

T Ü R K İ Y E ' D E V E D Ü N Y A D A

180

OTOMASYON

AYLIK ELEKTRİK ELEKTRONİK MAKİNA BİLGİSAYAR DERGİSİ

Birlikte 15 yıl

Haziran 2007
112498 2007/06
Fiyatı: 5 YTL

ISSN 1303-4820
9 771303 482022

DOSYA ENDÜSTRİYEL ETHERNET

BOLU TÜNELİ
OTOMASYON
SİSTEMİ

Tekstil
Boyahanelerinde
Otomasyon

PLC PID KONTROL
UYGULAMALARI

PROFIBUS DP
İLETİŞİM PROFİLİ

Otomasyon ve Kontrol
Sistemlerinde Sensörler

BİLESİM 20.
YAYINCILIK A.Ş. YTL

WIN OTOMASYON'08
World of Industry 15. Endüstriyel Otomasyon Fuarı
28 Şubat-2 Mart 2008
Tüyap Fuar ve Kongre Merkezi Beylikdüzü-İstanbul

Kontrol Sistemleri Sanal Laboratuvarı: Denetleyiciler

İsmail H. Altaş
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü

Özet

Bilgisayarlar ve yazılım dünyasındaki gelişmeler, sanal ortamlarda teknik laboratuvarlar oluşturmayı ve ilgili derslere önemli ölçüde katkı sağlayacak sanal deneyler gerçekleştirmeyi mümkün kılmaya başlamıştır. Özellikle mühendislik eğitiminde gerçek deneyler yapmak yerine bunları çok doğru olarak temsil eden sanal benzerlerini kullanmak, hem ekonomik hem de konunun anlaşılması bakımından önem kazanmaktadır. Gerçekte riskli olan pek çok mühendislik deneyi, sanal ortamlarda herhangi bir riske girmeden modellenip deneyerek fiziki olarak uygulanabilir. Bu makalede, Matlab/Simulink ortamının GUI özelliklerinden faydalanılarak oluşturulan kontrol sistemleri sanal laboratuvarı tanıtılmaktadır.

1. Giriş

Günümüzde çok sayıda yazılım ortamı, sanal laboratuvarlar oluşturup kullanmaya olanak sağlamaktadır. Bilgisayarda gerçekleştirilen eğitim animasyonları, teorik bilgi ve uygulamayı birleştirerek görsel olarak öğretime katılmakta ve konuların daha kolay anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu amaçla, derslere destek olması için farklı konularda animasyona dayalı simülatörler kullanılmaktadır. İnteraktif kullanıcı arayüzüne sahip otomatik bir kontrol

sistem yazılım platformu [1]'de verilmektedir. Kontrol sistemleri öğretimi için geliştirilen PSpice tabanlı bir başka sanal simülasyon (VAS) [2]'de tanıtılmaktadır. Mühendislik öğrencilerinin temel enerji sistemlerinin öğretiminde kullanabilecekleri bir yazılım [3]'de tanıtılmakta, üç fazlı güç bileşenlerinin sanal ortamda ölçülebileceklerini öneren LabVIEW tabanlı bir sistem ise [4]'te önerilmektedir. Elektrik ve elektronğin bilgisayar destekli örneklerle öğretilmesini hedefleyen LabVIEW tabanlı bir başka çalışma da [5]'te verilmektedir. Bu örnekler, daha da artırılabilir. Ancak bilgisayar animasyonları ve simülatörlerinin teorik bilgilerin daha iyi anlaşılmasındaki önemini ortaya koymak açısından verilen örnekler yeterlidir.

Kontrol sistemleri sanal laboratuvarı, kontrol sistemlerinin temel konularının anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla Matlab/Simulink ortamında bu konuların görsel olarak işlenmesini amaçlamaktadır. Fiziki sistemlerin modellenmesi ve simülasyonundan kararlılık konularına, zaman ve frekans uzaylarında analiz ve tasarımı kök yer eğrilerinin çizimi ve denetleyici tasarımına kadar değişik işlemlerin yapılabilmesi sanal laboratuvarında mümkündür. Kontrol sistemleri sanal laboratuvarının şimdilik sadece denetleyiciler kısmı ele alınacaktır. Burada incelenecek olan de-

netleyiciler alt laboratuvarı; klasik PID, durum geri beslemeli, ileri/geri faz kaydırmalı, bulanık mantık ve nöral bulanık denetleyici türlerini kapsayan geniş bir yapıya sahiptir. Ayrıca sanal ortamda üretilebilecek test işaretleri kullanılarak çok farklı fiziki sistem denetimleri de yapılabilir. İşlemlerin sanal ortamda yapılması ve deneylerin sanal ortamda gerçekleştirilmesi, maliyeti düşük bir laboratuvar ortamı oluşturmanın yanı sıra deneylerin daha güvenli ve çok parametrelili yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Kullanıcı, simulink ortamının GUI özelliğinden faydalanarak hem denetleyici türünü ve parametrelerini hem de deneyde kullanılacağı farklı fiziki sistemi rahatlıkla seçme ve değiştirme şansına sahiptir. Ayrıca sanal deney sırasında gerek referans girişlerde gerekse deneyde kullanılan fiziki sistem çalışmasında değişiklikler yapılabilir.

2. Kontrol Sistemleri Sanal Laboratuvarının Alt Dilimleri

Kontrol sistemleri sanal laboratuvarının ana penceresi, Şekil 1'de verilmektedir. Buradan görüleceği gibi, sanal laboratuvar sekiz tane alt birime yani alt laboratuvar dilimine sahiptir. Bunlar sırasıyla aşağıda tanımlanmaktadır.

- **Modelleme ve simülasyon** alt laboratuvar diliminde, fiziki sistemlerin matematik modellerinden simülasyon diyagramlarının elde edilmesi ve simülasyonlarının yapılması konusu işlenmektedir.

- **Zaman uzayında analiz ve tasarım** alt diliminde, birinci ve ikinci dereceden sistemlerin karakteristik özellikleri ve bu sistemlere ait transfer fonksiyonlarının kestirimleri işlenmektedir.

“ **Günümüzde çok sayıda yazılım ortamı, sanal laboratuvarlar oluşturup kullanmaya olanak sağlamaktadır. Bilgisayarda gerçekleştirilen eğitim animasyonları, teorik bilgi ve uygulamayı birleştirerek görsel olarak öğretime katılmakta ve konuların daha kolay anlaşılmasını sağlamaktadır** ”

- **Ruth-Hurwitz kararlılık testi** alt diliminde, sistemlerin karakteristik denklemlerinden hareketle kararlılık durumları incelenmektedir.

- **Frekans uzayında analiz ve tasarım** alt laboratuvar diliminde, Nyquist ve Bode diyagramları kullanılarak kararlılık testi ve denetleyici tasarımı yapılabilmektedir.

- **Kök yer eğrileri** alt diliminde,

sistem parametrelerinin kararlılık üzerindeki etkileri ve denetim sistemlerinin zaman uzayındaki performanslarının ayarlanması konuları ele alınmaktadır.

- **Denetleyiciler** alt diliminde, değişik denetleyici türleri kullanılarak sistem denetimi ele alınmaktadır.

- **Akıllı denetim** alt diliminde, bulanık mantık ve nöral-bulanık tabanlı denetleyici uygulamaları verilmektedir.

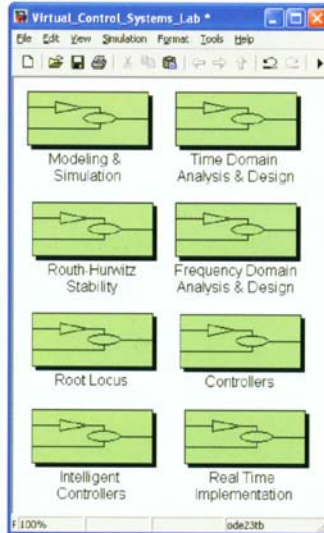
- **Gerçek zamanda deneyler** alt laboratuvar diliminde, simulink ortamında tasarlanan denetleyiciler kullanılarak veri aktarım kartları üzerinden bilgisayar ve gerçek fiziki sistemler arasında iletişim kurulmakta ve gerçek zamanda bilgisayar destekli denetim yapılabilmektedir.

Bu aşamada yukarıda sıralanan alt laboratuvarlardan sadece denetleyiciler dilimi incelenecek olup, diğer alt laboratuvar dilimleri ile ilgili ayrıntılar daha sonraya bırakılmıştır.

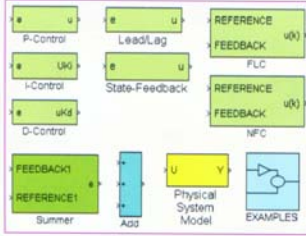
3. Denetleyiciler

Sanal kontrol laboratuvarının denetleyiciler alt dilimi, Şekil 2'de görülen ana eleman kütüphanesine sahiptir. Burada kullanılacak olan denetleyiciler, birer alt eleman olarak denetleyici kütüphanesine yerleştirilmiştir ve asıl çalışma dosyasına kopyalanarak kullanılabilir. Kullanılacak denetleyici türleri aşağıda sıralanmıştır.

- Oransal-P
- Entegral-I
- Türev-D,
- Faz ilerletici/faz geriletici (lead/lag)
- Durum geri beslemeli,
- Bulanık mantık-FLC
- Nöral bulanık-NFC



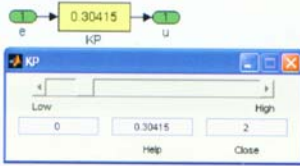
Şekil 1. Ana pencere



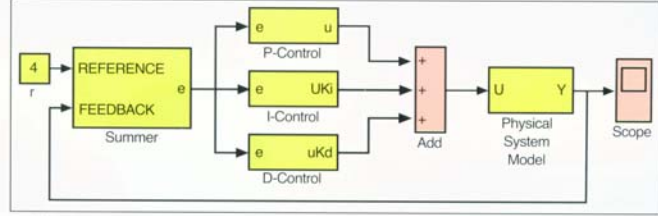
Şekil 2. Denetleyiciler alt dilimi

Denetleyici türlerinin yanı sıra referans ve geri besleme işaretinden denetim hatasının hesaplandığı karşılaştırmalı toplayıcı (summer), gerektiğinde farklı denetleyici çıkışlarını birleştirmek için bir toplayıcı (add), örnek bir fiziki sistem modeli ve bazı örneklerin yer aldığı örnekler (examples) alt birimi de denetleyiciler kütüphanesinde yer almaktadır.

Denetleyiciler alt diliminde yer alan elemanlar, çalışma yapılan dosyaya kopyalanarak kullanılabilir ve gerektiğinde ilgili parametreler değiştirilebilir. Örneğin, oransal (P) denetleyici bloğu tıklandığında Şekil 3'te üst kısımda verilen e girişi ve u çıkışına sahip KP bloğu ortaya çıkar. Bu blok tıklandığında şeklin alt kısmındaki kayar özellikli parametre giriş penceresi belirir. Bu pencerede, KP oransal denetleyici kazanç için alt ve üst sınırlar belirlenir ve parametre, bu sınırlar arasında bir değere ayarlanabilir. Kayar özellikli parametre giriş penceresi



Şekil 3. Oransal denetleyici ve parametre giriş penceresi



Şekil 5. Denetleyici kütüphanesindeki blokların birlikte kullanımı

kullanımı, deney sırasında sistem simülasyonu koşarken de bu değerin değiştirilebilmesine olanak sağlaması bakımından önemlidir.

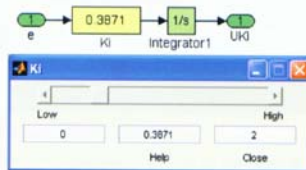
Oransal denetleyiciye benzer şekilde, entegral-I denetleyici bloğu tıklandığında Şekil 4'te verildiği gibi, bu denetleyicinin yapısını ve entegral kazancını gösteren blok ortaya çıkar. Ki bloğu tıklandığında tıpkı oransal denetleyicide olduğu gibi, kayar özellikli parametre giriş penceresi belirir. Bu pencere aracılığı ile hem simülasyon öncesinde hem de simülasyon sırasında Ki parametresinin değeri ayarlanabilir. Türev-D denetleyici için de benzer bir uygulama geçerlidir. Bulanık mantık denetleyicinin iç yapısı ve nasıl çalıştığı daha önce açıklanmıştır. [6] Nöral bulanık denetleyici (NFC) bloğunun ayrı bir makalede tanıtılması daha uygun olacaktır.

Denetleyici alt diliminde yer alan elemanları kullanarak geri besle-

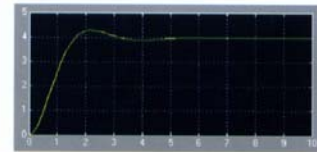
meli bir denetim sistemi basitçe gerçekleştirilebilir. Şekil 5'te görüleceği gibi, r-referans girişi ile denetlenen fiziki sistemin y-çıkışı karşılaştırılarak e-denetim hatası oluşturulmakta, bu hata da P, I ve D denetleyicilerinin paralel bağlanmasıyla oluşturulan bir PID denetleyici tarafından kullanılarak u-denetim işareti üretilmektedir.

Referans giriş işareti simulink blok kütüphanesinde bulunan sabit giriş bloğu kullanılarak sisteme girilmekte ve sistem çıkışı da yine simulink kütüphanesindeki scope bloğu ile görüntülenmektedir. Şekil 5'te verilen sistemin simülasyonu sonucu elde edilen scope görüntüsü Şekil 6'da verilmektedir.

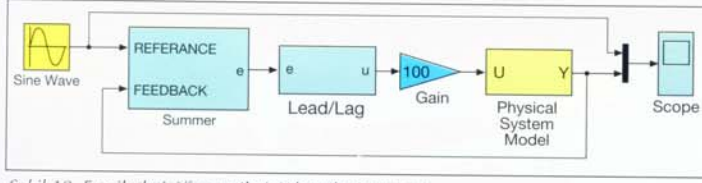
Sanal ortamda farklı referans işaretleri üretilerek tasarlanan denetleyicinin performansı simülasyonla incelenebilir. Şekil 7'deki sistem, Şekil 5'te verilen denetim sisteminin simülasyon diyagramında referans girişinin değiştiril-



Şekil 4. Entegral denetleyici ve parametre giriş penceresi



Şekil 6. Şekil 5'te verilen simülasyon diyagramının scope görüntüsü



Şekil 10. Faz ilerletici/faz geriletici denetleyici örneği

lemlenebilir veya duruma en uygun parametre değeri seçilebilir. Şekil 11'de faz ilerletici/faz geriletici denetleyicinin sinüzoidal referans girişi izleme performansı görülmektedir.

$$C_{lead/lag}(s) = 10 \frac{1+20s}{1+200s} = 100 \frac{s+0.05}{s+0.005} \quad (5)$$

4. Değerlendirmeler

Matlab/Simulink vb. yazılım ortamları, pek çok konuda olduğu gibi kontrol sistemleri ile ilgili derslerin daha iyi öğretilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür yazılımlar sayesinde derslere katkı sağlayacak şekilde hazır kütüphane fonksiyonları kullanılarak öğrencilerin ödevlerine yansıtılabilir ya da sanal kontrol laboratuvarları oluşturulabilir. Simulink yazılım ortamının sağladığı nesne sürükle-bırak, kopyala-yapıştır özellikleri sayesinde yazılımın sunduğu fonksiyon ve eleman kütüphaneleri kullanılarak kullanıcıya özgü yeni çalışma kütüphaneleri oluşturulabilir. Bu

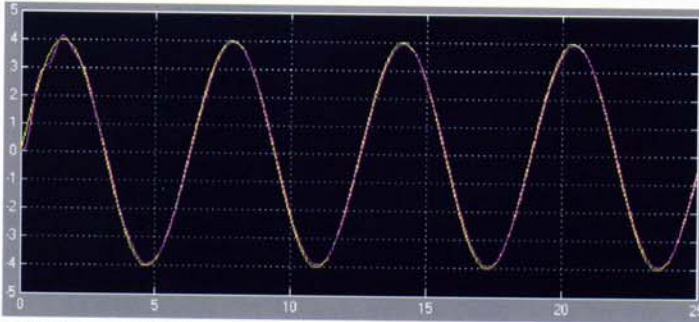
özelliklerden faydalanılarak oluşturulan sanal kontrol sistemleri laboratuvarı incelenmiş ve denetleyiciler ile ilgili kısmı örneklerle tanıtılmıştır. Kontrol sistemleri dersini alan öğrenciler, sanal laboratuvar yardımıyla fiziki sistemlerin modellerini oluşturarak verilen denetleyiciler ile kontrol edebilirler. Denetleyici parametreleri, simülasyon yani sanal deney sırasında rahatlıkla değiştirilebilir ve en uygun değere ayarlanabilir. Böylece öğrenci, farklı denetleyici parametreleri ile sistemin simülasyonunu yaparak denetleyici parametrelerinin etkilerini inceleyebilir.

Burada sunulan denetleyiciler alt birimi, çok farklı fiziki sistemlere de uygulanabilir. Şöyle ki, simülasyon diyagramı veya transfer fonksiyonu ile temsil edilen doğrusal zamanla değişmeyen herhangi bir sistem de buradaki denetleyici bloklarıyla birlikte kullanılarak denetimi ve simülasyonu gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla bu

sanal laboratuvar, araştırma amaçlı olarak da kullanılabilir. Burada tanıtılan kontrol sistemleri sanal laboratuvarının son alt dilimi olan gerçek zamanda deneyler (Real Time Implementation) kısmı, Kanada'da New Brunswick Üniversitesi Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde, yazarın bir dönem sorumlu olduğu Systems and Control dersinin laboratuvarında bizzat uygulanmış ve bilgisayar destekli gerçek zamanlı denetim sistemlerinin tasarlanıp uygulanmasında öğrenciler üzerindeki olumlu katkılar sağlamıştır.

Kaynaklar

- [1]. C. Bhunia, S. Giri, S. Kar, S. Halder, and P. Purkait, "A Low-Cost PC-Based Virtual Oscilloscope", *IEEE Transactions On Education*, Vol. 47, No. 2, May 2004, pp. 295-299.
- [2]. W.N. Cheung, "Virtual analogue simulation of control systems", *International Journal of Electrical Engineering Education*, Jul 1997
- [3]. A. Morelato, "A Computer Tool for Helping Engineering Students In Their Learning of Electrical Engineering Basics", *IEEE Transactions On Education*, Vol. 44, No. 2, pp. 216, May (2001).
- [4]. T.J. Goulart and D. Consonni, "Automated System for Measuring Electrical Three-Phase Power Components", *IEEE Transactions On Education*, Vol. 44, No. 4, November 2001, pp. 336-341.
- [5]. D. Consonni and A.C. Seabra, "A Modern Approach to Teaching Basic Experimental Electricity and Electronics", *IEEE Transactions On Education*, Vol. 44, No. 1, February 2001, pp. 5-15.
- [6]. I. H. Altas, "Bulanık Mantık Denetleyici: Matlab/Simulink Ortamı için Bir Modelleme", *Otomasyon Dergisi, Bileşim Yayınları, İstanbul, Mart 2007, Sayfalar: 58-62.*



Şekil 11. Faz ilerletici/faz geriletici denetleyicinin sinüzoidal referans girişi izleme performansı