

PIC İLE DC MOTORLARIN HIZ VE KONUM KONTROLÜ İÇİN GEREKLİ PID PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE BİR UYGULAMA

Sıtkı KOCAOĞLU¹, Hilmi KUŞÇU²

¹Elektronik Teknolojisi Bölümü
Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
sitki.kocaoglu@kirkklareli.edu.tr

²Makine Mühendisliği Bölümü
Trakya Üniversitesi, Edirne
hilmi@trakya.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada mikrodenetleyici kullanılarak bir DC motorun, değişken yüklerde hız ve konum kontrolünün yapılması amaçlanmıştır. Öncelikle motor parametreleri çıkarılıp incelenmiş, Proteus programında devresinin simülasyonu yapılmıştır. PIC mikrodenetleyicinin kodunun yazılması CCS C yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma bir deney seti olarak kullanılabilir vaziyette, prototip olarak hazırlanmıştır. Burada, sistemin önemli bir üstünlüğü, farklı DC motorlar için sadece mevcut motorun yerine yenisi takılarak başka müdahale gerektirmeden kullanılabilir olmasıdır. Bu deney seti yardımıyla değişik motorların PID katsayıları ihtiyaç dahilinde kolayca belirlenebilmektedir.

1. Giriş

Serbest halde sürülmeye çalışılan DC motorun kontrolü oldukça zordur. Değişken yüklerde hızını sabitlemek istediğimiz DC motorun giriş gerilimini yükü doğru orantılı olarak değiştirmek gerekir. Fakat sisteminin transfer fonksiyonu doğrusal olmayan bir denklemdir. Bozucu etkiler sistemi kararsız kılar. Bu bozucu etkileri gidermek için sistemi dengelemek gerekir [1]. Bu nedenle, sistemdeki kararsızlığı ortadan kaldırmak için isteğe bağlı olarak kullanılabilir olan PD, PI ve PID kontrol elemanları tasarlanmıştır.

Okulda öğrencilere deneysel gözlem becerisi kazandırabilecek olan bu çalışmada; matematik ve fizik teorisi, bilgisayar teknolojisi, elektronik teknolojisi ve makine teknolojisi gibi farklı bilimlerin birlikte kullanılarak sistem tasarlanmış ve uygulanmıştır.

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren doğru akım (DC) motorları, ilk kez 1821 yılında Faraday tarafından ortaya konulan “ Manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenin elektrik akımı geçirilirse iletken bir kuvvet etkiler ve bu kuvvet nedeniyle iletken hareket eder ” prensibi ile çalışmaktadır.

Günümüzde DC motorlar, fiyatlarının düşük olması, boyutlarının küçük olması ve kolay kontrol edilebilmeleri gibi üstünlükleri sebebiyle endüstriyel alanda ve robotik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

DC motorun hız kontrolü için genellikle kaskad kontrol yapısı kullanılmaktadır. Bu kontrol yapısında, akım kontrol çevrimi, hız kontrol çevrimi için yaklaşık referans akım değerinde akım üreten, ideal bir akım kaynağıymış gibi görev yapar. Bu varsayım ancak elektriksel zaman sabiti, mekanik zaman sabitinden daha küçük olan sistemlerde ya da hız kontrolü dinamik cevabının önemli bir problem oluşturmadığı sistemlerde geçerlidir. DC motor giriş gerilimi, U, motor çıkış gücüne bağlı olarak sürekli veya süreksiz kontrol işareti ile denetlenebilir. Düşük güçlü sistemler için sürekli kontrol işareti kullanılırken, yüksek güçlü sistemlerde ise yüksek akım, motor giriş gerilim işaretinin sürekli olmasını zorlaştırmakta olduğundan süreksiz kontrol uygulaması kullanılmaktadır. Herhangi bir kontrol tasarımı tekniği doğrusal veya doğrusal olmayan, PID ya da daha sofistike bir metod örneğin; kayan kipli denetim gibi gelişmiş birçok denetim tekniği hız kontrolü için kullanılabilir [2].

Mikroişlemciler, manyetik malzemeler ve yarıiletken teknolojisindeki son gelişmeler birçok endüstriyel alanda, yüksek performanslı elektrik motor sürücülerini için geniş bir uygulama alanı sunmaktadır. Ayrıca yarıiletken teknolojisindeki gelişme mikroişlemcileri daha küçük, daha hızlı ve daha ucuz hale getirmiştir. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan motor kontrol sistemleri az yer kaplayan, bakımları kolay yapılabilen, düşük maliyetli ve gelişmiş kontrol özelliklerine sahip olmalıdır. Mikroişlemciler, neredeyse elektronik olarak gerçekleştirilen işlem fonksiyonlarının tümünü sayısal olarak gerçekleştirebilecek özelliğe sahiptirler. Daha önceleri değiştirilemez program elemanları (ROM, bazı mantıksal devreler vb.) ile gerçekleştirilen ve çok pahalı olan bazı uygulamalar, mikroişlemciler kullanılarak çok daha ucuz ve esnek özelliklerle yapılabilmektedir [3,4,5].

2. Tasarım

Motor uygulamalarında motorun hızını ölçmek oldukça önemlidir. Özellikle geri beslemeli motor kontrol uygulamalarında motorun herhangi bir andaki hızının ölçülmesi ve bu hızın istenilen referans hız ile karşılaştırılması çok önemlidir. Motor hızı takojeneratörlerle ölçülebilir. Takojeneratörler motor miline takılmakta ve motorun hızı ile

doğru orantılı olarak bir analog gerilim vermektedir. Takojeneratörlerin yeterince hassas olmaması ve analog çıkış vermesi nedeniyle A/D çeviriciye ihtiyaç duyulması takojeneratörlerin tercih edilmemesine neden olur.

Bunun yerine sayısal çıkış veren enkoderler daha çok kullanılır. Enkoderler de motor miline takılmaktadır. Genel olarak, artırılan (incremental) enkoder ve mutlak (absolute) enkoderler kullanılmaktadır.

Projede Şekil 1’de gösterilen artırılan tip enkoder (DRS60) kullanılmıştır. Enkoderin mil çapı 10 mm olup farklı kaplinler kullanılmak suretiyle daha büyük veya küçük çaplı motorlara kolayca bağlanabilecek şekildedir. Besleme gerilimi 5V, akım tüketimi maksimum 50mA’dır.



Şekil 1: DRS60 Artımsal Enkoder

Bu çalışmada gerilim değeri ayarlanarak motorun hız kontrolü, Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) tekniği kullanılarak yapılmıştır. Motor sürücü devresinde kullanılacak yarıiletken anahtarların çalışma frekansları da göz önünde bulundurularak DGM sinyalinin görev periyodunun önceden belirlenmesi gerekmektedir. PIC18F452 mikrodenetleyicisinde iki adet donanımsal olarak kullanılabilir DGM modülü bulunmaktadır. Mikrodenetleyici tarafından üretilcek DGM sinyalinin 16 bitlik çözünürlükte çalıştırılabilmesi için DGM modülünün ayarlanması gerekmektedir. DGM sinyalinin frekansı, kullanılan kristal osilatörün frekansı ile bağlantılı olduğundan 16 bitlik çözünürlükte DGM sinyali ancak müsaade edilen frekanslarda üretilebilir.

DGM çıkışı zamanla değişime sahiptir. Bu değişimin periyodu sabittir ancak, t_{on} ve t_{off} süreleri ayarlanabilmektedir. Dolayısıyla görev periyodu olarak da bilinen $d = t_{on} / (t_{on} + t_{off}) = t_{on} / T$ oranı ayarlanarak motorun uçları arasındaki DC gerilimin ortalama değeri değiştirilebilmektedir.

DGM sinyalinin periyodu PR2 yazmacı ile belirlenir. DGM sinyalinin periyodu;

$$T = [(PR2) + 1]. 4. (Tosc). (TMR2) \quad (1)$$

$$T = [(234) + 1]. 4. \left(\frac{1}{1200000}\right). 234 = 0,01833\text{ms} \quad (2)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,01833} = 54\text{Hz} \quad (3)$$

formülünden hesaplanabilir.

DC motor kontrolünde kullanılacak DGM sinyalinin frekansı seçilirken, sürücü devrede kullanılacak yarıiletken

anahtarların hızlarından daha yüksek çalışma frekansına sahip olmamasına dikkat etmek gerekir [6].

Daha önce yapılan çalışmalarda PD kontrolünün sisteme zayıflama getirdiği ancak sistemin kararlı hal davranışını etkilemediği görülmüştür. PI kontrolörünün ise, göreceli kararlılığı ve aynı zamanda kararlı hal hatalarını düzelttiği, ancak yükselme zamanının arttığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar bizi, PI ve PD kontrolörlerinin iyi yönlerinden yararlanmayı sağlayan, PID kontrolünü kullanmaya yöneltir [7].

Oransal denetleyicilerin (K_p), yükselme zamanını azaltmada etkisi vardır ve azaltır, ama asla tamamen yok etmez (kararlı hal hatası). İntegral denetleyicinin (K_i) kararlı hal hatasının çıkarılmasında etkisi vardır ancak bu geçici tepkinin daha kötü olmasına sebep olabilir. Türevsel denetleyicinin (K_d) sistemin kararlılığının artmasında etkisi vardır, aşmayı azaltır ve geçici tepkiyi düzeltir [8].

Ziegler-Nichols, PID kontrolünde K_p , T_i , ve T_d parametrelerinin belirlenmesi için iki metoddan oluşan ve deneysel basamaklarla gerçekleştirilen yöntemler sunmaktadır. Bu yöntemler sistemin matematik modeli bilinmiyorsa PID parametrelerinin belirlenmesinde iyi bir yöntem olmaktadır. İşletme mühendisi sistem üzerinde deneyler yaparak en uygun PID parametrelerinin belirlenmesinden sonra bir daha gerekmedikçe bu değerler değiştirilmez [9].

Bu metotta uygulamaya integral ve türevsel katsayılar sıfır alınarak başlanır ($K_i=0$, $K_d=0$, $T_i=0$, $T_d=0$). Sonra set değeri küçük bir referansa ayarlanıp sistem set değerine ulaşmış olmasına gidene kadar artırılır. Sonra set değeri olması gereken referansa ayarlanır. Bu noktada sistemin tepkisi gözlenir, kritik oransal bant (ker) ve salınım zamanı (T_c) ölçülür. Son olarak Tablo 1’e göre türevsel ve integral katsayılar belirlenir.

Tablo1: Katsayıların Ayarlanması

	P	P+I	P+D	P+I+D
P (K_p)	2* Ker	2.2* Ker	1.6* Ker	1.6* Ker
I (T_i)	—	$T_c/1.2$	$T_c/2$	$T_c/2$
D (T_d)	—	—	$T_c/12$	$T_c/8$

Sistemin birim basamak cevabının belirlenmesi ve grafiğinin oluşturulması için Matlab programı kullanılmıştır. Burada parametreler motorun deneysel olarak bulunmuş olduğumuz parametreleridir. Direnç (R) ve endüktans (L) değerleri ölçü aletiyle belirlenmiştir. J (atalet momenti);

$$J = \frac{1}{2}. m. r^2 \quad (4)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanmış olduğumuz Johnson HC970 motorun fiziksel ölçümleri yapılmış ağırlık ve rotor yarıçapı bu şekilde belirlenmiştir. K motor katsayısıdır ve ;

$$K = \frac{v_b}{w_m} \quad (5)$$

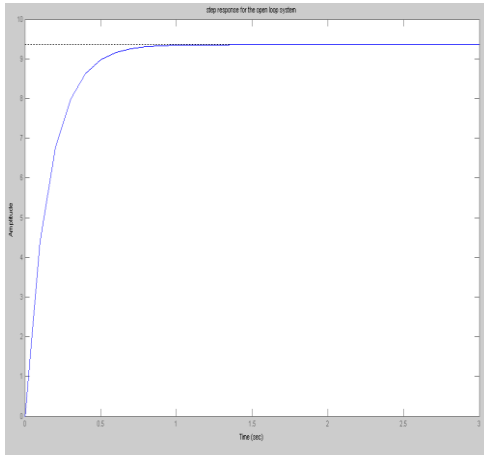
formülüyle hesaplanır. Burada v_b ;

$$v_b = U - I_a \cdot R_a \quad (6)$$

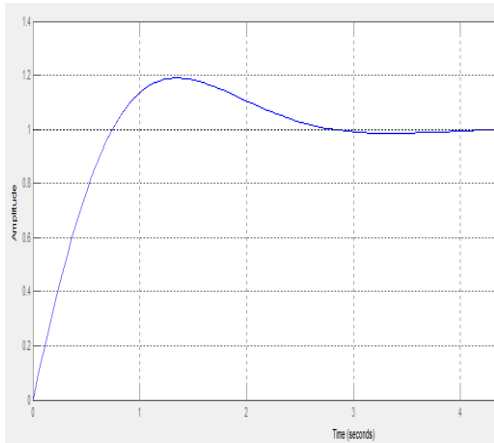
şeklinde hesaplanır. Bu veriler matlab’da kullanıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

```
>> J= 0.0001875;
b=0.001;
K=0.018;
R=1.6;
L=0.003;
num=K;
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];
motor=tf(num,den)
```

Program tarafından hesaplanan değerler;
 $T_i=0,024684$
 $T_d=0,00046383$ şeklinde olmuştur.



Şekil 2: Birim Basamak Cevabı



Şekil 3: Ker=0,5 Değeri İçin Oluşan Kapalı Çevrim Sistem Cevabı (T_d ve T_i değerleri tabloya göre otomatik hesaplanmıştır.)

3. Geliştirilen Dijital PID Yazılımı

Aşağıda, geliştirilen yazılımın PID hesapları yapılan kısmı gösterilmiştir. Döngü içerisinde sürekli olarak pid_error değeri yeniden hesaplanıp sistem çalışması iyileştirilmektedir. Koddan da anlaşılacağı üzere sistem gerekirse sadece P, PI, PD veya PID kontrolör olarak çalışabilmektedir. Örneğin PD olarak kullanılmak istenirse integral katsayısının sıfır yapılması yeterli olacaktır.

```
pid_error = TargetVelocity-Count0*6;
//Hata hesaplanıyor
derivative=pid_error-error_old;
p_error = (Kp)*pid_error;
// Oransal kazanç hesaplanıyor
d_error = (Kd)*(derivative/0.02);
// Türevsel kazanç hesaplanıyor
duty = ( p_error + i_error + d_error );
//İstenilen değer hesaplanıyor
integral= integral + (pid_error);
//i_error başta ilk olarak 0 alındı
i_error = (Ki)*(integral/0.02);
// i_error'un yeni değeri hesaplanıyor
if(i_error<-255) i_error=-255;
if(i_error>255) i_error=255;
error_old = pid_error;
```

4. Uygulama

Sistemin tasarlanmasındaki amaç DC motorun değişik K_p , K_i ve K_d katsayılarındaki davranışını gözlemlemektir. Ayrıca devir sayısı da isteğe bağlı olarak ayarlanabilecektir.

Sistem enerji kablosunun takılması ile çalışmaya başlar. Deney seti üzerinde görünür kısımda LCD ekran, DC motor, enkoder ve 4 adet buton vardır. Butonlar “Menü / Seç”, “Artır”, “Azalt” ve “Start-Stop” şeklinde isimlendirilmişlerdir. “Menü / Seç” butonuna basılarak gerekli ayarlamalar “Artır” ve “Azalt” butonları ile yapılır. Seçilebilecek olan büyüklükler aşağıda tablo olarak verilmiştir.

Tablo2: Sistem Parametreleri

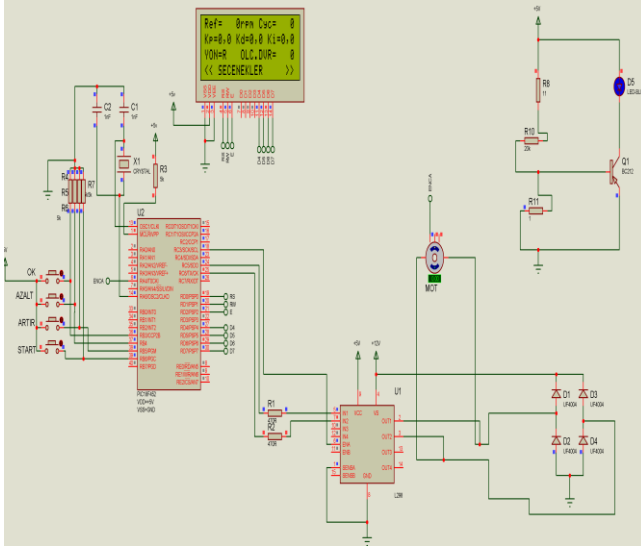
Değer	En Düşük	En Yüksek	Birim
Referans Hız	0	2000	Rpm
Oransal Katsayı	0	0,9	-
Türevsel Katsayı	0	0,9	-
İntegral Katsayı	0	0,9	-
Toplam Cycle	100	∞	Tur

Seçim işlemi bittiğinde “Start-Stop” butonuna basılarak motor çalıştırılır ve parametrelerin büyüklüğüne göre seçilen referans değere ulaşmaya çalışır. Sürekli olarak enkoder tarafından PIC’e sinyal gönderilerek bu değer kontrol edilir. “Start-Stop” butonuna tekrar basılarak parametreler değiştirilebilir ve motor yeniden çalıştırılır. Cihazın çalışır durumdaki görüntüsü Şekil 6’da gösterilmiştir.

Kullanıcı öncelikle seçmiş olduğu motoru hangi hız değerinde kullanacağını belirlemelidir. Bu referans hız değeri menüden seçildikten sonra katsayılar seçilir ve motor çalıştırılır. Bu şartlar altında motorun çalışması LCD ekran vasıtasıyla izlenir. Uygun şartlar sağlanana kadar katsayı değerleri değiştirilerek tekrar gözlem yapılmalıdır. Kullanıcı için önemli olan çıkış parametreleri Yükselme Zamanı, Oturma Zamanı, Maksimum Aşma, Tepe Zamanı ve Gecikme Zamanı’dır.

Mikrodenetleyicinin portları aşağıdaki şekilde kullanılmış ve Şekil 4’de gösterilmiştir.

- A Portu → Osilatör Bağlantısı, Enkoder Çıkışı
- B Portu → Buton Bağlantıları
- C Portu → Motor Sürücü Bağlantısı
- D Portu → LCD Bağlantısı
- E Portu → Boş



Şekil 4: Devre Bağlantı Şeması



Şekil 5: Cihazın Görünümü



Şekil 6: Sistemin Çalışması

5. Sonuçlar

PID kontrolörler endüstride sıkça kullanılan kontrolör yapılarından biridir. Birçok sistemin transfer fonksiyonu önceden bilinmediğinden ve hesaplanmasının zor olduğundan bu tür sistemlerde PID kontrolör katsayıları doğrudan kullanılamazlar. Bu çalışmada DC motorlar için katsayıların belirlenmesi sağlanmaktadır. Zira piyasada satılan DC motorların çoğunun parametrelerini üreticilerin vermediği görülmektedir. Yapılan çalışma ile bunlar için kontrol çözümü gerçekleştirilmiş olmaktadır. Kullanıcı istediği fonksiyonel çalışma şeklini deneysel yöntemle bulur ve artık bu motor için bulunan K_p , K_d ve K_i parametrelerini kullanılır. Hazırlanan düzenek otomatik kontrol laboratuvarlarında öğrencilere oransal, türevsel ve integral katsayıların sistem çalışması üzerinde etkilerini anlatmakta bir deney seti olarak kullanılabilir. Bu çalışma bilgisayar ile iletişim kurulup MATLAB ortamında grafiksel gözlemlenmeyi destekleyecek hale de getirilebilir.

6. Kaynakça

- [1] Tez, T., “Manyetik Askı Sisteminde Kullanılan Kontrol Algoritmalarının Deneysel ve Teorik Araştırılması”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, p.iii, Edirne, 2011.
- [2] Utkin V.I., Guldner J. and She J., Sliding Mode Control in Electromechanical Systems Taylor and Francis, 1999.
- [3] Konishi, T., Kamiyama, K. and Ohmae, T., A Performance Analysis of Microprocessor- Based Control System Applied to Adjustable Speed Motor Drives, IEEE Industrial Applications, 16, no. 3, pp. 378-387, 1980.
- [4] Kusko, A. and Galler, D., Survey of Microprocessor in Industrial Motor Drive Systems, Microcomputer Control of Power Electronics and Drives, pp. 159-162.
- [5] Rahman, M. A. and Hoque, M. A., 1997, Online self-tuning ANN-based speed control of a PM DC motor IEEE Transactions on Mechatronics, 2, no.3., 1987
- [6] Aydoğmuş, Ö., “PIC Mikrodenetleyici Yardımıyla DC Motor Hız Kontrolü”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, p.49, Elazığ, 2006.
- [7] 02.09.2012 tarihinde <http://web.sakarya.edu.tr/~afboz/control/bolum10.html> adresinden erişildi.

- [8] Sarıkaya, S., “Mikrodenetleyici Tabanlı Isı Kontrol Sisteminin Tasarımı” Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, pp. 16-19, Sakarya, 2008.
- [9] 02.09.2012 tarihinde <http://320volt.com/pi-pid-kontrolorleri-ile-tasarim/> adresinden erişildi.