In this study, firstly, a coefficient based on the system first peak value has been determined in order to lessen the oscillations more. Secondly, a model base predictive peak reducing method is described. In this method, the aim is to get a reduced first peak which will begin to act on the system at the reference value. Then, the approaches developed here are applied to the systems controlled by SIMC method to reduce peaks and thus obtain lower oscillations and settling times.

1 GİRİŞ

PI kontrolör basit, dayanıklı olması ve geniş çaplı uygulanabilirliği nedeni ile birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Endüstride kullanılan 11.000 kontrolör üzerinde yapılan incelemelerde, bu kontrolörlerin %97'den daha fazlasının PID kontrolör algoritması tabanlı olduğu elde edilmiştir (Desborough ve Miller, 2002). Son yıllarda Japonlar tarafından yapılan bir araştırmada ise PID kontrolör, geleneksel kontrol yöntemleri ve model öngörülü kontrol uygulamaları arasındaki oran 100:10:1 şeklindedir (M.Kano ve M.Ogawa, 2009). Yapılan araştırmalardan görüldüğü üzere, kontrol alanında PID kontrolör çok fazla tercih edilen bir kontrol tekniğidir.

Uygulamalarda operatörler bazı durumlarda kontrolörün otomatik ayarını kullanmakta bazı durumlarda ise kendileri sisteme göre elle kontrol parametrelerini ayarlamaktadırlar. Genelde bu iki tip ayarlama şeklide en uygun sonucu vermemektedir. Bu neden ile PID kontrolörlerin parametre ayarlamaları üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Ayrıca birçok PID kontrolörün türev etkisi kapatılarak PI kontrolör olarak kullanılmaktadır. PI kontrolörün oransal ve integral olmak üzere ayarlanılması gerekilen iki adet kontrol parametresi bulunmaktadır.

PI parametrelerinin ayarlanması üzerine yapılan çalışmalardan birisi de Sigurd Skogestad(2004) basit içsel model kontrol makalesidir. Bu çalışmada önceden bilinen sistem için birinci veya ikinci dereceden yaklaşık bir sistem modeli elde edilir ve bu sistemlere göre hesaplamalardan elde edilen denklemlerden kontrolör parametreleri ayarlanmaktadır. Bu metot uygulamada basit olması, akılda kalıcı olması ve çoğu sistem yanıtında iyi sonuç vermesi nedeni ile birçok çalışmayı geride bırakmıştır. Fakat metodun birinci dereceden sistem yaklaşımlı yanıtında incelenen sistemlerin hepsinin aşım yaptığı gözlemlenmektedir.

Tepe gözlemleyicisi metodu aşım yapan kontrol edilmiş sistemlere uygulanmaktadır. Bu fikir ilk olarak bulanık mantık tipi bir PID kontrolörde uygulanmıştır. Sistem ilk tepe yapana kadar beklenmekte, ilk tepe anında ise hesaplanan hatanın mutlak değeri diğer bir adı ile lamda katsayısı kontrolör parametreleri ile çarpılmaktadır. Burada amaç sistemin ilk tepe oluştuktan sonra salınım yapmasını engelleyerek referans

değere oturmasını sağlamaktır. Aşımı %20 civarında olan ve salınım yapan sistemler için tepe gözlemleyicisi yöntemi kullanılması önerilebilinir. Bu tür sistemler için ilk tepe anındaki hatanın hesaplanması yeterli olacaktır. Fakat aşımı %50 civarında olan ve salınım yapan sistemler için ilk tepede hesaplanan hata değeri her ne kadar daha iyi bir sonuç verse de yeterli olamayabilir. Bu durumda ilk tepeden sonra gelen alt aşım anında ki hata değeri de hesaplanıp kontrolör parametreleri ile çarpılırsa daha iyi bir sonuç elde edilecektir.

Tez çalışmasında basit içsel model kontrol metodu ile kontrol edilmiş aşımlı sistemlere tepe gözlemleyicisi yöntemi uygulanmıştır. Tepe gözlemleyicisi yöntemi ilk olarak bulanık mantık tipi PID kontrolörlere uygulanmıştır. Tez çalışmasında ise bu yöntem klasik tip PI kontrolöre uygulanmış, ayrıca tepe gözlemleyicisinin geliştirilmesi aşamasında iki yeni fikir sunulmuştur. Bunlardan birincisi, ilk tepede ki aşıma bağlı bir lamda çarpanı sisteme salınım yaptırmayacak şekilde hesaplanmış ve bu değer ilk tepeden sonra kontrol parametreleri ile çarpılmıştır. İkinci olarak ise, sistemin ilk aşıma çıkmasını beklemeden referans değere ulaştığı anda müdahale edilerek sistemin fazla aşım yapması engellenmiştir. Daha sonra ise sisteme tepe gözlemleyicisi yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak değerlendirilmiştir.

Tez düzeninde ikinci bölümde basit içsel model kontrol yöntemi ele alınmıştır. Bu kısımda, yöntem anlatılmış ve bu yöntem ile kontrol edilmiş sistemler için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Üçüncü bölümde kontrol edilmiş aşımlı sistemler için tepe gözlemleyicisi ve geliştirilmiş tepe gözlemleyicisi metodu anlatılmıştır ve geliştirilen yöntem ile orijinal tepe gözlemleyicisi metodu karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2.SİSTEMLERİN BASİT İÇSEL MODEL KONTROL YÖNTEMİ İLE KONTROLÜ

2.1 Giriş

Basit içsel model kontrol yöntemi ile ilk olarak modeli bilinen sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak birinci veya ikinci dereceden sistem yaklaşımı elde edilir. Daha sonra elde edilen birinci dereceden ölü zamanlı sistem yaklaşımı için PI kontrolör katsayıları, ikinci dereceden ölü zamanlı sistem yaklaşımı için de PID kontrolör katsayıları hesaplanır. Tez çalışmasında birinci dereceden sistem yaklaşımı ile elde edilen sistemler kontrol edilerek benzetim çalışmaları yapılmıştır.

2.2 Basit İçsel Model Kontrol Yöntemi İle Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Sistem Yaklaşımı

Skogestad(2004) sistem modelinden, birinci dereceden ölü zamanlı bir sistem yaklaşımı elde etmek için model indirgeme kuralı adını verdiği bir yöntem önermiştir. Orijinal sistem modeli 2.1'de gösterilmektedir. Sistemde verilen θ_0 ölü zaman, τ ve T ise sistemin zaman sabiti katsayılarıdır.

$$G(s) = \frac{\prod_j \left(-T_{j0}^{\infty} s+1\right)}{\prod_i (\tau_{i0} s+1)} e^{-\theta s} \qquad j, i = 1,2,3 \ldots \tag{2.1}$$

Model indirgeme kuralına göre payda da bulunan en büyük değerli zaman sabiti katsayısı, payda da bulunan diğer zaman sabiti katsayılarına ve ölü zamana dağıtılarak birinci dereceden yaklaşık bir sistem modeli elde edilmiştir. Birinci dereceden sistem modeli 2.2'de gösterilmektedir.

$$g(s) = \frac{1}{\tau_1 s+1} e^{-\theta s} \tag{2.2}$$

Bu kural pay kısmında negatif katsayılı zaman sabiti olan veya zaman sabiti olmayan sistemler için aynen uygulanmaktadır. Fakat pozitif zaman sabiti katsayısı olan sistemlerde pay ve payda sadeleştirilmesi yapıldıktan sonra model indirgeme kuralı uygulanmaktadır. Pay kısmında zaman sabiti olmayan veya negatif katsayılı zaman sabiti olan sistemler için birinci dereceden sistem yaklaşımı 2.3 ve 2.4'te gösterilmektedir.

$$\tau_1 = \tau_{10} + \frac{\tau_{20}}{2} \quad \textbf{(2.3)}$$

$$\theta = \theta_0 + \frac{\tau_{20}}{2} + \sum_{i\geq 3} \tau_{i0} + \sum_j T_{j0}^{\infty} + \frac{h}{2} \quad \textbf{(2.4)}$$

Yukarıda verilen denklemde verilen h değeri dijital uygulamalarda kullanılan örnekleme zamanıdır. Örnekleme zamanının yarısı etkin ölü zamana eklenmektedir.

Pay kısmında bulunan pozitif katsayılı zaman sabiti ile payda kısmında bulunan zaman sabitinin sadeleştirilmesi 2.5'te verilen kurallara göre yapılmaktadır.

$$\frac{T_0 s+1}{\tau_0 s+1} \approx \begin{cases} \frac{T_0}{\tau_0} & \text{eğer} \quad T_0 \geq \tau_0 \geq \theta \\ \frac{T_0}{\theta} & \text{eğer} \quad T_0 \geq \theta \geq \tau_0 \\ 1 & \text{eğer} \quad \theta \geq T_0 \geq \tau_0 \\ \frac{T_0}{\tau_0} & \text{eğer} \quad \tau_0 \geq T_0 \geq 5\theta \\ \frac{\tau_{00}/\tau_0}{(\tau_{00}-T_0)s+1} & \text{eğer} \quad \tau_0 = \min(\tau_0, 5\theta) \geq T_0 \end{cases} \quad \textbf{(2.5)}$$

2.2.1 Basit içsel model kontrol yöntemi ile birinci dereceden ölü zamanlı sistem yaklaşımı benzetimleri

İlk olarak İkinci dereceden ölü zamansız bir sistem incelenmiştir. Bu sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak birinci dereceden ölü zamanlı yaklaşık bir sistem modeli elde edilmiştir.

$$G_1(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)} \quad \textbf{(2.6)}$$

Sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak elde edilen birinci dereceden ölü zamanlı sistem parametreleri 2.7 ve 2.8'de hesaplanmıştır.

$$\tau_1 = 1 + \frac{0.2}{2} = 1.1 \quad \textbf{(2.7)}$$

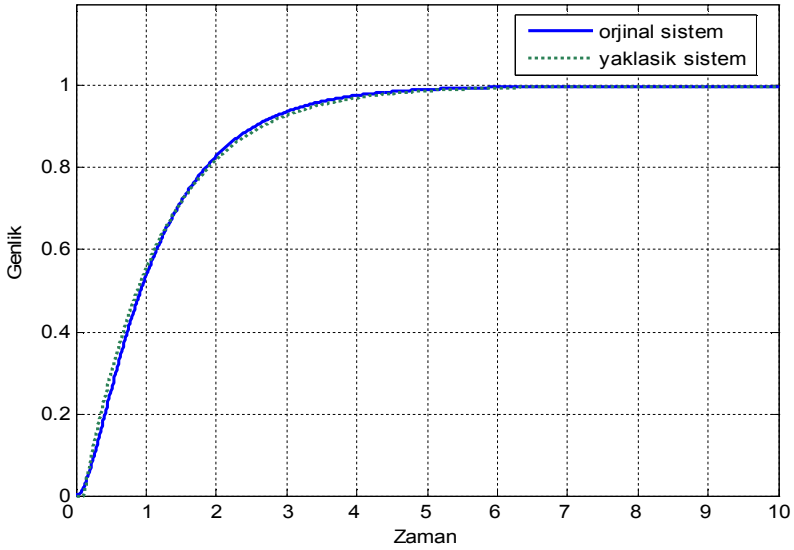
$$\theta = 0 + \frac{0.2}{2} = 0.1 \quad \textbf{(2.8)}$$

Birinci dereceden ölü zamanlı yaklaşık sistem modeli aşağıda verilmiştir.

$$g_1(s) = \frac{1}{1.1s+1} e^{-0.1s} \quad \textbf{(2.9)}$$

İkinci dereceden ölü zamansız sisteme, birinci dereceden ölü zamanlı olacak şekilde model indirgeme kuralı kullanılarak yaklaşılmıştır. Elde edilen yaklaşık sistem ile

orijinal sistemin birim basamak yanıtları Şekil 2.1'de görüldüğü üzere birbirine yakın değerler çıkmıştır.



Şekil 2.1 : 2.6'da verilen sistemin yaklaşık ve orijinal modellerinin karşılaştırılması.

İkinci örnek olarak dördüncü dereceden ölü zamansız bir sistemi inceleyelim.

$$G_2(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)(0.04s+1)(0.008s+1)} \qquad \textbf{(2.10)}$$

Bu sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak elde edilen birinci dereceden ölü zamanlı yaklaşık sistem parametreleri 2.11 ve 2.12'de hesaplanmıştır.

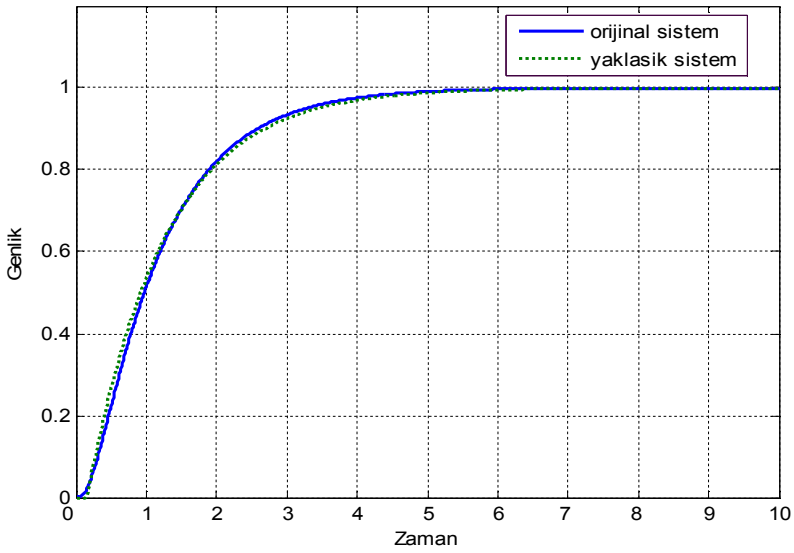
$$\tau_1 = 1 + \frac{0.2}{2} = 1.1 \qquad \textbf{(2.11)}$$

$$\theta = 0 + \frac{0.2}{2} + 0.04 + 0.008 = 0.148 \qquad \textbf{(2.12)}$$

Birinci dereceden ölü zamanlı yaklaşık sistem modeli 2.13'te verilmiştir.

$$g_2(s) = \frac{1}{(1.1s+1)} e^{-0.148s} \qquad \textbf{(2.13)}$$

Dördüncü dereceden ölü zamansız sisteme birinci dereceden ölü zamanlı olacak şekilde model indirgeme kuralı kullanılarak yaklaşılmıştır. Elde edilen yaklaşık sistem ile orijinal sistemin birim basamak yanıtlarıları Şekil 2.2'de görüldüğü üzere birbirine yakın değerler çıkmıştır.



Şekil 2.2 : 2.10'da verilen sistemin yaklaşık ve orijinal modellerinin karşılaştırılması.

Üçüncü ve son örnek olarak ikinci dereceden ölü zamanlı bir sistem incelenmiştir.

$$G_3(s) = \frac{1}{(20s+1)(2s+1)} e^{-s} \quad \textbf{(2.14)}$$

Bu sisteme model indirgeme kuralı uygulayarak elde edilen birinci dereceden ölü zamanlı sistem parametreleri 2.15 ve 2.16'da hesaplanmıştır.

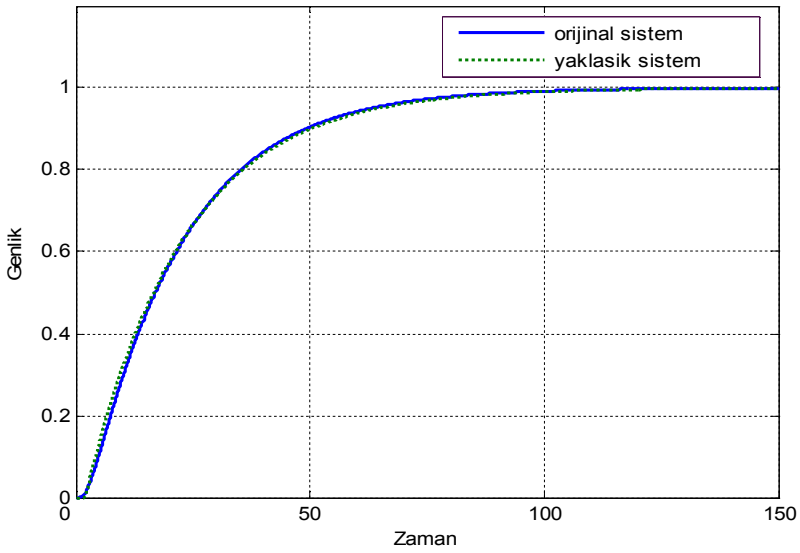
$$\tau_1 = 20 + \frac{2}{2} = 21 \quad \textbf{(2.15)}$$

$$\theta = 1 + \frac{2}{2} = 2 \quad \textbf{(2.16)}$$

Birinci dereceden ölü zamanlı yaklaşık sistem modeli 2.17'de verilmiştir.

$$g_3(s) = \frac{1}{(21s+1)} e^{-2s} \quad \textbf{(2.17)}$$

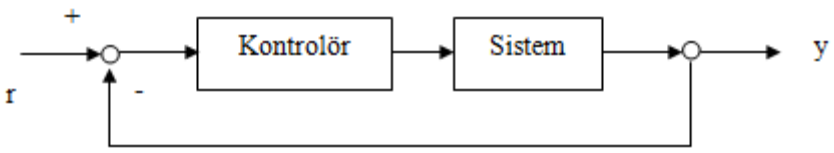
İkinci dereceden ölü zamanlı sisteme birinci dereceden ölü zamanlı olacak şekilde model indirgeme kuralı kullanılarak yaklaşılmıştır. Elde edilen yaklaşık sistem ile orijinal sistemin birim basamak yanıtları Şekil 2.3'te görüldüğü üzere birbirine yakın değerler çıkmıştır.



Şekil 2.3 : 2.14'te verilen sistemin yaklaşık ve orijinal modellerinin karşılaştırılması.

2.3 Basit İçsel Model Kontrol Yöntemi İle PI Kontrolör Parametrelerinin Hesaplanması

Skogestad (2004), Riveria (1986)'nın yapmış olduğu içsel model kontrol tabanlı çalışmasında PID parametrelerinin hesaplanması için elde ettiği denklemleri geliştirerek daha kolay ve daha iyi sonuç verecek yeni denklemler elde etmiştir. İlk olarak Riveria (1986)'nın içsel model kontrol yönteminde kontrol katsayılarının hesaplandığı formüllerin nasıl elde edildiği incelenmiştir.



Şekil 2.4 : Geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı.

Kontrolörü c, sistemi g ile sembolize edecek olursak Şekil 2.4'ten elde edilen kapalı çevrim transfer fonksiyonu aşağıda verilmektedir. İncelenen sistem ikinci dereceden ölü zamanlı olarak kabul edilmiştir.

$$\frac{y}{r} = \frac{g(s)c(s)}{g(s)c(s)+1} \qquad \textbf{(2.18)}$$

2.18'de verilen denklemden kontrolörü çekecek olursak 2.19'da verilen eşitlik elde edilir.

$$c(s) = \frac{1}{g(s)} \frac{1}{\left(\frac{r}{y}\right)-1} \quad \textbf{(2.19)}$$

Riveria (1986) çalışmasında istenen transfer fonksiyonunu birinci dereceden ölü zamanlı bir sistem olarak belirlemiştir. Bu sistemin örneği 2.20'de verilmiştir.

$$\frac{y}{r} = \frac{k}{\tau_c s+1} e^{-\theta s} \quad \textbf{(2.20)}$$

İkinci dereceden ölü zamanlı sistemi ve birinci dereceden ölü zamanlı istenen sistemin tersini (r/y) denklem 2.19'da yerine koyarsak Smith (1957) çalışmasında verilen kontrolörün denklemi 2.21'de elde edilmiş olunur.

$$c(s) = \frac{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}{k} \frac{1}{\tau_c s+1-e^{-\theta s}} \quad \textbf{(2.21)}$$

Ölü zamana Taylor serisinin ilk açılımını uygulayıp ($e^{-\theta s} \approx 1-\theta s$) 2.21'de verilen eşitliği yeniden yazacak olursak 2.22'de verilen eşitlik elde edilir.

$$c(s) = \frac{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}{k} \frac{1}{(\tau_c+\theta)s} \quad \textbf{(2.22)}$$

Artık kontrolör denklemi seri PID formda elde edilmiştir. Seri PID kontrolör denklemi 2.23'te gösterilmektedir.

$$\text{seri PID form} : c(s) = k_c \frac{(\tau_i s+1)}{\tau_i s} (\tau_d s + 1) \quad \textbf{(2.23)}$$

2.22'de ve 2.23'te verilen kontrolör transfer fonksiyonları birbirine eşitlenerek Riveria(1986)'nın çalışmasında elde ettiği PID kontrolör parametreleri hesaplama formülleri elde edilir. Bu formüller 2.24'te gösterilmektedir.

$$k_c = \frac{1}{k} \frac{\tau_1}{\tau_c+\theta} = \frac{1}{k'(\tau_c+\theta)} \qquad \tau_i = \tau_1 \qquad \tau_d = \tau_2 \quad \textbf{(2.24)}$$

Skogestad (2004) çalışmasında 2.24'te elde edilen kontrol parametreleri hesaplama formüllerinden integral zaman sabitinin azaltılması gerektiğini savunmuştur. İntegral zaman sabiti azaltılarak sistem gürültüye karşı daha dayanıklı hale getirilecektir. Fakat integral zaman sabiti fazla azaltılırsa bu sefer de sistem salınım yapacaktır.

Birinci dereceden ölü zamanlı istenilen sistemde, ölü zaman yavaş salınımlara neden olmadığından dolayı ihmal edilir ve zaman sabiti katsayısı artırılırsa integral etkili bir sistem elde edilecektir. Bu sistem yaklaşımı 2.25'te verilmiştir.

$$g(s) = \frac{y}{r} = \frac{k}{\tau_1 s+1} e^{-\theta s} \approx \frac{k}{\tau_1 s+1} \approx \frac{k}{\tau_1 s} \approx \frac{k'}{s} \quad \textbf{(2.25)}$$

PI kontrolörün transfer fonksiyonu $c=k_c(1+(1/\tau_i)s)$ ile 2.25'te verilen sistemin kapalı çevrim karakteristik denklemi 2.26'da gösterilmektedir.

$$1 + g(s)c(s) = \frac{\tau_i}{k'k_c}s^2 + \tau_i s + 1 \qquad \textbf{(2.26)}$$

İkinci dereceden bir sistemin standart karakteristik denklemi ile 2.26'da verilen denklem karşılıklı eşitlenip, sönüm oranı denklemden çekilirse 2.27'de verilen eşitlik elde edilir.

$$\frac{\tau_i}{k'k_c}s^2 + \tau_i s + 1 = \tau_0^2 s^2 + 2\tau_0\zeta s + 1 \qquad \rightarrow \quad \zeta = \frac{1}{2}\sqrt{k'k_c\tau_i} \qquad \textbf{(2.27)}$$

Sönüm oranı birden küçük olursa sistem salınım yapar. Dayanıklı bir tercih için sönüm oranı bire eşit alınmalıdır. 2.27'de elde edilen sönüm oranı bire eşitlenir ve integral katsayısı 2.28'de elde edilir.

$$\zeta = 1 = \frac{1}{2}\sqrt{k'k_c\tau_i} \quad \rightarrow \tau_i = \frac{4}{k'k_c} \qquad \textbf{(2.28)}$$

2.24'te elde edilen formülde $k'k_c$ değeri 2.28'de yerine koyularak yeni integral katsayısı elde edilir.

$$\tau_i = \frac{4}{1/(\tau_c+\theta)} = 4(\tau_c + \theta) \qquad \textbf{(2.29)}$$

Skogestad (2004) çalışmasında elde ettiği PI kontrolör katsayıları 2.30'da verilmiştir.

$$k_c = \frac{1}{k}\frac{\tau_1}{\tau_c+\theta} = \frac{1}{k'(\tau_c+\theta)} \qquad \tau_i = \min(\tau_1, 4(\tau_c + \theta)) \qquad \textbf{(2.30)}$$

Skogestad (2004) çalışmasında elde ettiği formülü daha da geliştirmek amacıyla τ_c (istenen kapalı çevrim zaman sabiti) parametresi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Hızlı ve gürültüye dayanıklı bir sistem cevabı için τ_c küçük bir değer olmalıdır. Fakat kararlı ve dayanıklı bir sistem cevabı için ise τ_c büyük bir değer seçilmelidir. Bu bilgilere dayanarak Skogestad (2004) hızlı ve dayanıklı bir sistem cevabı için $\tau_c=\theta$ seçilmesini önermektedir. PI kontrolör parametreleri için elde edilen formüllerin en son hali 2.31'de verilmiştir.

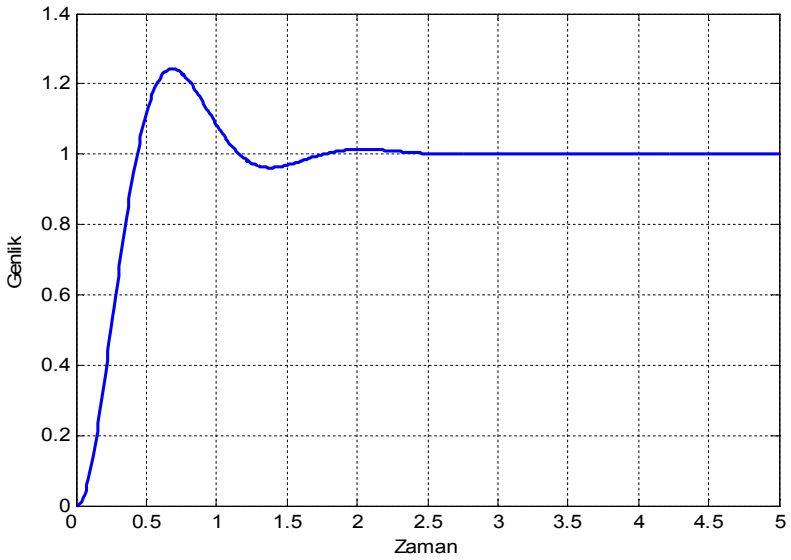
$$k_c = \frac{0.5}{k}\frac{\tau_1}{\theta} = \frac{0.5}{k'\theta} \qquad \tau_i = \min(\tau_1, 8\theta) \qquad \textbf{(2.31)}$$

2.3.1 Basit içsel model kontrol yöntemi ile değişik sistemler üzerinde benzetim çalışmaları

Bu bölümde 2.2.1 kısmında incelenen sistemler basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilecektir. İlk olarak 2.6'da verilen sistem incelenmiştir. 2.6'da incelenen sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak 2.9'da verilen birinci dereceden ölü zamanlı bir sistem yaklaşımı elde edilmiştir. Basit içsel model kontrol yöntemi ile PI parametrelerinin hesaplanması 2.32'de gösterilmektedir.

$$k_c = \frac{0.5}{k}\frac{\tau_1}{\theta} = \frac{(0.5)(1.1)}{(1)(0.1)} = 5.5 \qquad \tau_i = \min(1.1,0.8) = 0.8 \tag{2.32}$$

Oransal katsayı 5,5 ve integral zaman sabiti 0,8 olarak hesaplanmıştır. Kontrol katsayıları hesaplanan sistemin kapalı çevrim birim basamak yanıtı Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



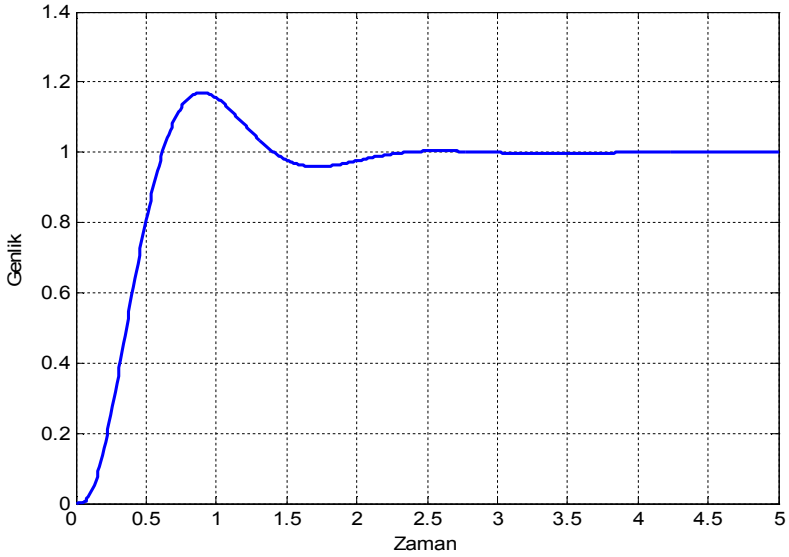
Şekil 2.5 : 2.6'da verilen sistemin basit içsel model kontrol ile basamak yanıtı.

Şekil 2.5'ten görüldüğü üzere sistem fazla salınım yapmadan referans değere oturmuştur. Fakat sistem cevabında %24'lük bir aşım meydana gelmiştir.

İkinci olarak 2.10'da verilen sistem incelenmiştir. 2.10'da verilen dördüncü dereceden sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak 2.13'te gösterilen birinci dereceden ölü zamanlı sistem modeli elde edilmiştir. Bu sistem üzerinden basit içsel model kontrol yöntemi ile elde edilen PI kontrolör parametreleri 2.33'te verilmiştir.

$$k_c = \frac{0.5}{k}\frac{\tau_1}{\theta} = \frac{(0.5)(1.1)}{(1)(0.148)} = 3.72 \qquad \tau_i = \min(1.1,1.184) = 1.1 \tag{2.33}$$

Oransal katsayı 3,72 ve integral zaman sabiti 1,1 olarak hesaplanmıştır. Kontrol katsayıları hesaplanan sistemin kapalı çevrim birim basamak yanıtı Şekil 2.6'da gösterilmektir. Şekil 2.6'dan görüldüğü üzere, sistem çok az bir salınım yaparak referans değere oturmaktadır. Fakat %17'lik bir aşım yapmaktadır.

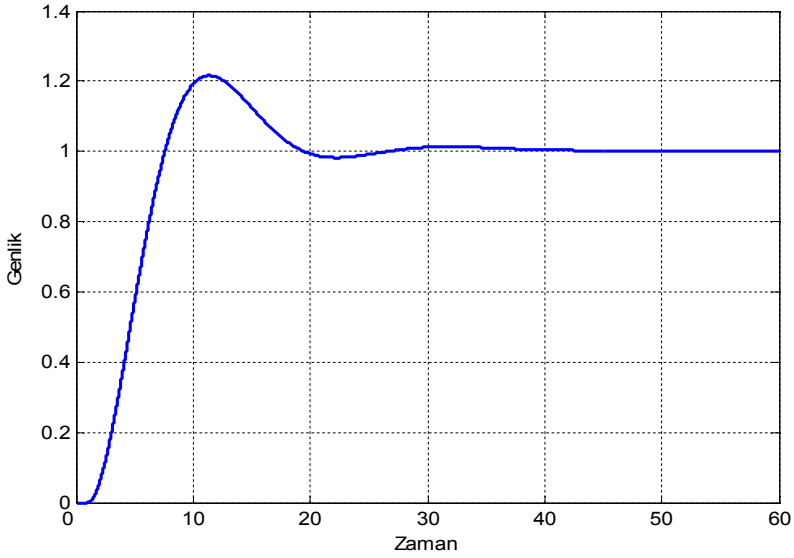


Şekil 2.6 : 2.10'da verilen sistemin basit içsel model kontrol ile basamak yanıtı.

Üçüncü ve son olarak 2.14'te verilen sistem incelenmiştir. 2.14'te verilen ikinci dereceden ölü zamanlı sisteme model indirgeme kuralı uygulanarak 2.17'de verilen birinci dereceden ölü zamanlı yaklaşık sistem modeli elde edilmiştir. Bu sisteme basit içsel model kontrol yöntemi uygulanarak elde edilen PI kontrolör parametreleri 2.34'te hesaplanmıştır.

$$k_c = \frac{0.5}{k}\frac{\tau_1}{\theta} = \frac{(0.5)(21)}{(1)(2)} = 5.25 \qquad \tau_i = \min(21,16) = 16 \qquad \textbf{(2.34)}$$

Oransal katsayı 5,25 ve integral zaman sabiti 16 olarak elde edilmiştir. Kontrol katsayıları hesaplanan sistemin kapalı çevrim birim basamak yanıtı Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere sistem çok az bir salınım yaparak referans değere oturmuştur. Fakat %21'lik bir aşım yapmaktadır.



Şekil 2.7 : 2.14'te verilen sistemin basit içsel model kontrol ile basamak yanıtı.

Uygulamalarda görüldüğü gibi basit içsel model kontrol yöntemi ile elde edilen sistem cevapları çok az bir salınım yaparak referans değere oturmaktadır. Sistem yanıtlarında ayrıca %20 dolaylarında aşım yapıldığı gözlemlenmektedir.

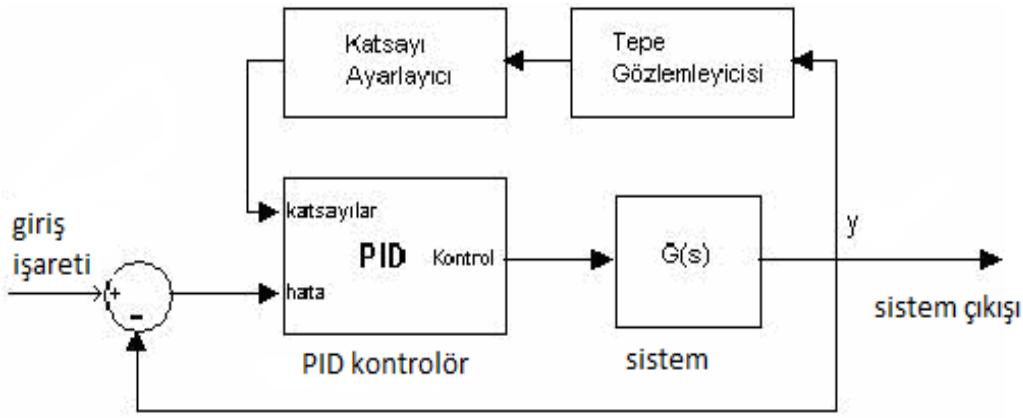
3. AŞIMLI SİSTEM YANITLARINA TEPE GÖZLEMLEYİCİSİNİN UYGULANMASI

3.1 Giriş

Basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiş sistem yanıtları incelendiğinde sistemlerin belirli bir aşım ve az miktarda salınım yaptıkları gözlemlenmektedir. Aşımlı sistemlere tepe gözlemleyicisi yöntemi uygulanarak sistem yanıtlarında meydana gelen salınımlar engellenebilir.

3.2 Tepe Gözlemleyicisi Yöntemi

Tepe gözlemleyicisi yönteminde, kontrol edilmiş sistem çıkışının tepe yaptığı noktalarda PID katsayılarının hataya bağlı çarpanlar ile değiştirilmesi öngörülmüştür. Bu fikir ilk olarak bulanık mantık tipi bir PID kontrolör için tepe gözlemleyicisi adı ile yayımlanmıştır. (W.Z. Qiao ve M. Mizumoto, 1996)



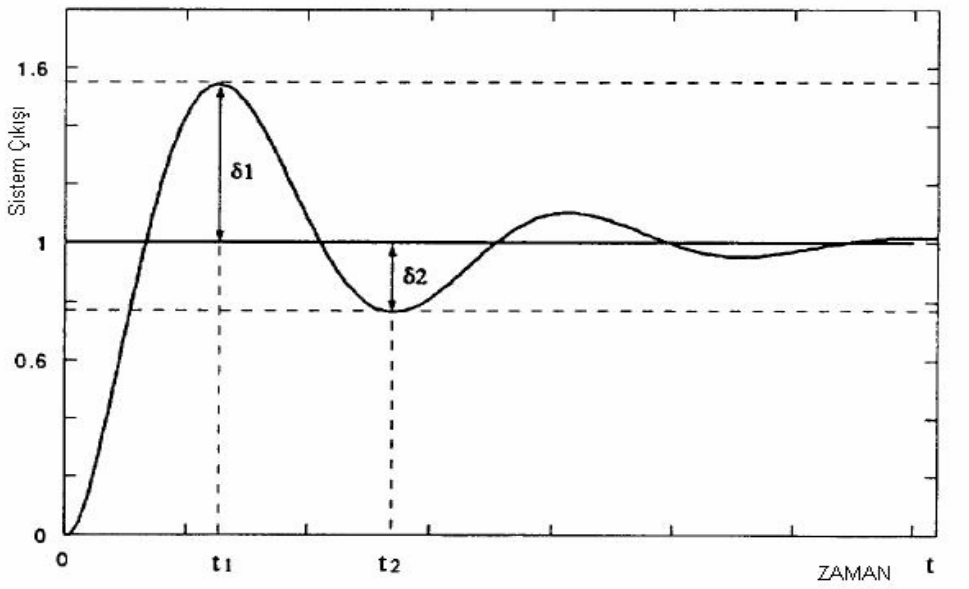
Şekil 3.1 : Tepe gözlemleyicisinin blok diyagramı.

Blok diyagramda gösterilen tepe gözlemleyicisi sistemin çıkışına bakarak tepe yaptığı anlardaki hata değerini hesaplar. Katsayı ayarlayıcı da bu değeri, PID parametreleri ile çarparak yeni kontrolör katsayılarının elde edilmesi için kullanılır.

Şekil 3.2'de bir sistemin kapalı çevrim birim basamak yanıtı üzerinde PID katsayılarına etki ettirilecek olan tepe anındaki hata değerleri δ sembolü ile gösterilmektedir. Bu yöntemde δ değerleri tepe ve çukur anlarında hesaplandıktan sonra kontrol parametreleri ile çarpılarak yeni kontrol parametreleri hesaplanır. Elde

edilen yeni kontrol parametreleri, ilk kontrol parametrelerine göre daha ufak değer olacaktır. Bu da ilk tepeden sonra sistem yanıtnın yumuşatılmasını sağlayacaktır. Sistem yanıtlarında meydana gelen salınımın fazlalığına göre sisteme birden çok tepe gözlemleyicisi uygulanabilir. İlk üst aşımlı tepe gözlemleyicisi, sistemin yaptığı ilk aşımı, ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicisi ilk üst aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistemin ilk alt aşımını ve ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicisi de ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistemin ikinci üst aşımını hesapladıktan sonra kontrol parametrelerini bu değer ile çarpmaktadır. Üst aşım ve alt aşım anında kontrol parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan formül 3.1'de gösterilmektedir. Yeni kontrol parametreleri ile sistem yanıtının salınım yapmadan sönümlenerek referans değere oturtulması amaçlanmıştır.

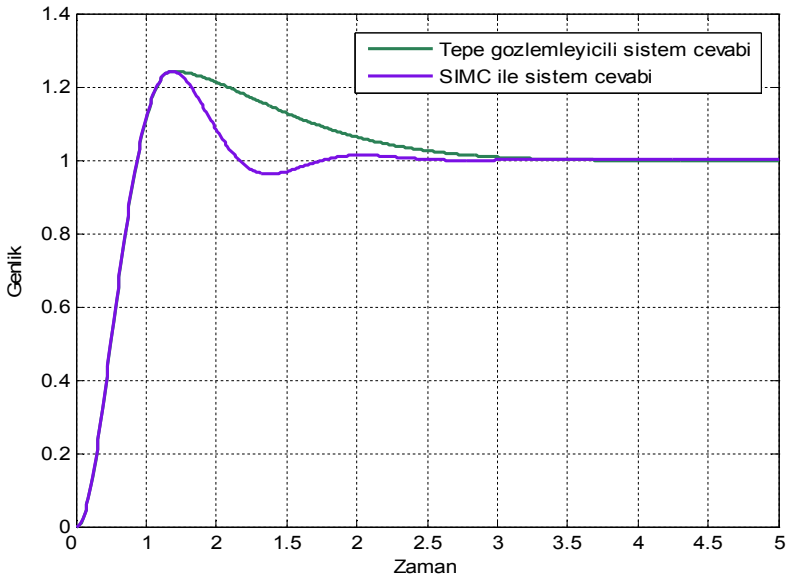
$$k_{p(yeni)} = k_p x\delta \qquad k_{i(yeni)} = k_i x\delta \qquad \textbf{(3.1)}$$



Şekil 3.2 : Tepe gözlemleyicisinin tepe anında hesapladığı katsayılar.

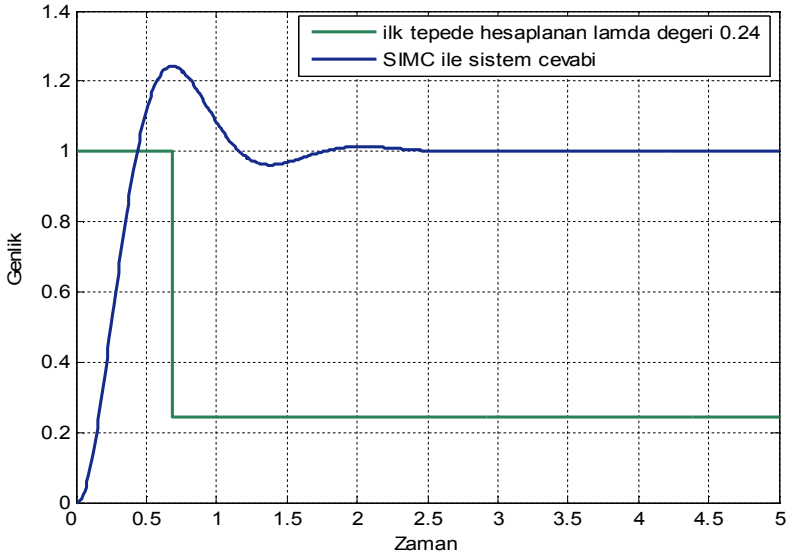
3.2.1 Rastgele seçilmiş kontrol parametreleri ve basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiş sistemlerin tepe gözlemleyicili benzetim uygulamaları

Bu bölümde ilk olarak 2.6'da verilen ikinci dereceden sistem incelenmiştir. Basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiş sistemin kapalı çevrim birim basamak yanıtı Şekil 2.5'te verilmiştir. Şekil 2.5'ten görüldüğü üzere sistem aşım yapmıştır. Aşım anındaki hata değeri referans ile çıkış arasındaki farktır. Hata değeri negatif olduğu için bu değerin mutlak değeri alınarak PI parametrelerine ilk aşımdan sonra çarpan olarak etki ettirilecektir. Tepe gözlemleyicisinin ilk tepe anında hesapladığı lamda değeri 0,24'tür. Tepe gözlemleyicisi ilk tepe oluşana kadar bekleyecek yani kontrolör parametrelerine etki etmeyecek, tepe oluştuktan sonra o andaki hatanın mutlak değeri lamda katsayısı ile başlangıçtaki PI katsayılarını çarparak sistemin salınım yapmasını engelleyecektir. İlk tepe oluştuktan hemen sonra 3.1'de verilen formüller de, lamda ve kontrol katsayıları çarpılarak yeni oransal katsayı 1,32 ve yeni integral katsayısı 1,65 olarak hesaplanıp sisteme uygulanmaktadır. Tepe gözlemleyicisi uygulanarak elde edilen yeni sistem yanıtı Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



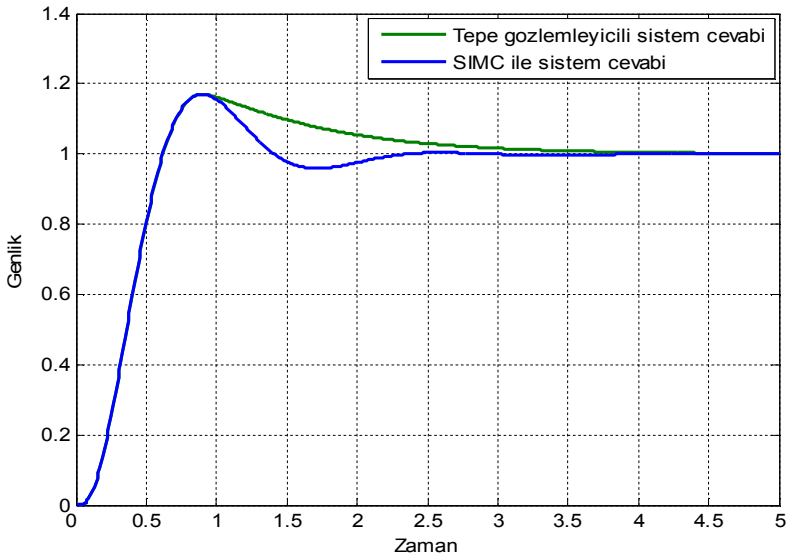
Şekil 3.3 : Şekil 2.5'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.3'ten görüldüğü üzere tepe gözlemleyicisi ile sistem ilk aşımdan sonra alt aşım yapmayarak referans değere oturmuştur. İlk tepe anında hesaplanan lamda çarpanı Şekil 3.4'te verilmiştir.



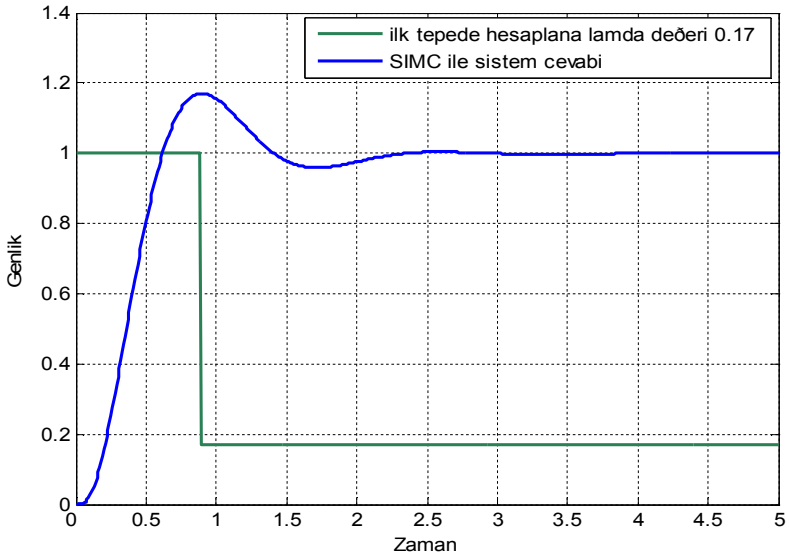
Şekil 3.4 : Şekil 2.5'te verilen sistemin ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri.

İkinci olarak 2.10'da verilen dördüncü dereceden sistem incelenmiştir. Basit içsel model kontrol metodu ile kontrol edilmiş sistem yanıtı Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Bu sistem cevabı için hesaplanan oransal katsayı 3,72 ve integral katsayısı 3,38'dir. İlk tepe anında hesaplanan hatanın mutlak değeri ise 0,17'dir. İlk tepe anından hemen sonra 3.1'de verilen formüller kullanılarak hesaplanan yeni oransal katsayı 0,6324 ve yeni integral katsayısı 0,5746 olacaktır. Tepe gözlemleyicili sistem yanıtı Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



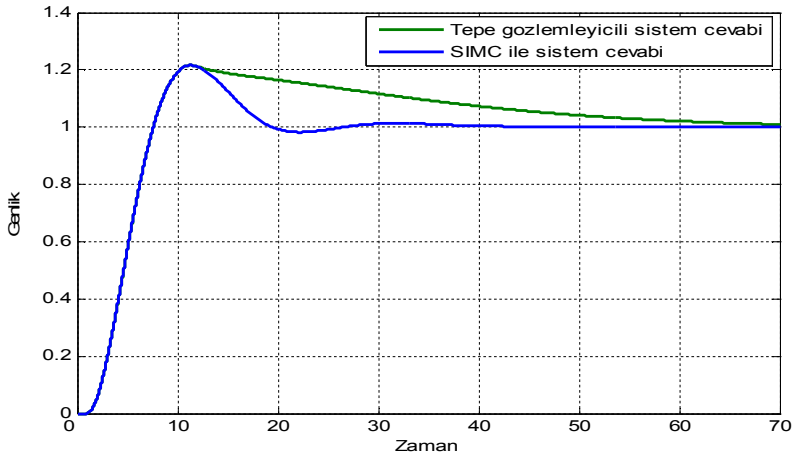
Şekil 3.5 : Şekil 2.6'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.5'ten görüldüğü üzere sistem ilk tepe oluştuktan sonra alt tepe yapmadan referans değere oturmaktadır. İlk tepe anında kontrolör parametreleri ile çarpılacak olan lamda değeri Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



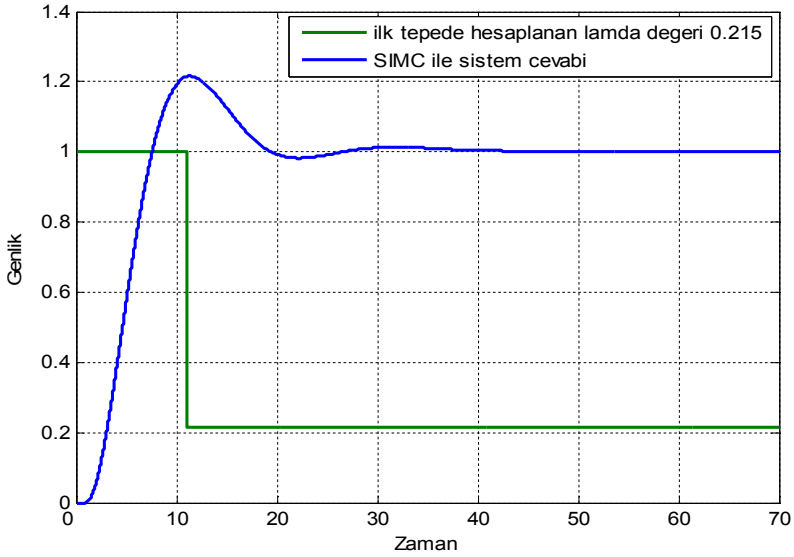
Şekil 3.6 : Şekil 2.6'da verilen sistemin ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri.

Son olarak 2.14'te verilen ikinci dereceden ölü zamanlı sisteme tepe gözlemleyicisi uygulanmıştır. Basit içsel model kontrol yöntemi ile elde edilen sistem yanıtı Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Bu sistem yanıtı için oransal katsayı 5,25 ve integral katsayısı 0,328 olarak hesaplanmıştır. İlk tepe oluştuktan hemen sonra 3.1'de verilen formüller kullanılarak hesaplanan yeni oransal katsayısı 1,128 ve yeni integral katsayısı 0,07 olacaktır. Tepe gözlemleyicili sistem cevabı Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Şekil 2.7'de verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

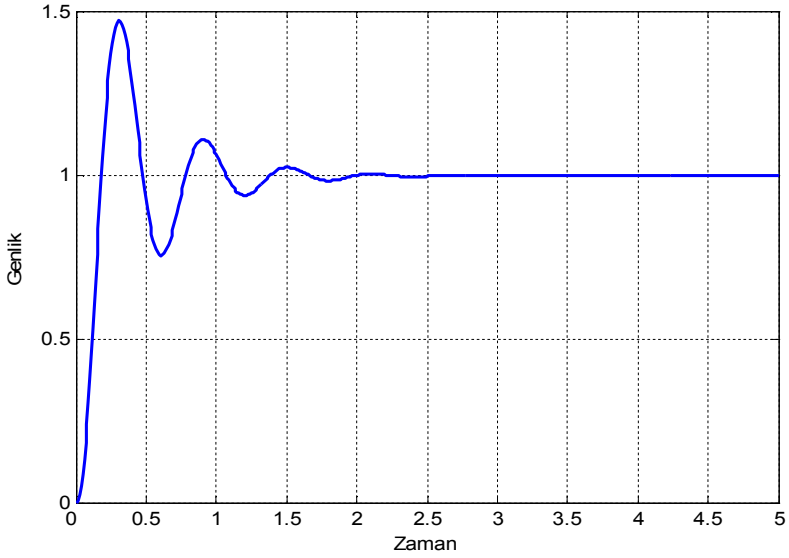
Şekil 3.7'den görüldüğü üzere sistem alt aşım yapmadan referans değere oturmuştur. Fakat oturma zamanında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise integral katsayısının ilk tepeden sonra çok küçültülmüş olmasıdır. İntegral katsayısı ilk tepeden sonra lamda değeri ile çarpılarak sistemin oturma zamanında artışa neden olmuştur. Aşımı az olan ve küçük integral katsayısı ile kontrol edilen sistemlerde bu tür yanıtlar görülmektedir. İlk tepe anında kontrol parametreleri ile çarpılacak lamda değeri Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : Şekil 2.7'de verilen sistemin ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri.

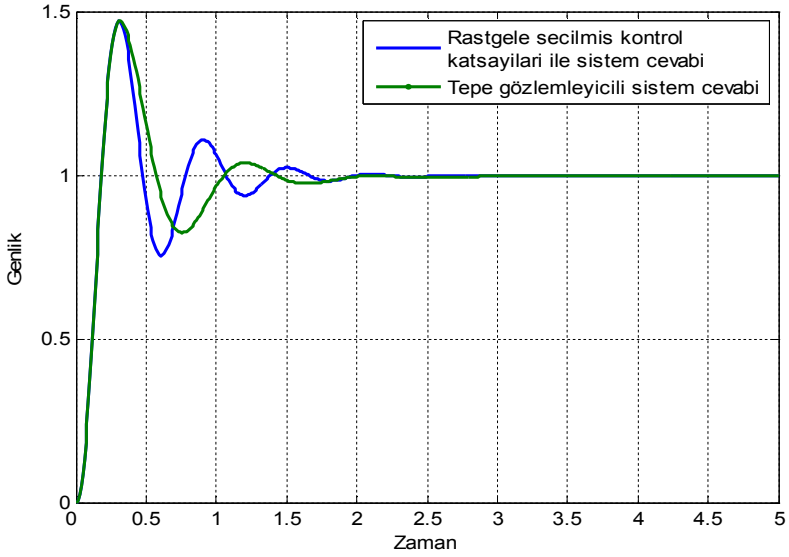
Uygulamalarda verilen sistemler basit içsel model yöntemi ile kontrol edildiğinde %20 dolaylarında aşım yapmaktadır. Fakat her sistem kontrol edildikten sonra %20 aşım yapmayabilir. Rastgele kontrol parametreleri ile kontrol edilmiş bir sistem fazla salınım yaparak referans değere oturabilir ve bu sistemin aşımı %50'yi bulabilir. Bu tür sistemlere tepe gözlemleyicisi uygulandığında daha iyi bir sistem cevabı elde edilir. Fakat yukarıda verilen örneklerden faklı olarak bu tür sistemlere ilk tepe ve ilk çukur anında hesaplanan hatanın mutlak değerleri etki ettirilerek daha da iyi bir sistem cevabı elde etmek mümkündür.

Örnek olarak 2.6'da verilen sistemi inceleyelim. İkinci dereceden bu sistemi rastgele seçilmiş kontrol parametreleri kontrol edelim. Oransal katsayı 23 ve integral katsayısı 15 alınarak kontrol edilen sistemin kapalı çevrim birim basamak cevabı Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



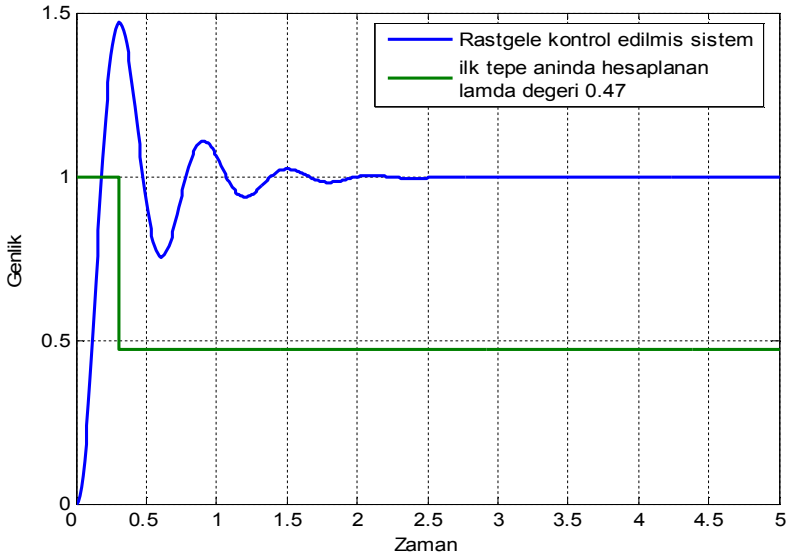
Şekil 3.9 : 2.6'da verilen sistemin k_p=23 ve k_i=15 ile sistem yanıtı.

Şekil 3.9'da görüldüğü üzere sistem salınım yaparak referans değere oturmuş ve %50 aşım yapmıştır. Bu sisteme yukarıda verilen örneklerde olduğu gibi ilk tepe anında hatanın mutlak değerini hesaplayan tepe gözlemleyicisi uygulandığında 3.1'de verilen formüller kullanılarak hesaplanan yeni oransal katsayı 10,81 ve yeni integral katsayısı 7,05 olacaktır. Tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem yanıtı Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



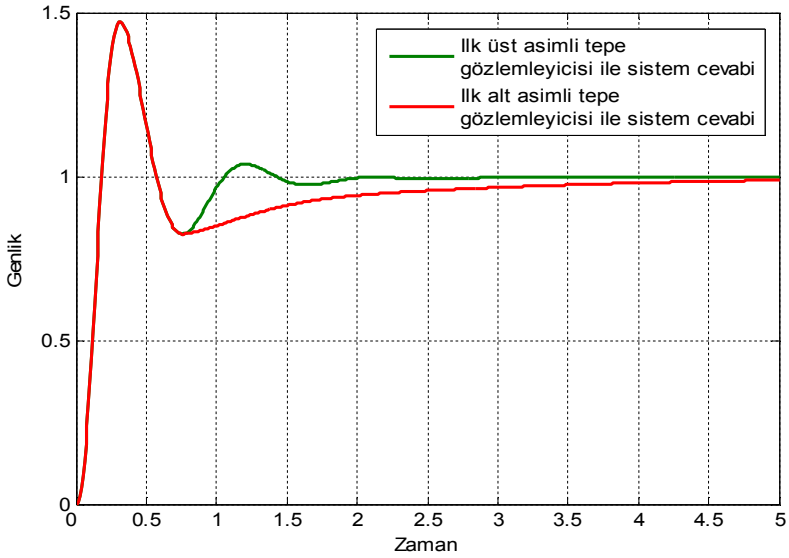
Şekil 3.10 : Şekil 3.9'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.10'dan görüldüğü üzere tepe gözlemleyicili sistem yanıtının daha az salınım yaparak referans değere oturduğu görülmektedir. İlk tepe anında hesaplanan hatanın mutlak değeri Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



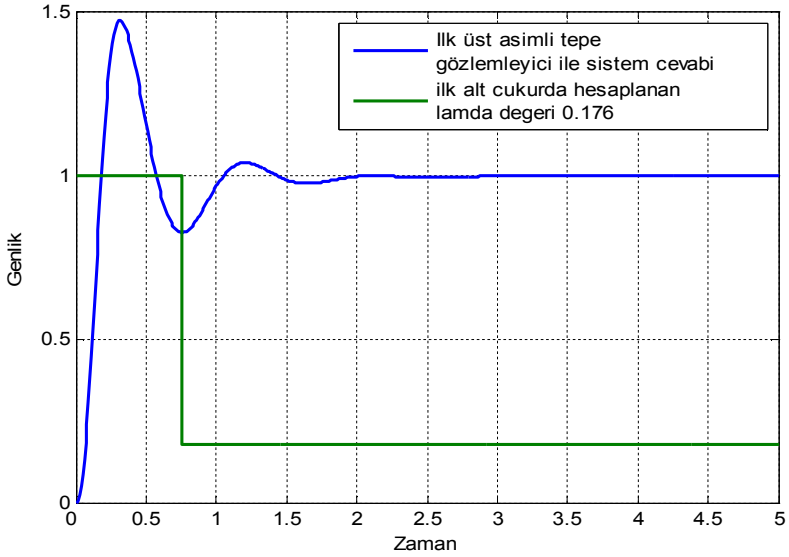
Şekil 3.11 : Şekil 3.9'da verilen sistemin ilk tepede hesaplanan lamda değeri.

Sisteme ilk tepede ve ilk çukurda hesaplanan lamda değeri uygulandığında ise sistem ilk çukurdan sonra tepe yapmayarak referans değere oturacaktır. İlk çukurdan sonra 3.1'de verilen formüllerden elde edilen yeni oransal katsayı 1,9 ve yeni integral katsayısı 1,24 olacaktır. İlk üst aşımlı ve ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtı Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



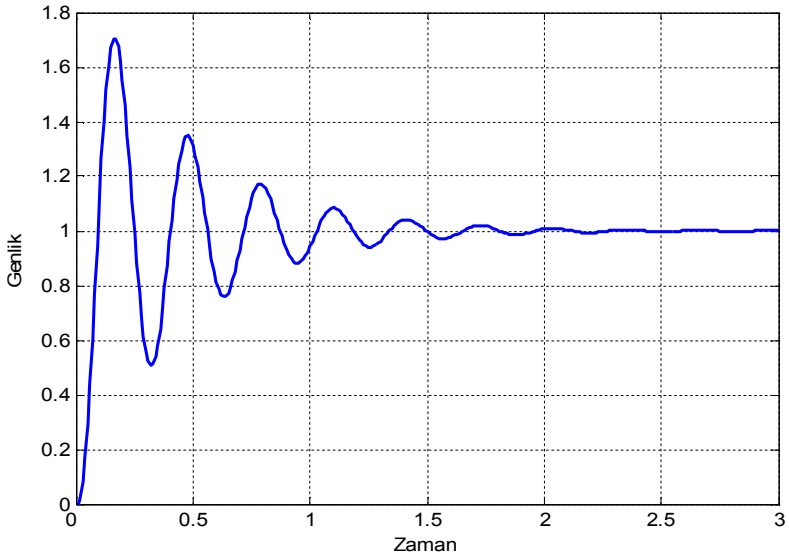
Şekil 3.12 : Şekil 3.9'da verilen sistemin ilk üst ve ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı.

İlk alt aşımlı tepe gözlemleyicisinin ilk alt çukurdan sonra kontrol parametreleri ile çarptığı hatanın mutlak değeri Şekil 3.13'te gösterilmektedir.



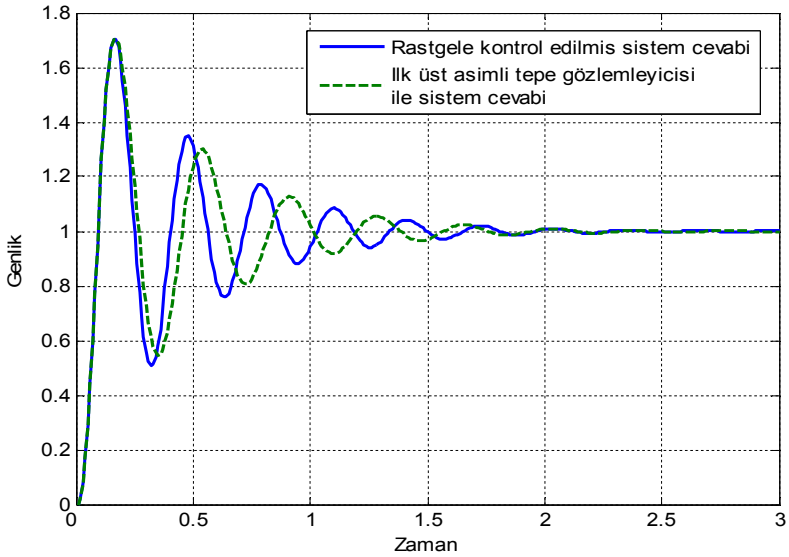
Şekil 3.13 : Şekil 3.9'da verilen sistemin ilk alt aşımda hesaplanan lamda değeri.

Daha fazla aşım ve salınım yapan sistemlere gerekirse üçüncü veya dördüncü dereceden tepe gözlemleyicisi uygulanarak daha iyi bir sistem yanıtı elde edilebilir. Örnek olarak yine 2.6'da verilen sistemi inceleyelim. Oransal katsayı 82,5 ve integral katsayısı 103,25 seçilerek elde edilen sistem yanıtı Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



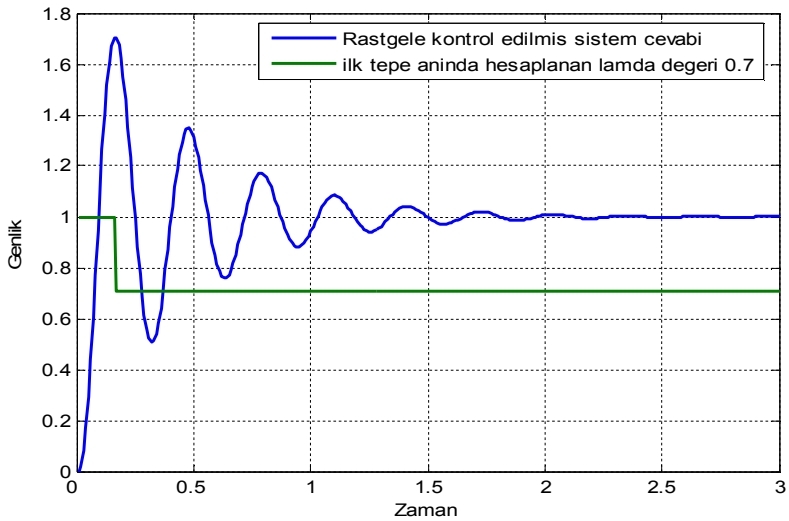
Şekil 3.14 : 2.6'da verilen sistemin k_p=82,5 ve k_i=103,25 ile sistem yanıtı.

Şekil 3.14'ten görüldüğü üzere sistem bu kontrol parametreleri ile daha fazla aşım ve daha fazla salınım yapmıştır. İlk üst aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtı Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



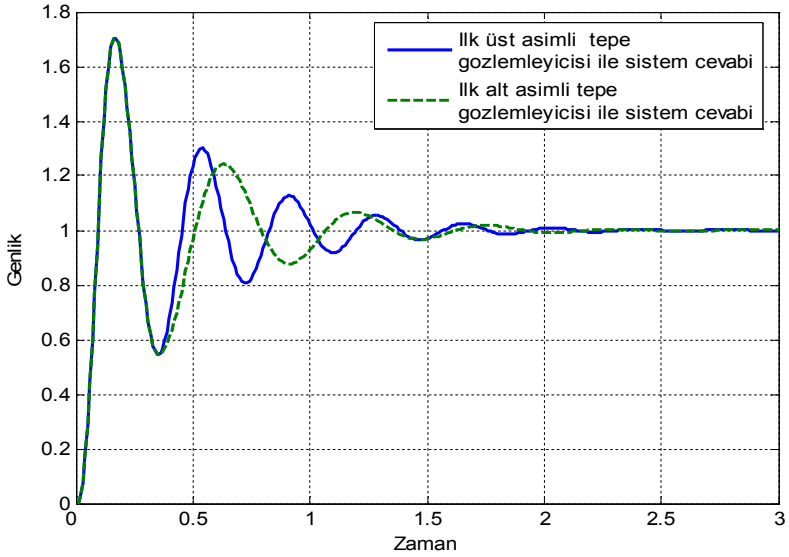
Şekil 3.15 : Şekil 3.14'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.15'ten görüldüğü üzere ilk üst aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem ilk tepeden sonra kontrol parametreleri azaltıldığı için sistem yanıtında meydana gelen tepe ve çukurlarda daha az aşım yapmıştır. Oturma zamanında ise herhangi bir değişiklik olmamıştır. İlk tepeden sonra 3.1'de verilen formüllerden elde edilen yeni oransal katsayı 57,75 ve yeni integral katsayısı 72,275 olacaktır. İlk tepeden sonra kontrol parametreleri ile çarpılan lamda değeri Şekil 3.16'da verilmektedir.



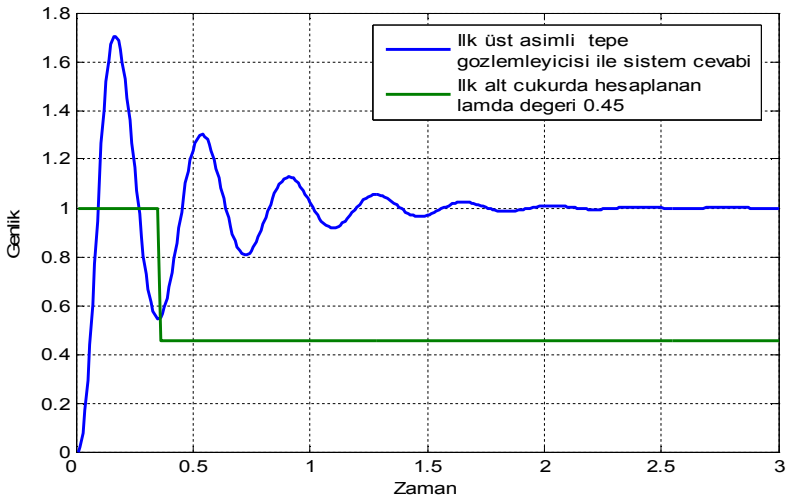
Şekil 3.16: Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk tepede hesaplanan lamda değeri.

Sisteme ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulandığında ise kontrol parametrelerindeki azalışa göre sistem ilk alt çukurdan sonra daha az aşım yapacak ve sistem yanıtında daha az tepe görülecektir. İlk alt aşımlı tepe gözlemleyicisi ile sistem yanıtı Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



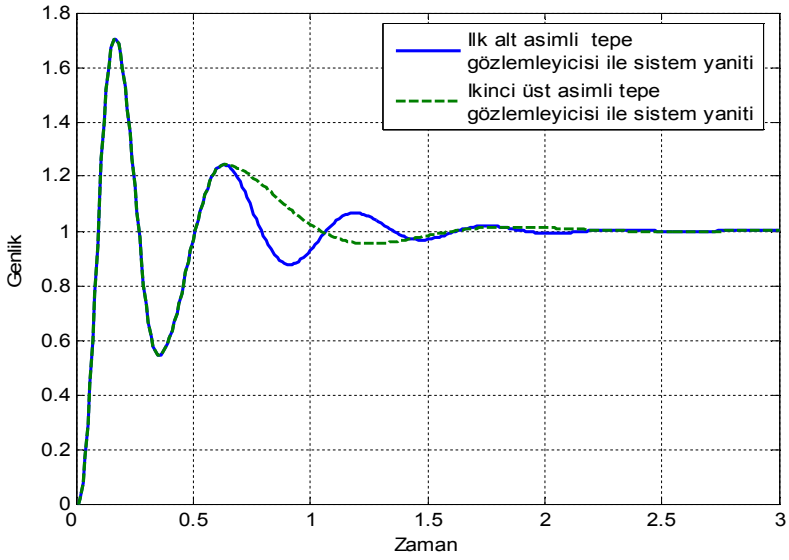
Şekil 3.17 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk üst ve ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.17'den görüldüğü üzere oturma zamanında ise herhangi bir değişim olmamıştır. İlk çukurdan sonra 3.1'de verilen formüllerden elde edilen yeni oransal katsayı 25,98 ve yeni integral katsayısı 32,52 olacaktır. Kontrol parametreleri ile çarpılan lamda değeri Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



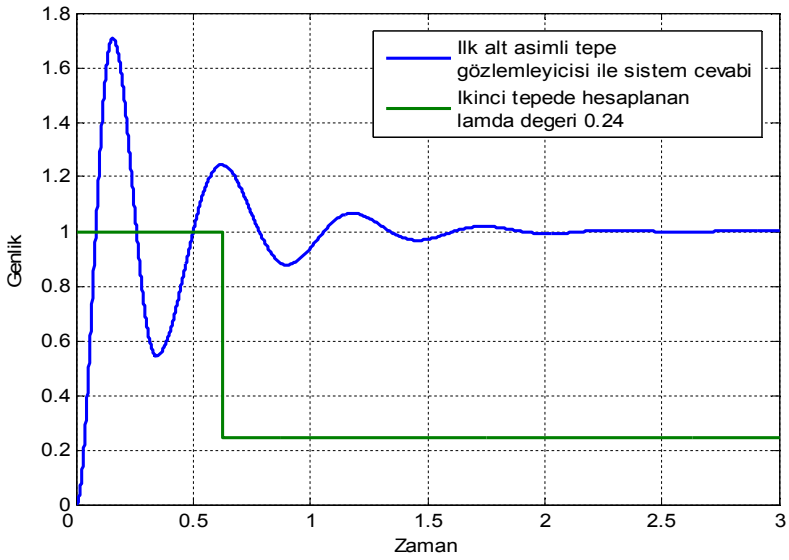
Şekil 3.18 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk alt aşımda hesaplanan lamda değeri.

Sisteme ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulandığında ise kontrolör parametreleri üçüncü kez azaltılmış olacaktır. İkinci üst aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem yanıtı Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Şekil 3.19 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ilk alt ve ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı.

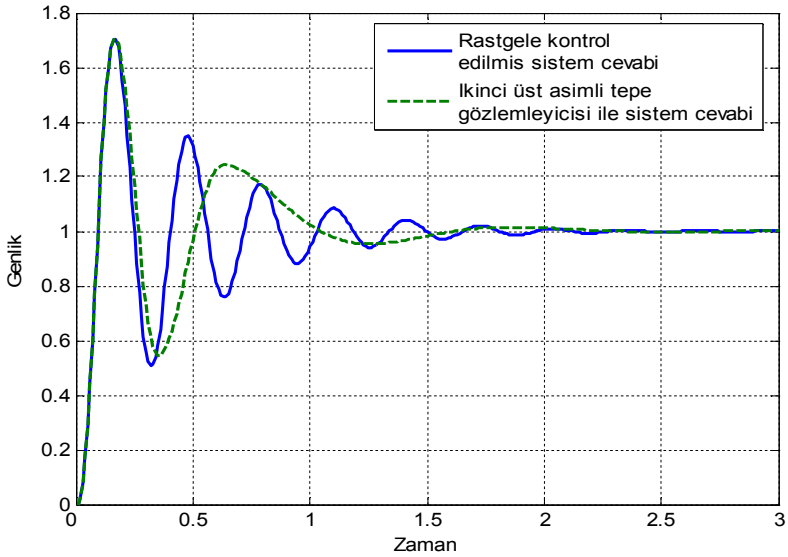
Sistem ikinci tepeye ulaştığı anda kontrolör parametreleri hatanın mutlak değeri ile çarpılacaktır. Kontrol parametreleri ile üçüncü kez çarpılan lamda değeri Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 : Şekil 3.14'te verilen sistemin ikinci üst aşımda hesaplanan lamda değeri.

İkinci tepeden sonra 3.1'de verilen formüller ile elde edilen yeni oransal katsayı 6,23 ve yeni integral katsayısı 7,8 olacaktır. Bu sisteme ikinci alt aşımlı tepe gözlemleyicisi de uygulanabilir. Fakat ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtına bakıldığında ikinci çukurun referansın çok az altında kaldığı görülmektedir. Bu yüzden ikinci alt aşımlı tepe gözlemleyicisine bu sistem için gerek yoktur.

Son olarak rastgele seçilmiş kontrol parametreli sistem yanıtı ile ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtı Şekil 3.21'de gösterilmektedir. Şekil 3.21'den görüldüğü üzere tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem, rastgele kontrol edilmiş sistem yanıtına göre daha az salınım yaparak referans değere oturmaktadır. Her iki sistem yanıtının oturma zamanı ise aynıdır.



Şekil 3.21 : Şekil 3.14'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve gözlemleyicisiz yanıtı.

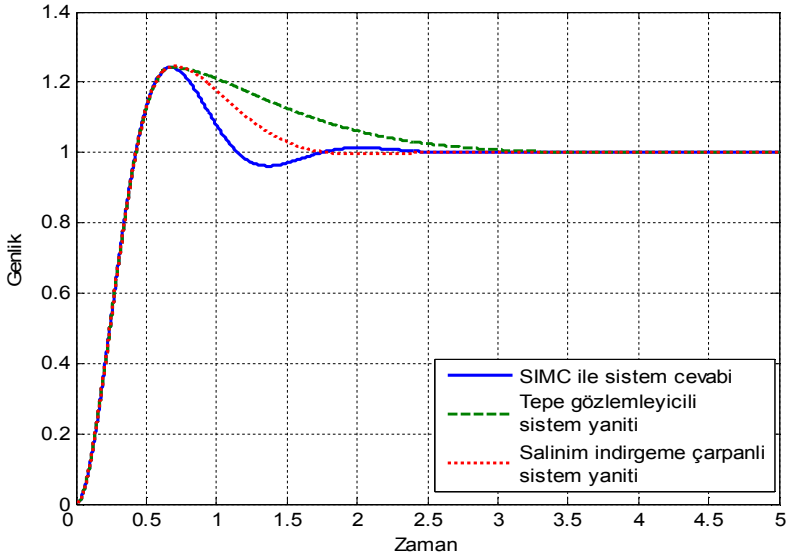
3.3 Geliştirilmiş Tepe Gözlemleyicisi Yöntemleri

3.3.1 Aşıma bağlı salınım indirgeme çarpanının belirlenmesi

Tepe gözlemleyicisinin geliştirilmesi aşamasında lamda katsayısı ile aşım arasında bağıntı kurulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada birinci dereceden tepe gözlemleyicisi baz alınmıştır. Amacımız sisteme salınım yaptırmayacak lamda katsayısını aşıma bağlı olarak hesaplamak olacaktır.

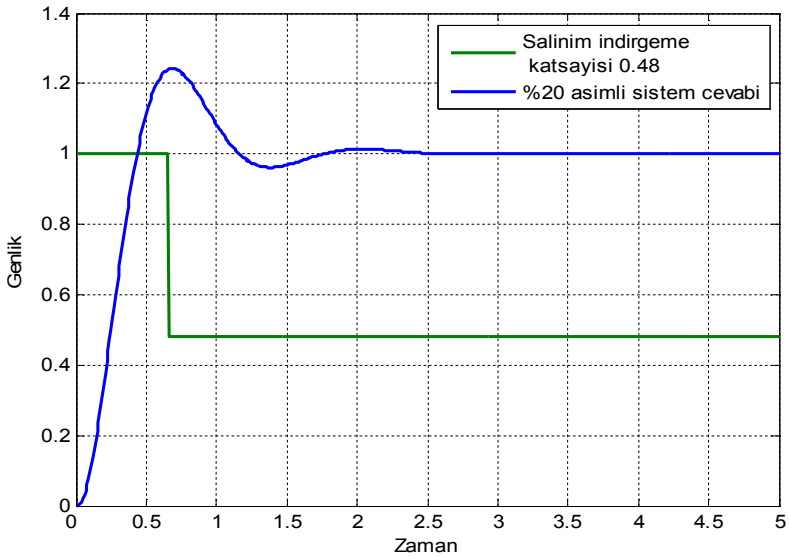
İlk olarak 2.6'da verilen ikinci dereceden sistem incelenmiştir. 2.6'da verilen sistemin basit içsel model kontrol yöntemi ile sistem yanıtı Şekil 2.5'te görülmektedir. Aşımı %20 dolaylarında olan bir sistemde ilk tepe de hesaplanan hatanın mutlak değeri 0,2

olacaktır ve bu değer kontrol katsayıları ile çarpılarak sistem cevabı incelendiğinde salınım yapmadan referans değere oturan bir yanıt elde edilir. Fakat lamda değerinin 2 katı yani 0,4 katsayısı kontrol parametreleri ile çarpıldığında oturma zamanı daha az olan daha iyi bir yanıt elde edilmiştir. Şekil 3.22'de sistem yanıtı gösterilmektedir.



Şekil 3.22 : Şekil 2.5'te verilen sistemin salınım indirgeme çarpanlı yanıtı.

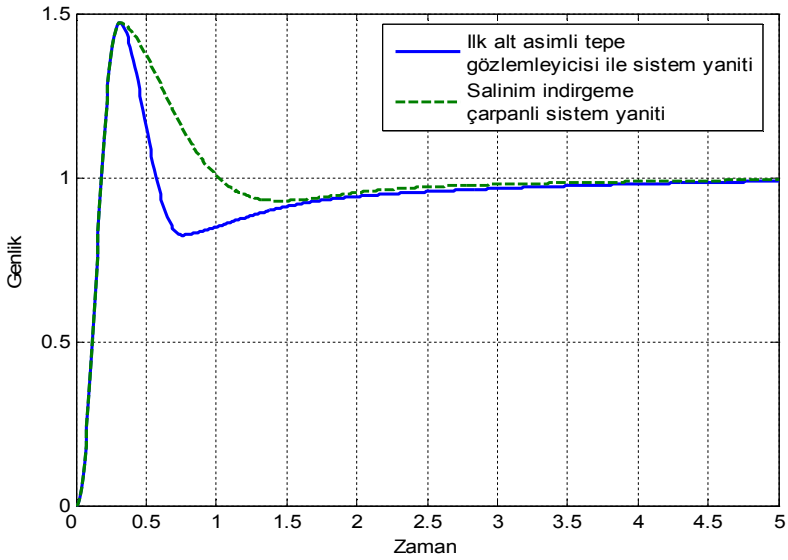
2.6'da verilen sistemin için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı Şekil 3.23'te gösterilmektedir.



Şekil 3.23 : Şekil 2.5'te verilen sistem için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı.

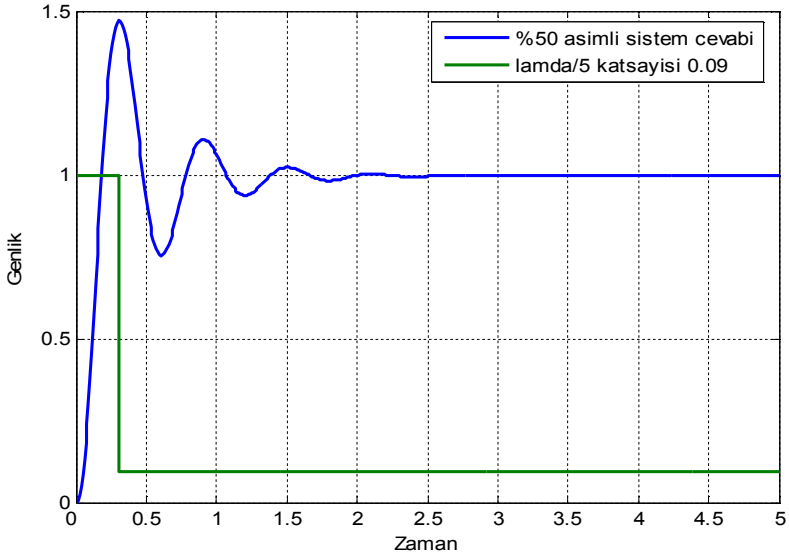
İkinci olarak 2.6'da verilen sistemin Şekil 3.9'da gösterilen sistem yanıtı incelenmiştir. Bu sistem cevabında oransal katsayı 23 ve integral katsayısı 15 olarak

seçilmiştir. Sistem %50 aşım yaparak referans değere oturmaktadır. Ayrıca sistem yanıtında salınım görülmektedir. Sistemin birinci dereceden tepe gözlemleyicili yanıtı Şekil 3.10'da görülmektedir. İlk tepe anında hesaplanan lamda katsayısı 0,47'dir. Bu değer ilk tepe oluştuktan hemen sonra kontrolör parametreleri ile çarpılır. Birinci dereceden tepe gözlemleyicili sistem yanıtı her ne kadar rastgele kontrol edilmiş sistem yanıtına göre daha iyi sonuç verse de sistem yanıtında yine salınımlar görülmektedir. Ayrıca %30 dolaylarında bir alt aşım oluşmuştur. Görülmektedir ki lamda katsayısı sistemi yumuşatmak için yeterli değildir. Fakat kontrol parametreleri ilk tepeden hemen sonra lamda/5 katsayısı ile yani salınım indirgeme çarpanı ile çarpıldığında sistem yanıtında tek tepe görülmektedir ve sistem salınım yapmadan referans değere oturmaktadır. %30 olan alt aşımda %10'a kadar indirilmektedir. Salınım indirgeme katsayılı sistem yanıtı, ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtından da daha iyi bir sonuç vermektedir. Şekil 3.24'te salınım indirgeme katsayılı ve ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtları gösterilmektedir.



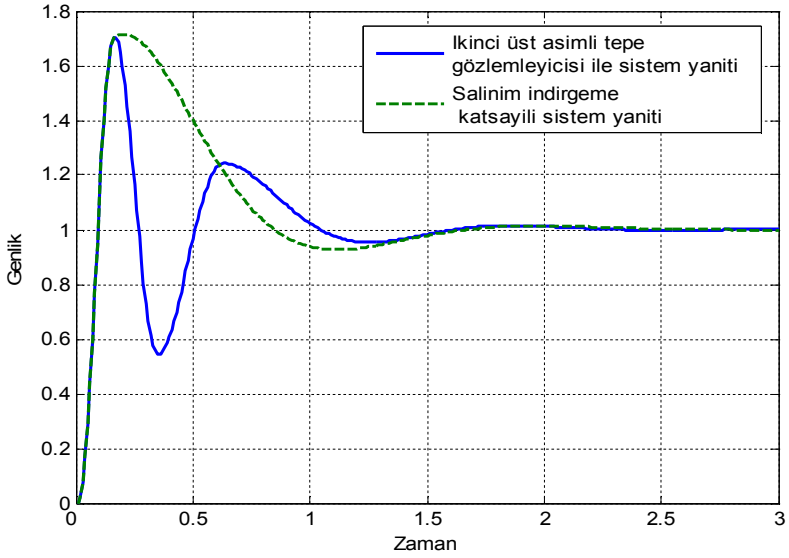
Şekil 3.24 : Şekil 3.9'da verilen sistemin salınım indirgeme çarpanlı yanıtı.

Şekil 3.2' ten görüldüğü üzere salınım indirgeme çarpanlı tepe gözlemleyicisi, ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicisine göre daha az alt aşım yapmıştır. Her iki yanıtın oturma zamanları arasında ise çok küçük bir fark vardır. İlk tepeden sonra kontrol katsayıları ile çarpılacak olan salınım indirgeme çarpanı Şekil 3.25'te gösterilmektedir.



Şekil 3.25 : Şekil 3.9'da verilen sistem için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı.

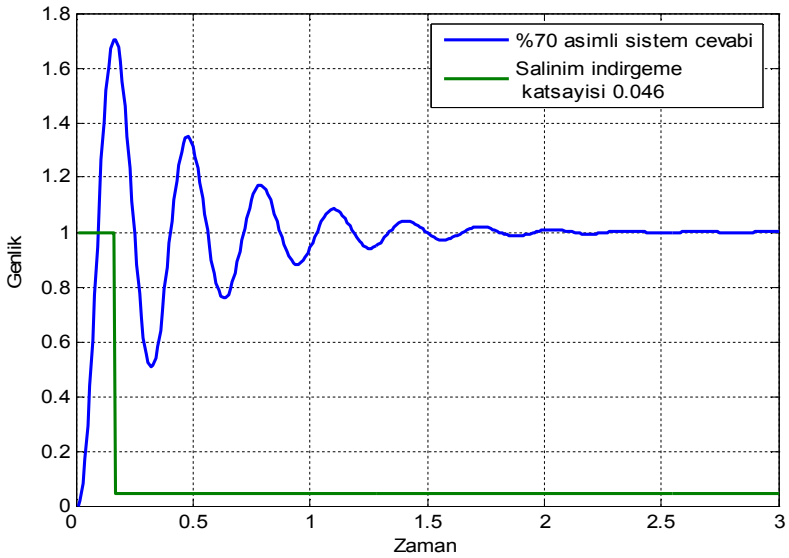
Son olarak yine 2.6'da verilen sistemin Şekil 3.14'te gösterilen sistem yanıtı incelenmiştir. Bu sistem yanıtında PI parametrelerinden oransal katsayı 82,5 ve integral katsayısı 103,125 olarak rastgele seçilmiştir. Şekil 3.14'ten görüldüğü üzere sistem %70 aşım yapmıştır. Ayrıca salınım yaparak referans değere oturmuştur. Sistemin ilk üst aşımlı tepe gözlemleyicili yanıtı Şekil.3.15'te gösterilmiştir. İlk tepe anında hesaplanan lamda katsayısı 0,7'dir. Bu değer ilk tepe oluştuktan hemen sonra kontrol parametreleri ile çarpılır ve daha küçük değerlerde kontrolör parametreleri elde edilir. Şekil 3.15'ten görüldüğü üzere ilk üst aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtı her ne kadar rastgele kontrol edilmiş sistem yanıtına göre daha iyi olsa da yeterli değildir. Şekil 3.17'de %70 aşımlı sistemin ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtı gösterilmiştir. Sistem yanıtında ilk üst aşımlı tepe gözlemleyicisine göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Son olarak sisteme ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulanmıştır. Şekil 3.19'da bu sistem yanıtı görülmektedir. İkinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtında ilk üst ve alt aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtlarına göre daha iyi sonuç elde edilse de yeterli olmayabilir. Çünkü sistem çok fazla alt aşım yapmaktadır. Oluşan bu alt aşımı engellemek amacı ile ilk tepe oluştuktan hemen sonra kontrol parametrelerini lamda/15 katsayısı ile yani salınım indirgeme çarpanı ile çarparsak sistem ilk tepeden sonra çok az bir salınım yaparak referans değere oturacaktır. %70 aşımlı bu sistemin ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili ve salınım indirgeme çarpanlı sistem yanıtları Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



Şekil 3.26 : Şekil 3.14'te verilen sistemin salınım indirgeme çarpanlı yanıtı.

Şekil 3.26'dan görüldüğü üzere kontrolör katsayılarını ilk tepe oluştuktan sonra lamda/15 ile çarparsak, sistem çok az alt aşım yaparak referans değere oturmaktadır. Fakat ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicili sistem yanıtına bakıldığında çok fazla bir alt aşım ve sonrasında %20 dolaylarında bir üst aşım görülmektedir.

İlk tepeden sonra kontrolör katsayıları ile çarpılacak olan lamda/15 katsayısı Şekil 3.27'de gösterilmektedir.



Şekil 3.27 : Şekil 3.14'te verilen sistem için hesaplanan salınım indirgeme çarpanı.

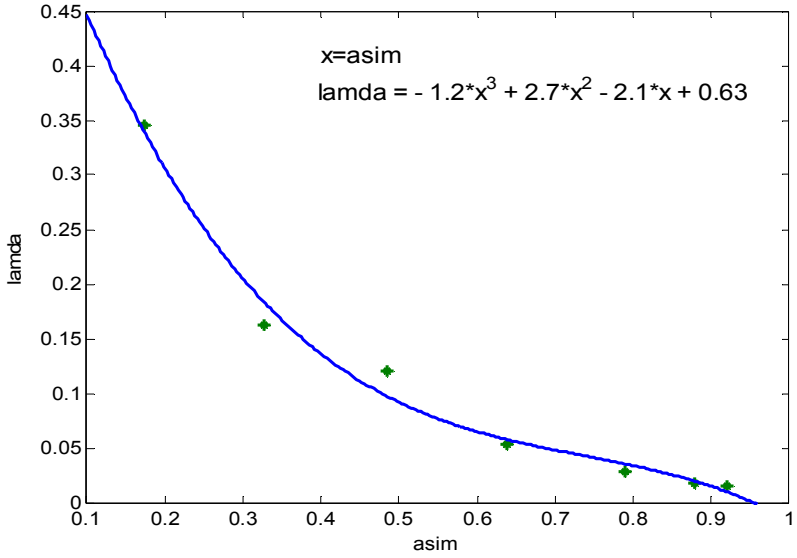
Görüldüğü üzere farklı aşım yapan sistemler için ilk tepede hesaplanan hatanın mutlak değeri kontrol katsayılarına etki ettirildiğinde her ne kadar tepe

gözlemleyicisiz kontrol edilmiş sistem yanıtına göre iyi cevap verse de yeterli olmayabilir. Bunun için rastgele oransal katsayı ve integral katsayısı ile kötü kontrol edilmiş sistemler incelenerek aşım değerleri ve bu değerlere etki ettirilerek salınım oluşmasına engel olacak salınım indirgeme çarpanı bilgileri toplanmıştır. Bu çalışmada kriterimiz kontrol edilen sistemin ilk tepeden sonra salınım yapmadan referans değere oturmasını sağlamaktır. Elde edilen bilgilerden aşım ile salınım indirgeme katsayısı arasında bir ters orantı olduğu görülmektedir. Örnek sistem olarak 2.6'da verilen ikinci dereceden ölü zamansız sistem incelenmiştir.

Çizelge 3.1 : 2.6'da verilen sistemden elde edilen aşım ve salınım indirgeme çarpanı değerleri.

Kontrol parametreleri	Aşım	Salınım indirgeme çarpanı
Kc=160 Ki=100	0,92	0,01533
Kc=150 Ki=150	0,878	0,01756
Kc=80 Ki=80	0,7891	0,02818
Kc=40 Ki=40	0,6372	0,0531
Kc=20 Ki=20	0,484	0,121
Kc=23 Ki=15	0,484	0,121
Kc=10 Ki=10	0,3263	0,16315
Kc=5 Ki=5	0,173	0,346

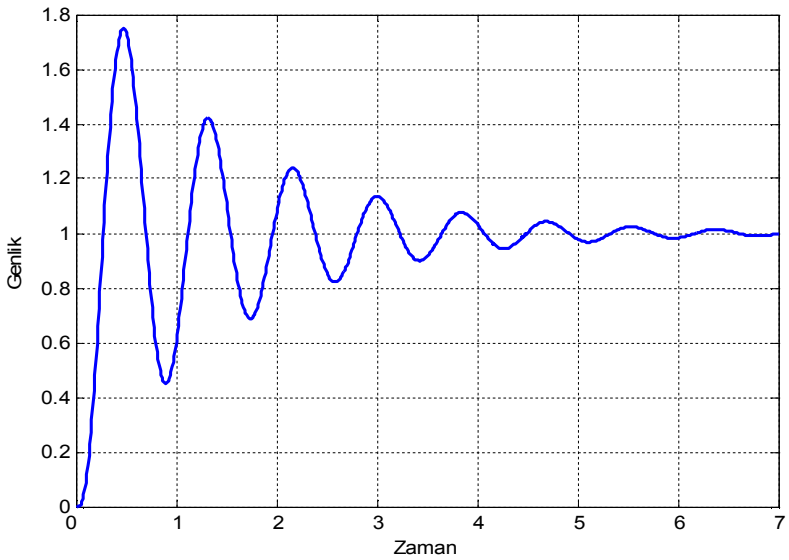
Çizelge 3.1'de görüldüğü üzere yedi farklı aşım değeri için yedi farklı salınım indirgeme çarpanı hesaplanarak grafiği çizdirilmiştir. Aşım ile salınım indirgeme çarpanı arasında üçüncü dereceden bir denklem elde edilmiştir. Bu denklem Şekil 3.28'de gösterilmektedir. Bu çalışmada amaç, ilk tepede hesaplanan hatanın mutlak değerini Şekil 3.28'de elde edilen denklemde yerine koyarak ilk tepeden sonra kontrol parametrelerine etki ettirilecek bir çarpan hesaplamaktır.



Şekil 3.28 : Salınım indirgeme çarpanı ile aşım arasında kurulan bağıntı.

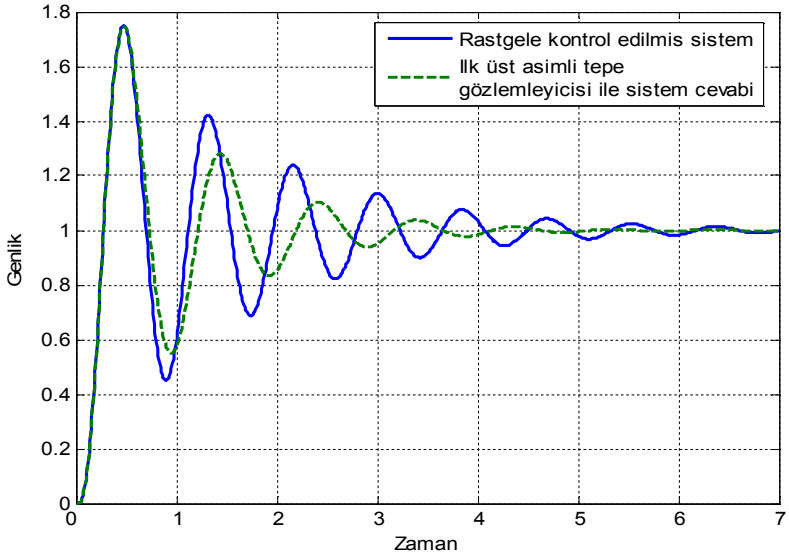
İntegral katsayısının çok küçük olduğu durumlarda, lamda yani salınım indirgeme katsayısı ile çarpılan integral katsayı daha da küçük olacağı için sürekli hal hatası görülebilir. Bu durumu önlemek için integral katsayısı yada oransal katsayı için bir alt ve bir üst limit konulması önerilmektedir.

Önerilen yöntemi farklı bir sistem üzerinde deneyecek olursak 2.10'da verilen sistemi inceleyelim. Bu dördüncü dereceden sistem için rastgele seçilmiş oransal katsayı 13 ve integral katsayısı da 17 olsun. Birim basamak sistem yanıtı Şekil 3.29'da gösterilmektedir.



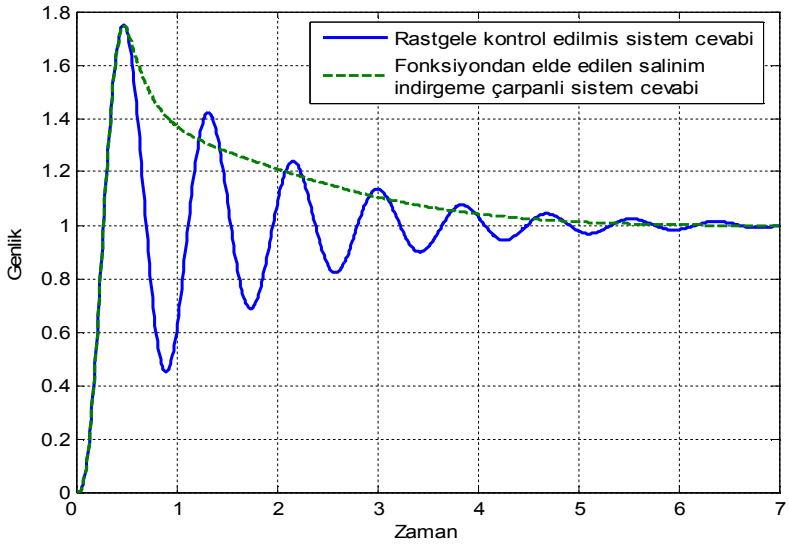
Şekil 3.29 : 2.10'da verilen sistemin k_p=13 ve k_i=17 ile sistem yanıtı.

Şekil 3.29 da görüldüğü üzere sistem salınım yaparak referans değere oturmaktadır. Sistem cevabında birçok tepe ve çukur görülmektedir. Sistemin aşımı ise %74,8'dir. İlk üst aşımlı tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem yanıtı Şekil 3.30'da gösterilmektedir.



Şekil 3.30 : 2.10'da verilen sistemin k_p=13 ve k_i=17 iken tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.28'de verilen denklemde aşım değeri yerine 0,748 konularak elde edilen ve ilk tepeden sonra kontrol katsayıları ile çarpılacak olan lamda değeri 0,0413 olarak hesaplanmaktadır. Fonksiyondan elde edilen lamda değerli sistem yanıtı Şekil 3.31 de gösterilmektedir.



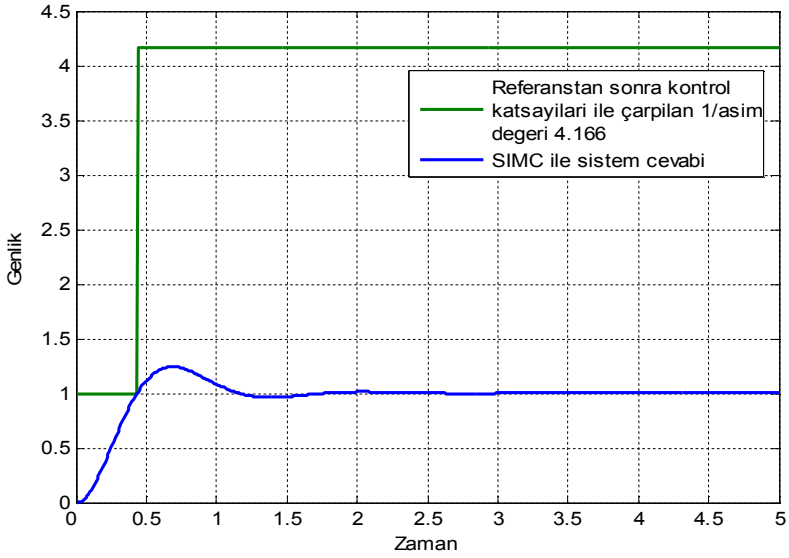
Şekil 3.31 : 2.10'da verilen sistemin k_p=13 ve k_i=17 iken fonksiyondan elde edilen salınım indirgeme çarpanlı yanıtı.

Fonksiyondan elde edilen salınım indirgeme çarpanı ile sistem salınım yapmadan referans değere oturmaktadır. Alt aşım yapılmasının istenilmediği durumlarda bu yöntemin kullanılması önerilebilir.

3.3.2 Model taban öngörülü tepe sönümleyicisi

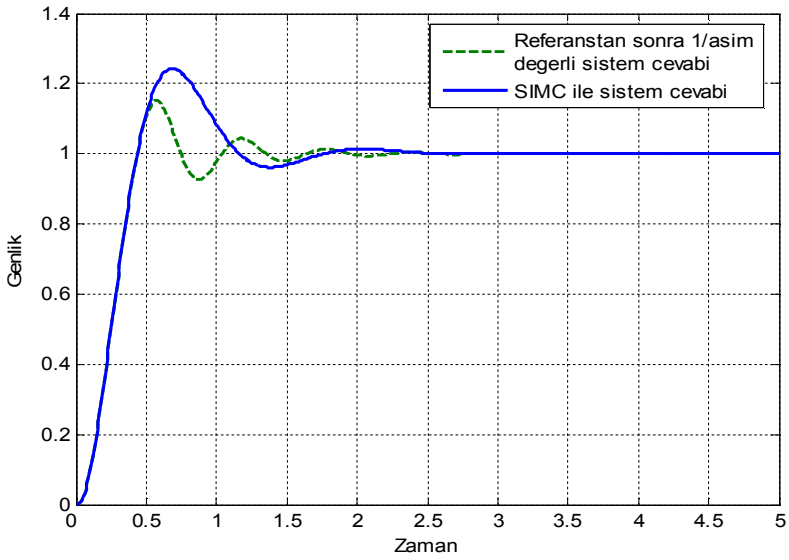
Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda, tepe gözlemleyicisi yöntemi temel alınarak ilk tepeden veya ilk çukurdan sonra kontrolör parametrelerine etki edilerek sistemler kontrol edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca aşıma bağlı bir denklem ile salınım indirgeme çarpanı hesaplanmış ve kontrolör parametrelerine bu katsayı etki ettirilerek sonuçlar tartışılmıştır. Bilindiği üzere bu çalışmaların hepsinde sistem yanıtında ilk tepe görülene dek beklenmiştir. Tepe gözlemleyicisinin geliştirilmesi aşamasında sisteme, ilk tepe değerine ulaşmasını beklemeden müdahale edilerek, sistemin daha fazla aşım yapmasını engelledikten sonra bu sisteme yeniden tepe gözlemleyicisi uygulanması fikri sunulmuştur. Bu yeni fikir tepe gözlemleyicisine göre daha az bir aşım ve daha az bir oturma süresi sağlayacaktır. Savunulan yöntemin uygulanması aşamasında ilk olarak sisteme referans bir değer uygulanmakta ve sistem gözlemlenmektedir. Bilindiği üzere tepe gözlemleyicisi metodunda kontrol parametrelerine ilk tepe oluşuncaya kadar etki edilmemekteydi. Bu yöntemde ise sistem ilk tepe noktasına ulaşmadan kontrol parametrelerine etki edilerek elde edilen aşım, oluşan ilk aşıma göre daha da azaltılacaktır. Aşımın azaltılması için sistem referans değeri geçtikten sonra kontrol parametrelerine etki ettirilmesi hedeflenmiştir. İncelemelerde her sistem için geçerli bir çarpan ve formül üretilmesi amacıyla aşım değeri üzerinden çalışılmıştır.

Referans değerden sonra kontrol parametreleri birden küçük bir değerle çarpılır ise mesela aşım gibi, sistem daha fazla aşım yapmakta ve orijinal tepe gözlemleyicisine göre daha kötü bir sonuç vermektedir. Bu durum istenmeyen bir sonuç doğurmuştur. Fakat referans değerden sonra kontrolör parametreleri birden büyük bir sayı ile çarpılır ise mesela 1/aşım gibi, sistem daha az aşım ve daha fazla salınım yaparak referans değere oturmaktadır. Referans değerden sonra kontrolör parametreleri ile çarpılacak 1/aşım değeri Şekil 3.32'de gösterilmektedir.



Şekil 3.32 : 2.6'da verilen sistemin 1/aşım değeri.

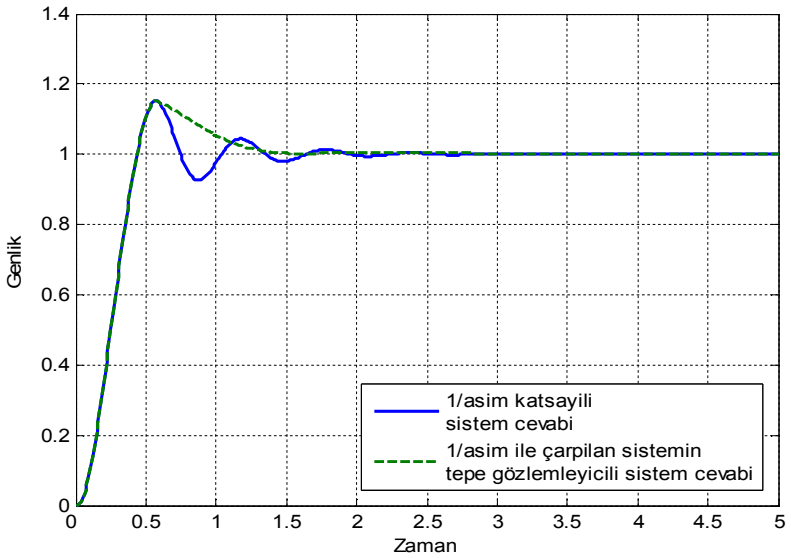
Referans değerden sonra kontrol katsayıları ile 1/aşım değeri çarpıldığında elde edilen sistem yanıtı Şekil 3.33'te gösterilmektedir.



Şekil 3.33 : 2.6'da verilen sistem için referanstan sonra kontrolöre etki ettirilen 1/aşım değerli yanıtı.

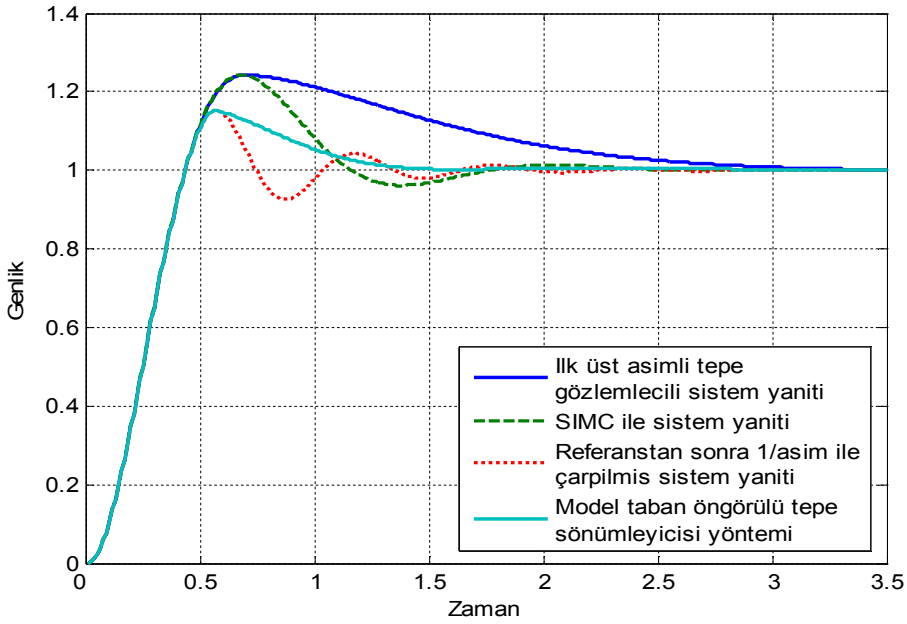
Şekil 3.33' te görüldüğü üzere sistem referans değeri geçtikten sonra yani sisteme giriş olarak birim basamak uygulanmış ise sistem bir değerini aştıktan hemen sonra, kontrolör parametreleri 1/aşım değeri ile çarpıldığında sistem daha az aşım yapmakta fakat daha fazla salınım yapmaktadır. Referans değerden sonra kontrol katsayıları ile çarpılan 1/aşım katsayısı ile sistem aşımı %24'ten %15'e kadar indirilmiştir. Elde edilen sistem yanıtına tepe gözlemleyicisi uygulanarak sistemin salınım yapmadan

referans değere oturtulması sağlanmaktadır. Aşımı azaltılmış sistemin tepe gözlemleyicili birim basamak yanıtı Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.34 : Referanstan sonra 1/aşım ile çarpılan 2.6'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

2.6'da verilen sistem için önerilen metot ile tepe gözlemleyicisi fikrinin karşılaştırılması Şekil 3.35'te gösterilmektedir.

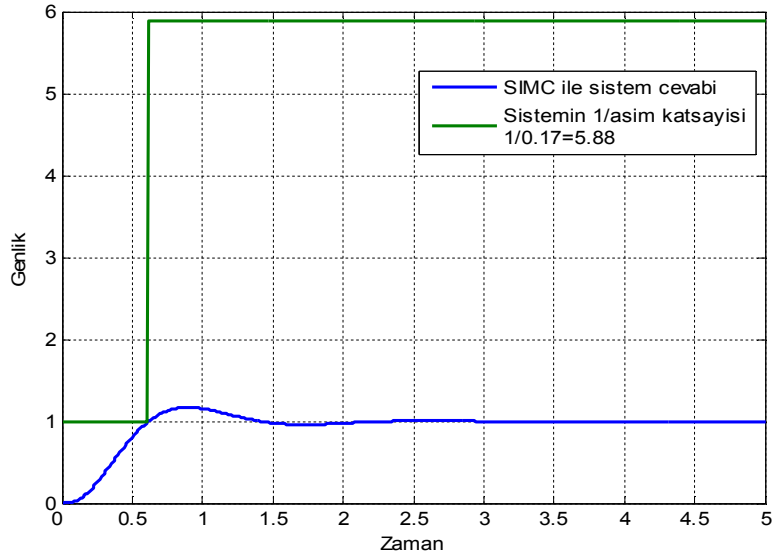


Şekil 3.35 : 2.6'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtları.

Şekil 3.35'ten görüldüğü üzere model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtı, tepe gözlemleyicili sistem yanıtına göre daha az aşım yapmaktadır. Ayrıca aşıma bağlı olarak sistemin oturma zamanı da azaltılmıştır.

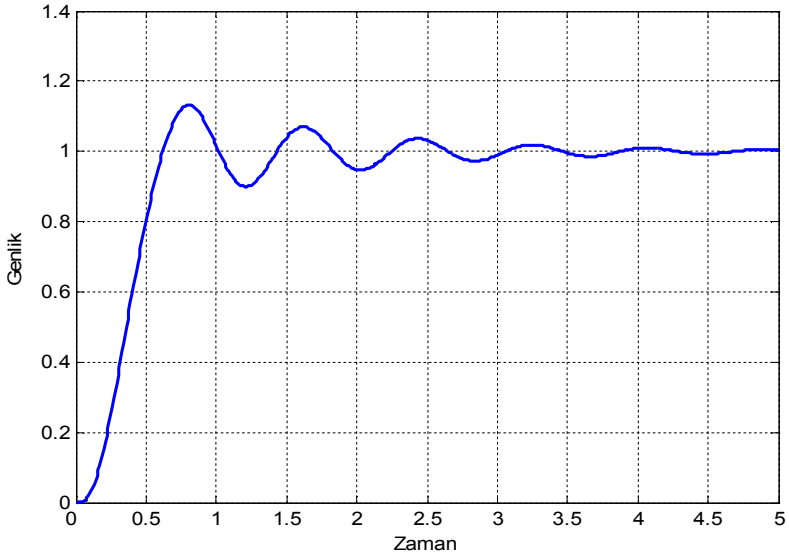
Model taban öngörülü tepe sönümleyicisi metodunun farklı sistemler üzerinde etkisini araştırmak için ilk olarak 2.10'da verilen dördüncü dereceden sistem incelenmiştir. Basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilen sistemin birim basamak yanıtı Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere sistem %17'lik bir aşım yapmıştır. Tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem cevabı ise Şekil 3.15'te gösterilmektedir.

Geliştirilmiş tepe gözlemleyicisi yönteminde ilk olarak sistem referanstan sonra 1/aşım katsayısı ile çarpılacaktır. Referans değerden sonra kontrol katsayıları ile çarpılacak 1/aşım değeri Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



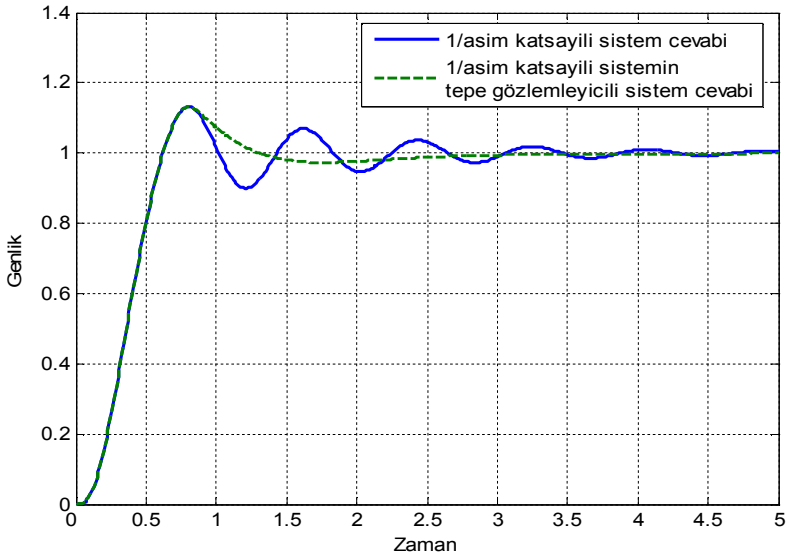
Şekil 3.36 : 2.10'da verilen sistemin 1/aşım değeri.

Kontrol parametreleri referanstan sonra 1/aşım katsayısı yani 5,88 ile çarpılmaktadır. 1/aşım katsayılı sistem yanıtı Şekil 3.37'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere 1/aşım katsayısı sistemin aşımını azaltmış fakat salınımını arttırmıştır. Salınımın bu kadar fazla olmasının sebebi aşım değerinin 0,17 gibi küçük bir değer olmasından kaynaklanmaktadır. Aşımın küçüklüğüne bağlı olarak 1/aşım katsayısı büyüyecektir ve katsayının büyüklüğüne bağlı olarak da sistemin salınımı artacaktır.



Şekil 3.37 : 2.10'da verilen sistemin 1/aşım katsayılı yanıtı.

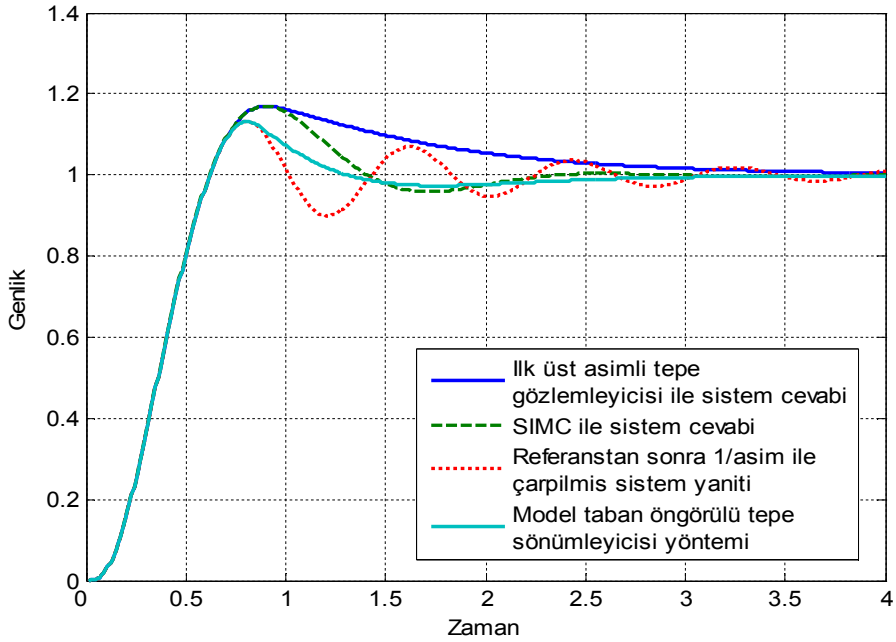
Referanstan sonra 1/aşım katsayısı ile çarpılan ve salınımı arttırılan sisteme tepe gözlemleyicisi uygulanarak salınım engellenebilir. Aşımı azaltılmış sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı Şekil 3.38'de gösterilmektedir.



Şekil 3.38 : 2.10'da verilen aşımı azaltılmış sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.38'den görüldüğü üzere aşımı azaltılmış sistemin tepe gözlemleyicili yanıtında %3'lük bir alt aşım oluşmuştur. Bunun nedeni ise sistemin aşımının az ve salınımının fazla olmasındandır. Aşımı azaltılmış sistemin aşım değeri 0,13'tür. Yani tepe gözlemleyicisinin ilk tepeden sonra kontrol parametreleri ile çarpacağı değer 0,13'tür ve bu katsayı ufak bir değer olduğu için sitem referansın altında %3'lük bir

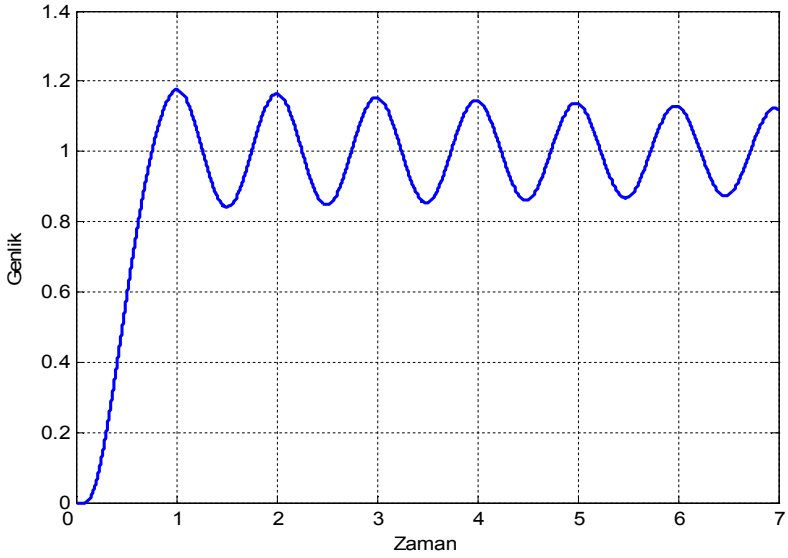
alt aşım yapmıştır. 2.10'da verilen ve basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilen sistemin tepe gözlemleyicili ve model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtları Şekil 3.39'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.39 : 2.10'da verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtı.

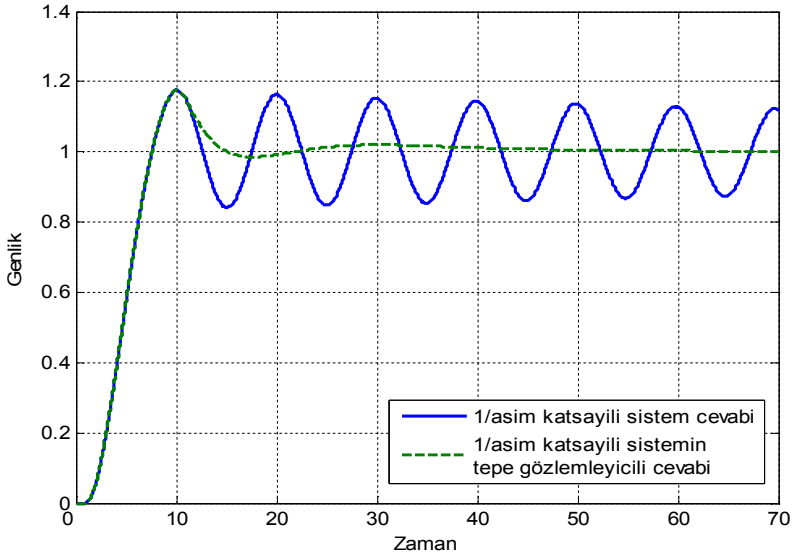
Şekil 3.39'dan görüldüğü üzere geliştirilmiş tepe gözlemleyicisi ile aşım değeri %17'den %13'e indirilmiştir. Fakat sistem cevabında %3'lük bir alt aşım meydana gelmiştir. Sistem yanıtlarının oturma zamanları ise aynıdır.

Model taban öngörülü tepe sönümleyicisi yöntemini diğer sistemler üzerinde denemek için ikinci ve son olarak 2.14'te verilen ikinci dereceden ölü zamanlı sistem incelenmiştir. Sistemin tepe gözlemleyicili cevabı Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Sistem cevabında %22'lik bir aşım gözlenmektedir. Model taban öngörülü tepe sönümleyicisi yönteminin uygulanmasında ilk önce sistem referans değerden sonra 1/aşım değeri ile çarpılacaktır. Aşım değeri 0,22 olduğuna göre kontrol katsayılarının referans değerden sonra çarpılacağı 1/aşım katsayısı 4,54 olarak hesaplanır. 1/aşım katsayılı sistem yanıtı Şekil 3.40'da gösterilmektedir.



Şekil 3.40 : 2.14'te verilen sistemin 1/aşım katsayılı yanıtı.

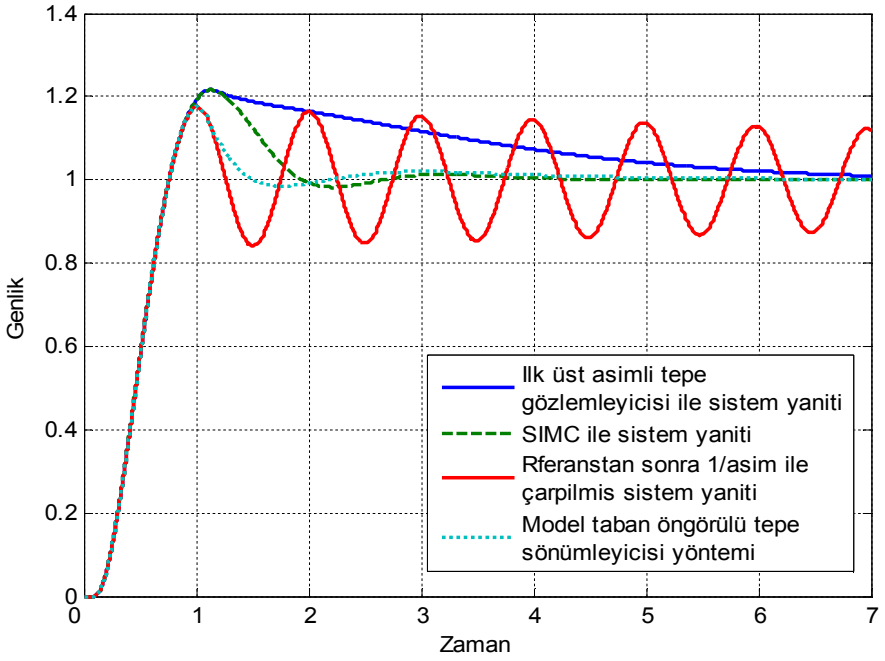
Görüldüğü üzere sistem zamanla azalan bir salınıma girmiştir. Eğer sistem 1/aşım katsayısı nedeni ile artan bir salınıma girmiş olsaydı bir süre sonra sistemi kontrol etmek mümkün olmayacaktı. Bu gibi durumlarda 1/aşım katsayısının üzerinde oynama yapılarak bu katsayının azaltılması önerilmektedir. Referanstan sonra 1/aşım katsayısı ile çarpılan sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı Şekil 3.41'de gösterilmektedir.



Şekil 3.41 : 2.14'te verilen 1/aşım katsayılı sistemin tepe gözlemleyicili yanıtı.

Şekil 3.41'de görüldüğü üzere 1/aşım katsayılı sistemin tepe gözlemleyicili yanıtında sistem çok az bir salınım yapmaktadır. Sistem bir saniye ölü zamanlı olduğu için tam

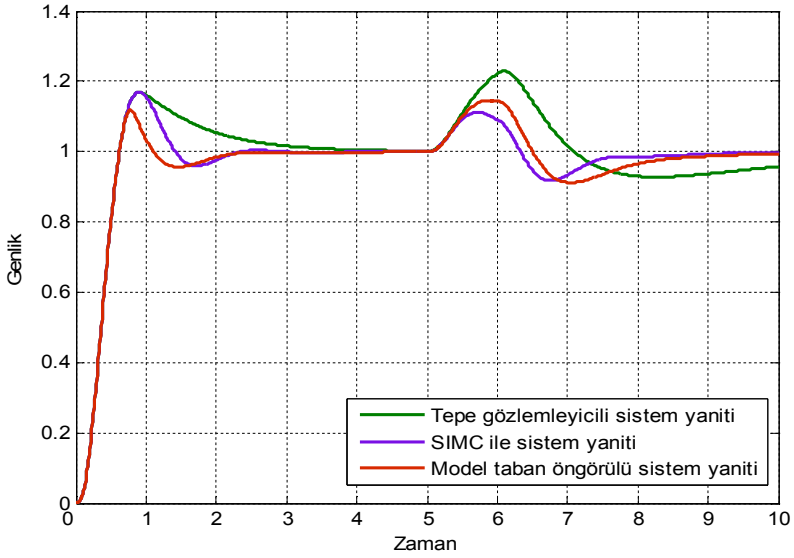
tepe anında kontrol parametreleri ile çarpılması gerekilen aşım değeri bir saniye sonra çarpılacağı için sistem çok küçük bir salınım yapmaktadır. Sistemin ölü zamanına bağlı olarak tepe gözlemleyicisi de ilk tepeden sonra sisteme ölü zaman geçtikten sonra etki edecektir. Bu sonuç tepe gözlemleyicisinin işini zorlaştırmaktadır. 2.14'te verilen sistemin tepe gözlemleyicili ve model taban öngörülü tepe sönümleyicili sistem yanıtları Şekil 3.42'de gösterilmektedir.



Şekil 3.42 : 2.14'te verilen sistemin model taban öngörülü tepe sönümleyicili yanıtı.

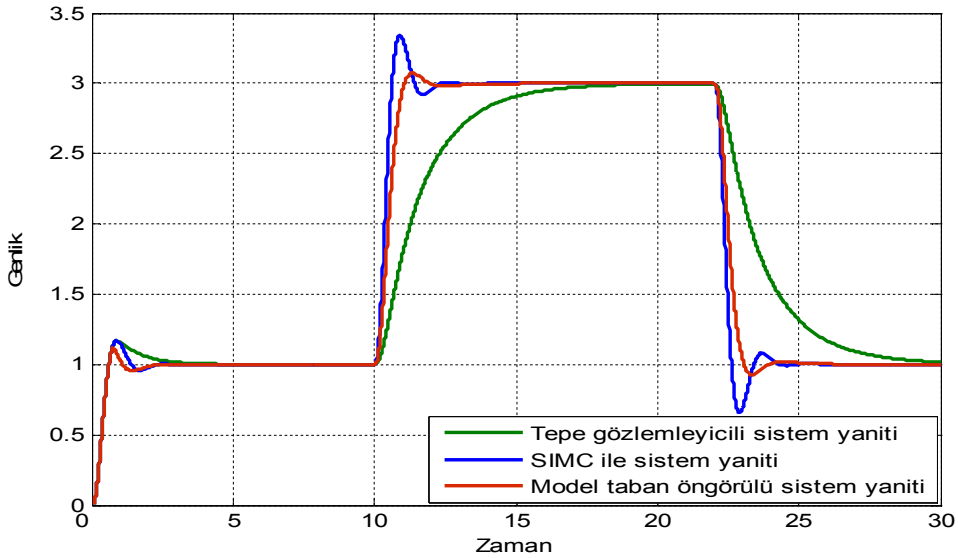
Şekil 3.42'den görüldüğü üzere model taban öngörülü tepe sönümleyicisi yöntemi ile sistemin aşımı %22'den %17'ye indirilmiştir. Fakat sistem cevabında küçük bir salınım görülmektedir. Yukarıda açıklandığı gibi salınımın nedeni sistemin ölü zamanından kaynaklanmaktadır.

Geliştirilen yöntemin gürültüye ve referans değişikliğine karşı dayanıklılığını ölçmek için 2.10'da verilen dördüncü dereceden ölü zamansız sistem incelenmiştir. Geliştirilen yöntemin ilk olarak gürültüye karşı verdiği yanıtı incelemek amacı ile sisteme beşinci saniyede darbe uygulanmıştır. Farklı yöntemler ile kontrol edilen gürültülü sistem yanıtları Şekil 3.43'te gösterilmektedir.



Şekil 3.43 : 2.10'da verilen sistemin model taban öngörülü yöntem ile gürültülü yanıtı.

Şekil 3.43'ten görüldüğü üzere model taban öngörülü tepe gözlemleyicili yöntem ile gürültüye karşı tepe gözlemleyicisinden daha iyi fakat basit içsel model kontrol yönteminden daha kötü bir yanıt elde edilmiştir.



Şekil 3.44 : 2.10'da verilen sistemin model taban öngörülü yöntem ile referans değişiklerine karşı yanıtı.

Şekil 3.44'ten görüldüğü üzere model taban öngörülü sistem yanıtı referans değişikliklerine karşı diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir.

4.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada literatürde fazla araştırma yapılmayan ve ilk olarak bulanık mantık tipi PID kontrolöre uygulanan tepe gözlemleyicisi yöntemi klasik PI kontrolöre uygulanmıştır. Ayrıca tepe gözlemleyicisi yöntemini geliştirmek amaçlı iki yeni fikir sunulmuştur. İncelenen sistemler ilk önce basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiştir. Bu yöntem uygulamada basit olması, hesaplamaların tek bir formüle dayandırılması ve birçok kontrol yöntemine göre daha iyi yanıt vermesi nedeni ile seçilmiştir. Kontrol edilmiş sistem yanıtlarında, çoğu sistemin %20 dolaylarında aşım ve çok az miktarda salınım yaparak referans değere oturduğu gözlemlenmiştir.

Aşım yapan sistemlerin tepe gözlemleyicisi uygulanmış sistem cevapları incelendiğinde sistemlerin tepe noktasından sonra aşım değeri ile çarpılarak salınımın engellendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca tepe gözlemleyicisi yöntemi rastgele kontrol edilmiş sistemler üzerinde de denenmiştir. Fazla aşım yapan sistemlerde örneğin %50 ve üzeri aşım yapan sistemler için ilk tepe anında hesaplanan lamda değeri her ne kadar tepe gözlemleyicisiz sistem yanıtına göre daha iyi sonuç verse de yeterli olmadığı görülmektedir. Bu neden ile fazla aşım yapan sistemler için ilk alt aşımlı tepe gözlemleyicisi veya ikinci üst aşımlı tepe gözlemleyicisinin kullanılması önerilmektedir. Birinci dereceden tepe gözlemleyicisinin yetersiz kalması nedeni ile fikri geliştirme amaçlı lamda ve aşım grafiği çizdirilerek bu iki değer arasında üçüncü dereceden bir fonksiyon elde edilmiştir. Bu fonksiyonda ilk tepede elde edilen sistemin aşım değeri denklemde yerine konularak ilk tepeden sonra kontrol parametreleri ile çarpılacak olan lamda katsayısı hesaplanmaktadır. Örnek olarak incelenen sistemlerde fonksiyondan elde edilen lamda katsayılı sistem cevaplarının salınım yapmadan ilk tepeden sonra referans değere oturduğu gözlemlenmektedir. Alt aşım istenmeyen durumlarda bu fikir önerilebilir. Tepe gözlemleyicisinin geliştirilmesi aşamasında sunulan ikinci fikirde ise sistemin ilk tepeye ulaşmasını beklemeden sisteme müdahale edilerek aşımının azaltıldıktan sonra sisteme tepe gözlemleyicisi uygulanması öngörülmektedir. Kontrol parametreleri referans değeri geçtikten hemen sonra 1/aşım katsayısı ile çarpılmaktadır. Genel olarak aşım değeri

birden küçük olduğu için 1/aşım katsayısı birden büyük bir değer olacaktır. Referanstan sonra 1/aşım katsayısı ile çarpılan kontrol parametreli sistem yanıtında ise aşımın az salınımın fazla olduğu bir cevap elde edilir. Salınımı gidermek için aşımı azaltılmış sisteme tepe gözlemleyicisi yöntemi uygulanır. Bu yöntem ile birlikte sistem aşımında azalma elde edilmiştir. Ayrıca oturma zamanının bazı sistem cevaplarında azaldığı gözlemlenmiştir. Referans değerden sonra sisteme müdahale edildiği için artış zamanında bir değişme olmamıştır. Bu yöntem basit içsel model kontrol yöntemi ile kontrol edilmiş ikinci dereceden ölü zamansız birçok sistem üzerinde denenmiş ve hepsinde tepe gözlemleyicisi yöntemine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Aşımı çok az olan sistemlerde 1/aşım katsayısı çok büyük olacağı için sistem cevabında çok fazla salınım görülebilir. Buna bağlı olarak bazı sistemlerin tepe gözlemleyicili yanıtlarında alt aşım gözlemlenmiştir. Salınımın artan değerli olması durumunda sistemin kontrolü imkânsız olacağı için 1/aşım katsayısı üzerinde değişiklik yapılarak yani azaltılarak azalan değerli bir salınım elde edildikten sonra tepe gözlemleyicisi yöntemi uygulanması önerilmektedir. %100 veya daha fazla aşımlı sistem yanıtlarında ilk tepede hesaplanan hatanın mutlak değeri bir veya birden büyük bir değer olacağı için, bu sistemler üzerinde tepe gözlemleyicisi yöntemi ve model taban öngörülü tepe gözlemleyicisi yöntemi uygulanamamaktadır. Ayrıca ölü zamanı yüksek olan sistemlerde, sisteme ölü zamandan sonra etki edildiği için sistemleri tam tepe anında aşım katsayısı ile çarpmak mümkün olmamaktadır. Bu yüzden ölü zamanlı sistemlerin kontrolü diğer sistemlere göre daha zor olmaktadır.

KAYNAKLAR

B.D. Tyreus, W.L. Luyben, 1992: Tuning PI controllers for integrator/dead time processes, *Ind. Eng. Chem. Res*. 2628–2631.

C.A. Smith, A.B. Corripio, 1985: *Principles and Practice of Automatic Process Control*, John Wiley & Sons, New York.

J.G. Ziegler, N.B. Nichols, 1942: Optimum settings for automatic controllers, *Trans. A.S.M.E.* ***64***, 759–768.

K.J. Astrom, T. Hagglund, 1995: PID Controllers: Theory, Design and Tuning, *2nd Edition, Instrument Society of America, Research Triangle Park.*

L.D. Desborough, R.M. Miller, 2002: Increasing customer value of industrial control performance monitoring - Honeywell's experience. Chemical Process Control-VI (Tuscon, Arizona, Jan. 2001*), AIChE Symposium* Series *No.326.vol.****98****,USA.*

M.Kano. M.Ogawa, 2009: The state of art in advanced process control in Japan, in : *IFAC Symposium ADCHEM*, Istanbul, Turkey.

M.Shamsuzzoha, S.Skogestad, 2010: The setpoint overshoot method: A simple and fast approach for PID tuning *Journal Process Control*, doi: 10.1016/j.jprocont.2010.08.003

Qiao, W.Z., Mizumoto M., 1996: PID type fuzzy controller and parameters adaptive method. Fuzzy Sets and Systems **78**, 23-35.

Riveria, D.E., Morari, M. & Skogestad, S. 1986: Internal model control. 4. PIDcontroller design, *Ind.En.Chem.Res*., ***25*** :252-265

S.Skogestad, 2001: Probably the best simple PID tuning rules in the world. *AIChE Annual Meeting*, Reno, Nevada, November, http://www.chemeng.ntnu.no/users/skoge/publications/2001/tuningpaper-reno

S.Skogestad, 2003: Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning*, Journal Process control **13***, 291-309

Visioili, Antonio. 2006: *Practical PID Control*. Springer

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Erdinç ŞAHİN

Doğum Yeri ve Tarihi: GİRESUN/06.10.1986

Adres: Kale Mah. Pastırmacı Sok. No:1 Kat:4/13 Merkez/GİRESUN

Lisans Üniversite: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi