

THDi vs TDD

Güç Kalitesi Analizinde Akım Bozulma Parametrelerine Standartlar Dahilinde Bir Bakış

Elk. Elo. Müh. H. Mert Dirik
hamza.dirik@gmail.com

Bilindiği gibi günümüzde tesislerde tüketilen gücün kalitesi ve verimliliği son derece önemli bir yer tutmaktadır. Tesislerin sorunsuz, ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesi hem işletme sahiplerinin hem de işletme ve bakım mühendislerinin en önemli konusu olmuş durumda. Bu bağlamda şebekenin bize sunduğu gerilimin ve bizim şebekeden talep ettiğimiz akımın kalitesi ve her ikisinin birlikte değerlendirildiği “güç kalitesi” kavramının ne olduğu, hangi parametrelerin nasıl değerlendirilmesi gerektiği konusu ise elektrik mühendisliğinin en önemli konularının başında geldiği su götürmez bir gerçektir. Ne yazık ki bu su götürmez gerçeğin ne kadar farkında olduğumuz ise değerlendirilmesi gereken başka bir acı gerçektir.

Bu çalışmada önce kısaca güç kalitesinin ne olduğu, belirli uluslararası standartlarda nasıl tanımlandığı ve sonra da güç kalitesinin önemli fakat bir o kadar ne olduğu bilinmeyen ve itiraf etmek gerekir ki uygulama sahalarında yanlış değerlendirmelere tabi tutulan “akım bozulması” kavramının ne anlama geldiğini, hangi parametrelerin baz alınması gerektiği açıklanmaya çalışılacaktır.

Öncelikle “güç kalitesi nedir?” sorusuna cevap verelim. Bu sorunun kesin cevabı olmamakla birlikte kişiden kişiye de değişmektedir. Fakat mühendisler olarak bizlerin uluslararası güç kalitesi standartlarına dayanarak bu

cevabı vermemiz gerekmektedir.

IEC (International Electrotechnical Commission)’ ye göre güç kalitesi, “normal çalışma koşulları altında güç kaynağı tarafından kullanıcıya iletilen gerilimin özelliklerini (büyüklük, frekans ve dalga biçimi açısından) inceleyen parametreler seti” olarak tanımlanmıştır.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)’ye göre ise güç kalitesi, “güç sistemi üzerinde belirli bir zamanda ve belirli bir konumdaki gerilimi ve akımı karakterize eden çok çeşitli elektromanyetik olaylar” olarak tanımlanmaktadır.

Standartlarda bahsedilen güç kalitesi parametreleri kısaca çok genel başlıklar olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Dalga formu bozuklukları (bu başlığın en çok bilinen fenomeni harmoniklerdir)
- Transient
- Uzun ve kısa süreli gerilim varyasyonları
- Gerilim dalgalanmaları
- Frekans dalgalanmaları

IEC standartları çoğunlukla şebekenin kullanıcıya vermekle yükümlü olduğu gerilim üzerinden bir açıklama ve limit tanımlamasına giderken, IEEE standartları hem gerilim hem de akım üzerinden bir açıklama ve limit tanımlamasına gitmişlerdir.

Kavram “güç kalitesi” olduğu için ve gücü, gerilim ve akımdan bağımsız

şekilde düşünmek mümkün olmadığından gerilim kalitesinin yanında, talep edilen ve kullanılan akımın kalitesinin de bir o kadar değerlendirilmesi ve üzerinde durulması gerekmektedir.

Güç kalitesi ölçümleri arıza nedenlerinin araştırılması, kök-neden analizlerinin uygulanabilmesi ve üretim sürekliliğinin sağlanması amacıyla yapılmaktadır. Fakat bu ölçümlerin analizi yapılırken dikkat edilmeyen ve kafa karışıklığının en yoğun şekilde yaşandığı kavramlardan biri “akım harmoniği” kavramıdır.

Harmonikler bilindiği üzere, temel şebeke frekansı olan 50Hz veya 60Hz’ in tamsayı katları şeklinde oluşan, sinüzoidal dalga formuna sahip yüksek frekanslı sinyallerdir. Temel olarak akım ve gerilim bazlı olarak incelenir ve değerlendirmeye tabi tutulurlar. Gerilim bazlı yapılan değerlendirmeler “gerilim harmoniği”, akım bazlı yapılan değerlendirmeler ise “akım harmoniği” isimlendirmesi altında yapılmaktadır.

IEEE 519-2022 standardına göre akım harmoniği kavramının iki bileşeni bulunmaktadır.

- Total Harmonic Distortion of Current (THDi): Akımın Toplam Harmonik Bozulması (THDi), akım bozulmasını toplam büyüklüğünü gösterir. Bu değer, ölçümün yapıldığı belirli bir anda bir yük noktasında ölçülen harmonik akımın temel bileşen akımına oranı olarak tanımlanır.

$$THDi_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1} * 100\%$$

$$= \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} * 100\%$$

• Total Demand Distortion (TDD): Toplam Talep Bozulması (TDD), ölçülen harmonik akımın temel frekanstaki maksimum talep akımına oranıdır. Temel frekanstaki maksimum talep akımı, sistem en yüksek talep noktasındayken sistemdeki tüm yükler tarafından tüketilen, harmonikli bileşenlerin olmadığı toplam akım miktarıdır.

$$TDD = \frac{I_h}{I_{demand}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_{demand}}$$

tam yük boyunca

$$I_{demand} = I_1 \rightarrow THDi = TDD$$

IEEE 519-2022 standardında da tanımlandığı gibi THDi ve TDD birbirine çok karıştırılan ve birbirinin yerine kullanıldığında kullanıcıyı hataya sürükleyen iki benzer kavramdır. Aralarındaki farklara baktıktan sonra bir adet teorik ve bir adet de gerçek ölçüm verilerine dayanan örneklerle iki si arasındaki farkı daha net göstermiş olacağız.

• THDi ve TDD, büyük farklılıklar gösteren benzer değerlerdir.

• TDD, IEEE 519 tarafından tanımlanmış ve diğer düzenlemelerde de kullanılmıştır.

• Her ikisi de besleme akımındaki mevcut harmonik içeriği gösterir.

• THDi=Toplam Harmonik Bozulma

Akımı, TDD=Toplam Talep Bozulması olarak tanımlanır.

• Her iki değer de yüzde (%) ile temsil edilir.

• Fark sadece referans olarak aldığımız kavramdan ibarettir.

• THDi, anlık temel akımı referans olarak kullanır.

• TDD, referans olarak maksimum talep akımını (maksimum akım) kullanır.

• Bu, %100 yükte THDi=TDD anlamına gelir.

Teorik Örnek:

$I_h=5A$ (Tüm harmonik içerikler dahil olacak şekilde, toplam bozulma)

Maksimum temel akım = 100A

Bu durumda;

$$THDi = \frac{5}{100} = \%5$$

$$\rightarrow TDD = \frac{5}{100} = \%5$$

olarak hesaplanır.

Akımın anlık olarak 10A'e düştüğünü düşünelim.

Bu durumda;

$$THDi = \frac{5}{10} = \%50$$

$$\rightarrow TDD = \frac{5}{100} = \%5$$

olarak hesaplanır.

Teorik olarak çıkaracağımız sonuç:

-TDD'nin her zaman şebekedeki harmoniklerin gerçek içeriğini gösterdiğini açıkça görebilirsiniz.

-THDi = %100 veya %5 olması, bize şebeke durumu hakkında hiçbir şey söylemez.

-Şebekede %10'lük bir TDD çok iyi iken, %5'lik bir TDD çok kötü olabilir.

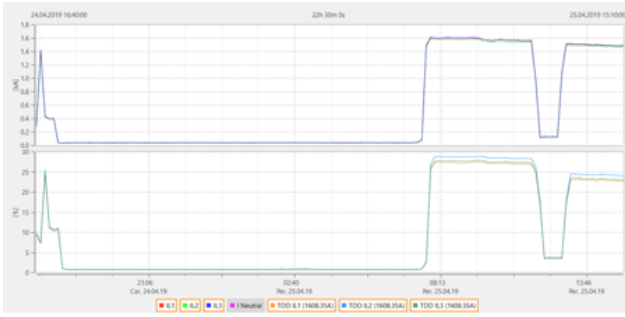
-Burada da belirleyici olan nokta, TDD'nin ölçüldüğü noktadaki kısa devre akımıdır.

Şekil 1' de yük akımı ve THDi yani toplam akım harmoniğinin yüzdesel ifadesinin grafiği gösterilmiştir. Matematiksel formülde de olduğu gibi, THDi anlık akımı baz alan bir parametre olduğundan dolayı, yük akımı ile THDi grafiği birbirleri ile paralel şekilde hareket etmemiştir. THDi oranı yük akımının değişimine göre %30 ile %60 arasında değişkenlik göstermiştir. Yük akımının ani olarak yükseldiği anlarda THDi oranı düşmüş, yük akımının ani olarak azaldığı noktalarda ise THDi oranı yükselmiştir. Bu durumda THDi' nin yüzdesel ifadesi bize işletmedeki akım harmoniği içeriği açısından hiçbir şey söyleyememektedir.

Gerçek ölçüm verilerine dayanan örnek



Şekil 1: Yük akımı ve THDi grafiği



Şekil 2: Yük akımı ve TDD grafiği

Şekil 2'de görüleceği üzere TDD, yük akımına tamamen paralel şekilde hareket etmiş ve maksimum olarak %28 değerini almıştır. Bu bağlamda Yük Akımı – TDD ilişkisine göre toplam harmonik akımı yaklaşık 450A civarında olmalıdır. Bir sonraki grafikte ölçüm cihazı tarafından ölçülen toplam akım harmoniğinin genliği ve TDD karşılaştırılmıştır.

Şekil 3'ten de görüleceği üzere ölçüm cihazı tarafından ölçülen toplam akım harmoniği genlik değeri yaklaşık olarak 450A, TDD ise yük akımının maksimum olduğu noktaya göre %28 civarındadır. Yük akımının maksimum olduğu nokta 1600A civarı ve buna göre de TDD yaklaşık olarak 450A olarak hesaplanmaktadır.

Teorik ve pratik anlamda ölçüm

analizlerinde TDD'yi kullanmanın avantajını kısaca açıkladık. Peki, TDD'nin yüksek veya düşük bir orana sahip olduğu neye göre belirlenmektedir? Burada da yine TDD'yi tanımlayan IEEE 519 – 2022 standardına başvurmamız gerekmektedir. IEEE 519 – 2022 bize TDD oranının yüksek veya düşük olarak tanımlanabilmesi için bağlantı noktasındaki kısa devre akımının bir referans olarak kullanılması gerektiğini söylemektedir.

Aşağıdaki tablo ilgili standarttan alınmıştır.

Görüldüğü gibi bağlantı noktasındaki kısa devre akımının, talep edilen maksimum yük akımına oranı bize uyulması gereken TDD limitini göstermektedir.

Gerçek ölçüm verilerinde ölçü-



Şekil 3: Toplam Akım Harmoniği Genliği ve TDD

mün alındığı transformatörün gücü 1600kVA, kısa devre gerilimi değeri ise %6' dır. Bu durumda sekonder kısa devre akımı yaklaşık olarak 38,5kA olarak hesaplanır. Ölçüm verilene göre talep edilen maksimum yük akımı 1600A olduğundan TDD için referans alacağımız limit değeri:

$$38,5/1,6=24 \text{ olarak bulunur.}$$

O halde belirtilen tablodan 24 değerini kapsayan satırda belirtilen TDD limit değeri, ölçüm alınan transformatör için belirlenen TDD limit değeridir. Bu durumda kısa devre akımı ve maksimum yük akımı açısından elde edilen **limit değeri %8** olarak tanımlanır. Ölçüm verilerine göre ise ölçülen TDD oranı %28 civarındadır. Belirlenen limit değerin epey üzerinde olduğu aşikardır.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere yüksek kısa devre akım kapasitesine sahip şebekelerde harmonik bozulmalar daha kabul edilebilir seviyede olmaktadır. Bunun yanı sıra akım harmoniklerinden daha önemli bir konumda olan gerilim harmonikleri ise kısa devre gücünün yüksek olduğu şebekelerde daha düşük değerler alırlar. Yani kısacası kısa devre gücünün yüksek olması harmonik bozulma miktarını o derece aşağı çekmektedir. Bu argümanın açıklanması ve detaylandırılması ise bu makalenin konusu değildir. Başka bir makalenin konusu olabilir.

Table 2—Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^\circ$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

Sonuç

Tüm bu açıklamalar, tanımlamalar, teorik ve pratik örnekler ışığında açıkça görülmektedir ki her güç kalitesi kavramında olduğu gibi, en çok bilinen(!) “harmonikler” konusunda bile kavramların bazı kilit noktaları vardır. Ne yazık ki piyasada yapılan güç kalitesi veya harmonik ölçümlerinin analizinde sorunların tespiti ve bu sorunların çözümü için hala THDi kavramı referans alınmakta ve tüm çözüm önerileri bu kavrama dayandırılmaktadır.

Yukarıdaki gerçek ölçüm verisi örneğinde olduğu gibi THDi parametresi en yüksek noktasında yani %60 civa-

rında kabul edilip filtrelenmeye çalışılsa kullanılacak olan filtrenin kabaca en azından 960A'lık bir kapasiteye sahip olması gerekecektir. Hâlbuki TDD referans alınarak yapılacak olan filtreleme işlemi için kullanılacak olan ister aktif ister pasif filtrelerin kabaca yaklaşık 450A kapasiteye sahip olması yeterli olacaktır.

Görüldüğü gibi THDi'yi referans alarak yapılacak olan her yorum her zaman doğru sonuçlar vermeyecek aksine filtreleme ekipmanının haddinden fazla büyük seçilmesine ve filtreleme için yapılacak olan yatırım maliyetinin yok yere artmasına sebep olacaktır. Bunun yanı sıra filtreyi

besleyecek olan kablonun kesitinin ve koruyacak olan devre kesicisinin de haddinden fazla büyük seçilmesi maliyet açısından yatırım sahibini zorlayacaktır.

THDi, ölçüm analizini yapan elektrik mühendisine sadece anın fotoğrafını çekebilir. TDD ise genel olarak sistem empedansı üzerindeki harmonik etkinin en net sonucunu göstermektedir.

Bir güç kalitesi parametresi olarak TDD'yi kullanmak, analiz ve çözüm noktasında daha doğru sonuçlar verir. Bu durumda şebekedeki harmonik içerik, anlık yük değişimlerinden bağımsız olarak kolayca değerlendirilip karşılaştırılabilir.

VII. Elektrik Tesisleri Ulusal Kongre ve Sergisi

1-3 Kasım 2023 // Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi-İzmir



Odamız adına Şubemiz tarafından 2009 yılından bu yana altı kez düzenlenen Elektrik Tesisleri Ulusal Kongre ve Sergisi'nin yedincisi 1-2-3 Kasım 2023 tarihlerinde İzmir Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi'nde gerçekleştiriliyor.

Kongre'de “Güç ve Enerji Sistemleri”, “Bakım Teknolojileri”, “Aydınlatma”, “Yapı Elektronik Sistemleri”, “Binalarda Elektrik Tesisatı”, “Otomasyon”, “Dijitalleşme ve Yapay Zeka” konularına ilişkin oturumlar, paneller ve özel etkinlikler düzenlenecektir. Kendi alanlarında ulusal ve uluslararası çapta uzmanlıklarıyla tanınan mühendisler ve akademisyenlerin katılımıyla gerçekleştirilecek olan kongre, ülkemizin mühendislik birikimini artırmayı hedeflemektedir. Bilim dünyasını ve mühendisleri buluşturacak 3 günlük etkinlik boyunca, ulusal ve uluslararası firmalar da Kongre ile eşzamanlı düzenlenecek sergide yeni teknolojileri ve hizmetlerine ilişkin katılımcılara bilgi sunacak.

Elektrik sektörünün büyük buluşma noktası olan Kongre ve Sergimizde, ülkemiz sanayisinin gelişmesine katkıda bulunmak isteyen, elektrik, elektronik, enerji, aydınlatma, otomasyon sektörlerinin bileşeni tüm kişi ve kuruluşlarla birarada olmayı diliyoruz.

Konular

- Güç ve Enerji Sistemleri
- Binalarda Elektrik Tesisatı
- Yapı Elektronik Sistemleri
- Bakım Teknolojileri
- Otomasyon
- Aydınlatma
- Dijitalleşme ve Yapay Zeka

Kongre Takvimi

Bildiri gönderilme tarihi

15 Nisan 2023

Bildiri değerlendirme sonuçları

15 Mayıs 2023

Düzeltilmiş bildirilerin gönderilmesi

15 Haziran 2023



TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

www.izmir.emo.org.tr

izmir@emo.org.tr

+90 232 489 34 35

https://etuk.org.tr

EMO_izmir

emoizmir

emoizmir