

Eğitim Amaçlı Bir Kontrol Deney Seti Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

The Design and Implementation of an Educational Control Testbed

Abdurrahman ÜNSAL, Alpaslan DUYSAK, Ahmet ILICA

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,

Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya

unsal@dpu.edu.tr aduvsak@dpu.edu.tr ailica@hotmail.com

Özet

Bu makalede, eğitim amaçlı bir eğitim amaçlı bir sıvı seviye kontrol sisteminin tasarımını ve gerçekleştirilmesini anlatmaktadır. Kontrol deney sistemi yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi çeşitli kontrol tekniklerini kullanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Deney sisteminin amacı bir sıvı tüpünün içindeki sıvı seviyesini kontrol etmektir. Sıvı seviye kontrolü bir pompa tarafından sağlanmaktadır. Pompa bir ayarlanabilir motor sürücüsü tarafından beslenen bir asenkron motor tarafından sürülmektedir. Motor sürücüsü bir adet programlanabilir mantık denetleyici (PLC) tarafından kontrol edilmektedir. Bu deney seti ve elde edilecek sonuçlar lisans ve yüksek lisans düzeyindeki kontrol sistemleri derslerinde kullanılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sıvı kontrolü, Ayarlanabilir motor sürücülere, Kontrol sistemleri

Abstract

This paper demonstrates the designing and implementation of a fluid-test bed for educational purposes. The test-bed is designed in a way that it can be used for various control techniques such as neural networks and fuzzy control. The purpose of the test-bed is to regulate the fluid height in the column. This regulation is achieved by a pump driven by an induction motor with an adjustable speed drive system. The drive system is controlled using a programmable logic controller (PLC). The developed experimental setup and the results of this study will be used for implementing various control algorithms in either undergraduate or graduate in control system courses.

Key words: Fluid Control, Adjustable Speed Drives, Control Systems

1. Giriş

Kontrol sistemleri dersleri, elektrik mühendisliği ve makine mühendisliği gibi birçok mühendislik dalında temel dersler olarak öğretilmektedirler. Bundan dolayı mühendislik öğrencilerine bu dersler en son teknolojik bilgilerle ve modern kontrol teknikleri (yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri vb.) kullanılarak uygulamalı olarak öğretilmelidir. Sıvı kontrolü birçok mühendislik alanında çok önemli bir yer almaktadır [1]. Elektrik mühendisliğinde sıvı kontrolü büyük termik türbinlerin soğutulmasında kullanılmaktadır. Makine mühendisliğinde, sıvı kontrolü hidrolik ve pnömatik uygulamalarda kullanılmaktadır. Kimya ve diğer mühendislik

dallarında çeşitli süreç kontrol uygulamalarında sıvı kontrolü yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik öğrencilerinin kontrol alanında (özellikle sıvı kontrol alanında) iyi bir eğitim ve pratik tecrübeye sahip olmaları çok önemlidir.

Üniversitelerde verilen kontrol ve diğer derslerde kullanılmak üzere eğitim amaçlı çeşitli yazılım ve donanım düzenekleri geliştirilmiştir. Fransa'daki Université de Savoie'de bulanık mantık yöntemlerinin öğretilmesi amacıyla bir yazılım geliştirilmiştir [2]. Bu yazılım programında bulanık mantık metodlarının test edilmesi için bir modül geliştirilmiştir. Geliştirilen modül Matlab/Simulink fonksiyonel blokları kullanarak çeşitli bulanık mantık uygulamalarını gerçekleştirmektedir. Benzer bir çalışma ABD'de Ohio State University'de yapılmıştır [3]. Bu çalışmada, bulanık mantık, adaptive bulanık mantık ve akıllı kontrol sistemlerinin uygulamaları için bir kontrol dersi müfredatı ve deney setleri geliştirilmiştir. Geliştirilen deney setleri, sarkaç, robot kolu ve sıcak-soğuk sıvıları birbirine karıştıran sistemlerden oluşmaktadır. Bütün deney setleri bilgisayardan kontrol edilmektedir. Bu testler sayesinde öğrenciler akıllı kontrol sistemlerinin gerçek uygulamalarını laboratuvar ortamında gerçekleştirme imkânına kavuşmuş oluyorlar. İtalya Milano Politeknik Üniversitesinde temel kontrol dersleri için geliştirilen laboratuvar deney setlerinde [4] ise transistörlerin sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. Burada yapılan uygulamalarda transistörlerin sıcaklıkları belirli bir değerde tutuluyor. Transistörlerin sıcaklıkları data kartlarıyla bilgisayara aktarılıyor. Eğer sıcaklık istenen değerin üstüne çıkarsa fan devreye girerek gerekli soğutmayı yapmaktadır. Bunun yanında sistemin bilgisayar ortamında modellenebilmesi için de Matlab/Simulink ve LabVIEW modelleri geliştirilmiştir. Benzer bir deney seti de University of Western Ontario (Kanada'da) geliştirilmiştir [5]. Buradaki sette ise bir deney tüpünün içerisindeki sıcaklık kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Deney tüpünün içine bir adet ampül ısıtıcı olarak kullanılmaktadır. Tüp içindeki sıcaklık ise bir direnç vasıtasıyla algılanıp bilgisayar'a aktarılmaktadır. University of Jaén'de tasarlanan deney setinde ise [6] doğal gaz ile çalışan bir motor kontrol edilmektedir. Sistemin giriş parametreleri motor hızı, mekanik güç, referans hız, yük paylaşım sinyalleri ve yakıt talep sinyallerinde oluşmaktadır. Sistem bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını kullanarak motoru kontrol etmektedir. Referans [7-10] ise akıllı kontrol yöntemlerini kullanarak güç elektroniği devre elemanlarını ve elektrik motorlarını kontrol etmek için geliştirilen eğitimsel metodları ve deney setlerini tanıtmaktadır. Burada anlatılan programlara benzer birçok kontrol programının dünyanın değişik üniversitelerinde geliştirilmiştir. Bunların yanında sadece kontrol amaçlı olmayıp değişik derslerin deney

uygulamaları için geliştirilmiş programlar da mevcuttur [11-13].

Bu çalışmada, Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümlerinde lisans ve/veya yüksek lisans düzeyinde kontrol alanında verilen derslerde ve deneysel araştırma çalışmalarında kullanılmak üzere genel amaçlı bir sıvı-seviye kontrol deney düzeneği tasarlanmıştır. Deney düzeneği kapalı döngü olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu makalede sunulan çalışmalar açık döngü kontrol sonuçlarını kapsamaktadır. Kapalı döngü kontrol çalışmaları devam etmektedir. Deney düzeneğinin yapısı aşağıda açıklanmaktadır.

2. Deney Düzeneği

Tasarlanan deney düzeneğinin şeması Şekil 1'de görülmektedir. Bu deney düzeneğinin amacı motor hızını kontrol ederek seviye kontrol tüpü içerisindeki sıvının seviyesi kontrol etmektir. Motor-pompa sıvı tankı içerisindeki sıvıyı seviye kontrol tüpüne pompalamaktadır. Seviye kontrol tüpünün tabanında sıvıyı tekrar sıvı tankına boşaltmak için bir delik açılmış ve bir boruyla seviye tankına bağlanmıştır. Seviye kontrol tüpünün girişine ve çıkışına birer adet sıkıştırma tıkaçı bağlanmıştır. Bu tıkaçlar sistemin çalışma noktasını değiştirmek için kullanılmaktadır. Tıkaçlar yardımıyla tüpün giriş ve çıkış sıvısı akış oranları değiştirilerek sistemin farklı çalışma şartlarında test edilmesi amaçlanmaktadır. Eğer tüpün giriş ve çıkış sıvı akış oranları eşit ise tüp içerisindeki sıvı seviyesi sabit kalır. Eğer giriş sıvı akışı çıkış akış oranını aşarsa tüp içerisindeki sıvı seviyesi artmaya başlar. Eğer giriş sıvı akış oranı çıkış sıvı akış oranından azalır ise tüp içerisindeki sıvı seviyesi azalmaya başlar.

Seviye tüpünün üst kapağına, tüp içerisindeki sıvının seviyesini ölçmek için bir adet ultrasonik seviye algılayıcısı yerleştirilmiştir. Ultrasonik seviye algılayıcısının çıkış sinyali PLC ünitesinin girişine uygulanmaktadır. PLC ünitesi seviye algılayıcısından gelen sinyali bilgisayardan gelen referans sinyali ile karşılaştırarak motor hız kontrol sürücüsü için uygun kontrol sinyali üretmektedir. Tanktaki sıvının tüpe akışı bir adet santrifüj pompa ile sağlanmaktadır. Pompa üç fazlı 370 W'lık bir asenkron motor tarafından sürülmektedir. Motorun hızı motoru besleyen hız kontrol sürücüsünün çıkış frekansı ayarlanarak sağlanmaktadır. Hız sürücüsünün girişi bir fazlı, çıkışı üç fazlıdır. Sürücünün etiket güç değeri 750 W'tır. Sistemin içerisindeki sıvı kapalı bir döngü içerisinde sürekli olarak (tanktan tüpe ve tüpten tanka) akmaktadır. Kontrol tüpü içerisindeki sıvının seviyesi belirlenen bir değerin altına veya üstüne çıkarsa motor hızı da buna bağlı olarak artar veya azalarak tüp içindeki seviye kontrol edilir. Sistemde kullanılan parçalar aşağıda tanıtılmaktadır.

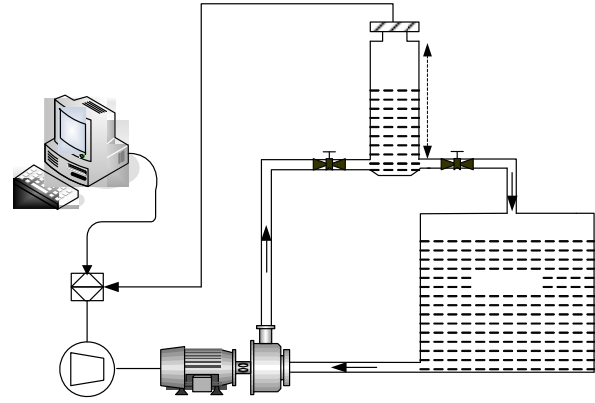
2.1 Algılayıcı

Sistemin seviye kontrol tüpü içindeki sıvı seviyesini ölçmek için bir adet ultrasonik (Siemens sonar BERO, LV-20) algılayıcı kullanıldı. Algılayıcı eko prensibine göre çalışmaktadır. Ölçeği mesafeye sinyal gönderip yansımaya göre mesafeyi ölçmektedir. Algılayıcı yansıyan sinyali elektrik sinyaline dönüştürerek ölçtüğü mesafeye orantılı bir çıkış gerilim sinyali (0-10 V) üretmektedir. Algılayıcının ürettiği

gerilim sinyali sistemdeki PLC ünitesinin girişine uygulanmaktadır. Algılayıcı sıvı seviyesini sürekli olarak ölçmektedir.

2.2 PLC

Sistemdeki seviye algılayıcısından gelen sinyale göre motor sürücüsü için uygun kontrol sinyalini üretmek için bir adet PLC (Siemens Simatic S7-200) kullanılmaktadır. Sistem açık çevrim ve kapalı çevrim (PID ve bulanık mantık) olarak çalıştırılabilmektedir. Her kontrol algoritması PLC ünitesinde programlanarak gerçekleştirilmektedir. Sistem hangi kontrol algoritmasıyla çalıştırılacaksa uygun program bilgisayarda (STEP 7-Micro/WIN programlama yazılımı kullanılarak) yazılarak RS-232 ara kablosuyla PLC ünitesine indirilerek çalıştırılmaktadır. PLC ünitesinin hafızasında sadece bir program tutulabilmektedir. Bundan dolayı sistem hangi kontrol algoritmasında çalıştırılacaksa sadece o algoritmaya ait programın PLC ünitesine indirilmesi gerekir. PLC ile motor sürücüsü arasındaki iletişim analog giriş-çıkış modülüyle sağlanmaktadır. Yazılım programı ayrıca sıvı seviyesini gerçek zamanlı olarak izlemek ve kontrol etmek için de kullanılabilir. Sistemdeki bilgisayar hem PLC programı yazmak hem de sistemi gerçek zamanlı olarak kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Tüp içindeki sıvının seviyesi bilgisayardan da gerçek zamanlı olarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 1. Sistem Şeması

2.3 Sürücü/Motor/Pompa

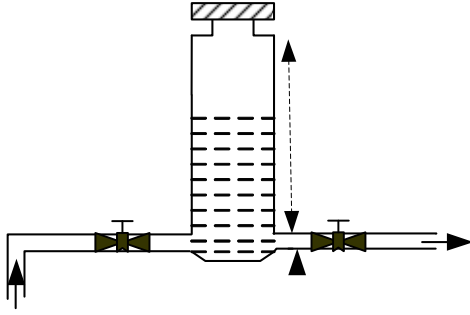
Sistemdeki sıvı dolaşımı motor hızı ayarlanarak kontrol edilmektedir. Motor hızını ayarlamak için bir adet bir faz girişli üç faz çıkışlı motor sürücüsü (Siemens MICROMASTER 420) kullanılmaktadır. Sürücünün üç adet kontrol amaçlı dijital ve bir adet analog girişi bulunmaktadır. Çalışma gerilimi 200-240 V AC. Gücü 0.12-3 kW. Giriş frekansı 47-63 Hz. Çıkış frekansı 0-650 Hz. Sürücü PLC ünitesi kullanılarak kontrol edilmektedir. Sistemdeki sıvıyı dolaşımı motor miline bağlı santrifüj bir pompa ile sağlanmaktadır. Sistemdeki asenkron motor 220/380 Δ/Y olarak çalıştırılabilmekte ve 370 W gücündedir. Motorun hızı sürücünün çıkış frekansı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Sıvı seviyesi motor sürücüsü panelinden hem değiştirilebilmekte hem de gözlenebilmektedir.

2.4 Diğer Aksamalar

Sistemde kullanılan sıvı seviye kontrol tüpü 220 mm uzunluğundadır. Seviye tüpünün dibindeki sıvı akışı türbülansa sebep olduğundan dolayı kontrol aralığı 10 mm'den başlatıldı. Üst sınır ise sıvı taşmasını önlemek amacıyla 205 mm ile sınırlı tutuldu. Yani sıvı kontrol aralığı 10–205 mm olarak tanımlandı. Sıvı tankının hacmi ise 10 litredir. Sistemde sıvı dolaşımını sağlayan boruların çapı ise 2,5 cm'dir. Sıvı tüpünün girişine ve çıkışına sistemin çalışma noktasını değiştirmek amacıyla birer adet vana bağlanmıştır. Vanalar ayarlanarak sistemin çalışma noktası değiştirilebilmektedir.

3. Sistem Modelleme

Kontrol sistemlerinin tasarımında ve analiz edilmesinde sistemin matematiksel modeli büyük önem taşır. Sistemin matematiksel modelini çıkarmak için iki temel yöntem kullanılır. Birinci yöntemde sistemin matematiksel modeli fizik kanunlarından yararlanılarak çıkarılır. İkinci yöntemde ise sistemin matematiksel modeli deneysel veriler kullanılarak çıkarılır. Fizik kanunlarından yararlanarak sistemin matematiksel modelini çıkarmak bazen doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu durumlarda her iki yöntemi birlikte kullanarak sistemin matematiksel modelini çıkarmak daha gerçekçi sonuçlar verir. Sistemin matematiksel modelini deneysel yöntemler kullanarak çıkarmaya sistem tanıma denir.



Şekil 2. Sıvı seviye kontrol tüpü

Kütle-korunumu kanunundan yararlanılarak sistemin diferansiyel denklemi (Duyak, 1997) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{y} = \frac{1}{A_c} [\omega_{giris}(t) - \omega_{çıkış}(t)] \quad (1)$$

Denklem (1)'deki \dot{y} tüp içindeki sıvı seviyesini, A_c kontrol tüpünün kesit alanını, ω_{giris} tüpe giren sıvının akış oranını, $\omega_{çıkış}$ ise tüpten sıvının çıkış-akış oranını ifade etmektedir (Şekil 2). Denklem (1)'den görüldüğü gibi eğer sıvı giriş-akış oranı sıvı-çıkış akış oranını aşarsa tüp içerisindeki seviye yükselir. Eğer sıvı-çıkış oranı sıvı-giriş oranını aşarsa tüp içerisindeki sıvı seviyesi azalır. Eğer sıvı-giriş ve sıvı-çıkış akış oranları eşit ise tüp içerisindeki sıvı seviyesi sabit kalır. Tüpün üst tarafındaki ve alt tarafındaki atmosfer basıncının eşit olduğu varsayılırsa ve tüp içindeki sürtünme ihmal edilirse sıvı-çıkış akış oranı ile tüp içindeki sıvı seviyesi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\omega_{out}(t) = A_N \sqrt{\frac{2g}{1 - \frac{A_N^2}{A_C^2}}} \sqrt{y(t)} \quad (2)$$

$g=9,8m/sn^2$ yerçekimi kuvvetini, A_N sıvı dolaşım borusunun kesit alanını ifade etmektedir. Denklem (2)'de görüldüğü gibi sıvı çıkış akış oranı ile sıvı seviyesi arasında nonlineer bir ilişki vardır. Giriş sıvı akış oranı ve sıvı seviyesi ile bağlantılı sistemi tanımlayan birinci mertebeden diferansiyel denklem de aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\dot{y} = -\frac{A_N}{A_C} \sqrt{\frac{2g}{1 - \frac{A_N^2}{A_C^2}}} \sqrt{y(t)} + \frac{1}{A_C} \omega_{giris}(t) \quad (3)$$

Sistemi basitleştirmek için tüp içindeki sürtünme kayıpları ve sıvı dinamiklerini etkileyen türbülans hesaba dahil edilmemiştir. Sistemin çalışma aralığındaki zaman sabiti küçük sinyal modeliyle birlikte sistemin diferansiyel denklemi kullanılarak

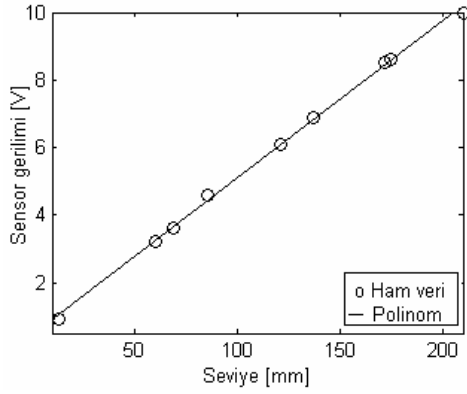
bulunabilir. Ancak bu sistemde motor sürücüsü asenkron motor ve pompa parametrelerinin de sistem modeline dâhil edilmesi oldukça karmaşıklaşacağı açıktır. Bunun yerine sistem modeli deneysel yöntemler kullanılarak (sistem tanıma yöntemiyle) bulunmaktadır. Sistem tanıma yöntemi aşağıda açıklanmaktadır.

Tablo I

Sıvı Seviyesi [cm]	Algılayıcı gerilimi [V]
0	0
1.3	0.9
6	3.2
6.9	3.6
8.6	4.6
12.1	6.1
13.7	6.9
17.2	8.5
17.5	8.6
21	10

4. Sistem Tanıma

Tasarlanan sistemin tanımlamak ve matematiksel modelini çıkarmak için sistem deneysel olarak test edildi. Önceki bölümde de açıklandığı gibi, sıvı tüpü içindeki sıvının seviyesini ölçmek için ultrasonik bir sıvı seviye algılayıcısı tüpün tavanına yerleştirildi. Algılayıcı sıvı seviyesiyle orantılı bir gerilim sinyali üretmektedir. Sıvı seviyesi ile algılayıcı çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi ifade etmek için sıvı tüpü değişik seviyelerde sıvı ile dolduruldu ve çıkış gerilimi ölçüldü Tablo I'e kaydedildi.



Şekil 3. Algilayıcı gerilimi ile sıvı seviyesi arasındaki ilişki

Sıvı seviyesi ile algılayıcı çıkış gerilimi arasındaki matematiksel ifade eğri uydurma yöntemi kullanılarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

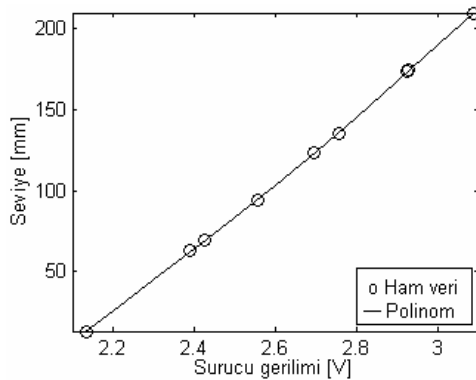
$$V_a = 0.4754 y + 0.2813 \quad (4)$$

V_a algılayıcı gerilimini ifade etmektedir. Şekil 3 algılayıcı çıkış geriliminin sıvı seviyesiyle grafiksel olarak değişimini göstermektedir. Denklem (4) kullanılarak sistemin kalibrasyonu yapılabilmektedir.

Sıvı seviyesinin motor/pompa hızına (sürücü çıkış gerilimi frekansına) tepkisi Tablo II' de verilmektedir.

Tablo II

Sıvı Seviyesi [cm]	Sürücü Frekansı [Hz]
21	15.44
17.5	14.63
17.35	14.62
13.5	13.79
12.3	13.48
9.4	12.79
6.9	12.12
6.3	11.94
1.3	10.68



Şekil 4. Motor hızı ile sıvı seviyesinin değişimi

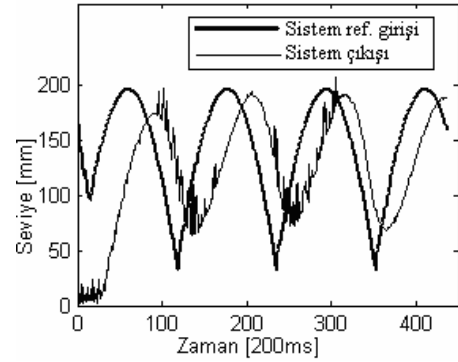
Bu veriler kullanılarak sıvı seviyesi ile motor hızı arasındaki matematiksel ifade eğri uydurma yöntemiyle aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$y = 4.1388 f_s - 43.2216 \quad (5)$$

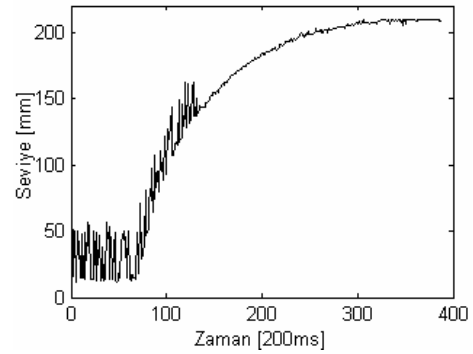
f_s sürücü çıkış frekansını ifade etmektedir. Şekil 4 sıvı seviyesinin motor frekansıyla değişimini göstermektedir. Denklem (5) kullanılarak kontrol aralığındaki istenilen seviye için motora uygulanması gereken sürücü frekansı hesaplanabilmektedir.

5. Deneysel Sonuçlar

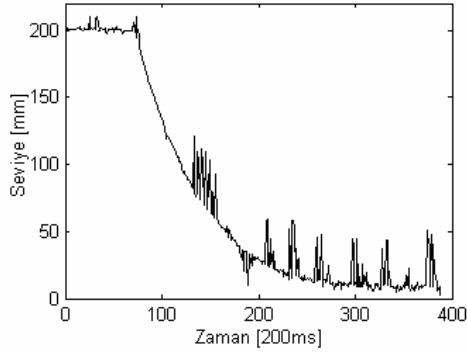
Sistemin performansını ölçmek için motor sürücüsünün girişine sinüsoidal bir referans gerilimi uygulandı. Sistemin sinüsoidal referans gerilimine olan tepkisi (sıvı seviyesi) kaydedildi. Şekil 5 sistemin sinüsoidal bir referans gerilimine olan tepkisini göstermektedir. Sistemin girişi ile çıkış arasındaki zaman farkı sistemin tepki süresini ifade etmektedir. Çıkış sinyalindeki dalgalanma aslında gürültü gibi görünmesine rağmen tüp tabanındaki pompa çıkış basıncından dolayı su yüzeyindeki dalgalanmanın seviye algılayıcısı tarafından algılanmasından kaynaklanmaktadır. Buradaki dalgalanma su yüzeyine bir şamandıra yerleştirilerek giderilebilir.



Şekil 5. Sistemin sinüsoidal giriş sinyaline olan tepkisi



Şekil 6. Sıvı seviyesinin 10 mm'den 205 mm'ye yükselişi



Şekil 7. Sıvı seviyesinin 205 mm'den 10 mm'ye düşüşü

Ek olarak sistem iki farklı uygulama için test edildi. Birinci uygulamada sistem sıvı seviyesi 10 mm'den 205 mm'ye yükseltmek için ikinci uygulamada ise sıvı seviyesi 205 mm'den 10 mm'ye düşürmek için test edildi. Şekil 6 sıvı seviyesinin 10 mm'den 205 mm'ye yükselişini, Şekil 7 ise sıvı seviyesinin 205 mm'den 10 mm'ye düşüşünü göstermektedir. Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde Şekil 5'deki dalgalanmaya benzer bir dalgalanma görülmektedir. Bu da yine tüp içindeki suyun dalgalanmasından kaynaklanmaktadır. Su seviyesi düşük olduğu zaman dalgalanma daha fazla olur. Bu durum Şekil 6 ve Şekil 7'den açık bir şekilde görülmektedir. Bu dalgalanmaların sistemin performansı üzerindeki etkilerini en aza indirmek için seviye algılayıcısının samandıra tipi bir algılayıcı ile değiştirilmesi gerekir.

6. Tartışma

Bu çalışmada eğitim amaçlı bir sıvı seviye kontrolü deney düzeneği tasarlandı. Deney düzeneği genel olarak lisans seviyesinde okutulan kontrol derslerinin uygulamalarını gerçekleştirmek için tasarlandı. Amaç teorik derslerde okutulan yapay sınırlı ağlar ve bulanık mantık uygulamaları gibi kontrol tekniklerinde öğretilen çeşitli algoritmaları test etmektir. Tasarlanan deney düzeneği üç fazlı bir inverter tarafından beslenen üç fazlı bir asenkron motor tarafından sürülen pompa, sıvı tankı ve seviye tüpünden oluşmaktadır. Sistem birkaç çalışma noktası için test edildi. Amaç sıvı seviyesini daha önce belirlenen bir seviyede sabit tutmaktır. Deneysel sonuçlar sistemin eğitim amaçlı olarak modern kontrol derslerinin uygulamalarında kullanılabilirliğini göstermektedir. Geliştirilen sistem ile öğrenciler motor sürücüsü hız kontrolü, asenkron motor hız kontrolü, sıvı seviyesi kontrolü ve PLC programlama gibi gerçek hayatta karşılaşılabilecek kontrol uygulamalarında tecrübe sahibi olacaklardır. Bu da öğrencilerin okuldan mezun olduktan sonra iş bulmayı kolaylaştıracak tecrübeleri kazanmalarını sağlayacaktır.

Bu sistemin tasarlanmasındaki amaç farklı kontrol metodlarını kullanarak deneysel olarak test edilmesiydi. Bu makalede sadece sistemin açık çevrim sonuçları sunuldu. Devam eden çalışmalarımız sonucunda sistemin kapalı çevrim PID kontrol ve bulanık mantık kontrol sonuçları elde edilecektir. Sistemdeki tüp içindeki suyun dalgalanmasından dolayı meydana gelen problemler seviye algılayıcısı değiştirilerek giderilecektir. Sistemdeki pompa motor sürücüsü tarafından beslenen bir endüksiyon motoru tarafından sürülerek kontrol edildi. Motor sürücüsü PLC kullanılarak kontrol edildi. PLC

yerine PIC kullanılarak motor kontrol edilebilir. Ayrıca sistem Matlab/Simulink ile de modellenerek gerçek zamanlı olarak çalıştırılabilir. Sistemdeki asenkron motor yerine bir adet DC motor kullanılarak sistem DC motor sürücüsüyle de sürülebilir.

7. Referanslar

- [1] Duysak, A, CMAC Neural Networks For Identification and Control. Thesis of Master of Science. The Pennsylvania State University, 1997.
- [2] Laurent Foulloy, Reda Boukezzoula, and Sylvie Galichet, "An Educational Tool for Fuzzy Control," IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 14, NO. 2, APRIL 2006.
- [3] Stephen Y, and Kevin M. Passino, "A Laboratory Course on Fuzzy Control" IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 42, NO. 1, FEBRUARY 1999.
- [4] Alberto Leva "A Hands-On Experimental Laboratory for Undergraduate Courses in Automatic Control," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 46, NO. 2, MAY 2003.
- [5] Mehrdad Moallem, "A Laboratory Testbed for Embedded Computer Control," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 47, NO. 3, AUGUST 2004.
- [6] Francisco Jurado, Manuel Castro, and José Carpio, "Experiences With Fuzzy Logic and Neural Networks in a Control Course," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 45, NO. 2, MAY 2002 161
- [7] Akcayol, M. Ali Aydin Cetin, and Cetin Elmas, "An Educational Tool for Fuzzy Logic-Controlled BDCM," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 45, NO. 1, FEBRUARY 2002.
- [8] Seyedrasoul S., Nadipuram R. Prasad, Howard A. Smolleck, and Jiryes J. Wakileh, "Fuzzy-Logic-Based Speed Control of a Shunt DC Motor" IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 41, NO. 2, MAY 1998.
- [9] Alon Kuperman and Raul Rabinovici, "Virtual Torque and Inertia Loading of Controlled Electric Drive" IEEE, IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 48, NO. 1, FEBRUARY 2005.
- [10] Ayasun S. and Chika O. Nwankpa "Induction Motor Tests Using MATLAB/Simulink and Their Integration Into Undergraduate Electric Machinery Courses" IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 48, NO. 1, FEBRUARY 2005.
- [11] Cathey, J. J. "A MATLAB-Based Graphical Technique for Amortization Study of Adjustable Speed Drives," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 45, NO. 2, MAY 2002.
- [12] Sellschopp F. S. and Marco A. Arjona L, "An Automated System for Frequency Response Analysis With Application to an Undergraduate Laboratory of Electrical Machines," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 47, NO. 1, FEBRUARY 2004.
- [13] Brian P. Butz, Michael Duarte, and Susan M. Miller, "An Intelligent Tutoring System for Circuit Analysis," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 49, NO. 2, MAY 2006.