Das vollständige Cybenetics-Prüfprotokoll, einschließlich Energieeffizienz, Geräuschentwicklung und Berechnung der Gesamtbewertung von AC-DC-Netzteilen

Revision 4.7

Autoren: Aristeidis Bitziopoulos

Cybenetics

Nikosia, Zypern

September 2026

Revisionshistorie

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
1.0	Februar 2020	Erster Entwurf
1.1	März 2020	Aktualisierung des Algorithmus für die Gesamtbewertung
1.2	Juni 2020	Aktualisierung des Ablaufs der Geräuschmessungen
1.3	Juli 2020	Berechnung des Fremdgeräuschs ergänzt
1.4	August 2020	Ausrüstung für Ableitstrom ergänzt und EMI-Ausrüstung aktualisiert
1.5	Januar 2021	Änderungen an einigen Definitionen
1.6	Mai 2021	Änderungen bei der Berechnung der Lastregelung und weitere kleinere Korrekturen
1.7	September 2021	Geringfügige Änderungen
1.8	September 2021	Fehler in der Beschreibung von Eq10 behoben, Beschreibung des Zeitverhaltens des Netzteils aktualisiert, Änderung in Eq12
1.9	November 2021	Berechnung von Wirkungsgrad und PF für redundante Netzteile ergänzt sowie weitere Änderungen zur Einführung von ATX12VO-Netzteilen
2.0	Mai 2022	Neue Sprungantwortprüfungen für Netzteile nach ATX v3.0 ergänzt
2.1	Juni 2022	Tippfehler in Eq 8 behoben
2.2	Januar 2023	Änderungen am Algorithmus zur Leistungsberechnung und an den Beispielen vorgenommen
2.3	Februar 2023	Änderungen am Algorithmus zur Leistungsberechnung (Bonus für Sprungantwort nach ATX v3.0)
2.4	Februar 2023	Einige Tippfehler in den Beispielen zur Leistungsberechnung behoben
2.5	März 2023	Aktualisierungen des Prüfablaufs nach ATX v3.0
2.6	Mai 2023	Prüflast für 5VSB CL auf 3 W geändert
2.7	Januar 2024	Änderung beim OCP-Bonus
2.8	Juni 2024	Geringfügige Änderungen
2.9	September 2024	Bonuspunkte für Lüfterausfallschutz und Verweis auf ATX v3.1 ergänzt. Klarstellungen zur Überbrückungszeit.
3.0	September 2024	Screenshot zum Fremdgeräusch ergänzt. Weitere geringfügige Änderungen.
3.1	April 2025	Prüfungen zur Bewertung der Schutzfunktionen am AC-Eingang ergänzt.
3.2	Juni 2025	Anforderungen an den Aderquerschnitt von Netzteilkabeln ergänzt
3.3	August 2025	Kabeltypen für Netzteile ergänzt
3.4	August 2025	EMV-Vorabprüfung und Unsicherheitsberechnungen ergänzt
3.5	Januar 2026	Vereinheitlichung der Gleichungsverweise, Klarstellung der EMI-/EMV-Terminologie, Konsistenz der Abbildungs- und Tabellenunterschriften
3.6	Februar 2026	Erläuterungen zu den Geräuschmessungen sowie Validierung der Faganas-Software ergänzt. Korrekturen bei den Messunsicherheiten. Aktualisierungen der verwendeten Ausrüstung. Methodik zur Prüfung von Leistungsspitzen ergänzt.
3.7	Juni 2026	Methodik des Burst Activity Index (BAI) ergänzt.

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
3.8	Juni 2026	Unterabschnitt zur Methodik der Sprungantwortmessung (AC-gekoppelte Erfassung des Einbruchs und Rekonstruktion Vmin = Vbefore − Drop_V) im Abschnitt zu den Leistungsspitzen ergänzt
3.9	August 2026	Messunsicherheiten an die aktuell gelenkten Budgets (P19) angepasst.
4.0	August 2026	Dokumentenlenkung: Das Datum auf dem Deckblatt entspricht nun der ausgewiesenen Revision. Prüfbedingungen präzisiert - die Umgebungstemperatur von 30 °C (±2 °C) ist der Startwert, und die Hotbox erreicht am Ende der Prüfung 32-34 °C, wie im Abschnitt zum Messverfahren für den Wirkungsgrad bereits angegeben.
4.1	August 2026	Zeitangaben präzisiert: Die über 1450 Lastkombinationen sind die CL-Messungen bei 28-32 °C mit etwa fünf Sekunden je Laststufe, während die Verweildauer von vier bis zehn Minuten zu den normalen Lasttests bei hohen Umgebungstemperaturen gehört, die nur zu Referenzzwecken angegeben werden. Schutzfunktions-Bonus korrigiert: Der OCP-Bonus wird je Schiene vergeben, sodass die vollständige Erfüllung 2.25 statt 1.75 Punkte wert ist. Keine Änderung von Messwerten, Prüfungen oder veröffentlichten Bewertungen.
4.2	August 2026	Schutzfunktionen: Es wurde festgehalten, dass die Ergebnisse der Schutzfunktionen bewertet werden und keine Sicherheitsbeurteilung darstellen und dass das Cybenetics-SAFE-Programm eine gesonderte und unabhängige Zertifizierung ist, die durch ETA, LAMBDA oder die Gesamtleistungsbewertung weder abgedeckt noch impliziert noch ersetzt wird. Referenz [16] ergänzt. Keine Änderung von Messwerten, Prüfungen oder veröffentlichten Bewertungen.
4.3	August 2026	Referenz [16] undatiert. Sie nannte den Cybenetics SAFE Standard als Revision 1.6, was durch dessen eigene Revisionen noch am selben Tag überholt war. Da jenes Dokument seinerseits auf dieses verweist, können datierte Verweise auf beiden Seiten nicht konvergieren - das jeweils später veröffentlichte macht das andere falsch. [16] nennt den SAFE Standard nun ohne Revision, womit stets die aktuelle gemeint ist. Keine Änderung von Messwerten, Prüfungen oder veröffentlichten Bewertungen.

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
4.4	September 2026	Umgebungstemperatur bei der Zertifizierungsprüfung präzise angegeben. Die bisherige Formulierung beschrieb die Hotbox als bei 30 °C (±2 °C) beginnend und am Ende der Prüfung 32-34 °C erreichend und stellte damit eine Ausnahme als Regel dar. Die geregelte Bedingung, unter der die Zertifizierungsergebnisse ermittelt werden, ist 30 °C (±2 °C); bei Netzteilen hoher Leistung, deren Verlustleistung die Kühlleistung der Kammer übersteigen kann, kann die Umgebungstemperatur gegen Ende der Prüfung auf 32-34 °C ansteigen. Beides ist nun angegeben. Keine Änderung von Messwerten, Prüfungen oder veröffentlichten Bewertungen; die Prüfungen bei 35-45 °C sowie die Bedingung 23-28 °C für Lastspitzen bleiben unberührt.
4.5	September 2026	Messunsicherheiten auf die aktuellen kontrollierten Budgets (P19) aktualisiert. Die Messunsicherheit der Wirkungsgradmessung beträgt nun ±0.43%, neu abgeleitet aus einer Reproduzierbarkeitsbasis von 48 Läufen über vier Prüfplätze und drei Messreihen mit vollständigem Ab- und Wiederaufbau zwischen den Läufen. Der Typ-A-Beitrag ist die Reproduzierbarkeits-Standardabweichung selbst, da ein berichtetes Ergebnis eine Einzelmessung ist. Geräusch und leitungsgebundene EMI bleiben unverändert.
4.6	September 2026	Zwei Übertreibungen zu anderen Methodiken wurden korrigiert. Das Protokoll beschrieb bestehende Normen so, als würden sie „drei bis vier“ Messungen vorsehen; die derzeit veröffentlichte 80 PLUS-Methode führt für ein Desktop-Netzteil sieben Lastbedingungen auf, davon sechs unter Last, weshalb die Anzahl nun als eine Handvoll fester Laststufen beschrieben wird. Außerdem wurde behauptet, dass ein breiter Lastdurchlauf es einem Hersteller „unmöglich“ mache, auf bestimmte Laststufen abzustimmen; ein Lastdurchlauf dieses Umfangs erschwert eine selektive Abstimmung erheblich, macht sie aber nicht unmöglich. Kein Messwert, keine Prüfung und keine veröffentlichte Bewertung ändert sich. In der deutschen und der chinesischen Ausgabe wurden vier weitere Absätze neu übersetzt, da sie zuvor außerhalb des Übersetzungsspeichers übersetzt worden waren; ihre Bedeutung bleibt unverändert.

Version	Veröffentlichungsdatum	Anmerkungen
4.7	September 2026	Dokumentlayout korrigiert: Das Deckblatt ist dem Titelblock und dem Logo vorbehalten, die Revisionshistorie beginnt auf Seite 2, doppelte oder unübersetzte Inhaltsverzeichnisüberschriften wurden entfernt und Tabellenumbrüche verbessert. Keine Änderung von Messwerten, Prüfungen oder veröffentlichten Bewertungen.

Inhaltsverzeichnis

Definitionen 9
AC-Signal 9
Umgebungstemperatur 9
Scheinleistung 9
AWG 9
Dc-Signal 9
Wirkungsgrad 9
PSU 9
IEEE Std 1515-2000 9
ATX-Spezifikation 10
Restwelligkeit der Ausgangsspannung 10
Echter Leistungsfaktor 10
Scheitelfaktor 10
Schiene oder DC-Bus 10
Nenn-AC-Eingangsspannungsbereich 10
Nenn-DC-Ausgangsspannung(en) 10
Nenn-DC-Ausgangsleistung und -strom 10
RMS (Root Mean Square) 11
Stationärer Zustand 11
Gesamtklirrfaktor (THD) 11
UUT 11
Prolog 12
Prüfaufbau und Messbedingungen 12
Anforderungen an die Prüfausrüstung 12
Prüfausrüstung 14
Messsoftware – Faganas ATE 15
Funktionen der Faganas-Software 16
Eingangsspannung und maximale Watt-Ausgangsleistung 17
Prüfbedingungen 17
Ablauf der Wirkungsgradmessungen 17
Methodik des Burst Activity Index (BAI) 21
Zweck und Anwendungsbereich 21

BAI-Definitionen 21
Messbedingungen 21
Gleichungen 21
Interpretation 21
Beziehung zu anderen Kenngrößen 22
Korrelation mit Spulenfiepen 22
Ablauf der Geräuschmessungen 22
Berechnung des Fremdgeräuschs 24
Prüfaufbau für die Geräuschmessungen 26
ISO 7779 / ECMA-74: Zuhörer-Mikrofon in 1 m Abstand, 1.5 m Höhe 27
Schalleinfallswinkel des Mikrofons (30°) in der Norm 28
ISO 11201:2012 – Das Freifeld-Schalldruckverfahren stützt diesen Aufbau 28
Fazit – Anerkannte Normen und Alternativen 29
EMI-Störaussendungen – Erläuterung und Ausrüstung 29
EMI-Störaussendungen – Eignungsprüfung und Cybenetics-Zertifikat 31
EMI-Störaussendungen – Grenzwerte nach CISPR 32 / EN55032 32
EMI-Störaussendungen – EMI-Ergebnisse (Beispiele für Bestehen/Nichtbestehen) 33
Leistungsspitzen (Spezifikationen ATX v3.x und PCIe 5.x) 34
Zweck und Anwendungsbereich 34
Referenzen 34
Definitionen 35
Ausrüstung (Mindestanforderungen) 35
Prüfbedingungen 35
Lastverteilung 36
Erforderliche Spitzenprofile 36
Schritt-für-Schritt-Ablauf 36
Methodik der Sprungantwortmessung 37
Grundgedanke: den Einbruch messen, nicht das gesamte Signal 38
Die Basis: die Anfangsspannung (Tc) 38
Zusammenführung 38
Warum dies genauer ist als eine reine Absolutmessung mit dem Oszilloskop 39
Kriterien für Bestehen/Nichtbestehen 39
Aufzuzeichnende Daten (Mindestangaben im Bericht) 39

Anforderungen an die Netzteilverkabelung 40
Berechnung der Gesamtbewertung 41
Lastregelung 42
Restwelligkeitsunterdrückung 42
Sprungantwort 42
Spannungsüberschwinger beim Einschalten 44
Durchschnittlicher Wirkungsgrad 44
Wirkungsgrad bei 2% der maximalen Nennleistung oder bei 10W (für Netzteile <500W) 44
Durchschnittlicher 5VSB-Wirkungsgrad 44
Standby-Leistungsaufnahme 45
Durchschnittlicher PF 45
Überbrückungszeit 45
Power-ok-Signal 45
Nennleistung 46
Zeitverhalten des Netzteils 46
Schutzfunktionen des Netzteils 47
Berechnung der Gesamtleistungsbewertung 49
Beispiele für die Berechnung der Gesamtleistungsbewertung 49
Beispiel für einen Prüfbericht 51
Abschätzungen der Messunsicherheit – Wirkungsgrad/Geräusch/EMI 52
Epilog 55
Referenzen 56

Definitionen

AC-Signal

Ein zeitveränderliches Signal, dessen Polarität sich mit einer Periodendauer T ändert und dessen Mittelwert null ist. [1]

Umgebungstemperatur

Die Temperatur der Umgebungsluft unmittelbar um den Prüfling (UUT). [1]

Scheinleistung

Das Produkt aus Effektivspannung und Effektivstrom (VA). Sie wird auch als Gesamtleistung bezeichnet.

AWG

AWG (American Wire Gauge) ist ein in den Vereinigten Staaten standardisiertes System zur Angabe des Durchmessers elektrisch leitender Drähte. Die Gauge-Nummer gibt die Drahtstärke umgekehrt an: Je höher die AWG-Nummer, desto dünner der Draht. Es wird üblicherweise für elektrische Verkabelungen in Wohngebäuden, in der Elektronik und in industriellen Anwendungen verwendet.

Dc-Signal

Ein Signal, dessen Polarität und Amplitude sich zeitlich nicht ändern. [1]

Wirkungsgrad

Er ist definiert als das Verhältnis der gesamten DC-Ausgangsleistung (Summe aus V×I über alle aktiven Ausgangsschienen) zur gemessenen AC-Eingangswirkleistung an den Eingangsklemmen des Netzteils, ausgedrückt in Prozent. Die Messungen werden unter definierten stationären Betriebsbedingungen mit kalibrierten, auf SI-Einheiten rückführbaren Messmitteln durchgeführt. Die erweiterte Messunsicherheit wird nach JCGM 100:2008 berechnet und bei k=2 (≈95% Vertrauensniveau) angegeben.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \; x \; 100$$

Die Eingangsleistung (Pin) schließt die Leistung ein, die die Lüfter des Prüflings benötigen.

PSU

Power Supply Unit (Netzteil), das je nach Bauart eine Spannung in eine oder mehrere DC-Ausgangsspannungen umwandelt. Netzteile mit mehreren DC-Ausgangsspannungen (Schienen) werden beispielsweise überwiegend in Desktop-PCs eingesetzt.

IEEE Std 1515-2000

Der IEEE Std 1515 [1] ist eine grundlegende Spezifikationssprache, die Parameterdefinitionen, Prüfbedingungen und Prüfverfahren bereitstellt. Er versucht nicht, die Spezifikation selbst zu

normieren. Vielmehr schafft er die Grundlage dafür, dass alle Beteiligten unter gleichen Voraussetzungen dieselbe Sprache sprechen. Diese Norm wurde am 2019-11-07 zurückgezogen [https://standards.ieee.org/standard/1515-2000.html], wir haben uns jedoch entschieden, mehrere ihrer Definitionen zu verwenden, da sie nach wie vor zutreffen.

ATX-Spezifikation

ATX (Advanced Technology eXtended) ist eine Konfigurationsspezifikation für Mainboards und Netzteile, die 1995 von Intel entwickelt wurde, um frühere De-facto-Standards wie das AT-Design zu verbessern. [6]

Restwelligkeit der Ausgangsspannung

Die maximale Wechselspannung, die einer Gleichspannung oder einer niederfrequenten Wechselspannung überlagert ist, angegeben als Spitze-Spitze-Spannung. Ziel ist es, den Restanteil zu charakterisieren, der mit dem Schaltvorgang bei der Ausgangsschaltfrequenz (oder der doppelten Ausgangsschaltfrequenz) verbunden ist.

Echter Leistungsfaktor

Der echte Leistungsfaktor ist das Verhältnis der Wirkleistung (P) in Watt zur Scheinleistung (S) in Voltampere

$$PF = \frac{P}{S}$$

Scheitelfaktor

Der Scheitelfaktor ist das Verhältnis von Spitzenstrom zu Effektivstrom (bzw. von Spitzenspannung zu Effektivspannung). Beispielsweise beträgt der Scheitelfaktor bei einer rein sinusförmigen Kurvenform 1.414, während er bei einer rein konstanten DC-Last 1.0 beträgt.

Schiene oder DC-Bus

Jeder der DC-Ausgänge des Netzteils, der das angeschlossene System mit Leistung versorgt. Die Standardschienen bei Multi-Rail-Netzteilen sind +12V, +5V, +3.3V, +5VSB, wobei -12V nach den neuesten ATX-Spezifikationen optional ist.

Nenn-AC-Eingangsspannungsbereich

Der Eingangsspannungsbereich (minimal/maximal) wird vom Hersteller des Prüflings angegeben. Er ist auf dem Leistungsetikett des Prüflings aufgeführt.

Nenn-DC-Ausgangsspannung(en)

Beschreibung

Nenn-DC-Ausgangsleistung und -strom

Die Nenn-DC-Ausgangsleistung und der Nennstrom sind die maximale Last, die ein Netzteil bei einer festgelegten Umgebungstemperatur auf seinen Schienen bereitstellen kann. Der Hersteller gibt die DC-Ausgangsleistung und den Ausgangsstrom für jede Schiene des Netzteils an; sie sind

auf dem Leistungsetikett und der Verpackung angegeben. Bei Abweichungen ziehen wir daher stets das Leistungsetikett auf dem Netzteil heran.

RMS (Root Mean Square)

Die Quadratwurzel aus dem Mittelwert des Quadrats der Funktionswerte über die gesamte Periode. Beispielsweise lässt sich der Effektivwert der Spannung einer Sinuswelle wie folgt berechnen:

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)dt}$$

Dabei ist T die Periodendauer der Kurvenform,

V(t) ist die Momentanspannung zum Zeitpunkt t

VRMS ist der Effektivwert der Spannung.[1]

Stationärer Zustand

Der Betriebszustand eines Systems, in dem die beobachtete Größe entsprechend der Definition der Systemübertragungsfunktion als Reaktion auf eine Eingangsgröße oder einen anderen Reiz einen Gleichgewichtszustand erreicht hat. Bei einem Netzteil kann dies bedeuten, dass der Systemausgang einen konstanten Spannungs- oder Stromwert aufweist. [1]

Gesamtklirrfaktor (THD)

Der Gesamtklirrfaktor (THD oder THDi) [7] ist ein Maß für die in einem Signal vorhandene harmonische Verzerrung und ist definiert als das Verhältnis der Summe der Leistungen aller Oberschwingungsanteile zur Leistung der Grundschwingung.

UUT

UUT ist die Abkürzung für "Unit Under Test" und bezeichnet das geprüfte Netzteilmuster.

Prolog

Der Zweck dieses Artikels besteht darin, unsere Methoden und Prüfabläufe klar darzulegen, und zwar nicht nur für die Ergebnisse zu Wirkungsgrad und Geräuschentwicklung, sondern für alle wesentlichen Leistungsaspekte eines Netzteils, einschließlich Restwelligkeitsunterdrückung, Sprungantwort, Überbrückungszeit, Einschaltstrom usw.

Dieser Artikel wird eine hervorragende Informationsquelle für alle Marken und Hersteller sein, die die Übereinstimmung ihrer Produkte mit unseren Wirkungsgrad- und Geräuschstandards (ETA und LAMBDA) überprüfen möchten. Darüber hinaus ermöglicht er jedem Labor mit der geeigneten Ausrüstung, unsere Ergebnisse zu verifizieren, wie es die ISO17025:2017 [8] vorschreibt. Genauer gesagt: Zwei Labore mit kalibrierter Ausrüstung, die über dieselben Fähigkeiten verfügen und vergleichbare Genauigkeitsniveaus bei den Ergebnissen bieten können, sollten zu identischen Ergebnissen gelangen, sofern sie derselben Methodik folgen. Cybenetics ist eine Zertifizierungsstelle. Sie akzeptiert alle Ergebnisse von nach ISO17025 zertifizierten Laboren, die der bereitgestellten Methodik zur Gewinnung der erforderlichen Daten folgen, aus denen sich die ETA- und LAMBDA-Zertifizierungen ableiten. Zuvor müssen diese Labore jedoch von Cybenetics bewertet werden.

Bislang haben die bestehenden Effizienzstandards zahlreiche Mängel aufgewiesen, zu denen unter anderem die begrenzte Anzahl von Messungen (typischerweise eine Handvoll fester Lastpunkte), die sehr niedrige Umgebungstemperatur, bei der die Prüfungen durchgeführt werden, das Fehlen jeglicher Messungen an der Standby-Schiene und die fehlende Angabe der für die Messungen verwendeten Geräte zählen. Insbesondere Letzteres ist von immenser Bedeutung, da jeder ordnungsgemäße Prüfbericht die für die Durchführung aller Messungen verwendeten Geräte aufführen sollte.

Manche mögen einwenden, dass die Prüfung von nur einem oder zwei Mustern je Modell nicht ausreichend sei, insbesondere angesichts möglicher Änderungen während der Serienfertigung. Für Marken, die am CybenPass-Programm teilnehmen, wird diesem Einwand jedoch wirksam begegnet.

CybenPass ermöglicht eine Bewertung mehrerer Muster zu geringeren Kosten und erlaubt es Cybenetics, mehrere Einheiten aus unterschiedlichen Produktionsphasen zu prüfen – von frühen Engineering-Mustern bis hin zu den endgültigen Verkaufsversionen. Dies gewährleistet eine weitaus repräsentativere Beurteilung jedes Modells.

Parallel dazu verfolgt Cybenetics aktiv das Feedback der Anwender aus der Praxis. Wird eine Abweichung zwischen Verkaufsexemplaren und den ursprünglich geprüften Mustern gemeldet, werden unverzüglich Maßnahmen ergriffen, einschließlich der Anforderung einer erneuten Einreichung des betreffenden Modells zur Neubewertung.

Zudem gehört zu den wichtigsten jüngeren Verbesserungen die detaillierte Bauteilanalyse, die in allen Berichten enthalten ist. Dieses Maß an Transparenz erlaubt es, jede Änderung auf Bauteilebene – sei es an der Plattform, den Kondensatoren, den Controllern oder der Kühlung – rasch zu erkennen. Dadurch können selbst geringfügige Produktionsänderungen im Lauf der Zeit nicht unbemerkt bleiben.

Prüfaufbau und Messbedingungen

Anforderungen an die Prüfausrüstung

Die erforderliche Ausrüstung ist kalibriert; ihre Mindestanforderungen sind die folgenden:

1) AC-Quelle (programmierbar)

- **Spannung / Frequenz: 90–264 Vac (oder weiter), 45–65 Hz (oder weiter), Sinusausgang, geringe Verzerrung (THD-Grenzwert angeben)**
- **Leistungsfähigkeit: ≥ 4 kVA dauerhaft (deckt Hochleistungsnetzteile + Reserve ab)**
- **Regelung: ≤ ±0.5% (V) Netz-/Lastregelung (oder besser)**
- **Messung/Überwachung: Rücklesung von Ausgangs-V/I/P mit dokumentierter Genauigkeit**

2) Elektronische DC-Lasten (mehrkanalig)

- **Betriebsartenumfang: CC (verbindlich), zusätzlich CR/CP und dynamisch/gepulst (empfohlen für ATX-Lastwechsel)**
- **Genauigkeit (je Kanal):**
  - Stromeinstellung/-messung: ≤ ±0.2% rdg (oder besser)
  - Spannungsmessung: ≤ ±0.1% rdg (oder besser)
- **Auflösung: Stromauflösung fein genug für Punkte mit geringer Last (z. B. Klasse 0.01 A bei Schienen mit geringem Strom)**
- **Dynamisches Verhalten: programmierbare Lastsprünge mit dokumentierter Anstiegs-/Abfallzeit bzw. Flankensteilheit, die für das jeweilige Sprungantwortverfahren ausreicht**

3) Leistungsanalysator (Wirkungsgrad + Netzqualität)

- **Leistungs-/Energiegenauigkeit: ≤ ±0.1% vom Messwert (bevorzugt) über den für die Wirkungsgradpunkte genutzten Betriebsbereich**
- **Abtastung / Bandbreite: ausreichend, um moderne Netzteil-Kurvenformen (PFC, Oberschwingungen) zu erfassen; minimale Messbandbreite angeben**
- **Funktionen: Wirkleistung (W), VA, VAR, PF, Vrms/Arms, Oberschwingungen/THD (soweit für das Verfahren zutreffend)**

4) Oszilloskop / Signalerfassung (Restwelligkeit, Lastwechsel, Überbrückungszeit, Zeitverhalten)

- **Analoge Bandbreite: ≥ 100 MHz (typisches Minimum, um Restwelligkeit/Lastwechsel eines Netzteils sichtbar zu machen; gemäß dem jeweiligen Verfahren festzulegen)**
- **Abtastrate: ≥ 1 GS/s (oder begründet niedriger mit dokumentierter Bandbreiten-/Aliasing-Kontrolle)**
- **Vertikale Auflösung: ≥ 8-bit (höher bevorzugt) + rauscharmes Eingangsteil**
- **Tastköpfe: differenzielle / rauscharme Abgriffe, geeignet für Restwelligkeit im mV-Bereich; Tastkopfbandbreite und CMRR angeben**
- **Zeitbasisgenauigkeit: spezifiziert und verifiziert**

5) Akustikkette (Lambda- / Geräuschprüfung)

- **Schallpegelmesser / -analysator: IEC 61672-1 Klasse 1 (oder gleichwertig) mit LAeq-/Aufzeichnungsfunktion**
- **Mikrofon: Klasse-1-kompatibel, mit dokumentiertem Eigenrauschen, das für den jeweiligen Grundgeräuschpegel ausreichend niedrig ist, samt Kalibrierdaten**
- **Akustischer Kalibrator: IEC 60942 Klasse 1 (empfohlen) für Prüfungen vor und nach der Messung**

6) Temperaturmessung (Netzteil + Umgebung)

- **Genauigkeit: ≤ ±0.5 °C (oder durch das Messunsicherheitsbudget begründet)**
- **Auflösung: Klasse 0.1 °C**
- **Sensoren: Typ/Platzierung definiert; Ansprechzeit passend zu den Stabilisierungskriterien**

7) Drehzahlmesser (Lüfterdrehzahl)

- **Bereich: deckt 0–10,000+ rpm ab**
- **Genauigkeit: ≤ ±1% rdg (oder besser)**

8) DMM (ergänzende Spannungs-/Stromprüfungen)

- **DCV-Genauigkeit: Klasse ≤ ±0.01% rdg (Tisch-DMM)**
- **Anwendungsfall: Stichprobenprüfungen, Gegenprüfung von Schienen / Sensoren**

9) Spannungsversorgungskontinuität (USV) + Trenntransformator

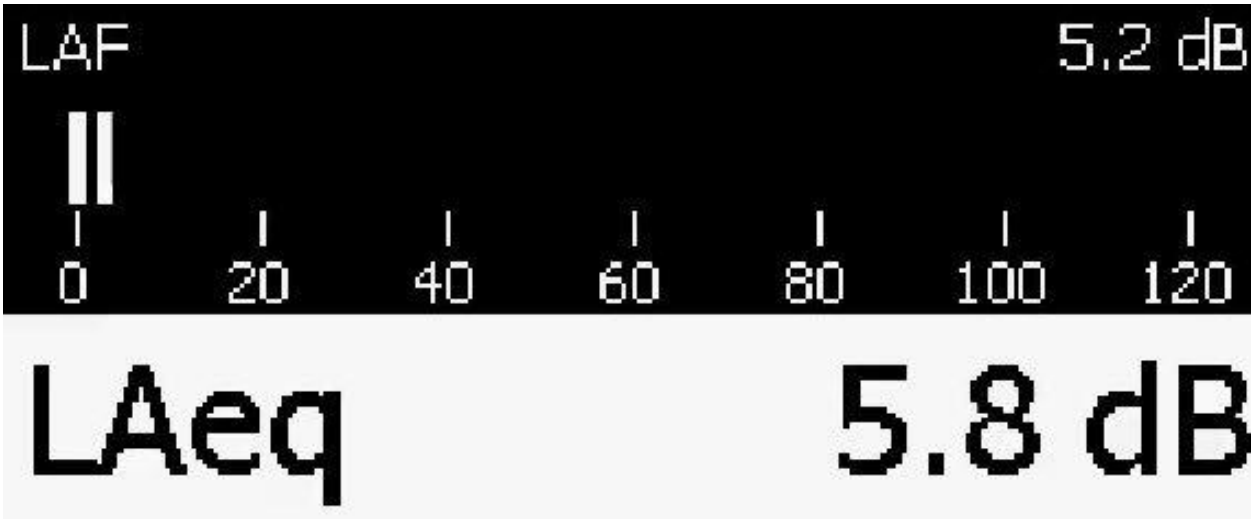
- **USV-Kapazität: so bemessen, dass während der Prüfungen keine Umschaltvorgänge auftreten (≥ Spitzenlast des Labors; Angabe der Überbrückungsdauer erforderlich)**
- **Trenntransformator: ≥ 4 kVA**

Prüfausrüstung

Alle Messungen werden mit mehreren vollständig ausgestatteten Chroma 63600 Stationen durchgeführt. Jede kann mehr als 4 kW Last aufnehmen und umfasst zwei 63601-5 und ein 63600-2 Mainframe. Zudem beherbergt jedes der genannten Mainframes zehn elektronische Lasten 63640-80-80 [400 W] sowie zwei Module 63610-80-20 [100 W x2].

Die von uns eingesetzten AC-Quellen sind Chroma 6530 mit bis zu 3 kW Leistung, Keysight AC6804B mit 4 kW maximaler Leistung, APM SP300VAC4000W-P mit 4 kW maximaler Leistung sowie GW-Instek ASR-3500 mit 5 kW maximaler Leistung. Alle AC-Quellen sind über leistungsfähige Trenntransformatoren mit dem Versorgungsnetz verbunden. Schließlich schützen wir die AC-Quellen mit Online-USV-Geräten.

Die übrige Ausrüstung besteht aus Oszilloskopen Picoscope 4444 und Siglent SDS2104X PLUS, Thermoelement-Datenloggern Picotech TC-08, dem Multimeter Keysight U1273AX sowie den Leistungsanalysatoren Rohde & Schwarz NPA701 und HMC8015 mit einer Grundgenauigkeit von 0.05%. Außerdem verwenden wir mehrere Drehzahlmesser UNI UT372.



Die Geräuschmessungen werden mit Schallanalysatoren der Klasse 1 von Bruel & Kjaer (2270 G4 und 2250-L G) durchgeführt, die mit rauscharmen Freifeldmikrofonen des Typs 4955-A ausgestattet sind und bis hinab zu 5 dB(A) messen können (wir verfügen zudem über Mikrofone des Typs 4189 mit einem A-bewerteten Dynamikbereich von 16.6-140 dBA). Die Schallanalysatoren sind in einem halbschalltoten Raum mit einem Grundgeräuschpegel von nahezu 6 dB(A) installiert. Vor jeder Geräuschmessung wird ein Bruel & Kjaer Type 4231 zur Kalibrierung der Schallanalysatoren eingesetzt.

Wir können Bewertungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) durchführen, da unser Labor mit einem TekBox TBMR-110M EMI-ANALYZER (1Hz -110MHz) ausgestattet ist. Bei dieser Prüfung verwenden wir außerdem eine Tekbox TBL5008-2C LISN, um das Versorgungsnetz vom Prüfling (DUT) zu entkoppeln. Um bei Bedarf die EMI-Quelle zu lokalisieren, stehen uns ein Satz Tekbox EMV-Sonden (TBPS01) sowie ein Breitbandverstärker TBWA2 zur Verfügung.

Zur Messung des Ableitstroms verwenden wir einen Ableitstromprüfer GW Instek GLC-9000.

Messsoftware – Faganas ATE

Ein wesentlicher Bestandteil unserer Methodik ist die Steuer- und Überwachungssoftware, die mit sämtlicher von uns eingesetzter Ausrüstung verbunden ist, auch mit der Hotbox. Diese Anwendung wird seit zehn Jahren entwickelt und umfasst Tausende Codezeilen. Kürzlich haben wir die Anwendung erneut in C# programmiert, um sie im Einklang mit modernen Programmiertrends zu halten.

Neben der Erfassung und Speicherung aller Daten sowie der Möglichkeit, sie in jeder für unsere Anforderungen geeigneten Form auszugeben, besteht eine ihrer wichtigsten Funktionen darin, dass sie es uns erlaubt, alle erhaltenen Messwerte zu mitteln. In den normalen Lasttests, die wir bei hohen Umgebungstemperaturen durchführen und nur zu Referenzzwecken angeben, prüfen wir jede Laststufe vier bis zehn Minuten lang, und während dieses Zeitraums nehmen wir nicht

einfach beliebige Messwerte, sondern erfassen sie alle und verwenden die Mittelwerte als Endergebnis. Nur so lassen sich hochgenaue Ergebnisse erzielen. Da zudem die Wärme im Inneren des Netzteils zunimmt und sich der Widerstand der Leitungen des Netzteils ändert, sind Unterschiede bei Spannung, Last und Wirkungsgrad aufgrund der Temperaturdifferenz naturgemäß zu erwarten. Der beste Weg besteht daher darin, alle während einer Prüfung erfassten Messwerte zu berücksichtigen und den Mittelwert als Endergebnis zu übernehmen.

Funktionen der Faganas-Software

Faganas führt keine primären elektrischen Messungen durch. Alle elektrischen Größen (AC-Spannung, AC-Strom, AC-Eingangsleistung, DC-Schienenspannungen, DC-Schienenströme, Leistungsfaktor und Lüfterdrehzahl) werden von externen kalibrierten Messmitteln gemessen, digitalisiert und numerisch verarbeitet.

Faganas empfängt fertige numerische Messwerte über digitale Schnittstellen und übernimmt ausschließlich die Protokollierung, die zeitliche Zuordnung, die Aggregation und sekundäre Berechnungen.

Faganas fungiert als Schicht für Datenerfassung, Aggregation und Berichterstattung. Alle elektrischen und mechanischen Größen werden von kalibrierten externen Messmitteln gemessen und berechnet. Faganas verändert, skaliert oder interpretiert die Messwerte der Geräte nicht; die Validierung konzentriert sich daher auf Datenintegrität, zeitliche Kohärenz und die Richtigkeit sekundärer Berechnungen, die aus den von den Messmitteln gemeldeten Werten abgeleitet werden.

Funktion	**Zuständigkeit**
Spannungsmessung	Messmittel
Strommessung	Messmittel
Leistungsberechnung	Messmittel
PF-Berechnung	Messmittel
Messung der Lüfterdrehzahl	Messmittel
Abtastung und ADC	Messmittel
Numerische Skalierung	Messmittel
Datenübertragung	Messmittel + Faganas
Zeitliche Zuordnung	Faganas
Protokollierung	Faganas
Abgeleitete Kenngrößen (Wirkungsgrad, Summen)	Faganas

Funktion	Zuständigkeit
Berichterstattung	Faganas

Eingangsspannung und maximale Watt-Ausgangsleistung

Neben 115 V und 230 V führen wir Prüfungen auch bei 100 V durch, um das Verhalten des Netzteils bei niedrigerer Eingangsspannung zu überprüfen. Da wir alle Netzteile bei hohen Umgebungstemperaturen nahe 45°C stark belasten, verzichten wir auf Prüfungen mit noch niedrigerer Eingangsspannung (z. B. 90V), da ein Netzteilausfall auch den direkt angeschlossenen Leistungsanalysator beschädigen kann. Indem wir jedoch die Temperatur in der Hotbox erhöhen und höhere als die nominellen Lasten einstellen, setzen wir den Prüfling bereits einer enormen Belastung aus, insbesondere bei 100 V Eingangsspannung, und simulieren damit einige der ungünstigsten realen Szenarien.

Zur Ermittlung der maximalen Watt-Ausgangsleistung ziehen wir das Etikett des Netzteils heran. Bei Netzteilen, die eine dauerhafte Volllastabgabe bei 50°C angeben, führen wir zudem eine Prüfung mit 110% der maximalen Nennleistung des Netzteils bei einer Betriebstemperatur von über 45°C durch.

Prüfbedingungen

Die Prüfung des Wirkungsgrads und der Geräuschentwicklung wird bei einer geregelten Umgebungstemperatur von 30 °C (±2 °C) in der Hotbox durchgeführt. Unter dieser Bedingung werden die Zertifizierungsergebnisse ermittelt. Bei Netzteilen mit hoher Leistung, deren Wärmeabgabe die Kühlleistung der Einhausung übersteigen kann, kann die Umgebungstemperatur gegen Ende des Prüflaufs auf 32-34 °C ansteigen. Die Umgebungstemperatur wird durchgehend überwacht. Wir führen außerdem Prüfungen bei höheren Umgebungstemperaturen im Bereich von 35-45°C (±2 °C) durch.

Ablauf der Wirkungsgradmessungen

Im Gegensatz zu bestehenden Methoden, die nur an einer Handvoll fester Lastpunkte messen, wenden wir am Prüfling (DUT) mehr als 1450 verschiedene Lastkombinationen an. Dabei handelt es sich um die CL-Messungen (kombinierte Last), die bei einer in der Hotbox auf 30 °C (±2 °C) geregelten Umgebungstemperatur durchgeführt werden, wobei jede Laststufe etwa fünf Sekunden lang gehalten wird. Der gesamte Ablauf dauert insgesamt etwa zweieinhalb Stunden. Der Gesamt- bzw. Durchschnittswirkungsgrad ist der Durchschnitt aller Messungen über den gesamten Betriebsbereich des Netzteils, ausgenommen redundante Netzteile, bei denen wir 2-100% des Betriebsbereichs des Netzteils erfassen. Auf diese Weise ist es für einen Hersteller wesentlich schwieriger, seine Produkte auf bestimmte Laststufen abzustimmen, da wir im Wesentlichen die Wirkungsgrade bei einer größeren Anzahl verschiedener Lastkombinationen berücksichtigen, die gleichmäßig über den gesamten Lastbereich verteilt sind. Neben dem

Wirkungsgrad messen wir auch Spannung, Restwelligkeit, Leistungsfaktor, Geräuschentwicklung und Temperatur.

Bei ATX12V-Netzteilen streben wir mindestens 20 verschiedene Laststufen bei 5V und 3.3V an. Gleichzeitig legen wir eine geeignete Laststufung bei +12V fest, die insgesamt mindestens 1450 Lastkombinationen an +12V, 5V und 3.3V ermöglicht. Schließlich legen wir eine konstante Last von 0.6A an 5VSB an, während wir -12V nicht berücksichtigen, da diese Schiene von der neuesten ATX-Spezifikation nicht mehr gefordert wird.

Bei redundanten und ATX12VO-Einheiten mit nur einer Hauptschiene und einer Standby-Schiene erhöhen wir die Last auf letzterer um jeweils 1W; hat diese Schiene also eine Belastbarkeit von 15W, wenden wir 15 verschiedene Laststufen an (jeweils 1W Erhöhung) und legen zugleich eine geeignete Laststufung auf der Hauptschiene fest, um mindestens 1450 verschiedene Lastkombinationen zu ermöglichen.

Nachstehend wird der Algorithmus, mit dem die Laststufen auf den Schienen eines ATX12V-Netzteils abgeleitet werden, in Codeform wiedergegeben. Für Einheiten mit nur zwei Schienen (Haupt- und Standby-Schiene) wird ein einfacherer Algorithmus verwendet. Die Ausgabetabelle enthält alle möglichen Lastkombinationen für die von uns gewählte Watt-Schrittweite an +12V und 5V/3.3V. Außerdem gibt es einen Eintrag für die minimale angelegte Last auf den Schienen. Einige ältere Netzteile mit Gruppenregelung auf der Sekundärseite können nicht ordnungsgemäß mit null Last an +12V und Volllast auf den Nebenschienen (und umgekehrt) arbeiten. Schließlich bleibt die Last an 5VSB während dieser Prüfungen unverändert. Dafür gibt es zwei Gründe: Es handelt sich um eine Standby-Schiene, die im Betrieb des Netzteils höchstwahrscheinlich nicht genutzt wird; und würden wir diese Schiene ebenfalls in den nachfolgend gezeigten Algorithmus einbeziehen, würde die entsprechende Prüfung erheblich länger dauern.

```
Max_12V_load =  PSU_12V_max_power - V12_min_load
Max_5V_load = (Minor_Rails_Max_Combined_Load /5) *3
Max_33V_load = (Minor_Rails_Max_Combined_Load /5) *2

Load_steps_12V := round(Max_12V_load / Watts_12V_step)
Load_steps_5V := round(Max_5V_load / Watts_5V_33V_ step)
Load_steps_33V := round(Max_33V_load / Watts_5V_33V_ step)

for i := 0 to Load_steps_12V do
      for k := 0 to Load_steps_5V do
      {

        l := k;
        if l > Load_steps_33V then l := Load_steps_33V

        total12V:= V12_min_load + Watts_12V_ step * i
        total5V = V5_V33_min_load + Watts_5V_33V_ step * k
        total33V = V5_V33_min_load + Watts_5V_33V_ step * l

        if total12V + total5V + total33V <= PSU_Max_Power then
        {
          j = j + 1;
          //Row Number
          Load_combinations_table.Cells[0, j] = j
         // 12V load
          Load_combinations_table.Cells[1, j] = total12V
          // 5V load
          Load_combinations_table.Cells[2, j] = total5V
           // 3.3V load
          Load_combinations_table.Cells[3, j] = total33V

        }
       }
```

Die große Datenmenge, die unsere Methodik liefert, ermöglicht es uns, unser Effizienzzertifizierungsprogramm bei Bedarf schnell zu ändern. Schließlich führen wir unsere Prüfungen bei geregelten 30 °C (±2 °C) mit dem Netzteil in einer Hotbox durch, wodurch eine Gehäuseumgebung simuliert wird und die Bedingungen realen Einsatzbedingungen nahekommen.

Die Vampirleistung (Leistungsaufnahme ohne Last auf der 5VSB-Schiene) ist bei ATX12V- und ATX12VO-Einheiten von großer Bedeutung, da diese gesamte Energie verloren geht und die meisten PC-Systeme nicht 24/7 in Betrieb sind, sodass die Netzteile über einen erheblichen Teil des Tages lediglich Energie verbrauchen, ohne etwas Nützliches zu leisten. Wir bewerten jedes Netzteil unter enger Befolgung der Messvorgaben von EN 50564:2011 und IEC 62301 [2]. Erfüllt der Prüfling unsere Anforderungen nicht, wird er automatisch auf die nächstniedrigere Wirkungsgrad-Zertifizierungsstufe herabgestuft. Der gesamte Ablauf ist leicht nachvollziehbar, sofern ein hochwertiger Leistungsanalysator zur Verfügung steht. Ist das Netzteil auf einem unserer Lasttester installiert und über eine unserer AC-Quellen versorgt, versetzen wir es in den Standby-Modus und starten die entsprechende Anwendung, die automatisch alle Messwerte der

Vampirleistung erfasst und uns innerhalb von 15 Minuten den vollständigen Bericht liefert. Liegen während des Vorgangs die THD-Messwerte des AC-Eingangs außerhalb der Spezifikation, wird das Ergebnis von der Anwendung als ungültig gewertet.

Über all dies hinaus berücksichtigt ETA auch den durchschnittlichen Wirkungsgrad der Standby-Schiene. Wir messen den Wirkungsgrad dieser Schiene in Schritten von 0.05 A bis zu ihrem maximalen Ausgangsstrom; der Mittelwert aller Messungen ist das endgültige Wirkungsgradergebnis. Wir erwarten daher von allen Netzteilen einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von über 70% auf dieser Schiene, wobei diese Schwelle für Einheiten in den obersten Kategorien des ETA-Programms noch höher angesetzt wird.

Methodik des Burst Activity Index (BAI)

Zweck und Anwendungsbereich

Der Burst Activity Index (BAI) quantifiziert den Burst-Mode-Betrieb bei geringen Lasten. Anders als Messungen von Wirkungsgrad, PF, Restwelligkeit oder Scheitelfaktor bewertet der BAI, ob das Netzteil in eine diskontinuierliche EIN/AUS-Energieabgabe übergeht, und wie stark dieses Verhalten ausgeprägt ist.

BAI-Definitionen

PAR (Peak-to-Average Ratio): PAR = Ppeak / Pavg, wobei Ppeak die maximale gemessene Eingangsleistung und Pavg die mittlere Eingangsleistung über dasselbe Beobachtungsfenster ist.

IdleFraction: Anteil der gesamten Beobachtungszeit, während dessen die Eingangsleistung unterhalb der definierten Leerlaufschwelle bleibt.

PF_Window: Schätzwert des Leistungsfaktors über ein gleitendes Fenster, abgeleitet aus akkumulierter Wirk- und Scheinleistung.

AvgAbsPfDelta: Mittlere absolute Abweichung zwischen momentanem PF und PF_Window.

Messbedingungen

BAI-Messungen werden im Betrieb bei geringer Last durchgeführt. Die Abtastwerte der Eingangsleistung sind fortlaufend aufzuzeichnen und über den gesamten Beobachtungszeitraum auszuwerten.

Gleichungen

$$BAI_{raw} = (PAR - 1.0) \times IdleFraction$$

$$BAI_{withPF} = BAI_{raw} \times (1 + AvgAbsPfDelta)$$

$$BAI_{0-100} = 100 \times (1 - e^{-k \times BAI_{withPF}})$$

Die empfohlene Skalierungskonstante beträgt k = 5.0. Der Faktor k ist über alle Netzteilbewertungen hinweg unverändert beizubehalten, um die Vergleichbarkeit zwischen Berichten und Zertifizierungsdatenbanken zu wahren.

Wichtiger Hinweis: Ist IdleFraction = 0, so gilt BAIraw = 0, BAIwithPF = 0 und BAI0-100 = 0. Werden also keine Burst-Lücken erkannt, ergibt sich unabhängig von geringfügigen PF-Schwankungen oder PAR-Abweichungen ein BAI-Wert von null.

Interpretation

Der BAI-Wert wird gemäß der folgenden Skala interpretiert:

BAI-Wert	Einstufung
0 – 5	Burst-frei / äußerst gleichmäßig
5 – 20	Geringe Burst-Aktivität

20 – 50	Mäßiges Burst-Verhalten
50 – 75	Ausgeprägter Burst-Modus
75 – 100	Starkes Burst-Verhalten

Beziehung zu anderen Kenngrößen

Der Scheitelfaktor bewertet die momentane Steilheit der Kurvenform, PAR bewertet die zeitliche Leistungsschwankung und BAI bewertet das tatsächliche Burst-Mode-Verhalten. Diese Kenngrößen ergänzen einander und sollten nicht gegeneinander ausgetauscht werden.

Korrelation mit Spulenfiepen

Der BAI misst das Spulenfiepen nicht unmittelbar. Höhere BAI-Werte weisen jedoch auf eine stärkere Burst-Mode-Aktivität hin, was die Wahrscheinlichkeit einer burst-bedingten akustischen Anregung erhöhen kann.

Ablauf der Geräuschmessungen

Wie bereits beim Ablauf der Wirkungsgradmessungen erwähnt, wenden wir mindestens 1450 verschiedene Lastkombinationen auf den Schienen des Prüflings an und überwachen dabei gleichzeitig alle wesentlichen Daten, einschließlich der Lüfterdrehzahl. Mit den Daten zum Lüfterdrehzahlbereich führen wir Geräuschmessungen in möglichst kleinen Intervallen durch, erreichen eine hohe Genauigkeit und decken den gesamten Bereich ab. Reicht die Lüfterdrehzahl beispielsweise von 400-2000 RPM, führen wir Geräuschmessungen in Intervallen von 50 RPM durch.

Die Geräuschmessungen erfolgen in einem halbschalltoten Raum, wobei der Prüfling ausgeschaltet ist und sein Lüfter an ein externes Netzteil angeschlossen wird, das die zur Erreichung der gewünschten Lüfterdrehzahlen erforderliche Spannung liefert. Zudem wird die Lüfterdrehzahl fortlaufend mit einem Drehzahlmesser überwacht. Auf diese Weise können wir Fremdgeräusche, einschließlich der Geräusche elektronischer Lasten, ausschließen.

Wir erstellen eine Tabelle mit der Lüfterdrehzahl in RPM und dem zugehörigen Geräusch bei dieser Drehzahl. Anschließend durchsucht unsere Software alle während der Lastprüfungen erfassten Daten und ordnet jedem Lüfterdrehzahlwert anhand der obigen Tabelle einen Dezibelwert zu.

Die Ermittlung des berichteten A-bewerteten Schalldruckpegels beruht auf Schalldruckpegelmessungen nach ISO 7779 [9] und ECMA-74 [11]. Da der in Dezibel ausgedrückte Schalldruckpegel eine logarithmische Größe ist, ist die direkte arithmetische Mittelung gemessener dBA-Werte über verschiedene Betriebszustände physikalisch nicht sinnvoll und würde die tatsächliche Schallenergie der Schallquelle nicht abbilden.

Um eine korrekte energetische Darstellung sicherzustellen, wird jeder unter den definierten Lastkombinationen gemessene A-bewertete Schalldruckpegel in den zugehörigen linearen

Schalldruckwert umgerechnet. Die linearen Schalldruckwerte werden anschließend arithmetisch gemittelt, und der resultierende mittlere Schalldruck wird wieder in einen A-bewerteten Schalldruckpegel in dBA zurückgerechnet.

Dieses Vorgehen bei der Datenverarbeitung steht im Einklang mit den physikalischen Grundlagen der Akustik sowie mit den in ISO 7779 und ECMA-74 festgelegten Mess- und Auswertekonzepten für die Zusammenfassung und Bewertung von Schalldruckpegelmessungen. Das Verfahren liefert somit eine technisch belastbare und reproduzierbare Darstellung des Geräuschemissionspegels der geprüften Einrichtung und eignet sich für die Anwendung innerhalb eines nach ISO/IEC 17025 akkreditierten Messrahmens.

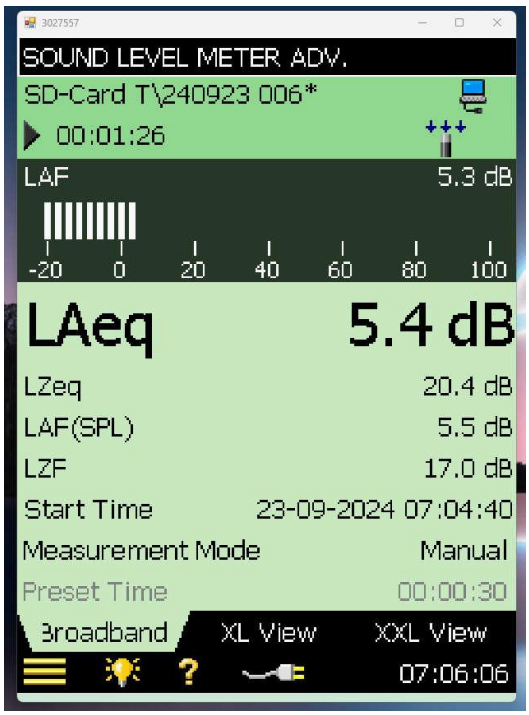
Der oben beschriebene Ablauf ermöglicht es uns, mit mindestens 1450 Lastkombinationen eine einzige Zahl zu erhalten, die die durchschnittliche Geräuschentwicklung des Prüflings beschreibt. Anhand dieser Zahl ordnen wir den Prüfling einer der LAMBDA-Kategorien zu.

Neben dem Lüftergeräusch prüfen wir auch auf elektronisches Geräusch (Spulenfiepen), indem wir am Prüfling, der im halbschalltoten Raum installiert ist, eine Kombination von Lasten mit einem passiv gekühlten Lasttester anlegen. Stellen wir ein elektronisches Geräusch von mehr als 6-6.5 dBA fest, müssen wir prüfen, ob die niedrigsten Lüftergeräuschpegel innerhalb eines Bereichs von 10 dBA liegen, da dies die Geräuschmessungen beeinflusst. Am einfachsten geschieht dies, indem die entsprechenden Lüftergeräuschmessungen mit einer am Prüfling anliegenden Last durchgeführt werden, um die Bedingungen zu schaffen, unter denen elektronisches Geräusch entsteht.

Nach unseren bisherigen Prüfergebnissen ist es nicht üblich – im Gegenteil, es kommt sehr selten vor –, ein Netzteil mit mehr als 6.5 dBA elektronischem Geräusch in einem Meter Abstand bei Verwendung einer widerstandsbasierten Last zu finden. In den meisten Fällen ist Spulenfiepen daher auf ein Zusammenspiel von Systemkomponenten zurückzuführen. Schließlich spielt das angewandte Szenario, das das Netzteil zur Abgabe elektronischen Geräuschs zwingt, eine erhebliche Rolle. Da ein Netzteil elektronisches Geräusch aufweisen kann, während es eingeschaltet ist und keine Last auf seinen Schienen anliegt, handelt es sich dabei nicht um ein reales Szenario, weshalb wir es nicht berücksichtigen (wir halten die Ergebnisse dennoch fest und weisen den Hersteller auf dieses Problem hin). Gleiches gilt für den Betrieb, bei dem nur die 3.3V-Schiene, nur die 5V-Schiene oder beide Nebenschienen belastet werden (bei Netzteilen mit DC-DC-Wandlern für die Erzeugung der Nebenschienen bedeutet dies allerdings, dass auch die +12V-Schiene genutzt wird, da sie die Wandler wie oben erwähnt versorgt). Dagegen berücksichtigen wir Szenarien, bei denen die Last ausschließlich an +12V oder an 5VSB (bei Netzteil im Standby-Modus) anliegt.

Berechnung des Fremdgeräuschs

Das Fremdgeräusch in unserem Raum kann je nach äußeren Bedingungen zwischen 5.5 dBA und 8 dBA liegen. Um bestmögliche Bedingungen zu erhalten, führen wir unsere Geräuschmessungen daher bevorzugt nachts durch, wenn das Umgebungsgeräusch geringer ist als tagsüber.



Das Fremdgeräusch darf keinesfalls den interessierenden Schall übersteigen; in der Praxis muss der Ausgangspegel des Prüflings mindestens 3 dBA über dem Fremdgeräusch liegen, damit die Messung genau ist. Dennoch muss eine Korrektur angewandt werden, um das richtige Ergebnis zu erhalten. Die Fremdgeräuschkorrektur ist als K1 [9] [11] definiert und bezeichnet den Betrag, um den der gemessene Quellpegel verringert wird, um den fremdgeräuschkorrigierten Quellpegel zu erhalten.

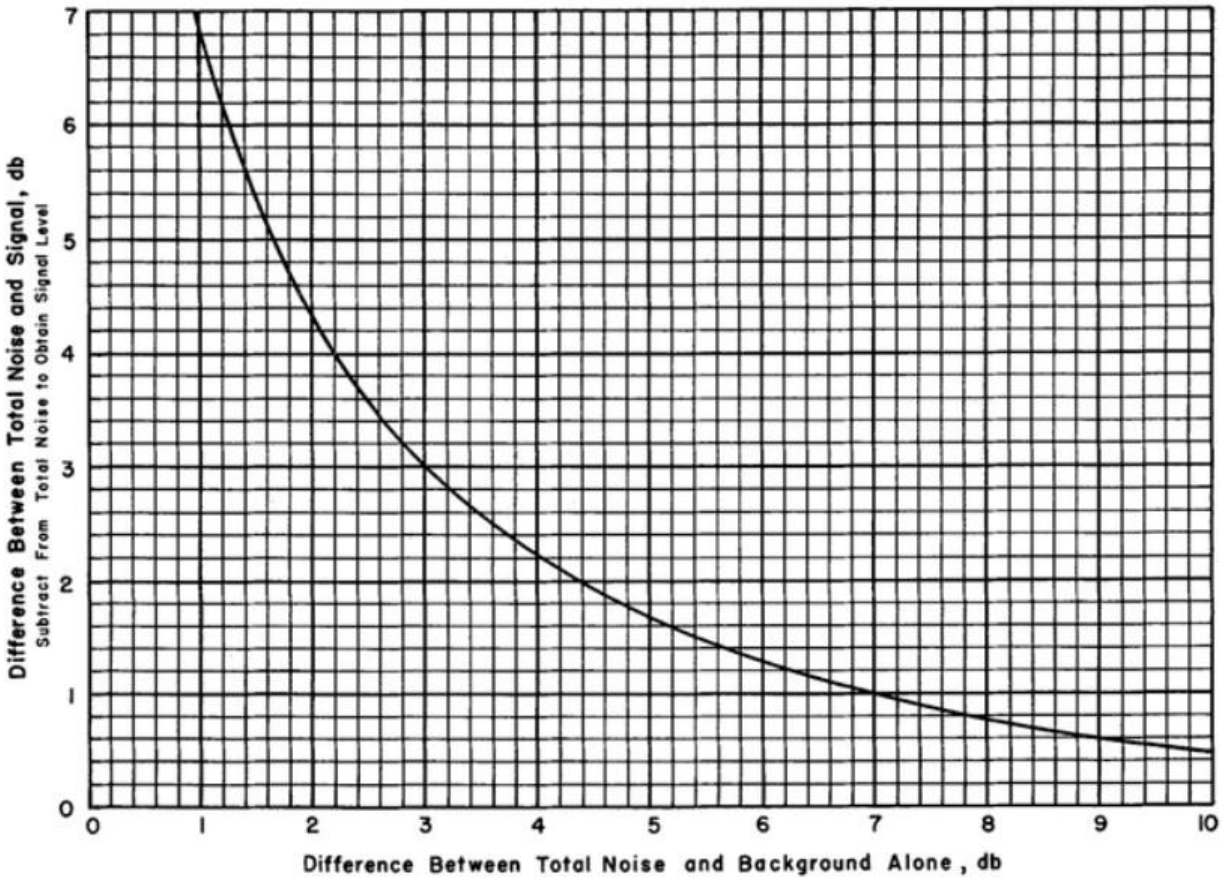
Der Ablauf zur Messung der Geräuschentwicklung eines Prüflings ist der folgende:

- Messung des Gesamtgeräuschpegels (LDUT + LBG) bei laufendem Prüfling, wobei dessen Betriebszustand mit der geringsten Geräuschentwicklung besondere Beachtung findet.
- Messung des Fremdgeräuschpegels (LBG) bei ausgeschaltetem Prüfling.
- Berechnung der Differenz zwischen den beiden genannten Messwerten (LDUT - LBG). Beträgt sie weniger als 3 dBA, ist das Fremdgeräusch für eine genaue Messung zu hoch. Liegt sie im Bereich von 3-10 dBA, muss eine Korrektur angewandt werden. Ist die Differenz größer als 10 dBA, ist keine Korrektur erforderlich; wir wenden sie dennoch bis zu Differenzen von 20 dBA an.

Die Formel zur Berechnung der Schallquelle ohne den Einfluss des Fremdgeräuschs lautet wie folgt:

$$L_{DUT} = 10\ x\ log(\frac{10_{LDUT}}{10} - \frac{10_{LBG}}{10})$$

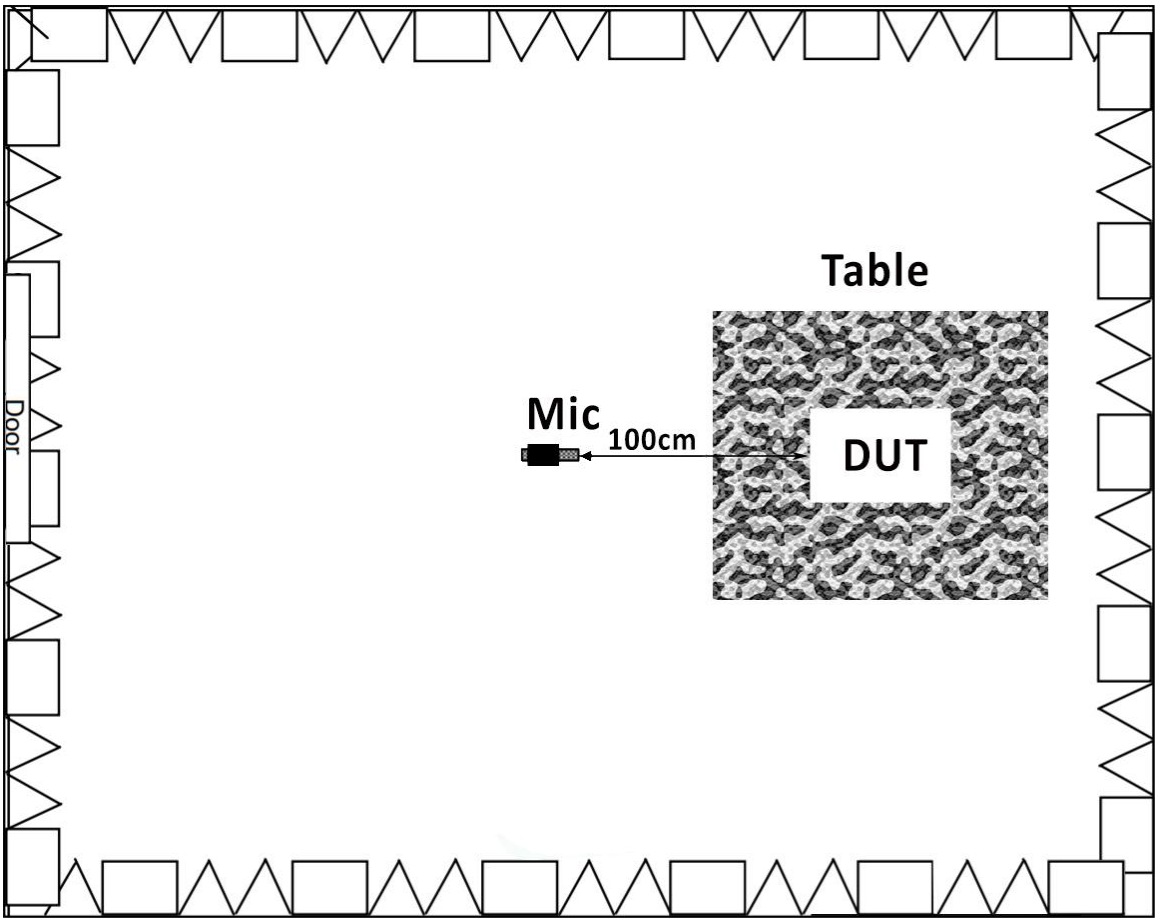
In einer Tabellenkalkulation lässt sich die obige Formel als 10*log(10^(LDUT/10)-10^(LBG/10)) angeben



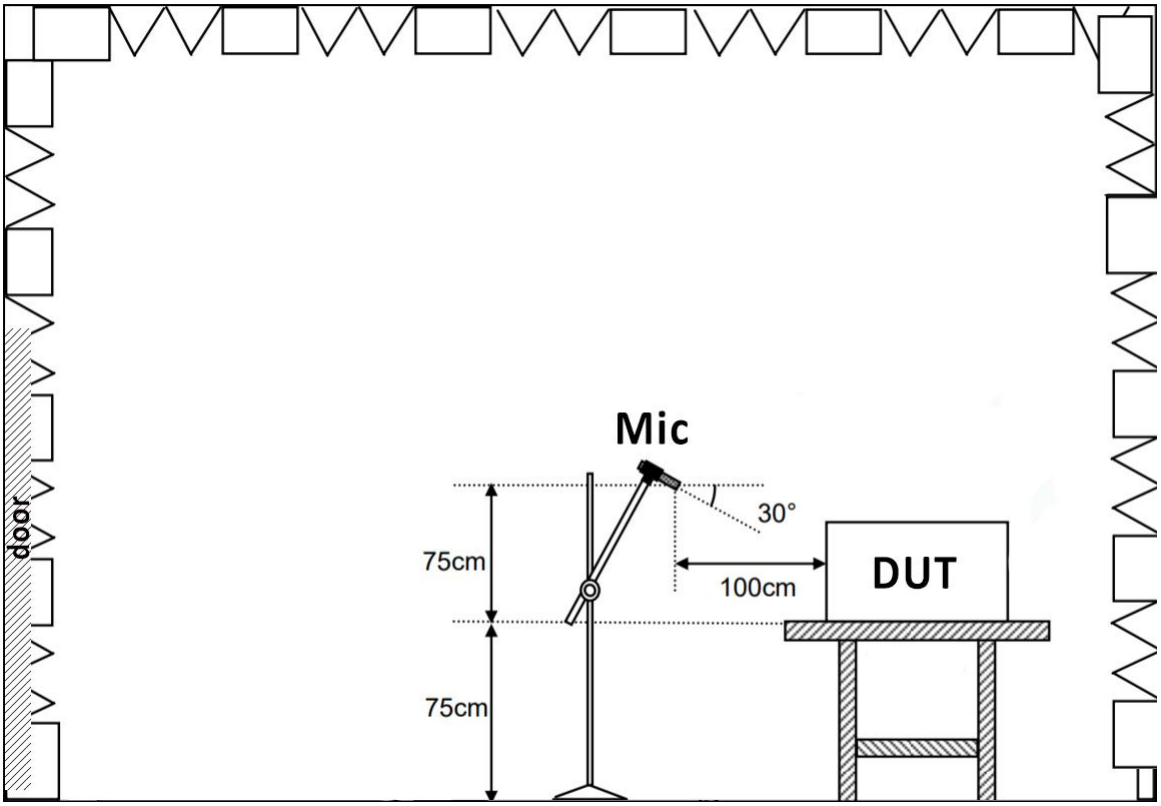
Das obige Diagramm kann zur Korrektur des Quellsignals um das Fremdgeräusch herangezogen werden.

Prüfaufbau für die Geräuschmessungen

In den nachstehenden Skizzen finden Sie eine Übersicht unseres halbschalltoten Raums mit der genauen Platzierung des Mikrofons (MIC) und des Prüflings. Wir befolgen die entsprechenden ISO-Normen [9][10] strikt.



Draufsicht



Seitenansicht

ISO 7779 / ECMA-74: Zuhörer-Mikrofon in 1 m Abstand, 1.5 m Höhe

ISO 7779:2018 (Akustik – Messung der von Informationstechnik- und Telekommunikationsgeräten abgestrahlten Luftschallemission) [9] erlaubt ausdrücklich eine Mikrofonplatzierung in 1.0 m Abstand und 1.5 m Höhe für Geräuschemissionsmessungen. Tatsächlich definiert ISO 7779 (harmonisiert mit ECMA-74, der ECMA-Norm für Geräusche von IT-/Telekommunikationsgeräten) „Zuhörerpositionen“ in 1.00 m ±0.03 m horizontalem Abstand vom Gerät (Bezugsquader) und 1.50 m ±0.03 m über dem Boden. Diese Positionen bilden eine in 1 Meter Entfernung stehende Person auf etwa Ohrhöhe nach.

Für Geräte ohne Bedienperson (unbeaufsichtigter Betrieb) verlangt ISO 7779 die Verwendung von vier solchen Mikrofonpositionen (vorn, hinten, links, rechts in 1 m Abstand) und deren Mittelung zur Bestimmung des mittleren A-bewerteten Schalldruckpegels (LpAm). Wird das Gerät von einer Bedienperson betreut, kann stattdessen eine einzelne Messung an der Bedienerposition (von der Norm für diese Gerätekategorie festgelegt) verwendet werden.

In allen Fällen ist die Geometrie 1 m/1.5 m Bestandteil des in ISO 7779 festgelegten Standardverfahrens zur Ermittlung von Emissions-Schalldruckpegeln. Das bedeutet, dass ein einzelnes, an diesen Koordinaten (an jeder geforderten Position) fest angeordnetes Mikrofon ein anerkannter Aufbau für zertifizierte Geräuschmessungen an IT-/Telekommunikationsgeräten ist, sofern die Prüfung normgerecht durchgeführt wird (in einer im Wesentlichen freifeldähnlichen Umgebung über einer reflektierenden Ebene).

Die neueste Ausgabe der Norm (ISO 7779:2018) [9] ist hinsichtlich dieser Anforderungen mit ECMA-74:2021 abgestimmt. So nennt ECMA-74 (18th Ed., 2021) [12] in Abschnitt 8.6.3 den horizontalen Abstand von 1.0 m und die Höhe von 1.5 m für Zuhörer-Mikrofone. Diese Geometrie dient nicht nur internen Prüfungen – sie ist die Grundlage für deklarierte Geräuschemissionswerte (nach ISO 7779 / ISO 9296), die in Produktdatenblättern und Konformitätsberichten verwendet werden.

Schalleinfallswinkel des Mikrofons (30°) in der Norm

ISO 7779 und ECMA-74 regeln auch die Ausrichtung des Mikrofons an dieser Position. Das Mikrofon ist so auszurichten, dass der Schall unter demjenigen Winkel eintrifft, für den der Frequenzgang des Mikrofons auf größtmögliche Gleichförmigkeit kalibriert ist.

Da die Geräuschquellen eines auf dem Boden stehenden Geräts in der Praxis häufig unterhalb der Mikrofonhöhe liegen, wird der primäre Schalleinfall mit etwa 30° (oder 45°) unterhalb der Horizontalen angenommen. Die Normen erwähnen dies ausdrücklich: „Die Mikrofone sind so auszurichten, dass der Schalleinfallswinkel demjenigen Winkel entspricht, für den das Mikrofon den gleichförmigsten Frequenzgang aufweist. In den meisten praktischen Fällen wird angenommen, dass sich die primäre Schallquelle entweder 30° oder 45° unterhalb der Horizontalen befindet.“.

Mit anderen Worten: Ein Freifeldmikrofon (kalibriert für 0° Einfall) würde direkt auf die Quelle ausgerichtet, während ein Mikrofon für zufälligen Schalleinfall typischerweise um etwa 30° geneigt wird, um von unten eintreffenden Schall zu erfassen. Damit ist die Bedingung eines Einfallswinkels von 30° gemäß den Vorgaben der Norm erfüllt. Solche Einzelheiten sind Bestandteil des Normverfahrens, damit die Messung mit einem einzelnen Mikrofon in 1 m Abstand genau und standardisiert ist.

ISO 11201:2012 – Das Freifeld-Schalldruckverfahren stützt diesen Aufbau

Die vorstehende Mikrofonanordnung stützt sich auf ISO 11201 [10] (Akustik – Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten – Bestimmung von Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Orten in einem im Wesentlichen freien Schallfeld über einer reflektierenden Ebene). ISO 7779 verweist tatsächlich auf ISO 11201 als grundlegendes Messverfahren für die Bediener-/Zuhörerpositionen.

ISO 11201 (eine international anerkannte ISO-Norm) beschreibt ausdrücklich die Geräuschmessung an einer festgelegten Position (etwa in 1 m Abstand vom Produkt) unter Freifeldbedingungen nach einem Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Verfahren der Klasse „Engineering“). Entscheidend ist, dass keine Korrekturen für Raumreflexionen angewandt werden (Umgebungskorrektur $K_2 = 0$ in einem halbschalltoten Raum) – lediglich erforderlichenfalls eine Fremdgeräuschkorrektur. Genau dies entspricht dem Fall eines einzelnen, fest angeordneten Mikrofons in 1 m Abstand und 1.5 m Höhe vor dem Gerät auf einem reflektierenden Boden.

Im Verfahren nach ISO 7779 (das ISO 11201 entspricht) wird der A-bewertete Schalldruckpegel an dieser Mikrofonposition gemessen und für den Geräuschemissionsbericht verwendet. ISO 11201:2012 stützt somit die Verwendung eines einzelnen Mikrofons in der festgelegten Geometrie als gültiges Normverfahren (Genauigkeitsklasse „Engineering“) für Messungen des Emissions-Schalldruckpegels. Wird

ISO 7779 (für IT-/Telekommunikationsgeräte) angewandt, so wird faktisch ISO 11201 mit der für Zuhörer- oder Bedienerpositionen vorgegebenen Geometrie 1 m/1.5 m/30° umgesetzt. Das Ergebnis (z. B. LpA in 1 m) wird in offiziellen Geräuschangaben anerkannt (häufig zusammen mit dem Schallleistungspegel)

Fazit – Anerkannte Normen und Alternativen

Zusammenfassend gilt: Ja – international anerkannte Normen stützen die Verwendung eines einzelnen, fest angeordneten Mikrofons in 1 m (horizontal) Abstand, 1.5 m Höhe und bei etwa 30° Schalleinfall für Luftschallmessungen an IT-/Telekommunikationsgeräten. Die maßgebliche Referenz ist ISO 7779:2018 (und ihr Äquivalent ECMA-74), die in Abschnitt 8 die Messgeometrie der Zuhörerposition (1 m Abstand, 1.5 m Höhe) sowie die Mikrofonausrichtung festlegt. Dieser Aufbau dient dazu, den A-bewerteten Emissions-Schalldruckpegel LpA des Geräts normkonform zu ermitteln. Die genaue Anforderung ist dokumentiert (beispielsweise in ECMA-74 Abschnitt 8.6.3 und 8.6.4, die ISO 7779 entsprechen) und erlaubt die Zertifizierung solcher Messungen (Aufnahme in deklarierte Geräuschemissionswerte).

Wird das Gerät von einer Bedienperson betreut, lässt die Norm ein einzelnes fest angeordnetes Mikrofon an der Bedienerposition zu; andernfalls fordert sie vier fest angeordnete Mikrofone (je eines an jeder Seite, 1 m/1.5 m) mit Mittelung der Ergebnisse. In unserem Anwendungsbereich, IT-Geräte und insbesondere PC-Systeme, gilt das Gerät jedoch als betreut.

Für die Ermittlung des Emissions-Schalldrucks in einem festgelegten Abstand ist das Verfahren nach ISO 7779/11201 die anerkannte Praxis. Speziell für Telekommunikationsgeräte verweisen Normen wie ETSI EN 300 753 für die Einhaltung akustischer Anforderungen schlicht auf die Verfahren nach ISO 7779/ISO 3744 – das heißt, die Mikrofongeometrie 1 m/1.5 m (nach ISO 7779) ist in der Telekommunikationsbranche für Geräuschemissionsmessungen tatsächlich anerkannt. All diese Quellen bestätigen, dass ein einzelnes fest angeordnetes Mikrofon in 1 m Abstand (und 1.5 m Höhe, 30° Schalleinfall) eine offiziell unterstützte Konfiguration für die Messung und Zertifizierung des Luftschalls von IT- und Telekommunikationsgeräten ist.

EMI-Störaussendungen – Erläuterung und Ausrüstung

Jedes elektronische Gerät, einschließlich Netzteilen, kann eine EMI-Quelle sein, die je nach Höhe der abgegebenen Störaussendungen den ordnungsgemäßen Betrieb benachbarter Geräte beeinträchtigen kann. In extremen Fällen kann EMI diese sogar unbrauchbar machen. Zur Begrenzung elektromagnetischer Störungen (EMI) wurden verschiedene Normen geschaffen. Die entsprechenden Normen für IT-Produkte (Informationstechnik) sind CISPR 32 und die davon abgeleitete EN 55032, die für in der EU verkaufte Produkte gilt. In der EU muss jedes Produkt mit „CE“-Kennzeichnung die Norm EN 55032 erfüllen. CISPR 32 und EN 55032 teilen Geräte in zwei Klassen ein: A und B. Geräte der Klasse B sind für den Einsatz im Wohnbereich bestimmt. Daher sind ihre zulässigen Störaussendungen deutlich niedriger als die von Geräten der Klasse A.

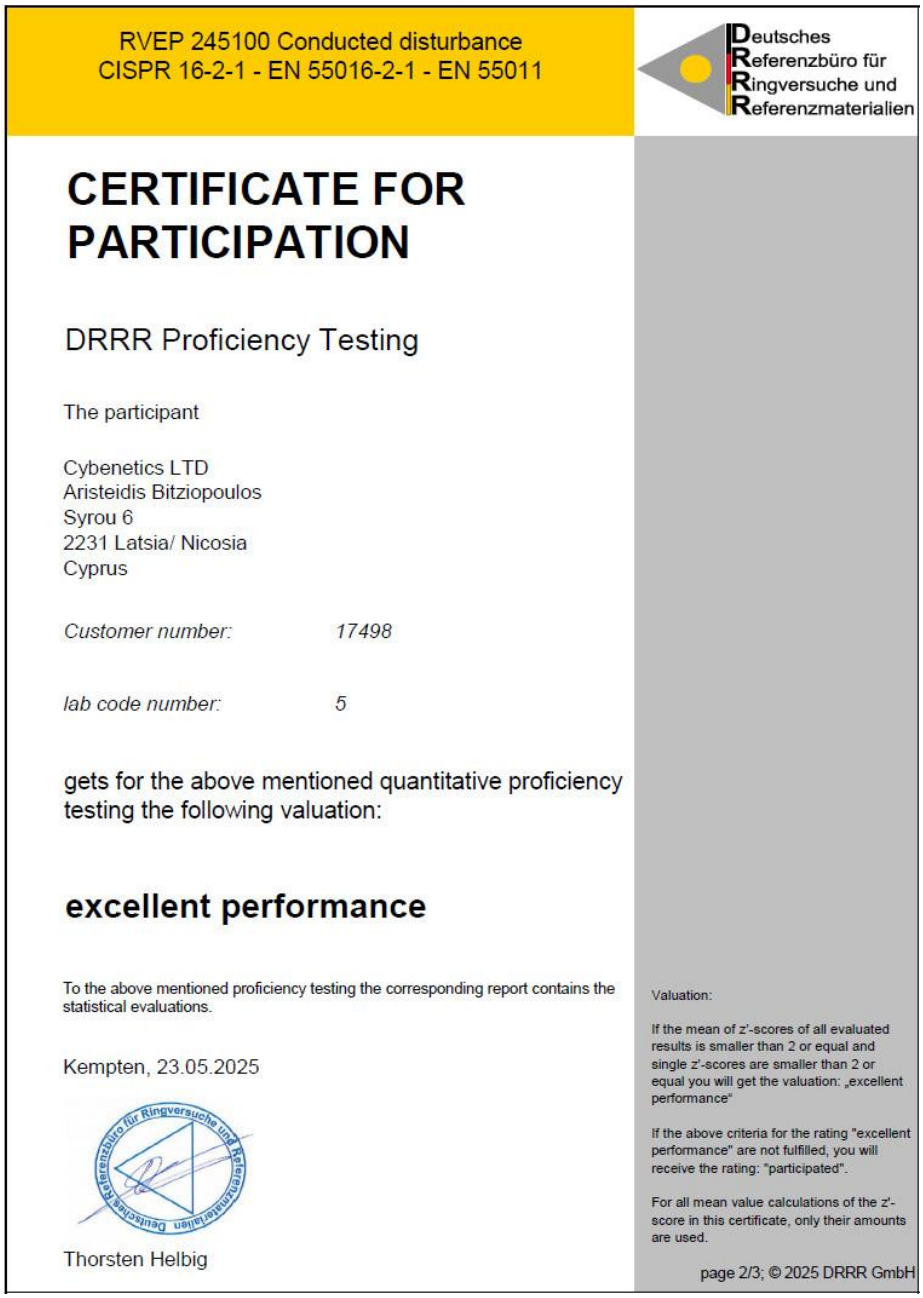
Die von uns zur Erfassung der EMI-Messwerte eingesetzte Ausrüstung:

- TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz
- Tekbox TBLC08 LISN
- Tekbox TBFL1 Transientenbegrenzer
- Tekbox TBHPF3 Filter

- Tekbox EMCview Software

EMI-Störaussendungen – Eignungsprüfung und Cybenetics-Zertifikat

Eine Eignungsprüfung (Proficiency Test, PT) nach ISO 17025 ist eine externe Bewertung, bei der die Prüf- oder Kalibrierergebnisse eines Labors mit denen anderer Labore an derselben Probe verglichen werden. Sie ist unerlässlich, da sie die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse eines Labors bestätigt, die technische Kompetenz nachweist und die Einhaltung der Anforderungen der ISO 17025 belegt, was für den Erhalt der Akkreditierung und das Vertrauen der Kunden entscheidend ist. Nachstehend finden Sie die Ergebnisse der von uns durchgeführten EMI-Eignungsprüfung.



RVEP 245100 Conducted disturbance
CISPR 16-2-1 - EN 55016-2-1 - EN 55011

Deutsches Referenzbüro für Ringversuche und Referenzmaterialien

CERTIFICATE FOR PARTICIPATION

DRRR Proficiency Testing

The participant

Cybenetics LTD
Aristeidis Bitziopoulos
Syrou 6
2231 Latsia/ Nicosia
Cyprus

Customer number: *17498*

lab code number: *5*

gets for the above mentioned quantitative proficiency testing the following valuation:

excellent performance

To the above mentioned proficiency testing the corresponding report contains the statistical evaluations.

Kempten, 23.05.2025

Thorsten Helbig

Valuation:

If the mean of z'-scores of all evaluated results is smaller than 2 or equal and single z'-scores are smaller than 2 or equal you will get the valuation: „excellent performance"

If the above criteria for the rating "excellent performance" are not fulfilled, you will receive the rating: "participated".

For all mean value calculations of the z'-score in this certificate, only their amounts are used.

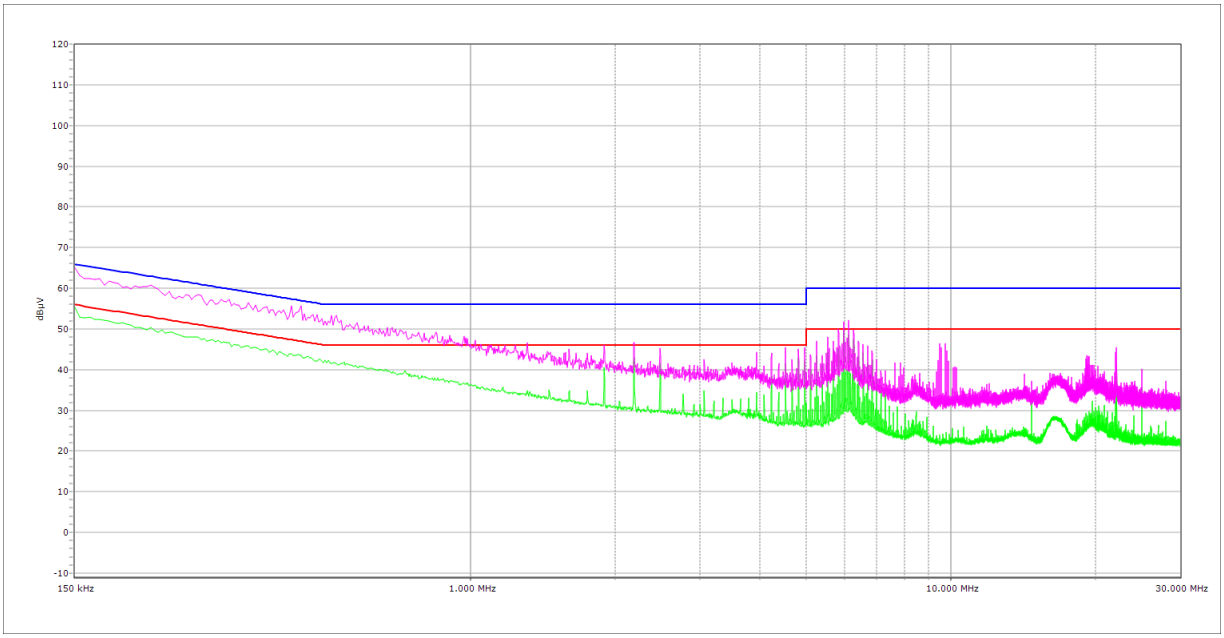
page 2/3; © 2025 DRRR GmbH

EMI-Störaussendungen – Grenzwerte nach CISPR 32 / EN55032

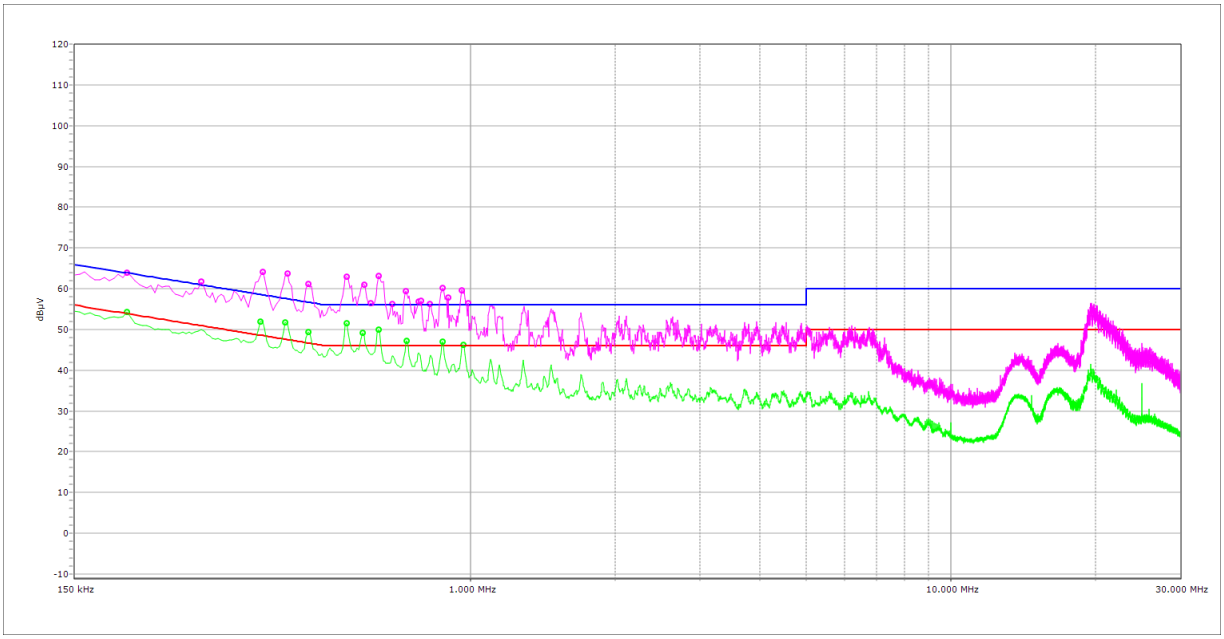
CISRP 32 / EN 55032 Grenzwert für leitungsgebundene EMI, Klasse A		
Störfrequenz (MHz)	Grenzwert leitungsgebunden (dBuV)	
	Quasi-peak	Average
0.15 - 0.50	79	66
0.50 - 30.0	73	60
CISPR 32 / EN 55032 Grenzwert für leitungsgebundene EMI, Klasse B		
Störfrequenz (MHz)	Grenzwert leitungsgebunden (dBuV)	
	Quasi-peak	Average
0.15 - 0.50	66 - 56	56 - 46
0.50 - 5.00	56	46
5.00 - 30.00	60	50
CISRP 32 / EN 55032 Grenzwert für gestrahlte EMI in 10 Meter Abstand, Klasse A		
Störfrequenz (MHz)	Grenzwert der Feldstärke (dBuV/m)	
30 - 88	39	
88 - 216	43.5	
216 - 960	46.5	
> 960	49.5	
CISRP 32 / EN 55032 Grenzwert für gestrahlte EMI in 3 Meter Abstand, Klasse B		
Störfrequenz (MHz)	Grenzwert der Feldstärke (dBuV/m)	
30 - 88	40	
88 - 216	43.5	
216 - 960	46.0	
> 960	54.0	

Bitte beachten Sie, dass die ATX-Spezifikation für leitungsgebundene und gestrahlte Störaussendungen eine Reserve von 4 dB zulässt. Überschreitet ein Netzteil die Grenzwerte, bleibt dabei aber innerhalb der 4-dB-Reserve, erfüllt es die entsprechende Anforderung der ATX-Spezifikation (8.1 Emissions). Die Grenzwerte nach CISPR 32 / EN55032 sehen diese Toleranz allerdings nicht vor.

EMI-Störaussendungen – EMI-Ergebnisse (Beispiele für Bestehen/Nichtbestehen)



In diesem Diagramm sind die Ergebnisse des Average-EMI-Detektors grün und die des Peak-EMI-Detektors violett dargestellt. Der Average-Detektor muss unterhalb der roten Linie und der Peak-Detektor unterhalb der blauen Linie bleiben. Um Zeit zu sparen, lassen wir den Peak-EMI-Detektor laufen, der den ungünstigsten Fall abbildet; besteht das Netzteil die Prüfung nicht, lassen wir den Quasi-Peak-EMI-Detektor laufen, der wesentlich länger dauert, die Spitzen jedoch glättet, sodass das Netzteil die Prüfungen möglicherweise doch besteht. In diesem Diagramm besteht das Netzteil beide Detektoren eindeutig erfolgreich.



Dies sind die Ergebnisse eines Netzteils, das sowohl beim Average- als auch beim Quasi-Peak-Detektor durchfällt. Beide müssen bestanden werden, damit das Netzteil die Anforderungen von CISPR 32 / EN55032 erfüllt.

Ein weiterer Hinweis: Wir führen zwei Sätze von EMI-Prüfungen durch, einen für die Phase und einen für den Neutralleiter. Der Phasenleiter führt eine wechselnde Spannung (positiv und negativ), während der Neutralleiter gegenüber Erde auf Nullpotential liegen soll. Man kann sich die Phase als "Zuleitung" und den Neutralleiter als "Rückleitung" für den Strom vorstellen.

Leistungsspitzen (Spezifikationen ATX v3.x und PCIe 5.x)

Zweck und Anwendungsbereich

Nachweis, dass das Netzteil festgelegte kurzzeitige Ausgangsleistungsspitzen oberhalb seiner Nenndauerleistung ohne Abschaltung, Latch-off oder Ausgangsverhalten außerhalb der Spezifikation verkraftet, gemäß den Anforderungen an Leistungsspitzen nach ATX v3.x (angewandt auf Netzteile nach ATX v3.x).

Gilt für:

- **Gesamtleistungsspitze des Netzteils (aggregiert über alle Schienen)**
- Netzteile >450 W mit vorhandenem 12VHPWR/12V-2x6 sowie Netzteile ≤450 W oder ohne 12VHPWR/12V-2x6 (unterschiedliche Spitzenprozentsätze)

Referenzen

- Intel “ATX Version 3 Multi Rail Desktop Platform Power Supply Design Guide” (PSU power excursion / Table 3-3). [13][14]

Definitionen

- **Zeitkonstante (Tc):**
  Grundlegendes (konstantes) Betriebsintervall, während dessen eine gleichbleibende Last anliegt (Zeitbereich).
- **Dauer der Leistungsspitze (Te):**
  Dauer auf dem Spitzenleistungsniveau (Impulsbreite, Zeitbereich).
- **P@Tc:**
  Konstante Grundausgangsleistung, die während Tc anliegt (üblicherweise gleich der Nenndauerleistung des Netzteils für die jeweilige Spitzenprüfung, Prated).
- **P@Te:**
  Ausgangsleistungsniveau, das während des Leistungsspitzen-Ereignisses (transiente Last) für die Dauer Te anliegt.
- **Spitzenniveau:**
  Pexc=k × P@Tc

  wobei k der Spitzenmultiplikator ist (Spitzenprozentsatz / 100).

- **Grenzwert für das Tastverhältnis:**
  Maximal zulässiges Verhältnis von Te zur Impulsperiode für jedes Spitzenniveau, wie in der maßgeblichen Tabelle für Leistungsspitzen nach ATX v3.x festgelegt.

Ausrüstung (Mindestanforderungen)

- Programmierbare elektronische DC-Last(en) mit schnellem Transientenmodus, die Folgendes leisten:
  - Sprungzeiten bis hinab zu 100 µs und reproduzierbare Impulsfolgen.
  - Ausreichende Leistung für bis zu 200% von Prated (bzw. für den in der Tabelle geforderten Höchstwert).
- Oszilloskop mit ausreichender Bandbreite + geeigneten Tastköpfen.
- Leistungsmessung (DC-Leistung je Schiene oder gesamt) mit ausreichender Abtastrate, um Impulshöhe und Zeitverhalten zu bestätigen.
- Netzteilansteuerung/-überwachung: PS_ON#, PWR_OK-Überwachung (optional, aber empfohlen).
- Temperaturüberwachung (Umgebung + Lufteintritt des Netzteils).

Prüfbedingungen

- **Eingang: Nominale AC-Eingangsspannung (im Bericht anzugeben, z. B. 230 V / 50 Hz).**
- **Umgebung: 23–28 °C (verbindlich).**
- **Aufwärmen: Netzteil ≥10 Minuten bei 100% Last betreiben (oder bis die Kriterien der thermischen Stabilisierung erfüllt sind).**

- **Verkabelung: Serienmäßiger Kabelbaum.**

Lastverteilung

Die ATX-Anforderungen an Leistungsspitzen beziehen sich auf die Gesamtleistung des Netzteils; um jedoch eine unrealistische Belastung einzelner Schienen zu vermeiden:

- Eine konstante Grundlast entsprechend dem Prüfszenario (120%, 160%, 180%, 200%) einstellen, die realistisch auf die Schienen verteilt wird:
    - Überwiegender Anteil auf +12 V (CPU/GPU), zuzüglich repräsentativer Anteile auf +5 V / +3.3 V (bzw. entsprechend der Klasse des Prüflings).
- Die Leistungsspitze wird durch Erhöhen der Last an +12 V erzeugt (dies entspricht der realen Ursache von Spitzen – CPU/GPU). Die Last auf den übrigen Schienen bleibt unverändert!
  Die genaue Lastaufteilung (Grundlast und Impulserhöhung) ist zu dokumentieren.

Erforderliche Spitzenprofile

Das zutreffende Lastszenario ist je nach Vorhandensein eines 12+4-poligen PCIe-Steckverbinders auszuwählen:

A) Netzteil > 450 W und 12VHPWR/12V-2x6 vorhanden

Diese Leistungsniveaus in Abhängigkeit von der Zeit anlegen (bezogen auf Prated):

- **200% für 100 µs, Tastverhältnis ≤ 5%**
- **180% für 1 ms, Tastverhältnis ≤ 8%**
- **160% für 10 ms, Tastverhältnis ≤ 12.5%**
- **120% für 100 ms, Tastverhältnis ≤ 25%**
- **100% dauerhaft (Grundlast)**

B) Netzteil ≤ 450 W oder kein 12VHPWR/12V-2x6

Die reduzierten Spitzenprozentsätze verwenden:

- **150% für 100 µs, Tastverhältnis ≤ 5%**
- **145% für 1 ms, Tastverhältnis ≤ 8%**
- **135% für 10 ms, Tastverhältnis ≤ 12.5%**
- **110% für 100 ms, Tastverhältnis ≤ 25%**
- **100% dauerhaft (Grundlast)**

Impulswiederholung: Eine Impulsperiode wählen, die den Grenzwert für das Tastverhältnis einhält.

Schritt-für-Schritt-Ablauf

1. **Einrichtung der Messmittel**

- +12 V am Ausgangssteckverbinder des Netzteils messen (oder am lastseitigen Ende – das Verfahren einheitlich angeben).
- PS_ON# und PWR_OK überwachen (empfohlen).
- Die Erfassung so konfigurieren, dass sie den Grundzustand vor dem Trigger und die vollständige Erholung einschließt.

2. **Grundzustand**
   - 100% Prated (aggregiert) anlegen und stabilisieren.
   - Stationäre Spannungen und Gesamtleistung aufzeichnen.
3. **Ablauf der Spitzenprüfung (jedes Niveau einzeln durchführen)**
   Für jedes Spitzenniveau (üblicherweise vom höchsten zum niedrigsten, jede andere Reihenfolge ist bei Dokumentation ebenfalls zulässig):
   - Grundlast auf P@Tc entsprechend dem Prüfszenario einstellen.
   - Die elektronische Last so programmieren, dass sie ΔP hinzufügt, sodass die Leistungsspitze (P@Te) den vorgesehenen Spitzenprozentsatz erreicht.
   - Eine Impulsfolge anlegen:
     - Mindestens: 10 Impulse (oder gemäß der eigenen Anforderung an die Wiederholpräzision).
     - Die Periode ist so zu wählen, dass der Grenzwert für das Tastverhältnis bei diesem TE eingehalten wird.
   - Aufzuzeichnen sind:
     - Minimale/maximale Schienenspannungen während des Impulses.
     - Etwaige Schutzereignisse (OPP/OCP/UVP/OTP), Abschaltung, Latch-off.
     - Erholungsverhalten nach dem Impuls (Rückkehr in den Regelbereich, Verhalten von PWR_OK).
4. **Nach der Prüfung**
   - 1–2 Minuten auf 100% Last zurückkehren und den normalen Betrieb überprüfen.
   - Erforderlichenfalls aus- und wieder einschalten und jedes ungewöhnliche Wiederanlaufverhalten festhalten.

Methodik der Sprungantwortmessung

Dieser Unterabschnitt beschreibt, wie der transiente Spannungseinbruch erfasst und wie die für die obige Bewertung von Bestehen/Nichtbestehen herangezogene absolute Worst-Case-Mindestspannung der Schiene rekonstruiert wird. Statt den Oszilloskopkanal direkt auf die Schiene zu legen (DC-gekoppelt, mit einem Bereich, der den vollen Pegel von 12 V / 5 V / 3.3 V umfasst) und das Minimum aus dieser

Kurve abzulesen, messen wir den Einbruch selbst. Ein weiter DC-gekoppelter Bereich verschenkt nahezu die gesamte Auflösung des Oszilloskops; das nachfolgende Verfahren bewahrt sie.

Grundgedanke: den Einbruch messen, nicht das gesamte Signal

Für jede Schiene wird der PicoScope-Kanal wie folgt konfiguriert:

1. AC-Kopplung. Der Kanal ist AC-gekoppelt, sodass der stationäre DC-Anteil der Schiene (der Pegel von ca. 12 V, 5 V, 3.3 V oder 5 VSB) gesperrt wird. Nur die Abweichung – der transiente Einbruch und dessen Erholung – gelangt an den ADC.

2. Kleiner vertikaler Bereich. Da der große DC-Anteil entfällt, wird ein sehr kleiner, um null zentrierter vertikaler Bereich verwendet (automatisch gewählt, typischerweise ±100 mV bis ±5 V). Der 8-bit-ADC verteilt dann seinen gesamten Codebereich über dieses kleine Auslenkungsfenster. Ein Einbruch von ca. 200 mV, aufgezeichnet im Bereich ±200 mV, wird mit einer Genauigkeit im Millivoltbereich aufgelöst, während derselbe Einbruch im vollen Bereich ±12 V nur wenige ADC-Codes belegen würde – grob und verrauscht. Dies ist das Genauigkeitsargument: Durch das Isolieren des Einbruchs setzen wir 100% der Auflösung des Messgeräts genau auf die eine Größe, die wir messen wollen.

3. Jeder Abtastwert wird ausgewertet – keine Mittelung, keine Dezimierung. Die Erfassung erfolgt ohne Unterabtastung (DownSamplingMode.None), und jeder Abtastwert wird nach der größten Auslenkung durchsucht. Es handelt sich nicht um ein hardwaregemitteltes oder geglättetes „Minimum“, sondern um die tatsächliche momentane Worst-Case-Abweichung. Der schnellste Sprung von 100 µs wird als getriggerte Blockerfassung aufgezeichnet; längere Sprünge werden per Streaming mit hoher Rate erfasst.

4. Auf die Basislinie bezogener Einbruch. Unmittelbar vor jedem Lastsprung wird aus dem Bereich vor dem Ereignis derselben Erfassung eine lokale Basislinie berechnet (der Mittelwert vor dem Trigger, wobei die letzten ca. 10% ausgeschlossen werden, damit die ansteigende Flanke ihn nicht verfälscht). Der berichtete Einbruch wird relativ zu dieser lokalen Basislinie gemessen und ist damit unempfindlich gegenüber langsamer Drift oder einem verbleibenden Offset.

Das Oszilloskop liefert somit eine Zahl je Schiene: Drop_V, den Betrag der größten negativen Auslenkung während des Lastsprungs.

Die Basis: die Anfangsspannung (Tc)

Ein AC-gekoppeltes Oszilloskop kann die absolute Spannung nicht angeben – es erfasst nur Abweichungen –, daher wird das Oszilloskop niemals für den Absolutpegel herangezogen. Stattdessen wird die Messung an der anfänglichen stationären Spannung bei der Lastbedingung Tc (Ausgangszustand) verankert, die über den präzisen DC-Pfad (Leistungsanalysator / elektronische Last) gemessen wird, der kalibriert und absolut genau ist. Dieser Wert wird als Vbefore (auch Vinitial) bezeichnet: die eingeschwungene Spannung der Schiene im Ausgangszustand Tc, unmittelbar vor dem Lastsprung erfasst, und zwar von den DC-/Lastmessmitteln – niemals vom Oszilloskop.

Zusammenführung

Die absolute Mindestspannung während des Lastsprungs wird wie folgt rekonstruiert:

Vmin = Vbefore − Drop_V

Vbefore ist die genaue absolute Referenz aus dem kalibrierten DC-/Lastpfad bei der Anfangslast Tc. Drop_V ist die genaue Differenz aus der AC-gekoppelten Oszilloskoperfassung mit kleinem Bereich und voller Auflösung. Bestehen bzw. Nichtbestehen wird anhand von Vmin gegenüber dem für jede Schiene zulässigen Mindestgrenzwert bewertet.

Warum dies genauer ist als eine reine Absolutmessung mit dem Oszilloskop

Jedes Messmittel wird nur für das eingesetzt, was es am besten kann. Der DC-/Lastpfad liefert die genaueste absolute Referenz (die Anfangsspannung); das AC-gekoppelte Oszilloskop mit kleinem Bereich liefert die genaueste Differenz (den Einbruch). Keines der beiden Messmittel könnte für sich allein ein genaues absolutes Worst-Case-Minimum liefern – ein DC-gekoppeltes Oszilloskop mit weitem Bereich verschwendet seine Auflösung auf den statischen Pegel, und ein DC-Messgerät ist viel zu langsam, um einen Einbruch im Mikrosekundenbereich zu erfassen. Die Kombination der genauen Basis mit der genauen Differenz ergibt ein absolutes Worst-Case-Minimum, das enger gefasst ist, als es eines der Messmittel allein liefern könnte – und genau das erfordert ein enger Grenzwert für die Sprungantwortregelung.

Kriterien für Bestehen/Nichtbestehen

Ein Prüflauf gilt als BESTANDEN, wenn für alle geforderten Spitzenniveaus gilt:

- Das Netzteil schaltet während der Spitzenimpulse nicht ab und geht nicht in den Latch-off-Zustand (kein Auslösen von OPP/UVP/OCP).
- Die Ausgangsschienen bleiben innerhalb der in den maßgeblichen ATX-v3.x-Tabellen festgelegten Regelgrenzen. (Table 3-5 legt +5%/-8% für 12V am 12V-2x6-Steckverbinder fest, Table 4.2 legt +5%/-7% für die 12V-Schiene an den übrigen Steckverbindern sowie ±5% für die übrigen Schienen (5V, 3.3V und 5VSB) fest.
- Nach jedem Impuls kehren die Ausgänge in den stationären Regelbereich zurück.

Ein Prüflauf gilt als NICHT BESTANDEN, wenn bei einem geforderten Niveau:

- Schutzfunktionen/Abschaltung/Latch-off ausgelöst werden.
- Ein Spannungsverhalten außerhalb der Spezifikation über die genannten Grenzwerte hinaus auftritt.
- Ein anormales Erholungsverhalten auftritt (anhaltender Spannungseinbruch, Schwingen, wiederholte Neustarts).

Aufzuzeichnende Daten (Mindestangaben im Bericht)

- Identifikation des Prüflings (Modell, Nennleistung, Schienen, Steckverbinder, Vorhandensein von 12VHPWR/12V-2x6).
- Eingangsbedingungen (Vac, Hz), Umgebungstemperatur, verwendete Stabilisierungskriterien.
- Verteilung der Grundlast je Schiene.
- Für jedes Spitzenniveau:

    - Ziel-% und TE, verwendetes Tastverhältnis, Impulsanzahl, Impulsperiode.
    - Tatsächlich gemessener Spitzenwert von Ptotal und TE (wie erreicht).
    - Minimale Schienenspannungen während des Impulses, Erholungszeit.
    - Etwaige Schutzereignisse / Neustarts.
- Oszilloskopaufzeichnungen.

Anforderungen an die Netzteilverkabelung

Je dicker die Adern der Netzteilkabel, desto geringer die Spannungsabfälle bei hohen Lasten und damit desto höher der Wirkungsgrad und desto besser die Lastregelung; dickere Querschnitte sind bei gleichem Material jedoch auch teurer als dünnere. Deshalb legt die ATX-Spezifikation Mindestwerte für den Aderquerschnitt fest, denen Cybenetics nicht nur folgt, sondern die wir in manchen Fällen sogar verschärfen.

Grundsätzlich gelten für alle Adern, die Leistungsleitungen führen, folgende Mindestanforderungen an den Querschnitt:

- Hauptstromstecker: 18AWG (für die Leistungsadern; 22AWG für Sense)
- EPS: 18AWG
- PCIe 6+2-polig: 18AWG (für die Leistungsadern; 20AWG für Sense)
- PCIe 12+4-polig: 16AWG (für die Leistungsadern; 28AWG für Sense)
- SATA: 18AWG
- Molex 4-polig: 18AWG

Zum 12+4-poligen 12V-2x6-Kabel (bzw. 12VHPWR) gibt es Einwände: Da bei manchen Netzteilen der entsprechende Steckverbinder auf niedrigere Werte als 600W (450W oder 300W) ausgelegt ist, wird gefragt, warum 16AWG gefordert wird, wenn 18AWG-Adern die geringeren Leistungseinstellungen bewältigen könnten. Der Grund ist, dass genau dieses Kabel als einziges mit allen Netzteilen kompatibel ist – unabhängig von Marke und Hersteller –, sofern diese einen nativen 12+4-poligen Anschluss auf ihren modularen Platinen verwenden. Anwender können diese Kabel also an jedem Netzteil nach ATX v3.1 mit nativem Anschluss verwenden; sind die leistungsführenden Adern dünner als 16AWG, kann es daher bei der vollen Leistungseinstellung dieses Steckverbinders (600W) zu Problemen kommen.

Die Anforderung von 16AWG für die leistungsführenden Adern gewährleistet Kompatibilität und Sicherheit in allen Anwendungsszenarien und Fällen. Da es sich um eine Sicherheitsfrage handelt, empfehlen sowohl Intel als auch Cybenetics die Verwendung von 16AWG-Adern bei 12V-2x6- oder 12VHPWR-Kabeln (es handelt sich um dasselbe, nur die Bezeichnung ändert sich), unabhängig vom Netzteil und der Einstellung seines entsprechenden Anschlusses.

Neben dem Aderquerschnitt beeinflussen weitere Faktoren den Widerstand und die Strombelastbarkeit von Kabeln, insbesondere natürlich das für den Leiter verwendete Material. Kupfer ist gegenüber Aluminium vorzuziehen, das eine deutlich geringere Leitfähigkeit aufweist. Das einzige Problem dabei ist, dass Aluminium günstiger ist, weshalb es häufig in den Kabeln preiswerter Netzteile verwendet wird.

Cybenetics wird ab sofort (August 2025) die Art der Leiter der geprüften Netzteile bewerten und in die folgenden Kategorien einordnen:

- Reines Kupfer
- CCA (Copper-Clad Aluminum)
- CCS (Copper-Clad Steel)

Es gibt eine weitere Kategorie, CCC (Copper-Clad Copper), doch solche Kabel sind nur schwer zu erkennen.

In jedem Fall sind Kabel aus reinem Kupfer vorzuziehen, da Kupfer einen geringeren Widerstand als Aluminium und Stahl aufweist. Darüber hinaus neigen CCA-Kabel aufgrund mechanischer Schwächen zur Ermüdung. Aluminium bricht und korrodiert eher als Kupfer. CCS-Kabel sind fester als CCA-Kabel, jedoch weniger flexibel, sodass die Kabelverlegung schwieriger ist. Zudem sind Stahlkerne korrosionsanfällig, was mit der Zeit zu einer deutlichen Verschlechterung der Eigenschaften führt.

Auch die Kabelisolierung ist entscheidend und kann im Abschnitt zu den Schutzfunktionen eine wesentliche Rolle spielen. Erforderlich ist ein hitzebeständiger, flexibler und beanspruchungsfester Außenmantel, der die Leiter wirksam schützt.

Ebenfalls zu vermeiden sind zwei Hochleistungssteckverbinder an demselben Kabel. Werden beispielsweise zwei EPS-Steckverbinder an demselben Kabel verwendet, kann dies zu Problemen führen, wenn beide stark belastet werden und hohe Betriebstemperaturen herrschen. Grundsätzlich sollten EPS-Steckverbinder auf eigenen Kabeln installiert werden (einer je Kabel); idealerweise sollte dies auch für 6+2-polige Steckverbinder gelten. Wenn eine Grafikkarte mit zwei oder mehr 6+2-poligen PCIe-Buchsen zu versorgen ist, sind vorzugsweise eigene PCIe-Kabel zu verwenden.

Berechnung der Gesamtbewertung

Es ist anspruchsvoll, die Gesamtleistung eines komplexen Produkts wie eines Netzteils mit einer einzigen Zahl zu beschreiben, da wir eine sehr große Zahl von Prüfungen durchführen und viel zu viele Faktoren zu berücksichtigen sind. Dennoch haben wir bislang Tausende von Netzteilen geprüft, und unsere Datenbank umfasst enorme Datenmengen, die es uns ermöglicht haben, den bislang besten Algorithmus für diese Aufgabe zu finden. Wir sind bestrebt, unsere Methodik fortlaufend zu verbessern; daher ist es sehr wahrscheinlich, dass wir diesen Algorithmus künftig ändern, um ihn noch genauer zu machen. Da uns bereits sämtliche Daten vorliegen, lassen sich die Gesamtleistungswerte aller Netzteile in unserer Datenbank bei jeder Änderung des Leistungsalgorithmus problemlos neu berechnen.

Unser Algorithmus für die Gesamtbewertung berücksichtigt alle wesentlichen Leistungsfaktoren:

- Lastregelung
- Restwelligkeitsunterdrückung
- Abweichung der Sprungantwort bei den Transientenprüfungen
- Spannungsüberschwinger bei den Einschalttransienten-Prüfungen
- Durchschnittlicher Wirkungsgrad
- Der Wirkungsgrad bei 2% Last

- Durchschnittlicher Wirkungsgrad der Standby-Schiene
- Standby-Leistungsaufnahme
- Durchschnittlicher Leistungsfaktor
- Überbrückungszeit
- Power-ok-Signal
- Maximale Leistung
- Zeitverhalten des Netzteils
- Schutzfunktionen des Netzteils

Lastregelung

In einer idealen Welt würde ein Netzteil unabhängig von der Last ein konstantes Spannungsniveau halten, doch in realen Szenarien tritt auf jeder Schiene mit steigender Last stets ein Spannungsabfall auf. In unseren Prüfungen zeigt die Spannungsregelung die Differenz zwischen den anfänglichen Spannungsmesswerten bei 20W Last (und nicht ganz ohne Last, da viele Netzteile ohne Last auf ihren Schienen nicht gut arbeiten und manche über eine Leerlaufschutzfunktion verfügen) und den Spannungsmesswerten aller Schienen bei Volllast.

Die Bewertung der Spannungsregelung berechnen wir für alle Bewertungen anhand der folgenden Gleichung:

$$\boldsymbol{Eq_1 = 1.2\ x\ V.Reg_{+12V} + 0.6\ x\ (V.Reg_{+5V} + V.Reg_{+3.3V}) + 0.3\ x\ V.Reg_{5VSB}}$$

Die obige Formel zeigt, dass 5V und 3.3V einen geringeren Gewichtungsfaktor haben und 5VSB den geringsten. Der Grund ist, dass die +12V-Schiene in einem System bei Weitem die wichtigste ist und ihre Stabilität entscheidend ist. Denselben Ansatz verwenden wir auch in den übrigen nachfolgenden Formeln.

Restwelligkeitsunterdrückung

Die Restwelligkeit umfasst die (periodischen) Wechselanteile und das (zufällige) Rauschen auf den DC-Schienen eines Netzteils. Wir entnehmen die Restwelligkeitswerte aller Schienen der Prüfung bei 100% Last und führen sie in der nachstehenden Gleichung zusammen.

$$\boldsymbol{Eq_2 = 0.08\ x\ Ripple_{+12V} + 0.04\ x\ (Ripple_{+5V} + Ripple_{+3.3V}) + 0.02\ x\ Ripple_{5VSB}}$$

Sprungantwort

Wie gut ein Netzteil auf plötzliche Laständerungen reagiert, ist ein ausgezeichneter Hinweis auf die Leistungsqualität der Einheit. Daher ziehen wir zur Berechnung der Leistung die maximale Abweichung heran, die jede Schiene in sämtlichen von uns durchgeführten Sprungantwortprüfungen aufgewiesen hat.

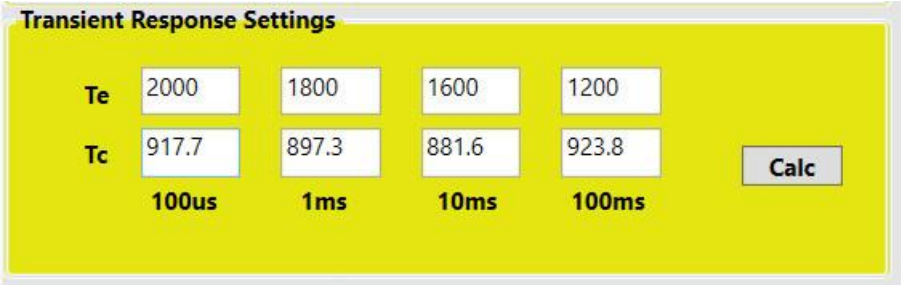
Wir führen eine Reihe unterschiedlicher Transientenprüfungen durch. Nachstehend finden Sie die Standardprüfungen, die wir bei Netzteilen anwenden, die nicht der Spezifikation ATX v3.x und ihren künftigen Revisionen entsprechen:

- Während das Netzteil bei 20 Prozent Last arbeitet, wird 20ms lang eine transiente Last angelegt (15A an +12V, 6A an 5V und 3.3V sowie 0.5 A an 5VSB).
- Bei 50 Prozent Last wird das Netzteil mit derselben transienten Last beaufschlagt.
- Auch in den folgenden Prüfungen verwenden wir dieselben Ausgangspunkte, also 20 und 50 Prozent Last. Zusätzlich erhöhen wir jedoch die Wiederholrate der Laständerung von 50 Hz (20ms) auf 1 kHz (1ms). Auf diese Weise belasten wir das Netzteil noch stärker.
- Bei allen Prüfungen messen wir die Spannungseinbrüche, die die plötzliche Laständerung verursacht. Die Spannungen sollten innerhalb der Regelgrenzen der ATX-Spezifikation bleiben.

Bei Netzteilen, die die Anforderungen der Spezifikation ATX v3.x [13][14] erfüllen, führen wir einen zusätzlichen, anspruchsvolleren Satz von Sprungantwortprüfungen durch, der in der genannten Spezifikation beschrieben ist.

Leistungsspitze in % der Nennleistung des Netzteils Netzteile ≤ 450 Watt und Netzteile ohne 12VHPWR-Steckverbinder	Leistungsspitze in % der Nennleistung des Netzteils Netzteile > 450 Watt und 12VHPWR-Steckverbinder	Dauer der Leistungsspitze (TE)	Tastverhältnis bei der Prüfung
100%	100%	Unendlich	--
110%	120%	100ms	25
135%	160%	10ms	12.5
145%	180%	1ms	8
150%	200%	100us	5

Zur Berechnung der Leistungsniveaus für die konstanten Abschnitte (Power @ TC) und der Leistungsniveaus während der Leistungsspitzen (Power @ TE) verwenden wir eine von uns entwickelte spezielle Anwendung, die auf dem aktuellsten Intel Test Plan beruht.



Anzumerken ist außerdem, dass die Spezifikation ATX v3.x aufgrund der neuen Anforderungen an Leistungsspitzen bei 12V Spannungseinbrüche von bis zu -8% an den PCIe-Steckverbindern und bis zu -7% an den übrigen Steckverbindern zulässt. Hersteller können zudem die Nennspannung dieser Schiene auf 12.1V oder 12.2V anheben, um niedrige Spannungswerte zu vermeiden.

Um die Vergleichbarkeit mit zuvor geprüften Netzteilen zu wahren, verwenden wir die folgende Gleichung mit Daten sowohl aus den Standard- als auch aus den ATX-v3.x-Sprungantwortprüfungen. Für Netzteile, die die strengeren Sprungantwort-Anforderungen von ATX v3.x erfüllen, gibt es jedoch einen Bonus von 0.5 Punkten.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{Eq_3} = \mathbf{2}\ \boldsymbol{x}\ \boldsymbol{Max.Tran.Response_{+12V}} \\ + \mathbf{0.2}\ \boldsymbol{x}\ (\boldsymbol{Max.Response_{+5V}} + \boldsymbol{Max.Tran.Response_{+3.3V}}) \\ + \mathbf{0.1}\ \boldsymbol{x}\ \boldsymbol{Max.Tran.Response_{5VSB}} + \boldsymbol{ATX\ v3.0\ Bonus}\ (\mathbf{0.5}) \end{aligned}$$

Spannungsüberschwinger beim Einschalten

Die Leistungsberechnung ist bei diesen Prüfungen vergleichsweise einfach, da wir lediglich den ungefähren Wert der erfassten Spitze im Vergleich zum Nennwert der Schienen +12V und 5VSB heranziehen. Bei +12V verwenden wir nur den höheren Spannungsüberschwinger und lassen den anderen (sofern vorhanden) unberücksichtigt. Ein Beispiel: Beträgt der höchste erfasste Spannungsüberschwinger an +12V +12.5V, so beläuft sich die Spitze auf 0.5V (12.5V – 12.0V); diesen Wert setzen wir in unsere Gleichung ein.

$$\boldsymbol{Eq_4} = \mathbf{1.25}\ \boldsymbol{x}\ (\boldsymbol{Turn_On_Spike_{+12V}} + \boldsymbol{Turn_On_Spike_{5VSB}})$$

Durchschnittlicher Wirkungsgrad

Wir haben den Mittelwert aller Lastkombinationen (>1450) herangezogen, um den durchschnittlichen Wirkungsgrad des Netzteils für die ETA-Zertifizierung zu ermitteln.

$$\boldsymbol{Eq_5} = \mathbf{0.8}\ \boldsymbol{x}\ (\mathbf{100} - \boldsymbol{AVG_Efficiency_Score})$$

Wirkungsgrad bei 2% der maximalen Nennleistung oder bei 10W (für Netzteile <500W)

Gemäß der ATX-Spezifikation [reference] ist die niedrigste DC-Last im Idle-Modus für Mainstream-Computer auf 10 Watt festgelegt. Bei Computern mit einem Netzteil über 500 Watt ist zudem mit mehr Komponenten zu rechnen, sodass der Idle-Modus bei einer höheren DC-Last liegt. Bei Netzteilen über 500 Watt wird der Wirkungsgrad bei geringer Last am 2%-Lastpunkt bestimmt.

$$\boldsymbol{Eq_6} = \mathbf{0.03}\ \boldsymbol{x}\ (\mathbf{100} - \boldsymbol{Efficiency_with_2\%_or_10W_load})$$

Durchschnittlicher 5VSB-Wirkungsgrad

Der Mittelwert aller von uns angewandten Lastkombinationen, mit dem der durchschnittliche Wirkungsgrad der 5VSB-Schiene für die ETA-Zertifizierung ermittelt wird.

$$\boldsymbol{Eq_7} = \mathbf{0.1}\ \boldsymbol{x}\ (\mathbf{100} - \boldsymbol{5VSB_AVG_Efficiency_Score})$$

Standby-Leistungsaufnahme

Die Leistung, die ein Netzteil im Standby benötigt, wird als Vampirleistung oder Phantomleistung bezeichnet, da sie aufgenommen wird, ohne dass das Netzteil etwas leistet. Diese Leistung geht überwiegend in der Standby-Schaltung des Netzteils verloren.

$$\boldsymbol{Eq_8 = 6\ x\ Vampire_Power}$$

Durchschnittlicher PF

Der Mittelwert aller von uns angewandten Lastkombinationen (>1450) dient zur Ermittlung des durchschnittlichen PF-Werts des Netzteils für die ETA-Zertifizierung.

$$\boldsymbol{Eq_9 = 50\ x\ (1 - Average_PF_Score)}$$

Überbrückungszeit

Die Überbrückungszeit bezeichnet die Zeitspanne, üblicherweise in Millisekunden gemessen, während der ein Netzteil ohne Eingangsleistung die von der ATX-Spezifikation festgelegten Ausgangsregelgrenzen einhalten kann. Einfach ausgedrückt ist die Überbrückungszeit die Zeitspanne, in der das System bei einer Unterbrechung der Stromversorgung weiterlaufen kann, ohne abzuschalten oder neu zu starten. Die ATX-Spezifikation legt bis v3.0 die minimale Überbrückungszeit bei maximaler Dauerausgangslast auf 17ms fest. ATX v3.1 hat die minimale Überbrückungszeit auf 12ms geändert; für unseren Leistungsalgorithmus behalten wir jedoch die längere Zeitspanne von 17ms bei.

$$\boldsymbol{Eq_{10} = 0.15\ x\ (17 - \ Hold_up_time)}$$

Power-ok-Signal

Gemäß der ATX-Spezifikation ist PWR_OK ein "Power-Good"-Signal. Dieses Signal sollte daher vom Netzteil auf High, also 5V, gesetzt werden, um anzuzeigen, dass die Ausgänge +12V, 5V und 3.3V innerhalb der Regelgrenzen liegen und dass der APFC-Wandler ausreichend Netzenergie speichert, um einen unterbrechungsfreien, spezifikationsgerechten Betrieb für mindestens 17ms zu gewährleisten. Umgekehrt sollte PWR_OK auf Low, also 0V, zurückgenommen werden, sobald eine der Ausgangsspannungen +12V, 5V oder 3.3V unter ihre Unterspannungsschwelle fällt oder die Netzversorgung so lange unterbrochen war, dass der Betrieb des Netzteils nicht mehr gewährleistet werden kann. Zudem ist die minimale Überbrückungszeit von AC-Ausfall bis PWR_OK auf 16ms festgelegt, also kürzer als die Überbrückungszeit; die ATX-Spezifikation legt außerdem eine Verzögerung von PWR_OK-inaktiv bis DC-Ausfall fest, die mehr als 1ms betragen sollte. Das bedeutet, dass die Überbrückungszeit von AC-Ausfall bis PWR_OK in jedem Fall kürzer sein sollte als die gesamte Überbrückungszeit des Netzteils; damit ist sichergestellt, dass das Netzteil keinesfalls weiterhin ein Power-Good-Signal sendet, während eine der Schienen +12V, 5V oder 3.3V außerhalb der Spezifikation liegt.

Vor diesem Hintergrund liegt bei einem PWR_OK-Signal, das länger als die Überbrückungszeit anliegt, eine Falschmeldung des Power-ok-Signals des Netzteils vor, und unser Algorithmus zur Berechnung der Gesamtbewertung zieht Leistungspunkte ab. Die Überbrückungszeit des PWR_OK-Signals muss zudem mindestens 1ms kürzer sein als die tatsächliche Überbrückungszeit, damit dem System genügend Zeit zum Herunterfahren bleibt, bevor die Spannungsschienen die Spezifikation verlassen.

Ist das PWR_OK-Signal korrekt, verwenden wir die folgende Gleichung:

$$\boldsymbol{Eq_{11} = 0.15\ x\ (PWR_OK_Hold_up_time - (Hold_up_time - 1))}$$

Hier gibt es drei Szenarien:

- Die PWR_OK_Hold_up_time ist genau 1ms kürzer als die Hold_up_time, sodass das Ergebnis null ist und die Gesamtbewertung unverändert bleibt.
- Die PWR_OK_Hold_up_time weicht um mehr als 1ms von der Hold_up_time ab, sodass sich das Ergebnis günstig auf die Gesamtbewertung auswirkt.
- Die PWR_OK_Hold_up_time ist länger als die Zeitspanne (Hold_up_time – 1ms), sodass Punkte von der Gesamtbewertung abgezogen werden.

Anzumerken ist, dass wir in dieser Gleichung für eine PWR_OK-Überbrückungszeit von weniger als 16ms keine Punkte abziehen, da wir in Eq10 bereits Punkte für Überbrückungszeiten von weniger als 17ms abziehen und in Eq11 ebenfalls die Überbrückungszeit eingeht. Und die Überbrückungszeit steht in engem Zusammenhang mit der PWR_OK-Überbrückungszeit.

Nennleistung

Der Vergleich ist alles andere als fair, wenn man die Messwerte für Lastregelung, Wirkungsgrad oder Restwelligkeit einer 400W-Einheit unmittelbar denen eines 1500W-Modells gegenüberstellt.

Betrachtet man beispielsweise die Spannungsregelung bei einer Last von 40W, so beträgt der Regelbereich bei einem 400W-Netzteil 360W (= 400W - 40W). Bei der Prüfung eines 1500W-Modells ist er jedoch weit größer: 1460W (= 1500W - 40W). Bei einem derart großen Unterschied wird die Einheit mit der geringeren Nennleistung naturgemäß höchstwahrscheinlich eine deutlich bessere Spannungsregelung oder Restwelligkeit aufweisen. Daher haben wir eine Normierung eingeführt, die dies ausgleicht. Dieser Faktor leitet sich unmittelbar aus der Nennleistung jeder Einheit ab.

$$\boldsymbol{Eq_{12} = 0.4\ x\ \left(\frac{Capacity}{100}\right)}$$

Zeitverhalten des Netzteils

Zur Erfüllung des Alternative Sleep Mode muss die Einschaltzeit (T1) kürzer als 150ms sein, während die PWR_OK-Verzögerung (T3) im Bereich von 100-150ms liegen muss. Zudem darf die Mindestzeit T3 nicht kürzer als 100ms sein. Für alle Einheiten, die die vorstehenden Anforderungen erfüllen und zugleich eine Überbrückungszeit von AC-Ausfall bis PWR_OK von

mehr als 16ms sowie eine Verzögerung von PWR_OK-inaktiv bis DC-Ausfall von mehr als 1ms aufweisen, gibt es einen Bonus. Wir führen die Messungen von T1 und T3 bei zwei unterschiedlichen Laststufen durch, 20% und 100%. Jedes Netzteil muss die vorstehenden Anforderungen in beiden Fällen erfüllen.

$$\boldsymbol{If\ T1 < 150ms\ \&\ (T3 > 100ms\ \&\ T3 < 150ms)}$$

$$\boldsymbol{\&\ PWR_OK \geq 16ms}$$

$$\boldsymbol{\&\ PWR_OK\ inactive\ to\ DC\ loss\ delay \geq 1ms}$$

$$\boldsymbol{then\ PSU_Timings_Result = 1}$$

Schutzfunktionen des Netzteils

Jedes Netzteil sollte über ein geeignetes Schutzkonzept verfügen, das einen sicheren Betrieb selbst unter rauen Bedingungen ermöglicht, ohne dass es ausfällt oder das versorgte System beeinträchtigt.

Der Überstromschutz (OCP) auf allen wesentlichen Schienen (+12V, 5V und 3.3V) sowie der Überlastschutz (OPP) müssen in einem vertretbaren Bereich und nicht zu hoch eingestellt sein. Sind diese Schutzfunktionen hoch eingestellt, mag das Netzteil bei normalen Temperaturen bestehen, doch besteht eine erhebliche Wahrscheinlichkeit, dass es bei höheren Betriebstemperaturen ausfällt. Zudem werden seine Schaltungen bei hohen Temperaturen stark beansprucht, weshalb die Auslösepunkte von OCP und OPP angemessen festgelegt sein sollten. Ein Netzteil muss zwar hohe Leistungsspitzen verkraften, die üblicherweise von Grafikkarten und hoch getakteten Prozessoren herrühren, doch zugleich sollten seine Schutzfunktionen sicherstellen, dass seine Bauteile der Aufgabe gewachsen und nicht überlastet sind. Nach unserer bisherigen Erfahrung sollten die Auslösepunkte des OCP bei Netzteilen mit einer einzelnen +12V-Schiene sowie des OPP innerhalb von 130% der jeweiligen Nennwerte liegen. Bei Netzteilen mit mehreren +12V-Schienen erweitern wir den zulässigen Bereich auf 135%.

Der Übertemperaturschutz (OTP) zählt zu den wichtigsten Schutzfunktionen eines jeden Netzteils. Die meisten Netzteilausfälle sind auf hohe Betriebstemperaturen zurückzuführen, weshalb ein ordnungsgemäß arbeitender OTP vorhanden sein muss, der entsprechend den Eigenschaften der Plattform eingestellt sein sollte. Bei Netzteilen mit semipassivem Betrieb ist der OTP üblicherweise etwas höher eingestellt als bei Netzteilen ohne passiven Betrieb.

Das PWR_OK-Signal ist für die Schutzfunktionen eines Netzteils von enormer Bedeutung. Da wir es jedoch bereits in Eq10 berücksichtigen, ist ein erneuter Bonus nicht erforderlich.

Kurzschlussschutz (SCP): Tritt am Ausgang ein Kurzschluss auf – nach der ATX-Spezifikation definiert als jede Ausgangsimpedanz von weniger als 0.1 Ohm –, sollte das Netzteil abschalten. Die einzige Ausnahme ist die 5VSB-Schiene, bei der sich das Netzteil bereits im Standby-Modus befindet. Sobald der Kurzschluss an 5VSB beseitigt ist, sollte das Netzteil den Betrieb ohne Probleme wieder aufnehmen.

Überspannungs- und Einschaltstromschutz (SIP) sind von großer Bedeutung; das Netzteil sollte mit den geeigneten Bauteilen ausgestattet sein, um diese beiden Schutzfunktionen bereitzustellen. Der Überspannungsschutz wird üblicherweise über einen MOV (Metalloxid-Varistor) realisiert. Der Einschaltstromschutz erfolgt dagegen über einen NTC-Thermistor, der zur Verbesserung des Schutzniveaus meist durch ein Überbrückungsrelais ergänzt wird.

Der Lüfterausfallschutz ist entscheidend, denn wenn der Lüfter des Netzteils stehen bleibt, können dessen Innentemperaturen kritische Werte erreichen. Bis der Übertemperaturschutz – sofern überhaupt vorhanden – anspricht, werden die Bauteile des Netzteils stark beansprucht, sodass ihre Lebensdauer erheblich beeinträchtigt wird. Der Lüfterausfallschutz sollte in jedem Netzteil vorhanden sein; deshalb haben wir uns entschieden, dafür einen Bonus zu vergeben, um alle Hersteller zu dessen Umsetzung zu bewegen.

AC-Eingang: Gemäß der ATX-Spezifikation v3.1 (Abschnitt 4.1) muss ein Netzteil bei 90 VAC unter Volllast anlaufen können. Wir gehen etwas darüber hinaus, indem wir fünf Minuten lang Volllast bei 90 VAC anlegen. Bei Netzteilen mit einem Bereich von 200-240 VAC stellen wir 180 VAC ein. Zudem darf ein Netzteil keinen Schaden nehmen, wenn die Eingangsspannung unter 90 VAC (bei Netzteilen mit Weitbereichseingang) bzw. unter 180 VAC (bei Netzteilen mit Eingangsbereich 200-240 VAC) fällt. Zur Überprüfung stellen wir entweder 80 VAC oder 170 VAC ein und erwarten, dass die Netzteile dies überstehen (das heißt, dass sie nach Anlegen der nominalen AC-Eingangsspannung wieder normal arbeiten).

Für jeden der folgenden Fälle vergeben wir Bonuspunkte.

- 0.25 Bonus: OCP an +12V, 5V und 3.3V innerhalb von 130% der jeweiligen Nennbelastbarkeit der Schiene, entweder ab Werk oder per Software (sofern das Netzteil eine Softwaresteuerung erlaubt). Bei Netzteilen mit mehreren +12V-Schienen lassen wir OCP-Auslösepunkte von bis zu 135% zu. Dieser Bonus gilt für jede der genannten Schienen und wird unabhängig vergeben; ein Netzteil kann also eine über dem Grenzwert liegende 12V-OCP, aber innerhalb der Grenzwerte liegende OCP auf den Nebenschienen aufweisen. In diesem Fall erhält es den OCP-Bonus für beide Nebenschienen. Der OCP-Bonus wird somit je Schiene vergeben und ist insgesamt bis zu 0.75 Punkte wert, also 0.25 für jede der drei Schienen.
- 0.25 Bonus: OPP innerhalb von 130%, entweder ab Werk oder per Software.
- 0.25 Bonus: OTP, der das Netzteil bei <190 Grad Celsius am sekundären Kühlkörper bzw. auf der Sekundärseite allgemein abschaltet
- 0.25 Bonus: SCP auf allen Schienen. Das Netzteil sollte nach längeren und wiederholten SCP-Prüfungen ordnungsgemäß arbeiten.
- 0.25 Bonus: Das Netzteil sollte mit einem MOV oder einer TVS-Diode (oder einer Kombination aus beidem) ausgestattet sein
- 0.25 Bonus: Das Netzteil sollte mit einem NTC-Thermistor und einem Überbrückungsrelais ausgestattet sein
- 0.25 Bonus: Das Netzteil sollte über einen Lüfterausfallschutz verfügen

Fällt ein Netzteil bei der Prüfung der Schutzfunktionen unter den oben beschriebenen Bedingungen aus (z. B. bei einer Last von höchstens 130% seiner maximalen Nennleistung oder bei einer Wärmeeinwirkung von weniger als 190 Grad Celsius auf der Sekundärseite), werden für die jeweilige Kategorie, die zum Ausfall des Netzteils geführt hat, keine Punkte vergeben. Ein Netzteil, das alle oben genannten Anforderungen erfüllt, erhält dagegen 2.25 Bonuspunkte, davon 0.75 für OCP über alle drei Schienen hinweg plus 0.25 für jeden der sechs verbleibenden Punkte.
Diese Ergebnisse der Schutzfunktionen werden bepunktet, nicht als Bestehensvoraussetzung gewertet: Sie tragen Bonuspunkte zur Gesamtleistungsbewertung bei und nichts weiter, und sie stellen keine Sicherheitsbewertung dar. Das Cybenetics SAFE-Programm [16] ist eine separate und unabhängige Zertifizierung mit eigenem Geltungsbereich, eigenen Kriterien und eigener Auszeichnung und wendet Kriterien an, die in diesem Protokoll nicht angewendet werden – darunter die Spannungsfestigkeit (hipot), der Isolationswiderstand, die Schutzleiterdurchgängigkeit, Berührungsstromgrenzwerte und die Überprüfung von Zulassungskennzeichnungen. Keine im Rahmen dieses Protokolls vergebene Auszeichnung, einschließlich ETA, LAMBDA und der Gesamtleistungsbewertung, deckt die SAFE-Zertifizierung ab, impliziert sie oder ersetzt sie, und eine SAFE-Zertifizierung setzt weder eine davon voraus noch ergibt sie sich aus einer davon.

Berechnung der Gesamtleistungsbewertung

Nachdem wir nun alle vorstehenden Faktoren berechnet haben, gilt es, sie zur endgültigen Leistungsbewertung (13) zusammenzuführen. Wir setzen wiederum 100 als perfekten Wert an, ziehen die Ergebnisse (1-11) ab und berücksichtigen abschließend die Nennleistung (12) sowie die Bonuspunkte für das Zeitverhalten und die Schutzfunktionen des Netzteils.

$$\boldsymbol{Eq_{13}} = \mathbf{100} - \sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\mathbf{11}} \boldsymbol{Eq_k} + \boldsymbol{Eq_{12}} + \boldsymbol{ATX\ v3.0\ Compatibility\ Bonus} + \boldsymbol{PSU\ Timing\ Bonus} + \boldsymbol{PSU\ Protection\ Bonus}$$

Das Ergebnis von (13) ist die Gesamtleistungsbewertung der Einheit.

Beispiele für die Berechnung der Gesamtleistungsbewertung

Beispiel A

Für dieses Beispiel verwenden wir das Wentai Aidan T1616 mit 115V Eingangsspannung:

$$\boldsymbol{Eq_1} = 1.2\ x\ 0.3 + 0.6\ x\ (1.48 + 2.4) + 0.3\ x\ 2.44 = 0.36 + 2.328 + 0.732$$
$$= 3.42\ \ (Load\ Regulation)$$
$$\boldsymbol{Eq_2} = 0.08\ x\ 27.46 + 0.04\ x\ (10.28 + 12.88) + 0.02\ x\ 14.44 = 2.1968 + 0.9264 + 0.2888$$
$$= 3.412\ (Ripple\ Supression)$$

$$\boldsymbol{Eq_3} = 2\ x\ 0.49 + 0.2\ x\ (1.63 + 3.05) + 0.1\ x\ 1.54 + 0 = \ \ 0.98 + 0.936 + 0.154$$
$$= 2.07\ (Transient\ Response)$$

$$\boldsymbol{Eq_4} = 1.25\ x\ (0.12 + 0) = 0.15\ (Turn - on\ Transient\ Response)$$

$$\boldsymbol{Eq_5} = 0.8\ x\ (100 - 92.713) = 5.8296\ (Average\ Efficiency)$$

$$\boldsymbol{Eq_6} = 0.03\ x\ (100 - 77.432) = 0.67704\ (Efficiency\ with\ 2\%\ load)$$

$$\boldsymbol{Eq_7} = 0.1\ x\ (100 - 82.381) = 1.7619\ (Average\ 5VSB\ Efficiency)$$

$$\boldsymbol{Eq_8} = 6\ x\ 0.0404641 = 0.242785\ (Standby\ Power\ Consumption)$$

$$\boldsymbol{Eq_9} = 50\ x\ (1 - 0.99) = 0.5\ (Average\ PF\ score)$$

$$\boldsymbol{Eq_{10}} = 0.15\ x\ (17 - 26.2) = -1.38\ (Hold - up\ time)$$

$$\boldsymbol{Eq_{11}} = 0.15\ x\ (25.2 - (26.2 - 1)) = 0\ (Power\ Ok\ signal\ hold - up\ time)$$

$$\boldsymbol{Eq_{12}} = 0.4\ x\ \left(\frac{1616}{100}\right) = 6.464\ (Capacity)$$

Bonus für ATX-v3.x-Kompatibilität: 0

Bonus für das Zeitverhalten des Netzteils: 0 (da T1 > 150ms in der Prüfung bei 20% Last und T3>150ms in beiden Prüfungen)

Bonus für die Schutzfunktionen des Netzteils: OCP: 0.25 (da 12V4 OCP > 135% und 5V OCP > 130%. Nur 3.3V OCP < 130%), OPP: 0.25 (innerhalb von 130%), OTP: 0.25 (<190°C), SCP: 0.25, MOV: 0.25, NTC-Thermistor und Relais: 0.25

Leistungsbewertung = 100 – 3.42 – 3.412 – 2.07 – 0.15 – 5.8296 – 0.67704 – 1.7619 – 0.242785 – 0.5 – (–1.38) – 0+ 6.464 + 0 + 0 + 1.5 = 91.280675

Beispiel B

Für dieses Beispiel verwenden wir das Corsair AX1600i mit 115V Eingangsspannung:

$$\boldsymbol{Eq_1} = 1.2\ x\ 0.24 + 0.6\ x\ (0.9 + 0.3) + 0.3\ x\ 1.32 = 0.288 + 0.72 + 0.396$$
$$= 1.404\ \ (Load\ Regulation)$$

$$\boldsymbol{Eq_2} = 0.08\ x\ 10.33 + 0.04\ x\ (6.24 + 14.98) + 0.02\ x\ 6.62 = 0.8264 + 0.8488 + 0.1324$$
$$= 1.8076\ (Ripple\ Supression)$$

$$\boldsymbol{Eq_3} = 2\ x\ 0.64 + 0.2\ x\ (1.4 + 2.87) + 0.1\ x\ 1.28 + 0 = \ \ 1.28 + 0.854 + 0.128$$
$$= 2.262\ (Transient\ Response)$$

$$\boldsymbol{Eq_4} = 1.25\ x\ (0 + 0.024) = 0.03\ (Turn - on\ Transient\ Response)$$

$$\boldsymbol{Eq_5} = 0.8\ x\ (100 - 92.221) = 6.2232\ (Average\ Efficiency)$$

$$\boldsymbol{Eq_6} = 0.03\ x\ (100 - 78.233) = 0.65301\ (Efficiency\ with\ 2\%\ load)$$

$$\boldsymbol{Eq_7} = 0.1\ x\ (100 - 81.807) = 1.8193\ (Average\ 5VSB\ Efficiency)$$

$\boldsymbol{Eq_8} = 6\ x\ 0.0457394 = 0.274436\ (Standby\ Power\ Consumption)$

$\boldsymbol{Eq_9} = 50\ x\ (1 - \ 0.992) = \ 0.4\ (Average\ PF\ score)$

$\boldsymbol{Eq_{10}} = 0.15\ x\ (17 - \ 26.7) = \ -1.455\ (Hold - up\ time)$

$\boldsymbol{Eq_{11}} = 0.15\ x\ (24.5 - (26.7 - 1)) = -0.18\ (Power\ Ok\ signal\ hold - up\ time)$

$\boldsymbol{Eq_{12}} = 0.4\ x\ \left(\frac{1600}{100}\right) = 6.4\ (Capacity)$

Bonus für ATX-v3.x-Kompatibilität: 0

Bonus für das Zeitverhalten des Netzteils: 0 (da T1 > 150ms in der Prüfung bei 20% Last und T3>150ms in beiden Prüfungen)

Bonus für die Schutzfunktionen des Netzteils: OCP: 0.50 (da 12V 135% nicht überschreitet und 3.3V unter 130% liegt, null Punkte für 5V), OPP: 0.25 (innerhalb von 130%), OTP: 0.25 (<190°C), SCP: 0.25, MOV: 0.25, NTC-Thermistor und Relais: 0.25

Leistungsbewertung = 100 – 1.404 – 1.8076 – 2.262– 0.03 – 6.2232 – 0.65301 – 1.8193 – 0.274436 – 0.4 – (–1.455) – (– 0.18) + 6.4 + 0+ 0 + 1.75 = 94.911454

Keines der beiden Rechenbeispiele enthält den Bonus für die Lüfterausfall-Schutzfunktion, der mit Revision 2.9 eingeführt wurde. Beide Beispiele bleiben wie ursprünglich berechnet.

Beispiel für einen Prüfbericht

Cybenetics

EFFICIENCY AND NOISE LEVEL CERTIFICATIONS

Anex

Corsair AX1600i (Sample #3)

Lab ID#: CR16001631
Receipt Date: -
Test Date: Apr 1, 2020

Report: 20PS1631A
Report Date: Apr 6, 2020

DUT INFORMATION

Brand	Corsair
Manufacturer (OEM)	Flextronics
Series	AXi
Model Number	AX1600i (Sample #3)
Serial Number	174295600000049040027
DUT Notes	Balanced Profile

DUT SPECIFICATIONS

Rated Voltage (Vrms)	100-240
Rated Current (Arms)	18-9
Rated Frequency (Hz)	50-60
Rated Power (W)	1600
Type	ATX12V
Cooling	140mm Fluid Dynamic Bearing Fan (NR140P)
Semi-Passive Operation	✓ (selectable)
Cable Design	Fully Modular

POWER SPECIFICATIONS

Rail		3.3V	5V	12V	5VSB	-12V
Max. Power	Amps	30	30	133.3	3.5	0.8
	Watts	180		1600	17.5	9.6
Total Max. Power (W)		1600				

CABLES AND CONNECTORS

Modular Cables

Description	Cable Count	Connector Count (Total)	Gauge	In Cable Capacitors
ATX connector 20+4 pin (600mm)	1	1	16-22AWG	Yes
4+4 pin EPS12V (650mm)	2	2	16AWG	Yes
6+2 pin PCIe (650mm)	6	6	16-18AWG	Yes
6+2 pin PCIe (680mm+100mm)	2	4	16-18AWG	Yes
SATA (450mm+110mm+110mm+110mm)	3	12	18AWG	No
SATA (550mm+110mm)	2	4	18AWG	No
4-pin Molex (450mm+100mm+100mm)	3	9	18AWG	No
FDD Adapter (+105mm)	2	2	20AWG	No
USB Mini to Motherboard Header Cable (+800mm)	1	1	24-28AWG	No
AC Power Cord (1400mm) - C19 coupler	1	1	14AWG	-

All data and graphs included in this test report can be used by any individual/on the following conditions:
› It should be mentioned that the test results are provided by Cybenetics
› The link to the original test results document should be provided in any case

PAGE 1/14

Cybenetics offers the ETA and Lambda voluntary certification programs, through which the efficient and silent power supplies are promoted

www.cybenetics.com - info@cybenetics.com
4004 MESA GEITONIA, LIMASSOL, CYPRUS

Abschätzungen der Messunsicherheit – Wirkungsgrad/Geräusch/EMI

Die Messunsicherheit ist der quantifizierte Zweifel an einem Messergebnis. Sie gibt den Bereich an, in dem der wahre Wert unter Berücksichtigung möglicher Fehler und Streuungen zu erwarten ist. Sie ist von Bedeutung, weil sie die Zuverlässigkeit der Messungen widerspiegelt und einen fairen Vergleich zwischen Ergebnissen ermöglicht.

Die Messunsicherheit der Wirkungsgradmessung beträgt ±0.43%

Die angegebene erweiterte Messunsicherheit (U) wurde als Produkt aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (u) und dem Erweiterungsfaktor k = 2 ermittelt, entsprechend einem Vertrauensbereich von etwa 95%. Die Messunsicherheit wurde nach GUM [15] bestimmt. Die

Abschätzung der angegebenen Unsicherheit bezieht sich auf die während der Messungen ermittelten Werte und berücksichtigt keine möglichen Langzeitänderungen.

Messunsicherheitsbudget der Wirkungsgradmessung

Unsicherheitsquelle	**Standardmessunsicherheit, u(xi)**	**Relative Standardmessunsicherheit, u(xi)/xi**
Laborinterne Vergleichpräzision	0.16564	0.00203
Kalibrierung der elektronischen Lasten	0.0500	0.00050
Kalibrierung des Leistungsanalysators	0.0250	0.00025
Bediener und Prüfvorrichtung	0.0350	0.00035
Relative kombinierte Standardmessunsicherheit (RSS):	0.00213	
% Erweiterte Messunsicherheit U (k=2, norm):	0.43	

Die Messunsicherheit der Geräuschmessung beträgt ±1.23 dB

Die angegebene erweiterte Messunsicherheit (U) wurde als Produkt aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (u) und dem Erweiterungsfaktor k = 2 ermittelt, entsprechend einem Vertrauensbereich von etwa 95%. Die Messunsicherheit wurde nach GUM [15] bestimmt. Die Abschätzung der angegebenen Unsicherheit bezieht sich auf die während der Messungen ermittelten Werte und berücksichtigt keine möglichen Langzeitänderungen.

Messunsicherheitsbudget der Geräuschmessung

Unsicherheitsquelle	**Standardmessunsicherheit, u(xi) (dB)**
Laborinterne Vergleichpräzision	0.031
Kalibrierung des Mikrofonkalibrators 4231	0.200
Frequenzgang des Mikrofons	0.577
Temperatur	0.012
Positionsfehler	0.058
Relative kombinierte Standardmessunsicherheit (RSS):	0.61

Erweiterte Messunsicherheit U (k=2, norm):	1.23

Die Messunsicherheit der Messung leitungsgebundener EMI-Störaussendungen beträgt ±2.35 dB

Die angegebene erweiterte Messunsicherheit (U) wurde als Produkt aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (u) und dem Erweiterungsfaktor k = 2 ermittelt, entsprechend einem Vertrauensbereich von etwa 95%. Die Messunsicherheit wurde nach GUM [15] bestimmt. Die Abschätzung der angegebenen Unsicherheit bezieht sich auf die während der Messungen ermittelten Werte und berücksichtigt keine möglichen Langzeitänderungen.

Messunsicherheitsbudget der Messung leitungsgebundener EMI

Unsicherheitsquelle	**Standardmessunsicherheit, u(xi)/xi (dB)**
Wiederholpräzision (Typ A) – Aufbau + EUT	0.953
Genauigkeit der EMI-Ausrüstung (aus den Kalibrierscheinen)	0.185
Rausch- und Signalqualität	0.577
Bandbreite und Auflösebandbreite (RBW)	0.289
Messdauer und Mittelung	0.115
Umgebungseinflüsse	0.115
Relative kombinierte Standardmessunsicherheit (RSS):	1.18
Erweiterte Messunsicherheit U (k=2, norm):	2.35

Epilog

Zweck dieses Artikels war es, die Methodik zu erläutern, der wir bei unseren Wirkungsgrad- und Geräuschmessungen folgen und aus der sich die ETA- und LAMBDA-Zertifizierungen ableiten. Darüber hinaus möchten wir das Wissen weitergeben, das wir aus zahlreichen Netzteilbewertungen gewonnen haben, und anderen Laboren mit geeigneter Ausrüstung und der entsprechenden ISO-Zertifizierung (17025) helfen, indem wir belegen, dass alle Abläufe im Einzelnen befolgt und an unseren Standards geprüft werden.

Neben einem vollständigen Einblick in unsere Methodik zu Wirkungsgrad und Geräusch haben wir uns entschlossen, einen weiteren (großen) Schritt zu gehen und unseren Algorithmus für die Gesamtbewertung zu aktualisieren und vorzustellen. Mit diesem Algorithmus lassen sich hochdetaillierte Vergleiche zwischen beliebig vielen Netzteilen anstellen, wobei neben der reinen Leistung alle entscheidenden Faktoren einschließlich der Schutzfunktionen berücksichtigt werden. Die Entwicklung dieses Algorithmus, den wir auf Grundlage neuer Daten und im Lauf der Zeit gesammelter Erfahrungen fortlaufend aktualisieren werden, ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Dennoch planen wir, diesen Algorithmus in unseren Beta-Bewertungen einzusetzen. Wir werden ihn außerdem an einige Medien-/Testseiten weitergeben, um ihnen zu helfen, genauere Vergleichsergebnisse zu liefern. Hardware Busters

Referenzen

[1] IEEE Std 1515-2000, IEEE Recommended Practice for Electronic Power Subsystems: Parameter Definitions, Test Conditions, and Test Methods.

[2] IEC 62301:2011, Household Electrical Appliances – Measurement of Standby Power.

[3] IEC 62368-1, Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements. (Supersedes IEC 60950-1, withdrawn 20 December 2020.)

[4] Power Supply Design Guide for Desktop Platform Form Factors, Revision 002, June 2018, Intel Corporation.

[5] Server System Infrastructure (SSI) Power Supply Design Guidelines (available at http://www.ssiforum.org/), Intel Corporation.

[6] ATX Wikipedia: . Accessed on 19/3/20.https://en.wikipedia.org/wiki/ATX#ATX_power_supply_derivatives

[7] Total harmonic distortion Wikipedia: . Accessed on 30 April 22.https://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion

[8] ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, November 2017.

[9] ISO7779: 2018 - Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by information technology and telecommunications equipment.

[10] ISO 11201:2010 (E) - Acoustics - Noise emitted by machinery and equipment – Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions in an essentially free field over a reflecting plane with negligible environmental corrections.

[11] ECMA-74, 22nd edition, December 2025 – Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment. ECMA International, Geneva. (Aligned with ISO 7779.)

[12] ECMA-74, 22nd edition, December 2025, clause 8.6.3 (bystander positions) – Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment. ECMA International, Geneva.

[13] ATX Version 3.0 Multi Rail Desktop Platform Power Supply: . Accessed on 11 September 24.https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development-

platforms/client/platforms/alder-lake-desktop/atx-version-3-0-multi-rail-desktop-platform-power-supply-design-guide/2.0/2.01/introduction/

[14] ATX Version 3.1 Multi Rail Desktop Platform Power Supply: . Accessed on 11 September 24.https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development-platforms/client/platforms/alder-lake-desktop/atx-version-3-0-multi-rail-desktop-platform-power-supply-design-guide/2.0/2.1a/

[15] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections). Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2008.

[16] CYBENETICS, The Cybenetics SAFE Standard – Safety and Functional Certification Protocol for Affordable AC-DC Power Supplies.