



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Akım Ölçü Transformatörleri Çalışma Bölgesi Analizi

Harun ÇINAR^{a,*}, Nazım İMAL^b, Eralp ŞENER^b

^a Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Mühendisliği Böl., Mühendislik Fak., Bilecik Şeyh Edebali Üni., Bilecik, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: harun.cinar@bilecik.edu.tr

ÖZET

Elektrik enerjisinde ölçüm işlemleri; enerji, akım ve gerilim büyüklüklerinin öğrenilmesine yaptığı katkı kadar, koruma ve faturalandırma bilgileri için de büyük önem arz eder. Elektrik enerjisi ölçümünde en önemli faktör çoğu zaman akım olmaktadır. Akımın negatif veya pozitif yönde hatalı ölçülmesi, amaçlanan uygulamaların erken ya da geç devreye girmesine neden olabileceği gibi, hatalı faturalandırmaya da sebep olabilir. Ölçümün direkt gerçekleştirildiği primer sistemlerde bu faktörler direkt olarak ölçü aletinin ölçme hassasiyeti ve doğruluğu ile ilgilidir. Ölçümün sekonder olarak gerçekleştirildiği ölçüm yöntemlerinde akım ölçü transformatörünün özellikleri de büyük önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, farklı akım ölçü transformatörlerinin karakteristik incelemeleri gerçekleştirilerek, normal çalışma bölgesinin altında ve üstündeki akım değerleri için hata analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uygulamada karşılaşılabilecek hata tiplerinin sebep olacağı sorunlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akım, Ölçme, Hata, Kararlılık, Ölçü transformatörleri

Current Measurement Transformers Working Area Analysis

ABSTRACT

Measuring operations on electrical energy, as it's contribution to the learning for sizes of energy, current and voltage; they are great important for informations of protection and billing. Generally, the most important factor of is current. False measurements on direction of negative or positive for the current, about intended applications as may be cause to entering the early or late activation, also it can cause incorrect billing. Also, in primary systems measurements are ececuted direct, these factors are related to exactness and accuracy of measurement tools. In measurement methods, which are performed as secondary, characteristics of the current measurement transformers have also great importance. In this study, performing applications for the different characteristics of current mesasurement transformers, it is produced fault analysis for the above and the below normal current values. Moreover, it is evaluated some issues in application, which is caused by some kind of errors.

Keywords: Current, Measurement, Error, Stability, Measurement transformers

I. GİRİŞ

ELEKTRİK enerji ve güç sistemlerinde ölçme; akım, gerilim ve güç parametrelerinin öğrenilmesiyle koruma ve faturalandırma işlemlerinde büyük önem arz eder. Elektrik enerjisi ve güç ölçümlerinde gerilim ve akım parametreleri ele alındığında, birçok uygulamada küçük değişimleri olmasına rağmen, gerilim parametresi stabil kabul edilir. Akım ve güç katsayısı parametreleri ise, çoğu durumda yükün cinsi ve büyüklüğü sabit olmadığından değişken kabul edilir.

Yukarıdaki esaslar kapsamında, güç ve enerji ölçümünü belirleyen temel etken, çoğu durumda akım olmaktadır. Akımın negatif veya pozitif yönde hatalı ölçümü, verilerin hatalı alınması nedeniyle amaçlanan uygulamaların erken ya da geç devreye girmesine ve hatalı faturalandırmalara sebep olabilmektedir.

Düşük oranda güç ve enerji kullanımı gerektiren uygulamalarda, ölçümün direkt primer olarak gerçekleştirilmesi nedeniyle, ölçü aletinin ölçme hassasiyeti ve doğruluğu belirleyicidir. Büyük oranda güç ve enerji kullanımı gerektiren birçok uygulamada ise, akımın direkt olarak ölçülememesi nedeniyle, kullanılan akım ölçü transformatörünün özellikleri büyük önem kazanmaktadır. Ölçümün sekonder olarak gerçekleştirildiği bu tarz ölçüm yöntemlerinde, ölçü aletinden daha çok akım ölçü transformatörünün özellikleri, hassasiyeti ve doğruluğu belirleyici etken olmaktadır.

Enerji verimliliğinin çok büyük önem arz ettiği günümüzde, kullanıcıların maliyetleri arasında elektrik tüketim değeri önemli bir yer oluşturmaktadır. İyi bir enerji verimliliğinden bahsetmek için tesis yatırımlarına başlamadan önce kurulu güç ve talep katsayıları üzerinde iyi çalışılmalı ve gerçekçi değerler elde edilmeye çalışılmalıdır. Bu değerlere göre akım ölçü transformatörü tercihi yapılarak işletmeler devreye alındığında, enerji tüketimleri sürekli takip edilmelidir.

Yapılan çalışmada, farklı tip ve güçteki akım ölçü transformatörlerinin karakteristik incelemeleri gerçekleştirilerek, normal çalışma bölgesinin altında ve üstündeki akım değerleri için hata analizleri tespit edilmiştir. Ayrıca, uygulamada karşılaşılabilecek bu tarz hataların sebep olacağı olumsuz durumlar ele alınmıştır.

II. MALZEME

A. ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ

Alternatif akım enerji sistemlerinde güç değerinin artışına paralel bir şekilde akım ve gerilim değerleri artmaktadır. Artan bu değerlerin doğrudan ölçülmesi, ölçme işlemini gerçekleştirecek ölçü aleti ve uygulama pratiği bakımından sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu gibi durumlarda, gerilim seviyesi ölçümü, gerilim ölçü transformatörleri aracılığı ile belirli bir oranda küçültülerek ölçü aletleri tarafından kullanılabilir gerilim seviyesine indirgenmesiyle gerçekleştirilir.

Akım seviyesi ölçümü ise, akımın ölçü transformatörleri aracılığı ile belirli bir oranda küçültülerek ölçü aletleri tarafından kullanılabilir akım seviyesine indirgenmesi ile gerçekleştirilir. Bu indirgeme işlemi sonucu, elde edilen değerler ölçü aletleri tarafından okunabilir düzeye gelmektedir.

B. AKIM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ

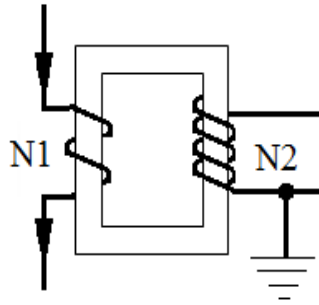
Yüksek düzeyli akım bileşeni içeren sistemlerde, ölçü aleti tarafından sistem üzerindeki akım değerinin doğrudan (seri bağlı olarak) okunabilmesi imkânsız olabilmektedir. Böyle bir durumda sistem akımını primer akım (birincil sargı akımı) olacak şekilde belirli bir dönüştürme oranı ile küçültülerek, sekonder akım (ikincil sargı akımı) elde edilmesi amacıyla kullanılan sistem donanımlarına akım ölçü transformatörleri denilmektedir.

Akım ölçü transformatörleri, bağlı buldukları devredeki akım değerini manyetik bir dönüşüm sistemi ile belirli bir oranda ile küçültürler. Bu küçültme oranı sekonder sargının primer sargıya oranı olarak gerçekleşmektedir. Böylece, sekonder sargı üzerinden alınan akım bilgisinin küçültme oranı ile çarpılması, sistem üzerindeki ana akım bileşeni bilgisini vermektedir. [1-2]

Şekil 1’de görüleceği üzere, bir akım ölçü transformatörü (AÖT) temel olarak üç ana bölümden oluşur. [3]

Bunlar;

1. Primer Sargı (Birincil Sargı-N1)
2. Sekonder Sargı (İkincil Sargı-N2)
3. Manyetik Nüve



Şekil 1. Temel düzey akım ölçü transformatörü

olarak ifade edilir. TS 620 EN 60044-1’e göre 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 sınıflarındaki akım ölçü transformatörlerine ait, kabul edilebilir akım hata yüzdeleri tablo 1’de görülmektedir.

Tablo.1 Akım Hatası (Current Error)

Doğruluk Sınıfı	Anma Akımına Göre % Akım Hatası			
	%5	%20	%100	%120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5
1	3	1,5	1,0	1,0

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Uygulama esnasında kullanılan akım ölçü transformatörlerine ait etiket bilgileri ise tablo 2’de görülmektedir.

Tablo.2 Akım Ölçü Transformatörü (AÖT) Etiket Bilgileri

	AÖT-1	AÖT-2	AÖT-3
İşletme Gerilimi	0,72/3 kV	0,72/3 kV	0,6/3 kV
Dönüştürme Oranı	150/5	400/5	600/5
Güç	5 VA	10 VA	10 VA
Sınıf	C1 0,5	C1 0,5	C1 0,5
Frekans	50-60 Hz	50-60 Hz	50-60 Hz

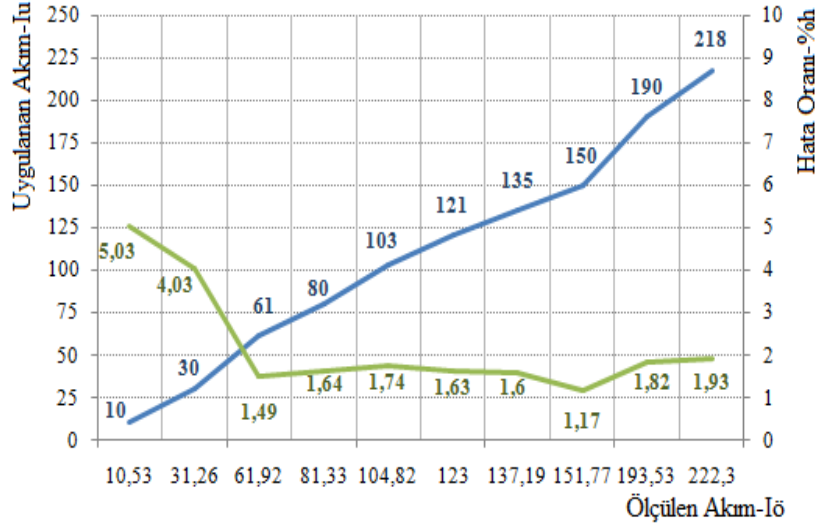
Yapılan uygulamalar 230 Volt (F-N) şebeke gerilimi altında, rezistif bir yük kaynağı kullanılarak elde edilmiştir. 0,25xIn alt bölgesi ve 1,2xIn üst bölgesinde yapılan tüm ölçümlerde Class 0,5 tipi farklı marka ve güçlerde akım ölçü transformatörleri kullanılarak, üretici kaynaklı hatalar minimize edilerek bu sonuçlara ulaşılmıştır. [6]

A. 150/5 AÖT İÇİN BULGU

Yapılan deneysel uygulamalarla elde edilen, 150/5 AÖT için akım ve hata oranları sonuçları tablo 3’te, ölçme ve hata oranı grafiği ise şekil 2’de görülmektedir.

Tablo 3. 150/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu

Uygulanan Primer Akımı	Okunan Sekonder Akımı	Sekonder Akımının Dönüştürme	Hata Oranı (%)
10	0,351	10,53	5,03
30	1,042	31,26	4,03
61	2,064	61,92	1,49
80	2,711	81,33	1,64
103	3,494	104,82	1,74
121	4,1	123	1,63
135	4,573	137,19	1,6
150	5,059	151,77	1,17
190	6,451	193,53	1,82
218	7,41	222,3	1,93



Şekil 2. 150/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği

Uygulanan akım ile ölçülen akım arasındaki ifadeyi 2.dereceden bir polinom ile ifade edersek, denklem aşağıdaki Eş.1 gibi yazılabilir,

$$I_{\bar{o}} = 7.10^{-5}.I_u^2 + I_u + 0,8166 \quad (1)$$

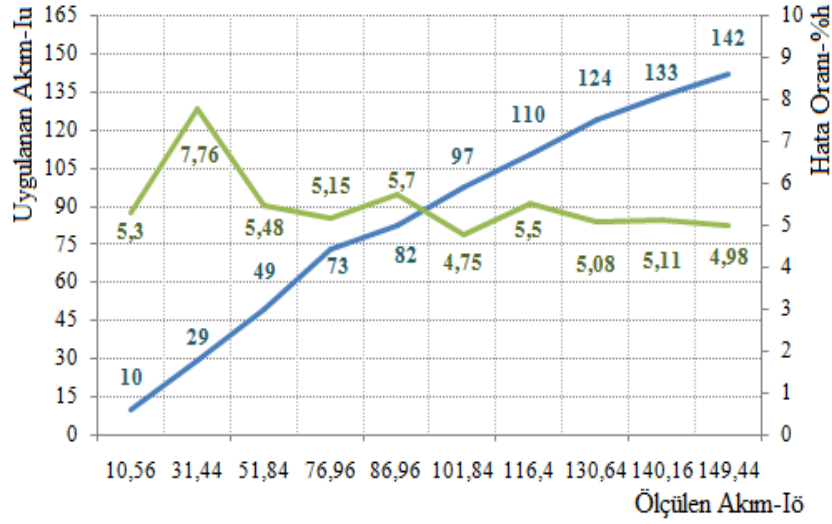
Burada $I_{\bar{o}}$ ölçülen akımı, I_u ise uygulanan akımı ifade etmektedir.

B. 400/5 AÖT İÇİN BULGU

Yapılan deneysel uygulamalarla elde edilen, 400/5 AÖT için akım ve hata oranları sonuçları tablo 4'te, ölçme ve hata oranı grafiği ise şekil 3'de görülmektedir

Tablo 4. 400/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu

Uygulanan Primer Akımı	Okunan Sekonder Akımı	Sekonder Akımının Dönüştürme Oranı ile Çarpımı	Hata Oranı (%)
10	0,132	10,56	5,3
29	0,393	31,44	7,76
49	0,648	51,84	5,48
73	0,962	76,96	5,15
82	1,087	86,96	5,7
97	1,273	101,84	4,75
110	1,455	116,4	5,5
124	1,633	130,64	5,08
133	1,752	140,16	5,11
142	1,868	149,44	4,98



Şekil 3. 400/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği

Uygulanan akım ile ölçülen akım arasındaki ifadeyi 2.dereceden bir polinom ile ifade edersek denklem aşağıdaki Eş.2 gibi yazılabilir,

$$I_{\bar{o}} = -4.10^{-5}.I_u^2 + 1,056.I_u - 0,283 \quad (2)$$

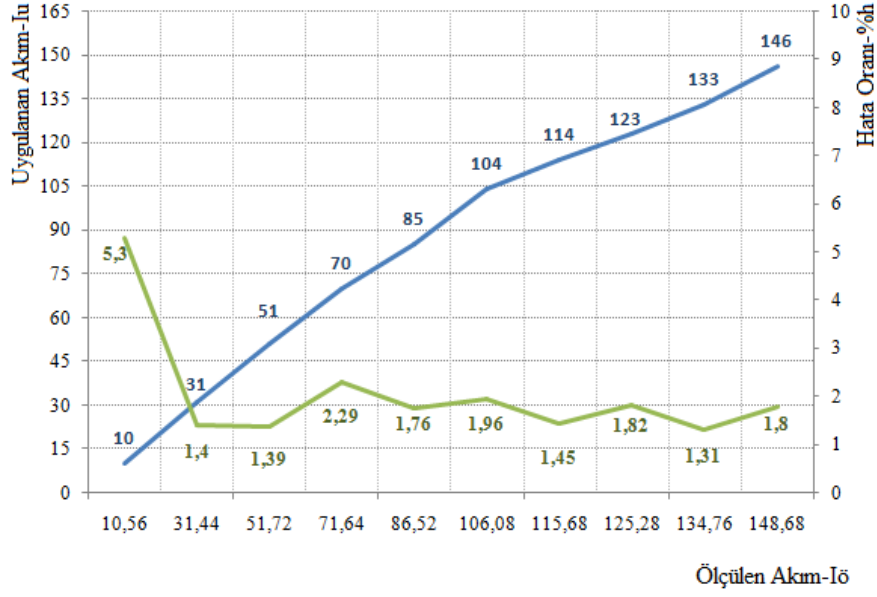
Burada $I_{\bar{o}}$ ölçülen akımı, I_u ise uygulanan akımı ifade etmektedir.

C. 600/5 AÖT İÇİN BULGU

Yapılan deneysel uygulamalarla elde edilen, 600/5 AÖT için akım ve hata oranları sonuçları tablo 5'te, ölçme ve hata oranı grafiği ise şekil 4'de görülmektedir

Tablo 5. 600/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu

Uygulanan Primer Akımı	Okunan Sekonder Akımı	Sekonder Akımının Dönüştürme Oranı ile Çarpımı	Hata Oranı (%)
10	0,088	10,56	5,3
31	0,262	31,44	1,4
51	0,431	51,72	1,39
70	0,597	71,64	2,29
85	0,721	86,52	1,76
104	0,884	106,08	1,96
114	0,964	115,68	1,45
123	1,044	125,28	1,82
133	1,123	134,76	1,31
146	1,239	148,68	1,8



Şekil 4. 600/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği

Uygulanan akım ile ölçülen akım arasındaki ifadeyi 2.dereceden bir polinom ile ifade edersek denklem aşağıdaki Eş.3 gibi yazılabilir:

$$I_o = -2.10^{-5}.I_u^2 + 1,014.I_u - 0,227 \quad (3)$$

Burada I_o ölçülen akımı, I_u ise uygulanan akımı ifade etmektedir. Uygulamada kullanılan AÖT'lerine ait sekonder indüktans değerleri tablo 6'da belirtilmiştir.

Tablo 6. AÖT'leri için sekonder indüktans değerleri

	AÖT-1	AÖT-2	AÖT-3
İndüktans	1,14 mH	5,3 mH	6,5 mH

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, ölçülen akımın uygulanan akıma göre fonksiyonel bir değişim gösterdiği ve hata oranı belirli bir çalışma limit değeri üzerine çıkılarak düşürülse bile, hatanın belirli bir sabit olarak değerini koruduğu anlaşılmaktadır. Belirli bir çalışma limit değerinin altında ise, hata oranının stabilitesi bozulmakta ve sistem üzerindeki etkisi büyümektedir.

Uygulanan akım, nominal çalışma bölgesi ve üzerinde gerçekleşirken, elde edilen fonksiyonlar da pozitif sabit değerli olmaktadır. Bu sabit katsayı, uygulama yapılan AÖT için incelendiğinde, etiketinde belirtilen Class 0,5 (% 0,5 hata) hata oranı bölgesine çok yakınsandığını göstermektedir. Akım bileşen oranları dikkate alınmadığında ise, uygulama yapılan AÖT için standartta ve etikette belirtilen hata oranlarını karşılama oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Uygulanan akım, nominal çalışma akımının %25 ve alt seviyesinde gerçekleşirken elde edilen fonksiyonlarda negatif sabit değerli olmaktadır. Akım bileşenin sabit katsayıları ise, uygulanan akımın düşme eğilimli olduğu durumlarda, ifadedeki ilk terime etki ile sonuç üzerinde önemli bir değişiklik yapmaktadır. Birinci dereceden ifade ile sabit katsayı uygulama yapılan AÖT için incelendiğinde, uygulanan akım değeri arttıkça, etiketinde belirtilen Class 0,5 (% 0,5 hata) hata oranı bölgesine çok yakınsadığı görülmektedir. Nominal çalışma bölgesi içerisinde akım uygulaması yapılması

durumunda, uygulama yapılan AÖT için standartta ve etikette belirtile hata oranlarını karşılama oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Eş.1,Eş. 2 ve Eş. 3 numaralı eşitliklerde 2. derece ifade göz ardı edilirse, uygulanan akıma karşı AÖT genel tepkisi; nominal akımın %25 ve altı için aşağıdaki Eş.4 numaralı eşitlikte, nominal akım ve üstü bölge içinse aşağıdaki Eş.5 numaralı eşitlikte belirtilmiştir.

$$I_{\delta}=I_u \cdot x - b \quad (4)$$

$$I_{\delta}=I_u \cdot x + b \quad (5)$$

Eş.4 ve Eş.5 numaralı eşitlikler ile ifade edilen fonksiyon, genel olarak AÖT’de uygulanan akıma bağlı olarak ölçülen akım ifadesidir. Buradaki “x” katsayısı dönüştürme oranının tersi ile ilişkili parametrik bir çarpandır. “b” katsayısı ise manyetik kayıpların oluşturduğu hata payını ifade eden histerisiz ve fukolt kayıplarına karşılık gelmektedir.

IV. SONUÇ

Elektrik enerji sistemlerinde akım ölçümünün doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, sistemin tasarımı, işletilmesi ve maliyetlendirilmesi bakımından önemlidir. Bunun için tasarım aşamasından başlayarak doğru ve hata oranları düşük ürünlerin kullanılması gerekir. Bir elektrik tesisinin tasarımı aşamasında, sistem içerisinde kullanılacak donanımları belirlemek için, sisteme ait pazu parametrelerin belirlenmesi gerekir.

Sistem tasarımındaki en önemli faktör olan diversity faktörünün belirlenmesinin istatistiksel olarak hesaplanması yerine, yönetmelikte verilen değerler kullanılmaktadır. Diversity faktörünün tüm kullanıcılar için benzer şartlarda referans olabilmesi gerçekçi gözükmemektedir. Tesis donanım tasarımında böyle net olmayan bir parametrenin kullanılması, akım ölçü transformatörlerinin ölçüm değerini de olumsuz etkileyebilmektedir. [4]

Akım ölçü transformatörlerinin üretimdeki türleri, trafo güçleri ve tesis güçleri bir araya geldiğinde, seçilen ürünler genelde büyük olmaktadır. Günlük enerji talebindeki değişiklikte dikkate alındığında, akım ölçü transformatörleri çalışma zamanının büyük bir bölümünde, etiketinde belirtilen nominal değer in çok altında çalışabilmektedir. Özellikle gece/gündüz güç talep farkı çok büyük olan tesislerde, güç çekilmeyen zaman aralıklarında AÖT’ler üzerinden geçen akımlar çok küçük olabilmektedir.

Yapılan uygulamalarda da görüleceği üzere AÖT’ler en iyi performanslarını, anma yüküne göre %25-%120 arası yüklenme oranı olan bölgede sağlamaktadırlar. %25 in altındaki çalışma bölgelerinde ise, hata oranlarının arttığı gözlenmiştir. Uygulamalar sonucu AÖT’nin, benzer durumda uygulanan akım değerine karşılık, daha fazla bir değeri ölçüm sonucu olarak oluşturdukları tespit edilmiştir.

AÖT, sadece faturalandırma amaçlı kullanılmamaktadır. Pano ölçü aletleri, koruma ve kompanzasyon gibi sistemlerde, sistemin çalışma verilerini oluşturma amaçlı da kullanılmaktadırlar. Çok düşük işletme akım şartlarında, AÖT sekonder çıkışlarındaki akım değerleri, kontrol röleleri tarafından okunabilecek hassasiyet değerinin altında olabilmektedir.[5]

Elde edilen uygulama verilerine göre, AÖT’den beklenen performansın alınabilmesi için %25-%125 nominal akım bölgesi içerisinde çalıştırılması gerekmektedir. Ayrıca AÖT kaynaklı hata oranlarının minimize edilmesi için, hata sınıfı daha düşük ve sertifikalandırılmış/mühürlenmiş ürünlerin kullanılması gerekmektedir.

Doğru bir enerji verimliliğinden bahsedebilmek için, öncelikle sistem üzerinde kullanılan AÖT çalışma bölgesi incelenip, nominal çalışma akım bölgesi içerisinde olup olmadığı kontrol edilmeli ve buna göre eylem planları oluşturulmalıdır.[13]

AÖT'lerinin reaktif yükler için, çalışma bölgesi analizleri yapılmasında büyük yararlar vardır. [7-8-9] Kısmi kapsamlı yapılan bazı çalışmalarda, reaktif yük tepkilerinin aktif yüklerle göre daha olumsuz olabildiği tespit edilmiştir [10,11,12]. Yapılan bazı çalışmalarda ise, AÖT'lerinin frekans tepkileri incelenmiş olmakla birlikte çalışma bölgelerine göre yeni incelemelerin yapılmasında büyük yararlar olacaktır

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Pustu, *Ölçü Transformatörleri ve Saha Testleri*, Elektrik Mühendisleri Odası, (2015).
- [2] E. Anigi, *Ölçü Akım Transformatörlerinin Doğruluğunun Sinüzoidal Olmayan Şartlar Altında Deneysel İncelenmesi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, (2012).
- [3] C. Mclyman, *Transformer and Inductor Design Handbook Chapter16-Current Transformer Design*, (2004).
- [4] Anonim: *Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği*.
- [5] C. Cepişca, S. D. Grigorescu, S. Ganatsions, N. G. Bardis *Metrologie* **4-2008** (2008) 5-10.
- [6] J. Meisel, *Current Instrument Transformer Error Calculations*, IEEE, (1963).
- [7] A. Cataliotti, D. Di Cara, P. A. Di Franco, A. E. Emanuel, S. Nuccioli, *Frequency response of Measurement Current Transformers*, **IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference**, (2008).
- [8] A. Cataliotti, D. D. Cara, A.E. Emanuel, Life Fellow, Salvatore Nuccio *IEEE Transactions on Power Delivery* (**26**) (2011) 1.
- [9] A. E. Emanuel, J. A. Orr *IEEE Transactions on Power Delivery* (**22**) (2007) 3
- [10] G. Mahesh, *Instrument Transformer Performance Under Distorted Conditions*, **IEEE India Annual Conference**, (2004).
- [11] A. Cataliotti, *Frequency Response of Measurement Current Transformers*, **IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference**, (2008).
- [12] A. Cataliotti, *Characterization of Current Transformers in the Presence of Harmonic Distortion*, **IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference**, (2008).
- [13] J. Bhatt *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **40** (2014) 1217–1239.