

PIC TABANLI BİR PI DENETLEYİCİ İLE SENKRON MOTOR KULLANILARAK BİR KOMPANZATÖR UYGULAMASI

Ramazan BAYINDIR ve Alper GÖRGÜN

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

Geliş Tarihi : 15.10.2008

Kabul Tarihi : 16.01.2009

ÖZET

Bu çalışmada PIC 18F452 mikro denetleyici kullanılarak senkron motorun PI kontrolü gerçekleştirilmiş ve değişik uyartım akımlarında endüktif, kapasitif ve omik çalıştırılması sağlanmıştır. Sayısal sistemlere dönüşümü karışık olan PI kontroldeki integral algoritmasını gerçekleştirmek için integral alma işlemi yerine, belirli bir zaman dilimi içerisinde alınan tüm hata değerlerinin toplamının örnekleme periyodu ile çarpılması kullanılmıştır. Çalışmada PI parametrelerinin referans değerleri Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi ile tespit edilmiştir. Sistemin çalışması esnasında bu parametreler, tasarlanan yazılım ile mikro denetleyici içerisinde hesaplanarak belirlenen algoritma çerçevesinde eş zamanlı olarak değiştirilmiştir. Ayrıca kullanıcıya LCD ekran üzerinden anlık olarak sisteme ait akım, gerilim, frekans ve güç katsayısı büyüklüklerin gösterilmesi sureti ile çalışmaya görsel bir boyut kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : *Senkron motor, PI kontrol, Endüktif çalışma, Kapasitif çalışma, Omik çalışma.*

A COMPENSATOR APPLICATION USING SYNCHRONOUS MOTOR WITH A PI CONTROLLER BASED ON PIC

ABSTRACT

In this paper, PI control of a synchronous motor has been realized by using a PIC 18F452 microcontroller and it has been worked as ohmic, inductive and capacitive with different excitation currents. Instead of solving integral operation of PI control which has difficulties with conversion to the digital system, summation of all error values of a defined time period are multiplied with the sampling period. Reference values of the PI algorithm are determined with Ziegler-Nicholas method. These parameters are calculated into the microcontroller and changed according to the algorithm. In addition, this work designed to provide visualization for the users. Current, voltage and power factor data of the synchronous motor can be observed easily on the LCD instantly.

Keywords : *Synchronous motor, PI control, Inductive working, Capacitive working, Resistive working .*

1. GİRİŞ

Senkron motor, rotor devir sayısı ile stator döner alanının devir sayısı birbirine eşit olan; yani rotora uygulanan doğru akım sayesinde meydana gelen

kutupların, stator döner alanı ile kilitlemesi prensibi ile dönen ve pratikte devir sayısı yükü değişmeyen bir alternatif akım motorudur.

Senkron motorlarda uyartım akımı değiştirildiğinde motor şebekeden; omik, endüktif ve kapasitif

karakterde akım çeker. Senkron motorun omik, endüktif ve kapasitif olarak çalıştırılması ve değişik kontrol uygulamaları ile ilgili literatür de birçok çalışmaya rastlamak mümkündür (Abido v.d., 1997; Handschin v.d., 1994; Çolak v.d., 2003). Yapılan bu çalışmalarda senkron motorun kontrol edilmesinde genel olarak karşılaşılan zorluklara bakıldığında güvenilirlik, doğruluk ve basitlik ön plana çıkmaktadır. Literatürde senkron motor kontrol uygulamalarında kullanılan PI ve PID çalışmaları iki ana başlık altında incelenmektedir.

İlk grupta ele alınan denetim algoritmalarında kontrol parametreleri kontrol işlemi boyunca sabit tutulmakta veya elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesi neticesinde sonradan optimal bir değerde ayarlanmaktadır. Temel düzeyde kalan bu kontrolör yapısında karşılaşılan en genel problem, zaman içerisinde sistem parametrelerinde meydana gelebilecek değişikliklerde, sistemin etkin bir şekilde kontrol edilemeyecek olmasıdır. Bu tip kontrolörler işlemlerini tek ve sabit bir döngü içerisinde gerçekleştirdikleri için tek katlı kontrolörler olarak adlandırılmaktadırlar (Zhao v.d., 1993).

İkinci grupta ele alınan denetim algoritmalarını ilk gruptan ayıran fark, parametrelerin sistemin çıkışına göre on-line olarak ayarlanmasıdır. İkinci grupta yer alan kontrolörler sabit parametrelere sahip olmadıkları için lineer olmayan çok katlı kontrolörler olarak adlandırılırlar. Bu tip kontrol yapısının en büyük avantajı her bir kontrolörün farklı amaçlar için tasarlanmış olmasıdır. Böylelikle kontrol algoritmaları basitleşirken, işlemlerin doğruluk, hız ve hassasiyeti artmaktadır (Berger, 1996).

Simülasyon çalışmalarında, sisteme ait transfer fonksiyonu ve karakteristik denklem kullanılarak gerçekleştirilen modellemelerde elde edilen değerler, uygulama aşamasında gerçeklikten oldukça uzak sonuçlar verebilmektedir. Zira, sistemin modellenmesinde göz ardı edilen bazı büyüklükler çıkış tepkisi üzerinde önceden tahmin edilemeyen önemli etkiler yaratmaktadır. Mikrodenetleyiciler de OSC1 ve OSC2 uçlarına bağlanan kristalin frekansı, içeride dörde bölünerek kullanılmaktadır. Örneğin mikro denetleyiciye bağlanan 4 MHz'lik kristalin, denetleyici içerisin de kullanılan kısmı 1 MHz'dir. Dolayısıyla mikro denetleyicinin bir komutu işleme süresi 1/1MHz den 1 μ s olacaktır. Denetleyiciden bir program döngüsünde, hem birkaç kanaldan analog dijital dönüşüm yapması, hem hatasız olarak PWM üretmesi, harici kesmeleri kaçırmadan algılaması ve yeni kesme gelmeden evvel işlemlerini tamamlaması ve algılayıp hesapladığı tüm bilgileri LCD yada iletişim yöntemleri ile PC ye aktarması

beklenmektedir. Bu sıkışık döngüye ek olarak birde türev ve integral algoritmalarının eklenmesi, hesaplama sürelerinin uzamasına hatta döngünün zaman aşımına uğramasına neden olacaktır. Kapalı döngü kontrol sistemlerinde hatayı algılama ve düzeltici tepki verme işlevlerinde zamanın önemi çok büyüktür. Ayrıca sistem, çalışma esnasında maruz kaldığı tüm harici ve beklenmedik değişkenler göz önüne alınarak modellenmiş dahi olsa, kontrol algoritmasının işlemesi esnasında mikro denetleyiciye türev veya integral işlemlerinin yaptırılması ciddi zaman ve program hafızası alacağı için anlık hatalara karşı verilen frekans tepkisinde önemli ölçüde bir yavaşlama olacaktır. Dahası karmaşık hesaplamalarla kaybedilecek zaman aralığında sistemin tamamen kontrolden çıkma ya da osilasyon yaparak hiçbir zaman istenen referans değere oturamama ihtimali her zaman mevcuttur. Buna ek olarak mikro denetleyiciye integral ve türev alma algoritmaları gerçekleştirebilecek programların yazılması da oldukça zor ve karmaşıktır (Charais ve Lourens, 2004). Bu nedenle çalışmada integral alma işlevi yerine, belirli bir zaman dilimi içerisinde alınan tüm hata değerlerinin toplanması ve örnekleme periyodu ile çarpılması yöntemi tercih edilmiştir.

Bu çalışmada senkron motorun PI kontrol algoritması ile endüktif, kapasitif ve omik olarak çalıştırılması ile bu üç çalışma halinde motora ait akım, gerilim, frekans ve güç katsayısı büyüklükleri ölçülerek LCD ekranda kullanıcıya gösterilmesi ve PI kontrol algoritmasının işlemci içerisinde, karmaşık algoritmalar olmaksızın çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca değişen sistem parametreleri karşısında zamanla kontrol edebilme özelliğini yitirebilen sabit K_p ve K_i katsayıları yerine çalışma esnasında sürekli hesaplanarak optimum değeri tespit edilen adaptif parametreler tercih edilmiştir.

2. PI TASARIMI

Bir kontrol sistemi seçilirken, sistemin hız, cevap verme süresi, hassasiyet, tolerans gibi karakteristik davranış özellikleri incelenir ve bu değerlere göre seçim yapılır. Kontrol sistemlerine ait algoritmaları açık ve kapalı döngülü sistemlere ait kontrol algoritmaları olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Ancak kapalı ve açık devre kontrol algoritmaları arasında çok temel farklılıklar bulunmaktadır. Açık devre kontrol sisteminde kontrol edilen parametre ile ilgili ayarlama yapılır ancak ayarlanılan bu değerle ilgili herhangi bir ölçme, değerlendirme veya düzeltme yapılmaz. Başka bir deyişle çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek olası bir hata

anında giriş değişkeninin herhangi bir düzeltici, telafi edici fonksiyonu yoktur. Bu olumsuz durum sebebiyle endüstriyel kontrol sistemlerinde açık döngülü algoritmalar genellikle tercih edilmezler. Kapalı devre kontrol algoritmalarında ise ayarlanılan değerle ilgili sürekli ölçmeler yapılarak istenilen çıkış değerinin kontrol edilmesi ve sabit kalması, yani hatanın kısa bir sürede telafi edilmesi sağlanır. Kapalı döngülü kontrol algoritmaları, bu olumlu ve düzeltici karakteristikleri nedeniyle endüstriyel çalışmalarda çok geniş kullanım alanları bulmaktadır (Doğan, 2006). Kontrol sistemlerinde oransal (P), integral (I) ve türevsel (D) olarak 3 farklı tip temel denetleyici kullanılmaktadır.

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

olmak üzere PID kontrol algoritması;

$$r(t) = Kp e(t) + Ki \int e(t) + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

şeklinde dir.

Tek katlı lineer kontrol sisteminde $r(t)$ giriş büyüklüğünü, $y(t)$ geri besleme bilgisini ve $e(t)$ ise hata oranını ifade etmektedir. Yani sistemin hata oranı $e(t)$, giriş büyüklüğü $r(t)$ ile geri besleme bilgisi $y(t)$ arasındaki farka eşittir. Tasarlanan sistemde integral denetleyici PIC 18F452 mikro denetleyiciye, C programlama dilinde hata ölçümüne dayalı bir algoritma halinde yazılarak dijital sisteme dönüştürülmüştür.

İntegral denetleyicinin mikrodenetleyiciye aktarılmasında Eşitlik.3'den faydalanılmıştır.

$$\int_0^t e(t) dt \cong Ts \sum_0^n e(n) \quad (3)$$

Eşitlik. 3'te kullanılan Ts değişkeni mikro denetleyicinin örnekleme periyodunu, n değeri ise hatanın ölçüm sırasını belirtmektedir.

Ek olarak sisteme türev denetim organı eklenmek istenilirse;

$$\frac{de(t)}{dt} \cong \frac{e(n) - e(n-1)}{Ts} \quad (4)$$

eşitliğinden faydalanılır.

Eşitlik.5 ile PI denetim algoritmasını yeniden yazılırsa

$$r(t) \cong Kp e(n) + Ki Ts \sum_0^n e(n) \quad (5)$$

eşitliği elde edilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

PI algoritması birçok farklı yollardan elde edilebilir (Park v.d., 1998; Atherton ve Majhi, 1998). Manual olarak elle ayarlama yapılarak deneme-yanılma yolu ile kuralları belirlenip tasarlanacağı gibi, analitik olarak hesabı da yapılabilir (Bishop, 1997; Fredarick ve Chow, 2000). Tasarlanan sistemde kontrolör parametreleri, PIC 18F452 mikro denetleyicinin Analog Dijital Dönüştürücü uçlarından iki tanesine özdeş potansiyometreler bağlanması suretiyle bir kereye mahsus olarak kullanıcı tarafından Ziegler-Nichols kapalı çevrim metodu ile ayarlanmaktadır. Bu yöntemde ilk olarak integral kazancına ait potansiyometre sıfırlanarak, integral zaman sabiti $T_i = \infty$ yapılır. Böylelikle kontrolörün integral parametresinin etkisi ortadan kaldırılır. Orantı kazancını ayarlayan potansiyometre sıfırdan başlayarak yavaş yavaş sistem osilasyona gidene kadar artırılır. Osilasyon anındaki kazanç K_u , ve osilasyon zaman aralığına P_u denilirse; Tablo 1'de verilen Ziegler-Nichols yöntemiyle, Eşitlik 6 ve 7 yardımı ile kritik kazanç ve kritik periyot değerleri için kontrolör parametreleri hesaplanır (Ziegler ve Nichols, 1942).

Tablo 1. Ziegler-Nichols parametreleri.

Kontrolör Tipi	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 * K_u$	∞	0
I	$0.45 * K_u$	$0.833 * P_u$	0
D	$0.6 * K_u$	$0.5 * P_u$	$0.125 * P_u$

$$K_p = 0.45 K_u \quad (6)$$

$$K_i = 0.833 P_u = \frac{K_p}{T_i} \quad (7)$$

Hesaplanan bu değerleri hafızaya alan sistem, çalışma esnasında yine bu değerleri baz alarak belirlenen sınırlar çerçevesinde en uygun parametreyi bularak sisteme uygulamaktadır (Gonzalez ve Ambata, 2004). PI-PID kontrol tasarımında karşılaşılan en temel sorun, kontrol işlemleri boyunca K_p , K_i ve K_d değişkenlerinin hangi kriterlere göre ve ne zaman değiştirilmesi gerektiğinin tespitidir. Bu nedenle K_p , K_i ve K_d

değişkenlerinin sistem üzerindeki etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. PI-PID kontrolde Ki ve Kd değerleri sıfır olarak alınırsa türev ve integral etkisi ortadan kaldırılmış olur. Sistem bu şekilde çalışırken Kp değerinin artırılması ω_n doğal frekansın artmasını sağlayacaktır. ω_n değerinin artmasına karşın sönüm katsayısı δ değeri küçülecektir. Kp'nin dolayısıyla ω_n doğal frekansın artması ile yükselme zamanı küçülecektir. Ancak buna karşılık azalan sönüm katsayısı δ ile referans değerden aşımı artacaktır. Sonuç olarak Kp'nin artışı aşımı artırırken, referans değere ulaşma zamanını azaltacaktır.

Sisteme Ki integral kontrolcünün eklenmesi, sistemin derecesini 1 derece yükseltmektedir. Ki katsayısının artması durumunda yükselme zamanında küçülme meydana gelirken, aşım değerinde önemli ölçüde bir artma oluşacaktır. Buna ek olarak sisteme türev kontrolcü Kd nin eklenmesi durumunda δ değeri büyüyecektir. Artan δ değerine paralel olarak aşım azalacak ve dolayısıyla sistem daha kararlı bir çalışma durumuna geçecektir.

Gerçekleştirilen çalışmada Kp, Ki ve Kd katsayılarının değişimlerinin, mikro denetleyici içerisinde değerlendirilme mantığı Tablo 2'de verilmiştir (Baba,1989).

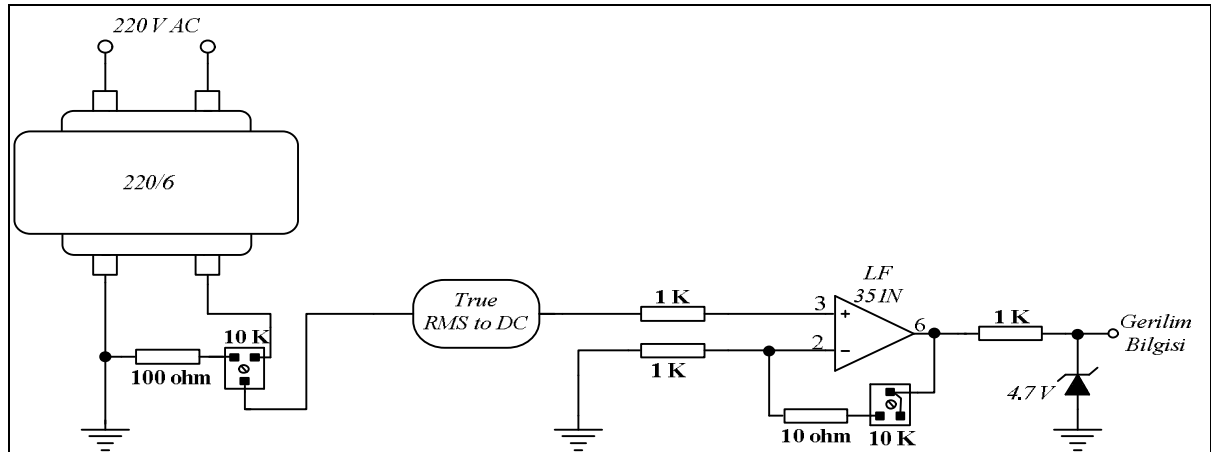
Gerçekleştirilen yazılım ile bu çerçeve içerisinde kalmak koşulu ile sistemin orantı kazancı Kp ve integral kazancı Ki mevcut şartlara göre sürekli ayarlanmaktadır.

Tablo 2. Kp-Ki-Kd katsayılarının değişimi.

	Aşım İstenen Değerde	Aşım Büyük	Aşım Küçük
$t_{aşım}$ istenen değerde	İstenen Durum	Ki ↓ veya Kd ↑	Ki ↑ veya Kd ↑
$t_{aşım}$ büyük	Kp ↑ (İstenen değere gelince birinci satıra geç)		
$t_{aşım}$ küçük	Kp ↓ (İstenen değere gelince birinci satıra geç)		

3. 1. Senkron Motor PI Kontrolü için Geliştirilen Donanım ve Yazılım

Senkron motorun endüktif, kapasitif ve omik bölgede çalışmasının denetim ve kontrolü için sisteme ait akım, gerilim, frekans ve güç katsayısı büyüklüklerinin bilinmesi gerekmektedir (Çolak, 2007). Tasarlanan sistem temel olarak, bu değişkenleri anlık olarak ölçme ve değerlendirme üzerine kurulmuştur. Şekil 1'de gerilim okuma kartı görülmektedir. Gerilim okuma kartı senkron motora uygulanan faz nötr arası RMS gerilim değerini True RMS to DC konvertör vasıtasıyla doğru gerilime dönüştürmek ve mikro denetleyicinin okuyabileceği güvenli bir gerilim değerine ayarlamak üzere tasarlanmıştır. Transformatorün primerine RST fazlarından herhangi biri ile nötr hattı bağlanarak çıkış gerilimi dönüştürme oranı doğrultusunda düşürülmüştür. Düşürülen bu alternatif gerilim 5V seviyesine çekilerek konvertöre uygulanmış ve çıkışta elde edilen DC gerilim denetleyicinin RA0 ucuna gönderilmiştir. Devreye gerilim yükselmelerinde işlemciyi koruması için birde 4.7 V'luk zener diyot eklenmiştir.



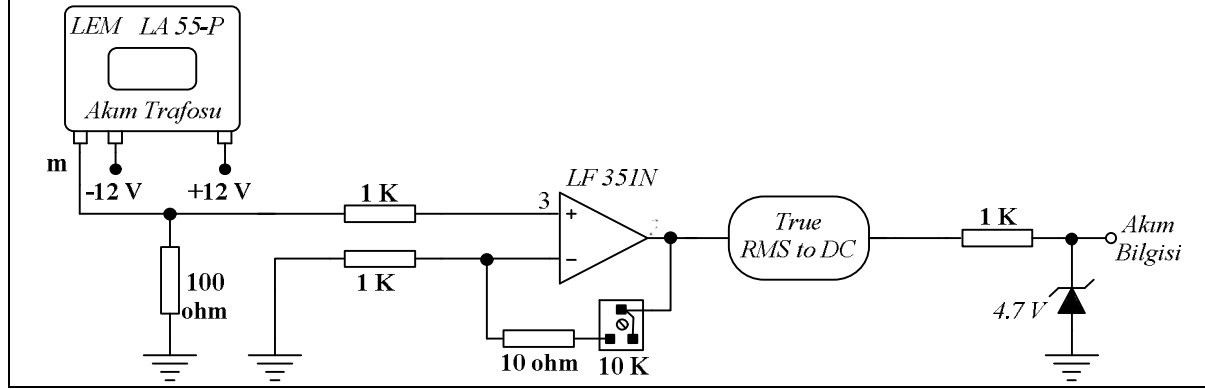
Şekil 1. Gerilim okuma kartı.

Şekil 2'de akım okuma kartı verilmiştir. Akım okuma devresinde LEM firmasının ürettiği LA 55-P tipi akım trafosu kullanılmıştır. Akım trafosunun dönüştürme oranı 1000/1'dir. Senkron

motorun normal çalışma şartlarında çekeceği akım, trafonun dönüştürme oranına kıyasla çok küçük olacağı için, True RMS to DC konvertöre gönderilecek olan bilgidaki hassasiyet çok zayıf

olacaktır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için opamp'lı bir evirmeyen yükselteç devresi tasarlanmıştır. Akım trafosu çıkışından elde edilen düşük genlikli alternatif gerilim opamp devresinde yükseltilmekte, konvertörden geçtikten sonra mikro

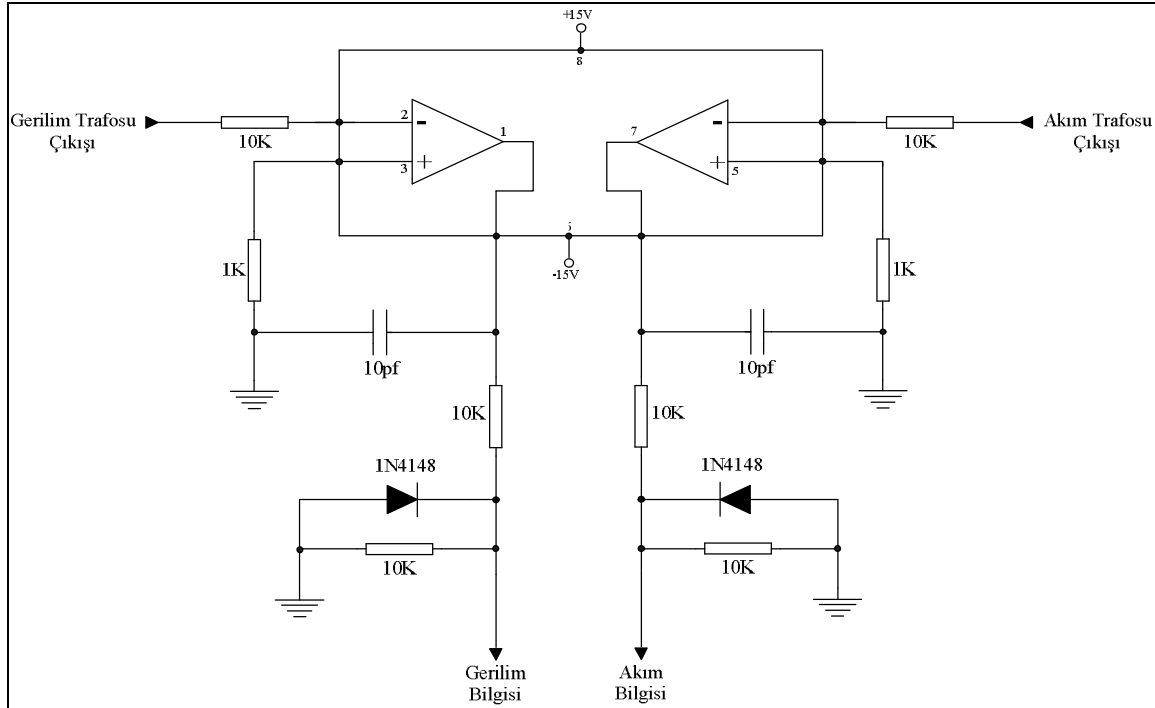
denetleyicinin RA1 ucuna uygulanmaktadır. Ayrıca opampın kazanç değerini ayarlamak için bir trimpot ve mikro denetleyiciyi gerilim yükselmelerinden korumak amacıyla bir zener diyot devreye eklenmiştir (Çolak, 2007).



Şekil 2. Akım okuma kartı.

Faz farkı ve frekans bilgisini elde etmek için ise yine opamp kullanılarak Şekil 3'teki devre tasarlanmıştır, akım ve gerilim trafosunun çıkışından elde edilen sinüsoidal gerilimin sıfır noktasından geçtiği anda opampın Lojik 1 çıkış sinyali vermesi sağlanmıştır. Elde edilen bu lojik çıkış bilgilerinden herhangi biri işlemciye gelince TMR0 sayıcısını çalıştırmış,

sonradan gelen çıkış ise TMR0 sayıcısını durdurarak değeri almıştır. Aradan geçen süre esas alınmak suretiyle $\cos\phi$ değeri hesaplanmıştır. Yine akım ya da gerilim bilgisinden herhangi birinin sıfır noktasından geçtiği aralıklar referans alınıp sayılarak frekans değeri hesaplanmıştır (Çolak, 2007).

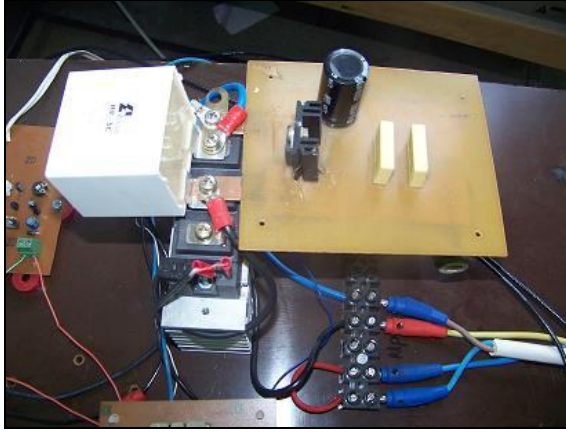


Şekil 3. Sıfır geçiş algılayıcı.

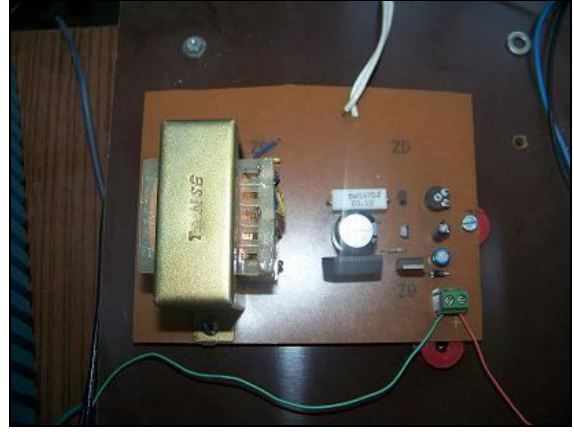
Çalışmada öncelikle bir faza ait akım ve gerilim bilgileri ölçme devreleri yardımı ile denetleyiciye uygulanacak hale getirilmiştir. Ayrıca güç katsayısını ve frekansı ölçebilmek için sıfır geçiş anahtarı yardımıyla akım ve gerilimin sıfır geçiş anları tespit edilmiştir. Daha sonra bu bilgiler PIC 18F452 mikro denetleyicisine aktarılarak motorun akım, gerilim, frekans ve güç katsayısı LCD ekran üzerinde gösterilmiştir. Senkron motor uyarım akımını ayarlamak için anahtarlama devre elemanı olarak Mitsubishi firması tarafından üretilen

2MBI150N-60 IGBT modül kullanılmıştır. Her modül kendi içerisinde yarım köprü bağlantı şekli oluşturacak şekilde iki IGBT'den oluşmaktadır. Üzerinden 150 amper kadar akım geçirilebilmekte ve tutma gerilimi 400 voltur. Resim 1a'da Anahtarlama Devresi ve Resim 1b'de ise Mitsubishi firması tarafından üretilen EXB841 IGBT sürücü devresi görülmektedir.

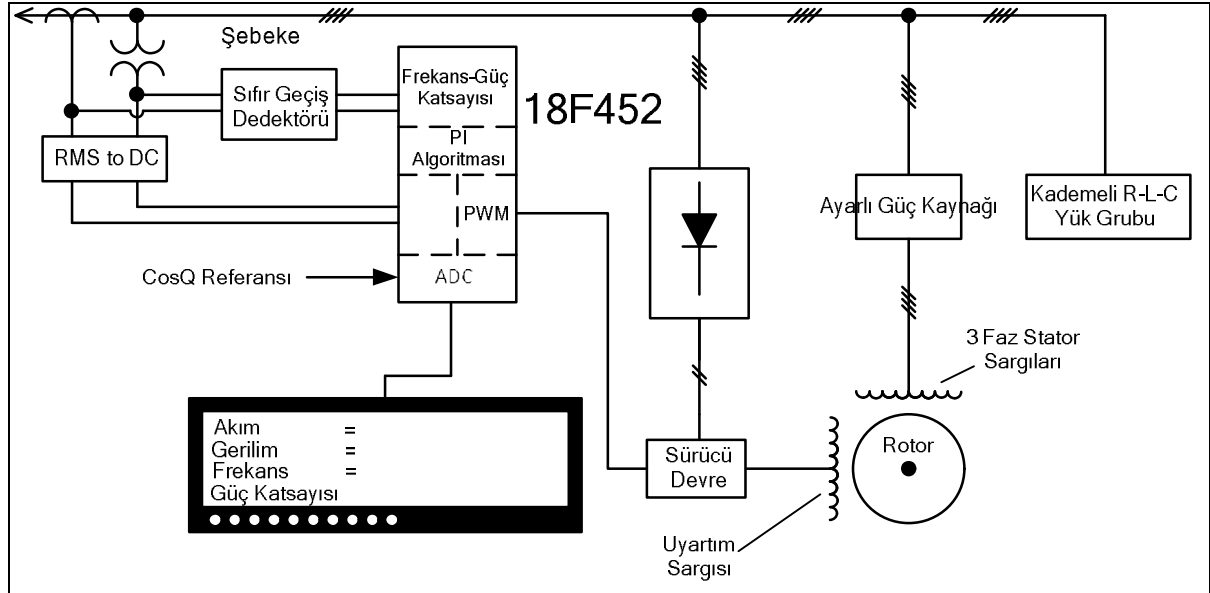
Şekil 4'de sistemin blok diyagramı ve Şekil 5'te ise program akış şeması görülmektedir.



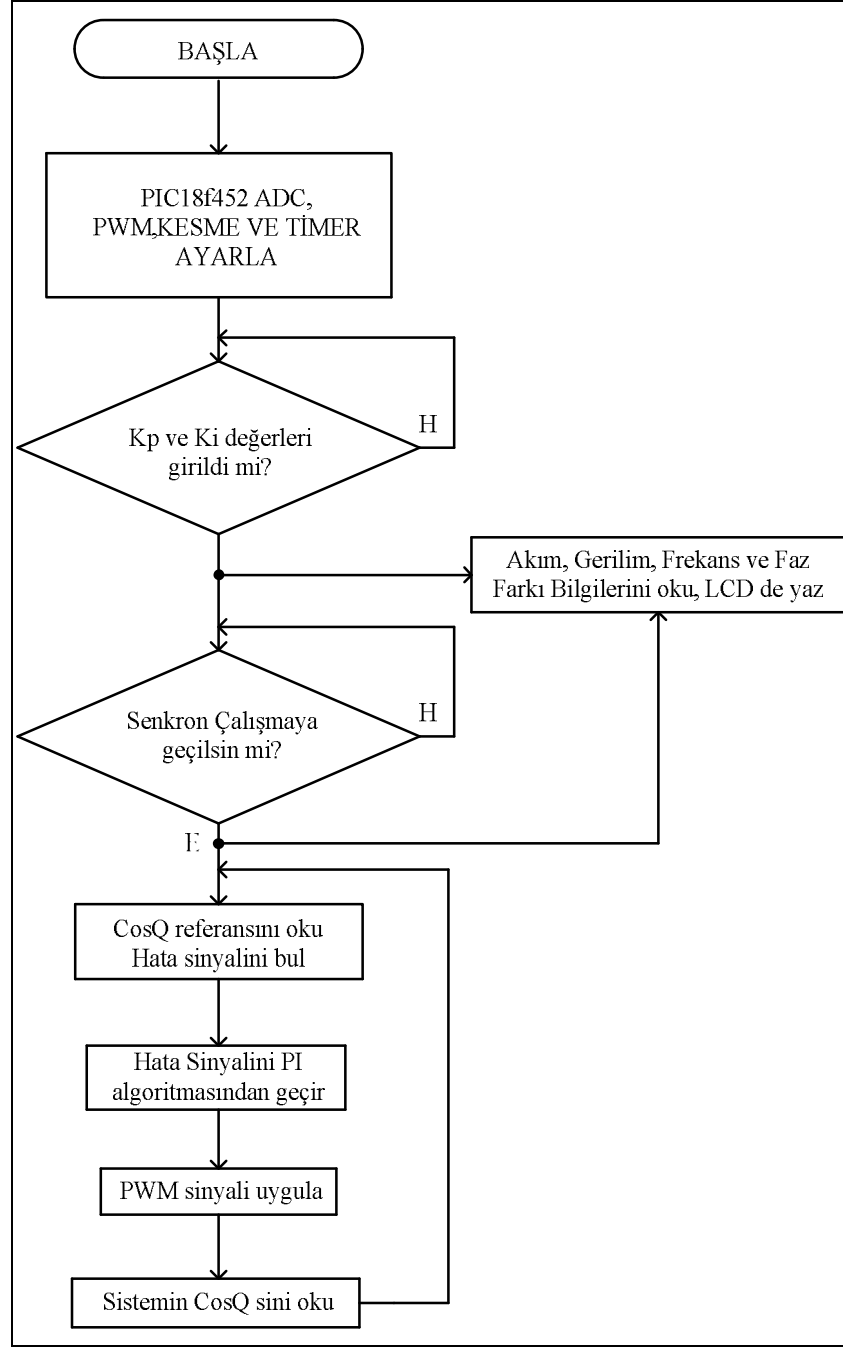
Resim 1a. Anahtarlama devresi.



Resim 1b. Sürücü devresi.



Şekil 4. Sistemin blok şeması.



Şekil 5. Program akış diyagramı.

Kullanıcıdan K_p ve K_i değerleri alındıktan sonra akım, gerilim, frekans ve faz farkı büyüklükleri LCD üzerinde gösterilmeye başlanmıştır. Motora uyarım verilme onayı geldikten sonra referans $\cos\phi$ değerini alan mikro denetleyici, motorun çektiği akım ve gerilim değerlerine göre sistemin güç katsayısını hesaplayıp, referans sinyal ile karşılaştırarak hata sinyalini bulmaktadır. Elde edilen bu hata sinyali PI algoritmasından geçirilerek

anahtarlama devresine uygulanacak PWM değeri hesaplanmaktadır.

Yapılan çalışma ile motora ait parametrelerin zamanla değişimini bir ekran üzerinden kontrol edebilen kullanıcı, aynı zamanda motorun çalışma bölgesini değiştirerek aradaki akım, gerilim ve güç katsayısı ilişkilerini anlık olarak gözleyebilmektedir. Resim 2’de deney düzeneğine ait fotoğraflar görülmektedir.



Resim 2. Deney düzeneğine ait fotoğraflar.

4. UYGULAMA

Yapılan deneylerde senkron motor, kullanıcı tarafından belirlenen referans $\cos\phi$ değerinde çalışırken, motorun bağlı olduğu şebeke, çeşitli kademelerde omik, endüktif ve kapasitif yüklerle yüklenmiştir. Bu değişken yük rejimi karşısında senkron motorun referans güç katsayısı değerini koruyabilmek için uyarım akımını, dolayısıyla

şebekeden çektiği alım karakteristiğini değiştirdiği gözlenmiştir. Uygulamada kullanılan senkron motora ait etiket değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Çalışmada şebekeyi yüklemek amacıyla kullanılan ve De Lorenzo firmasına ait DL 1017R omik yük grubu, DL 1017L endüktif yük grubu ve DL 1017C kapasitif yük grubu ile ilgili etiket ve kademe değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan Senkron Motora ait etiket değerleri.

V (Volt)	I (Amper)	I_u (Amper)	Hız (d/d)	$\cos\phi$	Güç (kVA)	Ağırlık (kg)
400-231 $\lambda - \Delta$	5.8-10	2.25	1500	0.8	4	156

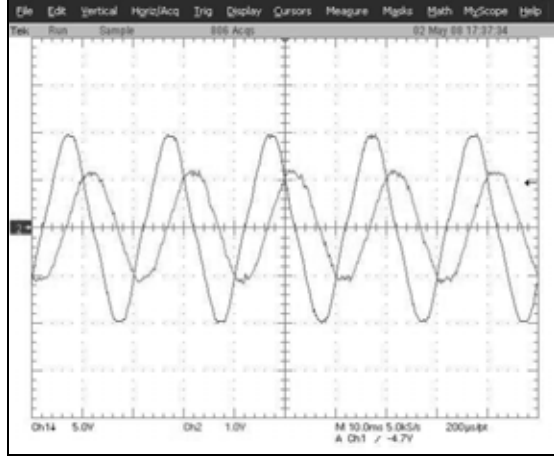
Tablo 4. Omik-Endüktif ve kapasitif yük/kademe değerleri.

	1. Kademe	2. Kademe	3. Kademe	4. Kademe	5. Kademe	6. Kademe	7. Kademe
R	1050 Ω	750 Ω	435 Ω	300 Ω	213 Ω	150 Ω	123 Ω
L	4.46 H	3.19 H	1.84 H	1.27 H	0.90 H	0.64 H	0.52 H
C	2 μF	3 μF	5 μF	8 μF	10 μF	13 μF	18 μF

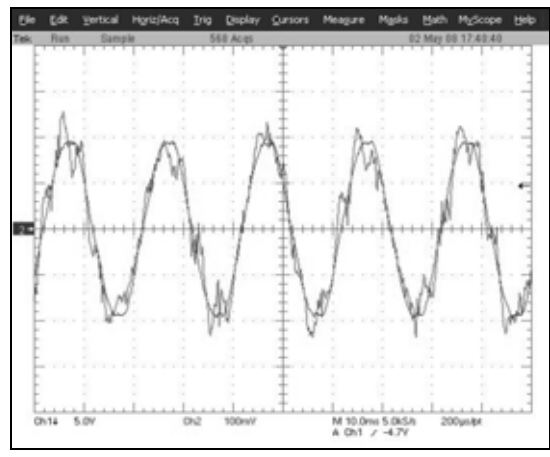
Yapılan deneylerde motor öncelikle asenkron çalıştırılmış, ardından uyarım verilerek senkron çalışmaya geçmesi sağlanmıştır. Motorun asenkron olarak çalışırken şebekeden çektiği akım ve gerilim değerleri ile kullanıcıya sunulan LCD ekran görüntüleri Resim 3'te görülmektedir.

Senkron motor, asenkron çalışırken 86.5° endüktif akım çekmektedir. Yani güç katsayısı 0.06'dır. Bu durumda senkron motor terminal gerilimi 229.3 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım 8.34 A'dır. Senkron motor asenkron olarak çalıştırıldıktan sonra uyarım verilerek senkron çalışmaya geçirilmiş ve referans noktası omik çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Bu ilk aşamada herhangi bir yükleme yapılmamış olup, tüm yük grupları devre dışı

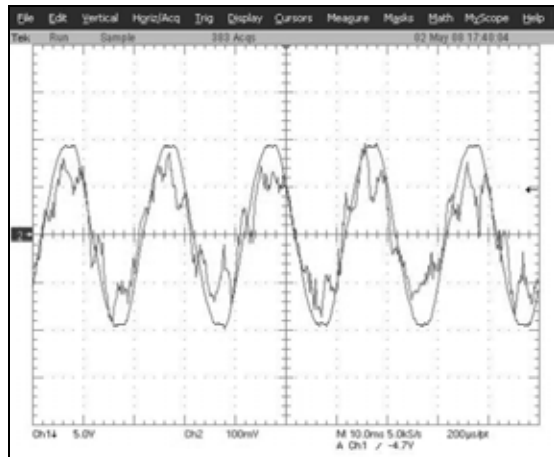
bırakılmıştır. Senkron motor omik bölgede yüksüz olarak çalışırken, şebekeden bir faz için çektiği akım değeri 0.98 A dolaylarına düşmüştür. Resim 4'de görüldüğü gibi güç katsayısı 1 olup akım ve gerilim eğrileri aynı fazdadır. Referans değer omik noktada sabit tutulmak kaydı ile devreye değişik omik ve endüktif yük grupları bağlandığında elde edilen sonuçlar Resim 5-7'de verilmiştir. Yükün kademeli artışlarına göre şebekeden çekilen akım değerindeki değişimler ve sistemin verilen omik referansı takip ettiği görülmüştür. İlk deneyde 1.kademe omik ve 2. kademe endüktif yük grupları devreye alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 238.9 V olup şebekeden bir faz için 1.39 A akım çekerken, Resim 5'te görüldüğü gibi motorun yine verilen güç katsayısı referansını takip ettiği gözlenmiştir.



Resim 3. Asenkron çalışma.



Resim 5. Yüklü PF = 1 omik referansı ile çalışma.



Resim 4. Yüksüz PF = 1 omik referansı ile çalışma.

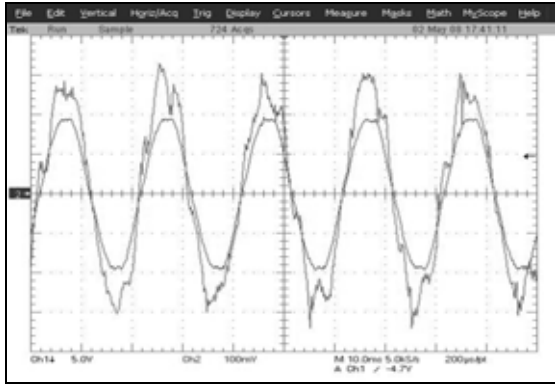
İkinci deneyde ise 1. kademe omik ve 3. kademe endüktif yük grupları devreye alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 239.5 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım değeri 1.96 A olurken, Resim 6'da görüldüğü gibi motorun yine verilen 1 güç katsayısı referansını takip ettiği gözlenmiştir.

Üçüncü deneyde ise 3. kademe omik yük grubu ve 4.kademe endüktif yük grupları devreye alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 239.2 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım değeri 3.04 A olurken, Resim 7'de görüldüğü gibi motorun yine verilen 1 güç katsayısı referansını takip ettiği gözlenmiştir. Yapılan diğer deneylerde (4-8) senkron motora 0.75 endüktif çalışma referansı verilerek yüksüz ve çeşitli yük durumlarında, çalışması izlenmiştir.

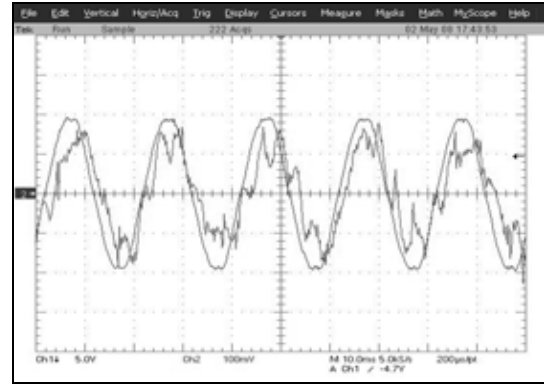
Dördüncü deneyde senkron motor 0.75 endüktif referansı ile yüksüz olarak çalıştırılmıştır. Bu durumda, Resim 8'de görüldüğü gibi senkron motor terminal geriliminin 242.2 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım değerinin 0.96 A olduğu izlenmiştir.



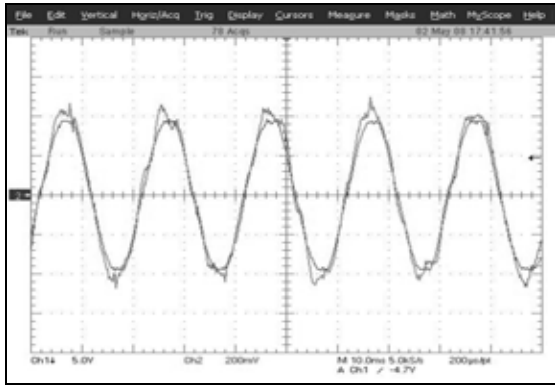
Resim 6. Yüklü PF = 1 omik referansı ile çalışma.



Resim 8. Yüksüz PF = 0.75 endüktif referansı ile çalışma.



Resim 7. Yüklü PF = 1 omik referansı ile çalışma.



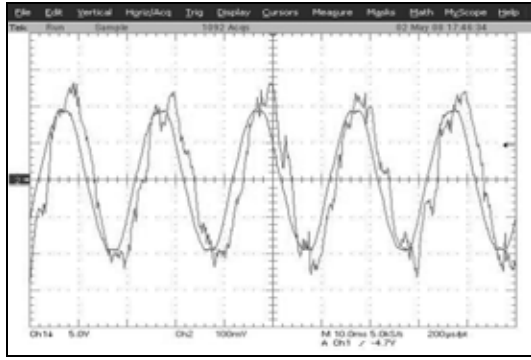
Beşinci deneyde ise 1. kademe omik yük grubu ve 3.kademe endüktif yük grubu devreye alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 242.2 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım değeri 1.61 A olurken, Resim.9'da görüldüğü gibi motorun verilen 0.75 endüktif referansını takip ettiği gözlenmiştir.

Altıncı deneyde ise 1. kademe omik yük grubu ve 5. kademe endüktif yük grubu devreye alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 241.1 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım değeri 1.78 A olurken, Resim 10'da görüldüğü gibi motorun verilen 0.75 endüktif referansını takip ettiği gözlenmiştir.

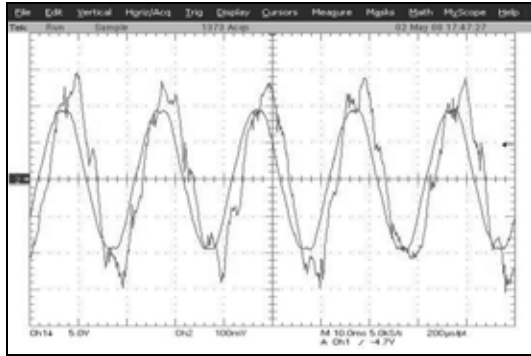
Yedinci deneyde ise endüktif yük grubu devreden alınarak yerine 3.kademede kapasitif yük grupları alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 243 V ve şebekeden bir faz için çektiği akım değeri 1.54 A olurken, Resim 11'de görüldüğü gibi motorun verilen 0.75 endüktif referansına geçişi gözlenmiştir.

Sekizinci deneyde ise 1. kademe omik yük grubu ve 5. kademe kapasitif yük grubu devreye alınmıştır. Bu durumda, senkron motor terminal gerilimi 243 V ve şebekeden çektiği akım değeri 1.67 A olurken,

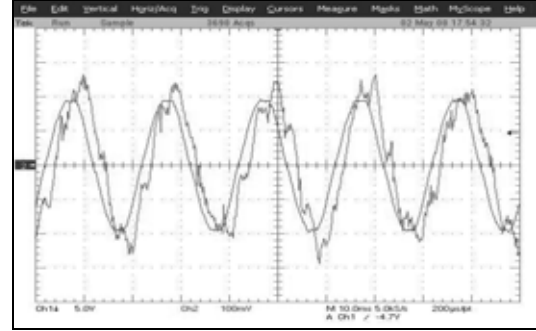
Resim 12’de görüldüğü gibi motorun verilen 0.75 endüktif referansını takip ettiği gözlenmiştir.



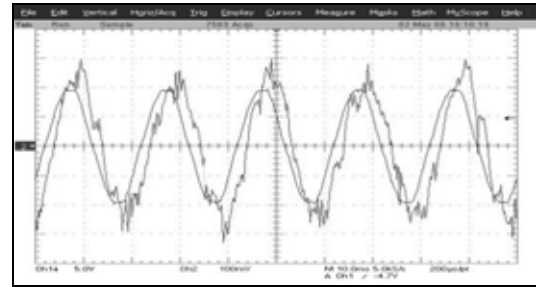
Resim 9. Yüklü PF=0.75 endüktif referansı ile çalışma.



Resim 10. Yüklü PF = 0.75 endüktif referansı ile çalışma.



Resim 11. Yüklü PF = 0.75 endüktif referansı ile çalışma.



Resim 12. Yüklü PF=0.75 endüktif referansı ile çalışma.

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir. Tasarlanan sistemin ve PI denetleyicinin, senkron motorun verilen güç katsayısı referansını hatasız ve hassas olarak takip etmesini sağladığı görülmüştür.

Tablo 5. Deney sonuçları.

Deney No	Senkron Motor			Güç Katsayısı (PF)		Yük Kademeleri		
	Akım	Gerilim	Frekans	Referans	Ölçülen	Omik	Endüktif	Kapasitif
1	8.34	229.30	49.91	-	0.06	-	-	-
2	0.98	240.00	50.02	1	1	-	-	-
3	1.39	238.90	49.98	1	1	1	2	-
4	1.96	239.52	50.15	1	1	1	3	-
5	3.04	239.25	50.13	1	1	3	4	-
6	0.96	242.21	49.99	0.75	0.75	-	-	-
7	1.61	242.21	50.05	0.50	0.75	1	3	-
8	1.78	241.13	50.00	0.75	0.75	1	5	-
9	1.54	243.00	49.99	0.75	0.75	1	-	3
10	1.67	243.00	50.12	0.75	0.75	1	-	5

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada çok fonksiyonlu lojik uygulamaların hızlı ve ucuz bir şekilde yapılabilmesine olanak veren PIC 18F452 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bilgisayar üzerinde hazırlanan yazılım Microchip firması tarafından geliştirilmiş PIC serisi 18F452 mikrodenetleyicisine yüklenerek, senkron motor çalıştırılmıştır. Yapılan çalışma ile PI denetimli senkron motorun endüktif, kapasitif ve omik olarak çalıştırılması gerçekleştirilerek, bu çalışma durumlarında motora ait akım, gerilim, frekans ve faz farkı büyüklükleri ölçülerek LCD ekranda kullanıcıya gösterilmiştir. Deney sonuçlarında da görüldüğü üzere PI denetim algoritması vasıtası ile Senkron motor, kullanıcı tarafından belirlenen referans güç katsayısı değerini yüksek bir doğrulukla takip etmektedir. Adaptif yapısı sayesinde yükün ani değişimlerine hızlı tepkiler verebilen senkron motorun, kompanzasyon uygulamalarında da kullanılması mümkündür. Bu ve buna benzer motor kontrol uygulamalarının daha basit ve güvenilir şekilde mikrodenetleyici ile yapılabileceği, türev ve integral benzeri mikrodenetleyiciler için çözümü zor ve zaman alıcı matematiksel ifadelerinde kolaylıkla çözdürülebileceği görülmüştür. Ayrıca, yazılımın değiştirilmesi, fiyat, çevre birimleri, kolay programlama, kullanım esnekliği ve ucuzluğu gibi üstün özelliklere sahip olması, pratikliği ve sürenin değiştirilerek yazılımın yüklenebilmesi kolaylığından dolayı, bu çalışmada PIC kullanımı uygulama çalışmalarını oldukça kolaylaştırmıştır.

6. KAYNAKLAR

Abido, M.A., Abdel-Magid, Y.L. 1997. "A fuzzy basis function network for generator excitation control", IEEE Proceedings of the Sixth

International Conference on Fuzzy Systems. Vol. 3, pp. 1445-1450.

Atherton, D.P., Majhi, S. 1998. "Tuning of optimum PID Controllers", Proc. of Int. Conf. Controlo'98, Caimbra. pp. 549-554.

Baba, F. 1989. Bilgisayar destekli PID tasarımı, Marmara Üniv., FBE Yüksek Lisans Tezi pp. 41-57.

Berger, M. 1996. Self-tuning of a PI Controller using fuzzy logic for a construction unit testing apparatus, Control Engineering Practice. 4 (6), 785-790.

Bishop, R. H. 1997. Modern control systems analysis and design using MATLAB and SIMULINK, Adison Wesley Longman.

Charais, J., Lourens, R. 2004. Software PID control of an inverted pendulum using PIC, Microchip Application Note 964A.

Colak, I., Bayindir, R., Bay, O.F. 2003. Reactive power compensation using a fuzzy logic controlled synchronous motor, energy conversion and management. 44 (13), 2189-2204.

Çolak, I., Bayindir, R., Görgün, A., Kundakoğlu, H. 2007. "Senkron motorda değişik çalışma durumlarının gözlenmesi", EMO III. Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, 23-25 Temmuz 2007, Samsun.

Fredarick, D.K., Chow, J.H. 2000. Feedback control problems using MATLAB and the control system Toolbox, Brooks/Cole.

Gonzalez, E.A., Ambata, L.U. 2004. "Adaptive control using fuzzy-PI means", ECE Technical Report.

Handschin, E., Hoffmann, W., Reyer, F., Stephanblome, T., Schlucking, U., Westermann, D., Ahmed, S.S. 1994. A new method of excitation control based on fuzzy set theory. IEEE Transactions On Power Systems. 9 (1), 533-539.

Doğan I., D. 2006. Microcontroller based applied digital control. 230-240 John Willey & Sons Ltd.

Park, J. H., Sung, S. W., Lee, I. 1998. An enhanced

PID control strategy for unstable processes Vol. 34, 751-756.

Zhao, Z., Tomizuka, M. and. Isaka, S. 1993. Fuzzy gain scheduling of PID controllers, IEEE. Trans. Syst., Man, Cybern. Vol. 23 (5), 1392-1398.

Ziegler, J.G., Nichols, N.B. 1942. Optimum settings for automatic controllers”, Transactions of ASME. 64, 759-768.