

YILDIRIM DARBE YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜMLERİ

Serkan DEDEOĞLU
Ahmet MEREV
Kaan GÜLNİHAR

ÖZET

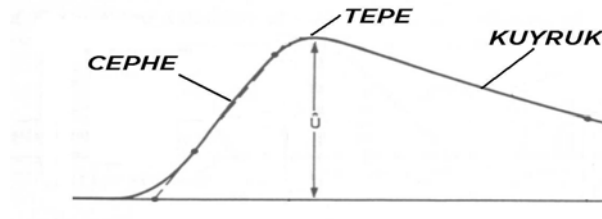
Yüksek gerilim teknolojisinde; darbe yüksek gerilimler, iç (anahtarlama) ve dış (yıldırım) aşırı gerilimlerin yol açtığı zorlanmaları yüksek gerilim testlerinde temsil edebilmek, malzemelerin yüksek gerilime dayanım mekanizmaları ile ilgili temel araştırmalar yapmak ve üretilen elektromekanik ürünlerin ulusal/uluslararası standartlara uyumluluğunu deneylerle belirlemek için gerekmektedir. Darbe gerilimlerinin yüksek genlik ve kısa süreli darbeler biçiminde olması, doğru olarak ölçme zorluğunu ortaya çıkarmaktadır. Kalibrasyon ve deneylerde kullanılacak ölçüm sistemlerinin, IEC 60060-1 ve 60060-2 temel standartlarına uygun niteliklere sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada, yüksek gerilimle ilgili kalibrasyon ve deneylerde kullanılan darbe yüksek gerilim ölçüm sistemlerinin sahip olması gereken karakteristiklere ve özelliklere yer verilmiştir.

1. GİRİŞ

Darbe yüksek gerilimi, kısa süreli, tek kutuplu ve yüksek frekanslı bir DC yüksek gerilim türüdür. Bu gerilimler, kendi aralarında yıldırım ve anahtarlama darbe yüksek gerilimler olarak ikiye ayrılırlar. Uygulamadaki yüksek darbe gerilimi üreteçleri, yıldırım tarafından doğal olarak üretilen gerilimin (yıldırım darbesinin) veya bir şebekede anahtarlama sırasında ortaya çıkan anahtarlama darbelerinin (anahtarlama darbesinin) benzerinin, laboratuvar koşullarında yapay olarak üretilmesine yarayan üreteçler kullanılarak elde edilmektedir. Bu üreteçlere Marx üreteçleri adı verilmektedir. Bu üreteçlerle yüksek gerilim elemanlarının ve devrelerinin darbe yüksek gerilimi altındaki davranışları Ulusal veya Uluslararası standartlara göre incelenir ve doğrulanır.

Bir darbe gerilimini tanımlayan dört temel karakteristik büyüklük vardır. Bunlar, T_1 cephe süresi, T_2 sırtıyarı değer süresi, U_m gerilimin tepe değeri ve gerilimin kutbudur, ayrıca, gerilimin zamanla değişimi yani dalga şekli de önemlidir.

Darbe gerilimler süresi ve zaman değişimleri bakımından çeşitlilik göstermektedir. Askeri ve endüstri teknolojilerinde kullanılması bakımından en çok tercih edilen darbe yüksek gerilimler, çift üstel formu standart darbe gerilimleridir (Şekil 1) [1].



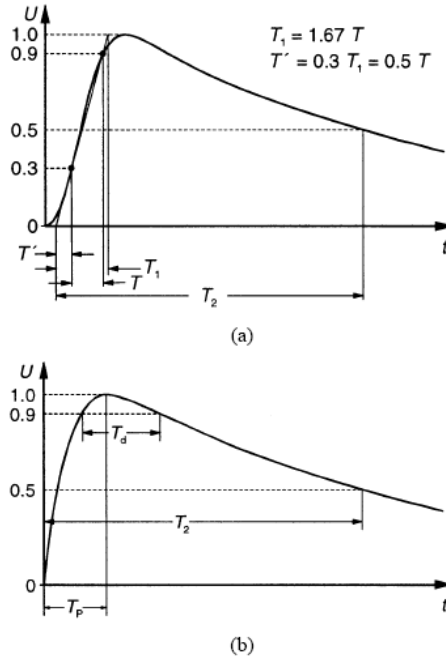
Şekil 1. Çift Üstel Darbe Gerilim Şekli [1]

Standart tür bir darbe gerilim, standart dışı bir salınım yapmadan hızla bir \hat{U} tepe değere yükselir ve daha yavaş bir şekilde sifıra düşer. Darbe gerilim devamı sırasında yüksek gerilim devresinde istenerek ya da istenmeden bir delinme (breakdown) olursa, darbe gerilimin ön cephesinde, tepesinde veya kuyruk kısmında ani bir düşme gerçekleşir. Bu tür gerilimlere kesikli darbe yüksek gerilimi denir.

Yıldırımların neden olduğu ve atmosferik ya da dış aşırı gerilimler olarak adlandırılan aşırı gerilimlerin tepe değere ulaşma süresi $1 \mu\text{s}$ mertebelerindedir. Laboratuvar ortamlarında bu tür darbe gerilimlerini simüle etmek amacıyla üretilen gerilimlere yıldırım darbe yüksek gerilimleri adı verilmektedir.

Yüksek gerilim teknolojisinde açma-kapama olaylarında ortaya çıkan iç aşırı gerilimlerin tepe değere ulaşma süresi en az $200 \mu\text{s}$ mertebelerindedir. Bu tür gerilimlere anahtarlama darbe yüksek gerilimleri denir. Bu aşırı gerilimler laboratuvar ortamlarında, şekil olarak yıldırım darbe gerilimlerine çok benzeyen ancak çok daha uzun süreli darbelerdir [2].

IEC 60060-1 ve 60060-2 standartlarında belirtilen ve Şekil 2'de dalga formları verilen standart yıldırım ve anahtarlama darbe gerilimler, elektromekanik cihazların çeşitli yüksek gerilim deneylerinde kullanılmaktadır. Deney gerilimleri birkaç yüz kV mertebesinden MV mertebesine kadar uzanmaktadır. Bu tip gerilimler Marx üretici adı verilen üreteçlerde, kapasitörlerinin paralel olarak yüklenmesi ve yüklenen kapasitörlerin seri olarak kürelerin anahtarlama görevini kullanılarak boşaltılması ile elde edilmektedir. Tipik özellikler olarak bu tür sistemlerin ölçüm düzeneği hızlı bir gerilim bölücüsünden ve bir kaydediciden oluşmaktadır. Benzer dalga biçimleri, EMC testlerinde de 10 kV 'a kadar gerilim seviyesinde kullanılmaktadır. Tablo 1.'de standart yıldırım ve anahtarlama darbe gerilim karakteristiği verilmiştir [3].



Şekil 2. (a) Standart Yıldırım Darbe Formu $T_1=1,2 \mu\text{s}$ ve $T_2=50 \mu\text{s}$
(b) Standart Anahtarlama Darbe Formu $T_1=250 \mu\text{s}$ ve $T_2=2500 \mu\text{s}$ [3]

Yıldırım darbe yüksek gerilim eğrisi yüksek frekanslı salınımların etkisi ile düzgün olmamaktadır. Bu salınımların genliği tepe değer civarında \hat{U} genlik değerinin % 5'ini aşmamalıdır. Bu durumda salınımların frekansının en az 0,5 MHz olduğu kabul edilmektedir. Salınımlar için genlik şartı aşıldığında, ölçülen en büyük gerilim değeri, yıldırım darbe geriliminin tepe değeri olarak alınır [3,4].

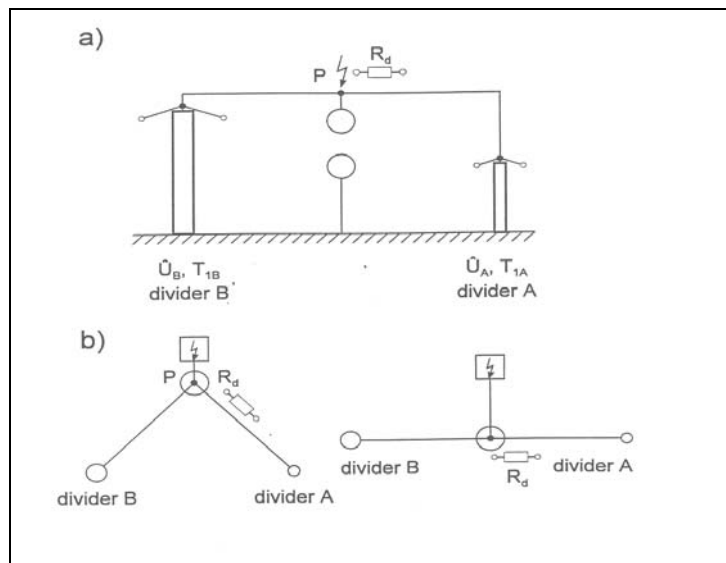
Tablo 1. Standart Yıldırım ve Anahtarlama Darbe Yüksek Gerilimlerinin Karakteristikleri [3].

Karakteristik Büyüklükler	Yıldırım Darbe Gerilimleri	Anahtarlama Darbe Gerilimleri
Tepe Değer	$\hat{U} \pm \%3$	$\hat{U} \pm \%3$
Cephe Süresi	$T1= 1,2 \mu s \pm \% 30$	$Tp= 250 \mu s \pm \% 20$
Sırt Yarı Değer Süresi	$T2= 50 \mu s \pm \% 20$	$Th= 2500 \mu s \pm \% 60$

2. DARBE YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Marx üreteçlerinde kullanılarak elde edilen darbe gerilimler, özel ölçüm sistemleri kullanılarak ölçülebilmektedir. Darbe yüksek gerilim sistemlerini gerilim bölücüler, kablolar, uyumlaştırıcı empedans elemanları ve sayısal kaydediciler oluşturmaktadır. Bu elemanlar ölçümün güvenilirliğine doğrudan etki ettiklerinden, belirsizlik karakteristiklerinin belirlenmiş olması gerekir. IEC 60060-2 standardına göre ölçüm sistemlerinin genlik belirsizliği $\pm \% 3$ ve zaman belirsizliği ise $\pm \% 10$ olmalıdır. Buna karşın referans ölçüm sistemleri için istenen genlik belirsizliği en fazla $\pm \% 1$ ve zaman belirsizliği ise $\pm \% 5$ olmalıdır [3].

IEC 60060-2 standardına göre, endüstride kullanılan darbe yüksek gerilim ölçüm sistemlerinin referans sistemlerle karşılaştırılması yani kalibrasyonu zorunludur. Karşılaştırmanın genlik seviyesi, ölçüm sisteminin minimum % 20 gerilim seviyesinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu genlik seviyesinde gerçekleştirilen kalibrasyonlarda ölçüm sisteminin zaman parametreleri de karşılaştırılmalı ve ölçüm sisteminin bölüm oranı belirlenmelidir. Şekil 3'te kalibrasyondaki darbe yüksek gerilim bölücülerinin bağlantı yapısı görülmektedir.



Şekil 3. Karşılaştırmadaki Bölücülerin Bağlantı Yapısı [1]

Darbe yüksek gerilim ölçümlerinde genellikle dirençsel, kapasitif ve sönümlü kapasitif (damped capacitive) gerilim bölücüler kullanılmaktadır. Hangi tip gerilim bölücülerinin kullanılacağı, gerilim tipine, birim basamak cevap karakteristiğinin önemine, sisteme getireceği yüke göre tercih edilmektedir. Yıldırım darbe ölçümlerinde referans gerilim bölücü olarak dirençsel gerilim bölücüsü kullanılmaktadır. Darbe yüksek gerilim ölçüm sistemlerindeki bölünmüş yüksek gerilim işaretinin işlenmesi ve değerlendirilmesi, sayısal kaydediciler veya osiloskoplar tarafından gerçekleştirilmektedir. Saniyede 100-200 milyon örnekleme hızına sahip ve 8,10 veya 12 bit çözünürlükte çalışan sayısal kaydediciler, son yıllarda yüksek gerilim teknolojilerinde hızla yerini almaktadır. Darbe yüksek gerilim ölçümlerinde kullanılan kaydedicilerin IEC 61083 standardında belirtilen özelliklerde olması gerekmektedir.

3. DARBE YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

Darbe yüksek gerilim kalibrasyonlarında, genlik için ölçüm belirsizliğine etki eden belli başlı bileşenler şunlardır [5]:

1. u_A : A-tipi belirsizlik bileşeni (ölçümlerin standart sapmalarından gelen belirsizlik)
2. u_B : B-tipi belirsizlik bileşenleri

- u_1 : Referans ölçüm sisteminin sertifika belirsizliği
- u_2 : Kalibre edilen sisteme ait ölçüm cihazının çözünürlüğü
- u_3 : Referans sistemin kayması
- u_4 : Gerilim bölücünün sıcaklık etkisi
- u_5 : Yakınlık etkisi
- u_6 : EMC etkisi
- u_7 : Dalgaformu etkisi

Darbe yüksek gerilim kalibrasyonlarında, zaman parametresi için ölçüm belirsizliğine etki eden belli başlı bileşenler şunlardır [5]:

1. u_A : A-tipi belirsizlik bileşeni (ölçümlerin standart sapmalarından gelen belirsizlik)
2. u_B : B-tipi belirsizlik bileşenleri
 - u_1 : Referans ölçüm sisteminin sertifika belirsizliği
 - u_2 : Kalibre edilen sisteme ait ölçüm cihazının çözünürlüğü
 - u_3 : Referans sistemin kayması

Bu ifadelerle göre toplam belirsizlik $k=2$ kapsam faktörü, % 95 güvenilirlik seviyesi için (1) bağıntısı kullanılarak elde edilebilmektedir.

$$U = k.u = k.\sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (1)$$

Burada B tipi belirsizlik bileşeni (2) bağıntısındaki gibi verilmiştir.

$$u_B^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad (2)$$

4. UYGULAMA

Bir yıldırım darbe ölçüm sisteminin; 550 kV ölçüm bölgesinde ve pozitif kutbiyette, genlik zaman parametreleri için sırasıyla % 0,8 ve % 1,5 ölçüm belirsizliğine sahip referans ölçüm sistemi ile

karşılaştırma sonuçları Tablo 2,3 ve 4'de verilmiştir. Genlik ve zaman karşılaştırmaları için 10'ar ölçüm alınmıştır. Referans gerilim bölücüsünün yıllık kayması % 0,5 sıcaklık katsayısı 0,03 1/K, yakınlık etkisi % 0,1, dalgaformu etkisi % 0,2, EMC etkisi genlik için %0,1 ve zaman parametreleri için %0,5 gibi üreticinin belirlediği değerler olarak dikkate alınmıştır. Kalibrasyon değerleri 22 °C sıcaklık, 1010 mbar atmosfer basıncı ve % 47 nem değerlerine sahip laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. (1) ve (2) bağıntıları kullanılarak yapılan belirsizlik hesaplamalarına göre kalibrasyonun genlik için belirsizlik % 1, T_1 zaman parametresi için belirsizlik % 5 ve T_2 zaman parametresi için belirsizlik % 2,1 olarak bulunmuştur. Gerilim bölücüsünün yapısal durumuna bağlı olarak, bölücünün toplam ölçüm belirsizliğine genlikte % 65, T_1 zaman parametresinde % 16 ve T_2 zaman parametresi için % 90 direk etkisi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. 540 kV Darbe Yüksek Gerilim Kalibrasyonu Genlik Karşılaştırma Sonuçları

No	Referans Sistem	Kalibre Edilen Sistem	Hata
1	541,87 kV	540,2 kV	% 0,3
2	542,34 kV	540,2 kV	% 0,4
3	542,56 kV	540,2 kV	% 0,4
4	542,13 kV	540,2 kV	% 0,4
5	542,14 kV	540,2 kV	% 0,4
6	542,30 kV	540,1 kV	% 0,4
7	542,11 kV	541,1 kV	% 0,2
8	542,25 kV	540,9 kV	% 0,2
9	542,58 kV	541,7 kV	% 0,2
10	542,46 kV	541,1 kV	% 0,3
Ortalama	542,27 kV	540,6 kV	% 0,3
Stan. Sapma	0,21 kV	0,53 kV	% 0,1

Tablo 3. 540 kV Darbe Yüksek Gerilim Kalibrasyonu T_1 Zaman Parametresi Sonuçları

No	Referans Sistem	Kalibre Edilen Sistem	Hata
1	1,31 μ s	1,3 μ s	% 0,8
2	1,30 μ s	1,3 μ s	% 0,0
3	1,30 μ s	1,3 μ s	% 0,0
4	1,31 μ s	1,3 μ s	% 0,8
5	1,31 μ s	1,3 μ s	% 0,8
6	1,30 μ s	1,3 μ s	% 0,0
7	1,31 μ s	1,3 μ s	% 0,8
8	1,30 μ s	1,3 μ s	% 0,0
9	1,30 μ s	1,3 μ s	% 0,0
10	1,30 μ s	1,3 μ s	% 0,0
Ortalama	1,30 μs	1,3 μs	% 0,3
Stan. Sapma	0,01 μs	0,00 μs	% 0,4

Tablo 4. 540 kV Darbe Yüksek Gerilim Kalibrasyonu T_2 Zaman Parametresi Sonuçları

No	Referans Sistem	Kalibre Edilen Sistem	Hata
1	48,10 μ S	47,8 μ S	% 0,6
2	48,23 μ S	47,8 μ S	% 0,9
3	48,27 μ S	47,9 μ S	% 0,8
4	48,11 μ S	47,8 μ S	% 0,6
5	48,17 μ S	47,8 μ S	% 0,8
6	48,23 μ S	47,8 μ S	% 0,9
7	48,27 μ S	47,8 μ S	% 1,0
8	48,30 μ S	47,8 μ S	% 1,0
9	48,27 μ S	47,8 μ S	% 1,0
10	48,25 μ S	47,7 μ S	% 1,1
Ortalama	48,22 μS	47,8 μS	% 0,9
Stan. Sapma	0,06 μS	0,05 μS	% 0,15

SONUÇ

Yüksek gerilim kalibrasyonları, endüstride kullanılan ölçüm sistemlerinin büyük hacimli ve ağır olmaları sebebiyle kullanıcının tesisinde ya da laboratuvarında ve standartlara göre nominal gerilimin minimum %20'si ile gerçekleştirilmektedir. Darbe yüksek gerilimleri, yıldırım ve anahtarlama darbe yüksek gerilimleri olarak iki gruba ayrılırlar ve referans sistemlerindeki gerilim bölücüleri yapısal olarak birbirinden farklıdır. Yıldırım darbe referans yüksek gerilim sistemlerinde dirençsel gerilim bölücüleri kullanılırken, anahtarlama darbe referans yüksek gerilim sistemlerinde sönümlü kapasitif gerilim bölücüsü kullanılmaktadır. Darbe yüksek gerilim kalibrasyonlarında ölçüm belirsizliğine genlik ve T_2 zaman parametresi bakımından gerilim bölücüleri, T_1 zaman parametresi bakımından ise hem bölücüleri hem de kaydediciler baskındırlar. Referans darbe yüksek gerilim sistemlerinin oluşturulmasında, ticari gerilim bölücülerinin yerine; kısa dönem kararlılığı, sıcaklık bağımlılığı, gerilim bağımlılığı, yakınlık etkisi, dalgaformu etkisi, EMC etkisi, kaçak kapasitans etkisi vb. faktörleri göz önünde bulundurarak metrolojik amaca uygun özel gerilim bölücüleri yapıları gerçekleştirilmeli ve referans sistemlerde kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] YUTTHAGOWITH, P., PATTANADECH, N., KUNAKORN, A., PHOOMVUTHISARN, S. "Accuracy verification of impulse voltage measuring systems by convolution methods" The 7th International Power Engineering Conference, IPEC 2005, 2005.
- [2] HALLSTRÖM, J., CHEKUROV, Y., ARO M., "A calculable impulse voltage calibrator for calibration of impulse digitizers", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 52, pp. 400-403, 2003.
- [3] IEC 60060-2, "High Voltage Test Techniques Part:2 Measuring System", 1994.
- [4] KUFFEL, E., ZAENGL, W. S., "High voltage engineering fundamentals", Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [5] TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ, "Darbe Yüksek Gerilim Ölçüm Sistemi Kalibrasyon Talimatı" TLM-05-G1YG-04-06 Rev-D, 2008.

ÖZGEÇMİŞLER

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.

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.

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.