

# PIC 16F877 İLE DA MOTOR HIZ KONTROLÜ

**İlhami ÇOLAK, Ramazan BAYINDIR**

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500/Beşevler/Ankara

Geliş Tarihi : 22.06.2004

## ÖZET

Bu çalışmada, PIC 16F877 kullanarak PI kontrollü bir yabancı uyarımlı doğru akım (DA) motorunun hızı kontrol edilmiştir. PIC 16F877 PI kontrolör olarak programlanarak, sistemde motor hızının referans hız değerini izlemesi amaçlanmıştır. Motor hızı bir tako generatör ile ölçülmüş, motor gerilimi ise, PIC 16F877 tarafından üretilen darbe genişlik modülasyon (DGM) sinyali kullanılarak yarı iletkenlerle ayarlanmıştır. Sürme devresi 0,9 kW DA motorda test edilmiştir. Deneysel sonuçlar gerçekleştirilen sürücü devresinin kullanılan mevcut analog sürme devrelerine göre basit, kullanışlı, hassas, ekonomik ve değişik uygulamalara hemen uyarlanabilir olduğu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler :** DGM, PIC 16F877, Hız kontrolü, PI kontrol

## SPEED CONTROL OF DC MOTOR WITH PIC 16F877

### ABSTRACT

In this study, a PI controlled separately excited direct current (DC) motor speed has been controlled using PIC 16F877 controller. In the PIC 16F877 programming as a PI controller, the speed of the motor is expected to follow the reference speed. Speed of the motor is measured by a tacho generator and then, the voltage applied to the motor is adjusted by a semiconductor power switch using pulse width modulation (PWM) technique. Drive circuit was tested with 0.9 kW DC motor. Experimental results show that the drive circuit developed is very simple, useful, sensible, economical and flexible to apply for different applications.

**Key Words :** PWM, PIC 16F877, Speed control, PI control

### 1. GİRİŞ

Kolay kontrol edilebilme ve yüksek performans gibi üstünlüklere sahip olan DA motorlarının hızları geniş sınırlar içerisinde ayarlanabilmektedir. DA motorları endüstride hızlı taşımacılık, elektrik trenleri, elektrikli taşıtlar, elektrikli vinçler, yazıcı, disket sürücü, kağıt endüstrisi gibi yerlerde ayarlanabilir hız ve hassas konumlandırma uygulamalarında kullanılırlar. Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte ev aletleri uygulamalarında, düşük güçlü ve düşük maliyet istenen ayarlanabilir hız gereken yerlerde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur (Chan, 1987). Geniş uygulama alanı bulmasının diğer bir

sebebi de alternatif akım (AA) motorlarına göre kontrolünün daha kolay olmasıdır. AA motoru sürücüleri ile kıyaslandığında, DA motoru sürücü devrelerinin basit ve ucuz olması ayarlanabilir hız uygulamalarında DA motoru sürücülerini ön plana çıkarmıştır (Castagnet et al., 1992). DA sürücülerinin uygulamasında kullanılan analog sürücüler, analog devre elemanları ve uygulanan karmaşık kontrol şemaları gibi dezavantajlara sahiptir. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler mevcut olan sistemlerden daha küçük olan, daha hızlı işlem yapabilen, ekonomik ve ayarlanabilir hızlı sürücüleri denetleyiciler ile yapmak mümkün olmuştur (Sen, 1990; Bodson, 1996). Denetleyici tabanlı ayarlanabilir hızlı motor sürücüleri endüstriyel

otomasyonun gelişmesinde de önemli rol oynamıştır (Bose, 1993; Rahman, 1993; Bodson, 1997). Ayrıca denetleyiciler şebekede güç katsayı düzeltmek için, ölçü aletlerinde, sıcaklık kontrolü, gibi bir çok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz ve ark., 2001; Çolak ve ark., 2004).

Uygulamalarda sürücünün yanı sıra, kullanılan hız kontrol sistemi de önemlidir. Sabit hız uygulamalarında açık döngülü sistem kullanılmaz. Bu sistemlerde yük motor gerilimindeki ve motor devir sayısındaki değişiklikler dikkate alınmadığından, yük durumuna göre devir artar veya azalır. Bu nedenle, sabit hız uygulamalarında açık döngülü sistem tercih edilmeyip, bunun yerine kapalı döngü sistemleri kullanılır. DA motoru hız kontrol uygulamalarında kapalı döngü kontrollerinden Proportional-Integral (PI) kontrol oldukça çok kullanılan bir yöntemdir (Er, 1995; Ahmed ve ark., 1997).

Bu çalışmada DA motoru sürücü sistemi için Microchip'in PIC serisi 16F877 denetleyicisi kullanılmıştır. DGM sinyali ve analog/sayısal dönüşüm ayrıca çevresel bir birime ihtiyaç duyulmadan PIC'in DGM ve analog/sayısal dönüşüm modülleri aktif hale getirilerek yapılmıştır. Tako generatörden alınan analog gerilim geri besleme gerilimi olarak kullanılmıştır. Referans gerilim potansiyometre ile ayarlanmıştır. Referans gerilim ile geri besleme gerilimi arasında fark hata olarak kullanılmıştır. Hata PI denetleyiciden geçirilerek bir sürme devresi yardımıyla DA motorunun endüvi sargısı gerilimi ayarlanarak DA motorunun hızı referans hızda sabit tutulmuştur. Böylece bir PI kontrol için gerekli olan tüm gereksinimleri PIC 16F877 ile karşılanmıştır. Sistem analog elemanlardan arındırılmış, muhtemel kayıplar ve hatalar azaltılmıştır.

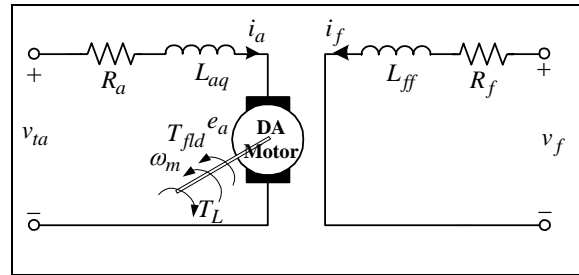
## 2. DA MOTORUN MODELİ

DA motorlarının genel kontrol prensipleri temel ilişkilerden elde edilmektedir. Motor eşdeğer modeli çıkartılırken yapılan kabullenmeler aşağıda verilmiştir (Fitzgerald et al., 1985);

- Fırçalar dardır ve komitasyon lineerdir. Fırçalar, komitasyon olduğu zaman bobin kenarlarının kutuplar ortasındaki nötr bölgesine gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Endüvi manyeto motor kuvveti'nin (mmk) dalga şekli ise eksen boyunca hava aralığında sabittir ve yatay eksen boyuncadır.

- Endüvi mmk'ti kutup mmk'tine dik olduğundan endüvi alanının toplam alanı etkilemediği varsayılmıştır.
- Manyetik doymanın etkisi ihmal edilmiştir. Böylece manyetik alanının süperpozisyonu kullanılabilir ve endüktansların akımdan bağımsız olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 1'de bu çalışmada kullanılan yabancı uyarımlı DA motoruna ait eşdeğer devre verilmiştir. Bu devrede, motorun ürettiği tork ( $T_{fld}$ ) ve motorun açısal hızı ( $\omega_m$ ) saat ibresinin ters yönünde gösterilmiştir. Buna göre yük torku ( $T_L$ ) ise saat ibresi yönündedir.



Şekil 1. Yabancı uyarımlı bir DA motorunun eşdeğer devresi

Bu eşdeğer devrede;

$v_{ta}$  = Endüvi gerilimini (V)

$i_a$  = Endüvi akımını (A)

$R_a$  = Endüvi sargısı direncini ( $\Omega$ )

$L_{aq}$  = Endüvi sargısı endüktansını (H)

$e_a$  = Endüvi sargılarında endüklenen gerilim (V)

$R_f$  = Uyarım sargısı direncini ( $\Omega$ )

$L_{ff}$  = Uyarım sargısı endüktansını (H)

$v_f$  = Uyarım devresi gerilimini (V)

$i_f$  = Uyarım devresi akımını (A) göstermektedir.

Üretilen manyetik tork ( $T$ ) ve üretilen endüvi gerilimi ( $e_a$ ) sırasıyla denklem 1 ve denklem 2 ile tanımlanabilir;

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

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

Denklem 1 ve Denklem 2'de;

$K_a$  = Motor sabitini

- $\Phi_d$  = d ekseninde bir kutbun sabit manyetik akısını (Wb)  
 $\omega_m$  = Açılma hızı (rad/s) göstermektedir.  
 $K_a$  = sabiti, motor kutup sayısı ( $P$ ), endüvi bobinindeki toplam iletken sayısı ( $C_a$ ) ve motor endüvi sargılarındaki paralel kol sayısı ( $m$ ) cinsinden denklem 3'deki gibi ifade edilebilir;

$$K_a = \frac{PC_a}{2\pi m} \quad (3)$$

Endüvi manyeto motor kuvveti'nin (mmk) dalga şekli ise eksen boyunca hava aralığında sabit ve manyetik doymanın etkisi ihmal edilirse hava aralığındaki akı ( $\Phi_d$ ) değişimi ile uyartım devresi akımı ( $i_f$ ) lineer orantılı olarak değişir. Böylece Denklem 1 ve 2 tekrar yazılacak olursa;

$$T = k_f i_f i_a \quad (4)$$

$$e_a = k_f i_f \omega_m \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem 4 ve 5'de kullanılan  $k_f$  sabit bir değerdir. q eksenindeki alan sargısı ile endüvi sargısı arasındaki karşılıklı endüktans sıfırdır. Yani iki sargının eksenleri birbirine diktir. Uyartım devresinin gerilimi denklem 6'da verilmiştir.

$$v_f = L_{ff} p i_f + R_f i_f \quad (6)$$

Denklem 6'daki  $p$ ,  $d/dt$  türev operatörüdür. Endüvi devresinin gerilimi ise denklem 7 ve Denklem 8'de verilmiştir.

$$v_{1a} = e_a + L_{aq} p i_a + R_a i_a \quad (7)$$

$$v_{1a} = k_f i_f i_a + L_{aq} p i_a + R_a i_a \quad (8)$$

Üretilen manyetik tork ( $T$ ) denklem 9'daki gibi yazılabilir. Eşitlikteki  $J$  atalet momentini, ( $T_L$ ) yük torkunu ifade etmektedir.

$$T = k_f i_f i_a = J p \omega_m + T_L \quad (9)$$

Yapılan uygulamada DA motorunun hızı endüvi uç gerilimi ( $v_{1a}$ ) değiştirilerek yapılmıştır. Uyartım devresi gerilimi ( $v_f$ ) deney süresince tutulmuştur (Bal, 2001).

### 3. DA MOTORLARIN HIZ KONTROLÜ

Bir çok uygulamada DA motor devir sayısının geniş sınırlar içerisinde ayarlanması gerekir. Motor devir sayısının ayarlanabilmesi için DA motor sürücüleri kullanılır. DA motor hız kontrolü analog ve sayısal olmak üzere iki tipte yapılabilmektedir. Geçmişte endüstriyel uygulamalar için hız ayarı yarı iletken kontrollü ayarlı gerilim kaynaklı analog DA motor sürücüleri ile yapılırken, güç elektroniğindeki gelişmeler sonucunda analog kontrol yerini sayısal hız kontrol sistemlerine bırakmıştır.

#### 3. 1. DA Motorlarında Analog Kontrol

DA motorlarında hız ayarı 1891 yılında Ward Leonard tarafından gerilim kontrolü vasıtasıyla ilk olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem endüvi devresine eklenen dirençler vasıtasıyla gerçekleştirildiği için sistemin verimini dirençlerde meydana gelen kayıplar nedeniyle olumsuz olarak etkilemekteydi. Güç elektroniğinde anahtarlama elemanı olarak tristörün kullanılmaya başlamasıyla DA motorlarının hız ayarında ayarlı gerilim kaynakları ön plana çıkmıştır. Daha sonraki yıllarda anahtarlama elemanı olarak MOSFET, IGBT ve GTO gibi yarı iletken elemanlar kullanılmıştır (Khoei and Hadidi, 1996). İlk önceleri bu elemanların anahtarlama analog devreler vasıtasıyla yapılmaktaydı ve frekansları düşük, gürültüden etkilenme oranı yüksekti. Ancak daha sonraları sayısal kontrol elemanlarının kullanılması ile değişken çevre koşullarından etkilenme oranı en aza indirilmiştir. Daha yüksek anahtarlama frekansı değerlerine çıkmıştır. Bu sayısal kontrolün sağlanması için gerekli olan anahtarlama algoritmaları darbe genişlik modülasyonu (DGM) kontrol tekniği ile sağlanmıştır. Geleneksel analog kontrol devrelerinin bir çok dezavantajı vardır. Karmaşık uygulama şeması nedeniyle analog devrelerin uygulanması zordur. Analog devreler esneklikten yoksun ve gürültüye karşı duyarlıdır. Ayrıca analog devrede kullanılan elektronik malzemelerin her biri farklı tolerans değerlerine sahiptirler (Çalikoğlu ve ark., 1988; Çolak, 1988). Bu dezavantajlar güvenilir, esnek ve gürültüden etkilenmeyen denetleyicili sistemlerin kullanılması ile giderilmektedir (Nandam et al., 1987).

#### 3. 2. DA Motorlarında Sayısal Kontrol

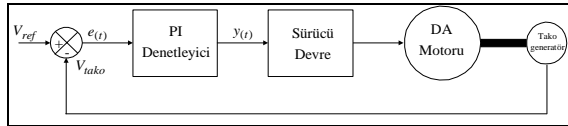
Denetleyicilerin motor sürücü devrelerinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Davis et al., 1992). Bu sürücüler genellikle motorları çalıştırıp durdurmaya veya yarıiletken bir elemanın tetikleme açısını değiştirerek DA motorlarının kontrolünde kullanılmaktadır. DA kaynak gerilimi, denetleyici

tarafından üretilen DGM sinyali kullanılarak kontrol edilebilen kıyıcı devresi giriş gerilimi olarak kullanılır (Hwang, 1995). Motordan referans gerilim alınır ve değişen yüke bağlı olarak DGM görev saykılı ayarlanır. DA motoru kıyıcıları daha verimli olup frekansa bağlı olan alternatif akım bakır ve demir kayıpları yoktur (Nicolai et al., 1993).

#### 4. PI KONTROLLÜ HIZ KONTROLÜ

Açık döngülü sistemle motor hız kontrolünde devir sayısı ayarı endüvi veya uyarım sargısı üzerine uygulanan gerilimi değiştirmekle ayarlanabilir. Açık döngülü sistemde motor gerilimindeki ve motor hızındaki değişiklikler dikkate alınmaz. Yük durumuna göre hız artar veya azalır. Bu nedenle sabit hız uygulamalarında açık döngülü sistem kullanılamaz.

Kapalı döngü sistemle motor hız kontrolünde, çıkış büyüklüğü sistem değişkenlerinden bağımsız hale getirilir. Şekil 2’de kurulan döngü sayesinde çıkış büyüklüğü olan motor hızı sabit tutulmak istenmektedir. Verilen kapalı döngü sistemde motor hızı referans değeri ile ayarlanır. Sistemde kullanılan tako generatör sayesinde motorun gerçek hızı ölçülür. Motor yük durumuna göre endüvi sargısı veya uyarım sargısı gerilimi değiştirilerek motor hızının referans değerinde kalması sağlanır. Motor gerilimi yarı iletkenler yardımı ile ayarlandığından, sistem verimli ve güvenilir hale getirilir.



Şekil 2. DA motorunun PI ile hız kontrolü

Sistemde oluşacak hata sinyali denetleyicide değerlendirilerek çıkışa aktarılmaktadır. Hata sinyali  $e(t)$  PI kontrolöre girdiğinde orantı etki kazancı ( $K_p$ ) ile çarpılmakta ve hata sinyalinin integrali alınarak integral etki kazancı ( $K_i$ ) ile çarpılmaktadır. orantı artı integral (PI) tipi kontrol orantı ve integral kontrol etkilerinin birleştirilmesinden meydana gelir. PI denetleyici çıkışı (Yüksel, 1995);

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada;

$y(t)$  = PI denetleyici çıkışı

$K_p$  = Orantı etki kazancı

$e(t)$  = Hata

$K_i$  = İntegral etki kazancı

olarak verilmiştir. Formüldeki  $K_p / K_i$  oranı, integral etki zamanı ( $T_i$ ) olarak ifade edilir.

PI denetleyicisi kapalı-döngü bir sistemle birleştirildiğinde, hata sıfır olana kadar kontrol etkisinin değişimine neden olacaktır. PI kontrolünün en büyük üstünlüğü sistemde kalıcı durum hatasının olmaması, kolay uygulanabilirliği ve katsayılar doğru seçildiğinde hızlı tepki verebilmesidir.

#### 5. PIC 16F877 İLE DA MOTORUN HIZ KONTROLÜ

DeneySEL çalışmada motor parametreleri RLC metre ile ölçülerek tespit edilmiştir. Seçilen SU 509 NPN transistor ünün değeri, motorun akım ve geriliminde muhtemel olabilecek dalgalanmalar göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan elemanların değerleri ve DA motoru parametreleri Ek 1’de verilmiştir.

Bu çalışmada PIC 16F877 kullanılarak anahtarlama elemanına gerekli olan DGM tetikleme sinyallerini üretmek için denetleyiciye ait DGM modülü kullanılmıştır (Microchip, 2001). Şekil 3’de uygulaması gerçekleştirilen transistörlü PI geri beslemeli sürücü devresi verilmiştir.

Motora uygulanan gerilim SU 509 transistörü ile ayarlanmaktadır. Devredeki BC 237 ve BD 140 transistörleri SU 509 güç transistörünü sürmek için güç yükseltici transistörleri olarak kullanılmış olup, PIC’in yüklenerek bozulmasını engellerler. Sargılarda oluşan zıt emk devredeki snubber ve ters diyot BYT 30 tarafından söndürülür. Giriş gerilimi ve kullanılan elemanların parametrelerine Ek.1’de verildiği gibi motor gerilimine uygun olmalıdır. Referans potansiyometresi ile DGM görev saykılı değiştirildiğinde, motor uygulanan geriliminin büyüklüğü ve motor hızı ayarlanmaktadır. DGM periyodunun ve görev süresinin hesaplanması Ek. 2’de verilmiştir.

PIC 16F877 analog girişleri sayesinde geri beslemeli kontrol sistemleri için yeterli çözümü üretebilmektedir. Sistemde referans potu yardımı ile gerilim 0-5 volt arasında ayarlanabilmektedir. Geri besleme sinyalini alabilmek için mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren DA tako generatör kullanılmıştır. DA tako generatörleri kontrol



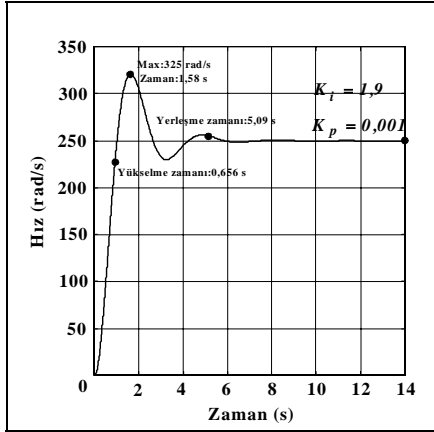
## 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE ÇALIŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6. 1. Simülasyon Çalışması

Bu kısımda deneysel sonuçlardan önce, PI kontrolörün  $K_i$  ve  $K_p$  değerlerinin etkilerini görebilmek için simülasyon yapılmıştır.

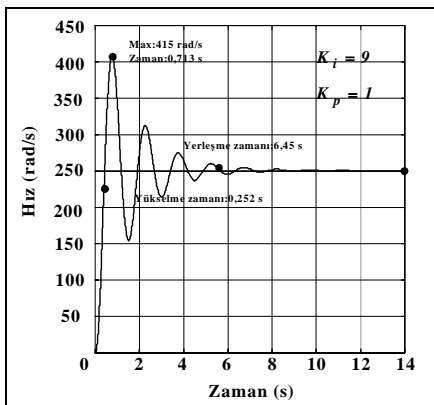
DA motorunun PI kontrolü yapıldıktan sonraki birim basamak tepkilerine ait simülasyon sonuçları Şekil 5-8'de verilmiştir.

Şekil 5'de seçilen  $K_i$  ve  $K_p$  değerleri için şekildeki tepki istenilen değere kısa zamanda ulaşmakla beraber aşım oluşmaktadır. Referans değere yerleşene kadar salınım yapmaktadır. Yerleşme zamanı 5.09 saniyedir.



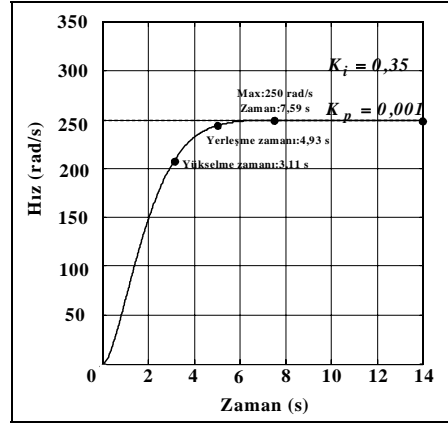
Şekil 5.  $K_i = 1.9$   $K_p = 0.001$  PI tepkisi

Şekil 6'da seçilen  $K_i$  ve  $K_p$  değerleri için  $K_p$ 'nin artması aşımı ve yerleşme zamanını artırmıştır. Fakat yükselme zamanı küçüktür. Yerleşme zamanı 6.45 saniyedir.



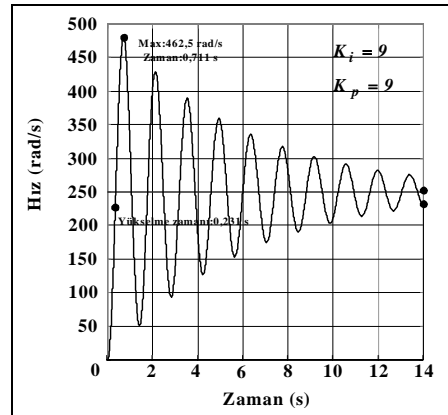
Şekil 6.  $K_i = 9$   $K_p = 1$  PI tepkisi

Şekil 7'de seçilen  $K_i$  ve  $K_p$  değerleri için şekildeki tepki istenilen değere ulaşması için yükselme zamanı fazladır. Fakat aşım oluşmadan ve salınım yapmadan referans değere yerleşmiştir. Yerleşme zamanı 4.93 saniyedir.



Şekil 7.  $K_i = 0.35$   $K_p = 0.001$  PI tepkisi

Şekil 8'de  $K_i$  ve  $K_p$  kazançları için DA motorunun birim basamak tepkisi görülmektedir. Burada aşım ve yerleşme zamanı çok yüksektir. Bu motorda istenmeyen bir durumdur. Fakat yükselme zamanı düşüktür. Bu değerlere göre elde edilen tepki kararsız bir tepki olarak görülmüştür.



Şekil 8.  $K_i = 9$   $K_p = 9$  PI tepkisi

Yapılan çalışma ile  $K_i$  ve  $K_p$  kazanç değerleri için birim basamak tepkileri çıkartılmıştır. Elde edilen bu tepkilerden Şekil 6 ve Şekil 8'deki tepkiler DA motoru için uygun değildir. Fakat bulunan bu değerler, DA motorunun PI kontrolde kullanılacak kazançlar konusunda bizlere bir fikir vermektedir.  $K_p$  kazancının yükselme zamanını azalttığı fakat asla yok etmediği,  $K_i$  kazancı ise sabit durum hatasının yok edilmesine etki ettiği, fakat daha kötü geçici durumlara sebep olduğu görülmüştür. Her ikisi

birleştirilip değerleri uygun seçildiğinde ise sistemin kararlılığı artmış, aşım süresi azalmış, geçici tepkiyi düzeltmiştir.  $K_i$  ve  $K_p$  kazançlarının etkileri Şekiller 5-8 incelenerek tablo halinde verilecek olursa  $K_i$  ve  $K_p$  değerleri artırıldığında Tablo 1'deki değişimler gözlenmiştir.

Tablo 1. PI kazanç Katsayılarının Etkileri

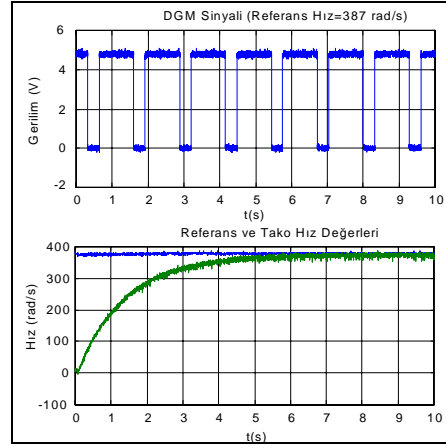
Kontrol kazançları	Yükselme zamanı	Aşım	Yerleşme zamanı	Sabit durum hatası
$K_p$	Azalır	Artar	Küçük değişim	Azalır
$K_i$	Azalır	Artar	Artar	Yok eder

## 6. 2. Deney Çalışması

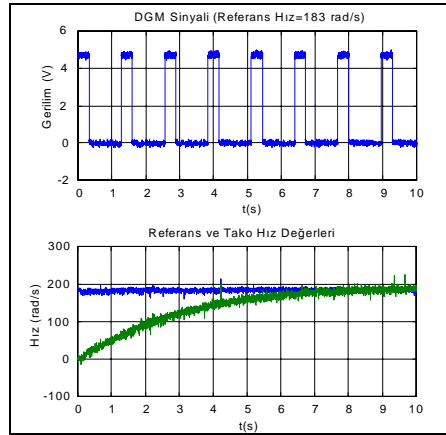
Yapılan deney çalışmasında PIC 16F877 kullanılarak üretilmiş olan DGM sinyali PI üzerinden DA motorunun sürme devresine uygulanmıştır. Şekil 2'de verilen blok diyagramdan da görüleceği gibi, DA motoruna akuple edilmiş olan tako generatörden alınan hız değeri geri besleme sistemi ile denetleyiciye aktarılmıştır. Şekil 3'de ise, hem motorun sürme, hem de denetleyicinin açık devre şemaları verilmiştir. DA motorunun endüvi gerilimi SU 509 transistörü ile kontrol edilmiştir.

Sisteme enerji verildiğinde, DA motoru kalkınarak motor hızı referans hız değerine kadar yükselip bu değerde sabit kalmaktadır. Referans hız değeri arttıkça, motora uygulanan DGM sinyalinin pozitifliği de artmaktadır. Tersine, motorun referans hız değeri azaldıkça, motora uygulanan DGM sinyalinin pozitifliği de azalmaktadır. Şekil 9'da referans hız 387 rad/s iken DGM sinyalinin pozitifliği hemen hemen tam iletimdeki değere yaklaşmış durumdadır. Şekil 10'da ise, motorun referans hız değeri 183 rad/s'ye düştüğünde, motora uygulanan DGM sinyalinin pozitifliği de tamamen azalarak, tam kesim durumuna yaklaşmıştır. Motor hızının referans hızı izlemesi ve uygun DGM sinyalinin üretilmesi, geri beslemeli PI denetleyiciden dolayı otomatik olarak sistem tarafından yapılmaktadır. Şekil 9 ve 10'da verilen motor hız değerlerinin kararlı duruma ulaşma süreleri, hem referans hız değerine, hem de PI denetleyicinin tepkisine bağlıdır.

Yapılan simülasyon çalışmaları değerlendirilerek Şekil 5-8 arasından çalışma için en uygun PI tepkisinin Şekil 7'de seçilen  $K_i = 0.35$  ve  $K_p = 0.001$  değerlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir. 387 rad/s ve 183 rad/s'de yapılan uygulamalarda istenilen hızın aşım oluşmadan ve salınım yapmadan referans değere yerleştiği görülmüştür.



Şekil 9. Referans hız 387 rad/s iken ölçülen DGM ve tako generatör sinyalleri



Şekil 10. Referans hız 183 rad/s iken ölçülen DGM ve tako generatör sinyalleri

## 7. SONUÇ

Bu çalışma, kontrol teorisi açısından ele alınmayıp uygulamaya olan katkısından dolayı ele alınmıştır. Bu nedenle bu çalışmaya uygulama yönüyle bakıldığında, gerekli olan DGM anahtarlama sinyali PIC 16F877 ile başka bir elemana ihtiyaç duyulmadan kendi DGM modülü kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca analog referans sinyalin sayısal dönüştürülebilmesi için ayrı bir analog/sayısal dönüştürücüye ihtiyaç duyulmamıştır. Yazılan program ile hem DGM sinyalleri üretilmiş hem de analog/sayısal dönüşüm yapılmıştır. Böylece bir PI kontrol için gerekli olan tüm gereksinimleri PIC 16F877 ile karşılanmıştır. Sistem analog elemanlardan arındırılmıştır, muhtemel kayıplar ve hatalar azaltılmıştır. PIC 16F877 kullanılarak üretilmiş ve üretilen DGM sinyalleri bir sürme devresi yardımıyla DA motoru üzerinde denenmiştir. Tasarlanan bu sürme devresindeki DGM sinyali, her

güçteki transistörü sürme ve kontrol edebilme özelliğine sahiptir. Yapılan çalışmada kullanılan SU 509 transistörü ile 4 kHz anahtarlama frekansına kadar çıkmıştır. Yüksek frekanslarda yapılacak anahtarlama ile DA motorunun devir sayısı kontrolü için daha iyi hassasiyet elde edilebilir. Anahtar üzerindeki güç kayıpları, özellikle anahtarlama kayıpları, rezonant devreler kullanılarak azaltılabilir. Deneysel sonuçlara göre, gerçekleştirilen PIC 16F877 tabanlı PI kontrollü DA motoru sürme devresinin basit, kullanışlı, hassas ve değişik uygulamalara hemen uyarlanabilir olduğu gösterilmiştir.

## 8. EK 1

Çalışmada kullanılan elemanların değerleri ve DA motoru parametreleri

- Motor gücü: 0.9 kW
- Motor devir sayısı:3000 d/d
- Endüvi sargısı parametreleri:DA, 200 V, 5.1 A,  $R_a=4.5 \Omega$
- Uyarım sargısı parametreleri:DA, 200 V, 0.52 A,  $R_f=290 \Omega$
- Güç transistörünün değerleri:SU 509; NPN+Darlington, 900-700 V, 30 A
- Yükseltici transistörünün değerleri:BC 237; NPN, 50 V, 0.1 A, BD 140; PNP, 100 V, 1.5 A
- Diyot değerleri: BYT 30; 200-400 V, 30 A, 50 ns, Si Di

## 9. EK 2

DGM Periyodunun ve Görev Süresinin Hesaplanması DGM periyodu, PR2 kaydedicisine yazılarak belirtilir ve denklem Ek-1'deki formülle hesaplanabilir.

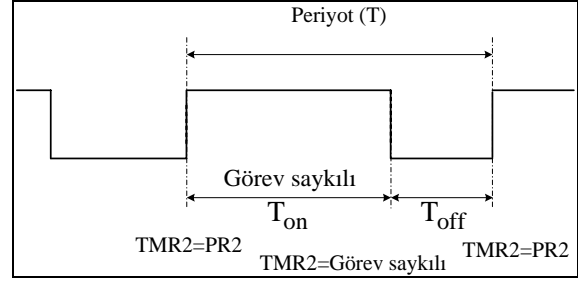
$$T = \text{DGM periyod} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot \text{TOSC} \cdot (\text{TMR2 ölçekleme değeri}) \quad (\text{EK-1})$$

DGM frekans periyodun tersi olup denklem Ek-2.2 ile hesaplanır.

$$f = 1/T \quad (\text{EK-2})$$

TMR2 görev saykılı'na ( $T_{on}$ ) eşit oluncaya kadar CCP1L'de lojik 1 bilgisi görülür. TMR2 içeriği görev saykılına eşit olduğunda, seviye lojik 0'a düşer. TMR2 içeriği sıfırlanmadan PR2'ye eşit oluncaya kadar çalışmaya devam eder. Böylece,

Şekil 11'de gösterildiği gibi bir periyotluk süre tamamlanmış olur.



Şekil 11. DGM çıkışı

Burada;

$f$  = DGM sinyalinin frekansını (Hz)

$T$  = DGM sinyalinin bir saykılı (s) gösterir.

Bir saykılık DGM süresi ise;

$$T = T_{on} + T_{off} \quad (\text{EK 2 ve 3})$$

eşitliği ile bulunabilir.

Burada;

$T_{on}$  = Pozitif DGM sinyal süresini veya DGM görev saykılı (s)

$T_{off}$  = Sıfır veya negatif DGM sinyal süresini (s) göstermektedir.

DGM görev süresi, CCP1L kaydedicisi ve CCP1CON<5:4> bitlerine yazılarak belirlenir. 10 bite kadar kararlılık elde edilebilir. DGM görev saykılı Denklem Ek-2.4'deki gibi hesaplanabilir.

$$T_{on} = (\text{CCP1L:CCP1CON<5:4>}) \cdot T_{os} \cdot c.(\text{TMR2 ölçekleme değeri}) \quad (\text{EK 2 ve 4})$$

CCP1L ve CCP1CON<5:4> herhangi bir zamanda yazılabilirler, fakat görev saykılı değeri PR2 ve TMR2 arasındaki eşleşme olmadıkça CCP1H içine mandallanamaz. DGM modunda CCP1H sadece okunabilir kaydedicidir (Microchip, 2001).

## 9. KAYNAKLAR

Ahmed, F.I., El-Tobshy, A.M., Mahfouz, A.A., Ibrahim, M.M.S. 1997. P-I and I-P Controllers in a Closed Loop for DC Motor Drives, Power Conversion Conference, Vol. 2, 613-618.

Bal, G. 2001. Doğru Akım Makineleri ve Sürücülere, Seçkin Yayıncılık, 111-212, Ankara.



- Bodson, M. 1996. Trends in Electronics for Electric Motor Control, IEEE Control Systems Magazine, Vol.16 (5), 88-96.
- Bodson, M. 1997. Electronic Chips for Electric Motor Control, American Control Conference, Vol. 1, 252-256.
- Bose, B. K. 1993. Power Electronics-Recent Advances and Future Perspective, International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Vol. 1, 14-16.
- Çalıkoğlu, D., Çolak, İ. 1988. Rotoru Sargılı Asenkron Motorlarda Yarıiletken Kullanarak Hızın Kontrol Edilmesi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt. 1, 39-47.
- Castagnet, T., Nicolai, J. 1992. Digital Drive for Home Appliances, IEE Colloquium on DC motor Variable Speed Drives and Motion Control, 6/1-6/4.
- Chan, C.C. February 1987. Low Cost Electronic-Controlled Variable Speed Reluctance Motors, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-34, No. 1, 95-100.
- Çolak, İ. 1988. Rotoru Sargılı Asenkron Motorlarda Yarıiletken Kullanarak Hızın Kontrol Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 45-47, Ankara.
- Çolak, İ., Bayındır, R., Sefa, İ. 2004. Experimental Study on Reactive Power Compensation Using A Fuzzy Logic Controlled Synchronous Motor, Energy Conversion and Management, Vol. 45 (15-16), 2371-2391.
- Davis, L. E. Jr., Moghbelli, H. H., Ahmed, A. 1992. Microprocessor Control of DC Motor Drives, Industry Applications Society Annual Meeting, Vol. 2, 1782-1786, Houston.
- Er, M.J. 1995. A Novel PI Controller for a Thyristor-DC Drive, International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Vol. 2, 850-853.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C. Jr., Umans, S. D. 1985. Electric Machinery, Mc Graw-Hill Book Co., 247-299, Singapore.
- Hwang, S. 1995. A Real-Time Digital Adaptive Tracking Controller for a DC Motor, Industry Applications Conference IAS Annual Meeting, Vol. 2, 1593-1598, Orlando.
- Khoei, A., Hadidi, Kh. 1996. Microprocessor Based Closed-Loop Speed Control System For DC Motor Using Power Mosfet, Electronics Circuits and Systems IEEE International Conference ICECS'96, Vol. 2, 1247-1250, Rhodos, Greece.
- Microchip. 2001. PIC 16F87X Data Sheet, USA.
- Nandam, P.K., Sen, P.C. 1987. Analog and Digital Speed Control of DC Drives Using Proportional\_Integral and Integral\_Proportional Control Techniques, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-34, No. 2, 227-233.
- Nicolai, J., Castagnet, T. 1993. A Flexible Microcontroller Based Chopper Driving a Permanent DC Motor, Power Electronics and Applications, Fifth European Conference, Vol. 5, 200-203, Brighton.
- Rahman, M. A. 1993. Modern Electric Motors in Electronic World, International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Vol. 2, 644-648.
- Sen, P. C. 1990. Electric Motor Drives and Control-Past, Present, and Future, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 37 (6), 562-575.
- Yılmaz, S., Tombaloğlu, B., Karabulutlu, K., Gümüş, Y., Dinçer, H. 2001. Temperature Control Applications by Means of a PIC16F877 Microcontroller, Second International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'2001), 353-357.
- Yüksel, İ. 1995. Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Basımevi, 184-187, Bursa.