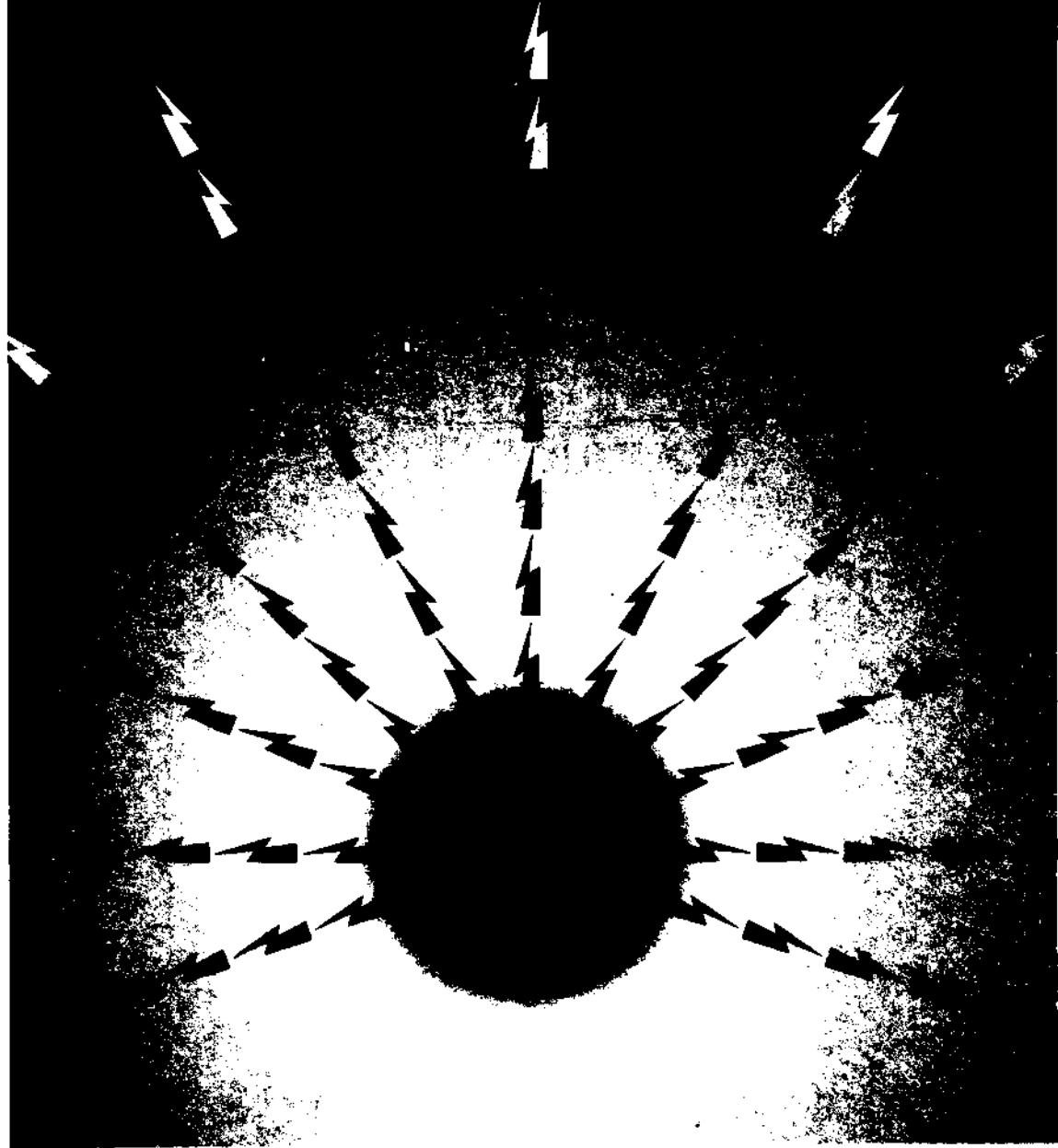


TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

ELEKTRİK - ELEKTRONİK BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ 7. ULUSAL KONGRESİ



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
ANKARA ŞUBESİ



ODTÜ
ELEKTRİK -ELEKTRONİK..
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



TÜBİTAK

ÖNSÖZ

TBMMO Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresini ve Sergisini Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olmaktan onur ve sevinç duymaktayız. Üniversite olarak kongreye ikinci kez evsahipliği yapmamız bizi fazlasıyla mutlu etmiştir, ama mutluluğumuz asıl geçen süre içinde Odamızın, meslek yaşamımızın ve Üniversitemizin ne kadar gelişmiş olduğunu gözlemekten kaynaklanmaktadır.

Gerçekten de ilgi alanlarımızın çeşitlenmesi, bu alanlarda belli bir beceriye ulaşılmış olması, eskiden güçlü olduğumuz dallarda da gücümüzün sürmesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendislerimizin ülke genelinde giderek daha fazla söz sahibi olmaları olgusunu yaratmaktadır. Bireysel basanlarımızın kurumlanmızı da ülke ekonomisi ve gelişmesi bakımından güçlendirmekte olduğu açıktır. Nitekim bu sektörlerde faaliyet gösteren kuruluş sayısı hızla artmaktadır. Bu sayısal gelişmenin nitelik bakımından da aynı hızla sürdüğünü görmek sevindiricidir. Kongremiz ve sergimiz bunun en somut kanıtını oluşturmaktadır.

2000Mi yılların Türkiye'sinin ihtiyaçlarını yakahyabilmek için daha çok şeyler yapılması gerekmektedir. Endüstri-Eğitim Kurumlan ve Meslek Odalan arasındaki iletişim ve karşılıklı etkileşimi güçlendirmek gerekmektedir. Bu geçmişe oranla daha sevindirici bir düzeyde sürüyor da olsa henüz gelişmiş ülkelerdeki başarı örneklerin uzağındadır. Önümüzdeki yıllarda bu konuda daha fazla çabaya ihtiyaç vardır.

Tüm katılımcılara Kongre ve Sergimize vermiş olduklan güç için teşekkür ediyorum. Sizleri Üniversitemizde görmenin kıvancıyla selamlıyor saygılarımı sunuyorum.

Prof. Dr. Fatik Canatan
Yürütme Kurulu Başkanı

ELEKTRİK-ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
7. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Fatih CANATAN (Başkan, ODTÜ)

M. Mete BULUT (ODTÜ)
Cengiz BEŞİKÇİ (ODTÜ)
Gönül SAYAN (ODTÜ)
Cemil ARIKAN (TÜBİTAK)
M. Hacim KAMOY (ASELSAN)
Hüseyin ARABUL (BARMEK)
Aydın GÜRPINAR (ENERSİS)

M. Asım RASAN (EMO)
Cengiz GÖLTAŞ (EMO)
H. Ali YİĞİT (EMO)
Kubilay ÖZBEK (EMO)
M. Sıtkı Çiğdem (EMO)
Funda BAŞARAN (EMO)
Mustafa ÖZTÜRK (EMO)

EDİTÖRLER

Fatih CANATAN

Mehmet Mete BULUT

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNİN MALİYETİNİN EN AZA İNDİRİLMESİ

Mehmet KURBAN

Selçuk KÜTÜK

Nesrin TARKAN

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80610 Maslak-İSTANBUL

Kocaeli Ü. Mühendislik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
izmit - KOCAELİ

ABSTRACT:

This paper presents a method to determine the design parameters of an electrical power transmission system. The mathematical model which determines these parameters depended on the system cost using regression analysis is introduced. This model is unlinear. An example for explaining the using method in detail is given.

1. GİRİŞ:

Elektrik enerji endüstrisi, gelecekte ortaya çıkabilecek elektrik enerjisi talebini karşılayabilmek için var olan olanakları iyileştirmek, kaliteyi yükseltmek, yeni enerji üretim merkezleri ve enerji iletim sistemleri kurmak zorunda kalacaktır. Santraller genelde yakıt ve diğer ihtiyaçlardan dolayı tüketicilerin bulunduğu yük merkezlerinden uzakta kurulmaktadır. Santralde üretilen elektrik enerjisinin tüketici merkezlerine iletilmesinde yüksek gerilimli hava hatları kullanılmaktadır. Ancak bu şekilde büyük güç iletimi yapılabilmektedir. Böyle bir iletim sisteminin tasarlanması ve kurulması büyük miktarlarda sermaye gerektirir. Bu nedenle, sistem maliyetinin en aza indirilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada r.gerekli hizmetleri gerçekleştirirken büyük yararlar sağladığı gibi, sadece ekonomik kararlar için değil üretim, iletim ve dağıtım faaliyetlerindeki genişlemede yapılacak mühendislik hizmetleri açısından da gereklidir. Ayrıca hizmetin fiyatlandırılmasında da kullanılır. (1,2,3)

iletim sistemini tasarlayan kişiler, sistem maliyeti üzerinde birbirlerine zıt etkileri olan birkaç tasarım parametresinin değerini belirlemek zorundadırlar. Tasarım parametrelerinin maliyet üzerindeki zıt etkileri, bu parametrelerin değerini belirlemek açısından sınırlayıcı bir faktördür. Ancak bu faktör, tek sınırlayıcı değildir daha başka sınırlayıcılar da vardır. Bunlar, radyo ve televizyon parazit sınırları, hattan geçen akımın oluşturduğu elektromagnetik alanın hat çevresindeki dağılımının zararlı etkilerinden korunabilmek için hat ile toprak arasındaki mesafenin değeri, işitilebilen gürültülerin etkileri ve anahtarlama darbelerinin şiddetleridir.(1,4)

Bu etkilerin bir göstergesi olarak, iletken seçimine bağlı maliyetin ele alınması gerekmektedir. Eğer iletken kesiti büyük seçilirse, iletken kayıpları ve dolayısıyla da

kayıplara bağlı maliyet düşer. Fakat iletken kesiti büyük seçildiğinden, iletken maliyeti artar. Bununla birlikte, iletken kesiti için bir alt sınır vardır. Bu iletken kesitinin altında iletken kullanılması, radyo parazitlerinin istenmeyecek kadar büyük olmasına neden olur. Bu nedenle belirli bir kesitin altında iletken kullanılması sakıncalıdır. Bunlara ek olarak, bir demet içindeki iletken sayısını arttırmak, iletkenin maliyetini artırır; fakat enerji kaybını azaltır. Daha büyük kesitli iletken kullanmak iletim kaybını azaltır; ancak kesit artışına bağlı olarak iletken ağırlığı arttığından bu iletkeni taşıyan taşıyıcı direklerin üstüne daha fazla yük biner. Bunun sonucunda bu direklerin daha güçlü yapılması gerekir. Bu da daha fazla bir maliyet yükü getirir.(1,2)

Komşu iki direk arasındaki açıklık, direklerin taşıyacağı yükleri doğrudan etkiler. Direkler arası açıklık ne kadar büyükse, direğe gelen yatay ve düşey kuvvetler de o kadar büyük olacaktır. Bu da kullanılan direğin daha güçlü olmasını, dolayısıyla daha ağır ve pahalı bir direk yapılmasını gerekli hale getirir. Diğer taraftan, genellikle direkler arası açıklığı arttırmak, verilen belirli bir enerji iletim hattı uzunluğu için toplam direk sayısının azalmasına yol açar. Sonuç olarak, direkler arası açıklığı arttırmak, direklere gelen kuvvetlerin büyümesi nedeniyle direk maliyetini arttıracak, ancak toplam direk sayısı azalacağından toplam iletim sistemi maliyetinde bir düşmeye neden olacaktır. Bu tür durumlar gözönüne alınarak direkler arası açıklığın uygun değeri belirlenmelidir.(1,2)

Çelik kafesli direğin toplam boyutunun arttırılması, direk temelini boyutlarını azaltacaktır; çünkü taban boyutunun arttırılması sayesinde direk temeline gelen kuvvetler azalacaktır. Bu taban boyutunun arttırılması aynı zamanda direk destek elemanları için çelik miktarını arttıracak ve direğin ana bacak boyutunu da azaltacaktır. Direğin gövde boyutundaki bir değişim ana ve destek elemanlarında da bir değişime sebep olacak ve dolayısıyla direği ağırlaştıracaktır. Görüldüğü gibi, enerji iletim sisteminin tasarım parametreleri, sistem maliyeti açısından birbirleri ile karmaşık bir etkileşime sahiptirler. Bunun bir sonucu olarak; bugüne kadar tasarlanan enerji iletim sistemlerinin birçoğu iki adımdan oluşan bir yöntem kullanılarak tasarlanmıştır. Birinci adım, iletkenin tasarlanmasıdır. İkinci adım, iletken tasarımı tamamlandıktan sonra "sabit iletken tasarımı bilgisi" kullanılarak taşıyıcı direğin tasarlanmasıdır.(1,2)

Bu çalışmada kullanılan yöntemle, bütün sistem parametrelerinin eş zamanlı olarak toplam sistem maliyetini minimum yapacak şekilde belirlendiği bir iletim hattı gerçekleştirilmektedir. Bunun için, iletim sistemi tasarım probleminin çözümünü sağlayan matematiksel modelleme yapılmakta ve optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

2.GENEL YÖNTEM:

Bir enerji iletim sistemi için minimum maliyet tasarımının bulunmasında kullanılacak genel yöntem, sistem tasarım parametrelerinin fonksiyonu olarak sistem maliyetini gösteren bir matematiksel model oluşturmaktır. Matematiksel model oluşturulurken tasarım değişkenlerinin belirlediği kısıtlamalar ve sistem maliyetleri için fonksiyonel bağıntıları veren regresyon analizi kullanılır. Minimum sistem maliyetini sağlayan tasarım parametrelerinin değerlerini belirlemek için bilgisayara uyarlanmış bir optimizasyon tekniği kullanılarak matematiksel modelin çözümü sağlanır.(1)

Toplam maliyet fonksiyonu, sistemin kurulmasına ilişkin yatırım maliyeti ve sistem işletme maliyetlerinden oluşur. Bu işletme maliyetinin büyük bir kısmı iletim esnasındaki enerji kayıplarının maliyetinden meydana gelir. Yatırım maliyeti sadece sistemin kurulma maliyetidir. İşletme maliyeti ise sistemin ekonomik ömrü boyunca sözkonusu olan bir maliyettir. Bu çalışma, toplam enerji iletim sistemi maliyetinin bugünkü değerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Toplam maliyetin bugünkü değeri şöyle ifade edilebilir:

$$TM = YM + \int_0^L \dot{IM}(t) * e^{-i * t} * dt$$

Burada,

TM: Toplam maliyetin bugünkü değeri,

YM: Yatırım maliyeti,

İM: İşletme maliyeti,

L: Ekonomik ömür,

i: Sermayenin azalma oranı,

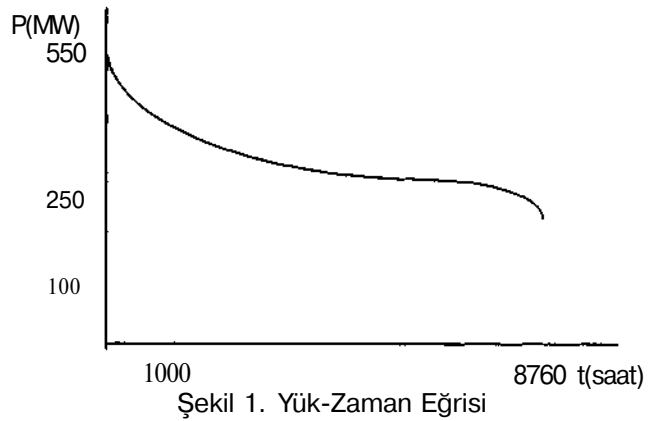
t: zamandır.(1)

Bu minimizasyon, tasarım parametrelerin fonksiyonu olarak ifade edilen fiziksel tasarım ve emniyet gereksinimleri tarafından sınırlanacaktır. Bu sınırlamalar, optimizasyon problemi için kısıtlamaları oluşturacak ve sistemin matematiksel modelini tamamlayacaktır. Ayrıca sistem maliyeti, iletken çapı, direkler arası açıklık, sehim, direk boyu, faz iletkenleri arasındaki açıklık, taşıyıcı direğin gövde ve taban boyutu, bir faz demetindeki iletken sayısı gibi değişkenleri içeren bir matematiksel modelle de gösterilebilir. Yatay kuvvet, düşey kuvvet, kayıp enerji maliyeti, direk ağırlığı ve maliyeti, iletken maliyeti ve direk sayısı gibi değişkenler de yukarıda verilen değişkenlerin fonksiyonu olarak ifade edilebilirlerdi)

3. SAYISAL ÖRNEK:

Coğrafi bölgeler, arazi, hava koşulları ve tasarım prensiplerinde mevcut pek çok değişim, iletim hattı tasarımında etkilidir. Bundan dolayı bu çalışmada kullanılan teknikleri göstermek için özel bir iletim sistemi göz önüne alınacaktır. Ele alınan bu sistemin özellikleri şunlardır:

- Çelik özlü alüminyum iletkenlerden oluşan bir tek üç fazlı devre
- 500 kV'luk A.C. iletim gerilimi
- Tabanı ve gövdesi kare olan çelik direkler
- Direklerin temellerinin beton olması
- V biçiminde zincir izolatörler
- Hat yolunun yaklaşık doğrusal olması
- Yaklaşık 320 km uzunluğundaki iletim hattı
- Hattın bulunduğu bölge hafif buz bölgesi
- Hattın yerden yüksekliği yaklaşık 9 m
- Hattın bulunduğu bölgede maksimum rüzgar hızı 120 km/saat
- Hattın geçtiği yol düzgün bir arazi üzerindedir ve bütün direk açıklıkları aynıdır. İlk yıl için yük talebi Şekil 1'de gösterilen yük-zaman eğrisine göre belirlenmiştir. Bu talep tam hat kapasitesine kadar gelecek 4 yıl için yıllık %10 artmaktadır.
- Sistemin ekonomik ömrü 32 yıldır.



Şekil 1. Yük-Zaman Eğrisi

Bu örnek için matematiksel model, amaç fonksiyonu ve kısıtlamaları içerir. Amaç fonksiyonu, direk maliyeti, iletken maliyeti ve kayıp enerji maliyetinin bugünkü değerinden oluşur. Bütün bu maliyetler ayrı ayrı hesap edildikten sonra amaç fonksiyonunu oluşturmak için birleştirilir. Sonuç olarak amaç fonksiyonu şöyle yazılabilir:

$$F = 32815C_s + 0.622W - \frac{t}{L} + 3.28C_c(-251.8 + 593.5d + 5342d^2 X 3n \left[\frac{r}{1 + \frac{8}{3}(\frac{r}{L})^2} \right] + 5.96C_c L_n + 8.1C_c L_R$$

Burada,

C_s : direk çeliğinin 456 kg ağırlık başına \$ cinsinden fiyatı,

W : direk ağırlık fonksiyonu,

L : direkler arası mesafe (m),

- L : hat iletkeninin uzunluğu,
 C_e : birim ağırlık başına \$ cinsinden iletkenin birim fiyatı,
d : iletkenin çapı,
n : bir faz demetindeki iletken sayısı,
g : iletkenin şeyimi,
 L_n : toplam korona enerji kaybı,
 L_R toplam direnç enerji kaybı,
 C_e : birim enerji maliyeti (\$/kWh) dir.

Burada amaç bu fonksiyonu minimize etmektir. Bu maliyet minimizasyonu, çevre güvenliği, fiziksel güvenlik, hattan beklenen yapısal özellikler ve direk tasarımına ilişkin deneyimler sonucu elde edilmiş durumlarla sınırlandırılır. Bu sınırlamalar optimizasyon probleminde kısıtlamalar getirir. Bunlar şu şekilde ifade edilebilir (1):

- Emniyetli bir trafik akışı ve toprak seviyesinde kabul edilebilir bir elektromanyetik alan şiddetinin sağlanabilmesi için direk yüksekliği H, iletkenler ile toprak arasında yeterli bir açıklık sağlayacak şekilde saptanmalıdır.
- Destek kısımlarında oluşan maksimum iletken kuvveti, müsaade edilebilir bir değerden daha az alınmalıdır. Bu değer, iletkenin oluşturacağı maksimum kuvvetin %25'i civarındadır.
- Fazlar arası uzaklık p, direkler arası uzaklığın büyüklüğu, sehim-direkler arası uzaklık oranı ve uygulanan 500 kV'luk gerilim arasındaki bağıntı şu şekilde olmalıdır:

$$p \geq 12.5 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- Direk ağırlığı için yazılan regresyon eşitliğinin elde edildiği veriler, direğin taban boyu a'nın gövde boyu e'ye oranının 1.75 ile 3 arasındaki bir bölgede sınırlı olmasını gerektirir.
- Direk ağırlığını elde etmede kullanılan verilerden, taban boyuna, direk yüksekliğinin 1/2.5 katından daha az olacak şekilde sınırlama getirilir.
- Değişken sınırları, iletken çapı sınırları korona kaybı da göz önüne alınarak oluşturulan çap uzunluğu sınırlamalarından elde edilir. Direkler arası uzunluğu, çapın minumum ve maksimumuna karşı gelen değerleri tahmin edilir. Maksimum sehim-direkler arası uzaklık oranı, iletken gerilmesi ve sehimin hesabı için bir parabolik model ele alınır. Bu oran 0.05'e eşit olur. Minumum değer olarak 0.02 alınır çünkü bundan küçük değerler herhangi bir aralık için direğe etki eden çok büyük kuvvetlere sebep olurlar.

Bu bildiride kullanılan matematiksel model lineer olmayan bir programlama problemidir. Analitik olarak çözülemeyecek kadar karmaşıktır. Bu nedenle bir

çözüm elde edebilmek için sayısal yöntemler kullanılır. Problem dış bükey olmadığı için birden fazla yerel optimal çözüm mevcuttur. Kullanılan yöntemle yapılan iş, çok sayıda başlangıç değerşken değerleri seçmek, bir sayısal yöntem kullanarak ve her bir başlangıç değerşken değer vektörleri için problemi çözmektir.

Burada kullanılan teknik, başlangıç vektörlerini, değerşken değerlerini rasgele sayı üretici kullanmak suretiyle oluşturmaktır. Başlangıç vektörlerine uyan çözümleri elde edmek için, birinci dereceden gradyen arama tekniğini kullanan bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu çözümlerden, her bir iletken düzeneği için minimum olanı seçilir. Bunlar Tablo 1'de gösterilmiştir. En düşük maliyet km başına 68172 \$ 'dır ve bu da 4 iletkenli bir demete karşılık gelmektedir. Bu parametrelere dayanarak, malzemelerin miktarları, enerji kayıpları ve bunlara karşı düşen maliyetler km başına olmak üzere Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Optimal Tasarım Parametreleri

n	F (\$/km)	d (mm)	I (m)	1/g	H (m)	P (m)	e (m)	a (m)
2	90934	43.18	600	23.5	42	13	5.8	17
3	71153	38.79	425	20.8	35	9	5.8	14
4	68172	34.82	365	20	33	8	5.8	13

Tablo 2: n=4 için Elemanlar ve Maliyetleri

	JBüyükükler	Maliyet(\$/km)
Direk	57969 kg/direk	13958
iletken	28.56 kg/km	31489
I'R Kaybı	49.95 kWh/km	19479
Korona Kaybı	11.45 kWh/km	3294

4.SONUÇLAR:

Sonuç olarak kullanılan yöntem; iletim sisteminin toplam maliyetini, sistem tasarım değerşkenlerini, fonksiyon olarak ifade etmeye dayanır. Bu maliyet fonksiyonu, fiziksel ve ekonomik kısıtlamalarla birlikte minimum maliyeti belirlemede kullanılan matematiksel modeli oluşturur. Bu yöntem, diğerlerinden farklı olarak, ilk önce iletkeni seçip daha sonra diğer sistem elemanlarını ele almamakta yani bütün sistemi göz önünde alarak maliyeti en aza indirmeyi sağlamaktadır. Burada hat gerilimi, direk tipi iletken destek sistemi, iletken tipi ve sistemin tasarlandığı genel hava koşulları önem taşımaktadır. Bu faktörler doğrudan matematiksel model fonksiyonunu etkilemektedir. Ayrıca bu verilen örneğin çözümünde kullanılan analiz yöntemi, genel olarak, tüm iletim hattı tasarım problemlerine uygulanabilir.

Bu tür çalışmalarda aşağıda belirtilen koşullar da göz önüne alınabilir:

- Yüksek gerilimlerin sebep olduğu duyulabilir gürültü ve elektromanyetik alan etkilerinin yarattığı

problemlere daha fazla dikkat göstermek gerekmektedir.

- Hattın geçtiği yolun yaklaşık düz olmadığı yani virajların olduğu sistemlerde kafes direkler kullanmak gerekeceği için bunların maliyete etkisi de göz önüne alınmalıdır.
- inişli-çıkışlı yani düzgün olmayan alanlar için tasarlanan sistemlerde, iletken sehim ve direk zorlanması için daha kompleks bir analiz yapmak gerekir.

KAYNAKLAR:

(1)CHANG, W.S., ZINN, C.D., "Minimization of The Cost of An Electrical Transmission Line System", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS 95, July/August1976.

(2)DESPANDE, M.V., Electrical Power System Design,McGraw Hill Book Company, New York 1979.

(3)SHIRMOHAMMADI, D., RAJAGOPALAN , C.,"Cost of Transmission Transactions",IEEE Transactions on Power Systems.Vol. 6 ,No. 3 .August 1991.

(4)FAULKENBERRY, L.M., COFFER, W., Electrical Power Distribution and Transmission, Prentice Hall Inc., NewJersey 1996.

Olasılığa Bağlı Kısa Devre Analizinde Analitik Yöntemin ve Monte Carlo Yönteminin Karşılaştırılması

Z. Elif AYGEN

M. Alp Batman

Nesrin TARKAN

İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 Maslak-İSTANBUL

Abstract :In order to take into considerations of the variability of key parameters in short circuit analysis, the probabilistic approach is developed. Probabilistic short circuit analysis provides probability distributions of fault currents. In this study, analytical method for the deviation of the probability distributions is presented and the numerical results obtained both by this method and Monte Carlo method are compared.

1. Giriş

Elektrik enerji sistemleri, enerjinin üretimi iletimi ve dağıtımını bileşenlerinden oluşmaktadır. Elektrik enerjisi, üretim birimlerinde yeterli miktarda üretilerek tüketim merkezlerine ulaştırıldıktan sonra, tüketicilere en uygun biçimde ve kalitede kesintisiz olarak dağıtılmak zorundadır. Kısa devre analizinin yapılması, bu niteliklerin sağlanmasında etkin bir rol oynar.

Kısa devre analizinde, şebeke durumunu tanımlayan veriler, arıza tipi ve yeri tasarımcı tarafından önceden belirlenir. Bunu veren algoritmalar deterministik temele dayanmaktadır. Elde edilen sonuçlar anahtarlama bölgesindeki kesicilerin kesme kapasitelerinin belirlenmesinde ve arızayı algılayıp seçici anahtarlama sistemini çalıştıran rölelerin seçiminde kullanılır.

Günümüzde artan maliyetler ve yeni güç santrallerinin kurulmasına karşı oluşan çevresel tepkiler yeni etkenlerin gözönüne alınmasını gerektirmektedir. Bu etkenler, olasılığa bağlı yeni yöntemlerin gündeme getirilmesine yol açmıştır. Olasılığa bağlı kısıdevre analizi, özellikle arıza etkileri hakkında istatistiksel bilgi kullanan güvenilirlik ve risk çalışmaları için gereklidir. Ancak bu analizde kullanılacak en uygun yöntemin belirlenmesi önem taşımaktadır. Analizde en kötü durum varsayımı ya da temel verilerin tüm olası seçeneklerinin modellenmesi yerine, istatistiksel arıza parametrelerine bağlı bir tasarım kriteri aranır.

Kısa devre akımlarının olasılık dağılımlarının belirlenmesinde iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, Monte Carlo Yöntemi ve olasılık teorisinin analitik

ifadelerinin yer aldığı yöntemdir. Monte Carlo Yöntemi, her türlü karmaşık sisteme uygulanabildiği halde, çok sayıda benzetim yapılması gereklidir. Bu ise bilgisayar belleği ve işlem açısından yük getirmektedir. Analitik yöntem, işlem tekrarı bakımından üstünlük göstermektedir, fakat büyük ve karmaşık sistemlere uygulanabilme zorluğu vardır. Bu çalışmada, özellikle analitik yöntem ele alınmıştır. [1-3]

2. İşletim Sisteminin ve Arıza Koşullarının Olasılıksal Modellenmesi

Kısa devre akımını etkileyen başlıca faktörler sistemin yapısal ve işletim karakteristikleri ve arıza koşullarıdır. Sistemin yapısal değerleri genellikle sabittir, buna karşın işletim karakteristikleri istatistiksel olarak değişebilir. Ayrıca arıza koşulları da raslantısaldır.

Güç sistemlerinde işletme koşulları sürekli olarak değişir ve bu değişimler kısıdevre akımlarının hesaplarında oldukça etkilidir. Hesaplara yükler doğrudan doğruya girmese de bir parametre olan üretim gücü yük değişim eğrisine bağlıdır. Yük değişim eğrisi ise işletim zamanının bir fonksiyonudur.

Eğer A_1, A_2, \dots, A_n belirli yük durumlarında sistemin işleme zamanları olursa, A_j zaman aralığında arıza olma olasılığı

$$P(A_j) = \frac{f_j}{\sum f_i} \quad (D)$$

şeklinde tanımlanır. Burada f_j , A_j zaman aralığındaki arıza sayısı, I_f ise bir yıl boyunca sistemde meydana gelen arıza sayısıdır, w_1, w_2, \dots, w_k çeşitli zaman aralıklarında sistem durumlarıysa, w_i durumunda arıza olma olasılığı

$$P(w_i) = \sum_j SP(w_i \setminus A_j) P(A_j) \quad (2)$$

şeklinde verilir. Burada $P(w_i \setminus A_i)$, w_i durumunun A_i zaman aralığında bulunmasının koşullu olasılığıdır.

N tane iletim hattının bulunduğu bir güç sisteminde. I hattında arıza olma olasılığı $P(I_i)$ iki şekilde tanımlanır. Bunlardan birincisi, n_i , I_i hattında arıza sayısı ve n ise uzun bir zaman aralığında sistemde meydana gelen arıza sayısı olmak üzere,

$$P(I_i) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_i}{n} \quad i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

şeklinde dir. Bu denklemden görüldüğü gibi hatlar ile ilgili istatistiksel bilgiler gereklidir.

ikincisi ise, L_i , I_i hattının uzunluğu ve \tilde{L}_i ise iletim hatlarının toplam uzunluğu olmak üzere,

$$P(I_i) = \frac{L_i}{\tilde{L}_i} \quad (4)$$

şeklini alır. istatistiksel veri eksikliğinde ya da geleceğe dönük bir hat tasarımında bu denklemden verildiği gibi arıza olma olasılığının hat uzunluğuyla orantılı olduğu varsayılır.

Hattaki arıza yeri. sürekli rastlantı değişkeni x ile $[0, L]$ aralığında

$$f(x) = \frac{1}{L} \quad (5)$$

olarak tanımlanmıştır. L hattın uzunluğu, x ise arıza yerinin hat başına uzaklığıdır.

Bir iletim hattı boyunca arızanın meydana gelme olasılığının aynı olduğu varsayılırsa $f(x)$ 'nin düzgün dağılıma sahip olduğu kabul edilebilir. Arızanın meydana gelme olasılığının yüksek olduğu yerler, örneğin baralar, hatların kötü çevre koşullarına maruz kalan bölümleri, sistemin yüksek arıza olasılıklarına sahip özel parçaları olarak düşünülebilir. Arıza tipi de verilere dayalı olarak ilgilenilen bölgedeki arıza sıklığına bağlı ifade edilir. Buna göre, faz toprak, faz faz, faz faz toprak ve üç faz toprak olmak üzere ayrı rastlantı değişkeni olarak atanır. [2.3]

3. Modelin Analitik Yöntemde kullanılması

Arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun bulunmasında arıza tipi ve yapısı ayrı rastlantı değişkeni olarak kabul edilir. Arıza tipi AT ve sistem durumu w birbirinden bağımsızsa, bu iki değişkene toplam olasılık teoremi uygulandığında arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu genel olarak

$$f(i) = \sum_{w, AT} P(w \setminus W, AT) \cdot P(W) \cdot P(AT) \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Burada, $f(i \setminus w, AT)$ sistem durumu w ve arıza tipi AT için kısa devre akımının koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonudur.

Bu çalışmada arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu, sabit sistem koşullarında, arıza yeri rastlantı değişkeni kabul edilerek, üç fazlı simetrik arızalar için çıkarılmıştır.

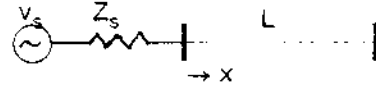
Bu koşullarda, arıza akımı, arıza yerinin kaynaktan uzaklığı x 'e bağlı

$$i=i(x) \quad (7)$$

şeklinde bir fonksiyonudur. Eğer arıza yerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ ise, rastlantı değişkenlerinin fonksiyonu tanımından, arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(i) = f(x) \left| \frac{dx}{di} \right| \quad (8)$$

olarak ifade edilir.

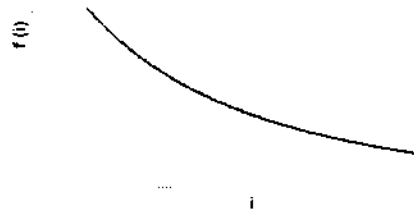


Şekil 1: Tek beslemeli, tek hatlı sistem

Bu ifade, şekil 1'de verilen tek beslemeli, tek hatlı bir sisteme uygulandığında, arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(i) = \frac{V_s}{L - Z_s; r} \quad \frac{V_s}{Z_s + Z_s; -L} < i < \frac{V_s}{Z_s} \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Bu eşitlikte, L hat uzunluğu, V_s Thevenin eşdeğerine göre kaynak gerilimi, Z_s Thevenin eşdeğerine göre kaynak empedansı, Z , birim uzunlukta hat empedansıdır. Fonksiyonun grafiği, akıma bağlı olarak şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Tek hat için arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu.

Buradan genelleştirilmeye gidilirse N bağılı radyal hat için,

$$f(i) = \prod_{k=1}^N f_k(i) \cdot P(U) \quad (10)$$

denklemi elde edilir. Bu denklemde, $P(I_k)$ k. hatta arıza olma olasılığı $f_k(i)$ k. hattaki arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak sırasıyla (4) ve (9) numaralı eşitliklerde verilmiştir.[4].

4. Sayısal Uygulama

Aşağıda karakteristikleri, TEK istatistiklerinden alınan örnek sistem için üç faz simetrik arıza akımının arıza yerine bağlı olarak olasılık yoğunluk fonksiyonu, analitik yöntem ve Monte Carlo yöntemi kullanılarak (20000 benzetim sonucu) elde edilmiştir. Monte Carlo yönteminde arızalar sisteme arıza yerine bağlı olarak raslantısal olarak atanmışlardır. Uygulamada, sistemin sadece tek santralden beslendiği varsayılmıştır. Fonksiyonlar, Mathcad ve Excel paket proglamları kullanılarak çizdirilmiş ve sonuçlar şekil 3 ve şekil 4'de verilmiştir.

Örnek sistem verileri :

Atatürk-Göksun : 380 kV
çift hat , uzunluk = 180 km, reaktans = 0.032422 (pu)

Göksun-Yeşilhisar: 380 kV
çift hat , uzunluk = 137 km, reaktans = 0.024676 (pu)

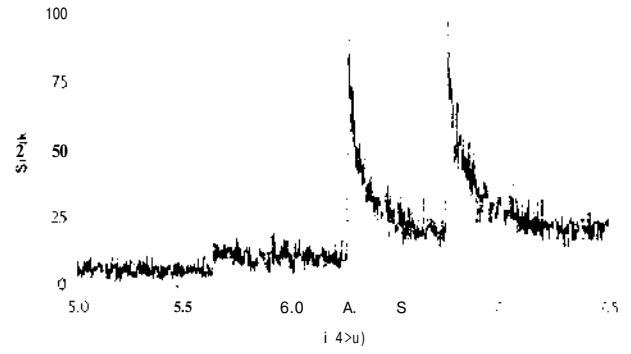
Atatürk-Elbistan (II) : 380 kV
tek hat , uzunluk = 177 km, reaktans = 0.032680 (pu)

Elbistan (II)-Kayseri kapasitor: 380 kV
tek hat , uzunluk = 146 km, reaktans = 0.032428 (pu)

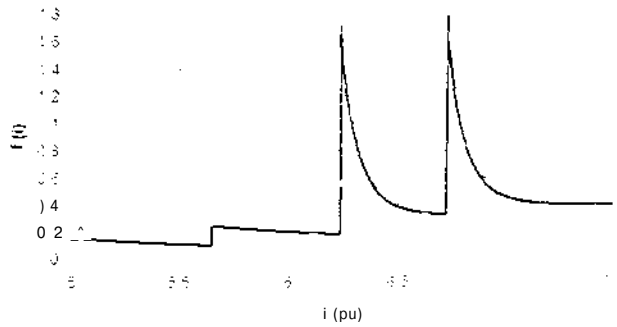
Atatürk-Antep : 380 kV
tek hat , uzunluk = 102 km, reaktans = 0.018869 (pu)

Antep-Erzincan : 380 kV
tek hat , uzunluk = 120 km, reaktans = 0.021961 (pu)

Atatürk Santrali Generatör reaktansı = 0.08889 (pu)
Atatürk Santrali Transformatör reaktansı = 0.0476 (Pu)



Şekil 3: Monte Carlo Yöntemi kullanılarak elde edilen arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 4: Analitik Yöntem kullanılarak elde edilen arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonu.

5. Sonuç

Bu çalışmada, olasılığa bağlı arıza analizinde Monte Carlo yöntemi ve analitik yöntem kullanılarak arıza akımının olasılık yoğunluk fonksiyonları elde edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçların benzerliği sayısal uygulama sonuçlarında görülmektedir. Analitik yöntemle yapılan işlemler bilgisayar belleği ve zaman açısından üstündür. Bu yöntemin, daha karmaşık sistemlere uygulanabilecek şekilde geliştirilmesiyle Monte Carlo yönteminin yerine geçeceği söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] ANDERS GEORGE J., 'Probability Concepts in Electric Power Systems', John Wiley & Sons, 1990.
- [2] FORD G.L., SRIVASTAVA K.D., 'The Probabilistic Approach to Substation Bus Short Circuit Design'. Electric Power Sys. Res., Vol.4, No3, pp 191-200, 1981.

[3] BALOUKTSIS A., TSANAKAS D., VACHTSEVANOS G., 'Probabilistic Shorf Circuit Analysis by Monte Carlo Simulation and Analytical Methods'. IEEE Tans., PWRS-1. No.3, pp. 13-20,1982.

[4] AYGEN Z. ELİF, 'Olasılığa Bağlı Kısa Devre Analizi', Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, istanbul 1995.

GERİLİM DİSTORSİYONU ÜZERİNDE KOMPAKT FLUORESAN IŞIK KAYNAKLARININ VE ELEKTRONİK BALASTLARIN ETKİLERİ VE EKONOMİK ANALİZLERİ

A. İNAN, F. ATTAR, H. ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80750 - İSTANBUL

ABSTRACT

The aim of this paper is the investigation of the harmonic distortion characteristics of energy saving lamps (compact fluorescent) and the electronic ballasts. These components introduce significant harmonic distortion to the distribution system (upon voltage). On the other hand, in relation to test results, the economic analysis of these compact fluorescent is presented.

1. GİRİŞ

Günümüzde iç aydınlatmada kullanılan en ekonomik lambalar gaz deşarjlı lambalar olarak da bilinen floresan lambalardır. Bu özelliği yanında lamba ömrünün uzunluğu, etkinlik faktörünün yüksekliği ve gün ışığı (daylight) renginde ışık vermeleri gibi özellikleriyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu üstün özelliklerinin yanında bazı olumsuz tarafları da vardır; bunlar, lamba balastlarının ses yapması, ışığın kırışma yapması (flikler olayı), lamba armatürlerinin dekoratif olmaması, düşük gerilimlerde (-170 Volt civarı) sönmeleri, soğuk beyaz (cool-white) renginden dolayı kişilerin psikolojik olarak bu rengi dışlamaları, lambanın yanması için ateşleme zamanı kadar beklenmesi (bundan dolayı sık sık açma/kapama yapılan yerlerde kullanışlı olmaması), düşük güç faktörü nedeniyle şebekeden fazla reaktif güç çekmesi ve balastların sebep olduğu harmonikler şeklinde özetlenebilir.

Kompakt Floresan Lambalar (KFL), hem akkor telli lambalara (ATL) hem de Standart Floresan Lambalara (SFL) alternatif olarak çıkmıştır. ATL ve SFL ile karşılaştırıldığında her iki tipten de daha uzun ömürlü olması (Tablo 1), daha az enerji harcaması (Tablo 2), daha az ısınması, ışık geri veriminin yüksek olması, yumuşak beyaz renk vermesi ve dekoratif amaçlı kullanıma uygun olması gibi sebeplerden dolayı KFL lambalara artan bir ilgi doğmuştur.

Tablo 1. Çeşitli Lambaların Ömür Süreleri

Tip	ATL	SFL	KFL
Saat	1000	6000-8000	10000

Tablo 2. Lamba Güç Değerlerinin Karşılaştırılması

Tip	ATL	KFL
G Ü Ç	25 W	5 W
	40 W	7 W
	60 W	11 W
	75 W	13 W
	100 W	18 W
	2x75 W	26 W

Her iki tabloda da görüleceği gibi KFL tipi lambalar, ATL tipi lambalara göre daha uzun ömürlü ve daha az güç harcamaktadırlar.

2. KOMPAKT FLUORESAN LAMBALAR VE ELEKTRONİK BALASTLAR

Kompakt floresan lambalar, manyetik nüveli endüktif balast, elektronik balast veya yüksek güç faktörlü manyetik balast ile işletilir. Ülkemizde ilk iki tipin kullanımı daha yaygındır. Bu balastlar önemli bir harmonik akım kaynağı olarak düşünülebilir. Aynı zamanda bu lambalar düşük güç faktörü ile çalışırlar ve ilk yatırım maliyetleri (fiyatları) de yüksektir. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %21'nin aydınlatma amacı ile kullanıldığı düşünülürse, kullanımı gittikçe artan enerji tasarrufu sağlayan kompakt floresan lambaların enerji ekonomisi ve gerilim distorsiyonu üzerindeki etkisi daha açık olarak görülebilir.

Tablo 3. de çeşitli kompakt floresan tipleri ve karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Çeşitli Lambaların Karakteristik Özellikleri

Lamba Tipi	O (İm)	I (A)	Q (VAR)	PF (cosa)
ATL 75W	930	0.321	9.4	0.991
KFL 13 W	900	0.133	26.97	0.635
KFL 18 W	1200	0.222	41.93	0.566
KFL 26 W	1800	0.298	58.84	0.559

Bu konuda üzerinde durulması gereken diğer bir eleman da elektronik balastlardır. Elektronik balastlar yapı olarak Standart ve Dimlenebilir şeklinde iki sınıfa ayrılır. Bu balastların manyetik balastlara göre avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Çalışma frekansının yüksekliği dolayısıyla ışık verimi artar. Yüksek frekansta ateşleme yapması lambanın ömrünü uzatır. Ayrıca stroskobik olaylar önlenmiş olur.
- Startersiz olması nedeniyle 150V ve daha düşük gerilimlerde çalışabilir.
- Gürültüsüz (uğultu ve vızıltı olmadan) çalışır ve daha hafiftir.
- Güç faktörü yüksektir; kompanzasyona gerek yoktur.
- Dimlenebilir yani ışık akısının ayarlanmasına (azaltılıp artırılmasına) imkan verir.
- Sistemin doğru gerilimle beslenebilmesini de sağlar. Ancak bu durumda ışık akısı azalır.
- Daha az ısınır ve dolayısıyla ısı kayıpları azdır.
- Hızlı (beklemesiz) ateşleme özelliği ile ışık titremesi olmadan düğmeye basıldığı anda (gecikmesiz olarak) lambanın yanmasını sağlar.

Bütün bu olumlu taraflarının yanı sıra en önemli olumsuz tarafı ekonomik yönden pahalı olması, teknik yönden ise harmonik ve elektromanyetik parazitler oluşturmasıdır. Meydana gelen harmonik akımlar, harmonik gerilim düşümlerine neden olur. Ayrıca haberleşme sistemleri, ölçme araçları ve TV ekranları üzerinde de etkileri vardır. Bu yönüyle elektronik balastların, filtreli ve filtresiz olmak üzere iki tip üretimi vardır. Elektronik balastın filtreli olması durumunda hem güç faktörü daha yüksek hem de harmonik etkisi daha azdır [3], [4]. Ancak ülkemizde ucuz olması ve bu konuda zorlayıcı bir standart (ölçün) olmaması dolayısıyla filtresiz elektronik balastların kullanımı daha yaygındır. Dimlenebilir Floresan Lambalar bu çalışmada incelenmemiştir.

3. TEST SONUÇLARI

Ölçümler en çok kullanılan kompakt floresan tipleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 25. harmoniğe kadar ölçüm yapabilen VIP System-3 harmonik analizörü kullanılmıştır. Analizlerde şebeke gerilimi, 220 ±%10 de tutulmuş ancak ortam sıcaklığı sabit tutulmamıştır.

Kompakt floresanlar en genelde iki tipte üretilirler: Soketli (G-tipi) ve duylu (E27 tipi). Duylu tipleri dahili elektronik balastlıdır.

İlk önce 2x18 W manyetik ve elektronik balastlı (filtreli) kompakt floresan lambalar test edilmiştir.

Tablo 4. Manyetik ve Elektronik Balastlı KFL Elektriksel Özellikleri

Tip	P (W)	I (A)	PF*
Manyetik (2x18)	52.22	0.409	0.562
Elektronik (2x18)	32.06	0.146	0.967

*PF: Güç Faktörü

Tablo 4.'den görüldüğü gibi elektronik balastın (filtreli), daha az güç ve akım çektiği bunun yanında daha yüksek güç faktörüne sahip olduğu gözlenmiştir. SFL gibi güç faktörlerinin düşük olması dolayısı ile reaktif güç kompanzasyonuna ihtiyaç bırakmaz.

ikinci test, 13 W'lık soketli KFL ile 15 W'lık duylu (dahili elektronik balast içeren, filtresiz) KFL tarafından üretilen harmoniklerin ölçümüdür.

Tablo 5. iki Tip KFL lambanın temel bileşene göre harmonik yüzdeleri

Tip	Gerilim Harmonikleri (%)			
	3.	5.	7.	9.
13W (manyetik)	0.41	1.16	0.36	0.73
15W (elektronik-filtresiz)	65.5	37	30	18.3

Tablo 5. den görüleceği gibi tek bir lamba durumunda bile filtresiz elektronik balastların harmonik seviyesi çok yüksektir.

Üçüncü test ise toplam 544 W (10 adet 13 W, 10 adet 18 W ve 9 adet 26 W) gücünde sadece manyetik balastlı kompakt floresan kullanılan bir büroda yapılmıştır.

Tablo 6. Çeşitli KFL kullanılan bir büroda ölçülen harmonikler

Harmonik Derecesi	Harmonik Gerilim (%)	Harmonik Akım (%)
1.	227.1	485
2.	0	0
3.	0	6
4.	0	0
5.	2	0
6.	0	0
7.	1	0
8.	0	0
9.	0	0
10.	0	0
11.	0	0

Tablo 5. den görüleceği gibi manyetik balast kullanma durumunda tek dereceli harmonikler oluşmakta ve dikkate değer dereceli harmonikler 3., 5. ve 7. dereceli harmoniklerdir. Bununla birlikte gerilim distorsiyonu açısından filtre edilmesine gerek yoktur.

4. EKONOMİK ANALİZ

Ekonomik analizde lambaların fiyatları tek bir firmadan alınmıştır. Analizde sadece lamba fiyatları dikkate alınmış olup armatür ve tesis masrafları dikkate alınmamıştır. Aynı baza göre hesap yapabilmek için aynı ışık akısına (lümen) sahip olan lambalar seçilmiştir. Lambaların kurulu olduğu yer olarak 200 adet lambanın bulunduğu bir market seçilmiştir.

Tablo 7. Çeşitli lambaların birim fiyatları*

Lamba tipi	AKL(75 W)	SFL(18W)	KFL(13W)
Lümen (lm)	900	900	900
Birim fiyat (TL)	28.000	116.000	753.000

* Birim fiyatlar 1.5.1997 itibariyledir.

Kullanım azlığı ile tabloda yer almayan E27 duylu elektronik balastlı KFL lambanın (15 W-900 lm) birim fiyatı 1.920.000 TL'dir.

Aşağıdaki hesaplarda balast gücü, SFL lamba için 8W, KFL lamba için 8W alınmıştır. Elektrik birim sarfiyat fiyatı 10.000 TL kabul edilmiştir. Buna göre bugün itibariyle maliyet analizinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

AKL:

75 W'lık lamba sayısı: 200 Adet
Toplam kurulu güç: 15 kW
Yıllık çalışma süresi: 5000 saat
Tahmini yıllık tüketim: 75.000kWh
Yıllık enerji maliyeti: 750.000.000 TL

SFL:

18 W'lık lamba sayısı: 200 Adet
Toplam kurulu güç: 3,6 kW
Toplam balast gücü: 1.6 kW
Yıllık çalışma süresi: 5000 saat
Tahmini yıllık tüketim: 26.000kWh
Yıllık enerji maliyeti: 260.000.000 TL

KFL:

13 W'lık lamba sayısı: 200 Adet
Toplam kurulu güç: 2,6 kW
Toplam balast gücü: 1.6 kW
Yıllık çalışma süresi: 5000 saat
Tahmini yıllık tüketim: 21.000kWh
Yıllık enerji maliyeti: 210.000.000 TL

Yukarıdaki hesaplamalardan görüleceği gibi kompakt floresan lambalar, akkor telli lambalara göre %30, standart floresan lambalara göre %8 daha tasarrufludur. Ekonomik olması yanında dekoratif olması ise ayrı bir üstünlüğüdür.

5. SONUÇ

Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Harmonikler, temel bileşen akım ve gerilim değerinin dışında ve temel bileşen frekansının tam katı frekansında olan bileşenlerdir. Harmoniklerin etkileri bir çok literatürde geniş olarak incelenmiştir. Ulusal bir standart olmasa da uluslararası standartlar THD (Toplam Harmonik Distorsiyon) yüzdesine göre belirli sınırlamalar getirmişlerdir. Genelde kabul edilen sınır değer, ülkeden ülkeye değişse de gerilim harmonikleri için $THD_v < \%5$, akım harmonikleri için $THD_i < \%3$ (IEEE 519, IEC 555, VDE 0712) şeklinde ortak bir görüş mevcuttur.

Yukarıda sayılan sebepler dolayısıyla kullanımı günden güne artan KFL lambaların sayısı çoğaldıkça harmonik yönünden dikkate alınması gereken yükler sınıfına girecektir. Ucuz olması nedeniyle filtresiz elektronik balast kullanılması durumunda ise harmonik etki oldukça büyümektedir. Harmonik etkinin büyümesi, şebeke açısından güç kalitesi sorunu doğurmakta buna bağlı olarak da bir çok olumsuz sonuçlar meydana getirmekte dolayısıyla harmonik üretmeyen tüketicilerin görecekları zarardan dolayı haklarının korunması konusu gündeme gelecektir.

Bu bakımdan rahat, konforlu, dekoratif, verimli ve ekonomik bir aydınlatma sağlamanın yanı sıra meydana getirdiği olumsuz etkilerden dolayı kompakt floresan lambalarla ilgili olarak sınırlayıcı ve zorlayıcı bir standardın getirilmesi zorunludur. Bunun yanında harmonik ve reaktif güç tüketimi açısından standartlara uygun kompakt floresan kullanımı enerji ekonomisi açısından teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] J. Arrillaga, DA. et al., "Power system Harmonics", John Wiley & Sons Ltd. ,1985, s. 118-121.
- [2] General Electric Lighting Product Catalogue, 1995.
- [3] M. Ouellette, et al., "New Program for Investigating the Performance of Compact Fluorescent Lighting Systems" IEEE LA. Soc. 1991, p.p. 1895-1897.
- [4] M Etezadi-Amoli, T. Florence, "Power Factor and Harmonic Distortion Characteristics of Energy Efficient Lamps", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. PWRD-4, pp. 1965-1969. July 1989.
- [5] Emanuel, A. E., et al., "A Survey of Harmonic Voltages and Currents at the Customer's Bus" IEEE Trans. Power Deliv. Vol. 8. No. 1, pp. 411-421, January 1993.

ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE TOPRAKLAMA

İsmail KAŞIKÇI
ITT Frankfurt, VDE Berlin

ABSTRACT

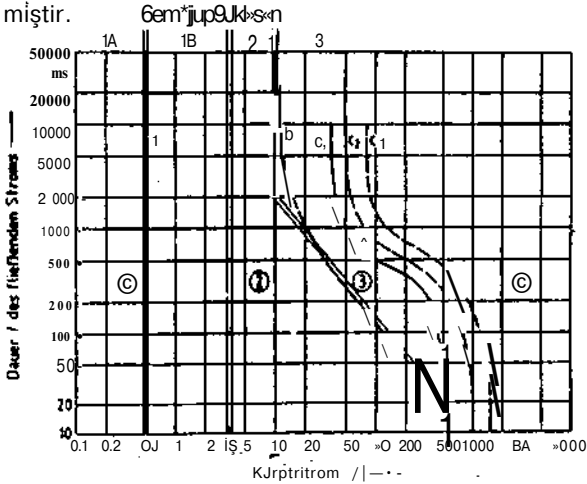
Earthing for safety and protective purposes is given in the IEC 364 Chapter 54 for low voltage and DIN VDE 0141 for high voltage installations respectively. This paper describes general requirements for earthing arrangements, earth electrodes, protective conductors and bonding conductors in low and high voltage installations with the latest IEC recommendations.

Anahtar kelimeler: Sistemler, AG ve YG'de topraklama direnci, IEEE 80 ve VDE normları

1. ALÇAK GERİLİMDE TOPRAKLAMA

1.1 Elektrik akımının etkileri

Elektrik akımlarına çarpılma, ölümler ve sakat kalmalara neden olduğundan, tesisatlarda güvenlik ve standartların uygulanması önemlidir. IEC 479'a göre elektrik akımının etki alanı, şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Elektrik akımının zamana bağlı etkisi

Elektrik enerjisinin kullanımında insanlar, eşya ve hayvanlar tehlikeli akımlardan ve normal işletme ve akımından korunmak zorundadırlar, işletme anında sistemlerin aktif kısımları direkt ve indirekt tesadüf dokunmalara karşı korunmalıdır. Şebekenin ve teçhizatın topraklanması, koruma iletkeninin tesisatı, topraklama dirençlerinin değeri ve sigortaların iyi seçilmesi topraklamayı etkileyen en önemli faktörlerdir.

1.2 AG Şebeke ve sistemlerinde topraklama yöntemleri

a) TN-Sistemi

TN sisteminde akım kaynağı direkt işletme toprakla-

masına, teçhizat ise PE veya PEN üzerinden işletme topraklamasına tesis edilmiştir, şekil 2. IEC'nin önerdiği tesisat TN-C tesisatıdır. IEC 64 kısım 41 e göre yeni açma zamanları 230 V'da 0,4 sn. 400 V'da 0,2 sn olarak belirlenmiştir.

Topraklama şartı: .

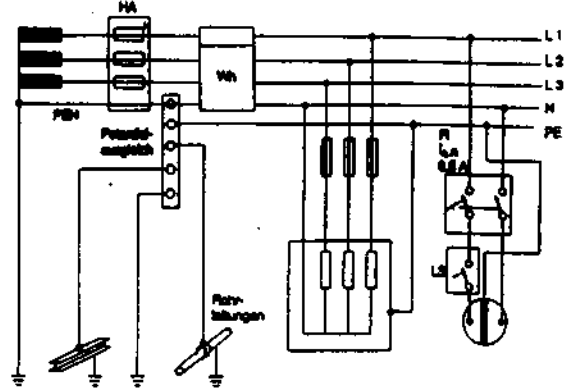
$$Z_d \cdot I_a \leq U_0 \quad (1)$$

Simgeler:

I_a : Şalterin açma akımı

U_0 : 230V

Z_d Trafo ile hata arasındaki döngü direnci

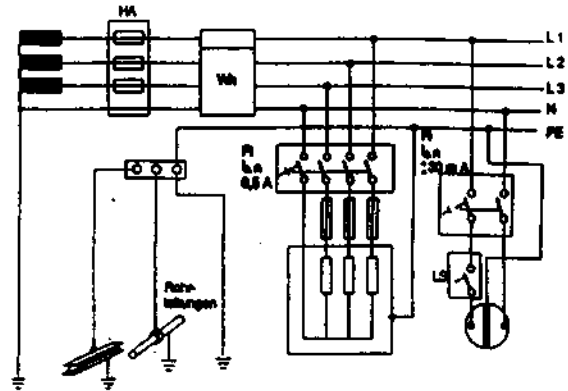


Şekil 2: TN sistemi

TN sistemde bir fazlı kısa devre akımı şalterin açma akımından daima büyük olmalıdır ve PEN iletkeni şebeke boyunca ve bina girişinde ana potansiyel dengeleme rayına tesis edilmelidir. Böylelikle oluşacak dokunma gerilimleri düşürülür ve tüm tesisatta aynı potansiyel sağlanır. TN sistemi topraklama direncine bağlı değildir. TT sistemine göre en önemli avantajı budur.

1.2 TT sistemi

Akım kaynağı işletme topraklamasına, teçhizat ise ayrı bir topraklama levhasına, band şeridine veya zemin topraklamasına tesis edilir, şekil 3.



Şekil 3: TT sistemi

Topraklama şartları

$$U < R_t \cdot I_a \quad (2)$$

Bir RCD ile topraklama şartı:

$$U < R_t \cdot I_n \quad (3)$$

Selektif RCD ile topraklama şartı:

$$U_L < R_t \cdot 2 \cdot U_n \quad (4)$$

Birden fazla RCD ile topraklama yapılmış ise:

$$U_L < R_t \cdot g \cdot X I_{An} \quad (5)$$

TT sistemi en eski topraklama şeklidir. Şebekenin işletme dirençlerini ve trafonun sıfır empedansını topraklama direncine göre düşük kabul edersek bu durumdaki hata akımı:

U_n

$$I_h = \frac{U_n}{\sqrt{3} (R_t + R_f)} \quad (6)$$

IEC 64 kısım 41 e göre yeni açma zamanları 230 V'da 0,4 sn. 400 V'da 0,2 sn olarak belirlenmiştir. Hata akımını otomat veya sigortanın 5 saniyedeki açma akımı olarak alabiliriz.

Simgeler:

I_h : Hata akımı

R_t Toprağa tesis edilmiş gövdelerin eşdeğer toprak değeri

R_f : Toplam topraklama direnci

I_a : Kaçak akım rölesinin nominal akımı

g : Eşzamanlılık faktörü

1.3 İT- Sistemi

Akım kaynağı toprağa karşı tamamen izole edilmiştir, teçhizat ise direkt topraklanmıştır, şekil 4. Bu sistem daha ziyade gemilerde, hastane ve maden ocaklarında kullanılır. Topraklama şartı:

$$U_L < R_t \cdot I_a \quad (7)$$

Simgeler:

R_t : Toprağa tesis edilmiş gövdelerin eşdeğer toprak değeri

U_L : Dokunma gerilimi, 50 Volt

I_a : Kaçak hata akımı

IEC 64 kısım 41 e göre yeni açma zamanları aşağıdaki değerlere göre belirlenmiştir.

Gerilim	Tesisat	
	Nötrüzsüz	Nötrlü
230/400 V	0,4 sn	0,8 sn
400/690 V	0,2 sn	0,4 sn
580/1000 V	0,2 sn	0,2 sn

Kaçak akımlar kesite ve iletkenin tipine göre

diyagramlardan mA/km olarak okunur Topraklama şartı nötr iletkenin şebekedeki durumuna göre tesis edildiğinde

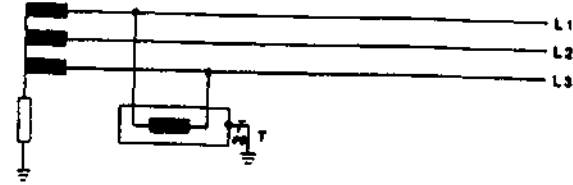
$$U < Z_f \cdot 2 \cdot I_a \quad (8)$$

Nötr iletkeni tesis edilmediğinde.

$$U < Z_o \cdot 2 \cdot I_a \quad (9)$$

Hata akımının değeri ise:

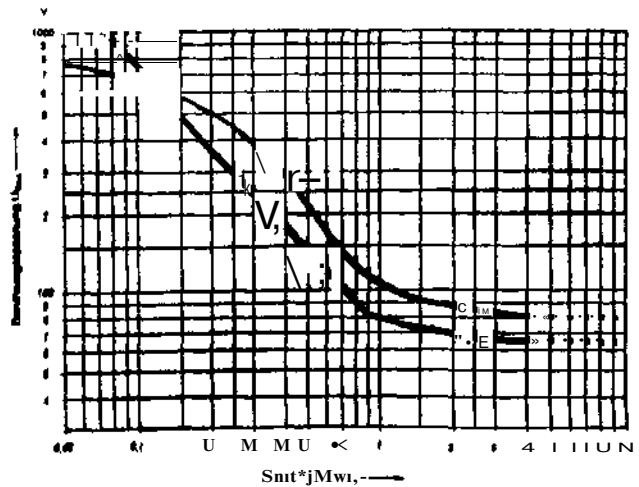
$$I_h = \frac{S \cdot U_n}{Z_f + 3Z} \quad (10)$$



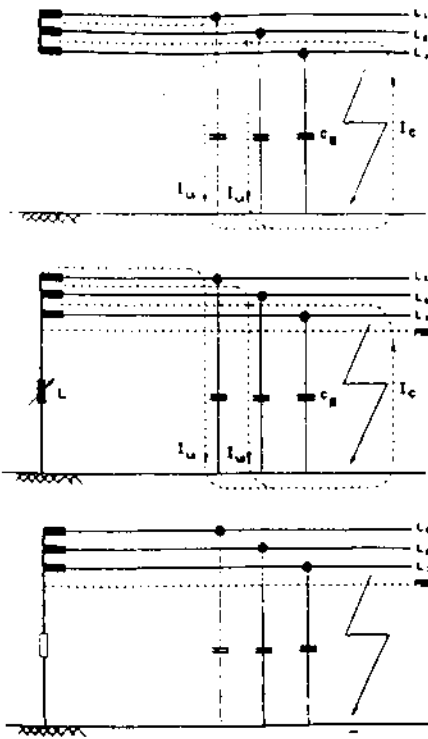
Şekil 4: İT sistemi

2.YG'de TOPRAKLAMA

AG'de, IEC 64 nolu normun 54 kısmı ana potansiyel dengelemesini ve DİN 18014 ise zemin topraklamasını düzenlediği halde, YG topraklama tesisatlarında uluslararası bir standart yoktur, genellikle VDE 0141 ve IEEE 80 kullanılmaktadır. Özellikle teçhizatlar değil, şebekelerin yıldız noktasının nasıl topraklandığı, hata akımları ve fazlardaki gerilimlerin boyutlandırılması önemli yer teşkil eder. İnsan, mal ve eşyaların 50 Hz kısa devre akımlarında ve geçici elektriksel durumlarda (yıldırım, fazla gerilim ve şalterlerin açma, kapama durumunda) korunmaları gerekmektedir. Dokunma gerilimi zamana bağımlı olarak şekil 5'de, şekil 6'da ise YG'deki topraklama gösterilmiştir.



Şekil 5: YG' de akım- zaman eğrisi



Şekil 6 YG' de şebeke yöntemleri

2.1 izole edilmiş şebeke

Herhangi bir fazda toprak hatası olursa, kapasitif akım değeri:

$$I = 3 \cdot w \cdot C_e \cdot \frac{C \cdot U_n}{y/3} \quad (11)$$

Direkteki toprak empedansı ise

$$Z_e = \frac{130 \text{ V}}{r_e \cdot I_h} \quad (12)$$

Simgeler:

I_c : Kapasitif akım

Z_e : Eşdeğer toprak empedansı

r_e : indirim katsayısı

I_n : Hata akımı

C_e : Toprak kapasitesi

2.2 Kompanse edilmiş şebeke

Akım kaynağı endüktif bir bobin üzerinden toprağa tesis edilmiştir. Bu durumda $I_L = I_c$ olmalıdır.

Sistemdeki akımlar ise:

$$I = \frac{c \cdot U_n}{3WCP} \quad (13)$$

$$I = \frac{1}{3 \cdot w \cdot C_e \cdot l} \quad (14)$$

$$w \cdot L = \frac{1}{3 \cdot w \cdot C_e} \quad (15)$$

Demir ve çelikten yapılan direklerde topraklama empedansı

$$130 \text{ V}$$

$$Z_e = \frac{130 \text{ V}}{w \cdot r_e \cdot l} \quad (16)$$

2.3 Düşük dirençli şebekeler

Akım kaynağı omaj değeri düşük bir direnç üzerinden toprağa tesis edilmiştir. Asimetrik olan tek kutuplu kısa devre akımı:

$$V \cdot C \cdot U_n$$

$$I''_k = \frac{V \cdot C \cdot U_n}{Z_1 + Z_2 + Z_c} \quad (17)$$

Simgeler:

I''_k : Tek kutuplu kısa devre akımı

Z_1 : Pozitif empedans

Z_2 : Negatif empedans

Z_0 : Sıfır empedans

c : Gerilim faktörü

2.4 AG ve YG tesisatlarının birlikte topraklanması

AG ve YG tesisatlarının her iki tarafı kesiciler tarafından korunmalıdır ve dokunma gerilimi 65 voltu geçmemelidir.

2.4.1 Topraklama dirençleri

a) Kompanse edilmiş şebekelerde:

$$R_t < \frac{U_e - 65 \text{ V}}{U \cdot I_{rtk}} \quad (18)$$

$I_{rtk} = 60 \text{ A}$

b) Kompanse edilmemiş şebekelerde

$$R_t < \frac{U_e - 65 \text{ V}}{I_t \cdot I_c} \quad (19)$$

Simgeler:

R_t : Topraklama direnci

I_t : Toprak akımı

2.4 AG ve YG tesisatlarının ayrı topraklanması

Bu durumda her iki tesisat arasındaki mesafe 20 metreden fazla olmalıdır ve toprak gerilimleri aşağıdaki değeri geçmemelidir.

$$130 \text{ V} < U_e < 250 \quad (20)$$

Aksi takdirde ek önlemler gereklidir

Aşağıdaki şartlara göre ek önlemler alınmalıdır

aj Ek önlem gerekli değil
 $R_e < 2 \Omega$ ve $U_e < 125 V$ (21)

b) Yedek önlem gerekli
 $R_e = 2$ ile $4 Q$ arasında ve
 $U_e < 250 V$ (22)

c) Yedek önlem ve dokunma geriliminin $65 V$ olduğunun isbatı gerekli, eğer
 $R_e > 4 \Omega$ ve $U_e > 250 V$

5. IEEE 80 ve DİN VDE 0141 normlarının karşılaştırılması

a) Adım gerilimi sadece VDE normunda kullanılıyor ve herhangi bir sınır değeri yok.

b) Dokunma gerilimi, VDE'ye göre $1 k\Omega$ vücut direncindeki gerilim düşümü ve zamana bağımlı olarak değişiyor.

c) IEEE 80'ne göre dokunma gerilimi $1 kQ$ vücut direnci ve ayaklardaki genişleme direncinin gerilim düşümü, zamana ve özgül toprak direncine bağımlıdır.

d) İzole ve kompanse edilmiş şebekelerde dokunma gerilimi $65 V$ 'dur.

9. IEEE 80'ne göre dokunma gerilimi sınırı

50 kilo ağırlığındaki bir insan için:

$$U_{50} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot s_s) \cdot 0,116}{v_t} \quad (23)$$

70 kilo ağırlığındaki bir insan için:

$$U_{70} = \frac{(1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot s_s) \cdot 0,157}{v_t} \quad (23)$$

Simgeler:

C_s : Azalma katsayısı

s_s : Özgül toprak direnci

t : Termik akım süresi

Genel uluslararası direnç değerleri

a) Toplam topraklama direnci
 $R_T < 2 \Omega$ dan az olmalıdır. (24)

b) Gezici transformatörlerin direnci
 $R_e < 4 \Omega$ olmalıdır. (25)

c) Direklerdeki parafudr direnci
 $R < 10 \Omega$ 'dan az olmalıdır (26)

d) Koruyucu iletkenlerin kesidi
 $S > 16 mm^2$ olmalıdır (27)

6 SONUÇ

Türkiye'de elektrik mühendisliğinin en büyük sorunlarından biri şüphesiz, AG'deki standartların çok karmaşık ve eski olması. YG'de VDE 0141'in kullanılması ve bu konularda hemen hemen hiç yayınların olmaması. TT sisteminin (koruma topraklaması) tümünde kaçak akım şalterinin kullanılmaması, temel topraklama yerine, levha topraklamasının kullanılması, eşdeğer potansiyel dengelemesinin yapılmaması insan ve mal güvenliği sorunlarını gündeme getiriyor.

7. KAYNAKÇA

İM IEC364, DİN VDE 0100

1000 Volta kadar olan elektrik tesisatları
1997, VDE Verlag Berlin

121 DİN VDE 0141, YG şebekelerinde topraklama,
1989, VDE Verlag Berlin

/3/ IEEE Std. 80, IEEE guide for safety in ac
substation grounding, 1986

/ A/ İsmail Kaşıkçı, AG ve YG'de Topraklama
EMO izmir yayınları (hazırlanmakta)

Özgeçmiş

İsmail Kaşıkçı Denizli lisesini bitirdikten sonra

Almanya'da elektrik elektronik dalında iki lisans,
Londra'da Mikroelektronik alanında Y. Lisans yaptı.

Şu anda ITT Frankfurt'da kısım şefi olarak
çalışmakta, VDE, Akademi ve üniversitede ders
vermektedir. Almanya'da dört, EMO İzmir'de yayıma
hazırlanan beş kitabı bulunmaktadır.

KUVVETLİ AKIM SİSTEMLERİNDE KOMPANZASYON HARMONİKLER VE EMC NORMLARI

İsmail KAŞIKÇI
ITT Frankfurt, VDE Berlin

ABSTRACT

Power factor improvement, reactive power compensation and harmonics in ac systems with non-sinusoidal supply has been a subject of concern for a long time. As a consequence, various type of compensators are developed to improve the efficiency of power transmission and to increase the power factor. A new contribution into the improvement of overall power factor correction in power systems is introduced. Principle of operation and control, analysis and design of the new circuit equipped with IGBT is presented, which is suitable to compensate rapidly changing loads and reactive power of the fundamental.

Anahtar kelimeler: Reaktif güç, Kompanzasyon, Harmonikler ve Normlar

1. Giriş

Güç elektroniği ve elektronik cihazlarının günden güne artması ve yaygın bir şekilde kullanılması, elektrik şebekelerini olumsuz yönde etkilemekte, harmoniklerin oluşmasına, güç faktörünün kötüleşmesine, kayıplara ve tüm sistemde etkilenmelere yol açmaktadır. Bu sorunu çözmekte kullanılan kondansatör ve filtreler yetersiz kalmaktadır. Burada yeni önerilen teknik IGBT ile kademesiz olarak güç faktörünün düzeltilmesi ve harmoniklerin bertaraf edilmesidir.

2. Reaktif güç kontrolü

Kuvvetli akım tesislerinde reaktif güç kontrolü çok önemli bir rol oynar. Kondansatörler ile yapılan kompanzasyon sabit olarak, örneğin motorlara, transformatörlere veya floresans lâmbalarına tesis edilir. Diğer yandan sistemin sinüs akım ve gerilimini, linear olmayan yükler, gerilim dalgalanmalarına ve özellikle harmoniklerin oluşmasına yol açarlar. Alternatif akım sistemlerinde statik ve dinamik kompanzasyon yöntemleri olarak seri kondansatörler, tristör kontrollü kapasitörler ve endüktörler, sabit kapasitörler, filtreler kullanılmaktadır. Son 1997 de çıkan (EMC) Elektromagnetik uygunluk normu tüm plan ve projelere zorluklar getirmiştir. Reaktif güç bilindiği gibi tüm aç sistemlerinde ortaya çıkar. Çeşitli elektrik cihazları sadece aktif değil aynı zamanda reaktif gücede ihtiyaç duyarlar. Böylelikle reaktif gücü hem üretirler hemde tüketirler. Enerji iletimi ve dağıtımı, iletkenlerin, trafo ve kabloların seri endüktifinden dolayı reaktif güç kaybına sebep olur. Son yapılan araştırmalarda tek bir filter, GTO ve IGBT kullanımı ile, bir çok harmonik frekanslar kontrol edilmektedir. Bu sistemde genel kontrol için

mikroprosesöriye ihtiyaç vardır, ancak şebeke empedansına bağımlı değildir.

Enerji havai hatlarında, çok yüksek genliklerde, seri olarak tesis edilmiş kapasitörler ile genlik kontrolü, reaktans kontrolü ve sistem kayıpları ekonomik olarak düşürülmektedir.

Tristör kontrollü endüktif statik kompanzasyon devrelerinde akım ve temel frekanslar akım tristörün gecikmeli tetiklemeyle sıfırdan geçişte olmaktadır. Pratikte ise daha önce anlattığımız kompanzasyon elementleri kombine edilmiş olarak kullanılmaktadır. Bu çözümün en önemli avantajlarından birisi, harmoniklerin bertaraf edilmesi, kayıpların önlenmesi kondansatörlerin çok hızlı bir şekilde reaktif güce göre kontrol edilmesi olarak sıralamak mümkündür.

3. c/k - Değeri

c/k-Değeri kompanzasyonun kontrolünde kullanılan bir değerdir ve kondansatörlerin kademelerine göre otomatik olarak cihaz tarafı ayarlanır.

$$c/k = (0,6... 0,8) \frac{U_n}{\sqrt{3 U_n k}} \quad (1)$$

Bu formülde c kondansatörün gücünü, k akım trafosunun deşıştırme oranının vermektedir.

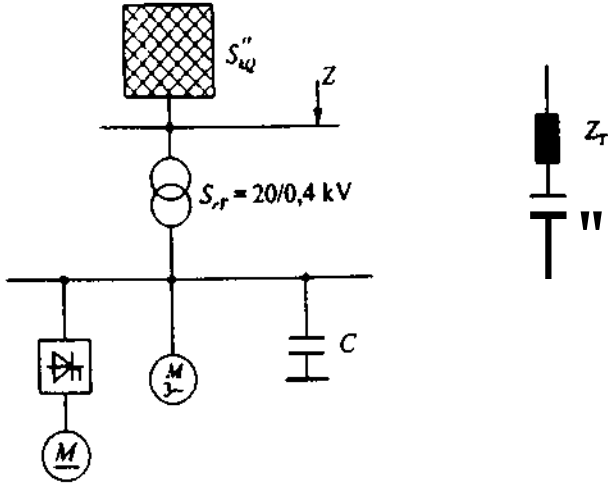
4. Reaktif gücün sistemlere olan etkisi

Reaktif güç elektrik şebekelerinde gerilim düşümlerine sebep olurlar. Buna göre:

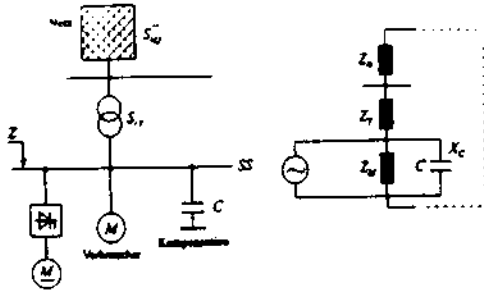
$$A_u = \frac{S}{(R/X \cos \phi + \sin \phi)} 100\% \quad (2)$$
$$S_{KA} \sim [1 + (R/X)^2]$$

5. Salınım devreleri

Salınım devreleri bir kondansatör ile bir bobinden oluşur ve elektrik şebekelerinde hiç istenmeyen bir olaydır. Seri salınım devrelerinde alçak frekanslarda kondansatörün reaktif değeri fazla olup kapasitif değer alır, rezonans değerinin üzerindeki durumlarda seri salınım endüktif değere sahiptir. Paralel salınım devrelerinde bunun tam tersi bir olay gözlenir. Şekil 1 ve 2, her iki salınım devrelerini göstermektedir.



Şekil 1. Seri salınım devrelerinde rezonanslar



Şekil 2. Paralel salınım devrelerinde rezonanslar

6. Harmonikler ve gerilim nitelikleri

Linear olmayan yükler bilindiği gibi akım ve gerilimlerde harmonikler oluştururlar ve sorunlara yol açarlar. Örneğin:

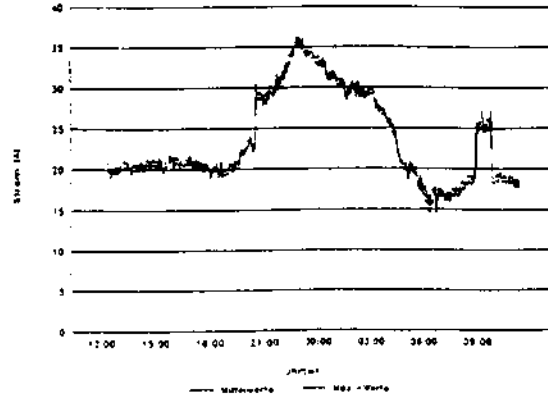
1. Seri ve paralel rezonanslar
2. Güç faktörünün kötüleşmesi
3. Motor güçlerinin kötüleşmesi
4. Kablo ve iletkenlerde hatalar
5. Simetrik olmayan yükler
6. Trafoların ısınması fazla yüklenmesi
7. Sayaçta ortaya çıkan hatalar
8. Gerilim bozuklukları
9. Telefon kablolarında hatalar

7. Statik reaktif güç sistemleri

Statik güç sistemleri son yıllarda üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan birisidir. Özellikle yüksek gerilim hatları arasındaki kondansatör tesisatları, ve alçak gerilimde harmonik ve gerilimin ani olarak kesilmesinde, mikroprosesör kontrollü tristör veya IGBT cihazları kullanılmaktadır şekil 3.

8. AG ve YG'de harmoniklerin ve reaktif gücün ölçülmesi ve Elektromagnetik uygunluk (EMC)

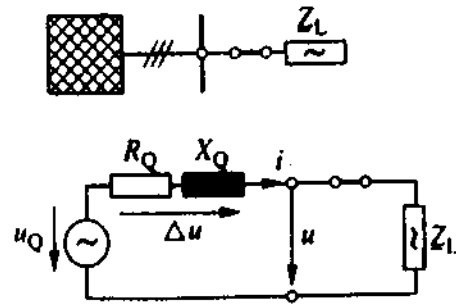
Elektronik cihazların artmasıyla EMC günden güne önem kazanıyor. VDE 0870 ve Avrupa normu 60555-2 elektrik cihazlar ve şebekelerde müsaade edilen genlik değerlerini şekil 5 vermektedir. Ayrıca bu normlarda 40 harmoniklere kadar olması gereken akım ve gerilim verileri tablo halinde verilmiştir. Frankfurt hava alanında yaptığımız ölçümlere göre şekil 3, 5. harmonikler AG ve YG' de en yüksek değerdedir. Bunun yok edilmesi için 7% reaktörlü kondansatörler önerilmiştir.



Şekil 3. Frankfurt hava alanında YG ve AG' de harmonik ölçümleri

9. Şebeke etkilenmeleri

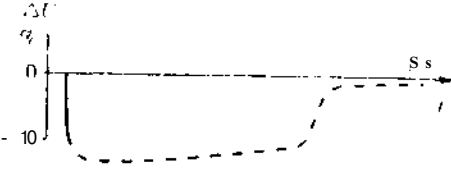
Linear olmayan yüklerin tüm elektrik şebekelerindeki gerilimlere olan etkileri şekil 4 da gösterilmiştir.



Şekil 4. Şebekeye tesis edilmiş yük

- a) Şebekenin şekli
- b) Şebekenin eşdeğer şeması
- c) Gerilim ve akım karakteristiği

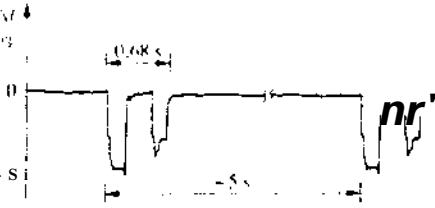
alımında çok kısa bir süre ile 10^{-6} ile sınırlandırılmıştır
 şekil 5 Bu durumda \iklere paralel kondansatörler tesis
 edilir



Şekil 5. Motorun yol alması

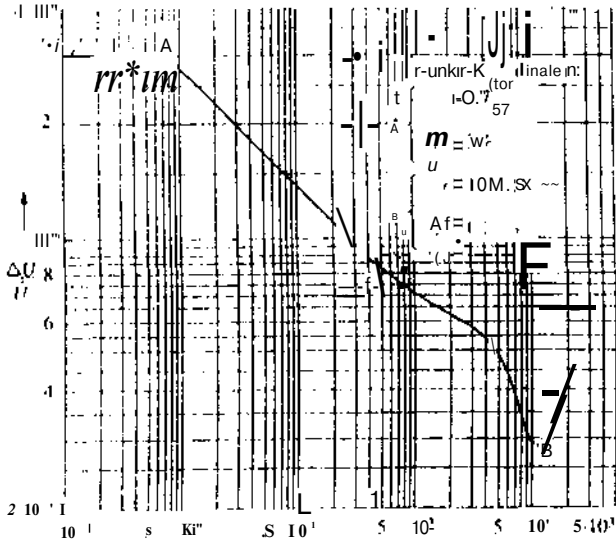
9.2 Gerilim dalgalanmaları

Ani değişen güçlü yükler /amana bağımlı olarak gerilim
 düşümlerine sebep olurlar şekil 6.



Şekil 6. Bir kaynak makinasının gerilim seyri

Lambalar en çok gerilim dalgalanmalarından etkilenirler.
 VDE, EN normları,CENELEC eğrisindeki müsaade
 edilen değerlere göre fliker sınırlarını kabul etmişlerdir
 şekil 7.

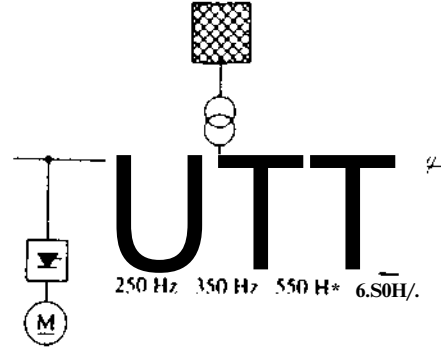


Şekil 7. CENELEC fliker eğrisi

9.3 Gerilimin deforme olması

Linear olmayan yükler örneğin güç elektroniği
 şebekeden sinüs olmayan akım çekerler. Yük akımı 50

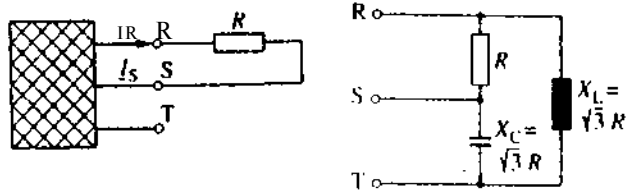
Hz temel salınımın yanısıra daha yüksek frekanslara
 sahip harmonikleri bünyesinde taşır şekil 8 Yüksek
 harmonikleri filtreler ile bertaraf etmek mümkündür.



Şekil 8. Linear olmayan yük, akım eğrileri ve filtreler

9.4 Asimetrik gerilimler

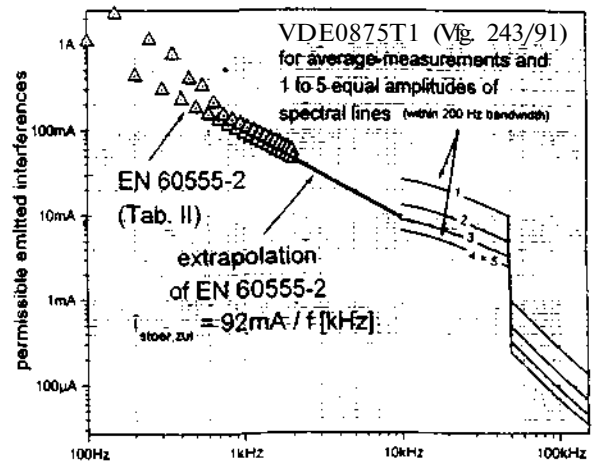
Asimetrik yük akımları şebekenin iç direncinde simetrik
 olmayan gerilim düşümlerine neden olurlar. Şekil 8 omik
 tek fazlı bir yükün L1 ve L2 fazları arasındaki asimetrik
 şebeke ve akım sistemini göstermektedir.



Şekil 9. Asimetrik şebeke, akım sistemi ve Steinmetz
 yöntemi

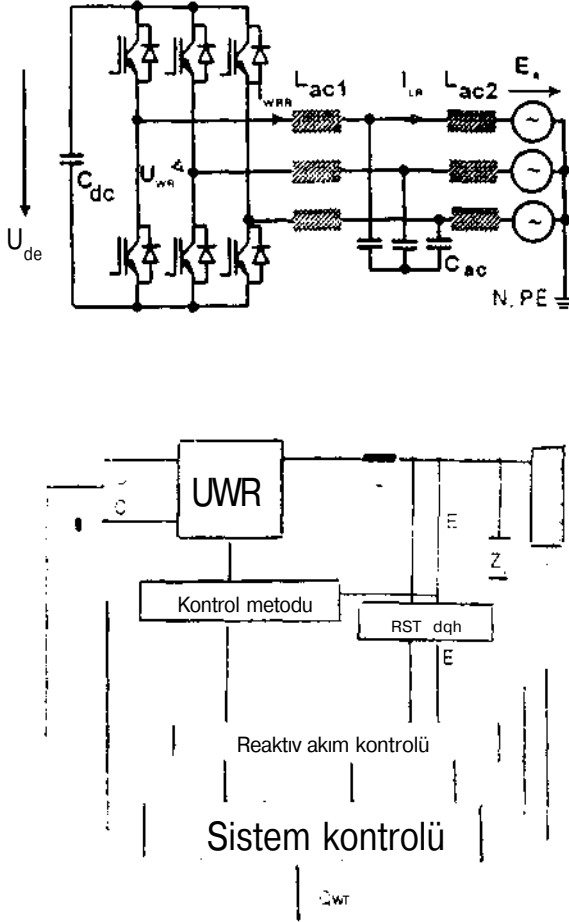
Gerilim asimetrilerini düşürmek için Steinmetz simetri
 yöntemleri kullanılmaktadır.

EMC üzerine Avrupa normları, Alman normları kadar
 kesin ve titiz değildir ve 2 kHz ile 150 kHz arasındaki
 frekanslar hakkında hiç bir bilgi vermez. Kaldığı bu
 frekanslar arasında güce bağımlı elektronik salt cihazları
 bulunmaktadır. Şekil 10, bu norm üzerinde yapılan
 çalışmayı ve önerileri göstermektedir.



Şekil 10. Güce bağımlı elektronik cihazlar ve 100 Hz ile
 150 kHz arasındaki harmonikler

AG'de şebeke geriliminin yeni bir yöntem ve IGBT ile kontrol edilmesi şekilli de gösterilmiştir

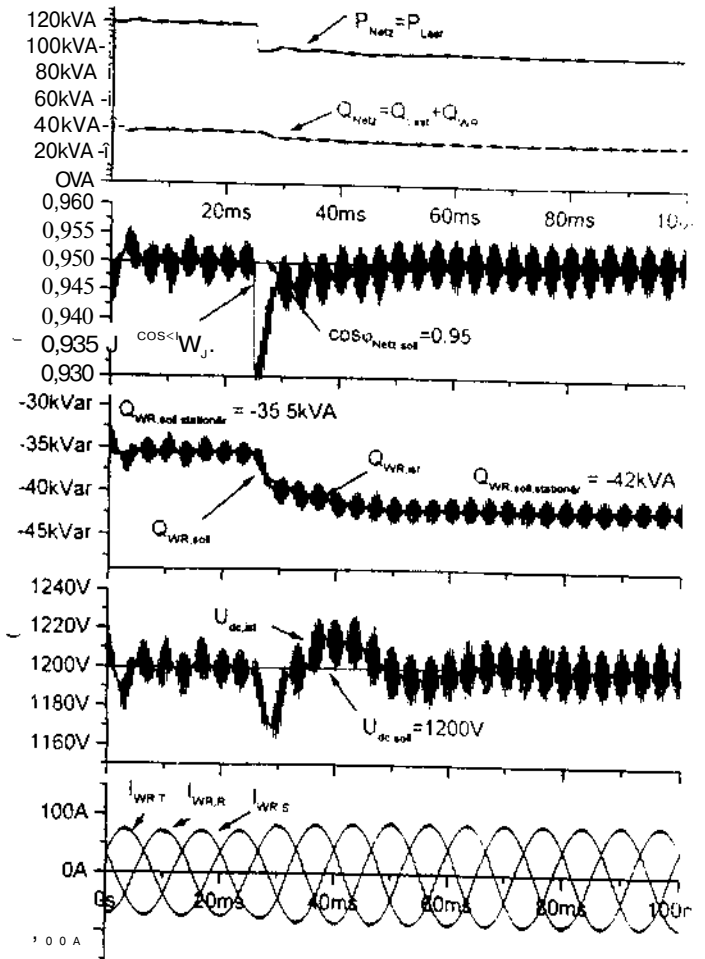


Şekil 11 AG'de şebeke geriliminin IGBT ile kontrol edilmesi

Şebeke gerilimi ve akımının sürekli olarak ölçümü ve güç faktörünün o andaki değerinin hesabı ile istenilen değerde bir reaktif gücün şebekeye enjekte edilmesi ile anı gerilim düşümleri ve asimetrik durumlar çok kısa bir sürede kompanse edilmektedir.

Reaktif güç kompanyasyonu ve güç faktörünün düzeltilmesi için yapılan simülasyon sonuçları şekil 12'de gösterilmiştir

25 saniyeye kadar şebeke, normal işletmede çalışmaktadır. Bu andan itibaren şebekede oluşacak herhangi bir yük dengesizliğinde aktif güç 120 kW'den 100 kW'ye düşmekte ve sistem 35,5 kvar reaktif gücü şebekeye enjekte etmekte, aynı anda güç faktöründe $\cos \phi = 0.93$ ' den sistemin kontrolü ile istenilen düzeye çıkarılmaktadır. Böylelikle kademesiz bir şekilde güç faktörü ve reaktif güç iyi bir kontrol dinamiği ile kontrol edilmiş oluyor



Şekil 13. Sistemin reaktif güç kompanyasyonu

11. Sonuç

CENELEC yayınlarında EMC üzerine yeterli normlar bulunmamaktadır. AG şebeke, plan ve projelerinde elektrik cihazların rahatsız edici, cihazların bozucu etkilenmelere karşı önlem alınmalıdır. Lmear olmayan yüklerin getirdiği sorunlar, harmonikler, reaktif güder ile birlikte ele alınmalı ve uygulamada dikkat edilmeiiur.

12. Kaynaklar

- IV DİN VDE 0870 Elektromagnetik etkilenmeler
- 121. EN 60555-2 EMC üzerine Avrupa no;mu
- İZİ. İsmail Kaşıkçı. Alçak yenlim şebekelerinde proje ve tasarım, Huthig Verlag Heidelberg.

SCADA SİSTEMİ ÖLÇÜMLERİNDEKİ HATALI VERİLERİN ARINDIRILMASINDA YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMI

Mehmet UZUNOĞLL Celal KOCATEPE Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80750 - İSTANBUL

ABSTRACT

The need for electrical energy is increasing everyday and in parallel to this, energy system is also enlarging. While satisfying this enlargement, production, transmission and distribution systems are affected from this increase. In order to offer problem-free electrical energy -from production to consumption- several measurement, protection and control procedures are needed. Data gathered by measurement comes with some errors. By means of the enlargement of the power system and widely usage of automation, bad data detection, identification and elimination studies are confronted.

In this paper, the general features of artificial neural networks (ANN), application of ANN and back propagation algorithm for artificial neural networks are explained shortly. Furthermore, the using of the ANN with back propagation algorithm for bad data elimination is established. For this purpose, the artificial neural network's structure of state estimator for measuring is given. In numerical application, artificial neural networks are used for four different cases of a sample power system. Bad data is accurately detected (normalized system error is 0.007) and bad data is eliminated. Results are listed at appendix. Results gained by the neural network are compared with the ones gained by the other methods and the advantages and of the former are taken into account.

1. Giriş

Bilindiği gibi elektrik enerjisine olan ihtiyaç, her geçen gün artmaktadır ve buna paralel olarak da enerji sistemi sürekli büyümektedir. Enerji sistemindeki bu büyümenin karşılanması esnasında üretim, iletim ve dağıtım sistemleri de bu büyümeden aynı şekilde etkilenmektedir. Üretilen elektrik enerjisinin sorunsuz bir enerji olarak sunulması için, üretimden tüketim noktasına kadar her safhasında çeşitli ölçme, koruma ve kontrol işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemler kontrol merkezlerinin görevleri arasındadır. Durum kestirimcisi de enerji kontrol merkezlerinin en önemli parçalarından birisidir. Ölçme işlemlerinde elde edilen veriler ise bir takım hataları içermektedir. Hatalı verilerin tespiti, tanımlanması ve yok edilmesi çalışmaları; güç sisteminin her geçen gün büyümesi ve otomasyonun

yaygınlaştırılması çalışmaları ile birlikte karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen durum kestiriminde hatalı verilerin tespiti, tanımlanması ve yok edilmesi için geriye yayılım algoritmaları yapay sinir ağı kullanılmıştır. Ulusal enterkonnekte elektrik şebekesinin daha etkin bir şekilde işletilmesi ve böylece daha güvenilir ve kaliteli elektrik enerjisinin en ekonomik bir şekilde sağlanması için ulusal yük dağıtım sistemleri ve şebekeye bağlı santrallerin izlenerek kontrolü amaçlanır.

Herhangi bir koruma önlemi alınmadan veya kontrol elemanları yerleştirilmeden önce sistemin mevcut durumunun gerçek bir kestirimi yapılmalıdır. Bu amaç için, fiziksel ölçümlerin sayısı sadece alışlagelmış güç akış hesaplamalarını yapabilmek için gerekli sayıyla sınırlamaz. Klasik güç akış programının girişleri, yük haralarında P,Q değerleri ve gerilim kontrollü baralarda P, |V| değerlerine atanır ve bu girişlerin biri belli değilse klasik güç akış çözüm metoduyla çözüm elde edilemez [1]. Daha da önemlisi giriş değişkenlerinin biri veya daha fazlasında büyük hatalar güç akışından elde edilen sonuçları kullanışsız hale getirebilir.

SCADA, kontrol merkezlerindeki operatörler ve diğer uygulama programları veya bu programlar tarafından ihtiyaç duyulan verileri uzak terminal birimleri aracılığı ile toplayan ve bunların gönderdiği komutları istasyonlara ileten uygulamadır. SCADA, ulusal yük dağıtım sisteminin en temel fonksiyonudur [2].

SCADA'dan gelen ölçümler hata içerirler. Bu hatalı ölçümlerin başlıca nedenleri şunlardır;

- Transdüser, akım ve gerilim trafosu gibi ölçü teçhizatı ile analog-digital çeviricilerden kaynaklanan hatalar, vb.
- Fazlardan farklı yüklerin geçmesi.
- Telemetre sisteminde meydana gelen arızalar veya geçici durumlardan kaynaklanan hatalar. Ayrıca ölçümlerin yapıldığı zamanları arasında da farklar bulunur. Gerçek zaman şebeke uygulaması şu fonksiyonlardan oluşmaktadır;
- Bağlantı işlemcisi,
- Gözlenebilirlik analizi,
- Bara yük tahmini,

- Durum kestirimi,
- Hata tespit etme ve tanımlama,
- Durum izleyicisi,
- Ceza faktörleri hesaplama.

RTNET uygulaması SCADA'dan gelen gerçek zaman verileri, şebeke modelleri ve operatörün elle girdiği verilen kullanarak; modellenen şebeke elemanların, bağlantı ve enerjilenme durumunun kaydını tutar, bütün şebeke analiz fonksiyonları ve tek hat şemaları tarafından şebeke bara yapısını oluşturur, şebeke elemanlarının gerilim ve güç (MW, MVAR ve MVA) limitlerini izler ve operatörlere bildirir, ölçüm ve model hatalarını belirler ve standart sapmalarını hesaplar, gerçek zaman şebekesinin mümkün olduğu kadar hatalardan arındırılmış durumunu sağlar ve zamana bağlı sistem yükü ve dağılım modelleri ile ayırıcı/kesici durumu modellerini sağlar [3].

Durum kestirimcisi, SCADA'dan gelen ölçümleri, bağlantı işlemcisi tarafından oluşturulan bara yapısını, modellenmiş verileri ve elle girilen değerleri kullanarak gözlenebilir şebekenin durum değişkenlerini (bara gerilimleri ve açıları) ve diğer değişkenleri (hat akışları, vb) hesap eder [4].

Durum kestirimi işleminin temel amaçları;

- Şebeke durumunu (tüm Daraların gerilim genlikleri ve açılarını) hesaplamak,
- « Bulunan bu şebeke durumundan faydalanarak, şebekenin diğer bilinmeyenlerini hesap etmek,
- Giriş bilgilerindeki, yani SCADA'dan gelen ölçüm bilgilerini ve şebeke modelindeki hataları tespit etmek,
- Şüpheli ölçümlerin çözümdeki ağırlıklarını azaltarak, tamamen hatalı ölçümlerin ağırlıklarını sıfıra indirerek mümkün olduğunca hatalardan arındırılmış bir çözüm bulmaktır.

2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun, ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması ile oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir, önceleri temel tıp birimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel modelleme çabaları ile başlayan çalışmalar, geçtiğimiz on sene içerisinde, disipline bir şekil almıştır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir. YSA'nın pratik kullanımı genelde, çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen informasyon verilerini hızlı bir şekilde tanımlama ve algılamaya üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni,

klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır.

1. YSA'lar verilerden hareketle, bilinmeyen ilişkileri akıllıca hemen ortaya çıkarabilmektedir. Bu özellikleri, uygulama açısından son derece önemlidir. Ayrıca veri toplama için bir ön sorgulama ya da açıklama gerekmemektedir.

2. YSA'lar çözüm olarak genelleştirilebilir. Bir örnekten hareketle, diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilirler. Genelleştirme yapılabilmesi bu bakımdan çok iyi bir özelliğidir, çünkü gerçek dünya verilerinde sürekli olarak gürültü ve bozucu etkiler mevcuttur.

3 YSA'lar non-lineerdir. Bu özellikleri nedeni ile daha karmaşık problemleri lineer tekniklerden daha doğru çözerler. Non-lineer davranışlar hissedilir, algılanır, bilinebilir, ancak bu davranışları ya da problemleri matematiksel olarak çözmek zordur.

4. YSA'lar son derece paralellığe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütebilirler. Paralel donanımlar yapıları gereği YSA'lara uygun olduğundan kendisine alternatif çözüm metodlarından daha elverişlidir.

Çok gizli katmana sahip sistemlerde her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işaretlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Sonuç olarak ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlar ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam eder. Sonuçta sistem hatalar yapar, ama bu hatalardan bir şeyler öğrenip isteneni bulana kadar işleme devam eder. Bu yönteme "hatanın geriye yayılması algoritması" (Error back-propagation algorithms) denir.

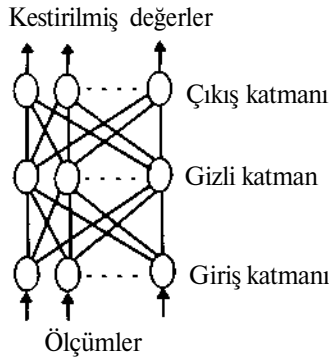
YSA'nın güç sistem araştırmaları arasında popülaritesi hızla artmaktadır. Elektrik güç sistem problemlerini çözmek için YSA uygulamaları, son yıllarda göze çarpıcı bir şekilde artış göstermiştir. Bu araştırmaların esasını tipik güç sistem problemleri oluşturur. YSA, yeterli eğitimden sonra hızlı ve etkili bir şekilde örnek tanıma, tahmin, kontrol, sınıflandırma ve optimizasyon yapma kabiliyetine sahiptir.

3. Hatalı Verilerin Arındırılmasında Geliştirilen Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı

Bu çalışma, geriye yayılım algoritmali YSA tabanlı bir kötü veri tespit etme ve tanımlama önceden tahmin metodu içerir. Bu metodun amacı; sonradan istatistiki analizlerin karmaşık işlemleri ile uğraşmaktansa, durum kestiriminden önce ham ölçümlerdeki brüt hataları tespit etme ve tanımlamadır. YSA alışlagelmiş hesaplama metodlarına benzememekle beraber, bir grup eğitim örneklerinden öğrenme yoluyla giriş ve çıkış değişkenleri arasında bir yol sentezler. Paralel dağıtılmış işleme yapısından dolayı, tasarlanan model bir defa eğitildiğinde çoğu birbirini etkileyen ve uydurulan kötü veriyi de içeren çeşitli durumlardaki brüt hataları da anında hızlıca tespit

edip tanımlamaktadır. Kötü veri bir defa tanımlandığında, tasarlanan teknikte, sistemin gözlemlenememe problemlerinden kaçınmak için, kötü veriler makul kestirimleriyle otomatik olarak değiştirilir. Tasarlanan bu model, varolan durum kestirimcilerinin hızını ve verimliliğini büyük oranda geliştirmektedir [5].

Herhangi bir veri, ölçüm değişkenlerinin ölçülmüş ve kestirilmiş değerleri arasındaki fark, belirli bir eşik değerinden büyükse kötü veri diye adlandırılır. Eğitim esnasında, bir eğitim modelinin çıkış kısmı giriş kısmıyla aynı yapıdadır ve her iki bölümde (giriş-çıkış) tipik sistem işletim durumunun doğru ölçümlerini içerir. Eğitim örneklerinin tam ayarlanabilmesi için, tipik sistem işletim durumlarının büyük bir çoğunluğu çeşitli standarttaki güç akış çalışmalarının işletilmesiyle veriler kaydedilip simüle edilir. YSA eğitime başlandığı zaman bağlantı ağırlıkları, ölçüm değişkenlerinin gerçek ve kestirilmiş değerleri arasındaki hatanın minimize edilmesiyle düzeltilir. Bir YSA'da ağırlıklar, dağıtılmış birleşik bellek üniteleridir ve bilginin o anki durumunu gösterir. Eğitim örneklerinde sistemin işletim durumundaki ölçümler, bütün ağırlıklarla gösterilmiş ve onlar diğer sistemin işletim durumlarından alınan ölçümlere paylaştırılmıştır. Bu, tamamlanmamış gürültü ile veya daha önce görülmemiş giriş değerleriyle ağ sunulduğunda makul bir ağ cevabına yol açar ve buna genelleştirme denir [6]. Diğer bir deyişle, her ne zaman eğitilmiş bir YSA bozulmuş ham ölçümlerle gösterilirse, şebeke kötü veriye gürültü gözüyle bakar ve mantıklı çıkışları üretmek için bu girişleri bellekte karşılaştırarak en yakın olanı seçer. Kötü veriler doğru değerlerine daha yakın kestirilmiş değerlerle değiştirildiğinde, bu çıkışlar ham ölçümlerin kestirilmiş değerleridir.

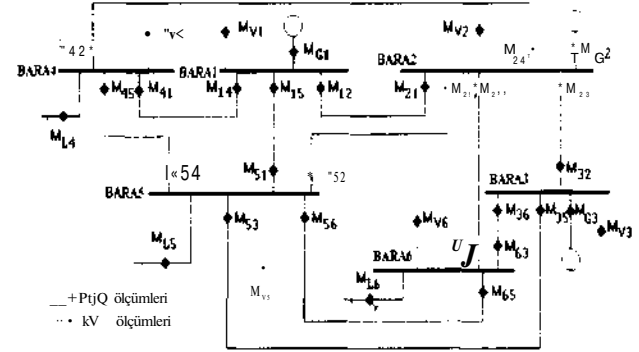


Şekil: 1 Ölçüm kestirimcisinin yapay sinir ağı yapısı.

Alışlagelmiş durum kestirim metodları dışında, bizim bu metodumuzda çoğu kötü ölçümleri tespit edebilir ve aynı zamanda bu kötü ölçümlerin yerine iyi kestirimler temin edebilir. Ekonomiklik ve maliyeti (bilgisayar hızından gelen maliyet) azaltma amaçları açısından, bir ölçüm sistemi mümkün olduğunca minimum işlem yapacak şekilde tasarlanmalıdır.

4. Sayısal Uygulama

Bu çalışmada, daha önce de belirtildiği gibi geriye yayılım algoritmaları YSA tabanlı kötü veri tespit, tanıma, ve yok etme işlemi Şekil 2'de gösterilen bir örnek sistem üzerine uygulanmıştır [7]. Örnek sistemin karakteristik değerleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiş olup, örnek sistemin gerçek değerleri için yapılan güç akış analizi sonuçları, ölçülen değerler ve kestirilmiş değerler diğer tablolarda verilmiştir.



Şekil:2 Sayısal uygulama için örnek sistem.

Tablo 1. Örnek sistemin bara ve değerleri.

Bara No	Gen (pu MW)	Gerilim (puKV)	I' Yıkırı (pu MW)	Q Vukı (pu MVAR)
1	0 00	1 050	0 00	0 00
2	0 50	1 050	0 00	0 00
3	0 60	1 070	0 00	0 00
4	0 00	1 000	0 70	0 7(1
5	0 00	1 000	0 70	0 70
6	0 00	1 000	0 70	0 70

Tablo 2. Örnek sistemin hat karakteristik değerleri

Bara No	Bara No	R (pu)	X (pu)	BCA1'tpu)
1	2	0 1000	0 2000	0 0200
1	4	0 0500	0 2000	0 0200
1	5	0 0800	0 3000	0 0300
2	3	0 0500	0 2500	0 0300
2	4	0 0500	0 1000	0 0100
2	5	0 1000	0 3000	0 0200
2	6	0 0700	0 2000	0 0250
3	5	0 1200	0 2600	0 0250
3	6	0 0200	0 1000	0 0100
4	5	0 2000	0 4000	0 0400
5	6	0 1000	0 3000	0 0300

Tablo Ek 1 örnek sistemde güç akışından elde edilen gerçek değerler, ölçü aletlerinden alınan değerler ve YSA ile kestirilmiş değerler.

Tablo Ek 2 örnek sistemde 3-5 nolu baralar arası hat devre dışı iken; güç akışından elde edilen gerçek değerler, ölçü aletlerinden alınan değerler ve YSA ile kestirilmiş değerler.

Tablo Ek 3 örnek sistemde G3 açılmış devre dışı iken; güç akışından elde edilen gerçek değerler, ölçü aletlerinden alınan değerler ve YSA ile kestirilmiş değerler.

Tablo Ek 4 Örnek sistemde G3 devre dışı ve 1. ile 2. baralardan eşit üretim yapılması halinde, güç akışından elde edilen gerçek değerler, ölçü aletlerinden alınan değerler ve YSA ile kestirilmiş değerler ayrı ayrı verilmiştir.

Sayısal uygulamanın gerçekleştirilmesinde 62 ölçüm değişkeninden oluşan ölçüm sistemi, 6'şar adet aktif ve reaktif güç çiftini ve 22'şer adet aktif ve reaktif güç akış çiftini içerir. Sayısal uygulamada, örnek sistemin 4 farklı işletim durumu gözönünde bulundurulmuştur. Kullanılan gizli katman sayısı 2 olup, her bir gizli katmanda 5 düğüm mevcuttur. İşlem için toplam iterasyon sayısı 100000'dir. Momentum oranı = 0.9 ve öğrenme oranı =0.7 olarak alınmıştır.

Bu sayısal uygulamada $a = 5\text{MW}$, $\langle j \rangle = 5\text{MVAR}$, $a = 383\text{ kV}$ ve $r = 10\text{er}$, olarak alındığında, kötü veriler ($\bar{o} - k_j)^2 < r$, eşitsizliği için şu ölçümler olarak tesbit edilmiştir;

Tablo Ek 1 için: $M_{12}(P,Q)$, $M_{21}(P)$, $M_{24}(Q)$, $M_{45}(Q)$, $M_{53}(P)$, $M_{L6}(Q)$.

Tablo Ek 2 için: $M_{12}(P,Q)$, $M_{21}(P)$, $M_{24}(Q)$, $M_{23}(P,Q)$, $M_{45}(Q)$, $M_{56}(P,Q)$, $M_{L6}(Q)$, $M_{62}(P,Q)$, $M_{63}(Q)$.

Tablo Ek 3 için: $M_{G1}(P)$, $M_{12}(P,Q)$, $M_{24}(Q)$, $M_{25}(Q)$, $M_{26}(P,Q)$, $M_{56}(P)$, $M_{62}(P,Q)$.

Tablo Ek 4 için: $M_{12}(P,Q)$, $M_{24}(Q)$, $M_{25}(Q)$, $M_{23}(P)$, $M_{32}(P)$, $M_{41}(Q)$, $M_{56}(P)$, $M_{L6}(Q)$, $M_{62}(P,Q)$.

Örnek sistemimiz üzerinde, test fazında da değerler verilerek Tablo Ek 5'deki sonuçlar elde edilmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları başlıca şu şekilde verebiliriz;

Örnek sistem üzerinde gerçekleştirilen sayısal uygulamada da görüldüğü gibi, YSA tabanlı kötü veri tespit etme, tanımlama ve yok etme işlemi büyük bir doğrulukla yapılabilmektedir (normalize edilmiş sistem hatası 0.007 dir).

Sonuçlar incelendiğinde bu yöntemin, diğer yöntemlere göre daha avantajlı ve ekonomik (bilgisayar hızından gelen maliyet bakımından) olduğu görülmektedir.

Klasik yöntemlerde enerji sistemlerindeki durum kestirim analizi, her bir mod için ayrı ayrı simülasyon yapmayı gerektirmektedir. Bu çalışmada ise eğitime fazında tanıma gerçekleştikten sonra, test fazında her bir durum için kolaylıkla hatalı verilerden arındırılmış bir şekilde durum kestirim analizi yapılabilmektedir.

Ayrıca sistemin karmaşık olması, çalışma sonuçlarını etkilememektedir. Klasik yöntemlerde karmaşıklık arttıkça analizin daha da zorlaştığı bilinmektedir (Sistem off-line çalışma durumunda iken eğitime yapıldığından, sistem on-line çalışma durumuna geçtiğinde test fazında çalışacağından dolayı herhangi bir problem çıkmaz, fakat klasik yöntemlerde sistem on-line çalışma durumunda iken karmaşık durumlarda zorluklarla karşılaşılır)

Sistemdeki maksimum ve minimum değişiklikler günün, ayın ve yılın belli periyodunda takip edilip veriler alınırsa, verilerin sayısı artacağından yapılan YSA ile analizle gerçeğe yaklaşacak ve işletim güvenliği artacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Monticelli, A., and Garcia, A., 1989. " Modelling Zero Impedance Branches in Power System State Estimation ", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6

[2] Uçan, B., ve Şahsuvar, N., 1994. " Ulusal Yük Dağıtım Durumunun Son Durumu ve Geleceği ", Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği 6, izmir, pp. 22-40

[3] Uçan, B., 1993. " Bir SCADA/EMS Uygulaması: Tek Ulusal Yük Dağıtım Sistemi, Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Trabzon, pp. 1182-1190

[4] ESCA, 1984. "Contribution to Power System State Estimation and Transient Stability Analysis Final Report ", DE-AC01-79-ET-29362, Washington, D.C. 20585

[5] Uzunoğlu, M., Kocatepe, C., and Yumurtacı, R., 1996. " An Artificial Neural Network Based Preestimation Filter for Bad Data Detection, Identification and Elimination in State Estimation ", Mathematical and Computational Applications, Vol. 1, No:1,pp. 159-164

[6] Salehfar, H., and Zhao, R., 1995. " A Neural Network Preestimation Filter for Bad-Data Detection Identification in Power System State Estimation ", Electric Power System Research, Vol. 34, pp. 127-134

[7] Wood, A.J., and Wollenberg, B.F., 1983. " Power Generation and Operation Control, Power Technologies, Chapter 15: State Estimation of Power Systems. Ins., Schenectady, New York and Rensselaer Polytechnic Institute Troy, New York

Not: Tablolar geniş yer kapladığından dolayı ekte verilmiştir.

FİBERLERİN SIVI İZOLASYON MALZEMELERİNİN BOZULMASINDAKİ ÖNEMİ

Z. EMİN

M. UĞUR

Division of Electrical Engineering
University of Manchester
Manchester, M13 9PL
England

ABSTRACT

This paper reports the findings of a novel approach to the study of the growth of water tree structures in silicone fluid under electric stress. Fibres of different types of materials were attached to a plane earthed electrode immersed in an aqueous salt solution. A layer of silicone fluid, floating on the water contained a point electrode to which high voltage was applied creating an asymmetric electrical field, in the liquid, terminating at the fluid/water interface. The frequency of the applied voltage was varied from 25Hz to 14kHz. The ionic content of the water at the bottom of the test rig beneath the fluid was also varied by dissolving different types of salts in it. Efforts were made to find the maximum rate of growth of the water tree structures. The frequency of the applied voltage had a definite influence on the formation of water trees, as did the type of ions in the water.

GİRİŞ

Bu yüzyılın ikinci yarısında işletmeye sokulan ekstrüzyonlu kablolar, su veya su buharının bu kabloların elektriksel özelliklerini etkilemeyeceği fikrini de beraberinde getirmekteydi. Her ne kadar bu çeşit kabloların izolasyon ve yarı iletken korucuyu maddelerinin kalitesi üretim aşamasındaki işlemler, kirlenme seviyesi ve katkı maddeleri yönünden geliştirilmiş ise de, birçok yeraltı yüksek gerilim dağıtım kablolarının incelenmesi bu gelişmelerin başlangıçta inanıldığı gibi, su sızıntısına karşı birer çözüm olmadıklarını ortaya koymuştur. Polimerik izolasyonlu yüksek gerilim güç kablolarının delinmesinde en önemli faktörlerden biri, sözkonusu su sızıntıları ya da asıl adı ile su ağaçlarıdır. Su ağaçlarıyla, kablolarda boşalma ve elektriksel etkilerle oluşan su kanalcıkları kastedilmektedir.

1968'de yeraltı kablolarında su ağaçlarının farkedilmesinden itibaren yeraltı yüksek gerilim kablolarının delinmesindeki önemleri nedeni ile bu konuda birçok araştırma yapılmış ve yayınlanmıştır [1]. Hayli detaylı deneyler ve analitik teknikler uygulanmasına karşın, su ağaçlarının başlama ve büyüme mekanizması günümüzde halen bir bilmecedan ibarettir. Suyun izolasyon içerisine girişiyile ilgili olarak birçok öneri ortaya atılmasına rağmen bu öneriler genelde bazı deney sonuçlarını ya da su ağacı oluşumundaki etkenlerin sınırlı bir kısmını

açıklamaktan öteye gidememiştir. Bu nedenle literatürde yayınlanan makalelerin büyük bir kısmı genel olarak kabul edilebilecek bir su ağacı oluşumu teorisi geliştirememişlerdir. Hayli yaygın olan bir görüşe göre, izolasyon malzemesinin içerisinde bulunan mikroskobik çaptaki bazı boşlukların elektrik alan şiddetini yükselterek su ağaçlarının oluşumuna sebep oldukları iddia edilmektedir. İzolasyon malzemesi içerisinde bulunan bu mikroskobik boşluklar çeşitli formlarda olabilirler. Bunlar arasında yapısal bozukluk, kir, yabancı madde ya da izolasyondaki bir çatlak ilk akla gelenlerdir. Bu çatlak ve yarıkların, suyun izolasyon malzemesine sızmasında ve daha sonra su ağaçlarının oluşmasındaki rolü azımsanamayacak kadar büyüktür.

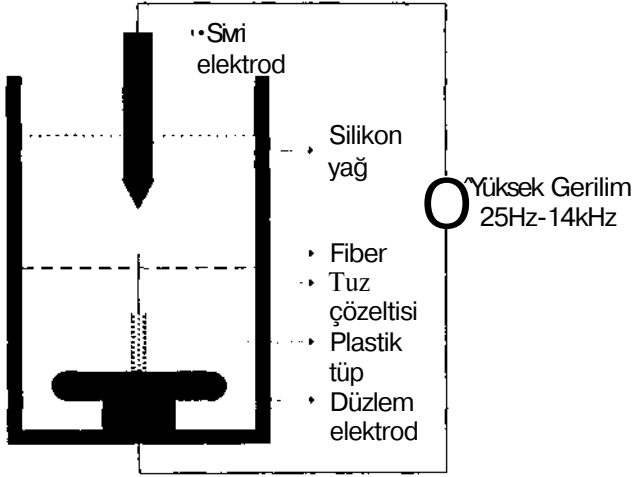
Yüksek viskoz sıvılar kimyasal açıdan katı maddelere benzerler. Her ne kadar yukarıda bahsedilen çatlaklar sıvılarda gösterilemese bile, sıvı içerisinde bulunabilecek bir fiber katılardaki çatlaklara benzer bir oluşum gösterebilir. Bu bildiri, fiber içeren yüksek viskoz silikon yağ içerisine batırılmış yüksek gerilim iğne veya sivri elektrodu etrafında oluşan su ağacına benzer şekillerin deneysel gözlemlerini ve bu konuya ilişkin teorik yaklaşımları rapor etmektedir.

DENEY DÜZENEGİ

Temel deney düzeneği Şekil 1 de görülmektedir. Değişik tipteki fiber malzemeler, sulandırılmış tuz çözeltisi içine batırılmış bir düzlemsel elektroda oturtularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Fiberler, deney düzeneği içerisinde dik durmalarını sağlamak amacıyla, toprak elektroda yapılandırılmış bir plastik tüp ile kısmi olarak desteklenmişlerdir. Bu sulandırılmış tuz çözeltisinin üzerine viskozitesi 30,000 centistokes olan bir silikon yağ boşaltılmış ve bu yağın içerisine asimetric elektrik alanı yaratacak bir yüksek gerilim iğne elektrodu yerleştirilmiştir. Su taneciklerinin fiberlerin ucundan iğne elektrod ucuna kadar olan mesafedeki hareketleri optik mikroskoba bağlı bir video kamera ve televizyon ekranı ile gözlemlenmiştir. Ayrıca bütün görüntüler zaman gecikmeli bir video ile kayıt edilmiştir.

Deneylerde, frekansı 25Hz ile 14kHz arasında değişen bir yüksek gerilim jeneratörü kullanılmıştır. Arzu edilen frekans değeri seri rezonans yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bir kondansatör ve bir

bobinin seri bağlanması ile ulaşılan rezonans esnasında devreye sağlanan gücün sadece devredeki kayıpları karşılayacak büyüklükte olması gerekmektedir. Bu devrede V_{cc} ve toprak arasında seri olarak bağlanmış bulunan iki güç transistörü bir sinyal jeneratörü tarafından sürülmektedir. Devrenin çıkışı V_{cc} tepe-tepe kare dalga olup bu dalga devrenin primer tarafında bulunan bobine uygulanarak trafonun sekonderindeki kondansatör vasıtası ile bobin üzerinde yüksek büyüklükte bir sinüs dalga elde edilmiştir. Bu dalga trafonun sekonderinde (yüksek gerilim) $5kV_{max}$ olarak ölçülmüştür. Bu düzeneğin en büyük avantajı bobinin primer tarafta olması sayesinde küçük değerlerde bile rezonans frekansına kolaylıkla ulaşılabilmektedir.



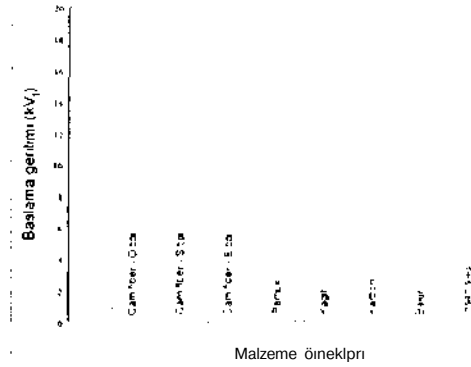
ŞEKİL: 1 Temel deney düzeneği

Değişik fiber maddelerinin, suyun fiberden iğne elektroda taşınmasındaki etkisini araştırmak amacıyla cam, pamuk, kağıt, karbon ve bakır gibi farklı fiberler kullanılmıştır. Aynı şekilde sulandırılmış değişik tuz çözeltilerinin, suyun taşınmasındaki etkilerini gözlemlemek amacıyla NaCl, KCl ve BaCl₂ gibi çeşitli tuzlardan yararlanılmıştır. Değişik tuz kullanımındaki asıl amaç, çözeltilerin iyonik yapılarının su ağaçlarının oluşumundaki etkilerini gözlemlemektir.

GÖZLEMLER

Başlangıçta suyun fiber üzerinden taşınması için gereken en düşük gerilim seviyesi çeşitli fiber maddeleri için ölçülmüştür. Ölçümler Şekil 2 de görüldüğü gibi su iletiminin başlangıcının değişik fiberler için farklı gerilim seviyelerinde mümkün olduğunu göstermiştir. Deneylerin bu aşamasında uygulanan gerilimin frekansı 50Hz'te sabit tutulmuştur. Bunlar arasında insan saçı ve bakırın, gerilimin 15kV gibi yüksek bir değere çıkarılmasına karşın, suyu silikon yağın içerisine sızdırmadığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık cam fiberlerin su iletmeye daha uygun oldukları bulunmuş ve deneyin

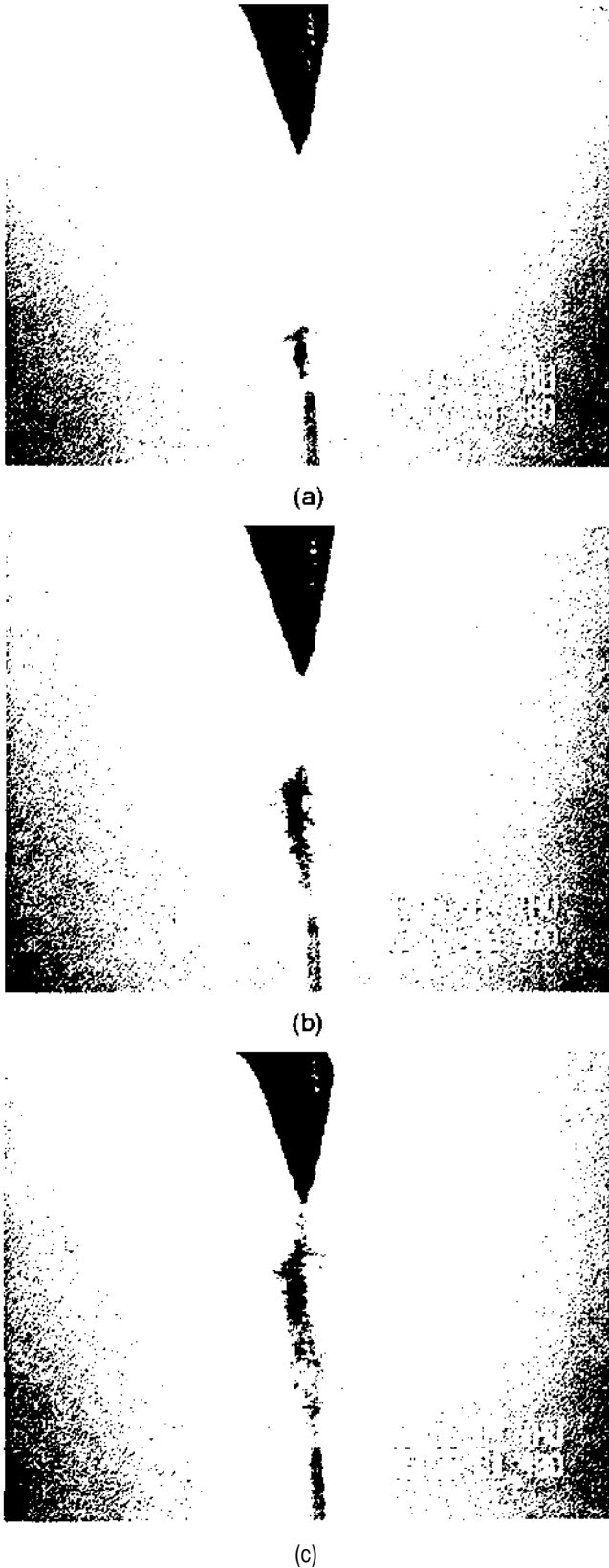
bundan sonraki aşamalarında D-tipi cam fiberler kullanılmıştır.



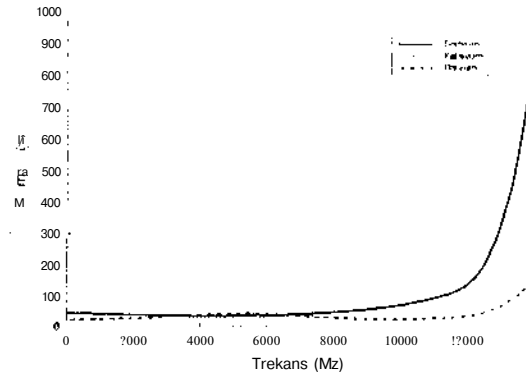
ŞEKİL: 2 Fiberlerin su iletmeye başlama gerilimi

Deneyin ikinci aşamasında, öncelikli olarak sıvı elektroda 5kV, 25Hz bir gerilim uygulanmıştır. Su moleküllerinin test düzeneğinin alt kısmındaki tuzlu çözeltiden fiberlerin uç kısmına doğru yükselmesi ancak belirli bir zaman dilimi içerisinde mümkün olmuştur. Fiberin ıslanmasıyla birlikte su moleküllerinin silikon sıvı içerisine doğru hareket ettikleri gözlemlenmiştir. Burada ilk önce fiberin ucu etrafında ağaca benzer şekiller oluşmuş ve bunlar sıvı elektroda doğru yönelmişlerdir. Su moleküllerinin fiberlerin ucu ile iğne elektrod arasındaki mesafede köprü oluşturması sadece birkaç saniye sürmüştür. Video kayıtlarından üretilmiş olan Şekil 3 (a), (b) ve (c), su taneciklerinin fiberlerin ucundan iğne elektrod ucuna kadar olan mesafedeki yapısal hareketlenimin zamanla değişimini göstermektedir. Yüksek yenilim jeneratörünün frekansının 25Hz'den aşamalı olarak 7kHz'e yükseltilmesiyle birlikte silikon yağ içerisinde oluşan su kanalında daralma görülmüş fakat köprü kurma süresi nispeten sabit kalmıştır. Frekans 7kHz'den başlatılarak 14kHz'e doğru aşamalı olarak yükseltildiğinde köprü kurma süresi uygulanan gerilimin frekansıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Üçüncü ve son aşamada deneyler değişik tuz çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir, iyonik sular, NaCl, KCl ve BaCl₂ gibi tuzların su içerisinde çözülmesi ile elde edilmiştir. Tüm çözeltilerin molaritesi 0.5M olarak belirlenmiştir. Suyun silikon yağ içerisine girmesi ve yayılması esnasında oluşan genel görüntünün tüm tuz çözeltileri için benzer olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık büyüme esnasında bazı ince detaylarda farklılıklar oluşmuştur. Sabit gerilim ve frekanslarda değişik tuz çözeltileri kullanıldığında, fiberlerin ucu ile iğne elektrod ucu arasındaki mesafede köprü oluşturma süreleri farklılıklar göstermiştir. Şekil 4 farklı tuz çözeltilerinin değişik frekanslarda köprü oluşturma sürelerini

vermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere BaCb çözeltisi silikon yağ içerisinde en süratli, NaCl ise en yavaş olarak hareket etmektedir.



ŞEKİL: 3 Suyun fiberler üzerinden taşınması



ŞEKİL: 4 Frekansın köprü zamanına etkisi

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Deneylerde kullanılan cam fiberler, küçük bir demet halinde çok sayıda ince kılcal fiberlerden oluşmuşlardır. Bu ince kılcal fiberler arasındaki boşluklar kapiler bir yapı oluşturmaktadırlar. Sisteme gerilim uygulanmadığında, kapiler yapıların alt kısmındaki yüzey gerilimi dolayısıyla, su moleküllerinin yukarı çıkarak silikon sıvıya ulaşması mümkün değildir. Uygulanan elektriksel alan şiddeti sözü edilen yüzey gerilimi kuvvetini aşacak kadar yükseltildiği takdirde, su molekülleri kapiler yapı boyunca yukarıya doğru hareket ederler. Farklı maddelerin (cam, pamuk, karbon vs.) oluşturduğu kapiler yapıların alt kısmındaki yüzey gerilimleri farklı olacağından, herbirinin, su moleküllerini iletmeye başlaması için gereken elektrik alanı farklı olacaktır. Yapılan deneyler bunu doğrulamaktadır.

Sözü edilen kapiler yapı olayı, suyun fiber boyunca ilerleyip silikon sıvıya ulaşmasına kadar geçen bölümdeki olayları kontrol etmektedir. Su moleküllerinin silikon yağ içerisindeki hareketleri daha çok dielektroforetik kuvvetler tarafından yönlendirilmektedir [2]. Dielektroforez, yalıtkan madde partiküllerinin yüksek alternatif elektrik alanı içerisinde hareket etmeleridir [3]. Bu hareketin sebebi yalıtkan maddelerin polarize olmalarıdır. Maddelerin polaritesi elektrik alanının yönüne göre değişir. Dielektroforez için gerekli bir başka koşul da partiküllerin geçirgenliğinin içinde buldukları ortamın geçirgenliğinden daha yüksek olmasıdır. Deneylerde kullanılan silikon yağın geçirgenliği su moleküllerinin geçirgenliğinden çok daha düşüktür. Dolayısıyla su taneciklerinin hareketlerini dielektroforetik kuvvetlerin yönlendirdiğini söyleyebiliriz.

Suyun fiber ve sivri elektrodun uçları arasında köprü kurması için gereken zamanın uygulanan gerilimin frekansı ile bağlantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlantı kuvvet denklemindeki dielektrik geçirgenliğin frekansa bağlı olması ile açıklanabilir [4].

$$F \propto u^3 \epsilon_1 A(\omega) \left[\frac{\epsilon_2(\omega) - \epsilon_1(\omega)}{\epsilon_2(\omega) + \epsilon_1(\omega)} \right] E^2 \quad d)$$

Denklemda a partikülün yarıçapını, ω radyan frekansı, $F_1(\omega)$ partikül çevreleyen sıvının ve $\epsilon_2(\omega)$ de partikülün geçirgenliğini göstermektedir. Bazı araştırmalar frekanstaki bir artışın su kanalcıklarının geçirgenlik katsayısını düşürdüğünü ortaya koymuştur. Eğer sözü edilen bu bağlantı kurulabilirse, gerilimin frekansındaki bir artış dielektroforetik kuvvetlerin azalmasına ve sonuç olarak su moleküllerinin hareketlerinin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Bu da, deneysel sonuçlarla bağdaşmaktadır. Ancak dielektroforetik kuvvetlerin frekans ile değişiminin sadece çok yüksek frekanslarda, yani MHz seviyesinde mümkün olduğu dikkate alınmalıdır [3].

Deneylerin bir başka sonucu da, suyun köprü kurma zamanı ile tuz çözeltilerinin iyonik içeriği arasındaki bağlantıdır. Burada köprü kurma zamanlarının her bir tuz çözeltisi için farklı olarak ölçülmesinin nedeni, çözeltilerdeki iyonların farklı hidrasyon numaralarına sahip olması ile bağlantılıdır [5], iyonların hidrasyon numaraları içinde çözüldükleri çözücü moleküllerine bağlıdır. Hem anyon hem de katyonların çözücü su molekülleri ile direkt temasta oldukları birinci derece hidrasyon çemberleri vardır. İkinci derece çemberlerdeki çözücü su molekülleri ise daha çok iyonların elektrostatik alanlarıyla etkileşirler [5]. İyon yarıçapı düştükçe hidrasyon numarasında artma gözükmemektedir. Bu, iyonların yüzeyindeki elektrik alanının gücüne bağlıdır, iyon küçük ise merkezi yükü yüzeye daha yakındır. Bu da daha yüksek elektrik alanı ve dolayısıyla daha fazla su molekülünü kendisine çekebilmesi demektir. Sodyum iyonları en küçük yarıçapa sahip olduklarından en ağır hidrasyona maruz kalırlar. Su molekülleriyle yüklü iyonların polarizasyonu silikon yağdan daha kolay olduğu için su molekülleri iyonlarla temasa girdiklerinde elektrik alanının kaynağına doğru hareket etmektedirler. Aynı zamanda, su molekülleriyle yüklü iyonlar birbirlerine düzgün olmayan bir alan şiddeti uyguladığından iyonlar birbirlerini kendilerine çekerler ve dielektroforetik kuvvet sayesinde yüksek elektrik alanına (sivri elektroda) doğru hareket ederler. Farklı iyonların hidrasyon numaraları aynı olmadığına göre hareket hızları da farklıdır. Yüksek hidrasyon numaralı iyonlar daha fazla su molekülünü kendilerine çekmekte ve dolayısıyla küçük hidrasyon numaralı iyonlardan daha ağır olmaktadır. Bunun sonucunda iyonların hareketinin hidrasyon numarası ile bağlantılı olduğu ortaya çıkar yani yüksek hidrasyon numaralı iyonlar düşük hidrasyon numaralı iyonlardan daha yavaş hareket ederler. Öyleyse, hidrasyon numaralarına göre, sodyum iyonları potasyum iyonlarından, potasyum iyonları da baryum iyonlarından daha yavaş hareket ederler. Deney sonuçları, kullanılan

tüm frekanslarda, yukarıda sözü edilen açıklamalara tamamı ile uymaktadır.

REFERANSLAR

- [1] M.T. Shaw and S.H. Shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-19, No. 5, October 1984, pp.419-452.
- [2] R.M. Eichhorn, "Treeing in Solid Extruded Electrical Insulation", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-12, No. 2, February 1972, pp.2-18.
- [3] H.A. Pohl, "Dielectrophoresis: The Behaviour of Neutral Matter in Nonuniform Electric Fields", Cambridge University Press, London-New York-Melbourne, 1978.
- [4] LA. Dissado, S.V. Wolfe and J.C. Fothergill, "A Study of the Factors Influencing Water Tree Growth", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-18, No. 6, December 1983, pp.565-585.
- [5] O. Samoilov, "Structure of Aqueous Electrolyte Solutions and the Hydration of Ions", Consultants Bureau, NewYork, 1965.

TRANSFORMATÖR MUKAVVALARININ AŞINMASINDAKİ ETKENLERİN İNCELENMESİ

M. UĞUR

Z. EMİN

Division of Electrical Engineering
University of Manchester
Manchester, M13 9PL
England

ABSTRACT

Some transformerboards taken out of service have shown unexpected discharge damages. Bubbles on the surface have been shown to be markers for discharge damages beneath the surface. Since the transformer design stresses have been way below those which would allow discharges within the oil it is apparent that unforeseen mechanisms are present in the operational transformers.

An investigation has been undertaken to try and reproduce these damages on a short time scale in the laboratory. Dry and oil impregnated transformerboards were tested under AC high voltage with different electrode configurations in various conditions. The effect of moisture content on the breakdown strength is also investigated. The paper reports and compares the factors associated with the aging and degradation of the transformerboards.

GİRİŞ

Bilindiği üzere sıvı yalıtkanların delinmesi geri dönüşümlüdür yani yalıtkan uygulanan gerilim ortadan kalktığında sıvı madde yalıtkan özelliğini tekrar geri kazanır. Buna karşılık katılardaki delinme olayı tek yönlüdür, bir başka deyişle delinmeden sonra katı yalıtkanlardaki bozulmuş kısım tamamıyla iletken hale gelir. Günümüzde katı yalıtkanların yaygın olarak kullanıldığı alanlar arasında polimerik izolasyonlu yeraltı yüksek gerilim kabloları ve trafolarında kullanılan yağ emdirilmiş mukavvalar bulunmaktadır [1,2].

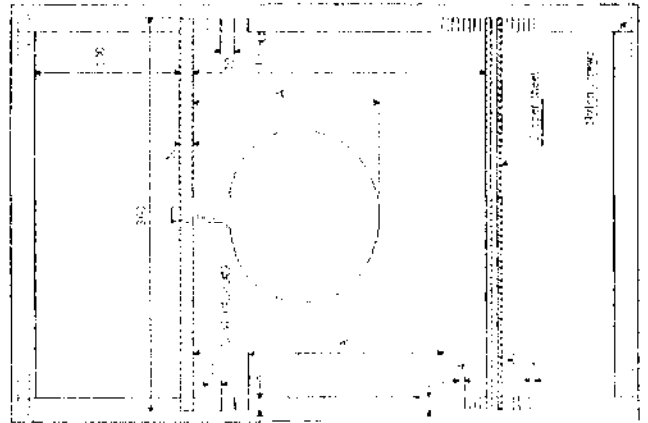
İngiliz elektrik taşıma ağına kullanılan 400kV'luk transformatör mukavvalarının bazılarında normal şartlar altında beklenilmeyen yüzeysel ve iç yapıda bozulmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Mukavvalarda gözlemlenen bu bozulmaların hem yüzeyde, hem de yüzey altında meydana gelen elektriksel boşalmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzey altındaki bu bozulmalar genellikle kendilerini yüzeyin kabarması şeklinde göstermektedirler.

Trafo mukavvalarının delinmesini etkileyen faktörler arasında aşırı ısınma, gaz kabarcıkları ve nem oranındaki artış ilk akla gelenler arasında olsa bile bu faktörlerden hiçbirinin tek başına bu olayın asıl sebebi olmadığı anlaşılmıştır. Bu bildiri yukarıda bahsedilen

trafo yalıtımında kullanılan mukavvaların bozulmasını kısa zaman dilimi içerisinde laboratuvar koşullarında gerçekleştirip, olayın başlangıç ve gelişimini etkileyen parametrelerin belirlenmesini amaç edinmiştir.

DENEY APARATI

Gerçek sahada kullanılan 400kV'luk trafoların boyutları ve elektriksel özellikleri göz önünde bulundurularak, laboratuvar şartlarındaki deneyler için gerçeğinin % 'ü oranına basitleştirilerek indirgenmiş simetrik bir model (320*485*440mm) oluşturulmuştur. Başlangıçta orta noktası eşpotansiyelde olan bu model, daha sonra bir tarafa topraklanmış düzlemsel bakır elektrot, diğer tarafa da yüksek gerilim elektrodu (küresel, silindirik ve sivri) yerleştirilmek suretiyle asimetrik bir hale dönüştürülmüştür. Modelde elektrotlar nem oranı yaklaşık 15-20ppm arasında değişen trafo yağına batırılmış olup, mukavvalar da bu iki elektrod arasına yerleştirilmiştir. Deney hücresi azami esneklik dikkate alınarak maksimum 100kV gerilime dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1 de görülen deney hücresinin duvarlarına açılan 4mm genişliğindeki yarıklar aracılığıyla deneyin değişik elektrod-elektrod ya da elektrod-mukavva arası mesafelerde yapılması sağlanmıştır.



ŞEKİL: 1 Küresel elektrot için temel deney düzeneği (A=235mm)

Deneyler esnasında elektrik boşalmaları söz konusu olduğundan bu boşalmaları algılayabilecek iki değişik

sistem geliştirilmiştir. Bunlardan ilki darbe akımının algılanması olup, bu akımlar yüksek örnekleme yapabilen (1GHz) dijital bir osiloskop vasıtası ile gözlemlenip kayıt edilmiştir. Örnekleme için gerekli olan akım düzlemsel toprak elektroda bağlı 50 Ω 'luk gürültü seviyesi düşük bir direnç üzerinden ölçülmüştür, ikinci yöntemde ise, akustik gürültü algılama metodu geniş bantlı (100-1000kHz) bir piezo elektrik transducer kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

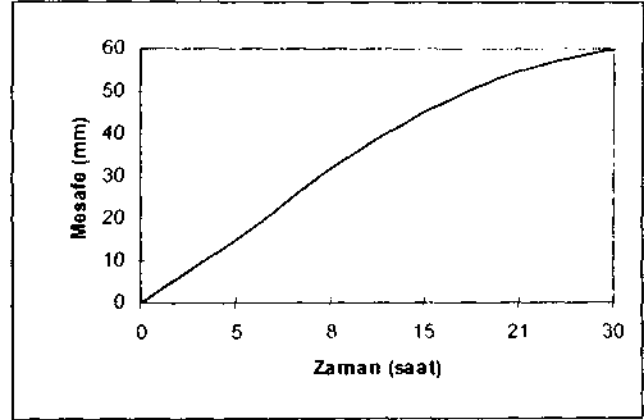
Deneyler oda sıcaklığında ve 80kV'luk AC gerilim altında yapılmıştır. Deney esnasında oluşabilecek aşırı akımları sınırlamak amacıyla 4MQ'luk bir yüksek gerilim direnci trafo ile deney seti arasına polythene yüksek gerilim kablosu kullanılarak seri şekilde bağlanmıştır. Tüm deney düzeneği güvenlik gerekçesi ile topraklanmış metal bir kafes içerisine monte edilmiştir. Sistemde ölçümler esnasındaki hassasiyeti ve doğruluğu arttırabilmek amacıyla korona kayıpları gerekli düzenlemeler yapılarak minimum seviyede tutulmuştur. Deneylerde hem kuru, hem de yağ emdirilmiş mukavvalardaki kabarma efektini elde edebilmek için, küresel, silindirik ve iğne olmak üzere 3 değişik elektrod tipi kullanılmıştır.

GÖZLEM VE BULGULAR

Kuru mukavvaların delinme gerilimine karşı gösterdikleri direncin yağ emdirilmiş mukavvalara nazaran daha düşük olduğu düşünülmüş ve deneylerde ilk olarak bunlar kullanılmıştır. Göz önünde bulundurulan diğer bir nokta da yüzeysel boşalmaların kuru mukavvalar kullanılarak daha kolay elde edilebileceği fikridir. Bütün bu düşüncelerin ışığı altında ilk deney 10 μ m çapında sivri elektrot kullanılarak, 300*300*4mm boyutlarında ve %5 oranında nem içeren kuru mukavva ile gerçekleştirilmiştir. İğne elektrod ile mukavva arasında bariz bir şekilde görülebilen şiddetli boşalmalar olduğu tespit edilmiştir. Deney sonucunda mukavvalar yüksek gerilim elektrodu eksenine boyunca uğradıkları aşırı erozyon sebebiyle kısa bir süre içerisinde hem fiziksel hem de elektriksel olarak delinmeye uğramışlardır.

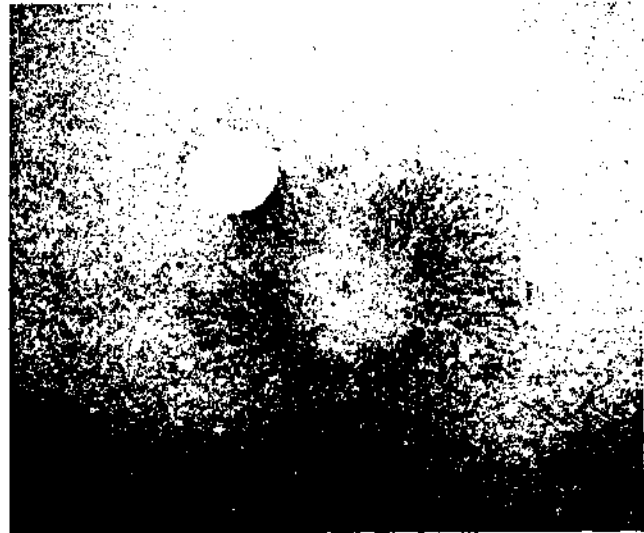
Deneyin ikinci aşamasında, iğne ya da sivri elektrod 125mm çapındaki küresel elektrodla değiştirilerek sıvı içerisinde daha düzgün bir elektriksel alan şiddeti elde edilmiştir. Bu şartlar altında yağ içerisinde kayda değer boşalmalar tespit edilememiş olup, yüksek elektrik alan şiddeti sistem herhangi bir bozulmaya uğramaksızın uzun süre uygulanabilmiştir. Bu testler esnasında mukavva yüzeyinde tekrar edilebilen aşınım şekilleri gözlemlenmiştir [3]. Koyu renkli olduğu saptanan bu aşınmış bölgelerin, mukavvadaki elektriksel açıdan zayıf olan bölgelerden kaynaklanabileceği sebebine istinaden, yeni deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla deneyin hemen öncesinde kuru mukavva üzerine eksene çeşitli uzaklıklarda 0.2ml su damlatılmıştır. Bu şekilde suyun mukavva üzerindeki varlığının ve yerinin delinme

direncine etkisi incelenmiştir. Eksene uzaklığı 110mm'nin üzerinde olan su ile ıslatılmış bölgelerin, test sonuçlarını etkilemediği gözlemlenmiştir. Buna karşın eksene yaklaşıldıkça, suyla az miktarda ıslatılmış bölgelerin bile delinme direncini hayli azalttığı ve test süresini kısalttığı fark edilmiştir. Koyu renkli aşınım bölgelerinin ise Şekil 2 de görüldüğü gibi zamanla orantılı olarak genişlediği ($\propto t^{1.3}$), fakat yaklaşık 30 saat sonra doyuma ulaştığı tespit edilmiştir. Bu safhadan sonra deneyin devam etmesi halinde yalnızca aşınım bölgelerinin renginde hafif bir koyulaşma gözlemlenebilmiştir.



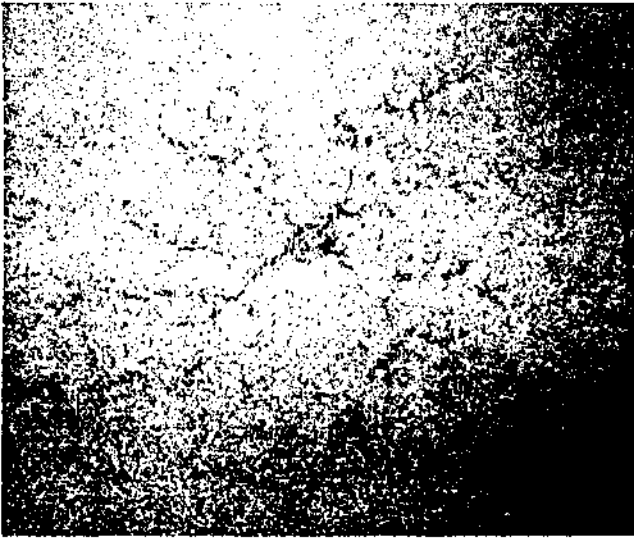
ŞEKİL: 2 Koyu renkli aşınım bölgelerinin zamana bağımlı olarak değişimi

Ayrıca iletken özellik göstermeleri sebebiyle ıslatılmış bölgelerde yüzey üzerinde ve içinde elektriksel boşalmalar gerçekleşemediğinden, bu bölgelerde aşınma sonucu oluşabilecek herhangi bir renk değişimi gözlemlenmemiştir (Şekil 3).



ŞEKİL: 3 Küresel elektrod kullanılarak elde edilmiş dairesel aşınım şekli

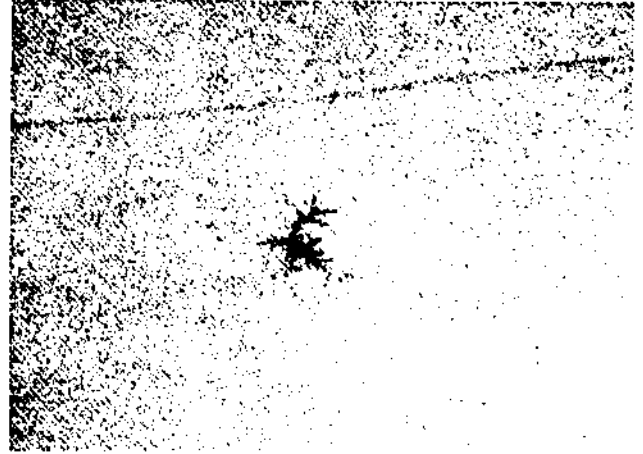
Deneyin üçüncü aşamasında 10mm çapında silindirik yüksek gerilim elektrodu kullanılmıştır. Elektriksel boşalmalara rahat bir yayılma alanı sağlamak amacıyla, elektrodun mukavvaya bakan yüzü düz bir yüzey oluşturacak şekilde kesilmiştir. Bu şartlar altında deneyler öncelikle silindirik elektrodla mukavva arasında boşluk bırakılmadan, elektrod mukavva yüzeyine temas edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu düzlenkle mukavvalar üzerinde farklı aşınım şekilleri oluşmasına olanak sağlanmıştır. Bu şekilleri öncekilerden ayıran en önemli özellik, rastgele yönlerde doğru ilerlemeleridir. Şekil 4 de görüldüğü üzere bu aşınım kanalları hafif iletken özellik göstererek uç noktalarından genişleyip, ilerlemektedirler. Elektrod ile mukavva arasındaki boşluk 2mm ye çıkarıldığında, mineral sıvı içerisinde meydana gelen statik boşalmalarda ve dolayısıyla gaz oluşumunda artış meydana geldiği gözlenmiştir. Deney süresi birkaç dakika ile birkaç saat arasında değişim göstermiş olup, her iki durumda da mukavvalarda delinme meydana gelmiştir.



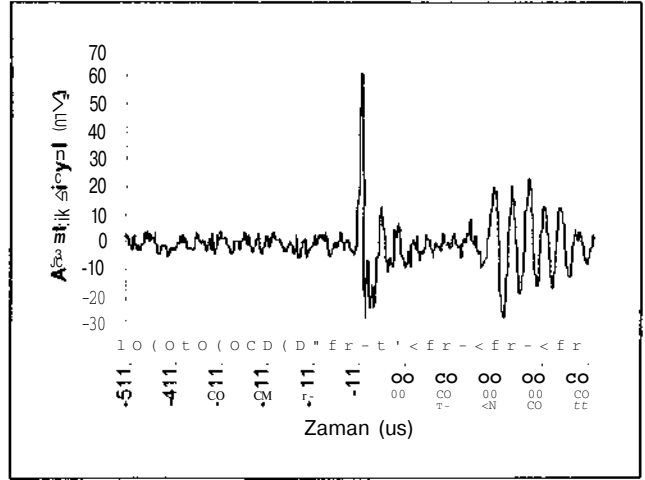
ŞEKİL: 4 Silindirik elektrod kullanılarak elde edilmiş aşınım şekli

Yağ emdirilmiş mukavvalar sadece küresel elektrod kullanılarak test edilmişlerdir. Elektrik alan şiddetinin yağda boşalmalar yaratacak seviyeye yükseltilmesi ile, mukavva yüzeyinde Şekil 5 de görülebileceği gibi ağaca benzer aşınım şekilleri elde edilmiştir. Ancak daha önce kuru mukavvalarda gözlemlenmiş olunan dairesel aşınma şekillerine, çok hafif bir renk değişimi dışında, burada hiç rastlanılmamıştır. Delinme ise ancak elektrik alan şiddeti çok yüksek değerlere ulaştığında meydana gelmiştir. Tüm deneyler boyunca farklı düzeneklerin değişik ve ayırt edilebilir boşalma ve akustik gürültü sinyalleri verdikleri tespit edilmiştir. Şekil 6 da 80kV AC gerilim altında elde edilmiş bir akustik boşalma sinyali gösterilmiştir. Akustik sensörün topraklanmış düzlemsel elektrodun arkasına yerleştirilmesi suretiyle algılanabilen bu

sinyal, sesin test hücresinin duvarlarından yansıdığını da göstermektedir. Sesin yağ içerisindeki hızının 1500m/s olduğu düşünülürse, 250µs'de gidilen yol 375mm olarak hesaplanabilir ki, bu da sesin sensörün yerleştirildiği noktaya uzak olan duvardan yansiyarak gelmesi için gereken uzaklığa yakındır.



ŞEKİL: 5 Yağ emdirilmiş mukavvada silindirik elektrod kullanılarak elde edilmiş aşınım şekli



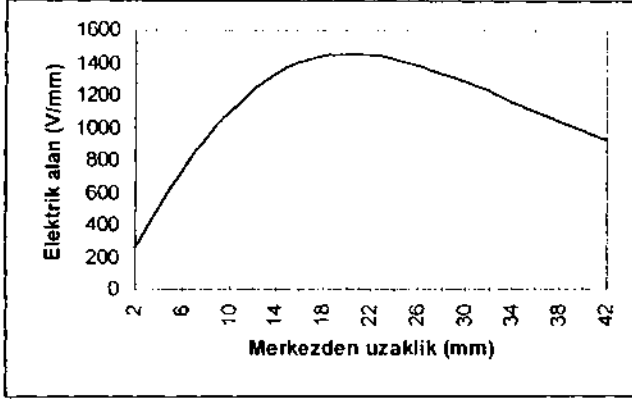
ŞEKİL: 6 Akustik boşalma sinyali

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Transformatör mukavvalarının yüzeyinde ve iç yapısında meydana gelen bozulmaları laboratuvar koşullarında elde edebilmek amacıyla birçok deneyler yapılmıştır. Nominal gerilimin 1.5 katına kadar olan seviyede yapılan uzun süreli testlerde herhangi bir bozulmaya rastlanmamıştır. Gerilimin nominal elektrik alan şiddetinin 3 katına yakın seviyelere çıkarılmasıyla, kuru mukavvaların yüzeylerinde, çeşitli uzaklıklarda, tekrarlanabilen, dairesel aşınım şekilleri elde edilmiştir.

Yapılan tüm bu incelemeler, gözlemlenen olayların hepsinde elektrik alan şiddetinin etkisi olduğu gerçeğini desteklemektedir. Elektrik alan şiddeti başlangıçta Laplace alan denklemleri ile ifade

edilmektedir. Nitekim küresel elektrod kullanılarak kuru mukavva üzerinde yapılan deneylerde oluşan dairesel aşınım şekillerinin, Laplace alan denklemlerinden elde edilen eş potansiyel çizgileriyle çakıştığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar maksimum alan çizgilerinin merkezden 18-22mm uzaklıkta olması gerektiğini göstermektedir (Şekil 7).



ŞEKİL: 7 Elektrik alanının merkezi eksenden uzaklıkla değişimi

Deneyler sonucunda ise, maksimum aşınımın, mukavva ve elektrod arasında 2mm boşluk bırakıldığı takdirde merkezden 20-22mm uzaklıkta olduğu gözlemlenmiştir.

Deneyin ilerleyen safhalarında, Laplace alan şiddetine, mukavva yüzeyinde toplanan statik yüklerin de eklendiği düşünülmektedir. Bu statik yüklerin belirli aralıklarla boşalması, mukavvaların bozulmasında önemli bir rol oynayabilir. Buna ek olarak deney öncesinde öne sürüldüğü gibi, mukavvadaki nem oranının bozulmayı kısmi olarak hızlandırdığı görülmüştür. Bu kısmi etki suyun mukavva üzerindeki yeriyle birlikte, miktarına da bağlıdır. Ayrıca unutulmaması gereken bir nokta da yüzey aşınımına yol açan elektriksel boşalmaların, genelde Laplace alan çizgilerine paralel olduğudur. Bunun sonucunda topraklanmış elektroda seri bağlanmış bir direnç üzerinden tüm küçük ölçekli yüzeysel boşalmaları takip edebilmek mümkün olmamaktadır.

Bu gözlemler ışığı altında, 30 yıl boyunca serviste kalan transformatörlerin mukavvalarında görülen bozuklukları, laboratuvar koşullarında hızlandırılmış olarak elde etmenin savunulabilirliği halen tartışmaya açıktır.

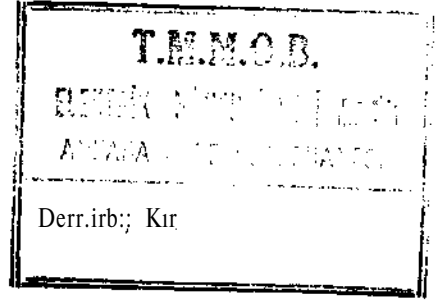
REFERANSLAR

[1] H.P.Moser, "Transformerboard", Special print of Scientia Electrica, 1979.

[2] H.P.Moser, V.Dahinden, "Transformerboard 2", Graphics Dok Man, 1987.

[3] H.Gui, Z.De-Yi, " Surface discharge characteristics of impregnated pressboard under AC voltages". 7th Int. Symp. On High Voltage Engineering. 1991.

Araştırma için gerekli finansal desteği sağlayan İngiltere'deki The National Grid Company plc'ye teşekkür ederiz.



SİLİKAJEL+POLİİMİD KOMPOZİT SİSTEMİNİN ELEKTRET ÖZELLİĞİ

Hafız ALİYEV*, Muhammet KÖKSAL*, Yunus ÖNAL* ve Turgay SEÇKİN**
İnönü Üniversitesi, *Mühendislik., **Fen Edebiyat Fakültesi,
44100 MALATYA

ABSTRACT

In this work, the physical mechanism of the process of creation of electret states in silikajel+polyimid composite systems exposed to strong electric field and effects different type of discharging (corona, townsend) in different media (SF₆, air) is investigated. In the tested samples, the dependence of the process of creation of electric charge on the physical super molecular structure, the Chemical composition and the sample preparation technology is searched. On the base of experimental results, the maximum charge density is computed to be $\sim 10^{-6}$ - 10^7 C/cm² for 1:4 w/w sample prepared under 100 Atm and with critical temperature $T_g=100^\circ\text{C}$.

1.GİRİŞ

Farklı fizikokimyasal özelliklere sahip olmaları nedeniyle gerek polimer ve gerekse de polimer esaslı kompozitler çağdaş elektroteknik ve elektronik endüstrisinin güncel problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanım alanını daha da genişletmek için elektrofiziksel özelliklerinin, farklı bileşimlerin ve farklı koşulların oluşturduğu değişik yapılarda ve bu özelliklerin değişimlerinin belirlenmesi güncel bir problem oluşturur. Kullanım amacına uygun olarak elektrofiziksel özelliklerin değiştirilmesi bu malzemelere genellikle a, p, y ve x-ışınları [1-2], kuvvetli elektrik alanları ve farklı ortamlarda (SF₆, N₂, CO, Ar, He, hava) farklı gaz boşalmaları (közeren, koron, kısmi, mesel) [3-5] etkileri ile sağlanmaktadır.

2.YÖNTEMLER VE DENEY SONUÇLARI

Araştırmada baz olarak poliimid polimer dielektriği ele alınmıştır. Bunun nedeni bu tip

polimerin geniş yasak enerji bölgesine sahip bir yarıiletken özelliği göstermesi ve poliimid polimer dielektriğinin elektrofiziksel özelliklerinin daha iyi bilinmesidir [3-6]. İncelenen kompozit numuneler hazırlanırken küçük gözenekli önce silikajel yaklaşık 62 μm ' ye kadar öğütülmüş daha sonra toz şekilli poliimid ile 1:1' den 1:5' e (w/w) kadar farklı oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen karışımlar titreşimli ortamda homojenleştirilerek ısı donanımlı 120 μm kalınlığa kadar 3 cm çapında disk verebilecek presleme ünitesine yerleştirilmiştir. Numuneler presleme ortamında 5-150 Atmosfer basınç altında 180°C a kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 3-5 dakika tutulmuştur. Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Numunelerin her iki yüzüne simetrik olarak vakum ortamında 3-4 μm kalınlığında Alüminyum elektrotlar kaplanmıştır.

Yukarıdaki şekilde elde edilen numunelerde, hem kuvvetli elektrik alanlarında hem de SF₆ ve hava ortamında farklı elektrik (koron ve közeren) gaz boşalmaları etkisi ile yüklü durum oluşturulmuştur. Elektrik gaz boşalmaları (koron ve közeren) etkisi ile yüklü durum oluşturulacak numunelerin önce vakum ortamında yalnız bir yüzüne 3-4 μm kalınlığında alüminyum elektrot kaplanır ve numune [3-5]'e uygun olarak elektrod kaplanmayan yüzden elektrik boşalmaları etkisine maruz bırakılır. Daha sonra numunenin ikinci yüzüne de 3-4 μm kalınlığında alüminyum elektrot kaplanır. Aynı zamanda elektrik yük durumu incelenecek numunelerin hazırlanmasında kullanılan dış basıncın 5-150 Atm aralığında değişirli durumunda bu değişimin silikajel+poliimid kompozit sisteminin elektrik yük durumuna nasıl etki ettiği de göz önüne alınarak şu sonuçlara varılmıştır: $n_1 = 2.96 \cdot 10^{10}$ C/cm² (P₁=5Atm.), $a_2 = 5.09 \cdot 10^{11}$ C/cm² (P₂=50Atm.),

$a_3=6.78 \cdot 10^{11} \text{ C/cm}^2$ ($P_3=100 \text{ Atm.}$), $a_4=2.26 \cdot 10^{10} \text{ C/cm}^2$ ($P_4=150 \text{ Atm.}$).

Numunelerin yüklenme miktarı ve özellikleri termostimülasyon boşalmayla incelenmiştir. Bunun için numunenin yerleştirildiği ortamda (elektrodlar arasında) sıcaklığın zamana göre lineer değişimini $0.25 \text{ }^\circ\text{C/dk}$ hassasiyetle izleyen elektronik bir termal sistem [5] düzenlenmiştir. Farklı yöntemle yüklü durum oluşturulmuş numune bu düzenekte $2 \text{ }^\circ\text{C/dk}$ hızla oda sıcaklığından $180 \text{ }^\circ\text{C}$ ye kadar ısıtılarak, depolarizasyon akım-zaman grafiği elde edilmiştir. Bu spektrumlardan ise nümerik entegral yoluyla numunede dış etkilerden dolayı (kuvvetli elektrik alanı, koron, közeren, dış basınç) meydana gelen yük yoğunlukları bulunmuştur. Numunelerde unipolar koron boşalması etkisi ile bulunan deney sonuçları: $a_1=1.6 \cdot 10^{16} \text{ C/cm}^2$ ($P_1=5 \text{ Atm.}$), $a_2=1.4 \cdot 10^{16} \text{ C/cm}^2$ ($P_2=50 \text{ Atm.}$), $a_3=1.8 \cdot 10^{16} \text{ C/cm}^2$ ($P_3=100 \text{ Atm.}$), $a_4=1.6 \cdot 10^{16} \text{ C/cm}^2$ ($P_4=150 \text{ Atm.}$). Közeren boşalması etkisine maruz kalmış numunelerin de yük yoğunlukları yaklaşık olarak bu değerlere eşit bulunmuştur.

Ayrıca silikajel+poliimid kompozit sisteminde yüklü durumun incelenmesinde yüklenme mekanizmalarından (drift ve difüzyon) hangisinin dominant olduğu incelenmiştir. Bunun için bir yüzü alüminyum elektrotla kaplanmış numunede termoelektret durumunun oluşturulmasında polarize edici elektrotla (bu halde elektrod numunenin elektrot kaplanmamış yüzüne etki ediyor) numune arasına kalınlığı $40 \text{ } \mu\text{m}$ olan tabaka biçimli politetrafloretillen polimer dielektriği yerleştirilir. Bunun da amacı polarizasyon elektrodundan numuneye enjeksiyon eden yükleri gidermektir. Böyle bir düzenekte yüklenmiş numunelerin termodepolarizasyon akım-zaman grafiklerinden bulunan yük yoğunluğu $4 \cdot 10^6 \text{ C/cm}^2$ dir.

Bilindiği gibi elektretlerin esas özelliklerini karakterize eden parametreler, bu malzemelerde oluşan yük yoğunluğu ve bu yük yoğunluğunun zamana göre kararlı kalma süresidir (gevşeme süresi). Bundan dolayı SF_6 ortamında unipolar koron boşalması etkisine maruz kalmış silikajel+poliimid kompozit

sistemi için bu parametrelerin belirlenmiş olması önemlidir. Sistemin yük yoğunluğu kompanzasyon potansiyel yöntemiyle bulunur. Yani başlangıçta kompanzasyon potansiyeli V_k belirlenir ve

$$a = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d} V_k \quad (D)$$

bağıntısından yararlanarak n - yük yoğunluğu bulunur. Burada ϵ_r - elektret numunenin dielektrik sabiti, ϵ_0 - $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ elektrik sabiti ve d - numunenin kalınlığıdır. Daha sonra

$$a = a_0 \exp(-t / T) \quad (2)$$

bağıntısından elektretin T yük gevşeme zamanı bulunur. Burada n_0 yeni hazırlanmış numunenin başlangıçtaki yük yoğunluğudur. (2) ifadesi

$$\ln a = \ln a_0 - \frac{t}{T} \quad (3)$$

şeklinde yazılırsa, $\ln a$ 'nın zamana göre değişiminin farklı T değerleri için eğimleri $-t / T$ olan doğrular boyunca azaldığı görülür. Dolayısı ile T gevşeme zamanı bu doğruların eğiminin tersinin negatif işaretli değerine eşittir. Bu şekilde bulunan sonuçlar, ilk rakam poliimid silikojel karışım oranını (w/w), ikincisi yük yoğunluğu (a , C/cm^2), üçüncüsü de gevşeme zamanı (T , s) olmak üzere şöyledir:

95:5	$6.1 \cdot 10^6$	$1.4 \cdot 10^b$
90:10	$7.7 \cdot 10^6$	$1.5 \cdot 10^b$
80:20	$9.5 \cdot 10^{16}$	$1.63 \cdot 10^h$
70:30	$7.92 \cdot 10^6$	$1.63 \cdot 10^i$
65:35	$6.5 \cdot 10^h$	$1.5 \cdot 10^b$

3. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

Elektrik yük durumu incelenecek numunelerin hazırlanmasında kullanılan dış basıncın 5-150 Atm aralığında değişimi durumunda elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, 5 ve 150 Atm dış basınç

değerlerinde silikajel+polyimid kompozit sisteminde oluşan yük yoğunlukları yaklaşık aynıdır ve bu yük yoğunluğunun değeri dış basıncın aralık değerlerindeki minimum yük yoğunluğundan -10 defa büyüktür. Yorumlarımıza göre bunun nedeni silikajel+polyimid kompozit sistemin yapısındaki dış basıncın bu değerlerinde kusur ve düzensizliklerinin (amorfl bölgelerin) fazla olmasıdır.

Silikajel+polyimid kompozit sisteminde yüklü durumun incelenmesi sonucunda yüklenme esnasında difüzyon mekanizmasının dominant rol taşıdığı kanaatine varılmıştır. Bu durum numuneye yük enjeksiyonunu kısıtlayacak 40 um kalınlığında bir politetrafloretillen polimer dielektriği kullanıldığında silikajel+polyimid kompozit sisteminde biriken yük yoğunluğunun ($4 \cdot 10^6$ C/cm²), böyle bir kısıtlayıcı elektrodun kullanılmadığı duruma karşılık gelen yük yoğunluğundan ($12 \cdot 10^7$ C/cm²) ~3 defa az olması ile izah olunabilir. Sadece polyimid polimer dielektriği için bu oranın ~10 defa olduğu gözlenmiştir.

SF₆ ortamında unipolar koron boşalması etkisine maruz kalmış silikajel+polyimid kompozit sistemi için (közeren. gaz boşalmasında SF₆, SF₅ ve F⁻ iyon bombardımanına maruz kalmış numuneler için de yaklaşık aynı sonuçlar elde edilmiştir.) bulunan yük yoğunluğu miktarı ve yükün gevşeme zaman sabitinin değerlerine dayanarak, silikajel+polyimid karışımlarından en iyi aktif dielektrik malzeme (elektret)'nin 1:4 oranlı karışımdan elde edildiği, ve bu durumda elektret özelliğinin uzun zaman kararlı kaldığı anlaşılmaktadır.

4. SONUÇ

Kuvvetli elektrik alanları ($\sim 10^5$ V/cm²) ve SF₆ ortamında SF₆, SF₅ ve F⁻ iyonları bombardımanına maruz kalan farklı oranlarda 1:4'den 1:5 w/w ve farklı koşullarda (P=5-150 Atm; T_g=25-180° C) hazırlanan silikajel+polyimid kompozit sistemlerinin yeterince kararlı elektret özelliklerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sistemlerde elektret özelliğinin dominant rolünün difüzyon mekanizması olduğu saptanmıştır. Benzer incelemeler yeni hazırlanan kil-polimer sol-gel kompozit materyalleri [7, 8] içinde

yapılacak olup daha ileriki çalışmaların konusunu oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

1. ELEKTRETS, Edited by G. M. Sessler. With Contributions by M. G. Broadhurst. G. T. Davis. B. Gross. S. Mascarenhas. G. M. Sessler. J. Vam Tumahout and J. E. West, Berlin-Heidelberg-New York 1980.
2. S. G. Boev ve V. A. Paderin. "Proton ışımasına maruz kalmış dielektriklerin elektrik yüklü durumu" (Rusça), Izv. Vuzov Fizika, 1987, No 5, C 75-79.
3. H. Z. Aliyev ve Y. V. Gorin. "Farklı elektrik boşalmaları etkisi nedeniyle dielektriklerde oluşan yüzeysel değişiklikler." (Rusça), Vakum Tekniğiyle Kaplama Sempozyumu Kitabı, C 2, P 62, Riga, Litvanya-USR, 1987.
4. H. Z. Aliyev ve P. V. Leonov. "Hacim yüklerinin eksponansiyel optik udulma spektrumunun karakter enerjisine etkisi" (Rusça), Transactions on Electrophysics and Electrical Power Engineering. V.4. Academic Press of Bakü-Moskova, 1994.
5. H. Z. Aliyev, "iki tabakalı dielektrik modeli esnasında, düzensiz yapıllı polimer dielektriklerde elektrik yüklerinin relaksasyonu" (Rusça), AziMU'nun ilmi Yayınları Kitabı. P 250, 1994.
6. H.Z.Aliyev and P.V. Leonov, "Computation of random potential in arbitrary structured polymer dielectrics by considering in the excitation effect" (Rusça), Transactions on Electrophysics and Electrical Power Engineering, V.5, Academic Press of Bakü-Moskova, 1996.
7. T. Seçkin, Y. Önal, I. Aksoy and E. Yakına, "Synthesis and characterization of novel polyacrylate clay sol-gel materials". J. Materials Science 31, 3123, 1996.
8. T. Seçkin, Y. Önal, A. Gültek, E. Yakıncı and I. Aksoy. "Synthesis and characterization and thermal properties of bentonite-polyacrylate sol-gel materials", J. Mat. Chem, 1997 (Baskıda).