

HIZ PERFORMANS EĞRİSİ KULLANILARAK PID PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANDA BELİRLENMESİ

İsmail COŞKUN¹, Hakan TERZİOĞLU²

¹Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara

²Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya

icoskun@gazi.edu.tr , hterzioglu@selcuk.edu.tr

Özet

Endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanım PID kontrol edicinin performansı, kontrol edicinin parametre katsayılarının uygun seçilmesine bağlıdır. Bu katsayıların belirlenmesi için geçmişten günümüze birçok karmaşık matematiksel işlemler ya da deneme yanılma yoluyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada karmaşık bir takım matematiksel işlemler yerine transfer fonksiyonu bilinen Doğru Akım (DA) motorun hız tepki eğrisi üzerindeki parametre katsayılarının etkileri göz önüne alınarak Matlab ortamında bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma ile hesaplanan PID katsayıları, DA motorun online hız kontrolünde denenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda performans eğrisiyle hesaplanan parametreler ile aşımın çok düşük olduğu, Ziegler-Nichols (Z&N) yöntemine göre motor hızının daha iyi yükselme zamanı ile referans değere ulaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kontrol sistemleri, PID parametreleri, DC motor

DETERMINATION OF REAL TIME PID PARAMETERS BY USING SPEED PERFORMANCE CURVE

Abstract

Performance of PID controller, which is widely used in industrial control systems, depends on choosing of suitable parameter coefficients of controller. In order to determine these coefficients, many complex mathematical operations or various trial and error studies have been done from past to today. In this study, instead of a set of complex mathematical operations, the effects of parameter coefficient on speed

response curve of DC motor has found transfer function, by taking into consideration an algorithm created in MATLAB environment. PID coefficient calculated with this algorithm has been tested to online speed control of DC motor. At the end of experimental studies overshoot of performance curve has very low and according to Ziegler-Nichols method with much more rise time reached to reference value has been seen.

Keywords: Control systems, PID parameters, DC motor

1. Giriş

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, kontrol teknolojisi alanında da çeşitli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerin sonucu olarak bunlar birçok karmaşık kontrol uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kontrol sistemlerinde ve motor hız kontrollerinde, özellikle kimyasal işlemlerin süreç kontrollerinde sıradan PID kontrol işlemleri bugün bile kullanılmaktadır [1]. Bunun başlıca nedeni, PID kontrolörlerin yapısının basit, bakımının ve ayarının kolay oluşudur [2]. PID kontrol tasarımında, sırasıyla oransal (K_p), integral (K_i) ve türev (K_d) olmak üzere üç parametre bulunmaktadır. Belirli bir çalışma kriterine göre kontrol parametrelerinin belirlenmesi, PID kontrolörün tasarımında önemli konulardan biridir [3,4]. PID parametreleri kontrol sisteminin davranışı üzerinde büyük etkiye sahip olduğundan, bu parametreleri belirleme metotları üzerinde günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır.[2].

PID kontrolün kullanıldığı sistemlerde, kazanç parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların ilki, klasik metot olan, sistemin açık çevrim cevabına dayalı Ziegler-Nichols metodudur [5]. Ziegler-Nichols metodu ile başlayan kazanç değerlerinin belirlenmesiyle ilgili çalışmalar teknolojik gelişimlere bağlı olarak aşağıdaki yöntemlerle de gerçekleştirilmiştir. Çok alanlı güç sistemlerinin otomatik üretim kontrolünde, iki giriş, iki çıkışlı ikiz rotorlu sistemlerin kontrolünde, doğrusal olmayan sistemlerde ve DA motoru hız kontrolünde genetik algoritma (GA) kullanılarak kazanç değerleri ile anılan sistemler kontrol edilmiştir [6-9]. PID parametrelerini minimize ederek hesaplamak için kullanılan H_∞ yöntemi, dinamik olarak modellenemeyen sistemler için kullanılmıştır [10]. Lineer olmayan sistemler için tasarlanan hafızaya dayalı online ayarlama yöntemi ile sistemin giriş ve çıkış

değerlerine karşılık oluşan kazanç değerleri hesaplanmış ve hesaplanan değerler hafıza da tutulmuştur [11].

Birinci ve ikinci dereceden sistemler için kullanılan genelleştirilmiş önceden tahmin kontrol (GPC) yöntemi ile PID değerleri belirlenen sınırlar içerisinde ayarlanmıştır [12]. PID parametrelerinin belirlenmesi için Ananth ve Chidambaram (AC) tarafından sistemlerin kapalı döngü çalışması sonucunda elde edilen çıkış eğrisinden gecikme zamanına sahip ve birinci dereceden kararsız sistemler için kullanılan bir çalışma da gerçekleştirilmiştir [13]. Yapay zeka ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle PID kazanç parametrelerinin online olarak belirlenmesinde, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi yöntemler kullanılmıştır [14-16]. Bu yöntemlerin hepsi, kontrol edilecek sistemin matematiksel modelinin elde edilmesini ya da tahmin edilmesine dayanmaktadır. Karmaşık matematiksel ifadelere gerek duyulmadan hız eğrisi üzerinden kazanç değerlerinin hesaplanması için de algoritmalar geliştirilmiştir [17].

Bu çalışmada, değişen sistem dinamiklerine göre ayarlanabilen PID kontrol gerçekleştirilmiştir. PID parametrelerinin ayarlanması için sistemin çıkışından elde edilen motorun hız bilgisi referans hızına göre Matlab'da hazırlanan algoritma ile işlenmiştir. Hesaplanan PID değerlerinin sistem üzerindeki etkilerini belirlemek için bu değerler DA motorunun hız kontrolü uygulamasında denenmiştir. DA motorunun gerçek hız değerleri encoder aracılığıyla okunarak ADVANTECH firmasına ait olan PCI 1710HG data acquisition kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Motorun hız değerine göre PID parametrelerinin sistem üzerindeki etkileri dikkate alınarak parametreler değiştirilmektedir. PID parametreleri içinde yükselme zamanını değiştirmekte K_p değeri, sistemin kalıcı durum hatasını yok etmekte K_i değeri, aşım düzenlemek için de K_d değeri, sistemin performans eğrisi dikkate alınarak değiştirilmektedir. Bu çalışmada DA motorunun zaman sabitesi dikkate alınarak her 1 ms'de bir performans eğrisi üzerinden ölçüm yapılarak motorun gerçek hızı ile referans hız karşılaştırılarak elde edilen değerler Matlab programında oluşturulan algoritma ile işlenmekte ve kazanç değerleri belirlenmektedir. Bunun için sistemin matematiksel modellerine ve karmaşık matematiksel işlemlere gerek duymayan bir algoritma geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

2. PID Kontrolör

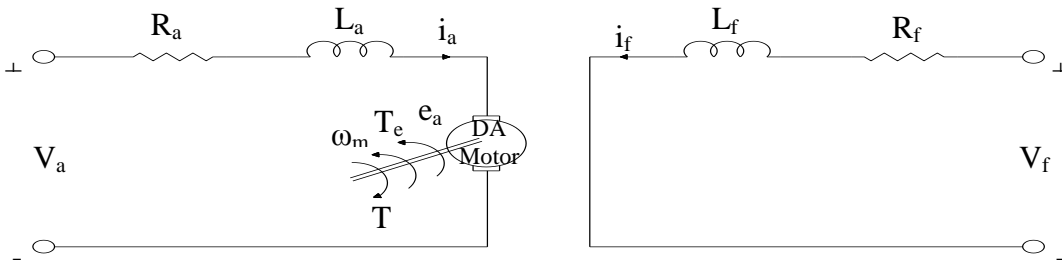
PID kontrolör, oransal, integral ve türevsel kontrolün etkilerinin üstünlüklerini tek bir birim içerisinde birleştirilen bir kontrolör türüdür. PID kontrolörü oluşturan oransal, integral, türev kazançlarının her biri sistemin çalışmasına çeşitli şekillerde etki etmektedir. Kapalı çevrim sisteminde kontrolörün her birinin etkisi (K_p , K_i , K_d) Tablo 1'de özetlenmiştir [18]. K_p , K_i ve K_d parametrelerinin dengeli ayarı ile uygun bir kontrolör sağlanabilir. Eğer bu katsayılar dengeli bir şekilde ayarlanmayacak olursa, PID kontrolörün sağlayacağı üstün özelliklerden yararlanılamaz [19].

Tablo 1. P, I ve D parametrelerinin bağımsız olarak etkileri

Kontrolör Türü	Kapalı Çevrim Cevabı	Yükseliş Zamanı	Aşım	Yerleşim Zamanı	Sürekli Rejim Hatası
Oransal	K_p	Azalır	Artar	Küçük oranda artar	Azalır
İntegral	K_i	Küçük oranda azalır	Artar	Artar	Büyük oranda azalır
Türev	K_d	Küçük oranda değişir	Azalır	Azalır	Önemsiz değişim

3. DA Motorun Matematiksel Modeli

Bu çalışmada kullanılan yabancı uyarımlı DA motoruna ait eşdeğer devre Şekil 1'de verilmiştir. Üretilen manyetik tork ve üretilen endüvi gerilimi sırasıyla denklem 1 ve denklem 2 ile tanımlanabilir.



Şekil 1. Yabancı uyarımlı DA motorunun eşdeğer devresi

Yabancı uyarımlı DA motorunun matematiksel ifadeleri Denklem 1-5'de verilmiştir.

Denklem 1-5'deki semboller T : Motorun ürettiği tork (Nm) , ω_m : Motorun açısal hızı (rad/s), T_y : Yük torku (Nm), V_{ta} : Endüvi gerilimi (V), i_a : Endüvi akımı (A), R_a : Endüvi sargısı direnci (Ω), L_{aq} : Endüvi sargısı endüktansı (H), e_a : Endüvi

sargılarında endüklenen gerilim (V), R_f : Uyartım sargısının direnci (Ω), L_{ff} : Uyartım sargısı endüktansı (H), V_f : Uyartım devresi gerilimi (V), i_f : Uyartım devresi akımı (A), K_a : Motor sabiti, Φ_d : d ekseninde bir kutbun sabit manyetik akısını (Wb), T_L : Yük torku (Nm), J : Atalet momenti (kgm^2), b : Sürtünme katsayısı (Nms) ifade etmektedir.

$$T = K_a \phi_d i_a \quad (1)$$

$$e_a = K_a \phi_d \omega_m \quad (2)$$

Denklem 3'deki p, d/dt türev operatörüdür. Endüvi devresinin gerilimi ise Denklem 3 ve Denklem 4' de verilmiştir.

$$V_{ta} = e_a + L_{aq} p i_a + R_a i_a \quad (3)$$

$$V_{ta} = k_f i_f \omega_m + L_{aq} p i_a + R_a i_a \quad (4)$$

Üretilen manyetik tork(T), Denklem 5'deki gibi yazılabilir [20].

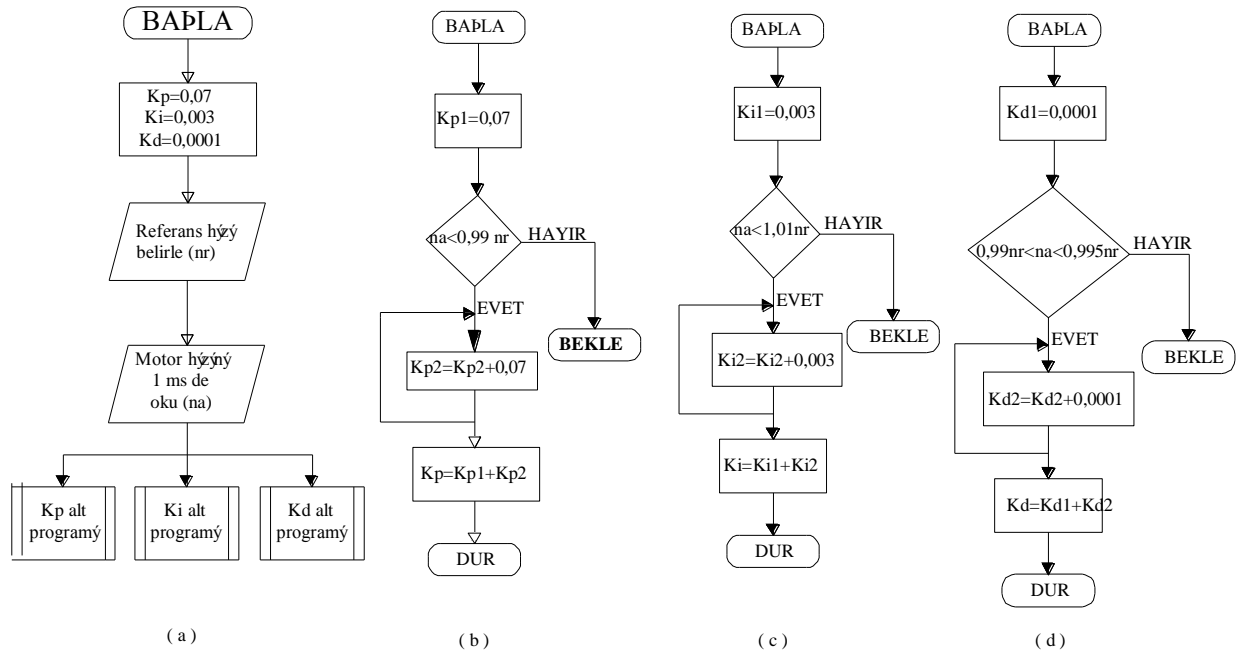
$$T = k_f i_f i_a = J p \omega_m + b \omega_m + T_L \quad (5)$$

Yapılan deneylerde uyartım devresi gerilimi sabit tutulmuş ve DA motorunun hızı endüvi uç gerilimi değiştirilerek yapılmıştır.

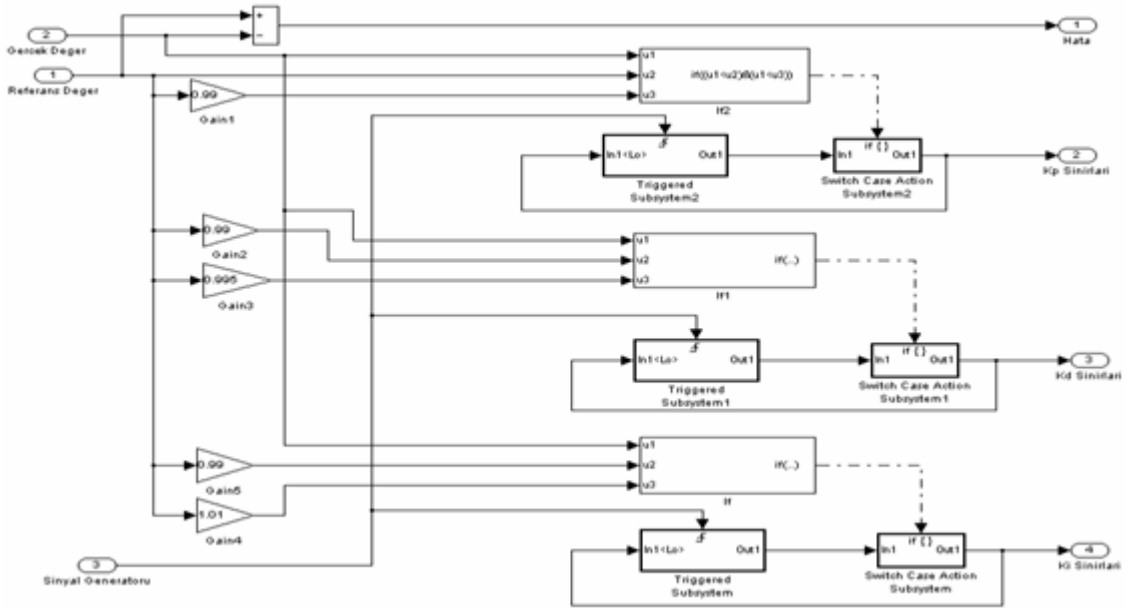
4. PID Parametrelerinin Hesaplanmasının Simulink'te Tasarımı

Kazanç parametrelerinin sistem üzerindeki etkilerinden faydalanılarak geliştirilen PID parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan akış diyagramları Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de belirtilen akış diyagramına ait simulinkte hazırlanan blok diyagramı ise Şekil 3'de belirtilmiştir.



Şekil 2. PID parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan akış diyagramları



Şekil 3. Parametrelerin artırıldığı bloğun iç yapısı

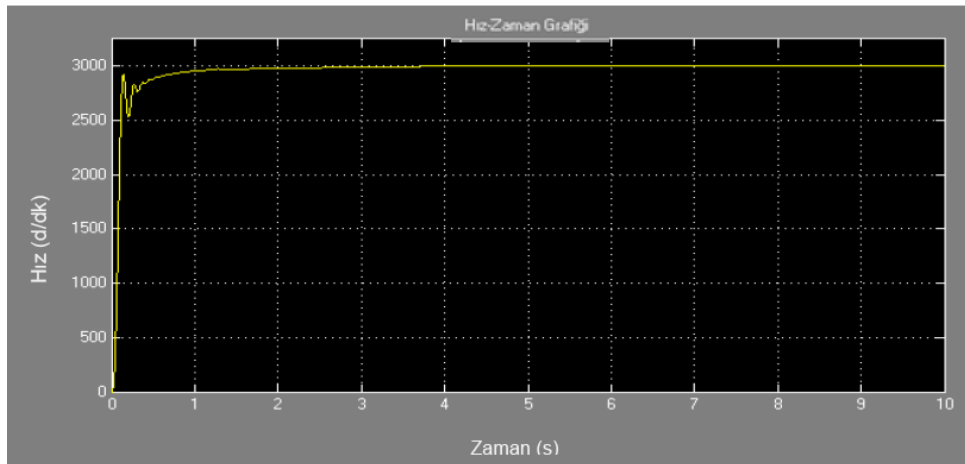
Şekil 3’de simulinkte oluşturulan parametrelerin ayarlandığı alt programlar içerisinde kazançların ayarlama işlemi aşağıdaki şekilde yapılmıştır [21].

- Başlangıç koşulları itibariyle $K_p = 0,07$, $K_i = 0,003$, $K_d = 0,0001$ olarak kabul edilmiştir.
- K_p değeri, gerçek değer referans değerinin %99’u oluncaya kadar 1 ms aralıklarla 0.07 olarak artırılmıştır.

- iii. K_i değeri, gerçek değer referans değerinin %99'undan küçük veya gerçek değerinin %99 ile % 101 arasında ise K_i değeri 1 ms aralıklarla 0,003 olarak artırılmıştır.
- iv. K_d değeri, gerçek değeri referans hızın %99 ile %99.5 arasında ise K_d değeri 1 ms aralıklarla 0,0001 olarak artırılmıştır.

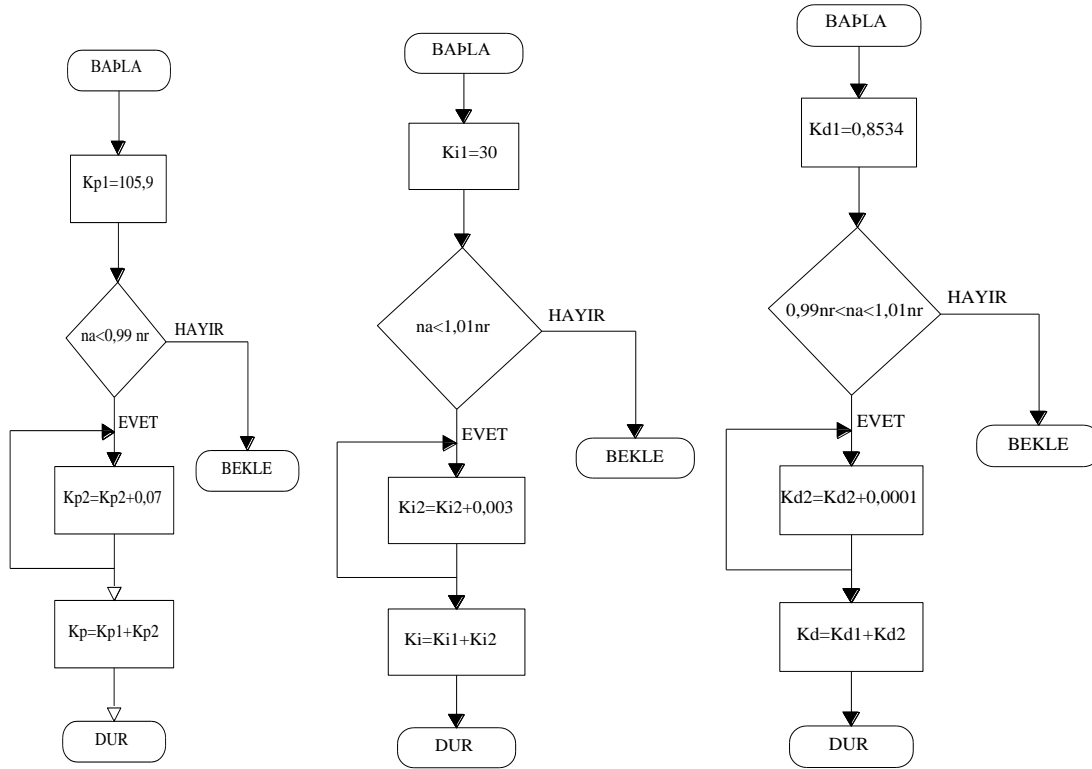
Belirlenen kriterler ve kazanç parametrelerinin özellikleri dikkate alınarak bazı sınırlamalar geliştirilmesi gerekebilir. Örneğin hatanın sabit kaldığı bir durumda türev kazancının artırılıp ya da azaltılmasının sistemin çıkışına bir etkisi olmayacaktır. Bazı sistemlerde hata payının kabul edilebilir olması sınırlandırma gereği ortaya çıkartacaktır. Bu sınırlandırmaların yapıldığı blok diyagramında aşağıdaki işlemler yapılmıştır [21].

- i. Hata değeri, referans değerinin % 0,0001'inden küçük ise K_i değerini artırma işlemi durdurulmuştur.
- ii. Hata değeri, referans değerinin % 0,0001'inden küçük ise veya hata değerinin türevi sıfır ise K_d değerini artırma işlemi sona erdirilmiştir.



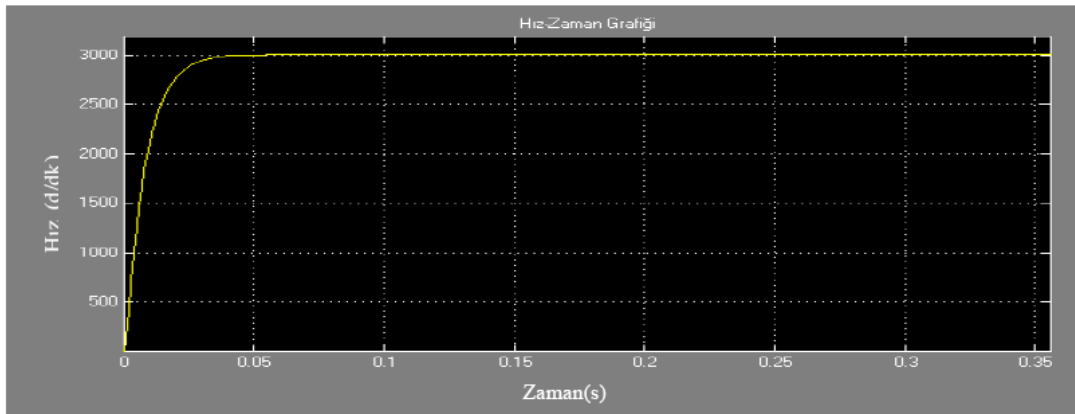
Şekil 4. DA motoru Şekil 3'deki bloklar ile kontrol edildiğinde çıkış grafiği

Şekil 3'deki simulink bloğu çalıştırıldığında $K_p = 105.9$, $K_i = 30$, $K_d = 0.8534$ kazanç değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu kazanç değerleri kullanılarak simülasyon yapıldığında Şekil 4'de görülen hız eğrisi elde edilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi kazanç değerleri Şekil 2'deki akış diyagramı ile direkt olarak kontrol edildiğinde DA motoru 4,5 s'de referans değere ulaşabilmiş ve ayrıca 20-50 ms ve 2,5–4 s aralığında bir salınım yaptığı görülmüştür. Şekil 4'de görüldüğü gibi çıkış eğrisinin başlangıçta salınım yapması ve yerleşme zamanının uzun olması sebebiyle kazanç parametrelerinin ayarlandığı alt programlar $K_p = 105,9$, $K_i = 30$, $K_d = 0,8534$ değerleri başlangıç değerleri olarak kabul edilerek Şekil 5'de verildiği gibi düzenlenmiştir.



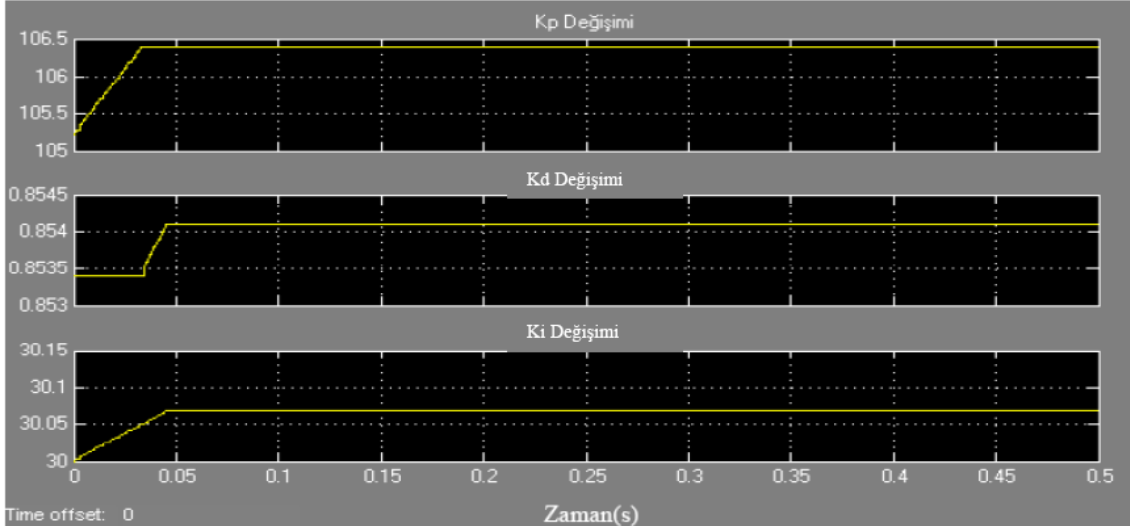
Şekil 5. Oransal, integral ve türevsel kazanç ayarlama alt programları

Şekil 5’de belirtilen alt programlar göz önüne alınarak simülasyon tekrarlandığında Şekil 6’da görüldüğü gibi salınımsız yükselme zamanı 50 ms olan bir çıkış elde edilmiştir. Bundan dolayı deneysel çalışmalarda Şekil 5’de belirtilen akış diyagramı kullanılmıştır.



Şekil 6. DA motoru Şekil 5’deki akış diyagramı ile kontrol edildiğinde çıkış grafiği

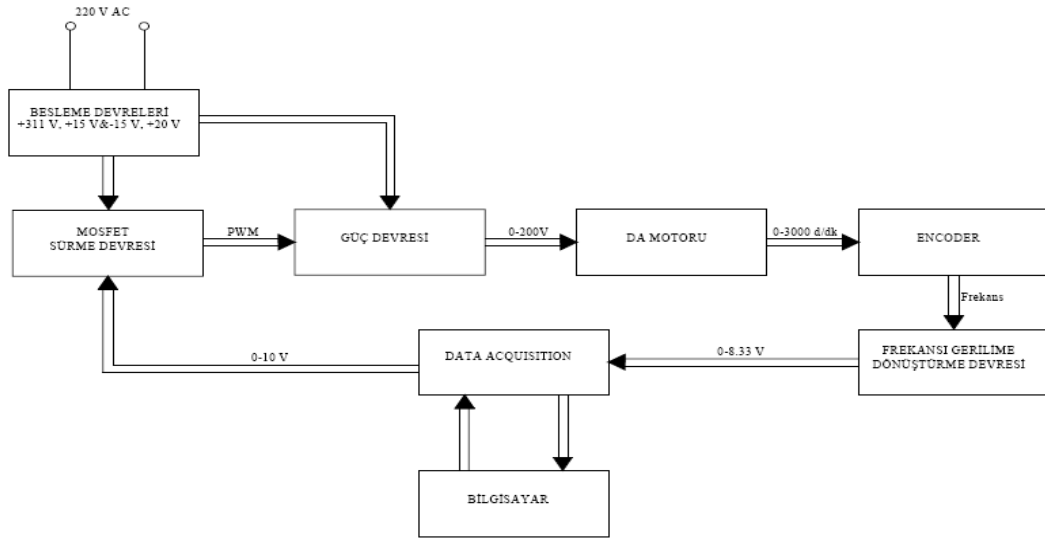
Şekil 6’daki DA motorunun çıkış eğrisi sırasında elde edilen kazanç parametrelerindeki değişim Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü gibi DA motorunun referans hıza ulaştığı noktada $K_p = 106.45$, $K_i = 3.07$, $K_d = 0.8543$ değerleri elde edilmiştir.



Şekil 7. Kazanç değişim eğrileri

5. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmada kullanılan sistemin akış diyagramı Şekil 8’de, akış diyagramına ait olan devre şekilleri ise Şekil 9’de görülmektedir.

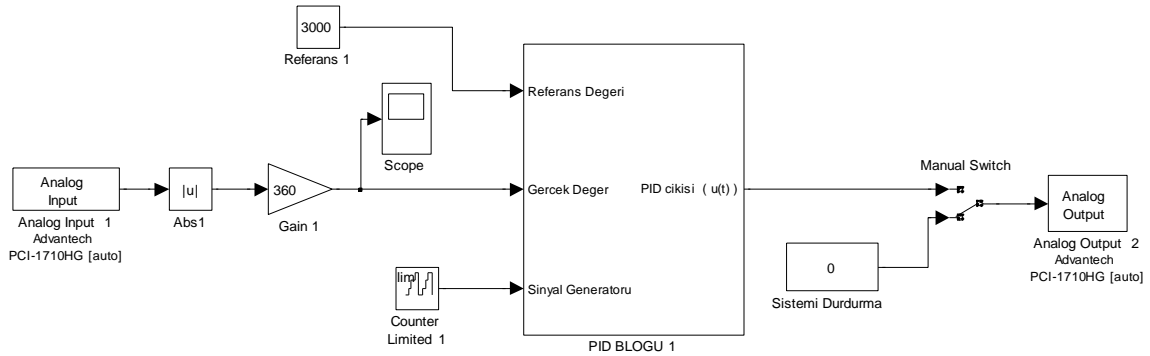


Şekil 8. Deneysel çalışmanın akış diyagramı



Şekil 9. Deneyde kullanılan elektronik devreler

Yapılan bu çalışmada sistemin çıkış değeri sürekli ölçülerek kazanç değerleri sistemin gereksinimine göre gerçek zamanda ayarlanmıştır. Kazanç parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan hız performans eğrisi (HPE) algoritması Şekil 5’de verilmiştir. Bu algoritma için oluşturulan simulink blokları Şekil 10’da görülmektedir.



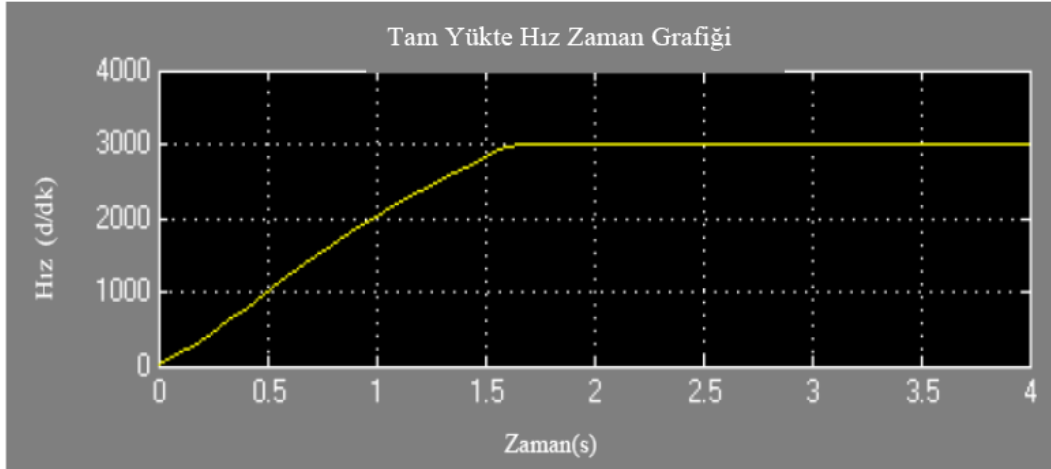
Şekil 10. Gerçek zamanda kontrol için oluşturulan simulink bloğu

Şekil 10’da görülen PID bloğu içerisinde Şekil 5’deki akış diyagramına ait simulink bloğu ve sınırlandırma bloğu bulunmaktadır. Simulink programı ile devrede kullanılan giriş, çıkış kontrol sinyalleri arasındaki bilgi aktarımı Matlab uyumlu Advantech firmasına ait olan PCI 1710 HG veri iletişim kartı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma için kullanılmış olan FEMSAN firması tarafından üretilen yabancı uyartımlı DA motoru 1.5 kW, 200 V, 7.5 A, 3000 d/dk özelliklerine sahiptir. DA motoru değişik yüklerde çalıştırılmış ve bu yükler altında hız performans eğrisi üzerinden hesaplanan kazanç değerlerinin sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir.

DA motorunu yüklemek için motorla aynı özelliklere sahip olan bir dinamo kullanılmıştır. DA motoru 1.5 kW’lık yük ile çalıştırıldığında HPE ile hesaplanan kazanç değerleri kullanılmış ve 3000 d/dk referans için Şekil 11’de verilen devir eğrisi

elde edilmiştir. Uygulama sonucunda DA motorunun 1.425 s yükselme zamanı ile aşısız 1.7 s sonra 3000 d/dk referans değere ulaştığı Şekil 11'den görülmüştür.

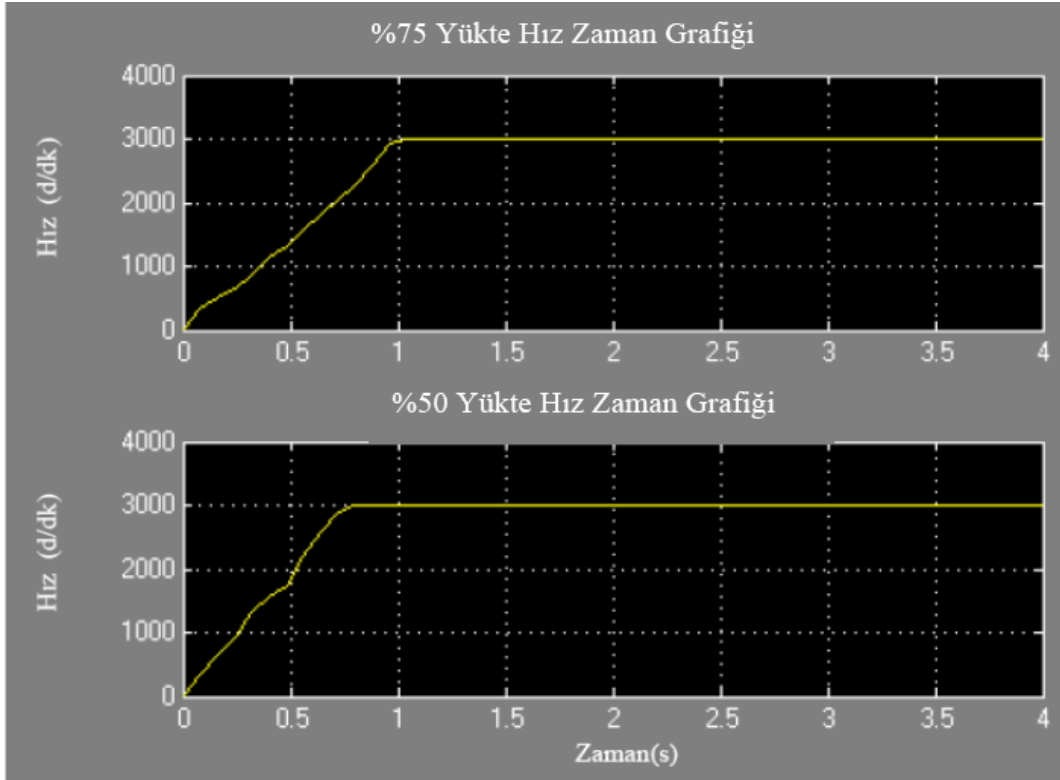


Şekil 11. DA motorunun 1.5 kW'lık yükte HPE ile kontrolü

Şekil 12'de DA motoru 1.125 kW ve 0.75 kW'lık yüklerle çalıştırıldığında HPE kullanılarak online hız kontrolü yapıldığında elde edilen hız eğrisi görülmektedir. HPE üzerinden hesaplanan kazanç değerleri ile DA motorunun %75 ve %50 yüklerde istenilen referans değerlerinde kontrol edilebildiği Şekil 12'den belirlemektedir.

HPE ile elde edilen kazanç parametreleri ile DA motorunun çeşitli yüklerde kontrol edildiğinde motorun etkin bir şekilde kontrol edildiği görülmüştür. HPE ile belirlenen PID parametreler kullanılarak elde edilen hız eğrisi, DA motorunun kontrolü kapalı döngülü ve klasik PID ile gerçekleştirildiğinde elde edilen hız eğrileri ile karşılaştırılmıştır. DA motorunun klasik PID kontrolü gerçekleştirildiğinde kontrolünde kazanç parametre değerleri Ziegler-Nichols (Z&N) yöntemine göre kazanç değerleri $K_p = 13.27$, $K_i = 0.01$, $K_d = 0.004$ olarak hesaplanmıştır.

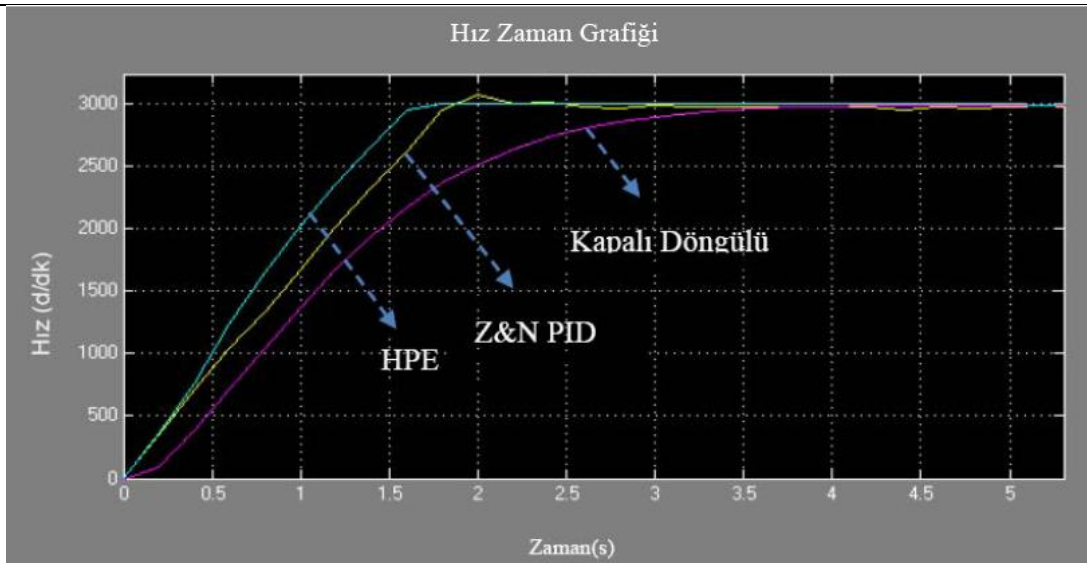
Ayrıca tam yük dışında yapılan yüklü çalışma deneyleri sonucunda HPE üzerinden hesaplanan kazanç değerleriyle kontrolün kapalı döngülü kontrol ve Z&N metoduna göre daha iyi yükselme ve oturma zamanı ile aşısız olarak bir kontrol gerçekleştirdiği Şekil 13'den ve Tablo 2'den anlaşılmıştır.



Şekil 12. DA motorunun 1.125 kW'lık ve 0.75 kW'lık yüklerde HPE ile kontrolü

Tablo 2. Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kontrol Yöntemi	Yükselme Zamanı (s)	Oturma Zamanı (s)	Aşım (d/dk)
HPE ile PID	1.425	1.8	-
Z&N yöntemi	1.7	2.8	30
Kapalı Döngülü	2.6	3.5	-



Şekil 13. 1.5 KW'lık yükte kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması

6. Sonuçlar

PID kontrolde en önemli unsur olan uygun parametrelerin belirlenmesi için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada karmaşık matematiksel denklemlere gerek duymayan bir PID parametre belirleme algoritması geliştirilmiştir. Bu algorithmada sistemin çıkış değerine bağlı olarak gerçek zamanda değişebilen adaptive kontrol yöntemi kullanılmıştır. DA motorunun hız kontrolünde yapılan deneylerde HPE yöntemi ile hesaplanan PID kontrolün kararlı hal durumunda diğer iki yonteme göre daha iyi sonuç verdiği, geçici hal durumu için ise iyileştirme yapılabileceği gözlenmiştir. Ayrıca PID parametrelerinin katsayılarının ayarlanması için geliştirilen HPE yönteminden elde edilen değerler yapay sinir ağları ya da bulanık mantık ile denetlenerek daha iyi bir sonucun elde edilmesi sağlanabilir.

Bilgi: Bu makaledeki veriler Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitiminde tamamlanan “DC motorun hız performans eğrisi kullanılarak kazanç parametrelerinin (P,I,D) bulunması” adlı tezden alınmıştır.

Kaynaklar

- [1] Mitsukura, Y., Yamamoto, T., Kaneda, M., “A genetic tuning algorithm of PID parameters”, *Systems, Man and Cybernetics IEEE International Conference*, 923-928 (1997).
- [2] Obika, M., Yamamoto, T., “An evolutionary design of robust PID controllers”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics* , 101-106 (2005).
- [3] Aydoğdu, Ö., “Optimal-tuning of PID controller gains using genetic algorithms”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 131-135 (2005).
- [4] Gomma, H.W., “Adaptive PID control design based on generalized predictive control (GPC)”, *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Control Applications*, 1685-1690 (2004).
- [5] Beak, S.M., Kuc, T.Y., “An adaptive PID learning control of DC motors”, *Systems, Man and Cybernetics IEEE International Conference*, 2877-2882 (1997).
- [6] Pingkang, L., Hengjun, Z., Yuyun, L., “Genetic algorithm optimization for AGC of multi-area power systems”, *Proceedings of IEEE TENCON'02*, 1818-1821 (2002).

- [7] SHAO Xiao-gen, XIAO Li-qing, HAN Cheng-chun, "Optimization of PID Parameters Based on Genetic Algorithm and Interval Algorithm" *Chinese Control and Decision Conference (CCDC2009)*, 741-745 (2009).
- [8] Chang, W., "Nonlinear system identification and control using a real-coded genetic algorithm" *Applied Mathematical Modelling, Volume 31, Issue 3 Elsevier*, 541-550 (2005).
- [9] Sakaguchi, A., Yamamoto, T., "A design of predictive PID control systems using GA and GMDH network", *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Control Applications*, 266-271 (2002).
- [10] Zhiqi Hu, Yang Xu, Yujun, He Wen Tan, "PID Controller Design Based on H_{∞} control for Multivariable Processes" *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China* 4689-4692 (2008).
- [11] Takao, K., Yamamoto T., Hinamoto T., "Design of a memory-based self-tuning PID controller", *43rd IEEE Conference on Decision and Control*, 1598-1603 (2004).
- [12] Shi-ming, Y., Li, Y., Hai-qui, W., "Constrained generalized predictive control algorithm with PID Feedback Correction Scheme", *Proceedings of the American Control Conference*, 379-383 (2003).
- [13] Cheres, E., "Parameter estimation of an unstable system with a PID controller in a closed loop configuration", *Elsevier, Journal of Franklin Institute* 343, 204-209 (2006).
- [14] Petrov, M., Ganchev, I., Taneva, A., "Fuzzy PID control of nonlinear plants", *First International IEEE Symposium "Intelligent Systems"*, 30-35 (2002).
- [15] Fu-qing CHEN, Jin-ming YANG, "Fuzzy PID Controller Used in Yaw System of Wind Turbine" *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications* (2009).
- [16] Kexin Wei, Qiang Sun, Bin Liang, Mingxing Du "The Research of Adaptive Fuzzy PID Control Algorithm Based on LQR Approach in DC-DC Converter" *IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application* 139-143, (2008).

- [17] Coşkun, İ., Terzioğlu, H., “Hız performans eğrisi kullanılarak kazanç (PID) parametrelerinin belirlenmesi”, *ISSN 1302/6178 Journal of Technical-Online*, 180-205 (2007).
- [18] Ang K.H, Chong G. PID Control System Analysis, Design and Technology, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, July 2005, Vol.13, No.4
- [19] Yüksel, İ.,” Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri”, *Uludağ Üniversitesi Basımevi*, Bursa, 209-215 (2001).
- [20] Bal G. Doğru Akım Makineleri ve Sürücüler, Ankara, Seçkin Yayıncılık, 2001(111s-212s)
- [21] Terzioğlu H., “DC motorun hız performans eğrisi kullanılarak kazanç parametrelerinin (P,I,D) bulunması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 53-68 (2008).