

Taşınabilir Harmonik Kaynağı Analizörü Tasarımı ve Analizi

Design and Analysis of a Portable Harmonic Source Allocator

Fikret YILMAZ¹, Onur ÖZTÜRK¹, M. Hakan HOCAOĞLU¹

¹Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gebze Teknik Üniversitesi
{fikret.yilmaz, onurozturk, hocaoglu}@gtu.edu.tr,

Özet

Gerilim ve akım karakteristikleri doğrusal olmayan güç elektroniği temelli yüklerin kullanım sayısının artmasına paralel olarak elektrik şebekesindeki akım ve gerilim harmonik kirliliği de artmaktadır. Güç sistemlerinde artan harmonik kirliliği ile sistem kayıpları da yükselir. Oluşan bu kayıpların azaltılması ve kullanılan gücün kalitesinin artırılması amacıyla harmonik üreten yük kullanan tüketicilerin harcadıkları enerjinin daha yüksek bir bedelle fiyatlandırılmaları veya söz konusu tüketicilerin cezalandırılmaları düşüncesi; harmonik bozulmaların kaynağının belirlenmesi için teşvik edici unsur olmuştur. Bu nedenle tek noktadan eş zamanlı olmayan ve çok noktadan eş zamanlı ölçüm yaklaşımları ile harmonik kaynağı tespiti için çeşitli indis ve metotlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada literatürde yaygın olarak bilinen tek noktalı eş zamanlı olmayan ölçüm metot ve indislerini ölçebilen mobil cihazın tasarımı gömülü sistemler ile yapılmıştır. Sistemin doğruluğu, kurulan test sisteminde yapılan ölçümlerin Matlab programında değerlendirilmesiyle elde edilen indis sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Abstract

Usage of power electronics based devices of those voltage and current characteristics are nonlinear, is increasing. This development causes an enormous increase on harmonic pollution, and as a result power loss on the electricity network. The ideas "higher pricing of energy consumption which creates harmonics" or "possible sanctions against the consumers who cause high harmonic generating loads" to be able to increase power quality and reducing power losses are common. Therefore, methods/indices with a single point asynchronous and multiple point synchronous measurement approaches have been developed in order to detect harmonic sources. In this study, we are investigating how to design a portable device with embedded systems that measures, calculates and identifies harmonic sources via single point asynchronous measurement which are commonly known in the literature. The accuracy of the system is evaluated with index results obtained in Matlab by evaluating measured data on a test system.

1. Giriş

Gerilim ve akım karakteristikleri doğrusal olmayan güç elektroniği temelli yüklerin kullanımının artmasıyla birlikte elektrik şebekesindeki akım ve gerilim harmonik kirliliği de artmaktadır. [1], [2]. Bu bozulmanın elektrik şebekesindeki

güç elemanlarında oluşan kayıplarda artışa ve ömürlerinde kısalmaya yol açması sebebiyle, Harmonik Kaynak (HK)'ların kullanımını azaltmak için bir motivasyonun ortaya çıktığı gözlenmektedir. Böylece harmonik üreten yükleri tercih eden tüketicilerin kullandıkları enerji fiyatlarının düzenlenmesi veya cezalandırılması fikri doğmuştur. Bu düşünce ile uluslararası mühendislik organizasyonları ve bilim enstitüleri tarafından konu ile ilgili çeşitli kılavuz ve standartlar hazırlanmıştır [3]-[9]. Ortak bağlantı noktasındaki (PCC) Toplam Harmonik Kirlilik (THD) için tavsiye niteliğindeki sınır değerler Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsünün (IEEE) hazırladığı std. 519-1992 [3]'de verilmiştir. Ayrıca harmonik kirliliğin ölçülmesine yönelik indislerin hesaplanması ve kontrol edilmesine ilişkin uygulamalar da içermektedir. Bunun yanında Uluslararası Elektroteknik Komisyonun (IEC) hazırladığı IEC std. 61000-4-7 [8] ve 4-30 [9] standartlarında harmonik bozulmanın miktarının ölçülmesine ilişkin metotlar tanımlanmış, IEC std. 61000-3-2 [5], 3-4 [6] ve 3-6 [7] standartlarında çeşitli tiplerdeki elektrik yükleri için akım harmoniklerine sınırlamalar getirilmiştir.

Yayımlanan tüm bu standartlarda harmonik üreten yüklerin elektrik şebekesine olan etkisini ölçen ve harmonik kirlilik sorumluluğunu paylaştıran bir metot veya indis sunulmamıştır. Standartlara henüz geçmemiş olmasına rağmen literatürde harmonik üreten yüklerin tespiti ve harmonik kirliliği olan katkılarını ölçen birçok metot ve indis önerilmiş ve bu önerilerin analizleri yapılarak sözü edilen standartlar desteklenmiştir [10] - [17].

Literatürde harmonik üreten yüklerin tespiti ve harmonik kirlilikteki sorumluluğun paylaştırılması için önerilen metot ve indisler, çok noktadan eş zamanlı ve tek noktadan olmak üzere iki gruba ayrılabilir [18], [19]. Bu yöntemleri kullanım kolaylığı ve ölçüm doğruluğu olarak karşılaştırdığımızda çok noktadan eş zamanlı ölçümleri kullanan metot ve indislerin sonuçları daha başarılı fakat eş zamanlı ölçümlerin yapılması, ölçüm noktaları arası haberleşme sebebiyle maliyetleri yüksek ve sahada uygulanmaları zahmetlidir.

Enerji verimliliği ve kalitesi açısından, sistemlerde HK'larına yönelik yerel tedbirlerin alınması önem arz etmektedir. Yapısı bilinmeyen cihazların, yapılan ölçümler doğrultusunda HK olup olmadığının Toplam Akım Harmonik Bozulma (THDi) benzeri bir indis ile belirlenmesi gerekir. Ancak HK belirlenmesinde THDi yetersiz kalmaktadır [17], [19]. Bu çalışmada yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, literatürde yaygın olarak bilinen tek noktadan eş zamanlı olmayan

Çizelge 1: Tasarlanan cihazda değerleri hesaplanacak metot ve indisler

	Tek Faz Formüller	Açıklamalar
KYK	$P = \sum_n V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n)$ $P_1 = V_1 I_1 \cos(\theta_1 - \delta_1)$ $KYK = P/P_1$	Harmoniklerin aktif güç yönünün, temel harmonik gücüne oranı KYK indisi olarak adlandırılır. KYK indisinin oranı 1'den büyük ise baskın HK'nın kaynak tarafı olduğunu; 1'den küçük ise baskın HK'nın yük tarafı olduğunu kabul eder. Üç fazlı sistemde hesap yapılırken aktif güç, fazlardan çekilen aktif güçlerin aritmetik toplamıdır. Bununla birlikte temel harmonik aktif gücü yerine temel harmonik pozitif sıra aktif gücü dikkate alınmıştır.
HGI	$I_{lk} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_k \geq 0 \\ I_k & \text{eğer } P_k < 0 \end{cases} \quad k = 0, 2..n$ $I_{sk} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_k \leq 0 \\ I_k & \text{eğer } P_k > 0 \end{cases} \quad k = 0, 2..n$ $HGI = \frac{\sqrt{\sum_{k=0}^N I_{lk}^2}}{\sqrt{\sum_{k=0}^N I_{sk}^2}}$	Harmoniklerin aktif güç yönüne göre hesaplanır. Harmonik akımlar, aktif güç yönüne bağlı olarak negatif ve pozitif olarak ikiye ayrılmaktadırlar. İndis, her iki akım grubunun etkin değerlerinin oranı olarak hesaplanmaktadır. Üç fazlı uygulamalarda P_k değeri, her bir harmonik için bütün fazlardan çekilen aktif güçlerin toplamı olarak hesaplanır ve işaretine bakılır. HGI indisi aşağıdaki gibi hesaplanır. $HGI = \frac{\sqrt{\sum_{m=a,b,c} \sum_{k=0}^N I_{lk_m}^2}}{\sqrt{\sum_{m=a,b,c} \sum_{k=0}^N I_{sk_m}^2}}$
UA	$Z_n = \frac{V_1}{I_1} \angle n(\theta_1 - \delta_1)$ $i_{co}(t) = \sum_n \frac{I_1}{V_1} V_n \sin(\omega_n t + \theta_n + n(\delta_1 - \theta_1))$ $i_{nco}(t) = i(t) - i_{co}(t)$ $UA(\%) = \frac{I_{nco}}{I}$	Gerilim ile aynı harmonik bozulmaya sahip akıma Uygun (conformity), toplam akımı oluşturan diğer parça da Uygun olmayan (non-conformity) akım olarak tanımlanmıştır. Uygun olmayan akımların, toplam akıma göre yüzdesi indisin değerini verir. Üç fazlı uygulamada Z_n ve i_{nco} hesaplamaları aşağıdaki gibidir. $Z_{m,n} = \frac{V_{m,1}}{I_{m,1}} \angle n(\theta_{m,1} - \delta_{m,1}) \quad m = a, b, c$ $i_{nco}(t) = \sum_{m=a,b,c} i_m(t) - i_{co,m}(t)$
LA	$R = \frac{V_1}{I_1} \cos(\theta_1 - \delta_1) \quad X_n = n \frac{V_1}{I_1} \sin(\theta_1 - \delta_1)$ $ Z_n = \sqrt{R^2 + X_n^2} \quad \Theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{X_n}{R} \right)$ $i_1(t) = \sum_n \frac{(\sqrt{2}V_b)}{ Z_n } \sin(n\omega_1 t + \theta_n - \Theta_n)$ $i_{nl}(t) = i(t) - i_1(t)$ $LA(\%) = \frac{I_{nl}}{I} 100$	Yük akımı, doğrusal eşdeğer empedansın çektiği doğrusal (lineer) akım ve geriye kalan akım (lineer olmayan) akım olmak üzere iki parçaya ayrılmıştır. Eş değer empedans, bileşenleri olan eş değer direnç ve eş değer reaktans değerleri ile hesaplanır. Bu empedans ile lineer akım hesaplanır ve toplam akımdan çıkarılarak lineer olmayan akım bulunur. Lineer olmayan akımın toplam akıma göre yüzdesi indisin değerini verir. Üç fazlı uygulamada i_{nl} akımı ve bileşenleri her faz için ayrı ayrı hesaplanır. I_{nl} akımı, 3 fazın i_{nl} akımlarının toplamından oluşur. $I_{nl}(t) = \sum_{m=a,b,c} i_{nl,m}(t)$
DSC	$P_n = V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n)$ $G_n = \frac{P_n}{V_n^2}$ $G_e = (\sum_n P_n) / (\sum_n V_n^2)$ $I_{sc} = \sqrt{\sum_n (G_n - G_e)^2 V_n^2}$ $V_{rms} = \sqrt{V_n^2}$ $D_{sc} = I_{sc} V_{rms}$	Kaydırılmış iletkenlik akımı (I_{sc}), n. harmonik dengeli iletkenlik değeri ve eşdeğer iletkenlik değerleri ile hesaplanır. Kaydırılmış iletkenlik gücü ise kaydırılmış iletkenlik akımı ile etkin değerlerin çarpımı ile elde edilir. Dsc metodunda harmonik kirliliğin paylaşımı ise S ve Dsc değerlerinin oranı olarak hesaplanmaktadır. Üç fazlı uygulamalarında P_n ve V_{rms} değerlerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir. $P_n = \frac{1}{3} (U_{a,n} + U_{b,n} + U_{c,n}) \quad V_{rms} = \sqrt{3V_{1,n}^2}$

ölçüm yöntemlerine dayalı metot/indisler kullanılarak enerji sistemlerinde HK'ların tespiti için Taşınabilir Harmonik Kaynağı Analizörü (THKA) tasarlanmıştır. Çalışmada yer alan metot/indisler sırası ile Kaynak-Yük Kalite (KYK) [10], Harmonik Global (HGI) [11], Uygun Akım (UA) [13], Lineer Akım (LA) [14] indisleri ve Kaydırılmış İletkenlik Gücü (DSC) [20]-[22] temelli metottur. Bu metotların uygulamasına ilişkin kısa bir tanıtım Çizelge 1'de sunulmuştur. Analizlerde ihtiyaç duyulan toplam işlem gücü aritmetik olarak hesaplanarak gerekli donanım seçimi yapılmıştır. Sistemin doğruluğu analiz edilmiştir.

2. Donanım ve Yazılım

Şebekeden alınan gerçek zamanlı ölçümler ile Çizelge 1'de verilen metot ve indislerin değerlerini hesaplayan THKA tasarım aşamaları donanım ve yazılım olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Çalışmalar, ancak ikinci tasarımın yapılması ile başarılı olmuştur.

Yapılan ilk tasarımda Renesas RX200 ailesi işlemci kullanılmıştır. İşlemci düşük güç tüketimi, 16 bitlik işlemci gücü ve 50Mhz çalışma hızından dolayı seçilmiştir. Tasarımda 64 noktalı Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yapılması uygun görülmüştür ve 50Hz'lik temel frekansın 64 katı 3200 örnek alınması yeterli görülmüştür. Örnek alınacak 6 kanal için ihtiyacımız olan hız 19200 örnek/saniye'dir. Analog Sayısal Dönüştürücü (ASD)'nin hızı 50000 örnek/saniye olmasına rağmen kanalları arasında geçiş yapınca hız yetersiz kalmıştır. Son olarak işlem gücü hesaplamalar için yetersiz kalmıştır.

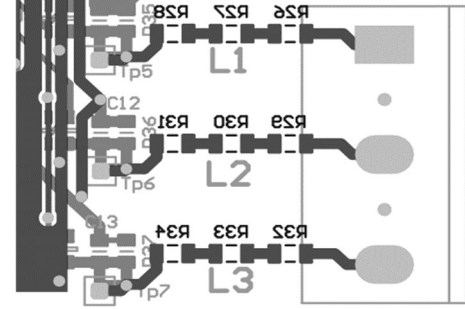
2.1. Donanım

Yapılan ilk THKA tasarımdan sonra, ortaya çıkan hataları da değerlendirilerek donanım ihtiyaçları gözden geçirilmiş ve yeniden oluşturulmuştur. Örnekleme hızı olarak 50Hz'lik temel frekansın 256 katı (frekans uzayına dönüşümde 4 noktalı algoritma kullanılacağı için 256'dır) olan 12800 örnek/saniye olarak belirlenmiştir.

Gömülü sistem tasarımların merkezini oluşturan işlemci seçiminde yaygın kullanımı ve ilk tasarımdaki işlemciden yüksek hesaplama kabiliyetleri olan ARM tabanlı işlemci kullanılmasına karar verilmiştir. Tasarlanan cihazın işlem yükü ve ölçümler için ARM mimarisinin M4 çekirdeğine sahip, içerisinde kayan nokta hesaplama birimi barındıran, her birinin örnekleme hızı 2,4 milyon örnek/saniye olan 3 adet ASD birimine sahip ST marka STM32F429 işlemcisi kullanılmıştır. [23]

Donanım tasarımındaki diğer bir aşama da şebeke ölçüm devrelerinin tasarlanmasıdır. Ölçümler akım ve gerilim devrelerinden oluşmaktadır. Akım ölçüm devresinde 1/1000 dönüştürme oranına sahip 5 Amperlik akım transformatörü kullanılmıştır. Gerilim ölçümleri gerilim bölücü devresi kullanılarak gerilim seviyesi $\pm 1.65V$ aralığına düşürülmektedir. Akım ve gerilim ölçümlerinin, örnekleme hızından yüksek frekanslı gürültülerden etkilenmemesi amacı ile tüm ölçüm girişlerine direnç ve kapasitörden oluşan alçak geçiren filtre kullanılmıştır. ASD'nin tek yönlü çalışmasından dolayı şebekeden ölçülen AC işaret, 1.65V DC gerilim seviyesi ile ötelenmiştir. Bu şekilde AC sinyal, 0-3.3V dalgali DC sinyale dönüştürülerek ASD aracılığı ile dijitala çevrilmiştir.

THKA donanım tasarımındaki son aşama ise Baskılı Devre (BD) tasarımıdır. BD tasarımında güvenlik EN 61010-1 standartlarında göre yapılmıştır. Tasarım, Standartlarda tanımlanan 3 kirlilik seviyesinden 2. seviye olarak belirlenmiştir. Tasarım, ölçüm sisteminde 3 faz bağlandığından dolayı faz-faz arası 380V'luk gerilim seviyesine göre yapılmıştır. Standartda göre 400V'luk gerilim seviyesi, 2. derece kirlilik seviyesi ve FR4 BD taban malzemesi için iki iletken arasındaki mesafenin 4mm olması gerekmektedir.



Şekil 1: Gerilim ölçüm BD tasarımı

Şekil 1'de 3 faz geriliminin devreye bağlandığı BD tasarımı görülmektedir. Devreye bağlanan fazlar arası gerilim seviyesi 380V'tur. Kullanılan 5.08mm bacak aralığına sahip klemenslerin katalog verileri ise 250V'ta kadar kullanılmalarına izin vermektedir. Bu engeli aşmak için her iki faz girişinin arasına bir adet boş terminal bırakılmıştır. Bu şekilde yan yana bağlanan iki faz arasındaki 380V'luk gerilim seviyesinden daha yüksek olan 500V'luk kullanım seviyesine ulaşılmıştır. Benzer bir durum, faz girişlerinde kullanılan gerilim bölücü dirençler için de sorun teşkil etmektedir. 1206 kılıf yüzey montajlı dirençlerin çalışma gerilimleri 200V'tur. Burada da 3 adet direnç seri bağlanarak 600V'luk çalışma seviyesine ulaşılmıştır.

2.2. Yazılım

Yazılım geliştirme bölümünde 320x240 nokta çözünürlüğe sahip ekran aracılığı ile kullanıcı arabirimi tasarlanmıştır. Yapılan tasarımla 8 adet 4 konumlu buton ile tüm kanalların zaman uzayı grafiği, frekans uzayı grafiği ve sayısal verilerden oluşan sonuçların gösterimini kontrol edebilen yapı tasarlanmıştır.

```
WHILE (DOĞRU)
    While (Örnekleme_Zamanı_Doldu_mu)
        Bekle()
    ENDWHILE
    Örnek= ADC_Oku()
    FIFO_Veri_Ekle(Örnek)
    IF örnek_sayısı = 256 THEN
        FFT_hesapla()
        Zaman_Uzayı_Grafikleri_Çiz()
        Frekans_Uzayı_Grafikleri_Çiz()
        Harmonik_Değerlerini_Ekrana_Yaz()
    ENDIF
ENDWHILE
```

THKA hesaplamaların doğru yapılabilmesi örneklemenin eşit zaman aralıkları ile yapılabilmesine bağlıdır. ASD'den alınacak her örnek için bir önceki örneğin dönüşümünün başladığı andan itibaren örnekleme zamanı kadar bekleme gerekmektedir. Örnek sayısı, bir periyodu oluşturan 256 adede

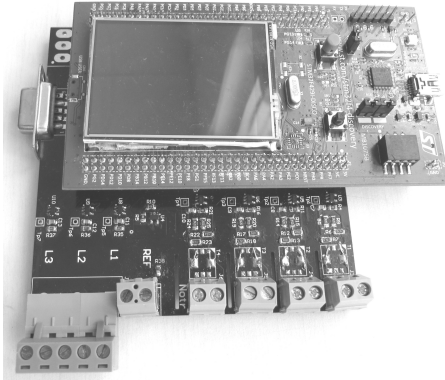
ulaştığında FFT dönüşümü yapılmaktadır. Bu işlem ile harmoniklerin seviyeleri de bulunmuş olur. Hesaplamaları tamamlanan bir periyotluk işlemin sonuçları kullanıcı arabiriminde gösterilir. Her kanal için tekrarlanan örnekleme ve harmoniklerin hesaplanması işlemleri için geliştirilen yazılım yukarıdaki pseudo kodları ile verilmiştir.

```
WHILE(DOĞRU)
  WHILE(6_Kanala_Ait_Ölçümler_Tamamlandı_mı?)
    Bekle()
  ENDWHILE
  Kyk_Hesapla()
  HG_Hesapla()
  UA_Hesapla()
  LA_Hesapla()
  DSC_Hesapla()
  Sonuçları_Ekrana_Yaz()
ENDWHILE
```

Harmonik kirliliğindeki sorumluluğun paylaşılmasına ilişkin indis ve metodlarının hesaplanması için şebekedeki 3 faza ait gerilim ve akım harmoniklerinin hesaplanmış olması gerekmektedir. Yukarıda pseudo kodları bulunan hesaplama rutinleri, şebekeden alınan verileri değerlendirerek Çizelge 1'deki tüm indis ve metodun sonuçlarını hesaplamaktadır.

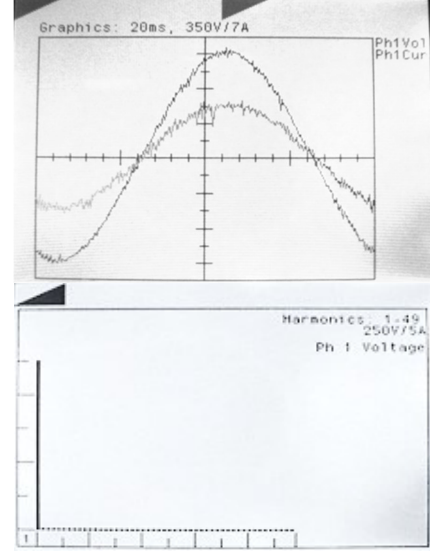
3. Taşınabilir Cihaz

Montajı tamamlanmış THKA Şekil 2'de görülmektedir. Kullanılan malzeme toleranslarından kaynaklı hataları engellemek için her kanalın akım ve gerilim kalibrasyonu yapılmıştır. Şebekeye bağlantılar, doğrudan akım ve gerilim girişleri üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 2: Taşınabilir ölçüm cihazı

THKA kullanıcı arayüzü çözüm odaklı olarak geliştirilmiştir. Şebekeden alınan veriler kullanıcıya 4 farklı ekran aracılığı ile verilmiştir. Şekil 3'te sinyalin zaman ve frekans uzayındaki grafiksel görüntüsü verilmiştir. Zaman uzayı ekranının 20 milisaniyelik zaman diliminde 1 periyotluk şebeke sinyali gösterilmektedir. Çizelgenin maksimum yüksekliği gerilim kanalları için 350V ve akım kanallarının için 7A'dır. Frekans uzayı grafiğinde 1. (temel) harmonik ile 49. harmonik arasındaki sinyaller gösterilmiştir. Sinyallerin genlikleri zaman uzayından farklı olarak etkin değerleri ile gösterilmiştir. Çizelgenin maksimum yüksekliği gerilim kanalları için 250V ve akım kanalları için 5A'dır.



Şekil 3: Kullanıcı arabirimi, grafik görünümü.

Şekil 4'te yapılan hesapların sayısal sonuçları yer almaktadır. Üst ekranda elektrik şebekesindeki harmonik gürültülerin büyük bir bölümünü oluşturan tek harmoniklerin sayısal değerleri gösterilmiştir. HK tespit metot ve indislerin sonuçları ise alt ekranda verilmiştir

Chn	F1G	F2G	F3G	Ntr	F1A	F2A	F3A
H01	220	218	219	0	1	1	1
H03	0	2	1	0	0	0	0
H05	4	3	4	0	0	0	0
H07	8	10	9	0	0	0	0
H09	0	1	1	0	0	0	0
H11	4	6	5	0	0	0	0
H13	1	0	0	0	0	0	0

KYK: +1.00382483
HGI: +25.45083809
UA: +0.07150169
LA: +0.05398555
DSC: +0.02616161

Şekil 4: Kullanıcı arabirimi, sayısal veri görünümü.

4. Ölçümler

4.1. Harmonik Kaynağı Tespit Sistemi



Şekil 5: AA kıyıcı ile rezistif yük deney düzeneği

Testlerde bölüm içerisindeki önceki çalışmalarda yapılacak analizlerde kullanılmak üzere kurulan üç fazlı küçük test sistemi kullanılmıştır. Gerilim verileri National Instruments firmasına ait $\pm 10V$ giriş gerilimi seviyesine sahip NI DAQ 9205 model veri toplama kartı ile alınmaktadır. İşaret uygunlaştırma devreleri bölüm içerisinde tasarlanmıştır. Deneyde Alternatif Akım Kısıyıcı (Dimmer) ile beslenen rezistif yük grubu devresi kullanılmıştır. Test sisteminin görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir. Deney düzeneğindeki hesaplamalar Matlab ile yazılmış program ile yapılmaktadır [24].

4.2. Ölçümler ve Sonuçlar

THKA kullanılarak oluşturulmuş 3 fazlı deney düzeneğinin de her fazın giriş bağlantısı için fiş ve yük bağlantısı için priz kullanılmıştır. THKA ölçüm ve hesaplama doğruluğu, bir önceki bölümde sözü edilen sistemin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Testlerde Toplam Gerilim Harmonik Bozulma (THDv) değeri %5 olan beş farklı sinyal ile yapılmıştır. Alınan sonuçların ve oluşan hataların ortalamaları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2: Karşılaştırmalı sonuçlar

Indis/ Metot	Hesaplama Hatası Yüzde	Harmonik Numarası	Ortalama Hata Yüzde
KYK	0.0000094	H1	0.7265
HG	0.0000120	H3	0.4882
UA	0.0000277	H5	0.5202
LA	0.0000178	H7	0.2777
DSC	0.0000210	H9	0.2126

Yapılan testlerde en büyük hesaplama hatasının UA, DSC ve LA metotlarında olduğu görülmüş. Bu hata, trigonometrik ve üstel işlemlerin daha yoğun olmasından kaynaklıdır. Ölçüm hatalarının kaynağı malzeme toleransları ve THKA'nın üretim teknikleridir. Hesaplama hataları 10^{-5} , ölçüm hataları ise %1 seviyesinin altında olması HK'larının tespiti için yeterlidir.

5. İleriye Yönelik Çalışmalar

THKA ile yapılan ölçümlerin doğrulukları yüksektir ancak hesaplama sonuçları anlıktır. Faturalandırma yapabilmek için söz konusu metot ve indislerin anlık sonuçlarını, enerji birimine dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla metot/indislerin sonuçlarını enerji ifadesi olarak dönüştürülmeleri gerekmektedir.

THKA'nın kullanılabilmesi için uyması gereken güvenlik ve doğruluk standartları mevcuttur. Harmonik kirliliğinin paylaşımı konusunda doğruluk standartları olamamasına rağmen hesaplamaların içerisinde kullanılan gerilim etkin değeri, tüketilen akım ve güç, harmonik seviyesi gibi verilerin standartları mevcuttur. Yeni yapılacak tasarımın bu standartlara uygunluk göstermesi gerekmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arkan, O.; "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", Birsan Yayınevi, Kasım 2003.
- [2] Singh, G. K.; "Power System Harmonics Research: a Survey", Eur. Trans. Electr. Power, vol. 19, no. 2, p.p.: 151-172, 2009.
- [3] IEEE Std. 519-1992; "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993.
- [4] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, Euro. Norms.

- [5] IEC 61000 3-2; "Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Less Than 16A", International Electrotechnical Commission, 2000.
- [6] IEC 61000 3-4; "Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Greater Than 16A", International Electrotechnical Commission, 1998.
- [7] IEC 61000 3-6; "Assesment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems", International Electrotechnical Commission, 1996.
- [8] IEC Standard 61000-4-7, "Testing and Measurement Techniques – General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto," Int. Electrotechnical Commission, 2000.
- [9] IEC Standard 61000-4-30, "Testing and Measurement Techniques-Power Quality Measurement Methods", International Electrotechnical Commission, 2000.
- [10] Ferrero, A., Menchetti, A., Sasdelli, R.; "Measurement of the Electric Power Quality and Related Problems", Eur. Trans. Electr. Power, vol. 6, no. 6, p.p. 401-406, 1996.
- [11] Muscas, C.; "Assessment of Electric Power Quality: Indices for Identifying Disturbing Loads", Eur. Trans. Electr. Power, vol. 8, no. 4, p.p. 287-292, 1998.
- [12] Crstaldi, L., Ferrero, A., Salicone, S.; "A Distributed System for Electric Power Quality Measurement", IEEE Trans. on Instrum. and Meas., vol. 51, no. 4, p.p. 776-781, 2002.
- [13] Srinivasan, K., Jutras, R.; "Conforming and Non-Conforming Current for Attributing Steady State Power Quality Problems", IEEE Trans. on Power Del., vol. 13, no. 1, p.p. 212-217, 1998.
- [14] Dellapos Aquila, A., Marinelli, M., Monopoli, V. G., Zanchetta, P.; "New Power-Quality Assessment Criteria for Supply Systems under Unbalanced and Nonsinusoidal Conditions", IEEE Trans. on Power Del., vol. 19, no. 3, p.p. 1284-1290, 2004.
- [15] Balci, M. E., Karacasu, O., Hocaoglu, M. H.; "A Detection Method for Harmonic Producing Loads", pp. I-149 - I-153, Eleco 2009, Bursa, Turkey, 5-8 Nov. 2009.
- [16] Köksoy A., Öztürk O., Karacasu Ö., Balci M.E., Hocaoglu M.H.; "Harmonik Kaynağı Tespit Metodlarının/İndislerinin Çeşitli Kaynak ve Yük Durumları İçin Doğruluklarının İstatistiksel Analizi", Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2013
- [17] Öztürk O., Köksoy A., Karacasu Ö., Balci M.E., Hocaoglu M.H.; "Üç Fazlı Sistemlerde Labview Tabanlı Harmonik Sorumluluk Paylaşım Hesabı", Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2013
- [18] Cataliotti, A., Cosentino, V., Ippolito, M. G., Morana, G., Nuccio, S.; "Single-point Strategies for the Detection of Harmonic Sources in Power Systems", 9 th Int. Conf. on Elec. Power Quality and Utilisation, Barcelona, Spain, 2007.
- [19] Davis, E. J., Emanuel, A. E., Pileggi, D. J.; "Evaluation of Single-Point Measurements Method for Harmonic Pollution Cost Allocation", IEEE Trans. on Power Del, vol. 15, no. 1, p.p. 14-18, 2000.
- [20] Balci M. E. and Hocaoglu M. H.; "New Power Decomposition for Sinusoidal and Nonsinusoidal Conditions", IEEE ICHQP 2006, Portugal, 2006.
- [21] Balci, M. E., Hocaoglu, M. H. "A power resolution for nonsinusoidal and unbalanced systems — Part II: Theoretical background", Eleco 2011, p.p. I-173 - I-178, Bursa, Turkey, Dec. 2011.
- [22] Balci, M. E., Hocaoglu, M. H. "Addendum to a power resolution for nonsinusoidal and unbalanced systems: Evaluation examples", Eleco 2011, p.p. I-179 - I-182, Bursa, Turkey, Dec. 2011
- [23] RM0090 Reference manual STM32F405xx/07xx, STM32F415xx/17xx, STM32F42xxx and STM32F43xxx advanced ARM -based 32-bit MCUs ST, 2014
- [24] Hocaoglu, M. H., Balci, M. E. "Harmonik üreten yüklerin tespit edilmesi için yeni bir metot geliştirmek", Tübitak Proje No: 110E1131, Turkey, May. 2013