
**DAĞITIM TRANSFORMATÖRLERİNİN
EŞ ZAMANLI OLARAK TAKİBİ
VE DURUM ANALİZİ İÇİN
AKILLI İZLEME - DEĞERLENDİRME SİSTEMİ
OLUŞTURULMASI**

**TRANSFORMATÖR MODELİ ALGORİTMASI
DOKÜMANTASYONU ve AKIŞ ŞEMASI
v1.6**

İÇİNDEKİLER

1.	GİRİŞ	3
2.	AR & GE PROJE İÇERİĞİ	4
2.1.	Projenin Amacı	4
2.2.	Projenin Yenilikçi Yönleri	4
2.3.	Ar-Ge Sürecinde Kullanılacak Yöntemler	5
2.4.	İş Paketleri	6
2.5.	Ara Çıktılar	10
2.6.	İş-Zaman Planı	11
3.	TRANSFORMATÖR EŞDEĞER DEVRESİ	12
4.	TRANSFORMATÖR EŞDEĞER DEVRE MODELİ	13
4.1.	Giriş	13
4.2.	Test ve Ölçümler	56
4.2.1.	Boşta çalışma deneyi	14
4.2.2.	Çevirme oranı ölçümü	16
4.2.3.	Sargı dirençleri ölçümü	17
4.2.4.	X1 ve X2 parametrelerinin elde edilmesi	20
4.3.	Akış Şeması	22
5.	SONUÇLAR	23

1. GİRİŞ

Bu doküman, Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. ve Endoks Enerji Dağıtım Sistemleri Sanayi İthalat ve İhracat Ltd. Şti. tarafından yürütülmekte olan Ar&Ge projesi kapsamında geliştirilmesi öngörülen transformatör modeline ilişkin gerçekleştirilen çalışmaları içermektedir.

İkinci bölümde, Ar&Ge projesi içeriği ve hedefleri özetlenmektedir.

Üçüncü bölümde, transformatörün T tipi eşdeğer devresinin oluşturulması özetlenmektedir.

Dördüncü bölümde, modelin oluşturulabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken test ve deneyler alt başlıklar halinde sıralanmakta ve her bir teste ilişkin prosedürler adımlar halinde açıklanmaktadır. Elde edilecek sonuçlardan faydalanılarak hesaplanacak büyüklükler ve uygulanması gereken yöntemler de bu başlık altında belirtilmektedir.

Beşinci bölümde ise varılan sonuçlar sunulmaktadır.

Oluşturulan doküman, proje öneri dokümanının Ara Çıktılar Listesi'nde belirtilen Transformatör Modeli Algoritması ve Akış Şeması Dokümanı'nı karşılayacak şekilde oluşturulmuştur.

2.

AR & GE PROJE İÇERİĞİ

2.1. Projenin Amacı

Bu proje ile,

1. Başta elektriksel büyüklükler olmak üzere dağıtım transformatörlerinden alınacak çeşitli ölçümler sayesinde transformatörlerin eşzamanlı olarak izlenmesi,
2. Ölçülen büyüklüklerden yola çıkarak arıza belirtilerinin önceden kestirimi ve önleyici bakım çalışmalarının dinamik olarak programlanabilmesi ve gerçekleştirilmesi,
3. Transformatörün yaşlanma sürecinin izlenmesi,
4. Dağıtım bölgesi içerisindeki transformatörlerin yüklenme profillerinin elde edilerek, mevcut transformatörlerin başta kayıpları ve kayıp maliyetlerinin en aza indirecek şekilde yerleşimlerinin yeniden düzenlenmesi ve yenilenmesi,
5. Bu amaçlara uygun bir veri toplama ve aktarım birimi ile merkezi izleme-analiz yazılımı geliştirilmesi,
6. İzleme yazılım ve donanımının en düşük maliyetle elde edilmesi,

amaçlanmaktadır

2.2. Projenin Yenilikçi Yönleri

Proje çıktısı, dağıtım transformatörlerini eş zamanlı olarak izleyen donanım ve elde edilecek ölçümler yardımıyla transformatörün çalışmasını değerlendiren, kullanım ömrünü ve enerji sürekliliğini en iyileştirmeyi amaçlayarak bakım süreçlerini dinamik olarak belirleyen, transformatörün yüklenme değerleri başta olmak üzere meydana gelen kayıpları izleyerek operatöre bölgesel olarak yerleşim planlamasına yönelik öneriler sunan bir yazılım olacaktır.

Halihazırda Dünyada mevcut benzer çalışmalar, güç transformatörleri odaklı olarak gerçekleştirilmektedir. Dağıtım transformatörlerinin izlenmesinde sadece primer ve sekonder sargılardan elde edilen akım, gerilim ve benzeri elektriksel büyüklüklerden faydalanılmakta ve sonuçlar transformatör bazında değerlendirilmektedir. Sayıları yüksek değerlere ulaşan dağıtım transformatörlerinin ekonomik biçimde ve kapsamlı olarak eş zamanlı izlenmesine yönelik çalışmalar bilimsel çevrelerde süregelen bir araştırma konusu olup henüz yaygın uygulamaya konulamamıştır.

Bu projede hedeflenen ürün ile elektriksel büyüklüklerin yanı sıra transformatörden elde edilecek sargı ve yağ sıcaklıkları başta olmak üzere diğer bilgilerden de yararlanılacaktır. Bu veriler, proje çalışması içerisinde geliştirilecek olan dinamik transformatör modelinin girdilerini oluşturacaktır.

Sahada eş zamanlı olarak elde edilen veriler, merkezi işlem birimine aktarılacak ve transformatör modeli yardımıyla transformatörün durumunun izlenmesi amacıyla değerlendirilecektir. Bu değerlendirme, oluşturulacak bir akıllı yazılım yardımıyla gerçekleştirilecektir. Elde edilecek veriler transformatörün plaka değerleri başta olmak üzere mevcut diğer veriler ile karşılaştırılmak suretiyle transformatörün durumu hakkında değerlendirme yapılması yoluna gidilecektir.

Bu yazılım ile sadece ölçülen elektriksel büyüklükler değerlendirilmekle kalmayacak, aynı zamanda sıcaklık verileri başta olmak üzere elde edilecek diğer parametreler sayesinde transformatörün yapısında kullanılmakta olan izolasyon malzemelerinin durumu ve dolayısıyla transformatörün yaşlanma süreci değerlendirilecektir. Bu sayede transformatörün kullanım ömrü kestirilebilecek, bakım periyotlarının zaman tabanlı (time-based) yerine durum bazlı (condition-based) olarak programlanmasıyla bu ömrün en yüksek değere çıkarılması mümkün olacaktır. Ayrıca yine bu sayede transformatörde oluşması muhtemel arızaların önceden kestirimi ve önleyici bakım çalışmalarının yapılması mümkün olacaktır.

Bu yazılımın bir diğer üstün özelliği ise, bölgesel olarak her bir transformatörden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile, başta yüklenme oranı olmak üzere transformatörde oluşan kayıpların ve bunun sonucundaki ekonomik maliyetlerin izlenerek gerektiğinde transformatör yerleşimlerinin yeniden organize edilmesi ve düzenlenmesi olacaktır. Böylelikle transformatörlerde oluşan kayıp maliyetleri en aza indirilecek ve ulusal ekonomiye önemli ölçüde katkıda bulunulması sağlanacaktır.

2.3. Ar-Ge Sürecinde Kullanılacak Yöntemler

Proje kapsamında gerçekleştirilecek olan çalışmalarda kullanılacak yöntemler, İster Belirleme-Tasarım-Prototip gerçekleştirme ve Entegrasyon Test aşamalarından oluşmaktadır. Proje kapsamında kullanılacak yönteme ilişkin detaylar ve iş akışı aşağıda verilmektedir.

- *Literatür Taraması ve Gereksinim Belirleme:*

Projede ilk olarak detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilerek mevcut ürün ve sistemlerin güçlü ve zayıf yönleri belirlenecektir. Bunun yanında detaylı bir patent ve tasarım araştırması yapılarak geliştirilecek tasarımın özgün olması sağlanacaktır. Bu aşama sonunda geliştirilecek olan sistemin gereksinimleri belirlenmiş olacak ve tasarım aşaması için girdi oluşturacaktır.

- *Tasarım:*

Gereksinimleri belirlenmiş olan sistemin ön ve detaylı tasarımları oluşturularak sistem gerçekleştirme çalışmalarına başlanacaktır. Bu aşamada, gereksinimleri karşılayan alternatif tasarımlar proje ekibi tarafından değerlendirilerek en uygun tasarımın oluşturulması sağlanacaktır. Geliştirilecek donanımlar için veri toplama ve haberleşme ihtiyaçlarının belirlenmesinde, basit alt sistem prototipleri kullanılarak tasarımın nihai hali alması sağlanacaktır. Yazılım tarafında ise oluşturulacak yarı fonksiyonel tasarımlar proje paydaşları ile paylaşılarak son tasarım elde edilecektir.

- *Prototip Üretim:*

Projede son tasarıma karar verildikten sonra prototiplerin gerçekleştirilmesi aşamasına geçilecek ve donanım ve yazılım prototipleri oluşturulacaktır. Geliştirilecek prototip alt sistemler kendi içlerinde test edilerek tasarıma uygunlukları ve gereksinimleri karşılama durumları gözden geçirilecektir. Gerekli olması durumunda tasarım değişiklikleri yapılabilecektir. Alt sistem testleri ile bu evre tamamlanacaktır.

- *Entegrasyon-Test:*

Projenin son aşamasında geliştirilmiş olan alt sistemlerin entegre edilmesi ve sistem testi ile tasarım ve gereksinimlerin doğrulanması çalışmaları yapılacaktır. Bunun yanında tüm sistem için fonksiyonellik, performans ve güvenlik testleri gerçekleştirilecek ve üretilen donanımların ilgili standartlara uygunluğu akredite bir laboratuvarında gerçekleştirilecek testlerle doğrulanacaktır.

2.4. İş Paketleri

1. *Literatür Taraması ve Sistem İsterlerinin Belirlenmesi*

Bu iş paketi kapsamında proje önerisi aşamasında gerçekleştirilmiş olan literatür taraması, benzer ürün araştırması, patent taraması ve gereksinimlerin belirlenmesi faaliyetleri gerçekleştirilecektir. Güç transformatörleri ve dağıtım transformatörlerine uygulanan test ve bakım süreçleri, belirlenen test sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması, literatürde transformatörlerin eşzamanlı ve eş zamansız olarak izlenmesi konulu ulusal ve uluslararası standart ve yayınlar incelenecektir. Özellikle literatür taraması sırasında, transformatörlerin çalışma durumlarının izlenmesi ve ömür kestirimine yönelik olarak ölçüm, test ve analizlere yönelik uluslararası standart ve kılavuzların elde edilmesi ve değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşılacaktır. Elde edilen tüm bu dokümantasyon incelenip arşivlenerek, sonraki iş paketleri için temel girdi oluşturacak olan büyüklüklerin tespiti sağlanacaktır.

Ayrıca bu iş paketi kapsamında gerçekleştirilecek olan bir diğer faaliyet, pilot uygulamada kullanılacak dağıtım transformatörlerinin belirlenmesi olacaktır. Bu süreçte UEDAŞ'a ait dağıtım transformatörleri incelenerek yaş ve yüklenme oranı gibi kriterlere göre pilot uygulamada kullanılabilecek en az 5 adet transformatör belirlenecektir.

Literatür araştırması sonucunda proje kapsamında kullanılacak girdilerin belirlenmesi esnasında sadece sargı akımlar ve gerilimler gibi elektriksel büyüklüklerden değil, sahadaki dağıtım transformatöründen elde edilebilecek her türlü verinin değerlendirilmesi hedeflenerek mümkün olan en yüksek bilginin toplanması sağlanacaktır. Bu süreçte literatürdeki güç transformatörlerine yönelik çalışmalardan da yararlanılacaktır.

Uluslararası standart ve kılavuzlarda, ölçüm büyüklüklerine ilişkin olarak faydalanılacak sınır değerlerden büyüklük bazlı olarak değil, bu büyüklüklerin birbirleri ile olan ilişkilerinin de değerlendirilmesi sağlanacaktır. Bu sayede, elde edilecek büyüklüklerden sadece bir tanesinin anormal olması durumunda diğer büyüklüklerin de yorumlanarak hatalı sonuca varma olasılığının en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

Pilot uygulamada kullanılacak dağıtım transformatörlerinin belirlenmesinde hassasiyet gösterilecektir. Bu transformatörler, coğrafi lokasyon, ortam şartları, yüklenme durumu gibi kriterler değerlendirilerek belirlenecek, bu sayede transformatör durumunun belirlenmesi ve ömür kestiriminde maksimum düzeyde parametrenin ilişkisinin belirlenmesi sağlanacaktır.

2. Veri Toplama ve Aktarım Modülünün Tasarımı ve Geliştirilmesi

Bu iş paketi kapsamında sistem isterler dokümanında belirlenen isterleri karşılayacak özelliklere sahip bir veri toplama ve aktarım biriminin tasarımı ve geliştirilmesi faaliyetleri gerçekleştirilecektir.

Bu kapsamda, Veri toplama birimi ile transformatörün primer ve sekonder akım-gerilim bilgileri ham veri olarak ölçülecek ve depolanacaktır. (En az 32 örnek/çevrim öngörülmektedir). Temel hesaplamalar ve diğer ölçüm değerleri anlık bazda merkeze aktarılırken, ham veriler elle veya programlanmış şekilde merkezi yazılıma aktarılacaktır.

Bu iş paketinde hedeflenen donanımın ön tasarım, modelleme-benzetim çalışmaları, tasarım ve gerçekleştirme faaliyetleri yürütülecektir.

Veri toplama amacıyla kullanılacak ölçüm donanımı belirlenirken özellikle donanımın yetenekleri ve maliyet kriterleri göz önünde tutularak karar verilecektir. Bunun en büyük nedeni, enerji dağıtım şebekesindeki dağıtım transformatörlerinin sayısal olarak çok büyük miktarda olması ve güç transformatörlerinin aksine, yalıtım yağı gibi transformatör hakkında önemli bilgiler veren bilgi kaynağının sınırlı biçimde kullanılmasıdır. Güç transformatörlerinde kullanılan eş zamanlı yağ bileşim analiz cihazları, dağıtım transformatörleri için kullanılamamaktadır. Bu nedenle, transformatörden veri toplama amacıyla özellikle primer ve sekonder devrelere ait büyüklüklerden faydalanma yoluna gidilecek, ölçüm cihazlarının yetenekleri en yüksek, maliyetler ise en düşük düzeyde tutulmaya çalışılacak ve maksimum faydanın elde edilmesi sağlanacaktır.

Toplanan verinin aktarımı amacıyla, veri aktarım sistemlerinin yapısının incelenmesinin ardından aktarılabilecek verinin miktarı ve süresi gibi parametrelere bağlı olarak uygun yöntemin seçimi gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda seçenekler değerlendirilerek, projenin bütününde önemli bir kriter olan maliyet faktörü de göz önünde tutularak bu iş paketi nihayetlendirilecektir.

3. Transformatör Modelinin Oluşturulması

Bu iş paketi kapsamında, literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ve önceki deneyimler ışığında dağıtım transformatörünün dinamik modeli oluşturulacaktır. Bu sayede, transformatörün primer ve sekonder devrelerinden elde edilecek olan elektriksel büyüklükler temel olmak üzere diğer bilgilerin de değerlendirilmesi suretiyle, transformatörün çalışması simüle edilebilecektir. Bu model aynı zamanda projenin ana çıktılarından olan akıllı izleme ve değerlendirme yazılımının da altyapısında kullanılacaktır.

Bu iş paketinde oluşturulacak transformatör modelinin temel girdileri transformatörün primer ve sekonder devresine ait elektriksel büyüklükler (akım, gerilim vb.) olacaktır. Transformatörün plaka değerleri de göz önünde tutularak anlık yüklenme oranı vb bilgiler dolaylı olarak türetilecek ve değerlendirilecektir. Ayrıca sıcaklık gibi ilave bilgiler de değerlendirmeye katılarak modelin en yüksek doğrulukla çalışması sağlanacaktır. Böylelikle, özellikle sonraki iş paketlerinde belirlenecek olan yaşlanma durumu ve ömür kestirimine yönelik sonuçların doğruluk derecesinin artırılması sağlanacaktır.

4. Analiz ve Değerlendirme Algoritmalarının Oluşturulması

Bu iş paketi kapsamında, akıllı izleme ve değerlendirme yazılımının temeli olan arıza ve yaşlanma analizi algoritmaları oluşturulacaktır. Bu amaçla öncelikle birinci iş paketinde belirlenen ölçüm büyüklüklerinden ve uluslararası standartlarda ortaya konan standart ve kılavuzlardan faydalanılarak belirlenen sınır değerler kullanılarak değerlendirme yapılacaktır. Ölçülen büyüklüklerin birbirleriyle olan ilişkileri de göz önünde tutularak, yazılımın karar verme algoritması birden fazla veriye dayalı olarak kurgulanacaktır.

Bunun ardından, üçüncü iş paketinde geliştirilen transformatör modelinden faydalanılarak bu modelin çıktılarının, geliştirilen algoritmaların girdileri olarak kullanılması sağlanacaktır. Böylelikle Sahadan gelen anlık veriler ile elde edilen model kullanılarak trafodaki muhtemel arızaların tespit edilmesi ve yaşlanma analizinin yapılabilmesi için gerekli algoritmaların oluşturulması sağlanacaktır.

Ayrıca transformatörlerin başta yüklenme oranlarına bağlı olacak şekilde eşzamanlı kayıp analizleri ve maliyet değerlendirmeleri de yapılacaktır. Böylelikle, ihtiyaç duyulması durumunda bölgesel olarak transformatörlerin yer değiştirilmesi gibi çözümlerle kayıplar ve maliyetler en aza indirilecektir. Ayrıca transformatörlerin çalışma koşullarına göre bakım süreçleri dinamik olarak programlanabilecektir. Tüm bu sebeplerle, bu iş adımı projenin en önemli aşaması olmaktadır.

Bu iş paketindeki son aşama ise, oluşturulan algoritmaların bilgisayar ortamında test edilmesi aşamasıdır. Bu aşamada algoritma işlevlerindeki olası sorunlar tespit edilecek ve düzeltililecektir.

Bu iş paketinde yazılım algoritmasının oluşturulmasında, dağıtım transformatörü üzerinde ölçümü yapılan değerlerin birbirinden bağımsız olarak değil, bir bütün olarak değerlendirilmesi sağlanacaktır. Böylelikle, kullanılan ölçüm cihazlarından birinin arızası sonucunda hatalı sonuç vermesi durumunda, yazılımın diğer ölçümleri de izlemesi ve hatalı uyarı ve sonuçlar vermesinin önüne geçilmesi planlanmaktadır.

5. Merkezi İzleme ve Analiz Yazılımının Tasarımı ve Geliştirilmesi

Bu iş paketi kapsamında, projede hedeflenen izleme ve analiz yeteneklerine sahip merkezi yazılımın tasarımı ve gerçekleştirilmesi faaliyetleri yürütülecektir. Bu kapsamda öncelikle sistem isterleri dokümanı baz alınarak sistemin ön tasarımı gerçekleştirilecek ve tasarım faaliyetlerine geçmeden nihai kullanıcıların istekleri de dikkate alınacaktır.

Tasarım aşamasında hem geliştirilecek donanım hem de algoritmalar dikkate alınacak, sistem bütünlüğünün sağlanması için sürekli doğrulama yöntemi seçilecektir. Geliştirme faaliyetlerinde sistemin veri erişim katmanı, iş katmanı ve ara yüz katmanı net şekilde birbirinden ayrıştırılacak, böylece veri tabanından bağımsız ve esnek bir yapı elde edilecektir. Özellikle ara yüzlerin tasarımında son kullanıcıların alışkanlıkları ve beklentileri iyi analiz edilecek, geliştirilecek sistemin tam anlamıyla bir kadar destek sistemi olarak çalışması sağlanacaktır.

Yazılımın özgün yanlarından bazıları, transformatörler için ömür kestirimini yapabilmesi ve durum bazlı (condition-based) bakım programlarını dinamik olarak oluşturabilmesi olacaktır. Böylelikle zaman bazlı (time-based) bakımlarda yaşanması söz konusu olan gereksiz bakım maliyetlerinin önüne geçilecek ve ekonomik olarak fayda sağlanacaktır. Ayrıca yazılımın bir diğer alt modülü ile transformatörlerin kayıp izleme ve analizleri gerçekleştirilecek, ekonomik olarak fayda sağlayacağının belirlenmesi durumunda bölge içerisindeki transformatörlerin yenilenmesi ve yer değiştirilmesi önerilerinin yazılım tarafından verilmesi sağlanacaktır. Tüm bu özellikleri ile geliştirilmesi hedeflenen yazılım tamamıyla özgün bir yapıya sahip olacaktır.

6. Entegrasyon, Saha Testleri ve Dokümantasyon

Bu iş paketi kapsamında, önceki iş paketlerinde oluşturulan veri toplama ve aktarım modülü ile akıllı izleme ve değerlendirme yazılımı bir araya getirilerek birbirlerine entegrasyonları tamamlanacak ve önceden belirlenmiş dağıtım transformatörleri üzerinde test süreci işletilecektir. Test sürecinde, kurulan sistemin tüm bileşenlerinin saha şartlarında çalışmaları izlenecek, önceki iş paketlerinde uygulanan testlerde belirlenemeyen olası eksiklik ve hatalar tespit edilerek giderilecek ve nihai hale getirilecektir.

Ayrıca bu süreçte, akıllı değerlendirme yazılımının dokümantasyonu (kullanım kılavuzu, rapor formları vb) tamamlanacaktır.

2.5. Ara Çıktılar

Ara Çıktı	Elde Edileceği İş Paketi	Beklenen Gerçekleşme Tarihi
Literatür Özeti ve Pazar Araştırma Raporu	1	30.09.2015
Sistem İsterleri Dokümanı	1	30.09.2015
Merkezi İzleme ve Analiz Yazılım Sistemi İsterleri Dokümanı	5	31.12.2015
Sistem Tasarım Dokümanı	2	31.03.2016
Merkezi İzleme ve Analiz Yazılım Sistemi Tasarım Dokümanı	5	31.03.2016
Transformatör Modeli Algoritması Dokümantasyonu ve Akış Şeması	3	30.06.2016
Veri Toplama ve Aktarım Modülü	2	30.09.2016
Analiz ve Değerlendirme Süreçleri İçin Geliştirilecek Algoritmaların Dokümantasyonu ve Akış Şemaları	4	30.09.2016
Merkezi İzleme ve Analiz Yazılımı	5	30.09.2016
Donanım ve Yazılım Entegrasyonu Tamamlanmış İzleme ve Analiz Sistemi	6	31.03.2017

2.6. İş - Zaman Planı

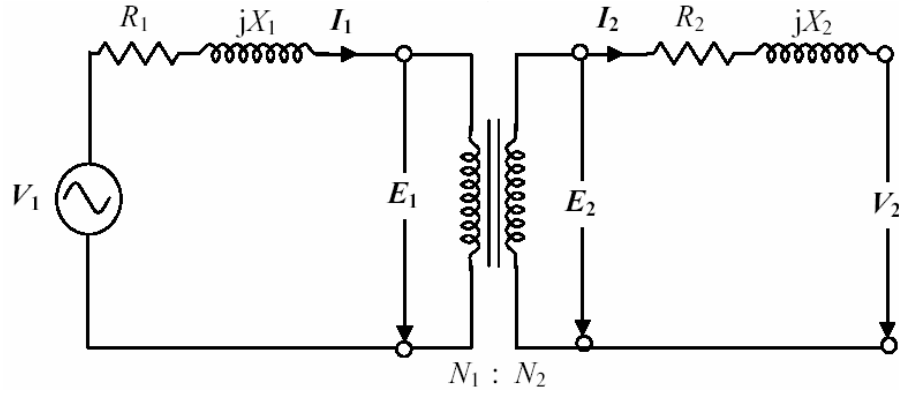
No	İş Paketleri	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
1.	Literatür Taraması ve Sistem İsterlerinin Belirlenmesi	01.07.2015	30.09.2015
1.1.	Literatür ve mevcut pazar araştırması	01.07.2015	31.08.2015
1.2.	Sistem donanım isterlerinin belirlenmesi	01.07.2015	31.08.2015
1.3.	Sistem yazılım isterlerinin belirlenmesi	01.07.2015	31.08.2015
1.4.	Pilot uygulama yapılacak noktaların belirlenmesi	01.07.2015	31.08.2015
1.5.	Gerekli dokümantasyonun yapılması	01.09.2015	30.09.2015
2.	Veri Toplama ve Aktarım Modülünün Tasarımı ve Geliştirilmesi	01.10.2015	01.10.2016
2.1.	Sistem isterlerine uygun ön tasarım çalışmalarının yapılması	01.10.2015	31.12.2015
2.2.	Benzetim ve tasarım çalışmalarının yapılması	01.12.2015	29.02.2016
2.3.	Kullanılacak ekipmanların özelliklerinin belirlenmesi	01.01.2016	31.03.2016
2.4.	Baskı devre kart ve diğer ekipmanların tasarımı, imalatı ve temini	01.02.2016	30.06.2016
2.5.	Alt birimlerin fonksiyonel testleri	01.06.2016	31.08.2016
2.6.	Alt modüllerin entegrasyonu ve komple donanım-yazılım fonksiyon testleri	01.08.2016	30.09.2016
2.7.	Gerekli dokümantasyonun yapılması	01.09.2016	30.09.2016
3.	Transformatör Modelinin Oluşturulması	01.10.2015	01.07.2016
3.1.	Literatür incelemesi ile bulunan yöntemlerin benzetim çalışmalarının yapılması	01.10.2015	31.12.2015
3.2.	En başarılı modelin belirlenerek algoritmanın oluşturulması	01.01.2016	30.04.2016
3.3.	Oluşturulan algoritmanın C dilinde yazılması ve testleri	01.03.2016	31.05.2016
3.4.	Gerekli dokümantasyonun yapılması	01.06.2016	30.06.2016
4.	Analiz ve Değerlendirme Algoritmalarının Oluşturulması	01.10.2015	01.10.2016
4.1.	Eş zamanlı ölçüm ile kayıp analiz algoritmalarının belirlenmesi ve benzetim çalışmalarının yapılması	01.10.2015	31.03.2016
4.2.	Trafo yaşlanma hesabı için gerekli algoritmaların belirlenmesi ve benzetim çalışmalarının yapılması	01.10.2015	31.03.2016
4.3.	Kurulu güç-yüklenme analizi için gerekli algoritmaların belirlenmesi	01.10.2015	31.03.2016
4.4.	Belirlenen algoritmaların sentetik veri ile test edilmesi	01.02.2016	31.05.2016
4.5.	Testler sonucu doğrulanan algoritmaların C dilinde yazılması	01.05.2015	30.08.2016
4.6.	Gerekli dokümantasyonun yapılması	01.09.2016	30.09.2016
5.	Merkezi İzleme-Analiz Yazılımının Tasarımı ve Geliştirilmesi	01.10.2015	01.10.2016
5.1.	Sistem isterleri dokümanı baz alınarak bütün alt sistemlerin ön tasarımlarının yapılması	01.10.2015	31.12.2015
5.2.	Veri erişim katmanı tasarım çalışmalarının tamamlanması	01.01.2016	30.04.2016
5.3.	İş katmanı tasarım çalışmalarının tamamlanması	01.01.2016	30.04.2016
5.4.	Geliştirilen algoritmaların iş katmanına entegrasyonu	01.03.2016	31.05.2016
5.5.	Ara yüz katmanının tasarımı	01.01.2016	30.04.2016
5.6.	Tasarlanan alt sistemlerin geliştirilmesi ve entegrasyonu	01.05.2015	31.07.2016
5.7.	Bütün alt sistemler ile entegre sistemin fonksiyon testlerinin yapılması	01.07.2016	30.09.2016
5.8.	Gerekli dokümantasyonun yapılması	01.09.2016	30.09.2016
6.	Entegrasyon, Saha Testleri ve Dokümantasyon	01.10.2016	01.04.2017
6.1.	Geliştirilen donanım ve yazılımların entegrasyonu	01.10.2016	30.11.2016
6.2.	Belirlenen noktalara ekipmanların tesisi	01.12.2016	31.12.2016
6.3.	Sahadan alınan veriler ile sistem performans testlerinin yapılması	01.01.2017	28.02.2017
6.4.	Testler sırasında belirlenen eksiklerin giderilmesi ve muhtemel iyileştirmelerin tamamlanması	01.01.2017	31.03.2017
6.5.	Gerekli dokümantasyonun yapılması	01.03.2017	31.03.2017

3.

TRANSFORMATÖR EŞDEĞER DEVRESİ

Proje çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan literatür çalışması ile transformatöre ait farklı eşdeğer devre modelleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonunda, alternatifleri ile karşılaştırılarak T tipi eşdeğer devre modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

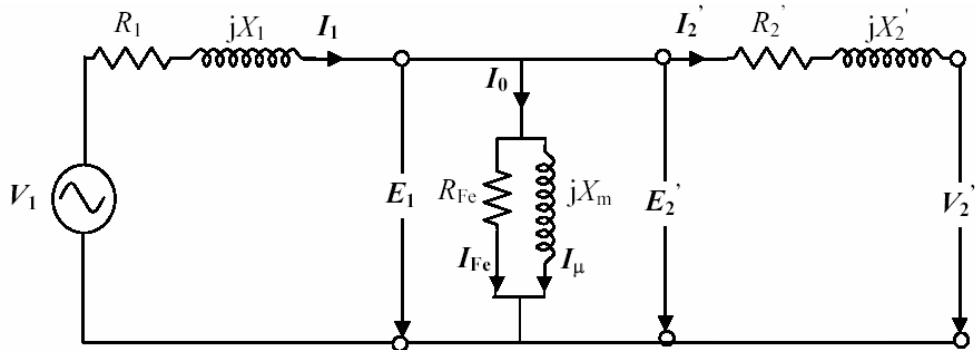
Şekil 1’de transformatörün bir fazına ait indirgenmemiş eşdeğer devre yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1. Transformatörün bir fazına ait indirgenmemiş eşdeğer devre yapısı

Bu gösterimde primer ve sekonder sargı devreleri arasında herhangi bir elektriksel bağlantı bulunmamaktadır. Burada R1 primer sargı direnci, R2 sekonder sargı direnci, X1 primer kaçak reaktansı, X2 ise sekonder kaçak reaktansıdır.

Transformatörün primer ve sekonder devre elemanlarının ve manyetik çekirdeğe ait devre elemanlarının tek bir eşdeğer devrede gösterilebilmesi için primer ve sekonder devrelerin gerilimlerinin aynı seviyede olması gerekmektedir. Bu amaçla sekonder devreye ait büyüklükler primer devreye indirgenmektedir. İndirgeme işlemi sonucunda, transformatörün nüve kayıplarını sembolize eden demir direnci (R_{Fe}) ve mıknatıslanma kolunu temsil eden mıknatıslanma reaktansı (X_m) bileşenlerinin de eklenmesi ile, transformatörün T tipi tam eşdeğer devresi Şekil 2’deki gibi gösterilir.



Şekil 2. Transformatörün bir fazına ait T tipi eşdeğer devre yapısı

4.

TRANSFORMATÖR EŞDEĞER DEVRE MODELİ

4.1. Giriş

Transformatör eşdeğer devre parametrelerinin elde edilmesi için oluşturulan algoritmanın girdileri;

1. Boşta çalışma testi esnasında sargılara uygulanan uyarma gerilimi (V_1), boşta çalışma akımı (I_0) ve boşta çalışma gücünün (P_0) ölçülen değerleri,
2. Boşta çalışma testi sonucu hesaplanmış olan;
 - Boşta çalışma açısı (ϕ_0)
 - Demir direnci (R_{Fe})
 - Mıknatıslanma reaktansı (X_m)
3. Sargı direnç ölçümü sonucu elde edilen sargı direnç değerleri
4. Dönüştürme oranı ölçümü ile belirlenen dönüştürme oranı değeri
5. Sıcaklık analiz modülünden alınan ortalama sargı sıcaklığı değeri
6. Anlık olarak ölçülmekte olan;
 - Sekonder gerilimi
 - Sekonder akımı
 - Sekonderden ölçülen güç faktörü

değerleridir.

Modelde kullanılacak olan eşdeğer devre parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak yapılacak test ve ölçümler bu bölümün alt başlıklarında açıklanmaktadır.

4. ϕ_0 hesaplanır.

$$P_0 = \sqrt{3}V_1 I_0 \cos\phi_0 \quad (1)$$

5. Paralel kolların akımları hesaplanır.

$$I_{Fe} = I_0 \cos\phi_0 \quad (2)$$

$$I_m = I_0 \sin\phi_0 \quad (3)$$

6. Aktif ve reaktif güçlerden yola çıkılarak RFe direnci ve Xm reaktansının değeri hesaplanır.

$$Q_0 = P_0 \tan\phi_0 \quad (4)$$

$$P_0 = 3I_{Fe}^2 R_{Fe} \quad (5)$$

$$Q_0 = 3I_m^2 X_m \quad (6)$$

Bu adımların sonunda; boşta çalışma akımı (I_0), boşta çalışma açısı (ϕ_0), demir direnci (R_{Fe}) ve mıknatıslama reaktansı (X_m) değerleri ileride kullanılmak üzere elde edilmektedir.

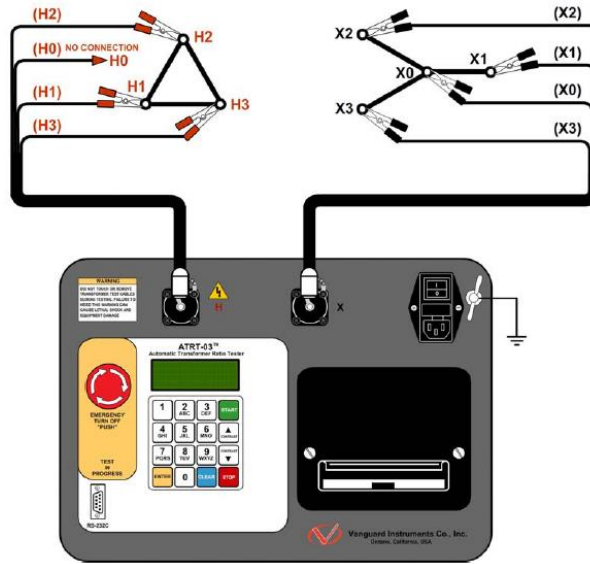
4.2.2. Çevirme oranı ölçümü

Çevirme oranı ölçümünün amacı; tüm kademeler için sargı çevirme oranlarının belirlenmesidir.

Çevirme oranı ölçümü ile elde edilecek çevirme oranı değerleri, transformatör modelinde elektriksel büyüklüklerin hesaplanmasında ve doğrulama amacıyla kullanılır.

Çevirme oranı ölçülecek sargı çiftlerindeki gerilimler aynı anda ölçülerek oranları belirlenebileceği gibi, gerilim oranlarının ölçümü yönteminde genellikle bu amaç için üretilmiş sayısal cihazlar kullanılabilir. Bu cihazlarla çevirme oranlarının ölçümü ile birlikte, bağlantı grubu belirlenmesi (üç fazlı ölçme cihazı ile) ve ölçüm sırasında çekilen akım da ölçülebilir. Söz konusu vektör çiftlerinin gerilimlerinin oranlanması yöntemi, aynı zamanda vektörler arasındaki açının (faz kaymasının) ölçülmesine de olanak sağlar.

Test EN60076-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilir.



Şekil 4. Üçgen-Yıldız bağlı transformatöründe çevirme oranı ölçümüne ilişkin örnek bağlantı

Çevirme oranı ölçüm testi sırasıyla şu prosedürün izlenmesi ile gerçekleştirilir.

1. Birinci kademe için primer ve sekonder fazları için dönüştürme oranı ölçülür.
2. İkinci kademe için primer ve sekonder fazları için dönüştürme oranı ölçülür.
3. Üçüncü kademe için primer ve sekonder fazları için dönüştürme oranı ölçülür.
4. Dördüncü kademe için primer ve sekonder fazları için dönüştürme oranı ölçülür.
5. Beşinci kademe için primer ve sekonder fazları için dönüştürme oranı ölçülür.
6. Hazırlanacak olan analiz yazılımı için bu değerler saklanacak ileriki yıllarda tekrar herhangi sebeple ölçüm gerçekleştirildiğinde sapma miktarları raporlanabilir.

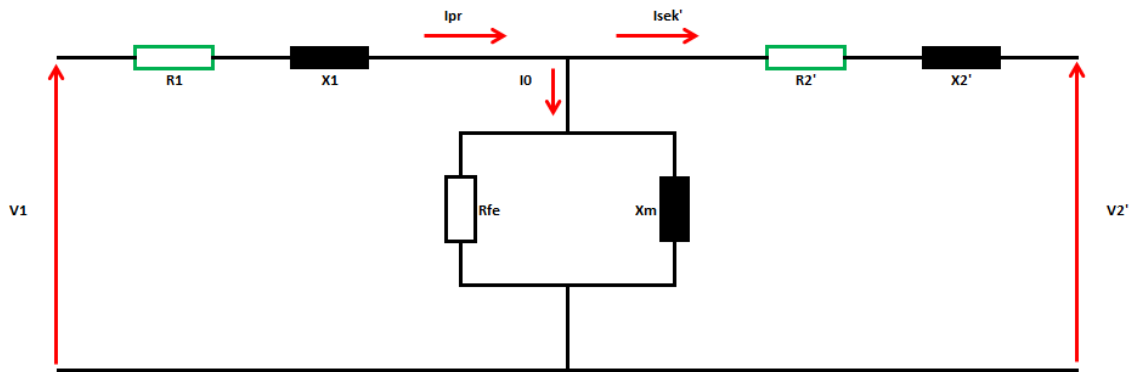
4.2.3. Sargı dirençleri ölçümü

Transformatör sargı dirençlerinin ölçülmesi hem daha sonraki ölçmelerde referans olarak ve hem de yük kayıplarının referans (örneğin 75oC) sıcaklığındaki değerlerinin hesaplanmasında kullanılması amacıyla ölçüm yapılır.

Sargı dirençleri, doğru akım uygulanarak yapılan bir ölçüm olup sıcaklığa çok bağlıdır. Bu nedenle sargı dirençleri ölçülürken sıcaklıklar da ölçülmeli ve kayıtlarda mutlaka ölçümdeki sıcaklık da kaydedilmelidir.

Sargı dirençleri, sargıların tüm bağlantı terminalleri arasında ve tüm kademelerde ölçülür. Bu sırada sargı sıcaklığı da uygun şekilde ölçülmeli ve kaydedilmelidir.

Sargı dirençleri ölçümünün amacı tüm kademeler için primer ve sekonder sargı dirençlerinin belirlenmesidir (Şekil 5).

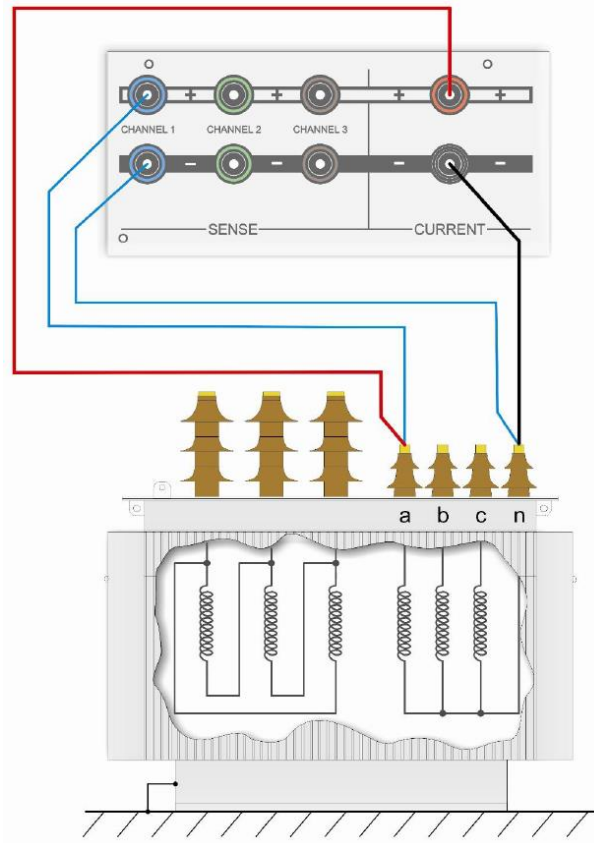


Şekil 5. Sargı dirençleri ölçümü sonucunda elde edilecek eşdeğer devre parametreleri

Sargı dirençleri ölçümü ile elde edilen direnç değerleri, transformatör modelinde ve ayrıca eş zamanlı izleme süreçlerinde sargı kayıplarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Sahada işletme koşullarında çalışmakta olan transformatörlerde sargı direnci ölçümü için;

- Transformatör en az 3 saat süresince gerilimsiz bırakılacak ve ortalama yağ sıcaklığı ölçülür. Bu durumda sargı sıcaklığının ortalama yağ sıcaklığına eşit olduğu varsayılır (EN60076-1).
- Yukarıda belirtilen bekleme süresinin ardından transformatörün kazan duvarının sıcaklığından yola çıkılarak yağ sıcaklığının öngörülmesi mümkündür (IEEE 62-1995).
- Transformatör kazanı üzerinde mevcut termometre mevcut ise bu termometre ile elde edilecek ölçüm ile yağ sıcaklığının öngörülmesi mümkündür (IEEE 62-1995).



Şekil 6. Üç fazlı üçgen-yıldız bağlı transformatörde bir alçak gerilim sargısının ölçümüne ilişkin bağlantı şeması

Sargı dirençlerinin ölçümü sırasıyla şu adımların gerçekleştirilmesi ile tamamlanır.

1. EN60076-1 ve IEEE 62-1995 standartlarına uygun olarak, birinci kademe için primer ve sekonder sargı direnç değerleri (r_1, r_2) elde ölçülür.
2. Ölçüm esnasında sargı sıcaklığı ölçülerek veya hesaplanarak kaydedilir.
3. Sıcaklık analiz modülünden alınacak olan anlık ortalama sargı sıcaklıkları kullanılarak direnç değerleri bu sıcaklık için düzeltilerek R_1 ve R_2 elde edilir.

Bakır iletkeniden imal edilmiş sargılar için;

$$R_{anlık} = R_{ölçüm} \frac{T_{anlık} + 234,5}{T_{ölçüm} + 234,5} \quad (7)$$

Alüminyum iletkeniden imal edilmiş sargılar için;

$$R_{anlık} = R_{ölçüm} \frac{T_{anlık} + 225}{T_{ölçüm} + 225} \quad (8)$$

eşitlikleri kullanılır (IEEE 62-1995).

4. 1-3 maddeler arası işlemler ikinci kademe için uygulanarak primer sargı dirençleri ölçülür.
5. 1-3 maddeler arası işlemler üçüncü kademe için uygulanarak primer sargı dirençleri ölçülür.

6. 1-3 maddeler arası işlemler dördüncü kademe için uygulanarak primer sargı dirençleri ölçülür.
7. 1-3 maddeler arası işlemler beşinci kademe için uygulanarak primer sargı dirençleri ölçülür.
8. Her bir kademe için ayrıca ölçülen çevirme oranları kullanılarak indirgenmiş parametreler hesaplanır.

$$R'_2 = R_2 u^2 \quad (9)$$

9. Hazırlanacak olan analiz yazılımı için bu değerler saklanacak ileriki yıllarda tekrar herhangi sebeple ölçüm gerçekleştirildiğinde sapma miktarları raporlanabilecektir.

Bu adımların sonunda; her bir faz için primer sargı direnci (R1) ve sekonder sargı direncinin primere indirgenmiş değeri (R2') diğer sistem modüllerinde kullanılmak üzere elde edilmektedir.

4.2.4. X1 ve X2 parametrelerinin elde edilmesi

Önceki bölümlerde açıklanan test ve ölçümler ile, sargı kaçak reaktanslarını ifade eden X1 ve X2 parametreleri dışında kalan tüm eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanması mümkün olmaktadır.

X1 ve X2 parametrelerinin elde edilmesi için ise sırasıyla şu adımlar uygulanacaktır.

1. Transformatörün primer besleme gerilim değeri $U_{1n} \angle 0$ olarak alınır. Model primer referans alınarak kurgulanmakta olup açısı değeri sıfır olarak kullanılmaktadır.
2. V_2 gerilimi sekonderden anlık olarak ölçülür. Dönüştürme oranı kullanılarak primere indirgenir ve modele dahil edilir.

$$V'_2 = V_2 \ddot{u} \quad (10)$$

3. Sekonderden akım ve güç faktörü değeri ölçülür. Dönüştürme oranı kullanılarak primere indirgenmekte ve model içerisinde kullanılmaktadır.

$$I'_2 \angle \varphi_2 = \frac{I_2 \angle \varphi_2}{\ddot{u}} \quad (11)$$

4. Boşta çalışma deneyinden elde edilen akımı ve açısı değeri ile sekonder akım değeri toplanarak primer akımı hesaplanır.

$$I_1 \angle \varphi_1 = I_0 \angle \varphi_0 + I'_2 \angle \varphi'_2 \quad (12)$$

Burada boşta çalışma akımı değeri için;

- i. 400kVA güce kadar olan transformatörlerde, farklı uyarma gerilimleri için elde edilmiş olan boşta çalışma akımı ölçümlerinden yola çıkılarak,
- ii. 400kVA'dan büyük güçlü transformatörlerde ölçü hücresi yoksa, farklı uyarma gerilimleri için elde edilmiş olan boşta çalışma akımı ölçümlerinden yola çıkılarak
- iii. 400kVA'dan büyük güçlü transformatörlerde ölçü hücresi var ise, primer ve sekonder taraftan gerilim ve akım değerlerini ölçmek mümkün olduğundan dolayı primer ve sekonder akımlar arasındaki farktan yola çıkılarak,

eşdeğer devrede uygun boşta çalışma akımı değeri kullanılır.

5. Boşta çalışma parametreleri ve I_0 akımı kullanılarak eşdeğer devrede mıknatıslanma kolu üzerindeki gerilim değeri hesaplanır.

$$Z_m = \frac{R_{Fe} j X_m}{R_{Fe} + j X_m} \quad (13)$$

$$V_m \angle \varphi_m = Z_m I_0 \angle \varphi_0 \quad (14)$$

6. Primer gerilimi ve mıknatıslanma kolu üzerindeki gerilim farkından yola çıkılarak primer tarafa ait reaktans değeri hesaplanır.

$$V_1 \angle 0 - V_m \angle \varphi_m = I_1 \angle \varphi_1 * Z_1 \angle \varphi_{pri} \quad (15)$$

7. Transformatörün sekonderinden beslenen yükü ifade eden eşdeğer devre elemanlarının primere indirgenmiş direnç ve reaktans değeri hesaplanır.

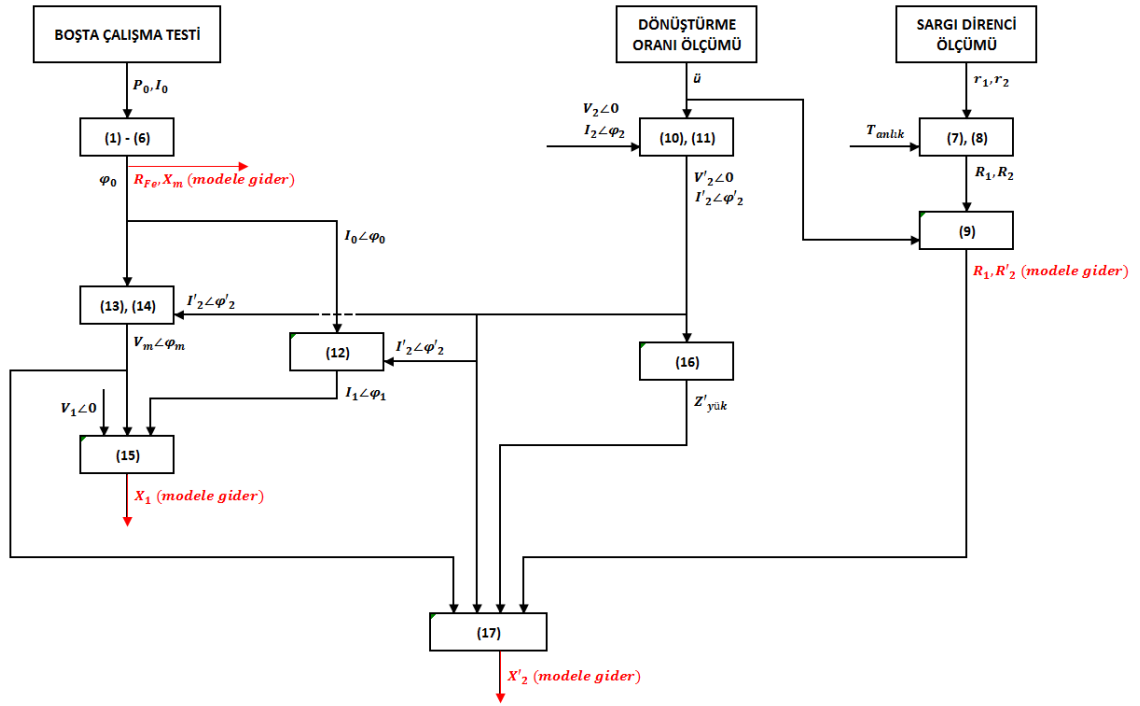
$$Z'_{yük} = R'_{yük} + jX'_{yük} = \frac{V'_2 \angle 0}{I'_2 \angle \phi'_2} \quad (16)$$

8. Eşdeğer devrenin sekonder kolundaki toplam direnç $(R'_2 + R'_{yük})$ ve toplam reaktans $(X'_2 + X'_{yük})$ değerlerini hesaplamak için,

$$R'_{sek} + jX'_{sek} = \frac{V_m \angle \phi_m}{I'_2 \angle \phi'_2} \quad (17)$$

eşitliği çözülür. Burada R'_2 değeri transformatörün direnç ölçümünden elde edilen sekonder sargı direncinin indirgenmiş değeri olarak alınır. Önceki adımda elde edilen $R'_{yük}$ ve $X'_{yük}$ değerleri de kullanılarak tek bilinmeyen olan X'_2 değeri hesaplanır.

4.3. Akış şeması



Şekil 7. Akış şeması

5.

SONUÇLAR

Bu proje ile,

1. Başta elektriksel büyüklükler olmak üzere dağıtım transformatörlerinden alınacak çeşitli ölçümler sayesinde transformatörlerin eşzamanlı olarak izlenmesi,
2. Ölçülen büyüklüklerden yola çıkarak arıza belirtilerinin önceden kestirimi ve önleyici bakım çalışmalarının dinamik olarak programlanabilmesi ve gerçekleştirilmesi,
3. Transformatörün yaşlanma sürecinin izlenmesi,
4. Dağıtım bölgesi içerisindeki transformatörlerin yüklenme profillerinin elde edilerek, mevcut transformatörlerin başta kayıpları ve kayıp maliyetlerinin en aza indirecek şekilde yerleşimlerinin yeniden düzenlenmesi ve yenilenmesi,
5. Bu amaçlara uygun bir veri toplama ve aktarım birimi ile merkezi izleme-analiz yazılımı geliştirilmesi,
6. İzleme yazılım ve donanımının en düşük maliyetle elde edilmesi,

amaçlanmaktadır

İşletme koşulları altında halihazırda çalışmakta olan standart dağıtım transformatörleri, ilgili TEDAŞ şartnamelerinin gerektirdiği anma güçlerindedir. Bununla birlikte, gerek tüm bu transformatörlerin sahip olduğu ölçüm aksesuarları (termometre vb.) gerekse ölçüm hücrelerinde kullanılan donanımlar tüm transformatörler için aynı değildir. 4000kVA güce kadar olan transformatörler direk tipi olup bu transformatörlerin hem primer hem de sekonder tarafından her elektriksel büyüklüğün ölçülmesi ve elde edilmesi mümkün değildir. 400kVA güç değerinin üzerinde olan transformatörler için ise özellikle yüksek gerilim tarafına ilişkin elektriksel büyüklüklerin elde edilmesi kolay değildir. Yüksek gerilim ve yüksek akım ölçme işlemlerinde ilave ölçü transformatörlerine gereksinim duyulmaktadır. Bu durumda ise bu ölçü transformatörlerinin sebep olduğu ölçme hataları, oldukça düşük olması durumunda dahi dağıtım transformatörünün eşdeğer devresinin oluşturulmasında ve yüksek doğrulukla sonuç elde edilmesinde ciddi zorluklar meydana getirmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, transformatör modelinin oluşturulmasında sekonder devreden elde edilecek elektriksel büyüklükler birinci derecede girdiler olarak alınmaktadır. Sargı dirençleri, çevirme oranları gibi parametreler ise ölçüm yoluyla elde edilerek modele dahil edilmektedir. Bununla birlikte transformatörün lineer olmayan yapısından dolayı, hesap yoluyla elde edilmesi gereken büyüklüklerin doğrulukları her zaman aynı derecede elde edilememektedir.

Örneğin, boşa çalışma akımı, boşa çalışma açısı ve ilgili eşdeğer devre parametrelerinin anma geriliminde gerçekleştirilen boşa çalışma deneyi ile elde edilmesi ve sabit kabul edilerek eşdeğer devre modeli içerisinde kullanılması öngörülmektedir. Bununla birlikte, işletme koşullarında çalışmakta olan bir transformatörde, manyetik devre üzerine düşeceği öngörülen gerilim değeri ve gerilim açısı yüke bağlı olarak değişeceğinden, işletme şartlarında manyetik devreden akan akımın değeri ve açısı da az da olsa değişiklik göstermektedir. Bu çok küçük farklılıklar bile sınırlı imkanlar ile oluşturulması öngörülen modelde, hesaplanan büyüklüklerin önemli oranda değişmesine ve hatalı hesaplamalara neden olmaktadır.

Bu gibi nedenlerden dolayı, mevcut sınırlı düzeyde ölçüm ve test koşulları altında yüksek doğruluğa sahip bir eşdeğer devre modelinin oluşturulması ve eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde problemler olduğu görülmektedir.

Özellikle sahada işletme koşullarındaki transformatörlere sargı dirençleri ve kaçak reaktansların belirlenmesini sağlayacak kısa devre çalışma testinin yapılamaması, modelin oluşturulmasının önündeki en büyük engel olarak ortaya çıkmaktadır.