

Transformatörlerde K-Faktörü

Özet

Güç sisteminin en kritik elemanlarından biri olan transformatörlerin boyutlandırılmasında dikkat edilmesi gerekli olan önemli hususlardan birisi de K-Faktörüdür. Günümüzde özellikle güneş yenilenebilir enerji santralleri ve sürücü sistemleri kullanan endüstriyel tesislerde kullanımı yaygınlaşan yarıiletken tabanlı evirici cihazları şebekeden harmonikli akımlar çekebilmektedir. Akım formunun harmonik bileşeni içeriğine göre hesaplanan bir parametre olan K-Faktörü transformatörlerin yüklenebilirliğini etkilemektedir. Akım formunun K-Faktör değeri arttıkça transformatörde oluşan kayıp değerleri de artmaktadır. Bunun önüne geçebilmek adına K-Faktörlü transformatörler üretilmektedir. Bu kapsamda elektrik şebekesinin güvenilirliği açısından K-faktörü değerlendirilmeye alınması gerekli olan bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.



Transformatörler elektrik şebekesinin vazgeçilmez elemanlarından biri olmakla beraber bu elemanlar aynı zamanda şebekenin en pahalı elemanlarından biridir. Transformatörlerde boyutlandırma gerçekleştirilirken ortam şartları, yük profili ve harmonik bileşenleri gibi konular önemli olmaktadır. Transformatörlerin yüklenmesi genellikle ısınma ile sınırlanmaktadır. Transformatörlerde en büyük ısı kaynaklarından birinin sargılarda oluşan ohmik kayıplar olduğu söylenebilmektedir. Sargılarda oluşan ohmik kayıplar, sargının DC direncinden dolayı oluşan kayıplar ve sargılar üzerinde oluşan eddy etkisinin meydana getirdiği kayıplar olarak sıralanabilmektedir.

Günümüzde artan güneş enerjisi santralleri, alışveriş merkezleri, veri merkezleri gibi yapılarda sıklıkla büyük güçlü veya küçük güçlü ama çok sayıda evirici elemanı kullanılmaktadır. Evirici yapıları, içerisinde bulunan yarıiletken tabanlı güç elektroniği elemanlarından dolayı her zaman lineer bir akım formu ile çalışmamaktadır. Lineer olmayan, harmonik bileşenleri içeren akımlar transformatör üzerinde ekstra kayıplar oluşturmaktadır. Transformatör sargılarında oluşan kayıplar aynı RMS değere sahip fakat THD değerleri farklı olan akım formları ile beslendiğinde farklı olmaktadır. Bu farkın temel sebebinin deri etkisi, yakınlık etkisi ve girdap akımı kayıpları olduğu söylenebilmektedir. Girdap akımları aynı zamanda eddy akımları olarak isimlendirilmektedir.

Bu kapsamda transformatör boyutlandırması gerçekleştirilirken ilgili yük akımı veya evirici akımının profili önem taşımaktadır. Bu kısımda toplam harmonik distorsiyonu ve K-Faktörü isimli iki önemli parametre bulunmaktadır. Toplam harmonik distorsiyonu akımın veya gerilimin ne kadar harmonik bileşeni içerdiğini ifade etmektedir ve Eşitlik-1 ile gösterilmektedir.

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=n} I_n^2}}{I_1} * 100 \quad (1)$$

K-Faktörü ise harmonikli akımın etkisinde oluşan toplam girdap akımı kaybının, temel bileşende hesaplanan girdap akımı kaybına oranını ifade etmektedir ve Eşitlik-2 ile gösterilmektedir.

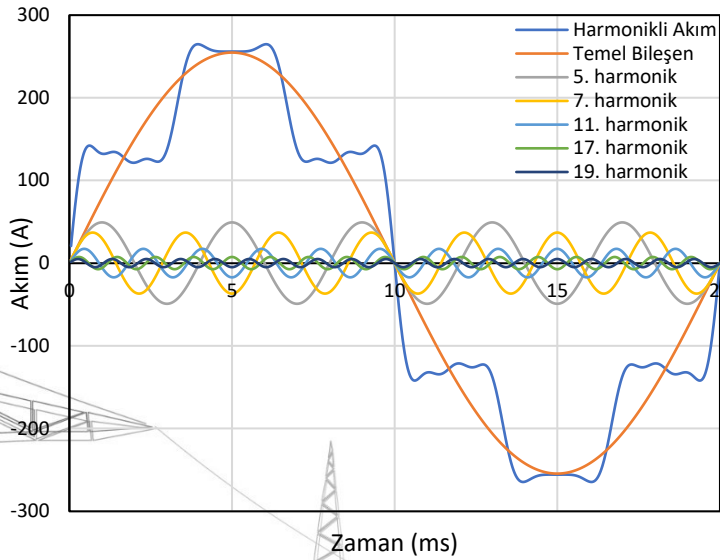
$$K - Faktör = \sum_{h=1}^{h=n} \left[\frac{I_n}{I_{RMS}} \right]^2 h^2 \quad (2)$$

K-Faktörü IEEE C57.110 standardına göre elde edilmektedir. Transformatörün besleyeceği akım formunun harmonik analizi spektrumuna göre K-Faktörü hesaplanmaktadır. Hesaplanan K-Faktörü transformatörün ne kadar düşük kapasitede kullanılabileceğini ifade etmektedir. Bunun yanında transformatörler de K-faktör dereceli olarak tasarlanıp üretilebilmektedir. K-Faktör dereceli transformatörlerde sargılarda oluşan eddy kayıpları normal transformatörlere göre daha az olmaktadır.

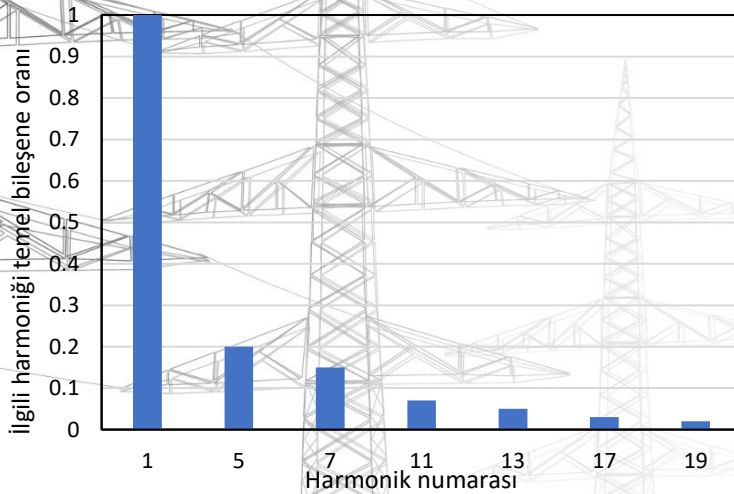
Bu kapsamda transformatör sargılarının üzerinden geçecek olan akım formunun toplam harmonik distorsiyonunun K-Faktör üzerine önemli derecede etkisi olduğu görülmektedir. Transformatör boyutlandırması gerçekleştirilmeden önce yüklerin dalga formunun bilinip buna göre boyutlandırma yapılması sistem güvenilirliği açısından önem taşımaktadır. Buna ek olarak tesiste bulunan bir transformatöre yeni yükler eklenebilmektedir. Yeni eklenen yüklerin toplam harmonik bozunumu değeri eğer yüksek ise buna bağlı olarak akım formunun K-faktörü de yüksek bir değerde olacaktır. Bu sebepten dolayı özellikle tesiste gerçekleştirilen yük eklemelerinden sonra kapsamlı bir harmonik analizi ölçümü gerçekleştirilip verilerin yorumlanması ilerleyen zamanlarda oluşabilme ihtimali olan arızaların önüne geçebilmektedir.

P.u. birim sistemi					Gerçek Değerler (A)
Harmonik derecesi	$\frac{I_h}{I_1}$	$\left[\frac{I_h}{I_1}\right]^2$	h^2	$\left[\frac{I_h}{I_1}\right]^2 h^2$	
1	1	0.934	1	0.934	173.92
5	0.2	0.037	25	0.934	34.78
7	0.15	0.021	49	1.029	26.09
11	0.07	0.005	121	0.553	12.17
13	0.05	0.002	169	0.394	8.70
17	0.03	0.001	289	0.243	5.22
19	0.02	0.000	361	0.135	3.48
Toplam=1			K-faktör=4.222		
THD=26.683			Toplam RMS=180		
Toplam pu.=1.035					

Tablo 1.
Örnek bir akım formu üzerinde K-Faktör hesabı



Şekil 1.
Örnek bir akım formunun bileşenleri



Şekil 2.
Örnek bir akım formunun harmonik spektrumu

K-faktörü hesaplanması bir örnek üzerinden açıklanmıştır. K-Faktörü hesaplanacak, efektif değeri 180 A olan dalga formunun Şekil-1 üzerinde toplam harmonikli akımı ve bileşenleri ayrı ayrı gösterilmiştir.

İlgili harmonik akımının harmonik spektrumu ise Şekil-2 üzerinde gösterilmiştir. Spektruma göre 5, 7 ve 11. harmoniklerin baskın olduğu görülmektedir. K-Faktör hesabı için ilk olarak harmonik derecelerine göre her harmoniğin temel bileşene oranı bulunmuştur. Daha sonra Denklem-2'de gösterilmiş olan formül adım adım Tablo-1'de uygulanmıştır.

Bu akım formunun K-Faktör değerinin 4.22 olduğu görülmektedir. Harmonik bileşeni değerleri arttıkça K-Faktörü de artmaktadır. Bu kapsamda ilgili akım formunun bir transformatöre uygulanması durumunda oluşan kayıplar, aynı efektif değere sahip saf sinüs dalgası uygulanmasına göre daha fazla olacaktır.

IEEE C57.110 standardına göre tanımlanan harmonikli yül ile beslenen transformatörlerin yüklenme değerlerini bulabilmek için denklem 3'te verilen yeni K değerinin hesaplanması gerekmektedir.

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (3)$$

Hesaplanan bu K değeri denklem 4'te yerine konulur ise transformatörün yüklenebilme değeri bulunmuş olacaktır.

$$D = \frac{1,15}{(1+0,15.K)} \quad (4)$$

K-faktörlü transformatörler harmonikleri ortadan kaldıramazlar. Ancak, harmoniklerin oluşturabileceği zararları en aza indirebilmek için özel olarak imal edilmiş transformatör uygulamalarıdır.

