

MATLAB GUI İLE DA MOTOR İÇİN PID DENETLEYİCİLİ ARAYÜZ TASARIMI

M. Fatih ÖZLÜK^{1*}, H. Hüseyin SAYAN²

¹ Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fak., Elektrik Eğitimi Bölümü, Ankara, TÜRKİYE,

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

Özet-DA motorlar endüstride geniş kullanım alanına sahiptir. PID denetim mekanizması bu motorların denetimini oldukça kolay ve etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. PID denetleyici parametrelerindeki değişim DA motorun kontrolü ve tüm kontrol sisteminin geçici ve kalıcı durum davranışlarını etkiler. Bu çalışmada DA motor parametrelerinin ve PID denetleyicilerin parametre değerlerinin değişimine bağlı olarak basamak tepkisinde meydana gelen değişimlerin incelenebilmesi için MATLAB GUI ile arayüz tasarlanmıştır. Hazırlanan bu arayüz PID denetleyici parametrelerini belirlemede uygulayıcılara kolaylık sağladığı gibi kontrol sistemleri dersinin bir parçası olan PID denetleyici konusunun kolay ve etkin bir şekilde eğitimine de katkıda bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler- PID Kontrol, DA Motor, Matlab GUI, Eğitim Seti.

INTERFACE DESIGN WITH PID CONTROLLER FOR DC MOTOR BY MATLAB GUI

Abstract-DC motors are widely used in industry. PID control mechanism can achieve the controlling of these motors easily and effectively. Changes in the parameters of PID controller affect the DC motor control and transient and steady-state behavior of the overall control system. In this study, we design an interface with MATAB GUI to observe step response of a DC motor depending on changes of DC motor and PID parameters. The interface both provides the convenience to practitioners in determining the parameters of PID controller and an easy and effective education of the PID controller issue which is the part of control systems lesson.

Key Words- PID Control, DC Motor, Matlab GUI, Educational Tool.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislik kurslarında; modelleme deneyleri ve benzetimleri, dinamik sistemlerdeki fiziksel parametrelerin doğrudan tahmini için kullanılan bir yöntemle kurulur [1]. Bu yüzden bilgisayar ve donanım benzetimleri ile bu tür stratejiler geliştirilmesi bir ihtiyaçtır. Ayrıca farklı dinamik sistemlerin benzetiminde, bilgisayar benzetimleri ve yazılım tabanlı setler [2, 3, 4] ve bunların birleştirilmesi ile oluşturulan uygulamalara bağlı sistemler kullanılmaktadır. Mühendislik eğitimi, kavramsal ve deneysel olduğundan; öğrenenlerin ve öğreticilerin ellerinde doğrusal ve

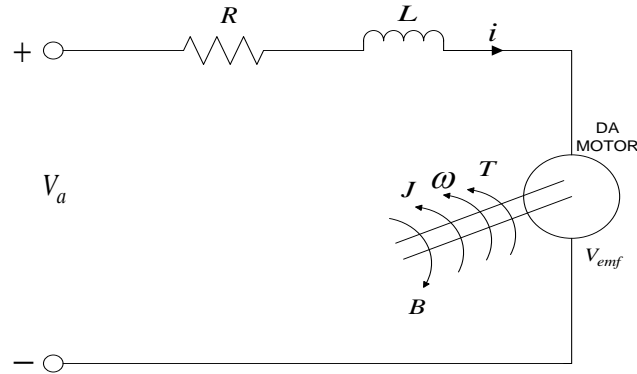
* hsayan@gazi.edu.tr

kontrol sistemleri teorileri eğitimi ve öğretimi için bir set olması eğitim deneyimini daha iyiye yükseltecektir[5-7].

Doğru akım motorları, çalışma karakteristiklerinin sağladığı önemli avantajlarından dolayı birçok endüstriyel uygulamada tercih edilirler. Doğru akım motorları endüstride birçok ayarlanabilir hız ve hassas konumlandırma uygulamalarında kullanılırlar [8]. Kontrol sistemleri uygulamalarında, eş değeri devre ve parametrelerinin çıkartılması kolay olduğundan doğru akım motorları kullanılır. Eşdeğer devre ve parametrelere bağlı olarak matematiksel modelin çıkartılması mümkündür. Böylelikle doğru akım motorunun PID denetleyici değerleri değişimi sonucunda bilgisayar ortamında basamak tepkisinin incelenmesine olanak sağlar.

2. DA MOTORU (DC MOTOR)

Matematiksel modelin çıkartılmasında kullanılan DA motoruna ait eşdeğer devre Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. DA motor eşdeğer devre.

Uygulama hazırlanırken kullanılan DA motorun parametreleri ve matematiksel modeli

- T : Üretilen Manyetik Moment (Nm)
- R : Endüvi Sargısı Omik Direnci(Ohm)
- L : Endüvi Sargısı Endüktansı(Henry)
- $V_a(t)$: Terminal Gerilimi(Volt)
- i : Endüvi Akımı(Amper)
- J : Rotor Atalet Momenti(kgm²/s²)
- B : Mekanik Sürtünme(Nms)
- θ : Rotor Konumu(rad/s)
- K : Emk Sabiti(Volt/(rad/s))
- V_{emf} : Üretilen Endüvi Gerilimi(Volt)

olmak üzere;

$$T = K * i \quad (1)$$

$$V_{emf} = K * \theta \quad (2)$$

$$J \cdot \ddot{\theta} + B \cdot \dot{\theta} = K \cdot i \quad (3)$$

$$L \frac{di}{dt} + R \cdot i = V_a - K \cdot \dot{\theta} \quad (4)$$

$$\frac{di}{dt} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{J} & -\frac{K}{J} \\ \frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \cdot V_a(t) \quad (5)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \cdot V_a(t) \quad (6)$$

DA Motor Transfer Fonksiyonu;

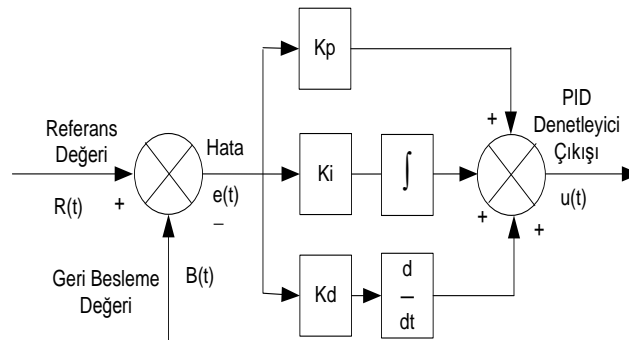
$$\frac{Q}{V} = \frac{K}{(Js + B)(Ls + R) + K^2} \quad (7)$$

şeklinde dir.

Benzetimde kullanılan DA motor 1 Volt uygulandığında 0.1 rad/sec dönebilen bir motordur. Kararlı-hal hatasının %1 den az, yerleşme zamanının 2 saniyeden az, aşmanın da %5'den az olması istendiğinden ve performans gereksinimlerinden dolayı bu şekilde bir motor kullanılmıştır. Bu motorun parametre değerleri, aslı Carnegie Mellon's kontrol laboratuvarında bulunan bir motordan alınmıştır.

3. PID KONTROL

PID Kontrol, üç temel kontrol etkisinin (P,I,D) birleşiminden meydana gelmiştir. PID kontrolörleri oluşturan kısımların her biri birer katsayı ile yönetilirler. Bu katsayılar(Kp, Kd, Ki) her sistem için ayrı değerler almaktadırlar. Şekil 2' de PID kontrolörün iç yapısına ait blok diyagramı verilmiştir. Bu blok diyagramından da görüldüğü gibi PID kontrolörün yapısını oransal kazanç, integral alıcı ve türev alıcı devrelerin birleşiminden oluşmaktadır.[8]



Şekil 2. PID denetleyici blok diyagramı PID denetleyicinin çıkışı veya denetim yasası(8)'de ifade edilmektedir [9].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (8)$$

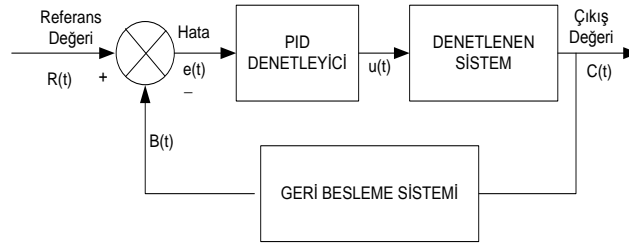
şeklinde ifade edilir.

Bu denklemde $e(t)$ hata değerini göstermektedir. Hata değeri ise;

$$e(t) = R(t) - B(t) \quad (9)$$

yardımla hesaplanabilir.

PID denetleyici kullanılarak control edilen sisteme ait blok diyagramı şekil 3’de verilmiştir [9].



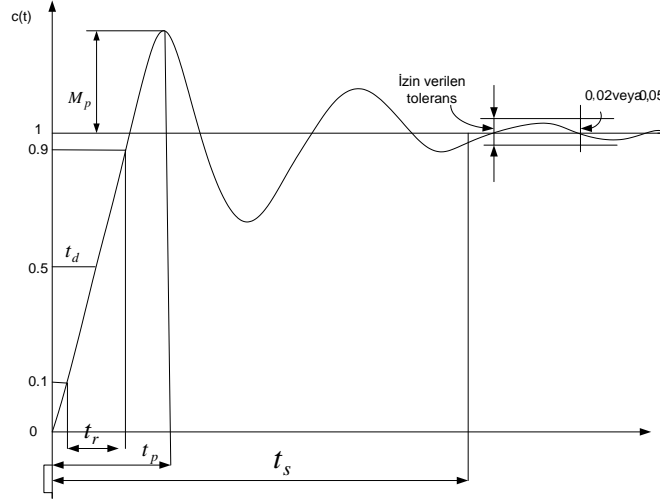
Şekil 3. PID denetleyicili sistemin blok diyagramı

PID kontrol; üç temel kontrolün üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir kontrolördür. İntegral kontrol, sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı-durum hatasını sıfırlarken türev kontrol, yalnızca PI kontrol etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID kontrol organı sistemde sıfır kalıcı-durum hatası olan hızlı bir cevap sağlar. PID kontrolör diğerlerine göre daha karmaşık yapıda olup o oranda pahalıdır. [10].

4. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çoğunlukla, bir denetim sisteminin dinamik davranış özellikleri sistemin birim basamak girişine karşı gösterdiği geçici-durum davranış parametreleri cinsinden belirlenir. Pratik olarak birim basamak giriş fonksiyonu üretmek kolay olup sistemin birim basamak giriş cevabının bilinmesi halinde matematiksel olarak sistemin diğer herhangi bir giriş cevabı kolaylıkla hesaplanabilir.

Pratik bir denetim sisteminin geçici-durum cevabı kalıcı duruma erişene kadar genellikle sönümlü titreşimli bir davranış gösterir. Bir denetim sisteminin birim basamak girişine karşı gösterdiği geçici-durum cevabı davranış karakteristiklerinin belirlenmesi Şekil 4’ de gösterilen ve aşağıda belirlenen parametreler ile tanımlanabilir. Bu parametreler sistemin geçici-durum cevabını belirleyen temel parametrelerdir [12].



Şekil 4. Zaman alanı cevabı parametreleri

Zaman cevabının incelenmesinde kullanılan parametreler grafik üzerinde gösterilmiştir. Bunların tanımları aşağıdaki gibidir.

Gecikme Zamanı, t_d : Gecikme zamanı, cevabın son değerinin yarısına ilk defa ulaşması için geçen zamandır. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde gecikme zamanı, t_c zaman sabiti T ye eşit olarak alınabilir.

Yükselme Zamanı, t_r : Yükselme zamanı, cevabın nihai değerinin %10'dan %90'nına, %5' den %95'ine veya %0'dan %100'üne kadar ulaşması için geçen zamandır. Aşırı sönümlü birinci dereceden sistemler için %0-100 yükselme zamanı kullanılır. Salınlı sönümlü sistemlerde ise genel olarak % 10-90 yükselme zamanı kullanılır.

Tepe Zamanı, t_p : Tepe zamanı cevabın nihai değerini ilk defa aşarak bir tepe yaptığı noktaya erişmesi için gerekli zamandır.

Maksimum Aşma, M_p : Cevap eğrisinin $t = t_p$ iken aldığı genlik değeridir. Maksimum aşmanın miktarı, doğrudan doğruya sistemin bağıl kararlılığını belirler. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde cevap eğrisi hiçbir zaman olması gerektiği son değeri aşmadığından maksimum aşma tanımlanmaz, sıfırdır.

Oturma Zamanı, t_s : Oturma zamanı, cevap eğrisindeki salınım genliklerinin müsaade edilebilir tolerans değeri sınırlarına erişmesi için geçen zamandır. Müsaade edilebilir tolerans değerleri ise genellikle nihai değerinin %5 veya %2 lik asma değerleri olarak tanımlanır. Oturma zamanı denetim sisteminde tanımlanan en büyük zaman sabitidir. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde oturma zamanının yükselme zamanına eşit olduğu kabul edilebilir.

Sönüm Oranı (ζ): Sönüm oranı (ζ), kararlı sistemler için $0 < \zeta < 1$ arasındadır. ζ küçüldükçe aşım artar [13].

Burada tanımlanan tüm özelliklerin verilen herhangi bir duruma uygulanması gerekli değildir. Örneğin aşırı sönümlü ikinci derece ve birinci derece sistemler için tepe zamanı ve maksimum

aşma tanımları geçerli değildir. Çok düşük genlikli titreşimlerin dahi müsaade edilmediği belli uygulamalar dışında, sistemin geçici durum cevabının yeteri kadar hızlı ve yeteri kadar sönümlü olması gerekir. Buna göre ikinci dereceden bir sistemden arzu edilen bir geçici durum cevabı elde edilebilmesi için sönüm oranının 0,4 ile 0,8 arasında olması gerekir. 0,4 den küçük sönüm oranı değerlerinde geçici durum cevabında aşırı büyüklükte bir aşma değeri ve buna karşılık sönüm oranı değerinin 0,8 den büyük olduğu durumlarda ise sistem cevabı çok yavaştır. Gerçekte ise maksimum aşma değeri ile oturma zamanı değeri birbirine göre zıtlık teşkil eder.

Diğer bir deyişle sistemin aynı anda hem maksimum aşma ve hem de oturma zamanı değerleri küçük tutulamaz. Eğer bunlardan birisi küçük tutulacak olursa diğerinin büyük tutulması gerekir. Bir kontrol sisteminde, zaman alanında, $c(t)$ çıkışının; yükselme süresi, gecikme zamanı, yerleşme zamanı ve maksimum aşım değerlerinin küçük olması istenir.

Kesin bir çalışma kriteri olmamakla birlikte, hata fonksiyonu $e(t)$ ' nin minimum yapılmasının, sürekli hal hatasını ve oturma zamanını da küçültebileceği ya da minimum yapacağı söylenebilir. Ancak hata fonksiyonunu minimum yapmak için literatürde birçok önerilerde bulunulmuştur. Bunlardan ilk akla gelen hatanın integralinin minimum yapılmasıdır. Ancak hata fonksiyonu sadece pozitif değil negatif değerler de alabileceği için hatanın mutlak değerinin integralinin minimum yapılması gerekir. Burada minimumlaştırma sistem parametrelerine göre yapılır. Parametrelere göre I' nin minimum yapılmasına parametre optimizasyonu denir[11].

Bağıl Kararlılık: Kararlı bir sistemin mutlak kararsızlık durumuna ne oranda yakın olduğunun ve köklerin sanal eksene yakınlığının ölçütüne bağlı kararlılık denir [12].

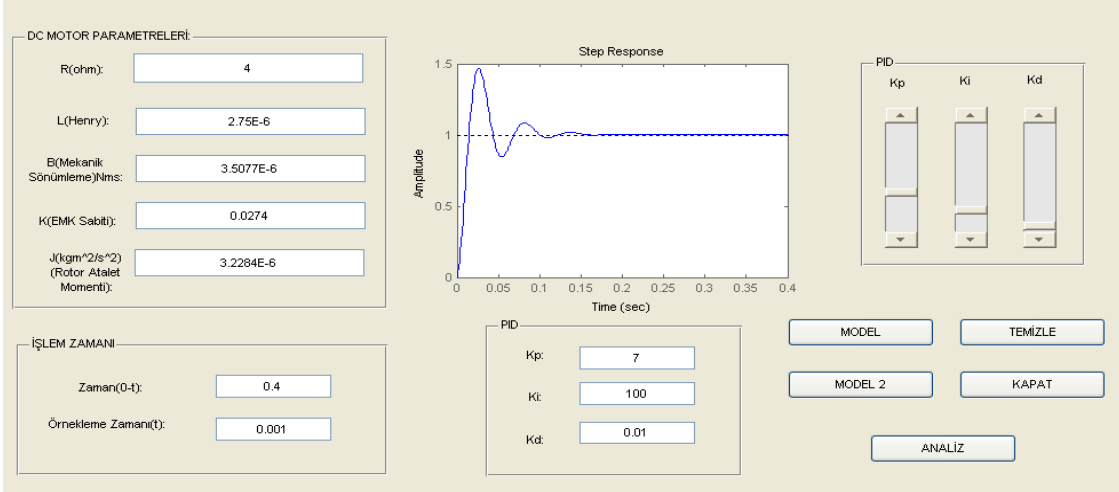
5. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Yapılan bu çalışmanın kontrol sistemleri laboratuvarında eğitime destek amacı ile kullanılacağı düşünüldüğünden, herhangi bir DA motorun parametre değerleri de değiştirilebilir- PID denetleyici ile konum(pozisyon) kontrolünde K_p , K_i , K_d değerleri değişimi ile basamak tepkisinin incelenmesini sağlayacak arayüzler oluşturulmuştur.

Kapalı-döngü sistemlerde kararlı hale ulaşma sürecinde; P denetleyici sistemin yükseliş zamanının azalmasını sağlar, I denetleyici sistemi aşmaya ve kararsızlığa yönlendirir, D denetleyici sistemin aşma ve kararsızlığını azaltır.

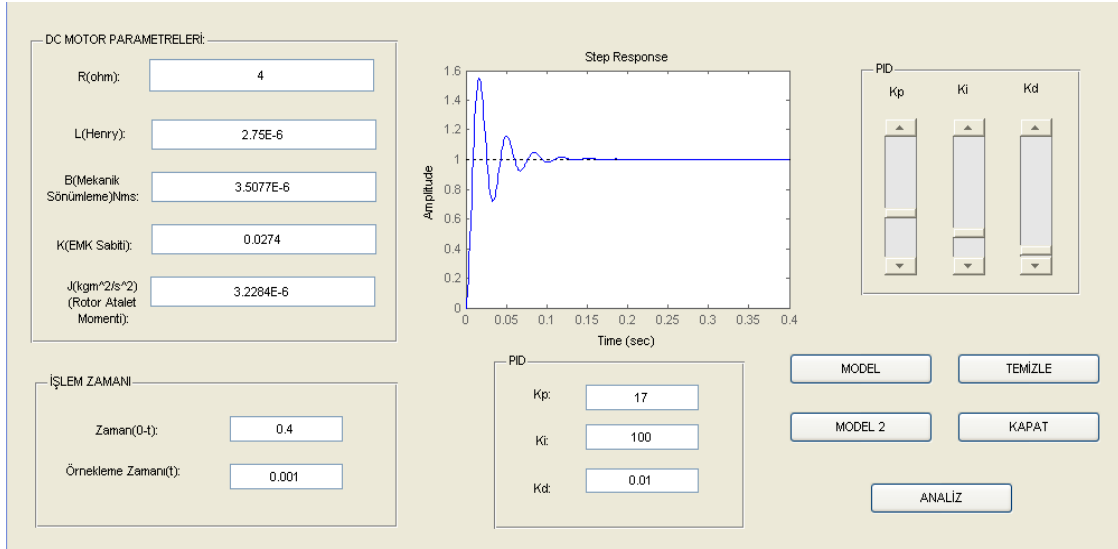
Kazanç katsayısı K_p 'nin artırılması suretiyle kalıcı-durum hatasını azaltmak mümkündür. Kazancın değeri büyütülürse, kontrol sisteminin yükselme zamanı azalır. DA motor parametreleri sabit kalmak şartıyla K_p değeri arttırıldığında salınım miktarı artmakla beraber kalıcı-durum hatasının azaldığı, aşmanın artarak sistemin geçici-kararsızlığının arttığı gözlenmektedir.

PI kontrol halinde, benzer biçimde bir cevap eğrisi elde edilmekle beraber kalıcı-durum halinde bir sapma meydana gelmez. Bununla beraber orantı etkiye türev etki ilavesi sistemin kararsızlığa yakınlığını artırır. Bu durumu denkleştirmek için orantı kazancı, yalnızca orantı etki uygulamasına göre azaltılmalıdır. Bu durumda da hatadaki düzeltme işlemi, yalnız orantı etkide olduğu kadar hızlı olmaz ve başlangıç hatası da daha yüksek olarak ortaya çıkar [10].



Şekil 5. DA motor PID uygulaması arayüzü ($K_p = 7, K_i = 100, K_d = 0,01$)

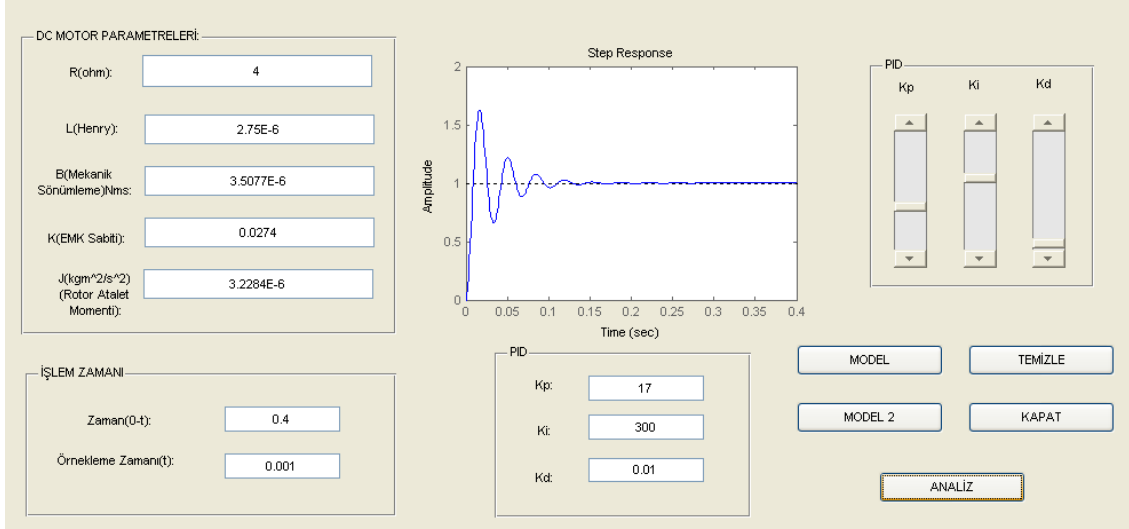
İntegral etki denetlenen çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek kalıcı-durum hatalarını ortadan kaldırır [11]. Fakat K_i değeri sabit tutulup K_p değeri düşürülür ise sistemin kararsızlığa yatkınlığı artar.



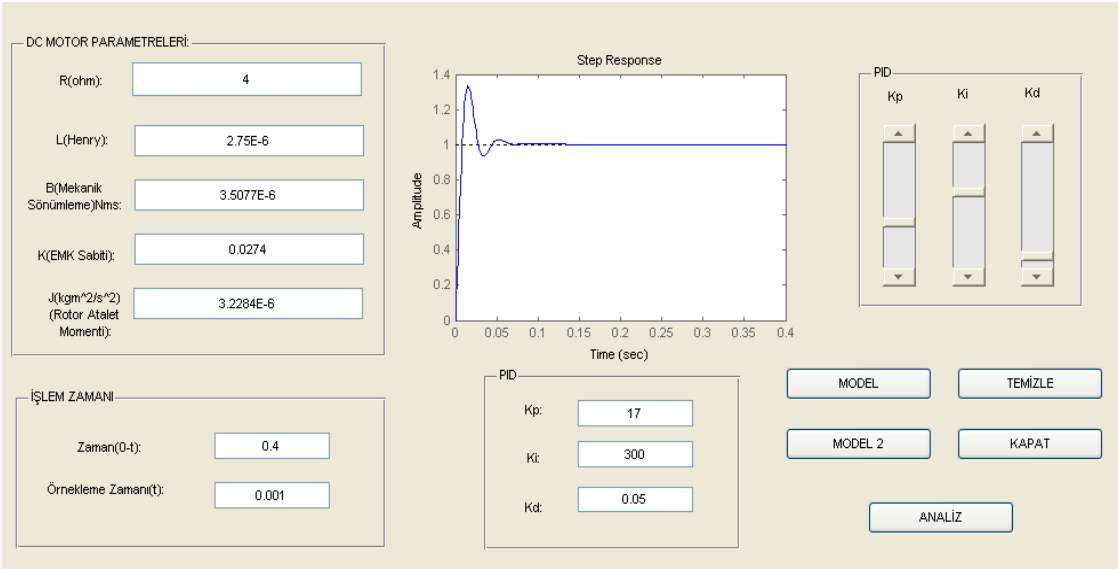
Şekil 6. DA motor PID uygulaması arayüzü ($K_p = 17, K_i = 100, K_d = 0,01$)

Türev etki ilavesi, sistemde fazla bir kararsızlık problemi oluşturmadan K_p oranı kazancının yüksek tutulmasını sağlayarak sistemin kararsızlığa yatkınlığı önlenmiş olur. Böylece PID kontrol etkisi ile bir taraftan kalıcı-durum hatası sıfırlanırken diğer taraftan da sistemin geçici-durum davranışı iyileştirilmiş olur [10].

K_i ve K_d değeri sabit tutularak K_p değeri küçültülür ise sitem kararsızlığa yatkınlaşır. En hızlı yerleşme zamanı K_p değeri K_d değerinden daha büyük olduğu durumdadır. K_i ' nin etkisi yerleşme zamanının üzerinde çok azdır.



Şekil 7. DA motor PID uygulaması arayüzü ($K_p = 17, K_i = 300, K_d = 0,01$)



Şekil 8. DA motor PID uygulaması arayüzü ($K_p = 17, K_i = 300, K_d = 0,05$)

Bu çalışma sonucunda; PID kontrolün bir sisteme(DA Motor) nasıl etkide buldukları ve bu kontrol elemanlarının sistemi ne şekilde etkiledikleri, hazırlanan arayüz ile benzetimi gerçekleştirilerek incelenmiştir. Bu arayüz sayesinde bir sistem(DA Motor) için istenilen farklı K_p , K_i , K_d , değerleri denenebilir. Hazırlanan arayüz kontrol sistemleri dersleri anlatımında kullanılarak daha görsel, kalıcı ve etkili konu anlatımı sağlanabilir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. M. H. Knudsen, "Experimental modeling of dynamic systems: and educational approach," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 49, no. 1, pp. 29-38, Feb. 2006.
- [2]. A. Leva, "A hands-on experimental laboratory for undergraduate courses in automatic control," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 46, no. 2, pp. 263-272, May 2003.
- [3]. W. Schaufelberger, "Design and implementation of software for control education," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 33, no. 3, pp. 291-297, Aug. 1990.

- [4]. A. B. Koku and O. Kaynak, "An Internet-assisted experimental environment suitable for the reinforcement of undergraduate teaching of advanced control techniques," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 44, no. 2, pp. 24-28, Feb. 2003.
- [5]. E. A. Gonzalez, Martin Christian G. Leonor, Pauline Anne T. M. Mangulabnan, John Jessie S. Lu Chui Kau, ve Marlon Wilson U. Reyes "An Educational Tool for Teaching Linear and Control Systems" *37. ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, October 10 – 13, 2007
- [6]. E. A. Gonzalez, F. S. Caluyo, and J. B. Coronel, "An assessment on the built-in control education in the electronics and communications engineering curriculum of De La Salle University – Manila (May 2000 to December 2005)," *Proc. AUN-SEED-NET Fieldwise Seminar in Contr. Eng.* 2006, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, Mar. 16-17, 2006.
- [7]. D. S. Bernstein, "Enhancing undergraduate control education," *IEEE Contr. Syst. Mag.*, pp. 40-43, Oct. 1999.
- [8]. Coşkun, İ.ve Terzioğlu, H. "Gerçek Zamanda Değişken Parametrelili PID Hız Kontrolü", 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)* (2009)
- [9]. Coşkun, İ., Terzioğlu, H., "Hız performans eğrisi kullanılarak kazanç (PID) parametrelerinin belirlenmesi", *Journal of Technical-Online*, 180-205, 2007.
- [10]. Yüksel, İ., "Otomatik Kontrol", *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı*, Bursa, (2001).
- [11]. Dumanay, A.B., "PID, Bulanık Mantık Ve Kayan Kip Kontrol Yöntemleri İle İnternet Üzerinden DC Motor Hız Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir,15-25 (2009).
- [12]. Sancar, Ü. "Kontrol Sistemleri Analizi İçin Matlab'da Kullanıcı Arayüzü Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi F. B. E., Sakarya, 14-15, 90-98 (2002).
- [13]. Yağsan, O. "Bir Operatörsüz Vinç İçin PID Ve Genetik Algoritma Temelli Minimum Salmımlı Konum Kontrolü", Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni. F. B. E., İstanbul, 13-18 (2006).