

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 6. ULUSAL KONGRESİ

11 -17 Eylül 1995
BURSA



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI



ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



TÜBİTAK

ISBN:975-395-154-X

Baskı:

KARE AJANS & MATBAACILIK

Litrosyolu, 2. Matbaacılar Sanayi Sitesi

C Blok No : 4 NC 25 Topkapı - İstanbul

Tel : (0212) 544 09 79 - 544 92 85

Ö \ S Ö Z

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü ve TÜBİTAK'ın işbirliği ile 11-17 Eylül 1995 tarihleri arasında düzenlenen Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresine hoşgeldiniz.

Hazırlık çalışmaları yaklaşık bir yıl önce başlayan Kongre'ye, Üniversitelerimiz, araştırma ve endüstri kurumlarında çalışan meslektaşlarımız büyük ilgi göstermiş ve toplam 450 civarında bildiri başvurusu olmuştur.

Aydınlatma Tekniği, Ar-Ge ve Teknoloji Üretimi, Bilgisayar ve Kontrol, Devreler ve Sistemler, Elektronik, Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği, Elektrik Makinaları, Elektrik Enerji Üretimi ve Dağıtımı, Eğitim, Güç Elektroniği, Haberleşme Tekniği ve Sistemleri, Ölçme Tekniği, Tıp Elektroniği ve Yüksek Gerilim Tekniği konularına göre ayrılan bildiriler, yürütme kurulunca belirlenen değerlendirme kuralları çerçevesinde uzmanlarca değerlendirilerek, yaklaşık 300 kadarının oturumlarda sunulması uygun bulunmuştur.

Üç Ayrı ciltte toplanan bildirilerin, Aydınlatma Tekniği, Enerji Üretim, İletim ve Dağıtımı, Yüksek Gerilim Tekniği, Güç Elektroniği, Elektrik Makinaları birinci ciltte, Elektronik, Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği, Haberleşme Tekniği ve Sistemleri, Ölçme Tekniği, Tıp Elektroniği ikinci ciltte, Bilgisayar ve Kontrol, Eğitim ve diğerleri üçüncü ciltte yer almıştır.

EMO ve Üniversitelerin temsilcilerinin yanısıra kamu ve özel sektör temsilcilerinin de yer aldığı Kongre Danışma Kurulu'nca belirlenen görüşler çerçevesinde, Elektrik-Elektronik Mühendisliğini ilgilendiren çeşitli konularda paneller ve çağrılı bildiriler de düzenlenmiş bulunmaktadır.

Türkiye'de Elektrik-Elektronik Sanayinin Konumu, AB İle Bütünleşmesi ve Perspektifler, Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde Eğitim, Altyapı Hizmetleri Özelleştirme ve Düzenleyici Erk, Türkiye'nin Elektrik Enerji Sisteminde Yapısal Değişiklikler ve Politikalar konulu paneller ve Bilgi Çağının Anahtar Teknolojisi; Mikroelektronik, Mikrodalga Enerjisinin Endüstriyel Uygulamaları, Bilgi Toplumu ve İnternet, Elektrik-Elektronik sanayinin Gelişiminde Ar-Ge'nin Önemi, Nükleer Güç Santrallerinin İşletmesindeki Teknik Sorunlar ve Çevre Konulu çağrılı bildirilerle konuların tartışılacağı, bilimsel yaklaşımlarla çözüm ve önerilen geliştirileceği, ilgili kurum ve kuruluşlara önemli katkılar sağlayacağı inancındayız.

Kongrede çağrılı bildiri ve panellere katılarak değerli katkılarda bulunacak değerli bilim adamları ile özel ve kamu kuruluş yetkililerine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bugüne kadar iki yılda bir düzenli olarak yapılan, bilimsel niteliği ve katılımı giderek artan Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongresi, Ülkemizde yapılan bilimsel ve teknolojik çalışmaların nitel ve nicel özelliklerini yansıması bakımından önem arz etmektedir. -

Kongrenin, izleyiciler ve delegeler için başarılı olmasını, ülkemizin bilimsel ve teknolojik çalışmalarına yön ve ivme vermesini diliyor, hazırlık çalışmalarımıza özenle katkı sağlayan değerli TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yönetim Kuruluna, Elektrik Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Yönetim Kuruluna ve Çalışanlarına, Bilim Kurulu, Danışma Kurulu, Yürütme Kurulu ve Sosyal İlişkiler Komisyonu üyeleri ile emeği geçen tüm arkadaşianmıza destek ve katkıları için teşekkür ediyorum.

Prof.Dr.Ali OKTAY
Yürütme Kurulu Başkanı

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 6. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Prof. Dr.Ali OKTAY	(U. Ü. - Başkan)
Prof.Dr.Ahmet DERViŞOĞLU	(İTÜ)
Prof.Dr.R.Nejat TUNCAY	(İTÜ)
Teoman ALPTÜRK	(EMO Başkanı)
Faruk KOÇ	(EMO Bursa Şube Başkanı)
Haluk ZONTUL	(EMO Yön.Kur. Üyesi)
Ömer ADIŞEN	(U.Ü.)
EmirBİRGÜN	(EMO-Bursa Şube Yön.Kur.Yazman Üyesi)
Sevim ÖZAK	(EMO-Bursa Şube Yön.Kur. Üyesi)
Yakup ÜNLER	(EMO-Bursa Şubesi)
Osman AKIN	(EMO-Bursa Şubesi)
H.İbrahim BAKAR	(EMO-Bursa Şubesi)

TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI BURSA ŞUBESİ YÖNETİM KURULU

Başkan	: Faruk KOÇ
Başkan Yrd.	: İsmail Yalçın AKTAŞ
Yazman	: Emir BİRGÜN
Sayman	: Bahri KAVILCIOĞLU
Üye	: Sevim ÖZAK
Üye	: Tuncay HIZLIOĞLU
Üye	: Cem ÖZKAN

TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI BURSA ŞUBE GÖREVLİLERİ

Kemal ERTUĞRAN	: Kongre-Fuar Sorumlu Mühendisi
Kemal KARAKAŞ	: Proje Denetim ve Test Mühendisi
Raziye BEĞEN	: Sekreteryaya Sorumlusu
Meliha DEMİR	: Muhasebe Görevlisi
Hüseyin GÖK	: Şube Görevlisi

SOSYAL ETKİNLİKLER KOMİSYONU

İnci BECEREN	Gülsemin GÜNEŞ
Sabiha CESUR	Muvaffak KARAHAN
Bekir DAĞLAROĞLU	Önder SERHATLI

BİLİMSEL DEĞERLENDİRME KURULU

- AKÇAKAYA Ergül, Prof.Dr.(İTÜ)
- AKPINAR Sefa, Prof.Dr. (KTÜ)
- ANDAY Fuat, Prof. Dr. (İTÜ)
- ATAMAN Atilla, Prof. Dr. (YTÜ)
- AYGÖLÜ Ümit, Prof.Dr.(İTÜ)
- AŞKAR Murat, Prof. Dr.(ODTÜ)
- BAYRAKÇI H.Ergün, Prof.Dr.(UÜ)
- BURŞUK A.Fahri, Prof.Dr. (İÜ)
- BİR Atilla, Prof. Dr. (İTÜ)
- CANATAN Fatih, Prof. Dr.(ODTÜ)
- CERİD Ömer, Prof.Dr.(BÜ)
- ÇETİN İlhami, Prof.Dr.(İTÜ)
- ÇİFTÇİOĞLU Özer, Prof.Dr. (İTÜ)
- DALFEŞ Abdi, Prof.(İTÜ)
- DEMİRÖREN Ayşen, Yrd.Doç.Dr.(İTÜ)
- DERViŞOĞLU Ahmet, Prof.Dr.(İTÜ)
- ERTAN H.Bülent, Prof.Dr.(ODTÜ)
- ERTAŞ Arif, Prof. Dr. (ODTÜ)
- ERİMEZ Enise, Prof.Dr. (İTÜ)
- FADIL Salih, Yrd.Doç.Dr.(OÜ)
- GÖKMEN Muhittin, Prof. Dr.(İTÜ)
- GÖNÜLEREN Ali Nur, Prof.Dr.(İTÜ)
- GÜLGÜN Remzi, Prof.Dr.(YTÜ)
- GÜNAN Hasan, Prof.Dr.(ODTÜ)
- GÜNEŞ Filiz, Prof.Dr.(YTÜ)
- GÜRLEYEN Fuat, Doç.Dr.(İTÜ)
- GÜVEN Nezih, Doç.Dr.(ODTÜ)
- GÜZELBEYOĞLU Nurdan, Prof.Dr.(İTÜ)
- HARMANCI A.Emre, Prof.Dr. (İTÜ)
- İDEMEN Mithat, Prof.Dr.(İTÜ)
- İDER Y.Ziya, Prof.Dr. (ODTÜ)
- İNAN Kemal, Prof.Dr.(ODTÜ)
- KALENDERLİ Özcan, Yrd.Doç.Dr.(İTÜ)
- KASAPOĞLU Asım, Prof.Dr.(YTÜ)
- KAYPMAZ Adnan, Doç. Dr. (İTÜ)
- KORÜREK Mehmet, Doç.Dr.(İTÜ)
- KUNTMAN H.Hakan, Prof.Dr.(İTÜ)
- LEBLEBİCİOĞLU Kemal, Prof.Dr.(ODTÜ)
- MERGEN Faik, Prof.Dr.(İTÜ)
- MORGÜL Avni, Prof.Dr.(BÜ)
- OKTAYAli, Prof.Dr.(UÜ)
- ONAYGİL Sermin, Doç. Dr.(İTÜ)
- ÖNBİLGİN Güven, Prof.Dr.(19 MAYIS Ü)
- ÖZAY Nevzat, Prof. Dr. (ODTÜ)
- ÖZDEMİR Aydoğan, Doç.Dr.(İTÜ)
- ÖZKAN Yılmaz, Prof.Dr.(İTÜ)
- ÖZMEHMET Kemal, Prof. Dr.(9 EYLÜL Ü)
- PANAYIRCI Erdal, Prof.Dr. (İTÜ)
- RUMELİ Ahmet, Prof.Dr.(ODTÜ)
- SANKUR Bülent, Prof.Dr.(BÜ)
- SARIKAYALAR Şefik, Prof.(YTÜ)
- SEVAİOĞLU Osman, Prof.Dr.(ODTÜ)
- SEVERCAN Mete, Prof.Dr. (ODTÜ)
- SOYSAL A.Oğuz, Prof.Dr.(İÜ)
- ŞEKER Selim, Prof.Dr.(BÜ)
- TACER Emin, Prof.Dr.(İTÜ)
- TANIK Yalçın, Prof.Dr.(ODTÜ)
- TARKAN Nesrin, Prof.Dr.(İTÜ)
- TOPUZ Ercan, Prof. Dr.(İTÜ)
- TUNCAY R.Nejat, Prof.Dr. (İTÜ)
- TÜRELİ Ayhan, Prof.Dr.(ODTÜ)
- ÜÇOLUK Metin, Prof.Dr.(İTÜ)
- YAZGAN Erdem, Prof.Dr.(HÜ)
- YÜCEL Metin, Prof. (YTÜ)
- YÜKSEL Önder, Prof.Dr.(ODTÜ)
- YÜKSELER Nusret, Prof. Dr.(İTÜ)

DANIŞMA KURULU

- AKÇAKAYA Ergül (Prof.Dr.-İTÜ)
- AKKAŞLI Nevzat
- ALADAĞLI Tunç (Nergis A.Ş.)
- ALGÜADİŞ Selim (EKA)
- ARABUL Hüseyin (EMSAD)
- ARGUN Tanju (TESİD)
- ATALI İbrahim (EMO Adana Şube)
- ATEŞ Mustafa (TEDAŞ)
- AVCI M.Naci (Organize Sanayi Bölgesi)
- BAYKAL Faruk (Nilüfer Belediye Başkanı)
- BERKOĞLU İsmail (PTT Bölge Başmüdürü)
- BOZKURT Yusuf (MEES)
- BİRAND Tuncay (ODTÜ)
- CANER Süleyman (Çanakkale Seramik)
- CEYHAN Mümin
- CEYLAN Arif
- ÇALIM Yavuz (TEAŞ Müessese Müdürü)
- DRAMA Mehmet (TEDAŞ)
- DURGUT Metin (EMO Merkez)
- GÖREN Sunay (Siemens)
- HARMANCI Emre (Prof.Dr.-İTÜ)
- ISPALAR Ayhan (EMKO)
- KAYA Ersin (Kaynak Dergisi)
- KAŞIKÇI İsmail (Almanya)
- KIRBYIK Mehmet (Prof.Dr.-U.Ü.Müh.Mim.Fak.Dekanı)
- KUZUCU Mehmet (TOFAŞ Elk.Eln.Tesis Servis Şefi)
- MUTAF M.Macit (EMO İzmir Şube)
- OKAT İsmail (TEDAŞ Bursa Müessese Müdürü)
- OKUMUŞ Necati (TEDAŞ)
- OKYAY Nursel (TEDAŞ)
- ÖZMEHMET Kemal (Prof.Dr.-9 Eylül)
- ÖNBİLGİN Güven (Prof.Dr.-19 Mayıs Ü.)
- PUCULAOĞLU Mustafa (EMO Merkez)
- RAŞITOĞLU Mithat (TEDAŞ)
- SÖNMEZ Ali Osman (Ticaret ve Sanayi Odası Başkanı)
- TERZİOĞLU Tosun (TÜBİTAK)
- YAZICI Ali Nihat (EMO Merkez)
- YEŞİL Hüseyin (EMO İstanbul Şube)
- YÜCEL Behçet
- YÜKSELER H.Nusret (Prof.Dr.-İTÜ)
- YURTMAN Naşit (Oyak Renault Fab.Teknik Servis Bakım Müdürü)
- YİĞİT Ali (EMO Ankara Şube)
- ZÜMBÜL İsmail

DIAKOPTİCS: ÜÇ-FAZLI, SİMETRİK VE DENGESİZ YÜKLÜ SİSTEMLERİN ANALİZİ

Adnan KAYPMAS, Ömer GÜL

İ.T.Ü. Elektrik Elektronik Fakültesi

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Özet: Bu çalışmada, büyük boyutlu şebekelerin analizinde, faydalı bir yöntem olduğu bilinen, diakoptics'in kısa devre analizlerine uygulanması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla şebeke, önce bazı baralardan parçalanarak suretiyle daha küçük alt-şebekelere ayrılmakta, daha sonra bu alt şebekeler çözülmekte ve son adımda bu çözümlerin yardımı ile verilen büyük boyutlu şebekelerin çözümü elde edilmektedir.

1. Giriş: Bu çalışmada "Parçalama ve Yeniden Birleştirme Yöntemi (Diakoptics)" nin büyük boyutlu şebekelerdeki kısa devre analizine uygulaması ele alınmıştır. Bilindiği gibi enerji sistemlerinin üç-fazlı analizinde, baralardan üç-fazlı olması nedeniyle şebeke boyutu da üç kat büyümektedir. Bu işe büyük boyutlu şebekelerin analizinde ortaya çıkan

$$A \cdot x = b \quad (1)$$

biçimindeki denklem takımında A matrisinin zaten büyük olan boyutunun üç misli daha büyümesi anlamına gelmektedir. Bu büyük boyutlu A matrisinin tersinin alınması için literatürde çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. 1. 2. 3. 4. 5.

Bilindiği gibi simetrik, üç-fazlı dengesiz üç-fazlı şebekelerin analizinde bu boyut zorluğunu yenmek üzere, simetrik bileşenler yöntemi kullanılmakta ve üç-fazlı şebekeler birbirinden bağımsız, doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri biçiminde bir-fazlı, üç ayrı bileşen devresi olarak modellenmektedir. Bu doğru, ters ve sıfır bileşen devrelerinin birbirinden bağımsız oluşu, analiz sırasında ortaya çıkan matrislerin boyutunu üçte bir oranında küçültmekte, ve bir-fazlı analiz sırasında ortaya çıkan şebeke boyutlarına çekmektedir. Buna rağmen bu analizde yine de bu boyutta

üç ayrı matrisin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. 1. 6. 7.

Bu durumda bile, büyük boyutlu şebekelerin analizinde ortaya çıkan doğru, ters ve sıfır bileşen devrelerinin boyutları bara sayısına bağlı olarak büyük olmaktadır ve çözümde bir takım zorluklar ortaya çıkmaktadır. Devre teorisinden çok iyi bilinen, çok-üçlü eleman kavramı ve Parçalama ve Yeniden Birleştirme (Diakoptics) yönteminin, simetrik ve dengesiz yüklü, üç-fazlı sistemlerin analizinde kullanılması simetrik bileşen devrelerinin daha küçük boyutlu matrisler kullanılarak verilebilmesine ve bu yolla daha uygun çözümler elde edilmesine olanak sağlamıştır. 4. 5.

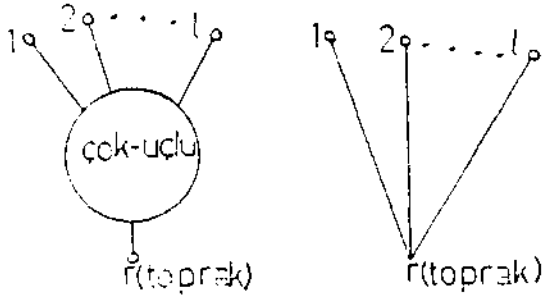
2. Yöntem:

Kısa devre olayları sonucu ortaya çıkan dengesiz yüklü sistemlerin analizinde kullanılan simetrik bileşen devrelerine ilişkin bara empedans matrislerinin elde edilmesi için, çok-üçlü eleman kavramı ve diakoptics yönteminin uygulamasına ilişkin algoritma aşağıda verilmiştir:

1. Adımda, verilen üç-fazlı şebeke, bazı düğümlerinden, düğümlerden parçalama yöntemi ile parçalanarak daha küçük boyutlu alt-şebekelere ayrılmaktadır.

2. Adımda, bu alt şebekelerin her birine ait doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri bir çok-üçlü eleman olarak her bir elemanın simetrik bileşen değerlerinden hareketle, devre teorisinin bilinen kuralları kullanılarak, şekil 1 de verilen biçimde modellenmektedir. 2. 3. 4. 5.

Burada m alt sistem sayısını göstermektedir. (m=1,2,...,n)



a.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{I}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{11}^m & \mathbf{Y}_{12}^m \\ \mathbf{Y}_{21}^m & \mathbf{Y}_{22}^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1^m \\ \mathbf{V}_2^m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{k}_1^m \\ \mathbf{k}_2^m \end{bmatrix} \quad (2)$$

b.

Şekil La. Çok-uçlu elaman ve uç grafi
b.Uç denklemleri

3. Adımda, her alt-şebeke için elde edilmiş olan, doğru, ters. ve sıfır bileşenler orjinal de\Tenin. parçalama yapılmadan önceki bağlantı biçimine bağlı kalarak, kendi aralarında birleştirilmekte, böylece orjinal şebekeye ilişkin bileşen modellerine ait bara admitans matrisleri (3) bağıntısında verildiği biçimde sparse olarak elde edilebilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{11} & & & & & \\ & \mathbf{Y}_{22} & & & & \\ & & \mathbf{Y}_{33} & & & \\ & & & \mathbf{Y}_{44} & & \\ & & & & \mathbf{Y}_{55} & \\ & & & & & \mathbf{Y}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \\ \mathbf{V}_3 \\ \mathbf{V}_4 \\ \mathbf{V}_5 \\ \mathbf{V}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{k}_1 \\ \mathbf{k}_2 \\ \mathbf{k}_3 \\ \mathbf{k}_4 \\ \mathbf{k}_5 \\ \mathbf{k}_6 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada blok diagonal band matris biçiminde elde edilmiş olan bara admitans marislerinin literatürde mevcut yöntemle terslerinin alınması yoluyla kısa devre analizinde kullanılacak olan doğru, ters ve sıfır bileşen empedans matrisleri daha küçük matrislerin terslerinin alınması yolu ile kolayca elde edilmektedir 2,3.

3. Kısa devre analizi

Kısa devre analizi için literatürde kullanılan alışla gelmiş yöntem için verilen denklemler kullanılmıştır. Bu denklemler şebeke hatasının olduğu kabul edilen p barasındaki hata akımı için.

$$\mathbf{I}^{0.1.2} = (\mathbf{Z}_{F0.1.2} + \mathbf{Z}_{0.1.2})^{-1} \mathbf{E}_{F0.1.2} \quad 4.1$$

biçiminde.hatalı p barasının gerilimi için.

$$\mathbf{E}_{F0.1.2} = \mathbf{Z}_{F0.1.2}^{-1} (\mathbf{Z}_{F0.1.2} + \mathbf{Z}_{pp})^{-1} \mathbf{E}_{p(0)} \quad 4.2$$

biçiminde ve p harasının dışındaki haraların gerilimleri için

$$\mathbf{E}_{p(0)} = (\mathbf{Z}_{F0.1.2} + \mathbf{Z}_{pp})^{-1} \mathbf{E}_{p(0)} \quad 4.3$$

şeklinde ifade edilmektedir. 6

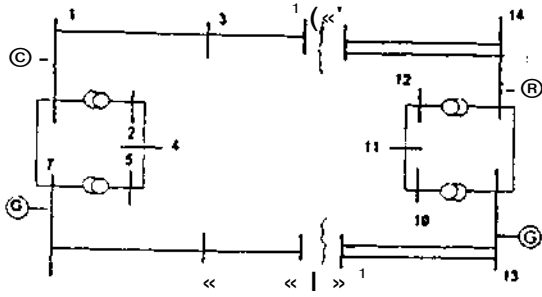
Kısa devre analizi için yapılan.

- Her bir makina bir gerilim kaynağı ve ona bağlı bir reaktansla gösterilimi.
- Yüklerin sabit empedans olarak kabulü.
- Tüm transformatörler nominal çevirme oranında olduğu.
- Anza öncesinde rtim haraların gerilimlerinin 1 p.u. değerinde ve akımlarının sıfır olduğu.
- Pozitif ve negatif sistemlerin eşil olduğu gibi kabuller bu çalışmada da yapılmıştır.

4. Önerilen Yöntemin Örnek Sisteme Uygulanması:

Literatürde verilen 14 baraü ve 22 elemanlı bir örnek sistemin önerilen yöntemle çözümü yapılmıştır 4, 7. Sistem 8. ve 9. barklardan düğümlerden parçalama yöntemi kullanılarak iki alt sisteme ayrılmıştır, şekil 2 de verilen örnek şebekeye ilişkin veriler literatürden aynen alınmıştır 7.

Örnek şebekenin kısa devre analizi, önerilen yöntemle elde edilen simetrik bileşen bara empadans matrisleri ve üçüncü bölümde yapılan kabuller altında verilen denklemlerin kullanılması ile yapılmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda, şebekenin 2 numaralı barasında üç-fazlı metalik bir kısa devre olması durumunda haralara ilişkin elde edilen



Şekil 2. Örnek Şebekenin Baralardan Parçalanması

akımlar tablo 1.1 de. 2 'arasındaki üç-fazlı kısa devre için de tüm baraların gerilimleri tablo 1.2 de verilmiştir. Ayrıca faz-toprak metalik kısa devre olması durumunda da tüm baralara ilişkin elde edilen akımlar tablo 1.3 de verilmiştir.

Tablo 1.1:Üç-fazlı kısa devre akımları

Bara No:	p.u.	Açı
1	10x9022	-89.0121
2	8.3733	-86.9149
3	9.0843	-72.1507
4	2.9579	-58.4068
5	6.2700	-83.2996
6	8.2560	-73.1903
7	17.3634	-81.1103
8	8.4167	-86.5872
9	3.0684	-57.4915
10	8.4176	-86.5836
11	106.9348	-88.6994
12	107.1583	-88.6370
13	11.7965	-72.6286
14	11.7104	-73.6258

Tablo 1.2: Bara Gerilimleri

Bara No:	p.u.	Açı
1	0.9254	-0.00036
2	0.0000	0.00000
3	0.9618	-0.00042
4	0.4315	-0.09089
5	0.8631	-0.09088
6	0.9685	-0.01312
7	0.9378	-0.02617
8	1.0012	0.00097
9	1.0014	0.00077
10	1.0015	0.00057
11	1.0012	0.00098
12	1.0015	0.00056
13	0.9801	-0.00053
14	0.9840	-0.00697

Tablo 2: Faz-toprak Kısa Devresi Akımları

Bara No:	p.u	Açı
1	39.9335	-88.4475
2	8.5015	-88.5367
3	5.0356	-75.3496
4	2.5983	-62.7775
5	6.9265	-85.1997
6	4.0041	-75.8163
7	5.0118	-78.1049
8	5.3900	-86.3721
9	2.0061	-58.5697
10	5.8537	-85.0160
11	46.5596	-88.0857
12	38.3279	-87.8541
13	5.7955	-79.3839
14	5.3775	-80.1707

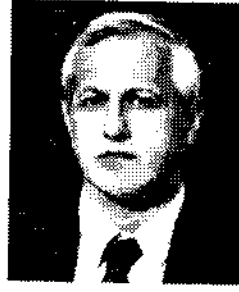
5. Sonuçlar

Önerilen yöntemde diakoptic'in kullanılmasıyla ters alma işleminde sağladığı avantajlar ve paralel hesaplama yöntemine uygunluğu literatürde gösterilmiştir 2.. 3 . Burada şebekenin, simetrik bileşenlere ayrılması ile A matrisinin boyutu üç kat azaltılarak bilgisayar çözüm süresi ve bellek ekonomisi problemi gibi sıkıntılar azalmakta ve ayrıca her bileşen ile ilgili hesapların ayrı ayrı yapılmasında bir sakınca olmadığından paralel hesaplama açısından da uygun bir yöntem verilebilmektedir..

Yöntemin. kısa devre çalışmalarında kullanılmak üzere örnek bir şebekeye uygulaması ile elde edilen sonuçların, literatürde verilen orjinal şebekenin parçalanmamış haldeki sonuçlarıyla aynı olduğu görülmüştür [4]

Kaynakça

- [1] J.Arrillaga, C.P.Arnold, Computer Modelling of Electrical Power Systems, John Wiley & Sons, New-York, 1983.
- [2] A.Kaypmaz, Y.Tokat, Ö. Usta, "Diakoptics-A Parallel Processing Approach for The Analysis of Large-Scale Power Systems. IEEE 7th Mediterranean Electrotechnical Conference, pp 1069-1072, 1994
- [3] A. Kaypmaz, Elektrik Şebekelerinin Çok-uçlu Eleman Kavramı Yardımı ile İncelenmesi. (Doktora Tezi), İ.T.Ü. Müh. Mim. Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1981
- [4] El-M. Magdy, "A Diakoptical Technique for Short Circuit Studies of Large Size Power System Networks", Electric Machines and Power System Networks, Vol 21, Num.6, 1993.
- [5] Ö. Gül, Büyük Boyutlu Şebekelerin Diakoptics Yöntem ile Kısa Devre Analizi, (Y.Lisans tezi), 1995.
- [6] G.V. Stag. A.H. El-Abiad, Computer Methods in Power System Analysis, McGraw-Hill, 1968.
- [7] P.M.Anderson. Analysis of Faulted Power Systems. The Iowa State University Press. 1973.
- [8] Y. Tokat. Devre Analizi Dersleri Kısım II, İ.T.C. Müh. Mim. Fak. Yayınları 120, İstanbul, 1977.



Adnan Kaypmaz.
1944 yılında Erzincan da doğdu. Orta öğrenimini Erzincan' da tamamladıktan sonra 1965'te girdiği İ.T.Ü Elektrik Fakültesinden 1972'de

Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. 1977'de başladığı doktora çalışmalarını 1980'de tamamladı. 1984-1986 arasında ABD'de Illinois Üniversitesi'nde misafir profesör olarak bulundu. 1988'de Doçent olan Adnan Kaypmaz, halen İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalındaki görevine devam etmektedir.



1970 yılında Kozan'da doğan Ömer GÜL ilk ve orta öğrenimini Adanada tamamladı. 1991 yılında İ.T.Ü. Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik

Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1995 yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimini tamamladı. Yine aynı yıl doktora öğrenimine başladı. 1992 yılında İ.T.Ü. Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında Araş. Gör. olarak çalışmaktadır.

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE YÜK AKIŞININ OLASILIK YAKLAŞIMIYLA HESAPLANMASI

Ertan YANIKOĞLU

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Esentepe Kampusu SAKARYA.

ÖZET: Bir enerji iletim sisteminin işletmesi ve planlamasında, sistemin çalışmasını veya amaçlanan güvenliğini değerlendirmek için yük akışı gereklidir. Deterministik yöntemler kullanarak sistem durumunu doğru değerlendirmek için, üretim ve yüklerin olası tüm kombinasyonları için hesap yapmak zorunlu olacaktır. Bu çalışmada olasılık bağıntıları yardımıyla sistemdeki yük akışını hesaplayan bir teknik sunulmaktadır. Örnek bir güç sistemi için olasılık bağıntıları ile yük akışı analizi yapılmıştır.

1- GİRİŞ:

Burada problem yük venlenindeki aşağıda verilen belirsizlikten kurtulmaktır.

a) Ölçme hatası veya tahmin belirsizliği
b) Yükün bilinmesi veya belirli limitlerde kabulü, c) Programsız devredışı kalmalar *İM*. Yukarıdaki ve diğer sebepler için yük kesin olarak bilinmez fakat onun değeri yerine oluşma sıklıkları verilir. Yük akışı çözümünün tam metodları yük için özel değerlere gerek duyar ve her değer değişimi yeni bir çözüme gerek duyacaktır. İşletme ve planlama problemleri, yani sistem yapısının güvenilirlik değerlendirmesi veya iletim şebekesinin dizaynı için, yük değerlerinden hat akışlarını değerlendirmek zorunludur. Pratik problemler için, yüklerdeki her değişim için tek tek yük akışı yapmak aşağıdaki sebeplerden dolayı zordur.

a) Hesaplamaların fazlalığı, N düğümlü ve herbir düğümde k farklı yük değerine sahip

şebekeler için, k^N sayıda yük akışı gereklidir, b) Böyle birçok yük akışı sonuçlarını analiz etmek zordur /I/.

Zorlukların üstesinden gelmenin pratik bir yolu, yük değişiminin sınırlanmış miktarını seçmektir. Sonuçlar kısmi bilgiye dayanır ve bundan dolayı onlar gerçekçi değildir, olasılık ölçümünü içermez. Bu çalışma daha geniş kapsamlı sonuçlar elde etmek için olasılık hesaplama uygulamasına dayandırılan bir yöntemi sunmaktadır.

2- YÜK AKIŞI PROBLEMİ ve OLASILIKSAL YAKLAŞIM

Yük akışı problemlerinde giriş verisi olarak yük baralanndaki aktif ve reaktif yükler, generatör (üretim barası) baralanndaki aktif güç üretimi ve gerilimin genliği verilir. Sonuçta yük baralanndaki gerilimin genliği ve açıları, üretim haralarında açılar ve reaktif güç gereksinimleri, iletim hatlarında aktif ve reaktif güç akışları bulunur. *i* ve *j* gibi iki barayı içeren bir güç sistemine ait yük akışı ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir *121*.

$$P_k = V_k \sum_{k=1}^n (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}) \quad (1)$$

$$Q_k = V_k \sum_{k=1}^n (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik}) \quad (2)$$

(1) ve (2) yük akışı eşitlikleri genel bir şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$W = h(x) \quad (3)$$

W, ölçülmüş büyüklüklerdir, x hesaplanmış olacak durum vektörü büyüklüklerini gösterir, h eşitlik (1) ve eşitlik (2) ile verilen lineer olmayan bir fonksiyondur. Klasik yük akışı problemlerinde, W vektörü kesin olarak biliniyor varsayılır. Bununla beraber, pratikte veriler yalnızca sınırlı doğrulukla bilinebilir. Kullanılan bilgi ve veriler gelecekteki koşulları gösterdiğinde bu daha da aşikar olur. Karşılaşılan belirsizlikler şu sebeplerden oluşabilir; ölçme hatası, tahmin kesinsizliği ve sistem elemanlarının devredışı kalmalarıdır. Gelecekteki yük kesinlikle bilinmez. Yalnızca olasılıksal bağıntılar şeklinde belirlenebilir. Olasılıksal yük akışının çözümü için iki farklı yaklaşım ortaya çıkmıştır. Birinci yaklaşım stokastik yük akışıdır. Diğer yaklaşım genel olarak olasılıksal yük akışı algoritmasıdır. $W=h(x)$ eşitliğinin lineer ve kuadratik yaklaşımlarını kullanır. Bu yaklaşımlar ile $w=h(x)$ eşitliği, direk bir şekilde x için ve w nin verilen olasılık tanımından elde edilen x'in olasılık yoğunluk fonksiyonu için çözülür. X'in olasılık yoğunluk fonksiyonunu elde etmek için harcanan gayret yük akışı eşitliklerinin çözümü kadardır. Ayrıca gerçek sistem boyutlarını bu düğüme ait güç gönderimlerini konvilyasyon tekniğini uygulayabilmek için bağımsız kabul etmek zorunludur. Eğer A ve B $f(a)$, $f(b)$ olasılık yoğunluk fonksiyonlu iki bağımsız rastgele değişken ise ve eğer

$$C=A+B \text{ ise,}$$

o zaman C'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu $f_C(c) = \int_{-\infty}^{\infty} f_A(a) f_B(c-a) da$ konvilyasyonu ile elde edilir [12].

$$f_C(c) = \int_{-\infty}^{\infty} f_A(a) f_B(c-a) da \quad (4)$$

3- MATEMATİKSEL MODEL

P_n , güç giriş ve çıkışlarının rastgele vektörü olmak üzere.

$$P_n = (P_{n1}, \dots, P_{ni}, \dots, P_{nm})^T \quad (5)$$

Dağılım fonksiyonları, P_{ni} karşılıklı özel bağımsız rastgele değişkenler olarak bilinir.

Şebekeye gönderilen güçlerin vektörü P lineer dönüşümle P_n vektöründen elde edilir [14].

$$P = AP_n \quad (6)$$

A matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } P_{Qj} \text{ e bara } i \text{ ise} \\ -1 & \text{Eğer } P_{Yj} \text{ e bara } i \text{ ise} \\ 0 & \text{Diğer yönden} \end{cases}$$

P'nin olasılık yoğunluk fonksiyonunu elde etmek için P_n için P cinsinden bir ifade gereklidir. Bir ilave değişken tanımı ile A dönüşümü genişletilir.

$$P_0 = PG \quad (7)$$

A matrisi B matrisi olarak büyütülür ve değiştirilmiş P matrisi PQ ile ifade edilir.

$$P_D = BP_n \quad (8)$$

Buradan P_j vektörü bir multi normal dağılımdır. Sistem dengesi referans bara da sağlandığından bu haradaki net güç gönderisinin olasılık yoğunluk fonksiyonunda hesap edilebilir. Net güç gönderilerinin olasılık yoğunluk fonksiyonlarını (OYF) elde edersek, $Z = HP$ eşitliğinden hattaki güç akışlarının OYFsini hesaplayabiliriz. Z, hat akışları ve P güç gönderileri arasındaki bağıntı lineer olduğundan, P'nin olasılık yoğunluk fonksiyonunu elde etmek için uygulanmış bir prosüdür kullanılabilir. Bununla beraber, burada Z vektörünün boyutu P vektörünün boyutundan daha büyüktür. Bu bizi daha farklı bir yaklaşım kullanmakta zorlar. Bir sistem için dağıtım faktörlerinin matrisi D olsun,

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

D matrisinde (ik)j gösterimi, j barası ile ilgili kolondaki (ik) hattı ile ilgili satırdaki D

matris elemanın gösterir. D'nin D(ik)i elemanı j barasındaki 1 MWlık bir güç gönderiminin sonucu olarak " ik" hattından akan aktif gücün miktarını gösterir. Dağılım faktörleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$D = \frac{Y - Y}{Y_{,k}} \quad (10)$$

j düğümü salınım barası ise $D(JAJ_j) = 0$ olur. Bu D matrisinden son satır ve kolonu çıkarırsak D' matrisini elde ederiz. Böylece D' matrisinin tersi alınabilir. Buradan hat i ve hat j deki güç akışının olasılık yoğunluk fonksiyonunu yazabiliriz. 1. j, . . . k hatlarındaki güç akışları biliniyorsa, kalan "p" hattındaki güç akışı aşağıdaki gibi kolayca bulunabilir. D matrisinden D'matrisi kaldırıldığında kalan kısım D" matrisi olsun;

$$D'' = [D_{ni} \quad D_{pj} \quad \dots \quad D_{p(n-1)}] \quad (11)$$

kalan p hattındaki akışlar Z" vektörü ile gösterilirse.

$$Z'' = D''^{-1} (D''^{-1} Z') \quad (12)$$

ile elde edilir. Herbir hattaki güç akışlarının marjinal yoğunlukları normal dağılım gösterir ve $Z_i \sim N(u_i, d_i), \dots, Z^k \sim N(u_k, o_k)$, $Z_n \sim N(i_n, a_n)$ olarak bulunur.

4- UYGULAMA:

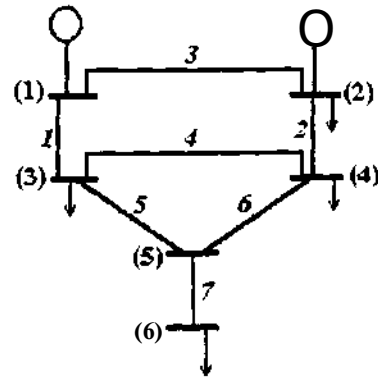
Açıklanan tekniklerin uygulaması için şekil-1'deki sistemi düşünelim. Hesaplamalarda kullanılan baralara(düğömlere) ait veriler tablo-1 de görölmekte ve şebeke verilen tablo-2 de verilmektedir. Umulan değerler (MW) ve Standard sapma (%) olarak herbir hattaki güç akışı tablo-3 de göröldüğü gibidir. İki olasılık yoğunluk eğrisi şekil-2 de görölmektedir. Bunlarda (a) bara-2, bara-4 arası güç akışı ve (b) bara-4, bara-5 arası güç akışı venlmıştır. Tablo-3 den herbir hattaki güç akışı deterministik yöntem için de venlmıştır.

5- SONUÇLAR

Tablo-3 den görölebileceği gibi eğer bir deterministik güç akışı çalışması umulan düğüm venleri kullanılarak yapılırsa, umulan yük akışı elde edilebilir ancak Standard sapmanın bilgisi elde edilemez. Bazı düğöme ait venlerin Standard sapması oldukça küçüktür. Fakat Şekil-1 den açıkça göröldüğü gibi, yük akışındaki birkaç Standard sapma büyüktür.

Tablo-1. Sistem Bara Verileri (Şekil-1)

Bara	Olasılık Fonk.	ünite Sayısı	Güç MV	Devredisi Katsayısı
1	Binomal	1 Gen.	110	0.0148
2	Binomal	1 Gen.	130	0.0049
2	Ayrık	Yük	-10	0.1
			-15	0.15
			-20	0.1
			-18	0.3
			-16	0.2
			-40	0.2
3	Ayrık	Yük	-65	0.35
			-85	0.15
			-70	0.12
			-7*	0.1
			-30	0.1
			-35	0.3
4	Ayrık	Yük	-40	0.25
			-25	0.2
			-36	0.15
			-15	0.2
			-18	0.3
			-20	0.25
y	Ayrık	Yük	-17	0.1
			-16	0.2
			-19	0.2
			-20	0.1
			-18	0.15
			-15	0.25
6	Ayrık	Yük	-16	0.3
			-19	0.2
			-20	0.1
			-18	0.15
			-19	0.2
			-15	0.25



Şekil-1. Örnek Enerji İletim Sistemi

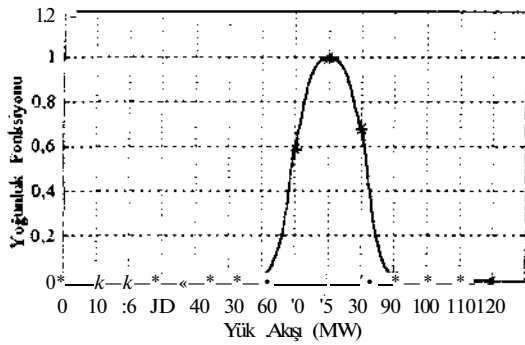
Bu 1 düğümü ile 3 düğümü arasındaki hat için yaklaşık olarak %15 dir. Şekil-2 deki Eğriler güç sistemi mühendislerine herbir hatta oluşan güç akışının olasılığını değerlendirmeyi sağlamaktadır.

Tablo-2. Sistem Hat Verileri (Şekil-1).

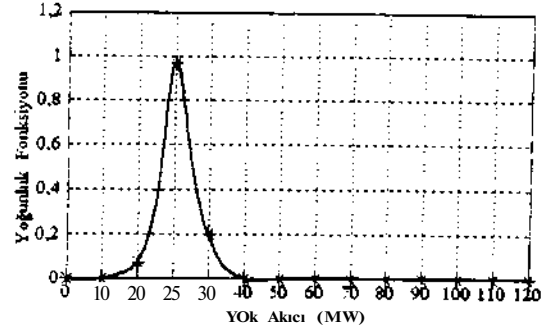
hal	i bara	j bara	reaktans a	Şönt(B/2) Admitans
1	1	3	0.09	0.0053
2	2	4	0.30	0.0176
3	1	5	0.48	0.0282
4	3	4	0.12	0.0071
5	3	5	0.12	0.0071
6	4	5	0.12	0.0071
7	5	6	0.12	0.0071

Tablo-3. Örnek Sistem için Yük Akışı

Bara i-j	Deterministik Yük Akışı MW	Olasılıksal Yük Akışı MW u	Stand. Sapma %σ
1-2	-39.4810	-41.0035	5.158
1-3	53.4810	53.6728	15.29
2-4	75.5191	75.4220	5.226
3-4	-15.9366	-15.7136	4.543
3-5	9.4175	9.9035	2.818
4-5	25.5825	25.6171	2.460
5-6	17.0000	17.1056	1.775



(a)



(b)

Şekil-2. (a) Bara 2-4 arasındaki, (b) Bara 4-5 arasındaki Güç Akışı

KAYNAKÇA

- [1] Borkowska, B., " Probabilistic Load Flow ", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-93, 1974, pp. 752-759.
- [2] Stevenson, W. D. " Elements of Power System Analysis", 4th Edition, McGraw-Hill, Newyork, 1984.
- [3] R. N. Allan, B. Borkovska, C. H. Grigg, " Probabilistic Analysis of Power Flows", Proceedings of the IEE, Vol. 121, No. 12, pp. 1551-1556, 1974.
- [4] Papoulis, A., " Probability, random variables and stochastic processes" McGraw-Hill, 1965.

ÖZGEÇMİŞ



1979 yılında İ.D.M.M.A. Elektrik Fakültesinden mezun oldu. 1982'de lisans üstünü bitirdi. 1992'de İ.T.Ü Elektrik Fakültesinde Doktor Unvanı aldı. Halen Sakarya Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümü Tesis Ana Bilim Dalında Öğretim Üyesi.

TEK FAZLI TRANSFORMATÖRÜN 5-20 kHz İLETİŞİM FREKANSLARINDA MODELLENMESİ

Osman ÇEREZCİ* M. Server FIRAT² Nejat YUMUŞAK³ Okan özgönel⁴

1. Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar Müh. Bölümü
2. Sakarya Üniversitesi, Elektik-Elektronik Müh. Bölümü
3. Dumlupınar Üniversitesi, Elektik-Elektronik Müh. Bölümü
4. 19 Mayıs Üniversitesi, Amasya M. YO.

Özet

Dağıtım hatlarında bilgi iletimi ile otomasyonun sağlanması amaçlı çalışmalar son yıllarda yoğunluk kazanmaktadır. Dağıtım sistemi üzerinde bilgi iletimi, yük yönetimi, otomatik besleme, tüketim kontrolü ve tespiti, büyük yerleşim birimleri için çok daha önemlidir.

Enerji dağıtım şebekeleri üzerinde bilgi iletimi ve okunmasına yönelik çalışmaların 5-20 KHz frekans aralığındaki sinyaller ile yapıldığı görülmektedir. İletişimin dağıtım sistemi üzerinden gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalarda, ağırlıklı olarak, enerji dağıtım hatlarının iletişim sinyalleri üzerindeki bozucu ve zayıflatıcı etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarda en dikkat çekici noktalardan bir taneside transformatörlerin sinyaller üzerindeki zayıflatıcı etkileridir.

Bu çalışmada, tek fazlı çekirdek tipi model bir transformatörün 5~20 KHz frekans aralığındaki iletişim sinyallerine karşı sargı empedans cevapları deneysel olarak elde edilmiştir.

1. Giriş:

Transformatörler dağıtım şebekelerinde 50~60 Hz alçak frekans seviyesinde kullanılmak üzere üretilmektedir. Alçak frekans seviyesinde kullanılmak üzere üretilen transformatör sargılarına iletişim

sinyalinin uygulanması durumunda, sargı modellenimin elde edilmesi gerekir.

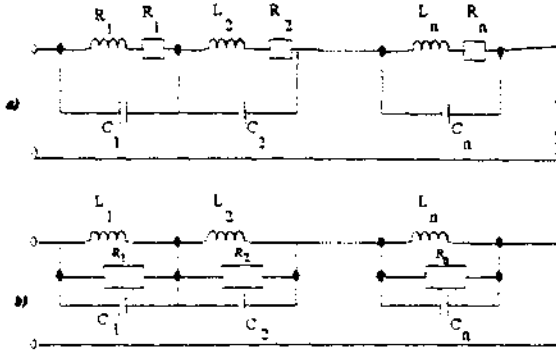
Dağıtım transformatörlerinin yüksek frekanslarda modellenmesi ve empedans ölçüm çalışmaları A. O. Sosyal tarafından gerçekleştirilmiştir. [1] 5~20 KHz iletişim sinyallerinde 25 KVA gücünde dağıtım transformatörünün empedans değişimleri Ken C. SHUEY tarafından analiz edilmiştir. [2]

Bu çalışmanın ilk bölümünde yüksek frekanslarda transformatör empedans devre modelleri verilerek, modellere uygun yapısal parametreler yardımıyla empedans ve admitans ifadeleri tanımlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, tek fazlı bir orta gerilim transformatörünün sargı uç empedanslarının yüksek frekanslarda değişimi ve sinyalin sargı ve demir çekirdekte uğradığı bozulma ve zayıflamalar elde edilen sonuçlar ile gözlenmektedir.

2. Yüksek Frekanslarda Sargı Modeli:

Tek fazlı transformatör sargılarına uygulanan sinyal frekansı yükseldikçe, iletkenlerdeki derin etkisi (skin effect) sargılar arası kapasite değeri ile birlikte büyüyecektir [4][5]. Bu durum Şekil 1' deki gibi Foster devresi biçiminde modellenmektedir [1].



ŞekiL1: Transformator sargılarının Foster tipi yüksek frekans modeli a) Kayıpların seri b) Kayıpların paralel olması hali.

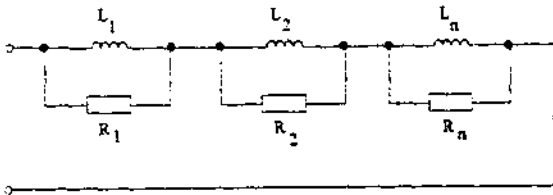
Şekil. 1 'deki Foster Öpi empedans modelinde omik direçle gösterilen kayıpların ihmal edilmesi durumunda transformatorün yüksek frekans eşdeğeri Şekil.2 'de görüldüğü gibi paralel L-C devresi olarak modellenmektedir. [1]

Eşdeğer devre modelinin oluşturulmasında yalnızca sargı faktörlerinin değil, aynı zamanda demir kayıplarını veren manyetik devre parametrelerinde analizi gerekecektir. [4]

(1) ve (2) ifadeleri ile tanımlanan fuko ve histerezis kayıp bağıntılarından da anlaşıldığı gibi frekansın demir kayıpları üzerinde etkileri olduğu bilinmektedir. [4] ve [5]

$$P_e = a_e \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot B^2 \quad (\text{W/kg}) \quad (1)$$

$$P_h = o_{fc} \cdot f \cdot B \cdot l \quad (\text{W/kg}) \quad (2)$$



ŞekiL2: Transformator sargılarının L-C devresi şeklinde modellenmesi

3. Eşdeğer Devre Modelinde Empedans ve Admitans İfadesi

Elektrik tesislerinde meydana gelen arızalar, açma-kapama işlemleri veya atmosferik deşarjlar nedeniyle transformator sargılarında meydana gelen olaylar geçici rejimde incelenmektedir. [1][3][5].

Çalışmamızın karakteri ise; eşdeğer devre modelinin sürekli hal ifadeni üe tanımını gerektirmektedir. [4],

L] sargının eşdeğer endüktansı, K\ sargılann alternatif akım direnci, C \ sargılar arasında oluşan kapasite olmak üzere; Şekil. 1 'deki devre de eşdeğer empedans

$$Z_1 = \frac{R / (\omega C_1)^2 - j(R^2 / (\omega C_1) - L_1 / (\omega C_1)^2 + \omega L_1 C_1)}{R^2 + \{1 / (\omega C_1 - \omega L_1)\}^2} \quad (3)$$

Şeklinde tanımlanabilir. [4].

Şekil.3 'deki paralel kayıplı devre için, frekans döneminde

$$G = R^{-1}, B_c = \omega C, B_L = (\omega L)^{-1} \quad (4)$$

olmak üzere admitans ifadesi

$$Y = G + j(B_c - B_L) \quad (5)$$

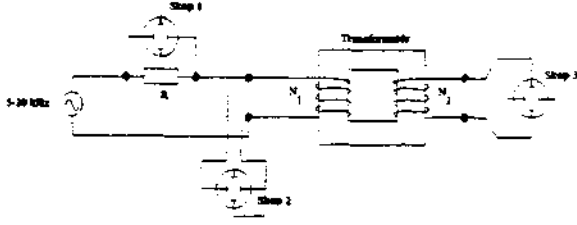
bağıntısı ile tanımlanmaktadır.

(5) nolu ifade, bilinen paralel rezonans tanım bağıntısıdır.

4. Deneysel Uygulama:

Uygulamada, herhangi bir transformatorün, sargı amper-sanımı çekirdek kesiti, iletken kesiti, yalıtkan cinsi ve magnetik çekirdek ebatlan gibi üretim aşaması ile ilgili bilgilen, imalatçı firmalar tarafından verilmemektedir. Bir fazlı çekirdek tipi, transformatorün 5~20 KHz aralığı frekanslar için empedans veya

admitans, değerleri Şekil.3 'deki montaj devresi yardımıyla ölçülmektedir.

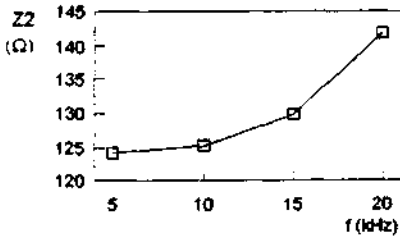
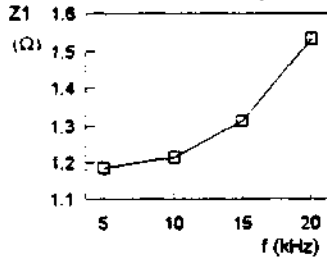


ŞekiLJ: Yüksek frekanslarda sargı empedanslarının ölçümü için kurulan devrenin montaj şeması.

Tablo 1: Model Transformatörün İşletme Değerleri

Gücü - S = 0,4 KVA
işletme Frekansı - S = 50 Hz
işletme Gerilimi - 110/1350 Volt
Güç Katsayısı - 0,8
Primer Bobin Sayısı - 1
Sekonder Bobin Sayısı - 1

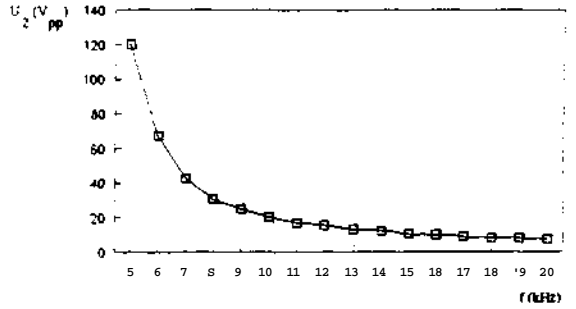
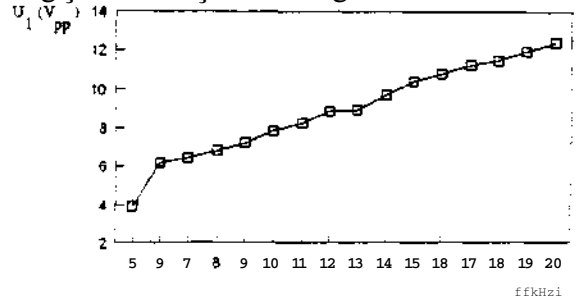
Tablo 1 'de etiket değerleri verilen çekirdek tipi model transformatörün primer sargı uçlarına sinyal jeneratörü üzerinden uygulanan sinüs biçimli iletişim sinyali ile primer ve sekonder sargının Şekil.4 'deki empedans eğrileri elde edilmiştir.



ŞekiL4: Primer ve sekonder sargı uç ölçümleri ile elde edilen empedans eğrileri.

Primer sargı uçlarına uygulanan iletişim sinyalinin frekansı değiştirilerek sekonder

sargılardan elde edilen sinyal genliğindeki değişimler ise Şekil.5 'da görülmektedir.



ŞekiLS: Primer ve sekonder sargı uç ölçümleri ile elde edilen genim eğrileri.

Transformatörün Şekil 1.b 'deki yüksek frekans modeli (kayıplı foster devresi) ideal paralel rezonans devresi olarak bilinmektedir.

SONUÇ

5~20 KHz iletişim sinyalinin dağıtım transformatörleri üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, orta genim seviyesinde sargısı bulunan tek fazlı çekirdek tipi transformatör kullanılmıştır.

Tasanmda 50~60 Hz düşük frekans, 400 V ve üzeri genim gibi işletme değerleri için düşünülen transformatör sargılan üzerinde Kiloherertz mertebelerinde sinyal uygulaması durumunda,

- Sargı iletkenlerinde ve sanımlar arasında,
- Magnetik çekirdekte

frekansa bağı parametrik değişiklikler meydana gelmektedir. [4][5] İletişim sinyalinin Şekil 5 'de görüldüğü gibi sekonder uçlarında bazı frekanslar için zayıflamaya uğradığı gözlenmektedir. Sinyalin frekansı ve dolayısı ile den etkisinin artmasının yanında sinyalin sargılarda ve magnetik çekirdekte zayıflaması demir kayıplarının hissedilir şekilde yükseldiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. SOSYAL , A. Oğuz., "Transformatör Sargılarında Oluşan Hızlı Değişimli Geçici Olayların İncelenmesi ve...", İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. İstanbul-1985
- [2]. Shuey, C. KEN., "Distribution Transformers at Power Line Corner Frequencies", GLOBECOM '83, IEEE Global Telecommunications Conference Record, San Diego CA, USA., pp. 483-486, Vol.1, No:28, Dec. 1983.
- [3]. GÜZELBEYOĞLU, N. "Transformatör Sargılarında Aşın Genlim Dağılımı Sorununa Katkılar", İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul 1975.
- [4]. FIRAT, M. Server, "Orta Genlim Transformatorlerinin Yüksek Frekanslardaki Empedans Değişimleri", Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Haziran 1993
- [5]. VAESSEN, P.T.M., "Transformer Model for High Frequencies", " IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No:4, Oct 1988, pp,1761-1768'

ÖZGEÇMİŞLER:



Osman ÇEREZCİ: 1951 yılında Merzifon 'da doğdu. 1976 yılında İ.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümünü bitirdi. 1985 yılında U.Ü. FBE 'de Doktorasını tamamladı. 1994 yılında doçent oldu. Halen Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Müh. Bölümünde görevini sürdürmektedir.



M. Server FIRAT: 1962 yılında Diyarbakır 'da doğdu. 1987 yılında Gazı Üniversitesi 'nde lisansını 1993 yılında da Marmara Üniversitesi 'nde FBE 'de yüksek lisansını bitirdi. Halen Sakağa Üniversitesi 'nde Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora yapmakta olup, aynı Üniversite 'ün Elektrik Elektronik Müh. Bölümünde uzman olarak çalışmaktadır.



Okan ÖZGÖNENEL: 1967 yılında Samsun 'da doğdu. 1989 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Lisans. 1992 yılında MÜ. FBE 'de yüksek lisansını bitirdi. Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora çalışmalarına devam etmekte olup, aynı zamanda 19 Mayıs Üniversitesi Amasya M.Y.O. 'da öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.



Nejat YUMUŞAK: 1972 yılında Kırşehir Karaman 'da doğdu. 1993 yılında İ.T.Ü. Sakarya Müh. Fakültesi 'nde lisansını bitirdi. Halen Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 'nde yüksek lisans yapmakta olup, aynı üniversitenin Elektrik Elektronik Müh. Bölüm 'ünde Arş. Gör. olarak çalışmaktadır.

ÜÇ FAZLI ŞEBEKE TRANSFORMATÖRÜNÜN MİKROKONTROLÖR İLE KORUNMASI

Ayhan ÖZDEMİR, M Server FIRAT

SAÜ Elektrik-Elktronik Mühendisliği Bölümü -Adapazarı

ÖZET - Enerji *AaŞtUm* sistemleri üzerinde önemli bir yere sahip olan Transformatörlerin sürekli ve yüksek güvenilirlik ile çalışmasını imalattaki faktörler yanında, **İyi bir ydrlAt. İrrmmmaîanna** da bağlıdır.

Ülkemizde şu *«mfa»* uygulanmakta olan transformatör korumaları, diferansiyel röle, tennik-magnetik şalter, bucholz rölesi gibi sistemler **sayesinde gerçekleştirilmektedir.**

Bu çalışmada transformatörde meydana gelecek arızalar mikrokontrolörün merkezi organizasyonu altında sansarlar yardımı ile değişic noktalarından elde edilen sıcaklık VB akün işaretlerinin değerlendirilmesi sonucu koruma *«MInw»* **mmçLanmaktadır.**

2. GİRİŞ

Büyük güçlü transformatörlerde kesici VB küçük transformatörlerde termik-magnetik şalter ile *«ngntum»* kısa devre vs aşın alam korumasının yanında, **harfampci** bir arıza sonucu oluşacak ısınmalarda kanıma sağlamayı amaçlayan bucholz rölesi **kullanılmaktadır.**

Herbiri kendi amacına yönelik koruma sağlayabilen bu sistemlerdeki ortak özellik, merkeâ bir koordinasyon ile çalışmamalarıdır.

\fikroantrolör, MtB (Merkezi işlem birimi) ADC (analog dijital çevirici), timer, EPROM ve Oiriş çıkış porüanndan oluşmaktadır. Mikrokontrolör topladığı verileri değerlendirerek sistemin istenen esaslara göre **atışmasını** sağlayan sistem koordinatördür.

Bu *«lynmr<»* **mifTnkontnlAr** yardımı ile istenen amaçlara uygun iyi bir koruma **İranrtİTumyımı «mçlanmaktadır.**

Bu sistemde birinci kısım, **transformatörün «p4mrcW» tarafından nlniYi ve sıcaklık yükselmelerini sezen »imn transibrmatörü ve termistörlerden oluşmaktadır.**

İkinci kısımda, akün trafosu vs termistÖTlerden gelen bilgileri **mikroişlemcinin** kullanabileceği hale dönüştüren ölçü devreleri üçüncü kısımda ise, mikrokontrolör ve yazılımı **bulunmaktadır.**

2. Sû/anin Genel Yapısı:

Şekil -1 'de görülen üç fazlı bir enerji **dağıtım sistemi «TİrfTİfaLS»** **prİtnari. OÇ-g^II** sekanderi yıldız bağlı dağıtım transiömatörünün yük *«trrtİfntal»* sargılan üzerindeki tennistörler ile *«rg!»* sıcaklıkları ölçülmektedir. Transformatör *«Inyırfa»* ölçü hücrelerinde yer **alan »imn»** transformatörleri ile de yük akımları akım ölçü devrelerine iletilmektedir.

Ölçü devreleri ise ölçü trafolarının çıkışına değerlendiren akım ölçü devresi ve termistör *«alnyıvin^i s)«Hİftı»* ölçen sıcaklık ölçü devresinden ibarettir.

Hor iki ölçüdevresi salaşından elde edilen bilgiler ST6210 mikrokontrolör üzerinde gerçekleştirilen yazılım yardımı ile değerlendirilerek kesici kontrol *«yilmelfteftir.*

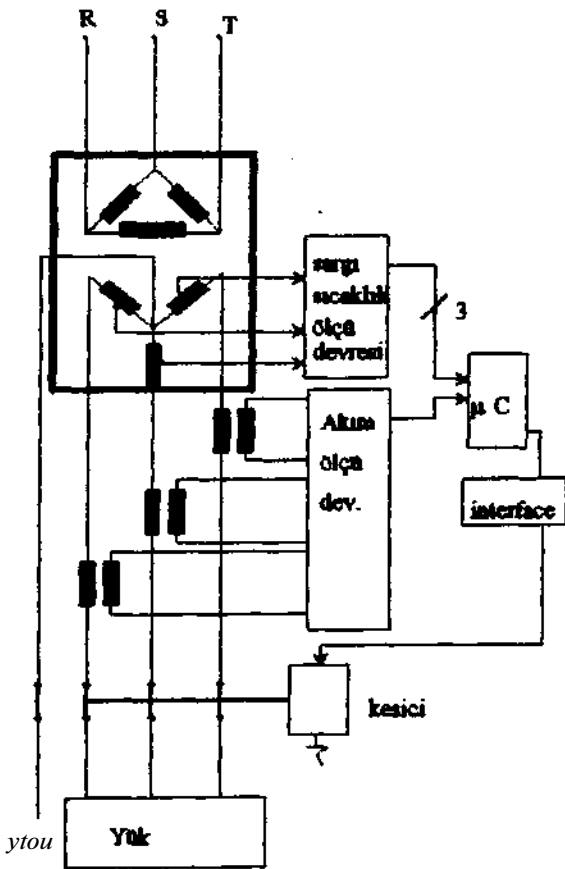
3. Ölçü Devreleri

Şekil -2 'de verilen akım ölçü devreleri

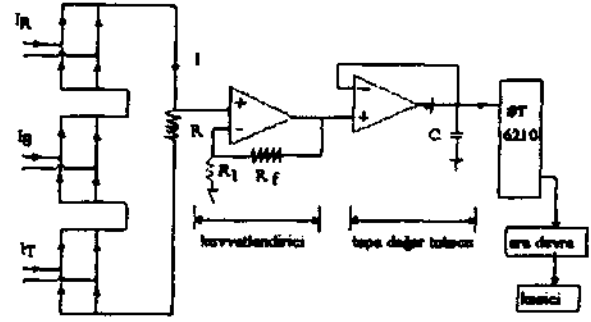
- Doğrultuou devresi
- Kuvvetlendirici devresi
- Tepe değer tutucu devresi almak üzere üç kısımda düşünülmüştür.

Yük akımı Şekil 2 de görüldüğü üzere üç faz doğrultulup ölçüm seviyesi 0-5 volta kuvvetlendirilip tepe değeri okunmaktadır. Oç fazın herhangi birinde meydana gelebilecek lasadevre veya arıza tutucu çıkışında »ezileceğinden rnikro kontrolör gerekli pulsları üretip kesiciyi açacaktır.

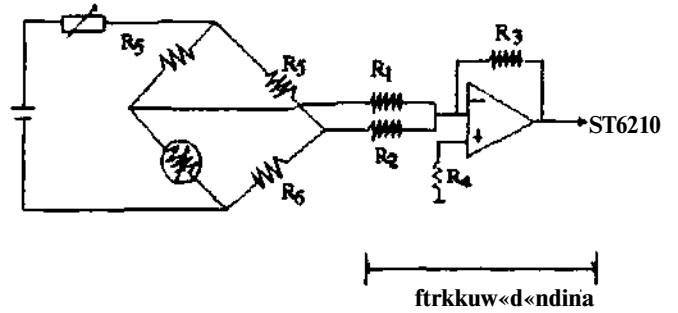
Şekil 3 de sıcaklık ölçü devresi görülmektedir. Transformatörün aşın yükü karşı korunabilmesi için sargı sıcaklıklarının algılanması ve şuur değeri geçtiğinde, kesicinin açması gerekmektedir, ölçümlerin (nln-m, Sicaklık) rlf ^r.d^ncrtirilm^ImTVICT sonra gerekli pulsları üretilmesi ile trafo aşın yüklerle VB kSadeVTCSİCre karşı İcanınımlıdır.



Şekil 1. Oç fâzlı şebeke transformatörünün korunması için taşıyıcının devrenin genel yapısı



Şekil -2 Akün ölçü devresi montaj şeması



Şekil-3 Sıcaklık ölçü devresi montaj şeması

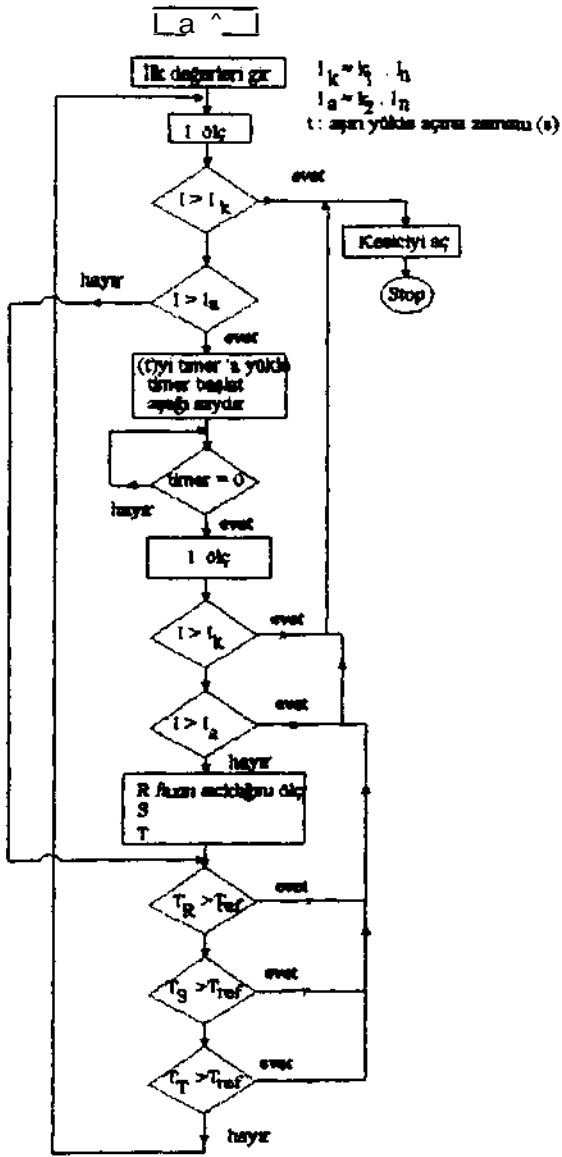
4. MiArokorttrotör ve Yastun Algoritman

Şekil -4 'de blok şema olarak donanın yapım verilen ST6210 mikroişlemci giriş bilgileri ölçü devrelerinden alınmaktadır. 8 bit Ük mikro işlemci esaslı mikroişlemci, için gerçekleştirilen yazılım algoritması Şekil -5 'de verilmektedir.

Mikroişlemcinin, A, B, C portlarından sırası ile A4-A7, B0-B7 ve C4-C7 pinleri analog giriş olarak programlanabilmektedir. ST6210'da 8 bit anışıl yaklaşımlı ADC mevcuttur. Analog giriş yapılan pinler sua ile seçilerek okunur, ve o nıfali sıcaklık ve alfm bilgisi elde edilir. Gerekli gecikmelerin elde edilebilmesi için gecikmeler yazılımla yapılabileceği gibi yine mikroişlemcilerde bulunan sekiz bitlik programlanabilir timer ile de yapılabilmektedir.

Algoritmada I_K , kısa devre akım, I_a ise aşın akım değerini göstermektedir.

korunmaya alınmaktadır. Kısa devre aranda ise geçikmesiz olarak trafı > korunmaktadır.

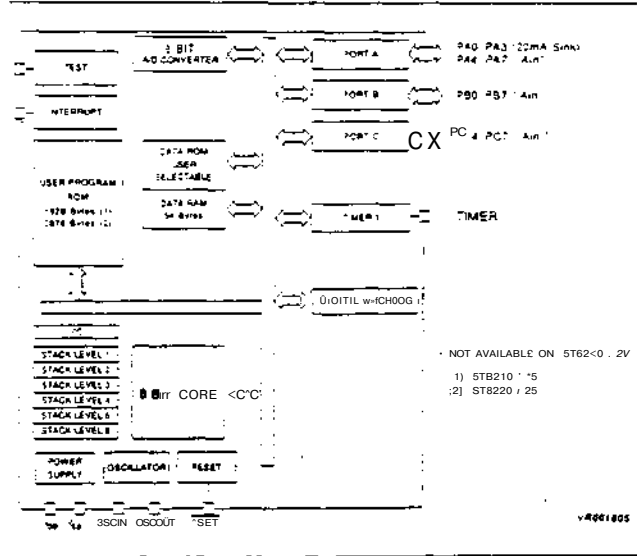


Şekil -5 Koruma sisteminin yazılım algoritması

Mikrokontrolöre yazılımla yüklenecek tüner fonksiyonunun zamanı (t), aşın akımda kesicinin açması için gereken saniye olarak süre olup, bu değer transformatör etiket değerlerine göre işletme şanlarında tesbit edilecektir.

Algoritmada T_R , T_s , T_j parametreleri termistorler ile ölçülen sargı sıcaklık, $T^$ ise kritik sargı sıcaklık değerleridir.

Aşın akımda trafonun kaç saniyede açacağı önceden set edildiğinden t süresi sonunda aşın yük devam ediyorsa trafo



Şekil 6. Mikrokontrolör blok donunum

SONUÇ:

3 fâzlı şebeke transformatörünün konvansiyonel mctodlarla korunmasının yanında, daha hızlı ve güvenli bir şekilde korumanın çağlanmaflim amaçlayan mikrokontrolör yardımı ile tasarım düşünülmüştür.

Sistemde sargı sıcaklığının arışı sekonder sargılara yerleştirilen termistorler ile, transformatörün yük akımı > aşırı yükselmeler ve kısa devre akından ölçü transformatörleri ile tespit edilmektedir.

ST 6210 Mikrokontrolör üzerinde yapılan yazılım ile iyi bir koruma organizasyonu amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR:

BODUROĞLU, T., "Elektrik Makinaları Dersleri, Transformatörler", Beta Basım Yayım Dağıum A.Ş., 1988.
 PASTACI, H., " Elektrik ve Elektronik ölçmeleri ", Nesil Matbacılık, 1989.
 ST6210 Detabook

Ayhan ÖZDEMİR

1964 yılında Sakarya Akyazasda doğdu. İTÜ Elektrik Fakültesinden 1986'da lisans, 1989'da İTÜ FBE Kontrol Bilgisayar Anabilim Dalından Yüksek lisans derecesi alan yazar halen İTÜ FBE7 de Doktora çalışmasını devam etmekte olup SAÜ Elektrik Mühendisliği Bölümünde Arş.Gör. olarak çalışmaktadır.

Server FIRAT

1962 yılında Diyarbakırda doğdu. 1987 de Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde lisans, MÜ FBE1 de yüksek lisansı bitirdi. Halen SAÜ FBE doktora çalışması yapmakta olup Aynı Üniversitenin Elektrik Mühendisliği Bölümünde çalışmaktadır.

ELEKTRİK ENERJİ İLETİM SİSTEMİ GENİŞLETME PLANLAMASI PROBLEMİ, KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE MATEMATİK GÖSTERİLİM ÜZERİNDEKİ ETKENLER

Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU

M. Alp BATMAN

Nesrin TARKAN

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80191 Gümüşsüyü - İSTANBUL

Özet: Bu çalışmada, elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması problemi tanımlanarak karşılaşılan sorunlar açıklanmış ve problemin matematik gösterilimi dolayısıyla, çözüm algoritmaları üzerindeki etkenler verilmiş, sistem yaklaşımı içerisinde gerekli değerlendirmeler yapılarak sınıflandırılmış ve aralarındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

1. İLETİM SİSTEMİ GENİŞLETME PLANLAMASI PROBLEMİ

Elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması çalışmalarının amacı, öngörülen teknik, finans ve güvenilirlik ölçütleri sağlanırken, geleceğe ilişkin olarak tahmin edilen yük talebini en düşük maliyet ile karşılayabilecek şebeke yapısını belirlemektir. Bunun sonucunda elde edilen tesis planları, gelecekteki enerji iletim sistemi şebeke yapısındaki iletim donanımlarının, ne kapasitede, nereye ve ne zaman bağlanması gerektiği sorularına yanıt vermek durumdadır. İletim sistemi genişletme planlaması süreci genellikle, uzun dönem planlaması ve orta dönem planlaması olmak üzere iki evre içerisinde değerlendirilmektedir. Uzun dönem planlaması, farklı seçeneklerin incelenbilmesine ve bunların karşılaştırılabilmesine olanak sağlarken, kısa dönem kararlarının alınmasında ve yatırım programlarının geliştirilmesinde bir kılavuz olarak işlev yüklenir [1,2,3].

2. UZUN DÖNEMDE ŞEBEKE YAPISINDAKİ GELİŞMELER

Elektrik enerji iletim sistemi planlaması sürecinde iletim sistemi şebeke yapısının, gözönüne alınan planlama evrelerindeki

koşullara bağlı olarak geliştirilmesi, genişletilmesi gerekmektedir. Uzun dönemde, elektrik enerji iletim sistemi şebeke yapısında gelişimi zorunlu kılan durumlar;

- Mevcut sisteme yeni üretim barası veya haralarının eklenmesi,
- Mevcut sisteme yeni yükler ve bunların bağlandığı yeni yük haralarının eklenmesi,
- Üretim ve/veya yük artışlarına bağlı olarak iletim kapasitesini artırmak amacı ile mevcut iletim koridorlarına yeni iletim devreleri eklenmesi ve/veya yeni iletim koridorlarının oluşturulması,

şeklinde sıralanabilir [1,2].

İletim sistemi genişletme planlaması çalışmaları gerçekleştirilirken, gelecekte sisteme girmesi öngörülen üretim birimleri ve/veya merkezleri ile tüketim merkezlerinin mevcut sisteme ekonomik ve güvenilir olarak ne şekilde bağlanacağı, gerekli donanımların ne karakteristikte, nereye, ne zaman kurulacağı sorularına yanıt aranır.

3. KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması problemi, elektrik enerji sistemlerine ilişkin planlama çalışmaları içerisinde çözümü en zor olan problemlerden birisidir.

Elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması temelde, çok karmaşık yapıda, doğrusal olmayan bir matematik optimizasyon problemidir. Problemin karmaşıklığı esas olarak, gözönüne alınması gereken teknik ve ekonomik kısıtlamaların fazlalığından, bunların matematiksel olarak ifade ve analiz edilmesinde karşılaşılan güçlükler ve hatta olanaksızlıklardan, dolayısıyla problem değişkenlerinin çok büyük sayılara ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca incelenen sistemin bcyutu büyüdükçe, gözönüne alınabilecek seçeneklerin sayısı da üstel olarak artmaktadır [1,3,4].

Başlangıçta var olan şebeke yapısından ayrı halde bulunan haraların şebeke yapısı içerisine nasıl sokulacağı başka bir deyişle, enerji sisteminde gelecekte ortaya çıkması öngörülen yeni haraların mevcut şebekeye en uygun ne şekilde bağlanması gerektiği probleminin çözümü, genellikle matematiksel bazı bağlantıların kurulması ile mümkün olmaktadır [4,5]. Enerji sistemlerinin işletme özelliklerinden farklı olarak geliştirilen matematik ifadeler ise yanıltıcı sonuçlara neden olabilmektedir.

4. MATEMATİK GÖSTERİLİM ÜZERİNDEKİ ETKENLER

İletim sistemi genişletme planlamasına yönelik olarak, günümüze kadar geliştirilen yöntemlerin değerlendirilmesi oldukça güçtür; çünkü, bunların çok az bir bölümü dışında diğerleri deneysel evrelerinin ötesinde geliştirilememiş veya gerçek planlama çalışmalarında kullanılamamıştır.

Gerçek enerji sistemlerine uygulanabilir planlama yöntemlerini geliştirmek için, kurulacak amaç (maliyet) fonksiyonları ve/veya kısıtlama denklemlerinde bazı yaklaşımlarda bulunulması gerekmektedir.

Optimizasyon çalışmalarını gerçekleştirmek için gereken ilk adım, sistemin modellenmesidir. Fiziksel sistemi matematiksel modeller aracılığı ile göstermek üzere bir takım sadeleştirici kabullerin, varsayımların yapılması zorunludur.

Elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması probleminin matematik gösterilimi üzerindeki etkenler aşağıdaki şekilde verilebilir.

4.1, Maliyet Fonksiyonu

İletim sistemi planlaması probleminin çözümüne yönelik olarak oluşturulan matematik modellerde amaç (maliyet) fonksiyonu, çeşitli etkenlere bağlı olarak tanımlanabilmekte ve gelecekte elektrik enerji sistemine eklenmesi öngörülen enerji iletim hatlarına ilişkin sabit yatırım maliyetleri ile işletme ve bakım maliyetlerini kapsayabilmektedir [2,6].

En genel halde, güncelleştirilmiş değer olarak en küçük değeri aranan amaç fonksiyonu

$$C = \sum_{t=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NL} CF_{ti} + CV_{ti} + CL_{t,i} \quad (1)$$

biçiminde verilebilir. Burada; $CF_{t,j}$, t planlama zaman döneminde i hattının güncelleştirilmiş değer olarak sabit yatırım maliyetini, CV_{tj} ve CL_{tj} sırasıyla, güncelleştirilmiş değer olarak değişken maliyet ile enerji kayıp maliyetini göstermektedir. NT, planlama dönemlerinin toplam sayısını, NL ise mevcut ve gelecekteki iletim koridorlarının toplam sayısını göstermektedir. Enerji iletim hatlarına ilişkin yatırım maliyetleri, farklı planlama zaman dönemleri üzerinde gerçekleştiğinden, yaklaşık olarak doğrusal biçimde ifade edilebilmektedir. İletim kayıplarına ilişkin maliyetler, doğrusal olmayan bir yapıdadır ve planlama dönemleri üzerinde gözönüne alınacak tüm inceleme periyotları için yük dağılım eğrilerinin bilinmesini gerektirmektedir. Geleceğe yönelik yük dağılım eğrilerinin kesin olarak saptanması mümkün olmadığından, bir öngörü şeklinde bu maliyet fonksiyonu içerisine alınabilmektedir. Ayrıca, çevresel, sosyal, ekonomik, politik, hukuki, vb. olarak sıralanabilecek maliyet unsurlarının, maliyet fonksiyonu içerisine alınmasının söz konusu olabilmesine karşın, bunların sayısal olarak saptanmasında karşılaşılan güçlükler ve

hatta olanaksızlıklar, bunların ihmal edilmesine yol açmaktadır.

4.2. Kısıtlamalar

Matematik simülasyon modellerinin kısıtlamaları, kullanılan güç akışı modeline bağlı olarak Alternatif Akım veya Doğru Akım formunda ifade edilen güç akışı işletme denklemleri, hat yüklenmeleri, vb. etkenleri kapsayan nitelik kısıtlamaları ve güvenilirlik kısıtlamaları olarak ana başlıklar halinde verilebilir.

4.2.1. İşletme Denklemleri

Gelecekte elektrik enerji sistemine bağlanması olası iletim hatları ile mevcut şebeke yapısı üzerindeki güç akışlarını, tam veya yaklaşık olarak belirlemek için Alternatif Akım veya Doğru Akım güç akışı modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerin uygulamaları ve bunlardan beklenen sonuçlar değişmekle birlikte, Doğru Akım güç akışı modeli iteratif olmadığından, özellikle enerji iletim hatlarına ilişkin nominal yüklenme sınırlarının aşılması durumunda, doğrusal olmayan güç akışı modellerinde ortaya çıkan yakınsama güçlükleri de söz konusu değildir. Başka bir deyişle Doğru Akım güç akışı modeli kullanılarak, enerji sistemlerinde ortaya çıkabilecek her türlü olumsuz işletme koşulundan bağımsız olarak çözüm belirlenebilmektedir.

4.2.2. Nitelik Kısıtlamaları

Şebeke yapısını oluşturan iletim donanımları üzerindeki güç akışlarına

$$PL_{ti} \leq P_{ti} \leq PU_{ti} \quad t=1,2,\dots,NT \quad (2)$$
$$i=1,2,\dots,NL$$

ve bara gerilim genlikleri

$$VL_{tj} \leq V_{tj} \leq VU_{tj} \quad t=L2,\dots,NT \quad (3)$$
$$j=1,2,\dots,NB$$

ile bara güç açılara

$$5L_{tj} \leq 5_{tj} \leq 5U_{tj} \quad t=L2,\dots,NT \quad (4)$$
$$j=1,2,\dots,NB$$

ilişkin kısıtlamalar söz konusudur. Burada; PL_{ti} ve PU_{ti} sırasıyla, t planlama zaman

döneminde, i iletim hattının aktif güç iletim kapasitesinin alt ve üst sınırlarıdır. VL_{tj} ve VU_{tj} sırasıyla, t planlama döneminde j barasının, birim değer olarak, gerilim genliği üzerindeki alt ve üst sınırlarıdır. $5L_{tj}$ ve $5U_{tj}$ ise, bara güç açılara karşılık gelen sınır değerlerdir. NB, şebekede mevcut ve gelecekte şebeke yapısına eklenecek baraların toplam sayısını göstermektedir.

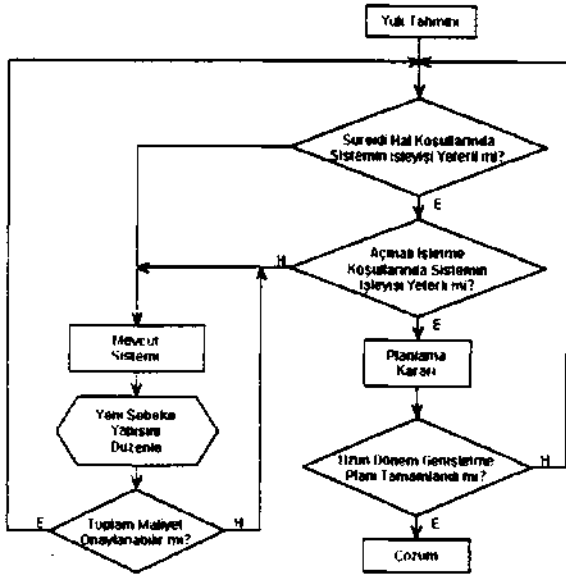
4.2.3. Güvenilirlik Kısıtlamaları

İletim sistemi genişletme planlaması çalışmalarında, işletme noktasının sabit tutulması yararlıdır. Bu durum ise, ortaya çıkacak aşırı yüklenmelerin üretim birimlerinin yeniden programlanması yoluyla değil, yalnızca yük atma yoluyla ortadan kaldırılabileceğinin bir işletme stratejisi olarak tanımlanmasına eşdeğerdir.

İletim sistemi planlaması sonucunda belirlenen nominal (normal işletme koşulları altında optimal) şebeke yapıları, enerji sistemi için öngörülen güvenilirlik ölçütünü sağlamak zorundadır. Her enerji kurumu kendi güvenilirlik ölçütünü farklı kurallara bağlı olarak belirlediğinden, tüm güvenilirlik ölçütlerini kapsayacak tek bir ölçüt tasarlanamamaktadır. Ayrıca, güvenilirlik ölçütleri genellikle şebeke yapısına bağımlı olduğundan, her bir güvenilirlik ölçütünü belirli bir algoritma içerisinde birleştirmek olası değildir. İletim sistemi genişletme planlaması çalışmalarında güvenilirlik ölçütü, iletim sistemi şebeke yapısını oluşturan devre elemanlarına ilişkin bir dizi açma analizi gerçekleştirilerek incelenmeli ve iletim hatları açmalı işletme koşullarındaki yeterlilikleri açısından irdelenmelidir.

Güvenilirlik kısıtlamalarının oluşturulacak matematik model içerisinde ifade edilebilmesine karşın [5,6,7], çeşitli açılardan sakıncalar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle güvenilirlik değerlendirmeleri, enerji sistemine ilişkin olarak öngörülen kısıtlamaları sağlayan en düşük maliyetli şebeke yapısı belirlendikten sonra, ayrı bir evrede gerçekleştirilmelidir. Böylece, enerji sisteminin normal işletme koşulları altında optimal ve açmalı işletme koşulları altında

optimal şebeke yapıları belirlenebilecek ve aralarında karşılaştırmalar yapılmasına olanak sağlanacaktır [1,2,3,4]. Şekil 1'de, elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması işlemine ilişkin akış diyagramı verilmiştir [1,3].



Şekil 1. İletim sistemi genişletme planlaması işlemine ilişkin akış diyagramı.

5. SONUÇLAR

Elektrik enerji iletim sistemi genişletme planlaması algoritmalarını geliştirmek üzere yapılan çalışmalarda, iletim sistemi genişletme planlaması problemi bir matematik optimizasyon problemi olarak yaklaşılarak, eşitlik ve/veya eşitsizliklerden oluşan bir kısıtlama kümesinin etkisi altında bir amaç fonksiyonunun optimizasyonunu sağlamak yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, çeşitli varsayım ve yaklaşımlarda bulunularak farklı matematiksel modellerin oluşturulmasına karşın, standart optimizasyon yöntemlerinden biri, çeşitli bakış açıları altında, çözüm aracı olarak kullanılmış ve enerji iletim sistemi için bir "optimal" genişletme planı elde edilmiştir. Ancak, bulunan "optimal" çözümlerin gerçek anlamda optimal, ekonomik ve teknik olarak uygulanabilir, gerçek yatırım kararlarının alınabileceği en iyi genişletme planları olduğu garanti edilememektedir.

Konu ile ilgili yayınlarda çok yaygın olarak kullanılan "optimal çözüm" terimi, eksik ya da yanlış anlamlar yüklenebilen bir terimdir. Optimal çözüm, oluşturulan sistem modeline, seçilen maliyet fonksiyonunun özelliklerine, gözönüne alınan işletme kısıtlamalarına ve çözüm aracı olarak kullanılan optimizasyon tekniğine bağlıdır. Belirli bir maliyet fonksiyonu için elde edilen optimal çözüm, aynı amaç için oluşturulan başka bir maliyet fonksiyonu kullanılarak belirlenen optimal çözümden farklı olabilmektedir. Ayrıca aynı sistem birbirinden farklı birkaç model ile gösterilebilmekte ve bu modeller türetilirken yapılan yaklaşımların düzeyine bağlı olarak elde edilen optimal çözümler değişebilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] SOHTAOĞLU, N.H., *Elektrik Enerji iletim Şebekelerinin Optimal Genişletme Planlaması*, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.
- [2] CARPENTIER, J.. and MERLIN, A., *Optimization Methods in Planning and Operation of Power Systems*, Int. J. of Electrical Power and Energy Systems, Vol.4, No. 1, January 1982, pp. 11-18.
- [3] GÖNEN, T., *Electric Power Transmission System Engineering; Analysis and Design*. John Wiley and Sons, Inc.. New York, 1988.
- [4] MONTICELLI, A., and SANTOS, A., *Interactive Transmission Network Planning Using A Least-Effort Criterion*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-101, No. 10, October 1982, pp.3919-3925.
- [5] SEIFU, A., SALON, S., and LIST, G., *Optimization of Transmission Line Planning Including Security Constraints*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol.4, No.4, October 1989, pp.1507-1513.
- [6] YOUSSEF, H.K., and HACKAM, R., *New Transmission Planning Model*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.4, No.1, February 1989, pp.9-18.
- [7] FARRAG, M.A., and EL-METWALLY, M.M., *New Method for Transmission Planning Using Mixed-Integer Programming*, IEE Proceedings, Vol.135, Pt.C. No.4, July 1988, pp.319-323.

ÖZGEÇMİŞLER

Yazarların özgeçmişleri, aynı yazarlar tarafından sunulan, "Elektrik Enerji Sistemlerinde Yatırım Planlaması" konulu bildiriye verilmiştir.

BAŞLANGIÇ KOŞULLARININ FERROREZONANS OLAYLARINA ETKİLERİ

ÖZER Mahmut
GOÜ Ekk.Böl.
TOKAT

AKPINAR Sefa
KTÜ Elek.Müh.Böl.
TRABZON

CEBECİ Mehmet
Fü Elek.Müh.Böl.
ELAZIĞ

KÜRÜM Hasan
Fü Elek.Müh.Böl.
ELAZIĞ

ÖZET: Bu çalışmada enerji sistemlerinde karşılaşılan ferrezonans olayının oluşumuna başlangıç koşullarının etkisi ele alınarak incelenmektedir. Sistemi modeleyen devreye ilişkin durum denklemlen, başlangıç koşulları altında önerilen bir yöntemle çözümlenerek değişik koşullarda akım-genim karakteristikleri elde edilmektedir. Bunlar yardımıyla sözkonusu koşulların etkileri incelenmektedir.

1. GİRİŞ

Frekansa bağıllığı yanında genime de bağımlılığı ile doğrusal rezonans farklı olan ferrezonans olayı oluşumu itibarıyla;

- Kaynak ya da işletme geniminde herhangi bir nedenle meydana gelen küçük değişimler
- Anahtar açılışı
- Sistemde bulunan demir çekirdeklerin artırıktır
- Kapasitelerin yük durumu
- Devre parametreleri (R,L,C) gibi etmenlere bağımlıdır. Bir defa ortaya çıktıktan sonra,

- Devre parametrelerine (R,L,C)
- Demir çekirdeklerin demir kayıplarına bağımlıdır. Ferrezonans olayı kendi içerisinde

- Anaharmonik Rezonans
- Altharmonik Rezonans
- Simetrik olmayan Rezonans

diye üç farklı türde sahip olmasına rağmen bu çalışmada sadece Anaharmonik Rezonans ele alınarak bunun oluşumuna yukarıda bahsedilen başlangıç koşullarının etkileri incelenecektir. AKPINAR/1/ analitik bir yöntemle bu tür ferrezonans olayının

kararlılığını incelemekte, "Sıçrama" ve "Düşme" noktalarının kestirimi yapmaktadır. III/ noiu kaynaktan ise önerilen sayısal bir yöntemle, histerisiz kayıpları da işlemlere katılarak bütün ferrezonans türleri incelenmektedir.

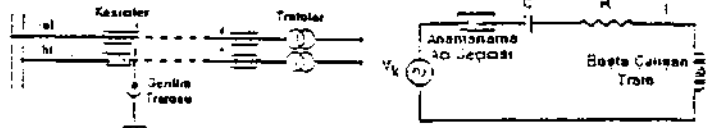
Bu çalışmada yapılan varsayımlar:

- Çekirdekli aygıtların demir kayıpları ihmal edilecektir.
- Sanmar arası kapasiteler ihmal edilecektir.
- Kaynak, ideal bir kaynak olarak ele alınacaktır.

Bu varsayımlar altında çekirdeklerin 3-H karakteristikleri Frolich bağıntıları ile ifade edilecektir.

2. SİSTEM VE İNCELEME MODELİ

Ferrezonans olayları değişik türden sistemlerde görülebilmeye karşın bu çalışmada inceleme modeli Seri Rezonans devre olan Şekil-1 deki, aynı direk üzerinde çift hatlı bir sistem ele alınacaktır.



Şekil-1

Sistem

Şekil-2

Seri Rezonans Devre

Şekil-1 deki sistemde 1 noiu kesici açıldığı zaman genim trafosu enerji altındaki (a) hatundan, iki hat arasındaki kapasitelerden dolayı rezonansa gelebilir.

Dolayısıyla sistemin inceleme modeli şekil-2 deki gibi olur *İM*. Şekil-1 de genim trafosunu rezonansa sokan etkin kapasite (a) ve (b) iletim hatları arasındaki kapasite olup hat-

toprak veya kesicilerin kontak arası kapasiteyi bu haide erkin değillerdir.

3. B-H EĞRİSİNİN MATEMATİKSEL İFADESİ

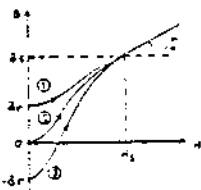
Kullanılan trafoların çekirdek malzemelerine ilişkin B-K eğri, histerisiz çevrimleri gözardı edilmek üzere şekil-3 deki gibi üç farklı gruba ayrılabilir/3/. Gerçek doyma noktası (Hs, Bs) de her üç eğne bir oimasına rağmen dinamik bir davranış incelemesinde çekirdeğin anık mıknatıslık durumuna göre üç eğriden bir ile istemlere başlanır. Histerisiz özelliği ihmai etmemiz nedeniyle H(t)'nin ilk tepe değerinden sonra sadece (2) nolu eğri kullanılır. Bu geçiş, akımın değişim biçimini az da olsa etkiler. (2) eğri on-jine göre simetrik olduğu için diğer yansı çizilmemiştir. Bu eğri yardımıyla başlangıçta çekirdekdeki artık mıknatıslık hesaplarına kaniarak ferrozonans üzerine et-kışı incelenir. Her üç eğne d ve C2 nin değerleri farklı olmak üzere B(H) karakteristiği Froiicr basması olarak büinen;

$$B(H) = \frac{B_s H}{C_1 + C_2 H} - \mu_0 H - B_0 \quad (1)$$

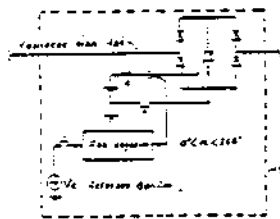
bağıntısı ile ifade edilebilir. Buradan diferansiyel geçirgenlik

$$\mu_r(H) = \frac{dB}{dH} = \frac{C_2 B_s}{(C_1 + C_2 H)^2} M, \quad (2)$$

bağıntısı ile gösterilmiş olur. C1 ve C2 sabitien elimizde bulunan trafo saçıanna ilişkin B(H) karakteristukleninden faydalanılarak belirlenebilir.



Şekil-3
B(H) eğrisi



Şekil-4
Anahtarlama Açık Seçicisi

4. ANAHTARLAMA AÇI SEÇİCİSİ(A.A.S)

Şekil-4 de gösterilen devre kontrollü bir anahtar olup bu anahtar arzu edilen anda kapandıktan sonra hiçbir şekilde akımın veya genlimin değişim biçimini etkilemez.

5. DURUM DENKLEMLERİ VE BAŞLANGIÇ KOŞULLARI

Şekil-2 den

$$V_z(t) = RI + \frac{d\Psi}{dt} + \frac{q}{C} \quad (3)$$

$$I = \frac{V_z}{R} \quad (4)$$

yazılabilir. (3) de akıyı kaçak ve faydalı akı olarak ayıracak olursak

$$I = I_{L} + I_{N} \quad (5)$$

elde edilir. Buradan L: ortaiama akı yolu, A: çekirdek kesin, l: kaçak endüktans, N: sanım sayısını göstermektedir.(4) ve (5)'den çözülen durum denklemleri

$$\frac{dq}{dt} = \left(\frac{L}{T} \right) \quad (6)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{V_z(t) - R \left(\frac{L}{N} \right) H - \frac{q}{C}}{l \left(\frac{L}{N} \right) + N A \mu_r(H)}$$

Bu denklem takımının sağ tarafı ye. dolayısıyla H'a- bağımlı oimasi nedeniyle nonlinear diferansiyel denklem takımıdır. Sayısal çözümleme için Dön Adımlı Runge-Kutta Yöntemi kullanılmaktadır. Zaman anımı olarak, hızlı değişimler sözkonusu olduğu için kaynak gerilimi periyodunun (1/200)'ü yani $\Delta t = 0.0001$ sn alınmıştır. Anahtarlama açısı'nın başlangıç koşulu olarak ferrozonans üzerine etkisini incelemek için

$$f(t) = \sin(\omega t + \alpha) \quad (7)$$

ifadesindeki α 'ya şekil-4 deki A. A. S. yardımıyla $t=0$ da değişik değerler verilir.

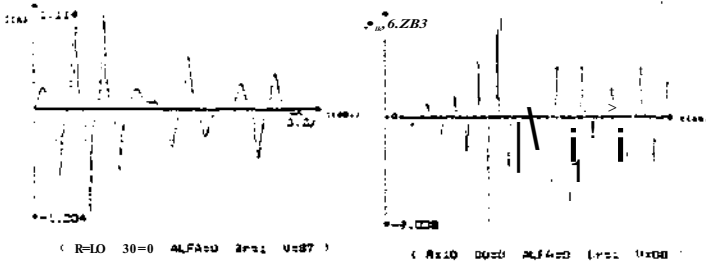
Çekirdek içerisindeki arak mıknatıslığın başlangıç koşulu olarak ferrozonans

üzerindeki etkisini incelemek için (2) nolu bağlantının şekil-3 deki değişik eğrilere ait değişik ifadelerini (6) nolu denklem takımında $u^{\wedge}(H)$ 'n yenne kullanarak hesaplara katmış oluruz. Şekil-1 de hatlar arası kapasitelerin yük durumlarının başlangıç koşulu olarak etkisini incelemek için (6) nolu denklem takımında $q(O)$ 'a değişik değerler veniir.

6. SONUÇLAR VE İRDELEMELER

Çalışmada kullanılan sabitler;
 B-H eğniennın sabiüen(şekil-3 için);
 $H_0 = 14000 \text{ As/m}$, $B_0 < T, ^\wedge = 7.5E-06 \text{ H/m}$
 (1) eğnsi için $C_1 = 1131$, $C_2 = 1.92S$,
 $B_0 = B_r = 1T$; (2) eğnsi için $C_1 = 234.5$,
 $C_2 = 1.071$, $B_0 = 0$; (G) eğnsi için $C_1 = 98.2$,
 $C_2 = 0.7$. $B_0 = B_r = -1T$;
 Trafo sabiden;
 $N = 446$ Sanm, $l = 4.4 \text{ mH}$, $R = 1.65 \text{ Q}$,
 $A = 24.77 \text{ cm}^2$, $L = 0.4059 \text{ m}$

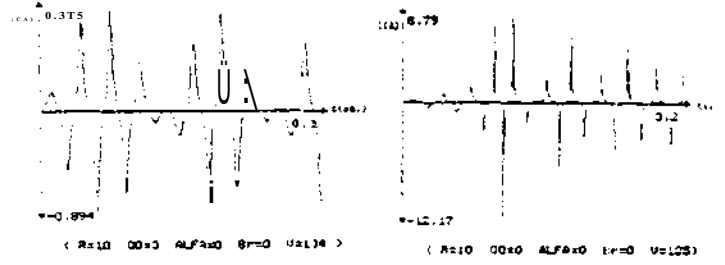
6.1. Anık Miknatıslığın Ferrerezonans Üzerine Edası : (6) nolu denklem takımının çözümüyle elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerle gösterilmiştir:



Şekil-5

Şekil-5'in incelenmesinden görüleceği gibi $B_r = 1T$ için Vic 'nin etkin değeri $V = 57$ Volt iken bir sıçrama yokken $V = 88$ Volt olduğunda bir sıçrama olup akımın en büyük tepe değeri sekiz kat büyümektedir.

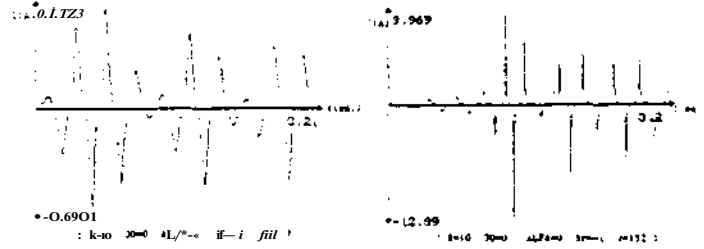
Şekil-6'da da $B_r = 0$ için $V = 134$ Voltta herhangi bir rezonans olmamasına karşın



Şekil-6

$V = 135$ Volt olduğunda rezonans ortaya çıkmakta ve akımın en büyük tepe değeri onbeş kat artmaktadır.

Aşağıda şekil-7'de ise çekirdekteki artık mıknatıslık $3_r = -1T$ iken sıçrama $V = 151$ Voltta görülmemesine rağmen $V = 152$ Volt iken rezonans oluşmaktadır.



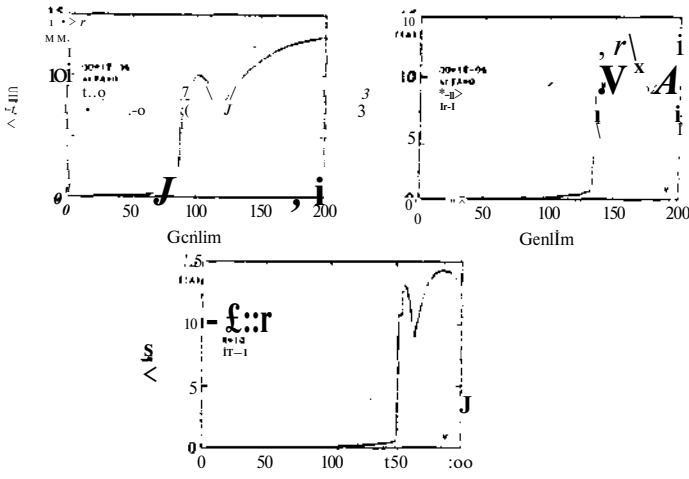
Şekil-7

Bu durumda akımın en büyük tepe değeri rezonansla yirmiş kat artmaktadır.

Şekillerin incelenmesinden, ferro-rezonans sabit tutulan diğer koşullar altında;
 a) $B_r > 0$ ise küçük genim seviyelerinde ortaya çıkıp akımın en büyük tepe değeri diğer durumlara göre daha az katlanmaktadır.
 b) $B_r < 0$ ise büyük gerilim seviyelerinde çıkabilmekte, aynı zamanda akımın en büyük tepe değeri de diğer durumlara göre artmaktadır.

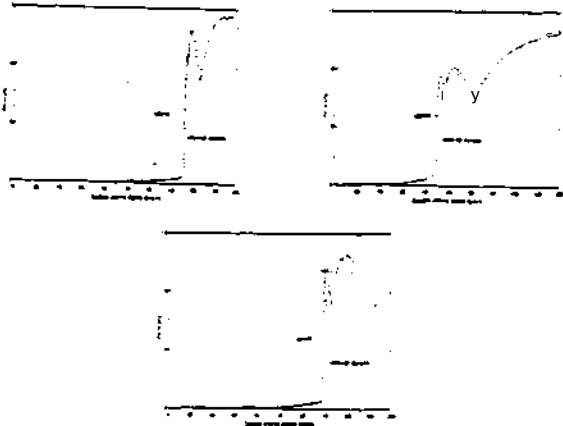
6.2. Başlangıç Yüğü $q(O)$ 'in Ferro-rezonans Üzerine Etkisi : Şekil-5,6 ve 7'nin eşliğinde şekil-3 incelenecek olursa C'deki başlangıç yükü $q(CT)$ ile

- $B_r = 1T$ durumunda rezonans genlimi artmakta, akımın en büyük tepe değeri yükselmektedir.
- $B_r = 0$ durumunda rezonans genlimi ve akımın en büyük tepe değeri düşmektedir.
- $B_r = -1T$ durumunda rezonans genlimi düşmekte ama akımın en büyük tepe değeri yükselmektedir.



Şekil-3

6.3. Anahtarlama Açısının Ferrerezonans Üzerine Etkisi :



Şekil-9

Değişik α değerleri için elde edilen Şekil-9'un incelenmesinden α anahtarlama açısı büyük değerlere çıktıkça rezonansın oluştuğu gerilim seviyesiyle akımın en büyük tepe değerinin yükseldiği görülmektedir.

Bu çalışmada, yukarıdaki incelemelerden de görüldüğü gibi ele alınan parametrelerin ferrerezonans olayının sadece oluşumuna etkileni araştırılmıştır. Araştırma henüz tamamlanmış olmayıp deneysel kısmı devam etmektedir.

KAYNAKÇA

İM AKPINAR , S. ; "An Approach To The Analysis of Fundamental Frequency Ferrerezonance", Electric Machines and Power Systems , No: 18 , 1990

İİ AKPINAR , S. , "Parametric Analysis of Ferrerezonance. Including Kvsteresis Effects"

, Electric Machines and Power Systems , No: 18 , 1990

İV AKPINAR , S. ; "Tek Fazlı Transformatörlerden Oluşan Transformatör Banklarında Açma-Kapama açısının ve Çekirdek Anık Mıknatıslığının Geçici-Hal Davranış Üzerine Etkisi" , Elektrik Mühendisliği II Ulusal Kongresi, Eylül 1987 , ODTÜ,ANKARA



ÖZER Mahmut : 1970 Tokat doğumlu olup 1992 yılında İTÜ Elektronik ve Haberleşme Müh.Böl. 'den mezun oldu. Halen Tokat GOÜ Elektrik Böl. 'de öğretim görevlisi olup KTÜ Elek.-Elektronik Müh. Böl.'de master çalışlarına devam etmektedir.



AKPINAR Sefa : 1948 Erzurum doğumlu olup 1972'de İTÜ Elektrik Müh. Fak.'den mezun olduktan sonra 1974'de KTÜ'de asistan oldu. 1976-1980 yılları arasında University of Strathclyde (İskoçya)'da doktora eğitimini tamamladı. 1982'de Yrd.Doç. , 1986'da Doç. , 1992'de Profesör oldu. Halen KTÜ Elek.-Elektronik Müh. Böl.'de bölüm başkanlığı görevini yürütmektedir.



CEBECİ Mehmet : 1960 Erzincan doğumlu olup 1979'da Elazığ DMMA Elektrik Müh.Böl. bünyesinde 1993'de Yrd.Doç. oldu. Halen FÜ Elektrik Müh. Böl. de öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.



KÜRÜM Hasan: 1956 Elazığ doğumlu olup 1979'da Elazığ DMMA Elektrik Müh.Böl. bünyesinde Halen FÜ Elektrik Müh. Böl.'de Yrd.Doç. olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Üstüniletkenlerin Güç Sistemlerindeki Uygulama Alanları

H.Lale ZEYNELGİL

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı Ayazağa 80626 İSTANBUL

ÖZET

Üstüniletkenler çok geniş olan uygulama alanları ile gelecek için oldukça ümit vericidir. Bu çalışmada önce üstüniletkenler kısaca tanıtılacak ve sonra elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtımındaki uygulama alanları hakkında bilgi verilecektir.

1. GİRİŞ

Üstüniletkenler sıcaklıkları belirli bir değerin altına düşürüldüğü zaman, doğru akım ile elektriksel dirençleri sıfır olan malzemelerdir *İM*. Üstüniletkenlik ilk olarak 1911'de Hollandalı fizikçi Heike Kammerlingh Onnes tarafından, civayı mutlak sıfır civarına soğuttuğu zaman elektrik akımına direnç göstermediğini gözlemesi ile keşfedilmiştir. Üstüniletkenlik durumunun ortaya çıktığı sıcaklık değeri kritik sıcaklık olarak bilinir ve bu sıcaklığın altında dirençleri sıfır olur ve diamagnetizma gösterirler. Kritik sıcaklık değerine göre üstüniletkenler düşük sıcaklık üstüniletkenleri ve yüksek sıcaklık üstüniletkenleri olarak iki gruba ayrılırlar. Sıvı helyum sıcaklığında üstüniletken hale geçen kurşun, kalay, civa gibi metaller ve NbTi, Nb₃Sn, Nb₃Ge gibi metal alaşımları düşük sıcaklık üstüniletkenleri grubuna girerler. Yüksek sıcaklık üstüniletkenleri ise sıvı azot sıcaklığında üstüniletken hale geçen YBa₂Cu₃O₇ gibi çeşitli metal oksitleridir. Bunların üstünlükleri, sıvı azotun sıvı helyuma göre daha ucuz olması ve daha kolay saklanabilmesidir. Sakıncaları ise, akım

taşıma kapasitelerinin çok düşük olması ve kırılma olmalarıdır. Ancak, çeşitli araştırma grupları tarafından geliştirilen üstüniletken malzemeden ince filmler yapma, plazma püskürtme tekniği ile önceden şekillendirilmiş yüzeyler üzerine üstüniletken bileşiklerin kaplanması gibi yöntemler ile bu sakıncalar giderilmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda ancak doğru akımdaki direnç aniden sıfıra düşer. Alternatif akımda ise, normal durumdakine göre, çok küçük olmakla beraber, bir direnç söz konusudur. Bu direncin değeri uygulanan alternatif akımın frekansına ve sıcaklığa bağlıdır.

Tanımdan da anlaşıldığı gibi, üstüniletken malzemeye hiçbir dış magnetik alan uygulanmazken, sıcaklık kritik sıcaklık değerinin altına düşürüldüğünde malzeme tamamen üstüniletken duruma geçer. Bir dış magnetik alan uygulanması durumunda ise, uygulanan alanın belirli değerleri için malzemenin bazı kısımları normal, bazı kısımları da üstüniletken olabilir. Bu olayın gerçekleştiği üç olası durum vardır: Ara durum, karma durum ve yüzey üstüniletkenliği. 1961 yılından beri yapılan araştırmalarla ara durum gösteren malzemelerin asla karma durum göstermedikleri ve karma durum gösteren malzemelerin de asla ara durum göstermedikleri anlaşılmıştır. Buna göre, üstüniletken malzemeler Tip-1 ve Tip-2 üstüniletkenler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tip-1 üstüniletkenler ara durum gösteren

malzemeler olup, kurşun, civa gibi metallerdir. Tip-2 üstüniletkenler ise karma durum gösteren malzemeler olup, daha çok üstüniletken alaşımlar ve bileşikler bu gruba girerler.

Üstüniletkenin güç sistemlerindeki uygulama alanlarından bu çalışmada gözönüne alınanlar, elektrik makinalarında, transformatörlerde ve enerji iletim hatlarında üstüniletken kullanılmasıdır.

2. ÜSTÜNİLETKENLİ ELEKTRİK MAKİNALARI

Üstüniletkenlerin elektrik makinalarına uygulanması Tip-2 üstüniletkenler ile pratik solenoidlerin yapılması mümkün olur olmaz önreilmiştir. İlk denemeler homopolar makinalar üzerinde yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üstüniletkenlerin alternatif akım makinalarına uygulanması ile ilgili ilk denemeler ise, o esnada Tip-2 üstüniletkenlerin soğutulması ile ilgili güçlükler nedeniyle sorunlarla doluydu.

Üstüniletkenli senkron makinaların analizinde ilk çalışmalar makina için yapısal düzenlemenin araştırılmasına yönelikti. Yapılan çalışmalar hep aynı sonuca varmıştır: Üstüniletkenli senkron makina için en uygun yapı, normal iletkenden yapılmış stator sargıları içinde dönen üstüniletken uyarma sargıları biçimindedir *İM, 121*.

Üstüniletkenli senkron makinalar üzerine yapılan çalışmalarda ikinci adım, dönen uyarma sargılarının yarattığı sorunları ortadan kaldırmak için, rotorda bulunan üstüniletken uyarma sargılarının durduğu ve stator sargılarının döndüğü tasarımların denenmesi olmuştur. Sonuç olarak, bu tasarımın sadece 100 kVA' e kadar olan güçlerde mümkün' olduğu görülmüştür.

Bundan sonraki adım, çeşitli küçük makinaların tasarımı ve yapımı

olmuştur. İlk dönen üstüniletken uyarma sargılı senkron generatör 1970' de M.I.T.' de yapılan 45 kVA' lık generatördür *İM, 121*. Bunu takiben, çeşitli araştırma grupları tarafından giderek daha büyük güçlerde üstüniletkenli senkron generatörler yapılmıştır.

Bugün için, yapılan çalışmalar sonucu, senkron makinalarda üstüniletkenlerin en uygun kullanım şeklinin dönen uyarma sargıları biçiminde olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumda, üstüniletkenli senkron makinanın rotorunda oldukça büyük bir akım yoğunluğu ve bunun sonucu olarak büyük bir ampersarım oluşur. Bunun yanısıra, üstüniletken sargı büyük bir manyetik alan oluşturur. Akım ve akı yoğunluklarının büyük olması nedeniyle, üstüniletkenli senkron makinada, hem rotorda ve hem de statorda manyetik malzeme olarak demir kullanılmamaktadır *İM, 121*. Demir çekirdek kullanılmaması ile makinanın ağırlığı ve çekirdekteki kayıplar azalır.

• Faydalı akı yoğunluğu arttığı için, stator kayıpları azalır, ki buda boyutların küçülmesi, verimin artması, ve maliyetin azalması demektir. Diğer bir üstünlük de, senkron reaktansın düşük olması ve bunun sonucu olarak geçici çalışma koşullarında, şebekenin kararlılığının iyileşmesidir *İM, 121*. Bu üstünlüklerin yanısıra, rotor ve stator da demir kullanılmamasının yarattığı bazı sakıncalar da vardır. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için, makina tabakalı demir zırh ile kuşatılır.

Üstüniletkenli senkron makina esas olarak hava-çekirdekli makinadır. Bu yapının getirdiği önemli bir özellik, uyarma sargısı ile stator sargısı arasına bir veya daha çok sayıda olabilen ve rotor ile eşeksenli silindirik ekran yerleştirilmesi gerekliliğidir. Bu ekran(lar)ın temel işlevleri, üstüniletken uyarma sargısını geçici çalışma

koşullarında stator sargılarında üretilen değişken mağnetik alanlara karşı korumak (ekranlamak), bir bozucu sonrasında senkron hız civarında oluşan rotor salınımlarını söndürmek, uyarma ve stator sargıları arasında minimum akı kaçağı sağlamak ve üstüniletken uyarma sargısı için, iyi bir ısı yalıtım sağlamaktır. Birbiri ile çelişkili özellikler gerektiren bu işlevleri gerçekleştirebilmek için, farklı özelliklere sahip iki ekran kullanılır: Birincisi, düşük sıcaklıktı, hafif ve dağılma zaman sabiti uzun olan bir iç ekran olup. görevi üstüniletken uyarma sargısı için. ekranlama ve ısı yalıtım sağlamaktır. İkincisi ise, ortam sıcaklığında, dayanıklı malzemeden yapılmış ve dağılma zaman sabiti kısa olan dış ekran olup, amortisör görevi yapar.

Üstüniletkenli senkron makina ile ilgili çalışmalarda esas amaç, tamamen üstüniletkenli (hem rotor ve hem de statorda üstüniletken sargı kullanılan) makinaların geliştirilmesidir. Yüksek sıcaklık üstüniletkenlerinin bulunması, üstüniletken uyarma sargılı senkron makinaların geliştirilmesini sağlamıştır. Tamamen üstüniletkenli senkron makinalar ise, 50-60 Hz.' de düşük kayıplı üstüniletkenlehn geliştirilmesi ile gündeme gelmiştir 141. Bu makinalarda, ağırlık ve kayıplar, sadece rotorunda üstüniletken sargı kullanılan makinalardakine göre daha da azalmaktadır.

3. ÜSTÜNİLETKENLİ TRANSFORMATÖRLER

60'lı yıllarda büyük miktatlarda kullanılabilecek üstüniletkenlerin bulunması, üstüniletken sargılı transformatörlerle ilgili çeşitli projelerin geliştirilmesine yol açmıştır. 1961' den 1977' ye kadar yapılan çalışmalar genel olarak üstüniletkenli transformatörlerin faydalı olmadığını göstermiştir İM,131J A1. Bunun nedeni üstüniletkenlerin alternatif akımda

küçük de olsa bir elektriksel dirence sahip olmaları ve alışlagelmiş transformatörlerin verimlerinin zaten yüksek olmasıdır. Elde edilen sonuçlardan, düşük sıcaklık üstüniletkenleri kullanılan transformatörlerin ancak 1 MW' dan büyük güçlerde alışlagelmiş transformatörlerden daha verimli olduğu anlaşılmıştır. 1980'lerin başlarında alternatif akım direnci ve dolayısıyla alternatif akım kayıpları düşük olan üstüniletkenlerin geliştirilmesiyle üstüniletken transformatörler tekrar ilgi odağı olmuştur /4/,/5/. Bu transformatörlerin en önemli özellikleri, ağırlığın ve kayıpların azalması, dolayısıyla verimin artması ve mekanik tasarımın oldukça basitleşmesidir.

4. ÜSTÜNİLETKENLİ ENERJİ İLETİM HATLARI

Giderek artan enerji gereksinimine paralel olarak , güç sistemleri de giderek büyümekte ve karmaşıklaşmaktadır. Ayrıca, santrallar yakıt kaynaklarına yakın olması için ya da güvenlik sebebiyle tüketici merkezlerinden uzak yerlere kurulurlar. Dolayısıyla, iletim hatlarının katettikler mesafeler de giderek artmaktadır. Bu nedenle , daha büyük güçleri daha uzak mesafelere iletebilmek için giderek daha yüksek gerilim kademeleri kullanılmaktadır. Ancak, hava hatlarında, kullanılacak taşıyıcı direklerin boyutları ve işgal ettikleri alan , radyo ve TV yayınlarına olan bozucu etkiler, iletilen güç büyüdükçe artan kayıplar ve yeraltı kablolarında ise, tesisin pahalıya malolması ve iletkenin direnci nedeniyle oluşan ısının yayılması gibi sorunlar kullanılacak gerilim değerlerini sınırlamaktadır. Bu sorunların çözümü için, üstüniletkenlerin enerji iletiminde kullanılması büyük üstünlükler sağlayacaktır. Üstüniletkenli enerji iletim hatları, alışlagelmiş yüksek-

basıncılı yağ-doldurulmuş yeraltı kabloları ile karşılaştırıldığında daha verimli, daha düşük gerilimlerde ve daha az masraf ile çalışacaklardır. Literatürde, deneysel amaçlı muhtelif üstüniletkenli kablolar tasarlanmış, imal edilmiş ve denenmiştir/1/,/3/,/6/.

Bir üstüniletkenli alternatif akım iletim hattında oluşan kayıplar üç grupta toplanabilir 121: Alternatif akımla ilgili kayıplar (üstüniletken içindeki akı hareketi nedeniyle oluşur), gerilime bağlı kayıplar (kablo yalıtkanının dielektrik özelliklerine dayanır) ve soğutucunun çalışması için gerekli enerji. Bu kayıpların hepsi de hattın uzunluğu ile doğru orantılı olarak artar.

Üstüniletkenli doğru akım iletim hatlarında ise, akıma ve gerilime bağlı kayıplar sözkonusu değildir. Ancak, bu durumda hattın her iki ucundaki evirici/çevirici istasyonların getireceği ek masraflar ve verimsizlik söz konusudur. Bu masraflar ve kayıplar uzunluktan bağımsız olduğundan, üstüniletkenli doğru akım iletim hatları ancak çok uzun mesafeler için uygun olmaktadır.

Yüksek sıcaklık üstüniletkenlerindeki gelişmeler üstüniletkenli enerji iletim hatları konusundaki çalışmalarını hızlandırmıştır. Bunlar bilinen ilk üstüniletkenlerden daha yüksek akım yoğunluklarına sahip oldukları için, pratik kullanıma daha uygun olmaktadır. Bunun yanı sıra, soğutucu kayıplarında azalma ve sonuç olarak verimde artış sağlarlar.

5. SONUÇLAR

Üstüniletkenlerin bu çalışmada ele alınan güç sistemi uygulamalarının gelecek için çok ümit verici olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, ortam sıcaklığında üstüniletken olabilen ve pratik uygulamalar için gerekli olan eğilip bükülebilme, yüksek akım yoğunluğu gibi özelliklere sahip

malzemeler geliştirildiğinde, enerji üretim, iletim ve dağıtımında gerçek bir devrim olacağını söyleyebiliriz

KAYNAKÇA

- /M L. Zeynelgil, "Üstüniletkenli Senkron Makinalarda Kararlılık Analizi", Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1994
- /2/J.L Smith.Jr, "Overview of the Development of Superconducting Synchronous Generators", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-19, No. 3, May 1983
- /3/R.F.Giese,T.P.Sheahen,A.M.Wolsky D.K.Sharma, "High Temperature Superconductors: Their Potential for Utility Applications", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. EC-7, No. 3, September 1992
- / A/ A. Fevrier, "Latest News About Superconducting Synchronous A.C. Machines", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-24, No. 2, March 1988
- 151 A. Fevrier, J. P. Tavergnier, Y. Laumond, M. Bekhaled "Preliminary Tests on a Superconducting Power Transformer", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-24, No. 2, March 1988
- 161 M.G.Akdoğan, "Süpehletken Kablolar, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü., 1994

ÖZGEÇMİŞ



1959 yılında İsparta'da doğan H. Lale Zeynelgil ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1982 yılında İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi Enerji bölümünden mezun oldu. 1985' de Y.Lisans, 1994 yılında Doktora öğrenimini tamamladı. 1983' den bu yana İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fak., Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı' nda Araş. Görevlisi olarak çalışmaktadır.

NÜKLEER GÜÇ (ENERJİ) SANTRALLERİNİN İŞLETMESİNDEKİ TEKNİK SORUNLAR VE ÇEVRE

Musa ÖZTUFAN

Sadık SİRKEOĞLU

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
İzmir Şubesi Enerji Komisyonu

KONU: Bu bidirimizde; Nükleer güç (enerji) santrallerinin, belli başlı "tasarım esaslı" kazalar sırasında çevreye radyoaktivite yayılmasına engel oluşturmak üzere reaktör korunu çevreden yalıtan "KORUMA KABUĞU" nun dizayn şekilleri ve kaza anında meydana gelebilecek sorunları ile nükleer reaktörlerin operasyon ömürleri süresince güç üretimlerine ve çeşitli ünitelerinde kullanılan malzemeye bağlı olarak oluşan yaşlanma problemleri, güvenlik ve çevre olguları ışığında ele alınmaya çalışılmıştır.

NÜKLEER REAKTÖR KORUMA KABUKLARI

Bir nükleer reaktörün koru (Çekirdeği) büyük miktarda radyoaktif madde içerir ve bunun çok küçük bir bölümü bile açığa çıksa binlerce kişinin ölümüne ve milyarlarca dolar maddi zarara yol açabilir. Böyle bir durumu önlemek için çoğu reaktörün korunu çevreden yalıtan bir koruma kabuğu vardır. Koruma kabukları, belli başlı "tasarım esaslı" kazalar sırasında çevreye radyoaktivite yayılmasına engel oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Tasarım esaslı bir kaza tipik olarak bir reaktör borusunun patlaması nedeni ile reaktörce soğutucu kaybını ve sonuç olarakta büyük miktarda yüksek sıcaklıkta buharın koruma yapısı içine boşalmasını içerir. Koruma kabuğu yoksa, buhar basıncı standart endüstriyel duvar ve çatıları patlatabilir ve atmosfere radyoaktivite yayılır.

Koruma Kabukları için Genel Tasarım Ölçütleri ve Sızıntı Oranı: Koruma kabukları olabilecek her kaza

ya dayanıklı olarak tasarlanmaz; "kabul edilebilir" miktardan fazla radyoaktif madde yaymayan tasarım esaslı kazalara dayanmak üzere tasarlanır. Fakat tüm reaktörlerde koruma kabuğunun tasarım esasını aşan kor erimesi yada hidrojen patlamaları gibi kazalar olabilir. 1990 yılında her biri farklı koruma kabuğuna sahip beş nükleer enerji santralindeki şiddetli kaza riskleri ile ilgili bir incelemede, Çözümlenen beş tasarımdan hiçbirinin şiddetli bir kaza sırasında sağlam kalmayı başaramayacağını göstermiştir. (1) Koruma kabukları üzerinde: reaktöre su sağlamak, güvenlik ekipmanına enerji iletmek yada koşulları izlemek için borular, araçlar ve kabloların koruma yapısına girdiği-çıkacağı çok sayıda nokta vardır. Reaktörden türbününe buhar götüren ana buhar kanalları koruyucu kabuğun delindiği noktalarıdır. Valfler ve kaynak noktaları, koruma kabuğunun bütünlüğünden ödün vererek sızıntı yapabilir. Koruma kabukları, aynı zamanda çalışanların bakım yada onarım yapmak için girip çıktıkları kapı ve kapaklarada sahiptir ve bunlarda sızdırabilir. Sonuç olarak, koruma kabukları genellikle yönetmeliklerin istediği ideal sızdırmaz kalınlıkta sağlamamaktadır.

Koruma kabuğu tipleri, koruma kabuğundan ısı atılması, hidrojen denetimi:

Nükleer enerji santralleri şiddetli kazalar sırasında tehlikeli miktarda hidrojen üretir. Bu kazalarda hidrojenin ana kaynağı, sıcak buharla uranyum oksit yakıt iğnelerini tutan tüpleri

yapmakta kullanılan zirkonyum alaşımı arasındaki bir kimyasal reaksiyondur.

Hidrojenin yanması yada patlaması, koruma kabuğu içindeki güvenlik ekipmanını ve koruma kabuğu girişlerinin geçirimsizliğini bozarak yada kabuğu aşırı basınçla zorlayarak, radyasyon yayılmasına yol açabilir. Genel olarak hidrojen patlamasını önlemek için, ya hidrojen yoğunluğunu patlama düzeyleri altında tutmak yada koruma kabuğu içinde atıl hale getirilmiş veya oksijensiz bir atmosfer sağlamak gerekir. Bir kaza sırasında koruma kabuğunda soğutulması gerekmektedir. Soğutma sistemi, "herhangi bir soğutucu kaybı kazasının ardından, başka ilgili sistemlerin işlevleri ile uyumlu olarak koruma kabuğu basıncını ve sıcaklığını hızla düşürmeye ve onları kabul edebilir düşük düzeylerde tutmaya" hizmet etmelidir. Koruma kabuğundan ısı atılması sisteminin ana bileşenleri düzenli olarak denetlenmeli ve tüm sistem periyodik olarak denetlenmelidir. Bir soğutucu kaybı kazası ile başa çıkmak üzere Koruma Kabuğu ya patlayan bir borudan atılan buharın bir kısmını yoğunlaştırmak, böylelikle koruma kabuğu içindeki basınç artışını sınırlamak üzere tasarlanmıştır; yada bir soğutucu kaybı kazasından kaynaklanacağı hesaplanan basınca kaba kuvvetle dayanmak üzere tasarlanmıştır. İlk tasarım basınç düşürme koruma kabuğu, ikincisi ise büyük, kuru koruma kabuğu diye adlandırılır. Basınç düşürme tasarımının bir avantajı da küçük ve daha ucuz bir koruma kabuğunun kullanılabilmesidir. Tipik bir basınç düşürme koruma kabuğunun hacmi 2500 metreküp civarında olup büyük, kuru koruma kabuklarının yaklaşık onda biridir. Yüzer platformlar üzerine yapılarak, açık denizlerde demirlenmesi düşünülen buz yoğunlaştırmalı basınç

koruma kabuklu santrallerde tasarlanmıştır. Bu tasarımlarda buharı yoğunlaştırmak için büyük buz kafeslerinin kullanılması ve koruma kabuklarının daha küçük ve hafif olması sağlanacaktı. Basınçlı su reaktörlerini çoğu büyük kuru koruma kabuklarına sahiptir. ABD'de toplam 59 adet santralde bu tip koruma kabukları bulunmaktadır. Bu yapılar soğutucu kaybı kazasının basınçlarına dayanması için gereken hacim ve çok sağlam ve dayanıklı bir yapıya sahip olacak biçimde tasarlanmıştır. Büyük, kuru koruma kabuğunun bir değişik biçimi bir kaza sonrasında koruma kabuğu içindeki ilk basınç yükselmesinin ardından, içerde hafif bir vakum yaratmak üzere bir soğutulmuş su fisikiyesi kullanan Sübatmosferik koruma kabuklu bir tasarımdır. Vakum bir kez oluşturulduktan sonra, küçük koruma kabuğu sızıntıları, dışarıya radyasyon sızmasından çok içeriye hava sızması ile sonuçlanır. A.B.D'deki 7 santral sübatmosferik koruma kabuğuna sahiptir.

Koruma Kabuğunu Parçalayabilen Kazalar:NUREG-1150 incelemesinde yukarıda kısaca açıklanmış olan koruma kabuğu tasarımlarının herbirinin bozulmasına-yıkılmasına yol açabilecek aşağıdaki kaza gelişmeleri belirlenmiştir. Santralda Elektrik kesilmeshBazı santrallarda tüm sahadışı ve sahaiçi AC elektrik kesilmesi en büyük kor erimesi nedenlerinden birdir. Elektrik enerjisi yokluğunda acil kor soğutma kaybı birkaç saat içinde tahribata yol açabilir.Buhar patlaması: Suya dökülen erimiş metal hızla büyük miktarda buhar üretebilir. Acil kor-soğutma sistemlerinin iflası reaktör yakıt korunda bir erime olayına yol açabilir.(Uranyum oksit 2760 santigrat derecede erir.) Erimiş kor reaktörün dibindeki suyun içine düştüğü zaman ortaya çıkan buhar "patlama"sı reaktör

kabının tepesini koruma kabuğu duvarına fırlatarak koruma kabuğu bozulmasına yol açar.

Yada erimiş kor, reaktör kabını eriterek koruma kabının dibindeki suya düşebilir. Ortaya çıkan buhar aşırı basınca ve koruma kabuğunun bozulmasına neden olur. Yüksek-Basınç Erime İtkisi : Bir elektrik kesilmesinin ardından, eğer reaktör soğutma sistemi sağlam kalırsa, reaktördeki su kaynar ve oluşan buhar basınç-düşürme valflarıyla koruma kabuğu içine salınırsa koru açığa çıkacaktır. Sonuçta reaktör soğutma sistemi yüksek bir basınç düzeyinde kalırken, kor erimesi olur. Reaktör koru reaktör kabının dibini erittiğinde, sistemde kalan buhar basıncı erimiş koru koruma kabuğuna fıskırtır. Bu olay koruma kabuğunun hızlı ve doğrudan ısınması ve bozulması ile sonuçlanabilir. Koruma Kabuğu "Bypass"ı En ciddi kaza tiplerinden biri, koruma kabuğu dışındaki bazı boru sistemlerinin bozulmasını içerir. Bunun sonucunda reaktör soğutma suyu zarar gören borudan çıkarak koruma kabuğu yapısının dışına atılır. Zarar gören boru acil kor-soğutma sisteminin bir parçasıysa, bu durum bir erime olayı ile radyoaktif maddelenn sağlam bir koruma kabunu aşarak (bypass) dışarıya atılmasına yol açar. Böyle bir kaza yanm saatte korun açığa çıkması, 45 dakikada kor erimesi, birbuçuk saatten az bir sürede ise halk için 100rem düzeyinde dozlarla sonuçlanabilir.

NÜKLEER ENERJİ SANTRALLARININ YAŞLANMASI

Bu bölümde yaşlanma sürecinin kapsamlı bir incelemesi yapılmamış fakat yaşlanmaya bağlı olarak nükleer enerji santrali güvenliğinin bozulması hakkında aydınlatıcı bilgi sunulmaya çalışılmıştır.

I.BWR ve PWR tipi Hafif Su Reaktörlerinde Boru İncelmesi: Bu tür bozulmalar, sadece su taşıyan tek-fazlı tesisatta ve hem su hem buhar taşıyan iki fazlı tesisatta oluşur. Zaman geçtikçe boruların iç yüzeyi korozyona uğrar ve bir oksit tabakası ortaya çıkar.Bu tabaka kaldığı sürece korozyon durur.Halbuki, oksit metalden daha zayıftır ve borulardan geçen sıvı oksiti aşındırır.Oksit tabakası bir kez aşındımı, boru yine korozyona uğrar. Korozyon ve erozyonun dönüşümsel etkisi herbir sürecin tek başına yapacağından çok daha hızlı bir biçimde boruyu inceltir.Tesisatlardaki bu soruna hem BWR ama daha çokta PWR tipi santrallarda rastlanmıştır. NUREG-1150 incelemesinde 34 santralin boru sistemlerinde incelmeye olduğu tespit edilmiştir.

II.Kaynar Su Reaktörlerinde Boru Çatlama: A.B.D'deki birçok BWR'de intergranüler gerilim korozyon çatlaması - intergranular stress corrosion cracking-(IGSCC) olduğu bulunmuştur. IGSCC oluşumu için üç ögenin varlığı şarttır.korozyona yol açıcı bir çevre, duyarlı malzeme ve gerilme şiddeti.BWR birincil tesisatında, birincil soğutucu içindeki çözün-müş oksijen düzeyine bağlı olarak korozyona yol açıcı bir çevre oluşmaktadır. NRC'nin Boru Çatlakları İnceleme Grubu milyonda 0.2'lik bir oksijen düzeyinin, BWR boru sistemlerindeki duyarlı malzemeyle birleştiğinde, IGSCC'nin oluşumu için yeterince yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Ne yazıkki, BWR'lerin birincil tesisatlarında yaygın olarak kullanılan 304 ve 316 tipi "austenitic" paslanmaz çelikler yüksek karbon içerikleri nedeniyle çok duyarlı malzemelerdir. Bunların duyarlılıkları, kaynak sırasında metal ısıtıldığında gerçekleşen çeliğin duyarlılaşmasına bağlı olarak artmaktadır. IGSCC'nin oluşması için

son öge olan gerilme şiddeti iç sistem basıncı, boru, sıvı ve yalıtımın ağırlığı;

Tesisatın ısı genleşmesinin gerilimi ve normal işletme titreşimlerinden depremlere kadar değişen dinamik yükler tarafından üretilir. (2) IGSCC'nin kaynar su reaktörlerinin yeniden dolaşım tesisatı içindeki bazı alanları etkilediği bulunmuştur. IGSCC'ye bağlı olarak bozulma görülen yerler şunlardır: kaynak ısı etki alanları, genellikle kaynağın iki yanındaki alanlar; reaktör "safe end"leri dahil yüksek sıcaklıkta duyarlılaşmış bileşenler; kaynak metali; dirsek, valf ve T-eklemleri içeren paslanmaz çelik döküm kaplar; yeniden dolaşım tesisatını reaktör kabına bağlayan kısım ve "safe end"Mer gibi yüksek ısı gerilimlere maruz kalan alanlar. (3) Sonuç olarak, boru çatlakları için en iyi çözüm, tesisatı düşük karbon yada nükleer tipi paslanmaz çelik ile değiştirmektir. Birçok santral bu yola gitmiştir. Fakat bu hem pahalı hem de uzun zaman alan bir iştir. 1984'te, Georgia Power Company'nin Hatch-2 reaktöründeki tesisatı değiştirmesi yedibuçuk ay sürmüş ve yerine konması gereken enerji gideri hariç 60 milyon doların üzerinde harcama yapılmıştır. (4) Böyle harcamalar karşısında elektrik idareleri, boru çatlama ile başa çıkmanın alternatif yollarını aramışlardır. Bu yöntemler şunları içerir: Boru kaynaklarının tabakalar halinde yapılması, endüksiyon ısı gerilim iyileştirilmesi (IHSI), soğutma suyuna hidrojen eklenmesi ve mekanik gerilim iyileştirme işlemi (MSIP). Yukarıdaki önlemlerinde tam bir çözüm olmadığı sonradan görülmüştür. Örneğin, hidrojen ekleyerek soğutma suyunun kimyasını değiştirmek IGSCC etkisini azaltır, ama suyun radyasyona maruz kalma oranını 5 kat arttırır.

III. Buhar Jeneratörlerinin Bozulması
Buhar jeneratörlerinin, yaşlanmayla ilgili sorunlara en duyarlı reaktör bileşenlerinden biri olduğu kanıtlanmıştır. Yalnız basınçlı su reaktörlerinde bulunan buhar jeneratörünün işlevi birincil sistem soğutucusundan ikincil sistem soğutucusuna ısı transferidir. Birincil soğutucu radyoaktif ve kaynanaması için yüksek basınç altındadır. Birincil soğutucu buhar jeneratörü içinden akarak ikincil sistem soğutucusunu ısıtır, ikinci sistem soğutucusu o kadar yüksek basınç altında değildir ve santralin türbinini işleterek elektrik üretecek buharı oluşturmak üzere kaynar. Buhar daha sonra yoğurturucu içinde soğutulur ve sıvıya dönüşür. Sonra soğutucu ikincil sistemde yeniden dolaştırılır. Buhar jeneratörleri aşağıdakileri içeren birçok yaşlanma sonuçlarına yatkındır bunlar : wastage (aşınma), denting (çökme), pitting (çukurlaşma), fretting (incelme) ve hafif su reaktörlerindeki başka tip tesisatlarda da yaşanmış olan intergranüler bozulma (IGB), intergranüler gerilim korozyon çatlakları (IGSCC).

Wastage (aşınma):

Tüplerin incilmesi ve sonunda da sızıntı yapmasına yada patlamasına neden olan dış yüzey korozyonudur. Bu tür bozulma ikincil su sisteminde kullanılan sodyum fosfat katkılarından kaynaklanır.

Dentin (çökme): karbon çelik tüp desteklerinin üzerinde koruyucu olmayan magnetit birikimi nedeniyle oluşur. Bu da buhar jeneratörü tüplerinin biçimini bozar. Bu biçim bozulması tübü intergranüler bozulma ve intergranüler gerilim korozyon çatlaklarına daha yatkın hale getirir. İntergranüler bozulma (IGA) ve intergranüler gerilim korozyon çatlakları (IGSCC): BvR'lerdeki diğer boru sistemlerindeki bozulmalara neden olanlarla aynı öğeler tarafından

oluşturulur. IGA'nın IGSCCA'den farkı metal üzerinde gerilme olmadan da oluşabilmesidir. IGA ve IGSCCA genellikle birarada ve hem tüplerde hemde tüp destek plaklarında oluşur. Pitting (çukurlaşma): Buhar jeneratörü tüplerindeki bozulmanın bir başka biçimidir. "Pitting" genellikle jeneratörde artıkların biriktiği alanda görülür, tüplerin dışında oluşur ve düzensiz bir korozyonla sonuçlanır.

Fretting (inceleme): Buhar jeneratörü tüp destek plakalarının titreşim nedeniyle tüp yüzeyinde yarattığı inceldir. Titreşimin nedeni, denting ve soğutucunun anormal akışını da içeren birkaç öge olabilir.(4) Sonuç olarak, bozulmaya uğrayan buhar jeneratörü tüpleri, gözden kaçtığı takdirde potansiyel olarak faciaya dönüşebilecek bir dizi olayı başlatarak patlayabilir. Bir buhar jeneratörü tübünün patlaması özellikle önemlidir, çünkü birincil (radyoaktif) ve ikincil (radyoaktif olmayan) soğutma sistemleri arasında kurulmuş engeli delerek ortadan kaldırır. Böyle bir delik yüksek basınçtaki birincil radyoaktif soğutucunun dakikada binlerce litrelik bir hızla ikincil sisteme akmasına izin verebilir. Santral işiletlenlerin bu olayı farkedemediği veya doğru karar vermediği durumda, ikincil sistemde artan basınç, ikincil sistemdeki acil durum valfları zorlayarak açar ve çevreye radyoaktif gaz yayılmasına neden olur.

IV. Basınçlı Su Reaktörlerinde Reaktör Basınç Kabının ve Reaktör Basınç Kabı Desteklerinin Kırılganlaşması; Reaktör basınç kaplarının nötronlarla ışınlama kırılganlığı, bir, PWR'nin işletme ömrünü belirleyen tek başına en önemli öge olabilir. Basınç kabının tasarımı, tüm PWR'ler için genellikle aynıdır. Üretici kim olursa olsun, PWR kapları genellikle, kabin yapısını oluşturmak üzere biçimlendirilerek

kaynaklanan, 20cm kalınlığındaki çelik plakalardan oluşur. Bu yapı ile ilgili en önemli yaşlanma sorunu kırılma-laşmadır. Kırılma-laşma, uzayıp genişleyebilme - esneyebilme özelliği (ductility), yani basınç kabı metallere çatlamadan gerilime dayanabilme özelliğinin kaybıdır. Bu durum kabı oluşturan metallere nötronlarla bombardımanından kaynaklanır ve metalin içerdiği bakır ve nikel miktarına ve nötrona maruz kalma ölçüsüne yada akışına bağlanabilir. Reaktör basınç kabındaki metal radyasyonla bombardımana uğradığı zaman, yüksek enerjili atomik parçacıklar çelik duvardan geçerler. Bunu yaparken bu atomlar metalin atomları ile çarpışır ve onları yerinden oynatır. Zamanla bu uzayıp genişleyebilme-esneme özelliğinin kaybına neden olur. Işınlanmamış bir kaptaki metal bu özelliğini 4,4 santigrat derecede kaybeder ve kırılma-laşma-gevrekleştiği bu özelliğini kaybettiği ısı derecesi yükselir. Metalin mekanik özelliklerindeki böyle bir değişim, sıfır uzayıp genişleyebilme için referans sıcaklığı "reference temperature for nil ductility transition" yada Rtdt olarak nitelendirilir. Böylece, reaktör yaşlanıp basınç kabı daha fazla radyasyona maruz kaldıkça, Rtdt ilk sınırı olan 4,4 santigrat dereceden 138-143 santigrat derecelere yada aşırı durumlarda daha da fazlasına çıkabilir. (5) Reaktör kabı kırılma-laşmasının ona eşlik eden Rtdt değişiminin önemi, basınçlı ısı şok "pressurized thermal shock" (PTS) karşısında gittikçe artan duyarlılıktır. Basınçlı termal şok, reaktör basınç kabının (RBK) şiddetli bir biçimde aşın-soğumasıyla ortaya çıkar. Basınçlı ısı şok (PTS), aşağıdakiler dahil bir çok aksaklık tarafından başlatılabilir aletlerin ve denetim sistemlerinin anzası önemsiz-anza soğutucu-kayıp kazaları, ana buhar

hattı patlamaları, su besleme borusu patlaması ve buhar jeneratör tüpü patlaması. Bu olaylardan herhangi biri bir PTS olayı başlatabilir.

Fakat reaktör basınç kabının çatlama dayanımı yüksek kaldıkça, yani RTndt düşük kaldıkça, bu geçici durumlar RBK'da bir sorun yaratmayabilir. Fakat RBK'nın çatlamaya karşı dayanımı nötron bombardımanı yüzünden azaldıktan sonra, şiddetli aşırı-soğuma ile birlikte yeniden basınç verme olayı, RBK'nin iç yüzeyindeki bozulmaların kap duvarını delen bir çatlağa dönüşmesine neden olabilir. Reaktör basınç kabının yapısal iflasının gerçekleşmesi için birkaç öge birarada olmalıdır:

1- Kapta çatlağa dönüşebilecek boyutta bir bozulma olmalıdır.

2- Kabin malzemesi içerdiği bakır ve nikel bağli olarak ışınlama kırılmalığına duyarlı olmalıdır.

3- Kabin (RTndt değerinde bir artışla gösterilen) uzayıp genişleyebileme özelliğinin azalmasına yol açacak kadar ışınlanmış olmalıdır

4- Şiddetli bir aşırı-soğuma ve yeniden -basınç- verme durumunu başlatacak bir olay olmalıdır.

5- Sonuçta ortaya çıkan çatlak RBK'nın kor soğutma işini sürdürme yetisini etkileyecek boyutta ve konumda olmalıdır. Bu tip bir kaza PWR'lerin tasarım esasını aşan acil kor soğutma sistemi ve koruma kabuğu dahil güvenlik sistemleri basınç kabındaki çatlaklara dayanmak üzere yapılmışlardır. Radyoaktif yakıtı çevreleyen reaktör kabı olmadan reaktör korunu yeterince soğutmak olanaksız olacaktır. Bunun ardından da bir erime olayı gelecektir.(6) Basınçlı ısı şok her basınçlı su reaktörünü ilgilendiren bir güvenlik konusudur.

Felaket boyutunda kırılmalık hatası (Catastrophic brittle failure): Bu tip bir kaza güvenlik sistemlerinin tasarım

esasını aşar ve reaktör soğutma kapasitesinin tümüyle kaybedilmesiyle sonuçlanabilir. Bu kazanın oluşması şu üç koşula bağıdır:

1- Kritik boyutta bir bozulma olmalıdır
2- Bozulmanın çatlağa dönüşecek ucunda kritik gerilimi yaratmak için destek üzerinde yeterli bir yük olmalıdır
3- Isı, çatlakta yarılmayı sağlamaya yetecek düşüklükte olmalıdır. Yapısal çelik desteklerin kırılmalığına tehlikesi şudur: nötron bombardımanı metali o kadar ışınlamıştır ki ,metal taşımak üzere tasarlanmış olduğu bileşik yüklerin gerilimi altında çatlar. Santral güvenliğini olumsuz etkileyebilecek olan mekanik sistemlerdeki ve elektrik sistemlerindeki yaşanan diğere bileşenleri de kısaca şöyle özetleyebiliriz: motorlu valfler, solenoid valfler, çekvalfler, elektrikli acil durum valfleri, "snubber"lar , kompresörler, ısı değişim üniteleri, motorlu şarj üniteleri, invertörler, motorlar, "bistable"Mar, transforma-törler, konnektörler, elektrikli uzaktan kumandalı ünitelere ek olarak, yüksek ve alçak basınç acil kor soğutma sistemleri, atık ısı atıcı sistemler ve yardımcı su besleme sistemleri reaktörlerdeki bu bileşenler ve sistemler yaşanmayı sürdürdükçe, yaşanma üzerine dinamik araştırmalar yürütülmeli ve bu araştırmaların bulguları potansiyel güvenlik sorunlarının azaltılması için işletmedeki nükleer santrallara uygulanmalıdır.

SONUÇ

İyonlaştırıcı radyasyonun sağlığa etki biçimleri radyasyonun dozu ile ilişkili olup küçük dozlarda bile sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu tartışması güncelliğini korumakta, gecikmeli etkileri konusunda bilinmezlik devam etmektedir.

Zararsız radyoaktif doz sınırlarının yüzyılın başından günümüze değişimlere uğraması bugün önerilen ve bilimsel kabul gören sınır dözun inan-dırıcılığına gölge düşürmektedir. Uluslararası Nükleer Güvenlik Sözleşmesinde (7) sözü edilen "Ulusal doz Limitleri" tanımında sınır değerlerin, sınırlar arasında farklılık gösterdiğini vurgulamaktadır. Radyoaktif maddelerin ve radyasyonun günlük hayatta kullanılmasının hızlı artışının yaşayan biyosistemde önemli değişiklikler ve etkiler yaratması enerji üretimi ve atıklar sorununun ekonomik olmayışı birçok ülkenin Nükleer santrallardan enerji üretimini terketmesine neden olmaktadır. Bu bildirimizde de değinmeye çalıştığımız konular göstermektedir ki, kaza riskleri her zaman olasıdır. Nükleer projelerin yürütülmesi, yönetilmesi diğer büyük projelere göre çok farklı yükümlülükler getirmekte, ulusal organizasyon gerekli olmakta ve çok sıkı kuralları olan güvenlik standartları ile özel kalite temini ve kalite kontrolü gerekleri ile çalışan nitelikli insan gücünü, Nükleer Enerji Santrallerinin güvenliği ve güvenilirliği için zorunlu kılmaktadır. Tesisin güvenliğini, tesisin ömrü boyunca desteklemek için yeterli mali kaynakların baştan temininde ön koşul olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kaynakçalar:

1. NUREG-1150 1990

Union of concemed Scientists. 1993 Brifering Paper. Ma. USA.

2. Carolina Power Lihgt Company, DocketNO.84-122-E1984

3. H. Mantle, "Boling Water Reactor Recirculation Piping" Residual life Assesment of majör Light Water Reactor Componemts, NUREG/CR-4731,Idaho N.Eng.Lab.1987

4. "Consultant Finds Moost delays in Hatch-2 Pipe Replacement Prudent, Nucleonics week Oct.1987

5. Richar A.Undell, "rusting Found in Key Section of 17 reactors",New york Times sept.21 1981.

6. Steve Sholly," Pressurized Thermal Shock Sceening Creiteria", Nuclear Information And Resource Service.Jan 1984

7. Nükleer Güvenlik Sözleşmesi 14.Ocak.1995 gün 22171 sayı R.G

8. The Independent Geoffrey LEAN. 18.6.1995



Sadık SİRKEOĞLU; 1968 yılında Yıldız Üniversitesi'ni bitirdi. İller Bankası Enerji Dairesi'nde Proje Mühendisi, TEK'in çeşitli ünitelerinde mühendis, başmühendis, müdür olarak çalıştı. Halen TEAŞ Şebeke Tesis ünitesinde Proje Müdürü olarak çalışmaktadır.



Musa ÖZTUFAN; 1953 Turgutlu doğumlu. 1974 yılında İstanbul Devlet Mimarlık Mühendislik Akademisi'nden (Yıldız) mezun oldu. 1980 yılına kadar TEK'in çeşitli bölümlerinde çalıştı. 1986'dan beri serbest mühendis olarak çalışmaktadır.

SF₆+N₂ ve SF₆+Ar GAZ KARIŞIMLARININ LİMİT ALAN PARAMETRELERİ

M. Sezai DİNÇER ve M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
06570 Maltepe - ANKARA

ÖZET

Bu bildiride SF₆ + N₂ ve SF₆ + Ar ikili gaz karışımlarının limit alan parametreleri elektron-molekül çarpışma kesitleri kullanılarak Monte-Carlo tekniği ile doğrudan saptanmıştır. Değişik oran- da gaz karışımları için (E/N) limit değerleri elektron sürüklenme hızı ve ortalama elektron enerjisi ile birlikte verilmiştir.

1. GİRİŞ

SF₆ bileşenli gaz karışımları üzerinde yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, bu karışımların yüksek gerilim teknolojisinde yalıtkan ortam olarak kullanılabilmesi açısından, son yıllarda literatürde ağırlıklı olarak gözükmektedir. /1-4/. Ancak bildirilen araştırmaların tümünde efektif iyonlaşma katsayısının yaklaşık sıfır olarak kabul edildiği limit alan değerleri grafik yöntemi ile elde edilmiştir.

Bu bildirinin amacı SF₆ + N₂ ve SF₆ + Ar karışımlarında limit alan değerlerini ve limit alan boşalım parametrelerini Monte-Carlo tekniği ile doğrudan saptamaktır. Daha önce Dinçer ve Aydın, ikili gaz bileşeninde Monte-Carlo benzeşim tekniğinin nasıl uygulanabileceğini literatürde vermiştir **151**.

SF₆ ve N₂ benzeşim kesitleri daha önce Dinçer ve Aydın tarafından derlenmiştir. /5, 6/ Argon gazı kesiti seti ise aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$Q_M(e) = \text{iry}^5 / (1 + 144.6e - 2583.1e^2)$$

$$+35035 e^3 - 85386.8e^4) \\ 0 < e < 0.3 \quad (1)$$

$$Q_M(e) = 10^{16} (1.15x + 0.282x^2 + 0.069x^3) \\ e > 0.3$$

(1) ifadesinde $x = e e^{1009e}$ olup e elektron volt olarak elektron enerjisini Q_M ise momentum transfer kesitini göstermektedir.

Elektronik uyartım kesiti Q_{ex} ise

$$Q_{ex}(e) = 4.65 \times 10^{18} (e - 11.6) e > 11.6 \quad (2)$$

$$Q_{ex}(e) = 1.17 \times 10^{17} (e - 13.2) e > 13.2$$

olarak verilebilir.

İyonlaşma çarpışma kesiti Q_{ion} ise

$$Q_{ion}(e) = 1.45 \times 10^{17} (e - 15.7) e > 15.75 \quad (3)$$

olarak ifade edilebilir. Bütün kesitler cm^2 olarak verilmiştir.

Kullanılan model elektron serbest uçuş-süre modeli olup yalnız elektron gaz molekülleri çarpışması ele alınmıştır. Özellikle Argon gazı belirgin bir Ramsour-Townsend davranışı gösterdiği için zaman adımları elektron enerji değişimi belirli bir zaman adımında %3'ten düşük olacak şekilde seçilmiştir. Herhangi bir karışım oranında ikili gaz karışımının toplam çarpışma kesiti Q_{mx} elektron enerjisinin fonksiyonu olarak

$$Q_{mx}(e) = kQ_{SF}(e) + (1-k)Q(e) \quad (4)$$

tanımlanmıştır. Burada k SF_6 oranını QSF_6 ise SF_6 gazının toplam çarpışma kesitini göstermektedir. Q ise argon ve N_2 toplam çarpışma kesitini simgelemektedir. O halde, eğer bir elektron-molekül çarpışması gözükürse, SF_6 molekülü ile çarpışma olasılığı

$$PSF_6 = 1 - [(1-k)Q(s)/QMx(s)] \quad (5)$$

olarak belirtilebilir.

Başlangıç elektron sayısı $10^3 - 3.5 \times 10^3$ arasında olup benzeşim süresi 80 ns'ye kadar ulaşmakta ve 2.5 ns aralıklarla elektron çığ yoğunluğu ortalama enerji ve ortalama çığ konumu ile ilgili bilgi toplamaktadır. Darbeli-Townsend tekniğinde herhangi bir t örnekleme zamanında çığ içinde bulunan n , elektron için ortalama elektron enerjisi

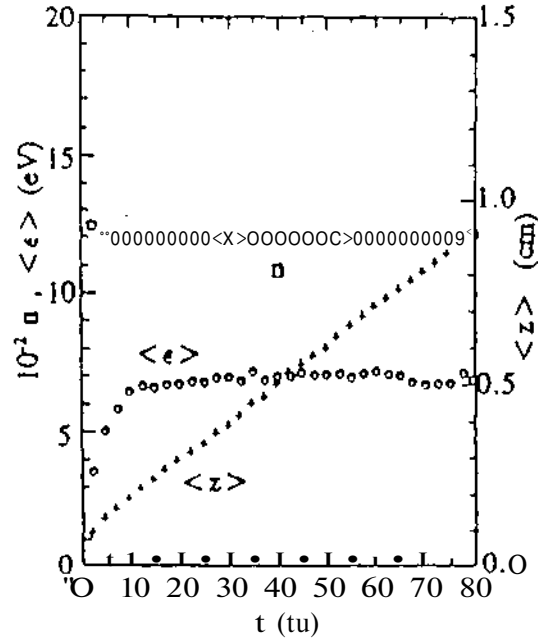
$$\langle \epsilon(t) \rangle = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{nt} \epsilon_i \quad (6)$$

olarak ifade edilmiştir.

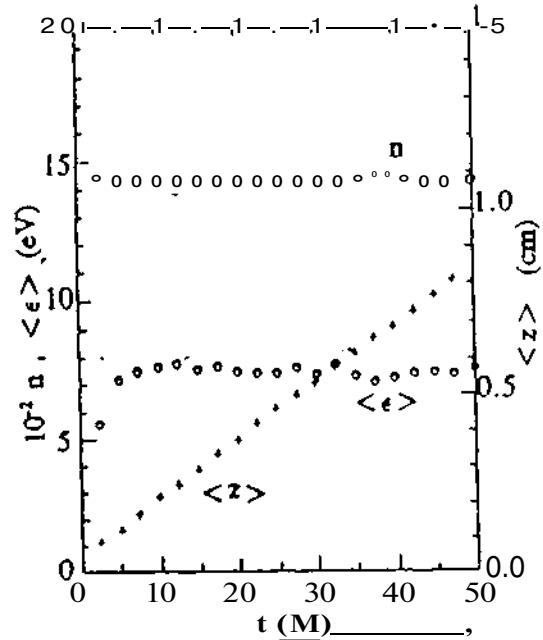
2. LİMİT ALAN PARAMETRELERİ

Elektronegatif bir gaz karışımında limit alan değerinin, iyonlaşma çarpışma sıklığına eşit olduğu E/N (E : uygulanan elektrik alan büyüklüğü, N : gaz molekül yoğunluğu) değeri olarak tanımlanması daha doğrudur. Çığ enerjisi dengeye ulaştıktan sonra limit alan değerlerinde elektron yoğunluğunun sabit kalması gereklidir. Diğer bir deyişle iyonlaşma katsayı sıfır olacağı için elektron çığ enerjisi dengelendikten sonra elektron sayısında herhangi bir azalış veya artış görülmemelidir. Geliştirilen benzeşim tekniği elektron sayısının değişmediği limit alan değerlerini bulmakta ve ortalama elektron enerjisi ile elektron sürüklenme hızlarını saptamaktadır.

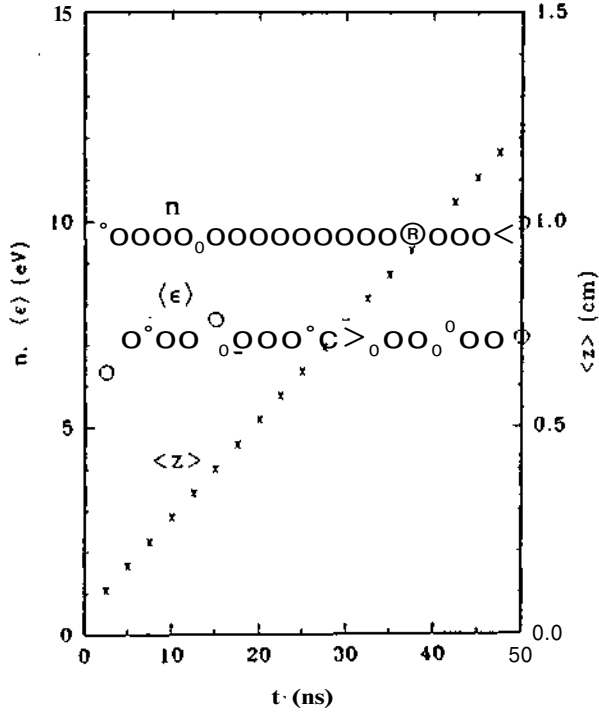
Şekil 1 ve 2' de değişik $SF_6 + Ar$ gaz karışımlarında elektron bulutunun limit alan davranışı verilmiştir. Bu şekillerde n elektron sayısını $\langle e \rangle$ ortalama elektron enerjisini ve $\langle z \rangle$ ise elektron bulutunun uygulanan alan doğrultusunda ortalama konumunu benzeşim zamanına göre göstermektedir.



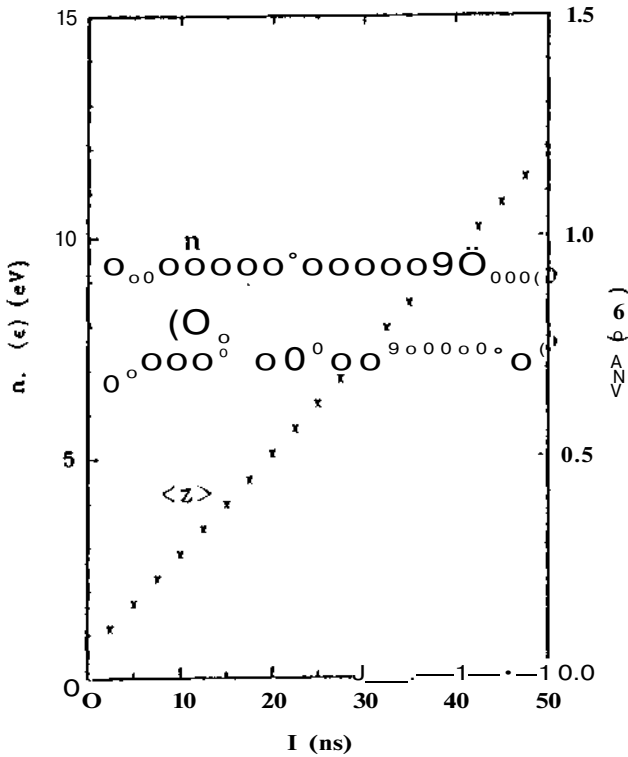
Şekil 1. %10 SF_6 + %90 Ar ikili karışımında limit alan davranışı



Şekil 2. %50 SF_6 + %50 Ar ikili karışımında limit alan davranışı



Şekil 3. %50 SF₆ + %50 N₂ Gaz karışımında limit alan davranışı



Şekil 4. %80 SF₆ + %20 N₂ Gaz karışımında limit alan davranışı

Bu şekillerden görüldüğü gibi limit alan değerinde bulut içindeki elektron sayısı çığ dengede iken benzeşim zamanına bağlı olarak değişmekte ve sabit bir değerde kalmaktadır. Şekil 3 ve 4 ise elektron bulut davranışını limit alan değerinde farklı iki SF₆ + N₂ gaz karışımı için göstermektedir.

Tablo 1'de SF₆ + Ar gaz karışımlarında limit alan parametreleri verilmiştir. $\langle N \rangle$ değeri Td olarak belirtilmiştir. ($1 \text{ Td} = 3^{E/p} \text{ v cm}^{-1} + \text{ torr}^{-1}$). Tablo 2 ise SF₆ + N₂ ikili karışımları için limit alan parametrelerini göstermektedir

TABLO 1
SF₆ + Ar Gaz Karışımlarında Limit Alan Parametreleri

SF ₆ oranı(%)	C ₇ N ₂ Td	$\langle e \rangle$(ev)	W(cms ⁻¹)
1	63.6	6.12	5.93x10 ⁶
5	92.4	6.72	8.43x10 ⁶
10	116.7	6.81	10.7x10 ⁶
30	178.8	7.21	13.8x10 ⁶
50	226.8	7.45	16.1x10 ⁶
75	293.6	7.79	17.4x10 ⁶

TABLO 2
SF₆ + N₂ Gaz Karışımlarında Limit Alan Parametreleri

SF ₆ oranı(%)	C ₇ N ₂ Td	$\langle e \rangle$(ev)	W(cms ⁻¹)
1	141	3.86	1.48x10 ⁷
5	198.5	5.35	1.97x10 ⁷
10	219.7	5.83	2.10x10 ⁷
30	263.1	6.62	2.31x10 ⁷
50	297.2	7.08	2.36x10 ⁷
75	320.2	7.36	2.29x10 ⁷

3. SONUÇ

Bu çalışmada SF₆+N₂ ve SF₆+Ar ikili gaz karışımları için limit alan parametreleri Monte-Carlo benzeşim tekniği ile bulunmuştur. SF₆+ Ar ikili gaz karışımlarının (E/N) limit değerleri SF₆+N₂ gaz karışım limit alan değerlerinden daha düşüktür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi MMF. 06/94-5 tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- 1) M.S. Dinçer and G.R. Govinda Raju, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 19, pp. 40-44, 1984.
- 2) M.F. Frechette, J. Appl. Phys., Vol. 59, pp. 3684-3693, 1986.
- 3) M.F. Frechette and J.P. Novak, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol.22,pp. 695-697, 1987.
- 4) A.V. Phelps and R.J. Van Brunt, J. App. Phys., Vol.64,pp.4269-4277, 1988.
- 5) M.S. Dinçer and T. Aydın, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 1,pp.139-146, 1994
- 6) M.S. Dinçer ve T. Aydın, Elektrik Mühendisliği 5.Ulusal Kongresi, pp.1338-1343,13-18 Eylül 1993 Trabzon

Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER



19.6.1952 tarihinde Ankara'da doğmuştur. 1975 yılında ADMMA Elektrik mühendisliği bölümünden lisans, 1979 yılında ODTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans ve 1985 yılında Department of Electrical Engineering, University of Windsor'dan Ph.D derecelerini almıştır. Windsor'da 1980-84 yıllarında asistan 1984-87 yıllarında öğretim görevlisi olarak çalışmıştır. 1988 yılında ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde Doçent unvanını alan yazar. Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde 1989 yılından beri çalışmakta olup 1994 yılında Elektrik Tesisleri ABD'da profesör unvanını almıştır. Yüksek gerilim gaz deşarjları üzerine çeşitli uluslararası yayınları bulunan yazarın çalışmaları SCI Index'e 56 kere atıf edilmiştir.

SF₆- GAZLI KESİCİLERİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN İLERİ DIAGNOSTİK METODLAR

Erdin GÖKALP Hüseyin ÇAKIR Selim TRABLUS
Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Teknik Üniversitesi

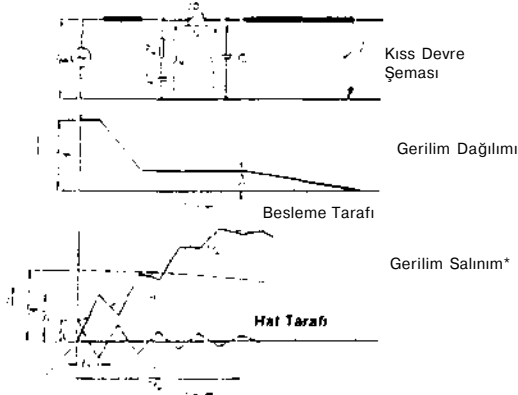
ÖZET

Elektrik şebekelerinde kısa devre sonucu oluşan arıza akımları ,SF₆-gazlı kesicilerde bu akımı stabil hale getiren bir ark sayesinde kesilebilmektedir. Bu çalışmada .seçilen örnekler üzerinde şebekelerde ki değişken tesirlerin elektrik arkları üzerinde meydana getirdiği etkilerin teorik incelenmesi yanında modern deneysel araştırmalar da dikkate alınmıştır.Ayrıca kesicilerin dizaynında uygulanan ileri diagnostik metodlardan birkaç taslak açıklanmaktadır.

1.ARK VE ŞEBEKE ARASINDAKİ DEĞİŞKEN TESİRİN SİMÜLASYONU:

1.1.Kısa Devre:

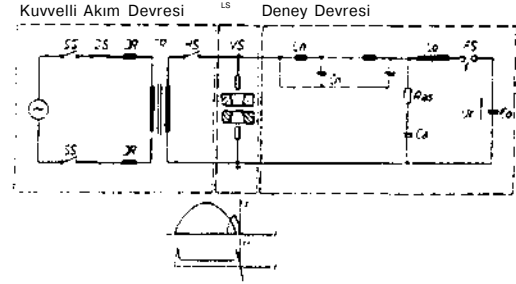
Kısa devre olayının simülasyonu Şekil: 1'de ifade edilmiştir.



Şekil:1 Yüksek Gerilim Hattında Kısa Devre Olayı.

Gerilim dağılımı akım devresindeki elemanlarla belirlenir.Besleme tarafındaki L_N R_N ve C_N elemanlarından oluşan akım devresi hat tarafına L_L ve C_L ile karakteri-

ze edilen kesiciyle bağlanmıştır.Salınan U_o gerilimi, besleme gerilimi (U_N) ve hat gerilimi (U_L) arasındaki farkı ifade etmektedir. Akım ve gerilim değişimi, kuvvetli akım devresinin ve deney devresinin kombinasyonu ile elde edilebilir (Şekil:2) İM.



Şekil:2 Kısa Devre Şartlarının Simülasyonu

1.2.Akım-Sıfır Geçişi Anında Ark Ve Şebeke Arasındaki Değişken Tesirin Matematiksel İfadesi:

Enerji kayıp mekanizmalarına dayanan çeşitli ark modelleri geliştirilmiştir /2-7/.Mayr denklemi basit bir ark modeli ifade etmektedir /8/.Şebekedeki ark.değişen iletkenlik değeriyle beraber iki kutuplu olarak incelenmektedir.

$$\frac{dg}{dt} = \frac{g}{T(g)} \cdot \left\{ \frac{I}{g-P(g)} - 1 \right\} \quad 1.1$$

g : Arkın iletkenliği (1/Q)
T(g): Ark Zaman Sabiti (s)
P(g): Enerji Kayıp Parametresi (W)
I : Ark Akımı (A)

2. DENEYSEL ARAŞTIRMALAR:

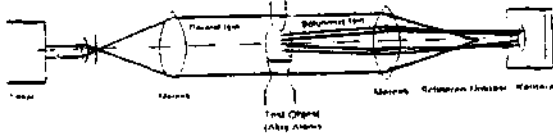
Teorik incelemelerde darbe dalgaları gözönüne alınmamaktadır.Termik açma gücü ark akışı içinde bir darbe kanalı ortaya çı-

kar çıkmaz azalmaktadır. Burada gazın hızı çubuk eksenine dik açıda bulunan bir bileşene sahiptir. Bir arkin radyal sıcaklık profilinin ölçümü teorik modellerin denenebildiği verileri vermektedir.

2.1. Gaz Akışı:

2.1.1. Darbe Kanallı Akış:

Akış yapısının incelenmesi için iki optik metoddan bahsedilecektir. İlk olarak Schlieren-Metodu. Akış sahasını ihtiva eden (Şekil:3) bir test parçası sayesinde paralel ışın göndermektedir *IS/*.

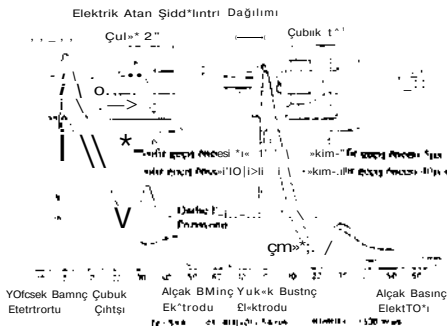


Şekil:3 Schlieren Metoduna Göre Deney Yapısı

Argon-İyon lazerinin ışını, hacimsel filtre görevi yapan bir diyafram üzerine yoğunlaştırılır. Diyaframda ortaya çıkan ışık noktasının kopyası ikinci merceğin odak düzleminde bulunan Schlieren noktasında görünür. Sapan ışınlar ise Schlieren noktasını geçerler ve filmi aydınlatırlar. Böylece ses hızına yakın bir gaz ışması görülebilir yapılmış olmaktadır.

2.1.2. Dart >e Dalgası-Elektrik Alan:

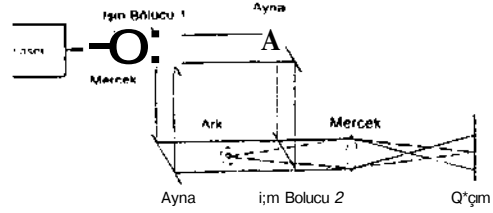
Akışın stabilize edildiği yüksek basınçlı bir ark dahilinde elektrik alanının dağılımı bir sonda yardımıyla tesbit edilebilir (Şekil:4). Elektrik alan şiddeti, farklı mesafe açalarına sahip iki çubuk formu için hesaplanmaktadır.



Şekil:4 İki Çubuk Konfigurasyonu için Elektrik Alan Şiddetinin Aksiyal Dağılımı.

2.1.3. Salınımlı Akış:

interferometrik Diagnostik metoduyla, stabilize edilen gaz akışının bir dönele darbesinin açma gücüne olan tesiri açıklanabilir /10/. Bu ölçümler için Şekil:5'deki Mach-İnterferometer kullanılır.



Şekil:5 Mach-İnterferometreli Deneyin Yapısı

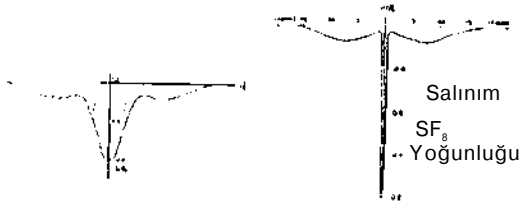
1'olu ışın aynaya laser ışınına iki parçaya böler. Bu parça ışınlar paralel yol içinde hareket ederler ve 2'olu ışın aymada birleşirler. Yolların hiçbirinde bir obje bulunmazsa resim düzleminde aynı ara hacime sahip paralel şeritler ortaya çıkar. Test objesinde gaz yoğunluğunun değişmesi şeritlerin bozulmasını sağlar. Lokal gaz yoğunluğu ise Abel-inversinin kullanılmasıyla bozulan şeritlerden hesaplanabilir. Şekil:6 İnterferogramlardan birkaç örnek göstermektedir.



Şekil:6 Gaz Akışının İnterferogramı

- a- Akışın Olmadığı Durum
- b- Salınımsız Akış
- c- Salınımlı Akış

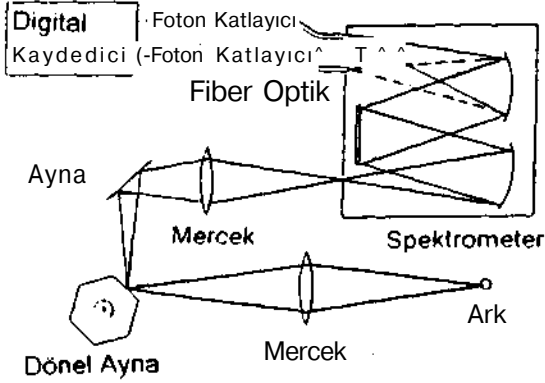
Şekil:7 ise Abel-İnversi vasıtasıyla şeritlerin bozulmasından hesaplanabilen yoğunluk profilini göstermektedir. Çift aksiyal sistemin geometrisi yoğunluk ölçümünün yapıldığı yerde açıkça görülebilir. Salınımsız akış halinde bulunan ark, akım-sıfır geçişinden önce yüksek bir ark gerilimine sahiptir. Diğer taraftan ark gerilimi bir salınım halinde düşüktür ve termik tekrar tutuşma ortaya çıkar.



Şekil:7 Salınlı Bir Akışın Yoğunluk Dağılımı
a- Hava, b- SF₆

2.2.Sıcaklık Ölçümleri:

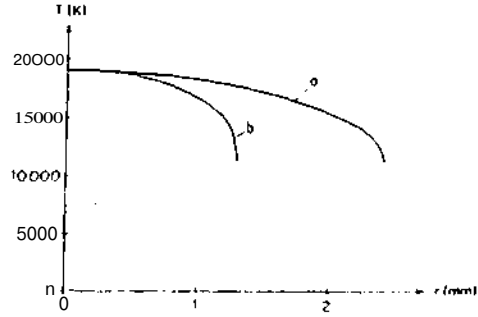
Sıcaklık; ark yapısının,elektriksel iletkenliğin, elektrik alanın ve enerji dengesinin hesaplanması için temel bir ölçüdür.2000 K altındaki sıcaklıklarda interferenz ölçme metodları kullanılabilir. 10000 K üzerindeki sıcaklıklarda ısı ölçümleri için emisyon spektroskopisi uygun olmaktadır. Bu metod atom veya iyonlar tarafından gönderilen ışının ölçülmesine dayanır.Şekil: 8 spektroskopik ölçümler için deney düzenimini göstermektedir.



Şekil:8 Spektroskopik Ölçümler İçin Deney Düzenimi

Spektrometerin önündeki optik sistem, spektrometredeki giriş aralığı düzleminde arkın bir resmini çıkarmaktadır. Işık hattına yerleştirilen döner ayna arkın resminin giriş aralığı üzerinden hareket etmesine izin verir.Böylece hacimsel olarak ayrılmış yoğunluk profilleri arkın çapı üzerinden elde edilir.Yoğunluklar aynı akım değeri için farklı zamanlarda kıyaslanırsa ;yayılan ışının akımın süresinin ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olduğu görülebilir.Şekil:9 yüksek akıma sahip bir arkın sıcaklık profilini göstermektedir.Arkın merkezindeki sabit sıcaklık ve kenarında dik sıcaklık artışı karakteristik özelliklerdir.

Arkın merkezi sıcak bir gaz kılıfıyla çevrilidir.Kesicilerde basınç,mekanik sıkışmayla ve sıcak gazın geri akışıyla elde edilir.Geri akış miktarının optimizasyonu ark merkezinin ve sıcak gaz kılıfının zamanla gelişimine bağlıdır.



Şekil:9 Sıcak Gaz Kılıfı Olmaksızın Yüksek Basınç Sahasında Radyal Sıcaklık Dağılımı.

3.SONUÇLAR:

Bir kesiciyi sadece teorik incelemelere dayanarak geliştirmek mümkün değildir. Fiziksel olayların anlaşılması için deneysel araştırmalar kaçınılmazdır. Kesme elemanlarıyla şebeke arasındaki değişken tesir ark modellerine dayanarak hesaplanabilir. Bu tür nümerik ark-şebeke simülasyonları aşağıdaki sebeplerden dolayı önem arz etmektedir:

- dI/dT ve dU/dT elektriksel deneme şartlarının kontrolü
- Test masraflarının azaltılması
- Belirli bir kesici için kritik hat konfigürasyonlarının hesaplanması
- Kapasitenin ve kesicilerin paralel bağlanması.

Schlieren veya İnterferenz ölçme metodu yardımıyla gaz akışının deneysel incelenmesi,gaz yoğunluk profiline ve sıcak gaz kılıfının hesaplanması yanında salınlı, Turbülans ve darbe dalgalı akış yapılarının araştırılmasını sağlarlar.Bu tür bilgiler modern kesicilerin geliştirilmesi için gereklidir. Sıcaklığın belirlenmesi ; soğuma mekanizmaları (enerji kaybı) ,elektrik alan şiddetinin dağılımı ve farklı elektrod-çubuk malzemeleriyle birlikte ark yapısının bozulması üzerine bilgiler vermektedir.

Akım kesildikten sonra sıcak çubuklardaki ısı düşüşü sadece teorik modeller yardımıyla hesaplanabilir. Akım-sıfır geçişinde ölçülen sıcaklık dağılımı (radyal ve aksiyal) bu hesaplama için başlangıç değerini verir. Bu amaçla akım kesildikten sonra sıcaklık düşüşü geniş ölçüde dielektrik fazdaki elektriksel dayanımı belirler/11,12/.

Kaynakça:

- İM IEC Publ.56-2/56-4 und Anhaenge
121 B.W.Swanson,R.M.Roidt :Some numerical solutions of the boundary layer equations for an SF₆ arc.Proc.IEEE Vol. 59.p.493 ,1971
- 131 LS.Frost,R.W.Liebermann :Composition and transport properties of SF₆ their use in a simplified enthalpy flow arc model.Proc.IEEE Vol.59,p.474, 1971
- 141 W.Hermann,U.Vogelschatz,LNiemyer, K. Rageller, E.Schade: Experimental and theoretical study of a stationary high current arc in a supersonic nozzle flow.J.Phys. D:Appl. Phys.Vol.7 p.1703, 1974
- 151 D.T.Tuma,J.J.Lowke: J.Appl.Phys.Vol 46,p.3361,1975
- 161 J.J.Lowke,H.C.Ludwig: A simple model for high currents arcs stabilized by forced convection.J.Appl.Phys.Vol.46,p. 3352,1975
- 171 E.Richley,D.T.Tuma: Mechanisms for temperature de-cay in the freely recovering gas blast arc.IEE Trans.on Plasma Science Vol.Pos. 10,2-7,1982
- 181 O.Mayr: Beitrage zur Theorie des statischen und dynamischen Lichtbogens Archiv für Elektrotechnik,Vol.37,p.589, 1943
- 191 Y. Nakamichi, D.T.Tuma: Analysis of electric arcs in AC circuits.IEEE PES 1982 Summer Meeting.San Francisco Paper 82 SM 370-5
- /107 U.Habedank.R.Ungler: Theoretical and experimental studies of the critical line length for the interruption of short line faults .IEEE PES Winter Meeting ,Atlanta,Paper81,WM 1411 1981

- /11/ HJ.Schötzau,Ch.Sturzenegger,H.Meili ,H.Graf: Einfluss des Lichtbogens auf die Strom- und Spannungsteilheiten eines Hochspannungs-Gasschalters im thermischen Löscherbereich. ETZ Archiv, Band 5,Heft 3,1983
- /12/ C.H.Flurschein: IEEE Monograph Series 12 "Power circuit breaker theory and design.Peter Peregrinus Ltd., 1975

Özgeçmiş:



Hüseyin ÇAKIR, 1948'de iskeçe'de doğdu. 1972'de Y.Müh. oldu.Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Doçentlik ve Profesörlük unvanını aldı. 1977-78 yıllarında ABD George Washington Üniversitesi'nde araştırmalar yaptı.Y.T.Ü'de Dekan Yardımcılığı ve halen Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yürütmektedir.



Erdin GÖKALP, 1962'de İstanbul'da doğdu. 1986'da mühendis, 1988'de Y.Müh, 1994'de Dr.Müh,1994'de Yrd.Doç. olmuştur. Halen Y.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkan Yardımcılığı görevini sürdürmektedir.



Selim TRABLUS, 1967'de İstanbul'da doğdu. 1988'de Mühendis, 1990'da Y.Müh. unvanını aldı.Halen Y.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi [Olarak vazife yapmakta olup Doktora çalışmaları devam etmektedir.

SF₆-TESİSLERİNİN ÇEŞİTLİ KAPSÜLLEME BİÇİMLERİNİN KIYASLANMASI

Erdin GÖKALP Hüseyin ÇAKİR Selim TRABLUS
Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖZET

Bir gaz izoleli salt tesisinin en önemli kısımlarından biri harici elektrod olarak da adlandırılan ve basınçlı gazın muhafaza edilmesini sağlayan kapsülleme birimleridir. Gaz izoleli tesislerin normal ve anızlı işletme içinde ki davranıştan da dikkate alınarak çeşitli kapsülleme biçimlerinin kıyaslanması suretiyle optimum bir kapsüllemenin nasıl olması gerektiğine dair yaklaşımlar ele alınmıştır.

1.SF₆-TESİSLERİNİN KAPSÜLLENMESİ:

SF₆-Tesisleri konstrüktif yapılan yanında önemli ölçüde kapsülleme sistemleriyle de birbirinden ayrılmaktadır. Bugün kullanılmakta olan farklı kapsülleme sistemleri Tablo: 1' de gösterilmiştir.

Tablo: 1 SF₆-Tesisleri İçin Kullanılan Kapsülleme Sistemlerine Bakış

Tip	Kapsülleme Çeşidi		Kapsülleme Malzemesi
	Baralar	Çıkışlar	
1/1 Al	1 fazlı	1 fazlı	Alüminyum
3/1Al	3 fazlı	1 fazlı	Alüminyum
3/1 Çe	3 fazlı	1 fazlı	Çelik
3/3Çe	3 fazlı	3 fazlı	Çelik

1.1.Normal İşletme:

Bugün kullanılan kapsülleme biçimleri normal işletme için geçerli en önemli kriterlere göre Tablo:2'de kıyaslanmakta ve değerlendirilmektedir. Bir tesis için önemli ağırlık noktaları mevcut personele,

şebeke durumuna ve öngörülen işletme tarzına göre ayarlanması gerektiği için tablodaki kriterler sadece tesisin kullanıcı tarafından yerine getirilebilir.

Tablo:2 Normal işletmedeki Çeşitli Kapsülleme Sistemlerinin incelenmesi.

Normal İşletmedeki Kriterler	Kapsülleme Sistemi			
	1/1 Al	3/1 Al	3/1 Çe	3/3Çe
Dielektrik Dayan.	3	2	2	2
Dinamik Dayan.	3	2	2	1
Uygun Nom.Ak.	2	3	1	2
Batum	3	2	2	1
Hacim İhtiyacı	3	3	2	2
Ağırlık	3	3	2	2
Übsürabtiirlik	2	2	2	3
Genel Toplam	19	17	14	13

1.1.1.Dielektrik Dayanım:

Dielektrik dayanım 1-fazlı kapsüllemelerde esas itibarıyla 3-fazlıdakinden daha yüksektir. Bir taraftan 1-fazlı kapsüllemelerde fazlar arasında hiçbir katı izolasyon gerekli olmamakta, diğer taraftan deneyler, fazlar arasında faz-toprakdakinden hemen hemen iki kat daha yüksek salt aşın gerilimlerinin ortaya çıktığını göstermektedir.

1.1.2.Dinamik Dayanım:

3-fazlı kapsüllemiş sistemlerde iletkenler arasındaki küçük mesafe ve büyük kısa devre akımlarından dolayı katı izolasyonun dinamik zorlanması söz konusu olmaktadır. Bu sahada ki araştırmalar dahili mekanik gerilmelerin katı izolasyon parçalarının dielektrik özelliklerini önemli ölçüde bozabileceğini göstermektedir İM,21.

Bu yüzden dinamik zorlanması az olan 1-fazlı kapsülleme sistemleri bir anza rizikosunu azaltmakta ve katı izolasyonun ömrünü uzatmaktadır.

1.1.3.Uygun Nominal Akım:

3-fazlı kapsüllenmiş tesislerde az bir kapsülleme akımı akmaktadır. Bu tür tesisler özellikle kapsülleme Alüminyum gibi magnetik olmayan bir malzemeden ise çok yüksek nominal akımları dielektrik şartlara göre tesbit edilen ebadlar dahilinde taşıyabilirler. Diğer taraftan 3-fazlı kapsülleme magnetik çelikten yapılmış ise o zaman iletkenlerin tam olmayan simetrisinden dolayı nominal akımı azaltan lokal fuko akım kayıptan ortaya çıkacaktır.

Genel olarak dielektrik şartlara göre ebadlanmış 1-fazlı Alüminyum kapsüllemeli tesislerin bütün durumlarda gerekli nominal akım şartlarını sağlayabildiği söylenebilir.

1.1.4.Bakım:

3-fazlı yapı tarzında boyutları, ağırlığı ve parça sayılarının daha büyük olmasından dolayı bakım işleri daha masraflı ve komplikedir.

1.1.5.Hacim İhtiyacı:

Konvansiyonel yapı tarzıyla kıyaslandığında hem hacim hem de alan ihtiyacı açısından 3-fazlı, 1 fazlı veya hibrid kapsüllenmiş tesislerin bütünlüğüne ulaşamamaktadır.

1.1.6. Ağırlık:

Tesislerin ağırlığı konstrüktif yapı ve kullanılan kapsülleme malzemesine bağlıdır. Kapsülleme malzemesi olarak Alüminyumun kullanılması tesis ağırlığının ve bununla birlikte zeminin zorlanmasının azaltılmasına yarar.

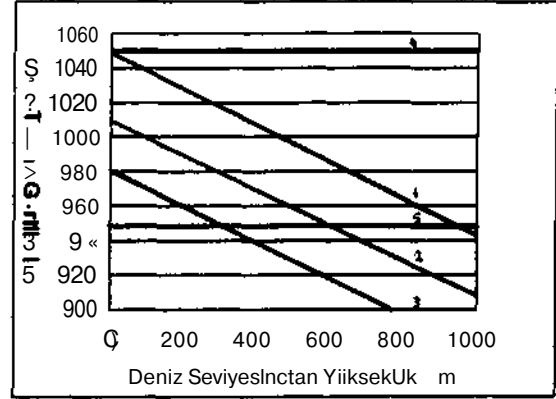
1.2.Anzalı İşletme:

—SF₆-Tesisleri; montaj yerinin yüksekliğine (Şekil: 1) kirlenmeye ve iklimsel etkilere karşı tam anlamıyla hassas

olmadığı için ve gaz yoğunluğuyla birlikte izolasyon seviyesi devamlı kontrol edildiği için anzalar konvansiyonel yüksek gerilim tesislerine nazaran çok daha nadir ortaya çıkmaktadır.

—Arızalar ekseriya ilk koruma kademesinde sistemden uzaklaştırılır.

Her durumda güvenilir bir basınç deşarjıyla kapsülleme gövdesinde bir patlamanın ortaya çıkmaması garanti altına alınmak zorundadır /3/,/4/.



Şekil:1 Deniz Seviyesi Yüksekliği ve Çevre Sıcaklığına bağlı olarak SF₆ ve Konvansiyonel Yüksek Gerilim Tesislerinin Darbe Tutma Gerilimlerinin Kıyaslanması.

Konvansiyonel Tesis,

Darbe Tutma Gerilimi 1050 kV

1 ortalama hava basıncı, 20° C

2 minimum hava basıncı, 20° C

3 minimum hava basıncı, 30° C

SF₆ Tesisleri

4 minimum gaz yoğunluğu, 40° C

darbe tutma gerilimi 1050 kV

5 minimum gaz yoğunluğu, 40° C

darbe tutma gerilimi 950 kV

— SF₆ -Tesislerinin genellikle kapalı işletme hacimlerinde monte edilmesi suretiyle personel hayatının tehlikeye girme ihtimali büyük ölçüde azaltılmış olmaktadır. Anza sırasında farklı kapsülleme sistemlerinin özelliklerini kıyaslayabilmek için önemli kriterler Tablo:3* de topluca gösterilmiştir.

Tablo:3 Anza Esnasında Çeşitli Kapsülleme Sistemlerinin incelenmesi

Arızadaki Kriterler	Kapsülleme Sistemi			
	1/1Al	3/1Al	3/1Çe	3/3Çe
Ark Dayanımı				
- sönmümlü	3	2	2	1
- yarım topraklı	3	2	2	1
- tam topraklı	2	2	3	3
Etkiler.Zararlar	333	222	222	111
Onarım Zamanı	333	222	222	111
Genel Toplam	998	666	667	335

1.2.1.Elektrik Arkı Dayanımı:

Tam ve yarım topraklanmış şebekelerde 1-fazlı kapsülleme ve 1-fazlı gaz kontrolü büyük faydalar sunmaktadır.

Bir taraftan faziarası direkt atlamalar ve böylelikle 3-fazlı kısa devreler azaltılmakta diğer taraftan anza esnasında öteki fazlar etkilenmemektedir.

Ve ilgili gaz bölümünde çok yavaş bir gaz basıncı artışına sebebiyet verirler.

1.2.2.Etkiler ve Zararlar:

1-fazlı kapsülenmiş bir sistemde elektrik arkının zararları aşağıdaki iki şart yerine getirildiği takdirde en aza indirgenebilmektedir.Birinci olarak.basınç zorlanmasının olduğu kapsülleme birimi dayanıklı olmak zorundadır, ikincisi anza ilgili hacimde sınırlı kalmalıdır.3-fazlı kapsüllemeye zararlar tabiatıyla daha geniş olmaktadır.

1.2.3.Onanm Süresi:

Özellikle anza bölgesine sınırlı bulunan gaz hacimlerinin işletme dışına alınmaksızın her eleman hızlı olarak monte ve demonte edilebilmelidir.Dışarıya doğru basınç deşarjlı 1-fazlı kapsülenmiş tesisler bir anzadan sonra hızlı bir şekilde tekrar işletmeye girebilmektedirler.

2.KAPSÜLLEME MALZEMESİ:

Tablo:4'de bugün en çok kullanılan kapsülleme malzemeleri farklı kriterlere göre kıyaslanmıştır.

Tablo:4 Kapsülleme Malzemelerine Ait Farklı Kriterlerin Kıyaslanması

Kriter	Kapsülleme Malzemesi		
	Alümin-yum	ÇeHk	Magnetik Olmayan Çelik
Aynı kalınlıkta Tutuşma zam.	kısa	uzun	uzun
Basınç Dayanı.	yüksek	yüksek	yüksek
Sızdırmadık	yüksek	yüksek	yüksek
Ağırlık	hafif	ağır	ağır
Fiat	orta	az	yüksek

2.1.Ark Tutuşma Zamanı:

Aynı kalınlıktaki Çelik, Alüminyumdan daha uzun bir tutuşma zamanına sahiptir. Tutuşma zamanı malzeme yanında, kapsülün teşkiline ve ark tutuşmasının konumuna da bağlıdır.Dahili arkla birlikte nadiren bir zararın oluştuğu düşünülürse ve diğer taraftan her durumda ilgili gaz hacminin revizyonu gerekirse o zaman kalın,ağır ve pahalı bir kapsüllemeye ziyade güvenilir hızlı bir koruma sistemine yatırım yapmak a-maca daha uygun olacaktır.

2.2.Basınç Dayanımı:

SF6-Tesislerinin kapsülleme gövdesi önemli hiçbir basınç zorlanmasına maruz kalmamaktadır. Kapsülün gerekli basınç dayanımı iyi seçilmiş malzemelerle herhangi bir zorluk olmaksızın elde edilebilmektedir.

2.3.Sızdırmazlık:

Kapsüllemelerin gaz sızdırmazlığındaki farklılıklar malzeme seçimi yanında malzemenin döküm yada alaşımdan olup olmadığına da bağlıdır.Bugüne kadarki işletme tecrübeleri, Çelik ve Alüminyum kaynak ve döküm kapsüllemelerde gaz kaybının yıllık %1'in altında olduğunu göstermiştir.

2.4.Ağırlık:

Alüminyumun kullanılmasıyla tesisin ağırlığı büyük ölçüde azaltılmaktadır. Bundan da zeminin az miktarda zorlanması ve ekonomik montaj imkanları ortaya çıkmaktadır.

2.5.Fiatlar:

Özellikle yüksek nominal akımlar için Alüminyum, SF6-Tesislerinin ekonomik olarak kapsüllemesine imkan vermektedir.Çelik kullanıldığında çoğu defa anti magnetik çelikten oluşan pahalı donanımlar veya tamamiyle anti magnetik çelikten imal edilmiş kapsüllemeler gereklidir.

3.SONUÇLAR:

İşletme sürekliliği ve hizmet personelinin emniyeti için kapsülleme çeşidi,kapsülleme malzemesinden çok daha az önem arz etmektedir. Bu yüzden aşağıdaki şartlar SF6-Tesislerinin optimal tasarlanması için gereklidir:

- Tamamiyle 1-fazlı kapsülleme,
- Kapsülleme gövdelerinin patlamasını azaltmak için dışarıya doğru güvenilir basınç deşarjı,
- Hizmet personeli zarar görmeyecek şekilde gaz deşarj donanımlarının yerleştirilmesi,
- Bir arızanın,ilgili gaz hacminde sınırlandırılması için basınca dayanıklı bölümlerle izolatörleri,
- Arıza arklarının etkilerini azaltmak için emin ve hızlı çalışan bir koruma sisteminin kullanılması.

Kaynakça:

İM D.D.Wilson:Phase-phase and phase neutral switching surges on 500 kV open-ended lines.IEEE PAS 88 5, p.660-665,1969

121 H.-J.Jahne: Über den Einfluss innerer mechanischer Spannungen auf die Leitungsmechanismen in Epoxidharz bei Gleich- und Wechselspannung.Dissertation TU Hannover 1975

/3/ Cigre W.G.23-03: Some aspects for the design of metalclad substation

Electra Nr.34,S.63-74,1974

/4/ Cigre W.G.23-03: Testing of metal enclosed HV substations. Electra Nr.42,S.7-29,1975

Özgeçmiş:



Hüseyin ÇAKIR, 1948de İskeçe'de doğdu. 1972'de Y.Müh. oldu.Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Doçentlik ve Profesörlük unvanını aldı. 1977-78 yıllarında ABD George Washington Üniversitesi'nde araştırmalar yaptı.Y.T.Ü'de

Dekan Yardımcılığı ve halen Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yürütmektedir.



Erdin GÖKALP, 1962de İstanbul'da doğdu. 1986'da mühendis, 1988'de Y.Müh, 1994'deDr.Müh,1994'de Yrd.Doç. olmuştur. Halen Y.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkan Yardımcılığı görevini sürdürmektedir.



Selim TRABLUS, 1967de İstanbul'da doğdu. 1988'de Mühendis, 1990'da Y.Müh. unvanını aldı.Halen Y.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak vazife yapmakta olup Doktora çalışmaları devam etmektedir.

SF6 GAZ YALITIMLI YÜKSEK GERİLİM AKIM TRANSFORMATÖRÜ

Rasim ALDEMİR, Salih EKMEKÇİOĞLU

Emek Elk. End. A.Ş - Ankara

ÖZET

Bu bildiriye, 170 kV sistem geriliminde çalışmak üzere tasarlanan ve prototipi üretilen SF6 gaz yalıtımlı bir akım transformatörü üzerinde yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar verilecektir. Çalışma üç aşamadan oluşmuş olup, ilk aşamada oluşturulan alt yapıya dayanarak tasarımların yapılması ve ardından üretilen prototipler üzerinde yapılan testlerle tasarımların doğrulanması sağlanmıştır. Prototipler, Türkiye'de yapılamayan kısa devre testi hariç uluslararası IEC-185 standardına uygun olarak Emek Elektrik Endüstrisi A.Ş. Yüksek Gerilim Laboratuvarında rutin ve tip testlerine tabi tutulmuşlardır. Proje, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) tarafınca desteklenmiştir.

1.0 GİRİŞ

Orta ve yüksek gerilimde kullanılan ölçü transformatörlerinde yalıtım; Epoksi, Yağ-Kağıt ve SF6 gazı olmak üzere başlıca üç yalıtım malzemesi ile sağlanmaktadır. Bunların dışında istisnai olarak bazı firmaların yağ-kağıt ve epoksi malzemelerin beraber kullanımı gibi uygulamaları görülse de, bunların imalat ve kullanım açılarından avantaj getirmedikleri görülmüştür.

Epoksi ve yağ-kağıt izolasyonu klasik olarak uzun yıllardır uygulanan yöntemler olup, SF6 gazının bu tür amaçlar için uygulanmasına ilk defa 1953 yılında Amerika'da başlanılmıştır. SF6 gazının özellikle yüksek gerilim devre kesicilerinde hızla hakim duruma geldiği ve son yıllarda yüksek gerilim ölçü transformatörlerindeki uygulamalarının giderek arttığı görülmektedir. Bunun temel nedeni SF6 gazının üstün niteliklerinin yanında, gaz olması nedeniyle ile özellikle yağ yalıtımlı ortamlarda karşılaşılan birtakım sakıncaları ortadan kaldırmasıdır. Çok kararlı bir moleküler yapıya sahip olan SF6 gazının özellikleri aşağıda detaylandırılmıştır.

1.1 SF6 Gazının Özellikleri

• SF6 gazının kendini yenileme (regeneration) özelliği vardır. SF6 elektriksel boşalım sonucunda elementlerine parçalanmakta, ancak tekrar birleşerek SF6 molekülünü oluşturmaktadır. Dolayısı ile gazın bozulması son derece düşük olmakta ve SF6 hiçbir zaman yenilenmeyi gerektirmemektedir.

• SF6'nın yanmayı beslememesi, yanmaz sistemlerin tasarımını mümkün kılmaktadır.

• Normal atmosferik basınçta ve 500°C sıcaklığa kadar SF6 kimyasal olarak kararlılık göstermektedir. Mühendislik açısından "A" sınıfı izolasyon sıcaklığı olan 105°C'da SF6 karardır.

• SF6 yalıtımlı transformatörler daha basit, daha hafif olup, çalışma basınçlarına bağlı olarak boyutça daha küçük yapılabileme imkanına sahiptirler.

• Düşük viskoziteli ve yüksek yoğunlukta olup, yüksek özgül ısı katsayısı ve ısı iletkenliği ile özellikle kesicilerde kesim anında oluşan ısının emilmesi ve arkin soğutulmasını başarıyla sağlamaktadır.

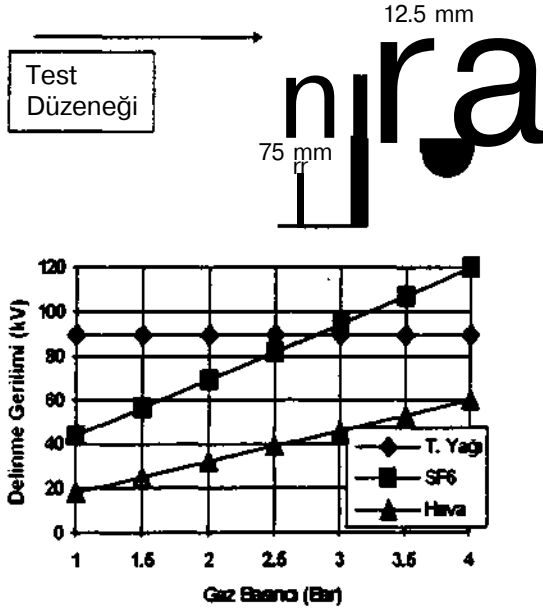
• Elektronegatif bir gaz olan SF6, ortamdaki elektriksel iletme neden olan serbest elektronları tutarak yüksek dielektrik dayanım seviyeleri sağlamaktadır.

$SF_6 + e^- \rightarrow SF_6^-$: 0.1 eV elektron enerjisi ve 0.05 eV enerji sahası için

$SF_6 + e^- \rightarrow SF_5 + F$: 0.1 eV elektron enerjisi ve 0.1 eV enerji sahası için

• SF6 1.5-5 bar gibi nisbeten düşük basınçlarda yüksek dielektrik dayanımına sahip olup, gaz basıncı 2.8 bar'ın üzerine çıktığında, SF6 gazının dielektrik dayanımı transformatör yağının dielektrik dayanımına denk olmaktadır. Ölçü transformatörlerinde gaz basıncı genel olarak 4.9 bar olup, normal kullanımda yağa göre daha iyi bir yalıtım seviyesi sağlanmaktadır. Tasarımın uygun yapılması halinde, bir arıza neticesinde gaz basıncında önemli bir düşüş olsa dahi, gaz basıncının atmosferik basınç olan 1 bar'ın altına normalde düşmeyeceği göz önüne alındığında, sistemin

en azından kısa müdahale süreleri için çalışmaya devam etmesi sağlanabilmektedir.



• Adiabatik katsayısının düşük olması nedeni ile elektriksel delinme halinde ısıl genleşme ile oluşan basınç artışı diğer gazlara göre daha düşük düzeydedir.

• Elektriksel delinme sonucu oluşan basınç artışı, gazların sıkışabilme özelliğinden dolayı bir emniyet tapası aracılığı ile kontrol edilebilmekte ve oluşan aşırı basınç transformatör tasarım kriterlerini aşmadan bu tapanın atması ile kontrollü bir şekilde düşürülebilmektedir. Yağlı transformatörlerde ise delinmenin olduğu noktadan küresel olarak genişlemeye başlayan basınç dalgası, yağ sıkıştırılmadığından yüzeye ilk çarptığı noktadan transformatörü parçalamakta ve dağılan özelliklerle seramik bushing parçaları civarda bulunan diğer cihazlara ciddi zarar verebilmekte ve personel üzerinde hayati tehlike yaratabilmektedir. Bu konu SF6 gazlı sistemlerin tercihinde en önemli neden olabilmektedir.

• Kuru havanın SF6 gazının delinme gerilimine olan etkisi sınırlıdır. SF6 gazına hacimce 10% kuru hava karıştırıldığında delinme geriliminde 3%'lük bir azalma gözlenir. Oran hacimce 30%'a ulaştığında delinme gerilimindeki düşüş 10% civarındadır.

• SF6 saf halde renksiz, kokusuz, toksik olmayan bir gazdır. Ark sırasında SF₂, SF₄, S₂F₂, S₂F₁₀, SF₈ veya ortamda serbest Helyum iyonu varsa HF (hidrojen florür) gazı gibi toksik ayrışma ürünleri oluşsa da, bu reaksiyonlar

detaylı olarak bilinmekte olup, yapılan araştırmalar bu ürünlerin aktifleştirilmiş alüminyum oksid gibi moleküler elekler kullanılarak çok kolayca süzölebileceğini göstermiştir.

• SF6 karbon atomu bulundurmadığından, ayrışma ürünleri yalıtım malzemeleri üzerinde birikerek problemlere yol açan karbon bileşikleri içermemektedir. Yalıtım malzemelerinin yüzeylerinde toz tabakası şeklinde artık bırakabilen ayrışma ürünleri, kendileri de iyi birer dielektrik olduklarından cihazların çalışmasını etkilememektedirler.

• Molekül ağırlığı 146.5 gr/mol olup, yoğunluğu hava ile karşılaştırıldığında 5 kat daha fazladır.

gaz haldeki yoğunluğu (20°C, 1 bar) : 6.07 gr/lt.

sıvı haldeki yoğunluğu (0°C, 12.65 bar) : 1.56 kg/lt.

• SF6'nın dielektrik sabiti 20°C, 1.0133 bar ve 23.340 MHz'de 1.0021'dir. Basınç 20 bar'a yükseldiğinde takriben 6% artış gösterir. Sulphur hexafluoride -50°C'de sıvı halde iken 10 ile 500 kHz arasında dielektrik sabiti 1.81±0.02'dir.

• Kritik sıcaklık ve basınç değeri olan 45.55°C ve 37.59 bar üzerinde daima gaz halindedir. 0°C sıcaklıkta 12.68 bar basınç altında sıvılaşır.

2.0 170 KV SF6 GAZ YALITIMLI PROTOTİP ÇALIŞMALARI

Prototip, aşağıda verilen teknik özelliklere uygun olarak tasarlanmıştır;

Teknik Özellikler:

- Tip : AT2-170
- Standart : IEC-185, TS-615
- Maksimum sistem gerilimi: 170kV
- Sistem gerilimi : 154 kV
- Frekans : 50 Hz
- Anma oranı : 750-1000-1200/5-5
- izolasyon seviyeleri : 170/325/750 kV
- izolasyon ortamı : SF6 gazı ile yalıtılmış
- Çalışma gaz basıncı : 4.9 bar
- ölçü devresi : 1Fs5 30 VA
- Koruma devresi : 5P20 60 VA
- Sürekli termik akım : 1.2xIn
- Kısa süreli akım : lth 1sn 20 kA
- Çalışma sıcaklığı : Idyn 50 kA
- Çalışma ortamı : -40 / +55 °C
- Çalışma ortamı : Harici, Temiz ortam

2.1 Transformatör Tipine Karar Verilmesi

Kullanılacak kompozit bushingın mekaniksel ve termal özellikleri göz önüne alınarak yaptığımız çalışmaların sonucunda, maliyet ve elektriksel teknik üstünlükleri açısından SF6 gaz yalıtımlı akım transformatörleri için en uygun tipin kafa tipi olduğuna karar verilmiştir.

2.2 Bushing Malzemesi Çalışması

Yürütülen araştırma faaliyetleri sonucunda, SF6 gaz yalıtımlı transformatörler için en uygun bushing malzemesinin, üzeri silikon pedigotlar ile kaplanmış kompozit tüp olduğu görülmüştür. Bu tercihte günümüz teknolojisindeki son gelişmelerinin izlenmesinin yanında, seramik bushinglerin gaz basıncı altında patlama risklerinden kaynaklanan emniyet faktörü de gelmiştir. Silikon kaplama aynı zamanda kompozit malzemeyi hassas olduğu ultraviyole ışınlarına karşı koruma görevini de görmekte ve, silikon malzemenin seramik bushingler gibi hidrofilik olmaması özelliği ile yalıtım açısından da avantaj sağlamaktadır. Yüksek teknoloji gerektiren bu işlemin prototip bütçe ve süresi içinde gerçekleştirilmesi mümkün olmadığından ve pedigotların projede asıl önemli kısmı oluşturan ve laboratuarda yapılan yalıtım testleri için gerekli olmamalarından dolayı, üretilecek prototipin bu tür bir işlemi gerektirmeyen harici, temiz ortam tipinde üretilmesi kararlaştırılmıştır.

2.3 Çalışma Basınç ve Gerilim Seviyelerinin Belirlenmesi

Transformatörün normal çalışması sırasındaki SF6 gaz basıncının, gerek transformatörün minimum çalışma sıcaklığı ve gaz yalıtımlı sistemlerde muhakkak çok düşük seviyelerde de olsa gaz kaçağı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, gerekse kullanımda bulunan ürünlerin çalışma basınçları göz önüne alındığında, 20°C'da 4.9 bar olması uygun görülmüştür. Transformatörün minimum çalışma sıcaklığı çalışma gaz basıncını ve transformatör boyutlarını etkilemektedir. Üretilecek transformatörde -40 °C çalışma sıcaklığı istenildiğinden, bu sıcaklıkta SF6'nın buharlaşma basıncı 3.49 bar olmakta yani bu basıncın üzerinde kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu noktadan hareket ederek üretilecek prototipin hemekadar 4.9 bar'da çalışması kararlaştırılmış olsa da, tasarımın istenilen izolasyon seviyelerinin tamamını 3.49 bar'da karşılayabilmesi esas alınmıştır. Arada kalan fazla gaz miktarı transformatörün normal çalışma esnasında daha iyi bir yalıtım

seviyesinde çalışmasını sağlamanın yanında, yukarıda da belirtildiği üzere transformatörde çok düşük seviyelerde de olsa gaz kaçağı olacağından, bu kaçan miktarı kompanse edecektir.

Tasarım esnasında göz önünde bulundurulmuş en önemli noktalardan birisi de gaz kaçağı durumunda basıncın 4.9 bar'dan 1 bara düşebileceğinin ve bu durumda transformatörün hangi izolasyon seviyelerine dayanması gerektiğinin belirlenmesi olmuştur. Yapılan değerlendirmede, bu tür bir durumla ancak hızlı bir basınç düşümüne yol açabilecek çok ciddi ve büyük olasılıkla harici nedenlerden kaynaklanabilecek bir arıza durumunda karşılaşılabileceği kararlaştırılmıştır. Normal olarak transformatör üzerinde bulunan densimetreden periyodik olarak yapılacak kontroller ile gaz kaçaklarını tespit edebilmek mümkün olup, gene densimetre üzerine monte edilebilen anahtarlar ile gaz yoğunluğu kritik değerlerin altına düştüğünde sorumlu kişilere ve koruma ekipmanına anında uyarıda bulunmak mümkündür. Bu sayede transformatörün anında veya çok kısa bir süre içerisinde devreden çıkarılabilme imkanı vardır.

Bu bilgiler ışığında, transformatörün 1 bar basınçta maksimum sistem gerilimi koşullarını sağlayacak şekilde çalışmasına devam edebilmesinin gerekli olduğu, ancak 1 bar basınçta normalde istenilen izolasyon seviyelerinden 1 dakika 325 kV rms gerilime ve 1.2/50 µs 750 kV darbeye dayanımına gerek olmadığı kararlaştırılmıştır.

SF6 gazının dielektrik dayanım değerleri en kritik çalışma koşulu olan +20 °C, 1 bar basınç için 6 kV(rms)/mm olarak alınmıştır. Bu basınçta literatüre dayanarak elde edilen verilere göre SF6'nın maksimum dayanım değeri, homojen elektrik alan dağılımı için 6.5 kV(rms)/mm olup, bizim transformatör üzerinde yaptığımız deneylerde 6.3 kV(rms)/mm değerine ulaşılmıştır. SF6'nın elektriksel bir boşalım ile parçalanmasının ardından eldelerinin birleşerek kendini yeniden oluşturabilmesi, transformatör üzerinde akımı sınırlandırılmış ark değerleri ile bu tür deneylerin yapılmasına izin vermiştir. Bu durum da SF6 yalıtımlı sistemlerin bir diğer avantajı olup, yağlı transformatörlerde oluşabilecek bu tür bir ark, küçükte olsa, oluştuğu yol üzerinde zayıflamaya yol açmakta ve muhakkak transformatörün sökülerek kağıt yalıtımının yeniden yapılmasını gerektirmektedir.

SF6 gazının basınç değerleri saptanırken sıcaklık olarak +20 °C baz alınmıştır. SF6 gazının basıncı şüphesiz -gaz kanunlarına uygun olarak sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir ancak bu gazının yalıtkanlığının hesaplanmasında göz önünde bulundurulması gereken çok önemli bir nokta, yalıtkanlığın basınçla değil gazın yoğunluğu ile değiştiğidir. Dolayısı ile sıcaklığın düşmesi ile gaz basıncında düşme olsa da, eğer sıvılaşıma olmuyor ise gaz yalıtkanlığının sabit kaldığı kabul edilebilir. Transformatorün -40°C / +55°C sıcaklıklar arasında kullanımı söz konusu olduğundan gaz basıncı 3.49 bar ile 5.35 bar arasında değişebilmektedir. Normal

manometrelerden bu değişim aralığı içerisinde olabilecek düşük seviyelerdeki gaz kaçaqlarını gözleyebilmek mümkün olmadığından, göstergesi sıcaklığa göre düzeltilmiş olan densimetre kullanımı gerekli olmaktadır. Bu nedenle harici uygulamalarda transformator üzerinde basıncı gösteren manometreden ziyade densimetre (çalışma prensibi basitçe ibresi bir bi-metal malzeme aracılığı ile sıcaklığa göre düzeltilen manometre olarak verilebilir) bulunması gerekli görülmüştür.

Emniyet tapasının tasarımında prototipte kullanılan tapa geometrisi için 7.5 bar basınçta (gauge) atan ve bu amaçla özel olarak tasarlanmış alüminyum levha kullanılmıştır. Yaptığımız çalışmalarda bu tür uygulamalarda alternatif olarak grafit disklerin de kullanılabilceği görülmüştür.

2.4 Yüzey Pürüzlülüğünün Etkileri

SF6'nın yalıtkanlık seviyesi yüzey pürüzlülüğü ile bağlantılı olup, etkilenmemesi için

$$\text{yüzey pürüzlülüğü} \times \text{çalışma basıncı} \leq 40$$

bağlantısının sağlanması lazımdır. Transformatorün çalışma basıncı 4.9 bar olduğundan, buradan yüzey pürüzlülüğü'nün 8 µ.m'nin altına olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

2.5 Elektrik Alan Problemleri

Prototip tasarımında sekonder nüve üzerlerinin, statik elektrik birikimini engellemek, koronaya karşı dayanıklı hale getirmek ve çalışma esnasında tasarımda referans alınan toprak potansiyelinde olmasını garanti edebilmek için metal elektrodlarla kaplanması kararlaştırılmıştır. Transformatorde ki bir diğer önemli elektrod uygulaması da, transformator kafası ile bushinginin birleştiği nokta etrafında oluşan ve havada koronaya yol açan elektrik

alanındaki yoğunlaşmanın, bushing üzerindeki potansiyel dağılımının mümkün olduğunca eşit bir şekilde yapılarak önlenmesi için yapılmıştır.

Transformatorün çalışacağı en düşük sıcaklık, gaz kaçağı durumunda basıncın 1 bara kadar düşebileceği göz önünde bulundurulduğunda çalışması istenilen gerilimler, normal çalışma gerilimleri, normal çalışma basıncı ve SF6'nın basınca dayalı olarak değişen elektriksel dayanım seviyeleri belirlendikten sonra transformator geometrisinin kullanılması kararlaştırılan Sonlu Elemanlar Yöntemi ile belirlenmesine başlanılmıştır. Bu amaçla, proje için satın alınan HP90007720 iş istasyonuna yüklenen, non-linear ve kompozit malzeme çözüm yetenekleri gelişmiş, MARC genel amaçlı SEY programı kullanılmıştır.

Tasarımda, transformatorün en kritik noktasının, bushing elektrodunun alt boğaz kısmının olması kararlaştırılmıştır.

Transformatorde koaksiyel yapı oluşturan, primer elektrodun sekonder elektrodların içinden geçtiği kısım ile sekonder uçların nüvelerden transformator alt kısmına ulaşmasını sağlayan tüpün bushing elektrodunun içinden geçtiği kısımlarda, elektrik alan dağılımını optimize edebilmek için bu yapıların birbirlerini gören yüzeylerinin çapları arasında "es2.71" oranının olması esas alınmıştır.

3.0 TESTLER

Transformator, sızdırmazlık testlerine ve IEC-185 standardına göre rutin ve tip testlerine tabi tutulmuştur.

3.1 Gaz Sızdırmazlık Testleri

Transformator parçalarından gaz sızdırmaz yapıda olmaları gereken kafası, bushingi ve kaidesine 10 bar basınç altında yarım saat süre ile sızdırmazlık testi uygulanarak montaja esas parçaların sızdırmazlıkları garanti edilmiştir. Transformator, montajının tamamlanmasından sonra tekrar 1 mBar vakum altında 1 gün süreli diğer bir sızdırmazlık testine tabi tutulmuş ve tatmin edici bir sonucun alınmasının ardından gaz doldurma işlemine geçilmiştir.

3.2 Elektriksel Testler

Tamamlanmış transformator üzerinde aşağıda detaylandırılan şu testler yapılmıştır:

- Ölçü nüvesi için Sınıf Testleri ve Koruma nüvesi için Bileşik Hata Testleri.
- Sıcaklık artış testi.
- Kısmi boşalma

- Yalıtım testleri; Primer toprak arası ve Sekonder sarımlar arası.
- Yıldırım darbe testi.

Yalıtım ile ilgili testler, transformatör gaz basıncı önce 1 bara, daha sonra da 3.49 bara getirilerek iki kere yapılmış ve yukarıda açıklanan kriterlerimize uygun olarak transformatörün testlerin tamamından başarı ile geçtiği görülmüştür.

4.0 SONUÇ

Projenin gerçekleştirilmesi ile birlikte, Türkiye'de genel olarak lisans ile gerçekleştirilen bu tür üretimlerin tamamen yerli imkanlarla gerçekleştirilebilmesi mümkün olmuştur. Böylece ülkemizde SF6 yalıtımlı ölçü transformatörlerinin tasarımı ve imalatı konusunda önemli bir aşama kaydedildiğine inanmaktayız.

Proje sonuçlarının seri imalata aktarılabilmesi ile ilgili olarak aşağıdaki yatırımların yapılması gerekli görülmektedir.

- Kompozit malzeme üzerine silikon pedigot kaplama teknolojisinin Türkiye'ye getirilmesi

Bu konudaki en uygun çözümün, hazırlanacak bir kalıp ile seçilecek silikon tipinin bushing üzerine direk olarak ve anda mümkün olduğunca fazla sayıda pedigot oluşturacak şekilde uygulanması olduğu değerlendirilmiştir.

Bu teknolojiye alternatif çözüm arama çalışmalarımız şöyle sonuçlanmıştır.

- Daha küçük boyutlardaki izolatörler için tek parça silikon tüpler geliştirilmiş olup, bunları özel aparatlar aracılığı ile izolatör etrafına geçirmek mümkün olmaktadır. Pedigotlar geçirme esnasında el ile şekillendirilmektedir. Ancak bizim uygulamamızdaki bushing ebatlarında bu tür bir çalışmayı yapmak mümkün görülmemektedir. Görülen bir diğer dezavantajda silikon tüp ile izolatör arasında dielektrik sabiti diğerlerine göre düşük olan hava bulunmasının önlenemeyeceğinin ve zamanla araya girebilecek nem ve suyun malzeme yalıtkanlığını bozabileceği olmuştur.
- Silikon pedigotlar, hazırlanacak kalıplar aracılığı ile tek tek imal edilerek, sonradan bushing etrafına geçirilebilir. Bu tür bir imatı halihazırda Türkiye'de yaptırmak mümkün görülmektedir. Ancak yukarıda bahsedilen, pedigotlar ile bushing arasına hava, nem ve

su girebilmesi ile ilgili sorunlar burada da geçerlidir.

- Yüksek basınç altında gaz sızdırmaz alüminyum döküm teknolojisinin Türkiye'ye getirilmesi

Transformatör kafasının ticari uygulamasının olabildiği için daha ucuz, daha çabuk ve istenilen teknik özelliklere uygun imal edilebilmesi gerekmektedir. Prototipte kullanılan ve ayrı ayrı işlenerek elde edilen parçaların kaynatılarak birleştirilmesi ile oluşturulan transformatör kafası hem pahalıya mal olmakta, hem de yüzey pürüzlülüğünün istenilen seviyelerde sağlanması mümkün olmamaktadır. Kaliteli bir dökümle elde edilen tek parça bir transformatör kafasında ise conta yüzeylerinin işlenmesi ile basit bir kumlama işlemi yeterli olmaktadır.

Prototip çalışmalarımız sırasında tek parça alüminyum döküm ile yapılabilecek bu tür bir imalatın yurtiçinde gaz sızdırmaz şekilde gerçekleştirilemediğini görmüş bulunmaktayız.

- Tozdan arındırılmış üretim ortamı sağlanması

SF6 gaz yalıtımlı cihazlarda bulunabilecek metal parçacıkları, elektriksel yükleri üzerlerinde toplayarak buldukları yerdeki elektrik alan dağılımını bozmakta, dolayısı ile yalıtım seviyesini düşürmektedirler. Bu nedenle bu tür cihazların imalatları aşamasında gerek monte edilecek parçaların temiz olmalarının sağlanması, gerekse montaj ortamının tozdan arındırılmış olması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. *New Gaseous Insulation*
Nakasishi K. (Mitsubishi Electric Corp, Amagasaki Japan)
IEEE Transactions on Electrical Insulation
vEI-21n6 Dec 1986 p 933-937
2. *Sulphur Hexafluoride - a Complex Dielectric*
Boggs Steven A. (Underground System Inc, Armask NY USA)
IEEE Electrical Insul Mag v5 n6 Nov-Dec 1989 p 16-21
3. *Fundamental Processes of SF6 Decomposition and Oxidation in glow and Corona Discharges*
Van Brunt R.J. (Natl. Inst of Stand and Technol, Gaithersburg MD USA), Hermon JT
IEEE Trans Electr Insul v25 n1 Feb 1990 p 75-94

- 4. Development of Insulation Technology for High-Voltage Gas-Insulated Transformer**
Gato Kiyoshi (Tokyo Electr Power Co Inc, Tokyo Jpn), Yamazaki Takashi, Teranishi fsuneharu, Ikeda Masami, Murase Hirashi, Okubo Hitoshi
IEEE Trans Power Delivery v n A 1989 p 1096-1102
- 5. Basic Physics of Gaseous Dielectrics**
Christophorou L.G. (Oak Ridge Natl Lab, TN USA), Pinnaduvage L.A.
IEEE Trans Electr Insul v 25 n 1 Feb 1990 p55-74
- 6. Development of 275 kV Gas Cooled type Gas-Insulated Power Transformer**
Kudo A. (Mitsubishi Elect Corp, Ako Japan), Nishitani T, Yashikawa T, Wan C.T.
IEEE Trans Power Delivery v 8 n 1 Jan 93 p 264-270
- 7. Safety Concept Against Destructive Consequences of High Voltage Instrument Transformer Failure**
Proceedings 91, IEEE Power Eng. Soc. Tran. and dist. Conf. (Ct. No. 91CH3070-0), Dallas TX USA 22-27 Sept 1991 (New York NY USA, IEEE 1991) p 606-12
- 8. Insulating Characteristics of Small SF6 Gas Gaps Under Lightning Impulse Voltages**
Ishii T., Hasamura M., Hosai M., Toda K., Terarishi T., Murose H., Yarabu S. (Tokyo Electr Power Co Inc, Tokyo Japan)
Gaseous Dielectric 6 (Proc Int Sym) 6th 1990 p 261-6
- 9. Sealed High Voltage Equipment with Suttur F6 Insulation for Partial Discharge Characteristics**
Vishnevskii Yu. I, Arshaskii I. Sh, Syromyatkinov B.D. (USSR)
Electrotehnika 1991
- 10. ASEA Instrument Transformers Application Guide**
Knut Sjövall
January 1986
- 11. Sulphur Hexafluoride**
SOLVAY Fluor und Derivate GMBH
January 1992
- 12. Sulphur Hexafluoride**
AUSIMONT
- 13. The experience of Electricite de France in SF6 medium voltage switchgear**
Technical series, September 1987
Electricite de France International
- 14. Product Information, Statement to Sulphur Hexafluoride and the environment**
SOLVAY Fluor und Derivate GMBH
Hannover, February 1991
- 15. Sulphur hexafluoride - Data sheets**
John T. Miltek, Hughes Aircraft Company, Culver city, California
October 1964
- 16. Seismic Design of Instrument Transformers**
Salvador, J.P. Vandeleene
GEC Alsthom Technical Review, No. 7, 1991
- 17. Insulating Materials for Design and Engineering Practice**
Frank M. Clark, General Electric Company, Schenectady, New York
John Wiley and Sons Inc., 1962
- 18. Identification and Study of Some Properties of Compounds Resulting from the Decomposition of SF6 under the Effect of Electrical Arcing in Circuit-Breakers**
Claude Boudene, Jean Louis Cluet, Gerard Keib, Gerard Wind
RGE Special Issue, June 1974
- 19. Development of Compact 500 kV 8000 A Gas Insulated Transmission Line • Study on Insulation Design**
Kobayashi, S. Mori, M. Koshiishi, K, Ninomiya, M. Matsuki, H. Yokoyama, T. Hara
IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 11, November 1984
- 20. Characterisation Problems of Insulating Materials for G.I.S. Components**
Bozzo, L. Centurioni, G. Coletti, D. Tommasini
Fifth International Symposium on High Voltage Engineering, Braunschweig, 24-28 August 1987, Germany
- 21. Resin and Mineral Filler Influence on the Performance of G.I.S. Cast Insulators**
Centurioni, G. Coletti, L. Sfondrini
IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation, Washington D.C., June 9-11, 1986
- 22. New Current Transformer Using SF6 and Compound Support Insulation Systems**
Francois Fajtermeier, Moser-Glaser & Co. Ltd. (MGC)
IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 2, April 1988
- 23. SF6 Insulation and Its Application to HV Equipment**
Yanabu, Y. Murayama, S. Matsumoto
IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 26, No. 3, June 1991
- 24. Countermeasure Against Explosion of Gas Insulated Porcelain Bushing**
Naito, T. Moriya, Y. Matsuura, T. Nakayama, T. Nakamura
IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 4, October 1985
- 25. Development of 275 kV EHV Class Gas-Insulated Power Transformer**
Harumoto, Y. Kabayama, Y. Kuroda, Y. Yoshida, H. Kan, Y. Miura, T. Hakata
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 9, September 1985
- 26. Cooling Effect by Gas Density of SF6 Insulated Transformer**
Şato, T. Ina, M. Matsumoto
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 7, July 1982
- 27. IEC 185 International Standard - Current Transformers**
International Electrotechnical Commission
- 28. Standard Handbook for Electrical Engineers**
Donald G. Fink, H. Wayne Beaty
- 29. SF6 Gazının Özellikleri ve Yüksek Gerilim Cihazlarındaki Etkileşimi**
Doç. Dr. Ali Gökmen

30.SF6 Gazının Elektriksel özellikleri ve Yalıtkanlık Seviyesi

Doç. Dr. M. Sezai Dinçer

31. TS 855 - Yalıtma Koordinasyonu

Türk Standardlar Enstitüsü

Nisan 1970

32. TTGV-023 SF6 Gaz Yalıtımlı Ölçü Transformatörü Projesi - Kesin Rapor

Emek Elk. End. A.Ş.

Mart 1995

ÖZGEÇMİŞLER



Rasim Aldemir.
27.1.1945'de Tokat'ta doğdu. 1962 yılında Almanya'da dil öğrenimi gördü. 1969 yılında Almanya Karlsruhe Teknik Üniversitesinden Elektrik Yüksek Mühendisliği derecesini aldı. 1969-1973 yılları arasında aynı üniversitede Doktora çalışmaları yaptı. 1978 yılında KTÜ'den Doçent Unvanını aldı. 1978-1985 yılları arasında KTÜ'de öğretim üyesi olarak çalıştı. 1985 yılında beri Barmek Holding bünyesinde çeşitli görevlerde bulunmaktadır.



Salih Ekmekçioğlu.
15.1.1962 Ankara doğumludur. 1984 yılında Boğaziçi Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden Lisans ve 1987 yılında ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans derecelerini aldı. Sırası ile 1985-1988 yılları arasında Tübitak'ta, 1990-1991 yılları arasında TAI'de, 1991-1993 yılları arasında Marconi Kominikasyon A.Ş.'de görev almış olup, 1993 yılından buyana Emek Elk. End. A.Ş.'de çalışmaktadır.