

# A5. K-faktör transformatörleri - rutin testler

K-faktör transformatörleri için test standartları ve rapor ekleri

Kısa not: IEC tarafında "K-4 / K-13 / K-20" için tek başına özel bir IEC ürün standardı yoktur. Ana trafo testleri ürün tipine göre IEC/EN 60076-1, kuru tip güç trafosu kapsamındaysa IEC/EN 60076-11, AG güvenlik/izolasyon tipi ürünlerde ise IEC/EN 61558-1 üzerinden yürütülür. K-faktör/harmonik kapasite doğrulaması için en yaygın özel referans IEEE C57.110'dur; bu standart nonsinüzoidal yük akımları altında kuru tip ve yağlı trafoların kapasitesini değerlendirme yöntemleri verir.

## 1. Rutin Testler

Bu bölüm, K-faktör transformatörlerinde standart trafo rutin testlerine ek olarak harmonik yük, nötr, ekran, termal tasarım ve K değeri beyanının kontrol edilmesi gereken temel başlıkları özetler.

### 1

#### Temel transformatör rutin testleri

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; kuru tip güç trafolarında IEC/EN 60076-11; AG güvenlik tipi ürünlerde IEC/EN 61558-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-1 / IEC 60076-11 / IEC 61558-1
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	K-faktör trafosu da önce normal trafo gibi rutin elektriksel, dielektrik ve görsel testlerden geçmelidir.

### 2

#### Sargı direnci ve faz dengesi

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 60076-11
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-1 sargı direnci ölçüm yöntemi
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	U-V-W faz dirençleri karşılaştırılır. Harmonik yükte ek ısınma olacağı için faz direnç dengesizliği daha kritik değerlendirilmelidir.

### 3

#### Oran testi

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 60076-11
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-1 gerilim oranı testi
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Primer/sekonder oranı her fazda doğrulanır. Kademe varsa tüm kademeler ölçülmelidir.

## 4

**Bağlantı grubu / vektör grubu kontrolü**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-1 bağlantı grubu ve faz kayması kontrolü
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Dyn, Yyn, Dd veya özel bağlantı grubu doğrulanır. Harmonikli sistemlerde özellikle yıldız/nötr bağlantısı ve üçüncü harmonik davranışı önemlidir.

## 5

**Boşta kayıp ve boşta akım**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 60076-11
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-1 boşta çalışma testi; ölçüm belirsizliği için IEC 60076-19-1 yardımcı referans
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	K-faktör trafosunda ana risk yük kaynaklı harmonikler olsa da nüve doyumu, P0 ve I0 rutin raporda görünmelidir.

## 6

**Yük kaybı ve kısa devre empedansı**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 60076-11
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-1 kısa devre testi; ölçüm belirsizliği için IEC 60076-19-1
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Yük kaybı referans sıcaklığa düzeltilmelidir. Harmonikli yüklerde I <sup>2</sup> R kaybına ek olarak eddy current ve stray loss etkileri dikkate alınır.

## 7

**İzolasyon direnci**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-3; IEC/EN 60076-11; AG ürünlerde IEC/EN 61558-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-3 dielektrik test hazırlığı; pratik ölçüm için IEC 61557-2 yardımcı referans
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Primer-sekonder, primer-gövde, sekonder-gövde ve ekran varsa ekran-gövde ölçülür.

## 8

**Dielektrik dayanım / uygulanan gerilim testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-3; IEC/EN 60076-11; IEC/EN 61558-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-3 ayrı kaynak AC dayanım testi; IEC 61558-1 dielektrik dayanım testi
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Ana izolasyon doğrulanır. Test seviyesi gerilim sınıfına ve müşteri şartnamesine göre belirlenir.

9

**Endüklenmiş gerilim / sarımlar arası izolasyon testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-3; IEC/EN 60076-11; IEC/EN 61558-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	IEC 60076-3 endüklenmiş AC gerilim testi
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Sarımlar arası izolasyon kontrol edilir. Harmonikli uygulamalarda izolasyon sistemi daha fazla ısıl zorlanmaya maruz kalacağı için raporda görünmesi faydalıdır.

10

**Nötr bağlantısı kontrolü**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 61558-1; UL istenirse UL 1561
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Bağlantı şeması, süreklilik ölçümü, klemens/bara kontrolü
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Üç faz dört telli sistemlerde 3., 9., 15. harmonikler nötrde toplanabilir. Bu nedenle nötr bağlantısı ayrıca kontrol edilmelidir.

11

**Nötr kesiti kontrolü**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; müşteri şartnamesi; UL pazarı için UL 1561
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Tasarım çizimi, iletken kesiti, bara ve klemens kapasitesi kontrolü
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	K-faktör trafolarında nötr kesiti klasik trafodan büyük seçilebilir. Nötr barası, klemensi ve bağlantı kablosu tasarım dosyasıyla karşılaştırılmalıdır. UL 1561, kuru tip genel amaçlı ve güç transformatörleri için kullanılan ABD standardıdır.

12

**Ekran sargısı sürekliliği - varsa**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 61558-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Süreklilik ölçümü, bağlantı şeması kontrolü
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Elektrostatik ekran varsa ekran ucunun doğru klemense çıktığı doğrulanır.

13

**Ekran-gövde bağlantısı - varsa**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 60076-1; IEC/EN 61558-1; EMC değerlendirmesi için IEC 61000 serisi yardımcı referans
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Düşük direnç süreklilik ölçümü
<b>K-faktör trafosu için açıklama</b>	Ekran gövde/PE bağlantısı kontrol edilir. Ortak mod gürültü ve parazit azaltma açısından önemlidir.

## 14

**Etiket üzerinde K değeri kontrolü****Ana standart**

IEC/EN 60076-1 işaretleme yaklaşımı; K değeri için IEEE C57.110 / UL şartnamesi

**Yapılış / metot standardı**

Etiket, teknik föy ve test raporu çapraz kontrolü

**K-faktör trafosu için açıklama**

Etikette K-4 / K-13 / K-20 değeri açıkça yer almalıdır. K değeri tek başına rutin test cihazıyla ölçülen bir değer değil, tasarım doğrulama beyanıdır.

## 15

**Harmonik akım varsayımı kontrolü****Ana standart**

IEEE C57.110; müşteri şartnamesi

**Yapılış / metot standardı**

Harmonik spektrum tablosu, THDi varsayımı, RMS akım ve K hesabı

**K-faktör trafosu için açıklama**

Rapor veya teknik dosyada hangi harmonik spektruma göre K değeri seçildiği belirtilmelidir. IEEE C57.110, nonsinüzoidal yük akımlarının trafo kapasitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılır.

## 16

**Nötr akımı tasarım parametresi kontrolü****Ana standart**

IEEE C57.110; UL istenirse UL 1561; müşteri şartnamesi

**Yapılış / metot standardı**

Tasarım hesabı, nötr iletken/klemens kapasitesi ve bağlantı kontrolü

**K-faktör trafosu için açıklama**

Rutin testte gerçek harmonik nötr akımı çoğu zaman ölçülmez; ancak tasarım dosyasında nötr akımı varsayımı ve nötr kapasitesi doğrulanmalıdır.

## 17

**Sıcaklık artışı sınıfı kontrolü****Ana standart**

IEC/EN 60076-11; IEC/EN 61558-1; IEEE C57.110 destekleyici

**Yapılış / metot standardı**

Etiket, izolasyon sınıfı, termal tasarım ve varsa tip test raporu kontrolü

**K-faktör trafosu için açıklama**

K-faktör trafosunun amacı, harmonik ek kayıplara rağmen izin verilen sıcaklık artışını aşmamaktır.

## 18

**İletken kesiti kontrolü****Ana standart**

IEC/EN 60076-1; IEC/EN 60076-11; IEEE C57.110

**Yapılış / metot standardı**

Üretim çizimi, sarım reçetesi, iletken kesiti ve paralel iletken doğrulaması

**K-faktör trafosu için açıklama**

Skin effect, proximity effect ve harmonik kaynaklı eddy kayıpları nedeniyle iletken kesiti klasik trafodan farklı seçilebilir.

## 19

**Soğutma kanalı ve mekanik sıkılık kontrolü****Ana standart**

IEC/EN 60076-11; IEC/EN 61558-1

**Yapılış / metot standardı**

Görsel kontrol, hava kanalı açıklık kontrolü, mekanik sıkılık kontrolü

**K-faktör trafosu için açıklama**

Harmonik kaynaklı ısınma riski nedeniyle hava kanalları, bobin sıkılığı ve bağlantı gevşekliği özellikle kontrol edilmelidir.

## 2. Opsiyonel / Özel Testler

Bu testler; veri merkezi, UPS, sürücü, yoğun SMPS yükleri, yüksek THDi, ABD/UL şartnamesi veya özel müşteri performans beklentisi bulunan projelerde önerilebilir.

### 1

#### Harmonik akım altında sıcaklık artış testi

**Ana standart**

IEC/EN 60076-11 veya IEC/EN 61558-1; harmonik kapasite için IEEE C57.110

**Yapılış / metot standardı**

THD'li akım kaynağı veya eşdeğer kayıp/enjeksiyon yöntemiyle sıcaklık artışı ölçümü

**Ne zaman önerilir?**

K-13 / K-20 gibi yüksek harmonik iddiası varsa; veri merkezi, UPS, sürücü ve yoğun SMPS yüklerinde önerilir.

### 2

#### Nötr akımı ısınma testi

**Ana standart**

IEEE C57.110; UL istenirse UL 1561

**Yapılış / metot standardı**

Üç faz dört telli harmonikli yük simülasyonu; nötr barası/klemensi sıcaklık ölçümü

**Ne zaman önerilir?**

Tek fazlı non-lineer yüklerin yoğun olduğu sistemlerde önerilir. Nötr terminali, yıldız noktası ve bara bağlantıları özellikle izlenmelidir.

### 3

#### THD'li yük simülasyonu

**Ana standart**

IEEE C57.110; ölçüm için IEC 61000-4-7 ve IEC 61000-4-30

**Yapılış / metot standardı**

Programlanabilir yük veya güç elektroniği yüküyle harmonik spektrum oluşturma; güç analizörüyle THDi, THDv ve bireysel harmonik ölçümü

**Ne zaman önerilir?**

Müşteri belirli THDi veya harmonik spektrum veriyorsa uygulanır. IEC 61000-4-7 harmonik/ara harmonik ölçüm cihazları ve yöntemleri için, IEC 61000-4-30 ise güç kalitesi ölçüm yöntemleri için kullanılır.

### 4

#### Termal kamera testi

**Ana standart**

IEC/EN 60076-11 veya IEC/EN 61558-1 termal performans yaklaşımı

**Yapılış / metot standardı**

Yük altında IR termografi; üretici prosedürü

**Ne zaman önerilir?**

Klemens, nötr barası, ekran bağlantısı, kademe bağlantısı, sargı yüzeyi ve nüve sıkma noktalarında sıcak nokta aranır.

## 5

**Ses seviyesi testi**

**Ana standart** IEC/EN 60076-10

**Yapılış / metot standardı** IEC 60076-10

**Ne zaman önerilir?** Harmonik yük, manyetik çalışma noktası ve mekanik gevşeklik ses davranışını etkileyebilir. Bina içi, hastane, ofis ve veri merkezi uygulamalarında önerilir.

## 6

**K-faktör tasarım doğrulama hesabı raporu**

**Ana standart** IEEE C57.110; UL istenirse UL 1561

**Yapılış / metot standardı** Harmonik spektrum, K hesabı, RMS akım, nötr akımı, eddy/stray loss, sıcaklık artışı ve derating hesabı

**Ne zaman önerilir?** K değeri rutin testte doğrudan ölçülmez; tasarım hesabıyla ve gerekiyorsa termal testle doğrulanır.

## 7

**IEEE/UL müşteri şartnamesi uygunluk dosyası**

**Ana standart** IEEE C57.110; UL 1561; gerekirse NEC/NFPA 70

**Yapılış / metot standardı** Uygunluk matrisi, tasarım hesabı, test raporu, malzeme ve etiket kontrolü

**Ne zaman önerilir?** ABD pazarı, veri merkezi, UPS üreticileri ve UL/IEEE şartnameli projelerde önerilir. UL 1561 kuru tip genel amaçlı ve güç transformatörleri için kullanılır.

## 8

**Harmonik kayıp ayrıştırma / ek kayıp analizi**

**Ana standart** IEEE C57.110; IEC/EN 60076-1 destekleyici

**Yapılış / metot standardı** Temel frekans yük kaybı + harmonik akımların oluşturduğu eddy ve stray loss hesabı

**Ne zaman önerilir?** Özellikle K-20 gibi yüksek K sınıflarında ve yüksek THDi'li sistemlerde önerilir.

## 9

**Kısmi deşarj testi - özel uygulamalarda**

**Ana standart** IEC 60270; kuru tip güç trafosunda IEC/EN 60076-11

**Yapılış / metot standardı** IEC 60270

**Ne zaman önerilir?** Reçine döküm, yüksek güvenilirlik, raylı sistem, medikal veya özel izolasyon beklentisi olan projelerde uygulanabilir.

## 10

**Güç kalitesi saha doğrulaması****Ana standart**

IEC 61000-4-30; harmonik ölçümü için IEC 61000-4-7

**Yapılış / metot standardı**

Saha güç kalite analizörüyle THDi, THDv, bireysel harmonikler, nötr akımı ve yük profili ölçümü

**Ne zaman önerilir?**

Gerçek harmonik spektrum bilinmiyorsa tasarım öncesi veya devreye alma sonrası önerilir.

### 3. Test Raporuna Eklenmesi İyi Olacak Satırlar

K-faktör transformatörlerinde klasik rutin test raporuna aşağıdaki satırların eklenmesi, teknik beyanın ve müşteri tarafındaki doğrulamanın daha net yapılmasını sağlar.

#### 1 K değeri beyanı

K-4 / K-13 / K-20

#### 2 Tasarım harmonik varsayımı

THDi %, baskın harmonikler, yük tipi

#### 3 Nötr tasarım kapasitesi

Nötr kesiti, nötr bara/klemens kapasitesi

#### 4 Ekran sargısı

Var/yok, süreklilik, ekran-gövde bağlantısı

#### 5 Yük kaybı

Ölçülen Pk, referans sıcaklığa düzeltilmiş Pk

#### 6 Empedans

Z% / Uk%, tolerans kontrolü

#### 7 Termal sınıf

İzolasyon sınıfı F/H, sıcaklık artışı hedefi

#### 8 K-faktör hesap dosyası

IEEE C57.110 veya müşteri şartnamesine göre hesap referansı

#### 9 Ölçüm cihazları

Güç analizörü, harmonik analizörü, kalibrasyon tarihi