

# ENERJİ SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN HARMONİKLERİN BİR MİKRODENETLEYİCİ KULLANILARAK İŞLENMESİ

Herman SEDEF Ferit ATTAR\* Tuncay UZUN

YTÜ, Ayazağa Kampüsü, Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölümü, 80670 Maslak-İSTANBUL

\*YTÜ, Elektrik Müh. Bölümü, 80750 Beşiktaş-İSTANBUL

## ÖZET

*Elektrik enerjisine olan talebin artışıyla birlikte yüklerin türleri ve devre topolojilerinde de değişiklikler meydana geldi. Sistemde kullanılan lineer olmayan yükler, temel bileşen dışında harmonikleri ve bunların yarattığı sorunları da ortaya çıkardı. Bu nedenle birçok ülke harmonik standartları oluşturdu. Bu durum harmonik ölçmelerini gerekli kıldı. Ölçümler sonucu alınan değerler harmoniklerin etkinliklerini ortadan kaldıracak sistemlerin tasarlanmasını sağladı. Bu çalışmada enerji sistemlerinde kullanılan, değişik lineer olmayan yüklerin meydana getirdiği, istenmeyen harmonikleri ölçen mikrodenetleyicili bir sistem tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.*

## 1. HARMONİKLERE GENEL BİR BAKIŞ

Lineer olmayan elemanların doğasından kaynaklanan en önemli bozucu etki akım ve gerilim dalga biçimlerinin periyodik olmakla birlikte, sinüzoidal değişimden uzaklaşmalarıdır (sinüzoidal olmayan dalgalar). Bu tür dalgalar, bilindiği gibi, J. Fourier tarafından tanımlanmış seriye açıldığında genlik, faz açısı ve frekans olarak birbirinden farklı sinüzoidal dalgaların matematiksel toplamı olarak ifade edilebilmektedir. Sinüzoidal değişimi simgeleyen “temel” dalga dışındaki dalgalar “harmonik” dalgalar adını almaktadır.

### 1.1. Harmonik Üreten Kaynaklar

Sanayiden enerji iletimine kadar her alanda yaygın olarak kullanılan çeviriciler, alternatif akımı doğru akıma

dönüştüren (doğrultucu) veya doğru akımı alternatif akıma dönüştüren (evirici) elemanlar olarak tanımlanır. Bir çeviricinin harmonik mertebesi denklem (1)'de gösterilmiştir /1/.

$$n = k \cdot p \mp 1 \quad (1)$$

Burada p çeviricinin darbe sayısını, k pozitif bir tamsayıyı göstermektedir.

Transformatörün primerine sinüzoidal bir gerilim uygulanmasına karşın, ferro-magnetik nüvenin mıknatıslanma karakteristiği, doyma nedeni ile lineer olmadığı için mıknatıslanma akımı da tam sinüzoidal olamayacaktır. Mıknatıslanma akımının zamana bağlı değişimi ölçme yoluyla belirlenebileceği gibi grafik yoldan da belirlenebilir /2-3/.

Çelik üretiminde kullanılan ark fırınları yüzlerce MVA kapasitesinde tesis edilebilmektedir /4/. Arkın boyuna bağlı olarak, frekans geniş bir aralıkta değişir ve harmonikler oluşur.

Flüoresan tüpler ve benzeri deşarj lambaları, tek dereceli harmonik üreticileridir. Teorik olarak döner makineler de birer harmonik üreticisidir. Bu makinelerin tasarımındaki yöntemler bunları harmonik kaynağı olmaktan çıkarmıştır.

### 1.2. Harmoniklerin Etkileri

Harmonikler şebeke üzerinde rezonans (seri-paralel) olaylarına ve ek kayıplara neden olurlar. Döner makineler üzerinde harmoniklerin olumsuz etkileri gözlenmektedir. Bunlardan birincisi ek harmonik kayıplardır. Harmoniklerin varlığı makinelerin stator sargılarında,

rotor devrelerinde ve nüve kısımlarında ek kayıplara yol açar /5/. Diğer bir etki ise harmonik momentlerdir. Bir  $I_n$  harmonik akımının faz başına oluşturduğu moment yaklaşık olarak aşağıdaki şekildedir /1/.

$$M_n = \left( \frac{V_n^2}{n^3} \right) \left( \frac{r_{2n}'}{x_1^2} \right) \quad (2)$$

İletim sistemleri üzerinde (hava hattı veya yer kablosu) ek  $I^2R$  kayıplarını oluşturur.

$$\sum_n (I^2 R)_n = \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 R_n \quad (3)$$

Diğer taraftan harmoniklerin hat boyunca oluşturduğu gerilim düşümleri de diğer bir etkidir.

$$(\Delta V)_n = I_n Z_n \quad (4)$$

Harmonikler transformatörlerde girdap akım ve histerezis kayıplarının artmasına ve yalıtımın zorlanmasına neden olur. Harmonik akımları sargı (bakır) kayıplarını artırır. Koruyucu sistemler üzerinde harmonikler mesafe korumalarında ölçme ve değerlendirme hatalarına neden olur. Özellikle sayısal mesafe koruma sistemlerinde akım ve gerilim dalgalarının mutlaka filtre edilmesi gerekir /6/. Ölçme, sayısal sistemler, telefon, kontrol sistemleri üzerinde de harmoniklerin etkileri gözlenmektedir. bu nedenle oluşturulan harmonik standartlarında en önemli ölçüt "Toplam Harmonik Distorsiyonu" (THD) dir. Örneğin gerilim için

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (5)$$

şekilde tanımlanır /1/.

## 2. ANALOG İŞARETLERİN AYRIK FOURIER DÖNÜŞÜMÜ (AFD)

Sayısal ölçme sistemlerinde ölçme işlemi belirli aralıklarla analog işaretten örnek alınarak yapılır. İşaret analizinde spektrum kavramı esastır. Periyodik analog işaretlerin spektrumlarının incelenmesi Fourier serileri mümkün olmaktadır.

Fourier serisi, periyodik işaretler için bir fonksiyon açılımı olarak tanımlanır. Bu açılımda en iyi yöntem en küçük kareler yaklaşıklıdır. Düzgün aralıklarla yapılan örnekleme ve periyodiklik matematik modellemeye daima kabul edilen varsayımlardır. Diğer taraftan, Fourier entegrali, Fourier serisinin periyodunun sonsuza götürülmesiyle elde edilen limit durumdur /7/.

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-2\pi jnk/N} \quad (6)$$

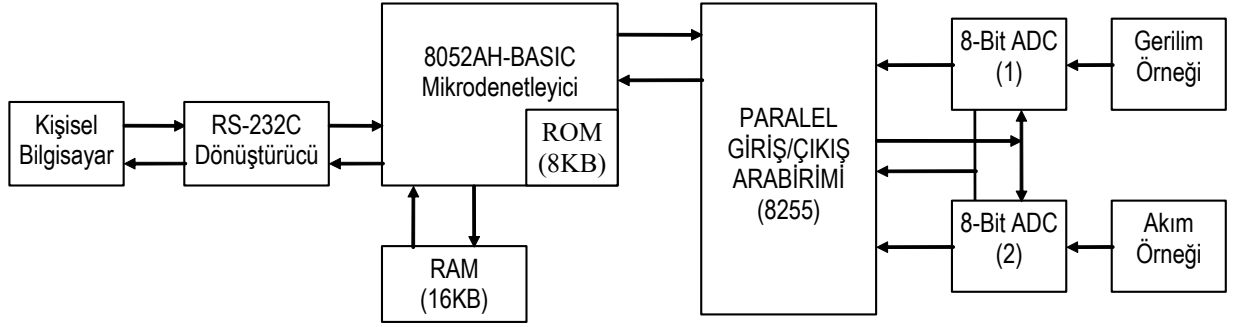
Ayrık Fourier dönüşümünün (AFD) doğrudan hesaplanmasında, frekans spektrumunda her bir değer için N (örnek sayısı) karmaşık çarpma ve N-1 karmaşık toplama işlemi kullanılmaktadır. Bu işlemler spektrumdaki frekans değer adedi arttıkça çok fazla işlem (çok fazla zaman) gerektirmektedir. Bu nedenle AFD hesaplamasında etkin olan ve günümüzde kullanılan yaklaşım hızlı Fourier dönüşüm (HFD) algoritmalarıdır. HFD, AFD'nün hesaplanması için geliştirilmiş etkili bir algoritmadır /7/.

## 3. MİKRODENETLEYİCİ TEMELLİ ÖLÇÜM SİSTEMİ

### 3.1. Ölçüm Sisteminin Donanımı

Bu çalışmada harmonik ölçüm işleminin temel özellikleri incelenmiş ve buna uygun bir donanım tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Donanımın ana elemanı bir BASIC yorumlayıcıya (8052AH-BASIC ver 1.1) sahip bulunan MCS-51 ailesinden bir mikrodenetleyicidir /8-10/. Bu denetleyici kendi içinde bulunan bir asenkron seri haberleşme arabirimi (SHA) ile kolaylıkla terminal ve SHA'ya sahip kişisel bilgisayarlar ile haberleşebilir, denetlenebilir. Ölçüm sisteminin blok diyagramı Şekil-1'de görülmektedir.

Sistem 16KB RAM belleğe ve BASIC yorumlayıcıyı içinde bulunduran 8KB ROM belleğe sahiptir. Harmonik



Şekil-1 Ölçme Sisteminin Blok Diyagramı

analizi yapılacak enerji sisteminden alınan gerilim ve akım örnekleri, iki bağımsız fakat uyumlu çalışan 8-Bit örneksel/sayısal dönüştürücü (ADC) bloklarına uygulanır. Burada 8-Bit sayısal veriye dönüştürülen değerler 8255 paralel giriş/çıkış arabirim tümleşik devresine uygulanır /12/. Mikrodenetleyici sistemi, hem paralel giriş/çıkış arabirim, hem de ADC tümleşik devrelerinin çalışmasını denetleyerek verilerin okunmasını ve bellekte saklanmasını sağlar. Bu işlemler mikrodenetleyici temelli sistemde bulunan BASIC ana programdan çağrılan makina dili altprogram ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. Ölçüm Sisteminin Yazılımı

Mikrodenetleyici temelli sistem ile HFD algoritması BASIC dilinde yazılan bir program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Programın başlangıcında hesaplamada kullanılan diziler açılır ve bellek düzenleme işlemi yapılır. BASIC programın hızı doğru ve hızlı örnek almaya uygun olmadığı için bu işlem makina dilinde yapılmıştır.

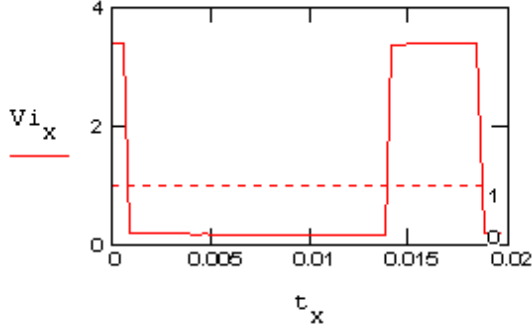
Makina dili yazılım içinde, önce paralel giriş/çıkış arabirimini, her iki ADC tümleşik devresini aynı anda dönüşüme başlatacak şekilde koşullandırır. Dönüşüm işlemi sırasında dönüşümün bittiğini belirler ve verinin okunmasını sağlar. Daha sonra ölçülen verileri önceden tanımlanmış bellek bölgesinde sıra ile saklar. İstenilen sayıda veri ölçüldüğünde makina dili

program sona erer ve BASIC ana programa dönlür.

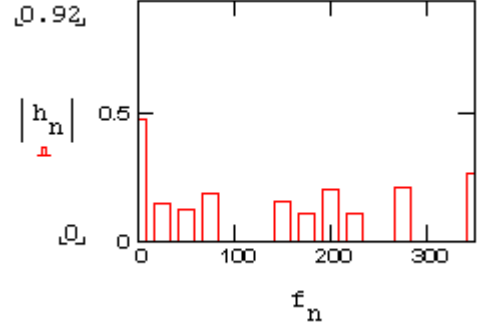
BASIC ana programda ölçülen ham değerler gerçek değerlere dönüştürülür. Sonra bu giriş değerleri ile HFD altprogramı çağrılarak ölçülen işarete ait frekans spektrumu, yani harmonik frekanslardaki genlik değerleri üstel Fourier dizisi şeklinde elde edilir. Elde edilen bu değerler trigonometrik dizide bulunan katsayılara dönüştürülerek sonuç değerler elde edilir.

### 4. SONUÇ

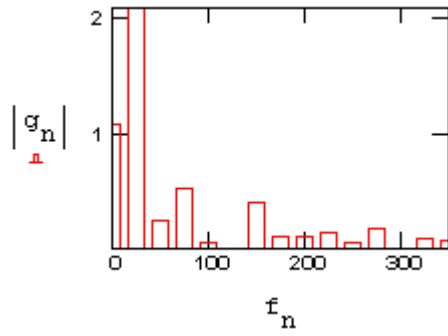
Bu çalışmada mikrodenetleyicili bir ölçme sistemi tasarlanmış ve fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem kullanılarak, ölçümü yapılan sistemden alınan veriler, HFD algoritmasından yararlanılarak işlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile dönüşüm algoritmasının doğruluğu MathCAD matematik analiz programı ile karşılaştırılmış ve teorik olarak da onaylanmıştır. Test amacı ile uygulanan giriş işareti Şekil-2’de, ölçüm sisteminin ve matematik analiz yazılımının hesapladığı frekans spektrumları Şekil-3 ve 4’de, ölçüm hatası ve karşılaştırma sonuçları ise Şekil-5 ve 6’da görülmektedir.



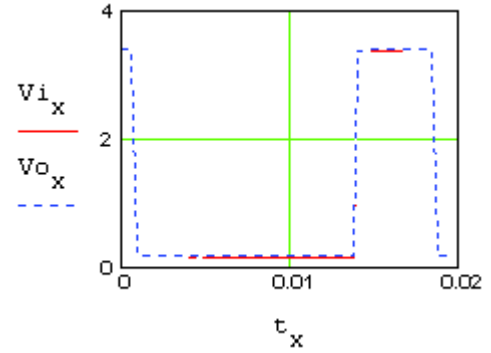
Şekil-2 Test amacı ile Ölçüm Sistemine uygulanan işaret.



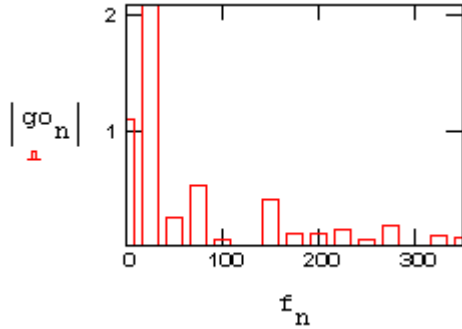
Şekil-5 Ölçüm sistemi ile bulunan frekans spektrumunda harmoniklerin hesabında yapılan bağıl hata.



Şekil-3 İşaretin hesap, matematik analiz yazılımı yardımı ile bulunan frekans spektrumu.



Şekil-4 Ters HFD sonucunda elde edilen işaretlerin üst üste çizimi.



Şekil-4 İşaretin ölçüm sistemi ile bulunan frekans spektrumu.

MCS-52 BASIC yorumlayıcısının hesaplama hassasiyetinin düşük olmasının sonuçlarda  $\pm\%0.5$  sınırlarına varan bağıl hatalara neden olduğu gözlenmiştir. Kullanılan elemanların teknolojik yetersizliğinden kaynaklanan bütün bu olumsuzluklara karşın elde edilen sonuçların doğruluğu ve sistemin ekonomik olması nedeniyle çalışmanın sonuçları olumludur.

#### KAYNAKÇA

- /1/ Arrillaga, J. Bradley, D.A. and Bodger P.S., 1986, Power Systems Harmonics, John Wiley.
- /2/ Körchler R., 1966 Die Transformatoren, Springer-Verlag
- /3/ Boduroğlu T., 1982 Elektrik Makineleri Dersleri-Transformatörler. İ.T.Ü.
- /4/ Sundborg Y., 1976 The Arc Furnace as a Load on the Network, ASEA Journal, Vol 49, pp 75-76

/5/ Klingsiran E.A. and Jordan, H.E., Polyphase Induction Motor Performance and Losses on Non-Sinusoidal Voltage Sources, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol PAS-87, pp 624-631

/6/ McClaren, P.6., and Rodferen N.A., Fourier Series Techniques Applied to Distance Protection, Proc. IEE, Vol. 122, pp 1301-1325.

/7/ Sayısal İşaret İşleme, Doç.Dr. A.H. KAYRAN, İTÜ Matbaası, 1990.

/8/ "Embedded Controller Handbook", Vol 1 8-Bit, Intel, 1988.

/9/ "Embedded Controller Handbook", Vol 2 16-Bit, Intel, 1988.

/10/ "Embedded Applications Handbook", Intel, 1991.

/11/ "MCS-52 BASIC Reference Manual", Intel, 1987.

/12/ "Microprocessor and Peripheral Handbook", Vol. 2 Peripheral, Intel, 1987.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Herman SEDEF

1959'da İstanbul'da doğdu. 1984'de Yıldız Üniversitesi'nden Elektronik ve Haberleşme Müh. olarak mezun oldu. 1986 yılında aynı üniversitenin

Elektronik ve Hab. Müh. Bölümü Devreler ve Sistemler Anabilim dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1987'de F.B.E.'nden Elektronik ve Hab. Yüksek Müh. , 1994'de Doktor Müh. derecelerini aldı. Aynı yıl Devreler ve Sistemler Anabilim dalında Yrd. Doç. kadrosuna atandı. Çalışma alanları, devre analizi, pasif ve aktif devre sentezi, lojik devreler, mikroişlemcili, mikrodenetleyicili, bilgisayarlı sayısal kontrol ve ölçüm sistemleridir.

### Ferit ATTAR

1959 yılında İstanbul'da doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi'nden Elektrik Müh. olarak mezun oldu. aynı yıl İskenderun Demir Çelik Fabrikası'nda Kontrol Mühendisi

olarak çalışmaya başladı. 1986 yılında Y.Ü. Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1988 yılında YTÜ F.B.E'den Yüksek Müh., 1994 yılında

Doktor Müh. ünvanlarını aldı. Aynı yıl Elektrik Tesisleri A.B.D'da Yrd. Doç. kadrosuna atandı. İlgi alanları: Sayısal sistemler, Enerji Sistem Harmonikleri ve Elektrik-Elektronik ölçmeleridir.

### **Tuncay UZUN**

1963'de Şile'de doğdu.

1985'de Yıldız

Üniversitesi'nden

Elektronik ve Hab.

Müh. derecesini aldı.

1986 yılında aynı

üniversitenin Elektronik

ve Hab. Müh. Bölümü

Devreler ve Sistemler Anabilim dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1987'de F.B.E.'nden Elektronik ve Hab. Yüksek Müh. , 1994'de Doktor Müh. derecelerini aldı. Aynı yıl Elektronik Anabilim dalında Yrd. Doç. kadrosuna atandı.. Programlama dilleri, kişisel bilgisayar donanımı ve yazılımı, bilgisayarlı ölçme ve kontrol sistemleri, mikroişlemciler, mikrodenetleyiciler, programların denetleyiciler, devreler ve sistemler teorisi konularında çalışmaları bulunmaktadır.