

GÜÇ KATSAYISININ BİR MİKRODENETLEYİCİ KULLANARAK ÖLÇÜMÜ

İlhami ÇOLAK, Ramazan BAYINDIR

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

Özet: Alternatif akım devrelerinde kullanılan endüktif yüklerin ihtiyaç duyduğu reaktif güçlerin belirli teknikler kullanılarak karşılanması reaktif güç kompanzasyonu (RGK) olarak adlandırılmaktadır. RGK'nun yapılabilmesi için güç katsayısının mutlaka bilinmesi ve sürekli olarak izlenmesi gereklidir. Yapılan RGK çalışmalarında ise güvenilirliği, verimliliği ve değişik çalışma koşullarında sistemin kararlılığını sağlayabilmek için sürekli olarak yeni kontrol teknikleri geliştirilmektedir. Günümüzde RGK sistemleri denetleyici tabanlı olarak yapılmaktadır. Uygulamaya yönelik olan bu çalışma ile bir sistemin güç katsayısı denetleyici tabanlı olarak ölçülmüştür. Bu amaçla öncelikle bir faza ait akım ve gerilim bilgileri analog devreler yardımı ile denetleyiciye uygulanacak hale getirilmiştir. Daha sonra bu bilgiler PIC 16F84 denetleyicisine aktararak sistemin güç katsayısı hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen ölçme sistemi ile küçük genlikli harmonikler içeren sinyallerin güç katsayısı hatasız olarak ölçülebilmektedir.

Anahtar kelimeler:Güç Katsayısı, PIC 16F84, Kompanzasyon.

MEASUREMENT OF POWER FACTOR USING A MICROCONTROLLER

Abstract: Compensation of reactive powers of the inductive loads used in alternating circuits can be defined as reactive power compensation. The power factor of a system must be known and observed continuously for reactive power compensation. Many new techniques for the power factor compensation have been studied to obtain efficient, reliable and stable system. Nowadays, the power factor compensation systems are usually based on microprocessors. In this paper, experimental study to measure the system power factor by microcontroller is given. First of all, the current and voltage values of the system are measured. These measured values are then transferred to PIC 16F84 controller and the power factor of the system is calculated. Experimental results show that, this system can measure the power factor accurately without any error even the signals have harmonic with small amplitude.

Key words: Power Factor, PIC 16F84, Compensation.

1. Giriş

Uygulamada yükler genellikle motor türünde ve endüktif özellikte olduklarından şebekeden yararlı aktif gücün yanında reaktif güç de çekerler. Alternatif akım motorlarında döner alanın, transformatörlerde manyetik alanın oluşturulabilmesi için her ne kadar reaktif güç gerekli ise de, iletim ve dağıtım sistemlerinden daha fazla aktif güç iletebilmek için reaktif gücün ihtiyaç duyulan yerde karşılanması gerekmektedir [1]. Bu nedenle, işletmelerde reaktif güç ihtiyacı alıcılara yakın bir yerde RGK sistemleri tarafından karşılanır.

Endüstride sistemin reaktif güç ihtiyacını karşılayabilmek için, aktif gücün yanında reaktif gücün de iletilmesi gerekmektedir [2]. Ancak elektrik enerjisi alternatiflerden yüklerle iletilirken reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Sistem içerisinde reaktif gücün iletilmesi verimi düşürecektir. Endüstride kullanılan endüktif yüklerin çekmiş oldukları reaktif güçler enerji nakil hattını fazladan yüklediklerinden, hattan çekilen aktif güç miktarını artırmak için enerji nakil hattındaki iletkenin kesitini artırmak gerekir. Yüklerin ihtiyacı olan reaktif güçler, ya statik olarak kondansatörlerle, ya da dinamik olarak senkron motorlarla kompanse edilirler. Bu nedenle reaktif gücün

ihtiyaç duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesi sisteminin verimini artırmak açısından büyük faydalar sağlayacaktır. Son yıllarda güç mühendisliğinde RGK'nu da içine alan elektrik güç kalitesi çok büyük önem kazanmıştır [3]. Dolayısıyla RGK endüstride zorunluluk haline gelmiştir [4]. RGK için kondansatör ve senkron motor kullanılmaktadır.

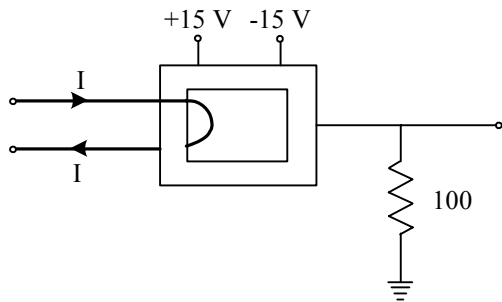
Senkron motorların uyarım akımlarının değiştirilmesi ile motorun kapasitif veya endüktif olarak çalıştırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca senkron motorun şebekeden çektiği reaktif gücün miktarı da uyarım akımı ile ayarlanabilmektedir. Bundan dolayı, senkron motorlar dinamik güç kompansemanı olarak kullanılmaktadırlar. Senkron motor güç kompansemanı olarak kullanılırken üzerinde herhangi bir yük yok ise, kaynaktan çekeceği aktif güç sadece mekanik kayıpları karşılamak içindir. Senkron motor eğer kompanseman yapılan sitemde başka bir amaçla kullanılmıyorsa ekonomik değildir [5]. Ekonomik olması nedeniyle reaktif güç kompanseman sistemlerinde kondansatörler yoğun olarak kullanılmaktadır. Kondansatörlerin bakım masrafları yoktur, verimleri yüksektir.

Günümüzde kompanseman artık mikroişlemci tabanlı yapılmaktadır. Bu nedenle mutlaka sistemin güç katsayısının bilinmesi gerekir. Bu alanda değişik ölçme teknikleri kullanarak güç katsayısı ölçme işlemleri yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada akım karşılaştırma tekniği kullanılarak oldukça hassas güç katsayısı bilgisi ölçülmüştür [6]. Farklı bir çalışmada ise, Intel 80-836 mikroişlemci tabanlı güç katsayısı ölçümü yapılarak güç katsayısı online olarak izlenmiştir [7]. Diğer bir çalışmada ise, bir fazlı güç katsayısı düzeltmek için bir chip geliştirilmiştir [8].

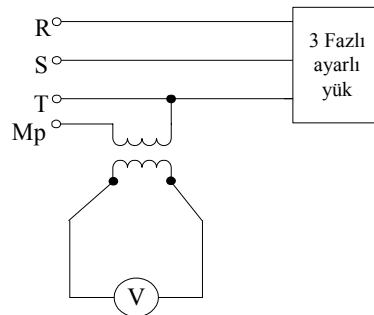
Bu makalede ise, sisteminin güç katsayısının ölçümü denetleyici tabanlı olarak yapılmıştır. Bunun için sisteme ait akım ve gerilim seviyeleri denetleyici girişlerine uygulanacak hale getirilmiştir. Akım bilgisi sensör çıkışına bağlanan bir direnç üzerinden gerilim olarak elde edilmiştir. Akım sensörünün bağlandığı faza bir gerilim transformatörü bağlanmış ve gerilim bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen akım ve gerilim bilgileri sıfır geçiş anahtarına uygulanmıştır. Sıfır geçiş anahtarının çıkışından alınan akım ve gerilim bilgisine ait kare dalga sinyaller güç katsayısını elde etmek için PIC'e uygulanmıştır. Hazırlanan yazılım ile PIC 16F84 denetleyici kullanılarak RGK yapılan sisteme ait 8 bitlik hassasiyette güç katsayısı elde edilmiştir.

2. Güç Katsayısını Bulmak İçin Akım ve Gerilim Bilgilerinin Okunması

Akım bilgisini okumak için devreye bir adet LEM'in LA 55-P akım sensörü bağlanmıştır. Besleme gerilimi 12 volt veya 15 volt simetrik DA'dır. 12 volt beslemede akım sensörünün kullanılabileceği nominal akım 50 A, 15 volt beslemede 70 amperdir. Sekonder nominal akımı 50 mA'dır. Sekonderden elde edilen akım bilgisi çıkışa bağlanan 100 ohm'luk bir direnç üzerinden alınarak primerden 50 A geçtiğinde çıkıştan maksimum 5 volt alternatif gerilim alınabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sensörün dönüştürme oranı 1:1000'dir [9].



Şekil. 1 LA 55-P ile akım bilgisinin alınması

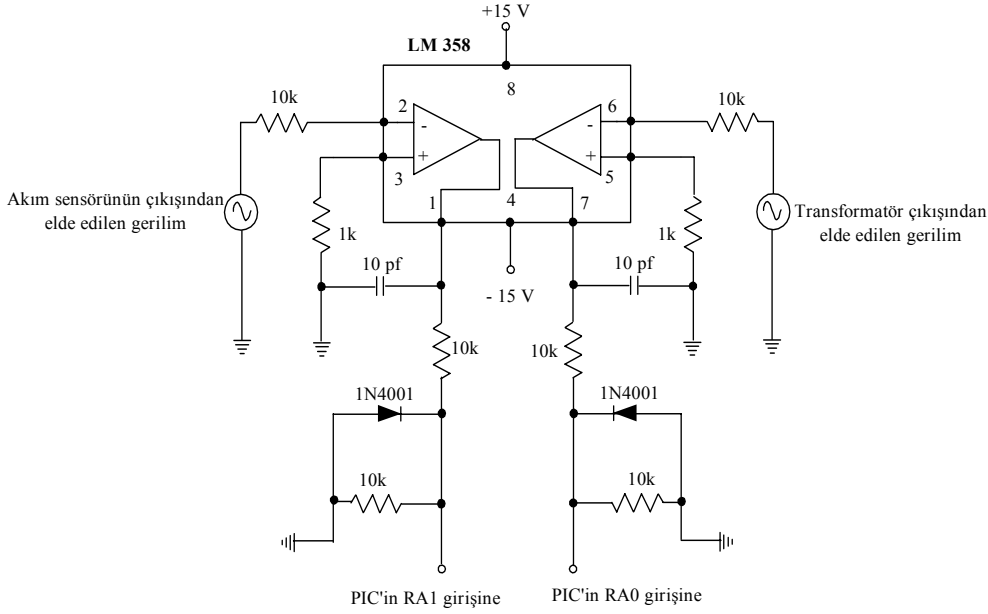


Şekil. 2 Gerilim bilgisini almak için kullanılan devre

Şekil.1’de LA 55-P’nin devreye nasıl bağlandığı görülmektedir. Sensör herhangi bir faz üzerine seri olarak bağlanmıştır. Sensör çıkışı 100 ohm'luk dirence uygulanmış ve direnç üzerinden ölçülen gerilim akım bilgisi olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu gerilim sıfır geçiş dedektörünün girişine uygulanmıştır.

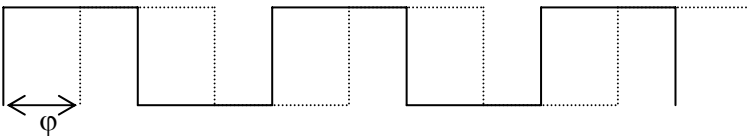
Gerilim bilgisini almak için akım sensörünün bağlı olduğu faza 220/5 voltluk bir transformatör bağlanmış ve bu transformatörden alınan değer gerilim bilgisi olarak kullanılmıştır.

Şekil.2’de transformatörün devreye bağlantısı görülmektedir. Elde edilen alternatif gerilim sıfır geçiş dedektörünün girişine uygulanmıştır.



Şekil. 3 Sıfır geçiş dedektörü

Şekil.3’de sıfır geçiş dedektörü görülmektedir [10,11]. Sıfır geçiş dedektörünün buradaki görevi gerilimlerin sıfıra geçtiği anda lojik 1 sinyali vermesidir. Elde edilen sinyaller denetleyici girişlerinde kullanılacaktır. Akım sensörü çıkışından elde edilen gerilim opampın 2 nolu girişine, transformatör çıkışından elde edilen gerilim ise opampın 6 nolu girişine uygulanmıştır. Opampın 1 ve 7 nolu çıkışları kullanılarak akım ve gerilim bilgisinin sıfırdan geçtiği anlar tespit edilmiştir. Sıfır geçiş dedektörünün 1 ve 7 nolu çıkışından elde edilen kare dalga sinyaller üst üste konulduğunda gerilim ve akım arasındaki açı ile değişen faz farklı iki kare dalga sinyal elde edilir. Elde edilen bu faz farklı iki kare dalga PIC’e uygulanmıştır. Şekil.4’de ϕ ile gösterilen açı devreye bağlı olan yükün cinsine göre akım ile gerilim arasındaki açı farkını göstermektedir. Bu çalışmanın amacı akım ile gerilim arasındaki açıyı bulmaktır. Endüktif yükler alternatif akım kaynağına bağlandığında omik direnç ihmal edilip ideal bir bobin olarak düşünülürse, akım ile gerilim arasındaki faz farkı 90^0 ’dir. Fakat uygulamada hiçbir zaman endüktif yükler ideal bir bobin özelliği göstermez. Bu nedenle bobinin empedansı ve omik direncine bağlı olarak Eşitlik 2.1’de gösterildiği gibi akım ile gerilim arasındaki açı 0^0 ile 90^0 arasında değişir.



Şekil. 4 Akım ve gerilim bilgisi arasındaki faz farkı

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad (2.1)$$

Burada;

$\cos \varphi$ =Güç katsayısı,

φ =Akım ile gerilim arasındaki açının kosinüsü,

R =Bobinin omik direnci (Ω),

Z =Bobinin empedansı (Ω) olarak verilmiştir.

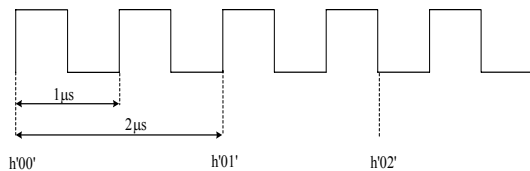
Akım ile gerilim arasındaki açığı tespit edebilmek için PIC'in içindeki TIMER0 zamanlayıcısı kullanılmıştır. Bu amaçla gerilim yön değiştirdiği anda zamanlayıcı çalışmaya başlamıştır. Akım yön değiştirdiğinde ise zamanlayıcı durdurulmuştur. Aradaki süre akım ile gerilim arasındaki açığı tespit etmek için kullanılmıştır. Bu amaçla PIC'e yazılan programın akış diyagramı Şekil.6'da verilmiştir. Program akış diyagramında öncelikle hangi PIC'in kullanılacağı belirtilmiştir. PORTB çıkış, PORTA giriş olarak tanımlanmıştır. Daha sonra h'00' değeri SABIT etiketi içeriğine yüklenmiştir. PORTA'nın 0.biti (gerilim bilgisi) lojik 1 olduğu anda SABIT içeriği TIMER0 yüklenmiş ve TIMER0 saymaya başlamıştır. PORTA'nın 0.biti (Akım bilgisi) bir olduğu anda TIMER0 durdurulmuştur. O andaki elde edilen TIMER0'ın içeriği önceden hazırlanmış olan TABLO'dan bulunarak, bu içerik PORTB'ye yazdırılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda 8 bitlik güç katsayısı bilgisi PORTB'den elde edilmiştir [12].

TIMER0 zamanlayıcısı RAM belleğin h'01' adresinde özel bir saklayıcıdır. Yani saymaya istenilen bir sayıdan veya h'00' dan başlatılabilir ve herhangi bir anda da içeriği sıfırlanabilir. Ayrıca OPTION saklayıcısının 0., 1. ve 2. bitleri içerisine yerleştirilen sayılar ile TIMER0'ın sayma hızı değiştirilerek üç bitlik bu sayı TIMER0'da birbirinden farklı, 8 değişik ölçekleme oranı seçme imkanı sağlar. Böylece TIMER0'ın kaç dahili komut saykılında bir üst sayıya geçeceği belirlenmiş olur. TIMER0 ölçekleme oranı $\frac{1}{2}$ ise, iki komut saykılık çalışmada bir üst sayıya geçiş olur. Kullanılan osilatör frekansı (f_{osc}) 4 MHz olduğu için, PIC tarafından bu frekans değeri 4'e bölünerek dahili komut frekansı (f_k) Eşitlik 2.1 ile hesaplanır. Buna bağlı olarak komut saykılı (t_k) ise Eşitlik 2.2 ile hesaplanır;

$$f_k = \frac{f_{osc}}{4} = \frac{4MHz}{4} = 1MHz \quad (2.1)$$

$$t_k = \frac{1}{f_k} = \frac{1}{1.000.000} = 1\mu s \quad (2.2)$$

Ölçekleme değeri $\frac{1}{2}$ seçilirse;

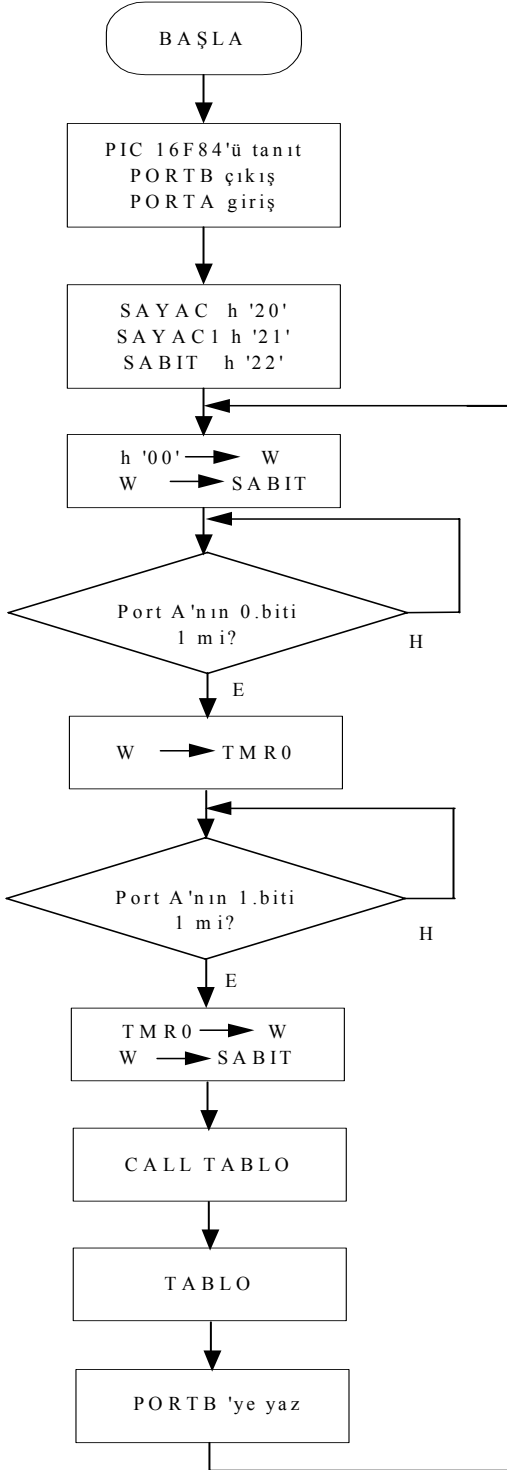


Şekil.5 TMR0'da ölçekleme değeri $\frac{1}{2}$ iken sayma aralığı

Şekil.5'de görüldüğü gibi TIMER0 sayıcısı dahili komut saykılında 2 saykılında 1 defa artar. Böylece TIMER0 sayma aralığı değiştirilmiş olur. Ölçekleme değeri TIMER0 için 2^n şeklinde maksimum $1/256$ 'ya kadar değiştirilebilir. Böylece ölçekleme değeri değiştirilmek suretiyle, PIC çıkışından $1\mu s$ 'de alınan örnekleme sayısı

değiştirilirse hassasiyet artırılıp, azaltılabilir. Yapılan çalışma güç katsayısı ölçümünde kullanıldığı için çalışmada

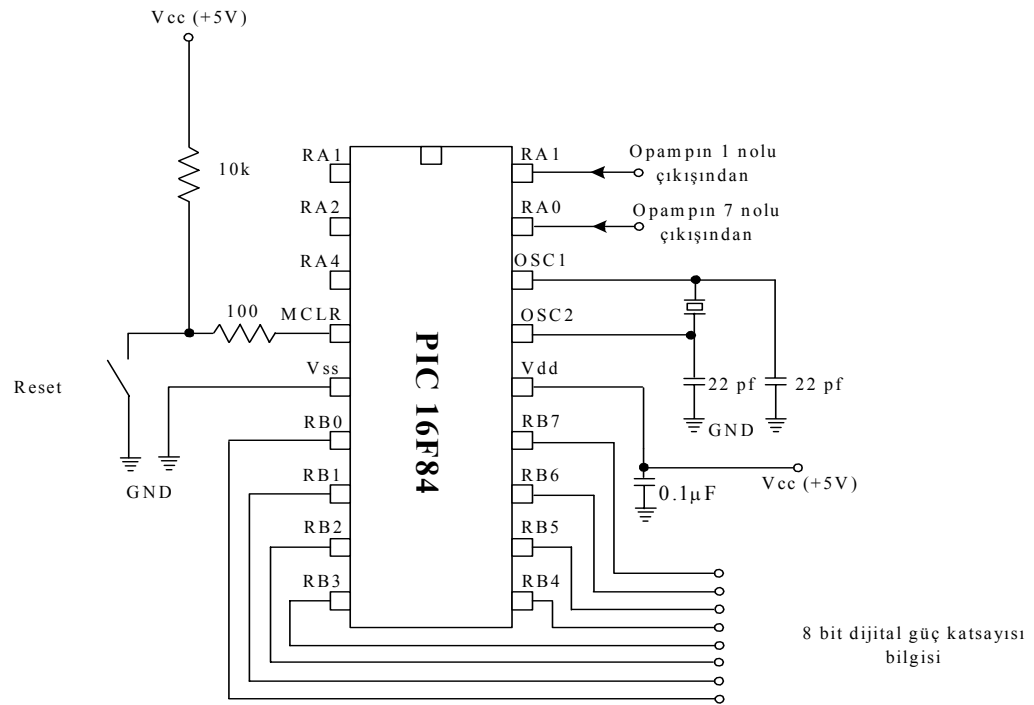
akım ve gerilim bilgileri 8 μ s 'de örneklenmiştir.



Şekil. 6 Programın akış diyagramı

RGK rölelerinde kondansatörlerin devreye alınmaları veya çıkarılma süreleri en az 5 s ile 60 s arasındadır. Bu yükün büyüklüğüne, yük bir motor ise ne kadar zamanda yol alacağına ve kondansatörlerin tekrar devreye alınabilmesi için kondansatörün deşarjı için geçen süreye bağlıdır. Verilen bu süreler kondansatör gruplarının devreye emniyetli bir şekilde alınıp çıkarılabilmesi için RGK yönetmeliklerine uygun olarak tespit edilir. Ayrıca reaktif enerji tarifesinde çektiği aktif enerjinin 0,50 katına kadar endüktif, 0,25 katına kadar kapasitif enerji çeken müşterilerden reaktif enerji ücreti alınmadığı için bu tip sistemlerde fazla sayıda akım ve gerilim bilgisi örneklemesine gerek yoktur.

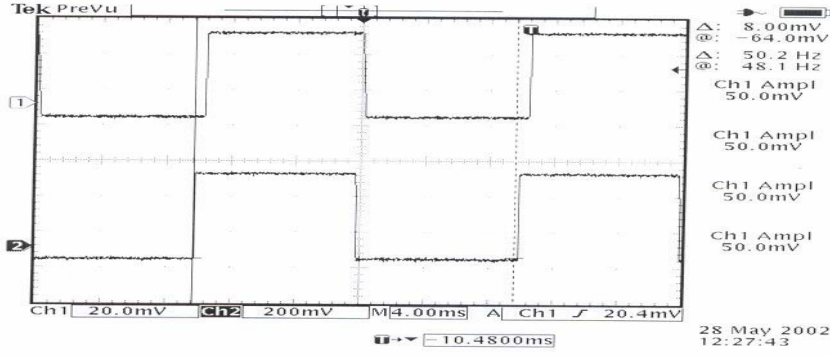
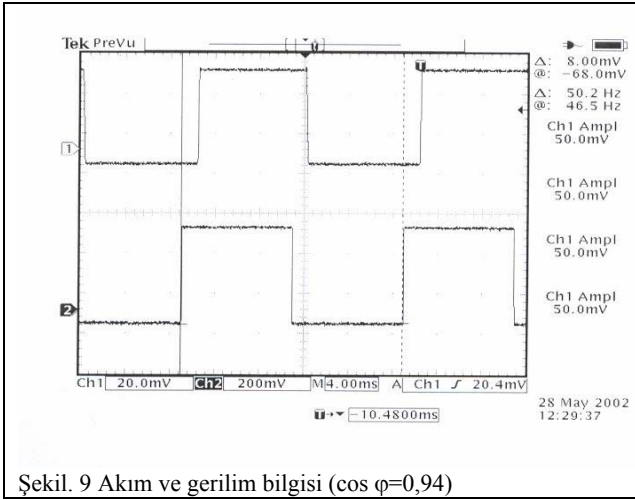
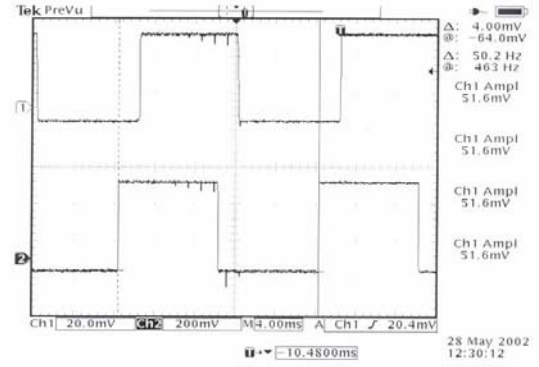
Yapılan işlemler sonucunda 8 bitlik sayısal bir sinyal elde edildiği Şekil.7'de gösterilmiştir. Öncelikle PIC'in çalışabilmesi için temel konfigürasyonu yapılmıştır. Daha sonra PIC'in RA0 pini kullanılarak gerilim bilgisi, RA1 pini kullanılarak akım bilgisi PIC içerisine alınmıştır. Sonuç RB0-RB7 pinlerinden 8 bitlik sayısal değer olarak elde edilmiştir. Sayısal olarak alınan bu bilgiler bilgisayar ortamına aktarılarak, üzerinde gerekli işlemler yapılabilmektedir. Akım, gerilim bilgileri ve çıkış olarak kullanılan PORTB'nin pini dışında yapılan bağlantılar bir PIC'in çalışabilmesi için gerekli olan temel konfigürasyonu oluşturmaktadır [13-15].



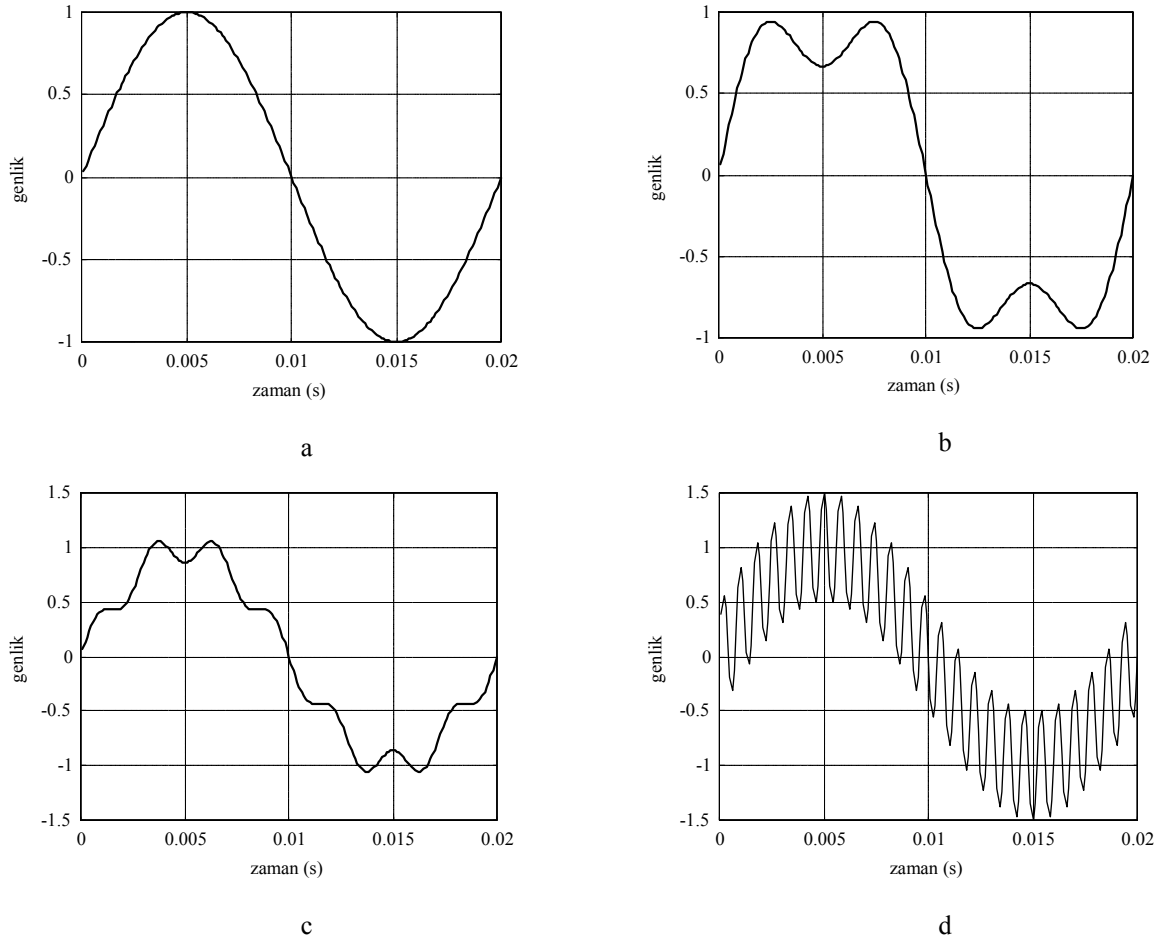
Şekil. 7 PIC 16F84'ün konfigürasyonu ve 8 bitlik çıkış sinyalinin elde edilmesi

3. Deneysel Sonuçlar

Şekiller 8, 9 ve 10'da değişik endüktif yük durumlarında akım ile gerilim arasındaki faz farkları gösterilmiştir. Uygulamada yük olarak 7 kademeli endüktif yük bağlanmıştır. Kademeler sırası ile 0, 3 ve 5 olarak ayarlanmıştır. Her kademede akım-gerilim bilgilerine ait osiloskop çıktıları verilmiştir. Yapılan çalışmada $\cos\phi$ metreden okunan değer 1 olduğu halde akım ile gerilimin Şekil.8'de görüldüğü gibi aynı anda başlamadığı görülmüştür. Bunun sebebi transformatörün ideal bir transformatör olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hata yazılım ile giderilerek Şekil.8'deki durumda $\cos\phi=1$ olarak kabul edilmiştir. Sistemdeki endüktif yük miktarı arttıkça, akım ile gerilim arasındaki açının da büyüdüğü Şekiller 9 ve 10'da görülmektedir.

Şekil. 8 Akım ve gerilim bilgisi ($\cos \varphi=1$)Şekil. 9 Akım ve gerilim bilgisi ($\cos \varphi=0,94$)Şekil. 10 Akım ve gerilim bilgisi ($\cos \varphi=0,72$)

Sistemde ölçülen akım ve gerilim sinyalleri harmonik içeriyorlar ve bu harmoniklerin genlikleri sinyalin yarım periyotluk süresi tamamlanmadan pozitif bölgeden negatif bölgeye veya negatif bölgeden pozitif bölgeye geçmiyorlarsa, güç katsayısının ölçümünde herhangi bir hata olmaz. Ancak, yüksek genlikli harmonikler yarım sayıklık süre içerisinde pozitif bölgeden negatif bölgeye geçiş yaparlarsa sıfır geçiş detektörü hatalı ölçüm yapar ve güç katsayısı yanlış hesaplanır. Şekil 11 a, b, c'de sırasıyla sinüs dalgası ile 3. ve 7. harmonik içeren dalgalar gösterilmiştir. Verilen tüm bu dalgalar için güç katsayısını hatasız olarak ölçmek, yapılan bu çalışma ile mümkündür. Ancak Şekil 11.d'de yüksek frekanslı ve yüksek genlikli dalga gösterilmiştir. Verilen dalgada şekilde, sinyalin içerdiği harmoniğin genliği yarım periyot süresince pozitif bölgeden negatif bölgeye veya negatif bölgeden pozitif bölgeye geçiş yaptığından, güç katsayısı için yapılacak olan ölçme ve hesaplamalar yanlış olacaktır.



Şekil. 11 a) Sinüs dalgası, b)3. harmonik içeren dalga, c) 7. harmonik içeren dalga, d) Yüksek frekans ve yüksek genlikli harmonik içeren dalga

4. Sonuç

Bu çalışmada, bir sisteme ait akım ve gerilim bilgilerinin okunarak PIC 16F84 yardımıyla sistemin güç katsayısının nasıl hesaplanabileceğinin uygulaması yapılmıştır. Güç katsayısının hesaplanabilmesi için akım sensörü ile akım bilgisi, gerilim transformatörü ile gerilim bilgisi ölçülmüştür. Dolayısıyla yapılan sistemin ölçüm sınırları, kullanılan sensörlerin ölçme sınırlarına bağlıdır. Sıfır geçiş anahtarı kullanarak her iki bilginin sıfır geçiş anları tespit edilmiştir. Sıfır geçiş anahtarının çıkışından sisteme ait ölçülen akım ve gerilim bilgileri kare sinyaller halinde PIC 16F84'e uygulanmıştır. Elde edilen bu sıfır geçiş anları kullanılarak sistemin güç katsayısı PIC 16F84 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu sistem sayısal çıkış verdiğinden elde edilen güç katsayısı bilgileri rahatlıkla bir bilgisayar ortamında kullanılabilir. Ölçülen akım ve gerilim bilgilerinin düşük genlikli harmonik içermesi ölçüm hatasına yol açmamaktadır. Ancak yüksek genlikli harmonik içeren sinyaller, özellikle sıfır geçiş zamanlarının tespitinde ölçüm hatalarına neden olurlar. Güç katsayısının ölçüm hızı, mikrodenetleyicide kullanılan osilatör frekansına ve TMR0'ın ölçekleme değerine bağlıdır. Yapılan bu çalışma, güç katsayısı düzeltme yerine, sadece ölçüme kullanıldığından akım ve gerilim bilgileri 8 μ s 'de bir örneklenmiştir. Bu çalışmada mikrodenetleyici sisteme hassasiyet, güvenilirlik, esneklik ve kullanım kolaylığı sağlanmıştır.

Kaynaklar

1. 1. Bayram, M., Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu , Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
2. 2. Ürgüplü, Z., Elektroteknik Bilgi Bankası, Elektrobank , Ankara, 1997.
3. 3. A. Domijan and et al., Directions of research on electric power quality, IEEE Transactions on Power Delivery, 8, 429, January, 1993.
4. 4. Kumar, C. S. P., Sabberwal, S. P., Mukharji, A. K., Power factor correction and correction techniques , Electric Power System Research, 143, 1995.
5. 5. Çolak, İ., Senkron Makinalar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2002.
6. 6. So, E., A new current-comparator-based high-voltage low-power-factor wattmeter , IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol.48, 434, April, 1999.
7. 7. Montero, L. R. R., Mota, W. S., Jacobina, C. B., A microcomputer-based load angle and frequency measurement , IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 606, Belgium, 1996.
8. 8. Smedley, K., Qiao, C., Develop a single phase power factor correction control chip , MICRO Project 97-161 Final Report, (1997-1998).
9. 9. LEM Components, Current and Voltage Transducers Catalog .
10. 10. National Semiconductor, LM 358 Data Sheet , August, 2000.
11. 11. Alçı, M., Kara, S., Elektronik Devre Tasarımında OP-AMP ve Lineer Tümdevreler, Ufuk Kitabevi, Temmuz, 2000.
12. 12. Altınbaşak O., Mikrodenetleyiciler ve PIC Programlama, İstanbul, Eylül, 2000.
13. 13. Microchip, Embedded Control Handbook , Vol.1, 1997.
14. 14. Gardner, N., PIC Programlama El Kitabı, Editör: Elk. Müh. Gökhan Dinçer, Bileşim Yayıncılık, İnfogate, İstanbul, 1998.
15. 15. Microchip, PIC 16F84A Data Sheet, 2001.