

Zaman Gecikmeli Kontrol Sistemleri için LabVIEW ile PI Kontrolör Tasarımı

Ali Yüce ve Nusret Tan
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

Özetçe

Kontrol sistemlerinde en uygun kontrolör parametrelerinin analitik yöntemlerle kesin olarak hesaplanması oldukça zor bir iştir. Bir çok kontrolör tasarım yöntemleri(Ziegler - Nichols ayarlama metotları, Cohen-Coon kuralları, Åström-Hägglund metodu, vb.) kullanılarak yaklaşık olarak seçilmiş kontrolör parametreleri aslında sistemi tam verimle kontrol etmemektedir. Bu çalışmada zaman gecikmeli birinci dereceden geri beslemeli bir kontrol sisteminin parametre seçiminde kararlılık bölgesi yöntemi kullanılmıştır. Uygulama LabVIEW yazılımı ile tasarlanmış ve kararlılık bölgesi grafiği çizdirilmiştir. LabVIEW, grafik tabanlı ve interaktif özellikte bir yazılım olduğundan, kararlılık bölgesi içindeki en uygun kontrol parametrelerinin ve bu parametreler ile hesaplanan birim basamak cevabının anlık takip edilmesi mümkün olmuştur. Böylece programa girilen birinci dereceden zaman gecikmeli herhangi bir transfer fonksiyon için anlık olarak kararlılık bölgesi oluşturulması ve en uygun kontrolör parametreleri seçimi sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: LabVIEW, PI kontrolör, Zaman gecikmesi, Pade yaklaşımı, Kararlılık bölgesi

Abstract

It is very difficult to estimate the most appropriate parameters of controllers using analytical methods. The controller parameters can be tuned using very well known design methods such as Ziegler-Nichols, Cohen-Coon and Åström-Hägglund methods. However, the performance of the designed controllers can not be satisfactory and it may be possible that there are other controllers which give better results. In this paper, the stability region approach is used to find all stabilizing PI controllers for control systems with a first order plus time delay(FOPTD) transfer function. The stability region is obtained in LabVIEW environment. LabVIEW is a powerful graphical program and has interactive feature. Therefore, the effect of the selected controllers in the stability region on the step response of the system can be immediately seen. Thus, the controller which gives the best results can be designed.

Key words: LabVIEW, PI controller, Time delay, Pade approximation, Stability region.

1. Giriş

PID kontrolörler, dayanıklı performans ve basit yapıları sebebiyle endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Genellikle pratik uygulamalarda türevsel kısmının sık kullanılmaması sebebiyle PI şeklindedirler [1]. PI kontrolörler yapı olarak iki parametreye sahip oldukça basit ve bir çok kontrol sistemi için çok iyi sonuçlar sağlayan bir kontrolördür. Bu kontrolörlerin parametrelerini belirlemek için kullanılan bir çok metod [2-3] geliştirilmiştir. Bu metodlardan en popüler olanlar: Ziegler - Nichols ayarlama metotları, Cohen-Coon kuralları, Åström-Hägglund metodu, gelişmiş Ziegler-Nichols metodu, dahili model kontrol (IMC) tasarım yaklaşımı, kazanç ve faz payına dayanan tasarımlar ve integral performans kriterlerine dayanan diğer metotlardır

*Corresponding author: Address: İnönü Üniversitesi Yakınca Meslek Yüksekokulu Özsan Sanayi Sit. Malatya 44000 Turkey. E-mail address: ali.yuce@inonu.edu.tr, Phone: +9021110111

[4]. Yukarıda belirtilen metodlar ile seçilmiş kontrolör parametreleri çoğu zaman optimum parametreler olmayabilirler. Yani sistemin daha iyi şartlarda çalıştığı başka parametreler bulunabilir. Bunun için sistemin kararlılık bölgesi hesabı yapılarak elde edilen grafikden yararlanmak çok daha iyi sonuçları yakalamamıza yardımcı olmaktadır.

Bu bildiride $G(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-\tau s}$ ile ifade edilen birinci dereceden zaman gecikmeli bir sistemin kontrolör parametreleri LabVIEW yazılımı ortamında kararlılık bölgesi metodu [5] kullanılarak elde edilmektedir.

Giriş ve çıkışları arasında meydana gelen veya doğrudan kendi iç dinamik yapısından kaynaklanan zaman gecikmesine sahip sistemler genel olarak “zaman gecikmeli sistem” olarak adlandırılır [6]. Zaman gecikmesi fiziksel, kimyasal, biyolojik vb. pekçok gerçel sistemde yaygın olarak görülen bir durumdur. Dolayısıyla zaman gecikmesine sahip transfer fonksiyonları gerçel sistemlerin modellenmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir [7]. Bir sistemdeki zaman gecikmesi, bu sistemlerin kararlılık analizini ve kontrolünü zorlaştıran en önemli faktördür. Denklem (1) de görüldüğü gibi sistemin zaman gecikmesinin üstel bir fonksiyon olarak tanımlanması, yani sistemin transfer fonksiyonunun polinom yapıda olmamasından dolayı doğrudan kararlılık analizi yapmaya (kök-yer eğrisi çizimi v.s.) elverişli değildir. Bu çalışmada kararlılık bölgesi, zaman gecikmesinin gerçek değeri kullanılarak elde edilmektedir. Ancak simülasyonda pade yaklaşımı kullanılmaktadır.

Bu bildiride program, LabVIEW grafik tabanlı programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Labview, milyonlarca mühendisin ve bilim adamının kullandığı grafiksel programlama dili arabirimidir. Grafiksel programlama dili; küçük grafiksel ikonlar ve kablolar ile akış diyagramları hazırlamaya yaramaktadır. Metin tabanlı dillerden ziyade kullanımı daha kolay ve algoritma geliştirmek için daha görsel bir platform sunmaktadır. 1986 yılından bugüne kadar her türlü platformda kullanılabilir hale gelen Labview kendi içerisinde çok büyük bir içerik içermektedir ve endüstride çok büyük alanlara hükmetmektedir. Mühendislik, İstatistik, Kimya, Fizik vb ... alanlarda, yani verinin kullanılabilceği her alanda çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Test ölçme ve kontrol sistemlerinin vazgeçilmez olmayı hedefleyen Labview, National Instrument bünyesinde geliştirilen veri toplama kartları, modüler enstrümantasyon sistemleri, kompakt kartlar ile dünya piyasasında önemli yer edinmiştir.

Hızlı programlama, programın adım adım çıkışlarını görebilme, paralel program sürdürebilme, işletim sistemi konusunda hiçbir sıkıntı yaşamama Mac OS , Windows7, Linux ortamlarının hepsine kurulabilme gibi özellikleriyle öne çıkan Labview, pratik bir programlama dilidir. Medikal uygulamalar, Otomasyon, Gıda uygulamaları, Otomotiv, Scada Uygulamaları, İşaret İşleme, Jeolojik veri analizleri, İstatistik, Matematik, Enerji analizi, Robotik gibi çok geniş bir alana hitap ettiğinden dolayı günden güne kullanım oranı artmaktadır. Matlab, mathscript gibi dillerin kodlarını kendi içerisinde çalıştırabilme özelliğine de sahiptir.

Bu programın avantajları sayesinde sistem cevabı interaktif bir şekilde izlenmiş ve buradan k_p, k_i parametrelerinin optimum değerlerinin tespit edilmesi yoluna gidilmiştir.

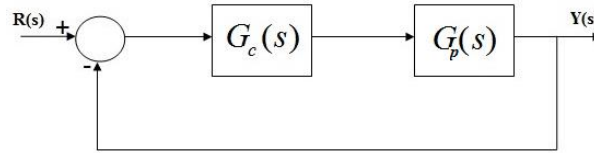
Bildiri şu şekilde organize edilmiştir; 2.Bölümde PI kontrolörler ve kararlılık bölgesi analizi anlatılmıştır. 3.Bölümde LabVIEW programı ile sistemin tasarımı incelenmiştir. Sonuçlar ise 4.Bölümde verilmiştir.

2. PI Kontrolörler ve Kararlılık Bölgesi

Orantı etkiye integral etki ilavesi ile elde edilen, denklem (2) de verilen ve bu bildiriye ele alınan PI kontrolörün yapısı nispeten basit olup, özellikle süreç denetim sistemlerinde %75 - %90 arasında kullanılır. En yaygın kullanım alanları; basınç, seviye ve akış kontrol sistemleridir.

Oransal kontrolöre ilave edilen integral etki ile elde edilen PI kontrolörler, denetlenen çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek kalıcı - durum hatalarını ortadan kaldırırlar.

Şimdi kararlılık sınır eğrisini aşağıdaki sistem üzerinde inceleyelim [5].



Şekil 1. Tek giriş-tek çıkış geri beslemeli bir kontrol sistemi

Şekil 1’de verilen kontrol sisteminde kontrol edilmek istenilen zaman gecikmeli sistemin (1) ve kontrolörün (2) transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$G_p(s) = G(s)e^{-\tau s} = \frac{N(s)}{D(s)}e^{-\tau s} \quad (1)$$

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p s + k_i}{s} \quad (2)$$

Sistemin kapalı çevrim karakteristik denklemi

$$\Delta(s) = sD(s) + (k_p s + k_i)N(s)e^{-\tau s} \quad (3)$$

Şeklinde yazılabilir. Denklem (1) de $s = j\omega$ yazılarak, $G(s)$ ’in pay ve paydasının tek ve çift kısımları düzenlenirse,

$$G(j\omega) = \frac{N_e(-\omega^2) + j\omega N_o(-\omega^2)}{D_e(-\omega^2) + j\omega D_o(-\omega^2)} \quad (4)$$

Gösterimin basit olması açısından $(-\omega^2)$ ifadeleri denklemden çıkartılırsa. Yeni oluşan karakteristik denklem

$$\Delta(j\omega) = \left[(k_i N_e - k_p \omega^2 N_o) \cos(\omega\tau) + \omega(k_i N_o + k_p N_e) \sin(\omega\tau) - \omega^2 D_o \right] + j \left[\omega(k_i N_o + k_p N_e) \cos(\omega\tau) - (k_i N_e - \omega^2 k_p N_o) \sin(\omega\tau) + \omega D_e \right] \quad (5)$$

$$= R_\Delta + jI_\Delta = 0 \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemde $\Delta(j\omega)$ 'nin reel ve sanal kısımları sıfıra eşitlenirse

$$k_p (-\omega^2 N_o \cos(\omega\tau) + \omega N_e \sin(\omega\tau)) + k_i (N_e \cos(\omega\tau) + \omega N_o \sin(\omega\tau)) = \omega^2 D_o \quad (7)$$

ve

$$k_p (\omega N_e \cos(\omega\tau) + \omega^2 N_o \sin(\omega\tau)) + k_i (N_e \cos(\omega\tau) - N_e \sin(\omega\tau)) = -\omega D_e \quad (8)$$

elde edilir.

$$Q(\omega) = -\omega^2 N_o \cos(\omega\tau) + \omega N_e \sin(\omega\tau)$$

$$R(\omega) = N_e \cos(\omega\tau) + \omega N_o \sin(\omega\tau) \quad (9)$$

$$X(\omega) = \omega^2 D_o$$

ve

$$S(\omega) = \omega N_e \cos(\omega\tau) + \omega^2 N_o \sin(\omega\tau)$$

$$U(\omega) = \omega N_o \cos(\omega\tau) - N_e \sin(\omega\tau) \quad (10)$$

$$Y(\omega) = -\omega D_e$$

şeklinde tanımlanırsa Denklem (7) ve (8) aşağıdaki gibi (11) ifade edilebilir.

$$k_p Q(\omega) + k_i R(\omega) = X(\omega) \quad (11)$$

$$k_p S(\omega) + k_i U(\omega) = Y(\omega)$$

Bu denklemler kullanılarak k_p ve k_i aşağıdaki gibi (12) yazılabilir.

$$k_p = \frac{X(\omega)U(\omega) - Y(\omega)R(\omega)}{Q(\omega)U(\omega) - R(\omega)S(\omega)} \quad (12)$$

$$k_i = \frac{Y(\omega)Q(\omega) - X(\omega)S(\omega)}{Q(\omega)U(\omega) - R(\omega)S(\omega)} \quad (13)$$

Denklem (9) ve (10), denklem (12) ve (13) de yerine yazılırsa,

$$k_p = \frac{(\omega^2 N_o D_o + N_e D_e) \cos(\omega\tau) + \omega(N_o D_e - N_e D_o) \sin(\omega\tau)}{-(N_e^2 + \omega^2 N_o^2)} \quad (14)$$

ve

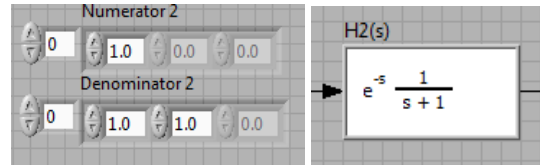
$$k_i = \frac{(\omega^2 N_o D_e - N_e D_o) \cos(\omega\tau) - \omega(N_e D_e + \omega^2 N_o D_o) \sin(\omega\tau)}{-(N_e^2 + \omega^2 N_o^2)} \quad (15)$$

Denklem (14) ve (15) deki gibi frekansa bağılı kontrolör parametreleri elde edilmiş olur.

Denklem (14) ve (15) kullanılarak kararlılık sınır eğrisi frekansa bağılı olarak (k_p, k_i) düzleminde çizdirilebilir. Kararlılık sınır eğrisi elde edildikten sonra sistemi kararlı yapacak PI kontrolörlerin bölgesi tespit edilebilir. (k_p, k_i) düzleminde çizilen eğriler düzlem üzerinde kararlı ve kararsız bölgeler içermektedir. Bu bölgelerden seçilen kontrolör parametreleri karakteristik denklem üzerinde denenmek suretiyle, hangi bölgenin kararlı bölge olduğu belirlenebilir.

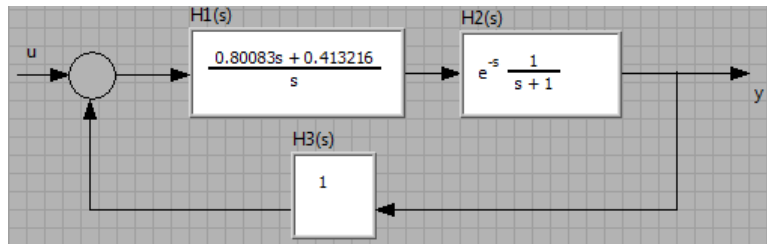
3. LabVIEW Programı ile Sistemin Tasarımı

Sistemimizi oluşturan, kontrolör ve kontrol edilen sistem için transfer fonksiyon kontrolcüsü Şekil 2'de görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Bu kontrolcülerin ön panele yerleşimi ile, program çalıştırıldığında sisteme ait transfer fonksiyonlarının interaktif olarak değiştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca transfer fonksiyonların ön panelde izlenebilmesi için gösterge fonksiyonları da programa dahil edilmiştir.



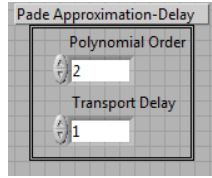
Şekil 2. Transfer fonksiyon kontrolcüsü ve gösterge fonksiyonu

Kontrolör ve sistemin transfer fonksiyonları, Şekil 3'de görüldüğü gibi geri beslemeli kontrol sistemi oluşturacak şekilde ön panelde dizayn edilmiştir.



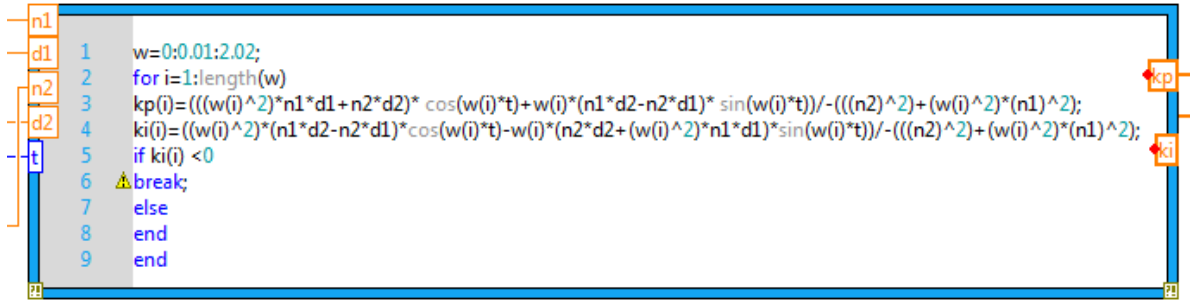
Şekil 3. Tasarlanan geri beslemeli kontrol sistemi yapısı

Sistemimiz zaman gecikmeli olduğundan, zaman gecikmesi için Şekil 4'de görülen pade yaklaşımı kontrol elemanı kullanılmıştır. Pade yaklaşımı fonksiyonu kullanılarak, ön panele pade yaklaşıklığını kontrol eden polinom derecesi ve gecikme zamanı kontrol elemanının yerleşimi yapılmıştır.



Şekil 4. Pade yaklaşıklığı ön panel kontrol elemanı

Denklem (14) ve (15) de elde edilen PI kontrolör parametrelerine ait fonksiyonlar, Şekil 5’de görüldüğü gibi labview programında mathscript komutundan yararlanılarak çizdirilmiştir. Mathscript’e yazılan kararlılık bölgesi grafik çizim programında w çizdirilecek frekans aralığını, $n1$ pay’ın tek bileşenini, $n2$ pay’ın çift bileşenini, $d1$ payda’nın tek bileşenini, $d2$ paydanın çift bileşenini ve t ise zaman gecikme sabitini belirtmektedir. Bu kısımda program her çalıştırıldığında sisteme ait kararlılık bölgesini (k_p, k_i) düzleminde çizmektedir. Programda kontrolör transfer fonksiyonu, kullanıcı tarafından kararlılık bölgesi grafiği üzerinde seçilen (k_p, k_i) noktalarını kullanarak oluşturulmakta ve kapalı çevrimde hesaba katılmaktadır. Böylece kullanıcının kararlılık bölgesi grafiği üzerindeki imleci hareket ettirmesi ile her defasında yeni parametrelere göre oluşan kontrolör hesaba katılmaktadır.



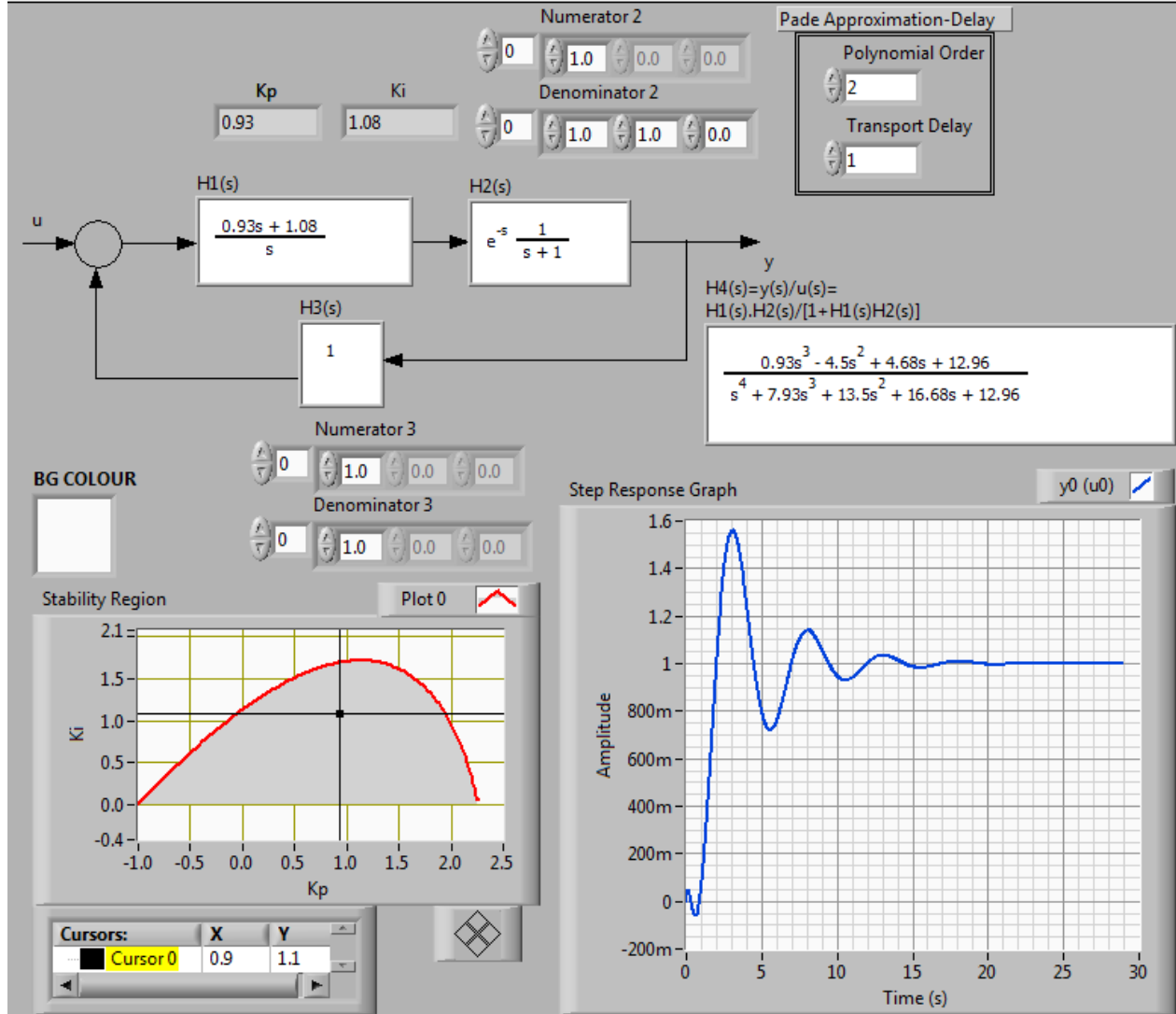
Şekil 5. Kararlılık bölgesi grafiği için mathscript programı

Sitemin birim basamak cevabını izlemek amacı ile sisteme ayrıca basamak cevabı grafik göstergesi eklenmiştir. Bu gösterge ile kullanıcı tarafından kararlılık bölgesi grafiği üzerinde seçilen kontrolör parametrelerine göre sistemin birim basamak cevabı anlık ve interaktif bir şekilde izlenebilmektedir.

Denklem (14) ve (15) sistemin transfer fonksiyon katsayıları ve zaman gecikmesine bağlı olmasından dolayı, tasarlanan uygulamada kararlılık bölgesi grafiği, anlık olarak verilen zaman gecikmesi değişimleri ve sistem transfer fonksiyon katsayılarındaki değişikliklere göre sürekli kendisini yeniler, dolayısı ile uygulama üzerinde kullanıcı tarafından interaktif bir şekilde girilen değişiklikler anlık olarak hesaplanarak yeni durumun kararlılık bölgesi çizilir. Böylece sistemi kararlı yapan bölge her zaman elde tutulmuş olur. Kararlılık bölgesi üzerinde imleci hareket ettirerek, yeni kontrolöre göre anlık olarak sistemin birim basamak cevabı izlenebilir. Bu yöntem

ile sistemi en iyi performansta kontrol eden kontrolör parametreleri kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Uygulamanın ön panelini bütün olarak Şekil 6'da görebiliriz.

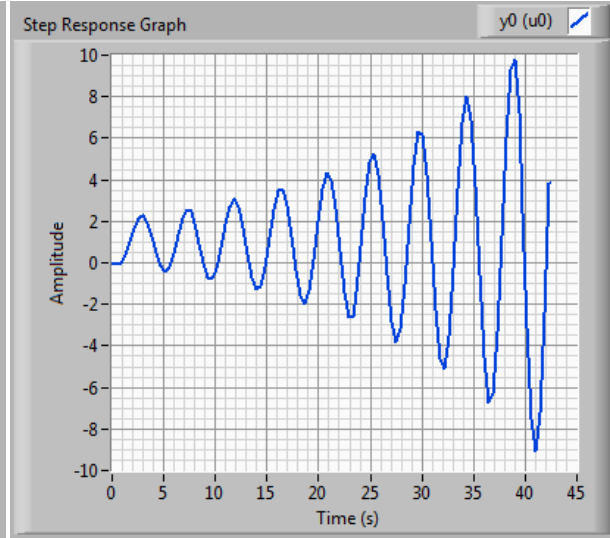
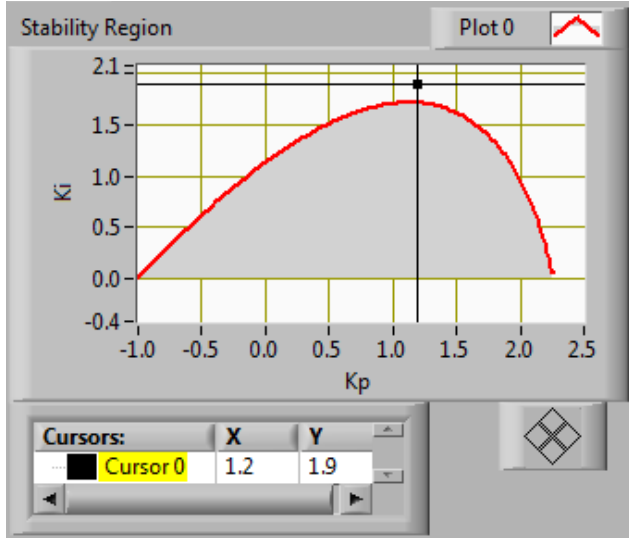


Şekil 6. Tasarlanan LabVIEW programı ön paneli

Örnek : $G_p(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-\tau s}$ transfer fonksiyonu için tasarlanan labview uygulaması üzerinde PI kontrolör parametreleri ve basamak cevaplarını inceleyelim.

$K=1, T=1, \tau=1$ seçilirse $G_p(s) = \frac{1}{s+1} e^{-s}$ transfer fonksiyonu için programı inceleyelim.

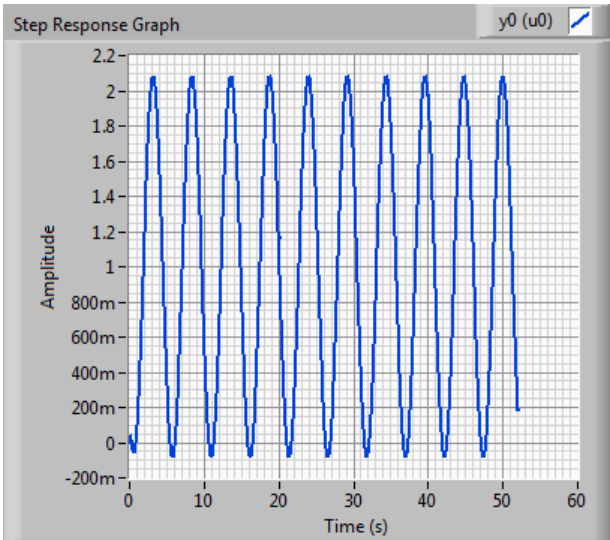
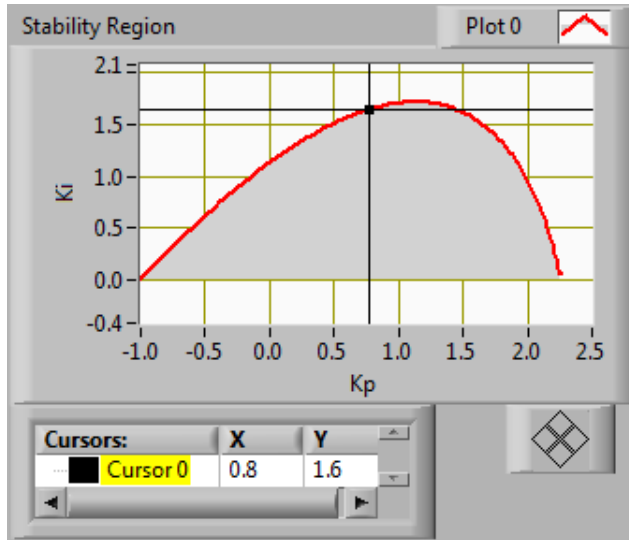
- a) İmleç kararlılık bölgesi grafiğinin dışında iken sistemin birim basamak cevabı Şekil 7-8'de görüldüğü gibi kararsızlığa gitmektedir.



Şekil 7. Kararlılık bölgesi dışı seçim $k_p = 1.2, k_i = 1.9$

Şekil 8. Birim basamak cevabı- Kararsızlık durumu

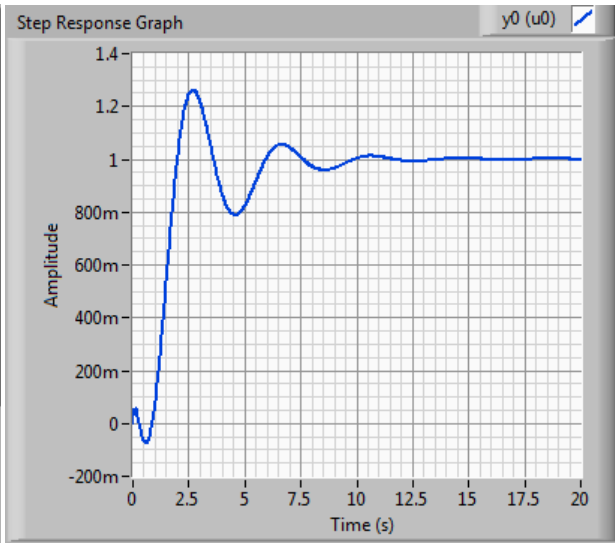
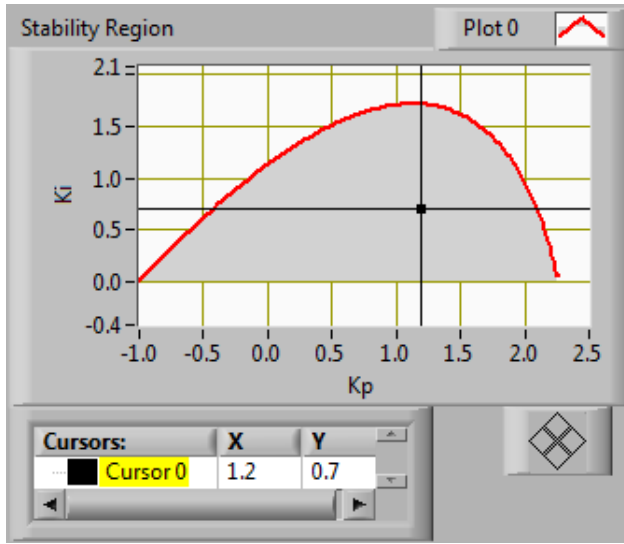
- b) İmleç kararlılık bölgesi grafiğinin tam üzerinde iken sistemin birim basamak cevabı Şekil 9-10'da görüldüğü gibi osilasyona gitmektedir.



Şekil 9. Kararlılık sınır çizgisi seçimi $k_p = 0.8, k_i = 1.6$

Şekil 10. Birim basamak cevabı-Osilasyon durumu

- c) İmleç kararlılık bölgesi grafiğinin içinde olduğunda sistemin birim basamak cevabının kararlı durumda olduğu Şekil 11-12'de görülmektedir.



Şekil 11. Kararlılık bölgesi içi seçimi $k_p = 1.2, k_i = 0.7$

Şekil 12. Birim basamak cevabı-Kararlı durum

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yukarıda belirtilen kararlılık sınır eğrisi Şekil 6'da önpaneli gösterilen LabVIEW programı ile çizdirilmiştir. Bu programın interaktiflik ve görsel programlama gibi yeteneklerinden yararlanılmıştır. Bu sayede kararlılık bölgesinde seçilen her kontrolör parametresi için program anlık olarak birim basamak cevabını vermektedir. Sistem cevabının interaktif bir şekilde izlenmesi ile sisteme ait optimum kontrolör parametreleri çok kısa bir sürede işlem zorluklarından kurtularak belirlenmiştir. Uygulama interaktif olarak kullanıcı girişlerine tepki verebildiğinden, eğitim amaçlı olarak kullanım özelliğine de sahiptir. Kontrol sistemlerinin analizi için yaygın olarak kullanılan bode, nyquist gibi v.b. çizimler de LabVIEW yazılımında programa kolaylıkla ilave edilebilmektedir.

5. Kaynakça

- [1] Astrom K. J., Hagglund T. The Future of PID Control. Control Engineering Practice, Vol. 9, 2001, 1163-1175.
- [2] Zhuang M., Atherton D. P. Automatic Tuning of Optimum PID Controllers. IEE Proc. Part D, vol. 140, 1993; 216-224.
- [3] Astrom K. J., Hagglund T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. Instrument Society of America. 1995.
- [4] Yenigün A., Tan N. PI Kontrolör Tasarımı ve Performans Analizi. Elektrik Mühendisleri Odası. 2007.
- [5] Tan N. Computation of stabilizing PI and PID controllers for processes with time delay. ISA Transactions 44, 2005, 213-223.

- [6] Özyetkin M. M., Onat C., Tan N. Zaman Gecikmeli Sistemler için PI Denetçi Tasarımı. TOK2012 Konferansı. 2012.
- [7] Hamamcı S. E., Avşar S. F., Obuz S. Belirsiz Yapılı Nötral Sistemler için Dayanıklı Kararlılık Analizi. Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu. Fırat Üniversitesi. 2011.