

Mikrodenetleyici Tabanlı Bir Gerçek Etkin Değer Ölçüm Sistemi Uygulaması

Çetin GENÇER

ÖZET

Bu çalışmada; PIC16F876 mikrodenetleyici tabanlı bir gerçek etkin değer ölçüm sistemi uygulaması yapılmıştır. Güç kontrol sistemlerinde, alternatif gerilimin etkin değerine ulaşmak önemli bir husustur. Yüke uygulanan gerilimin sinüsoidal olması durumunda, gerilimin ölçülmesi ve değerlendirme birimine aktarılması basit devre düzenlemeleri ile gerçekleştirilebilir. Ancak; sinüs sinyalinin şeklindeki bozulmalar veya sinüs sinyalin faz açısına bağlı kontrol çalışmalarında, yüke aktarılan gerilimi ölçmek ve değerlendirme birimine aktarmak sorun haline gelmektedir. Özellikle faz açısına bağlı güç kontrol devrelerinde, çıkışta elde edilen gerilimin kararlı olması aranan bir özelliktir. Bu tür sistemlerde kararlı bir çıkış gerilimi elde etmek, olduğunca hızlı ve doğru ölçüm sonuçları ile mümkündür. Bu çalışmanın amacı, faz açısına bağlı kontrol sistemlerinde kullanılacak, ortalama % 0,4 hassasiyetle ölçüm yapabilen, yüksek güç uygulamalarında kullanmaya elverişli, mikrodenetleyici tabanlı bir gerçek etkin değer ölçme sistemi geliştirmektir.

Anahtar Kelimeler: Gerçek etkin değer, Mikrodenetleyici, PIC16F876

A Microcontroller Based Application of a True Rms Value Scale System

ABSTRACT

This study provides an overview of an application of a true RMS value scale system by PIC 16F876 microcontroller. In power control systems, to get the RMS value of an alternative voltage is very important. In case of the voltage being applied to charge is sinusoid, the measurement of the voltage and transferring it to the valuing module are performed by simple circuit arrangements. However, deformations of sinus signal or control operations relating phase angle, to measure the voltage applied to charge and to transfer it to the valuing module pose a problem. Particularly in power control circuits relating phase angle, the output voltage is expected to be stable. In these sorts of systems, acquiring a stable output voltage is feasible via pretty fast and accurate measurement results. This paper sets its sights on developing a microcontroller based true RMS value scale system which will be used in control systems deleted to the phase angle, which can measure with sensitivity of average % 0,4 and which is convenient for using in high power applications.

Key Words: True RMS value, Microcontroller, PIC 16F876

1. GİRİŞ

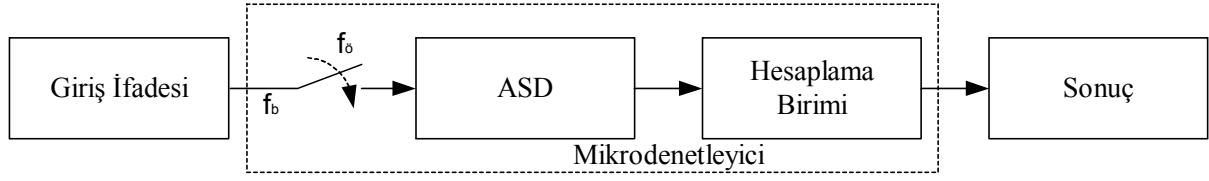
Kontrol uygulamalarının en önemli birimlerinden bir tanesi de çıkış geriliminin etkin değerini (U_{eff}) ölçüp, merkezi kontrol birimine aktaran ölçme düzeneğidir. Ölçülen büyüklük doğru gerilim, doğru akım gibi zamana göre değişim göstermeyen sinyaller veya alternatif gerilim, alternatif akım gibi periyodik sinyaller olabilir. Bu gibi sinyallerin belirli matematiksel ifadelerinin olması ve sayısal olarak kolay işlenebilmesi hızlı ve güvenilir ölçümlerin yapılabilmesine olanak tanımaktadır.

Ancak ölçülecek sinyalin periyodik olmaması veya sinüs formundan uzaklaşması durumunda ölçüm düzeneği karmaşık bir hal almaktadır. Periyodik olmayan sinyale karşı gelen matematiksel bir ifade olsa bile, bu ifadeyi donanımsal olarak veya mikrodenetleyici ile anlamlı bir ifadeye çevirmek hem hata yüzdesini artıracak hem de çevrimin yavaşlamasına neden olacaktır.

Makale 09.06.2009 tarihinde gelmiş 15.04.2009 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.
Ç.GENCER, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, 23100 Elazığ
e-posta : cetingencer@gmail.com
Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.2. 79-84.

Literatürde, elektriksel sinyallerin etkin değerlerinin ölçümü için birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemleri kıyaslama ve hesaplama yöntemleri olmak üzere iki başlıkta toplamak mümkündür (1). Kıyaslama yöntemi; ısı etkisi (2) veya elektrostatik etkiyi (3) temel alır ve geniş bant genişliği ile yüksek bir doğruluk sağlar. Ancak bu metod, karmaşık devre yapıları, pahalı çeviriciler ve çok fazla işlem basamağı gerektirir. Hesaplama yönteminde ise; analog veya sayısal sinyal işleme teknikleri kullanılır. Bu yöntemin de kendi içerisinde bazı sakıncaları olmasına karşın; kıyaslama metoduna göre, hızlı frekans tepkisi, düşük maliyeti, yüksek hızlı analog sayısal dönüştürücülerin (ASD) kullanımına imkan vermesi gibi üstünlüklerinden dolayı daha çok tercih edilir ve kullanılırlar (4-8). Şekil 1'de hesaplama yönteminin kullanıldığı mikrodenetleyici tabanlı bir etkin değer ölçüm sisteminin temel blok şeması verilmiştir.

Alternatif ve isteğe bağlı biçim kazanan elektriksel sinyallerde gerilimin ($u(t)$) etkin değerinin (U_{eff}) ölçülmesi, güç elektroniği, otomasyon ve kontrol teknolojilerinde büyük önem kazanmaktadır. Hesaplama yöntemi



Şekil 1 : Hesaplama yöntemi ile etkin değer ölçüm sistemi

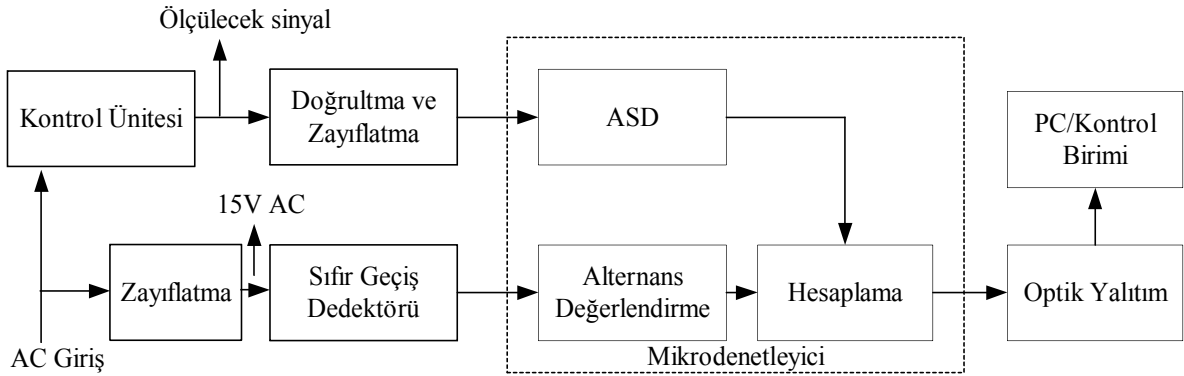
minin kullanıldığı etkin değer ölçüm sistemlerinde U_{eff} Denklem 1'deki gibi hesaplanır (9).

$$U_{eff} = \sqrt{\left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t)^2 dt \right]} \quad (1)$$

Denklem 1 süreklilik gösteren sinyallerin ölçülmesinde kullanılır. Ancak Şekil 1 incelendiğinde; giriş sinyalinin bir ASD'ye belirli zaman aralıklarında uygulandığı ve uygulamanın ardından hesaplama işlemlerinin yapıldığı görülmektedir. Yani hesaplama yönteminde ayrık zamanlı bir sinyal işleme söz konusudur. Ayrık zamanlı sinyal işlemede ise bir örnekleme frekan-

lan kontrol uygulamalarında 2-80V arasında ölçüm yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarımda aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Ölçülecek sinyal, yarım dalga doğrultma işlemine tabi tutulmuştur.
- Yarım dalga doğrultulan sinyal belli bir oranda zayıflatılarak mikrodnetleyicinin ASD girişine uygulanabilecek seviyeye dönüştürülmüştür.
- Elde edilen sinyal mikrodnetleyicinin ASD girişine uygulanmıştır.
- Mikrodnetleyici tarafından alınan sayısal



Şekil 2: Tasarlanan mikrodnetleyici tabanlı etkin değer ölçüm sisteminin blok şeması

sından (f_0) bahsedilebilir. Bu örnekleme frekansının Nyquist teoremine göre, giriş frekansının (f_b) en az iki katı olması gerekmektedir (Denklem 2). Örnekleme frekansının olabildiğince yüksek tutulması ölçüm sonuçlarının daha kesin olmasına neden olacaktır (10).

$$f_0 \geq 2f_b \quad (2)$$

Belli aralıklarla örneklemler alınarak gerçekleştirilen bir etkin değer ölçüm düzeneğinde n örnekleme sayısı, v_i örnekleme anında ASD'ye uygulanan gerilim ise etkin değer Denklem 3' teki gibi hesaplanır (11).

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (3)$$

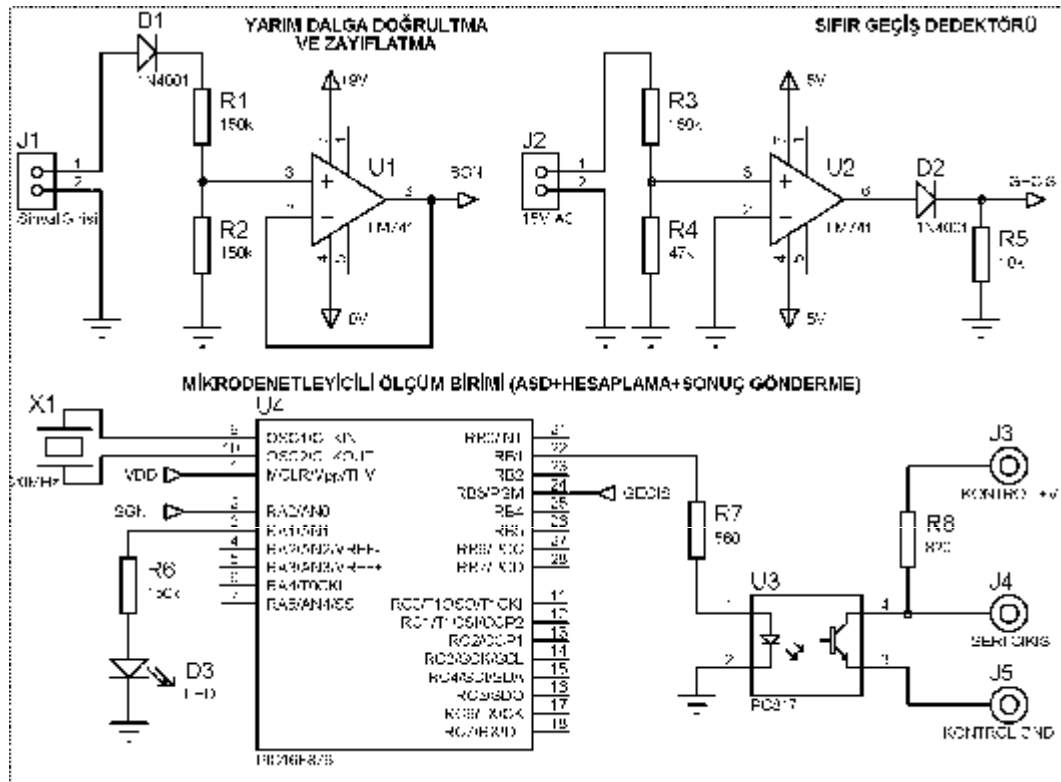
2. MİKRODNETLEYİCİ TABANLI GERÇEK ETKİN DEĞER ÖLÇÜM DEVRESİNİN TASARIMI

Uygulaması yapılan mikrodnetleyici tabanlı gerçek etkin değer ölçüm sistemi; şehir şebekesinden alınan alternatif gerilimin faz açısına bağlı olarak yapı-

ifadeler ölçüm sisteminin girişine uygulanan sinyalin sıfır geçiş durumlarına göre gerekli matematiksel işlemlere (Denklem 3) tabi tutulmuştur.

- İşlem sonucunda elde edilen değer sıvı kristal ekranda görüntülenmiştir.
- Matematiksel işlem ile elde edilen sonuç RS232 formatına dönüştürülmüş ve optik yalıtım kullanılarak sonuçların kullanılacağı birime (bilgisayar veya kontrolün gerçekleştirildiği merkezi kontrol birimi) iletilmiştir.

Yukarıda sıralanan aşamalar doğrultusunda geliştirilen devrenin blok şeması Şekil 2'de verilmiştir. Blok şemadan yola çıkılarak tasarlanan devre şeması ise Şekil 3'te verilmiştir.



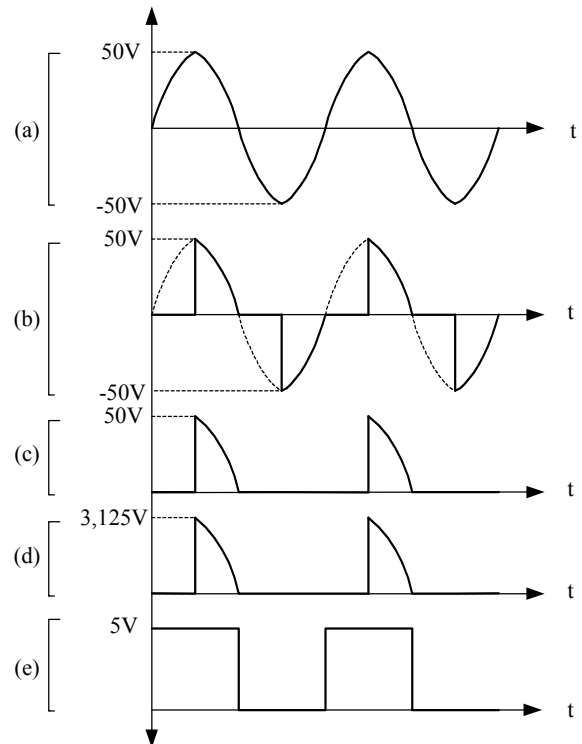
Şekil 3: Tasarlanan mikrodeneleyici tabanlı etkin değer ölçüm sistemi devre şeması

Şekil 3'te verilen devrenin çalışması Şekil 4'te verilen dalga şekilleri üzerinden açıklanacaktır.

Alternatif akımda, yüke uygulanan gerilimin etkin değerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilen kontrol sistemleri bir bütün olarak düşünüldüğünde, sistemi besleyen bir alternatif gerilim karşımıza çıkacaktır. Bu tür sistemlerde gerilim kontrolü, genellikle bir tristör çiftinin tetikleme açılarının kontrol edilmesi ile yapılır. Tristörlerin tetikleme açılarının değiştirilmesi ile beraber yüke aktarılan gerilim de değişim gösterecektir. Şebeke frekansı ile eşzamanlı bir kontrolün gerçekleştirilmesi için ise, sisteme uygulanan alternatif gerilim ile tristörün tetiklemesinde referans alınan noktaların aynı olması gerekir.

Bu bilgilerden hareketle; kontrol sisteminin 50 V_p gerilim değerine sahip sinüs bir sinyal ile beslendiği (Şekil 4.a) ve bir kontrol işlemi neticesinde yüke uygulanacak gerilimin Şekil 4.b'deki gibi olduğu düşünülecek olursa, öngörülen ölçüm sisteminde şu işlemler gerçekleştirilecektir.

Şekil 3'te verilen devrede D1 diyodu bir yarım dalga doğrultucu görevi görür. Dolayısı ile Şekil 4.b'de verilen sinyal yarım dalga doğrultulur. R1, R2 dirençleri ise gerilim bölücüdür. Bu gerilim bölücünün zayıflatma oranı ise 1/16 dır. Yani yarım dalga doğrultucu çıkışı 1/16 oranında zayıflatılır (Şekil 4.d). Zayıflatıcı çıkışından elde edilen bu sinyal mikrodeneleyicinin ASD girişine uygulanır. ASD girişine uygulanan sinyalin dikkate alınıp hesaplama işlemlerine dahil edil-



Şekil 4: (a) AC giriş sinyali (b) Ölçülecek sinyal (c) Ölçülecek sinyalin yarım dalga doğrultulmuş hali (d) Doğrultulan sinyalin zayıflatılmış hali (e) Sifir geçiş sinyali

mesi, sıfır geçiş dedektör devresinden gelen sinyallere bağlıdır. Alternatif giriş geriliminin pozitif alternanslarında sıfır geçiş dedektörünün çıkışı sayısal 1'dir (Şekil 4.e). Geçiş dedektörünün çıkışı sayısal 1 olduğu sürece, ASD girişine uygulanan sinyal mikrodenetleyici içerisine alınır ve depolanır. Geçiş dedektörünün çıkışı sayısal 0 olduğunda ise mikrodenetleyici sayısal 1 konumunu beklemeye başlar. İlk sayısal 1 durumunun algılanması ile beraber mikrodenetleyicide depolanan veriler matematiksel işleme tabi tutulur ve gerilimin etkin değeri optik yalıtım kullanılarak bir bilgisayara veya geri bildirim sinyali olarak kontrol birimine gönderilir. Dikkat edilecek olursa 1 periyot boyunca giriş sinyalinden örneklemeler alınmış, 1 periyot boyunca da matematiksel işlemler yapılmıştır. Yani bir ölçüm çevrimi, alternatif gerilimin 2 periyodu boyunca gerçekleşmiştir.

Mikrodenetleyicide gerçekleştirilen matematiksel işlemler için Denklem 3 baz alınmıştır. Denklem 3'ü mikrodenetleyici içerisinde doğrudan kullanmak mümkün olmadığından ölçülecek sinyalin etkin değerine ulaşmak için bazı işlemler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm hızını ve doğruluğunu en üst seviyelere çekebilmek için, elde edilecek denklemde mümkün olduğunca dört işlemden oluşmasına dikkat edilmiştir. Bu doğrultuda Denklem 3'ün karesi alınarak Denklem 4 elde edilmiştir.

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2 \quad (4)$$

Yukarıda yapılan açıklamalarda ölçülecek sinyalin, ölçüm sistemine uygulanmadan önce doğrultulduğundan ve 1/16'lık bir zayıflamaya uğratıldığından bahsedilmiştir. Bu durumda Z zayıflatma katsayısını, R ASD çözünürlüğünü, n sinyalden alınan örnekleme miktarını, A ASD'ye uygulanan anlık gerilime karşılık ASD kaydedicisinin aldığı değeri ifade etmek üzere;

$$U_{eff}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n 2 \cdot (A_i \cdot Z \cdot R)^2}{n} \quad (5)$$

olacaktır. Mikrodenetleyicinin ASD kaydedicisinin 8 bit olduğu ve ASD referans geriliminin 5,12 V olduğu göz önünde bulundurulduğunda;

$$R = \frac{5,12}{256} = 0,02 \quad (6)$$

elde edilecektir. Denklem 5 tekrar düzenlendiğinde;

$$U_{eff}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n A_i^2}{n} * 0,2048 \quad (7)$$

olur. Bu ifade, ölçülecek sinyalin bir periyodu boyunca ASD'ye uygulanan sinyalden alınan örneklerin sayısal değerlerinin karelerinin toplanacağını, toplam değerin

örnek sayısına bölüneceğini ve 0,2048 gibi bir sabit ile çarpılacağını ifade eder. Çıkan sonuç, etkin değer in karesini verecektir.

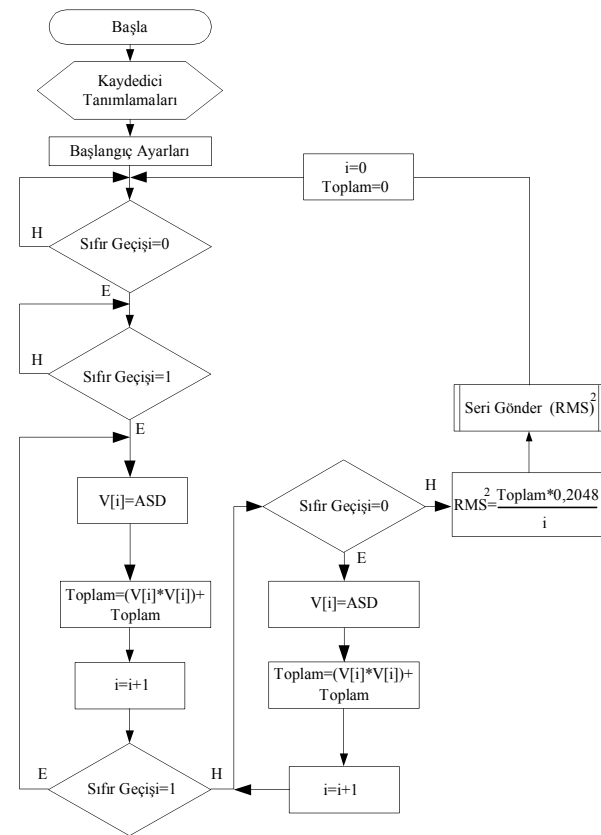
Bu bahsedilenler doğrultusunda, mikrodenetleyicinin ilgili işlemleri yapabilmesi için geliştirilen programın akış şeması Şekil 5'te verilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

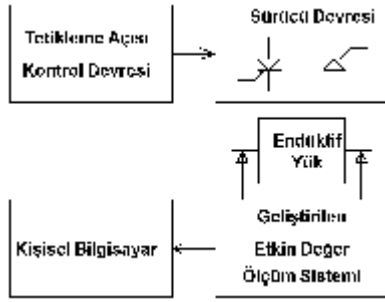
Uygulaması yapılan gerçek değer ölçüm düzeneğinde gerekli ölçümleri alabilmek için Şekil 6'daki gibi bir düzenek hazırlanmıştır

Geliştirilen ölçüm düzeneğindeki birimlerin doğru çalıştığını kontrol etmek için ilk aşamada osiloskop ile bir takım ölçümler yapılmıştır. Şekil 7'de sıfır geçiş dedektörünün çalışmasına dair ölçümler yer almaktadır. Şekil 7'den görüldüğü üzere sıfır geçiş dedektörünün girişine 15 V'luk alternatif gerilim uygulanmış (CH2) ve dedektör çıkışında, alternatif gerilimin pozitif alternanslarında sayısal 1 seviyesine çekilen bir sinyal elde edilmiştir (CH1).

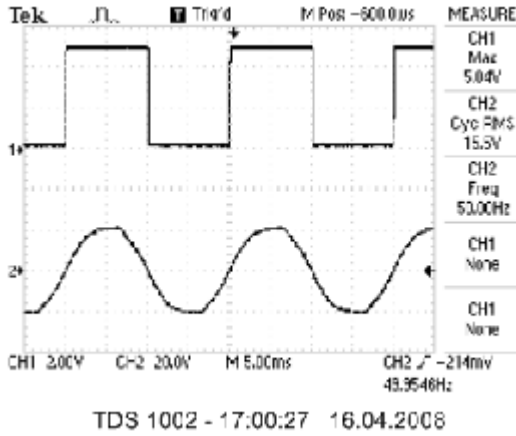
Şekil 8'de ise yüke uygulanan bir gerilim ve ASD'ye ulaşan sinyallerin şekilleri verilmiştir. Tristör sürücü devresine ulaşan tetikleme açısı, endüktif yükte 30,4 V'luk gerilim düşürecek şekilde ayarlanmış ve bu sinyal osiloskopta gözlemlenmiştir (CH1). Yüke aktarılan bu sinyal önce doğrultulmuş ve sonra 1/16 oranında zayıflayarak ASD girişine ulaşmıştır. Bu durum ise Şekil 8'in ikinci kanal sinyalinde açıkça görülmektedir.



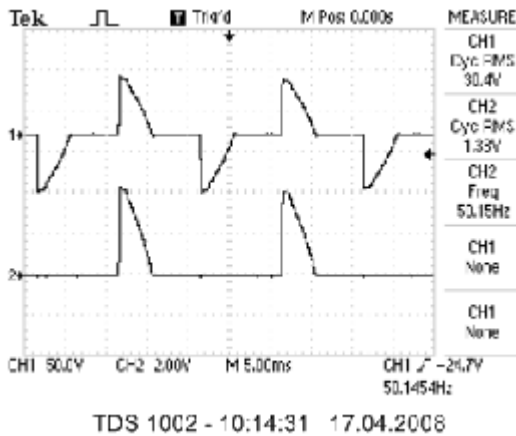
Şekil 5: Proton IDE programında yazılan mikrodenetleyici programının akış şeması



Şekil 6: Deneysel ölçümleri yapabilmek için hazırlanan düzenek



Şekil 7: Sıfır geçiş dedektörü çıkış sinyali



Şekil 8: Endüktif yüke 30,4 V'luk gerilim uygulanması durumunda ASD'ye ulaşan sinyal

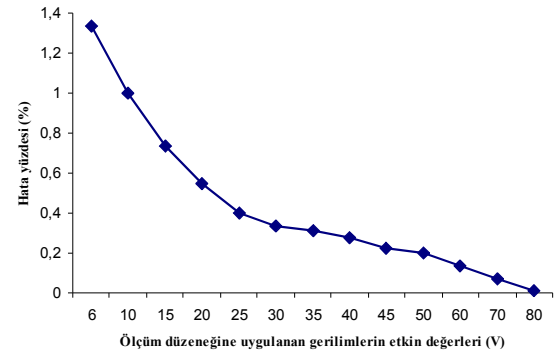
Şekil 7 ve Şekil 8'den elde edilen sinyaller devre düzenlemesinin doğru bir şekilde çalıştığının göstergesidir.

Geliştirilen gerçek etkin değer ölçüm düzeneği ile yapılan ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek için bir takım deneyler yapılmıştır. Şekil 6'da verilen endüktif yük üzerine Tablo 1'de belirtilen gerilim değerleri uygulanmış ve geliştirilen düzeneğin ölçtüğü değer bilgisayarda görüntülenmiştir. Deneyler sonucunda düzeneğe uygulanan gerilim değeri arttıkça, ölçüm hatalarının azaldığı görülmüştür. Tasarlanan ölçüm düzeneğinin girişine uygulanabilecek gerilim

sınırlarının 2-80 V olduğu düşünüldüğünde ölçümlerde ortalama % 0,4'lük bir hata oranı meydana gelmiştir. Bu hata oranının ise kontrol sistemlerinde kabul edilebilir seviyelerde olduğu değerlendirilmektedir. Ölçümler sonucunda ortaya çıkan gerilim-hata oranı grafiği Şekil 9'da verilmiştir

Tablo 1: Mikrodenetleyici tabanlı gerçek etkin değer ölçüm düzeneği örnek ölçüm sonuçları

Ölçüm düzeneğinin girişine uygulanan sinyalin etkin değeri (V)	Ölçüm düzeneği ile ölçülen değer (V)	Hata yüzdesi (%)
6	6,08	1,33
10	10,10	1,00
15	15,11	0,73
20	20,11	0,55
25	25,10	0,40
30	30,10	0,33
35	35,11	0,28
40	40,11	0,27
45	45,10	0,22
50	50,10	0,12
60	60,08	0,13
70	70,05	0,07
80	80,01	0,01



Şekil 9: Ölçüm düzeneğine uygulanan gerilim ile ölçüm sonuçları arasındaki ilişki

4. SONUÇ

Çalışma sonucunda girişine uygulanan sinüs formundaki sinyallerin gerçek etkin değerlerini ölçen ve ölçüm sonuçlarını RS232 biçiminde optik yalıtım ile bilgisayara gönderebilen bir ölçüm düzeneği yapılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde ortalama %0,4'lük bir hata oranına ulaşılmıştır. İmal edilen sistemin elektrofüzyon kaynak makinesi, ark kaynak makinesi, ışık seviyesi kontrol , motor kontrol gibi uygulamalarda bu hata oranının ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- (1) Wey, W.S. and HUANG Y.C., "A CMOS Delta-Sigma True RMS Converter", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol 35, No 2, 248-257, 2000.
- (2) Herwaarden, A.W., Hochstenbach. H.P. and Harmans. J. P., "Integrated true RMS Converter", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol 35, 224-225, 1986.
- (3) Driehuisen, B. P. and Wolffenbuttel, R. F., "Integrated Microma Chined Electrostatic True RMS to DC Converter", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol 44, 370-373, 1995.
- (4) Gilbert, B. and Counts, L. W., "A Monolithic RMS-DC Converter with Crest Factor Compensation", ISSCC Dig. Tech. Papers, 110-111, 1976.
- (5) Wassenaar, R. F., Seevinck, E., Leeuwen, M. G., Speelman, C. J. and Holle, E., "New Techniques for High-Frequency RMS to DC Conversion Based on a Multifunctional V to I Converter", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol 23, 802-815, 1988.
- (6) Mulder, J., Woerd, A. C., Serdijn, W. A. and Roermund A.H.M., "An RMS-DC Converter Based on the Dynamic Translinear Principle", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 32, 1146-1150, 1997.
- (7) Clark, B., Fazio, M., and Scoot, D., "RMS to DC Converters Ease Measurement Tasks" Analog Devices, Application Note AN-268, 1990.
- (8) Zwan, E. J., Veldhoven, R. H. M, Nuijten, P. A. C. M., Dijkmans, E. C., and Swift, S. D., "A 13 mw 500 kHz Data Acquisition IC with 4.5 Digital DC and 0.02% Accurate True RMS Extraction," ISSCC Dig. Tech. Papers, 398-399, 1999.
- (9) Germer, H., "A New Method and a Device for High Precision True RMS Measurements Using the Monte Carlo Method", Precision Electromagnetic Measurements Digest, 581-582, 2000.
- (10) Germer, H., "High-Precision AC Measurements Using the Monte Carlo Method", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol 50, No 2, 457-460, 2001.
- (11) Vujicic, V, Milovanvev, S., Pesaljevic, M., Pejic, D., and Zupunski, I., "Low Frequency Stochastic True RMS Instrument", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol 48, No 2, 467 - 470, 1999