

100 kV AC YÜKSEK GERİLİM BÖLÜCÜSÜ YAPIMI

Ahmet MEREV
Serkan DEDEOĞLU
Kaan GÜLNİHAR

ÖZET

Yüksek gerilim, ölçülen işaretin genliğinin yüksek olması nedeniyle bilinen ölçme sistemleri ile doğrudan ölçülemez. Yüksek gerilimin, değeri bilinen bir bölüm oranı ile bölünmesi ve bölünmüş alçak gerilim değerinin doğru olarak ölçülmesi gerekir. Bir yüksek gerilim ölçme sistemi, gerilim bölücü veya ölçü transformatörleri gibi dönüştürücü elemanlardan, ölçü kabloları gibi iletim elemanlarından ve dijital kaydediciler ve tepe değer ölçü aletleri gibi kaydedici cihazlardan oluşur. Dönüştürücü cihazlar yüksek genlik değerini iletim elemanları ve kaydedici cihazlar için uygun düzeye indirmektedirler. Yüksek gerilim tekniğinde kullanılan dönüştürücü cihazların çıkış gerilimi, orijinal giriş geriliminin tepe değeri ile doğru orantılı, dalga biçimi ve zaman parametreleri ile aynı olmalıdır. Bu cihazlar, sözü edilen koşullar göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır [1].

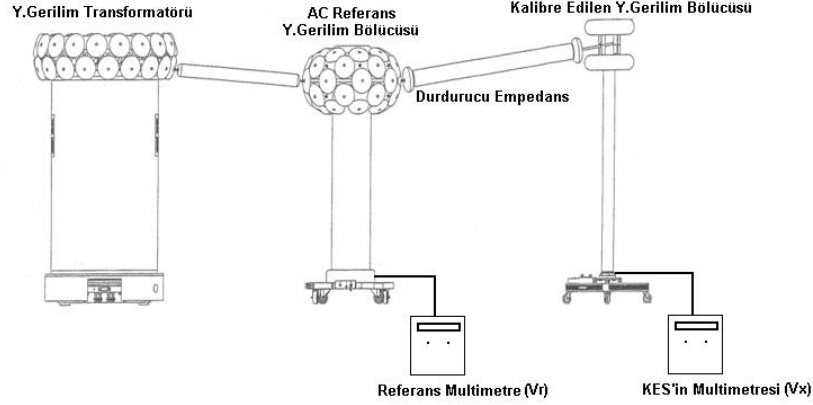
AC yüksek gerilim ölçümlerinde kullanılan bölücünün çevirme oranı, doğru olarak bilinmelidir. Bir gerilim bölücüsü tasarlanırken bölüm oranının değişimine yol açacak etkenlerin en aza indirgenmesi kararlılık açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada 100 kV referans AC yüksek gerilim bölücüsünün tasarımı, yapımı ve ölçümleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim ölçmeleri, gerilim genliğinin yüksek olması nedeniyle zordur ve bilinen alçak gerilim ölçme elemanları kullanılarak doğrudan ölçülemezler. Bir yüksek gerilim ölçme sistemi, yüksek gerilimi alçak gerilim aletleri ile ölçülebilir gerilim düzeyine düşüren bir gerilim bölücüsünden veya bir gerilim ölçü transformatöründen, bu elemanların çıkışındaki gerilimi, alçak gerilim ölçme düzeni elemanlarına ileten bir ölçü kablosundan ve voltmetre, osiloskop ve bilgisayar gibi ölçme, görüntüleme, izleme ve kaydetme amaçlı aletlerden oluşmaktadır. Ölçmelerin doğruluğu dönüştürücü elemanların, dönüştürme özelliklerine bağlıdır. Yüksek gerilim ölçmelerinde kullanılan gerilim bölücü ve ölçü transformatörü gibi dönüştürücü elemanların çıkış gerilimi, girişlerindeki orijinal yüksek gerilimin dalga şekli, genlik ve zaman büyüklükleri ile orantılı olmalıdır. Bu nedenle dönüştürücü elemanların dönüştürme özellikleri tanımlı ve sözü edilen gereksinimleri karşılayacak biçimde olmalıdır [2].

AC yüksek gerilim ölçmelerinde gaz yalıtımlı kapasitif gerilim bölücüleri kullanılmaktadır. Dirençsel gerilim bölücülerine göre en önemli avantajları yüksek doğruluk derecesine kadar saf kapasitif olmaları, kayıp faktörlerinin 1×10^{-5} mertebesinde daha düşük olması, gerilim ve sıcaklık bağımlılıklarının ihmal edilebilir düzeyde olması sebebiyle bölüm oranlarının tam olarak belirli olması sayılabilir. Ayrıca gerilim bölücülerinin alçak gerilim kolunun kısa devre edilmesi durumunda, yüksek gerilim kapasitörü kapasitans ve $\tan \delta$ ölçüm köprülerinde standart kapasitör olarak da kullanılabilir. Günümüzde kullanılan gerilim bölücüleri SF6 gaz yalıtımlı, 15-100 pF arası kapasitans ve 100-200 kV çalışma gerilimi aralığında üretilmektedir.

Şekil 1’de referans sistem (RS) ile kalibre edilen sistem (KES) bir arada görülmektedir. Bu ölçüm sisteminde referans AC yüksek gerilim bölücüsü olarak SF6 gaz yalıtımlı 400 kV'luk standart kapasitör kullanılmıştır.



Şekil 1. AC yüksek gerilim kalibrasyon düzeneği [3]

2. YAPIMI GERÇEKLEŞTİRİLEN BÖLÜCÜNÜN YAPISI

Gaz yalıtımlı kapasitörler genellikle kapasitör ölçüm köprülerinde kapasitans ve kayıp faktörü ölçümlerinde standart kapasitör olarak kullanılırlar. Ayrıca bu kapasitörler, alçak gerilim ucuna seri olarak bağlanan bir kapasitör grubuyla, yüksek alternatif gerilimleri ölçmede de kullanılabilir. Yapımı gerçekleştirilen gerilim bölücüsü, maksimum çalışma gerilimi 100 kV olan gaz yalıtımlı yüksek gerilim kapasitöründen ve bu kapasitöre seri olarak bağlanan alçak gerilim kapasitöründen oluşmaktadır. Yüksek gerilim kapasitörü gaz yalıtımlı ve sızdırmaz bir ortamda iç içe geçmiş yapıda yüksek gerilim ve alçak gerilim elektrodu olmak üzere iki adet silindirik elektrottan oluşmaktadır. Ayrıca birbirlerine çok yakın olarak merkezlenmiş elektrotlar arasındaki mesafe çok küçük olduğundan elektrotlar arası herhangi bir korona, atlama ve deşarj oluşmaması için elektrotların içinde bulunduğu kapalı ve sızdırmaz ortama, uygun basınçta kuru SF6 gazı doldurulmuştur. Alçak gerilim kapasitörü olarak, ekranlanmış bir kutu içerisinde mika tip kondansatör grubu kullanılmıştır.

Gaz basınçlı kapasitörlerin kapasitans değerini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri, elektrotlar arasındaki mesafe, sıcaklık, gaz basıncı, gerilim ve frekans etkileri şeklinde sıralanabilir. AC yüksek gerilim ölçümlerinde hassasiyet, gerilim bölücüsünün kapasitans değerinin belirlenen minimum toleranslar içerisinde kalmasıyla mümkündür. Ölçüm güvenilirliği yukarıda belirtilen faktörlerin, bölücü için karakterize edilmesiyle sağlanır.

Yapımı gerçekleştirilen SF6 gaz yalıtımlı gerilim bölücüsü 100 kV'luk maksimum çalışma gerilimine sahiptir. Şekil 2’de gerilim bölücüsünün resmi verilmiştir. Kapasitörün maksimum yüksekliği 700 mm olup genişliği ise 200 mm’dir. 2,6 bar SF6 gaz basınçlı yapının toplam ağırlığı 30 kg’dır. Kapasitörde, kapalı ve sızdırmaz bir ortamda iç içe geçmiş yapıda yüksek gerilim ve alçak gerilim elektrodu olmak üzere elektrod kullanılmıştır.

Yüksek ve alçak gerilim elektrotları silindirik formdadır. İçyapıda bulunan yüksek gerilim elektrodu yüksek gerilim tepe elektroduna bağlı iken, alçak gerilim elektrodu ise yüksek gerilim elektrodu içine merkezleştirilmiş şekilde asılı durmakta ve ölçüm sistemine izoleli kablo ile ulaşmaktadır. Elektrotlar 2,6 bar basınçlı SF6 gazı ile yalıtılmıştır. Kapasitörün gerilim bağımlılığını en aza indirmek için; elektrotların birbirlerine göre merkezlenmesine ve rijit bir şekilde sabitlenmesine dikkat edilmiştir.

Elektrodların mükemmel olarak merkezlenmesi gerilim bağımlılığı için gereklidir ancak tek başına yeterli değildir. Çünkü yüksek gerilim altında oluşan elektrostatik kuvvetler, elektrotların formuna ve konumuna etki ettiğinden, kapasitörün gerilim bağımlılığına direkt etki söz konusu olmaktadır [4,5]. Yüksek gerilim kapasitörünün ölçüm ucu ise alçak gerilim elektrodundan basınçlı ortamın sızdırmazlığını bozmayacak şekilde koaksiyel kablolarla dışarı alınarak oluşturulmuştur.



Şekil 2. 100 kV AC yüksek gerilim bölücüsü[5]

Gerilim bölücüsünün alçak gerilim kolunu, 50 nF değerinde mika tip kapasitör grubu, bu kapasitör grubuna paralel olarak koruma parafudur ve ekranlama kutusu oluşturmaktadır. Alçak gerilim ölçüm kutusu, yüksek gerilim kapasitörünün alçak gerilim elektroduna N-tip konnektör ile bağlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. AC Yüksek Gerilim Kalibrasyonu

Yapımı gerçekleştirilen AC yüksek gerilim bölücüsü, referans yüksek gerilim ölçüm sistemi ile karşılaştırılması suretiyle bölüm oranı ve hata oranları her ölçüm noktası için belirlenmiştir. Ölçümler $23 \pm 3^\circ\text{C}$ sıcaklık, $\% 45 \pm 10$ nem ve 1013 ± 30 mbar atmosfer basıncına sahip ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. 10 kV, 25 kV, 50 kV, 75 kV ve 100 kV noktalarında ve her ölçüm noktasında 10 seri ölçüm alınarak efektif gerilim karşılaştırması yapılmıştır. Ölçüm karşılaştırmaları sonucunda gerilim bölücüsünün bölüm oranı 1338,4 V/V olarak belirlenmiştir. Hesaplanan bölüm oranı kullanılarak oluşturulan karşılaştırma sonuçlarının ortalamaları ve hata oranları Tablo 1'de verilmiştir.

IEC 60060-2 standardına göre AC yüksek gerilim bölücülerinin bölüm oranı kararlılığı ve doğrusallığı $\pm \% 1$ 'in altında olmak zorundadır. Tablo 1'de ifade edilen hata oranları gözönünde bulundurulursa, bölücünün bölüm oranı kararlılığı ve doğrusallığının, standardda aranan koşulları yerine getirdiği görülmektedir [6].

Tablo 1. 100 kV AC yüksek gerilim kalibrasyonu karşılaştırma sonuçları

Ölçüm Bölgesi	Referans Sistem	Kalibre Edilen Sistem	Hata
10 kV	10,61 kV	10,61 kV	% 0,00
25 kV	25,49 kV	25,46 kV	% 0,12
50 kV	51,35 kV	51,34 kV	% 0,02
75 kV	74,80 kV	74,81 kV	-%0,01
100 kV	99,70 kV	99,90 kV	-%0,20

3.1. Kapasitans Ölçümü

Gerilim bölücüsünün yüksek gerilim kapasitörü, kapasitans ölçüm köprülerinde standart kapasitör olarak kullanıldığından değerinin tam olarak bilinmesi gerekir. Bu çalışmada referans ölçüm sistemi ile yapılan karşılaştırma sonucunda kapasitörün kapasitans ve kayıp faktörü değerleri belirlenmiştir. Ölçümler her ölçüm noktasında seri olarak 10'ar adet ölçüm yapılarak ve sonuçların ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 100 kV standart kapasitörün kapasitans ölçüm sonuçları

Ölçüm Bölgesi	Kapasitans Değeri	Kayıp Faktörü
10 kV	38,633 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
20 kV	38,638 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
30 kV	38,642 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
40 kV	38,653 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
50 kV	38,652 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
60 kV	38,667 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
70 kV	38,678 pF	$< 4,0 \times 10^{-5}$
80 kV	38,696 pF	$< 4,5 \times 10^{-5}$
90 kV	38,721 pF	$< 4,5 \times 10^{-5}$
100 kV	38,738 pF	$< 5,0 \times 10^{-5}$
Ortalama	38,672 pF	$< 4,2 \times 10^{-5}$

Ölçüm sonuçlarına göre, tüm gerilim değerlerindeki kapasitans ortalamaları kullanılarak yapılan analizlerde hata oranının % 0,17 düzeyinde kaldığı belirlenmiştir. Ancak standart kapasitenin kayıp faktörü, özellikle 80 kV'un üzerindeki ölçüm bölgesinde yüksek çıkmıştır.

SONUÇ

AC yüksek gerilim kalibrasyonlarında kullanılan SF6 gaz yalıtımlı kapasitörler, sadece gerilim ölçümlerinde değil ayrıca kapasitans ölçüm köprülerinde de standart kapasitör olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, üretilen kapasitörlerin düşük kapasitans değerine ve ihmal edilebilecek düzeyde kayıp faktörüne sahip olmaları istenir. Ayrıca gerilim ve frekans bağımlılığının da düşük olması tercih nedenidir.

Yapımı gerçekleştirilen AC yüksek gerilim bölücüsünde bölüm oranı 10-100 kV ölçüm bölgesinde 1338,4 olarak belirlenmiştir. Bölücünün bölüm oranı kararlılığı standartlarda aranan koşulun çok altındadır. IEC 60060-2 standardında tanımlı olan koşul $\pm \% 1$ 'dir, yapımı gerçekleştirilen bölücüde ise bu oran % 0,2'dir. Yüksek gerilim kapasitörünün değeri ortalama olarak 38,672 pF bulunmuştur. Bu

değerin, farklı ölçüm noktalarında elde edilen kapasitans değerlerine göre hata oranı maksimum % 0,17'dir. Standart kapasitörün kayıp faktörü 5×10^{-5} 'den küçüktür. Yüksek gerilim teknolojilerinde kullanılan standart kapasitörler için bu değer 1×10^{-5} 'den küçük olması tercih nedenidir. Yalıtım gazı kalitesinin ve gaz dolun tekniklerinin, bu sonuçlarda etkili olduğu düşünülmektedir. Bu yönde düzeltici çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] MEREV, A., "Yüksek doğruluğa sahip 100 kV yüksek doğru gerilim bölücüsü" İTÜ Doktora Tezi, 2005.
- [2] RYAN, H. M., "High-Voltage Engineering and Testing" Institution of Electrical Engineers Publication, Wiltshire, 2001
- [3] TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ, "AC Yüksek Gerilim Ölçüm Sistemi Kalibrasyon Talimatı" TLM-05-G1YG-04-02 Rev-D, 2008.)
- [4] KATO, S., OKABE, S., "Response Analysis of Voltage Divider by Numerical Electromagnetic Field Computation", 9th ISH, 4524: 1-4, Graz-Austria, 1995
- [5] MEREV, A., DEDEOĞLU, S., "100 Kilo voltluk SF6 Gaz Yalıtımlı Standart Kapasitör Yapımı", Yüksek Gerilim Ulusal Çalıştayı, pp: 01-01, 2007.
- [6] IEC 60060-2, "High Voltage Test Techniques Part:2 Measuring System", 1994.

ÖZGEÇMİŞLER

Ahmet MEREV

1974 yılı İstanbul doğumludur. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1999 yılında Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi ve 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Doktor ünvanlarını almıştır. 1996-2002 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2002 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda Uzman Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Yüksek gerilim teknolojileri: yüksek gerilim üretimi ve ölçümü, yüksek gerilim deneyleri, elektrostatik alan analizi ve hesaplamaları konularında çalışmaktadır.

Serkan DEDEOĞLU

1979 yılı Muş doğumludur. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2004 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Yüksek gerilim üretimi ve ölçümü, yüksek gerilim kalibrasyonları ve deneyleri, yüksek gerilim bölücülerinin tasarımı konularında çalışmaktadır.

Kaan GÜLNİHAR

1978 yılı İstanbul doğumludur. 1997 yılında Kocaeli Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Endüstriyel Elektronik Bölümü ön lisans eğitimini tamamlamıştır. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversitede 2004 yılında yüksek lisansını tamamlayarak Elektronik ve Haberleşme Yüksek Mühendisi ünvanını almıştır. 2002 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda Uzman Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Yüksek gerilim üretimi ve ölçümü, yüksek gerilim deneyleri, analog ve sayısal elektronik sistem tasarımı konularında çalışmaktadır.