

# D2. Statik regülatörler - monofaze / trifaze

## Standart Yaklaşımı

Statik regülatörler için tek bir dar kapsamlı IEC ürün standardı yerine, ürün yapısına göre aşağıdaki standart matrisi daha doğru olur:

Güç elektroniği güvenliği: IEC/EN 62477-1. IEC 62477-1, güç elektroniği dönüştürücü sistemleri ve ekipmanları için güvenlik gereklerini tanımlar.

Pano/kabin yapısı: IEC/EN 61439-1 ve uygun pano tipine göre IEC/EN 61439-2. IEC 61439-1, alçak gerilim anahtarlama ve kontrol düzeni panoları için genel tanımlar, servis koşulları, yapısal gerekler, teknik karakteristikler ve doğrulama kurallarını kapsar.

Ani giriş gerilimi değişimleri / çökme-yükselme simülasyonu: IEC 61000-4-11 yardımcı alınabilir; bu standart düşük gerilim besleme şebekesine bağlı ekipmanlarda gerilim çukurları, kısa kesintiler ve gerilim değişimleri için bağışıklık test yöntemlerini tanımlar.

EMC: Endüstriyel ortam için IEC 61000-6-2 bağışıklık, IEC 61000-6-4 emisyon standardı olarak kullanılabilir. Rutin testler

## 1. Rutin Testler

1

### Görsel ve mekanik kontrol

Ana standart	IEC/EN 61439-1; IEC/EN 62477-1
Yapılış / metot standardı	Görsel kontrol, montaj, kablolama, komponent, tork ve etiket kontrolü
Statik regülatör için açıklama	Pano, güç yarı iletken modülleri, soğutucu bloklar, fanlar, kontrol kartı, display, kontaktör/şalter, sigorta, baralar ve klemensler kontrol edilir.

2

### Pano/kabin PE sürekliliği

Ana standart	IEC/EN 61439-1; IEC 60204-1 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Düşük direnç PE süreklilik ölçümü
Statik regülatör için açıklama	Gövde, kapı, montaj plakası, PE barası, fan gövdesi, soğutucu blok ve kapı topraklama örgüsü kontrol edilir.

3

### Güç yarı iletken modül bağlantı kontrolü

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
Yapılış / metot standardı	Görsel kontrol, tork kontrolü, sürücü/kontrol kablosu ve soğutucu montaj kontrolü
Statik regülatör için açıklama	Tristör/IGBT/SSR modül, soğutucu, izolasyon pad'i, gate/sürücü bağlantıları, güç baraları ve sıkma torkları kontrol edilir.

4

### Kontrol kartı besleme testi

Ana standart	IEC/EN 62477-1
Yapılış / metot standardı	Yardımcı AC/DC besleme, SMPS çıkışları, kart üzeri gerilimler ve sigorta kontrolü
Statik regülatör için açıklama	Mikroişlemci kartı, ölçüm kartı, röle çıkışları, sensör girişleri ve fan beslemesi doğrulanır.

5

**Fan / soğutma testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
Yapılış / metot standardı	Fan yönü, hava akışı, fan alarmı, termostat/PWM kontrolü
Statik regülatör için açıklama	Statik regülatörde yarı iletkenlerin güvenilirliği soğutmaya bağlıdır. Fan yönü, hava kanalı, filtre tıkanıklığı, sıcaklık sensörü ve fan arıza alarmı kontrol edilmeli.

6

**Display / HMI testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1
Yapılış / metot standardı	Menü, ölçüm ekranı, alarm geçmiş, parametre giriş-çıkış kontrolü
Statik regülatör için açıklama	Giriş/çıkış gerilimleri, akım, yük oranı, frekans, alarm, sıcaklık, bypass ve çalışma modu ekranları kontrol edilir.

7

**Giriş gerilim aralığı testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1; IEC 61000-4-11 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Ayarlanabilir AC kaynak veya şebeke simülatörü ile minimum/nominal/maksimum giriş testi
Statik regülatör için açıklama	Katalogda verilen giriş aralığında regülatörün çıkışı tolerans içinde tuttuğu veya limit dışında korumaya geçtiği doğrulanır.

8

**Çıkış regülasyon testi - monofaze**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
Yapılış / metot standardı	Minimum/nominal/maksimum girişte çıkış gerilimi ölçümü
Statik regülatör için açıklama	Monofaze üründe 220/230 V hedef gerilim ve ürün dokümanındaki tolerans doğrulanır.

9

**Çıkış regülasyon testi - trifaze**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
Yapılış / metot standardı	L-L ve varsa L-N çıkış gerilimlerinin ölçümü
Statik regülatör için açıklama	Trifaze üründe 380/400 V hedef çıkış kontrol edilir. Faz-faz ve faz-nötr ölçümler raporda ayrı verilmeli.

10

**Düzeltilme hızı fonksiyon testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC 61000-4-11 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Giriş gerilim adımı uygulanarak çıkışın hedefe yaklaşma hızı ölçülür
Statik regülatör için açıklama	Sitede verilen 500 V/s gibi düzeltme hızı iddiası varsa test raporunda giriş adımı, çıkış sapması ve toparlanma süresi belirtilmeli.

11

**Dinamik regülasyon testi - ani giriş değişimi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC 61000-4-11
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Giriş geriliminde ani düşme/yükselme uygulanır; çıkış sapması ve toparlanma süresi ölçülür
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Statik regülatörün servo tipe göre hızlı olmasının en önemli doğrulamasıdır. Osiloskop veya hızlı kayıt yapan güç analizörüyle yapılması iyi olur.

12

**Dinamik regülasyon testi - ani yük değişimi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Yük kademesi ani değiştirilir; çıkış gerilimi, akım ve toparlanma süresi izlenir
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Yük değişiminde çıkışın aşırı sapma yapmadan hedefe döndüğü doğrulanır. UPS, CNC ve hassas cihaz yüklerinde özellikle önemlidir.

13

**Statik regülasyon testi - kararlı yükte çıkış doğruluğu**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Sabit yükte çıkış geriliminin zaman içinde ölçümü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Kararlı yükte çıkış doğruluğu, regülasyon toleransı ve ölçüm kararlılığı raporlanır.

14

**Faz koruma testi - trifaze ürünlerde**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 61439-1; IEC/EN 62477-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Faz yokluğu, faz sırası, faz dengesizliği simülasyonu
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Faz kaybı, ters faz sırası veya aşırı faz dengesizliğinde alarm/çıkış kesme davranışı doğrulanır.

15

**Aşırı yük koruması**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Ayarlanabilir yük veya elektronik simülasyonla akım eşiği kontrolü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Aşırı yükte alarm, akım sınırlama, bypass, çıkış kesme veya koruma davranışı ürün tasarımına göre doğrulanır.

16

**Kısa devre / elektronik koruma fonksiyon testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Güvenli test yöntemiyle koruma simülasyonu; gerçek kısa devre gerekiyorsa özel düzenek
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Rutin testte doğrudan yüksek enerjili kısa devre yerine elektronik koruma, sigorta/şalter ve alarm fonksiyonları güvenli yöntemle doğrulanmalı.

17

**Alt-üst gerilim sınır testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC 61000-4-11 yardımcı
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Programlanmış alt/üst limitlerin altında ve üstünde giriş/çıkış gerilimi uygulanır
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Programlanabilir alt/üst sınır korumalarının doğru eşikte alarm verdiği veya çıkışı kestiği kontrol edilir.

18

**Bypass testi - varsa**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 61439-1; IEC/EN 62477-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Manuel/otomatik bypass geçiş testi
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Regülatör devreden çıktığında yükün bypass üzerinden güvenli beslendiği; interlock, faz sırası ve alarm davranışı doğrulanır.

19

**Alarm rölesi testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Arıza senaryosu simülasyonu ve röle kontak ölçümü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Genel arıza, düşük/yüksek gerilim, aşırı yük, fan arızası, aşırı sıcaklık, faz hatası ve bypass durum kontakları test edilir.

20

**Hata kayıt testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Alarm oluşturma, hafıza kaydı ve enerji kesme sonrası kayıt kontrolü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	HMI'da hata geçmişinin doğru kaydedildiği ve gerektiğinde enerji kesme sonrası korunduğu doğrulanır.

21

**İzolasyon direnci**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	İzolasyon direnci ölçümü; elektronik kartlar için üretici prosedürü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Güç devresi-gövde, giriş/çıkış-gövde ve kontrol devresi-gövde ayrı değerlendirilir. Hassas elektronik kartlara doğrudan yüksek megger gerilimi uygulanmamalı.

22

**Dielektrik dayanım / hipot**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	AC/DC dayanım testi; elektronik ekipman prosedürüne göre
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Yarı iletken modüller, ölçüm kartları, SPD ve EMI filtreleri zarar görmeyecek şekilde test konfigürasyonu belirlenmeli. Gerekirse elektronik kartlar ayrılıp güç devresi-gövde testi yapılır.

23

**Giriş/çıkış ölçü doğruluğu testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; ölçüm için IEC 61000-4-30 yardımcı
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Referans multimetre/güç analizörü ile display/HMI karşılaştırması
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	HMI'da görünen giriş/çıkış gerilimi, akım ve frekans değerleri referans cihazla karşılaştırılır.

24

**Verim kontrolü - büyük güçlerde**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Giriş/çıkış aktif güç ölçümü; belirli yük oranında verim hesabı
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Büyük güçlerde satış ve enerji kaybı açısından değerlidir. Yük oranı, giriş gücü, çıkış gücü ve verim yüzdesi raporda görünmeli.

25

**Son parametre kontrolü**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; müşteri şartnamesi
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Parametre listesi, hedef gerilim, tolerans, limitler ve koruma eşikleri kontrolü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Sevk öncesi hedef çıkış, alt/üst limit, gecikmeler, bypass ayarı, alarm eşikleri ve haberleşme parametreleri doğrulanır.

26

**Yazılım / firmware versiyon kontrolü**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; üretici prosedürü
<b>Yapılış / metot standardı</b>	HMI/servis yazılımından versiyon kontrolü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Yazılım versiyonu, ürün gücü, seri numarası ve müşteri özel parametreleri test raporuna eklenebilir.

27

**Etiket ve bağlantı şeması kontrolü**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 61439-1; IEC/EN 62477-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Etiket, terminal işareti, uyarı ve bağlantı şeması kontrolü
<b>Statik regülatör için açıklama</b>	Güç/kVA, giriş aralığı, çıkış gerilimi, tolerans, düzeltme hızı, faz, frekans, IP, CE, bypass, PE ve alarm bağlantıları kontrol edilir.

## 2. Opsiyonel / Özel Testler

1

**Tam yük burn-in testi**

<b>Ana standart</b>	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
<b>Yapılış / metot standardı</b>	Nominal veya belirlenen yükte uzun süre çalışma
<b>Ne zaman önerilir?</b>	Yarı iletken modül, soğutma, kontrol kartı ve koruma sistemlerinin kararlılığını görmek için önerilir.

2

**Dinamik cevap süresi osiloskop kaydı**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC 61000-4-11 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Ani giriş/yük değişiminde çıkış gerilimi osiloskop veya hızlı kayıt cihazıyla izlenir
Ne zaman önerilir?	500 V/s düzeltme hızı veya hızlı regülasyon iddiası müşteri kabul testinde gösterilecekse önerilir.

3

**Harmonik bozulma ölçümü**

Ana standart	IEC 61000-4-7; IEC 61000-4-30
Yapılış / metot standardı	Giriş/çıkış THDv, THDi ve bireysel harmoniklerin ölçümü
Ne zaman önerilir?	Statik yarı iletken yapı şebeke dalga formunu etkileyebileceği için hassas yüklerde veya CE/EMC dosyasında önerilir.

4

**EMC bağışıklık testleri**

Ana standart	IEC 61000-6-2; özel deneyler için IEC 61000-4-2, -4, -5, -6, -11
Yapılış / metot standardı	ESD, EFT/burst, surge, RF immunity ve gerilim çukuru testleri
Ne zaman önerilir?	Endüstriyel ortam, elektronik kontrol kartı ve display içeren ürünlerde CE/EMC veya müşteri şartnamesi için uygulanır.

5

**EMC emisyon testleri**

Ana standart	IEC 61000-6-4; gerekirse CISPR 11 / CISPR 32 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Conducted/radiated emission ölçümü
Ne zaman önerilir?	Yarı iletken anahtarlama ve kontrol kartı nedeniyle iletilen/yayılan emisyon kontrolü gerekebilir.

6

**Şebeke simülatörüyle gerilim çökmesi/yükselmesi testi**

Ana standart	IEC 61000-4-11; IEC/EN 62477-1
Yapılış / metot standardı	Programlanabilir AC kaynakla çökme, yükselme, kısa kesinti ve gerilim değişimi senaryoları
Ne zaman önerilir?	Zayıf şebeke, jeneratör beslemesi, sık gerilim dalgalanması olan tesisler ve kritik yüklerde önerilir.

7

**Termal kamera testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1 termal güvenlik yaklaşımı
Yapılış / metot standardı	Yük altında IR termografi
Ne zaman önerilir?	Yarı iletken modüller, soğutucu blok, fan bölgesi, kontaktör, sigorta, bara, klemens ve kontrol kartı çevresinde sıcak nokta aranır.

8

**Yüksek ortam sıcaklığı testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; çevresel test için IEC 60068-2-2 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Belirlenen ortam sıcaklığında yük altında çalışma
Ne zaman önerilir?	Kapalı pano odası, sıcak iklim, jeneratör kabini veya yüksek IP kabinlerde önerilir.

9

**Paralel çalışma testi - varsa**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC/EN 61439-1
Yapılış / metot standardı	Modüller arası yük paylaşımı, senkron çalışma ve arıza davranışı kontrolü
Ne zaman önerilir?	Paralel modül veya paralel cihaz yapısı varsa akım paylaşımı, haberleşme, bypass ve bir modül arızasında sistem davranışı test edilmeli.

10

**Jeneratör uyumluluk testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC 61000-4-30 yardımcı
Yapılış / metot standardı	Jeneratör veya jeneratör simülatörüyle frekans/gerilim dalgalanması altında çalışma
Ne zaman önerilir?	Jeneratörle beslenen tesislerde frekans sapması ve gerilim kararsızlığı altında regülasyon davranışını doğrulamak için önerilir.

11

**Hassas yük simülasyonu**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; IEC 61000-4-30 yardımcı
Yapılış / metot standardı	UPS, CNC, tıbbi cihaz veya elektronik yük profiliyle çalışma
Ne zaman önerilir?	Hassas yüklerde çıkış doğruluğu, geçici sapma, harmonik etkisi ve koruma eşikleri kritik olduğunda uygulanır.

12

**IP testi - kabinli ürünlerde**

Ana standart	IEC/EN 60529
Yapılış / metot standardı	IP koduna göre toz/su ve tehlikeli bölümlere erişim testi
Ne zaman önerilir?	IP20, IP31, IP42, IP54 gibi kabin beyanı varsa uygulanır.

13

**Kısa süreli aşırı yük testi**

Ana standart	IEC/EN 62477-1; müşteri şartnamesi
Yapılış / metot standardı	Belirlenen akım ve süreyle yükleme; koruma ve sıcaklık izleme
Ne zaman önerilir?	Motor, kompresör, CNC veya yüksek kalkış akımı çeken yüklerde önerilir.

14

**Ses seviyesi testi**

Ana standart	Yardımcı referans IEC 60076-10; müşteri şartnamesi
Yapılış / metot standardı	Ses basıncı veya ses seviyesi ölçümü
Ne zaman önerilir?	Fanlı, büyük güçlü veya bina içi sessiz alanlarda önerilir.

### 3. Test Raporuna Eklenmesi İyi Olacak Satırlar

Rapor satırı	Önerilen içerik
Ürün tipi	Monofaze / trifaze statik regülatör
Nominal değerler	kVA, giriş gerilim aralığı, çıkış gerilimi, frekans, akım
Teknoloji	Yarı iletken yapı, mikroişlemci kontrol, varyaksız yapı
Regülasyon doğruluğu	Min/nominal/max girişte çıkış gerilimi ve tolerans
Düzeltilme hızı	Giriş adımı, çıkış sapması, toparlanma süresi, V/s değeri
Dinamik regülasyon	Ani giriş değişimi ve ani yük değişimi sonuçları
Statik regülasyon	Kararlı yükte çıkış doğruluğu
Koruma fonksiyonları	Faz hatası, alt/üst gerilim, aşırı yük, kısa devre/elektronik koruma
Bypass	Manuel/otomatik bypass, interlock, alarm durumu
Display doğrulaması	HMI ölçümleri ile referans cihaz karşılaştırması
İzolasyon / hipot	Güç devresi-gövde; elektronik devre koruma notu
PE sürekliliği	Gövde, kapı, montaj plakası, soğutucu blok, PE barası
Fan / soğutma	Fan yönü, hava akışı, fan arızası alarmı, sıcaklık sensörleri
Verim	Büyük güçlerde yük yüzdesi, giriş/çıkış güçleri ve verim
Parametre / yazılım	Firmware versiyon, hedef çıkış, limitler, alarm eşikleri
Opsiyonel performans	Burn-in, harmonik, EMC, jeneratör uyumu, termal kamera