

TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

**Elektrik- Elektronik
Bilgisayar İV^enİsliği
8, Uİusalf&OgpŞi' •
6 -12 Eylül 1999**

Gaziantep



TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
Gaziantep Şubesi

Gaziantep Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

25. YIL

TÜBİTAK

Yayımlayanlar:

Gaziantep Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü
27310/GAZİANTEP

Elektrik Mühendisleri Odası
Gaziantep Şubesi

TÜBİTAK

ISBN 975 - 7375 - 20 - 9 (TK) - 22 - 5 (2C)

Yayın Hakkı © 1999, Gaziantep Üniversitesi, EMO, TÜBİTAK

Her hakkı mahfuzdur. Bu yayının hiç bir kısmı yayımcılardan Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Mühendisleri Odası Gaziantep Şubesi ve TÜBİTAK'ın yazılı izni alınmadan çoğaltılamaz ve hiç bir biçimde bir erişim sisteminde saklanamaz.

1. Basım : Eylül 1999
Uğur Ofset tarafından basılmıştır.
Telefax : (0 342) 220 34 02
GAZİANTEP

ÖNSÖZ

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü ve TÜBİTAK'ın işbirliği ile düzenlenen Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresini bu yıl, ilk defa Güneydoğu Anadolu Bölgesinde; Gaziantep'te yapmaktan gurur ve mutluluk duyuyoruz. Kongre; 6-10 Eylül 1999 tarihleri arasında Gaziantep Büyükşehir Belediyesinin Belediye Sarayı'nda tarafımıza tahsis ettiği salonlarda 4 eş zamanlı oturum halinde gerçekleştirilecektir.

Kongreye gösterilen yoğun ilginin sonucu çok sayıda bildiri gönderilmesine karşın teknik programda yeterli sayıda zaman aralığı bulunmaması nedeniyle, hakemlerden gelen değerlendirmelerin ışığında, programa toplam 212 bildiri alınabilmiştir. Her ne kadar ön duyurumuzda kongrede sunumları kabul edilmiş ancak katılım ücreti ödenmemiş bildirilerin Kongre Kitabı'nda yer almayacağını belirtmiş idiysek de Yürütme Kurulumuz bilimsel hedeflere öncelik tanıyarak, kongrede tartışılmayacak olsalar bile, kabul edilen tüm bildirilerin Kongre Kitabı'nda yer almasını uygun bulmuştur. Kabul edilen bu 212 bildiri 2 cilt halinde sizlere sunulmaktadır. Kongrede tartışılacak, ilginizi çekeceğine inandığımız, bu bildirileri doyurucu nitelikte bulacağınıza eminiz.

Kongre sırasında geniş bir katılımcı kitlesinin ilgisini çekeceğini umduğumuz iki konuda panel düzenlenmiş ve kongre içersinde çağrılı bildirilere de yer verilmiştir. Ayrıca kongre salonlarının hemen yakınında, 2000m² kapalı alanda düzenlenen ve sektördeki firmaların katıldığı "Elektrobil'99" Fuarının da kongremize ayrı bir renk katacağı inancımı taşıyoruz.

Kongremizin sponsor kuruluşlarına, Elektrobil'99 Fuarı'na katılarak kongremizi destekleyen özel ve kamu kuruluşlarının yetkililerine, panelistlere, kongreye çağrılı bildiri ile katılan değerli bilim adamlarımıza destek ve katkılarından dolayı teşekkür etmeyi borç biliyoruz

Kongreler, yapılan bilimsel çalışmaların ve üretilen teknolojik yeniliklerin daha geniş bilimsel kitlelerin hizmetine sunulduğu, tartışıldığı ve karşılıklı bilgi alışverişi yapıldığı ortamlardır. Bu yönüyle anılarınızda özel bir yer almasını dilediğimiz 8. Ulusal Kongre'nin, siz katılımcılar için başarılı ve doyurucu olmasını; ayrıca ülkemizin bilimsel ve teknolojik ilerlemesine yön vererek ve ivme kazandırarak amacına ulaşmasını diliyor, Yürütme Kurulumuz adına hepinize saygılarımızı sunuyorum.

Tuncay Ege
Yürütme Kumlu Başkanı

Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği

8.Ulusal Kongresi

(6-12 Eylül 1999)

Kongre Yürütme Kurulu

Tuncay EGE
Muhammet KOKSAL
M. Sadettin ÖZYAZICI
Hamit SERBEST
Eyüp AKPINAR
Cemil ARIKAN
ArifNACAROĞLU
Gülay TOHUMOĞLU
Savaş UÇKUN
M. Hacim KAMOY
Serdar BOZKURT
H. Ali YİĞİT
M. Sıtkı ÇİĞDEM
Erol KARABAY
Doğan EYİKOÇAK
Mustafa KURT
Alaadin COŞKUN

Gaziantep Üniversitesi EE Müh. Bö.
İnönü Üniversitesi EE Müh. Böl.
Gaziantep Üniversitesi EE Müh. Böl.
Çukurova Üniversitesi EE Müh. Böl.
Dokuz Eylül Üniversitesi EE Müh. Böl.
TÜBİTAK
Gaziantep Üniversitesi EE Müh. Böl.
Gaziantep Üniversitesi EE Müh. Böl.
Gaziantep Üniversitesi EE Müh. Böl.
ASELSAN A.Ş. Genel Müdürü
SİMKO A.Ş.
E.M.O. Yönetim Kurulu Başkanı
E.M.O. Yönetim Kurulu Yazman Üyesi
E.M.O. Gaziantep Şb. Yön. Kur. Bşk.
E.M.O. Gaziantep Şb. Yön. Kurulu Bşk. Yrd.
E.M.O. Gaziantep Şb. Yön. Kurulu Yazman Üyesi
E.M.O. Gaziantep Şb. Yön. Kurulu Üyesi

Konular

- * Bilgisayar Ağları ve Donanımı
- * Devreler ve Sistemler
- * Elektrik Makinaları
- * Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga tekniği
- * Elektronik
- * Enerji Üretim, İletim ve Dağıtım
- * Güç Eletronliği
- * Haberleşme Tekniği
- * Mekatronik ve Robotbilim

- * Optoelektronik
- * Otomatik Kontrol
- * Örüntü Tanıma, Sinyal İşleme, Görüntü Kodlama
- * Tıp Elektroniği
- * Tapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık
- * Yüksek Gelirim Tekniği
- * Ölçme Tekniği
- * Mühendislik Eğitimi

YAŞLANDIRILMIŞ POLYESTER FİMLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Güneş YILMAZ
Ar-Ge Bölümü
Türk PirellFKablo
16941 Mudanya/Bursa
gunes.yilmaz(17)siinko.com.tr

Özcan KALENDERLİ
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik - Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
80626 Maslak/İstanbul
ozcan(ir;)clk.ilu.cdu.tr

ABSTRACT

Electrical properties of polyester films aged under cold and hot environment conditions between -40°C and +120°C have been examined. The examined dielectric parameters are dielectric constant and dissipation factor in the frequency range of 50 Hz to 1 MHz and ac electric breakdown strength at 50 Hz.

Experimental results have been shown that the AC breakdown strength is inversely proportional to the film thickness and temperature; the frequency has no significant effect on the relative permittivity of polyester under thermal stress, especially at higher temperatures; and dissipation factor of polyester shows nonlinear frequency dependence in high temperatures.

1. GİRİŞ

Üretim ve işletme sırasında ortaya çıkan elektriksel, mekanik, ısı ve kimyasal etkiler, elektriksel yalıtımın yaşlanmasına ve arızalanmasına yol açar. Yalıtkan maddelerin başlangıçtaki elektriksel özellikleri yaşlandıkça değişir. Uzun yıllardan beri, malzeme özelliklerine etkileyen farklı etkenlerin etkilerini açıklamak için araştırmalar yapılmaktadır [1-6].

Elektriksel yalıtkanlarda yaşlanma ile ortaya çıkacak değişiklikleri değerlendirmek için hızlandırılmış yaşlanma deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde uygulanan iki temel yöntem vardır: tekil ve çoğul zorlanma. Son yıllarda, pek çok etken altında yaşlandırma konusu oldukça ilgi çekmektedir. Polimerlerin çoğul zorlanmalı yaşlanması ile ilgili pek çok yayınlara karşılaşılmaktadır. Uygulamaların çoğunda elektriksel veya ısı zorlanmalardan kaçınılmaz olarak karşılaşıldığından, genellikle bu iki zorlanma türü ile ayrı ayrı veya birlikte zorlanma koşulları çokça araştırılmaktadır. Değişik deneyler yapılmış ve tekil ve çoğul elektriksel ve ısı zorlanma koşullarında ömür kestirimi için modeller önerilmiştir. Bu deneylerin çoğu, normal çalışma koşullarını aşan zorlanmalarla hızlandırılmış yaşlandırma sürecinde yapılmaktadır. Gerçek çalışma zorlanmalarındaki uzun süreli deneyler zaman sınırlamaları nedeniyle fizibil değildir. Bu nedenle,

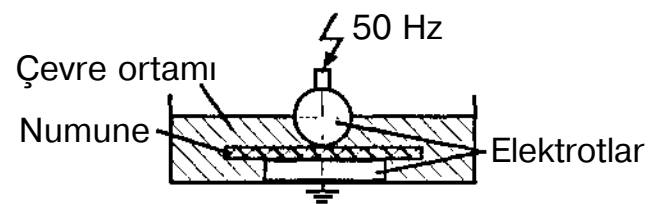
yaşlanma deneyleri genellikle hızlandırma süreci içinde yapılmakta ve sonuçlar normal koşullara irca edilmektedir. Yaşlanma sürecini hızlandırmak için birkaç yol vardır. En tanınmış normal koşullardan daha yüksek gerilim, sıcaklık ve radyasyon zorlanmaları ile yalıtımın yaşlandırılmasıdır [7-10].

Bu deneysel çalışmada, yaşlandırılmış polyester filmlerin delinme dayanımı, bağıl dielektrik katsayısı ve dielektrik kayıp faktörü ölçmelerinin sonuçları sunulmuştur.

2. DENEY BİLGİLERİ

Deneylerde, yalıtkan malzeme olarak polyester kullanılmıştır. Polyester malzemeden, kalınlıkları 0,012, 0,023, 0,036, 0,050, 0,100 ve 0,200 mm ve kenar uzunlukları 100 mm olan kare şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Numune kalınlıkları, 0,001 mm duyarlılıkla kalınlık ölçen bir düzenle ölçülmüştür.

Delinme dayanımı ölçmelerinde küre-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Küre-düzlem elektrot sisteminde, 20 mm çapında bir küre elektrot ile 75 mm çapında, 15 mm yüksekliğinde ve kenarları 3 mm eğrilik yarıçapında yuvarlatılmış, disk şeklinde bir düzlem elektrot kullanılmıştır. Sözü edilen elektrotlar pirinç malzemeden yapılmış ve deneylerde çeksensli olarak düzenlenmişlerdir. Numuneler elektrotlar arasına, bu sistemde bir deney kabı içine yerleştirilmiştir.



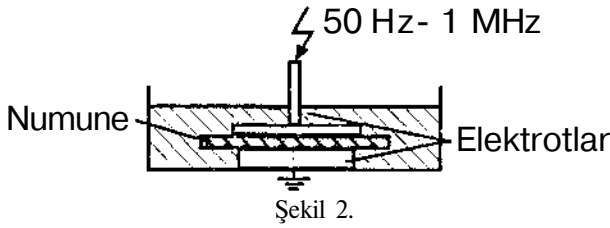
Şekil 1. Küre-düzlem elektrot sistemi.

Yalıtkan filmlerin endüstriyel (50 Hz) frekanslı kısa süreli delinme dayanımı ölçmelerinde 50 kV'luk bir deney

transformatöründen yararlanılmıştır. Deney gerilimi, üst elektroda uygulanmış, alttaki elektrot topraklanmıştır. Endüstriyel frekanslı delinme gerilimi ölçmelerinde gerilim sıfırdan başlayarak delinme olana kadar 500 V/s hızla sürekli yükseltilerek uygulanmıştır. Gerilim değerleri, etkin değer cinsinden ölçülmüştür. Deney, her film kalınlığı için 10 kez tekrarlanmış ve delinme gerilimi 10 okumanın ortalamasından belirlenmiştir. Okuma değerlerindeki dağılım, ortalama değer yaklaşık $\pm 5\%$ 'i içinde kalmıştır. Ölçülen delinme gerilimi, tabaka (film) kalınlığına bölünerek yalıtkan filinin delinme dayanımını belirlenmiştir.

Soğuk ve sıcak koşullarda polyester filmlerin yaşlandırılması için, sıcaklığı ayarlanabilir bir deney kabı kullanılmıştır. Deneyler -40°C ile 120°C arasındaki sıcaklıklarda yapılmıştır.

50 Hz ile 1 MHz frekans aralığında sıcaklığın işlevi olarak, bağıl dielektrik katsayısı ve dielektrik kayıp faktörü ölçmelerinde, 5 Hz-13 MHz frekans aralığına sahip bir empedans analizörü ile değişken frekanslı kaynak olarak yararlanılmıştır [11, 12]. Bu ölçmelerde 100 mm çapında düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Ölçme hatalarının azaltılması amacıyla püskürtme ve kurutma yöntemiyle oluşturulmuş ince tabaka gümüş elektrotlar oluşturulmuştur. Ayrıca kaçak alanların etkisini azaltmak amacıyla bir koruma halkası kullanılmıştır. Her ölçmeden önce numunenin iki yüzü birbirine kısa devre edilerek deneylere hazırlanmıştır.



Şekil 2.

Numuneler deney kabına yerleştirilmeden önce, ön koşullandırma amacıyla, sıcaklığı $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $50 \pm 5\%$ olan bir fırın içinde yaklaşık 24 saat süreyle tutulmuştur.

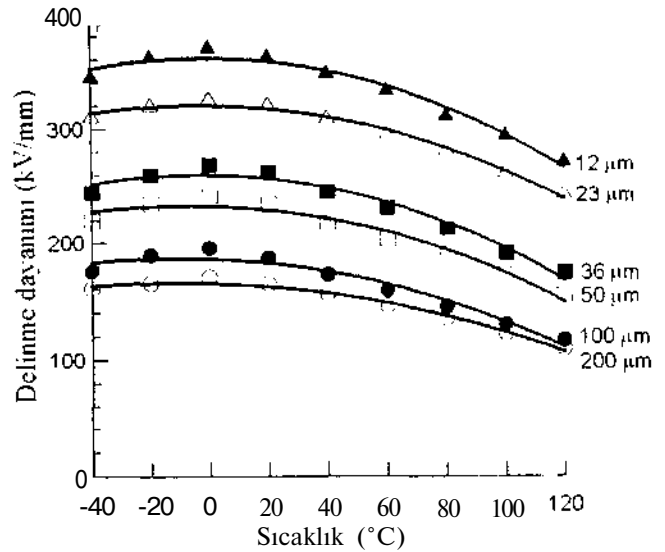
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1 Polyesterin Delinme Dayanımı

Sıcaklığa ve kalınlığa bağlı olarak delinme dayanımı ölçülmüştür. Numuneler deney kabına yerleştirilmiş ve sıcaklık istenen seviyeye ayarlanarak deneyler yapılmıştır.

Şekil 3'te altı farklı kalınlıktaki polyester filmin, film sıcaklığının işlevi olarak delinme dayanımlarının değişimini göstermektedir. Şekil 2'de, numune kalınlıkları 0.112 ile 0.200 mm arasında değişirken, -40 , -20 , 0 , 20 , 40 , 60 , 80 , 100 and 120°C sıcaklık seviyelerindeki ölçme sonuçları gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, delinme dayanımı, numune kalınlığı ve sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Ayrıca, delinme dayanımının, kalınlığından çok sıcaklığa duyarlı olduğu görülmektedir.

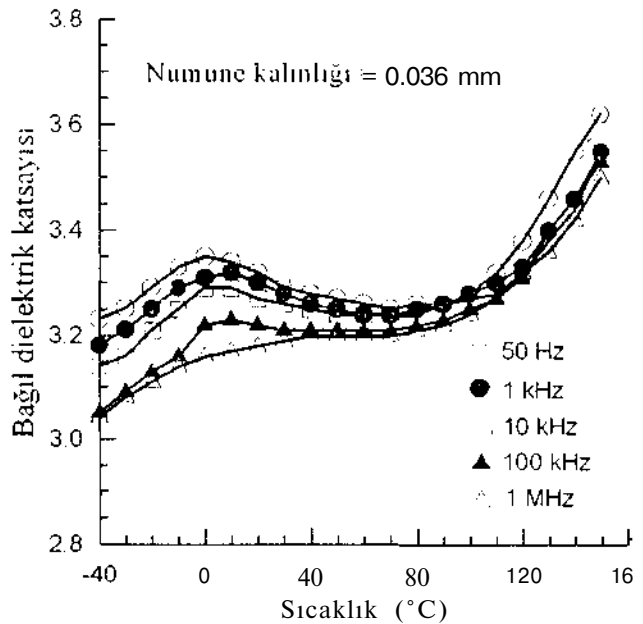
Özellikle ince filmlerde, delinme dayanımı film kalınlığından fazlaca etkilenmektedir. Delinme dayanımındaki azalma, 0.012 mm ile 0.200 mm arası kalınlıklarda, küre-düzlem elektrot sistemi için yaklaşık %52 civarında bulunmuştur.



Şekil 3. Altı farklı kalınlıktaki polyester filmin delinme dayanımlarının sıcaklıkla değişimi.

3.2 Polyesterin Bağıl Dielektrik Katsayısı ve Dielektrik Kayıp Faktörü

Şekil 3 ve 4'te, beş farklı frekansta (50 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz), -20°C 'den 80°C 'ye kadar sıcaklıklarda bir polyester filmin bağıl dielektrik katsayısının ve dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. Beş farklı frekansta, sıcaklıkla polyester filmin bağıl dielektrik katsayısının değişimi.

II. Bölge: Bu bölge tek polariteli iyonların hareket halinde olduğu bölgedir. Akım yoğunluğu

$$\vec{J}_{II} = - \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (2)$$

denklemlerle belirlenir; burada \vec{D} elektrik akısı yoğunluğudur (C/nr). Bu ifadedeki birinci terim (\vec{D} 'nin aynı ikinci terim de yer değiştirme (displacement) akımıdır.

III. Bölge: Bu bölge hacimsel yükün henüz oluşmadığı bölgedir. Bu bölgedeki akım yoğunluğu sadece yer değiştirme akımına bağlı olup

$$\vec{J}_{III} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3)$$

denklemlerle belirlenir.

Bu tebliğde elektrotlar arasındaki sadece tek kutuplu 2. bölge göz önüne alınacaktır. Geçici tek kutuplu korona alanında, hacim yük yoğunluğu

$$\text{div} \vec{D} = \rho, \quad (4)$$

$$\text{div} \vec{J} = \text{div} \left(\rho \vec{v} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = 0. \quad (5)$$

denklemlerle ifade edilir, \vec{v} ve \vec{D} 'nin elektrik alan şiddeti \vec{H} (V/m)'ye sırayla

$$\vec{v} = \mu \vec{E} \quad (6)$$

$$\vec{D} = K \epsilon_0 \vec{E} \quad (7)$$

denklemlerle bağlı olduğu bilinir: burada μ (nr^2/Vs) iyonların hareketliliği (mobility), $t_H = X.85 \times 10^{-12}$ (F/m) boşluğun elektrik geçirgenliği ve s : korona ortamının göreceli (relativ) geçirgenliğidir.

Küçük bir yük yoğunluğu varsayımıyla. (4). (5). (6) denklemlerinden

$$\text{div} \rho \vec{v} = \text{div} \rho \mu \vec{E} = \frac{d\rho}{dt} \quad (8)$$

yazılır. Diverjans yöntemi ile (4) ve (7)'yi de kullanarak

$$\mu \vec{E} \cdot \text{grad} \rho + \rho \frac{\partial \mu}{\partial t} = - \frac{d\rho}{dt} \quad (9a)$$

(9b)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\rho} \right) + \mu \vec{E} \cdot \text{grad} \frac{1}{\rho} = - \frac{\mu}{K \epsilon_0} \quad (9b)$$

bulunur. Bu denklemler genel tek kutuplu korona alanı denklemleri olarak bilinir.

Zamanla değişmeyen sabit tek kutuplu korona akımı için

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\rho} \right) = 0. \quad (10)$$

Bu ifadeyle (9b)

$$\vec{v} \cdot \text{grad} \left(\frac{1}{\rho} \right) = \frac{1}{K \epsilon_0} \quad (11)$$

şeklinde yazılır. (9b) denkleminin sol tarafı $1/\rho$ skalar fonksiyonunun zamana göre türevi olup

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\rho} \right) = \frac{1}{\rho^2} \frac{d\rho}{dt} + v \cdot \text{grad} \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu nedenle (9b) \vec{v} hızıyla hareket eden bir tabakada $1/\rho$ skalar büyüklüğünün zamana göre değişim oranını (hızını) ifade eder. Böylece bu denklem tek kutuplu korona ortamında hareket eden iyonların hareketi için

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\rho} \right) = \frac{\mu}{K \epsilon_0} \quad (13)$$

eşitliğini verir; yani yük yoğunluğunun tersinin zamana göre türevi sabittir. Bu denklemin çözümü

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\mu}{K \epsilon_0} t + c \quad (14)$$

olup burada c entegral sabitidir. Eğer yük tabakası korona başlatan elektrottan $\rho = \rho_0$ yük yoğunluğu ile $t = x$ anında ayrılmışsa, entegral sabiti hesaplandıktan sonra $t \geq x$ için $1/\rho$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} + \frac{\mu}{K \epsilon_0} (t - T) \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir.

İyonların gelişigüzel (random) hareket ettiği varsayılırsa, bahsolunan yük tabakasında iyonların yük yoğunluğu zamanla azalır; yani diğer bir deyişle $t_2 > t_1 \Rightarrow \rho(t_2, T) < \rho(t_1, T)$.

Pot korona üreten elektrottaki elektrik alan şiddetinin sabit olduğu varsayılarak bulunur. Bunun için elektrot sisteminden geçen $I(t)$ korona akımının zamana göre değişiminin bilinmesi gerekir.

Korona üreten elektrotun yarıçapı r_w olan silindirik bir tel olduğu özel durumunda, (1)'den

$$\text{Pot} = \frac{I(t)}{2\pi r_w \epsilon_0 E_0} \quad (16)$$

yazılır; burada $I(t)$ birim uzunluktaki akımı olup, E_0 lanı koronanın bulunduğu anda telin üzerindeki elektrik alan şiddetidir.

Denklem 15'e uygun olarak hacim yük yoğunluğunu bulmak için, $r(t)$ koordinatının zamana göre değişiminin bulunması gerekir; $r(t)$ ilgilenilen yük tabakasının uzay konumunu gösterir. Bu amaçla, telin merkezinden $r(t)$ kadar bir yarıçap uzaklığındaki silindirik yüzeyden geçen toplam elektrik akısının türevi alınır, a_0 ile bölümdükten sonra

$$\frac{d}{dt} \int_S \vec{E}_n \cdot d\vec{S} = \int_S \left(\frac{\partial \vec{E}_n}{\partial t} + v_n \text{div} \vec{E} \right) \cdot d\vec{S} \quad (17)$$

TEK POLARİTELİ CORONA ALANINDA YÜK YOĞUNLUĞUNUN VE ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİNİN DEĞİŞİMİ

H. Z. Aliyev, M. S. Mamiş ve M. Koksal

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
44069. Malatya

ABSTRACT

The expressions relating the electric field intensity between the electrodes of a cylindrical corona system and the location of the corona discharge wave front to the total corona current are derived.

1. GİRİŞ

Elektroteknikte kullanılan malzemelerin, özellikle i/olatör olarak kullanılan polimerlerin delinmesinde elektron-iyon bombardımanının rolü önemlidir [1,2].

Ayrıca uzay yükü mekanizmasının ve korona boşalmasının önemli olduğu elektrostatik tutucular günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle hava kirlenmesi ve parçacıkların nicelik ve nitelik yönünden ayrıştırılmaları için elektrostatik tutucuların ve ayrıştırıcıların önemi büyüktür [3-7]. Herne kadar her uygulama farklı geometri ve fiziksel özellik gösteriyorsa da, bütün bu uygulamalarda bir elektrot sisteminin varlığı ve bunlar arasında oluşan korona boşalması ortak özelliklerdendir.

Koronanın esasen önemli olduğu diğer bir alan da iletim hatlarının modellenmesi olup, EMT (Electromagnetic Transients) simülasyonları için uygun ve olayın fizikini tanımlayan genel ve güvenilir bir model henüz yoktur [8]. Esasında lineer olmayan histeresis döngülü bir davranış sergileyen korona olayını tanımlayan denklemleri, açık analitik formlarda yazılabilen iletim hatları denklemleri ile birleştirmek çok zordur. EMT Programında kullanılmak üzere önerilen korona modelleri toplu parametrelidir olup, hattın dağınık parametrelidir olma özelliğine uymak için belirli aralıklarla hat boyunca sınırlı sayıda noktaya yerleştirilir [9-13]. Hatayı en azda tutmak için simülasyon modellerinin itinalı seçilmesi gerekir. Ancak bu modeller korona oluşunun fizikini açıklamaktan uzak, analizi nispeten basit modellerden ibarettir.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı bir korona sisteminde laikli gaz boşalmaları altında oluşan yüklü parçacıkların (elektronlar, pozitif ve negatif iyonlar) taşıdığı, $*j > n$

bulunması güncel bir problemdir. Dolayısıyla elektrotlar arasındaki elektrik alan şiddetinin ve hacim yük yoğunluğunun bulunması gereklidir.

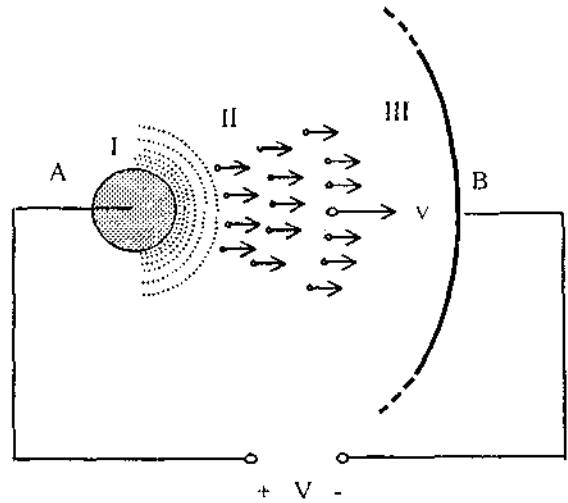
2. TEORİ

Tek polariteli kutuplu alanın Şekil 1'deki modelde olduğu varsayalım. Bu şekle göre elektrotlar arasındaki elektrik alanı üç karakteristik bölgeye ayırır.

I. Bölge: Bu iyonlaşma bölgesidir ve korona oluşturan elektrot üzerinde ince bir tabakadan olduğu varsayılır. Zamanla bağımsız (stationary) korona boşalması olduğu gibi elektrik alan şiddeti pratik olarak sabit alınabilir. Böylece tüm korona periyodu boyunca bu bölgedeki akım sadece iletkenlik (conductivity) akımıdır. Dolayısıyla akım yoğunluğu

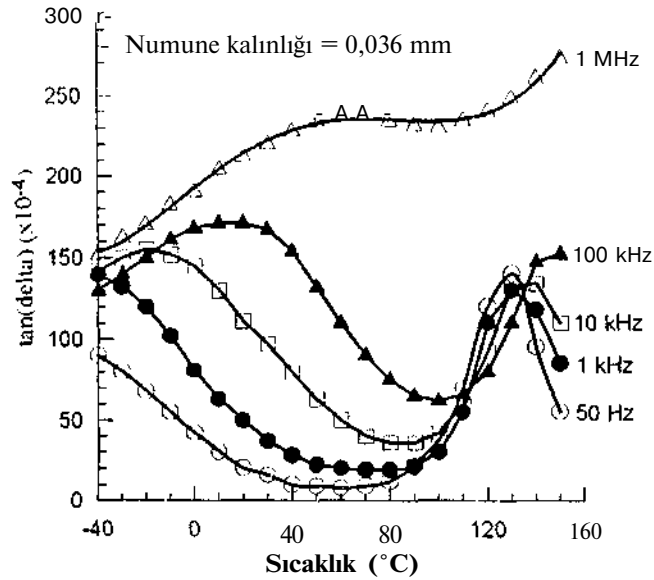
$$\vec{J} = p\vec{v} \quad (A/nr^2) \quad (D)$$

denklemlerle belirlenir: burada p hacim yük yoğunluğu (C/m^3) olup \vec{v} sürüklenme (drift) hızıdır (m/s).



Şekil 1. Silindirik korona sistemi

50 Hz-1 MHz frekans bölgesinde, polyesterin bağıl dielektrik katsayısının 90°C'ye kadar sıcaklığa bağılılığı çok azdır (Şekil 3). 90°C'nin üstünde bağıl dielektrik katsayısı sıcaklıkla hızla artar. Isıl zorlanma koşullarında, özellikle yüksek sıcaklıklarda, frekansın polyesterin bağıl dielektrik katsayısı üzerinde önemli bir etkisi yoktur.



Şekil 5 Beş farklı frekansta, polyesterin dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi.

50 Hz'de 120°C sıcaklıkta dielektrik kayıp faktörü bir tepe göstermektedir. Bu tepe 50 Hz - 100 kHz arasındaki frekanslarda daha yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır. 80°C'nin üstünde, dielektrik kayıp faktörü sıcaklıkla yükselme eğilimi göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda, dielektrik kayıp faktörünün frekansa bağılılığı doğrusal değildir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, -40°C ile +120°C sıcaklık aralığında yaşlandırılmış polyester filmlerin elektriksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- (1) Delinme dayanımı, beklendiği gibi, numune kalınlığı ve sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir.
- (2) Isıl zorlanma koşullarında, özellikle yüksek sıcaklıklarda, frekansın polyesterin bağıl dielektrik katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir.
- (3) Yüksek sıcaklıklarda polyesterin dielektrik kayıp faktörünün frekansa bağılılığı lineer değildir.

5. KAYNAKÇA

[1] Pfeiffer, W., "High-frequency voltage stress of insulation", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 26, No. 2, pp. 239-246. 1991.

[2] Mason, J. H., "Effects of frequency on electrical strength of polymers". *IEEE Trans. on Electrical Insulation*. Vol. 27, No. 6, pp. 1213-1216. 1992.

[3] Wu, Z. L., Govinda Raju, G. R., "Influence of temperature and electric field on the transport currents in fluoropolymer", *9th Int. Symp. on High-Voltage Engineering*; Subject 1. Paper 1007. Ciraz. 1995.

[4] Yılmaz, G., Kalenderli, Ö., "The Effect of thickness and area on the electrical strength of thin dielectric films". *Conference Record of the 1996 IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation*. Vol. 2. Montreal, pp. 478-481, 1996.

[5] Yılmaz, G., Kalenderli, Ö., "Dielectric behaviour and electrical strength of polymer films in Varying Thermal Condition for 50 Hz to 1 MHz Frequency Range". *EIC-EMCIV '97 Electric Insulation Conference '97*. Chicago, USA. pp. 269-271. 22-25 September 1997.

[6] Yılmaz, G., Kalenderli, Ö., "Dielectric properties of aged polyester films". *1997 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (The 1997 CEIDP)*, Minneapolis, USA. Vol. 2. pp. 444-446. 19-22 October 1997.

[7] Laghari, J. R., "Complex electrical thermal and radiation aging of dielectric films". *IEEE Trans. on Electrical Insulation*. Vol. 28, No. 5. pp. 777-788. 1993.

[8] Aganval, V. K., "Aging of nullisressed polymeric insulators: A bibliographic survey". *IEEE Trans. on Electrical Insulation*. Vol. 24. pp. 741-764. 1989

[9] Mares, G., Constantinescu, G., Dumilescu, O., "The accelerated ageing of a LDP under simultaneous action of heat and electrical field". *Conference Record of the 1996 IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation*. pp. 636-637. Montreal. 1996

[10] Khaicun, W., Laghari, J. R., "Determination of ageing-model constants under high frequency and high electric fields". *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 1. No. 6. pp. 1034-1038. 1994.

[11] TS 1224. Katı yalıtkanların ı/afı permilivilesi ve alternatif akım dielektrik kayıp katsayısının ölçme metotları. Aralık 1972.

[12] TS 3774. Elektriksel yalıtım malzemesinin şebeke-ses ve radyo frekanslarında geçirgenliğini ve kayıp açısı tanjantını ölçme metotları. Nisan 1982.

elde edilir. Burada $E_n(v_n)$. $\vec{E}(\vec{v})$ vektörünün yüzeye dik olan bileşenidir. Yükün eşpotansiyel yüzeylerde hareket ettiği varsayılırsa. \vec{E} daima yüzeye diktir; ve (17)

$$\frac{d}{dt} \int_S \vec{E} dS = \frac{1}{\epsilon_0} \int_S \left(\frac{\partial D}{\partial t} + \rho v \right) dS = \frac{1}{\epsilon_0} I(t) \quad (18)$$

şeklinde yazılır [14].

Yukarıdaki denklem Şekil 1'de verildiği; elektrot sistemi için çözülürse ve integral yüzeyi tel ile aynı merkezli r yarıçaplı silindirin yüzeyi alınırsa

$$\frac{d}{dt} 2\pi r(t) E(t) = \frac{1}{r(t)} I(t) \quad (19a)$$

vcva

$$27\pi r(t) E(t) = \int I(t) dt + C \quad (19b)$$

denklemleri bulunur. Bu denklemlerde I(t) toplam korona akımının anlık değeridir. Notasyon değişikliğiyle korona üreten elektrottan T anında ($I(T) - r_w$) başlayan yüzeyin konumu için r(t) yerine r(t,t) kullanarak. (19b)

$$27\pi r(t) E(t) = \int I(t) dt + 2\pi r_w \epsilon_0 E_0 \quad (20)$$

biçiminde yazılır. E(t,x) herhangi bir t>x anındaki elektrik alan şiddetidir. E(T,T) elektrot yüzeyindeki ilk değerdir. Diğer bir deyişle r(t, T), X anında elektrot yüzeyinden başlayan ve hareket eden yük tabakasının herhangi bir t anındaki konumu. E(t, x) da bu konumdaki (yük tabakası yüzeyindeki) elektrik alan şiddetidir. r(t, T) yarıçapındaki yüzey hacim yük hızı v ile hareket ettiğinden. Denklem (6) ve $v=dr/dfyi$ kullanarak r(t, x)E(t, i)

$$r(t,x)E(t,x) = \frac{1}{v} r(t,x) \frac{dr}{dt} \quad (21)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemi (20)'de kullanarak ve l'yc göre integral alarak. r(t, T) yarıçapı için

$$r^2(t, \tau) = \frac{\mu}{nv.v_n} \int_{\tau}^t \left[I(t) dt + q_0 \right] dt + C \quad (22)$$

ifadesi bulunmuş olur. Bu denklemde $q_n = 27\pi r_w \epsilon_0 E_0$ telin ilk yüküdür. (22)'de r(x,x)= r_w yazılırsa $C = r_w^2$ olur. Bu durumda

$$r^2(t, \tau) - r_w^2 = R_n(t, T) + R_r(t, T) \quad (23)$$

elde edilir; burada

$$R_n(t, \tau) = \frac{\mu q_0}{\pi \epsilon_0} (t - \tau) \quad (23a)$$

$$R_r(t, x) = \frac{\mu}{\pi \epsilon_0} \int_{\tau}^t \frac{I(t)}{r(t)} dt \quad (23b)$$

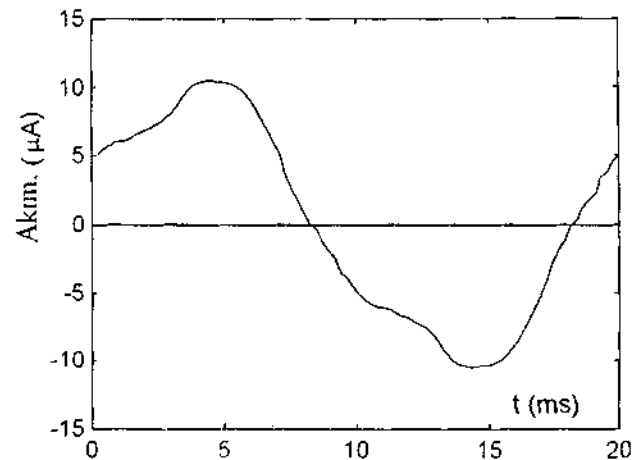
Denklem (23) t>x için yük tabakasının uzay koordinatının bulunmasını sağlar. I(t)'nin zamana göre değişimi bilinirse uzay yük dağılımını, elektrik alan şiddetini ve zamana göre değişimini (23) ve (20) denklemleri vasıtasıyla bulmak mümkün olur. Bu denklemler sadece korona boşalması için olmakla birlikte Tov.nscnd boşalması için de geçerlidir.

3. UYGULAMA

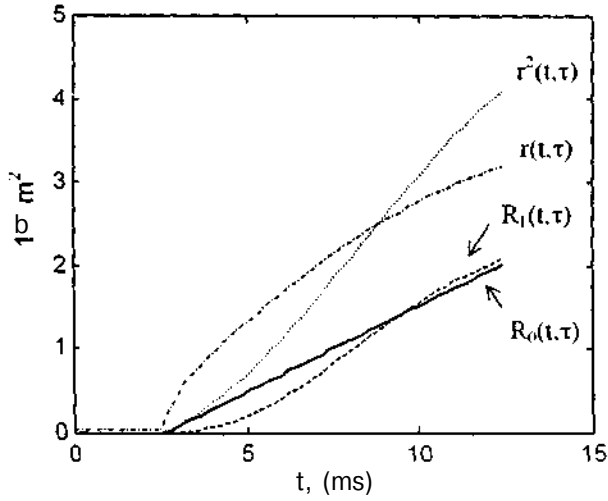
Bu sunu için Hazırlanan deney setinde fiziksel parametreler şu şekilde seçilmiştir. Elektrotların uzunluğu l=0. İm. iç-elektrotun yarıçapı $r_w = 0.35$ mm. dış-elektrotun yarıçapı $d=10$ cm. $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Pozitif ve negatif iyonların hareketliliği (mobility) $H_+ = 2.0 \cdot 10^{11}$ m/Vs. $n_- = 2.2 \cdot 10^{16}$ m/Vs [15.16]. Uygulanan AC gerilim $V_s = 3.5$ kV tepe gerilimine sahip olup 50 Hz frekansındadır.

Toplam korona akımı için deneysel ölçüm sonucu Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 4'te korona boşalması dalga ön cephesinin yerinin zamana göre değişimini veren grafik çizilmiştir. Bu şekilde R0(I.T). R1(t,t) ve r(t,T) sırayla (23a). (23b) ve 23'tcn hesaplanmıştır. Dalga ön cephesinin. r(t,x)'nin $x=t_{on}=2.7907$ nıs anında r_w 'den başlayarak iç elektrottan hızla uzaklaştığı ve hızının giderek azaldığı görülmektedir.

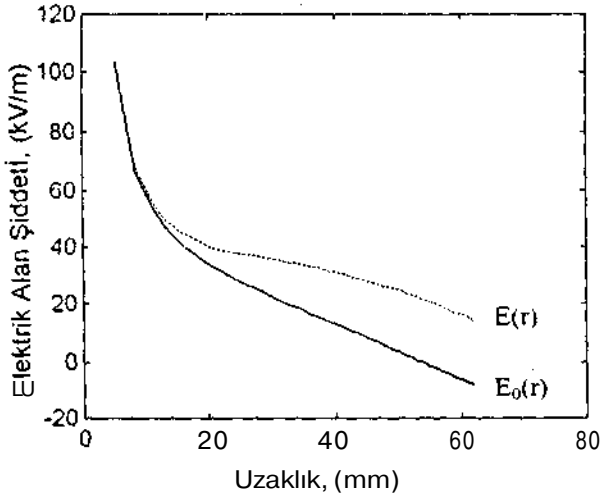
Korona olayının elektrotlar arasındaki elektrik alan şiddetine etkisi Şekil 4'te görülmektedir. Şekildeki E(r). denklem (20)'den hesaplanan ve r(t,x)'ya ulaşan dalga ön cephesindeki elektrik alan şiddetinin uzaklığa bağlı olarak değişimidir. E_s(r) ise. koronasız durumda aynı konumdaki elektrik alan şiddetini vermektedir. Herhangi bir konumda korona cephesindeki elektrik alan şiddeti, beklendiği gibi korona olayı olmadığı durumdaki elektrik alan şiddetinden daha büyüktür.



Şekil. 2. Silindirik korona sisteminde korona akımının zamana göre değişimi.



Şekil 3. Korona yük cephesi konumunun zamanla değişimi ($r(t,t)$ için düşey eksenin birimi 2 cm'ye çevrilmelidir).



Şekil 4. Elektrotlar arasında elektrik alan şiddetinin değişimi; $E(r)$: korona cephesindeki elektrik alan şiddeti, $E_0(r)$: korona boşalması olmadığı zaman aynı konumdaki alan şiddeti.

4. SONUÇ

Silindirik korona sisteminde elektrotlar arasındaki elektrik alan şiddeti ile toplam koron akımı arasındaki bağıntıyı ve koron boşalma dalga cephesinin yerini belirleyen denklemler türetilmiştir. Bu denklemler sayesinde uzay yük yoğunluğunu hesaplamak mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] UZ. Aliyev, Change of electrophysical properties of polymer dielectrics of which surfaces are bombarded with negatively charged ions (in Russian), *Ph.D. Dissertation*, Academy of Science USSR, Inst. of Physics, Moscow. d?S8).

- [2] CM. Juvarli, H.Z. Aliyev, Y.V. Qorin and P.V. Lconov, Electric discharging on the dielectric surface and the role of the negative ions (in Russian), *J. Electronnaya Obrabotka Materialo*, Inst. of Appl. Physics, Academy of Science MSSR. 6(1987), 39-41. '
- [3] P.A. Lavless, An advanced electrostatic preepitator model, *Conference Record IAS Annual Meeting (IEEE Industry Application Society)*, 2 IEEE, Piscataway, NJ USA. 94CH3452-0 (1994), 1519-1526.
- [4] H.Z. Aliyev. M. Koksai, I. Aksoy and M.E. Yakıncı. Charging and discharging of particles on the 10^{-6} -potential electrode under bipolar corona conditions. *Phys. D. Appl. Phys.* 3 (1998). 1-5.
- [5] S. Cristina. G. Dinçli and M. Feliziani. Numerical computation of corona space charge and V-I characteristics in DC electrostatic precipitators *IEEE Trans. on Industry App.*, 27 (1991), 147-153.
- [6] I.P. Vereschagin. V.A. Zhukov and A.V. Kalinin, Quantative Characteristics of back corona discharge intensity. *Journal of Eelectrostatics*. 23 (1989). 352-356.
- [7] B.A. Kvvetus. Partide precharging and fabric fabrication-experimental results of a corona precharger. *Journal of Eelectrostatics*, 23 (1989), 351-356.
- [8] H.M. Kudyan and C.H. Shih. A nonlinear circuit model for transmission lines in corona, *IEEE Trans.* PAS-100 (1981), 1420-1-130.
- [9] S. Carticero and J.R. Marti. Evaluation of corona and line models in electromagnetic transients simulations, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 6 (1991), 334-341.
- [10] M.G. Comber, B.W. Denpo and L.E. Zofanella, *Transmission Line Reference Book 345 kV and Above*, EPRI. Chapter4. (1982).
- [11] K.C. Lee, Nonlinear corona models in an electromagnetic transients program (EMTP), *IEEE Trans.* PAS-102 (1983). 2936-2942.
- [12] A. Scmlen. Corona modelling for calculation of transients on transmission lines, *IEEE Trans.*, **PWRD-1** (1986). 228-239.
- [13] P.S. Maruvada. D.H. Nguyen and H. Hamadani-Zadeh. Studies on modelling corona attenuation of dynamic overvoltages. *Paper 88 SM 579-5 IEEE-PES Summer Meeting*, (1988).
- [14] P.A. Ionkin, A.I. Daryevski, E.S. Kuharkin, V.G. Mironov and N.A. Melnikov. *Nonlinear Circuits and Electromagnetic Fiehl Theory* (in Russian) Mosanv. (1976).
- [15] D.V. Razevig and M.V. Sokolova, *Determination of Starting and Discharging Potential of Gas* (in Russian) Energia Press, Mosanv, (1077).
- [16] CM. Juvarly, Y.V. Gorin and R.N. Mehtizade, *Corona Discharge in Electronegative Gases* Academy Science Press. Baku, (1988).

KATI İZOLATÖR OLARAK KULLANILAN POLYESTERLERİN YÜZEY BOZULMASINI HIZLANDIRAN DOĞAL ETKENLER

Ahmet MEREV

MukdenUĞUR

Ayten KUNTMAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Üniversitesi
34850 İstanbul
E-Mail:
merem@istanbul.edu.tr
mukden@istanbul.edu.tr
akuntman@istanbul.edu.tr

ABSTRACT

in this research the natural effects involved in the degradation process of polyester outdoor insulators have been investigated. Initially a test rig conforming to JEC 587 inclined plane tracking test Standard has been build. Ali polyester samples have been prepared in laboratory condition and are tested under 4kV applied voltage and 0.6ml/min flow rate of the liquid conducting contaminant. Tests have been performed in 3 stages; which include without any external effect, UV radiation on the surface of the sample and tensile strength along the y-axis of the test sample.

After the testing stage, the condition of the samples and tracking patterns have been investigated and compared within each other. It is believed that analysing these results can provide useful information on the assessment of the degradation process observed in polyester outdoor insulators.

1.GİRİŞ

Her geçen gün elektrik enerjisine olan talebin artması, kayıpların azaltılması amacıyla enerji iletiminde daha yüksek gerilimlere çıkılmasını zorunlu kılmıştır. Bu zorunluluk da araştırmacıları daha yüksek gerilim seviyelerine dayanabilecek yeni izolatörlerin bulunmasına sevk etmiştir. Günümüzde yüzyılın başından beri kullanılmakta olan birçok doğal izolatör, yerini seramik ve hatta hem mekanik hem de elektriksel açıdan yüksek dayanıma sahip polimerik izolatörlere bırakmıştır. Ancak tüm olumlu özelliklerine karşın polimerik malzemelerde karşılaşılan başlıca sorun ağaç ve yüzeysel iz oluşumu gibi sadece karbon esaslı malzemelerde gözlemlenen delinme ve bozulma mekanizmalarının varlığıdır. Açık havada çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilecek bu sorunları en aza indirmek amacıyla, laboratuvar şartlarında, hızlandırılmış olarak yüksek gerilim izolatörü olarak kullanılan polimer yalıtkanların niteliğini ve dayanımını

ölçmek amacıyla oldukça başarılı sonuçlar veren bazı önemli standard test metodları geliştirilmiştir. Aralarında en yaygın olarak kullanılan testler, toz-sis testi (dust-fog), tuz-sis testi (salt-fog), karşılaştırmalı aşınım göstergesi (comparative tracking index), eğimli düzlem aşınım testi (inclined plane tracking test) olarak sayılabilir [1-4].

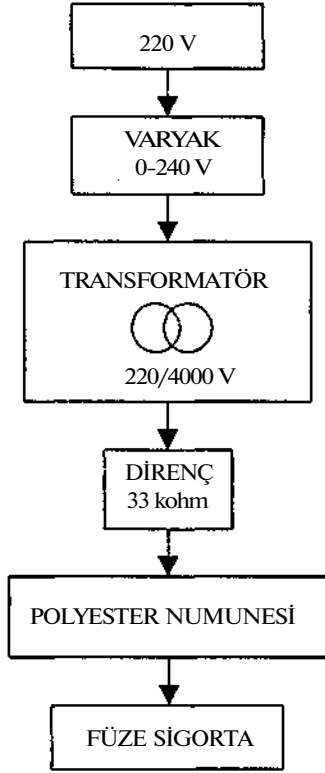
Bu çalışmada katı izolatör olarak kullanılan polyesterlerin yüzeysel bozulmalarını hızlandıran doğal etkenler deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla laboratuvar ortamında eğimli düzlem yüzeysel iz oluşumu ve aşınım testi düzeneği hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılacak polyester örnekleri laboratuvar şartlarında hazırlanarak 4 kV'luk gerilim altında 0.6 ml/dak. su akış hızında polyester izolatörün yalıtkanlık özelliğinin süresi belirlenmiştir. Deneysel polyester örnekleri herhangi bir dış etki olmaksızın, UV ile ısıtılarak ve ağırlık asılarak üç aşamada yapılmıştır. Her Uç denemesindeki bozulma ve yüzeysel şekilleri incelenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak pratik uygulamalara bir tür köprü oluşturmak amaçlanmaktadır.

2.DENEYSEL ÇALIŞMA

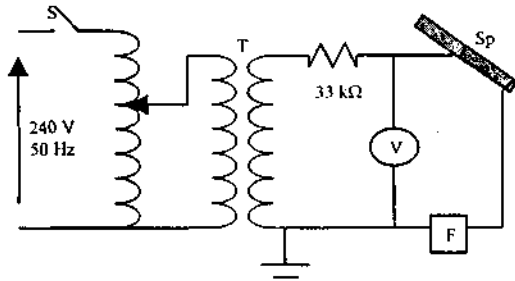
2.1 Deneysel Kullanılan Deneysel Setinin Hazırlanması

Eğimli düzlem yüzeysel iz oluşumu ve aşınım testi 1961 yılında tasarlanmış, 1964 yılında ASTM D2303 ve daha sonra da IEC 587 standartları ile belirlenmiştir. Testin başlıca amacı açık havada kullanılan yalıtkanların dayanımını belirlemektir.

Bu çalışmada eğimli düzlem yüzeysel iz oluşumu ve aşınım testlerini yapmak üzere uygun deneysel düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan test düzeneğinin blok diyagramı Şekil-1'de verilmiştir. Deneysel düzeneğinin şematik diyagramı ise Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Test düzeneğinin blok diyagramı



- R: Seri dirençler
- S: Anahtarlar
- Sp: Polyester Numunesi
- T: Transformatör (220/4000 V)
- V: Voltajölçer
- V: Yüksek Gerilim Trafosu
- F: 60 mA füze sigorta

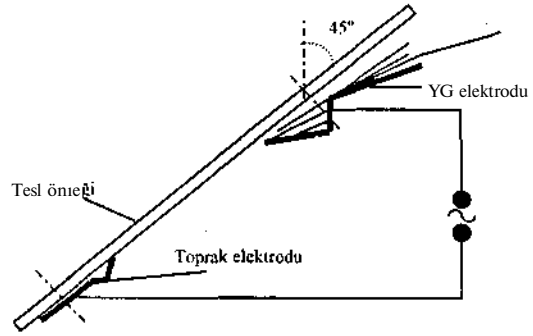
Şekil 2. Şematik diyagram

2.2 Örneklerin Hazırlanması

Polyesterler genelde üç fonksiyonlu organik asit ve 2 fonksiyonlu alkol kullanılarak elde edilen viskozitesi yüksek polimerlerdir. Çapraz bağlanmaya yardımcı olacak uygun bir çözücü ve başlatıcı ilavesi ile reçineleştirilir. Bu çalışmada piyasadan alınan polyester* %1 oranında başlatıcı (metil-etil-keton-peroksit) ilavesi ile elde edilen karışımı daha önceden standart örnek boyutunda hazırlanmış olunan kalıplara (silikon kalıplar) dökülerek elde edilmiştir. Polyester örneği 35°C'den başlayarak, 30 dakikada bir 5°C arttırarak 4 saat fırında pişirildikten sonra soğutularak test düzeneğinde kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

2.3 Deneyin Yapılışı

Elektrotlar ve polyester örneğinin elektrotlar üzerine yerleştirilişi Şekil-3'te verilmiştir.



Şekil 3. Elektrodlar ve Polyester Örneği

50x120x6.25 mm boyutlarında hazırlanan polyester örnekleri zemine 45°'lik bir açı yapacak şekilde deney düzeneğine yerleştirildi. Polyester örneklerin üst kısmında yüksek gerilim elektrodunun bağlı olduğu noktadan aşağıya toprak elektroda doğru belirli bir hızda %0.1 oranında ammonium chloride (NH_4Cl) içeren bir sıvı akıtılarak 4 kV gerilim uygulandı ve bu işlem toprak elektrodudan yukarıya yüksek gerilim elektroduna doğru minimum 25mm uzunluğunda yüzeysel iz oluşana değin devam etti. Akımını sınırlamak ve bu arada suyun sebep olduğu yüzeysel boşalmaları optimum bir seviyede tutmak amacıyla gerilim kademesi arttıkça devreye seri olarak 33 kohm'luk direnç bağlanmıştır.

Çalışmalarda her bir deney için dörder örnek çalışılmıştır. Deney sonucunda bozulan örnekler bir temizlik işlemine tabi tutularak üzerindeki karbon artıkları temizlenerek görüntüleri dijital kamera ile görüntülenmiş ve Şekil-4, 5, 6 da verilmiştir.

2.4 Test şartları

2.4.1 UV etkisi

Deneyle öncelikle açık havada güneş ışığı ve UV ışınımına maruz kalan izolatörlerdeki bozulma etkisini araştırmak amacıyla, laboratuvarında 350 nm dalga boyunda ışık veren civa buharlı bir UV kaynağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzeydeki elektriksel boşalımların sıcaklık karşısındaki değişimini ölçmek amacıyla UV kaynağı yalıtkan malzemenin karşısına 200mm mesafe ile yerleştirilmiştir.



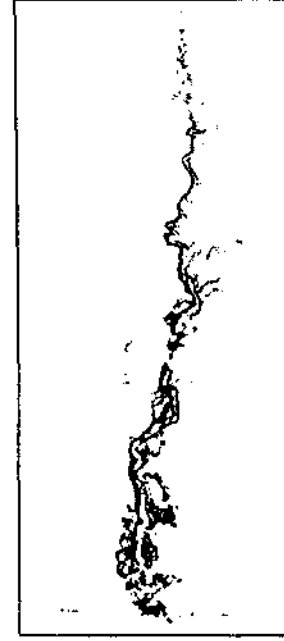
Şekil 4. Herhangi bir dış etki olmaksızın 4 KV gerilimde ve 0.6 ml/dük su akış hızında eğimli düzlem yüzeyel iz oluşumu testinin uygulandığı polyester örneği , aşınma süresi 25 dakika.

2.4.2 Mekanik etki

Kış aylarında iletim hatlarında meydana gelen ek buz ve rüzgar yükleri hatlarda arızalara ve hatta kopmalara neden olabilmektedir. İletkenlerin olduğu kadar, yüksek gerilim hattında kullanılan izolatörlerin de servis ömrünü önemli ölçüde belirleyen bu ek yüklerin etkilerini incelemek amacıyla laboratuvarında polyester yalıtkanla yatayla 45°'lik bir açı yapacak şekilde 3 kg'lık bir ağırlık bağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir ve bu düzenekle polyester malzemeye uygulanacak gerilme (1) bağıntısından yola çıkılarak, polyesterin bağlantı noktasında maksimum dayanımının (42 N/mm²) %15'i kadar bir gerilme uygulanması hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{6.F.v}{h.d^2} \quad (D)$$

Burada; 8 maximum gerilmeyi (N/mm²), F uygulanan kuvveti (N), x uygulanan kuvvetin sabitlenen noktaya olan uzaklığını (mm), b malzemenin genişliğini (mm), d malzemenin kalınlığını (mm) ifade etmektedir.

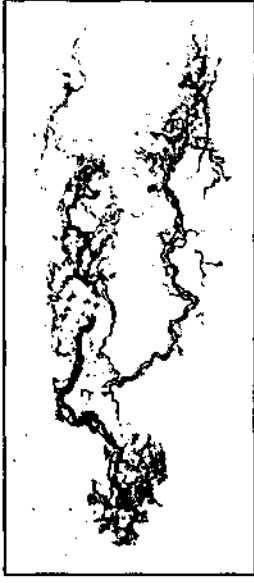


Şekil 5. Ağırlık asılarak 4 KV gerilimde ve 0.6 ml/dak su akış hızında eğimli düzlem yüzeyel iz oluşumu testinin uygulandığı polyester örneği , aşınma süresi 12 dakika.

3.SONUÇ

Hazırlanan polyester örnekleri öncelikle 0.6 ml/dak su hızında ve 4 kV gerilim altında yüzey aşınım testine tabi tutulmuştur. Çalışılan örneklerde yüzey aşınım hızı 25 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süre ağırlık ve UV etkisi gözönüne alındığında sırasıyla 12 ve 8.5 dakika olarak saptanmıştır.

Deneyle öncelikle herhangi bir ağırlığın ve UV kaynağın olmadığı standart laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir (Şekil-4). Bu durumda toprak elektrodun yakınındaki yüksek elektrik alanında oluşan seri boşalımlar sonucu ısı artışın çoğu zaman iletkin sıvının etkisiyle sınırlandırıldığı ve sonuç olarak da aşınma hızının yavaşladığı gözlemlenmiştir. Ancak UV kaynak kullanıldığında sıvının büyük bir miktarının artan sıcaklıkla birlikte hızlı bir şekilde buharlaşması sonucunda, özellikle toprak elektrod civarındaki ısı artışı sınırlayacak sıvının artık etkili olmadığı ve bozulma zamanının da kayda değer bir oranda azaldığı belirlenmiştir (Şekil-6).



Sekil 6. UV ile ısıtılarak 4 KV gerilimde ve 0.6 ml/dak su akış hızında eğimli düzlem yüzeysel iz oluşumu testinin uygulandığı polyeşter örneği , aşınma süresi 8.5 dakika.

Bu arada hızla buharlaşan sıvının polyeşter malzemenin üst kısmında yüksek gerilim elektrodu civarında oluşturduğu dağılmış halde bulunan bol miktarda su damlasının, kuru band oluşumunu arttırdığı gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak, özellikle iz oluşumu başladıktan sonra yerel sıcaklık artışları ile birlikte, karbonize izin belirli bir uzaklıktan sonra 2 veya daha çok ana ve çok miktarda yan dallara ayrıldığı belirlenmiştir (Şekil-5). Deneylerin son aşamasında polyeşter malzemeye bağlanan ağırlığın etkileri incelenmiştir. Bu deneyler esnasında esas amaç yalıtkanın mekanik dayanımını belirlemekten ziyade, gerilmenin yüzeyde meydana

getireceği mikroskobik . çatlakların elektriksel boşalmaların enerjisini ve şiddetini ne ölçüde etkilediğini belirlemektir. Özellikle mikroskobik hava boşluklarının oluştuğu ve bu boşlukların malzemenin yalıtkan özelliğini olumsuz yönde etkilediği düşünülürse, uygulanan ek yük sonucunda bu boşlukların artacağı ve buna ek olarak yalıtkanın yüzeyinde meydana gelen çatlamlar sonucunda yüzeysel iz oluşumu ve dolayısıyla bozulmanın hızlanacağı düşünülebilir. Yapılan deneyler sonucunda, deneylerin de teorik sonuçlarla bağdaştığı ve malzemenin beklenildiği gibi normalden daha kısa bir süre içinde yüzeysel iz oluşumuyla bozulduğu gözlenmiştir.

4.KAYNAKÇA

- [1] Billing.MJ., Wilkins,R., Warren, L. *A Comparison of the IEC, Dust-Fog and Inclined Plane Test, IEEE Trans. On Electrical Insulation*, vol.E13,no.2, pp. 989-996,1968.
- [2] Marklove,M.C, Wheeler,J.C.G., *Salt Fog Testing of Composite Insulators*,\EE 7th International Conference on Dielectric Materials Measurements and Applications, Conference Publication, no.430,pp.299-302, 1996.
- [3] ASTM (D3638), *Standard Test Methods for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials*, pp. 113-125, 1979.
- [4] Chang,R.J., Mazeika,L., *Electrical Activities Associated with Inclined-Plane Tracking and Erosion Test.*, IEEE Annual Report, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, San Fransisco, 0-7083-3580-5,pp. 381-385, 1996.
- [5] ASTM (2303), *Standard Test Methods for Liquid Contaminant, Inclined Plane Tracking and Erosion of insulating Materials*,pp.552-556, 1978.

* Boy tek A.Ş. 'ye desteğinden dolayı teşekkür ederiz.

•Özcan KALENDERLİ ²Hasbi İSMAİLOĞLU "Aydoğan ÖZDEMİR
ozcan@elk.itu.edu.tr hasbi@kou.edu.tr ozdemir@elk.itu.edu.tr

"Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik - Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
80626 Maslak/İstanbul

²Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi
41040 İzmit/Kocaeli

ABSTRACT

The paper presents design criteria and construction study of an impulse voltage generator of 240 kV. The generator is built to produce Standard lightning impulse voltages of 1.2/50/µs and consists three stages.

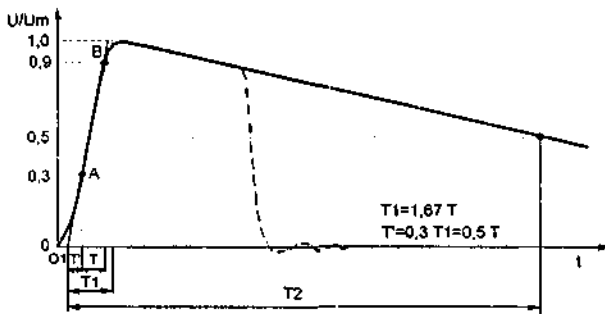
1. GİRİŞ

Yıldırımın yarattığı aşırı gerilimlerin laboratuvar koşullarında üretimi, elektriksel malzeme ve aygıtların, yıldırım aşırı gerilimlerine karşı dayanımını ve davranışını incelemek ve saptamak için gerekli olmaktadır. Yıldırım darbe gerilimlerinin üretimi için yıllar boyu pek çok farklı yapıda darbe gerilimi üretici tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve kullanılmaktadır.

Bu çalışmada da orta gerilim elektromekanik aygıtlarının darbe gerilimi deneylerini yapmaya uygun olarak tasarlanan ve yapılan bir darbe gerilimi üreticinin tasarım aşamaları, yapımı ve özellikleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Sunulan bu çalışma, öncelikle yıldırım darbe geriliminin ve darbe gerilimi üreticilerinin bilinmesini gerektirdiği için önce bu konular açıklanacaktır.

2. YILDIRIM DARBE GERİLİMİ

Yıldırım darbe gerilimi, Şekil 1'deki gibi tek yönlü, periyodik olmayan bir gerilimdir.



Şekil 1. Tam yıldırım darbe gerilimi.
—Kesik yıldırım darbe gerilimi.

Bu şekliyle tam yıldırım darbe gerilimi, tepe değeri (U_m), kutbıyeti (polaritesi), cephe süresi (T_1) ve sırt yarı değer süresi (T_2) ile; bir atlama veya delinme sonucu oluşan kesik darbe gerilimleri ise tam yıldırım darbesini tanımlayan büyüklüklere ek olarak kesilme süreleri ile tanımlanırlar. Yıldırımın oluşum biçimine göre, darbe gerilimi pozitif (artı) veya negatif (eksi) kutbıyetli olur.

Yıldırım darbe gerilimini tanımlayan karakteristik sürelerden biri olan T_1 cephe süresi, darbe dalgasının cephesinde tepe değerin %30'u ile %90'ına ulaşılan $T_{0,30}$ ve $T_{0,90}$ anları arasındaki

$$T = T_{0,90} - T_{0,30} \quad (0)$$

T süresinin 1,67 katı olan süre olarak tanımlanır:

$$T_1 = 1,67 T \quad (2)$$

T_2 sırt yarı değer süresi, O_1 anma darbe başlangıç noktasına göre tanımlanır. Anma darbe başlangıç noktası, darbe dalgasının cephesinde tepe değerin %30'una ulaştığı andan $0,3T_1$ kadar önceki noktadır ($T_{0,3}$). Doğrusal zaman eksenli dalga şekillerinde, Şekil 1'deki A ve B noktalarından geçen doğrunun zaman eksenini kestiği noktadır. Buna göre sırt yarı değer süresi, anma başlangıç noktası ile gerilimin darbe dalgasının sırtında tepe değerin yarısına düştüğü $T_{0,50}$ arasındaki

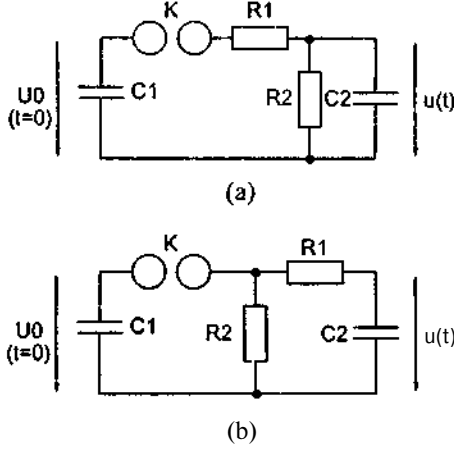
$$T_2 = T_{0,50} - T_{0,1} \quad (3)$$

süre olarak tanımlanır. Cephe süresi ve sırt yarı değer süresi için, gerçek yıldırım darbe sürelerini esas alarak standardlaştırılmış birkaç değer bulunmaktadır. Bu değerler içinde cephe süresinin $1,2 \mu s \pm \% 30$, sırt yarı değer süresinin $50 \mu s \pm \% 20$ alındığı 1,2/50'lik Standard yıldırım darbe gerilimi en yaygın kullanılan yıldırım darbe gerilimi biçimidir [1-4].

3. DARBE GERİLİMİ ÜRETEÇLERİ

Yıldırım darbe gerilimi üreticileri (generatörleri), yüksek genim kondansatörlerinin doğru gerilimle doldurulup bir devre iterinden boşaltılması ilkesine dayanmaktadır. Şekil 2'de İKİ temel darbe gerilimi üretici eşdeğer devresi

gösterilmiştir. Kısaca bu devrelerin çalışması özetlenirse: önce C_1 kondansatörü U_0 gerilimi ile doldurulur. Uygulanan gerilim, kat küreleri arasında atlama gerilimi değerine ulaştığında küreler arasında atlama olur ve C_1 kondansatörü R_1 direnci üzerinden C_2 kondansatörüne boşalır. C_2 kondansatörü Şekil 2a'daki devrede R_2 direnci üzerinden, Şekil 2b'deki devrede R_1+R_2 dirençleri üzerinden boşalır. Bu iki evrede C_2 uçlarında darbe gerilimi oluşur. Elde edilen gerilimlerin genliğini arttırmak için bu devrelerin ardışık bağlandığı çok katlı darbe gerilimi üreteçlerinden yararlanılır [5-7].



Şekil 2. Temel darbe gerilimi üretici eşdeğer devreleri.

- U_0 : Doldurma gerilimi
- C_1 : Darbe kondansatörü
- C_2 : Yük kondansatörü
- R_1 : Cephe direnci
- R_2 : Sırt direnci
- K: Kat küreleri
- $u(t)$: Darbe gerilimi

4. DARBE GERİLİMİ ÜRETECİNİN TASARIMI

4.1. Üreteç Gerilim Düzeyinin Belirlenmesi

Darbe gerilimi üreticinin tasarımına başlamadan önce, üreteç ile denenmesi düşünülen nesnelere gerilim düzeylerini ve kapasite değerleri aralığını bilmek gerekir. Her aygıtın dayanmak zorunda olduğu gerilim düzeyleri standartlarda açıklanmıştır [8, 9]. Örneğin 36 kV'luk aygıtlar için standartlarda dayanması öngörülen yıldırım darbe gerilimleri değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yıldırım darbesi dayanma gerilimi değerleri.

İşletme gerilimi	Yıldırım darbesi dayanma gerilimi	
	Faz-toprak	Faz-faz arası
36 kV	170kV _{1.2/50}	195kV _{1.2/50}

Dolayısıyla böyle bir aygıtın darbe deneylerinin yapılabilmesi için kullanılacak darbe gerilimi üreticinin en az bu gerilimleri üretmesi gerekir.

Darbe gerilimi üreteçlerinin yüke (deney cismi kapasitesine) bağlı olarak verimleri %80 ile %95 arasında değiştiği de göz önüne alındığında, üreticinin deney gtnf/ımından daha yüksek gerilime göre tasarlanması gerektiği «fıKltr. Deney

cismi kapasitesi küçüldükçe üreteç verimi yükseldiğinden, %95 verime hatta biraz daha yüksek verimlere ulaşılabilmektedir. Bunun yanında darbe deneylerinde yalnızca nesnelere dayanımı değil, dayanma paylarının da (atlama, delinme değerlerinin de) belirlenmesi amacıyla gerilim yükseltilmektedir. Dolayısıyla darbe gerilimi üreticinin bu gerilimlere çıkabilecek özellikle olması gerekmektedir. Bu son durumda, 170 kV_{1.2/50} veya 195 kV_{1.2/50} darbe gerilimlerine dayanması istenen nesnelere %10-15'lere varan dayanma paylarına sahip olabilecekleri göz önüne alınırsa, bu üreticinin 200-230 kV arasında gerilim verebilecek düzeyde olması gerektiği anlamına gelir. Sonuç olarak, üreteç verimi de dikkate alındığında 240 kV'a göre tasarlanacak bir darbe gerilimi üreticinin, yukarıda sözü edilen isteklere yanıt verebilecek yeterlilikte olacağına karar verilmiştir.

Tasarımda, denenecek cisim kapasitelerinin, güç transformatörü gibi büyük kapasiteli deney cisimleri dışında, genellikle 100-1000 pF arasında değişebileceği göz önüne alınmıştır.

4.2. Devre Elemanlarının Tasarımı

4.2.1. Darbe Kondansatörü

Bir darbe gerilimi üreticinin en önemli elemanı, yüksek gerilim darbe kondansatörüdür. Bu kondansatörün gerilim düzeyi, üreticinin gerilim düzeyine eşit olmalıdır. Bunu sağlamak için genel olarak seri bağlantı ile istenen gerilime uygun kondansatör yapısı oluşturulur.

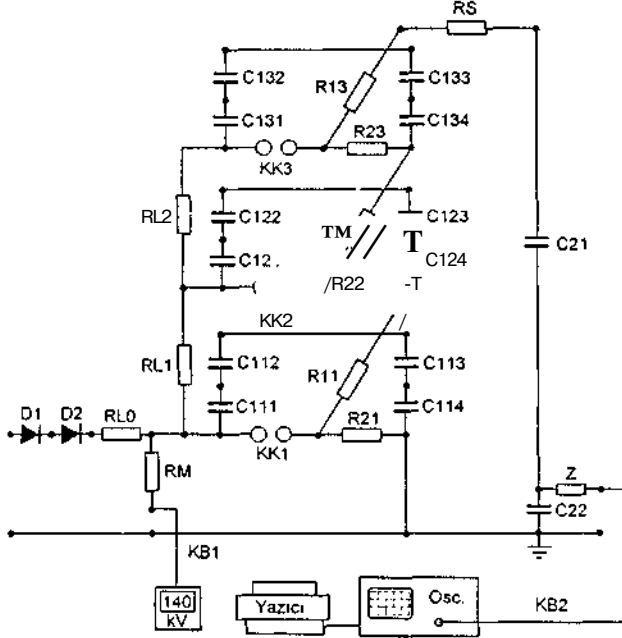
Üreticinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak malzemelerin yurt içinden sağlanması ve üreticinin öncelikle ülkemizde bulunabilen malzemelerden yapılmasına çalışılmıştır. Ülkemizde, özel bir imalat yapılmadıkça, var olan kondansatörlerin gerilim düzeyleri ve kapasiteleri ile ilgili seçenekler sınırlıdır. Üreteçte bir fazlı, 0,25 µF, 20 kV'luk kondansatörlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu seçim, darbe gerilimi üreticinin çok katlı üretilmesini gerekli kılmıştır.

Seçilen kondansatörlerle 240 kV'luk üreteç oluşturulmasına karar verildiği için, üreteçte 240 kV/20 kV = 12 kondansatöre gerek olduğu açıktır (darbe üreticisi çalışırken bütün darbe kondansatörleri seri bağlı durumdadır). Çok katlı darbe üreteçlerinde, kat başına düşen kondansatör sayısı farklı şekillerde seçilebilir. Bu seçeneklerden her katta seri bağlı 4 kondansatör kullanma ve böylelikle 3 katlı (yani her katı 80 kV'luk) darbe üreticisi yapma seçeneği tercih edilmiştir. Bu seçimde, besleme transformatörünün gerilim düzeyi, yapılacak eleman sayısı, yapım sonrasındaki sorunlar ve üreteç boyutları gibi etkenler göz önüne alınmıştır.

4.2. Dirençler

Katlardaki kondansatör yapısına karar verdikten sonra, sıra katlarda kullanılacak direnç değerlerini belirlemeye gelir. Bunun için de önce, darbe gerilimi üreticinin prensip bağlantı şekline karar vermek gerekmektedir. Tasarımda, veriminin yüksekliği nedeniyle eşdeğer devresi Şekil 1b'deki devreye uygun çok katlı bir darbe gerilimi üreticisi yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 3). Bu devrenin

bilgisayarda Pspice programı ile çözümlenmesinden direnç değerleri hesaplanmıştır. Buna göre her katta 60 ohm'luk cephe direnci ve 1100 ohm'luk sırt direnci yapılmasına karar verilmiştir. Ayrıca üreticinin çıkışına, üreteçle yük kondansatörü arasına bağlanmak üzere 450 ohm'luk ek direnç yapılması düşünülmüştür. Ek direncin değeri, darbe cephe stresini toleranslar içinde elde edebilecek şekilde seçilmiştir.



Şekil 3. 240 kV'luk darbe gerilimi üreticinin devresi.

- D1, D2: Diyot, 140 kV, 500 kohm
 RL0: Ön direnç, 1 Mohm, 10 W, 100 kV
 RL1, RL2: Doldurma direnci, 50 kohm, 3 W, 100 kV
 RM: Doğru gerilim ölçü direnci, 140 Mohm, 140 kV
 C11-C134: Kat darbe kondansatörü, 0,25 µF, 20 kV
 KK1, KK2, KK3: Kat küresi, çap: 125 mm
 R1, R12, R13: Kat cephe direnci, 60 ohm, 100 kV
 R21, R22, R23: Kat sırt direnci, 1100 ohm, 100 kV
 RB: Dış seri direnç, 450 ohm, 100 kV
 C21: Yük kondansatörü, 650 pF, 300 kV
 C22: Ölçme kondansatörü, 0,66 µF, 1000 V
 Z: Uyum empedansı, 75 ohm, 1 W
 KB1, KB2: Eşksenli ölçme kablosu, 75±2 ohm, 8 m
 Osc: İki kanallı dijital osiloskop, 60 MHz
 kV: Dijital yüksek doğru gerilim voltmetresi

Cephe ve sırt dirençleri ve dış ek direnç, yalıtkan bir kaide üzerine biriler şekilde sarılmış direnç telinden yapılmıştır.

Kat kondansatörleri, doldurma dirençleri üzerinden doldurulur. Üç katlı üreticinin katları arasında iki doldurma direncine gereksinim vardır. Bu amaçla, karbon dirençlerden iki adet 50 kohm, 100 kV'luk doldurma direnci yapılmıştır.

Devre içindeki tüm bağlantılar, bağlantı iletkenlerinden gelebilecek endüktansın en aza im'irmek için, bakır lamalarla yapılmıştır.

4.3. Yük kondansatörü, Gerilim Bölücü

Darbe üreticinin çözümünden, devrenin çıkışındaki yük kondansatörünün değeri 650 pF olarak hesaplanmıştır. BÜ kondansatör aynı zamanda üretilen darbe gerilimini ölçmek için kapasite gerilim bölücü olarak kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımda, gerilim bölücünün çevirme oranı, darbe geriliminin bir osiloskop yardımıyla ölçülmesi düşünülerek belirlenmiştir. Yük kondansatörü alçak gerilim kondansatörlerinden yararlanılarak yapılmıştır.

4.4. Kat Küreleri

Darbe gerilimi üreteçlerinde devreyi anahtarlama ve gerilimin tepe değerini ayarlamak amacıyla kat küreleri kullanılır. Gerçeklenen üç katlı darbe gerilimi üreticinde, bakırdan yapılmış, 125 mm çapında, yarım küre şeklinde kat küreleri kullanılmıştır. Küre çapı, çalışılan gerilim aralığında küreler arasında kararlı atlama elde edilebilecek şekilde seçilmiştir. Kat kürelerinden biri sabit tutulmuş, diğeri uzaktan motor kumandası ile aksel hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır.

4.5. Yüksek Doğru Gerilim Katı (Besleme Katı)

4.5.1. Kumanda Masası

Darbe gerilimi üreticini beslemek amacıyla yüksek doğru gerilim beslemesine gereksinim vardır. Yüksek doğru gerilim, yüksek alternatif gerilimin doğrultulmasıyla elde edilir. Tüm deney devresinin beslemesi, ölçmeler, kontrol ve kumanda, deney alan dışına yerleştirilen bir kumanda masasından yapılır. Kumanda masasında, yüksek gerilim transformatörünün giriş gerilimini ayarlamak için bir değişken transformatör (varyak), bu giriş gerilimini gösteren voltmetre, devreden çekilen akımı gösteren bir ampermetre, yüksek doğru gerilim voltmetresi, darbe gerilimi dalgasını almak ve darbe büyüklüklerini belirlemek için bir osiloskop, kat küreleri arası açıklığı ayarlamak için düğmeler ve devre açma-kapamaya yarayan anahtarlar bulunur. Çalışmada yukarıda sayılan özellikte bir kumanda masası tasarlanmış ve kullanılmıştır.

4.5.2. Yüksek Gerilim Transformatörü

Üreteci beslemek için 80 kV'luk doğru gerilime gereksinim vardır. Bu gerilimin sinüsoidal alternatif gerilimden doğrultularak elde edileceği düşünülürse, $80 \text{ kV}/\sqrt{2} = 56 \text{ kV}$ luk bir transformatör kullanılmalıdır. Buna karşılık, çalışmada, mevcut 0,22/100 kV, 5 kVA'lık tek fazlı bir transformatörden yararlanılmıştır.

4.5.3. Diyotlar

Darbe gerilimi üreticini beslemek için tek yollu, yanın dalga doğrultucu şeklinde bir yüksek doğru gerilim katı tasarlanmıştır. Doğrultucuda 140 kV, 500 kohm'luk iki diyot kullanılmıştır. Yüksek gerilim diyotları, seri bağlı alçak gerilim diyotlarından yapılmış, seri bağlı direnç yapısı ile diyotlardan geçen akım sınırlanmıştır. Diyotlar, yüzeysel boşalmaları önlemek ve soğutma amacıyla içi yağ dolu bir yalıtkan boru içine konmuştur.

4.5.4. Ön Direnç

Besleme devresi için 1 Mohm, 100 kV'luk bir öndirenç tasarlanmıştır. 8u öndirencin görevi, doğru gerilim katının

ve darbe gerilimi üreticinin çektiği akımı sınırlamak, darbe üreticinin doldurma direnci görevini yapmaktır. Öndirenc, 10 kohm'luk karbon dirençlerden yapılmıştır.

4.6. Yüksek Doğru Gerilimin Ölçülmesi

4.6.1. Yüksek Doğru Gerilim Ölçü Direnci

Yüksek doğru gerilim katının çıkışına, seri direnç-ampermetre ilkesi ile yüksek doğru gerilimi ölçmek için 140 M Ω 'nın, 140 kV'luk bir yüksek gerilim ölçü direnci tasarlanmıştır [5-7]. Yüksek doğru gerilim ölçme devresinin seri direnci karbon dirençlerden yapılmıştır.

4.6.2. Ampermetre (Voltmetre)

Yüksek doğru gerilimi ölçmek için bir dijital ampermetre kullanılmıştır. Kumanda masasına yerleştirilen bu ampermetre, ölçü direncine eşeksenli bir ölçü kablosu ile bağlanmış ve Ohm yasasına göre dirençten geçen akımla uygulanan gerilimin doğru orantılı olmasından yararlanarak ve doğrudan uygulanan yüksek doğru gerilimi gösterecek şekilde ölçeklenmiştir.

4.7. Yüksek Darbe Geriliminin Ölçülmesi

Deney devresinin çıkışındaki kapasitif gerilim bölücünden alınan darbe gerilimi, bir tepe değer voltmetresi ile ölçülebilir. Fakat deney devrelerinde, darbe gerilimini ölçmek, dalga şeklini görmek, dalga büyüklüklerini saptamak ve doğrulamak ve deney sonunda deney cisminde dayanma-atlama-delinme durumunu değerlendirmek için osiloskop kullanımı yaygındır. Çalışmada bu düşünce ile 60 MHz'lik bir dijital osiloskop kullanılmıştır. Ayrıca, osiloskop bir yazıcıya bağlanarak yazılı çıkış alma olanağı bulunmuştur.

4.8. Darbe Gerilimi Üreticinin Diğer Özellikleri

Bir darbe gerilimi üreticinin önemli parametrelerinden birisi de darbe enerjisidir. Darbe enerjisi,

$$W = \frac{1}{2} C_1 U_0^2 \quad (4)$$

bağıntısından hesaplanır. Buna göre yapılan üreticinin darbe enerjisi, maksimum doldurma gerilimi $U_0 = 240$ kV ve eşdeğer darbe kapasitesi $C_1 = 20,83$ nF olduğuna göre 600 J'dür.

Üreticinin verimi, çıkış gerilimi tepe değerinin doldurma gerilimine orandır ve

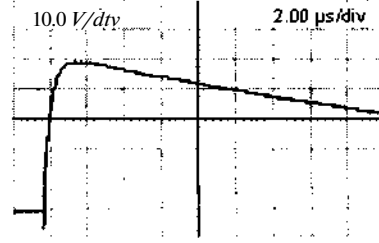
$$\eta = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Gerçeklenen üretilen $C_1 = 20,83$ nF ve $C_2 = 650$ pF = 0,65 nF olduğuna göre verim yaklaşık %97 dir.

Tasarım ve gerçekleştirme sonunda ortaya çıkan yıldırım darbe gerilimi üreticinin yüksekliği 2 m, kapladığı taban alanı 2 x 1 m² ve toplam ağırlığı 250 kg olmuştur. Bu tür üretilenler genelde sabit (hareketsiz) düzenler olarak üretilirlerse de, yapılan üretilen yer değiştirme kolaylığı bakımından tekerlekli (hareketli) bir taban üzerine yerleştirilmiştir.

5. DENEYLER

Darbe gerilimi üreticisi tasarımı ve yapımı tamamlandıktan sonra üretilen karakteristiklerinin deneysel olarak çıkarılması ve kontrolü amacıyla deneyler yapılmıştır. Bunun için üretilen çalışma gerilimi aralığında çalıştırılmış, boşalma ve yalıtım sorunu olup olmadığı gözlenmiş ve çıkış dalga şekilleri osiloskop üzerinden değerlendirilmiştir. Şekil 4'te gerçekleştirilen darbe gerilimi üreticisinden elde edilen bir dalga şekli örneği gösterilmiştir. Üretilenden, şekilden de görüldüğü gibi, parazitsiz, anma parametrelerine toleransları içinde uygun bir dalga şekli elde edilmiştir.



Şekil 4. Deneysel olarak elde edilen darbe gerilimi şekli.

6. SONUÇ

Darbe gerilimi üretilenleri, yüksek gerilim teknolojisi gerektirmesi, az sayıda üretilmeleri, özel amaçlar için kullanılmaları nedeniyle pahalı düzenlerdir. Yüksek darbe gerilimi üreticisi yapan ve satan özellikle yurt dışında birçok firma vardır. Ülkemizde bu üretimin profesyonel olarak yapılmaması nedeniyle elektromekanik sanayimiz bu gereksinimini genellikle yurt dışındaki bu firmalardan, büyük paralar ödeyerek karşılamaktadır. Bu çalışma bu tür üretilenlerin yurt içinde yapılabilme olanağı ve üretimin sorunlarını sunmaktadır.

7. KAYNAKÇA

- [1] TS 350, Darbe Gerilimi, *Türk Standardı*, Mart 1996.
- [2] IEC 60060-1: High Voltage Test Techniques. Part 1: General Definitions on Test Requirements, November 1989.
- [3] IEC 60060-2: High Voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems, November 1994.
- [4] TS 3008, Yüksek Gerilim Deney Yöntemleri-Bölüm 1: Genel Tanımlar ve Deney Koşulları, *Türk Standardı*, 1990.
- [5] Özkaya, M.. *Yüksek Gerilim Tekniği*, Cilt 2, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [6] Naidu, M. S., Kamaraju, V., *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1990.
- [7] Kind, D. (çeviren: Rumeli, A.), *Yüksek Gerilim Deney Tekniğine Giriş*, Vieweg-ODTÜ, Ankara, 1992.
- [8] IEC 71-1, Insulation Coordination, Part 1: Terms, definitions, principles and rules, 1993.
- [9] TS 855, Yalıtım Koordinasyonu, *Türk Standardı*, Nisan 1984.

YENİ BİR BİLGİSAYAR DESTEKLİ YÜKSEK DARBE GERİLİMİ ÖLÇME SİSTEMİ

Özcan KALENDERLİ
ozcan@elk.itu.edu.tr

Hayri YILDIRIM
yildirim@elk.itu.edu.tr

Aydoğan ÖZDEMİR
ozdemir@elk.itu.edu.tr

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik - Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
80626 Maslak/İstanbul

ABSTRACT

This study presents a digital impulse voltage measuring, recording and evaluating software which brings several facilities to conventional impulse voltage generation system. The software controls both the functionality of the system and the acquisition of the data as well as analyzing, diagnosing and reporting the results. it is a userfriendly tool, working under Microsoft Windows operating system. Ali the control operations of digital measuring system, data accquisition, waveform-data storage and diagnostic evaluations are performed in real time during the test cycle. However, these facilities can also be used as separate modules and off-line purposes.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim darbe deneylerinde dijital osiloskopların kullanımı, veri toplama ve veri analizi olanaklarının gelişmesini sağlamıştır. Birçok araştırma ve üretici kuruluş yüksek gerilim laboratuvarı, teknolojinin bu olanağından yararlanarak dijital ölçme sistemlerine sahip olmuş ve yine gelişen bilgisayar donanım ve yazılım olanaklarından yararlanarak bu sistemlerini geliştirme çalışmalarına girmiştir [1-5].

Pek çok çalışmada olduğu gibi, yüksek gerilim laboratuvar çalışmaları da dijital osiloskopların kullanımı, kişisel bilgisayarların da deneylerde kullanılmaya başlamasına yol açmıştır. Kişisel bilgisayarların sağladığı olanaklardan ve dijital ölçü aletlerinden yararlanma çalışmalara yeni bir dinamizm getirmiş ve yeni ufuklar açmıştır [6-8].

Yüksek gerilim laboratuvarı işletmenlerinin çoğunun isteği, güvenilir, dış etkilerden etkilenmeyen, bütün işlemlerin ve hesaplamaların hızla yapıldığı, kolay öğrenilebilen ve kolay kullanılabilen bir deney düzenine sahip olmaktır. Bu amaçla, DAS (Darbe Analiz Sistemi) adı verilen, yüksek darbe gerilimlerini ölçme (veri toplama), kaydetme, değerlendirme ve rapor hazırlamaya olanak veren bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve donanımı ile birlikte bir ölçme sistemi oluşturulmuştur. Bu çalışmada, Microsoft Windows altında çalışmaya uygun ve kullanıcı dostu bir arayüze sahip olarak geliştirilen bu yanken ve oluşturulan ölçme sistemi hakkında bilgi verilmiştir.

2. SİSTEMİN YAPISI ve DONANIM ÖZELLİKLERİ

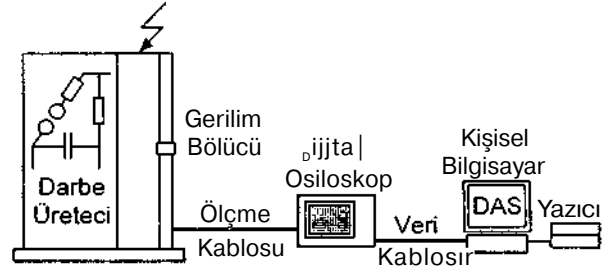
Veri toplama ve değerlendirme sisteminin donanım olarak bileşenleri,

- bir dijital osiloskop,
- bir kişisel bilgisayar,
- bu ikisi arasında iletişimi sağlayan arakartlar ve
- ara kablodur.

Ayrıca sistem, bilgisayar üzerinden çalışmak için geliştirilmiş

- bir yazılımı

içermektedir.



Şekil 1. Bilgisayar destekli darbe gerilimi ölçme, kayıt ve değerlendirme sistemi.

Bu çalışmada tanıtılan sistem geliştirilirken yıldırım darbe gerilimleri, 280 kV, 200 J'lük iki katlı darbe gerilimi üreticiden, dik cepheli darbe gerilimleri de 3600 kV, 180 kJ'lük, 18 katlı darbe gerilimi üreticiden elde edilmiştir. Darbe gerilimi üreticiden elde edilen darbe gerilimleri, üretic çıkışındaki bir gerilim bölücü üzerinden 100 MHz'lik, iki kanallı, bellekli, dijital bir osiloskoba alınmıştır. Osiloskop ve bilgisayar üzerindeki bağlantı arakartları ve bir veri iletişim kablosu ile deneyler sırasında osiloskoba alınan darbe dalgaları, bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 1).

Çalışmada, Intel-Pentium 160 işlemcili, 16 MB RAM, 1,2 GB sabit disk'e ve 4 MB'lık ekran belleğine sahip bir kişisel bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan bilgisayarda Microsoft Windows'95 işletim sistemi üzerinde çalışılmıştır.

3. YAZILIM BİLGİLERİ

Darbe Analiz Sistemi yazılımı, Microsoft Windows 3.1'de geliştirilmeye başlanmış, sonradan Microsoft Windows 95 ve üstü işletim sistemlerinde çalıştırılmaya uygun yapıya getirilmiştir. Program, ilk olarak, görsel programlama dillerinden biri olan Visual Basic 3.0 ile hazırlanmış, son hali Visual Basic 4.0 ile oluşturulmuştur.

Visual Basic programlama ortamı, formlar, araçlar ve menülerden oluşan ve yazılım kodlarının Basic dili ile yazıldığı bir görsel programlama dili olarak, arayüzlerin oluşturulmasında kolaylık sağlamaktadır. Arayüzlerdeki görüntünün düzenlemesi, renklerin, yazıların, boyutların, yerlerin seçimi ve pek çok işlemin yapılması için gerekli kodlarının yazılması, programlama bilgisi, görsel zevk ve deneyim yanında, programın yazılma amacına ilişkin bilgilerin bilinmesini gerektirmektedir.

Programın görsel özelliklerini arttırmak için, bir çok küçük resim (ikon) kullanılmış, ayrıca işletim sisteminin (dosya açma, kaydetme, farklı adla kaydetme, yazdırma... gibi) olanaklarından yararlanılmıştır.

Darbe Analiz Sistemi (DAS), temel olarak, bir ana form altında açılan iki alt formdan oluşmaktadır. Her alt formun altında da bu formla bağlantılı olarak açılan pek çok form vardır. DAS çalıştırıldığında, giriş arayüzünde (ana formda) üç seçenek sunulmaktadır (Şekil 2). Bu seçenekler:

- Dalga Alma ve Analiz
- Rapor
- Çıkış

"Çıkış" seçeneği, programdan çıkmak için kullanılmaktadır.



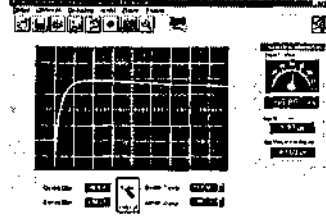
Şekil 2. DAS giriş arayüzü.

3.1. Dalga Alma ve Analiz

DAS'ın en ağırlıklı kısmıdır. Bu kısımda, bilgisayardan dijital osiloskobun kumandası, dijital osiloskoptaki dalga şekli verilerinin alınması, deney devresi özelliklerinin seçimi ve ayarı, dalga şeklinin çizdirilmesi, dalga parametrelerinin hesaplanıp gösterilmesi, verilerin ve dalga şeklinin bir dosyaya kaydedilmesi, silinmesi ve kaydedilmiş verilerin çağırılması (açılması), dalga şeklinin ve parametrelerinin yazdırılması, karşılaştırma gibi pek çok özellik bulunmaktadır (Şekil 3).

Bilgisayar ve osiloskoptaki arakartlar yardımı ile osiloskoptaki bir bilgi, bilgisayar üzerinden komut gönderilerek alınabildiği gibi, bilgisayardan osiloskobun zaman ve gerilim ölçeği ayarları yapılabilmekte, kullanıcıya

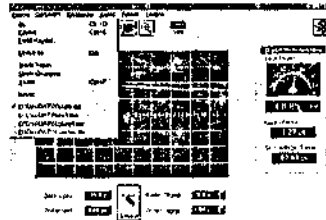
ayar kolaylığı sağlamak amacıyla otomatik gerilim ve zaman ölçeği ayarı seçim olanağı sunulmaktadır. Bu son seçenek ile osiloskobun ayar konusu zaman ve işlem olarak kolaylaştırılmıştır. Bunların dışında, bilgisayardan osiloskobun dalga almaya hazır (run) duruma geçmesi sağlanabilmekte ve osiloskoba bir dalga alındığında bunun bilgisayara aktarılması gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. DAS dalga alma ve analiz arayüzü

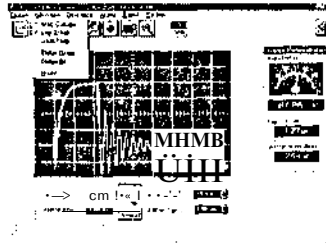
Dalga şekli verileri, bilgisayardan gönderilen komut ile bilgisayara alınmakta, gerekirse bir dosyaya ad verilerek saklanabilmektedir. Alınan veriler, bilgisayar ekranında dalga şeklinin çizdirilmesinde; cephe süresi, cephe dikliği, sırt süresi, tepe değeri, kutbiyeti (polaritesi) gibi dalga parametrelerinin hesaplanıp ekranda gösterilmesinde kullanılmaktadır.

Bu arayüzde birkaç menü bulunmaktadır. Bu menülerden biri olan "Dosya" menüsünde, bilgilerin bir dosyaya kaydedilmesi, kaydedilmiş verinin dosyadan açılması, dosya silme, yeni adla kaydetme, yazdırma, açılan son dosyaların gösterilmesi gibi seçenekler bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Dosya menüsü.

Programın "Görünüm" menüsü altında, dalga şekli için kullanıcının bilgileri izleme isteğine göre çizim rengi ayar, çizimi büyütme-küçültme ile üzerinde programın kolay kullanımı için oluşturulmuş düğmelerin bulunduğu araç çubuğunun, saat/tarih bilgilerinin, açıklama yazılarının görünüp görünmemesi kontrol edilebilmektedir (Şekil 5).



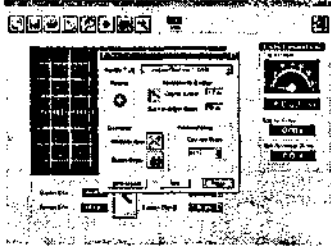
Şekil 5. Görünüm menüsü ve kesik darbe.

"Osiloskop" menüsünde, daha önce sözü edilen osiloskobu dalga almaya hazır duruma getirme, osiloskop ekranındaki dalga şeklini alma ve ölçme ayarlarını görülebilme seçenekleri bulunmaktadır (Şekil 6).



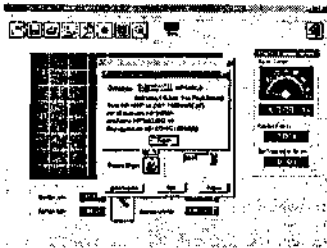
Şekil 6. Osiloskop menüsü ve dik cepheli darbe.

"Ölçme ayarları" seçeneği, ayrı bir formun açılmasını sağlamakta, bu form üzerinden yeni ölçme ayarları yapılabilmekte veya var olan ayarlar değiştirilebilmektedir. Burada gerilim türü, gerilimin kutbiyeti, gerilim bölücü çevirme oranı, otomatik osiloskop ayarı gibi ayarlar yapılabilmekte, buradan "Hava Koşulları" formuna geçilebilmektedir (Şekil 7). Bu "Ölçme Ayarları" formunda, dalga şeklinin karakteristik süreleri ve ölçme sistemi hakkında bilgiler de yer almaktadır (Şekil 8).



Şekil 7. DAS ölçme ayarları arayüzü.

Hava koşulları için ayrı bir form oluşturulmuştur. Oluşturulan bu formda hava basıncı, hava sıcaklığı, mutlak ve bağıl nem bilgileri girilebilmekte, bu bilgilerden otomatik olarak hesaplanan bağıl hava yoğunluğu ve nem düzeltme katsayıları görülebilmektedir.



Şekil 8. Sistem bilgileri formu.

Dalga parametrelerinin hesabında osiloskoptan alınan 1000 adet veriden ve gerilim-zaman ölçeği ve sıfırlan bilgilerinden yararlanılmaktadır. Cephe süresinin hesabı için, önce osiloskoptan gerilimin maksimum değeri (U_{max}) bilgisi alınmakta, dalganın cephesinde, genliğin $30U_{max}$ ve $90U_{max}$ değerine ulaştığı anlar sayısal aradegerleme işlemi ile hesaplanıp yıldırım darbe gerilimleri için

$$T_{90} = T_{30} \quad (D)$$

$$T_{cephe} = 1,67 * T \quad (2)$$

bağıntısından cephe süresi bulunmaktadır. Benzer işlem sırt yan değer süresinin hesabı içinde yapılmaktadır. Bunun için gerilimin sırtta $50U_{max}$ değerine düştüğü an hesaplanmakta, bu an ile anma başlangıç noktası olarak adlandırılan

$$T_0 = 0,3 * T_{cephe} \quad (3)$$

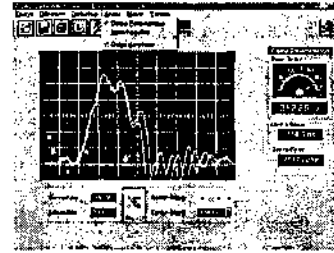
anı arasındaki farktan

$$T_{sirt} = T_{50} - T_0 \quad (4)$$

şeklinde sırt yarı değer süresi hesaplanmaktadır [9-11]. Dalganın tepe (U_m) değeri, U_{max} gerilimi ile gerilim bölücünün çevirme oranı çarpılarak bulunmaktadır. Geliştirilen programdan osiloskop ekranındaki her dalga şekli bilgisayara alınabilmektedir. Buna karşın, alınan bilgilerin değerlendirilmesi öncelikle $1,2/50 \mu s$ 'lik yıldırım darbe gerilimleri ve cephe eğimi $2500 \text{ kV}/\mu s$ civarında olan dik cepheli darbe gerilimleri için verilmektedir. Dik cepheli darbe gerilimlerinin öncelikli bilgileri, dalga tepe değeri ve cephe eğimi bilgileridir. Bunun için, bu tür dalgalarla yapılan deneylerde gerilimin tepe değeri ve tepe değere ulaşma anı hesaplanmakta, S cephe eğimi

$$S_{cephe} = \text{Tepe değeri} / \text{Tepe süresi} \quad (5)$$

bağıntısından hesaplanmakta ve gösterilmektedir.

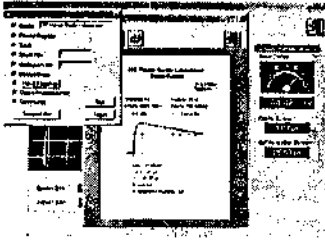


Şekil 9. Dalga karşılaştırma ve dik cepheli darbe.

Geliştirilen program ile kesik darbe gerilimlerinin de kaydı ve değerlendirmesi yapılmakta, dalganın tepe değeri ve kesilme anı hesaplanıp gösterilmektedir.

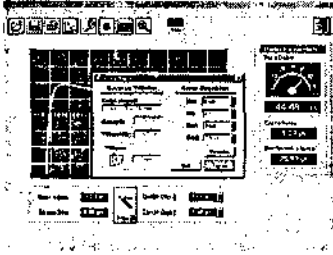
"Dalga Alma ve Analiz" bölümünde "Analiz" menüsü altındaki "Karşılaştırma" seçeneği ile, bu seçenek iptal edilene kadar, alınan veya açılan dalga şekilleri üst üste çizdirilmekte ve kullanıcıya dalga şekillerini karşılaştırma olanağı sunulmaktadır (Şekil 9). Bu işlemde üst üste çizdirilen dalgaların çizim renkleri seçilebilmekte, renk ayırımı ile karşılaştırma kolaylığı sağlanmaktadır.

Programa "Yazdırma" seçeneği katılmıştır. Bu seçenikle bilgisayar ekranına çizdirilen dalga şekli, dalga parametreleri, ölçme ayar bilgileri, tarih, rapor numarası, dosya adı gibi bilgiler seçerek yazıcıdan kağıda veya "Baskı Önizleme" seçeneği ile kağıda yazdırılmadan önce ekrana yazdırılabilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Baskı önizleme ve yazdırma arayüzleri.

Yazdırma işleminden önce, sayfa boşlukları ayarları, oluşturulan "Sayfa Yapısı" formu üzerinden ayarlanabilmektedir (Şekil 11).

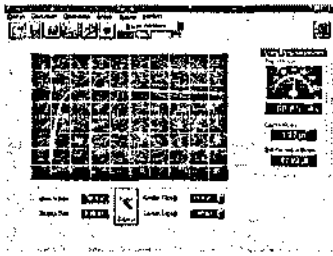


Şekil 11. Sayfa yapısı formu.

3.2. Rapor

Yüksek gerilim deneylerinde ölçmelerin ve deneyin yapılması kadar bunların rapor olarak hazırlanıp sunulması da önemli olmaktadır.

DAS'ta bilgisayar destekli çalışmanın üstünlüğü değerlendirilerek, hızlı, formatına uygun, yeterli bilgileri içeren rapor hazırlamak konusunda bir bölüm oluşturulmuştur. Bu bölümde "Dalga Alma ve Analiz" bölümündeki yazdırma seçeneği değerlendirilerek kısa rapor hazırlama olanağı sunulduğu gibi, deney bağlamı ve deney cismi şekli ve bilgileri gibi bilgileri yazma, görme olanağı sunulmuştur (Şekil 12).

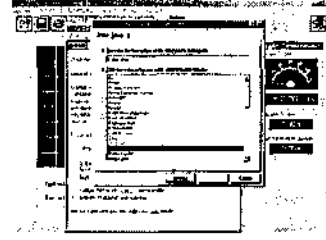


Şekil 12. Rapor asistanına geçiş.

Rapor bölümü bunların dışında temel olarak Microsoft Winword yazım editörüne geçiş yaparak hazırlanan rapor formları üzerinde raporun hazırlanması, saklanması ve yazdırılması işlemlerine dayanarak hazırlanmıştır. Yazım editöründen çıktığında yeniden DAS'a dönülmektedir.

Rapor bölümü bu şekilde düzenlenmiş olmakla birlikte Windows'ta kullanılan herhangi bir programa (örneğin Microsoft Excel'e) geçiş ya.ıp dönecek şekilde de düzenlenebilir.

Bunun dışında programda uygulanmamış olmakla birlikte, bu bölümün internetle bağı kurulabilir. Böylelikle internet üzerinden rapor, bilgi alış veriş yapılabilir.



Şekil 13. Yardım formu ve yardım dizini.

DAS için "Yardım" bilgileri hazırlanmıştır. DAS'ın her arayüzünden bu "Yardım" bilgilerine ulaşılabilir (Şekil 13).

4. SONUÇ

Bilgisayar destekli çalışmaların açtığı ufukla bu çalışmada da dijital osiloskop ve bilgisayardan oluşan bir donanım ve geliştirilen bir yazılımla darbe deneylerinde veri toplama ve değerlendirme işlerini kolaylaştırmak ve hızlandırmak amacıyla geliştirilen yeni bir ölçme sistemi tanıtılmıştır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Viola, F., Rinaldi, E., Pesavento, G., "High voltage impulse test with digital measuring system in Windows", *9th Int. Symp. on High Voltage Engineering*, Paper 4631, Graz, 1995.
 - [2] Lopes, I. J. S., Boaventura, W. C., Godinho, R. I., "Evaluation of parameters of digitally recorded high voltage impulses: Frequency and time domain approaches", *9th Int. Symp. on High Voltage Engineering*, Paper 4466, Graz, 1995.
 - [3] Malevski, R., "Digital techniques in high voltage testing", *9th Int. Symp. on High Voltage Engineering*, Paper 9004, Graz, 1995.
 - [4] Dias, C. P., Vale, A., "Digital analysis and processing of the high voltage impulse tests results", *MELECON'94, 7th Mediterranean Electrotechnical Conf.*, Vol. 3, pp. 1081-1084, Antalya, April 1994.
 - [5] Kuffel, J., Malevski, R., Heeswijk, R. G., Lavtton, R. A., "Dynamic performance of digital recorders used for monitoring high-voltage impulse tests", *IEEE Trans. IM-35, No.4*, pp.591-596, 1986.
 - [6] *IEC 1083-1*, "Digital recorder measurements in high voltage impulse tests, Part 1: Requirements for digital recorders", IEC, Geneva, Switzerland, 1991.
 - [7] *IEEE/ANSI Standard 1122-1987*, "Digital recorders for high voltage impulse measurements", 1987.
 - [8] *IEC 790: Oscilloscopes and peak voltmeters for impulse tests*, 1984.
 - [9] *TS 350: Darbe Gerilimi*, Mart 1996.
 - [10] *IEC 60060-1. 2*, "High voltage testing techniques", Part 1: General definitions and test requirement; Part 2: Test procedures", *IEC*, Svitzerland, 1989 and 1994.
- [HJRyan, H. M. (ed.), *High Voltage Engineering and Testing*, Peter Pcregrinus Ltd., London, England, 1994.

ENDÜKSİYONLU ISITMA ve ENDÜKSİYON FIRINLARININ TASARIMI

Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORA - Yusuf Salih EROĞLU
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
61080-TRABZON
E-mail: [cora\(5\).ee@ktu.edu.tr](mailto:cora(5).ee@ktu.edu.tr)

ABSTRACT

in this paper, types of electrical heating and in particular heating by induction is studied. The most important problem of induction heating is the choose and design of the furnace. in the work presented, the design of an induction furnace is done and its related parameters are given.

1 GİRİŞ

Elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine kolay çevrilmesi, üretiminin kolay olması özellikle de tüketiminde diğer fosil kaynaklı yakıtlar gibi çevreye zarar vermemesi, kontrollü bir düzen olması ve çok çeşitli kaynaklardan elde edilebilmesi üstünlükleridir.

Elektrik enerjisinin bir ısı kaynağı olarak kullanılması aşağıdaki yöntemlerle sağlanmaktadır.

- Dolaylı ısıtma : Isıtıcı dirençler kullanılarak üretilen ısının işlenen parçaya ısı difüzyonu yoluyla aktarılmasıdır.
- Doğrudan ısıtma.ergitme : İşlenen parçanın elektriksel direnci üzerinden güç aktarılmakta ($I^2 \cdot R$) ve bu güç ısı biçiminde açığa çıkmaktadır. Ark ocakları bu uygulamalardandır.
- Endüksiyon yoluyla ısıtma : Elektromanyetik endüksiyon yoluyla işlenen parçaya güç aktarılması ve bu gücün ısı olarak açığa çıkmasıdır.
- Elektrik alanıyla ısıtma : Elektrik alanının dielektrik malzemede oluşturduğu kayıplar yoluyla güç aktarılması ve işlenen parçanın ısıtılmasıdır.
- Lazer ve ultra-viyole ışınli ısıtma : Elektrik enerjisi ile elde edilen değişik dalga boylarındaki ışık ışınlarının işlenen parçada odaklanarak ışık difüzyonu yoluyla ısıtmasıdır.

2 Endüksiyonlu Isıtma

Endüksiyon ocakları döküm sanayiinde en önemli ve en çok kullanılan eritme tesisleridir.

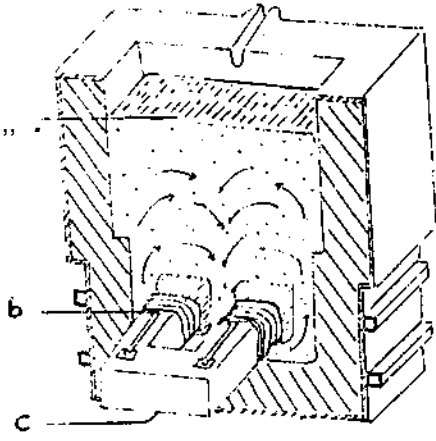
Endüksiyon ocakları diğer eritme ünitelerinden farklı bir yapıya sahiptir. Endüksiyon bobini eritme potasının dışında bulunmaktadır. Endüksiyon bobininden geçirilen alternatif akımın sürekli yön değiştirmesi nedeniyle pota içine yerleştirilmiş olan metalde yani endüksiyon bobini içinde sürekli yön değiştiren elektromanyetik değişken alanlar meydana gelir. Bu alanların malzeme içinde sebep oldukları elektrik akımları ise malzeme direnci ile ısı enerjisine dönüşür. Bu suretle malzemeyi eriten sıcaklık doğar [1].

Bu nedenle malzemeye dışarıdan ısı iletmeye gerek yoktur. Endüktif ısıtma için kullanılan alternatif gerilim kaynakları 50 Hz ile 450 KHz arasında değişir. Özellikle bu iş için seçilen frekans verim ve fiyata dayanır. Frekans arttıkça daha pahalı güç kaynakları gerekir.

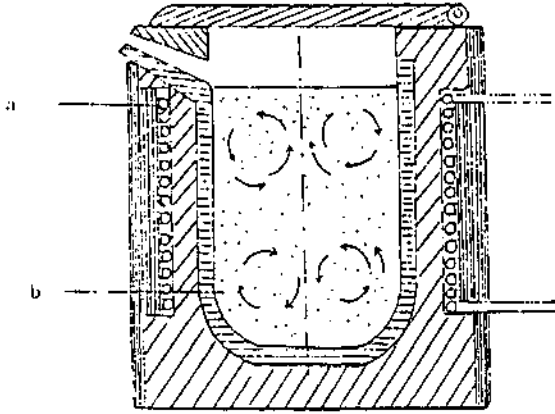
2.1 Endüksiyonlu Fırınların Avantajları

- Fırında oluşan elektromanyetik akımın etkisi ile Şekil 1 ve Şekil 2 de görüldüğü gibi sıvı metalde hareket meydana geldiğinden homojen bir dağılım elde edilebilir.
- Eritilen metale yabancı madde karışmaz.
- Düşük frekanslı (50 Hz) alanların işletme maliyetleri azdır.
- Eritme haznesini aşın kızdırarak istenen sıcaklığa erişmek mümkündür[3].

Katı metali sıvı hale getirmek için gereken ısı, sıvı metali muhafaza etmek için gereken ısıdan çok daha fazla olduğundan bu fırınlarda , eritmenin başlangıcında sıvı metale ihtiyaç vardır. Onun için devamlı çalışmalarda potadaki metalin % 25-30 'u bir sonraki yükleme için bırakılmalıdır. Bu durum bu tip fırınlar için bir dezavantajdır [3].



Şekil 1 - Çekirdekli (kanalı) endüksiyon fırını
a: Eritilmiş metal
b: Primer devre
c: Çekirdek



Şekil 2 - Çekirdeksiz endüksiyon fırını
a: Su soğutmalı balar bobini
(primer sargısı)
b: Sekonder akımın oluştuğu metal

2.2 İşleme Derinliği (depth of penetration)

İşleme derinliği endüktif akımın eritilecek olan malzemenin içine ne derece nüfuz edebileceğini belirtir. Bu derinlik frekansa ve maddenin elektriksel öz direncine göre değişir. İşleme derinliği:

$$d_o = 50.3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad (D)$$

İle verilir.

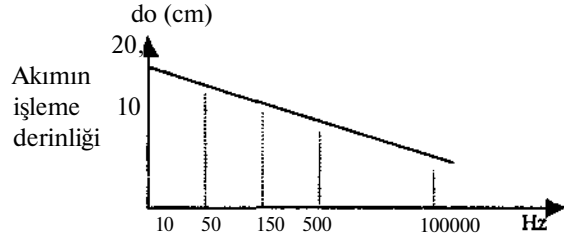
Burada;

ρ = özgül direnç

μ = manyetik geçirgenlik (H/m)

f = frekans (Hz)

d_o = işleme derinliği (cm)



Şekil 3 - Manyetik geçirgenliği $\mu_r=1$ olan malzemelerde işleme derinliğinin frekansla değişimi.

(1) ifadesinden görüldüğü gibi frekansın artmasıyla işleme derinliği azalmaktadır. Şekil 3'de manyetik geçirgenliği $MR=1$ olan yani manyetik olmayan malzemelerde Curie noktası üzerindeki penetrasyon derinliğinin frekansla değişimi verilmiştir.[1]

3 Endüksiyonlu fırınların tipleri

Endüksiyon fırınları ısıtma şekline göre çekirdekli ve çekirdeksiz olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.1 Çekirdekli (kanalı) endüksiyon fırınları:

Bu fırınlarda primer devreyi çekirdekli bobin , etrafında bir kanal oluşturur. Şekil 1' de çekirdekli bir endüksiyon fırınında kanlı teşkil edecek sıvı metalle işe başlamak gerekir. Onun için çekirdeksiz endüksiyon fırınları daha çok tercih edilir. [3]

Endüksiyon fırınlarında endüksiyonun şiddeti elektrik akımının frekansına ve manyetik alanın şiddetine bağlı olduğu için demir çekirdek kullanılarak manyetik alan kuvvetlendirilir.

3.2 Çekirdeksiz endüksiyon fırınları:

Bu tip fırınlarda balar pota Şekil 2' de görüldüğü gibi saf su soğutmalı bakır bobin ile çevrilidir. Potayı saran bakır bobin primer devreyi , pota içindeki metal ise sekonder devreyi meydana getirir. Potadaki metal aynı zamanda çekirdek vazifesi de görür. [3]

3.3 Endüksiyon fırınlarının tipik uygulamaları:

- Manyetik malzemelerin şebeke frekanslı ısıtması
- Manyetik olmayan metallerin ısıtılması
- Metal olmayan elementlerin ısıtılması
- Metal eritme fırınları
- Endüksiyonlu lehim, kaplama ve kaynak
- Isıl işlem**
- Yüksek-sıcaklık fırınları**

4 Endüksiyon fırının planlanması

Endüksiyon fırını tesislerinin planlaması muhakkak ki dökümhanenin elektrikle ergitmeye karar vermesi ile başlayacaktır. Uygun bir fırın seçiminden önce operasyonu etkileyebilecek bütün faktörler dikkate alınmalıdır. Genellikle dökümhane operasyonu istenilen fırının tipini tayin eder. Fırının tipi tesis planlamasında yalnızca tek bir sorundur. Bunun yanında, ocağın büyüklüğü (ton cinsinden kapasitesi) ve ocağın gücü tespit edilmelidir. Bunlar içinde dökümhane imalat hızı ve döküm büyüklüğü hakkın da bilgilere ihtiyaç vardır. Eğer çekirdeksiz tesis isteniyorsa buna göre frekans seçimi yapılmalıdır. Bu da belli başlı kaidelere göre yapılmaktadır. Kanallı tip endüksiyon fırınlarını kullanımı kısıtlıdır. Normal şartlar altında, esas ergitme ünitesi olarak (ferro olmayan tabikatlara hariç) kullanılmazlar, genellikle sıvı metali çekirdeksiz endüksiyon fırınlarından, elektrik ark veya kupollerden olarak tutma ve ısıtma için kullanılırlar. Çekirdeksiz endüksiyon fırınları hem elektrik hem de pota dizayn değişkenleri ile fazla bir esneklik sağlayarak randımanlı bir tesisin planlanması temin edilir.

4.1 Fırın seçimi

Fırının tipinin ve büyüklüğünün p 1 anıabilmesi için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulur.

- Günlük metal ihtiyacı
- Günde çalışılacak saat miktarı
- En büyük dökümün büyüklüğü ve ne kadar aralıklarla döküleceği
- Ortalama dökümün büyüklüğü ve ne kadar döküleceği.
- Alaşım değişim miktarı.
- Hurdanın cinsi
- Döküm sıcaklığı ve ergimiş metalin bileşimi.

Bu bilgilerden ocağın tipi ve büyüklüğü dahil geniş bir spesifikasyonu çıkarabilir. Tablo 1'de ocak seçimi gösterilmiştir.[1]

Tablo 1. Ocak Seçimi

	HURDA				
	Karışık hurda	Döküm-hane hurdaları	Kırpıntılar	Talaşlar	İngot
Dökme Demirler	D	D	B	B	B
Sfero dökme demirler	A/B	A/B	B	A/B	B
Alaşımli dökme demirler	A/B	A/B	B	A/B	A/B
Düşük karbonlu çelikler	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B

Yüksek karbonlu çelikler		A		A
Alaşımli çelikler		A		A

	PROSES			
	DUBLEKS	BEÇ	SÜREKLİ	SOĞUK ERGİTME
Dökme demirler	C	D	C	A
Sfero dökme demirler	D	D	D	A
Alaşımli dökme demirler	D	D	D	A
Düşük karbonlu çelikler		A/B		A
Yüksek karbonlu çelikler		A		A
Alaşımli çelikler		A		A

- A= Çekirdeksiz (düşük veya orta frekans)
 B= Çekirdeksiz (şebeke frekans)
 C= Kanallı
 D= Her iki tipte, büyüklük ve sıcaklığa bağlı

Daha önce değinildiği gibi Şebeke frekanslı ocaklar hem ekonomik hem de yaptığı iş bakımından en kullanışlı fırınlardandır.

4.2 Şebeke frekanslı (50 Hz) fırın tasarımı:

Tasarıma başlamak için bobine ihtiyaç duyduğu gücü iletmek için sarım sayısını hesaplamak gerekir.

$$c = \frac{0.153 * B_s^{(1/3)} * L_c^{(2/3)} * E_c}{W_t^{(2/3)} * D_w^{(1/3)} * (p_r * f)^{(1/6)} * K * \sqrt{\mu \cdot \omega}} \quad (2)$$

Burada;

- Ne = istenen bobinin sarım sayısı
 Lc = endüksiyon bobininin boyu
 Ec = bobinin ihtiyaç duyduğu gerilim
 Bs = çeliğin doyma akısı yoğunluğu (Gauss)
 Wt = çelikte endüklenen güç (Kw)
 Dw = pota veya borunun dış çapı
 K = kayıp akı faktörü

Sarım sayısı çok fazla ise uygulanan gerilimi azaltarak sarım sayısı azaltılabilir. Eğer sarım sayısı normale akım aşağıdaki formül izlenerek tayin edilebilir.

$$I_c = \frac{229 * \sqrt{K * V * (W_t * L_d)}}{N_c * (p_c * L * L * f)^{(1/4)} * \sqrt{\pi} * \sqrt{D_w}} \quad (3)$$

Burada;

- Ic = bobinin ihtiyaç duyduğu akım (A)

Denemeler sonucu görülmüştür ki bobin iletkeninin seçiminde akım taşıyıcılarının etkisizdir.

izin verilen akımın geçmesi için bazen iletkenin yüksek sıcaklıklarda izole edilmesi gerekir. Fakat bu , bobin kayıplarının artmasına ve verimin azalmasına neden olur. Çap azalır ise iletkenin boyutu da azalacaktır. Kullanılacak akım çok yüksekse , sarım sayısı değiştirilemiyorsa yani sınırlıyorsa çok tabakalı bir bobin kullanılabilir. Bu bobinin tasarımı ve sistem parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanır. [2]

$$W C = I C ^ 2 * R C * K * D C * N C * 1 0 ^ { - 3 } \quad (4)$$

Burada;

Wc = bobinin kayıp gücü (Kw)
De = bobinin çapı
Re = bobin kondüktör direnci

$$E t = I c * R e * \tau * D e * N e \quad (5)$$

Burada;

El = bobindeki kayıp gerilim

$$E t = E c + E l \quad (6)$$

Burada;

Et = bobindeki toplam kayıp gerilim

$$W = W t + W c \quad (7)$$

Burada;

W = toplam bobin gücü

$$K V A c = E t + I c * 1 0 ^ { - 3 } \quad (8)$$

Burada;

KVAc = bobinin görünen gücü

$$P F = \frac{W}{K V A c} \quad (9)$$

Burada;

PF = bobin güç faktörü

$$Z c = \frac{E t}{I c} \quad (10)$$

Burada;

Zc = Etkili bobin empedansı

$$X c = Z c * \sin [\arccos (P F)] \quad (11)$$

Burada;

Xc = etkili bobin endüktif empedansı (ohm)

$$R c e = Z c * P F \quad (12)$$

Burada;

Rce = etkili bobin direnci (ohm)

5.Sonuç

Endüksiyonlu ısıtma sanayimizin tercih ettiği verimli ve ekonomik bir ısıtmadır. Bu çalışmada anlatıldığı şekilde endüksiyonlu ısıtmanın en önemli kısmı olan fırın tasarımı gerçekleştirildikten sonra güç faktörü düzeltilmesi, dengeli yükleme ve şebeke gerilimi ve frekansı gözönüne alınmalıdır.

6. Kaynakça

[1] ÖzdemirI,Nuri " Dökümhanelerde Endüksiyon Ocağı Pratiği" 1981

[2] Ericson,C.Jamcs " Handbook of Electrical Heating for Industry" IEEF Pres-1995

[3] Akdoğan,İsmail "Elektrik Ark Fırını Yapımı " Gazi Üni. Fen Ed. Fak. Y.L.Tezi 1987

DİK CEPHELİ YÜKSEK GERİLİM DARBE ÜRETECİ TEORİSİ VE TASARIMI

Mehmet Oğuz HENGİRMEN
Arif NACAROĞLU
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
27310 Gaziantep
E-mail: oguz@gantep.edu.tr

ABSTRACT

in high voltage testing or laboratory equipments, the results are effected by the time arriving to the crest voltage value. Generally, in industry, the standard (1/50 ps) wave shape is being used for testing the high voltage equipments, but, according to the rise time, the short circuit events probably start at any unknown point of the rising edge. Hence, this 1 ps time can be a long time duration. in this study, a pulse generator with very short rising time (10 ns) is designed and constructed by using high voltage cables.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim test ve deney sistemlerinde, istenilen tepe gerilim değerine en kısa zamanda ulaşmak, sonuçları oldukça etkilemektedir. Endüstride kullanılan test cihazları genellikle standart yıldırım darbesi özelliği (1/50 µs) ile çalışmaktadırlar. Fakat izolasyon maddelerinin özelliklerine göre, delinme olayları, darbe cephesi anında bile olup bitemektedir. Bu durumda *Ijjs'lik* cephe süresi bile fazla gelebilir. Bu çalışmada çok kısa cephe süreli (10 ns) bir kablo üretici tasarlanmış ve imal edilmiştir.

2. DİK CEPHELİ DARBE KAYNAĞI

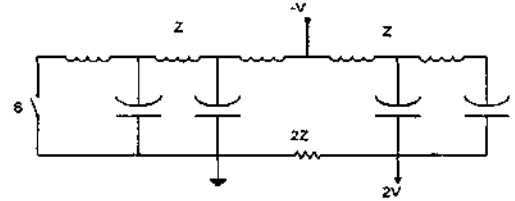
Yüksek gerilim darbeleri genellikle kapasitörlerin kısa sürede boşalmasından faydalanılarak yapılmaktadır. Bu üretilmekte ise kapasitör olarak tek damarlı ve ekranlı yüksek gerilim kabloları kullanılarak boşalma süreleri kısaltılmaya çalışılmıştır. Elektrik dalgalarının kablolarda yayılmaları, kablunun kapasitif, endüktif ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Kablo iletkeni ile ekran arasındaki yalıtkan malzemenin elektriksel yalıtkanlık sabiti, dalga yayılmasını etkilemektedir.

2.1. MODELLEME

Kablo gerilim üreticinin özel bağlantı şeklini modelleyebilmek için düşük kayıplı kablo parametreleri devre eleman değerleri olarak eşit kabul edilmiş (Şekil 1) ve devre ile ilgili dalga yayılma sabitleri şu şekilde açıklanmıştır.

$$\begin{aligned} Z_o &= \sqrt{\frac{L}{C}} = R \\ \alpha &= 1/2 * (R\sqrt{\frac{C}{L}} + \delta\sqrt{\frac{L}{C}}) \\ \beta &= \omega \times \sqrt{\frac{L}{C}} \\ V_p &= \omega / \beta = \sqrt{\frac{C}{L}} \end{aligned} \quad (1)$$

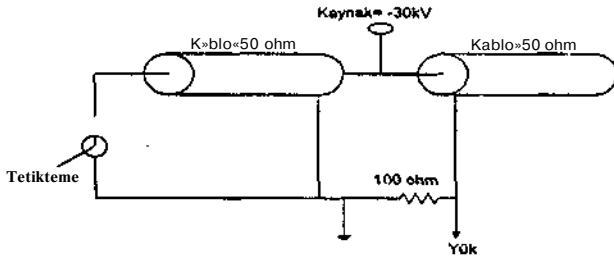
Burada, Z_o = darbe empedansı, L= indüktans, R= birim uzunluktaki direnç, a = zayıflama sabiti, $j\beta$ = faz sabiti, V_p = faz hızı olarak nitelendirilmektedir. Bu gösterimin amacı kabloda herhangi bir noktadaki geçici rejim değerlerinin hesaplanmasıdır. Uygulanan gerilim bir adım gerilimi olarak düşünülmekte ve zayıflama sabiti kısa mesafe için sıfır kabul edilmektedir.



Şekil 1. Kablo üreticinin eşdeğer devre şeması.

Karakteristik empedans değerleri aynı ($Z_o = 50$ ohm) iki adet eşit uzunlukta yüksek gerilim kablosu Şekil.2. deki gibi bağlanmıştır. Bu devredeki her kablo -V gerilimine doldurulmaktadır. Kabloların bir tanesinin orta ucu açık bırakılarak diğer uç ile toprak arasına trigatron bağlanmaktadır. Bu hava aralığının delinmesi ile belirli bir

gerilime doldurulmuş kablo boşalacak ve $I = V/Z_n$ büyüklüğünde bir akım bobinleri dolduracaktır. İki devrenin kesiştiği noktaya ulaşan dalga, o anda bağlı bulunan yük noktası kısa devre gibi davranacağından, ters dönerek sol



Şekil 2. Kablonun devre bağlantısı

tarafındaki kondansatörleri +V gerilimine doldurmaya çalışacaktır. Bu anda yük üzerindeki gerilim farkı 2V olur [1]. Buraya yük olarak $2Z=100$ ohm'luk bir direnç bağlanmış olup endüktif etkiyi azaltmak için özel bir şekilde tasarlanmıştır. Dik cepheli darbe üreticini istenilen gerilime doldurduktan sonra, istenilen anda ateşleyebilmek için bir tetikleme (trigatron) ünitesi faz toprak arasına bağlanmıştır. Bu ünite küre-düzlem olarak tasarlanıp pirinç elektrottan imal edilmiştir. Tetikleycinin orta ucuna 3 kV %luk bir gerilim uygulanarak kısa devre edilmekte, bu sayede morötesi ışık çıkarması sağlanmakta ve ateşleme yapılmaktadır.

Üretilen gerilim dalgası geriye yansıtıldığı için kablunun boyunca iki kez yol almış olmaktadır. Üretilen darbenin süresi

$T = (2s^{0.5} L)/c$ denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada,

$C = 2.998 \cdot 10^8$ m/s ışık hızı, polyethylene (PE) kablunun bağıl yalıtkanlık sabiti $S = 2.28$ olarak alındığında $t = 1 OL$ (ns) olarak bulunur. L kablo boyu 18.8 metre alınmış olup üretilen dalganın süresi 188 ns 'dir. Darbe cephe süresi yüklenilen gerilimin toprak potansiyeline boşalma hızına bağlıdır. Buradaki önemli bir değişken de boşalma bölgesindeki toprak direncidir. Üretilen darbenin cephe süresi yaklaşık 10 ns olarak gözlenmiştir [2].

3. SONUÇ

İmal edilen dik cepheli darbe üreticinin ürettiği darbelerin ölçümü için 100 kV'luk bir Sığasal Gerilim Bölücü (CVD) kullanılmıştır. Kablo 20-30 kV DC gerilimlere doldurulmuş ve 60 kV 'a kadar çıkış alındığı gözlenmiştir[3].

Bu üretic Türkiye'de ilk kez imal edilmiş ve denenmiştir. Üreticinin kullanım sahası oldukça geniştir. Fizik mühendisliği araştırma laboratuvarlarında, elektrik mühendisliği izolasyon testlerinde, gıda mühendisliği pastörizasyon uygulamalarında, biomedikal sahalarda röntgen ve lazer cihazları tetiklemelerinde kullanılabilir. Dezavantajları ise uygulanan darbe süresinin kablo boyuna bağlı olması ve farklı darbe süreleri için farklı boylarda kabloların gerekliliğidir. Dik cepheli darbe üreticisi Elektrik mühendisliği yüksek gerilim laboratuvarında sıvı malzeme izolasyon araştırmalarında kullanılmakta olup sonuç fotoğraflarından Azılan örnek

olarak Şekil 3 te sunulmuş ve

Olumlu sonuçlar alınarak üreticinin başarılı bir şekilde çalıştığı tesbit edilmiştir.



Şekil 3. Kablo üreticisi kullanılarak izolasyon yağlarında çekilen delinme öncesi fotoğraflar.

4. KAYNAKÇA

- [1] J.D. Craggs, J.M.Meek, "High Voltage Laboratory Technique", Book, 1954.
- [2] M.O. Hengirmen, A. Nacaroglu "Sıfır Cepheli Darbe Üreticisi Tasarımı ve İmalatı", Gzp.Ü. Araştırma projesi, Eylül 1996.
- [3] M.O. Hengirmen, "Determination of Dielectric Constants of Liquid Mixtures from their Constituents over the Frequency Range of 50 Hz-12 GHz", Ph.D. Thesis, March 1997.

KORONA BOŞALMASI İÇİN YENİ BİR SİMÜLASYON MODELİ

M. Koksall, M.S. Mamış ve H.Z. Aliyev

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 44069, Malatya

ABSTRACT

A new circuit model which reduces the discrepancies between the experimental and the theoretical results considerably is presented for the simulation of corona phenomenon occurring in a system of concentric cylindrical electrode.

1. GİRİŞ

F.lektron-iyon bombardımanının elektroteknikte kullanılan maddelerin özellikle yalıtkan olarak kullanılan polimerlerin delinmesindeki rolü önemlidir; bu korona olayından bağımsız düşünülemez [1,2].

Koronanın önemli olduğu diğer bir alan iletim hatlarının modellenmesi olup, bu hususta genel ve güvenilir bir model bulunamamıştır [3]. Elektromagnetik geçici rejimler (electromagnetic transients EMT) için uygun korona olayının fizikini izah eden ideal bir matematiksel model geliştirilememiştir. Konu dağınık parametrelili histerezis çevrimli lineer olmayan bir durum arz etmektedir. Önerilen tüm modeller koronanın dağınık özelliğini yaklaşık olarak temsil edecek aralıklarda hat boyunca belirli noktalarda oluştuğunu varsayar [4-10]. Bu nedenle hat boyunca oluşacak hatayı en aza indirmek için kısa bir bölümün modelinin çok hassas olması gerekmektedir. Bu tebliğde deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki farklıları azaltmak üzere yeni bir hassas model önerilmiştir.

Uzay yükü mekanizmasının ve korona boşalmasının önemli olduğu diğer bir alan elektrostatik tutuculardır. Bunlar endüstride hava kirliliğini önlemekte ve parçacıkları nitelik ve niceliklerine göre ayırmak için kullanılmaktadır [11-15]. Her uygulama farklı geometri gerektiriyorsa da iki elektrot kullanılması ve bunlar arasında korona boşalması olması bu uygulamaların ortak bir yönü olup bu tebliğde ele alınan temel unsurlardır.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı korona boşalmasının hassas bir modeli gerekmektedir.

2. KORONA BOŞALMASININ SİMÜLASYON MODELİ.

Korona boşalmasında uzay yük yoğunluğunun ve elektrik alan şiddetinin tayini için gerekli teorik sonuçlar koron akımının bilinmesini gerektirmektedir [16]. Genel olarak koron akımı deneysel olarak bulunmaktadır. Fakat sistem parametrelerinin her yeni değeri için (uyg.iiama geriliminin şekli ve şiddeti, elektrot sistemirvt boyutları

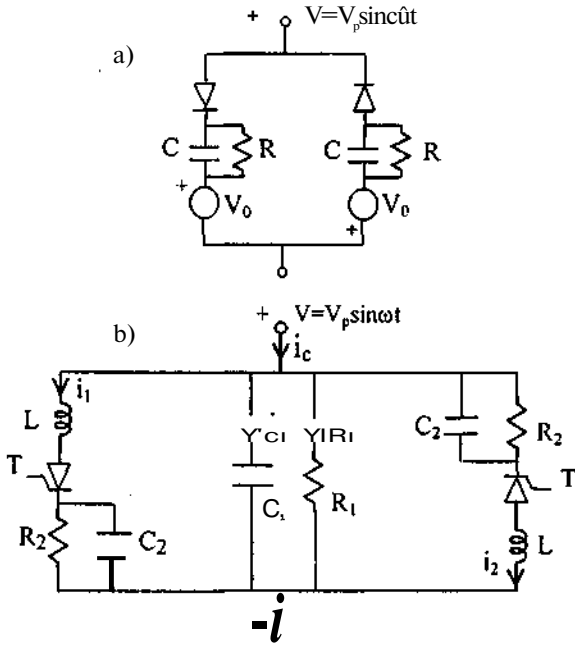
ve özellikleri, v.b.) bu yeni bir deneyi gerektirir ki bu ekonomik olmadığı gibi çoğu durumda da tasarım problemlerinde olduğu gibi fiziksel sistem henüz mevcut olmadığından mümkün değildir. Böyle durumlarda elektrot sistemi basit bir kapasitör eleman gibi ele alınır ve geometrik kapasitansın akımı korona olayından bağımsız olarak yaklaşık korona-akımymış gibi işlem görür [17].

Gerçekte yukarıda ele alınan yaklaşık korona akımı gerçek korona akımından daha küçük olup uzay yükü ve elektrik alan şiddeti hesabı için önemli derecede hatalı sonuçlar verir.

Farklı elektrot geometrileri ve korona boşalma tipleri için bir kaç korona modeli kullanılmıştır. Bunlardan bir çoğu yüksek gerilim hatlarında hata yıldırım düşmesi, hata enerji verme gibi diğer geçici rejim olaylarının incelenmesi için sunulmuştur [4-8,18]. Bu modellerin bazılarında lineer olmayan (gerilim bağımlı) dirençler ve kapasitanslar kullanılmış olup özel analiz tekniklerinin kullanılması gerekmektedir [18,19]. Bazılarında ise sabit lineer kapsitanslar ve dirençler ile diyot ve gerilim kaynaklarının kullanılması yaygındır [3,5,8]. Göreceli olarak basit olan bu modeller iletim hatlarının EMTP (Electromagnetic Transients Program) diye bilinen bir programla analizini mümkün kılar ve bazı pratik amaçlar için yeterli olabilir. Fakat analitik veya simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar (alan testleri) arasında önemli ölçüde fark gözlenmiştir. Her ne kadar doğrudan iletim hatları hedef alınmamış ise de, bu tebliğde sunulan korona modeli bu farkı % 7'lerden % 3'ler mertebesine indirmiştir.

Ele alınan sınırlı boyda aynı eksenli silindirik elektrotlardan oluşan bir sistem için Şekil 1 'de görüldüğü gibi yeni bir korona modeli önerilmiştir. Bu modelde merkezi RC devresi (R_b, C_1) sistemin elektrotları arasında dielektrik direncini ve geometrik kapasitansını göstermek niyetiyle konmuştur. Korona boşalmasının benzetimini yapacak esas devre endüktans (L), tristör (T) ve şönt RC devresinin (R_2, C_2) seri bileşiminden oluşturulmuştur. Bu model Şekil 1a'da gösterilen Kudyan-Shih devresine [8] L endüktansının ilavesi, seri diyot-sabit gerilim kaynağının T tristörü ile değiştirilmesi ile oluşmuştur. Endüktans diyotun iletme geçmesi ile oluşan ani akımın yükselmesini önleyerek daha yumuşak bir değişim elde etmek için, sıfır tutma akımlı tristör ise modeli basitleştirmek için konmuştur.

Elektrot sisteminin elektrotlara uygulanan sinüs eğrisi biçimli gerilimin pozitif ve negatif periyotlarında simetrik davrandığı varsayılmıştır. Bu nedenle Şekil 1'de gösterilen korona modelleri pozitif yarım periyot için analiz edilmiş olup sol korona dalları göz önüne alınmıştır. Sağ korona dalları için simetri koşulları kullanılmıştır.



Şekil 1. Korona modelleri; a) Kudyan-Shih modeli, b) silindirik elektrot sistemi için önerilen yeni model.

Önerilen simülasyon modelinin analizi için i_{c1} ve i_{r1} dal akımlarını doğrudan

$$i_a = C_i \frac{dV}{dt} = C_i (\dot{u} V_p \cos(\dot{u}t)) \quad (1)$$

$$i_m = \frac{i}{R_j} = \frac{V_p}{R_j} \cos(\dot{u}t) \quad (2)$$

denklemleriyle ifade etmek mümkündür. Tristörden geçen i_1 akımı tristörün ateşlendiği ve korona boşalmasının başladığı t_{on} zamanına kadar sıfırdır. Bu zamandan sonra tristör kısa devre gibi davranır. Basit devre analizi kuralları $i_1(t)$ akımı için

$$\frac{d^2}{dt^2} i_1(t) + \frac{1}{R_2 C_2} \frac{d}{dt} i_1(t) + \frac{1}{LC_{1a}} i_1(t) = \frac{1}{L} \frac{dV}{dt} + \frac{V}{LR_2 C_2} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{L} \cos(\dot{u}t) + \frac{V_p}{LR_2 C_2} \sin(\dot{u}t)$$

homojen olmayan ikinci derece sabit $\frac{1}{LC_{1a}}$ katsayılı lineer diferansiyel denkleminin yazılmasını mümkün kılar. t_{on} anındaki ilk koşullara gelince bunlar

$$i_1(t) \Big|_{t=t_{on}} = 0, \quad (4a)$$

$$\frac{d}{dt} i_1(t) = \frac{1}{L} V_L(t) = \frac{1}{L} V_p \sin \omega t \Big|_{t=t_{on}} = \frac{1}{L} V_p \sin \langle D \rangle_{0H} \quad (4b)$$

şeklinde yazılır. Çünkü endüktans akımı gerilim to anında sınırsız olmayacağı için sürekli olup, C_2 kapasitansı tamamen boşalmış kabul edildiğinden uygulanan gerilimin tümü endüktans üzerinde görülür.

Denklem (4)'deki ilk koşullara sahip olarak (3)'ün çözümü klasik bir diferansiyel denklem çözümüdür [20]. Çözüm karakteristikleri R_2 sönümleme direncinin L ve C_2 reaktif elemanlarına göre alacağı değerlere bağlıdır. Sırasıyla

$$R_2 < R_c = 0.5 \sqrt{L/C_2}, \quad (5a)$$

$$R_2 = R_c, \quad (5b)$$

$$R_2 > R_c \quad (5c)$$

koşullarına uygun olarak sönümlü, kritik sönüm, sönümlü davranışları oluşur. Bu durumlar için çözümler yine sırayla

$$i(t) = k_1 e^{at} + k_2 e^{at} + i_p(t), \quad (6a)$$

$$\dot{i}(t) = (k_1 + k_2) e^{at} + \dot{i}_p(t), \quad (6b)$$

$$i(t) = (i_1 \cos \dot{u}t + k_2 \sin \dot{u}t) e^{at} + i_p(t) \quad (6c)$$

şeklinindedir. Yukarıdaki çözümlerdeki ortak terim $i_p(t)$ özel çözüm olarak bilinir ve

$$i_p(t) = I_1 \cos(\dot{u}t) + I_2 \sin(\dot{u}t) \quad (7)$$

$$\frac{V_p \omega}{\Delta L} \left(-\cos^2 + \frac{1}{LC_2} - \frac{1}{R_2 C_2^2} \right), \quad (7a)$$

$$I_2 = \frac{V_p}{\Delta R_2 L^2 C_2^2}, \quad (7b)$$

$$A = (a^2 + \frac{1}{R_2^2 L^2} - \frac{2}{LC_2} \frac{V}{I} + \frac{1}{I^2 C_2^2}) \quad (7c)$$

denklemleri ile tanımlanır. Geri kalan terimler homojen çözüm olup üslerdeki CT, a_2 , c_3 sabitleri ve sönümlü osilasyon frekansı CÜ

$$a_1 = -\frac{1}{2R_2 C_2} + \sqrt{\frac{1}{4R_2^2 C_2^2} - \frac{1}{LC_2}}, \quad (8a)$$

$$a_2 = -\frac{1}{2R_2 C_2} - \sqrt{\frac{1}{4R_2^2 C_2^2} - \frac{1}{LC_2}}, \quad (8b)$$

$$a = -\frac{1}{2R_2 C_2}, \quad (8c)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC_2} - \frac{1}{4R_2^2 C_2^2}} \quad (8d)$$

denklemleri ile tanımlanır.

Son olarak (6)'daki çözümlerde bilinmeyen k_1 , k_2 katsayıları (4)'deki ilk koşullar kullanılarak

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -I_1 \cos \dot{u}t_{on} - I_2 \sin \dot{u}t_{on} \\ -a I_1 \cos \dot{u}t_{on} + (\omega I_1 + \frac{V_p}{L}) \sin \dot{u}t_{on} \end{bmatrix} \quad (9)$$

denkleminin çözümü olarak hesaplanır ki burada $A=[ay]$ matrisi yukarıda Mısırlanan üç farklı duruma göre

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \sigma_1 & \sigma_2 \end{bmatrix} e^{\sigma_1 t_{on}} \quad (10a)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & / \omega t \\ \sigma_2 & 1 + \sigma_1 t_{on} \end{bmatrix} e^{\sigma_1 t_{on}} \quad (10b)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & T \cos \omega t_{on} \\ -g & -\bar{g} & -a - \bar{a} \sin \omega t_{on} \end{bmatrix} e^{\sigma_1 t_{on}} \quad (10c)$$

ifadeleri ile belirlenir.

$t=t_{on}$ anında başlayan $i_c(t)$ akımı $t=t_{off}$ anında sıfıra ulaşmaya kadar sürer ki bu anda trisitor kesime geçer. Kesim durumu uygulanan gerilimin pozitif yarısı tekrar edene, kesin olarak $t_{on} + 2\pi/\omega$ 'ya, kadar devam eder. Simülasyon sonuçları $R_2 C_2$ zaman sabitinin uygulanan gerilimin periyoduna (20 ms) göre yeteri kadar küçük olduğunu (1.558 ms) ortaya çıkartmıştır; dolayısıyla V_2 kapasitans geriliminin «korona boşalması başlarken sıfır kabul edilmesi geçerli bir varsayımdır.

Simetri koşulları nedeniyle $i_c(t)$ akımı yarım periyotluk bir kaymayla $i_l(t)$ 'ye benzer olarak değişir, yani

$$i_l(t) = -i_c(t - T/2) \quad (11)$$

şeklindedir; burada $T=2\pi/\omega$ tam periyottur.

Elektrotlar arasındaki toplam akım

$$i_c(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad (12)$$

denklemleri ile belirlenmiş olup her bir bileşen sırayla 1,2,6,11 denklemleri ile tanımlanmıştır.

2.1. Devre Parametrelerinin Bulunması

Şekil 1b'de gösterilmiş olan önerilen korona eşdeğer devresindeki R_1 , C_1 , R_2 , C_2 , ve L eleman değerleri, trisitorün ateşleme ve kesim zamanları ve korona başlangıç gerilimi, korona akımı için deneysel sonuçlar ve analitik çözüm arasındaki RMS (root mean square) hatayı en aza indiren bir optimizasyon işlemi ile hesaplanmıştır.

Deneyde kullanılan elektrot sisteminin fiziksel parametreleri şunlardır: elektrotların uzunluğu $l=0.1$ m, iç-elektrotun yarıçapı $r_w=0.35$ mm, dış-elektrotun yarıçapı $d=10$ cm. Uygulanan AC gerilimin tepe değeri $V_m=3.5$ kV olup frekansı 50 Hz'dir.

Optimizasyon korona akımının CRO osilogramından alınan eşit aralıklı 87 nokta gözönüne alınarak yapılmıştır. Kullanılan optimizasyon en hızlı azalma yöntemi (steepest descent method) olup gradyant nümerik olarak hesaplanmış ve tek boyutlu arama (one dimensional search) yapılmıştır [21].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Optimum devre parametreleri hesaplandıktan sonra hem deneysel, hem de analitik olarak hesaplanan korona akımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Hesaplanan devre parametreleri $R_1=652.86$ MQ, $C_1=4.4413$ pF, $R_2=1052.01$ MQ, $C_2=1.4809$ pF, $L=881.58$ kH, korona başlama gerilimi $V_o=$

2.5389 kV, trisitorün ateşleme ve kesme zamanları sırayla $t_{on}=2.6107$ ms, $t_{off}=9.3056$ ms olarak bulunmuştur. Denklem (3)'teki analitik çözüm bulunurken C_2 kapasitansının her korona saykılında boşaldığı varsayılmıştır; bu varsayım $R_2 C_2=1.444$ ms zaman sabiti gerilim periyodu $T=20$ ms'den çok küçük olduğundan geçerlidir. Aynı şekilde geometrik kapasitansı temsil eden C_1 kapasitansından geçen akım da göstermiştir; bu akımın toplam korona akımından epeyce farklı olduğu ve onun yerine alınmayacağı aşikardır.

Şekil 1a'daki Kudya-Shih modelini kullanarak yapılan optimizasyon sonucunda $R_1=545.23$ MQ, $C_1=3.8868$ pF, $R_2=282.05$ Mfi, $C_2=0.014943$ pF, $V_o=2.3788$ kV, $t_{on}=2.5581$ ms, $t_{off}=7.6744$ ms bulunmuş olup, toplam korona akımı Şekil 3'te gösterilmiştir, bu şekilde deneysel ve iki farklı model kullanılarak bulunan sonuçları daha iyi karşılaştırabilmek için tam periyodun sadece bir bölümü göz önüne alınmıştır. Bu tebliğde önerilen yeni modelin deneysel olarak bulunan korona akımını Kudyan ve Shih modeline göre çok daha iyi simüle ettiği görülmektedir. Esasen deneysel değerler referans olarak alındığında RMS hata her iki model için sırayla % 2.64 ve % 6.09 olarak hesaplanmıştır.

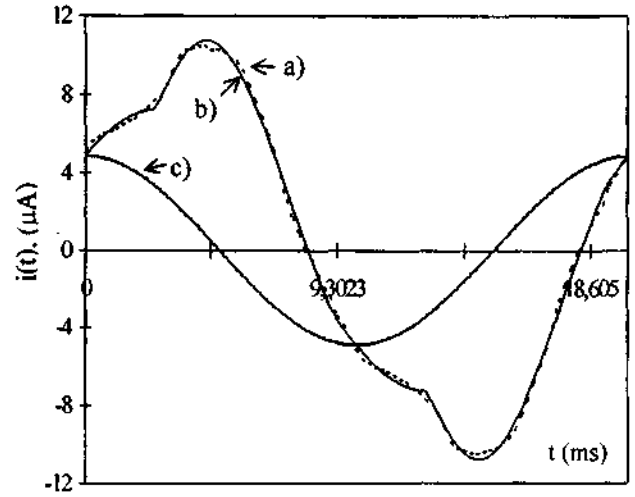
Çoğu durumlarda gerçek korona akımı için deneysel sonuçlar mevcut değildir; onun için uzay yük yoğunluğu ve elektrik alan şiddetinin hesabında gerçek korona akımı yerine geometrik kapasitans akımı $i_c(t)$ kullanılır [17]. Önerilen model ile hesaplanan korona akımının (ki gerçek korona akımıyla hemen hemen aynıdır) kullanılması uzay yük yoğunluğunun ve elektrik alan şiddetinin çok daha doğru ve hassas olarak bulunmasını sağlar.

Diyotlar, dirençler ve kapasitörlerden oluşan simülasyon modellerinden [4-8] başka; elektrotlar arası qv (yük-gerilim) karakteristiğinin kullanılması iletim hatlarında korona olayının incelenmesi için diğer bir yoldur [9,10]. Bu nedenle bu tebliğde sunulan korona modeline dayanılarak hesaplanan korona akımı nümerik olarak entegre edilmiş ve sistemin qv karakteristiği hesaplanarak Şekil 4'te çizilmiştir. Bulunan karakteristik beklendiği gibi literatürde verilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir [3,5].

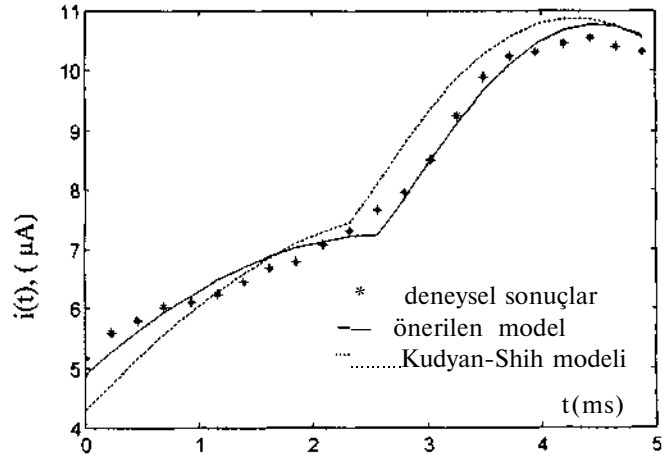
4. KAYNAKLAR

- [1] Aliyev H Z 1988 Ohange of electrophysical properties of polymer dielectrics of which surfaces are bombarded with negatively charged ions (in Russian.) *Ph.D. Dissertation* Academy of Science SSUR, Inst. of Physics. Moskow
- [2] Jivarli C M, Aliyev H Z, Qorin Y V and Leonov P V i 1987 Electric discharging on the dielectric surface and the role of the negative ions (in Russian) *J. Electronnaya Obrakolka Malerialov* Inst. of Appl. Physics, Academy of Science MSSR 6 138 pp 39-41
- [3] Carneiro S and Marti J R 1991 Evaluation of corona and line models in electromagnetic transients simulations *IEEE Trans. on Power Delivery* 6 1 pp 334-341

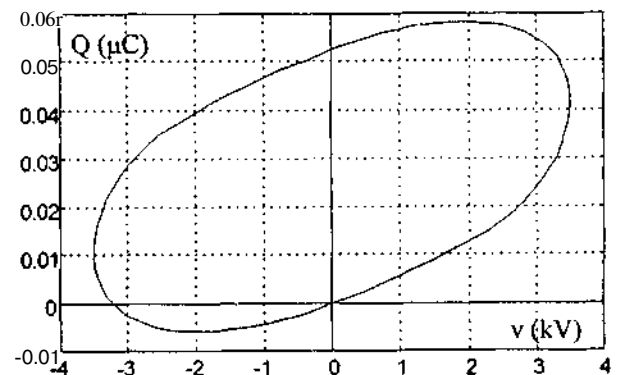
- [4] Portela C M 1978 Computer simulation of electromagnetic transients with nonlinear phenomena *Proc. of the VIPSCC*
- [5] Wagner C F and Lloyd B N 1955 Effect of corona on travelling waves *AIEE Trans.* 74-pt. II pp 858-872
- [6] Marruada P S, Menemenlis H and Malewiski R 1977 Corona characteristics of conductor bundles under impulse voltages *IEEE Trans.* PAS-96 pp 102-115.
- [7] Ametani A and H. Motoyama H 1987 A linear corona model *EMTP Newsletters*
- [8] Kudyan H M and Shih C H 1981 A nonlinear circuit model for transmission lines in corona *IEEE Trans.* PAS-100pp 1420-1430
- [9] Lee K C 1983 Nonlinear corona models in an electromagnetic transients program (EMTP) *IEEE Trans.* PAS-102 pp 2936-2942
- [10] Semlyen A 1986 Corona modelling for calculation of transients on transmission lines *IEEE Trans.* PWRD-1 3 pp 228-239
- [11] Lawless P A, 1994 An advanced electrostatic precipitator model *Conference Record IAS Annual Meeting (IEEE Industry Application Society)* 2 IEEE, Piscataway, NJ USA, 94CH3452-0 pp 1519-1526
- [12] Aliyev H Z, Koksall M, Aksoy I and Yakına M E 1998 Charging and discharging of particles on the low-potential electrode under bipolar corona conditions *J. Phys. D. Appl. Phys.* 31 pp 1-5
- [13] Cristina S, Dinelli G and Feliziani M 1991 Numerical computation of corona space charge and V-I characteristics in DC electrostatic precipitators *IEEE Trans. on Industry App.* 27 pt. 1 pp 147-153
- [14] Vereschagin I P, Zhukov V A and Kalinin A V 1989 Quantative Characteristics of back corona discharge intensity *Journal of Electrostatics* 23 pp 352-356
- [15] Kwethus B A 1989 Partide precharging and fabric fabrication-experimental results of a corona precharger *Journal of Electrostatics* 23 pp 351-356
- [16] Ionkin P A, Daryevski A I, Kuharkin E S, Mironov V G and Melnikov N A 1976 *Nonlinear Circuits and Electromagnetic Field Theory* (in Russian) Moscow
- [17] Aliyev H Z 1994 *Space Dispersion of the Electric Field in Unipolar Corona Condition* (in Russian), Azerbaijan Civil Engineering University, Baku pp 290-295
- [18] Lee K C and Hydro B C 1993 Nonlinear corona models in an electromagnetic transient program (EMTP) *IEEE Trans.* PAS-102 pp 2936-2942
- [19] Juvarli C M and Dimitriev E V 1975 *Mathematical Models of fWave Propagation in Electrical Systems* (in Russian) Academy Press, Inst. of Physics, Baku
- [20] Boyce W E and Diprima R C 1986 *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems* John Wiley & Sons, New York
- [21] Gill P E Murray W and Wright M H 1981 *Practical Optimization* Academic Press, London



Şekil 2. Ölçülen korona akımı ve simülasyon sonuçları; a) deneysel olarak ölçülen, b) simülasyonla hesaplanan, c) simülasyondaki geometrik kapasitans akımı.



Şekil 3. İki farklı modelden bulunan korona akımları ve deneysel sonuçların karşılaştırması.



Şekil 4. Önerilen modelden hesaplanan korona akımı esas alınarak bulunan qv karakteristiği.

KOAKSİYEL ve PARAKSİYEL GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ GERİLİM VE ELEKTRİK ALAN ANALİZİ

Arş.Gör.Yük.Müh. Mehmet ZİLE
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
N.Ü. Aksaray Mühendislik Fakültesi
68100 Aksaray
E-mail: mehmet_zile@hotline.com.tr

ABSTRACT

in the present work, the obtained experimental results of coaxial and paraxial system are used and compared with the theoretical (analytical and numerical) computations. in literature, there is limited knowledge related to drift and distribution of the space-charge between the electrodes. Corona discharge has significant importance, since the space-charges affects the electric field and current density profiles especially for non-uniform field distributions.

ötürü koaksiyel sistem literatürde sıkça kullanılmış korona ve uzay yükü sorularına yanıt aranmıştır.



Şekil 1. Koaksiyel silindir geometrisi

1. GİRİŞ

Deneysel olarak ilk kullanılan geometri nokta-düzlem ise de Walburg 1899, bilimsel temelli korona çalışmalarına, teorik olarak en çok hizmet eden koaksiyel silindir sistemidir [1]. Ancak, elektrotlar arası genişliğin korona deşarjına etkisi, nokta veya hat-düzlem geometrilerindeki kadar kolaylıkla araştırılmadığından dolayı limitli bir geometridir. Koaksiyel geometride, elektrik alanının analitik çözümü mümkün olduğundan, literatürde sıkça kullanılan bir konfigürasyon olmuştur. Silindirik koordinat sisteminde tek boyutlu formülasyon ile ifade edilebilecek simetriye sahip bir geometridir (Şekil 1).

Paraksiyel silindir elektrot sistemi ise kabloların analizinde istenilmeyen durum olarak belirtirse de, korona çalışmalarında daha önce kullanılmayan bir sistemdir (Şekil 5). Paraksiyel sistemde iki boyutlu elektrik alanı düzgün değildir, ancak elektrotlar arası bölgenin her noktasında hesaplanabilir. Alan dağılımının kontrolü basitçe A eksenel yer değişimi ile elde edilir. A=0 değerinde sistem koaksiyel silindir geometrisindedir. A→R yaklaşık olarak önemli pratik konfigürasyon hat-düzlem elde edilir. Alanın düzgün olmama (nonuniformity) seviyesi E_{max}/E_{min} parametreleri ile ifade edilebilir. Korona şartları altında sınır şartları kompleks değildir dolayısıyla paraksiyel sistem nümerik elektrik alan hesaplamaları için oldukça uygundur. Akım yoğunluğu ve elektrik alan profilleri dış silindir üzerindeki ölçüm probunun basitçe döndürülmesi ile elde edilebilir.[2]

2. KOAKSİYEL SİSTEM ANALİZİ

Silindirik koordinat sisteminde, bir boyutlu formülasyon ile tanımlanabildiğinden ve kolaylığından

2.1. Korona Başlangıç Voltajı

Bu çalışmada korona başlangıç voltajına en fazla etki eden etkenlerden iletken çapı ve gaz cinsi koaksiyel sistem için test edilmiştir.

Koaksiyel korona için Peck' in başlangıç elektrik alanı ile iletken çapı ve hava yoğunluğu arasındaki bağıntısı;

$$E_{c,} = E_{c,} S.m \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta} r_0} \right) \quad (1)$$

'dir. Burada $E_j=31,25$ kV/cm , $B=0,308$ ve $6 = 0,386 . (P/273 + t)$

'dir.

Literatürdeki diğer bir formül ise Townsend kriterini ve deneysel sonuçları kullanarak Waters tarafından verilmiştir [3].

Hava basıncı da dikkate alınarak Peek'e benzer olarak düzenlenmiş Waters' in formülü ise ;

$$E_{c,} = 23, S.ö.m \left(1 + \frac{0,67}{\sqrt{\delta} r_0^{0,4}} \right) \quad (3)$$

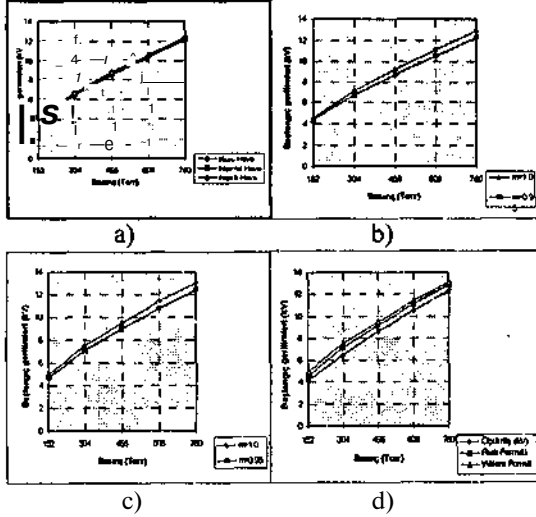
'dir. Buradan korona başlangıç voltaj değeri kolaylıkla bulunabilir. İlave bir test ise Townsend kriteri kullanılarak ve Harrison & Gabelle' e ait etkin iyonlaşma katsayısı ($a - r$) değerleri ampirik olarak;

$$a(E/p, P) = P^* \cdot 10^7 [(1,041) * (E/p - 28,5)^2 - 12,6] \quad (4)$$

ifade edilen bir Yük-Simülasyon programı yardımıyla korona başlangıç değerleri hesaplanmıştır. Hava içerisindeki korona başlangıç voltajı ölçüm değeri ile integre edilmiş iyonlaşma katsayısı (=7) için bulunmuş, korona başlangıç voltaj değerleri iletken çapı 0,56 mm için yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Ölçümler ile hesaplamaların birbiriyle uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1. Koaksiyel sistemde ölçülmüş ve hesaplanmış başlangıç gerilimleri (kV) ($\phi = 0.56$ mm.)

Basınç (Torr)	Ölçülmüş (kV)			Peek Formülü ile		Waters Formülü ile	
	Kuru Hava	Normal Hava	Nemli Hava	m=1.0	m=0.95	m=1.0	m=0.95
152	4,2	4,3	4,4	4,7	4,5	5,1	4,8
304	6,5	6,6	6,7	7,2	6,8	7,6	7,2
456	8,6	8,7	8,9	9,3	8,8	9,6	9,1
608	10,3	10,4	10,5	11	10,4	11,3	10,7
760	12,2	12,4	12,5	13	12,4	13,2	12,5



Şekil 2. Koaksiyel sistemde a) ölçülmüş başlangıç gerilimleri b) Peek formülü ile hesaplanmış başlangıç gerilimleri ($\phi = 0.56$ mm.) c) Walcrs formülü ile hesaplanmış başlangıç gerilimleri ($\phi = 0.56$ mm.) d) ölçülmüş ve hesaplanmış (Peek ve Waters formülü ile) başlangıç gerilimleri ($\phi = 0.56$ mm., normal hava, m=1.0)

2.2. I-V Karakteristiği

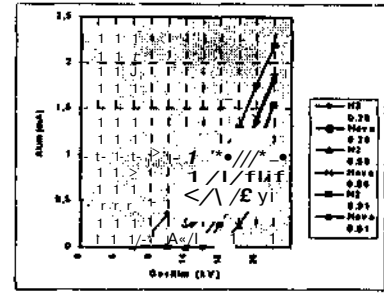
Korona deşarjlarında koaksiyel sistem için I - V karakteristiğinin genel ifadesi, Tovnsend tarafından belirtilmiş karesel formda olup,

$$I = A \cdot V \cdot (V - V_i) \quad (5)$$

ile tanımlanmıştır. Burada V_j başlangıç voltajı, A ise geometriye bağlı sabittir. Diğer bir model koaksiyel sistem için Baderen & Popescu tarafından aşağıdaki şekilde bulunmuştur [4,5].

$$I = \frac{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu}{r \cdot \ln(n I r)} \cdot V \cdot (V - V_i) \quad (6)$$

r_1 ve r_2 dahili ve harici elektrot yarıçaplarıdır. Yapılan bu çalışmalarda tüm analizler göstermiştir ki, korona akımı iyon mobilitesinin bir fonksiyonu ve gerilimin karesiyle orantılıdır. Bu çalışmada per-unit uzunlukta korona akımının I_A+B+C değerleri hassas bir elektrometre ile ölçülmüştür. Şekil 3 toplam korona akımının her üç iletken çapı (0.91 mm - 0.56 mm - 0.28 mm) için nitrojen (N_2) ve normal hava içerisinde ölçülmüş değerleri verilmektedir.

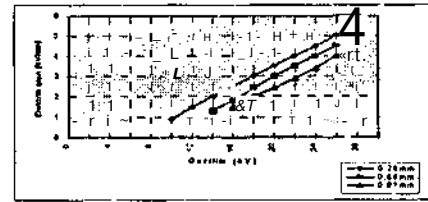


Şekil 3. Hava ve N_2 içinde farklı iletken çapları için korona akım-voltaj karakteristiği

Öncelikle korona akımının voltajla ikinci dereceden değişimi ve azalan iletken çapı ile korona akımının artışı net bir şekilde görülmüştür. İletken yarıçapının azalması sonucunda artan elektrik alan şiddeti, iyon hareketliğinde ve uzay yükündeki artış, toplam korona akımının artmasına sebep olmuştur.

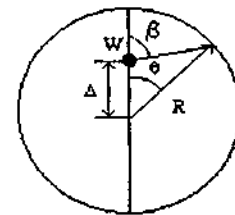
2.3. Elektrik Alanı Ölçümü

Bu sistemde Elektrik Alanın normal hava başmandaki her 3 iletken çapı için uygulanan voltajla değişimi Şekil 4' de görüldüğü gibidir. Elektrik alan şiddetinin dış elektrod üzerinde artan voltaj ile doğrusal bir değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca küçük iletken çapı için elektrik alanının yüksek olması artmış uzay yükü dolayısı ile beklenen bir durum olarak gözlenmiştir.



Şekil 4. Değişik iletken çapları için elektrik alanın gerilime göre grafiği

3. PARAKSİYEL SİSTEM ANALİZİ



Şekil 5. Paraksiyel geometri

Korona çalışmalarında kullanılan diğer konfigürasyonlara göre avantajı olduğu halde, bu geometri kablo testleri haricinde daha önce kullanılmamıştır (Şekil 5). Burada (w) iç iletkeni, (A) aksiyel yer değişimi, (R) dış yarıçapı, (B) probun silindirin merkezine yaptığı açısı, (P) iletken ile prob konumu arasındaki açıyı, (P) perspeks levhayı tanımlamaktadır.

3.1. Korona Başlangıç Voltajı

Korona başlangıç voltajı sistem konfigürasyonuna, iletken çapı, yüzey kalitesine ve atmosferik şartlara (nemlilik, basınç gibi) bağlıdır. Paraksiyel geometride iç iletken üzerindeki maksimum elektrik alan şiddeti artan aksiyel yer değişimi (A) ile artacağından korona başlangıç voltajı da buna bağlı olarak azalacaktır.

Korona başlangıç voltajları, prob üzerindeki hem toplama kolektöründe ölçülen I_A akımı ve hem de tüm silindir üzerindeki toplam $I_{(A+B+C)}$ akımlarının ölçümlerinden elde edilmiştir. Burada akımın yaklaşık $10^6 - 10^7$ A değerleri için ($\sim 0,5 \times 10^{16}$) bir başlangıç gerilim değeri bulunmuş ve bu değer artan aksiyel yer değişim (A) ile azaldığı gözlenmiştir.

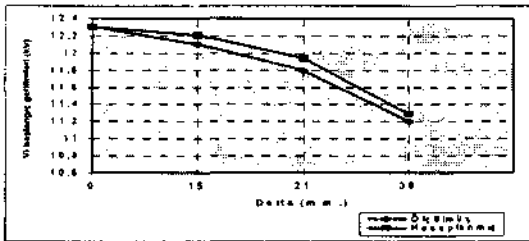
Burada modelleme olarak; elektrik alan şiddeti, aksiyel yer değişim A'ya ve iç iletkenin etrafındaki pozisyona bağlı olduğundan, korona başlangıç voltajı maksimum elektrik alan şiddeti değeri ile kontrol edildiğini varsayan deneysel bir ampirik metod kullanılmıştır. Buradan yüksek gerilim iletkeni üzerindeki maksimum elektrik alan şiddeti hesaplanacak olursa korona başlangıç voltajı;

$$V_i = \frac{E_y}{E_m} \quad (7)$$

olarak elde edilir. E_j başlangıç elektrik alan şiddetidir. Her ne kadar E_j 'nin gerçek değeri paraksiyel sistem için bilinmiyorsa da, koaksiyel sistem yaklaşımından koaksiyel sistemdeki başlangıç elektrik alan değeri alan varsayım kabul edilebilir. Bu yaklaşımın gerçek değerdeki değişiminin fazla olmadığını göstermek için $A = 30$ mm durumunda dahi, yani mevcut çalışmada A'nın maksimum değeri için, Laplace elektrik alan şiddetinin iç iletken etrafındaki değerinin koaksiyel sistemdekinden çok az miktarda farklılığı olduğu gösterilebilir. Bu kabullere göre E_j 'nin değeri;

$$E_j = \frac{V_{ic}}{r_o \cdot \ln(R/r_o)} \quad (8)$$

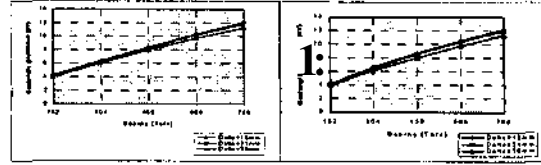
formülü kullanılarak, yaklaşık olarak $V_{ic} = 12,2$ kV için $E_j = 84$ kV/cm hesaplanmıştır. Hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç elektrik alan şiddetleri Şekil 6'da görüldüğü gibi, birbirini uyum içerisinde.



Şekil 6. A'nın fonksiyonu olarak korona başlangıç geriliminin grafiği

Tablo 2. Ölçülmüş ve koaksiyel sistem maksimum elektrik alan değeri yaklaşımında hesaplanmış başlangıç gerilimleri

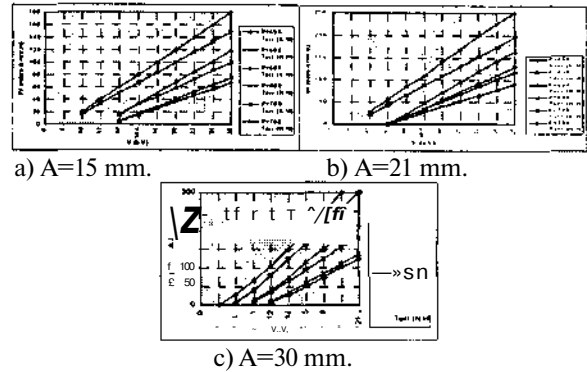
Basınç (Torr)	Ölçülmüş (kV)			Hesaplanmış (kV)		
	A=15 mm	A=21 mm	A=30 mm	A=15 mm	A=21 mm	A=30 mm
152	4,3	4,2	3,9	4,21	4,11	3,89
304	6,4	6,2	6	6,61	6,4	6,09
456	8,4	8,2	7,9	8,66	8,49	8,01
608	10,3	10,2	9,7	10,56	10,31	9,74
760	12,1	11,8	11,2	12,21	11,94	11,29



Şekil 7. Farklı basınçlarda üç A değeri için a) ölçülmüş başlangıç gerilimler grafiği b) hesaplanmış başlangıç gerilimler grafiği c) ölçülmüş ve hesaplanmış başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması (normal nemli hava)

3.2. I-V Karakteristiği

Koaksiyel sistemde olduğu gibi, paraksiyel sistemde I-V karakteristiğinde akımın gerilimle ikinci dereceden değişimi, her A değeri için görülmüştür. Deneysel verilerden elde edilen iletkenlik (I/V) - V eğrileri Şekil 8'de gösterildiği gibidir. Burada; KN:kuru hava, NH:normal nemli havayı göstermektedir.



Şekil 8. Farklı basınçlar için iletkenlik voltaj grafiği

Bu doğruların x eksenini kestiği uzantılarındaki gerilim değerleri, ölçülen korona başlangıç gerilim değerlerini vermektedir

3.3. Akım Yoğunluğu Profilleri

Dış silindir üzerindeki akım yoğunluğu dağılımı, Lineer probun üzerindeki A kollektörünün dönüş açısı 0' nın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Dış silindir üzerindeki bu akım yoğunluğu profillerinin integrali, ölçülen (I_{A+B+C}) akımı değerleri ile karşılaştırılmış ve her A değeri için % 2 hata sınırı içerisinde olduğu anlaşılmıştır. Akım yoğunluğu profillerinin büyüklüğü, I-V eğrilerinde olduğu gibi uygulanan gerilim ve aksiyel yer değişim ile doğru orantılıdır.

Maksimum akım yoğunluğunun ($\theta=0$ iken) değişimi uygulanan gerilimle yine ikinci derecedendir. Maksimum akım yoğunluğu değerine göre normalize edilmiş akım yoğunluğu profillerinin (J/J_{max}), uygulanan gerilimden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir.

Paraksiyel sistem için, hat-düzlem konfigürasyonuna benzer şekilde [6] akım yoğunluğu için şu ampirik formül elde edilmiştir.

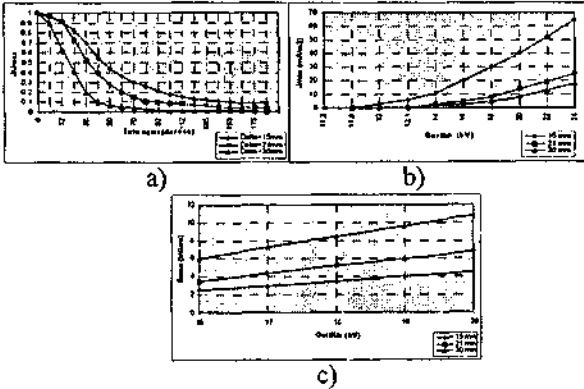
$$\frac{J}{J_{max}} = \frac{1}{[1 + RO I (R - A)^2]^m} \quad (9)$$

bu formülde $n = 2.4 A/R$ ' dir [7]. Aksiyel yer değiştirme A değeri için bu formül hat-düzlem geometrisi ile bulunan ampirik formül ile benzer olduğu anlaşılmıştır [6,8].

Şekil 9a da, farklı A değeri için akım yoğunluğu profilleri 0' nın fonksiyonu olarak verilmektedir.

Şekil 9b de, maksimum akım yoğunluğunun, V nin fonksiyonu olarak değişimi görülmektedir. Toplam korona akımında olduğu gibi, akım yoğunluğunun uygulanan gerilime göre ikinci dereceden değişimi gözlemlenmiştir.

Maximum elektrik alan şiddetinin uygulanan gerilim ile ilişkisi ise Şekil 9c' de görüldüğü gibi doğrusal bir değişim göstermiştir.



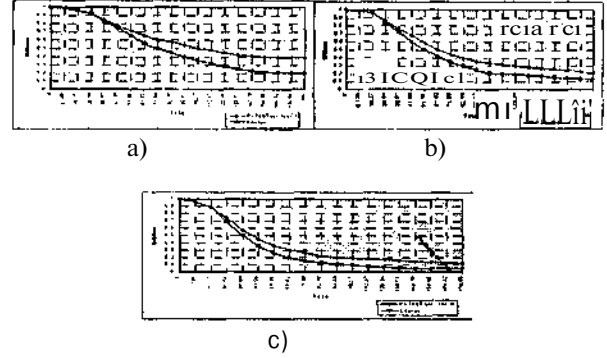
Şekil 9. Değişik A değerleri için a) $J/J_{max} - 0$ grafiği
b) maksimum akım yoğunluğu - gerilim grafiği
c) maksimum elektrik alan şiddetinin gerilime göre değişimi

3.4. Elektrik Alan Profilleri

Elektrik Alan profillerinin değişiminin, akım yoğunluğu profillerine nazaran A' ile değişiminin daha az hassas olduğu anlaşılmıştır. $\theta=0$ için E_{mM} ölçülmüş ve profiller buna göre normalize edilmiştir. Elektrik alan profilleri için elde edilen ampirik formül ise;

$$E/E_{max} = 1 / [1 + R6 / (R-A)^2]^m \quad (10)$$

olup $m = 0.9(A/R)$ ' dir. Şekil 10'da her üç A için Elektrik Alanların dönme açısı 8' ya göre değişimi Laplas elektrik alan değerleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 10. Normalize edilmiş elektrik alan profili a) A = 15 mm için b) A = 21 mm için c) A = 30 mm için

Bu şekillerden görüldüğü gibi normalize edilmiş (per-ünit) elektrik alan şiddetleri karşılaştırıldığında Laplace elektrik alanının profili daha keskindir.

KAYNAKÇA

- [1] Warburg , E., 1899, Über die Spitzenentladung, *Wied. Ann.*, Vol. 67, pp. 68-93.
- [2] Bouziane , A., Hidaka K., Taplamacioglu , M.C., Waters , R.T., 1994, Linear-geometry electric-field probe for DC corona measurements, *IEE Proceedings of Science, Meas. and Tech.*, Vol 141, No. 2, pp 111-117.
- [3] Waters , R.T., Stark , W.B., 1975, Characteristics of Stabilised Glow Discharge in Air, *J. Phys. D. Appl. Phys.* , Vol.8, pp.416-426
- [4] Durbin , P.A., Turyn , L., 1987, Analysis of the positive de corona between coaxial cylinders, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.20, pp.1490-1495.
- [5] Hartmann, G., 1984, Theoretical evaluation of Peek's law, *IEEE Trans. On Ind.Appi*, Vol. IA-20, No.6, pp.1647-1651
- [6] Bouziane , A., Taplamacioglu , M.C., Hidaka K., Jones J.E., Rowlands A.R. , Waters, R.T., 1990, Generalised representation of corona current and field distribution in hvde lines, *Proc. 25 th Universities Pov'er Engineering Conference*, Aberdeen, U.K., pp. 207-210.
- [7] Bouziane , A., 1991, Charge Transport in Corona Discharge, Doktora Tezi, *University of Wales College of Cardiff* UK.
- [8] Bouziane , A., Hidaka, K., Jones , J.E., Rowlands, A.R., Taplamacioglu, M.C. , Waters , R.T., May 1994, Paraxial corona discharge Part 2: Review, instrumentation and experiments, *IEE Proc*, Vol 141, No. 3, pp 205-214.

LÜLETAŞININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Özcan KALENÜER.Lİ
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik - Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
80626 Maslak/İstanbul
ozcan@elk.itu.edu.tr

Hasbi İSMAİLOĞLU
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi
41040 İzmit/Kocaeli
hasbi@kou.edu.tr

ABSTRACT

Meerschaum is a mineral, hydrous silicate of magnesium, of organic origin. Composed of the fossilized shells of tiny sea creatures that fell to the ocean floor millions of years ago, meerschaum is found in red clay deposits. In this study, relative permittivity ϵ_r and dielectric loss factor $\tan \delta$ of the meerschaum were measured as a function of sample temperature at alternating voltage, using Schering Bridge. The results, obtained on specimens of meerschaum, are reported and compared with those of well-known solid insulator materials.

1. GİRİŞ

Katı yalıtkan maddeler, her türlü elektrik devre, tesis ve aygıtında yalıtıcı ve taşıyıcı olarak kullanılan malzemelerdir. Elektriksel amaçlı kullanılan iyi bir katı yalıtkan malzeme, düşük di elektrik kaybına, yüksek mekanik dayanıma sahip olmalı, ısı ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalı, içinde gaz boşluğu ve nem bulunmamalıdır [1].

Katı yalıtkanlar maddeler, sıvı ve gaz yalıtkan maddelere göre daha yüksek delinme dayanımına sahiptir. Elektriksel yalıtımla ilgili çalışmalarda, katı yalıtkan maddelerde delinme üzerine çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Delinme koşulları ortadan kalktığı anda, delinmeye uğramış gaz ve sıvı yalıtkanlar gibi özönarımli maddeler, delinme dayanımlarını tamamen veya kısmen yeniden kazanırken; katı yalıtkan maddelerdeki bozulma kalıcı olmaktadır.

Yalıtım sistemleri genellikle gaz, sıvı veya katı yalıtkan malzemelerden oluşur. Bu tür sistemler özellikle yüksek gerilimde, havanınkinin birkaç katı delinme dayanımına sahip olmak zorundadır. Uygulamada, bu malzemelerin yalnızca fiziksel özellikleri değil aynı zamanda teknolojik ve yapısal özellikleri de göz önüne alınmalıdır [2].

Yalıtım sistemlerinin ve yalıtkan malzemelerin özelliklerini ve farklı koşullar altında davranışlarını saptamak için pek çok çalışma yapılmaktadır [3]. Son eğilimler, farklı ve yeni tür malzemeler geliştirmeye ve bu malzemelerin

özelliklerini belirleyip, uygun koşullarda kullanmaya yöneliktir. Bu eğilimler yönünde, sunulan bu çalışmada da amaç, doğal bir malzeme olan lületaşının elektriksel özelliklerini incelemek, elde edilecek sonuçlara göre bir elektriksel malzeme veya bir yalıtkan olarak kullanılabilme olanaklarını irdelemektir.

Lületaşı, yabancı dillerde "Meerschaum" olarak bilinen Almanca'da deniz köpüğü anlamına gelen, yaygın olarak süs eşyası yapımda kullanılan bir malzemedir. Lületaşına, köpük gibi hafif ve beyaz olması nedeniyle deniz köpüğü anlamı yüklenmiştir. Lületaşı, gözenekli ve nem tutucu doğal bir madde olup, magnezyum hidrosilikat ($Mg_8(H_2O)_4(OH)_4Si_{12}O_{30}$) türü, kristal yapıli bir mineraldir. Milyonlarca yıl öncesinde okyanusların altında kalmış deniz canlılarının fosilleşmiş kabuklarından oluşan lületaşı, yerin altında kırmızı kil tabakasında bulunur. En yüksek kaliteli lületaşı, dünyada yalnızca bir yerde, Eskişehir'de bulunur. Lületaşı yatakları, çok dar bir bölgede bulunmaktadır.

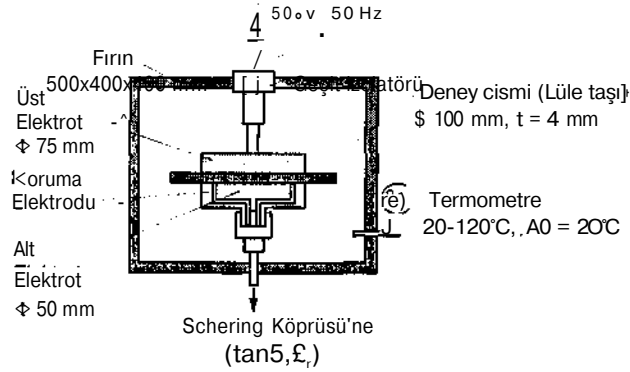
Lületaşı el araçları ile çıkarılan ve işlenmesi aileden gelen eğitimle sürdürülen bir uğraştır. Lületaşı yerin yaklaşık 70-90 m kadar derinliklerinden çıkarılır. Madenciler kaba (ham) lületaşı parçalarını çıkardıktan sonra yıkar ve kalitesine göre altı kategoriye ayırır. Bu altı kategorinin her biri, daha sonra boyutuna, rengine, gözenekliliğine ve homojenliğine göre alt kategorilere ayrılır [4].

Bu çalışmada, lületaşının, dielektrik kayıp faktörü ve bağıl dielektrik katsayısı gibi elektriksel özellikleri deneysel olarak incelenmiş ve yapılan çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgiler sunulmuştur.

2. DENEY BİLGİLERİ

Lületaşının elektriksel özelliklerinden bağıl dielektrik katsayısı ve dielektrik kayıp faktörü deneysel olarak belirlenmiştir. Deneyler, işlenmemiş, ham lületaşı örnekleri (numuneleri) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Lületaşı örneklerinin hazırlanmasında, ham lületaşının 15-30 dakika kadar suda tutulması durumunda yumuşamasından ve bu

durumda da kolay işlenebilmesinden yararlanılmıştır. Bu yolla işlenebilecek hale getirilen örneklerden, yaklaşık 100 mm çapında, 4 mm kalınlığında disk şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Islatılarak hazırlanmış olan bu numuneler, deneyden önce nemlerini almak ve kurutmak amacıyla yaklaşık 2 saat süre ile, yaklaşık 120°C sıcaklığındaki bir fırın içinde tutulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeni.

Deneylerde, pirinç malzemeden yapılmış düzlem-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Kullanılan elektrot sisteminin üst elektrodu, 75 mm çapında, 15 mm yüksekliğinde, kenarları yuvarlatılmış disk şeklinde bir elektrot, alt elektrodu ise elektrot kenar etkisini azaltmak amacıyla bir koruma halkası ile çevrilmiş, 50 mm çapında yine disk şeklinde bir elektrottur. Deney cismi (lületaşı numunesi) bu iki elektrot arasına yerleştirilmiştir. Bu düzen, 500x400x400 mm boyutlarında termostatlı, sıcaklığı 250°C'ye kadar ayarlanabilen bir fırın içine yerleştirilmiştir.

Elektrot sisteminin üst elektrodu, 100 kV, 5 kVA, 50 Hz'lik bir fazlı yüksek gerilim kaynağına (yüksek gerilim deney transformatörüne), alt elektrodu Schering köprüsüne bağlanmıştır. Alt elektrot çevresindeki koruma elektrodu (halkası) ise topraklanmıştır.

Lületaşı, ısıya dayanıklı ve hafif bir malzeme olmasından dolayı ağızlık, pipo gibi süs eşyalarının yapımında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Çalışmada lületaşının bu özellikleri dikkate alınarak lületaşının elektriksel özelliklerini sıcaklıkla ilişkili olarak incelenmesi uygun bulunmuştur. Bu inceleme sonunda yüksek sıcaklıklarda kullanmaya uygun, hafif ve iyi bir yalıtkan seçeneği elde edebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle numunelerin sıcaklığı, oda sıcaklığından 120°C'ye kadar yaklaşık 20°C'lik sıcaklık artışları ile değiştirilmiştir. Her sıcaklık basamağında, ölçmelerden önce, numunelerin kararlı sıcaklığa ulaşması için yaklaşık 1 saat süreyle beklenmiştir. Sıcaklıklar yaklaşık 2°C doğruluklu bir termometre ile ölçülmüştür.

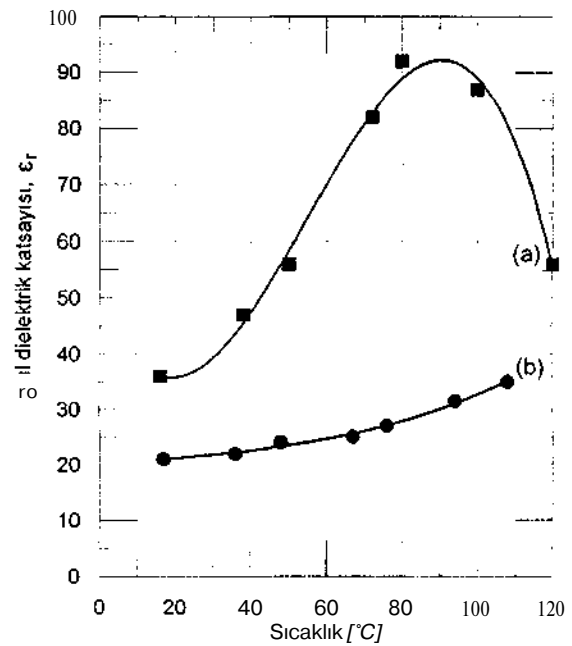
Ayarlanan her bir sıcaklıkta, lületaşı numunesinin dielektrik kayıp faktörü ve bağıl dielektrik katsayısı ölçülmüştür. Böylelikle, ölçülen büyüklüklerin sıcaklıkla değişimi elde edilmiştir.

Lületaşı numunelerinin dielektrik kayıp faktörü ve bağıl dielektrik katsayısı ölçmeleri, 500 V etkin değerli alternatif gerilimde yapılmıştır. Çalışmada, dielektrik kayıp faktörü ölçme alt sınırı 10^{-6} , doğruluğu ise $\pm \%1$ olan Schering köprüsü kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Lületaşının ϵ_r bağıl dielektrik katsayısı ve tan δ dielektrik kayıp faktörü, Schering köprüsü ile sabit alternatif gerilimde numune sıcaklığının işlevi olarak ölçülmüştür.

Şekil 2 ve 3'de, sabit gerilimde (500 V_{etkin}), iki farklı lületaşı numunesinin ϵ_r bağıl dielektrik katsayısının ve tan δ dielektrik kayıp faktörünün sıcaklığa bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Bu şekillerde, (a) ve (b) eğrileri, lületaşı numunelerinin, iki farklı sürede ön koşullandırılması sonrasında elde edilen sonuçları göstermektedir. Ön koşullandırma süresi olarak, yaklaşık 120°C sabit sıcaklıkta, (a) eğrisi için 2 saat, (b) eğrisi için 4 saat alınmıştır.



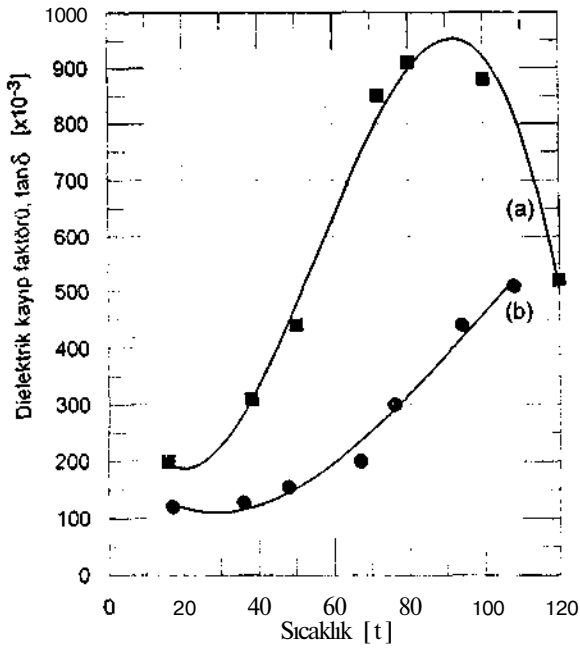
Şekil 2. Lületaşının ϵ_r bağıl dielektrik katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi.

(a) ~120°C'de 2 saat kurutmadan sonra,
(b) ~120°C'de 4 saat kurutmadan sonra.

Lületaşının, Şekil 2'de verilen, ϵ_r bağıl dielektrik katsayısı, aşağıdaki bağıntıdan elde edilmiştir.

$$\epsilon_r = C_x / C_o \quad (D)$$

Bu bağıntıda C_x deney numunesinin (elektrotlar arasında lületaşının bulunduğu durumda) Schering Köprüsü ile ölçülen kapasitesini, C_o ise elektrotlar arasında lületaşı yerine vakum olduğu varsayıldığı durumdaki kapasiteyi (geometrik kapasiteyi) göstermektedir. Geometrik kapasite denklem (2)'den hesaplanmıştır.



Şekil 3 Lületaşının tanδ dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi.

- (a) ~120°C'de 2 saat kurutmadan sonra,
(b) ~120°C'de 4 saat kurutmadan sonra.

$$C_o = \epsilon_o A / t \quad (2)$$

Bu denklemden, $E_o = 8,854 \times 10^{12}$ F/m vakumun dielektrik sabitini, A elektrotların etkin yüzey alanını, t ise elektrot açıklığını veya numune kalınlığını göstermektedir. Çapı D olan, daire kesitli bir elektrodun etkin yüzey alanı,

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (3)$$

bağıntısından hesaplanır.

Hem bağıl dielektrik katsayısı hem de dielektrik kayıp faktörü, ~90°C'ye kadar sıcaklıkla hızla artmaktadır. Bu sıcaklığın üstünde (a) numunesi için bu büyüklüklerde yavaşça azalma görülmektedir. Diğer yandan, bu değerler, (b) numunesi için, çalışılan sıcaklık bölgesinde bir maksimum göstermeksizin sıcaklıkla düzenli olarak artmaktadır.

Lületaşının dielektrik katsayısının sıcaklığa bağlılığı, iyonsal kutuplanmaya bağlanabilir. Bu olay nedeniyle, E, bağıl dielektrik katsayısı, artan sıcaklıkla artar. Düşük sıcaklıklarda, malzemenin molekülleri yönlenebilir. Sıcaklık arttığında dipoller yönlendirilir ve bu da dielektrik katsayısını artırır. Sıcaklık, düzensiz ısı salınımlarına yol açar, moleküller

yoğunlaşır ve yönlendirme düzenlerinde bozulma olur. Bu eğrisinin bir maksimumdan geçmesine ve maksimumdan sonra bir azalmaya sebep olur. Yaklaşık 90°C sıcaklıkta (a) numunesi için bu maksimuma erişilir (Şekil 2'deki (a) eğrisi). Diğer yandan, (b) numunesi için, bu maksimum, çalışılan sıcaklık aralığından daha yüksek sıcaklıklarda görüleceğe benzemektedir.

Dielektrik kayıp faktörü tanδ, yukarıda er için açıklanan aynı etkiden dolayı artan sıcaklıkla yavaşça yükselir. Kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi, elektriksel iletim kayıpları ile dielektrik kayıplarının toplamına bağlıdır.

4. SONUÇLAR

120°C sıcaklıkta yaklaşık 2 saat süreyle kurutulmuş lületaşı numunesi için hem bağıl dielektrik katsayısı hem de dielektrik kayıp faktörü, ~90°C sıcaklığa kadar artan sıcaklıkla hızla artmakta, bu sıcaklıktan sonra yavaşça azalmaktadır. Diğer yandan, bu büyüklükler, aynı sıcaklıkta 4 saat kurutulmuş numune için, çalışılan sıcaklık bölgesinde bir maksimum göstermeksizin, artan sıcaklıkla daha yavaş bir artış göstermektedir. Bağıl dielektrik katsayısının ve dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimleri, iyonsal kutuplanmaya bağlanabilir.

Lületaşının hem dielektrik kayıp faktörü hem de bağıl dielektrik katsayısı, özellikle yüksek sıcaklıklarda, pek çok katı yalıtkan maddeninkinden daha yüksektir. Deneylerde kullanılan lületaşının hacimsel öz direnci yaklaşık 5.10^7 Cim mertebesinde ölçülmüştür. Lületaşı, ısı etkilerine dayanıklı bir malzemedir. Lületaşı, elektrik mühendisliğinde, hem yüksek dielektrik katsayısı hem de ısı dayanıklılığı ile pratik kullanımda bir seçenek olarak ortaya çıkabilir.

Lületaşının delinme dayanımı, yüzeysel öz direnci... gibi diğer elektriksel özelliklerinin yanında, mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin araştırılması ve elde edilecek sonuçlar, lületaşına olan ilgiyi arttırabilir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Naidu, M. S., Kamaraju, V., *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill Publ. Co. Ltd., New Delhi, 1989.
- [2] Kind, D., *High-Voltage Experimental Technique-Textbook for Electrical Engineers*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/VViesbaden, 1978.
- [3] H. J. Wintle, "Basic Physics of Insulators", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 25, No. 1, pp. 27-44, February 1990.
- [4] *Türk Standardı*, TS 9561, "Süs Malzemesi Olarak Kullanım için Lületaşı (Meerschaum-For Use as Gems Material)", Kasım 1991.

KOAKSİYEL VE PARAKSİYEL GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ ANALİZİ

M.C. TAPLAMACIOĞLU, Ö. SAYILIR ve M.S. DİNÇER

Gazi Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

06570- Maltepe /ANKARA

E-mail:taplam@mikasa.mmf.gazi.edu.tr

dincer@mikasa.mmf.gazi.edu.tr

ABSTRACT

Corona inception voltage has particular importance for high voltage engineering applications since most of the h.v. apparatus design under this voltage level to prevent the space charge introduced electric field pressure. In the present study, the effect of air density on corona inception voltage has been analysed for both coaxial and paraxial (off-set axis) system; the limiting case of the paraxial system is approximately the important practical configuration of a line to plane system. A good agreement is observed between the measured and Townsend Criterion calculated corona inception voltages.

1.GİRİŞ

Korona, yüksek gerilim altındaki elektrotun çevresindeki gaz ortamının iyonizasyonu sonucunda oluşan ve ortama uzay yükü enjekte ederek Laplas alan dağılımını gerek büyüklük ve gerekse yön olarak değiştiren kısmi elektriksel bir boşalmadır. Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında sıkça görülen ve iletkenin etrafında ışıklı bir zar olarak ortaya çıkan korona boşalmaları, yüksek gerilim hatlarında neden olduğu güç kayıpları yanı sıra elektrokimyasal olaylarla meydana getirdiği kimyasal bileşenler ile yalnız elektriksel zararlara değil, malzemelerde mekanik arızalara ve canlılar üzerinde biyolojik etkilere neden olmaktadır. Korona boşalması sonucunda oluşan ve sürüklenen uzay yüklerinin detaylı olarak bilinmesi, gerek teorik araştırmalar ve gerekse birçok endüstriyel uygulamalar için oldukça önem taşımaktadır. Bu endüstriyel uygulamalara yüksek hızlı basım cihazları ve elektrostatik sprey boyamaları vb. verilebilir.

Korona boşalmasının yüklü parçacıkların taşınması, ozon oluşumu ve iletim hatlarının çevresinde kompleks nitrojen oksitlerin oluşumu gibi kimyasal etkiler ve elektriksel akustik gürültü, radyo ve TV işaretlerinin karışması ve bunun gibi birçok çevresel problemlere de sebep olduğu bilinmektedir [1]. Bunlara karşın iletim hatlarında oluşan yüksek gerilim dalgalarının dikliğini zayıflatarak ve bozarak yüksek gerilim cihazlarının korunması da koronanın pozitif etkileri olarak bilinmektedir [2],

Korona boşalmasının fiziksel mekanizması ve uzay yüklerinin dağılım ve hareketi, uygulanan gerilimin

dalga şekli, polaritesi ve atmosferik koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır [3]. Korona boşalmaları özellikle homojen olmayan (non-uniform) alanların kaçınılmaz olduğu yüksek gerilim mühendisliği uygulamalarında, özel bir öneme sahiptir. Ayrıca korona boşalmasının başlangıç gerilim ve elektrik alanı değerlerinin bilinmesi ve saptanması oldukça büyük önem taşımaktadır. Pratikte, herhangi bir gaz yalıtkanlı yüksek gerilim cihazının tasarımı bu gerilim ve alan seviyesinin altında kalacak şekilde gerçekleştirilir.

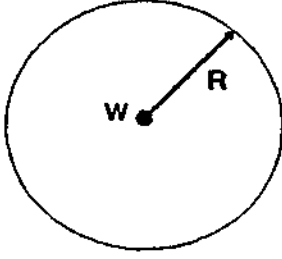
Korona boşalmasının başlaması neticesinde oluşan uzay yükü Laplas denklemini değiştirerek tek kutuplu korona deşarjı ifade eden denklemin doğrusal olmayan ve basit sistemler haricinde analitik çözümü olmayan diferansiyel denklemlerle ifade edilir [4]. Daha önceki bir çalışmada bu denklemler sistemi detaylıca açıklanmış ve hava ve nitrojen içerisinde sadece koaksiyel sisteme ait neticeler verilmişti [5].

Bu çalışmada, silindirik bir dış elektrotun yüzeyi boyunca doğrusal elektrik alan probu ile koaksiyel ve paraksiyel geometrilerde korona başlangıç deneyleri gerçekleştirilmiş ve deneysel bulgular Townsend kriterine göre teorik olarak saptanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

2.ARAŞTIRILAN GEOMETRİLER

Literatürde, korona deşarjı üzerine yapılan deneysel çalışmalar tam- veya indirgenmiş-ölçekli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Tam-ölçekli deneyler korona davranışı hakkında direkt bilgi verseler de pahalı, zaman alıcı ve bazen de kontrolsüz atmosferik etkilerden dolayı yanlış bilgi elde edilmesine neden olabilmektedirler. Ayrıca benzer konfigürasyonlardaki sistemlerden alınan ölçümler arasında büyük ayrılıklar (farklar) ortaya çıktığından dolayı genellikle bu sonuçlara istatistiksel yaklaşımlar gerekmektedir. Sistematik olarak yapılacak istatistiksel çalışmalar ise pahalı ve çoğu zaman gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Diğer taraftan indirgenmiş ölçekli modeller, deneysel çalışmalar için daha uygun olup, düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir. Deneysel sonuçlardan anlaşıldığı gibi indirgenmiş ölçekli modeller aynı geometrilerin tam-ölçekli durumunun birçok karakteristiğini başarıyla modellemektedir [6],

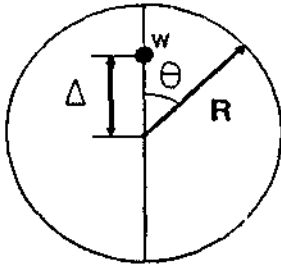
Deneyel olarak korona çalışmaları ilk kullanılan geometri nokta-düzlem ise de (Warburg 1899), bilimsel temelli korona araştırmalarında teorik olarak en çok kullanılan sistem koaksiyel silindir geometrisi olmuştur (Şekil 1-a).



Şekil 1-a : Koaksiyel sistem geometrisi

Bu geometride, elektrik alanının analitik formülasyonu silindirik koordinat sisteminde tek boyutlu olarak kolaylıkla tanımlandığından koaksiyel sistem literatürde sıkça kullanılmıştır.

Yapılan bu araştırmada ise seçilen geometri paraksiyel bir sistem olup, koaksiyel geometriye deneyel olarak indirgenbilmektedir (Şekil 1-b).



Şekil 1-b : Paraksiyel sistem geometrisi

Şekil 1-b' de;
w: iç iletken,
A: eksenel yer değişimi,
R :dış yarıçapı,
θ : probun dış silindirin merkeziyle yaptığı açığı,
P : iletken ile ölçüm yapılan nokta arasındaki açığı tanımlamaktadır.

Paraksiyel geometrinin avantajları şöyle sıralanabilir;

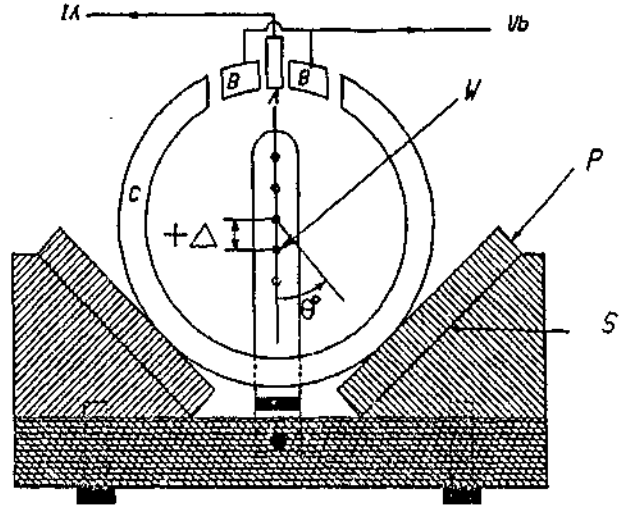
1. Paraksiyel sistemde iki boyutlu elektrik alanı düzgün değildir, ancak elektrotlar arası bölgenin her noktasında hesaplanabilir.
2. Alan dağılımının kontrolü basitçe A eksenel yer değişimi ile elde edilir.
3. $A=0$ değerinde sistem koaksiyel silindir geometrisindedir. $A \rightarrow R$ yaklaşık olarak önemli pratik konfigürasyon hat düzlem elde edilir.
4. Alanın düzgün olmama (nonuniformity) seviyesi E_m/E_i , parametreleri ile ifade edilir. Korona altında sınır koşulları kompleks değildir, dolayısıyla paraksiyel

sistem nümerik elektrik alan hesaplamaları için oldukça uygundur.

5. Akım yoğunluğu ve elektrik alan profilleri dış silindir üzerindeki ölçüm probun basitçe döndürülmesi ile elde edilir.

3. DENEY SETİ

Daha önceki çalışmalarda koaksiyel sistemde değişik iletken çaplarında hava ile N_2 ortamlarında korona başlangıç ölçümleri yapılmıştır [5]. Bu çalışmada ise paraksiyel korona başlangıç gerilim ve elektrik alan değerleri normal havada ve 152-760 Torr basınç aralığında analiz edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 2' de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin kesiti

Eksenel yer değişimi "A" iç iletken "w" nun deney setinin her iki ucundaki tel tutucularındaki konumu değiştirilerek ve "P" perspektif levhalarının dış silindirin "C" altına yerleştirilmesi ile sağlanmıştır. A ve B lineer geometrili probun sırasıyla akım toplama ve beyz geriliminin uygulandığı kolektörlerini oluşturmaktadır. Korona başlangıç gerilimleri, prob üzerindeki hem toplama kolektöründe ölçülen I_A alanı hem de dış silindir üzerindeki toplam $I(A+B+Q)$ akımlarının ölçümlerinden elde edilmiştir. Bu akımın yaklaşık 10^{-10} A değerleri için ($\sim 0.5 \times 10^{-10}$ A) bir başlangıç gerilim değeri kabul edilmiştir.

Dış silindir çapı 100 mm olup, koaksiyel ve paraksiyel sistem için iç iletken çapı 0.56 mm olarak seçilmiştir. Deney seti basıncı kontrol edilebilir kapalı bir test hücresi içerisine yerleştirilmiş ve ölçümler her iki geometri için sırasıyla 760, 608, 456, 304 ve 152 Torr basınçlarda gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığını sabit tutmak ve korona ölçümü esnasında oluşan gaz bileşenlerini uzaklaştırmak için, basınç sabit tutulurken, giriş valfindan temiz hava girerken, vakum pompası sürekli olarak çalıştırılmıştır.

4. ÖLÇÜMLER ve HESAPLAMALAR

Koaksiyel silindir sisteminde korona başlangıç değeri Laplas elektrik alanının korona teli etrafında radyal dağılımından dolayı simetrik olarak yer alır. Başlangıç gerilimi öncelikle korona telinin kesimine bağlıdır. Paraksiyel sistemde ise, Laplas elektrik alan dağılımı tel üzerinde düzgün değildir ve korona başlangıç değeri seçilen tel kesiti için "A" eksenel yer değişimine bağlıdır. Koaksiyel sistem için yapılan korona başlangıç gerilim ve elektrik alan hesabı için Peek' in geliştirdiği formül;

$$E_t = E_o \hat{a} m \left[1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta r_o}} \right] \quad (D)$$

dir. Burada $E_o = 31.25$ kV/cm olup;

$$\hat{a} = 0.386 (P/(273+t)) \quad (2)$$

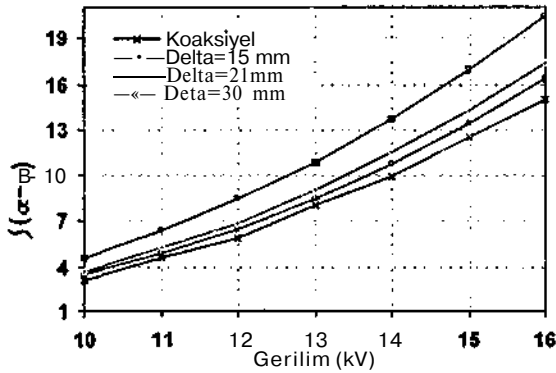
olarak tanımlanır.

Bu araştırmada, koaksiyel ve paraksiyel geometrilere kritik elektrik alan çizgileri bir yük simülasyon programı yardımı ile bulunmuştur. Hava için kullanılan etkin iyonlaşma katsayısı $cF = (oc-r)$ ifadesi olup, Harrison & Geballe' den alınıp ampirik olarak [7];

$$\hat{a}(E/P, P) = P \cdot 1.10^{-4} [1.047(E/P - 28.5)^2 - 12.6] \quad (3)$$

ile ifade edilen bir yük-simülasyon programı yardımıyla korona başlangıç değerleri hesaplanmıştır.

Koaksiyel ve $A=15, 21$ ve 30 mm olan paraksiyel geometri için Townsend delinme kriteri kullanılarak korona iletkeni "w" 'nun, dış elektrot "C" 'y' en yakın eksenel boyunca olan kritik alan çizgisi üzerinde değişik integre edilmiş etkin iyonizasyon katsayılarına $(J(a-r)d^{\wedge})$ göre korona başlangıç gerilim değişim grafiği elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İntegre edilmiş etkin iyonizasyon katsayılarına göre korona başlangıç gerilimleri

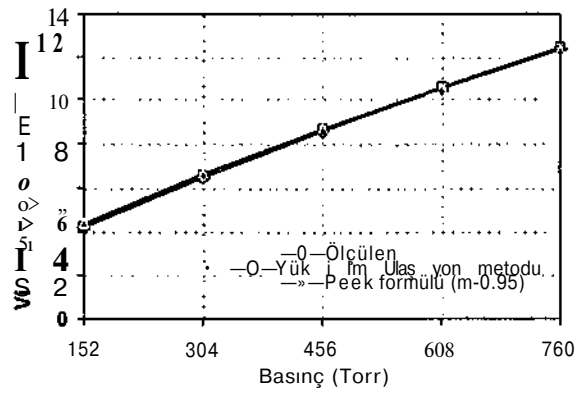
Bu çalışmada koaksiyel silindir geometrisi için ölçülen ve yük simülasyon metodu ile saptanan korona başlangıç gerilimleri Tablo 1' de Peek formülü sonuçlarıyla birlikte

karşılaştırılarak verilmiştir. Şekil 4 ise koaksiyel sistemde korona başlangıç geriliminin basınçla değişimini göstermektedir.

Yapılan araştırmada ölçüm değerleri ile yük simülasyon metodu ile bulunan korona başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılarak Townsend delinme kriterine göre etkin iyonlaşma katsayısı integralinin 7 olduğu durum için sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

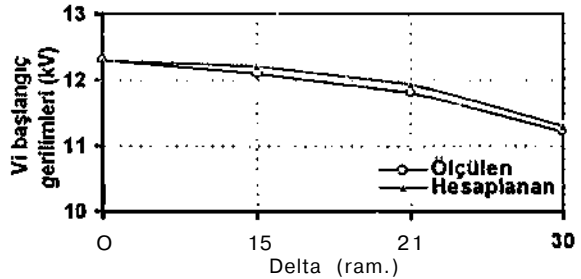
Tablo 1. Koaksiyel geometride ölçülen ve hesaplanan korona başlangıç gerilimleri

Basınç (Torr)	ölçülen (kV)	Peek Formülü		Yük simülasyon metodu
		m=1.0	M=0.95	
152	4.2	4.6	4.4	4.25
304	6.5	7.1	6.7	6.6
456	8.6	9.2	8.7	8.7
608	10.5	11.1	10.5	10.6
760	12.4	12.9	12.3	12.5



Şekil 4. Koaksiyel sistemde korona başlangıç geriliminin basınçla değişimi

Paraksiyel sistemde eksenel sapmalar $15, 21$ ve 30 mm için ölçümler yapılmış ve yük simülasyon programında Townsend kriteri ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Korona başlangıç geriliminin artan eksenel yer değişim A ile azaldığı görülmüştür. Ölçülen değerler ile hesaplanan başlangıç gerilim değerlerinin A ' ya karşın değişimi birbiriyle aynı karakterdedir.

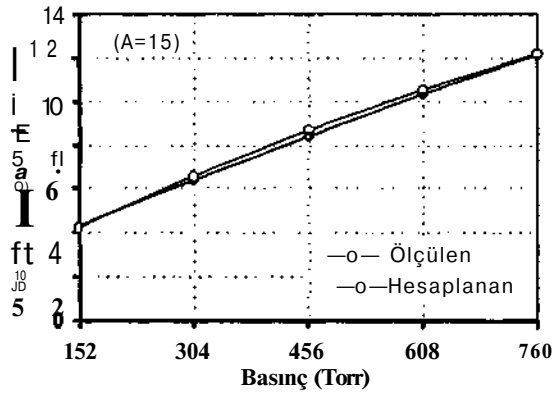


Şekil 5. Korona başlangıç geriliminin eksenel sapmaya göre değişimi

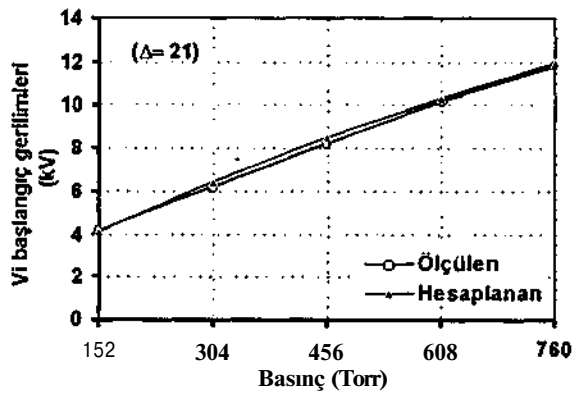
Paraksiyici sistemde korona başlangıç gerilimine ait son bir deney ise, atmosfer basıncının sırasıyla 760, 608, 456, 304, ve 152 Torr olarak değiştirilerek ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması olmuştur (Tablo 2 ve Şekil 6).

Tablo 2: ölçülen ve hesaplanan korona başlangıç gerilimleri.

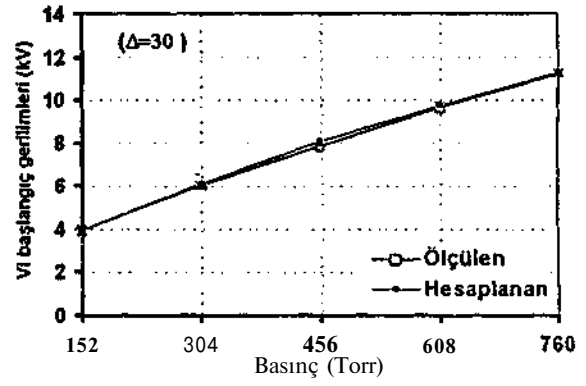
Basınç (Torr)	Ölçülen (kV)			Hesaplanan (kV)		
	A=15 mm	A=21 mm	A=30 mm	A=15 mm	A=21 mm	A=30 mm
152	4.3	4.2	3.9	4.21	4.11	3.89
304	6.4	6.2	6	6.61	6.4	6.9
456	8.4	8.2	7.9	8.66	8.49	8.1
608	1.3	1.2	9.7	1.56	1.31	9.74
760	12.1	11.8	11.2	12.2	11.9	11.29



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. Paraksiyel geometride korona başlangıç geriliminin basınçla değişimi [a)A=15mm, b)A=21mm, c)A=30mm]

5.SONUÇ

Bu çalışmada koaksiyel ve paraksiyel geometriye ait korona başlangıç gerilimleri ölçülmüş ve yük simülasyonu ile saptanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Ölçümler ile hesaplamaların birbirleri ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir, integre edilmiş etkin iyonlaşma katsayısının (=7) seçildiği durum için, hesaplamaların ölçümlerle çok yakın ilişkide olduğu bulunmuştur. Ayrıca artan eksene! yer değişim A ile iletken üzerindeki maksimum elektrik alan şiddeti arttığından korona başlangıç geriliminin düştüğü gözlenmiştir.

Azalan atmosferik basınç ise iyon hareketliliğini arttırdığından, korona başlangıç gerilimi düşmüştür. Bir sonraki çalışmanın konusu, bu geometrilerde toplam korona akımının, akım yoğunluğu dağılımının ve elektrik alan profillerinin analizi olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Kuffel, E., Zaengel, W.S., High Voltage Engineering, Oxford University Press, Pergamon, 1988.
- [2] Harid, H, Impulse Voltage Testing of Phase Conductor Models, Ph.D. Thesis, University of Wales College of Cardiff, UK, 1990.
- [3] Loeb, L.B., Electrical Coronas, University of California Press, USA, 1965.
- [4] Amoroso, V., Lattarulo, F., "Ion flow from two-conductor bundle emitters", Journal of Electrostatics, Vol.43, N.1, pp. 1-18, 1998.
- [5] Taplamacıoğlu, M. Cengiz ve Dinçer, M. Sezai, "Hava ve N2 Ortamlarında Korona Başlangıç Voltaj ve Ölçüm Analizi", Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, sayfa 294-297, 1995.
- [6] Sebo, S.A., Caldecott, R., Kasten, D.G, Model study of hvde electric field, IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-101, No.6; pp. 1743-1756, 1982.
- [7] Harrison, M.A., Geballe, R., "Simultaneous measurement of ionisation and attachment coefficients", Phys. Rev. Vol.91, No.1, pp. 1-7, 1953

W-Ag ESASLI ELEKTRİK KONTAK MALZEMESİNİN ARK EROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ziya ASLANOĞLU ve Yılmaz KARAKAŞ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Sakarya Üniversitesi
54040 Adapazarı
E mail:aslanz@esentepe.sau.edu.tr

ABSTRACT

in this study, electrical contact materials produced by wet mixing of wt%65W-35Ag powders with wt%0.25Ni were tested by computer controlled swiching test machine at 220 Vac, resistive load and different test currents 10 A, 15 A and 20 A. Effects.of polarity on the contact materials were also investigated at the same sviching test condition. After the switching test arc effected surfaces were investigated using Scanning Electron Microscope (SEM).

The results show that the material transfer from one electrode to another depend on the current and the polarity of moving contact.

1. GİRİŞ

Elektrik kontak malzemeleri, elektrik devrelerini açan ve kapayan metal parçalardır. Bütün şartlar altında ve her tür uygulamalar için mükemmel bir kontak malzemesi gibi iş görebilen tek bir metal veya metal bileşimi mevcut değildir [1]. Bu nedenle kontaklar, genellikle kullanım yerlerine göre ya bir metal veya alaşımı ya da refrakter metaller ile iletken metallerin çeşitli şekillerde birleştirilmesinden oluşan kompozit malzemelerden imal edilmektedir [2-4]. Üretilen kontak malzemeleri devreden akım geçerken devreyi güvenli bir şekilde açıp kapamaları gerekmektedir. Bu nedenle çeşitli yöntemleri ile kontakların erozyon karakteristikleri tespit edilmektedir.

Kontakların ark erozyonu davranışlarında kontakların üretim yöntemi, kullanılan tane boyutu, toz şekli, yoğunluk, mikroyapı homojenliği gibi parametreler de etkin bir rol oynamaktadır [5,6]. Bir çok araştırmacı farklı parametrelerin kontakların ark erozyon davranışları üzerine olan etkilerini inlemiştir. Ancak, kontakların elektrik arki altında davranışlarını tespitinde standart bir yöntem henüz geliştirilmemiştir. Çünkü kullanılan akım (ac veya de) [7], voltaj ve yük [8-10], açma-kapama sayısı ve hızı [11], deney ortamı [12,13] malzemenin erozyon karakteristiğini etkilemektedir. Genel olarak, 10-30 A akım aralığında 110-380 V gerilim altında farklı açma-kapama sayılarında malzemede meydana gelen erozyon ağırlık kaybının tespiti ile erozyon karakteristikleri çıkarılmaktadır [14-17].

Bu çalışmada, 10, 15 ve 20 A akımlarda ve farklı polaritelerde açma-kapama işlemi yapılarak kontaklarda meydana gelen ağırlık kaybı değişimi ölçülmesi ile kontakların erozyon karakteristiklerine açma-kapama akımının ve polaritenin etkileri incelenmiştir.

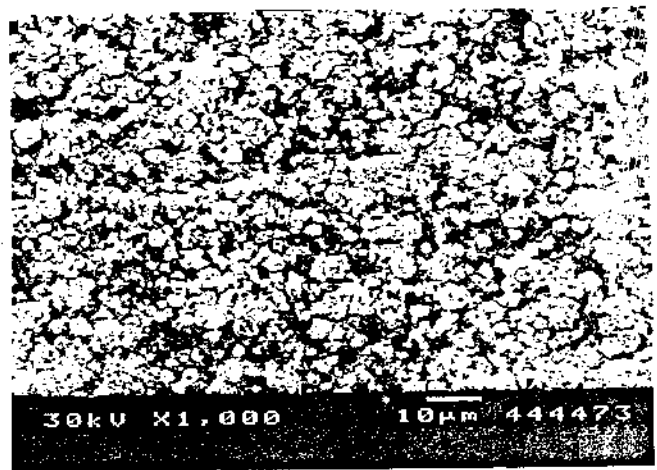
2.DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan kontaklar elementer volfram ve gümüş oksit (Ag₂O) tozlarından yola çıkılarak ağırlıkça %65W-%35Ag olacak şekilde sulu ortamda karıştırma işlemi ile üretilmiştir. Hazırlanan toz karışımına ağırlıkça %0.25Ni ilave edilmiştir. Hazırlanan kompozit tozlar toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir [18].

Sinterlenmiş kontakların ark erozyon karakteristikleri, bilgisayar kontrollü anahtarlama (svitching) test cihazında incelenmiştir. Erozyon testleri, 10, 15 ve 20A alternatif akım, 220 V ve direnç yükü şartlarında 10 000 açma-kapama işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kontak yüzeyleri 1200 gritlik zımpara ile parlatıldıktan sonra ultrasonik banyo da alkol ile temizlenmiştir. Her 2000 işlem sonunda, kontaklar ultrasonik banyoda alkol ile temizlenip, kurutulup, ağırlık kaybı değişimi ölçüldükten sonra aynı test düzeneğinde deney devam etmiştir. 10 000 işlem sonunda ağırlık kaybı ölçümü ile erozyon miktarı tespit edilmiştir. 10 000 işlem sonunda erozyona uğramış kontak yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Ayrıca farklı kutupların (polarite), kontakların erozyon davranışlarına etkilerini görmek amacıyla kontaklar, hareketli kontak negatif kutuplu vt. pozitif kutuplu olarak ayarlanarak test yapılmıştır.

3. DENEYSSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

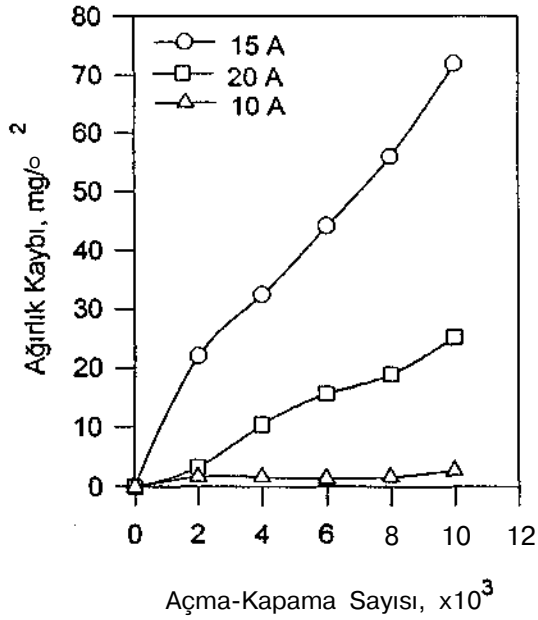
Üretilen kontakların mikroyapısı Şekil 1'de gösterilmiştir,



Şekil 1. W65Ag35Ni0.25 elektrik kontak malzemesinin mikroyapı fotoğrafı.

Şekilden görüldüğü üzere volfram tanecikleri gümüş yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılmıştır. Herhangi bir gümüş bakımından zengin bölge mevcut değildir. Bu ise ark erozyonu esnasında mikroyapıdaki gümüşçe zengin bölgelerin ergiyerek kontakların birbiri ile kaynamasını veya yapışmasını engellemektedir. Ayrıca erozyonu homojen bir şekilde oluşmasını da sağlamaktadır.

Anahtarlama deneyinin gerçekleştirildiği akım, kontakların erozyon hızlarında önemli bir etkiye sahiptir. Bu amaçla kontaklarının açma-kapama testi 10 A, 15 A ve 20 A akım şartlarında gerçekleştirilerek erozyon karakteristikleri incelenmiştir. Şekil 2'de farklı test akımlarının kontakların erozyon davranışına etkileri gösterilmiştir.

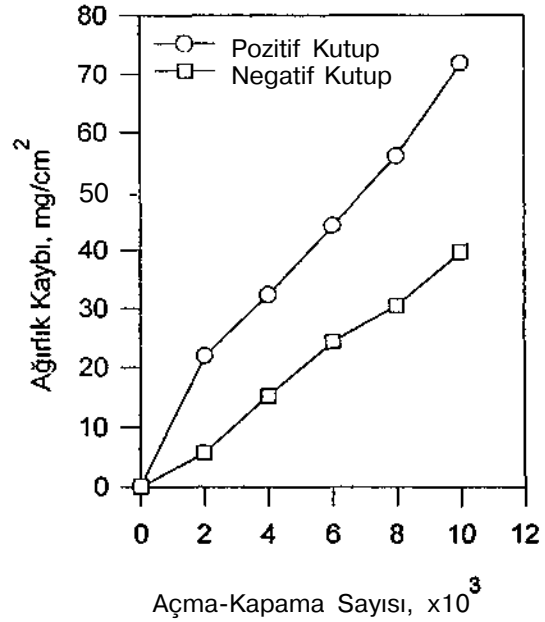


Şekil 2. W65Ag35Ni0.25 elektrik kontağının ark erozyon testinde farklı test akımlarının açma-kapama sayısı ile ağırlık kaybı değişimine etkisi

Şekil incelendiğinde, test akımı 10 A 'den 15 A ve/veya 20 A'e arttığında kontakların erozyon hızının da arttığı görülmüştür. 10 000 açma-kapama sonunda 10 A akımda çok az bir malzeme kaybı (2.75 mg/cm²) meydana gelmesine rağmen 15 A akımda malzeme kaybı 72.01 mg/cm² 'ye artmıştır. Artan ark akımı ile ark enerjisi ve dolayısıyla da oluşan arın tahrip etkisi artmıştır. Bu nedenle test akımı arttıkça malzeme taşınımını da artmaktadır.

Ancak 20 A 'de gerçekleştirilen erozyon testinde test akımının artmasıyla erozyon hızında azalma meydana gelmiştir. 15 A'de 72.01 mg/cm² olan ağırlık kaybı 25.23 mg/cm² 'ye düşmüştür. Bunun nedeni ise kritik bir değer üzerinde artan ark akımlarının malzeme taşınım yönünü değiştirmesidir [11]. Katot olan kontaklarda meydana gelen ark, kontak anot haline dönüştüğünde ark oluşum yönü de değişmekte ve buna bağlı olarak ark ile malzeme taşınımı da azalarak kontak daha az erozyona uğramaktadır.

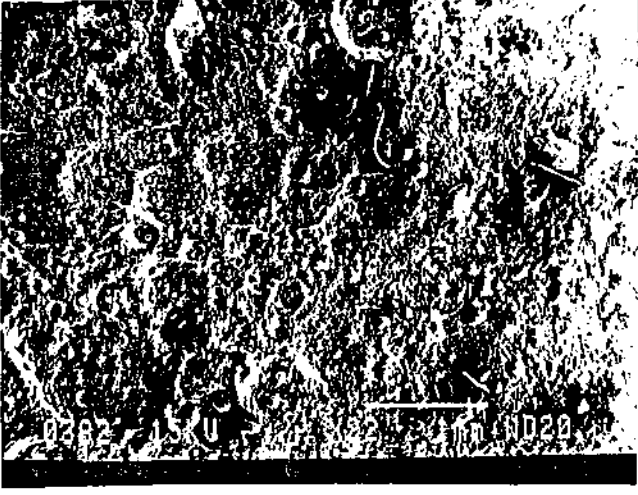
Kontakların farklı kutuplardaki erozyon test sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hareketli kontak pozitif olarak bağlandığında daha yüksek erozyon meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise ark hareketinin veya diğer bir ifade ile malzeme taşınımının katotta anoda doğru olmasıdır. Gray and Pharney [19] malzeme taşınımının iyon bombardımanı ile meydana geldiğini tespit etmiştir. Katot yüzeyinde ergimiş metal sıçraması gözlenmiştir. Bu nedenle katotta malzeme kaybı oluşurken anotta ağırlık artışı meydana gelmektedir. Ayrıca kontağın sabit veya hareketli olması da erozyon hızını etkilemektedir. Hareketli kontağın pozitif kutuplu olması ile en yüksek erozyon meydana gelmektedir.



Şekil 3. W65Ag35Ni0.25 elektrik kontağının ark erozyon testinde farklı kutuplu hareketli kontağın açma-kapama sayısı ile ağırlık kaybı değişimi

10 A akımda gerçekleştirilen 10 000 açma-kapama işlemi sonunda kontak yüzeylerinde meydana gelen morfolojik değişim Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi kontak yüzeyleri ark tesiri ile deformasyona uğramıştır. Ark esnasında oluşan ısı ile yumuşayan yüzeylerde kraterler oluşmuştur. Şekildeki kraterlerin, kontakların açılıp kapanması esnasında darbe tesiri ile meydana geldiği düşünülmektedir. Krater içerisinde ise ark ayakları olarak görev yapan volfram konikleri oluşmuştur. Arın başlama ve bitiş adımlarında yüksek akım yoğunluğu nedeniyle gümüşler buharlaşarak uzaklaşmıştır ve volfram tanecikler ise ergidikten sonra yeniden katılarak volfram aglomerasyonları olarak da isimlendirilen volfram koniklerini oluşturmuştur.



Şekil 4. 10 A akımda 10 000 açma-kapama sonunda pozitif kutuplu hareketli kontak malzemesinin yüzeyi morfolojisi

15 A akımda gerçekleştirilen ark erozyonu testine 10 000 açma-kapama sonunda hareketli kontak numunesinin yüzey morfolojisi incelendiğinde, kontaklarda gümüş boncukları ile beraber ergidikten sonra tekrar katılmış yapı bileşenleri görülmektedir. Şekil 5'te gösterilen yüzey fotoğrafında ergimiş ve sonra tekrar katılmış gümüş volfram aglomerasyonu görülmektedir. Ark tesiri ile gümüş ve volframın ergime ve/veya buharlaşma noktasına kadar ulaşan anlık ısı tesiri (ark) ile yumuşayan ve ergiyen kontak bileşenleri ark kesilmesi ile tekrar katılarak şekildedeki yapıyı oluşturmaktadır. Tekrar katılmış yapının yüzeyi incelendiğinde yüzeyde kılcal çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun nedenin ise mekanik etkiden ziyade ark esnasında meydana gelen ısı tesirinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu fikir, Leung [20] tarafından da desteklenmektedir. 20 A akımda gerçekleştirilen anahtarlama deneylerinde, 15 A akımda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlara benzer bir yüzey morfolojisi elde edilmiştir.



Şekil 5. 15 A akımda 10 000 açma-kapama sonunda pozitif kutuplu hareketli kontak malzemesinin yüzeyi morfolojisi

4. SONUÇLAR

Çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Pozitif kutuplu kontaklarda daha fazla aşınma meydana gelmektedir.
- 2) Pozitif kutuplu kontaklar hareketli kontak olarak çalıştıkları ise erozyon hızı daha fazla artmaktadır.
- 3) Test akımı arttıkça kontakların erozyon hızı da artmaktadır. Ancak kritik akımda (20 A) erozyon hızı azalmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu projeye olan katkılarından dolayı Devlet Planlama Teşkilatı'na (DPT) ve Sayın Gürsel Düzenli'ye teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

- [1] Shen, Y. S., Lattari, P. and Wiegert, J.M., "Electrical Contact Materials", ASM, Metals Handbook, Vol. 7, Ohio, 1984.
- [2] "Electrical Contact Materials" Metals Handbook, ASM, Metals Park, Ohio, Vol. 1, pp. 801-816, 1978.
- [3] "Microstructure of Electrical Contact Materials" Metals Handbook, ASM, Metals Park, Ohio Vol. 1, pp. 220-230, 1978.
- [4] Hayer, N. S., "Electrical Contact Metals", Metals Handbook, ASM, Metals Park, Ohio Vol. 7, pp. 630-644, 1984.
- [5] Leung, C. H., Bevington, R.C., Wingert, P.C. ve Kim, H.J., "Effects of Processing Methods on the Contact Performance Parameters for Silver-Tungsten Composite Materials", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf., Technol., Vol. CHMT-5, No.1, pp. 23-31, 1982.
- [6] Gessinger, G.H. ve Melton, K.N., "Burn-off Behaviour of W-Cu Contacts Materials in an Electric Arc", Powder Metallurgy International, Vol. 9, No. 2, pp.67-72, 1977.
- [7] Schulman, M. B., Slade, P. G. ve Bindas, J. A., "Effective Erosion Rates for Selected Contact Materials in Low-Voltage Contactors", IEEE Trans. Comp., Pack., Manuf., Technol., part A, Vol. 18, No.2, pp. 329-333, 1995.
- [8] Leung, C. H. ve Lee, A., "Electric Contact Materials and Their Erosion in Automotive DC Relays", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf., Technol., Vol. 15, No.2, pp. 146-153, 1992.
- [9] Jemaa, N. B., Nedelec, L. ve Benhenda, S., "Break Arc Duration and Contact Erosion in Automotive Application", IEEE Trans. Comp., Pack., Manuf., Technol., Part A, Vol.19, No.1, pp. 82-86, 1996.
- [10] McBride, J. M. ve Shark, S. M., "Electrical Contact Phenomena During Impact", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf., Technol., Vol.15, No.2, pp. 184-192, 1992.
- [11] McBride, J. W. ve Shark, S. M. A., "The Effect of Contact Opening Velocity and the Moment of Contact Opening on the AC Erosion of Ag/CdO Contacts", IEEE Trans. Comp., Pack., Manuf., Technol., Part A, Vol. 17, No.1, pp. 2-7, 1994

- [12] Slade, P. G. ve Bindas, J. A., "Contact Resistance Variations of Tungsten Contacts Operated in Air and Silver-Tungsten Contacts Operated in Vacuum", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf./Technol., Vol.14, No.1, pp. 2-7, 1991.
- [13] Göre, R. R., Witska, R., Kirby, J. R. ve Chao, J. L., "Corrosive Gas Environmental Testing for Electrical Contacts", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf./Technol., Vol. 13, No. 1, pp. 27-31,1990.
- [14] Slade, P., "Variations in Contact Resistance Resulting from Oxide Formation and Decomposition in Ag-W and Ag-WC-C Contacts Passing Steady Currents for Long Time Periods", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf., Technol., Vol. 9, No.1, pp. 3-5, 1986.
- [15] Walkden, P., Albiston, J.N. ve Sale, F.R., "Reduction of Tungstates for Production of Silver-Tungsten and Silver-Tungsten-Nickel Electrical Contacts", Powder Met., Vol.28, No.1, pp. 36-42,1985.
- [16] Wang, K. ve Wang, Q., "Erosion of Silver Base Material Contacts by Breaking Arcs", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf.,Technol., Vol.14, No.2, pp. 293-297, 1991.
- [17] Slade, P. G., "Effects of the Electric Arc and the Ambient Air on the Contact Resistance of Silver, Tungsten and Silver-Tungsten Contacts", J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 8, pp. 3438-3442, 1976.
- [18] Aslanoğlu, Z., "Toz Hazırlama Yöntemlerinin W65Ag35 Elektrik Kontaklarının Yapı ve Özelliklerine Etkileri", SA.Ü. FBE, Doktora Tezi, 1999.
- [19] Leung, C. H., Wingert P.C. ve Kim, H.J., "A Comparison of Reignition Properties of Several Ag/W, Ag/WC, and Ag/Mo Electrical Contact Materials", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf., Technol., Vol. 9, No.1, pp.86-91, 1986.
- [20] Leung, C. H. ve Kim, H.J., "A Comparison of Ag/W and Ag/Mo Electrical Contacts", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol., Vol.CHMT-7, No.1, pp. 69-75, 1984.

FARKLI MODELLERLE M ELERE SAHİP BİR SF₆ - GAZ İZOLELİ ŞAL TESİSİNDE YILDIRIM AŞIRI GERİLİM KORUMASININ OPTİMİZASYONU

Selim TRABULUS

Aslan İNAN

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80750 Beşiktaş / İstanbul
e-mail: inan@yildiz.edu.tr

ABSTRACT

To protect the SF₆ -gas insulated switchgear systems against the over voltages being due to the lightning discharges the voltage variation at the moment lightning discharge must be calculated. substation and enclosed bus-bars, especially overhead wires should be simulated completely as far as possible. Therefore, simulating of the electrical problems based on the switching technique will be very suitable to use a simulating computer program. Applying of a program meeting such needs for its different connecting models inside a switchgear system was shown by the aid of examples.

1. GİRİŞ

Salt tesislerinde geçici aşırı gerilimlerin hesaplanması için bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu programlar, yıldırım dalgasının diferansiyel denklemlerinden çıkartılan basitleştirilmiş hesaplama metodlarını kullanırlar. İlgili metodlar, salt tesisindeki yıldırım aşırı gerilimlerini tesiste meydana gelen yıldırım dalgasından hesapladıkları için bu programlarda, tesis modellerindeki ölçümler gibi benzer bir doğruluk hedeflenmektedir. Havai hatlardan geçen yıldırım akımlarının ve iletkenler arasındaki atlamaların da simülasyonu yapılabilmektedir. Bununla birlikte bu noktada bazı sınırlamalar ortaya çıkmaktadır. Yıldırım akımında ve atlamalarda kararlı olmayan değişiklikler hesaplama akışını bozmaktadır. Bu suretle gerçekleştirilen hesaplamalar ekseriya hatalı ve pratik açıdan kullanılamaz olmaktadır.

Yıldırım akımlarından aşırı gerilimlerin direkt olarak hesaplanması genellikle büyük uğraş gerektirmektedir. Her şeyden önce birçok kola ayrılmış salt iletkenleriyle ve toprak atlamalarıyla hesaplama yapılması gereklidir. Teknolojik gelişmeler, koruma tekniği bakımından yeni problemler getirmektedir. Genelde bu tür gelişmeler çerçevesinde SF₆ izoleli kapsüllenmiş salt tesisleri, konvansiyonel salt tesislerinin mevcut hacminin çok az bir kısmına ihtiyaç duydukları için ve açıkta yüksek gerilimli parçaları olmadığı için yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Aşırı gerilimler tüm tesis içinde sınırlandırılmalıdır. Bir tesisin aşırı gerilim korumasının boyutlandırılması için

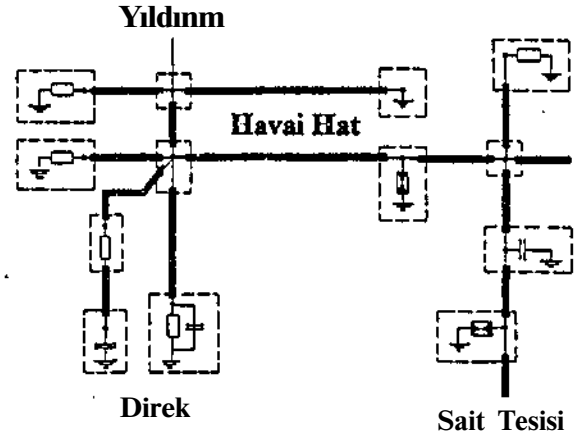
mümkün mertebe farklı salt durumlarına ve yıldırım darbelerine uygun olarak sayısal hesaplamalar gerekmektedir.

2. HESAPLAMA PROGRAMININ ÖZELLİKLERİ

Programın geliştirilmesi sırasında en önemli hedef, farklı durumlarda iyi bir kararlılığı sağlamak olmalıdır. Diferansiyel denklemlerin ve diferansiyel denklemlerin sayısal çözümlerinin kullanılmasıyla bu hedefe ulaşılabilmektedir.

2.1. Salt Tesisi

Program, aşırı gerilim dalgasını ileten parçalardan oluşan salt tesisindeki ve düğüm sahalarındaki geçici olayın hesaplanması için kullanılmaktadır. Salt tesisi bu yüzden çoklu kutup noktalarına ayrılmıştır. Bağlantı iletkenlerinin değişen sayısıyla birlikte genel çok kutuplu kısımlar düğüm sahalarına, iki bağlantı çiftli 4 kutuplu kısımlar da yıldırım dalga ileticilerine karşılık düşmektedir (Şekil: 1).



Şekil: 1 Dalga İleticileri ve Düğüm Noktalarından Oluşan Bir Şebeke Modellemesi

— ^ ~ Dalga İletici
□ □ □ □ Düğüm Noktası

Bu çok kutupluluk özelliği aşağıdaki kuralların yardımıyla kombine edilebilmektedir:

- Bütün gerilim ve akımlar düğüm noktalarında tesirlidir.
- Yıldırım dalga iletkenlerinin uç noktaları düğüm sahalarına bağlıdır

- İki düğüm sahası arasında daima dalga ileticiler bulunmalıdır.

Akımlar düğüm noktalarında, gerilimler dalga ileticilerin uçlarında hesaplanır. Gerilimlerin hesaplanması için hat üzerindeki yıldırım dalga denklemleri kullanılmaktadır. L" ve C , uzunluk birimlerine bağlı olarak dalga ileticinin seri endüktivitesi ve toprak kapasitesidir.

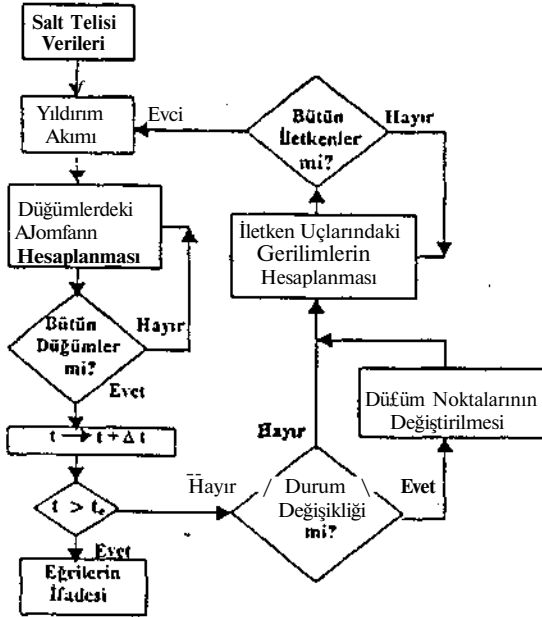
$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{L} \frac{\partial u}{\partial x} = \dots \quad (1)$$

$$\frac{\partial i}{\partial t} - \frac{1}{C} \frac{\partial u}{\partial x} = F_2 (u, i) \quad (2)$$

F₁ ve F₂ , yıldırım dalgasının zayıflatılması için gerekli bozucu kısımları temsil etmektedir. Bu tür parçaların etkisi, denklemin çözümü sırasında nümerik metotların yardımıyla tespit edilebilmektedir. Bu denklemlerin integrali dalga akış zamanı T ve dalga direnci Z_w sabitlerini vermektedir.

2.2. Geçici Olayın Adım Adım Hesaplanması

Hesaplama Şekil:2'de akış diyagramı verilen program yardımıyla yapılmaktadır. İlk önce veriler okunur ve gerekli olacak katsayılar ortaya çıkarıldıktan sonra salt tesisinde aynı zaman dilimlerinde meydana gelen değişikliklerin hesaplanması gerçekleştirilir (dijital simülasyon).



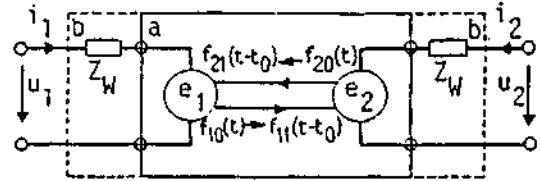
Şekil:2 Bilgisayar Programının Akış Diyagramı

Simülasyona aşağıdaki tarzda devam edilir:

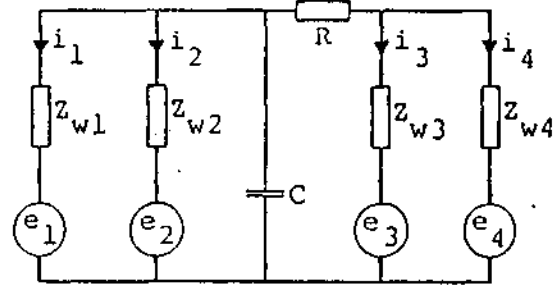
- 4 veya çok kutuplu salt kısımlarındaki olaylar birbirinden bağımsız hesaplanır.
- Her dalga iletici 4 kutuplu eşdeğer bir devreye karşılık gelmektedir (Şekil:3). Akımlar (i), giriş büyüklükleri olarak etki etmektedir. Çıkış büyüklükleri, gelen akım dalgalarından ortaya çıkan toplam gerilimlerdir.
- Bu gerilimler dalga akış zamanı esnasında (t₀) dört kutuplu salt kısımları içerisinde meydana gelen olaylardan bağımsız oldukları için elektromotor kuvvetler olarak (emk) "e" kabul edilebilirler.

- İletken uçlarındaki gerilimler, emk'lann üst üste bindirilmesi ve dalga ileticideki akımların oluşturduğu direkt gerilim düşümleriyle (Z_wi) elde edilir. Hesaplama, Şekil:3'de ifade edildiği gibi yapılmaktadır.
- Düğüm noktalan Şekil:4'de modellendiği gibi çok kutupludur, ayrıca eşdeğer gerilim kaynaklarının ve dalga dirençlerinin seri bağlantıları, Şekil:3'de ifade edilen ilgili büyüklüklere tekabül etmektedir.

Giriş büyüklükleri olarak, dalga-etki fonksiyonları ve emk'lar tesirlidir. Çıkış büyüklükleri dalga ileticilere akan akımlardır.



Şekil:3 Dört Kutuplu Dalga İleticinin Eşdeğer Devresi; a Dört kutuplu dalga iletici; a+b Genişletilmiş dört kutuplu dalga iletici; i< Giriş büyüklüğü olarak iletken akımı; e* Çıkış büyüklüğü olarak dalganın EMK'sı; f_j Akım veya gerilim dalgası; i = 1 sola veya soldan sağa akış; i =2 sağa veya sağdan sola akış; j =0 giren dalga; j =1 çıkan dalga (zaman gecikmeli ve biçimi değişmiş olarak);t<, Geçiş süresi;Z_w Dalga direnci



Şekil:4 Dört Kutuplu Bir Düğüm Noktasının Modellenmesi; e; Giriş büyüklüğü olarak dalga ileticinin EMK'sı; i, Çıkış büyüklüğü olarak iletken akımı ;Z_w İletkenin dalga dirençleri; R,C İlave elemanlar

Değişiklikler, her zaman diliminde ayrı olarak hesaplanmakta ve Şekil:2'ye uygun olarak iki grupta gerçekleştirilmektedir:

- 4 kutuplu dalga ileticiden geçen akımlardan emk'nın hesaplanması (Şekil:3).
- Çok kutuplu düğüm noktalarında oluşan yıldırım etkilerinden ve emk'dan akımların hesaplanması (Şekil :4).

2.3. ' a]l..a *Ü:]L:ÜX.

Dalji.. ibticik:rımn uçlandıdaki gerilimler, 4 kutupludan geçci, aknniurdan dalga denklemlerinin (1) ve (2) çözülmesiyle Hesaplanmaktadır. Bu denklemlerin çözümü, iletken üzerindeki yıldırım akımlarını ifade etmektedir. Bu dalgalar, iletkenleri her iki doğrultuda geçerler. İlk dalgalar iletkene akan akımlarla meydana getirilir. Diğer dalgalar iletken uçlandıdaki yansımalarla ortaya çıkarlar. Bu yansımalar, yüksüz iletken ucundaki yansıyan dalgadan ve buna bağlı bulunan düğüm noktalarının ters etkisinden oluşurlar (ilave olarak 4 kutupludan geçen akım bileşeninden). Bu dalgalar iletken her geçişlerinde zayıflarlar. Bu olay, bilgisayar programı içinde birim darbe üzerine 5(t - tü) genelleştirilen diferansiyel bir operatörün (G) kullanılmasıyla hesaplanan bozulma darbe tepkisi G 8(t - tü) ile birlikte bir girişim sayesinde cebirsel olarak dikkate alınır. Birçok bilgisayar programında kararsız durumlar için Fourier dönüşümlerinin kullanılmasıyla topraktaki akımın yer değiştirmesi tespit edilebilmektedir.

Dalga ileticiler paralel dizayn edilirse, o zaman iletkenlerdeki olaylar birbirine bağımlı olur. Bu dununda yıldırım dalgaları, kısmen iletken üzerinden kısmen de toprak üzerinden kapalı olan çeşitli akım devrelerine uygun olarak farklı bileşenlere bölünürler. Bu dalga bileşenleri çeşitli şekilde zayıflarlar. Hesaplamalarda bu durum .-'sağıdaki tarzda dikkate alınmaktadır:

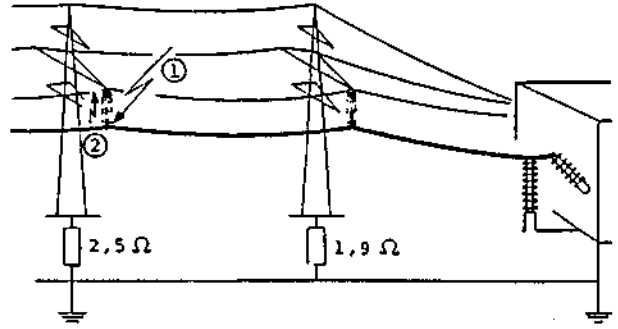
- Paralel iletkenlerdeki gerilimler ve akımlar vektör bileşenlerine dönüşecektir.
- Tek bir iletkenin dalga direnci yerine iletkenin dalga direnç matrisi dikkate alınır.
- Şekil:3'deki cmk'ya, diğer iletkenlerdeki akımlar tarafından endüklenen ilave gerilim bileşenleri eklenir.

2.4. Düğüm Noktaları

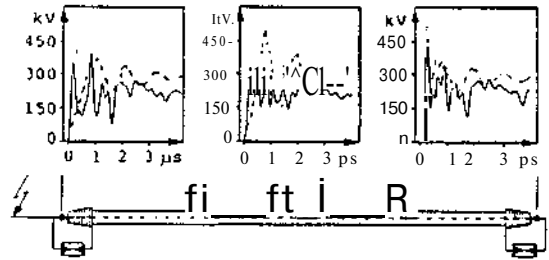
Düğüm noktalandaki akımların hesaplanması için Şekil:5'deki ömeğe benzer şekilde özel eşdeğer devre m.ıdeüemesi kullanılabilir. Eınk'lann ve omik dirençlerin sen bağlantılan iletken uçlarına tekabül etmektedir. Dalga • .letkilerin uçlandıdaki akımlar devre denklemlerinin ,:ıı'lık çözümlerinin nümerik olarak değerlendirilmesiyle IK:- planır. Lineer olmayan empedansa sahip düğüm >:'s;:-,ınjun denklemleri için her zaman diliminde lineer u .:k bilere yaklaşım yapılır.

3. . % İPVA GERİLİMLERİN HESAPLANMASI

Aşın g\;r.l;:-:ler, havai hattaki tüm olaylarla birlikte yıldırım akımla;ir,ma hesaplanır. Şekil:6'da gösterilen model bir havai hat iv-1, "r-üülasyon gerçekleştirilmek istenmektedir. Darbe karai-irnsukleri yardımıyla ızalatörlerdeki atlamaların zaiııau!LO hesaplanır. Bu örnekte, hat çıkışları arasındaki baranın y-ıkıaşık 100m uzunlukta olduğu kapsüllenmiş bir şait şcsi-.ine havai hat bağlanmıştır. Şekil:5'deki bağlantı dunum! için tesisin davranışı incelenmektedir Bir taraftan ha. r-.rindeki direkt yıldırım rinrhpi"" • • ':r_l' okıir-i sonucu) d'f':: taraftan tesis gişindeki yürüyen dalgalar aşın gerilimlerin sebebi olarak Kabul edilmektedir. Her iki hesaplanmanın sonuçları aşağıda birlikte kıyaslanmıştır. -



Şekil:5 Yıldırım Aşın Gerilimlerinin Hesaplanmasında Kabul Edilen Tesis Örneği. 1 Direkt yıldırım darbesi. 2 İzalatördeki atlama



Şekil:6 Kapsüllenmiş SF6 Tesisinin Hesaplanan Aşın Gerilimleri Havai hat direkt tesisinin yakınında bulunmaktadır. Tesis çıkışlarında birer parafudur vardır. Tesisin nominal gerilimi 380 kV'dur.

- Akımdan ileri gelen ikaz 50kA/lps
- İletken üzerindeki yıldırım dalgasıyla gelen ikaz 1,5MV/lj.s

3.1. Yıldırım Akımı

Kabul: İkinci direğin yanındaki iletken çubukta (Şekil:6) tesisin veya kablunun uç bağlantısının önünde 240m mesafede meydana gelen, 50 kA'lık tepe değerli ve ljos'lık yükselme süresine sahip bir yıldırım darbesi.

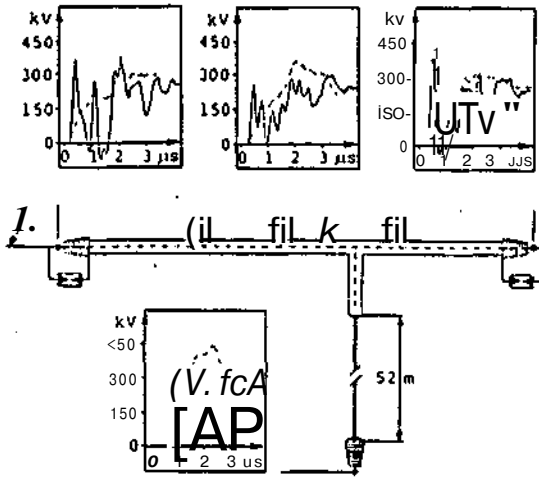
3.2 İletken Çubuktaki Yıldırım Darbesi (Kesikli Eğriler)

Kabul: Havai hattın itibaren kapsüllenmiş tesisin veya kablunun uç bağlantısına kadar ljis'lik yükselme sürelili 1,5MV'luk tepe gerilimine sahip bir yıldırım darbesinde aşağıdaki salt durumları gözönüne alınmıştır:

- Tesis, kablo olmaksızın, iki aşın gerilim parafudunu ile korunmaktadır (Şekil:6).
- Bir kablo bağlantısıyla birlikte iki aşın gerilim parafuduru ile koruma. Yıldırım darbesinin etkili olduğu havai hat, direkt tesisin yakınında bulunmaktadır (Şekil:7).

4. YILDIRIM DARBELERİNİN FARKLI TARZDAKİ SİMÜLYASYONUNA GÖRE AŞIRI GERİLİMLER

Hesaplanan gerilim eğrilerinin (Şekil:6;7) kıyaslanmasıyla, yıldırım akımı sayesinde oluşan fiziksel anlamda bir ikazın güvenilir neticeler verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil:7 Şekil:6'daki gibi ancak ilave olarak Baraya Bir Kablo Bağlanmıştır.

İletken üzerindeki dalgalardan elde edilen gerilim eğrileri, çoğunlukla şak tesisinin davranışını yanlış olarak ifade ederler. Bu amaçla aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

- Başlangıçta yıldırım akımlarından hesaplanan dalga ön cepheleri çok diktir. Bunlar, çok kısa ve o derece yüksek gerilim tepe değerlerine sahip olabilirler. Bu tepe değerlerinden sonra salt tesisindeki gerilim azalır.
- İletken üzerinde tek bir dalga sayesinde oluşan ikaz sırasında başlangıçta tesise relatif büyük bir akım akar. Gerilim de bu suretle aynı ölçüde artar ve baranın ortasına ulaştığında, aşırı gerilim parafudurlarının olduğu uçlarda bulunan gerilimin birkaç misline ulaşır.

4.1 Salt Tesisinin Korunması

Yıldırım akımlarından hesaplanan gerilim eğrilerinden aşağıdaki özellikler bilinebilir;

- Genellikle salt tesisinin ortası iyi korunmaktadır. Aşırı gerilimler, iletken üzerindeki dalgalarla yapılan hesaplamalara dayanarak beklenebilen değerlerden daha düşüktür.
- Yıldırımın düştüğü havai hat, direkt kapsüllenmiş tesise bağlı olursa tesisin ortasındaki gerilimin tepe değeri, parafudur ile korunan SF₆ hava geçişlerindeki değerden ekseriya daha düşüktür.
- Relatif kısa bir kablo (Ör Direkt trafoya giden bir kablo) haralara bağlanırsa, kapsüllenmiş tesisteki aşırı gerilimler azalır.

Ayrıca yıldırımın düştüğü havai hat ve kapsüllenmiş tesis arasında bir kablo bağlantısı olursa, salt tesisindeki aşırı gerilimler, havai hatta direkt bir bağlantı durumundaki değerden genellikle biraz daha küçük olur. Kapsüllenmiş tesis dahilinde benzer tepe değerler elde edilmektedir. Benzer yapıdaki tesise- genellikle aynı tarzda, (fakat h**

-zaman değil) davranırlar. Bu yüzden duruma göre bir tesisin en iyi nasıl korunması gerektiğinin araştırılması gerekmektedir.

5. SONUÇLAR

SF₆ gaz izoleli kapsüllenmiş salt tesislerindeki yıldırım aşırı gerilimlerinin hesaplanması için yıldırımın etkili olduğu havai hattın tam olarak simülasyonu yapılmalıdır. Her şeyden önce yıldırım akımının değişimi, yıldırım darbe noktası ve bozulmanın çeşidi ayrıca havai hattaki atlamalar dikkate alınmalıdır. Burada anlatılan bilgisayar programı, bu tür aşırı gerilimlerin basit ve problemsiz hesaplanmasına imkan vermektedir. Ayrıca elektrik tesislerindeki salt aşırı gerilimleri gibi diğer geçici olayların dikkate alınması için de bu program uygun olmaktadır. Program çok kararlı olması yanında, lineer olmayan değişiklikleri basitçe işleyebilmektedir. Böylece elde edilen değerlerin yakınsaması çok kuvvetli olabilmektedir. Programın diğer faydaları şunlardır:

- Relatif kısa hesaplama zamanları
- Pratik olarak herhangi bir sınırlama olmaksızın verilerin istenildiği ölçüde girilebilmesi
- Özel problemlerin adaptasyonu amacıyla çok yönlü imkanlar
- Kullanıcı tarafından ayarlanan hesaplama döngüsü sayesinde simülasyonun genişletilebilme imkanı.

KAYNAKLAR

- [1] H. W. Dommel. "Digital computer solution of electromagnetic transients in single and multiphase networks", IEEE Trans. PAS 88, 388-399, 1969.
- [2] H. Röhler und A. Strnad. "Der Blitzschlag im Nalibereich von Hochspannungsschaltanlagen". Elektrizitätswirtschaft 32. 311-316, 1981.
- [3] J. Vontobel. "Vergleich der Isoliereigenschaften von Hochspannungsschaltanlagen", E und M 10, 426-30, 1976.
- [4] W. Boeck und W. Taschner, "Isolationsverhalten SF₆-isolierter koaxialer Zylinderanordnungen bei Stossspannungsbeanspruchung", ETZ-A 97, 335-340, 1976.
- [5] P.T. Medeiros, S.R. Naidu and K.D. Srivastava. "Lightning Impulse Breakdown of Rod-Plane Gaps in SF₆ - N₂ Mixtures", 4th Int. Symp. On HV Engineering Athens, Greece, 5-9 September, pp. 33.03, 1983.
- [6] D. Raghavender and M.S. Naidu, Effect of Field Divergence on the Lightning Impulse Breakdown of Rod Plane Gaps in N₂/SF₆ Mixtures, in Gaseous Dielectrics, Pergamon Press, NY, 1987.

YÜKSEK GERİLİM ELEKTRİK DARBELERİNİN *ESCHERICHIA COLI* ÜZERİNE ETKİSİ

Mehmet Oğuz HENGİRMEN
Vedat M. KARSLI
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
27310 Gaziantep
oguz@gantep.edu.tr

Osman ERKMEN
Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü,
27310 Gaziantep
erkmen@gantep.edu.tr

ABSTRACT

Brain heart infusion broth inoculated with Escherichia coli was exposed to a 20 kV/cm pulse electric field with 1 microsecond pulsing period, 200 ns pulse duration rate from 50 to 150 pulses. Using high voltage cable generator with exponential decaying waves generated high voltage pulses. Electric field pulses were applied on glass bottle containing E. coli culture with parallel electrode configuration. Killing effects of pulsed electrical field on E. coli were not observed.

ÖZET

Escherichia coli eklenen brain hart infusion broth üzerine darbeleri elektrik alanı (DEA) 20 kv/cm olacak şekilde 1 dak aralıkla 200 ns dalga süresiyle, 50-150 adet darbe uygulandı. DEA üretici olarak yüksek gerilim kablo jeneratörü kullanılarak logaritmik azalan darbeler vuruldu. *E. coli* içeren besiyerine elektrik alan, paralel düzlem elektrotlarla dışardan uygulanmıştır. *E. coli* üzerine uygulanan elektrik alanının öldürücü etkisi tespit edilememiştir.

1. GİRİŞ

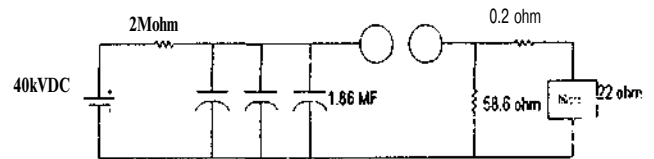
Gıdaların bozulmadan uzun süre saklanabilmesi için yaygın olarak ısısal işlemler uygulanmaktadır. Isısal işlemlerin neden olduğu yan etkiler (vitamin kaybı, yapı bozukluğu, protein kaybı gibi) birçok gıda için istenmeyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerle yeni yöntemler bulunmuş ve endüstride uygulanmakLi-lır [!]. Işınlama, yüksek basınç gibi yeni bir yöntem olarak düşünülen darbeleri elektrik alan tekniği (DAET)'nin mikroorganizmalar üzerine etkileri araştırılmaktadır. Bu araştırmalara göre DEATnin mikroorgani^nalara etki edebilmesi için en az 1 V'luk bir hücre zan potansiyeli yaratması gerekmektedir [2].

Yüksek gerilim elektrik alanları oluşturabilmek için DC kaynak, kondansatör-direnç grupları, küre elektrotlar ve bobinler değişik şekillerde bağlanarak devre kurulmakta ve deney malzemesine kondansatörler belirli aralıklarla boşaltılarak mikroorganizmalar üzerine uygulanmaktadır.

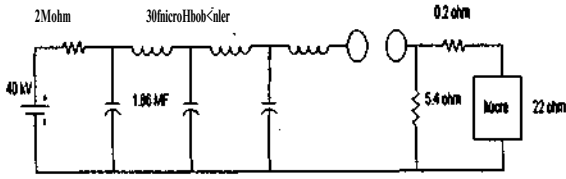
Zhang ve ark. [3], çalışmalarında Şekil 1'de verilen devreyi, logaritmik azalan bir dalga üretici ve Şekil 2'deki devreyi de kare dalga üretici olarak kullanmışlardır. Şekil 1 ve 2'deki elektrik alan üreticileriyle *S. cerevisiae* üzerine 25 kV/cm alan büyüklüğünde ve 25 ps süreyle 20 adet dalga uygulanmıştır.

Sonuçlara göre darbeleri alanda kare dalgaların enerji veriminin %91, logaritmik azalan dalga darbelerinde ise %64 olduğu belirtilmiştir. Şekil 2 deki devrede test hücresi üzerinde görülen gerilim, kondansatörlerin doldurulduğu gerilimin yansı olarak gözlenmiştir [4].

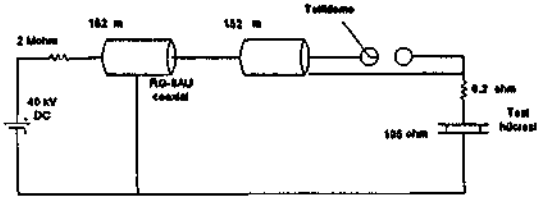
Martin ve ark. [5], çalışmalannında Şekil 3'deki 40 kV'luk Blumlein darbe üreticini kullanmışlardır. Bu üreticde hava boşluğu (anahtar) tetiklendiği anda, devrenin kare dalga ürettiği belirtilmektedir.



Şekil 1. Logaritmik azalan dalga üretici.



Şekil 2. Kare dalga üretici.



Şekil 3. Blumlein yüksek gerilim darbe üretici.

Yine Martin ve ark [5] Şekil 4'deki devreyi kullanarak logaritmik azalan dalga üretmişlerdir. Elektrot olarak paslanmaz çelik diskleri, paralel-düzlem halinde 0.51 cm aralık vererek kullanılmıştır. İzolasyon malzemesi plexiplastır. Bu devrede 20-45 kV/cm elektrik alan değerleri arasında değişen 64 adet 1.8-6 μ s süreyle darbeler sıvı gıda malzemesine uygulanmış ve darbeler arasında ısıyı yeniden sabit tutabilmek için 15-30 saniye beklenmiştir.

Bu araştırmada *Escherichia coli* üzerine darbeli elektrik alanı tekniği 20 kV/cm olacak şekilde, 1 dak aralıkla, 200 ns dalga süresiyle farklı darbe sayılan yüksek gerilim kablo üretici kullanılarak uygulanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Bakteri kültürü

İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Mikroorganizma Toplama Merkezi'nden alınan *Esceherichia coli* KUEN 1504 susu brain heard infusion broth (BHIB); Oxoid'da çoğaltıldı. *E. coli*'nin 24 saatlik kültürü stok kültür olarak kullanıldı. Stok kültürden 5'er ml alınarak cam şişelere (45x15 mm) konarak DEA uygulandı. Deneyde kullanılan stok kültürdeki *E. coli* sayısı 2.6×10^7 ile 8.1×10^7 arasında değişmiştir.

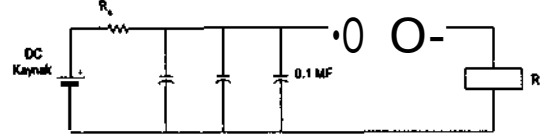
2.2 Deneyin Yapılışı

Gaziantep Üniversitesi Elektrik ve Gıda Mühendisliği bölümlerinin ortak çalışmaları sonucu yüksek gerilim kablo darbe üretici (Şekil.5) kullanılarak [6], içlerinde *E. coli*'nin stok kültürü bulunan 6 adet cam şişe iki paralel bakır elektrot arasına dizilerek 200 ns süreli eksi 20 kV/cm değerli elektrik alanı uygulanmıştır. Deney düzeneğine enerji sağlayan kondansatörün (kablunun) dolma süresi 1 dakika civarında olduğundan ateşleme frekansı 60 saniyede bir gerçekleşmiştir. Elektrodlar araşma yerleştirilen şişelere 50, 100 ve 150 adet logaritmik azalan darbe uygulanmıştır. Deney 20°C'de yapılmıştır. Her 50 darbeye bir, bir şişe alınarak *E coli* sayımı violet red bile ağar kullanılarak yapılmıştır. Bu besiyerinde

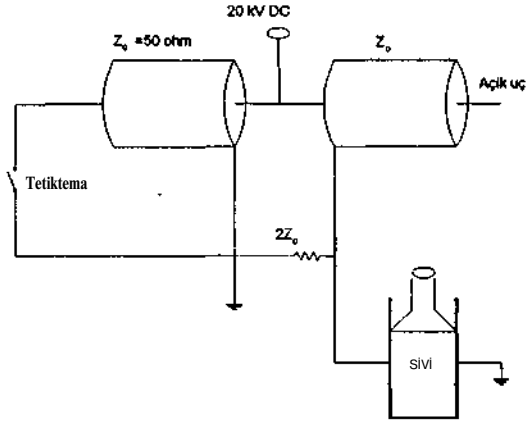
ouşan *K co/Zye* özgün kırmızı koloniler sayılmıştır [7].

3. SONUÇ

Bu araştırmada yüksek gerilim kablo jeneratörü kullanılarak logaritmik azalan dalgalar üretilmiştir. BHIB'a eklenen *E coli* üzerine DEA 20 kV/cm olacak şekilde 200 ns, 1/60 Hz olarak uygulandı. Değişik darbe sayılarında (50, 100, 150) dışardan uygulanan DEA'nın *E. coli* üzerinde herhangi bir öldürücü etkisi tespit edilememiştir.



Şekil 4. Logaritmik azalan dalga üretici.



Şekil 5. Yüksek gerilim kablo üretici.

Martin-Belleso ve ark. [5], yumurta sıvışma eklediği *E. coli* üzerine logaritmik azalan 26 kV/cm elektrik alan şiddetinde 2-4 miosaniye süreyle ve 100 adet darbe uygulayarak *E. colfyi* inaktive etmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada [1] iki saniye aralıklarla verdikleri 10 kV/cm'lik DAE'nin 6 log'luk bir azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Martin ve ark. [4], süt tozu çözeltisine ekledikleri *E. coli*'yi 30 kV/cm'lik, 1.8 mikrosaniye süreli 30 adet elektrik alan darbese uygulayarak inaktive etmişlerdir. Portakal suyuna 35 kV/cm DAE 100 ms süreyle 35 adet darbe uygulanması sonucunda doğal olarak bulunan mikroorganizmaların sayısında 5 log'luk bir azalma tespit edilmiştir [2].

10 kV/cm'lik bir elektrik alan elde etmek için 0.3 cm elektro aralığı olan bir hücreye 20 sn süreyle 4.5 kV'luk bir enerji verilmesi antimikrobiyal etki için yeterli olduğu belirtilmektedir [1]. Bu da 12 J'luk bir enerjiye karşılık gelmektedir. Süt teknolojisinde kullanılan yüksek sıcaklık-kısa süreli pastörizasyon (71.7°C) sistemi için 10.7 kJ'luk bir enerjiye ihtiyaç vardır. Halbuki aym ısısal işlemi sağlayabilmek için darbeli elektrik alanıyla yapılan işlem için gerekli olan enerji 12J kadardır. Böylece DAET'nin gıdalardaki mikroorganizmaların öldürülmesi için kullanıldığında oldukça fazla bir enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Literatürde belirtildiği gibi DEAT mikroorganizmalar üzerine öldürücü etki göstermektedir. Fakat araştırmamızda *E. coli* üzerine uyguladığımız deney düzeneğinde test malzemesiyle elektrotların doğrudan temas etmemesi, uygulanan darbelerin kısa ve frekansın düşük oluşundan dolayı bakteri üzerinde öldürücü etki gözlenmemiştir. Bu konuyla ilgili araştırmalarımız devam etmektedir. Sonraki araştırmalarımızda, elektrot düzeneğinin besiyeri ve gıda maddeleriyle doğrudan temas sağlayacak şekilde tasarlayarak, mikroorganizmaların yüksek gerilim kablo jeneratörüyle logaritmik *azalan* darbelerle inaktive etmek için çalışmalarımız sürmektedir.

4. KAYNAKÇA

- [1] Damar, S. ve Bozoğlu, F. "Vurgulu elektrik alan tekniğinin mikroorganizmalar üzerine uygulanması", *Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Kongre ve Sergisi*, 16-18 Eylül 1998, Gaziantep, s. 241-245.
- [2] Castro, A.J., Barbosa-Canovas, G.V. and Svanson, B.S. "Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 17, pp. 47-73, 1993.
- [3] Zhang, Z., Monsalve-Gonzalez, A., Qin, B., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. "inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice by square-wave and exponential decay pulsed electric fields", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 17, pp.469-478, 1994.
- [4] Martin, O. Qin, B.L., Chang, F.J., Barbosa-Canovas, G.J. and Svanson, B.G. "inactivation of *Escherichia coli* in skim milk by high intensity pulsed electric fields", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 17, pp. 317-336,1997.
- [5] Martin-Belloso, O., Vega-Mercado, H., Quin, B.L., Chang, F.J., Barbosa-Canovas, G.V. and Svanson, B.G. "inactivation of *Escherichia coli* in liquid egg using pulsed electric fields". *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 21, pp. 193-208, 1997.
- [6] Hengirmen, M. O. "Determination of Dielectric Constants of Liquid Mixtures from their Constituents over the Frequency Range of 50 Hz-12 GHz", Ph.D. Thesis, *Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Gaziantep*, March 1997.
- [7] Hitclüns, A.D., Hartman, T.A. and Todd E.C.D. "Coliform-*Es/jenc/7/a coli* and its toxins. in *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 3rd edn. (Eds. Vanderzant, C. and Splittstoesser, D.F.), pp. 325-369, Washington, American Public Health Association, D.C.

% 0,125 ORANINDA SF₆ KATILMIŞ CO₂+SF₆ GAZ KARIŞIMININ DELİNME KARAKTERİSTİKLERİ

Emel ÖNAL **Özcan KALENDERLİ** **Kevork MARDİKİYAN**
onal@elk.itu.edu.tr ozcan@elk.itu.edu.tr kevrork@elk.itu.edu.tr
Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik - Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
80626 Maslak/İstanbul

ABSTRACT

AC breakdown strengths of CO₂, SF₆ and a mixture of CO₂+SF₆ containing 0.125% of SF₆ in nonuniform field were experimentally studied. The electrode gap spacing and the relative gas pressure were varied within the range of 5-25 mm and of 100-500 kPa respectively. The experimental results have shown that the addition of SF₆ to CO₂ causes a significant increase the AC breakdown voltage with respect to CO₂. Even at about pressures of 300 kPa and 25 mm gap spacing breakdown voltage of mixture were obtained 15% higher than that of pure SF₆ and 54% higher than that of pure CO₂.

1. GİRİŞ

Gazlar, konuldukları hacme kolay uyum sağlamları ve istenen teknik özellikleri ağırlık sorunu yaratmadan karşılamaları açısından yalıtkanlar içinde ayrı bir yere sahiptir. Yalıtkan gazlar içinde elektronegatif gazlar diye adlandırılan SF₆, CO₂ ve hava gibi gazlar serbest elektronları yakalama ve negatif iyon oluşturma açısından aynı bir öneme sahiptir. Özellikle yüksek gerilim tekniğinde çok kullanılan SF₆ gaz karışımlarının saf SF₆ gazının bazı olumsuzluklarını önlemesi ve yalıtım maliyetini azaltması açısından önemi büyüktür. N₂, CO₂ ve hava gibi yalıtım amaçlı kullanılan gazların delinme gerilimleri az oranda SF₆ katılımı ile yükseltilebilir.

Literatürde, SF₆, CO₂ ve SF₆+CO₂ gaz karışımlarının delinme karakteristikleri incelendiği pekçok çalışma bulunmaktadır [1-3]. Bu konudaki yayınların çoğu, düzgün ve yarı düzgün elektrot sistemleri üzerinedir [4]. Ancak düzgün olmayan alanlarda ve alternatif gerilimde az SF₆ oranlı karışımlar için yapılan çalışmalar araştırmaya açıktır.

Daha önceki çalışmalar, özellikle düzgün olmayan alanda SF₆+CO₂ karışımlarının SF₆+N₂ karışımlarına göre daha üstün özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Yüksek basınçlarda, sivri uç-düzlem elektrot sisteminde ve negatif doğru gerilimde SF₆+CO₂ karışımları SF₆+N₂ karışımlarından daha yüksek delinme gerilimine sahiptir. Daha düşük basınçlarda pozitif ve negatif doğru gerilimlerde delinme gerilimleri aynıdır. Ancak yüksek basınçlarda negatif delinme gerilimleri pozitif delinme gerilimlerinden çok

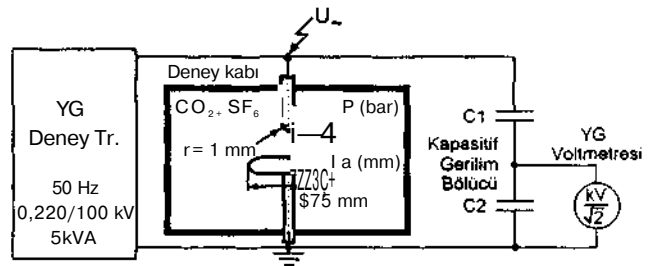
daha yüksektir. Pozitif doğru gerilimde, düzensizlik faktörü yüksek elektrot sistemlerinde, SF₆+CO₂ karışımlarının delinme gerilimleri, SF₆+N₂ karışımlarının delinme gerilimlerinden çok daha yüksektir [5].

Önceki araştırmalarda, negatif darbe geriliminde ve yüksek basınçlarda, az oranda SF₆ içeren SF₆+CO₂ karışımlarının delinme gerilimleri aynı koşullardaki saf CO₂ gazına ilişkin delinme gerilim değerlerinden daha küçük bulunmuştur [6]. Ayrıca SF₆+CO₂ karışımlarının delinme gerilimleri, düşük basınçlarda SF₆+N₂ ve SF₆+hava karışımlarının delinme gerilimlerinden daha yüksek değerlere sahiptir.

Bu çalışmada, 50 Hz alternatif gerilimde, düzgün olmayan alanda, SF₆, CO₂ gazlarının ve %0,125 oranında SF₆ katılmış SF₆+CO₂ gaz karışımının delinme karakteristikleri sunulmuştur. Deneysel olarak elde edilen bu karakteristikler, söz konusu gazların delinme gerilimlerinin, elektrot açıklığına bağlı olarak, basınç ile değişimlerini vermektedir.

2. DENEY DÜZENEGİ

Deneylerde, 1 mm yançaplı yarı küresel uçlu çubuk elektrot ile 75 mm çapında, 6 mm kalınlığında, kenarları yuvarlatılmış disk şeklinde bir düzlem elektrottan oluşan bir çubuk-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Deneyler, 5, 10, 15, 20 ve 25 mm sabit elektrot açıklıklarında yapılmıştır. Elektrotlar, 664 mm uzunluğunda, 120 mm çapında, 600 kPa'lık basınca dayanıklı, pleksiğlastan yapılmış bir deney kabı içine yerleştirilmiştir. Çubuk elektrot yüksek gerilim kaynağına bağlanmış, düzlem elektrot topraklanmıştır (Şekil 1).



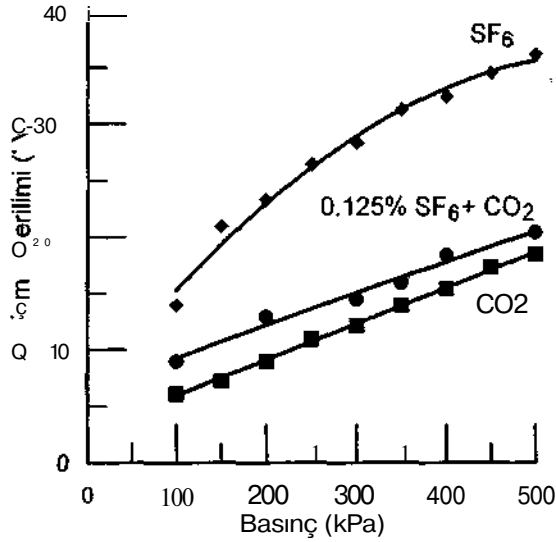
Şekil 1. Deney düzeni.

Deney kabı, deney yapılacak gaz doldurulmadan önce 30 dakika kadar vakumlanmış ve daha sonra 500 kPa basınca kadar, seyreltme yöntemi ile, içinde %0,125 SF₆ ve %99,875 CO₂ olan SF₆+CO₂ gaz karışımı oluşturulmuştur. Gaz doldurma işleminden sonra ortamdaki gazın homojen dağılması ve kararlı duruma gelmesi için tek gaz ile yapılan deneylerde en az 30 dakika, gaz karışımında ise en az 2 saat beklenmiştir.

50 Hz frekanslı yüksek alternatif gerilim, 100 kV, 5 kVA'lık bir yüksek gerilim deney transformatöründen elde edilmiştir. Delinme gerilimleri, bir kapasitif gerilim bölücü ve değerleri etkin değer cinsinden gösteren bir yüksek gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür. Beş farklı elektrot açıklığında ve her basınç basamağında delinme gerilimi değeri, 10 delinme gerilimi ölçmesinin aritmetik ortalamasından belirlenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI

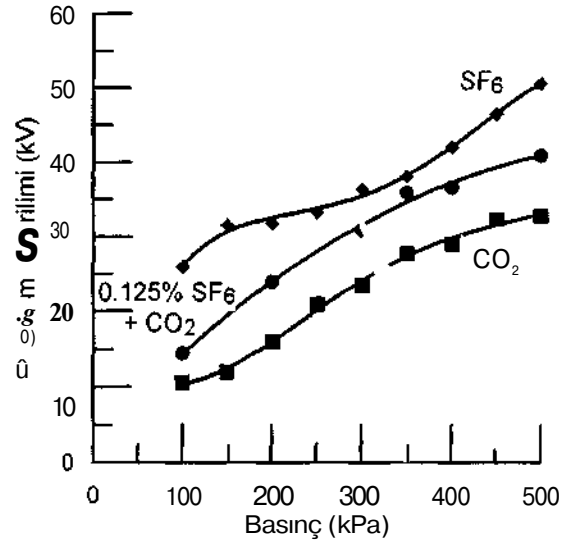
Bu bölümde CO₂, SF₆ ve %0,125 SF₆+%99,875 CO₂ gazları için elde edilen deney sonuçları, delinme gerilimi-basınç eğrileri şeklinde sunulmuştur (Şekil 2-7). Şekillerde, ayrı ayrı 5-10-15-20 ve 25 mm elektrot açıklıkları için 500 kPa basınca kadar delinme gerilimleri gösterilmiştir.



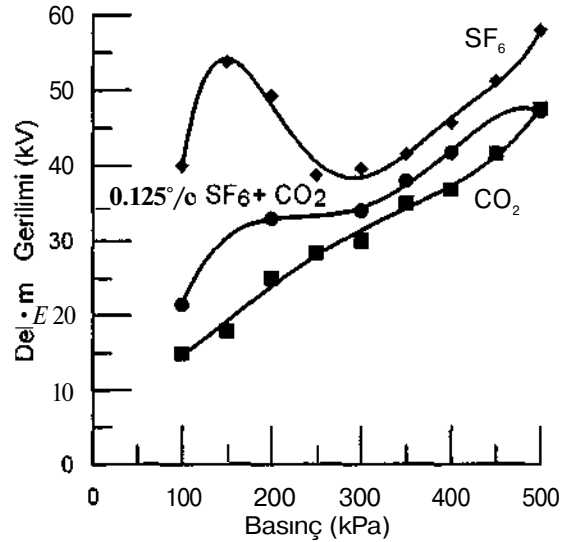
Şekil 2. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5 mm elektrot açıklığında, CO₂, SF₆ ve SF₆+CO₂ gazlarının delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

Deney sonuçlarına göre özellikle 5-20 mm elektrot açıklığında CO₂ gazının delinme gerilimi basınçla lineer olarak artmaktadır. Özellikle 15 mm elektrot açıklığında ve 400 kPa'dan daha yüksek basınçlarda, delinme gerilimi maksimuma ulaşmıştır. Daha önceki araştırmalarda da düzgün olmayan alanlarda CO₂ gazına ilişkin delinme gerilimi-basınç eğrilerinde delinme geriliminin maksimum olduğu kritik bir alan olduğu gözlemlenmiştir [7]. Bu çalışmada da böyle bir durum söz konusudur. Bu kritik alan, pozitif uzay yüklerinin, negatif uzay yükleri tarafından nötralize edilmesi sonucu ortaya çıkan korona kararlılığının etkisidir.

Özellikle 15 mm'den daha büyük elektrot açıklıklarında saf SF₆ ve SF₆+CO₂ karışımı için delinme gerilimi-basınç eğrileri maksimum-minimum değişim karakteri göstermektedir.



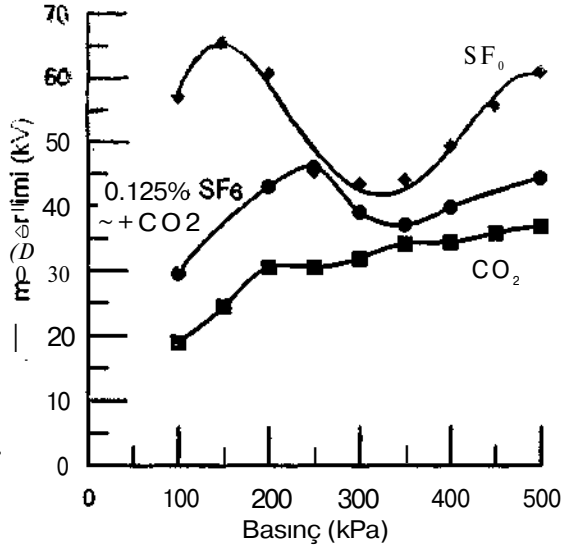
Şekil 3. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 10 mm elektrot açıklığında, CO₂, SF₆ ve SF₆+CO₂ gazlarının delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.



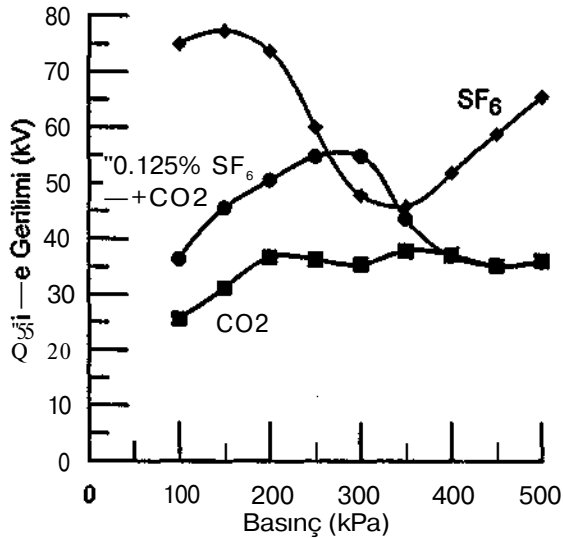
Şekil 4. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 15 mm elektrot açıklığında, CO₂, SF₆ ve SF₆+CO₂ gazlarının delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

Deney sonuçlarından görüldüğü üzere, 5-20 mm elektrot açıklıklarında SF₆+CO₂ karışımının delinme gerilimi, saf SF₆ ile saf CO₂'nin delinme gerilimleri arasındadır. %0,125 SF₆+%99,875 CO₂ gaz karışımı için 25 mm elektrot açıklığında, 300 kPa'da delinme gerilimi, saf SF₆'ninkinden %15, saf CO₂'ninkinden %54 daha yüksektir. 25 mm elektrot açıklığında, 400 kPa'dan daha yüksek basınçlarda

karışımın ve CO₂'nin delinme gerilim sonuçları birbirine yaklaşımaktadır. Daha önceki çalışmalarda, yüksek basınçlarda ve küçük elektrot açıklıklarında karışımın delinme gerilimi, CO₂'nin delinme geriliminden daha küçük bulunmuştur.



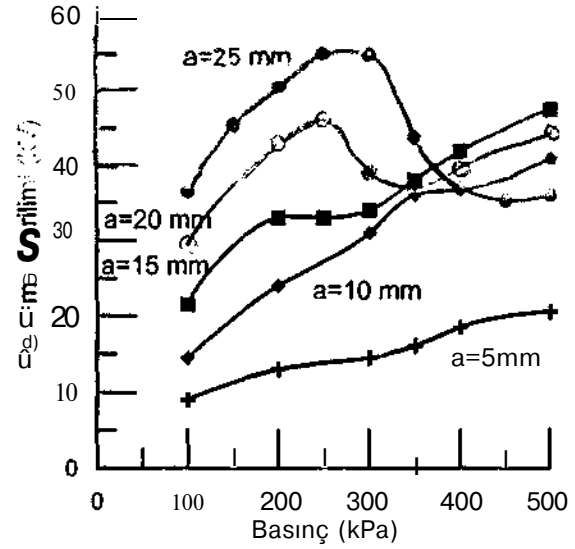
Şekil 5. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 20 mm elektrot açıklığında, CO₂, SF₆ ve SF₆+CO₂ gazlarının delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.



Şekil 6. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 25 mm elektrot açıklığında, CO₂, SF₆ ve SF₆+CO₂ gazlarının delinme gerilimlerinin basınçla değişimi.

Oysa büyük elektrot açıklıklarında bu olay, düşük basınçlarda pozitif doğru gerilim, darbe ve açma-kapama gerilimleri için gözlenmiştir [6]. Bu davranışın sebebi tam olarak açıklanamamıştır. Ayrıca %1'den daha yüksek oranda SF₆ içeren SF₆+CO₂ gaz karışımlarının delinme gerilimleri,

tüm basınç aralıklarında saf CO₂'nin delinme geriliminden daha yüksek bulunmuştur. Yüksek basınçlarda ise bu karışımların delinme gerilimleri, saf SF₆'nin delinme gerilim değerlerine yaklaşımaktadır.



Şekil 7. Çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5-25 mm elektrot açıklıklarında, SF₆+CO₂ gaz karışımının delinme geriliminin basınçla değişimi.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, CO₂ gazına %0,125 oranında SF₆ katılmasının alternatif delinme gerilimini saf CO₂'ninkine göre oldukça arttırdığı görülmüştür. Yaklaşık 300 kPa basınçta ve 25 mm elektrot açıklığında söz konusu karışımın delinme gerilimi, saf CO₂'nin delinme geriliminden %54, saf SF₆'nin delinme geriliminden %15 daha yüksektir.

Şekil 7'den görüldüğü gibi 400 kPa'dan yüksek basınçlarda ve 25 mm elektrot açıklığında karışımın delinme gerilimi, 10 mm elektrot açıklıklı elektrot sisteminin delinme geriliminden daha küçüktür.

5. KAYNAKÇA

- [1] Malik, N. H., Qureshi, A. H., "Breakdown gradient for SF₆+N₂, SF₆+CO₂ and SF₆+air mixtures", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 15, No. 5, pp. 413-418, 1980.
- [2] Cookson, A. H., Pedersen, B. O., "High voltage performance of mixtures of SF₆ with N₂, air and CO₂ in compressed gas insulated equipment", *Proceedings Fifth Int. Conf. on Gas Discharges*, pp. 161-164, 1978.
- [3] Qiu, Y., Xiao, D. M., "Dielectric strength of the SF₆+CO₂ gas mixture in different electric fields", *Ninth International Symposium on High Voltage Engineering*, Paper 2255-1-4, Graz, Sept. 1995.
- [4] Takuma, T., Watanabe, T., Kita, K., "Breakdown characteristics of compressed-gas mixtures in nearly uniform fields", *Proceedings IEE*, Vol. 119, No. 7, pp. 07-928, July 1972.

- [5] Malik, N. H., Qureshi, A. H., Safar, Y. A., "DC voltage breakdown of SF₆+air and SF₆+CO₂ mixtures in rod plane gaps", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 18, No. 6, pp. 629-635, December 1983.
- [6] Safar, Y. A., Malik, N. H., Qureshi A. H., "impulse breakdown behavior of negative rod plane gaps in SF₆+N₂, SF₆+air and SF₆+CO₂ mixtures", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 17, No. 5, pp. 441-449, October 1982.
- [7] Rajendran, T. V., Lakshminarasimha C. S., Naidu, M. S., "Effect of electrode geometry on the positive impulse breakdown in carbon dioxide", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 18, No. 4, pp. 455-457, August 1983.

BİR ELEKTRONİK REAKTİF GÜÇ KATSAYISI ÖLÇERİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Melih Cevdet İNCE
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Fırat Üniversitesi
23279 ELAZIĞ

ABSTRACT

Reactive power compensating systems are economical and technical necessity in industrial ac power systems. Therefore power-factor have to be measured correctly but the conventional devices are not precious. The power-factor measuring circuitry designed and realized has been tested in the laboratory and the results obtained are presented in this study. it is found out that the realized costp-meter work well than others especially in the low load currents.

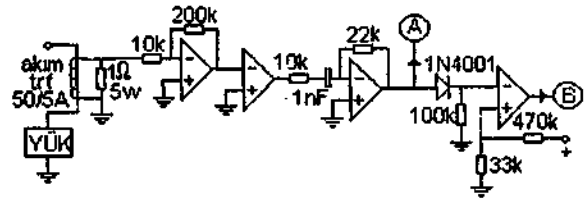
1.GİRİŞ

Sanayide kullanılan elektrik enerjisinin reaktif güç katsayısının belirli bir değeri aşması durumunda, tüketici bu reaktif enerji bedelini ödemek zorundadır. Dolayısıyla tüketicinin reaktif güç katsayısı olan $\cos\phi$ değerinin doğrulukla ölçülmesi ve bilinmesi gerekir. Sanayide çok kullanılan $\cos\phi$ metrelerin bir çoğunun doğrulukla ölçme yapmadığı gözlenmiş ve bu nedenle bir $\cos\phi$ metre tasarımına girilmiştir. Sanayide kullanılan elektrik enerjisinin reaktif güç katsayısının belirli bir değeri aşması durumunda, tüketici bu reaktif enerji bedelini ödemek zorundadır. Dolayısıyla tüketicinin reaktif güç katsayısı olan $\cos\phi$ değerinin doğrulukla ölçülmesi, bilinmesi ve kompanze edilmesi gerekir. Sanayide çok kullanılan $\cos\phi$ metrelerin bir çoğunun doğrulukla ölçme yapmadığı gözlenmiş ve bu nedenle bir $\cos\phi$ metre tasarımına girilmiştir.

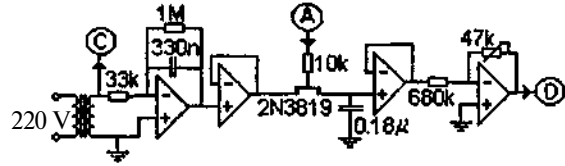
2.GERÇEKLEŞTİRİLEN DEVRE

Tasarlanan ve gerçekleştirilen ölçü aletinin temel prensibi, şebeke gerilimi ile yük tarafından çekilen akım arasındaki faz farkının kosinüsünün belirlenmesi ve displayda görüntülenmesidir [1]. Şebeke geriliminin sıfırdan geçiş anındaki, akımın ani değeri akımın reaktif bileşenidir. Benzer şekilde akımın sıfırdan geçiş anındaki yük geriliminin ani değeri, gerilimin reaktif bileşenidir. Bizim ölçmek istediğimiz ise $\cos\phi$ olduğundan, önce şebeke geriliminden bir integratör aracılığıyla kosinüs fonksiyonu elde edilmelidir. Her 20 ms'de bir, akımın negatiften gelip pozitifte geçtiği anlarda (Şekil 1'de A), tepe değeri ayarlanmış olan kosinüs fonksiyonunun ani değeri bir örnek-tut devresi ile tesbit edilir (Şekil 2) ve displayde

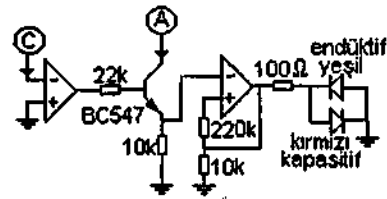
görüntülenir. Gerçekleştirilen devrede akım bilgisi 50/5 A'lık bir akım trafosu ile, gerilim bilgisi ise 220/12 V'luk bir adaptör trafosu ile alınmış, on tane işlemsel yükselteç gerekli devrelerde kullanılarak güç katsayısının değeri ve endüktif veya kapasitif olduğu (Şekil 3) belirlenmiştir. Ölçme devresinin çıkışında elde edilen gerilim milivolt'lar mertebesinde olup 100 mV, güç katsayısı olarak l'e karşı düşmektedir.



Şekil 1. Yük akımının sıfır geçişlerini belirleyen devre



Şekil 2. Şebeke geriliminden elde edilen cosinus ve tutma devresi



Şekil 3. Yük akımının endüktif veya kapasitif olduğunu belirleyen devre

Bu gerilim TC7116 entegresi kullanılarak yapılan voltmetrenin 3 1/2 digit, LTD222 displayında $\cos\phi$ değeri olarak görüntülenir. Eğer daha parlak rakamlar isteniyorsa 7117 veya 7107 ADC'leri ve 3 tane 7 segmentli display

kullanılabilir. Tasarlanan ölçü aletinin kalibrasyonunun herhangi bir nedenle bozulması olasılığı düşünülerek, kullanıcı tarafından kolaylıkla düzeltilebilmesi için gerekli prosedür açıklanmıştır. Kolay bulunabilen entegre ve devre elemanları ile gerçekleştirilen ölçü aletinin açık şeması ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.1. Devrenin Kalibrasyonu

Pratik olarak devrenin kullanıcı tarafından ayarlanması için yük olarak birkaç tane akkor flamanlı lamba kullanılabilir. Referans gerilimi 100 mV'a doğrulukla ayarlanmış olan dijital voltmetrenin bu durumda 0.99 veya 1.00 göstermesini sağlayacak şekilde zayıflatıcı üzerindeki 47 k Ω 'lık direnç ayarlanır(Şekil 2). Ya da FET'in(2N3819) gate'i sürekli besleme kaynağına bağlı iken zayıflatıcı çıkışı bir osiloskop ile izlenerek 100 mV elde edecek şekilde 47k'lık direnç ayarlanır.

3.GERÇEKLEŞTİRİLEN DEVRENİN TEST EDİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Yük olarak 100 w'lık akkor flamanlı lambalar(L) ve balastlar(B) kullanıldı. Akım ve gerilim arasındaki faz farkı osiloskoptan ölçülerek güç katsayısı hesaplandı, ölçülen değerlerle hesaplanan değerler arasında 0.66, 0.64 gibi virgülden sonra ikinci rakamla sınırlı hatalar gözlemlendi.

Hesaplanan değerler gerçekleştirilen ölçü aletinin display'inde görüntülenen değerlerle ve piyasadan temin edilen bir ölçü aletinin ölçüm değerleriyle karşılaştırıldı. 12 balasttan oluşturulan bir yükün çektiği akım 5.53A, yük direnci 3.3 ohm olarak ölçüldü. Böyle bir yük için hesaplanan faz farkı 85.24 derece olup güç katsayısı 0.082 dir. Bu durumda gerçekleştirilen ölçü aletinin ölçtüğü değer 0.077 iken piyasadan temin edilen bir ölçü aleti ise 0.24 ölçmektedir, özellikle yük akımının küçük değerlerinde, tasarlanan cosp'metrenin çok daha doğru ölçme yaptığı belirlendi. Aşağıdaki tabloda çeşitli yükler için piyasadan temin edilen bir cosp'metre ile gerçekleştirilen cosp'metre'nin güç faktörü ölçme sonuçları listelenmiştir. Yük akımı arttıkça piyasa tipinin değerleri doğru değerlere yaklaşmaktadır.

Tablo 1. Karşılaştırma Sonuçları

YÜK	PİYASA	GERÇEKLEŞTİRİLEN
6B	0.38	0.089
6B+1 L	0.56	0.357
6B+2L	0.72	0.543
6B+3L	0.83	0.663
6B+4L	0.89	0.739
6B+5L	0.93	0.787

Ayrıca yük olarak sadece 5 tane akkor flamanlı lamba kullanıldığında piyasadan temin edilen cosp'metrenin 0.96 değerini gösteriyorken kapasitif lambasının yandığı gözlemlendi. Oysa gerçekleştirilen cosp'metrenin 0.999 değerini gösteriyorken endüktif lambasının yandığı tesbit edildi.

Sonuç olarak gerçekleştirilen devre, piyasadaki cosp'metrelerle karşılaştırıldı. Çeşitli yük durumları için güç katsayısının çok daha yüksek doğrulukla ölçülebileceği tespit edildi.

4.KAYNAKÇA

[1] Ince,M.C., "Tristör Yardımıyla Reaktif Güç Kompanzasyonunun Gerçekleştirilmesi", Y.Lisans Tezi, Fırat Ün., 1986

DC AMPER-SAAAT ÖLÇÜM DEVRESİNİN TASARIM VE UYGULAMASI

Tolga SÜRGEVİL

Eyüp AKPINAR

Dokuz Eylül Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

35160 Buca/İZMİR

Abstract- The design and implementation of a de amper-hour meter for an electric wheelchair is presented in this paper. A microcontroller based monitoring and a single-chip for energy measurement, which combines the benefits of analog-to-digital conversion and analog data process, are used during the implementation. The device was examined in laboratory and test field on an electric wheelchair.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin sınırlı kaynaklardan kullanımı verimlilik faktörünü ön plana çıkaran önemli bir unsurdur. Enerjinin sınırlı olarak depolanıp kullanıldığı dizgelerin başında güç elektroniği elemanları ile donatılmış elektrikli otomobil, elektrikli özürü sandalyesi veya akü şarj ünitesi gibi sistemlerde enerji ölçüm cihazları bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ölçüm elemanları akım veya gerilim dalga şekillerindeki bozulmalarla karmaşık bir tasarım sergileyebilmektedir. Kıyıcı devrelerde giriş gerilimi bataryadan düzgün sağlanabilse de çekilen akımlar harmonikler içerdiği için bataryadan çekilen enerjinin doğru hesaplanması akım ve gerilimin doğru örneklenmesine bağlıdır. Mikrodenetleyici tabanlı sistemlerde [1,2] örnekleme bilgisi dışardan eklenen analog/sayısal dönüştürücüler aracılığı ile yapılabildiği gibi, mikrodenetleyici içerisine gömülen tümleşik devrelerle de yapılabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan tümleşik devre yardımıyla giriş akım ve geriliminin harmonik bileşkesine bağlı olmadan çekilen enerji doğru bir biçimde tespit edilerek enerjiyle orantılı bir frekansta darbe çıkışı alınmaktadır. Böylece analog gerilim ve akım sinyallerinin sayısala çevrilmesi ile bu sayısal verilerin işlenmesi gibi işlemler tek bir tümleşik devre üzerinde yapıldığından tasarımcıya da büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tasarım olarak aktif güç üzerinden enerjiyi (watt-saat) ölçme amacıyla hazırlanan bu tümleşik devre ufak değişikliklerle aktif güç (watt) veya coulometric (amper-saat) ölçüm amacıyla da kullanılabilir.

Bir elektrikli özürü sandalyesinin bataryasından çekilen enerjinin bilinmesi önemli bir nokta teşkil etmektedir. Eğer

bataryadan çekilen enerji ölçülebilirse kullanıcı ne kadar batarya ömrünün kaldığını görebilir. Coulometric ölçüm tekniği belirli bir zaman içinde bataryadan çekilen veya bataryaya gönderilen akım kapasitesinin amper-saat cinsinden ifade edilmesidir. Batarya gerilimleri genel olarak sabit kaldığı için kapasiteleri amper-saat olarak ifade edilmektedir [3]. Böylece bu ölçüm yardımıyla kapasitesi belli olan bataryanın ne kadar şarjı kaldığı dolaylı olarak saptanmaktadır. Buna bağlı olarak da bataryaların tamamen boşalmadan şarj edilmesi sağlanabilmekte veya kapasitesinin ne kadarının kullanıldığı bilindiği için fazla şarjdan dolayı bataryanın zarar görmesi engellenebilmektedir.

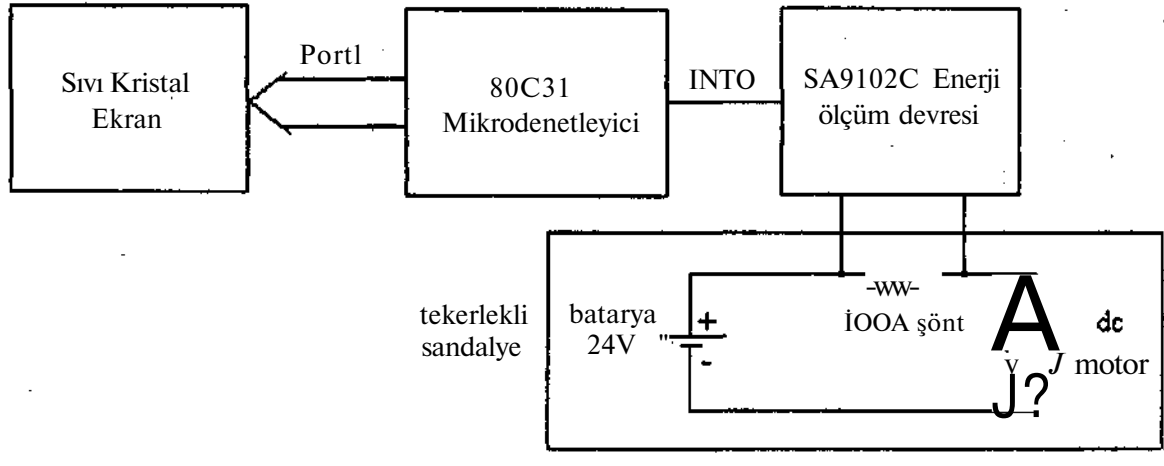
Bu çalışmada yukarıda belirtilen ölçüm tekniği esas alınarak tasarlanan ve gerçekleştirilen mikrodenetleyici tabanlı de amper-saat ölçüm devresi verilmektedir.

2: SİSTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Devrenin gerçekleştirilmesinde INTEL 80C31 mikrodenetleyici donanımı ve SAMES SA9102C darbe çıkışlı, tek faz, tek yönlü güç/enerji ölçüm tümleşik devresi kullanılmıştır. Buna göre devre işlev olarak iki bölüme ayrılabilir: 1) analog sinyal işleme, 2) ekrana yazdırma. De enerji ölçüm devresinin blok şeması Şekil 1 de verilmektedir.

Analog sinyal işleme devresi besleme bataryasının (-) ucu ile motor arasına yerleştirilen 100A' lik akım şöntü ve SA9102C darbe çıkışlı, tek-faz güç/enerji ölçüm tümleşik devresinden oluşmaktadır. Akım şöntü tekerlekli sandalyenin çekmiş olduğu akımın elde edilmesi için kullanılmaktadır ve çıkış aralığı 0-100 Amper için 0-60 mVolt' dur. Akım şöntü üzerinden okunan bu değer enerji ölçüm tümleşik devresinin alam girişine gönderilmektedir.

$\pm 2.5V$ de gerilimle çalışan SA9102C enerji ölçüm tümleşik devresinin gerilim ve akım girişi olmak üzere 2 adet girişi vardır ve bu iki değer çarpımının zamana göre integralini alarak aktif güç üzerinden çekilen enerjiyi hesaplar. Hesaplanan bu değere göre seçilen çıkış pininden 0-4 veya 0-1160 Mz frekansları arasında darbe çıkışı elde edilmektedir.



Şekil 1. De enerji devresi blok şeması

Üretilen darbenin frekansı aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir:

$$f_{oul} = \frac{1}{2 \cdot R_r + R_c} \cdot \frac{V_{ref}}{I_r} \quad (1)$$

Burada,

f_{oul} : tümleşik devrenin seçilen darbe çıkışı pinine göre alacağı değer (4 veya 1160Hz). Bu değer aynı zamanda en yüksek darbe frekansı değeridir,

f^c : osilatör frekansı (XTAL=3.58MHz),

I_i : tümleşik devrenin akım girişinden çekilen ve akım şöntü üzerinden gerilim değerine bağlı akım değeri,

I_v : tümleşik devrenin gerilim girişinden çekilen akım değeri,

I_r : referans akımı. Bu akımın tipik değeri 50 μ A' dir ve değeri kalibrasyon amacıyla değiştirilebilir.

Amper-saat ölçümü için tümleşik devrenin gerilim girişinden çekilen akımın değeri sabit tutulmaktadır. Bu şekilde devrenin üretmiş olduğu her bir darbe amper-saat cinsinden bir değere karşılık gelecektir. Enerji ölçüm devresi şeması Şekil 2 ' de verilmektedir. Çekilebilecek en fazla tekerlekli sandalye motor armatür akımı (IOOA) ve sabit 2.5V gerilim girişi için tümleşik devrenin girişlerinden çekilen akımlar şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$I_i = \frac{60mV}{R_1 + R_2} = 16\mu A, I_v = \frac{2.5V}{R_3} = 33\mu A \quad (2)$$

Böylece en yüksek motor akımı için üretilen darbelerin frekansı (1) numaralı eşitlikten 27.34Hz olarak hesaplanmaktadır. Buna göre 1 darbenin amper-saat cinsinden karşılığı, E^{\wedge} , şu şekilde olmaktadır:

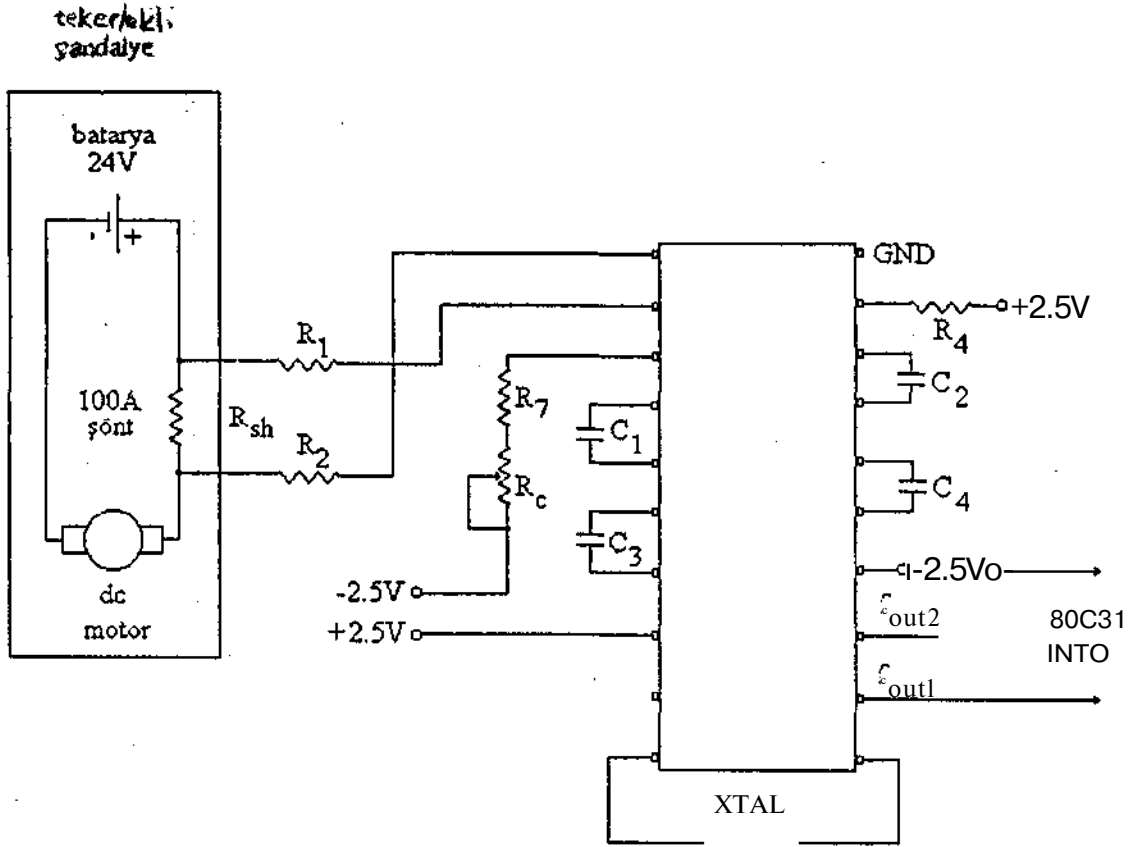
$$E_{oul} = \frac{100Ah}{27.34Hz \cdot 3600s} = 0.001 Ah /daibe \quad (3)$$

Cihazın kalibrasyonu şemada gösterilen 4k' hk. R_c potansiyometresi yardımıyla I_r referans akımı değiştirilmek suretiyle yapılmaktadır. Tümleşik devrenin referans akımını belirleyen $R_r + R_c$ direnci optimum değerinden (24K) $\pm 5\%$ değiştirilebilmekte ve bu durumda çıkış frekansı $\pm 10\%$ olarak değişmektedir. Tipik olarak $R_r + R_c = 24K$ durumunda çekilen referans akımı 50 μ A ve $V_{ref} = 1.2V$ dur. Referans akımı şu şekilde hesaplanmaktadır:

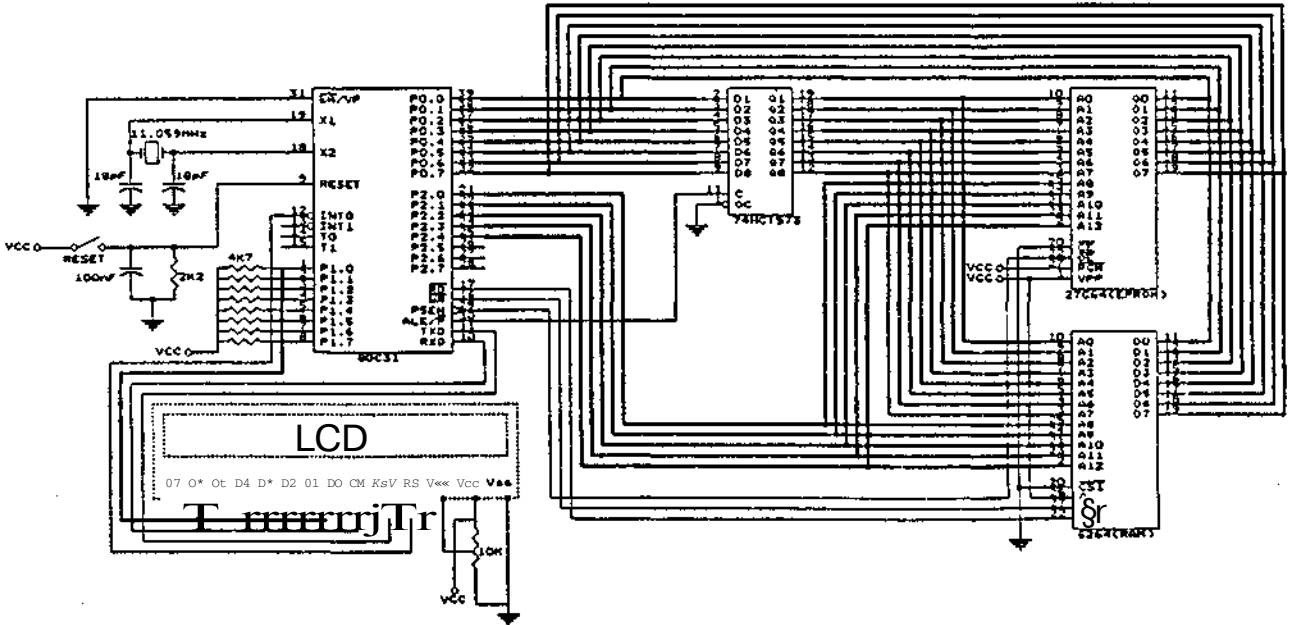
$$I_r = \frac{V_{ref}}{R_r + R_c} \quad (4)$$

Buna göre $R_r + R_c = 24K \pm 2K$ için referans akımı $\pm 8.3\%$ değiştirilebilmektedir. Böylece (1) nolu eşitliğe göre darbe frekansı değiştirilebilmekte ve cihazın kalibrasyonuna olanak sağlanmaktadır [4]. Enerji ölçüm cihazı için seçilen eleman değerleri Tablo 1' de verilmektedir.

Enerji ölçüm devresinin ürettiği darbelerin saydınması ve buna karşılık gelen amper-saat değerinin sıvı kristal ekran üzerine yazdırılması için INTEL 80C31 mikrodenetleyici donanımı kullanılmıştır. Buna göre enerji ölçüm devresinden gelen darbeler 80C31 in INTO pinine bağlanmış olup her yükselen kenarda bir kesme yaratmakta ve buna bağlı olarak her kesme rutinde 1 darbenin karşılık geldiği ve (3) numaralı eşitlikte bulunan değer mevcut değer üzerine eklenmektedir. Sonuç olarak elde edilen değer sıvı kristal ekrana aktarılmaktadır. Gerçekleştirilen sistemde analog sinyal işleme kısmının önemli bir bölümü enerji ölçüm tümleşik devresi içinde yapıldığından 80C31 yazılımında



Şekil 2. Enerji ölçüm devresi şeması



Şekil 3. 80C31 donanımı şeması

Tablo 1: Enerji ölçüm devresi eleman defterleri

$R_1=1.875K$	$R_2=1.875K$	$R_3=7.2M$
$R_4=2.2K$	$R_5=4K$	$C_1=560pF$
$C_2=560pF$	$C_3=3.3nF$	$C_4=3.3nF$

önemli bir yükten kurtulmak mümkün olmuştur. 80C31 yazılımı belirtilen kesme rutini ile standart sıvı kristal ekrana yazdırma rutinlerini içermektedir [5]. Şekil (3)' de 8K EPROM ve RAM ünitelerinden oluşan standart 80C31 donanıma şeması verilmektedir.

3. SONUÇ

Cihazın testi akım şekilleri harmonikler içeren üç-faz doğrultucu devresinde.(Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Laboratuvar'ında) ve elektrikli özürü sandalyesinde bir test kulvarında yapılmıştır. Özel olarak elektrikli özürü sandalyesi için tasarlanıp gerçekleştirilen bu cihaz daha önce sözü edilen ve enerji ölçümünün gerekli olduğu tüm sistemlerde de rahatlıkla kullanılabilir. Mevcut tasarımıyla cihaz şu anda sadece bir bataryadan kıyıcı aracılığı ile beslenen özürü sandalyesinin elektrik motorunun çektiği batarya kapasite miktarının amper-saat cinsinden ifadesini göstermektedir. Donanım ve yazılımda yapılacak ufak değişikliklerle bataryanın şarj durumunu da göstermek mümkündür.

TEŞEKKÜR: Faz Elektrik A.Ş yöneticilerine bu çalışmada DEÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümüne sağladıkları maddi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

4. KAYNAKÇA

- [1] M. Ohsmann, 'Watt-hour meter Part-T', Etektor Electronics, pp 14-19, February 1991
- [2] M. Ohsmann, 'Watt-hour meter Part-IT', Etektor Electronics, pp 26-30, March 1993
- [3] James H. Aylor, Alfred Thieme, Barry W. Johnson, 'A battery stat-of-charge indicator for electric wheelchairs', IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.39, no.5, pp 398-409, October 1992.
- [4] 'Energy Measurement IC Databook', South African Micro-Electronic Systems (Pty) Ltd. (SAMES), 1996
- [5] 'Embedded Applications', INTEL Corporation, 1995

UME DC DİRENÇ LABORATUVARI'NDA KULLANILMAKTA OLAN DİRENÇ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Levent SÖZEN, Denizhan ATEŞALP, Handan SAKARYA, Mehmet ÇINAR
TÜBİTAK/UME-DC Direnç Laboratuvarı
PK. 21 41470 Gebze/KOCAELİ
E-mail: Ievent.sozen@ume.tubitak.gov.tr

ABSTRACT

Secondary level resistance measurements in the range of 100 μ D-1Pn are performed at UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) DC Resistance Laboratory. Traceability of UME resistance Standard is obtained through BIPM (Bureau International Des Poids et Mesures) and PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) using the $\dot{I}\dot{U}$ and 10 kC2 national standards, which are calibrated against Quantum Hall (QH) Standard. The traceability is transferred to the working standards by ratio comparison using Measurement International 6010B and 6000A bridge up to IGÜ. Över IGD, home made Wheatstone Bridge is used to transfer the value. After the QHE system established at UME at the end of 1999, resistance value will be transferred directly through QH Standard and the existing measurement systems will be used for the secondary level calibrations.

The techniques given in section 2 are used to measure the Standard resistors at UME. During the measurements resistors should be maintained in a controlled environment to prevent change in the resistance value due to the environmental effect. in order to provide required environmental conditions ali baths and air baths are used.

1. GİRİŞ

UME DC Direnç Laboratuvarı'nda 10QÜ-IPCI aralığında ikincil seviye DC direnç ölçümleri gerçekleştirilmektedir. 100 μ f2-IPC! aralığı için izlenebilirlik, \sqrt{Q} . ve 10kfi değerinde referans dirençler kullanılarak sağlanır. Bu dirençler her sene BIPM'e (Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu) veya Almanya'nın Metroloji Enstitüsü PTB'ye gönderilmektedir. Gönderilen bu standart dirençler birincil seviye direnç ölçüm sistemi olan Kuantum Hall Etkisi (QHE-Quantum Hall Effect) sistemi ile karşılaştırılmaktadır. İzlenebilirlik diğer standart dirençlere, bu dirençler referans alınarak aktarılmaktadır. QHE sisteminin 1999 yılı içerisinde UME'de kurulmasıyla birlikte DC Direnç Laboratuvarı birincil seviyeye yükselecektir ve izlenebilirlik direkt olarak bu standart üzerinden sağlanacaktır.

Standart dirençler, çevredeki ortam şartlarından özellikle sıcaklık değişimlerinden etkilenmemeleri için sıcaklık kararlılığı çok iyi olan yağ ve hava banyolarında muhafaza

edilirler. İyi bir yağ banyosunun sıcaklık kararlılığı ± 4 m°K, hava banyosunun ise ± 100 m°K mertebesindedir. Yağ ve hava banyolarının sıcaklıkları 23 °C olup sıcaklık kontrolleri sürekli olarak yapılmaktadır. 100 μ f!-10k£2 aralığındaki dirençler yağ banyolarında, 10kQ-1Pfi aralığındaki dirençler ise hava banyosunda muhafaza edilmektedir.

Standart dirençlerin ölçümlerinde dört uçlu ve iki uçlu olmak üzere iki tür bağlantı tekniği kullanılmaktadır. 100 μ Q-10MQ aralığında dört uçlu, 10MQ-1Pfi aralığında ise iki uçlu bağlantı şekilleri kullanılır.

UME DC Direnç Laboratuvarı'nda kullanılan üç temel ölçüm sistemi vardır. 100 μ Q-10kQ aralığındaki dirençlerin ölçümü MI (Measurement International) 6010B Otomatik Direnç Köprüsü ile, 10kQ-IGQ aralığındaki dirençlerin ölçümü MI 6000A Otomatik Yüksek Direnç Köprüsü ile ve 1GQ-1PQ aralığındaki dirençlerin ölçümü ise Laboratuvar'da kurulmuş olan Wheatstone Köprüsü ile gerçekleştirilmektedir.

Direnç ölçüm yöntemlerinin yanında DC Direnç Laboratuvarı'nda dirençlerin sıcaklık katsayısı hesapları, standart direnç ve akım şöntlerinin güç katsayısı hesapları, yüzeysel ve hacimsel öz direnç ölçümleri, malzemelerin antistatik testlerinin yapılması ve ohmmetre kalibrasyonları yapılmaktadır.

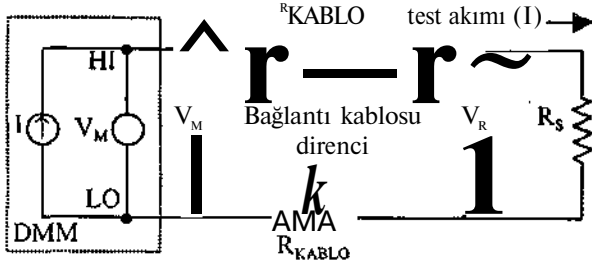
Önümüzdeki birkaç yıl içinde DC ve AC iletkenlik ölçüm sistemlerinin ve yüksek akım şöntü ölçüm sistemlerinin kurulması planlanmaktadır.

2. DİRENÇ ÖLÇÜM BAĞLANTI TEKNİKLERİ

Direnç ölçümlerinde bağlantı kablolarından gelen etki, ölçülen direncin değerine bağlı olarak gözardı edilemeyecek bir hata etkisine sebep olabilir, özellikle düşük değerli direnç ölçümlerinde bu etki daha fazla olmaktadır. Bu yüzden, özellikle yüksek doğruluklu ve düşük değerli direnç ölçümlerinde oluşan bu etkiyi azaltmak için dört uçlu ölçüm tekniğinin kullanılması tavsiye edilir. Direnç ölçümlerinde, iki uçlu ve dört uçlu olmak üzere başlıca iki bağlantı tekniği kullanılmaktadır [1].

2.1 İki Uçlu Bağlantı Tekniği

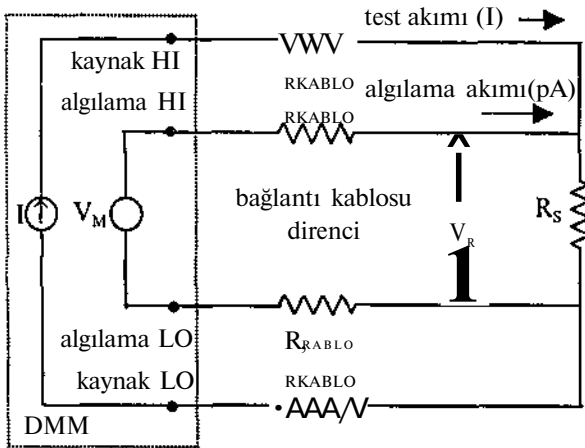
Düşük değerli direnç ölçümlerinde şekil 1'de gösterilen iki uçlu ölçüm yönteminin kullanılması sırasında bağlantı kablolarının sahip olduğu dirençler (R_{KABLO}) göz ardı edilemeyecek hatalar oluşturur. Uygulanan 1 akımı, bağlantı kabloları üzerinde küçük fakat belirgin bir gerilim düşüşüne sebep olur. Multimetre tarafından okunan V_M gerilimi R_s direnci üzerine düşen V_R gerilimine tam olarak eşit değildir. Burada bağlantı kablolarından gelen direnç etkisi 0.01C2-1Q mertebesindedir. Bu yüzden bu bağlantı şekli IOMII'dan büyük direnç değerleri için uygulanır.



Şekil 1. İki uçlu direnç bağlantı tekniği

2.2 Dört Uçlu Bağlantı Tekniği

Şekil 2'de gösterilen dört uçlu ölçüm tekniğinde, bağlantı kablolarının biri üzerinden R_s direncine I akımı uygulanır. Bu sırada algılama kablosu olarak adlandırılan ikinci bağlantı kablosu üzerinden test cihazının V_M gerilimi ölçülür. Algılama kabloları üzerinden akan akım önemsenmeyecek kadar küçük olur (<1 pA) ve pratik uygulamalarda genellikle göz ardı edilebilir. Algılama kabloları üzerindeki gerilim düşmeleri önemsenmediğinden, multimetre tarafından ölçülen V_M geriliminin R_s direnci üzerindeki V_R gerilimi ile aynı olması gereklidir. Sonuç olarak, direnç değeri bu yöntemle iki uçlu ölçüm yöntemine göre daha doğru olarak tespit edilebilmektedir. Bağlantı kabloları üzerindeki gerilim düşüşünden kaynaklanan etkiden kurtulmak için algılama kablolarının direnç üzerindeki bağlantılarının, ölçülen dirence yeteri kadar yakın olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2. Dört uçlu direnç bağlantı tekniği

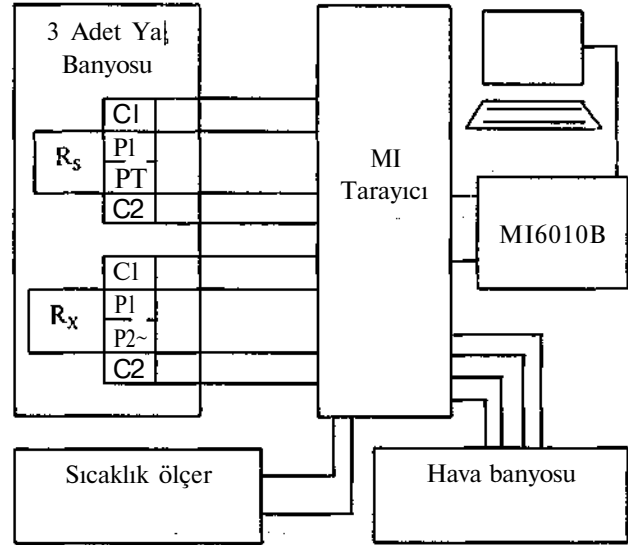
3. DİRENÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Direnç ölçüm yöntemleri olarak kullanılan birçok metod vardır. Fakat kullanılan metodlarda direnç değerinin hassas bir şekilde ölçülmesi isteniyorsa doğruluğu çok iyi olan sistemler kullanılmalıdır. UME ve benzeri enstitülerde ppm (parts per million) mertebesinde belirsizlik değeri'ei verilebilmektedir. Bu da özel olarak kurulmuş olan direnç ölçüm sistemleri sayesinde olmaktadır. Laboratuvar'da kurulu olan üç türlü temel direnç ölçüm sistemi vardır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1 100 μ Q-10kQ Arası Direnç Ölçüm Yöntemleri

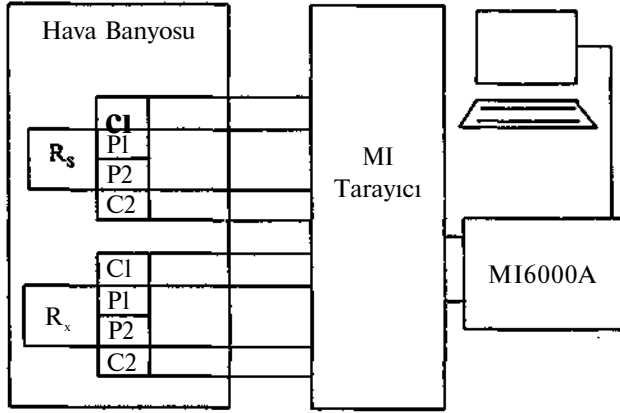
100 μ Q-10kQ arasındaki standart dirençler sıcaklık kontrollü yağ banyolarında muhafaza edilirler. Her ay düzenli olarak yağ banyolarının sıcaklık ölçümleri, içlerine yerleştirilmiş olan termistörler yardımıyla yapılmaktadır [2]. Dört uçlu olarak bağlanan standart dirençler MI 6010B Otomatik Direnç Köprüsü'yle ölçülmektedir (Şekil 3). Bu sistemde, MI 6010B Otomatik Direnç Köprüsü, biri 30A'lık olmak üzere üç adet 20 kanallı tarayıcı, bir adet 10 kanallı tarayıcı, aralık genişletici ve 100A'lık bir akım kaynağı bulunmaktadır. Dirençlerin tarayıcılara bağlanması suretiyle, aynı anda 40 adet direncin ölçülmesi mümkün olabilmektedir. Sistem MI tarafından Lab View ile yazılmış bir program ile otomatik olarak bilgisayar ile kontrol edilebilmektedir. Bu program ile değeri çok iyi bilinen bir referans direnç (R_s) ile değeri bilinmeyen direnç (R_x) karşılaştırılarak buradan bir oran elde edilir. R_x / R_s şeklinde elde edilen bu orandan bilinmeyen direnç değeri hesaplanır. Doğruluğu çok iyi olan bu sistem ile 10^7 mertebesinde belirsizlik verilebilmektedir.

Değeri 1Q'dan küçük direnç değerleri için uygulanacak akım değeri yüksek olduğundan 30A'lık tarayıcı ve 1/10, 1/100, 1/1000 sabit direnç oranlarını sağlamak için aralık genişletici kullanılır.



Şekil 3. 1Q-10kQ ölçüm aralığında kullanılan otomatik direnç ölçüm sistemi

3.2 10kΩ-1GΩ Arası Direnç Ölçüm Aralığı
10kΩ-1GΩ arasındaki standart dirençler sıcaklık değişimlerinin direnç üzerindeki etkisini en aza indirmek için hava banyosunda muhafaza edilmektedir. Bu aralıktaki standart dirençler, MI 6000A Otomatik Yüksek Direnç Köprüsü'ne dört uçlu veya iki uçlu olarak bağlanmak suretiyle ölçülmektedir. Şekil 4'te, kullanılmakta olan yüksek değerli direnç ölçüm sisteminin bağlantı şeması gösterilmektedir.



Şekil 4. 10kΩ-1GΩ ölçüm aralığında kullanılan otomatik yüksek direnç ölçüm sistemi

Bu sistemde MI 6000A Yüksek Direnç Köprüsü, 20 kanallı tarayıcı, gerilim kaynağı ve dijital multimetre bulunmaktadır. Bu sistem de diğer sistem gibi bilgisayar yardımıyla kontrol edilmektedir. Bilinen direnç değeri (R_s) ile bilinmeyen direnç değeri (R_x) birbirlerine seri bağlanır. Gerilim kaynağı tarafından 10V uygulanarak devre üzerinden bir akım akması sağlanır. Dirençlerin P1-P2 potansiyel uçlarından gerilim değerleri okunarak R_x / R_s oranı belirlenir. Bu oran kullanılarak bilinmeyen direnç değeri otomatik olarak hesaplanır.

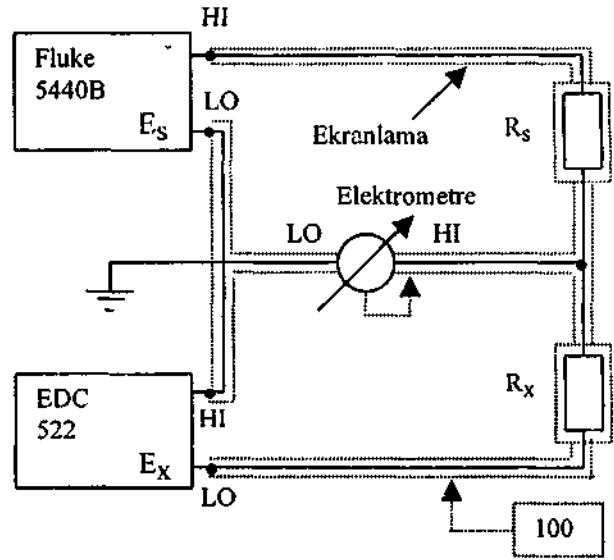
3.3 1GΩ-1MPC! Arası Direnç Ölçüm Yöntemleri

1GΩ-1MPC! ölçüm bölgesindeki dirençler DC Direnç Laboratuvarı'nda kurulmuş olan Wheatstone Köprüsü ile ölçülmektedir [3]. Şekil 5'te gösterilmiş olan sistemde, bilinen Wheatstone Köprüsü'nden farklı olarak dört adet direnç yerine iki adet direnç ve iki adet gerilim kaynağı kullanılmıştır. Bu sistemde denge konumu aşağıdaki 1 numaralı eşitlik sağlandığı zaman oluşmaktadır:

$$\frac{E_s}{E_x} = \frac{R_s}{R_x} \quad (1)$$

Gerilim kaynaklarından, dirençlerin üzerine nominal değerlerine uygun olacak şekilde gerilim uygulanır. Elektrometre ile dirençler üzerinden geçen akım değerleri ölçülür ve dirençlerin üzerinden geçen akımların farkı sıfır olacak şekilde gerilim kaynaklarından bir tanesinin gerilim değeri değiştirilir. Denge konumuna gelindiğinde 1

numaralı eşitlik kullanılarak bilinmeyen direnç değeri hesaplanır.



Şekil 5. Wheatstone Köprü sistemi

4. SONUÇLAR

UME DC Direnç Laboratuvarı'nın görevi birincil seviye direnç ölçümlerini gerçekleştirmek ve izlenebilirliği en doğru şekilde ikincil seviye laboratuvarlara aktarmaktır. Birincil seviye direnç ölçümleri, 1999 yılı sonunda QHE sisteminin kurulması ile birlikte gerçekleştirilecek ve uluslararası alanda bu konuda kendini kanıtlayacaktır. Şu anda kullanılmakta olan ve yukarıda anlatılmış olan sistemler, önümüzdeki yıllarda ikincil seviye kalibrasyonlarda kullanılacaktır. Önümüzdeki birkaç yıl içerisinde iletkenlik ölçümleri ve yüksek akım şöntlerinin ölçümleri konularında da çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

- [1] "UME DC Direnç Laboratuvarı Elektriksel Metroloji Eğitim Notları", 1997
- [2] Sakarya H., İnce R., "Automation of Resistance Measurements in the National Metrology Institute of Turkey", 8th İMEKO TC-4 Symposium Proceedings, Budapeşte, September 16-17, 1996
- [3] Henderson L.C.A., "A New Technique for the Automatic Measurement of High Value Resistors", *J. Phys. E.: Sci. Instrum.*, vol.20, 1987