

POLYESTER YALITKANLARDA YÜZEYSEL KAÇAK AKIMININ HARMONİK BİLEŞENLERİNİN İNCELENMESİ

Aysel ERSOY, Ayten KUNTMAN, Mukden UĞUR

İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Avcılar, 34850, İstanbul
Tel : 0 212 473 70 70
Fax : 0212 473 70 6

aersoy@istanbul.edu.tr

akuntman@istanbul.edu.tr

mugur@istanbul.edu.tr

Abstract : This paper presents the effect of fundamental and low harmonic components on tracking behaviour of polyesters. Samples were tested in an inclined plane tracking test apparatus according to ASTM D2303. The onset of dry band arcing on samples could be determined by using the fundamental and the low frequency harmonic components of leakage current. Tracking is associated with an increase in the level of the fundamental and low harmonic components of leakage current. The results indicate that during tracking phase the fundamental and also low harmonic components of leakage current increase with time.

Anahtar Kelimer : Polimerik yalıtkan, Kaçak akım, harmonikler, IEC587 test metodu.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Her geçen gün daha büyük güçleri daha uzun mesafelere güvenli ve kaliteli bir biçimde iletmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Elektrik-elektronik endüstrisinde dielektrik malzeme olarak polyester malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Dielektrik malzemeler oldukça iyi yalıtkan özellikleri göstermelerine karşın elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisindeki dielektrik malzeme içerisindeki elektronlar alan doğrultusunda yönelir. Elektrik alan yeterince artırıldığında çok sayıda elektron aniden uyarılarak iletim bandına geçebilir. Bunun sonucunda bu elektronların hareketi ile dielektrik boyunca akım çok fazla akar. Malzemede yer yer erimeler, yanmalar, buharlaşmalar görülür. Bunun sonucunda dielektrik malzemenin yalıtkanlık özelliği kaybolur. Katı yalıtkanların delinmesi kullanım yerleri bakımından önemli bir problemdir. Bu amaçla yaşlanmayı laboratuvar şartlarında gerçekleştirmek için çeşitli test metodları geliştirilmiştir. Daha önceki çalışmalarımızda polyester yalıtkanların mekanik, ısı, nem, titreşim ve rüzgar gibi çevresel

etkiler altında yaşlanma davranışı eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu test metodu ile incelenmiştir[1-6].

Bu çalışmada ASTM D2303 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test metoduna uygun olarak testler gerçekleştirilmiş ve deney sırasında polyester yalıtkan yüzeyinden akan kaçak akım, bilgisayar ortamına aktarılmıştır[7]. Elde edilen deneysel bulgulardan test örneğinin yüzeyinden akan kaçak akım ve bozulma davranışı arasındaki ilişki incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Harmonikler akım ve gerilim dalga formunu bozarak iletim hatlarında ek kayıplara ve güç sistem elemanlarının zarar görmesine neden olurlar. Harmonik bileşenlerin katsayısı arttıkça frekans seviyesi de artar. Malzemenin sinusoidal alternatif akım direnci, sinusoidal olmayan alternatif akımdaki direnç değerinden daha küçüktür. Bunun nedeni sinusoidal olmayan alternatif akımda temel bileşenin yanı sıra gözlenen harmonik bileşenlerdir. Burada temel bileşenin ohmik direncinin yanı sıra her bir harmonik bileşen için ayrı bir direnç değeri ilave olur. Sinusoidal olmayan periyodik dalgaların genlik ve frekansları farklı bir çok sinusoidal dalgaların toplamından oluştuğunu J. Fourier göstermiştir. Sinusoidal olmayan dalgaları, genlik frekansları farklı olan sinusoidal dalgalara Fourier Serileri ile ayırabilmek mümkündür.

Bir $f(t)$ fonksiyonunun Fourier dönüşümü

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

biçiminde tanımlanır ve $F(\omega)$ 'nin ters Fourier dönüşümü,

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

olarak tanımlanır. (1) ve (2) eşitlikleri, Fourier dönüşüm çifti olarak adlandırılır. Bu eşitlikler zaman veya frekans domeninin $(-\infty, \infty)$ aralığındaki herhangi bir fonksiyonu ters domende sürekli bir fonksiyona dönüştürmek için kullanılır. Periyodik sinusoidal olmayan dalga şeklinin frekans spektrumunun incelenmesinde ayrık Fourier dönüşümü veya hızlı Fourier dönüşümü kullanılmaktadır.

Frekans domeni spektrumu (1) ve zaman domeni fonksiyonu (2) her periyotta N adet örneklemeyle periyodik olarak örneklenmiş fonksiyonlar olduğu zaman bu ifadeler ayrık fourier dönüşümü denir. Frekans domeni ve zaman domeni ifadeleri şu şekilde yazılabilir.

$$F(k\Delta\Omega) = \sum f(n\Delta T)e^{-j2\pi kn/N} \quad (3)$$

$$F(n\Delta T) = \sum f(k\Delta\Omega)e^{-j2\pi kn/N} \quad (4)$$

Burada $k, n=0, 1, \dots, N-1$, $\Delta\Omega = \frac{2\pi}{\Delta T}$ ve $\Delta T = \frac{T}{N}$.

Ölçüm bilgisi bir örnekleme zaman fonksiyonu şeklinde elde edilebildiği için, ayrık Fourier dönüşümü harmonik ölçümlerinde çok kullanılır.

Hızlı fourier dönüşümü, ayrık Fourier dönüşümünü kolaylaştırmak için kullanılır. $W = e^{-2j\pi/N}$ tanımı yapılarak elde edilen $[W^{kn}]$ matrisindeki elemanların benzerliğinden yararlanılmaktadır. Böylece işlem sayısı $(N \cdot \log_2(N))$ seviyesine düşmektedir.

İletim ve dağıtım hatlarında olumsuz etkiler yaratan sinusoidal olmayan akımın ani değerlerini fourier serilerine açarsak aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (5)$$

Burada i_n n. dereceden harmonik akımın ani değerlidir. Burada DC terimler ihmal edilmiştir. I_n n. dereceden harmonik için akımın efektif değeridir.

ω_1 temel frekansa ait açısız frekanstır. δ_n ise n. harmonik için akıma ait faz açısıdır.

Bir güç sistemindeki harmonik bozulmaları bulmak istersek harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranlayarak hesaplayabiliriz. Bu işlem toplam harmonik distorsiyon olarak isimlendirilir ve standartlarda yaygın olarak kullanılır.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (6)$$

(6) ifadesinde akım için toplam harmonik distorsiyon ifadeleri verilmiştir. Benzer şekilde n. harmonik mertebesindeki akım için tekil harmonik distorsiyonlarda şu şekilde ifade edilir.

$$HD_I = \frac{I_n}{I_1} \quad (7)$$

Sistemdeki harmonik akım bileşenleri sistemde distorsiyon gücü kayıplarına neden olurlar. Bu kayıp şu şekilde hesaplanır[8];

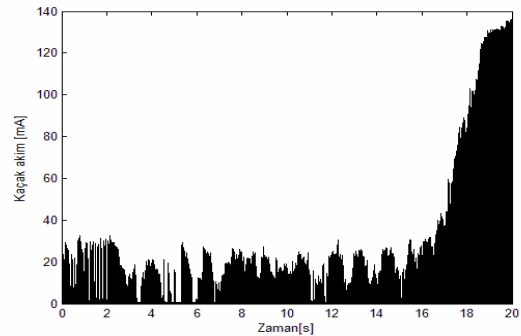
$$D = [V^2 \cdot (I_3^2 + I_5^2)]^{1/2} \quad (8)$$

Bu çalışmada polyester yalıtkan örnekler 4kV AC gerilim ve 36 ml/saat sıvı akış hızında ASTM D2303 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test metoduna uygun olarak test edilmiştir[7]. Yüzeyde iz oluşumu deneyleri sırasında polyester örnek üzerinden akan kaçak akım 48 000 örnek/saniye ile ses kartı üzerinden örneklenmiştir. Örnek üzerinden alınan kaçak akımın temel, 3. harmonik ve 5. harmonik bileşenleri Matlab kodu ile ayrıştırılmıştır. Kaçak akımın harmonik bileşenlerinin sayısal değerlendirmesinin yapılabilmesi için hızlı fourier dönüşümü (FFT) kullanılmıştır.

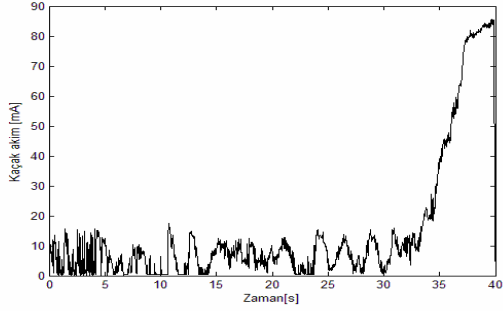
3. BULGULAR

Deney sonucunda polyester örnek yüzeyinden akan kaçak akımın zamanla değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1.a 'da polyester örnek yüzeyinde iz oluşmadan önceki son 20 saniyenin ham verileri verilmiştir. Her bir periyot 960 örnek ile örneklenmiştir. Bu sebeple her bir periyodun ortalama değeri 9 eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen grafik Şekil 1.b'de görülmektedir.

$$A_i = \frac{\sum_{n=i}^{n=i+960} B_n}{960} \quad (9)$$



(a)

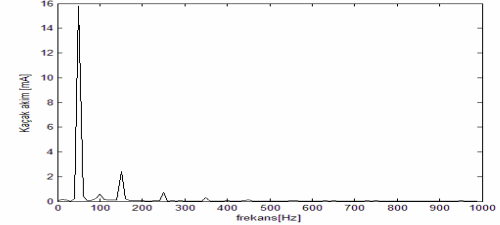
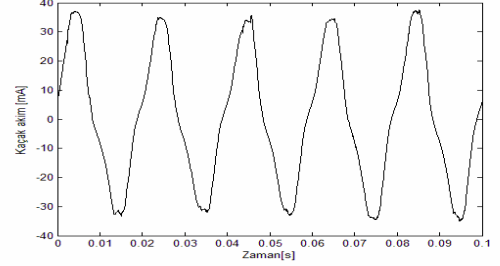


(b)

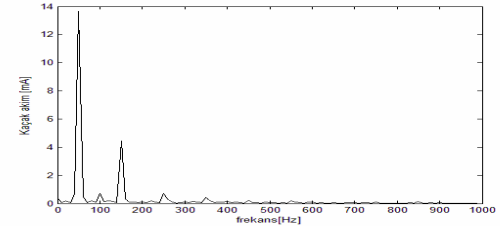
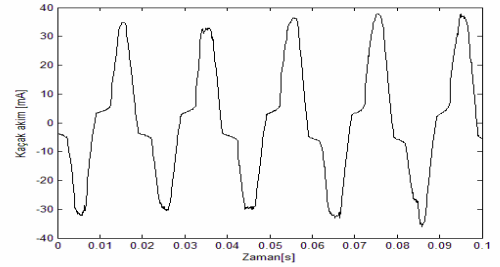
Şekil 1: a) Polyester örnek üzerinden iz oluşumuna 20 saniye kala alınmış kaçak akımın zamanla değişimine ait ham veriler b) Ham verilerin her bir periyot için ortalama değeri alınarak çizilen grafik.

Polyester örnekte deşarjlar başladığında (iz oluşumu gerçekleşmeden önce) gözlenen farklı dalga şekillerine sahip kaçak akımların zaman ve genlik spektrumlarının grafikleri Şekil 2’de verilmiştir. Bu sinyallerin 3., 5. ve 7. harmonik bileşenlerine ait harmonik tekil harmonik distorsiyonları (7) nolu bağıntıda da belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 2.a’da az bozulmuş simetrik bir dalga şeklinin zaman ve genlik spektrumu verilmiştir. Örnek yüzeyinden az düzgün dalga şekline sahip bir kaçak akım akarken bu akıma ait 3. harmonik için harmonik distorsiyon 0,146, 5. harmonik için 0,0494 olarak hesaplanmıştır. Bu sırada örnek yüzeyinde küçük arklar gözlenmektedir. Şekil 2.b’de bozulmuş simetrik bir dalga şekli için 3. harmonik için harmonik distorsiyon 0,3245 bulunmuştur. Bunun yanı sıra bu dalga şekline ait diğer tek harmonik bileşenlerin de arttığı Şekil 2.b’de görülebilmektedir. Bozulmuş simetrik olmayan akıma ait genlik spektrumuna baktığımızda bu akıma ait harmoniklerin hem tek hem de çift bileşenlerinin oldukça büyük genliklere ulaştığı Şekil 2.c’de görülmektedir.

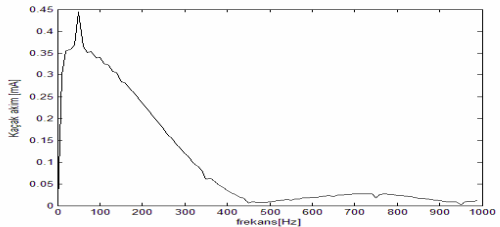
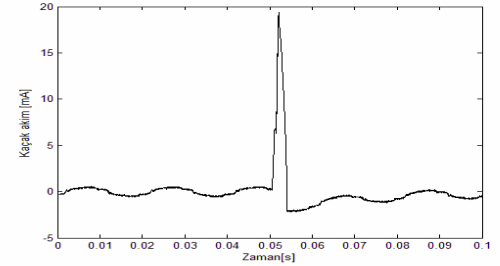
Şekil 2’dekine benzer şekilde yapılan analizler yüzeyde iz oluşumu gerçekleşirken (16-18 saniye aralığı) ve iz oluşumu tamamlandıktan sonraki (19-20 saniye aralığındaki) zamanlara ait dalga şekillerinin tekil ve toplam harmonik distorsiyonların analizi yapılmıştır. Elde edilen tekil ve toplam harmonik distorsiyon değerleri Tablo 1’de özetlenmiştir.



(a)



(b)

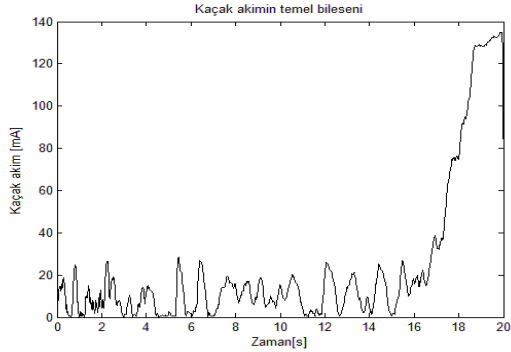


(c)

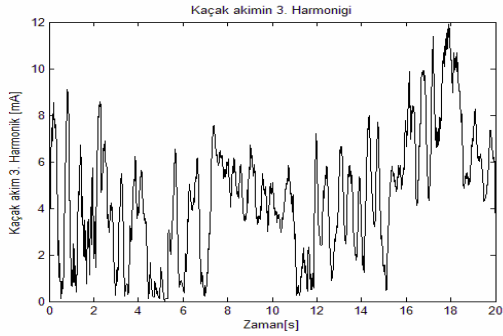
Şekil 2: Farklı dalga şekillerine sahip kaçak akımların zaman ve genlik spektrumu grafikleri. a) az bozulmuş dalga şekli b) bozulmuş simetrik dalga şekli c) bozulmuş simetrik olmayan dalga şekli.

Tablo 1 : Farklı dalga şekilleri için harmonik distorsiyon ve toplam harmonik distorsiyon değerleri.

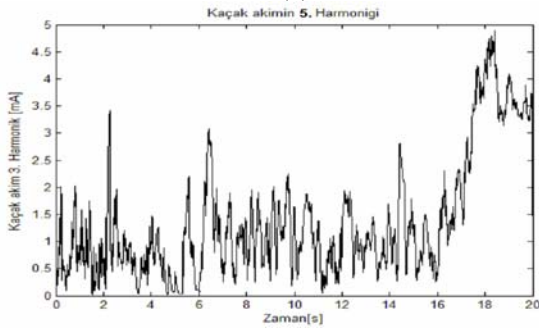
Harmonik distorsiyon	Simetrik ve az bozulmuş dalga şekli	Simetrik ve düzgün olmayan bozulmuş dalga şekli	Simetrik olmayan ve düzgün olmayan bozulmuş dalga şekli	İz oluşumu sırasında gözlenen dalga şekli [16-18 s]	İz oluşumu sonrası gözlenen dalga şekli [19-20 s]
HD ₁₃	0,146	0,3245	0,6498	0,07064	0,02268
HD ₁₅	0,0494	0,05217	0,402	0,0384	0,0205
HD ₁₇	0,0123	0,0326	0,140	0,007413	0,01047
THD	0,15462	0,62265	0,77682	0,080744	0,032315



(a)



(b)



(c)

Şekil 3: Polyester yalıtkan örneklere ait a) temel bileşen b) 3. harmonik bileşen ve c) 5. harmonik bileşene ait akım-zaman grafikleri.

Bu farklı dalga şekilleri şu şekilde açıklanabilir. Yalıtkan yüzeyinden sıvı akışı düzgün olarak gerçekleşirken yüzeyde kaçak akımın temel bileşenin genliği harmonik bileşenlere oranla daha büyük değerlerdedir. Fakat yalıtkan yüzeyinde elektrik alan etkisi ile oluşan arklar bir süre sonra yalıtkan yüzeyinde kuru bölgelerin oluşmasına ve bu noktalarda deşarjların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda da yalıtkan yüzeyinde gözlenen kaçak akımın harmonik bileşenlerinin genlik değeri, temel bileşenin genliğine oranla artmaktadır.

Şekil 3 'de polyester yalıtkan örneklerde bozulma öncesi kaçak akımın zamanla değişimi verilmiştir. Deney sırasında gözlenen temel bileşenin, 3. harmoniğinin ve 5. harmoniğinin ortalama değeri sırasıyla 15 mA, 7 mA ve 2 mA değerindedir. Bozulma başladığı sırada ise kaçak akımın temel bileşenin, 3. harmoniğinin ve 5. harmoniğinin ortalama değerleri sırasıyla 85 mA, 11 mA ve 4,8 mA olarak gözlenmiştir.

Polyester yalıtkan örnekte gözlenen farklı dalga şekilleri ve iz oluşumu sırasında ve sonrasında gözlenen dalga şekilleri için distorsiyon gücü 10 bağıntısı kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den de görülebileceği iz oluşumu sırasında ve sonrasında distorsiyon gücü iz oluşumu gerçekleşmeden önce gözlenen farklı dalga şekillerinin neden olduğu distorsiyon güçlerinden oldukça büyük değerlere çıkmıştır. Sonuçlarda da görülebileceği gibi iz oluşumu sırasında ve sonrasında distorsiyon gücü iz oluşumu gerçekleşmeden önce gözlenen farklı dalga şekillerinin neden olduğu distorsiyon güçlerinden oldukça büyük değerlere çıkmıştır.

Tablo 2 : Farklı dalga şekilleri için oluşan distorsiyon gücü değerleri

Distorsiyon Gücü	Simetrik ve az bozulmuş dalga şekli	Simetrik ve düzgün olmayan bozulmuş dalga şekli	Simetrik olmayan ve düzgün olmayan bozulmuş dalga şekli	İz oluşumu sırasında gözlenen dalga şekli [16-18 s]	İz oluşumu sonrası gözlenen dalga şekli [19-20 s]
	0,100819	0,0211	0,0327	0,794	16,9

4. SONUÇ

Deneysel bulgulardan elde edilen sonuçlarda polyester örneklerin yüzeyinde iz oluşumu gerçekleşirken kaçak akımın temel ve diğer tüm harmonik bileşenlerinin arttığı gözlenmiştir. Fakat iz oluşumu ilerleyip bozulma kendini tamamladığında kaçak akımın temel bileşeninin genliği artmaya devam etmiş, buna karşın 3. ve 5. harmonik bileşenlerin genlik değeri azalmıştır. Bu değişimi yalıtkan yüzeyinde oluşan iletken karbonize yol nedeni ile polyesterin lineer olmayan bir yükten lineer bir yük haline dönüşmesi şeklinde açıklayabiliriz.

Bu çalışma ile kaçak akımın temel ve harmonik bileşenlerinin, yüzeyde iz oluşumu test yönteminde polyester yalıtkanlar için yaşlanma davranışını incelemeye kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1]. M.Ugur, A.Kuntman and A.Ersoy, "A Study on the Ageing Process for Polyester Resin Using improved Weibull Statistics", *Electrical Engineering, Springer-Verlag Heidelberg*, 2003
- [2]. İbrahim Güneş, Aysel ERSOY, Mukden UGUR, Ayten KUNTMAN, "Polimerik yalıtkanlarda yaşlanma sürecine titreşimin etkisi", *I. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 155-158, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli.
- [3] A. Kuntman, A. Ersoy, İ.Güneş, M. Uğur, "Polimerik Yalıtkanların Yaşlanma Sürecine Nemin Etkisinin İncelenmesi", *XVII. Ulusal Kimya Kongresi*, 8-11 Eylül 2003.
- [4] Uğur, M., "Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials", *University of Manchester, Doktora tezi*, 270,1997.
- [5] El-Hag A., Jayaram S.H. ve Cheney E.A., "Fundamental and Low Frequency Harmonic Components of Leakage Current as a Diagnostic Tool to Study Aging of RTV and HTV Silicone Rubberin Salt-Fog", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.10, No.1, pp.128-136, 2003.
- [6] Mazeika L., Chang R.J., "Analysis of Electrical Activity Associated with Inclined Plane Tracking and Erosion of Insulating Materials", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.7, No.3, pp.394-400, 2000.
- [7] Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials', *ASTM (2303)*, 258-270, 1983.
- [8] C.Kocatepe, M.Uzunoğlu, R. Yumurtacı, A.Karakaş ve O.Arıkan, "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", *Birsen Yayınevi*, 2004.