



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÖLÇME ESASLI AKIM TRANSFORMATÖRLERİNDE
ÇALIŞMA BÖLGESİ VE KARARLILIK ANALİZİ**

Harun ÇINAR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

BİLECİK, 2016

Ref. No:10097857



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÖLÇME ESASLI AKIM TRANSFORMATÖRLERİNDE
ÇALIŞMA BÖLGESİ VE KARARLILIK ANALİZİ**

Harun ÇINAR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

BİLECİK, 2016



BİLECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School Of Science

Department Of Energy Systems Engineering

**OPERATING ZONE AND STABILITY ANALYSIS IN
CURRENT TRANSFORMERS BASED ON
MEASUREMENT**

Harun ÇINAR

Thesis of Master Degree

Thesis Advisor

Assist. Prof. Nazım İMAL

BİLECİK, 2016



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08.01.2016 tarih ve -2- sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22.01.2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Harun ÇINAR'ın "Ölçme Esaslı Akım Transformatörlerinde Çalışma Bölgesi ve Kararlılık Analizi" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI): Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

ÜYE:

Prof. Dr. Mehmet KURBAN

ÜYE:

Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI BAŞKANI:

Doç. Dr. Metin KESLER

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince emek vererek katkıda bulunan ve her türlü desteği esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL'a, yüksek lisans eğitimi ve tez sürecinde ihmal etmiş olduğum ve beni anlayışla karşılayan eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Harun ÇINAR

Şubat, 2016

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 Sözcükler: Akım ölçü transformatörü; Gerilim ölçü transformatörü; Akım ölçme; Kararlılık; Doğruluk

ABSTRACT

Measuring operations on electrical energy, as it's contribution to the learning for values of energy, current and voltage; they are great important for informations of protection and billing. In the energy measurement, the most important factor 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, it can also cause incorrect billing. Also, in primary systems that measurements are executed directly, these factors are related to measurement sensitivity and accuracy the of measurement tools. In measurement methods, which are performed as secondary, characteristics of the current measurement transformers have also great importance. In this study, the characteristics of different current measurement transformers are investigated, the fault analysis is realized for the up and down values from the normal current values. Moreover, it is evaluated some issues in application, which is caused by some kind of errors.

Keywords: Current measurement transformers; Voltage measurement transformers; Current measurement; Stability; Accuracy

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY FORMU

TEŞEKKÜR

ÖZETİ

ABSTRACTii

İçindekileriii

ÇİZELGELER DİZİNİ v

ŞEKİLLER DİZİNİ vi

1. GİRİŞ 1

1.1. Literatür Çalışması.....2

1.2. Çalışmanın Kapsamı 2

1.3. Çalışmanın Yöntemi 3

2. ÖLÇME VE TEMEL KAVRAMLAR.....4

2.1. Ölçmenin Önemi..... 4

2.2. Ölçü Birimleri 4

2.3. Elektriksel Büyüklükler ve Tanımları 6

2.4. Ölçme İşleminde Hata 7

2.5. Ölçü Aletlerine Ait Terimler 9

2.6. Akım ve Gerilim Ölçümü 12

2.7. Alternatif Akımda Ölçme ve Ölçü Transformatörleri..... 13

3. AKIM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ 19

3.1. Akım Ölçü Transformatörü Çalışma İlkesi..... 20

3.2. Akım Ölçü Transformatörü Yapısı..... 21

3.3. Akım Ölçü Transformatörü Tanımları 25

3.4.	Kullanıldığı Gerilim Seviyesine Göre Akım Ölçü Transformatörleri	28
3.5.	Soğutma Şekline Göre Akım Ölçü Transformatörleri	29
3.6.	Yapılışlarına Göre Akım Ölçü Transformatörleri	29
3.7.	Kullanıldıkları Yere Göre Akım Ölçü Transformatörleri	31
3.8.	Akım Ölçü Transformatörü Etiket Değerleri	31
3.9.	Hatalı Güç Seçimi ve Sonuçları	32
3.10.	Polarite Belirleme	33
3.11.	Histerezis Etkisi	34
3.12.	Manyetik Histerezis	34
4.	AKIM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ ÇALIŞMA BÖLGESİ ANALİZİ ve	
	KARARLILIK UYGULAMALARI	36
4.1.	Kullanılan Akım Ölçü Transformatörleri	37
4.2.	150/5 AÖT için Uygulama ve Analizi	38
4.3.	400/5 AÖT için Uygulama ve Analizi	39
4.4.	600/5 AÖT için Uygulama ve Analizi	41
5.	Sonuçlar ve öneriler	44
	KAYNAKLAR	46
	KAYNAKLAR (Devam Ediyor)	47
	ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ**Sayfa No**

Çizelge 2. 1. Uluslar arası (SI) yedi temel birim	5
Çizelge 2. 2. Türetilmiş SI Birimleri	7
Çizelge 2. 3. Aktif elektrik sayaçlarının sağlaması gereken hata oranları.....	8
Çizelge 3. 1. Akım ölçü transformatörü akım hatası	21
Çizelge 3. 2. Akım ölçü transformatörü faz hatası	21
Çizelge 3.3. Sekondere bağlanan kablonun 5 A'de oluşturacağı kayıp değerleri	24
Çizelge 3. 4. Sekonder bağlanan kablonun 1 A'de oluşturacağı kayıp değerleri.....	24
Çizelge 4. 1. Akım ölçü transformatörü etiket bilgileri	37
Çizelge 4. 2. 150/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu.....	38
Çizelge 4. 3. 400/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu.....	39
Çizelge 4. 4. 600/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu.....	41
Çizelge 4. 5. AÖT'leri için sekonder indüktans değerleri	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Bir ölçü aletine ait doğruluk özellikleri	10
Şekil 2. 2. Ölçü aleti frekans cevapları	11
Şekil 2. 3. Güç kontrol ölçü aleti güç tüketimi	12
Şekil 2. 4. Multimetre ölçü aleti	12
Şekil 2. 5. Ampermetrenin devreye seri bağlantısı	13
Şekil 2. 6. Voltmetrenin devreye seri bağlantısı	13
Şekil 2. 7. Yüksek gerilim ölçü hücresinde akım ölçü transformatörleri	14
Şekil 2. 8. Akım ve gerilim ölçü transformatörleri	16
Şekil 2. 9. Gerilim ölçü transformatörü	17
Şekil 2. 10. Akım ölçü transformatörü sembolü	18
Şekil 2. 11. Gerilim ölçü transformatörü sembolü	18
Şekil 3. 1. Akım ölçü transformatörleri	19
Şekil 3. 2. Akım ölçü transformatörü yapısı	22
Şekil 3. 3. Akım ölçü transformatörü etiketi	25
Şekil 3. 4. Akım ölçü transformatörü doyum eğrisi	27
Şekil 3. 5. Alçak gerilim akım ölçü transformatörü	28
Şekil 3. 6. Yüksek gerilim akım ölçü transformatörü	28
Şekil 3. 7. Yağlı tip akım ölçü transformatörü	29
Şekil 3. 8. Sargılı tip akım ölçü transformatörü	30

Şekil 3. 9. Bara tip akım ölçü transformatörü	30
Şekil 3. 10. Polarite Belirleme	34
Şekil 3. 11. Histerezis Eğrisi	35
Şekil 4. 1. Uygulama ölçüm çalışmalarından bir kesit	37
Şekil 4. 2. 150/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği	38
Şekil 4. 3. 150/5 AÖT için uygulamada kullanılan ekipmanlar.....	39
Şekil 4. 4. 400/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği	40
Şekil 4. 5. 400/5 AÖT için uygulamada kullanılan ekipmanlar.....	40
Şekil 4. 6. 600/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği	41
Şekil 4. 7. 600/5 AÖT için uygulamada kullanılan ekipmanlar.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

U	: Gerilim (Volt, V)
I	: Akım (Amper, A)
P	: Aktif Güç (Watt)
S	: Görünür Güç (VA)
Q	: Reaktif Güç (Var)
f	: Frekans (Hertz, Hr)
R	: Elektriksel Direnç (Ohm, Ω)
$\cos \varphi$	: Güç Katsayısı
C	: Kapasitör (Farad, F)
L	: Endüktans (Henry, H)
N	: Sarım Sayısı
N_p	: Primer Sarım Sayısı
N_s	: Sekonder Sarım Sayısı
I_p	: Primer Akımı (Amper, A)
I_s	: Sekonder Akımı (Amper, A)
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu (Tesla, T)
H	: Manyetik Alan Şiddeti (A/m)
E	: Elektrik Alan Şiddeti (Volt/m)
S	: Kesit Alanı (mm^2)
μ_0	: Manyetik Geçirgenlik (Henry/m)
I_n	: Nominal (Etiket Değeri) İşletme Akımı (Amper)
sr	: Uzay Açısı-Steradyan
Δ_m	: Mutlak Hata
Δ_b	: Bağlı Hata
H	: Yapım Hatası
AÖT	: Akım Ölçü Transformatörü

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, günümüzde en yaygın kullanılan enerji türüdür. Elektrik enerjisini; üretim, iletim, dağıtım ve faturalandırma gibi birçok durum için ölçmemiz ve buna göre işlem yapmamız gerekmektedir. Bu işlemleri yaparken elektrik enerjisine ait temel bileşenler olan akım ve gerilim değerlerinin bilinmesi ve bu değerlere göre aksiyonların üretilmesi gerekmektedir. Bu bileşenler içerisinde gerilim değeri çoğu zaman sabit kalmakta veya çok az sayılabilecek bir değişim ile karşılaşmaktadır. Akım değeri ise elektrik enerji akışının olduğu tüm zaman periyodu boyunca talep durumlarına göre sürekli olarak değişmektedir. Ayrıca, bir sistem üzerinden geçecek olan akım değeri, o sistemin yüklenebilme gücünün belirlenmesinde etki etmektedir. Bu ve benzeri tüm durumlar için akım ve gerilim değerlerinin sürekli ölçülerek fonksiyonel sistemler tarafından kontrol edilmesi ve kayıt altına alınması gerekmektedir.

Elektrik sistemleri üretim, iletim ve dağıtım gibi birçok basamağı barındırmakta olup, her bir basamakta sistem üzerindeki gerilim ve akım değerleri farklılık göstermektedir. Değişken birçok durumun varlığı bu sistemleri ölçecek olan aletlerin tasarımlarına da etki etmektedir. Ayrıca olası bir arıza durumunda ölçü aletlerinin tasarımlarını da belirlemektedir. Değişken birçok faktörün var olduğu bu tarz sistemlerde, ölçme işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla sistem üzerindeki akım ve gerilim değerinin var olan ölçü aletlerine uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Böyle bir ihtiyacı karşılamak için de ölçü transformatörleri kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında, elektrik sistemleri üzerindeki akım değerlerini ölçmeye yarayan akım ölçü transformatörleri incelenmiştir. Sistem üzerindeki akım değerleri; kullanıcı talepleri, arıza akımları v.b sebeplerle değişkenlik göstermektedir. Bu tarz durumlarda akım ölçü transformatörlerinin tepkisi, sistemi doğrudan etkilemektedir. Akım ölçü transformatörünün tepki vermemesi, eksik tepki vermesi veya fazla tepki vermesi sistemin tümünü etkilemektedir (Meisel, 1963).

Kullanılacak akım ölçü transformatörünün çalışma bölgelerinin incelenmesi ve kararlılık durumu analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Burada, yapılan analizler ile akım ölçü transformatörlerinin çalışma bölgeleri ve kararlılık bölgeleri

incelenmiştir. Böylece, sistem tasarımında, faturalandırma işlemlerinde ve koruma işlemlerinde yapılması gerekenler ve karşılaşılabilecek riskler tespit edilmiştir.

1.1. Literatür Çalışması

Nikola TESLA'nın transformatörü icadından günümüze kadar transformatörler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Transformatör ailesi içerisinde ölçü transformatörleri ve özellikle akım ölçü transformatörü kendisine özel yer edinmiştir.

Bu tez kapsamında incelemesini yapmış olduğumuz akım ölçü transformatörleri ile ilgili ulusal ve uluslar arası standartlar belirlenmiştir. “TS EN 61869-2 Ölçü transformatörleri - Bölüm 2: Akım transformatörleri için ek kurallar” standardı 2015 yılı itibari ile ulusal çapta yürürlüktedir.

Pustu M. (2015) tarafından Elektrik Mühendisleri Odası'na ISBN: 978-605-01-0692-3 numarası ile basılmış olan “Ölçü transformatörleri ve saha testleri” adlı kitabında ölçü transformatörlerini ve saha testlerini incelemiştir.

Anigi E. (2012), Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsünde hazırlanan “Ölçü akım transformatörlerinin doğruluğunun sinüzoidal olmayan şartlar altında deneysel incelenmesi” adlı yüksek lisans tezinde akım ölçü transformatörlerini sinüzoidal olmayan şartlar altında incelemiştir.

Mclyman C. (2004), tarafından “Transformer and Inductor Design Handbook-Third Edition, Revised and Expanded” adlı kitabında transformatör ve indüktör tasarımlarından bahsetmiştir.

Tam K. (2001), tarafından Texas Instruments, Application Report da yayınlanmış olan “Current Transformer Phase-Shift Compensation and Calibration” uygulama röportaj makalesinde akım ölçü transformatörlerinin kompanzasyonu ve kalibrasyonundan bahsetmiştir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada, akım ölçü transformatörlerin yüklenme durumları olan etiket değerinde belirtilen nominal akımın %25'ine kadar olan çalışma bölgesinde ve nominal akımın %25 ile %120'ye kadar olan çalışma bölgesinde, aktif güç ölçümünde kararlılık

ve doğruluk durumları incelenmiş ve uygulamada kullanılan ürünlerin standartlara uyumlulukları ve çalışma bölgelerinde oluşan hatalar ve her bir akım ölçü transformatörü için uygulanan akıma karşılık gelecek ölçülen akım değerini ifade edecek matematiksel eşitlikler yazılarak, akım ölçü transformatörleri ile ölçüm çalışmaları yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiştir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Gerçekleştirilen çalışmada, kullanılan veriler deneysel uygulamalar ile elde edilmiş sonuçlardır. Bu amaçla, proje kapsamında alınmış olan; 150/5-CI 0,5 ; 400/5-CI 0,5 ve 600/5-CI 0,5 çevirme oranı değerlerindeki farklı markalardaki akım ölçü transformatörleri ile çalışma bölgesi ve kararlılık analizlerine yönelik deneysel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu deneylerde, özellikle farklı markalardaki akım ölçü transformatörleri kullanılmış ve üretici kaynaklı hatalar minimize edilmeye çalışılmıştır.

Akım ölçü transformatörlerinin primer bölgesindeki sargıdan değişik akımlar geçirilerek, manyetik devreye bağlı olan sekonder sargısında oluşan değişik akım bilgileri okunmuştur. Yapılan ölçümler esnasında primer akımı ve sekonder akımı sürekli olarak ölçülmüş ve sekonder akımının çevrim oranı ile çarpılması sonucu primer ve sekonder akım kıyaslaması ve hata analizleri çalışması yapılmıştır.

2. ÖLÇME VE TEMEL KAVRAMLAR

Ölçme, ölçülecek bir büyüklüğün bilinen başka bir büyüklük ile karşılaştırılması olarak tanımlanabilir. Ölçümü yapılan büyüklüğün doğru olarak belirlenebilmesi için karşılaştırılan büyüklüğün değişkenliğinin olmaması gerekmektedir. Yapılan ölçüm işlemlerinin belirli bir standardizasyon sağlamak için uluslar arası ölçü birimleri mevcuttur. Böylece, ölçümü yapılan bir büyüklüğün, herkes tarafından ortak bir ifadesi oluşur. Her bir ölçü biriminin alt ve üst katları mevcuttur(Örneğin milivolt, volt, kilovolt gibi).

2.1. Ölçmenin Önemi

Ölçme ve ölçüm sonucu elde edilen verilerin işlenmesi günümüz şartlarında büyük önem arz etmektedir. Ölçme olmaksızın mühendislik, ticaret, bilim, sanat v.b. diğer etkinlikleri gerçekleştirmek nerdeyse imkânsız olacaktır. Örneğin bir evin ısıtılmasında sıcaklık seviyesini ölçmeksizin yapılacak bir ısıtma işlemi, enerji maliyetlerinin artmasına sebep olabileceği gibi, ölçme işlemi yapılmayan durumlarda sistemde hem zaman kaybı, hem fiziksel olarak istenmeyen durumların oluşmasıyla beraber mali kayıplara da yol açabilir.

2.2. Ölçü Birimleri

1898 yılında Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Konferansında temel birimler belirlenmiştir. 1960 yılında ise birim, tanım ve semboller güncelleştirilmiştir. Güncelleştirilen bu sistem Uluslararası Birim Sistemi (SI) olarak bilinir. Uluslararası birim sistemi dışında çeşitli ülkelerin kullandığı Özel Birim Sistemleri de hala kullanılmaktadır.

21 Haziran 2002 tarih ve 24792 sayılı Resmi Gazete’de Uluslararası Birimler Sistemine Dair Yönetmelik (80/181/AT) yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte temel birimleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- **Uzunluk Birimi:** Uzunluk temel birimi “METRE” dir. Bir metre, vakum içerisindeki ışığın 1/299792468 saniyede kat ettiği hattın uzunluğudur.

- **Kütle Birimi:** Kütle birimi “KİLOGRAM”dır. Bir kilogram uluslararası kilogram prototipinin kütesine eşittir.
- **Zaman Birimi:** Zaman temel birimi “SANİYE”dir. Bir saniye, Cs-133 atomunun temel enerji durumunda, aşırı iki ince yapı durumu arasındaki geçişe karşı gelen ışımanın (dalga boyunun) 9.192.631.770 periyodik süresidir.
- **Elektrik Akım Birimi:** Elektrik akım birimi “AMPER”dir. Bir amper, doğrusal sonsuz uzunlukta, ihmal edilebilir dairesel enine kesitte ve birbirinden bir metre uzaklıkta boşluğa yerleştirilmiş paralel iki iletkenin geçirildiğinde, bu iletkenler arasında beher metre başına 2×10^{-7} Newton’luk bir kuvvet meydana getiren sabit elektrik akımıdır.
- **Termodinamik Sıcaklık Birimi:** Termodinamik sıcaklık birimi “KELVİN”dir. Bir Kelvin, Termodinamik sıcaklık birimi Kelvin cinsinden, suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının $1/273,16$ ’lık kesiridir.
- **Madde Miktarı Birimi:** Madde miktarı temel birimi “MOL”dur. Bir mol sayısı, 0,012 kg C-12 içindeki atomların sayısı kadar olan bir sistemdeki madde miktarıdır.
- **Işık Şiddeti Temel Birimi:** Işık şiddeti temel birimi, “KANDELA”dır. Bir kandela, verilen bir yönde 540×10^{12} Hz frekanslı monokromatik ışın yayan ve bu yöndeki enerji şiddeti $1/683$ W/sr olan bir kaynağın ışık şiddetidir.

Çizelge 2.1. Uluslararası (SI) yedi temel birim.

Fiziksel Nicelik	İsmi	Sembolü
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik akım şiddeti	Amper	A
Termodinamik Sıcaklık	Kelvin	K
Madde Miktarı	mol	mol
Işık Şiddeti	kandela	cd

Temel birimlerin çarpım veya bölümü ile türetilmiş birimler elde edilir. Bazı türetilmiş büyüklükler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

2.3. Elektriksel Büyüklükler ve Tanımları

Çok değişik şekilde elektriksel büyüklükler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en çok kullanılan büyüklükler ve bunlara ait tanımlar şöyledir;

- **Amper:** Bir iletken üzerinden birim zamanda akan akımın birim ifadesidir. Bir gümüş nitrat eriyiğinden (AgNO_3), saniyede 1,118 miligram gümüş ayırmak için gerekli olan elektrik akımı 1 amperdir. “A” sembolü ile gösterilir.
- **Volt:** Direnç değeri 1 ohm olan ve içinden 1 amper akım geçen iletkenin uçları arasındaki potansiyel fark olarak tanımlanır ve bu değer 1 voltur. “V” sembolü ile gösterilir.
- **Ohm:** Direnç birimidir. Elektrik akımına karşı gösterilen zorluğa direnç denir. 1 mm² kesitli ve 106,3 cm uzunluğundaki cıva sütununun, 0°C de ve 14,4521 gr ağırlık durumundaki direnç değeri 1 ohm olarak tanımlanır ve “Ω” sembolü ile gösterilir.
- **Watt:** Uçları arasındaki potansiyel farkın 1 volt olduğu ve üzerinden 1 amper yük geçiren bir elektriksel devrede yükün gücü 1 watt olarak tanımlanır. “W” sembolü ile gösterilir
- **Henry:** Bir devrede, 1 amper akım akarken birim saniyede 1 voltluk bir elektromotor kuvvet oluşuyorsa bu devrenin öz indükleme değeri 1 Henry’dir. “H” sembolü ile gösterilir. Endüktif yük birimine verilen isimdir.
- **Farad (F):** Bir devrede, 1 voltluk gerilim değişimi meydana gelirken 1 coulomb’luk bir yükle yüklenen kondansatörün kapasite değeri 1 Farad’dır. “F” sembolü ile gösterilir. Kapasitif yük birimine verilen isimdir.

Çizelge 2.2. Türetilmiş SI birimleri.

Türetilmiş Büyüklük	Türetilmiş SI Birimi			
	Adı ve Sembolü		Diğer SI Birimler Cinsinden	SI Temel Birimler Temelinde İfadesi
Frekans	Hertz	Hz		s^{-1}
Kuvvet	Newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Basınç, Gerilim	Pascal	Pa	N/m ²	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Enerji, İş, Isı Miktarı	Joule	J	N·m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Güç, Işın akısı	Watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Elektrik Yüğü, Elektrik Miktarı	Coulomb	C		$s \cdot A$
Elektrik Potansiyel Farkı, Elektromotor Kuvvet,	Volt	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Kapasitans	Farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Elektriksel Direnç	Ohm	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Elektriksel İletkenlik	Siemens	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Manyetik Akı	Weber	Wb	V·s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Manyetik Akı	Tesla	T	Wb/m ²	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
İndüktans	Henry	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Işık Akısı	Lumen	Lm	cd·sr	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
Aydınlık Düzeyi	Lux	Lx	lm/m ²	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$

2.4. Ölçme İşleminde Hata

Elektriksel ve diğer büyüklere ait ölçme işlemleri esnasında kullanılan ölçü aletleri çok yüksek hassasiyete sahip olsalar ve ölçme işleminde kullanmış olduğumuz metot çok iyi olsa bile, yapılan ölçüm sonucu ile gerçek değer arasında mutlaka bir fark vardır. Ölçme sonucu elde edilen değere yaklaşık değer denilmektedir. Bu yaklaşık değer ile gerçek değer arasındaki farka ölçme hatası denilmektedir.

- **Mutlak Hata (Δ_m -Fark Hata) :** Ölçme esnasında, ölçü aletinde görülen değer (A_1) ile ölçümü yapılan durumun veya nesnenin gerçek değeri (A_2) arasında fark

vardır ve bu farka mutlak hata ismi verilir. Elde edilen bu değer + veya – sonuçlu olabilir.

$$\Delta_m = A_1 - A_2 \quad (2.1)$$

- **Bağıl Hata (Δ_b)** : Ölçüm işlemleri sonucu elde edilen mutlak hata değerinin ölçülmek istenen yapının gerçek değerine bölünmesi ve elde edilen sonucun 100 ile çarpılması sonucu elde edilir.

$$\Delta_b: \frac{A_1 - A_2}{A_2} * 100 = \frac{\Delta_m}{A_2} * 100 = \frac{\Delta_m}{A_1} * 100 \quad (2.2)$$

Bağıl hata değeri, uygulamalarda genellikle kullanılır. A_2 gerçek değeri, önceden çok hassas ölçü aletleriyle belirlenir. A_1 ölçülen değeri ise ölçme sonucu elde edilir. Δ_b değeri tespit edilirken A_2 değeri yerine A_1 değerini koyabiliriz.

- **Konstrüksiyon (İmalat) Hatası (H)** : Ölçme sonucu elde edilen mutlak hata değerinin, ölçü aletinin ekranında görülebilecek maksimum değere (X_{mak}) bölünmesi sonucu elde edilir. Yapım hatası uygulama işlemlerinde % olarak belirtilir.

$$\pm \%H = \frac{A_1 - A_2}{X_{mak}} * 100 = \frac{\Delta_m}{X_{mak}} * 100 \quad (2.3)$$

Ölçü aletinin ekranında görülen değer, gerçek değer ile arasındaki farkın ne kadar az veya çok olduğunu göstermek için hata oranı belirtilirken oranın önüne $\pm$ konur.

Aktif elektrik sayaçları, Ölçü Aletleri Yönetmeliğine (7 Ağustos 2008-26960 sayılı Resmi Gazete) göre, çizelge 2. 3.'te belirtilen değerleri sağlamak zorundadır.

Çizelge 2.3. Aktif elektrik sayaçlarının sağlaması gereken hata oranları.

	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı
Doğrudan bağlantılı sayaçlar için			
I_{st}	$\leq 0,05 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,04 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,04 \cdot I_{tr}$
I_{min}	$\leq 0,5 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,5 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,3 \cdot I_{tr}$
I_{mak}	$\geq 50 \cdot I_{tr}$	$\geq 50 \cdot I_{tr}$	$\geq 50 \cdot I_{tr}$
Transformatör ile çalışan sayaçlar için			
I_{st}	$\leq 0,06 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,04 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,02 \cdot I_{tr}$
I_{min}	$\leq 0,4 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,2 \cdot I_{tr}^{(1)}$	$\leq 0,2 \cdot I_{tr}$
I_n	$= 20 \cdot I_{tr}$	$= 20 \cdot I_{tr}$	$= 20 \cdot I_{tr}$
I_{mak}	$\geq 1,2 \cdot I_n$	$\geq 1,2 \cdot I_n$	$\geq 1,2 \cdot I_n$
⁽¹⁾ B Sınıfı elektromekanik sayaçlar için $I_{min} \leq 0,4 \cdot I_{tr}$ uygulanır.			

Bu çizelgede belirtilen terimler ilgili yönetmelikte şu şekilde tanımlanmaktadır.

- I :Elektrik sayacından geçen elektrik akımı,
- I_n :Sayacı çalıştıran transformatör için belirlenen referans akımı,
- I_{st} :Aktif elektrik enerjisini kaydeden sayaçlarda birim güç faktöründe beyan edilen en düşük akım değeri (dengeli yükte çok fazlı sayaçlar için),
- I_{tr} :Sayacın sınıf indeksine bağlı olarak, akım değeri üzerindeki hataların en küçük MİH değeri içinde kaldığı akım değeridir
- I_{min} :MİH sınırları içinde kalan hatalar için en küçük akım değeri(dengeli yükte çok fazlı sayaçlar için),
- I_{max} :MİH sınırları içinde kalan hatalar için en büyük akım değeri,

2.5. Ölçü Aletlerine Ait Terimler

Ölçü aleti kullanılmadan önce, yapılacak ölçme işlemine uygun, doğru ölçü aletinin seçilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Bu seçimin yapılabilmesi için ölçü aletine ait bazı tanımların bilinmesi ve buna uygun şekilde ölçü aleti seçimi ve kullanılması gerekmektedir. Bu tanımlar;

- **Doğruluk Özelliği:** Hiçbir ölçü aleti %100 doğru bir ölçme işlemi yapamaz. Bu sebepten dolayı her bir ölçü aletinin belirli bir oranda hata payı bulunmaktadır. Bir ölçü aletin tarafından yapılabilecek en büyük hata değeri standartlar ile belirlenmekle beraber ürüne ait katalogda veya ürün üzerinde belirtilir. Ölçü aletleri $\% \pm 0,1$, $\% \pm 0,2$, $\% \pm 0,5$, $\% \pm 1,5$, $\% \pm 3$ gibi değişik hata sınıflarında sınıflandırılırlar ve kullanım yerleri buna göre belirlenir. Şekil 2.1’de uygulama çalışmasında kullanılan ölçü aletinin doğruluk özelliklerinin bir kısmı görülmektedir.

Doğruluk Özellikleri	
DC milivolt	Kademe: 600.0 mV Çözünürlük: 0.1 mV Doğruluk: $\pm ([\text{okuma \% 'si}] + [\text{sayım}]): 0.5\% + 2$
DC Volt	Kademe/Çözünürlük 6.000 V / 0.001 V Kademe/Çözünürlük 60.00 V / 0.01 V Kademe/Çözünürlük 600.00 V / 0.1 V Doğruluk: $\pm ([\text{okuma \% 'si}] + [\text{sayım}]): 0.5\% + 2$
AC milivolt ¹ true-rms	Kademe: 600.0 mV Çözünürlük: 0.1 mV Doğruluk: $\%1.0 + 3$ (dc, 45 Hz ile 500 Hz arası) $\%2.0 + 3$ (500 Hz ile 1 kHz arası)
AC volt ¹ true-rms	Kademe/Çözünürlük 6.000 V / 0.001 V Kademe/Çözünürlük 60.00 V / 0.01 V Kademe/Çözünürlük 600.0 V / 0.1 V Doğruluk: $\%1.0 + 3$ (dc, 45 Hz ile 500 Hz arası) $\%2.0 + 3$ (500 Hz ile 1 kHz arası)
Süreklilik	Kademe: 600 Ω Çözünürlük: 1 Ω Doğruluk: Sesli ikaz açık < 20 Ω , kapalı > 250 Ω ; 500 μ s veya daha uzun süreli açık ve kısa devreleri algılar.
Ohm	Kademe/Çözünürlük 600.0 Ω / 0.1 Ω Kademe/Çözünürlük 6.000 k Ω / 0.001 k Ω Kademe/Çözünürlük 60.00 k Ω / 0.01 k Ω Kademe/Çözünürlük 600.0 k Ω / 0.1 k Ω Kademe/Çözünürlük 6.000 M Ω / 0.001 M Ω Doğruluk: 0.9 % + 1 Kademe/Çözünürlük 40.00 M Ω / 0.01 M Ω Doğruluk: 5 % + 2

Şekil 2.1. Bir ölçü aletine ait doğruluk özellikleri.

- **Çözünürlük:** Ölçü aletinde ölçülen büyüklük değerinin çok küçük değişimlerinin göstergede ifade edilebilmesi olarak tanımlanır. Şekil 2.1’de uygulamada kullanılan ölçü aletinin çözünürlük değerleri görülebilmektedir.

- **Ölçme Alanı:** Ölçü aletinin üzerinden okunabilecek en küçük değer ile en büyük değer arasında kalan kısmı, ölçme alanı adı olarak ifade edilir. Bu alan, ölçü aletinin hangi değerler arasında ölçüm yapabileceğini gösterir. Şekil 2.1’de uygulamada kullanılan ölçü aletinin ölçme alanı değerleri görülebilmektedir.

- **Ölçme Sınırı:** Bir ölçü aletinin göstergesinde gösterebildiği en son değere, yani ölçebileceği en büyük değer ölçme sınırı olarak tanımlanır. Şekil 2.1’de uygulamada kullanılan ölçü aletinin ölçme sınır değerleri görülebilmektedir.

- **Giriş Empedansı:** Ölçü aletinin devreye seri veya paralel bağlanmasından dolayı, ölçümü yapılacak devre üzerinde ilave bir yük oluşturur. Oluşturmuş olduğu bu yük giriş empedansı olarak tanımlanır. Elektronik ölçü aletlerinde giriş empedans değerleri büyüktür. Bu sebepten dolayı bağlı oldukları devrelere yükleme etkileri azdır.

- **Frekans Tepkisi:** Ölçü aletlerinde, ölçü aletinin katalog değerinde belirtilen hatanın gerçekleşebileceği frekans değerinin alt ve üst sınır ifadesidir. Şekil 2.2’de uygulamada kullanılan ölçü aletine ait frekans cevabı görülmektedir.

Hz (V veya A girişi) ²	Kademe/Çözünürlük 99.99 Hz / 0.01 Hz Kademe/Çözünürlük 999.9 Hz / 0.01 Hz Kademe/Çözünürlük 9.999 kHz / 0.001 kHz Kademe/Çözünürlük 50 kHz / 0.01 kHz Doğruluk: 0.1% + 2
-----------------------------------	--

Şekil 2.2. Ölçü aleti frekans aralıkları.

- **Ölçü Aletinin Enerji Tüketimi:** Ölçü aletleri ölçme işlemlerini yaparken ya bağlı bulundukları devreden güç çekerler ya da bağımsız güç kaynaklarından güç çekerler. Bağlı oldukları devreden güç çekmeleri durumunda ölçme işlemine etki ederler. Genel bir ifade ile ölçü aletinin tüketeceği enerji değerini belirtirler. Analog ölçü aletleri, ölçme işlemi yapılan devreden $P \times R$ kadar bir güç çekerler. Burada “R” değeri ölçü aletinin iç direnç değeridir. Bu güç, akımın karesi ile değişmesi dolayısı ile ölçülen büyüklüğün değişmesiyle değişmektedir. Dijital ölçü aletleri kendi güç kaynaklarını kullanmaları sebebi ile bağlı bulundukları devreden çekecekleri güç değeri ihmal edilebilir.

Bu tip ölçü aletlerinin kullanıldığı devrelerde güç kaynağı ile ölçü aleti arasındaki mesafe ve kablo kesiti önem arz etmektedir. Özellikle akım ölçü transformatörlerinin gücünü belirlemede, ölçü aletinin güç tüketip tüketmeyeceği ve akım ölçü transformatörü ile ölçü aleti arasındaki devrede harcanacak güç değeri önemlidir. Şekil 2.3’te “Fanox marka SIL-A” model bir yüksek gerilim tesislerinde kullanılmakta olan bir güç kontrol rölesine ait cihazın güç tüketim değerlerini gösterir etiket bilgileri bulunmaktadır.

	SIL-A
Auxiliary Supply	24-48Vdc 90-300Vdc/110-230Vac
Consumption	3,3 - 4,5 W
Current measurement	Standard CT 0,5VA

Şekil 2.3. Güç kontrol ölçü aleti güç tüketimi.

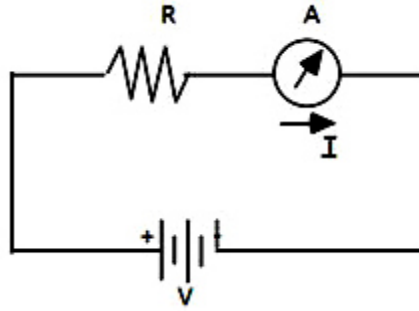
2.6. Akım ve Gerilim Ölçümü

Elektrik enerji sistemlerinde en çok yapılan ve çok önemli bir yere sahip olan ölçümler, akım ve gerilim ölçümleridir. Bu ölçme işlemleri birbirinden farklı özelliklere sahip ölçü aletleri ile yapılabilmektedir. Yaptığımız bu çalışmada multimetre olarak tanımlanan ve birçok ölçüm işleminde ortak olarak kullanılabilecek ölçü aleti tercih edilmiştir. Doğru ve hassas ölçüm sonuçları elde etmek için, öncelikle cihazı devreye doğru bağlamak gerekmektedir. Multimetreyi devreye iki şekilde bağlayabiliriz. Bunlar; seri ve paralel bağlantıdır. Şekil 2.4'te uygulamada kullanılan multimetre ölçü aleti görülmektedir(Megep, 2007).



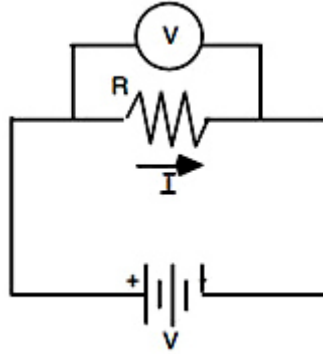
Şekil 2.4. Multimetre ölçü aleti.

- **Akım Ölçümü:** Multimetre ile akım ölçümü yapabilmek için cihazı ölçüm yapacağımız devreye seri bağlamamız gerekmektedir. Şekil 2.5'te doğru akım bir devrede ampermetrenin devreye seri bağlantısının şeması görülmektedir. Alternatif akım devreler içinde aynı bağlantı şekli geçerlidir.



Şekil 2.5. Ampermetrenin devreye seri bağlantısı.

- **Gerilim Ölçümü:** Multimetre ile gerilim ölçümü yapabilmek için cihazı ölçüm yapacağımız devreye paralel bağlamamız gerekmektedir. Şekil 2.6'da doğru akım bir devrede voltmetrorenin devreye paralel bağlantısının şeması görülmektedir. Alternatif akım devreler içinde aynı bağlantı şekli geçerlidir.



Şekil 2.6. Voltmetrenin devreye paralel bağlantısı.

2.7. Alternatif Akımda Ölçme ve Ölçü Transformatörleri

Elektrik enerji sistemlerinde ölçüm sonucu elde edilen değerler; faturalandırma, koruma, tasarım gibi birçok durumda kullanılmaktadır. Ölçüm sistemlerinde gerilim

değeri çoğu zaman sabit olmaktadır. Fakat akım değeri talep edilen güç ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Elektrik sistemlerinde anlık akım değeri, tüketilen güç miktarına aynı oranda şekilde değiştiğinden dolayı ölçü aletlerini elektrik devresine seri olarak bağlamak pratik ve teknik olarak mümkün olamamaktadır.

Bazı durumlarda sistemin gerilim seviyesi, ölçü aletlerinin yalıtım seviyesi için çok yüksek olabilmektedir. Böyle durumlarda ölçme işleminin yapılabilmesi için devreye ölçü transformatörleri girmektedir. Ölçü transformatöründe akımın ve gerilimin geçmiş olduğu ve devreye seri ve paralel bağlı olan kısma primer sargı denilmektedir. Primer sargıdan geçen akım ve gerilim manyetik bir nüve yardımı ile sekonder sargı üzerine aktarılır. Sekonder sargı üzerinden geçen akım ve gerilim değerleri ölçü aletlerinin ölçme işlemlerini yapabileceği uygun akım ve gerilim seviyesinde olmaktadır. Şekil 2.7' de yüksek gerilim sistemlerinde ölçme amaçlı tesis edilen bir ölçü hücresinin içerisindeki akım ölçü transformatörleri görülmektedir.



Şekil 2.7. Yüksek gerilim ölçü hücresinde akım ölçü transformatörleri.

Ölçü transformatörü kullanım amaçları;

- Primer geriliminin yüksek olduğu durumlardan ölçü aletleri ve koruma rölelerini koruyarak güvenli bir çalışma alanı oluşturmak.

- Primer değerinde meydana gelecek değışiklere karşılık belirli bir standart değer elde edebilmektir.
- Yüksek akımlarda kullanılacak ölçü aletleri ve röleler devreden çekilen akım için büyük boyutlarda tasarlanması gerekmektedir. Ölçü transformatörü kullanılarak akım ve gerilim değerleri düşürüldüğünde daha küçük boyutlu ölçü aletleri kullanılmasını sağlar.
- Küçük ölçü aletleri kullanılması sebebiyle ölçme işlemleri için tasarlanan ekipmanların maliyet açısından ekonomik olmasını sağlar. Büyük değerlerin ölçülmesinde daha ekonomik çözümler sağlar(Megep, 2007).

Akım veya gerilim ölçü transformatörlerinin seçiminde aşğıdaki parametrelerin ürünlerin standartları doğrultusunda ihtiyaca seçilmesi gerekmektedir. Şekil 2.8 'de yüksek gerilimde kullanılmakta olan akım ve gerilim ölçü transformatörleri görülmektedir.

Ortak parametreler;

- En yüksek çalışma gerilimi, V
- Çalışma frekans, Hz
- Sekonder sargı sayısı
- Her bir sekonder sargı için anma yükü, VA
- Her bir sekonder sargı için doğruluk sınıfı
- Tasarım standardı
- Çevresel koşullar

Akım ölçü transformatörleri için seçiminde ayrıca dikkat edilmesi gereken parametreler;

- Akım dönüştürme oranı
- Kısa devre dayanım akımı

Gerilim ölçü transformatörleri için seçiminde ayrıca dikkat edilmesi gereken parametreler;

- Gerilim dönüştürme oranı
- Gerilim faktörü

olarak sıralanır. Ölçü transformatörleri iki çeşittir. Bunlar;

- **Akım Ölçü Transformatörleri:** Alternatif akım sistemlerinde kullanılan akım ölçü aletlerinin daha geniş alanlarda ölçüm yapabilmesi için akım ölçü transformatörleri kullanılır. Akım ölçü transformatörleri bağlandıkları devreden geçmekte olan akımı (primer akım) imalat esnasından belirlenen çevrim oranında küçülterek, sekonder terminallerine aktarır ve böylece aletlerinin ölçüm yapmasını sağlar. Ayrıca ölçü sistemlerini yüksek gerilimden yalıtarak işletme güvenliği sağlamaktadırlar.



Şekil 2.8. Akım ve gerilim ölçü transformatörleri.

- **Gerilim Ölçü Transformatörleri:** Alternatif akım sistemlerinde kullanılan gerilim ölçü aletlerinin daha geniş alanlarda ölçüm yapabilmesi için gerilim ölçü transformatörleri kullanılır. Gerilim ölçü transformatörleri bağlandıkları devreden geçmekte olan gerilimi (primer gerilim) imalat esnasında belirlenen çevrim oranında küçülterek, sekonder terminallerine aktarır ve böylece aletlerin ölçüm yapmasını sağlar. Ayrıca ölçü sistemlerini yüksek gerilimden yalıtarak işletme güvenliği sağlar.

Gerilim ölçü transformatörü, sekonder gerilim değerinin primer gerilim değeriyle orantılı olduğu ve aralarındaki faz farkının sıfıra yaklaşık olduğu tipte bir ölçü transformatördür. Endüktif gerilim ölçü transformatörü ve kapasitif gerilim ölçü transformatörü olmak üzere iki farklı çeşidi vardır.

Gerilim ölçü transformatörlerinde doğruluk sınıfı, ölçme ve koruma amaçlı sistemlerde farklı değerlere sahiptir. Aynı nüve üzerinde birden fazla sargının olabileceği gerilim ölçü transformatörleri de bulunmaktadır. Aynı nüve üzerinde birden

fazla sarım olmasıyla birlikte bu sarımlar birbirleri ile irtibatlı değildirler ve her bir sarımın ucu ayrı klemens grubunda bulunmaktadır. Ölçü devrelerinin oran ve faz açısı hataları, anma yükünün %25-%100 değerleri ve primer anma geriliminin %80- %120'si arasında çevrim hata oranı ve faz açısı hatası standartında belirtilen değerleri aşmamalıdır.



Şekil 2.9. Gerilim ölçü transformatörü.

Gerilim ölçü transformatörlerinin sekonder uçları kullanılmayacaksa kesinlikle kısa devre edilmemelidir. Kısa devre edilmesi halinde oluşacak aşırı akımlar, sekonder ve primer devrelerde nominal değerinden yüksek akım akmasına sebep olacaktır. Böyle durumlarda primer ve sekonder sargılar oluşan bu akımın termik etkisine dayanamayarak hasar görecektir. Böyle bir durumda primer ve sekonder sargılarda yanma ve kopmalar oluşabilir. Şekil 2.9' da gerilim ölçü transformatörü görülmektedir.

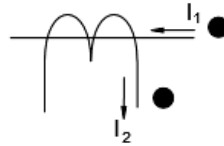
Gerilim ölçü transformatörünün etiketinde belirtilen değerler şunlardır;

- Çalışma hata sınıfı: Gerilim ölçü transformatörlerinin hata hassasiyetini belirtir. Ölçme devreleri için 0,1-0,2-0,5-1-3-5 koruma devreleri için 5P-10P gibi gruplar kullanılmaktadır.
- Gerilim dönüştürme oranı: Primer gerilimin, sekonder gerilime oranını ifade eder. Gerilim ölçü transformatörünün etiketinde 34500/100, 1500/100V, şeklinde gösterilir.
- Sarım sayısı “n_s”: Primer ve sekonder devrelere sarılmış olan sargıların sayılarının birbirine bölünmesi sonucu elde edilen değerdir. İdeal tip bir gerilim ölçü

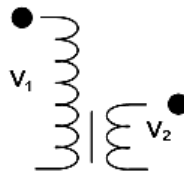
transformatöründe kayıplar yok kabul edildiğinden sargı oranı ile dönüştürme oranı birbirine eşittir.

- Anma yalıtım seviyesi (kV): Gerilim ölçü transformatörünün elektrik zorlanmalarına karşın hasara uğramadan çalışmasına devam edebileceği gerilim seviyesidir.
- Çalışma frekansı “Hz”: Gerilim ölçü transformatörünün çalışacağı frekansı belirtir.
- Primer çalışma gerilimi “ U_p ”: Gerilim ölçü transformatörün primer devresine uygulanan gerilim değeridir. Etiketinde belirtilir ve 0,3-6,3-10,5-15-30-34,5-60-66-154-380 kV gibi değerlerden oluşmaktadır.
- Sekonder anma gerilimi, “ U_s ”: Gerilim ölçü transformatörünün primer devresine uygulanan gerilime karşı sekonder devreden okunabilecek gerilim değeridir. Faz-faz arası gerilim ölçü transformatörlerinde 100-110-115-120 Volt, faz-toprak gerilim ölçü transformatörlerinde ise bu değerlerin $\sqrt{3}$ 'e bölümüdür.(100/ $\sqrt{3}$, 120/ $\sqrt{3}$ gibi)
- Gücü VA, (3,5 VA gibi): Gerilim ölçü transformatörünün sağlayabileceği gücü ifade eder.(ABB, 2004).

Aşağıdaki Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 de akım ve gerilim ölçü transformatörlerine ait sembolik gösterimler bulunmaktadır. Bu tür sembolik gösterimler projelendirme işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Akım ölçü transformatörü sembolü.



Şekil 2.11. Gerilim transformatörü sembolü.

3. AKIM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ

Bağlı oldukları devreden geçen akımı, tasarımları esnasında belirlenen oranda küçülterek sekonder terminallerine aktaran ve bu akımla ölçü aletlerini besleyen ve onları yüksek gerilimden izole eden özel tip transformatörlere, akım ölçü transformatörleri denilir. Şekil 3.1’de değişik tiplerde akım ölçü transformatörleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Akım ölçü transformatörleri.

Akım ölçü transformatörleri "primer" dediğimiz giriş-birincil devresinden geçen akımı, manyetik bir devre ile küçülterek "sekonder" denilen çıkış-ikincil devreye aktarırlar ve bu devre üzerinden bağlı bulunduğu cihazları beslerler. Akım ölçü transformatörlerinin kullanılma amaçlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Ölçüm cihazlarının büyük akımlar yerine küçük akımlar ile çalışmasını sağlayarak büyük akımlar tarafından zorlanmasını önleme,
- Büyük akımlarda güvenli ölçüm alanı oluşturma,
- Farklı primer akım değerine karşılık standart sekonder akım değeri elde etme,
- Ölçü cihazlarını bağlı bulundukları primer devrelerdeki yüksek gerilimlere karşı izole ederek güvenli bir çalışma sahası oluşturma olarak belirtebiliriz.

3.1. Akım Ölçü Transformatörü Çalışma İlkesi

Akım ölçü transformatöründe manyetik nüve üzerinde primer ve sekonder olmak üzere iki sargı bulunmaktadır. Sekonder sargı, primer sargıya göre ters yönde sarılmıştır. Ölçüm yapılacak devreye seri olarak bağlanan primer sargıdan geçen (primer) akımın meydana getirdiği manyetik alan, manyetik nüvede manyetik bir akı oluşmasına sebep olur. Oluşan manyetik akı, sekonder sargı üzerinde bir gerilim indüklenmesine neden olur. Sekonder sargıya ölçü cihazlarının bağlanması sonucu, sekonder devreden geçen akım; (sarımların ters olması yüzünden) ters yönde bir manyetik alan ve manyetik nüvede ters yönde bir manyetik akı oluşturur. Sonuçta, demir nüvedeki manyetik akı dengelenmiş olur. Ancak, sekonder devreye bir yük bağlanmaması (yani sekonder uçların açık bırakılması durumunda) ters yönde bir manyetik akı oluşmayacağı için; manyetik akı, nüvenin doymaya eriştiği değere kadar artar ve nüve sıcaklığını artırarak akım ölçü trafosunun hasar görmesine sebep olur. Ayrıca, sekonder devre uçlarındaki gerilim (birkaç bin voltluk) büyük değerlere ulaşır ve insanlar için hayati tehlike oluşturur. Primer ve sekonder akım ve sarım sayıları aşağıdaki gibi tanımlanırsa;

I_p :Primerden geçen akım

B_p :Primer sarım sayısı

I_s :Sekonderden geçen akım

B_s :Sekonder sarım sayısı

Bu değerler arasındaki ilişki Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2'deki gibi gerçekleşmektedir.

$$I_p * B_p = I_s * B_s \quad (3.1)$$

Buradan;

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{B_p}{B_s} \quad (3.2)$$

elde edilir.

Burada I_p/I_s oranına akım ölçü transformatörünün çevrim oranı denir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de akım ölçü transformatörlerinin ilgili standardı tarafından kabul gören akım ve faz açısı hata oranlarını gösterir tablolar bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. Akım ölçü transformatörü akım hatası(Instrument Transformers Limited, 2011).

Doğruluk Sınıfı	Anma akımının yüzdesine göre yüzde akım hatası ($\pm$ %)			
	%5	%20	%100	%120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2
0,2S	0,35	0,2	0,2	0,2
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5
0,5S	0,75	0,5	0,5	0,5
1	3,0	1,5	1,0	1,0

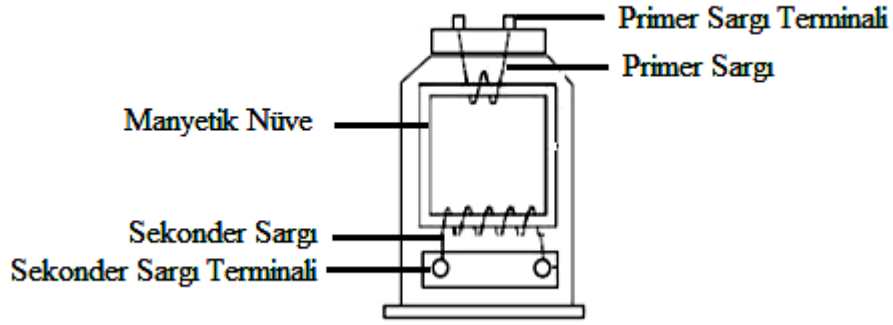
3.2. Akım Ölçü Transformatörü Yapısı

Alçak ve yüksek gerilim sistemlerinde kullanılan akım ölçü transformatörlerinin, primer ve sekonder sargıları aynı nüve üzerine sarılırlar. Primer sargısından, ölçülecek yüksek akım, sekonder sargısından ise ölçü aletine iletilecek akım geçmektedir. Bu sebepten dolayı primer devre sargısı kalın telli, az sarımlı, sekonder devre sargısı ise ince telli, çok sarımlı olarak yapılır.

Çizelge 3.2. Akım ölçü transformatörü faz hatası(Instrument Transformers Limited, 2011) .

Doğruluk Sınıfı	Anma akımının yüzdesine göre yüzde faz açısı hatası (dakika)			
	%5	%20	%100	%120
0,1	15	8	5	5
0,2	30	15	10	10
0,2S	15	10	10	10
0,5	90	45	30	30
0,5S	45	30	30	30
1	180	90	60	60

Akım ölçü transformatörünün primer sargı uçları akımı ölçülecek devreye ve sekonder sargı uçları ise ölçü aletinin devresine seri olarak bağlanır. Primer devreden ne kadar büyüklükte bir akım geçerse geçsin, sekonder devreden bu akımla orantılı olacak küçüklükte (1 A-5 A-10 A) bir akım geçer. Şekil 3.2.'de akım ölçü transformatörünün temel yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Akım ölçü transformatörü yapısı.

Akım ölçü transformatörleri, çalışma ve parçaları bakımından trafolara çok benzerlik göstermektedir. Fakat akım ölçü transformatörleri, sekonderi kısa devre çalışan ve sekonder çıkış akımı belirli oranda (ölçme ve koruma röleleri için) sınırlandırılmış özel tipte bir ölçü transformatörüdür.

Akım ölçü transformatörünün temel özelliklerini şöyledir;

- Primer devresinden geçen akımı, akım çevirme oranında küçülterek sekonder devreye aktarır.
- Sekonder devreleri sürekli olarak kısa devre durumunda çalışır.
- Primer devresi sadece bara veya merkezden geçen iletkenlerden veya kalın ve az sarımlı sargılardan oluşur.
- Sekonder sargıları ince telli ve çok sarımlıdır.
- Primer ve sekonder uçlar giriş ve çıkış uçları olacak şekilde belirli harflerle ifade edilir (Primer devre için: P1-Giriş, P2-Çıkış, Sekonder devre için: S1-Giriş, S2-Çıkış).
- Ölçü aletleri ile bağlantı yapılırken polarite önemlidir.
- Ölçme hassasiyetine göre değişik hata sınıflarında üretilir.
- Nominal akımın %120'sine kadar sürekli yüklenebilirler ve bu değere kadar doğru ölçüm sonuçları elde edilir.

- Sekonder uçlardan birisi işletme esnasında sürekli topraklanmalıdır.
- Sekonder devrede birden fazla sarım olması durumunda birden fazla ölçü aleti bağlanabilir.

Akım ölçü transformatörlerinin sekonder sargılarını oluşturan uçlardan birinin topraklanması gerekmektedir. Bunun sebebi, akım ölçü transformatörünün primer sargısı ile sekonder sargısı arasında oluşan bir kısa devre arızasında, primer devre gerilimi, topraklanan sekonder uç yardımıyla güç transformatörünün nötr noktasına ulaşarak bir kapalı çevrim devre oluşturur. Akım ölçü transformatörünün sekonder sargı ucunun topraklanmaması durumunda ise söz konusu arızada primer devre gerilimi, sekondere bağlı olan ölçü ve koruma devrelerine ulaşır. Dolayısıyla bu devre üzerindeki ölçü ve koruma elamanları yüksek gerilime maruz kalarak izolasyonu bozulur. Aynı zamanda ölçü sistemleri üzerinde çalışan personel için hayati tehlike oluşturur.

Akım ölçü transformatörünün sahip olması gereken minimum gücün belirlenmesi için aşağıdaki Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4 formüllerinden faydalanılabilir. Buradaki en önemli husus tespit edilen gücün, kullanılacak akım ölçü transformatörünün gücünün tam yükünden fazla ve çeyrek yükünden de az olmamasıdır. Aksi durumda yanlış ölçme veya yanlış koruma sinyallerinin oluşmasına sebep olabilir.

$$P_k = (I_{sn}^2 * 2 * l) / S * \sigma_{cu} \quad (3.3)$$

Burada;

P_k :Bağlantı kablosu güç kayıpları

I_{sn} :Sekonder devreden geçen anma akımı

L :Ölçü aleti sekonder terminalleri arası iletken uzunluğu

S :Bakır iletkenin kesiti (mm²)

σ_{cu} :56, bakır kablonun özgül iletkenliği

$$P_s = P_k + P_A + P_T \quad (3.4)$$

P_s :Akım ölçü transformatörü sekonderinden çekilen güç

P_A :Sekonder uca bağlı olan ölçü aletinin güç tüketimi

P_T : Temas kayıplarından meydana gelen güç kaybı ($\approx 0,5$ VA alınabilir)

Çizelge 3.3. Sekonder bağlanan kablonun 5 A’de oluşturacağı kayıp değerleri.

Akım ölçü transformatörü ölçü aleti arası mesafe	Sekonder bağlanan kablonun oluşturacağı kayıp P_k (VA) (5 A sekonder yük altında)			
	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²
1 m	0,36	0,22	0,15	0,09
2 m	0,71	0,45	0,3	0,18
3 m	1,07	0,67	0,45	0,27
4 m	1,43	0,89	0,6	0,36
5 m	1,78	1,12	0,74	0,44
6 m	2,14	1,34	0,89	0,54
7 m	2,5	1,56	1,06	0,63
8 m	2,86	1,79	1,19	0,71
9 m	3,21	2,01	1,34	0,8
10 m	3,57	2,24	1,49	0,89

Çizelge 3.4. Sekonder bağlanan kablonun 1 A’de oluşturacağı kayıp değerleri.

Akım ölçü transformatörü ölçü aleti arası mesafe	Sekonder bağlanan kablonun oluşturacağı kayıp P_k (VA) (1 A sekonder yük altında)		
	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²
10 m	0,14	0,09	0,06
20 m	0,29	0,18	0,12
40 m	0,57	0,36	0,54
60 m	0,86	0,54	0,36
80 m	1,14	0,71	0,48
100 m	1,43	0,89	0,60

Akım ölçü transformatörünün sekonder uçlarına bağlanacak olan kablonun değişik kesit ve metrajlarda oluşturacağı güç kaybı değerleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir(C&C Ltd, 2006).

3.3. Akım Ölçü Transformatörü Tanımları

Akım ölçü transformatörü seçimi ve kullanımı yapılmadan önce bazı parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler genel bir ifade ile etiket değeri olarak adlandırılmakla beraber aşağıda açıklaması yapılan parametrelerin tümünü etiket üzerinde göremeyebiliriz. Şekil 3.3'te uygulamada kullanılan bir akım ölçü transformatörünün etiket değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Akım ölçü transformatörü etiketi.

- **Primer anma akımı- I_p :** Akım ölçü transformatörünün primer (birincil) sargısından geçecek olan akımın normal çalışma koşulları için verilen elektriksel (anma) değerdir. Primer anma akımı ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve Amper (A) ile ifade edilir.
- **Sekonder Anma Akımı- I_s :** Akım ölçü transformatörünün sekonder (ikincil) sargısından geçecek olan akımın normal çalışma koşulları için verilen elektriksel (anma) değerdir. Sekonder anma akımı ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve Amper (A) ile ifade edilir. En yaygın sekonder anma akım değerleri 1 A ve 5 A dir.
- **Anma Gücü-VA:** Akım ölçü transformatörünün sekonder devresine nominal yük bağlı iken nominal akım geçişi esnasında sekonder devreden geçen yük değeridir. Anma çıkış gücü akım ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve Volt Amper (VA) ile ifade edilir.

- **Doğruluk Sınıfı-CL:** Akım ölçü transformatörünün primer akımı ile sekonder akımı arasındaki hatanın oranını belirtir. Doğruluk sınıfı akım ölçü transformatörlerinin etiketinde belirtilir ve Class (Cl) ile ifade edilir.
- **Akım Dönüştürme (Çevirme) Oranı (I_p/I_s):** Akım ölçü transformatörünün primer sargısından geçen akım değerinin sekonder sargısından geçen akım değerine oranı olarak ifade edilir.
- **Kısa Süreli Termik Anma Akımı- I_{th} :** Akım ölçü transformatörünün primer devresinden geçecek olan bir kısa devre arızası esnasında akım ölçü transformatörünün sargıları üzerinden geçecek olan ve sargı yalıtımlarının bozulmasına sebep olacak sıcaklığa ulaşmadan 1 sn süre ile dayanabileceği akımın efektif değeri olarak ifade edilir. Kısa süreli termik anma akım değeri akım ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve I_{th} olarak ifade edilir. I_{th} değeri ürün etiketinde belirtilmediği sürece $100 \times I_n$ kabul edilir. Daha yüksek I_{th} değerinde de akım ölçü transformatörü imalatı yapılabilmektedir.

Kısa süreli termik anma akımı 1 saniye süre için tanımlanmıştır. Bununla birlikte arıza akımının temizlenme süresi, bazen 1 saniyeden kısa veya 1 saniyeden uzun olabilir. Bu durum dikkate alınarak termik anma akımının aşağıdaki Eşitlik 3.5 bağıntısı ile kontrol edilmesi gerekir.

$$I_k = \frac{I_{th}}{\sqrt{t}} \quad (3.5)$$

t süresi içinde akım ölçü transformatörünün taşıyabileceği maksimum kısa devre akımı belirlenir ve bu akımın, o noktadaki kısa devre akımı ile karşılaştırılması yapılır. Bulunacak I_k değeri o nokta için daha önceden hesabı yapılmış kısa devre akımından büyükse, akım ölçü transformatörünün uygun olacağı kabul edilir.

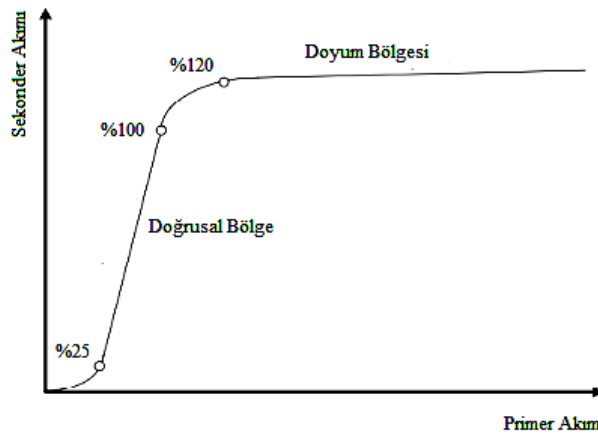
- **Kısa Süreli Dinamik Anma Akımı- I_{dyn} :** Akım ölçü transformatörünün primer devresinden geçecek olan bir kısa devre arızası esnasında akım ölçü transformatörünün üzerinden ilk periyotta geçecek darbe akımının sebep olacağı mekanik zorlanmalara dayanabileceği primer devre akımının tepe değeridir. Kısa süreli dinamik anma akımı, kısa süreli termik anma akımının 2,5 katı olarak dikkate alınır. Kısa süreli dinamik anma akım değeri akım ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve I_{dyn} olarak ifade edilir.

- **Yalıtım Seviyesi:** Akım ölçü transformatörünün çalışacağı maksimum gerilim seviyesini belirtir. Transformatörün tasarımı ve imalatı maksimum çalışma gerilimine göre yapılır ve standardında (TS EN 61869-2) belirtilmiştir. Bu gerilim başka bir ibare olmaksızın 3 fazlı sistemlerde fazlar arası gerilime karşılık gelir.

- **Doyma Katsayısı:** Akım ölçü transformatöründe manyetik nüveyi doyuma götüren akımın en küçük değeri olarak tanımlanır. Bu değer geçildiğinde akım ölçü transformatörünün primer kısmından geçen akım değeri artarken sekonder kısmından geçen akım değeri aynı oranda artmamaktadır. Sekonder sargıdan geçen akım değerinin belirli bir katı şeklinde ifade edilir. Uygulamada $n < 5$ veya $n > 10$ şeklinde gösterilir.

Ölçüm amaçlı kullanılacak akım ölçü trafolarında doyma katsayısının 5 den küçük seçilmesi gerekmektedir. Böylece oluşabilecek yüksek kısa devre arıza akımlarında ölçü aletlerinin zarar görmesi önlenmiş olur. Doyma katsayısı akım ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve $n \leq 5$ veya $F_s 5$ (Emniyet Katsayısı) olarak gösterilir.

Koruma amaçlı kullanılacak akım ölçü transformatörlerinin bağlı oldukları ölçü aletleri/röleler arıza durumunda çalışmaları gerektiğinden, seçiciliğin sağlanması amacıyla anma akım değerinin 10 katına kadar olan akımlarda ölçüm yapabilmesi gerekmektedir. Bu sebepten doyma katsayısı $n > 10$ olarak istenir. Şekil 3.4’de primer anma akımına karşılık sekonder anma akımında meydana gelen değişimi gösteren doyma eğrisi grafiği görülebilmektedir(U.S. Department of Commerce, 1991).



Şekil 3.4. Akım ölçü transformatörü doyma eğrisi.

3.4. Kullanıldığı Gerilim Seviyesine Göre Akım Ölçü Transformatörleri

- **Alçak Gerilim Akım Ölçü Transformatörü:** Alçak gerilim şebekelerinde kullanılan akım ölçü transformatörleridir. Dağıtım transformatörlerinde alçak gerilim taraflarında fazlar arası gerilim 400 V tur. Bu gerilim değeri ile çalışan iş yerleri ve fabrikalarda kullanılan tipteki akım ölçü transformatörleridir. Alçak gerilim sistemlerinde kuru tip akım ölçü transformatörleri kullanılır. Şekil 3.5’ te muhtelif boyutlarda alçak gerilim ölçü transformatörleri görülmektedir. Alçak gerilim şebekelerinde kullanılmakta olan akım ölçü transformatörünün primer devresi bazı durumlarda bulunmayabilir. Bu durumda ölçümü yapılacak hat doğrudan akım ölçü transformatörünün merkezinden geçirilerek primer devresi oluşturulur(Schinder Electric, 2000).



Şekil 3.5. Alçak gerilim akım ölçü transformatörü.

- **Yüksek Gerilim Akım Ölçü Transformatörü:** Yüksek gerilim şebekelerinde kullanılan akım ölçü transformatörleridir. Kullanılacakları şebeke gerilimi, akımı ve frekansına uygun şekilde imal edilirler. Yüksek gerilim şebekelerinde akım ölçü transformatörleri ölçüm yapılacak devreye baralar vasıtası ile seri bağlanır. Şekil 3.6’da yüksek gerilim akım ölçü transformatörü görülmektedir(General Electric,2016).



Şekil 3.6. Yüksek gerilim akım ölçü transformatörü.

3.5. Soğutma Şekline Göre Akım Ölçü Transformatörleri

- **Yağlı Tip Akım Ölçü Transformatörü:** Bu tip akım ölçü transformatörlerinde sargılar ve şase arasındaki yalıtkanlığı izolasyon yağı sağlamaktadır. Kuru tip akım ölçü transformatörlerine göre, terleme ve yağ sızıntısı gibi kötü faktörleri bulunmaktadır. Yüksek gerilimde kullanılan akım ölçü transformatörleri genelde yağlı tip akım ölçü transformatörlerdir. Özellikle 154 kV ve üzeri yüksek gerilim şebekelerinde kullanılmaktadırlar. Bu tip akım ölçü transformatörleri yapıları gereği bakım işlemlerine uygundur. Şekil 3.7’de yağlı tip akım ölçü transformatörü görülmektedir(Pustu, 2015).



Şekil 3.7. Yağlı tip akım ölçü transformatörü.

- **Kuru Tip Akım Ölçü Transformatörü:** Akım ölçü transformatörlerinin iletken kısımlarını birbirlerinden ve şaseden ayıran katı yalıtkan malzemelerden oluşmaktadırlar. Bu tip akım ölçü transformatörlerinde yalıtım maddesi olarak genellikle zift, kâğıt, epoksi reçine vb. malzemeler kullanılmaktadır. Genellikle alçak gerilim sistemlerinde kullanılan akım ölçü transformatörleri bu tiptir. Ekonomik olarak ucuzdurlar fakat arıza oluşması durumunda tamiri mümkün olmamaktadır.

3.6. Yapılışlarına Göre Akım Ölçü Transformatörleri

- **Sargılı Tip Akım Ölçü Transformatörü:** Bu tip akım ölçü transformatörlerinin primer sargıları tek bir iletken değil, sarımlardan oluşmaktadır. Primer ve sekonder sargıları aynı manyetik devre üzerine sarılıdır. Bazı yerlerde çift

primer veya çift sekonder sargılı akım ölçü transformatörleri de kullanılabilir. Şekil 3.8’de sargılı tip akım ölçü transformatörü görülmektedir.



Şekil 3.8. Sargılı tip akım ölçü transformatörü.

- **Bara Tipi Akım Ölçü Transformatörü:** Bu tip akım ölçü transformatörlerinde primer devre sargısını, şebekedeki faz iletkeni oluşturur. Bara tipi akım ölçü transformatörlerinin bazılarında primer sargı, ölçü transformatörünün orta kısmına yerleştirilmiş bir iletkenidir. Bazı tip akım ölçü transformatörlerinde ise orta kısım boştur. Bu orta kısmın içerisinden bara veya iletken geçirilir. Genellikle pano tipi uygulamalarda kullanılır. Şekil 3.9’da bara tip akım ölçü transformatörü görülmektedir.



Şekil 3.9. Bara tip akım ölçü transformatörü.

3.7. Kullanıldıkları Yere Göre Akım Ölçü Transformatörleri

- **Dahili Tip Akım Ölçü Transformatörleri:** Genellikle dış etkilere karşı dayanımı az olan tipteki akım ölçü transformatörleridir. Kapalı yerlerde kullanıma uygundurlar.
- **Harici Tip Akım Ölçü Transformatörleri:** Yapıları bakımından dahili tip akım ölçü transformatörlerine göre ortam şartlarına karşı daha dayanıklıdır. Açık şalt sahalarında kullanılan akım ölçü transformatörleri harici tip akım ölçü transformatörlerine örnek verilebilir.

3.8. Akım Ölçü Transformatörü Etiket Değerleri

- Hata sınıfı: Akım ölçü transformatörlerinin hata hassasiyetlerini belirler, ölçme için 0,1-0,2-0,5-1-3-5 koruma için 5P-10 P gruplarında ürünler kullanılır.
- Sekonder anma akımı “Is” (nominal sekonder akımı): Trafoların sekonder akımları (özel olarak yapılanlar hariç) 1-2-5 ve 10 A olarak yapılır. Sekonder tarafına bağlanan ölçü aletleri bu akımlara göre imal edilir. En çok kullanılan sekonder akımı 5 A’dır. Transformatör ve cihazlar arası uzaklık büyükse sekonder akımı 1 A olarak alınır.
- Primer anma akımı “Ip” (nominal primer akımı): Akım ölçü transformatörünün çalışma akımıdır. Primer akımları, 10-12-5-15-20-25-30-40-50-60-75-100 sayılarının 5 veya 10 katıdır. Akım transformatörleri primer akımlarının %20 fazlasına kadar yüklenebilirler. Bu durumda (sekonderi 5A olan trafoda) sekonderinden 6 A geçer.
- Akım dönüştürme oranı: Primer akımının, sekonder akımına oranına denir. Transformatör etiketlerinde 75/5A, 100/5A, 1000/5A gibi belirtilir.
- Sarım sayısı oranı, “ n_n ”: Primer ve sekonder devre sargılarının birbirine olan oranına karşılık gelir. İdeal tip bir akım ölçü transformatöründe kayıplar yok kabul edildiğinden sargı oranı ile dönüştürme oranı birbirine eşittir.
- Kullanım gerilimi “kV”, Ölçü aletinin güvenle çalışabileceği primer gerilim seviyesine gösterir.

- Duyarlılık gücü “VA”: Güç kat sayısı belirtilmek koşulu ile sekonder devrenin anma sekonder akımında voltamper cinsinden ifade edilen empedans değeridir.
- Anma frekansı ”Hz”: Akım ölçü transformatörlerinin çalışma frekansıdır.
- Yalıtkan tipi: Akım ölçü transformatöründe kullanılan yalıtkan malzemeyi ifade eder.
- Termik anma akımı “ I_{th} ”: Akım ölçü transformatörünün primer devresinden geçecek olan bir kısa devre arızası esnasında akım ölçü transformatörünün sargıları üzerinden geçecek olan ve sargı yalıtımlarının bozulmasına sebep olacak sıcaklığa ulaşmadan 1 sn süre ile dayanabileceği akımın efektif değeri olarak ifade edilir. Kısa süreli termik anma akım değeri akım ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve I_{th} olarak ifade edilir. I_{th} değeri ürün etiketinde belirtilmediği sürece $100 \times I_n$ kabul edilir. Daha yüksek I_{th} değerinde de akım ölçü transformatörü imalatı yapılabilmektedir(İriz, 2016).
- Dinamik anma akımı “ I_{dyn} ”: Akım ölçü transformatörünün primer devresinden geçecek olan bir kısa devre arızası esnasında akım ölçü transformatörünün üzerinden ilk periyotta geçecek darbe akımının sebep olacağı mekanik zorlanmalara dayanabileceği primer devre akımının tepe değeridir. Kısa süreli dinamik anma akımı, kısa süreli termik anma akımının 2,5 katı olarak dikkate alınır. Kısa süreli dinamik anma akım değeri akım ölçü transformatörünün etiketinde belirtilir ve I_{dyn} olarak ifade edilir.

3.9. Hatalı Güç Seçimi ve Sonuçları

Doyma katsayısı, akım ölçü trafosunun anma yükü için belirlenmiştir. Bir akım ölçü transformatörünün sekonder sargısına bağlı olan yük, anma yükünden az veya çok ise; doyma katsayısı etiketinde belirtilen (anma) değerinden farklı olur. Böyle bir durumda gerçek doyma katsayısı “ n_g ” aşağıdaki Eşitlik 3. 7’deki formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$n_g * N_g = n_n * N_n \quad (3.6)$$

$$n_g = n_n * \frac{N_n}{N_g} \quad (3.7)$$

olur. Burada;

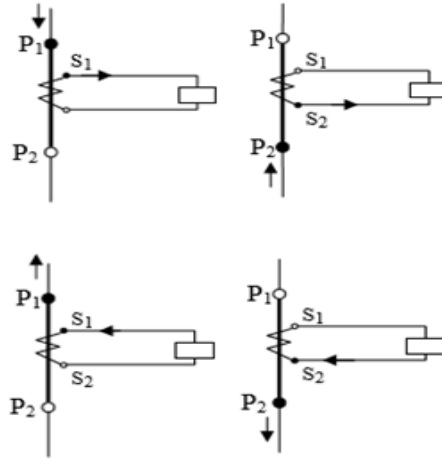
- N_n : Akım ölçü transformatörünün etiketinde yazılı anma gücü
 n_n : Akım ölçü transformatörünün etiketinde yazılı doyma katsayısı
 N_g : Sekonder devreye bağlı gerçek güç
 n_g : Hesaplama sonucu elde edilen doyma katsayısı

Örnek olarak bir ölçü devresinde kullanılacak bir akım ölçü transformatörünün, doyma katsayısı $n < 5$ ve gücü $N_n = 40$ VA olarak seçilmiştir. Sekondere bağlı ölçü cihazlarının toplam gücü 15 VA dir. Gerçek Doyma Katsayısı: $n_g = 40 \times 5 / 15 = 13,33$ olarak hesaplanır. Ölçü devresi için 5 olması gereken bu değer gerçekte 13,33 olmuş ve ölçü aletlerinin arızalanmasına neden olabilecek bir değere ulaşmıştır. Seçilen akım ölçü transformatörünün anma gücünün 40 VA değil 15 VA olması gerekmektedir.

3.10. Polarite Belirleme

Akım ölçü transformatörünün sekonderine bağlanan ölçü aletleri için akımın yön bilgisi önemlidir. Akım ölçü transformatörünün giriş çıkış uçları belirlenmeden herhangi bir ölçü aleti bağlanmaz, bağlanması durumunda ise akım bilgisi yanlış yönlü ölçülebilir. Bir akım ölçü transformatöründe polarite uçları, primer sargıya akımın giriş veya çıkış yönüne göre, sekonder sargıdaki akım yönünün belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Primer sargıya akımın girdiği veya akımın çıktığı uç polarite olarak kabul edilebilir. Ancak, akımın primer sargıya girdiği ucu polarite olarak kabul edilmiş ise; sekonder sargıdan akımın çıktığı ucu polarite olarak alınmalıdır. Akımın primer sargıdan çıktığı ucu polarite olarak kabul etmek de mümkündür. Bu takdirde, sekonder sargıda polarite ucu, akımın sekonder sargıya girdiği uç olacaktır.

Şekil 3.9'da, primer sargı için yapılan polarite kabulüne göre, sekonder sargı polarite uçları belirlenmiş ve işaretlenmiştir. Şeklin incelenmesinden anlaşılacağı üzere, primer akımın giriş yönü dikkate alınmadan; P_1 Primer sargı ucu polarite olarak seçilmişse S_1 sekonder sargı polarite ucu, P_2 Primer sargı ucu polarite olarak seçilmişse S_2 sekonder sargı polarite ucu olacaktır (Büyükdora, 2006).



Şekil 3.10. Polarite Belirleme.

3.11. Histerezis Etkisi

İngilizcede “hysteresis” olan yazılan histerezisin anlamı gecikmedir. Fiziksel ve kimyasal olaylarda histerezise sadece “gecikme” demek yetersiz olabilir. Tam anlamını ifade etmek gerekirse histerezis, sistemin bir önceki ile bir sonraki girişine verilen tepkinin, sistemin yakın geçmişteki durumuna duyarlı olmasından dolayı gecikmesidir. Böyle sistemlerde, bir sonraki girdiye verilecek tepkiyi tahmin etmek için, sistemin şu anki durumu ve geçmişteki durumunun bilinmesi gerekir.

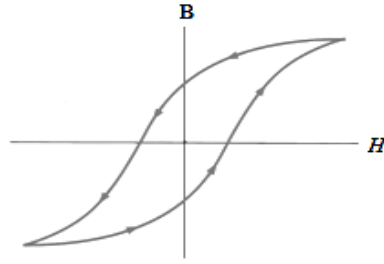
Transformatörlerde, birincil sargıda meydana gelen bir gerilim/akım değişikliği, trafo nüvesinin içerisindeki elektromanyetik alanı hemen değiştirilebilmesini engeller; nüve, mıknatıslandığı için yakın geçmişteki durumunu korumak isteyecektir. Bazen istenen bazen de istenmeyen bir etkidir. Bu etki trafolarda güç kaybına neden olurken; sabit disklere, kasetlere bilgi depolanmasını sağlar.

3.12. Manyetik Histerezis

Ferromanyetik malzemelerin mıknatıslanma karakteristikleri histerezis eğrisi adı verilen grafik ile temsil edilir. Kısaca B-H karakteristiği olarak adlandırılan bu karakteristikler, malzemede elde edilen B manyetik akı yoğunluğu değerinin, uygulanan manyetik alan şiddeti değeri H ile değişimini verir. Ferromanyetik bir malzeme, belli bir eşik değerine kadar mıknatıslanırsa, üzerine etkiyen elektro manyetik kuvvet

kaldırılrsa bile mıknatıslanma özelliğini korur. Cismi tekrar eski haline getirmek için tekrar bir dış alan uygulanması gerekir. Bu durum grafiklerde aralarında mesafe bulunan iki integral işaretinin uçlarından birleştirilmiş haline benzer bir kapalı alan oluşturur. Şekil 3.9’da genel bir B-H grafiği görülmektedir.

Manyetik histerezis, manyetik bir alana yerleştirildiğinde, hem içinde bulundukları alandan, hem de daha önceki manyetik hallerinden kaynaklanan bir mıknatıslanma gösteren, ferromanyetik cisimleri ilgilendirir. Doğru akım tarafından kat edilen bir bobin içine bir yumuşak demir çekirdeği yerleştirildiğinde, bu cisim mıknatıslanır ve sözelimi küçük demir taneciklerini, küçük çivileri kendine çekebilir; akım kesildiğinde bunlar düşer. Ferromanyetik malzemenin manyetik özelliklerini göstermenin en iyi yolu B manyetik akı yoğunluğunun H manyetik alan şiddetine karşı grafiğini çizmektir.



Şekil 3.11. Histerezis eğrisi.

4. AKIM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ ÇALIŞMA BÖLGESİ ANALİZİ VE KARARLILIK UYGULAMALARI

Elektrik 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 kararlı kabul edilir. Akım ve güç katsayısı parametreleri ise, çoğu durumda yükün cinsi ve büyüklüğü sabit olmadığından değişken kabul edilir(Anigi, 2012).

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 de 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 doğru değerler elde edilmeye çalışılmalıdır. Bu değerlere göre akım ölçü transformatörü tercihi yapıp işletmeler devreye alındığında enerji tüketimleri sürekli takip edilmelidir.

Yapılan bu 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.

4.1. Kullanılan Akım Ölçü Transformatörleri

Uygulama esnasında kullanılan akım ölçü transformatörlerine ait etiket bilgileri Çizelge 4.1 'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Akım ölçü transformatörü 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	Cl 0,5	Cl 0,5	Cl 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 sonuçlara ulaşılmıştır. Uygulama çalışmasından bir kesiti Şekil 4.1 'de gösterilmektedir.



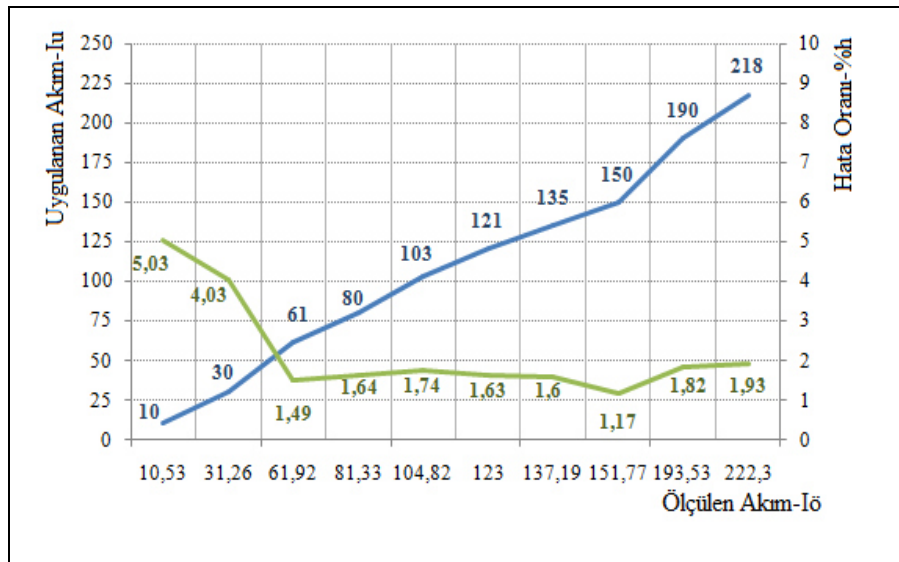
Şekil 4.1. Uygulama ölçüm çalışmalarından bir kesit.

4.2. 150/5 AÖT için Uygulama ve Analizi

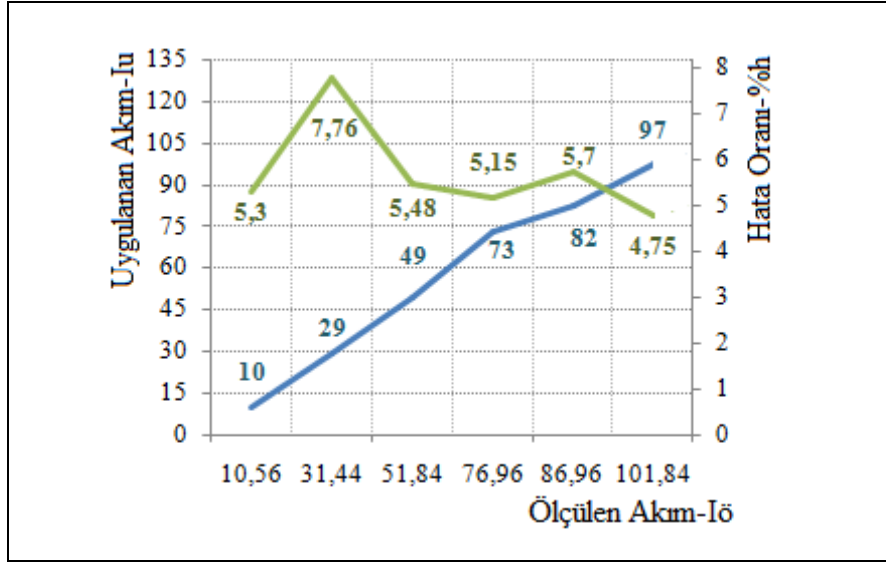
Yapılan deneysel uygulamalarla elde edilen, 150/5 AÖT için akım ve hata oranları sonuçları Çizelge 4.2’de, ölçme ve hata oranı grafiği ise Şekil 4.2’de uygulamada kullanılan ekipmanlar ise 4.3’te görülmektedir.

Çizelge 4.2. 150/5 AÖT için akım ve hata oranları tablosu.

Uygulanan Primer Akımı	Okunan Sekonder Akımı	Sekonder Akımının Dönüştürme Oranı ile Çarpımı	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 4.2. 150/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği.

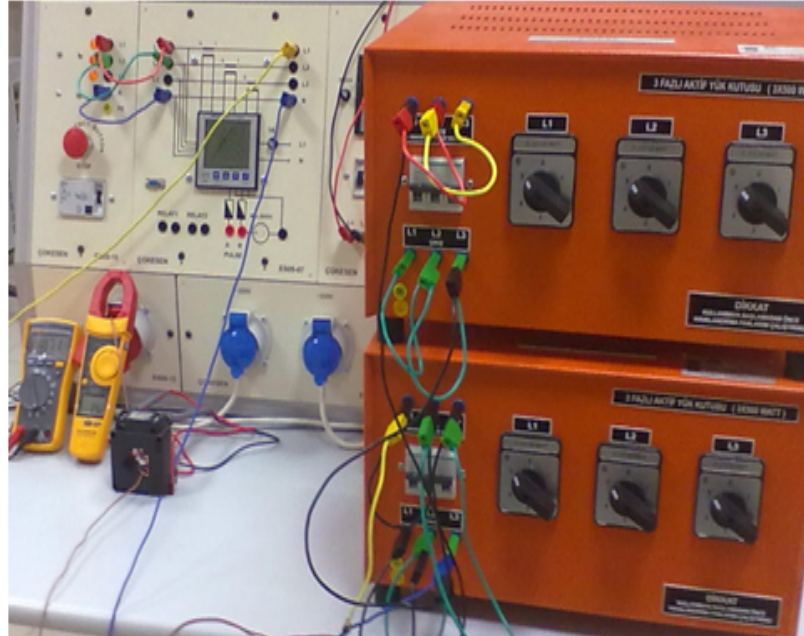


Şekil 4.4. 400/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği.

Uygulanan akım ile ölçülen akım arasındaki ifadeyi Excel programı yardımıyla 2.dereceden bir polinom ile ifade edersek denklem aşağıdaki Eşitlik 4.2 gibi yazılabilir,

$$I_{\delta} = -29.10^{-5}.I_u^2 + 1,080.I_u - 0,060 \quad (4.2)$$

Burada I_{δ} ölçülen akımı, I_u ise uygulanan akımı ifade etmektedir.



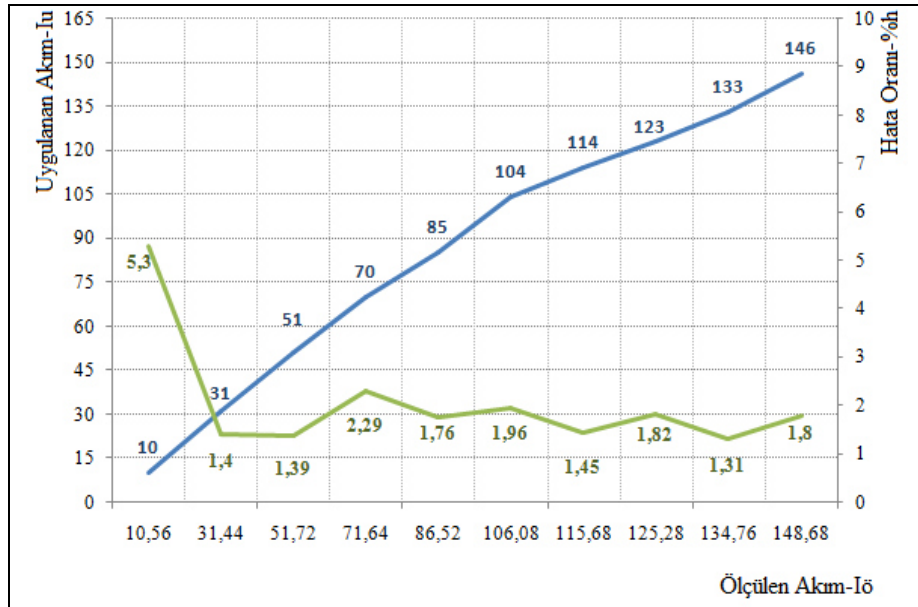
Şekil 4.5. 400/5 AÖT için uygulamada kullanılan ekipmanlar.

4.4. 600/5 AÖT için Uygulama ve Analizi

Yapılan deneysel uygulamalarla elde edilen, 600/5 AÖT için akım ve hata oranları sonuçları Çizelge 4.4'te, ölçme ve hata oranı grafiği ise Şekil 4.6'da uygulamada kullanılan ekipmanlar ise 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. 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

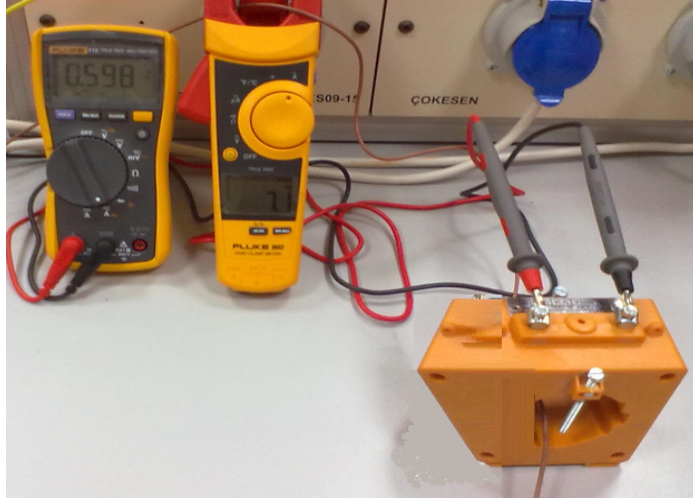


Şekil 4.6. 600/5 AÖT için ölçme ve hata oranı grafiği.

Uygulanan akım ile ölçülen akım arasındaki ifadeyi Excel programı yardımıyla 2.dereceden bir polinom ile ifade edersek denklem aşağıdaki Eşitlik 4.3 gibi yazılabilir.

$$I_o = -2.10^{-5}.I_u^2 + 1,014.I_u - 0,227 \quad (4.3)$$

Burada I_o ölçülen akımı, I_u ise uygulanan akımı ifade etmektedir.



Şekil 4.7. 600/5 AÖT için uygulamada kullanılan ekipmanlar.

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 kararlılığı 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.4.1, Eş.4.2 ve Eş.4.3 numaralı eşitliklerde 2. derece ifade göz ardı edilirse, uygulanan akıma karşı AÖT genel tepkisi; nominal akımın %25 ve altı için aşağıdaki Eşitlik 4. 4. numaralı eşitlikte, nominal akım ve üstü bölge içinse aşağıdaki Eşitlik 4. 5 numaralı eşitlikte belirtilmiştir.

$$I_0 = I_u \cdot x - b \quad (4. 4)$$

$$I_0 = I_u \cdot x + b \quad (4. 5)$$

Eş.4.4 ve Eş.4.5 numaralı eşitlikler ile ifade edilen husus, genel olarak AÖT ifadesidir. Buradaki “x” katsayısı akım bileşen katsayısı olup, bu ifade, çevrim oranının tersi ile ilişkilidir. “b” katsayısı ise manyetik kayıpları yani histerisiz kayıplarına karşılık gelmektedir.

Uygulamada kullanılan AÖT’lerine ait sekonder indüktans değerleri ise Çizelge 4.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.5. AÖT’leri için sekonder indüktans değerleri.

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

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 bazı parametrelerin belirlenmesi gerekir.

Sistem tasarımıdaki en önemli faktör olan talep faktörünün belirlenmesinin istatistiksel olarak hesaplanması yerine, yönetmelikte verilen değerler kullanılarak yapılmaktadır. Talep faktörünün tüm kullanıcılar için benzer şartlarda referans olabilmesi gerçekçi gözükmemektedir. Tesis donanım tasarımı böyle net olmayan bir parametrenin kullanılması, akım ölçü transformatörlerinin değerini de etkilemektedir.

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 değerin çok altında çalışmaktadır. Özellikle gece gündüz güç talep farkı çok büyük olan tesislerde, güç çekilmeyen vakitlerde AÖT'ler üzerinden geçen akımlar çok küçük olmaktadır.

Yapılan uygulamalarda da görüleceği üzere AÖT'ler en iyi performanslarını %25-%120 arası bölgede sağlamaktadırlar. %25 in altındaki çalışma bölgelerinde ise hata oranlarının arttığı gözlenmiştir. Uygulamalar sonucu AÖT'nin, uygulanan akım değerine karşılık, daha fazla bir değeri ölçüm sonucu olarak oluşturduğu 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 değeri kontrol röleleri tarafından okunabilecek hassasiyetin altında olabilmektedir.

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. Nominal çalışma bölgesinin üst sınırı olan $120 \times I_n$ 'den daha büyük akımlarda çalışması durumunda, akım ölçü transformatörü doyuma giderek giriş akımının her durumu için sabit değerde bir sekonder akımı oluşturacaktır. Ayrıca bu çalışma bölgesinde uzun süre çalışması akım ölçü transformatörünün ısınmasına ve belirli bir süre sonra arızalanmasına sebep olacaktır. Nominal çalışma bölgesinin alt sınırı olan $25 \times I_n$ 'den daha küçük akımlarda çalışması durumunda, akım ölçü transformatörünün yüksek hata oranlarına sebep olacaktır(Cataliotti, 2011).

AÖT'lerinin reaktif yükler için çalışma bölgesi ve kararlılık analizleri yapılmasında büyük yararlar vardır. Kısmi kapsamlı yapılan bazı çalışmalarda, reaktif yük tepkilerinin aktif yüklere göre daha olumsuz olduğu tespit edilmiştir(Cepişca, 2008; Tam, 2001).

Yapılan bazı çalışmalarda AÖT'lerinin frekans tepkileri incelenmiş olmakla birlikte çalışma bölgelerine göre yeni incelemelerin yapılmasında büyük yararlar olacaktır(Cataliotti, 2008; Emanuel,2007).

KAYNAKLAR

- ABB, “Instrument Transformers Technical Information and Application Guide”, Swiss (2004).
- Akım Transformatörlerinin Doyma Noktası Testi, Int: www.netes.com.tr, (Ziyaret edilme tarihi 06.01.2016).
- Anıgi, E, “Ölçü Akım Transformatörlerinin Doğruluğunun Sinüzoidal Olmayan Şartlar Altında Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü**, (2012).
- Büyükdora, H, “Ölçü trafoları ve sekonder koruma”, **Elektrik Mühendisleri Odası**, (2006).
- Cataliotti, A. “Frequency response of Measurement Current Transformers”, **IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference**, 1254-1258 (2008).
- Cataliotti, A, , “Current Transformers Effects on the Measurement of Harmonic Active Power in LV and MV Networks”, **IEEE Transactions on power delivery**, 26:360-368(2011).
- Cepişca, C, “Passive and Active Compensations For Current Transformers”, **Metrologie (4:5-10)**(2008).
- Emanuel, A. E, “Current Harmonics Measurement by Means of Current Transformers”, **IEEE Transactions on power delivery**, 22:1318-1325(2007).
- Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, **Resmi Gazete**, Tarihi: 16.06.2002 Sayısı: 25494.
- General Electric, “Instrument Transformer Basic Technical Information and Application”, ABD,2016.
- Instrument Transformers Limited, “Principles of Measurement- Transformer Accuracy”, **Application Note**, United Kindom, (2011).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Instrument Transformers Limited, “Principles of Measurement -Transformer Burden”, *Application Note*, United Kindom, (2011).
- İriz T. , “Akım Transformatörlerinde Kısa Süreli Termik Anma Akımının Hesaplanması”,
Web:http://www.emo.org.tr/ekler/830bc2bbfda076f_ek.pdf?dergi= (Ziyaret edilme tarihi, 06.01.2016).
- Tam, K, “Current-Transformer Phase-Shift Compensation and Calibration” *Application Report*, Texas Instruments, Texas, (2001).
- Megep, “Ölçü Transformatörleri”, *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı*, (2007).
- Meisel, J, “Current Instrument Transformer Error Calculations”, *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions* 82:1082-1085(1963).
- Mclyman, C, “Transformer and Inductor Design Handbook Chapter16-Current Transformer Design”, *Marcel Dekker Inc.*, Newyork, USA (2004).
- Pustu, M, “Ölçü Transformatörleri ve Saha Testleri”, *Elektrik Mühendisleri Odası*, (2015).
- Schinder Electric, “Current transformers: how to specify them”, France, (2000).
- U.S. Department of Commerce “A Calibration Service For Current Transformer”, *National Institute of Standarts and Technology*, USA, (1991).
- C&C Ltd, “Notes on current Transformers”, *Catalogue*, New Zealand,(2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Harun ÇINAR
Doğum Yeri ve Tarihi Bolu /1984



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2002-2006)

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi (2009-Devam ediyor)
Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü
(2009 - 2011)
Merit Telekom (2008-2009)

İletişim

Adres Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı İşleri Teknik
Daire Başkanlığı Merkez/Bilecik

Tel: 0 228 214 18 10

E-Posta Adresi haruncinar@gmail.com

Tarih: 22 /01/ 2015

İmza