

ÜÇ FAZLI SİSTEMLERDE LABVIEW TABANLI HARMONİK SORUMLULUK PAYLAŞIMI HESABI

Onur
ÖZTÜRK¹

Ahmet
KÖKSOY¹

Özgür
KARACASU¹

M. Erhan
BALCI²

M. Hakan
HOCAOĞLU¹

¹Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Bölümü
41400 Gebze KOCAELİ

{akoksoy, onurozturk, karacasu, hocaoglu}@gyte.edu.tr

²Balıkesir Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Çağış Yerleşkesi 10145 BALIKESİR
mbalci@balikesir.edu.tr

ÖZET

Literatürde Harmonik Kaynağı Tespiti (HKT) ve Harmonik Bozulma Sorumluluğunun Paylaştırılması (HBSP) amacı ile çeşitli metotlar/ indisler önerilmiştir. Bu çalışmada literatürde yaygın olarak bilinen HKT ve HBSP metotlarının/ indislerinin gerçek zamanlı ölçülmesi amacıyla Labview tabanlı bir sistem tasarlanmıştır.

Tasarlanan ölçüm sistemi ile Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE) Çayırova yerleşkesine ait dağıtım sisteminin bir bölümünde uzun süreli ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla, bu HKT ve HBSP metotlarının/ indislerinin pratik bir sistem için doğrulukları test edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Harmonik Bozulma Sorumluluğunun Paylaştırma, Harmonik Kaynağı Tespiti, Harmonik Bozulma.

1. GİRİŞ

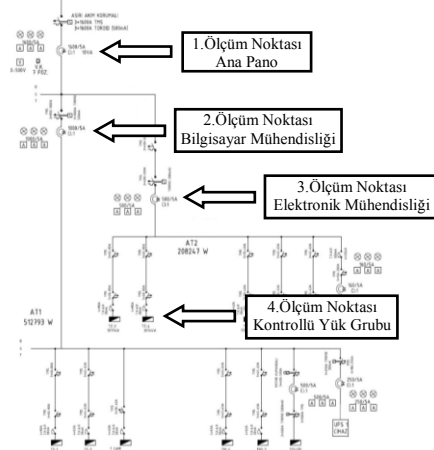
Son yıllarda doğrusal olmayan (veya harmonik kirliliğe sahip akım çeken) yüklerin büyük güçlerde ve yaygın olarak kullanımı neticesinde, dağıtım sistemlerindeki bara gerilimleri ve hat akımlarına ait harmonik bozulma miktarları önemli seviyelere ulaşmıştır [1], [2]. Güç sistemi elemanlarının harmoniklere bağlı kayıplarının azaltılması ve harmonik bozulmadan zarar görmelerinin engellenmesi bakımından harmonik kirliliğin sınırlandırılması büyük önem kazanmıştır. Bundan dolayı mühendislik organizasyonları ve enstitüler tarafından hazırlanan çeşitli standartlarda harmonik bozulma için sınır değerler belirlenmiştir [3]-[6]. Ancak bu standartlar, HKT ve HBSP problemlerine çözüm getirmemiştir. Bu boşluğu doldurmak amacıyla literatürde birçok çalışma yayınlanmış ve metotlar/ indisler tanımlanmıştır [7]-[19]. Bu metotlar/ indisler ölçüm stratejisi bakımından iki ana grup altında incelenebilir. Bunlardan birincisi, çok noktadan eş zamanlı ölçümlere dayalı metotlar/ indisler, ikincisi ise tek noktadan eş zamanlı olmayan ölçümlere dayalı metotlar/ indislerdir [7]. Çok noktadan eş zamanlı ölçümlere dayalı metotlar daha güvenilir olmalarına rağmen birden çok noktaya yerleştirilmiş eş zamanlı ölçüm yapabilen ölçüm cihazları gerektirdiğinden uygulama maliyetleri daha yüksektir.

Bu çalışmada literatürde ulaşılabilen tek noktadan eşzamanlı olmayan ölçümlere dayanan HKT ve HBSP metotlarının/ indislerinin gerçek zamanlı ölçülmesi amacıyla Labview [20] tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Labview tabanlı ölçüm sisteminde

dikkate alınan metotlar/ indisler sırasıyla; Kaynak-Yük Kalite (KYK) [10], Harmonik Global (HG) [11], Uygun Akım (UA) [13] ve Lineer Akım (LA) [14] indisleri ile Kaydırılmış İletkenlik Gücü (D_{SC}) temelli metotlar [19], [21], [22]. Tasarlanan Labview tabanlı sistem ile adı geçen metotların/ indislerin doğrulukları GYTE Çayırova yerleşkesi dağıtım sisteminin bir bölümünde yapılan uzun süreli ölçümlerle test edilmiştir.

2. TASARLANAN ÖLÇÜM SİSTEMİNİN DONANIM YAPISI

Tasarlanan ölçüm sisteminin GYTE Çayırova yerleşkesi dağıtım sistemi üzerindeki yerleşimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. GYTE Çayırova yerleşkesi dağıtım sisteminin bir bölümüne ait tek hat şeması ve ölçüm noktaları.

1., 2. ve 3. ölçüm noktalarında ethernet erişimli NI-9205 Veri Toplama Kartı (VTK), mevcut 200A/5A akım transformatörlerinin sekonder tarafına bağlanan Circitor CP-5 akım probu ve 1/80 dönüştürme oranına sahip gerilim bölücüler ile birlikte kullanılmıştır. 4. ölçüm noktası olan Kontrollü Yük Grubu (KYG) ise 3 fazlı 10x1kW, 10x1kVA ve 10x1kVAr pasif yük grubunu temsil etmektedir. Bu ölçüm noktasında NI-USBX 6366 (VTK), Fluke i1000S akım problemleri ve 1/80 dönüştürme oranına sahip gerilim bölücüler ile birlikte kullanılmaktadır.

3. TASARLANAN ÖLÇÜM SİSTEMİNİN YAZILIM YAPISI

Bu bölümde KYK, HG, UA, LA ve D_{SC} metotlarına/ indislerine ait ölçme prosedürleri kısaca özetlenmiş ve her biri için geliştirilen LabVIEW alt programları (SubVI) detaylı olarak verilmiştir.

3.1 Kaynak-Yük Kalite (KYK) İndisi

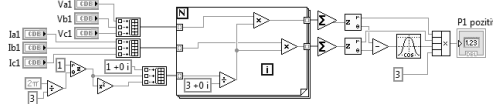
Harmoniklere ait aktif güçlerin akış yönlerini dikkate alan bir metot olan KYK indisi; tek fazlı sistemler için sırasıyla Denklem (1) ve (2)'de verilen aktif ve temel harmonik aktif güçleri cinsinden Denklem (3) ile hesaplanır. Hesaplanan KYK indisinin değeri 1' den küçük ise baskın harmonik kaynağının yük tarafı olduğu; 1'den büyük ise baskın harmonik kaynağının kaynak tarafı olduğu kabul edilir [10].

$$P = \sum_n V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) \quad (1)$$

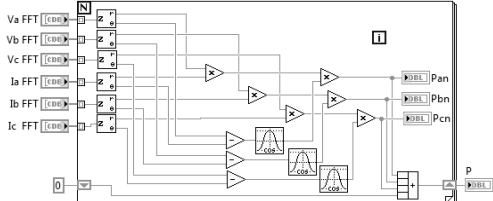
$$P_1 = V_1 I_1 \cos(\theta_1 - \delta_1) \quad (2)$$

$$KYK = P/P_1 \quad (3)$$

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 ($P_{1+} = 3V_{1+} I_{1+} \cos(\theta_{1+} - \delta_{1+})$) dikkate alınmıştır. P_{1+} ve P değerlerinin ölçümüne ilişkin Labview kodu sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. P_{1+} ölçümüne ait Labview alt programı.



Şekil 3. P ölçümüne ait Labview alt programı.

Şekil 2'deki programda temel harmonik pozitif sıra faz-nötr gerilimi ile temel harmonik pozitif sıra hat akımının fazör değerleri bulunduğundan sonra P_{1+} hesaplanmıştır. Şekil 3'deki programda ise Denklem (1)'e uygun olarak, her bir faz için harmonik aktif güçler hesaplanmış ve buradan toplam aktif güce ulaşılmıştır.

3.2 Harmonik Global (HG) İndisi

HG harmoniklere ait aktif güçlerin akış yönlerini dikkate alan bir indistir. Buna göre harmonik akımlar, iki farklı gruba ayrılmıştır. İlk grup aktif gücün negatif olduğu harmonik numaralarındaki harmonik akımlarıdır. İkinci grup ise aktif gücün pozitif olduğu harmonik numaralarındaki harmonik akımlarıdır. Böylece HG indisi ilk gruptaki harmonik akımların toplam etkin değerinin, ikinci gruptaki harmonik akımların toplam etkin değerine oranı biçiminde tanımlanmıştır [11], [12]. Tek fazlı sistemler için birinci ve ikinci gruba ait harmonik akımlarının belirlenışı sırasıyla Denklem (4) ve (5)'de, HG indisinin hesabı ise Denklem (6)'da verilmiştir. Bu indisin üç fazlı sistemlere uygulamasında, yukarıda bahsedilen iki gruba giren harmonik numaraları belirlenirken her bir fazdan çekilen harmonik aktif güçlerin toplamının işareti kontrol edilmiştir.

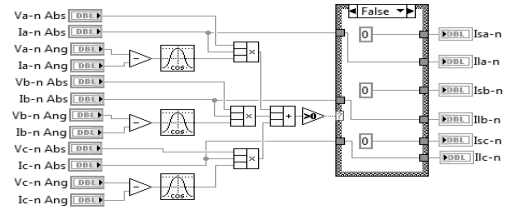
$$I_{\ell k} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_k \geq 0 \\ I_k & \text{eğer } P_k < 0 \end{cases} \quad k = 0, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$I_{sk} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_k \leq 0 \\ I_k & \text{eğer } P_k > 0 \end{cases} \quad k = 0, 2, \dots, n \quad (5)$$

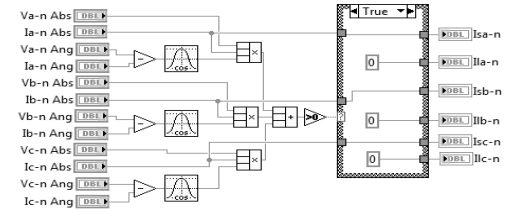
$$HGI = \frac{\sqrt{\sum_{k=0}^N I_{\ell k}^2}}{\sqrt{\sum_{k=0}^N I_{sk}^2}} \quad (6)$$

Ayrıca Denklem (7)'de verilen kollektif etkin değer tanımı üç fazlı sistemlerde birinci ve ikinci grup harmonik akımlarının toplam etkin değerlerinin hesabında dikkate alınmıştır.

$$I_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{m=a,b,c} \sum_{k=0}^N I_{mk}^2} \quad (7)$$



Şekil 4. Her bir harmonik için I_{ℓ} akımını hesaplayan Labview alt programı.



Şekil 5. Her bir harmonik için I_s akımı hesaplayan Labview alt programı.

HG indisinin ölçümü için kullanılan alt programlardan olan Şekil 4'de verilen programda, k . harmonik numarası için toplam aktif gücün sıfırdan küçük olduğu durumda her bir faza ait k . harmonik akımı $I_{\ell k}$ akımı olarak tespit edilmektedir. Diğer taraftan, Şekil 5'te verilen alt programda k . harmonik numarası için toplam aktif gücün sıfırdan büyük olduğu durumda her bir faza ait k . harmonik akımının I_{sk} akımı olarak tespit edildiği görülmektedir.

3.3 Uygun Akım (UA) İndisi

UA indisinin hesabında akım iki parçaya ayrılmıştır. Bu parçalardan biri gerilimle aynı harmonik bozulmaya sahip Uygun (Conformity) akım, diğeri ise geriye kalan akım bileşeni olan Uygun Olmayan (non-conformity) akımdır [13]. Buna göre Denklem (8)'de hesaplanan n . harmonik yük empedansı üzerinden akan akım, yük akımının uygun akım parçasıdır.

$$Z_n = \frac{|V_1|}{|I_1|} \angle n(\theta_1 - \delta_1) \quad (8)$$

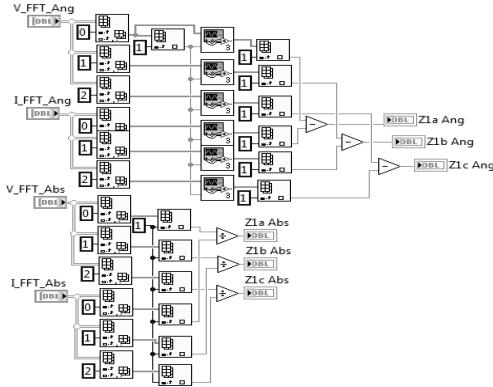
Uygun ve uygun olmayan akım parçaları zaman domeyninde sırasıyla Denklem (9) ve (10)'da ifade edilmiştir. Tek fazlı sistemler için UA indisi, uygun olmayan akım parçasının etkin değerinin akımın toplam etkin değerine oranı biçiminde Denklem (11)'de tanımlanmıştır.

$$i_{co}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_1}{V_1} \sqrt{2V_n} \sin(n\omega_1 t + \theta_n + n(\delta_1 - \theta_1)) \quad (9)$$

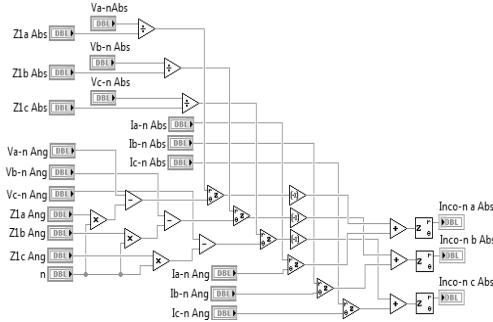
$$i_{nco}(t) = i(t) - i_{co}(t) \quad (10)$$

$$UA(\%) = \frac{I_{nco}}{I} 100 \quad (11)$$

UA indisinin üç fazlı sistemlerde hesaplanmasına ilişkin Labview alt programı hazırlanırken Denklem (8)'de verilen empedans değeri her bir faz için hesaplanmış ve bu empedanslara göre bütün fazlara ait uygun ve uygun olmayan akım parçaları belirlenmiştir. Her bir faz için eşdeğer empedans hesabına ilişkin program Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Z_1 empedansının genlik ve açı değerlerinin hesaplanmasına ilişkin Labview alt programı.



Şekil 7. Her bir harmonik numarası için I_{nco} akımının genlik değerini hesaplayan Labview alt programı.

Üç faza ait uygun olmayan akımların ve faz akımlarının toplam etkin değer hesabı ise Denklem (7)'de verilen kolektif etkin değer tanımı dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 7'de gösterilen kodlarda, her bir faz için gerilim harmoniklerinin etkin değerleri temel harmonik eşdeğer empedans değerine bölünerek uygun akım bileşeninin harmoniklerine ait etkin değerler hesaplanmıştır. Uygun akımın n . harmoniğine ait açı değeri ise Denklem (9)'da sinüs fonksiyonu içinde yer alan $\theta_n + n(\delta_1 - \theta_1)$ ifadesine göre belirlenmiştir. Yük akımı ile uygun akım parçasının n . harmonik bileşenlerinin fazör farkından uygun olmayan akım parçasının n . harmonik etkin değeri her bir faz için hesaplanmıştır.

3.4 Linear Akım (LA) İndisi

Linear Akım (LA) indisi tanımlanırken yük akımı, yükün doğrusal eşdeğer empedansından akan doğrusal (lineer) akım ve geriye kalan akım (lineer olmayan) akım olmak üzere iki parçaya ayrılmıştır [14]. Bu

eşdeğer empedansın direnç ve n . harmonik endüktif reaktans değerleri, sırasıyla Denklem (12) ve (13)'te verilmiştir.

$$R = \frac{V_1}{I_1} \cos(\theta_1 - \delta_1) \quad (12)$$

$$X_n = n \frac{V_1}{I_1} \sin(\theta_1 - \delta_1) \quad (13)$$

Eşdeğer empedansın genliği ve açısı ise sırası ile Denklem (14) ve (15)'deki ifadeler ile elde edilir.

$$|Z_n| = \sqrt{R^2 + X_n^2} \quad (14)$$

$$\theta_n = \arctan\left(\frac{X_n}{R}\right) \quad (15)$$

Böylece eşdeğer empedans üzerinden akan akım parçası (lineer akım),

$$i_\ell(t) = \sum_n \frac{(\sqrt{2}V_n)}{|Z_n|} \sin(n\omega_1 t + \theta_n - \theta_n) \quad (16)$$

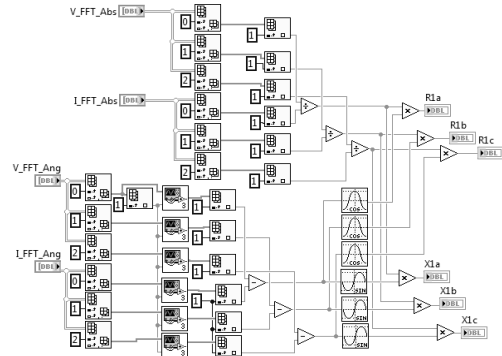
biçiminde ifade edilir. Yük akımından lineer (doğrusal) akım parçası çıkarılırsa, lineer (doğrusal) olmayan akım parçası,

$$i_{n\ell}(t) = i(t) - i_\ell(t) \quad (17)$$

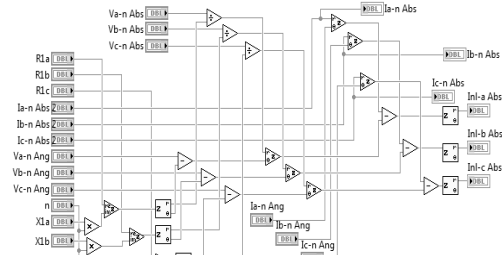
elde edilir. LA indisi, lineer olmayan akım parçasının etkin değerinin toplam yük akımının etkin değerine oranlanması ile hesaplanır:

$$LA(\%) = \frac{I_{n\ell}}{I} 100 \quad (18)$$

Bu metodun üç fazlı sistemlere uygulanmasında her bir faz akımı için lineer olmayan akım parçaları hesaplanır. Üç faza ait lineer olmayan akımların ve faz akımlarının toplam etkin değer hesapları ise kolektif etkin değer tanımı dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 8. Temel harmonik için R_1 ve X_1 değerlerini hesaplayan Labview alt programı.



Şekil 9. Her bir harmonik numarası için I_{nl} akımının genlik değerini hesaplayan Labview alt programı.

Şekil 8'de verilen Labview programı temel harmonikte her bir faz için Denklem (12) ve (13)'ü kullanılarak R ve X değerleri hesaplar. Temel

harmonikte hesaplanan R_l ve X_l değerlerinden Şekil 9'daki Labview programı ile geçerli harmonik numarası için kutupsal forma dönüştürülüp açı değeri elde edilir. Gerilim açı değeri ile elde edilen empedans açı değerinin farkı alınarak lineer akım parçasının açı değeri elde edilmiş olur. Her bir harmonik numarası için gerilimin etkin değerinin eşdeğer lineer empedansın genliğine oranından ise ilgili harmonik numarasına ait lineer akım etkin değeri bulunur. Böylece etkin değer ve açısı hesaplanan lineer akım parçası, kompleks formda yük akımından çıkartılarak lineer olmayan akım parçası elde edilmiştir.

3.5 Kaydırılmış İletkenlik Gücü (DSC) Temelli Metot

Bu metot [21], [22]'de önerilen güç ifadesinde yer alan Kaydırılmış İletkenlik Gücünün (D_{sc}) ölçümüne dayanan bir metottur. D_{sc} 'nin hesabı aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Üç fazlı sistemlerde faz-nötr gerilimleri ve yük akımları sırasıyla Denklem (19) ve (20)'deki gibi ifade edilirse;

$$V_m = \sum_n \sqrt{2} V_n \sin(\omega_n t + \theta_{mn}) \quad (19)$$

$$I_m = \sum_n \sqrt{2} I_{mn} \sin(\omega_n t + \delta_{mn}) \quad (20)$$

her bir harmonik numarasında a, b, c fazlarından çekilen aktif güçler,

$$U_{mn} = V_n I_{mn} \cos(\theta_{mn} - \delta_{mn}) \quad (21)$$

$m = a, b, c$

şeklinde yazılabilir. gerilim dengesizliğinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilerek her bir fazdan çekilen n . harmonik dengeli aktif gücü (P_{Bn});

$$P_{Bn} = \frac{1}{3} (U_{an} + U_{bn} + U_{cn}) \quad (22)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem (22)'de verilen aktif güç ifadesi yükün n . harmonik empedansının dengeli kısmından dolayı her bir fazdan çekilen aktif güçtür. Bu durumda n . harmonik dengeli iletkenlik değeri

$$G_{Bn} = \frac{P_{Bn}}{V_n^2} \quad (23)$$

ile hesaplanabilir. Her faz için özdeş olan eşdeğer iletkenlik ise;

$$G_e = \sum_n P_{Bn} / \sum_n V_n^2 \quad (24)$$

biçiminde ifade edilir. Denklem (23) ve (24) yardımıyla kaydırılmış iletkenlik akımının etkin değeri kollektif olarak hesaplanır.

$$I_{sc} = \sqrt{3 \sum_n (G_{Bn} - G_e)^2 V_n^2} \quad (25)$$

Böylece V (bir faz için hesaplanan etkin gerilim değeri) ve I_{sc} cinsinden D_{sc} gücü tanımlanmıştır:

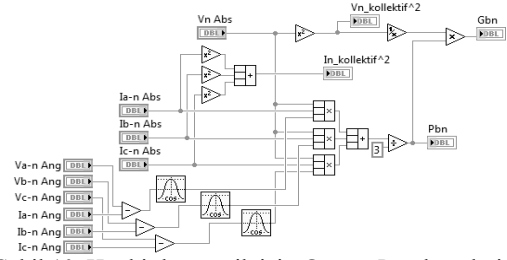
$$V_\Sigma = \sqrt{\sum_{m=a,b,c} V_m^2} = \sqrt{3} V \quad (26)$$

$$D_{sc} = I_{sc} V_\Sigma \quad (27)$$

Bu çalışmada kaydırılmış iletkenlik gücü temelli HKT metodunun uygulanmasında D_{sc} gücünün, üç faz toplam görünür gücüne göre normalize edilmiş değerleri dikkate alınmıştır. Üç faz toplam görünür gücü, V_m ve I_m her bir fazdaki etkin gerilim ve akım değerleri olmak üzere;

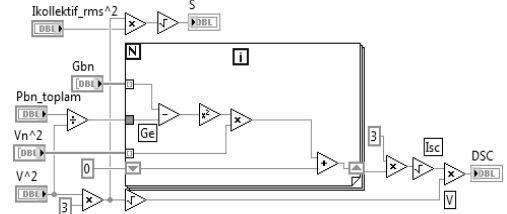
$$S = \sum_{m=a,b,c} V_m I_m \quad (28)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Diğer taraftan [19] ve [22] çalışmaları, D_{sc} gücünün; yük tarafının baskın harmonik kaynağı olduğu durumlarda kaynak tarafının baskın harmonik kaynağı olduğu durumlara göre çok büyük değerde olduğunu göstermiştir.



Şekil 10. Her bir harmonik için G_{Bn} ve P_{Bn} değerlerini hesaplayan Labview alt programı.

D_{sc} gücünün hesaplanması için gerekli olan G_{Bn} ve P_{Bn} parametrelerinin hesabına ilişkin Labview programı Şekil 10'da verilmiştir. Denklem (24)-(27)'de sırasıyla verilen G_e , I_{sc} , V_Σ ve D_{sc} parametrelerinin hesabına ilişkin Labview programı ise Şekil 11'den görülmektedir.

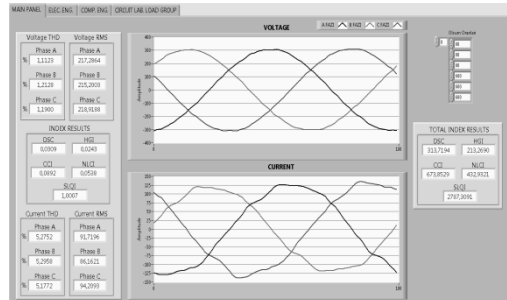


Şekil 11. D_{sc} ve S değerlerini hesaplayan Labview alt programı.

4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Ölçüm sisteminin kullanıcı arayüzü Şekil 12'de verilmiştir. Bu arayüzde belirlenen dört ölçüm noktası için akım ve gerilim Toplam Harmonik Bozulma (THD) miktarı, etkin değerleri ve metotlara/ indislere ait değerler gösterilmiştir.

Ölçüm noktaları için metotlara/ indislere ait anlık sonuçlar ve faz-nötr gerilimleri ile faz akımlarının ortalama THD değerleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 12. Test sistemi kullanıcı arayüzü.

Tablo 1. Metotlara ilişkin anlık ölçüm sonuçları.

Metotlar	1. Ölçüm Noktası Ana Pano	2. Ölçüm Noktası Bil. Müh.	3. Ölçüm Noktası Elk. Müh.	4. Ölçüm Noktası KYG
<i>HGI</i>	0.0603	0.1664	0.1018	0.0170
<i>KYK</i>	1.0003	0.9998	1.0010	1.0001
<i>UA (%)</i>	14.9400	18.2700	17.7600	4.2600
<i>LA (%)</i>	10.1900	14.8300	12.2800	3.0900
<i>Dsc (N)</i>	0.0784	0.1181	0.0649	0.0256
<i>Ort.%THD_I</i>	10.2562	15.3368	12.3224	3.1825
<i>Ort.%THD_V</i>	1.1759	1.1759	1.1759	2.1407

Tablo 1’den tüm ölçüm noktaları için ölçülen THD_V değerlerinin test sistemine ait gerilim seviyesi için IEEE standart 512-1992’de tanımlı %5 sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Harmonik üreten yüklerin bağlı olduğu 1., 2. ve 3. ölçüm noktalarından çekilen akımların dikkate değer büyüklükte THD_I değerlerine sahip olduğunu yine aynı tablodan anlaşılmaktadır. Doğrusal yüklerin bağlı olduğu 4. ölçüm noktası için ölçülen THD_I ve THD_V değerleri ise birbirine çok yakındır.

Ölçüm sonuçlarından *KYK* indisinin 2. ve 4. ölçüm noktalarını doğru olarak sınıflandırdığı, bununla birlikte 1. ve 3. ölçüm noktalarında bu indisin hata yaptığı Tablo 1’den anlaşılmaktadır.

HG, *UA* ve *LA* indisleri ile *D_{SC}* temelli metot ise 1., 2. ve 3. ölçüm noktaları için harmonik üreten yüklerin varlığını tespit etmiştir. Ayrıca aynı metot ve indisler, 4. ölçüm noktası için diğer ölçüm noktaları ile karşılaştırıldığında çok küçük bununla birlikte ölçülebilen değerlere sahiptir. Bu durum *KYK* dışındaki metot ve indislerin pratik sistemlerde başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için eşik değer tanımlama gerekliliğini işaret etmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Harmonik Kaynağı Tespiti (HKT) ve Harmonik Bozulma Sorumluluğunun Paylaştırılması (HBSP) metotlarından/ indislerinden literatürde yaygın olarak bilinenlerinin gerçek zamanlı ölçümü için Labview tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan ölçüm sistemi yardımıyla bir dağıtım sisteminde uzun süreli ölçümler alınmıştır.

Ölçüm sonuçlarının analizinden, *KYK* indisinin baskın harmonik kaynağı tespitinde doğru sonuçlar vermediği görülmüştür. Ayrıca analiz sonuçları; *HG*, *UA* ve *LA* indisleri ile *D_{SC}* metodunun pratik sistemlerde bir eşik değer tanımlanarak baskın harmonik kaynağının tespitinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen “Harmonik Üreten Yüklerin Tespit Edilmesi İçin Yeni Bir Metot Geliştirmek (Proje No:110E113)” isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

[1] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O.; “Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsen 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 Ins. of Elec. and Electronics Engineers, 1993.

[4] IEC 61000 3-2; “Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Less Than 16A”, Int. Electrotechnical Commission, 2000.

[5] IEC 61000 3-4; “Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Greater Than 16A”, Int. Electrotechnical Commission, 1998.

[6] IEC 61000 3-6; “Assesment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems”, IEC, 1996.

[7] 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.

[8] Cristaldi, L., Ferrero, A.; “Harmonic Power Flow Analysis for the Measurement of the Electric Power Quality”, IEEE Trans. Instrum. and Meas., vol. 44, no. 3, p.p. 683–685, 1995.

[9] Aiello, M., Cataliotti, A., Cosentino, V., Nuccio, S.; “A Self-Synchronizing Instrument for Harmonic Source Detection in Power Systems”, IEEE Trans. on Instrum. and Meas., vol. 54, no. 1, p.p. 15–23, 2005.

[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] DellaposAquila, 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] SergioFerreira de PaulaSilva, Jose Carlos de Oliveira; “The Sharing of Responsibility between the Supplier and the Consumer for Harmonic Voltage Distortion: A Case Study”, Electric PowerSyst. Res., 2 June 2008.

[16] Barbaro, P. V., Cataliotti, A., Cosentino, V., Nucci, S.; “A Novel Approach Based on Nonactive Power for the Identification of Disturbing Loads in Power Systems”, IEEE Trans. on Power Del., vol. 22, no. 3, p.p. 1782-1789, 2007.

[17] Chaoying, C., Xiuling, L., Koval, D., Xu, W., Tayjasanant, T.; “Critical Impedance Method - a New Detecting Harmonic Sources Method in Distribution Systems”, IEEE Trans. on Power Del., vol. 19, no. 1, p.p. 288-297, 2004.

[18] Cataliotti, A., Cosentino, V., Ippolito, M. G., Morana, G., Nuccio, S.; “Single-point Strategies for the Detection of Harmonic Sources in Power Systems”, 9th Int. Conf. on Electric Power Quality and Util., Barcelona, Spain, 2007.

[19] Balci, M. E., Karacasu, O., Hocaoglu, M. H., “A Detection Method for Harmonic Producing Loads”. pp. 1-149 - 1-153, Eleco, Bursa, Turkey, 5-8 Nov. 2009.

[20] Labview8.6 : <http://www.ni.com/labview/>.

[21] Balci, M. E., Hocaoglu, M. H. “A power resolution for nonsinusoidal and unbalanced systems — Part II: Theoretical background”, Eleco 2011, p.p. 1-173 - 1-178, 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. 1-179 - 1-182, Bursa, Turkey, Dec. 2011.