MÜHENDİSLİK NOTU

Pil Şarj Cihazları için MIL-STD-1275, 810 ve 461: Dayanıklı 24 V Araç Şarj Cihazları için Bir Tasarım Kontrol Listesi

Dayanıklı bir şarj cihazının spesifikasyonu yaklaşık 1.400 sayfa askerî standardı beraberinde getirebilir, ama bunların 150'den azı tasarımı değiştirir. Bu kontrol listesi her gereksinimi, dayattığı tasarım kararına ve onu kanıtlayan teste eşler; zor olanların arkasındaki hesaplarla birlikte.

Tan Shuai · tanshuai.com · i@tanshuai.com

23 Kasım 2026

Özet

Araçlar ve saha için dayanıklı bir 24 V pil şarj cihazı, özünde etrafı dört zor problemle sarılmış sıradan bir anahtarlamalı şarj cihazıdır. MIL-STD-1275, girişine 0,5 Ω'luk bir kaynaktan hiçbir kırpıcı diyotun soğuramayacağı 100 V'luk bir aşırı gerilim uygular; bu yüzden giriş katı 150 V sınıfı parçalardan yapılmış seri bir aşırı gerilim sınırlayıcıya ihtiyaç duyar. MIL-STD-461 bağışıklığı değil, yayılımı zor taraf yapar: her güç girişi konnektör duvarında iki kademeli bir filtre ister ve kasa mekanik olduğu kadar elektriksel olarak da sızdırmaz olmalıdır. MIL-STD-810, güneş altında +55 °C'de ısı atan, 26 düşmeye dayanan ve yüksek irtifada su almadan nefes alan sızdırmaz bir kutu ister. 40.000 saatlik bir MTTF fana yer bırakmaz. Nem ve tuz sisinden ESD'ye, dokunma sıcaklığına ve güvenilirlik raporuna kadar geri kalan her şey iyi uygulamayı izler ve test ya da belgeyle doğrulanır. Çoğu spesifikasyon hâlâ 1980'ler ve 1990'lardan revizyonlara atıf yapar; güncel revizyonlara göre tasarlamak ve bir çapraz referans tablosu teslim etmek hiçbir şeye mal olmaz ve yeniden işten kurtarır. İnandırıcı bir yeterlilik üç numune ve 8 ila 16 hafta gerektirir ve anakara Çin'deki laboratuvarların yayımlanmış tarifelerine göre kabaca 20.000 ila 55.000 dolar tutar.

Bunu neden yazdım

Dayanıklı şarj cihazı talepleri bir sayfa gereksinim ve bir standart listesi olarak gelir: ortam için MIL-STD-810, elektromanyetik uyumluluk için MIL-STD-461, araç gücü için MIL-STD-1275, bir güvenlik standardı, bir MTTF rakamı ve birkaç insan faktörleri kuralı. Bu listenin arkasındaki belgeler yaklaşık 1.400 sayfayı bulur. Harfiyen okunursa bir şarj cihazını araştırma projesine çevirir. Üstünkörü okunursa blok şemayı, kasayı ve fiyatı belirleyen üç dört maddeyi gizler.

Yakın zamanda böyle bir spesifikasyonu satır satır inceledim, özetlerini değil standartların kendisini okudum ve her maddeyi tasarıma ne yaptığına göre sınıflandırdım. Bu not, böyle bir spesifikasyonu donanıma dönüştürmek zorunda olan mühendisler ve ne istediklerini bilmek isteyen alıcılar için bir kontrol listesi olarak yazılmış sonuçtur. Aşağıdaki tüm rakamlar Kasım 2026 itibarıyladır ve tutarlar ABD dolarıdır.

Bir bakışta sonuçlar

Şekil 1. Yaklaşık 1.400 sayfa standardın 150'den azı tasarımı belirler. Geri kalanı iyi uygulama ve evrak işidir.



Tier 1 **Decides the architecture**

Settle before the design freezes

MIL-STD-1275
Front-end topology and part voltages

MIL-STD-461 emissions
Filters at the wall, sealed seams, cable treatment

MIL-STD-810 heat, rain, dust, altitude
No fan, finned wall, vent, wall thickness

MIL-STD-810 vibration and shock
Structure, part retention, bumpers

Safety insulation
Clearances, creepage; couples with the EMI filter

Two definitions
Which 1275 revision; what "EMP protection" means

Tier 2 **Good practice, then test**

Look up once, mark on the drawings

Low temperature
Parts and display rated for −40 °C

Humidity and salt fog
Coatings, sealing, no dissimilar metals

Sand and dust
Abrasion of paint and display window

Immunity tests
Usually passed by a sealed, bonded case

ESD
4 kV contact, 8 kV as margin

Human factors
Gloved handle, knob detents, character size

Tier 3 **Documents or analysis**

Written, not tested

MTTF
Parts-stress prediction, MIL-HDBK-217F

Design review
MIL-HDBK-454 checklist

Factory
ESD control program, ISO 9001

Withdrawn standards
Equivalence statements

By analysis, if accepted
Low pressure, solar load, radiated EMP

Kaynak: The author's reading of the standards cited; page counts are those of the published documents.

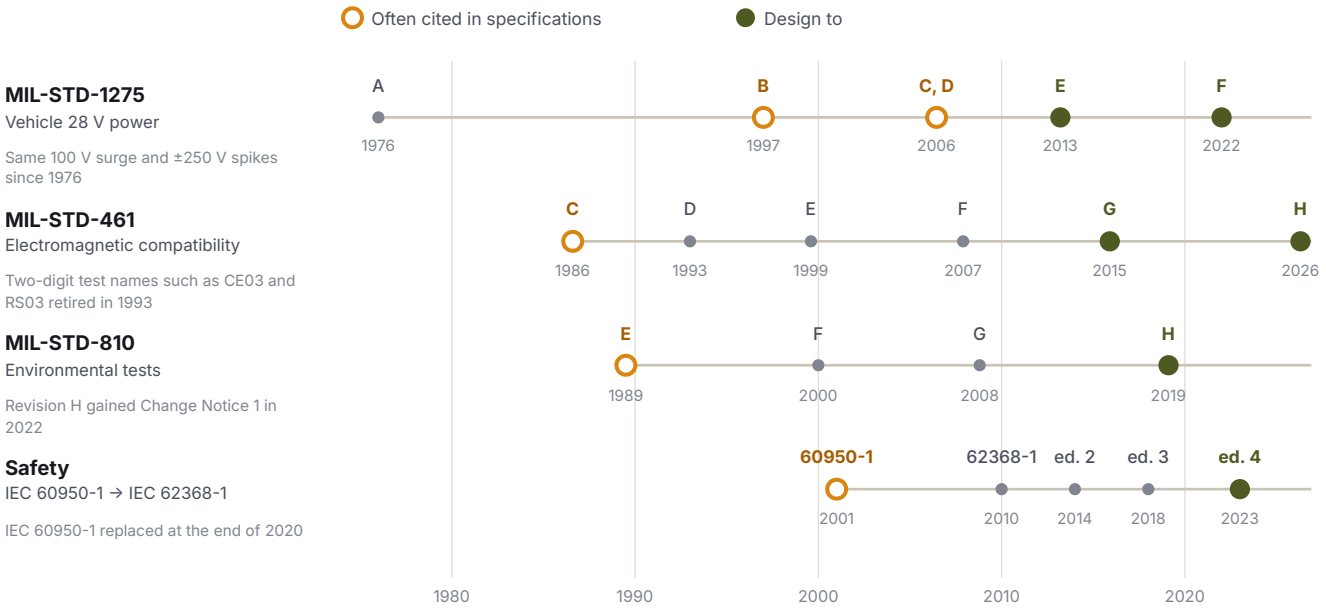
Kontrol listesinin kendisi, gereksinimden dayattığı tasarım kararına ve kanıtlama yoluna:

Gereksinim	Tasarıma etkisi	Nasıl doğrulanır
MIL-STD-1275, 24 V araç gücü	150 V sınıfı parçalarla seri MOSFET aşırı gerilim sınırlayıcı, sıçramalar için TVS, diyot düşümü olmadan ters kutup engelleme; 16 ila 33 V arasında şarj, motor çalıştırmalarında kendiliğinden duraklama ve devam	Atıf yapılan revizyon için yapılmış bir geçici rejim üreteciyle test
MIL-STD-461, EMI	Her güç girişinde konnektör duvarına monte iki kademeli LC filtre; her birleşimde iletken contalar; dönüştürücü frekanslarının planlanması; ilk prototipte ön taramalar	İç ön taramaların ardından odada test
MIL-STD-810, ortam	Isısı kanatçıklardan çıkan sızdırmaz, fansız elektronik bölmesi; irtifa için ePTFE havalandırma; düşmeler için köşe tamponları ve gömme konnektörler; −40 ila +71 °C depolamaya uygun parçalar	Bir numune iklimsel zincirde, biri mekanik zincirde
Li-ion şarj sıcaklığı	Her pili ölçmek ve yalnızca kendi aralığında, tipik olarak 0 ila 45 °C'de şarj etmek; duraklamak, nedenini göstermek, kendiliğinden devam etmek; isteğe bağlı ön ısıtma	Sıcaklık uçlarında test
Güvenlik, IEC 62368-1	Tabloların geniş yorumuna göre tasarlanmış açıklık mesafeleri; 100 W üzerinde metal yangın muhafazası; dokunma sıcaklığı için polimer saplar ve düğmeler	CB test raporu ve muayene
ESD	Elin ulaştığı her yerde 4 kV temas deşarjı, pay olarak 8 kV	Test, yaklaşık yarım gün
40.000 saatlik MTTF	Tüm şarj cihazı için milyon saatte 25 arızalık bütçe: fan yok, değer düşürülmüş parçalar	Yöntemi önceden kararlaştırılmış MIL-HDBK-217F tahmini
İnsan faktörleri, MIL-STD-1472	Eldivene göre boyutlandırılmış sap, 15 ila 40° aralıklı düğme kademeleri, kol mesafesinden okunabilir karakterler	Muayene ve eldivenle gösterim

Sıfırıncı adım: güncel revizyonlara göre tasarlayın

Dayanıklı ekipman spesifikasyonları çoğu zaman göründüklerinden eskidir. Satın alma birimleri şablonlarını kopyalayıp ileri taşıdığı için MIL-STD-810E'yi (1989) ve MIL-STD-461C'yi (1986), o zamandan beri yürürlükten kalkmış güvenlik standartlarının yanında görmek olağandır. 461C'nin CE03 ve RS03 gibi iki harf iki rakamlı test adları 1993'te kaldırıldı. MIL-STD-810 bugün H revizyonundadır (Ocak 2019, 2022'deki 1 No'lu Değişiklik Bildirimiyle); MIL-STD-461 G'dedir (Aralık 2015) ve ardından Nisan 2026'da H gelmiştir; MIL-STD-1275 E (Mart 2013) ve F'dedir (2022). IEC 62368-1, 2020 sonunda IEC 60950-1'in yerini aldı ve dördüncü baskısındadır (2023). Şarj cihazı spesifikasyonlarında hâlâ karşımıza çıkan EN 50091-1 ise 2005'te yürürlükten kalkmış bir UPS standardıdır.

Şekil 2. Spesifikasyonlar hâlâ 1980'ler ve 1990'lardan revizyonlara atıf yapıyor. Güncellere göre tasarlayın ve her ikisine göre raporlayın.



Kaynak: Revision dates from the standards themselves and from a US test lab's revision list; IEC publication dates.

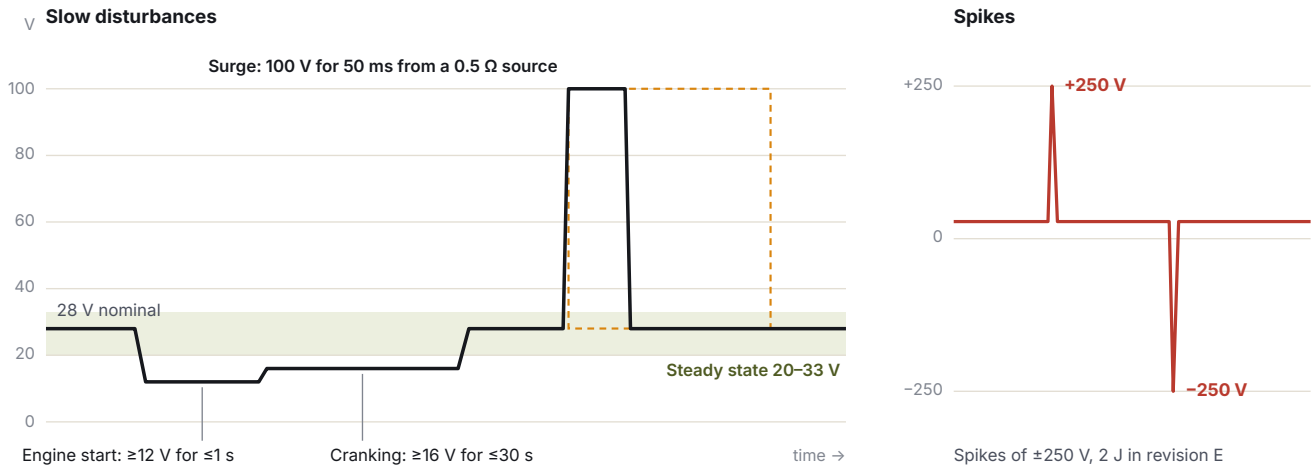
MIL-STD-810'un varsayılan şiddetleri 1989 ile 2019 arasında neredeyse hiç değişmedi ve bir MIL-STD-1275 giriş katını biçimlendiren iki zorlanma 1976'dan beri aynıdır; bu yüzden güncel revizyonlara göre tasarlamak hiçbir şeye mal olmaz. Kazandırdığı şey, müşteri spesifikasyonu güncellerse de geçecek bir tasarım ve yöntemleri hâlâ uygulayan laboratuvarlardır. Benim kuralım 810H, 461G veya H, 1275E veya F ve IEC 62368-1:2023'e göre tasarlamak, sonuçları müşterinin atıf yaptığı yöntem numaralarına göre raporlamak ve eskiyi yeniye eşleyen tek sayfalık bir tablo teslim etmektir. 461C'nin CE03 iletim yoluyla yayılımı gibi, eski bir yöntemin yalnızca birkaç laboratuvarda yaşadığı yerde, bir oda ayırtmadan önce güncel eşdeğeri üzerinde anlaşın.

İlk e-postaya iki soru girmelidir, çünkü yanıtları maliyeti değiştirir: MIL-STD-1275'in hangi revizyonunun hangi geçme ölçütüyle geçerli olduğu ve "EMP koruması"nın ne anlama geldiği. Kablolara sönümlü sinüs dalgaları enjeksiyonu (CS116 ya da 461C'de CS10 ve CS11) yaklaşık bir oda günü sürer. Işınımsal darbe testi (RS105 ya da 461C'de RS05) ise farklı bir bütçedir ve 461H bunu yalnızca açık bir EMP gereksinimi taşıyan ekipmana uygular.

MIL-STD-1275: 24 V giriş blok şemayı belirler

1976'daki A'dan 2013'teki E'ye kadar MIL-STD-1275'in her revizyonu, tasarımı tanımlayan aynı iki zorlanmayı içerir: 0,5 Ω'luk bir kaynaktan 50 ms süren +100 V'a bir aşırı gerilim ve ±250 V'luk sıçramalar. Revizyonlar arasında değişen, muhasebedir: çalışma modları, sıçrama enerjisi (B ve D'de 15 mJ, E'de 2 J), motor çalıştırma düşüşünün tabanı (eski revizyonlarda 1 s boyunca 6 V'un altına inmemek, E'de 12 V, ardından marş sırasında 30 s'ye kadar 16 V'un altına inmemek) ve kararlı durum aralığı, E'de 20 ila 33 V. F revizyonu, onun için yapılmış test üreteçlerinin belgelerine bakılırsa, aşırı gerilimi çok daha sert bir kaynaktan yaklaşık 500 ms'ye uzatıyor ve sıçrama enerjisini 250 mJ'e düşürüyor.

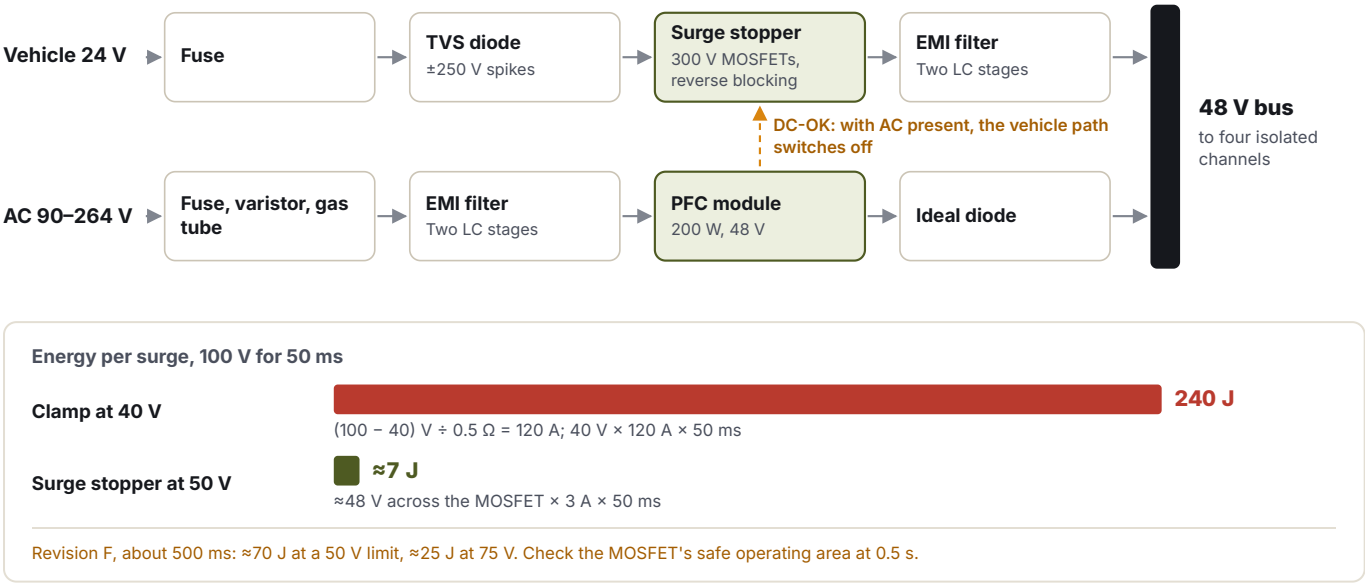
Şekil 3. 28 V araç barasında MIL-STD-1275E zarfı.



Kaynak: MIL-STD-1275E (2013); the revision F note is inferred from the documentation of F-rated test generators.

Akla ilk gelen çözümü dışarıda bırakan aşırı gerilimdir. Onu bir TVS diyot ya da varistörle 40 V'ta kırpın; kaynak, 50 ms boyunca kırpıcıya (100 − 40) / 0,5 = 120 A sürer, bu da tek bir parçaya 40 V × 120 A × 0,05 s = 240 J koyar. Makul boyutta hiçbir kırpıcı bunu tekrar tekrar kaldıramaz. Seri bir aşırı gerilim sınırlayıcı işi farklı yapar: besleme yolundaki bir MOSFET çıkışını ayarlanmış bir gerilimde sınırlar ve gerisini üzerinde düşürür; böylece yalnızca aşırı gerilim ile o gerilim arasındaki farkın yük akımıyla çarpımını harcar. 50 V'ta tutulan 150 W'lık bir yük için bu yaklaşık 48 V × 3 A, yani 50 ms boyunca kabaca 150 W eder: yaklaşık 7 J, kırpıcıdan otuz kat az.

Şekil 4. Bir kırpıcının 240 J soğurması gerekir; seri bir aşırı gerilim sınırlayıcı yaklaşık 7 J harcar.



Kaynak: The author's design; energies calculated for a 150 W load.

Giriş katının geri kalanı buradan çıkar:

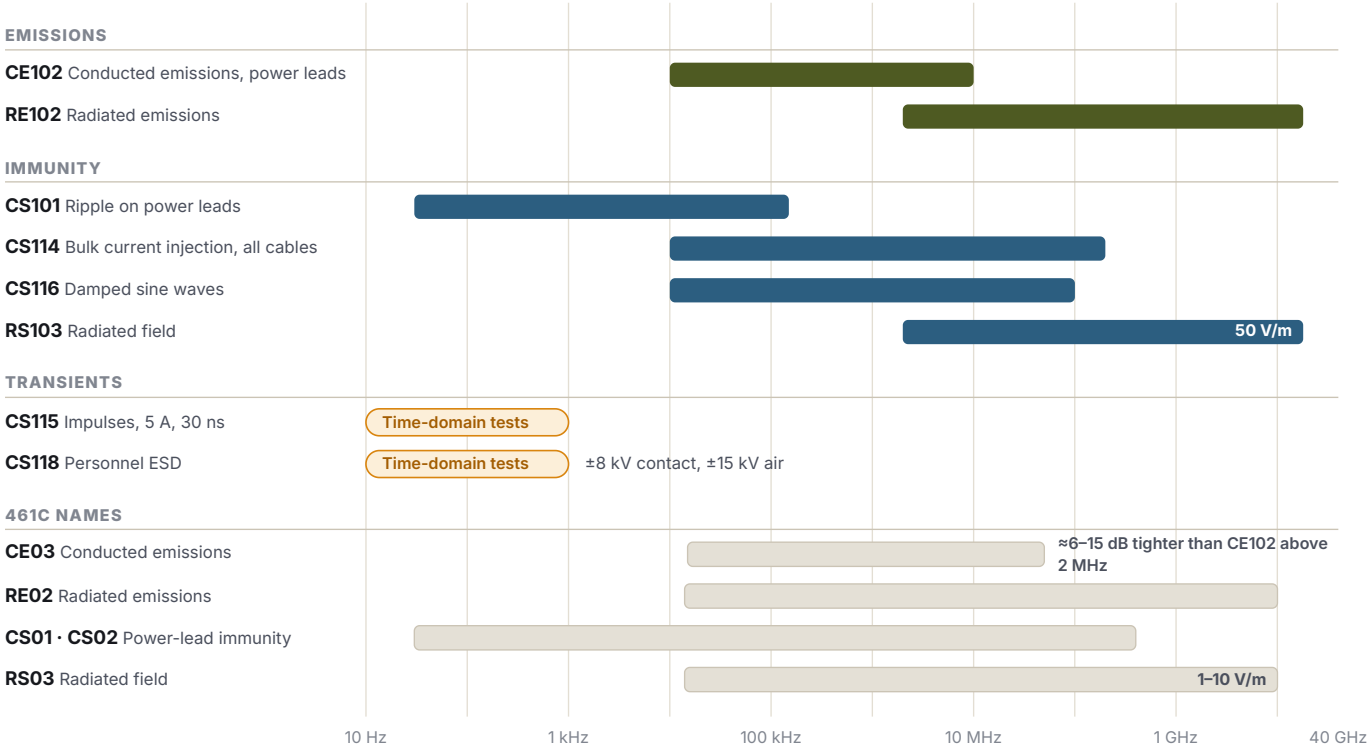
- **Aşırı gerilim yolunda 150 V veya üzeri parçalar.** 300 V'luk bir MOSFET kullanıyorum; bu, sıçramalara karşı pay sağlar.
- **F revizyonu rakamları değiştirir.** 500 ms'de aynı 50 V sınırı MOSFET'e yaklaşık 70 J koyardı. Sınırı, 18–75 V girişli DC-DC modüllerin sürekli kabul ettiği yaklaşık 75 V'a çıkarmak akımı 2 A'e, MOSFET üzerindeki gerilimi yaklaşık 24 V'a indirir; toplam yaklaşık 25 J. Her iki durumda da MOSFET'in 0,5 s'deki güvenli çalışma alanını kontrol edin.

- **Sıçramaları yine bir TVS yakalar.** 2 J'te (ya da F'de 250 mJ'de) bu, yapabileceği bir iştir.
- **Ters kutup, ideal diyot denetleyicisi altında sırt sırta MOSFET'lerle engellenir;** birkaç watt harcayacak seri bir diyotla değil.
- **Motor çalıştırmaları arıza değil, bir moddur.** Mümkünse 16 V'a kadar şarja devam edin. Bunun altında duraklayın, ekranı ve kayıtları canlı tutun ve kimse üniteye dokunmadan devam edin. Spesifikasyona verdiğiniz yanıtta bunu belirtin.
- **18–75 V girişli modüller işe yarar.** Tipik olarak 1 s boyunca 100 V'a dayanırlar; bu yüzden önlerinde tek kademe koruma yeterlidir.
- **Dalgalanma da önemlidir.** 1275D, 200 kHz'e kadar 7 V tepe dalgalanmaya izin verir; giriş filtresi bunu rezonansa girmeden karşılamalıdır.

MIL-STD-461: zor taraf yayılımdır

Kara Kuvvetleri kara ekipmanı için MIL-STD-461G sekiz test uygular: güç hatlarında CE102 iletim yoluyla yayılım (10 kHz ila 10 MHz), RE102 ışınımsal yayılım (kara ekipmanı için 2 MHz ila 18 GHz), güç hatlarında CS101 ses frekansı dalgalanması (30 Hz ila 150 kHz), her kabloda CS114 toplu akım enjeksiyonu (10 kHz ila 200 MHz), CS115 hızlı darbeler, CS116 sönümlü sinüs dalgaları (10 kHz ila 100 MHz), CS118 personel ESD'si (±8 kV temas, ±15 kV hava) ve RS103 ışınımsal bağışıklık, 2 MHz ila 18 GHz arasında 50 V/m. Nisan 2026 tarihli 461H revizyonu Kara Kuvvetleri kara ekipmanı sınırlarını korur ve prosedürleri sıkılaştırır.

Şekil 5. Kara Kuvvetleri kara ekipmanı için MIL-STD-461G testleri ve eski spesifikasyonların hâlâ adını andığı 461C testleri.



Kaynak: MIL-STD-461G (2015), Table V and test sections; MIL-STD-461C (1986), Part 4.

Bir pil şarj cihazı yayılım açısından zor bir durumdur. Birkaç anahtarlamalı dönüştürücü içerir: bir güç faktörü düzeltici, kanal başına yalıtılmış bir dönüştürücü ve kanal başına alçaltıcı-yükseltici bir şarj katı. Biraz farklı frekanslarda çalışan dört kanal vuru ürünleri üretir ve pil kabloları ile araç kabloları iyi anten olur. Bağışıklık genellikle daha kolay taraftır, ancak RS103'teki 50 V/m saygıyı hak eder. Daha eski bir spesifikasyon dengeyi daha da kaydırır: 461C'nin CE03 sınırı 2 MHz'in üzerinde, 28 V girişte CE102'den yaklaşık 6 dB, 230 V girişte yaklaşık 15 dB daha sıkıdır ve 10 yerine 50 MHz'e kadar uzanır; buna karşılık ışınımsal bağışıklık gereksinimi yalnızca 1 ila 10 V/m'dir.

İşe yarayanlar:

- **Her güç girişinde iki kademeli bir LC filtre,** filtrelenmiş ve filtrelenmemiş kablolama asla aynı bölmeyi paylaşmasın diye konnektör duvarına kurulur. Tahminime göre bir şarj cihazı, CE03'ü payla karşılamak için anahtarlama frekanslarında 40 ila 60 dB, 2 ila 50 MHz arasında 50 ila 70 dB zayıflatmaya ihtiyaç duyar.
- **Sızdırmaz elektronik bölmesi aynı zamanda ekrandır.** Her birleşimdeki iletken contalar ve kesintisiz bağlantı, kasayı ek maliyet olmadan bir Faraday kafesine çevirir.
- **Dönüştürücülerin frekanslarını planlayın.** Kanal dönüştürücülerini senkronlayın ya da spektrumlarını yayın ve verimin izin verdiği yerde anahtarlama kenarlarını yavaşlatın.
- **Pil kablolarına bobin koyun.** Her çıkıştaki bir ortak mod bobini pil kablolarının ışıma yapmasını önler.
- **Erken ölçün.** İlk prototipte iletim yoluyla yayılım ön taraması bir LISN ve bir spektrum analizörüyle bir gün sürer; bir sorunu resmî odada bulmak haftalara mal olur.

MIL-STD-810: ısı atan, nefes alan ve düşmelere dayanan sızdırmaz bir kutu

Bir şarj cihazı spesifikasyonunun tipik olarak adını andığı on ortam, 810E'nin 500.3, 501.3, 502.3, 505.3, 506.3, 507.3, 509.3, 510.3, 514.4 ve 516.4 yöntemlerine birebir karşılık gelir; bunlar 810H'de 500.6, 501.7, 502.7, 505.7, 506.6, 507.6, 509.7, 510.7, 514.8 ve 516.8 oldu. Varsayılan şiddetleri otuz yılda neredeyse hiç değişmedi. Hiçbiri tek başına zor değildir; birlikte sızdırmaz bir kutuyu tarif ederler ve sızdırmaz bir kutunun üç sorunu vardır: ısı, basınç ve darbe.

Yöntem (810E / 810H)	Varsayılan şiddet	Tasarım yanıtı
Düşük basınç (500.3 / 500.6)	4.570 m, 57 kPa	Sızdırmaz bir kutu duvarlarında yaklaşık 44 kPa görür; 340 × 240 mm'lik bir kapakta bu yaklaşık 3,6 kN'dir. Bir ePTFE havalandırma basıncı eşitler ve suyu dışarıda tutar.
Yüksek sıcaklık (501.3 / 501.7)	Sıcak-kuru döngü: 32 ila 49 °C ortam, araçlar ve muhafazalar içinde 33 ila 71 °C indüklenmiş	Kanatçıklı bir duvar üzerinden fansız doğal taşınım; her sıcak parça ona iletir; yazılım 50 °C üzerinde şarj gücünü düşürür.
Güneş ışınımı (505.3 / 505.7)	1.120 W/m², 24 saatlik döngüler	Daha açık bir renk güneş kazancını azaltır; testin yerine analizin geçip geçemeyeceği üzerinde anlaşın.
Düşük sıcaklık (502.3 / 502.7)	Yaklaşık −32 °C'ye kadar temel soğuk; daha soğuk kategoriler anlaşmayla	−40 °C'ye uygun parçalar ve ekran; piller 0 °C'nin altında şarj edilmez (aşağıya bakın).
Yağmur (506.3 / 506.6)	10 cm/saat, 18 m/s rüzgâr, yüz başına 30 dakika	IP67 elektronik bölmesi, kesintisiz kapak contası, pil yuvalarında tahliye valfleri.
Nem (507.3 / 507.6)	10 günlük döngüler	Sızdırmaz bölme ve koruyucu kaplama.
Tuz sisi (509.3 / 509.7)	35 °C'de %5 NaCl, 48 saat ıslak ve 48 saat kuru	Toz boya veya CARC altında dönüşüm kaplaması, paslanmaz bağlantı elemanları, temas hâlinde farklı metal yok.
Kum ve toz (510.3 / 510.7)	8,9 m/s'de 10,6 g/m³ toz; 18 ila 29 m/s'de 1,1 g/m³ kum	Sızdırmaz bölme; aşınmaya dayanıklı kaplama ve ekran camı.
Titreşim (514.4 / 514.8)	Tekerlekli veya paletli araç profili: hangisi olduğunu sorun	Ağır parçaları sabitleyin; kapaktaki köpük ped pilleri tutar; hareket hâlinde çalışmayı kanıtlamak için test sırasında gerçek pilleri şarj edin.
Şok ve taşıma düşmesi (516.4 / 516.8)	122 cm'den 26 düşme	Köşe tamponlarında yaklaşık 10 mm kontrollü deformasyon; gömme konnektörler; hiçbir şey konnektörün üzerine düşmez.

İnsanları yakalayan bileşim, sızdırmazlıkla birlikte ısıdır. Tam güneş altında +55 °C'de sızdırmaz bir kutu dış havayı kullanamaz; bu yüzden kaybın tamamı iletim ve doğal taşınımla çıkmak zorundadır. 120 W çıkışta, %79 ila 83 verimli bir şarj cihazı 25 ila 32 W kaybeder; kanatçıklı bir alüminyum duvar bunu atabilir, ama 50 °C'nin üzerinde derece

başına %2 ila 3 güç düşüren bir AC-DC modülün buna göre boyutlandırılması gerekir. Tam çıkışın +55 °C'de kullanılabilir olması gerekiyorsa, ya modül bir boy büyür ya da yazılım şarj akımını azaltır ve bunu bildirir.

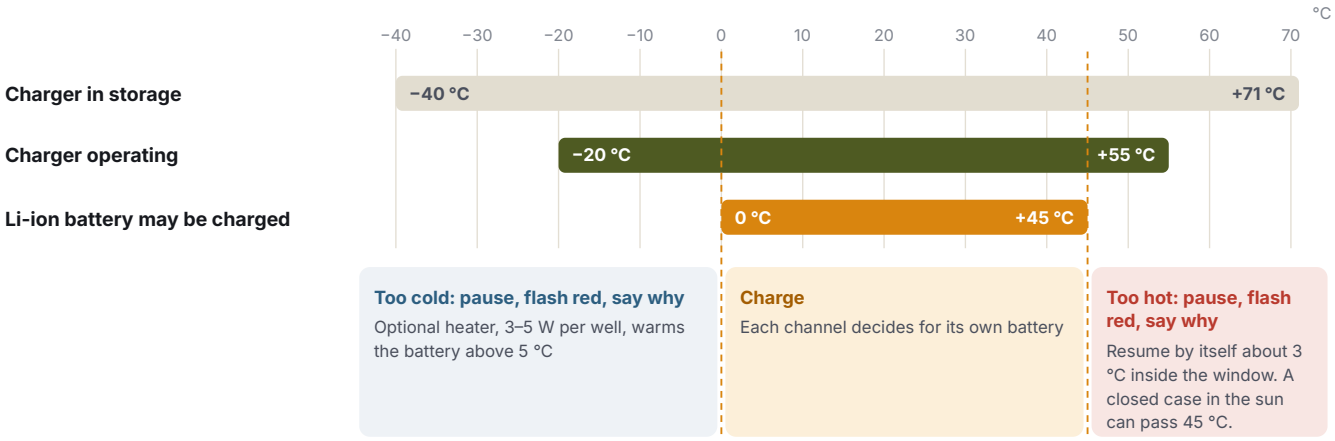
MTTF yüzünden fan yok

Gereken 40.000 saatlik MTTF, tüm şarj cihazı için milyon saatte 25 arızalık bir bütçedir. Bunu göstermenin olağan yolu, kondansatörlerin iyicil ortama göre yirmi kat ortam faktörü taşıdığı kara mobil ortamında MIL-HDBK-217F Notice 2'ye göre bir parça zorlanma tahminidir. Bir fan rulmanının karakteristik ömrü 60 °C'de yaklaşık 35.000, 70 °C'de 22.000 saattir; bu tahminde tek bir fan milyon saatte yaklaşık 43 arıza ekler, yani bütçenin tamamından fazla. Bu meseleyi kapatır: içeride fan yok, değer düşürülmüş parçalar ve kimse hesap yapmadan önce tahmin yöntemi, ortam ve sıcaklık müşteriyle kararlaştırılır. Rakamı testle göstermek pratik değildir: standart gösterim planları on binlerce arızasız ünite saati gerektirir.

Pilin kendi sıcaklık aralığı vardır

Bir Li-ion pil yalnızca üreticisinin izin verdiği sıcaklık aralığında, tipik olarak 0 ila 45 °C'de şarj edilebilir; oysa şarj cihazından genellikle −10 veya −20 °C'den +55 °C'ye kadar çalışması istenir. Soğuk bir hücreyi şarj etmek lityum kaplamasına yol açar ve hücreyi bozar; sıcak bir hücreyi şarj etmek ömrünü kısaltır. Bu yüzden şarj cihazının, paketin termistöründen ya da akıllı pil verisinden her pilin sıcaklığını bilmesi ve her kanal için ayrı karar vermesi gerekir.

Şekil 6. Şarj cihazının, pilin şarj edilebildiği aralıktan daha geniş bir aralıkta çalışması gerekir.



Kaynak: Typical Li-ion charging window from battery datasheets; charger ranges and behavior from the author's design.

Belirlediğim davranış şu: aralık dışında o kanal şarjı durdururken ekran, veri okuma ve yerleşik test çalışmaya devam eder; LED'i kırmızı yanıp söner ve ekran nedenini operatörün dilinde söyler; pil yaklaşık 3 °C histerezisle aralığa döndüğünde şarj kimse dokunmadan devam eder. Bir müşterinin −10 °C'de şarja ihtiyacı varsa, her yuvadaki 3 ila 5 W'lık bir ısıtıcı ped önce pili 5 °C'nin üzerine çıkarır. Ve güneşteki kapalı bir kasanın yuvaları 45 °C'yi aşabileceğinden, vaat edilen bir şarj süresi yalnızca ılımlı sıcaklıkta geçerlidir; bu da yazılı varsayımlara girmelidir.

Güvenlik, dokunma sıcaklığı, ESD ve insan faktörleri

Güvenlik. IEC 62368-1, 2020 sonunda IEC ve UL 60950-1'in yerini aldı ve 2023 baskısı pil şarj maddelerini revize etti. Açıklık tablosunun yayımlanmış yorumları birbirini tutmuyor (bir test raporunda 1,5 ve 3,0 mm, bir yarı iletken üreticisinin yorumunda 1,8 ve 3,6 mm); bu yüzden büyük değerlere göre tasarlıyorum: 2.000 m'ye kadar en az 1,8 mm temel ve 3,6 mm güçlendirilmiş, 5.000 m'de 1,48 ile çarpılmış. 100 W'tan fazla veren bir şarj cihazı PS3 devresidir ve yangın muhafazası gerektirir; metal bir kasa bu muhafazadır. Pil şarj ekini kapsayan bir CB test raporu, bunların hepsini göstermenin verimli yoludur.

Dokunma sıcaklığı. MIL-HDBK-454, 25 °C ortamda kontrollerde 49 °C'ye, elin ulaşabildiği diğer parçalarda 60 °C'ye ve başka yerlerde 70 °C'ye izin verir. +55 °C ortamda çıplak metal zaten 49 °C'yi aşar; bu yüzden saplar, düğmeler ve köşe tamponları polimer veya elastomerdir ve sıcak yüzeyler işaretlenir. Aynı kılavuz en fazla 3,5 mA kaçak akım,

en fazla 0,1 Ω bağlantı direnci ve 2 s içinde 30 V'un altına boşalan kondansatörler ister.

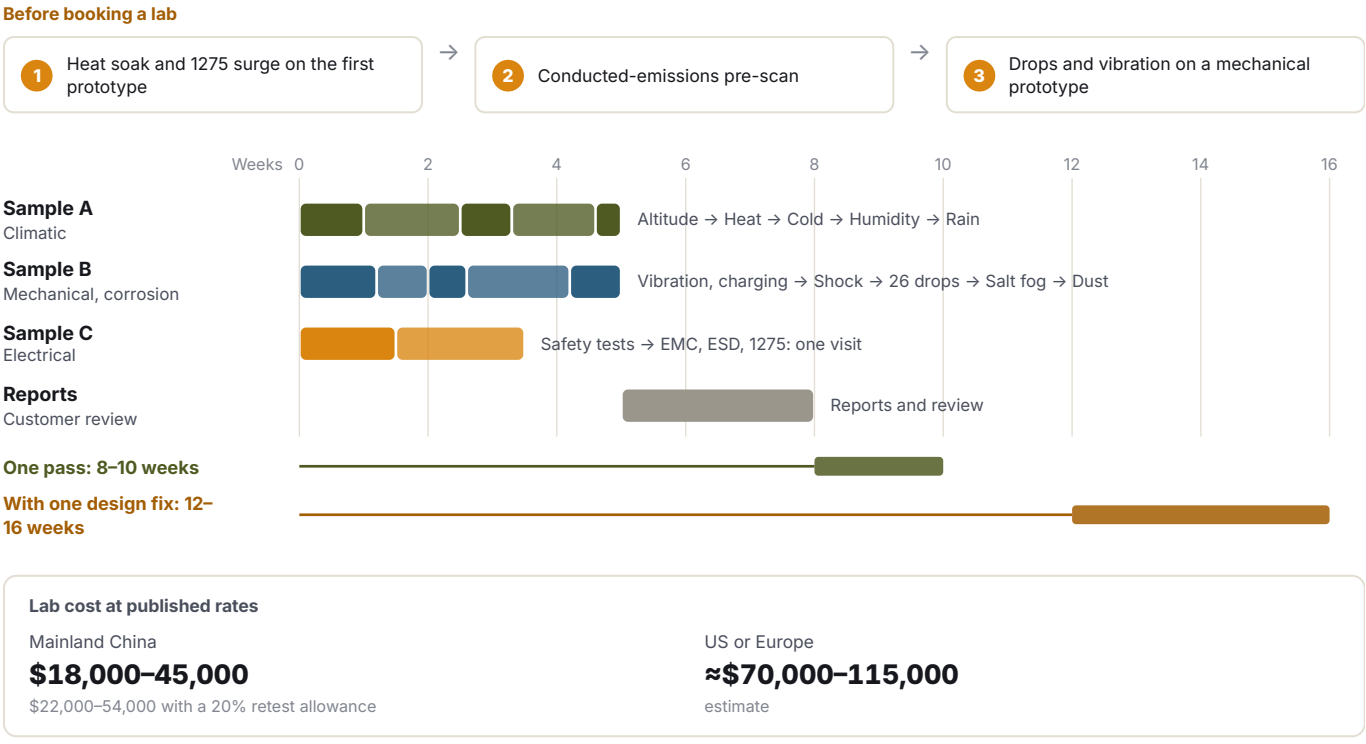
ESD. Olağan gereksinim, operatörün dokunabileceği her kontrolde ve her yüzeyin ortasında insan vücudu modeliyle 4 kV temas deşarjı ve enerjisiz arayüz pinlerinde 2 kV'tur. 461G'nin CS118'indeki 8 kV'ta da test etmek neredeyse sıfır maliyetle pay ekler. Fabrikanın ANSI/ESD S20.20 veya IEC 61340-5-1 kapsamında kendi ESD kontrol programı olmalıdır.

İnsan faktörleri. MIL-STD-1472, eldivenli el için tek el sapını 125 mm iç genişlik, 50 mm parmak boşluğu ve 100 mm derinlikle (çıplak elle 111, 48 ve 75 mm; kalın eldivenle 135, 75 ve 150 mm), düğme torkunu 15 ila 40° aralıklı kademelerle 115 ila 680 mN·m ve karakterleri 710 mm okuma mesafesinde 2,5 ila 5 mm yükseklikte boyutlandırır. Bunların hepsi laboratuvar maliyeti olmadan muayene ve eldivenle gösterimle doğrulanır.

Yeterlilik: üç numune, iki paralel zincir, bir EMC ziyareti

Yeterlilik için rahat sayı üç numune, asgari sayı ikidir. Numune A iklimsel zinciri izler: düşük basınç, yüksek sıcaklıkta depolama ve çalışma, düşük sıcaklık, test ediliyorsa güneş ışınımı, nem ve yağmur. Numune B mekanik ve korozyon zincirini izler: şarj sırasında titreşim, taşıma, işlevsel şok ve tezgâh üstü elleçleme, 26 düşme, tuz sisi ve toz. Numune C elektrik zincirini izler: güvenlik tip testleri, MIL-STD-461, ESD ve MIL-STD-1275. Paralel yürütüldüğünde ilk iki zincir dört ila beş hafta sürer; EMC ve güç geçici rejimleri bir buçuk ila iki hafta; raporlar ve müşteri incelemesi iki ila üç hafta ekler. Her şey geçerse bu 8 ila 10 hafta, bir tasarım düzeltmesiyle 12 ila 16 hafta eder.

Şekil 7. Üç numune için bir yeterlilik planı: her şey geçerse 8–10 hafta, bir tasarım düzeltmesiyle 12–16.



Kaynak: The author's plan; lab rates from a Jiangsu provincial institute (2025), Taiwan's standards bureau and two US labs.

Sıra, laboratuvardan daha önemlidir. Herhangi bir şey ayırtmadan önce ilk prototipte ısıl bekletmeyi ve 1275 aşırı gerilimini, ardından bir EMC ön taramasını, sonra mekanik bir prototipte düşmeleri ve titreşimi yapın. Ardından birkaç tasarruf neredeyse bedavaya gelir: tek bir oda rezervasyonunda sıcak ve soğuk çalışma; titreşim sırasında pilleri şarj etmek, bu da hareket hâlinde çalışmayı kanıtlar; güvenlik raporu için sıcaklık artışı verilerinin +55 °C bekletme sırasında toplanması; ESD ve 1275'in EMC ile aynı ziyarette yapılması; 810, 461 ve 1275'i kapsayan, müşterinin bir kez onayladığı ve ardından yalnızca EMC, düşme ve titreşime tanıklık ettiği tek bir test planı. Düşük basınç, güneş ışınımı ve ışınımsal bir EMP darbesi çoğu zaman test yerine analizle gösterilebilir.

Hiçbir laboratuvar askerî test fiyatı yayımlamadığından, maliyetlerin kamuya açık ücret tarifelerinden kurulması gerekir. Jiangsu'daki il düzeyinde bir test enstitüsü iklim odalarını saati 4,50 ila 37 dolardan, bir EMC odasını saati 119 ila 149 dolardan listeliyor; Tayvan'ın standartlar bürosu titreşimi yaklaşık 121 dolardan, bir düşme testini yaklaşık 73 dolardan, ESD'yi yaklaşık 364 dolardan ve eksiksiz bir EMC setini yaklaşık 2.610 dolardan listeliyor; ABD'de bir laboratuvar MIL-STD-461 testini 3.999 dolardan başlayan fiyatlarla ilan ediyor, bir diğeri mühendislik zamanını saati 157 ila 377 dolardan faturalandırıyor. Bu tarifelerden kurulduğunda eksiksiz bir set (461, 1275, ESD, on 810 yöntemi ve bir güvenlik raporu) anakara Çin'de kabaca 18.000 ila 45.000 dolar, bir tekrar testi için %20 payla 22.000 ila 54.000 dolar tutar; ABD veya Avrupa'da ise 70.000 ila 115.000 dolar olarak tahmin ediyorum. Tayvan'ın kamu laboratuvarları yayımlanmış tarifelerine göre anakaradakilerden pahalı değildir. Bir alıcının belirli bir laboratuvarın raporlarını kabul edip etmeyeceği ise en iyisi ilk rezervasyondan önce çözülecek ticari bir sorudur.

Bu kontrol listesine göre üretilmiş bir şarj cihazına mı ihtiyacınız var?

Bu kontrol listesi bir tanesini tasarlarken ortaya çıktı: AC ve 24 V araç girişli, iki ila sekiz yuvaya ölçeklenen bir platform olarak kurulmuş, sızdırmaz ve fansız dört yuvalı bir şarj cihazı. Nasıl kurulduğu, bir spesifikasyondaki boşlukların nasıl doldurulduğu ve bir spesifikasyondan 16 haftada mühendislik numunelerine nasıl ulaştığı 2026'da Özel Üretim Dayanıklı Çok Yuvalı Pil Şarj Cihazları yazısında, bu tür şarj cihazlarının maliyeti ise 2026'da Çok Yuvalı Askerî Pil Şarj Cihazı Fiyatları yazısında.

Dayanıklı bir şarj cihazına ihtiyaç duyan bir piliniz varsa, modelini veya teknik föyünü, yuva sayısını, giriş gücünü, gereken standartları ve adedi i@tanshuai.com adresine gönderin. Tasarımı belirleyen sorularla yanıt veririm.

Kaynaklar

1. MIL-STD-1275E, Characteristics of 28 Volt DC Input Power to Utilization Equipment in Military Vehicles (2013). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1275E_45886/
2. MIL-STD-1275B (1997). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL_STD_1275B_777/
3. Transient Specialists, PG-1275F transient generator user manual (revision F waveforms). https://transientspecialists.com/cdn/shop/files/Users_manual_PG-1275F_rev2.pdf
4. Texas Instruments, TIDUDG1, MIL-STD-1275 protection reference design guide. https://ti.com/lit/pdf/tidudg1
5. MIL-STD-461G, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics (2015). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
6. MIL-STD-461C (1986). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461C_19034/
7. In Compliance Magazine, MIL-STD-461H: a review. https://incompliancemag.com/mil-std-461h-a-review/
8. MIL-STD-810E, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines (1989), and 810H (2019) method equivalents. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810E_13775/
9. MIL-STD-1472F, Human Engineering. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1400-1499/MIL-STD-1472F_208/
10. MIL-STD-1686C, Electrostatic Discharge Control Program. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1600-1699/MIL-STD-1686C_5522/
11. MIL-HDBK-217F Notice 2, Reliability Prediction of Electronic Equipment. https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0200-0299/MIL-HDBK-217F_NOTICE-2_14590/
12. MIL-HDBK-454, General Guidelines for Electronic Equipment (listing). https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0300-0499/
13. Texas Instruments, SLUP419, insulation requirements of IEC 62368-1. https://www.ti.com/lit/pdf/slup419
14. Genorma, EN 50091-1-1:1996 status. https://genorma.com/en/standards/en-50091-1-1-1996
15. Battery University, BU-410: Charging at high and low temperatures. https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures
16. Jiangsu Administration for Market Regulation, product testing fee schedule (June 2025). https://scjgj.jiangsu.gov.cn/attach/0/7298087b18cf41529a3e43ac75aab677.pdf
17. Bureau of Standards, Metrology and Inspection (Taiwan), test fee table. https://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Attachment/f1784081743483.pdf
18. Sunfire Testing, MIL-STD-461 testing. https://www.sunfiretesting.com/military_device_mil-std-461/
19. Hi-Test Laboratories, 2023 rates. https://hitestlabs.com/s/2023-Rates_Update.pdf

Yazar hakkında

Tan Shuai, çipler, donanım ve sistem yazılımı alanında yirmi yılı aşkın deneyime ve 20 tescilli patente sahip bir teknoloji uzmanı ve kurucudur. Çalışmaları onu Silikon Vadisi, New York, Chicago, Tayvan, Büyük Körfez Bölgesi (Shenzhen ve Hong Kong), Vietnam ve Malezya'dan geçirdi; ileri üretim ve tedarik zincirlerine uzun bir odakla. Bugün bir yapay zekâ araştırmacısı ve geliştiricisi olarak çalışıyor ve Shenzhen'deki üretim ortaklarıyla özel dayanıklı elektronik üretiyor.

Dayanıklı şarj cihazı projeleri ve teknik görüşme: i@tanshuai.com.