

B3. Harmonik filtre reaktörleri / kompanzasyon filtreleri - rutin testler

Standart yaklaşımı

Ana reaktör standardı olarak IEC/EN 60076-6 - Reactors kullanılabilir. IEC 60076-6; seri reaktörler yanında filter/tuning reactors, capacitor damping reactors ve capacitor discharge reactors gibi reaktörleri de kapsar. Kondansatör bankasıyla birlikte kompanzasyon sistemi olarak değerlendiriliyorsa IEC 60831-1 AG kendini onaran şönt güç kondansatörleri için, IEC 61921 ise alçak gerilim güç faktörü düzeltme bankaları için yardımcı ana referans olur. Harmonik ölçüm/saha analiz tarafında IEC 61000-4-7 harmonik ve ara harmonik ölçüm yöntemi için kullanılmalıdır.

1. Rutin Testler

1. Sargı direnci

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	DC direnç ölçümü; üretici rutin test prosedürü
Açıklama	Her faz ayrı ölçülür. Fazlar arası direnç farkı; bağlantı hatası, temas direnci, yanlış iletken kesiti veya sarım farkı açısından değerlendirilir.

2. Endüktans ölçümü

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	LCR metre, AC test düzeneği veya güç analizörü ile nominal frekansta ölçüm
Açıklama	Ürünün ana fonksiyon testidir. Harmonik filtre reaktöründe endüktans değeri, kondansatörle birlikte oluşacak rezonans frekansını belirlediği için hassas ölçülmelidir.

3. Endüktans faz dengesi

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Her faz için aynı frekans/akım koşulunda L ölçümü
Açıklama	L1-L2-L3 endüktans değerleri tasarım toleransı içinde dengeli olmalıdır. Faz dengesizliği, kompanzasyon kademesinde faz akımı dengesizliği ve kondansatör zorlanması oluşturabilir.

4. Rezonans frekansı doğrulaması

Ana standart	IEC/EN 60076-6; kondansatör bankası için IEC 61921
Yapılış / metot standardı	Ölçülen L ve kondansatör C değeri üzerinden hesap; gerekirse sistem testi
Açıklama	134 Hz, 189 Hz, 210 Hz, 215 Hz gibi ürün tipine göre hedef frekans doğrulanır. Bu değer, filtre reaktörünün kondansatörle birlikte hangi frekans bölgesinden kaçınacağını gösterir.

5. 134 Hz / 189 Hz / 210 Hz / 215 Hz ürün tipi kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6; müşteri şartnamesi
Yapılış / metot standardı	Etiket, tasarım föyü, ölçülen L ve kondansatör değeri çapraz kontrolü
Açıklama	Ürün hangi filtre sınıfı için üretildiyse test raporunda açıkça yazılmalı. Yanlış rezonans frekansı seçimi, kondansatörlerin harmonik akım altında aşırı yüklenmesine neden olabilir.

6. Filtre faktörü p% doğrulaması

Ana standart	IEC/EN 60076-6; IEC 61921; müşteri şartnamesi
Yapılış / metot standardı	Ölçülen endüktans, kondansatör kapasitesi ve sistem frekansından p% hesabı
Açıklama	p%14, p%7, p%5,67, p%5,41 gibi değerler hesapla doğrulanır. Rapor satırı olarak "hedef p% / hesaplanan p% / uygunluk" verilmesi çok faydalıdır.

7. p%14 / p%7 / p%5,67 / p%5,41 ürün ayırımı

Ana standart	IEC/EN 60076-6; IEC 61921
Yapılış / metot standardı	Teknik föy, etiket, ölçüm sonucu ve proje hesabı karşılaştırması
Açıklama	p% değeri kondansatör bankasının detuned karakterini belirler. Bu yüzden yalnızca L değeri değil, kondansatörle birlikte p% değeri de raporlanmalı.

8. Nominal akım kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Tasarım akımı, kondansatör kademesi akımı ve harmonik akım kapasitesi kontrolü
Açıklama	Reaktörün sürekli güvenli taşıyabileceği akım kontrol edilir. OMSAN teknik sözlükte nominal akım; reaktörün sürekli güvenli şekilde taşıyabileceği akım olarak tanımlanmış ve ortam sıcaklığı/havalandırma koşullarının dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

9. Harmonik akım kapasitesi kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6; harmonik ölçüm için IEC 61000-4-7
Yapılış / metot standardı	Tasarım hesabı, RMS akım ve harmonik spektrum kontrolü
Açıklama	Filtre reaktörü yalnız temel frekans akımını değil, harmonik bileşenleri de taşır. Saha harmonik analiz raporu varsa tasarım dosyasında THDU/THDI ve baskın harmonikler kontrol edilmeli.

10. Kayıp ölçümü - bakır kaybı

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	DC direnç ve nominal akım üzerinden I ² R hesabı
Açıklama	Bakır kaybı sıcaklık artışını belirleyen temel kayıplardan biridir. OMSAN teknik sözlüğünde bakır kaybı, sargılardan geçen akım nedeniyle oluşan I ² R kaybı olarak tanımlanmıştır.

11. Kayıp ölçümü - toplam kayıp

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	AC yük testi veya tasarım hesabı; çekirdekli reaktörde nüve kaybı dahil
Açıklama	Demir nüveli filtre reaktörlerinde bakır kaybına ek olarak nüve kaybı ve dağılım kayıpları da değerlendirilir. Toplam kayıp, termal tasarım için esas alınmalıdır.

12. İzolasyon direnci

Ana standart	IEC/EN 60076-6; küçük AG reaktörlerde IEC/EN 61558-1 / IEC/EN 61558-2-20 yardımcı
Yapılış / metot standardı	İzolasyon direnci ölçümü; pratik ölçüm için IEC 61557-2 yardımcı referans
Açıklama	Sargı-gövde ve tasarıma göre faz-faz izolasyon ölçülür. Kondansatör bankası içinde çalışan ürünlerde kir, nem ve sıcaklık etkileri nedeniyle izolasyon kalitesi önemlidir.

13. Dielektrik dayanım / hipot

Ana standart	IEC/EN 60076-6; IEC/EN 61558-1 yardımcı
Yapılış / metot standardı	AC dayanım testi
Açıklama	Sargı-gövde ve gerekiyorsa faz-faz ana izolasyon doğrulanır. Test seviyesi sistem gerilimi, izolasyon sınıfı ve müşteri şartnamesine göre seçilmeli.

14. Faz dengesi

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Faz bazlı R, L ve gerekirse akım karşılaştırması
Açıklama	Üç fazlı filtre reaktöründe direnç ve endüktans faz dengesi birlikte değerlendirilmelidir. Faz farkı, kondansatör kademelerinde eşitsiz akım ve ısınma oluşturabilir.

15. Nüve hava aralığı proses kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Üretim çizimi, hava aralığı ölçümü, mekanik kontrol
Açıklama	Demir nüveli reaktörlerde hava aralığı endüktans, doyum ve ses davranışını doğrudan etkiler. OMSAN teknik sözlükte demir nüveli reaktörlerde doyum sınırlarının dikkatle yönetilmesi gerektiği belirtilmiştir.

16. Manyetik lineerlik proses kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Nominal akımda veya birkaç akım noktasında L ölçümü
Açıklama	Harmonik filtre reaktöründe endüktansın akımla fazla düşmemesi gerekir. Doyum oluşursa filtre faktörü ve rezonans davranışı bozulur.

17. Klemens bağlantı kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6; kondansatör bankası için IEC 61921
Yapılış / metot standardı	Klemens, bara, terminal işareti, tork ve süreklilik kontrolü
Açıklama	Reaktör kondansatöre seri bağlandığı için giriş/çıkış terminal isimleri, faz sırası ve kondansatör bağlantı uçları net olmalıdır.

18. Kondansatör bağlantı etiketi kontrolü

Ana standart	IEC 60831-1; IEC 61921; IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Etiket, bağlantı şeması ve klemens kontrolü
Açıklama	Kondansatör gücü, kondansatör gerilimi, faz bağlantısı, reaktör p% değeri ve rezonans frekansı etikette/şemada birbiriyle uyumlu olmalı.

19. Bağlantı gevşekliği kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6; IEC 61921
Yapılış / metot standardı	Görsel kontrol, tork kontrolü, gerekirse düşük direnç bağlantı kontrolü
Açıklama	Gevşek klemens ve bara bağlantıları lokal ısınmaya, kondansatör arızasına ve yangın riskine neden olabilir. Rutin nihai kontrolde mutlaka bakılmalı.

20. Mekanik sıkılık / titreşim göz kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6; sayısal test gerekirse IEC 60076-10 / IEC 60068-2-6 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Görsel-dinleme kontrolü, nüve/sargı sıkılık kontrolü
Açıklama	Harmonik akımlar ve manyetik kuvvetler titreşim/gürültü oluşturabilir. OMSAN teknik sözlüğünde mekanik titreşimin gürültü, bağlantı ömrü ve saha konforu açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

21. Etiket kontrolü

Ana standart	IEC/EN 60076-6; IEC 61921; IEC 60831-1
Yapılış / metot standardı	Etiket, teknik füy, proje ve test raporu çapraz kontrolü
Açıklama	Akım, gerilim, frekans, endüktans, p%, rezonans frekansı, kondansatör gücü/gerilimi, izolasyon sınıfı, faz sayısı ve bağlantı bilgileri kontrol edilir.

2. Opsiyonel / Özel Testler

1. Rezonans performans testi

Ana standart	IEC/EN 60076-6; IEC 61921; harmonik ölçüm için IEC 61000-4-7
Yapılış / metot standardı	Kondansatörle birlikte akım/gerilim frekans cevabı veya hedef frekansta doğrulama
Ne zaman önerilir?	Büyük kompanzasyon bankaları, yüksek THDU/THDI olan tesisler veya kritik endüstriyel uygulamalarda önerilir.

2. Harmonik akım altında ısınma testi

Ana standart	IEC/EN 60076-6; ölçüm için IEC 61000-4-7 / IEC 61000-4-30
Yapılış / metot standardı	THD'li akım veya eşdeğer RMS/harmonik yükleme ile sıcaklık ölçümü
Ne zaman önerilir?	Reaktörün yalnız 50 Hz akımda değil, gerçek harmonik akımlar altında termal olarak güvenli kaldığını göstermek için kullanılır. Harmonik etkilerin ek ısınmaya neden olabileceği OMSAN teknik sözlükte de belirtilmiştir.

3. Sıcaklık artış testi

Ana standart	IEC/EN 60076-6; küçük AG reaktörlerde IEC/EN 61558-2-20 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Nominal RMS akımda kararlı sıcaklık artışı ölçümü
Ne zaman önerilir?	Sürekli kompanzasyon, kapalı pano, yüksek ortam sıcaklığı veya yüksek harmonik akım beklenen tesislerde önerilir.

4. Gürültü testi

Ana standart	IEC/EN 60076-10
Yapılış / metot standardı	Ses basıncı veya ses şiddeti yöntemiyle ölçüm
Ne zaman önerilir?	Bina içi, hastane, AVM, ofis veya ses hassas teknik hacimlerde önerilir. IEC 60076-10 transformatör ve reaktörlerde ses ölçüm yöntemlerini kapsar.

5. Manyetik lineerlik testi

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Farklı akım noktalarında L-I eğrisi çıkarılması
Ne zaman önerilir?	Demir nüveli filtre reaktörlerinde doyum sınırı ve endüktans stabilitesi kritikse uygulanır.

6. Doyum eğrisi testi

Ana standart	IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	%50 / %100 / %120 / %150 In gibi noktalarda endüktans ölçümü
Ne zaman önerilir?	Harmonik akımlar veya geçici aşırı akımlar nedeniyle reaktörün doyuma girmemesi gerekiyorsa önerilir.

7. Kondansatörle birlikte sistem testi

Ana standart	IEC 61921; kondansatör için IEC 60831-1; reaktör için IEC/EN 60076-6
Yapılış / metot standardı	Reaktör + kondansatör kademesi birlikte akım, gerilim, rezonans ve sıcaklık kontrolü
Ne zaman önerilir?	Reaktör ve kondansatör farklı tedarikçilerden geliyorsa veya proje kritikse çok faydalıdır. IEC 61921 AG güç faktörü düzeltme bankaları için sistem yaklaşımını verir.

8. Sahadaki harmonik analiz raporuna göre tasarım doğrulama raporu

Ana standart	IEC 61000-4-7; IEC 61000-4-30; IEC 61921
Yapılış / metot standardı	THDU, THDI, bireysel harmonikler, kısa devre gücü, kondansatör gücü ve p% hesabı
Ne zaman önerilir?	Seçim kriterleri arasında harmonik analiz raporu varsa en önemli doküman budur. Rapor; seçilen p%, rezonans frekansı, kondansatör gerilimi ve harmonik akım dayanımını birlikte açıklamalı.

9. Termal kamera testi

Ana standart	IEC/EN 60076-6 termal performans yaklaşımı
Yapılış / metot standardı	Nominal yükte veya harmonikli yükte IR termografi
Ne zaman önerilir?	Klemens, bara, kondansatör bağlantıları, sargı çıkışları, nüve/hava aralığı ve pano içi sıcak noktalar için önerilir.

10. IP testi - kabinli kompanzasyon panosunda

Ana standart	IEC/EN 60529
Yapılış / metot standardı	IEC 60529
Ne zaman önerilir?	IP beyanı olan kabinli kompanzasyon/filter panolarında uygulanır.

11. Titreşim testi

Ana standart	IEC 60068-2-6; özel uygulamada müşteri şartnamesi
Yapılış / metot standardı	Sinüzoidal titreşim testi
Ne zaman önerilir?	Marin, raylı sistem, makine üstü veya titreşimli tesislerde önerilir.

12. Güç kalitesi performans testi

Ana standart	IEC 61000-4-7; IEC 61000-4-30
Yapılış / metot standardı	Reaktör/kondansatör devredeyken THDU, THDI ve bireysel harmonik ölçümü
Ne zaman önerilir?	Saha devreye alma sonrası filtreleme etkisini göstermek için uygulanır.

3. Test Raporuna Eklenmesi İyi Olacak Satırlar

Rapor satırı	Önerilen içerik
Ürün tipi	Harmonik filtre reaktörü / kompanzasyon filtre reaktörü
Nominal değerler	Gerilim, akım, frekans, faz sayısı
Endüktans	Her faz için L değeri, ölçüm frekansı, tolerans
Filtre faktörü	p%14 / p%7 / p%5,67 / p%5,41
Rezonans frekansı	134 Hz / 189 Hz / 210 Hz / 215 Hz veya projeye özel değer
Kondansatör bilgisi	kVAr, kondansatör gerilimi, bağlantı tipi
Faz dengesi	R ve L faz sapmaları
Kayıp	Bakır kaybı, çekirdekli tipte toplam kayıp
Nominal/harmonik akım	In, RMS akım, varsa harmonik akım varsayımı
İzolasyon / dielektrik	Sargı-gövde, faz-faz test sonuçları
Lineerlik / doyum	Nominal akımda veya çok noktalı L-I kontrolü
Mekanik kontrol	Hava aralığı, nüve sıkılığı, bağlantı torku, titreşim
Etiket kontrolü	Akım, gerilim, L, p%, rezonans frekansı, kondansatör bağlantı etiketi
Saha analiz referansı	Varsa harmonik analiz raporu no/tarihi, THDU/THDI ve baskın harmonikler