

完整的Cybenetics冗餘伺服器PSU測試協議，包括能源效率、輸出噪音
及冗餘伺服器AC-DC電源供應器的整體性能計算

修訂版 1.2

作者：Aristeidis Bitziopoulos



Cybenetics

賽普勒斯，尼古西亞

2026 年 6 月

本文件衍生自並對齊於 Cybenetics PSU Test Protocol, Revision 3.9。本文件未規定之處，適用桌上型 (Desktop) 協定。

目錄

目錄	2
修訂歷史	3
序言與範圍	4
CRPS / M-CRPS 外形規格概覽	4
定義（新增與修改）	5
與桌面 PSU 協議的關係	5
測試設置與測量條件.....	6
輸入電壓.....	7
Thermal Conditions.....	7
效率測量程序（ETA 冗餘）	7
Efficiency Grading (ETA Redundant)	7
輸出雜訊量測（LAMBDA, CRPS 適應）	8
Differences for Server Modules	8
Noise Grading.....	8
EMI Emissions	9
Module Performance and Protection Tests.....	9
Standby (12 VSB).....	9
Hold-up Time and Timings	9
Transient / Load-Step Response	10
浪涌電流.....	10
保護功能.....	10
整體效能計算（伺服器模組適配）	11
Uncertainty Estimations.....	12
參考文獻	13
結語	13

修訂歷史

版本	發布日期	備註
1.0	2026 年 6 月	專為冗餘伺服器 PSU 模組設計的方法學首稿，源自 Cybenetics PSU 測試協議 Rev 3.7 的調整。確立單模組效率（ETA Redundant）、伺服器模組的噪音（LAMBDA）適應，以及獨立模組性能和保護測試電池。
1.1	2026 年 8 月	量測不確定度更新為現行受控預算（P19）。
1.2	2026 年 8 月	標題頁整理：第 1 頁不再顯示頁眉與頁尾。已發布德文、繁體中文與簡體中文版本。標題頁上的母規範參照已由 Revision 3.7 更正為 Revision 3.9，即目前已發布且本文件參考文獻已引用之版本。

本協議不會重複列舉已發表於桌面協議中的所有定義、公式及儀器要求。僅記載針對冗餘伺服器電源供應器新增、修改或刪除的內容。所有沿用的程序、不確定度預算及計算仍受第3.7版規範。

序言與範圍

除了用於一般桌面電腦的非冗餘電源供應器，Cybenetics也會評估安裝於伺服器、儲存系統及網路設備中的冗餘電源供應器，這些設備需全天候（24/7）運作。本協議適用於所有提供單一主電路（通常為12 V）加待機電路，或僅主電路的冗餘伺服器電源供應器——常見冗餘電源供應器（CRPS）及其現代繼任者模組化常見冗餘電源供應器（M-CRPS）為主要標準化範例。若單元無待機電路，則下列待機特定項目不適用。

Cybenetics單獨評估單一電源模組。模組透過其金手指（卡緣）輸出連接器連接到Cybenetics測試治具，或連接到隨單元提供的治具；不使用主機架。認證測量模組的能源效率（ETA Redundant）與輸出噪音（LAMBDA），並新增一系列獨立性能與保護測試——暫態/負載步進回應與標稱峰值功率偏移、保持時間與時序、浪湧電流、紋波與負載調節、待機，以及保護功能（OCP/OPP/OVP/OTP/SCP，風扇故障，突波/浪湧部件）。

範圍外：數位管理介面（PMBus / SMBus / SPD）不進行測試，且多模組功能——電流共享、ORing、熱插拔及冗餘行為——不進行測試，因為每個模組是獨立評估，而非安裝於主機架中與其他模組一起使用。

與桌面協議相同，此方法論的撰寫方式使任何具備同等校準設備的ISO/IEC 17025:2017認證實驗室都能重複結果。Cybenetics作為認證機構，將接受遵循此方法論的評估實驗室的數據。預期隨著資料庫的擴充，冗餘-PSU要求將被進一步精煉；標註為暫定的門檻值僅為起始點，可能隨後進行修訂。

CRPS / M-CRPS 外形規格概覽

下列表格總結了這些電源模組的外形規格作為背景資訊。較新的M-CRPS基礎規格由Open Compute Project（OCP）維護；舊版CRPS源自Intel/SSI伺服器電源指南。標註為管理或多模組功能的項目描述裝置類別，但不在Cybenetics測試範圍內（參見序言與範圍）。

CRPS / M-CRPS 外形規格屬性（背景）

屬性	CRPS / M-CRPS 特性
架構	主機架 + 2 個或更多可熱插拔電源模組；冗餘模式 1+1、2+1 和 N+1。 Cybenetics 單獨測試一個模組。
主要輸出	單一高電流 12 V 軌道。次要系統電壓由主機架/電源分配板上的 DC-DC 轉換器產生，而非由模組產生。
待機輸出	12 VSB 連接至 M-CRPS（較舊型 CRPS 可能使用 12 V 或 5 V 待機電壓），或主電源軌僅供電單元無此配置。
輸出連接器	2x25 (50-pin) 金手指卡緣連接器；此處為測試夾具安裝位置。舊版 CRPS 型號使用其他金手指接線方式。
外型尺寸	1U等級，標稱寬度73.5 mm x 185 mm深度（長度依功率等級而異）。2U 及更寬模組亦存在。

屬性	CRPS / M-CRPS 特性
管理 (未測試)	PMBus / SMBus / I2C 遙測與 FRU/EEPROM；M-CRPS 可能新增 SPDM。Cybenetics 不使用這些介面。
多模組功能 (未測試)	電流共享 (ISHARE)、ORing、熱插拔及冗餘功能需使用主機架，且超出此單模組認證範圍。
輸入變體	AC輸入 (100-127 / 200-240 Vac)；高電壓專用高功率型號；部分平台的 HVDC變體。認證僅適用於230 V（請參閱輸入電壓）。
冷卻	每個模組內含一個或多個高轉速風扇，由PWM控制。模組自身的風扇電力已包含在效率測量中。

定義（新增與修改）

桌面協議的定義保持不變（AC/DC信號、環境溫度、視在功率、AWG、效率、紋波、真實功率因數、峰值因數、RMS、穩態、THD、UUT）。以下術語針對冗餘伺服器模組新增或重新定義：

主機架（機箱/背板/PDB） — 安裝電源模組並分配12 V總線的機殼子組件。此處作為背景說明；Cybenetics在不使用主機架的情況下測試模組。

電源模組（PSM） — 單一熱插拔冗餘電源單元。除非另有說明，本協議中的UUT為透過金手指連接器單獨測試的電源模組。

冗餘（N+1 / N+N） — 一種模組數量超過負載需求的運作配置。作為背景資訊；此處不測試冗餘運作本身。

12 VSB（待機電路） — 模組中始終啟用的待機輸出，若存在。僅主電路的模組無待機電路，並跳過待機特定項目。

PSON# / PWOK — 模組連接器上的遠端開關控制（PSON#）與電源良好狀態（PWOK）信號，用於時序與保持測試中。

金手指（卡緣）連接器 — 模組的2x25 / 50針邊緣連接器，用於服務中的背板接合；測試時接合至Cybenetics或提供的治具。

與桌面 PSU 協議的關係

下列矩陣將桌面協議（第3.7版）的每個主要元件對應至本冗餘伺服器 PSU 協議中的處理方式。「沿用」表示直接套用；「修改」表示根據參考章節描述進行調整；「移除」表示不適用；「範圍外」表示Cybenetics不測試的裝置功能。

桌面至伺服器模組對應

桌面元件	狀態	理由
校準設備 & Faganas ATE	延續	相同儀器類別與不確定性規範；模組透過金手指測試夾具連接。
熱箱 / 高溫環境	修改	熱傳遞輪廓調整至伺服器進氣條件。
>1450 負載組合，平均效率	修改	負載矩陣簡化為單一 12 V 主電源軌 (+ 12 VSB 若存在)；範圍 2-100%。
115 V / 100 V / 230 V 測試輸入	修改	230 V 僅認證方案；無 115 V 表格。低電壓/HVDC 僅檢查生存能力。
5 V / 3.3 V 輔助電源軌測試	移除	輔助電源軌由主機架 DC-DC 產生，而非模組。
Vampire power (no-load standby)	移除	模組設計用於連續運作；待機空載並非有意義的模式。
Average 5VSB efficiency term	移除	待機負載及其效率影響相對於總負載可忽略。
LAMBDA noise grading	修改	相同能量平均方法；高轉速伺服器風扇的暫定 CRPS 噪音等級。
EMI (CISPR 32 / EN 55032)	延續	Class A 標準適用於資料中心 IT 設備。
ATX v3.x peak power excursions	取代	伺服器動態負載步進加上宣告的峰值功率層級，而非 ATX 過衝階梯。
Hold-up time, PWR_OK, timings	修改	依據伺服器需求進行評估。
保護措施 (OCP/OPP/OTP/SCP, fan-fail)	修改	單 12 V 環境；已添加 OVP。
整體效能演算法	修改	針對 12 V (+ 12 VSB) 重新加權。
PMBus/SMBus/SPDM 遙測；電流共享、ORing、熱插拔、冗餘	超出範圍	需要主機架 / 多模組設定或數位管理；不屬於此單一模組認證的一部分。

測試設置與測量條件

桌面協議的儀器類別與準確度要求（可程式化AC電源 ≥ 4 kVA，多通道DC電子負載， $\leq \pm 0.1\%$ 功率分析器， ≥ 100 MHz / ≥ 1 GS/s 示波器，Class 1 聲學鏈， $\leq \pm 0.5$ °C 溫度，轉速計，台式DMM，線上UPS與隔離變壓器）全部適用。以下新增與變更內容針對冗餘伺服器模組：

- 模組測試治具（金手指）。模組透過其 2x25 / 50 針卡緣輸出連接器連接到 Cybenetics 測試治具，或連接到隨單元提供的治具。不使用主機架；每個模組獨立評估。治具提供 12 V 主電路、12 VSB（如存在）以及時序與保護測試所需的 PSON# / PWOK 信號。
- 高電流 DC 負載能力。設計用於高功率伺服器模組的完整 12 V 輸出（通常每模組 800 W-3000 W）。

- 高壓DC / 48 V電源（適用時）。額定輸入為240/336 Vdc或48 Vdc模組的DC電源，除AC電源外。
- 風扇功率。模組自身的風扇功率消耗包含在效率測量中（風扇為模組的一部分）。測試中無主機架風扇，因為模組在不使用主機架的情況下進行測試。
- 不使用。不需要PMBus/SMBus/SPDM主機介面卡及主機架/多模組治具，因為遠端監控與多模組行為在範圍外。

輸入電壓

冗餘伺服器電源供應器計畫為僅支援230 V的方案：所有效率與噪音認證測量均在230 V輸入下執行，符合ETA（冗餘）標準。無115 V認證表格（與桌面型ETA計畫不同，後者在115 V與230 V下均進行認證）。功能啟動與在SKU額定交流電壓範圍低端的生存能力，以及任何額定HVDC輸入，仍需進行保護/穿越檢查，但不會產生認證等級。標籤額定值決定最大瓦數；我們額外驗證110%負載下的行為，並施加如下的高環境應力。

Thermal Conditions

測試開始於約30 °C，模組置於模擬伺服器進氣環境的熱箱中；腔體被驅動至模組額定運作範圍的上限，以在真實資料中心壓力下特徵化風扇行為、高溫下的效率及保護措施，而非在不切實際的低環境溫度下進行。每個負載點維持數分鐘，所有讀數由Fagana (C#資料擷取層) 平均後作為最終結果，完全如同桌面協議所示。

效率測量程序（ETA 冗餘）

我們在模組上應用至少1450種不同的負載組合，涵蓋其操作範圍的2%至100%。由於伺服器模組僅暴露單一12 V主電源軌，加上（如存在）12 VSB待機電源，負載矩陣比三軌桌面掃描簡單得多：12 V電源軌在其整個範圍內逐步調整，而任何待機負載則保持在固定且具代表性的值。整體效率和功率因數結果是所有測量點的算術平均值，這（經插值）在整個操作範圍內產生數萬個有效點。平均整個範圍使得無法針對少量固定負載水平進行單元調諧。

符合ETA（冗餘），Cybernetics不測量待機功耗，也不為這些模組包含平均待機效率項：待機負載相對於總負載可忽略不計。任何待機電源軌仍會被記錄並報告，且會標記總體異常。

Efficiency Grading (ETA Redundant)

認證使用以下230 V效率及功率因數門檻。若單元僅略低於限值（在0.1%以內），我們可能要求進行第二次測試，必要時可進行第三次測試，依標準重新評估規則；與上限的差異 $\leq 0.05\%$ 時，四捨五入至較高類別。若單元未達功率因數要求，則降為符合其功率因數要求的類別，與效率無關。

ETA (冗餘) 效率等級 — 230 V 輸入

效率等級 (230 V)	整體效率	功率因數
DIAMOND	$\geq 95\%$	≥ 0.950
TITANIUM	$\geq 93\% \ \& \ < 95\%$	≥ 0.940
PLATINUM	$\geq 91\% \ \& \ < 93\%$	≥ 0.930

效率等級 (230 V)	整體效率	功率因數
GOLD	≥ 88% & < 91%	≥ 0.920
SILVER	≥ 85% & < 88%	≥ 0.910
BRONZE	≥ 82% & < 85%	≥ 0.900

輸出雜訊量測 (LAMBDA, CRPS 適應)

LAMBDA量測方法保留：我們將模組的風扇轉速範圍對應至噪音。在模組安裝於夾具上時，我們記錄負載矩陣中風扇轉速（RPM）範圍，同時以轉速計監測；隨後在半消音室中，於模組關閉且風扇由外部電源驅動的情況下，以小轉速間隔（例如每50 RPM）測量dB(A)值，消除電子負載噪音。Faganas為每個記錄的風扇轉速分配dB(A)值，並進行能量平均。

能量平均值不變：由於dB為對數單位，每個A加權等級會轉換為線性聲壓，平均後再轉換回dB(A)，依ISO 7779及ECMA-74。背景噪音（K1）修正依桌面協議實施。

Differences for Server Modules

- 麥克風位置。使用單一固定麥克風，與桌面方法相同：一個旁觀者位置，水平距離1公尺，高度1.5公尺，約30°入射角，依ISO 7779 / ECMA-74及ISO 11201。測試室幾何形狀與背景噪音修正與桌面協議相同。
- 作業點。伺服器風扇轉速由負載和進氣溫度共同控制。因此，噪音報告中會標註負載/熱力作業點，平均值反映在指定環境下，負載矩陣中觀察到的真實風扇轉速範圍。
- 線圈噪音。電子噪音篩選（> 6-6.5 dB(A)）依桌面測試協議使用被動冷卻負載測試器執行。

Noise Grading

桌面LAMBDA量表（A++ < 15 dB(A) ... 標準40-45 dB(A)）對於高轉速1U伺服器風扇而言不切實際，這些風扇通常會超過此標準。以下是兩種參考量表：已建立的桌面量表（供參考）及暫定的伺服器量表，其頻率範圍上移約20 dB。伺服器量表僅為起點，將隨著資料庫擴充而最終確定，符合ETA（冗餘）理念，即需求會隨時間演進。

LAMBDA 噪音等級 (伺服器規模暫定)

等級	桌面型 LAMBDA (參考)	建議伺服器規模 (暫定)
A++	< 15 dB(A)	< 35 dB(A)
A+	15 - < 20 dB(A)	35 - < 40 dB(A)
A	20 - < 25 dB(A)	40 - < 45 dB(A)
A-	25 - < 30 dB(A)	45 - < 50 dB(A)
Standard++	30 - < 35 dB(A)	50 - < 55 dB(A)
Standard+	35 - < 40 dB(A)	55 - < 60 dB(A)
Standard	40 - < 45 dB(A)	≥ 60 dB(A)

EMI Emissions

conducted and radiated EMI are evaluated against CISPR 32 / EN 55032 using the equipment and pass/fail method of the Desktop protocol (peak detector first; quasi-peak and average if needed; separate Phase and Neutral runs for conducted EMI). Server modules are data-center IT equipment and are assessed against the Class A limits; the ATX 4 dB margin allowance does not apply, so the unit is held to the CISPR 32 / EN 55032 limits directly. Conducted limits (Class A): 79/66 dB μ V (QP/Avg) for 0.15-0.50 MHz and 73/60 dB μ V for 0.50-30 MHz.

Module Performance and Protection Tests

除了效率和噪音外，獨立模組的特性與桌上型電源供應器相同，適用於單一12 V拓撲結構，並具備相同的性能與保護特性。所有測試均透過測試夾具單獨對模組進行。

Standby (12 VSB)

若模組具備待機電源軌，12 VSB 會針對其負載範圍進行穩壓與紋波特性的測試，並在主電源軌開關切換期間進行測試，測試結果用於資訊提供及穩壓合規性報告。僅具主電源軌的模組可跳過此測試。

Hold-up Time and Timings

Hold-up time is the interval the module maintains the 12 V rail in regulation after AC loss at full load. The M-CRPS requirement is ≥ 11 ms hold-up at full load (legacy CRPS units commonly specify ≥ 10 ms), measured at nominal input. PWOK must de-assert before the 12 V rail leaves regulation (a “fake” power-good is penalized, as in the Desktop algorithm). PS_ON# on/off timing and PWOK assertion delays are measured at light and full load, and the output rise time must fall within the 10-70 ms window. These pass criteria follow the OCP M-CRPS base specification and the SKU’s design spec; reporting follows the Desktop convention.

關鍵 CRPS / M-CRPS 時序與電氣要求（典型）

Timing / parameter	CRPS / M-CRPS requirement (typical)
Hold-up time (12 V, full load)	≥ 11 ms (M-CRPS); ≥ 10 ms 常見於舊型 CRPS
PWOK de-assert vs. regulation	PWOK 必須在 12 V 離開規範前下降 ≥ 1 ms
Output rise time (12 V & 12 VSB)	10 - 70 ms
AC-on delay / PWOK rising	≤ 3 s AC-on / ≤ 50 ms rising (SKU-dependent)
12 V / 12 VSB regulation (static & dynamic)	$\pm 5\%$ total output regulation window
Output ripple & noise	$\leq 1\%$ of nominal ($\approx \leq 120$ mV on 12 V)
Inrush current	< 35 A peak cold start (< 55 A warm start on some SKUs)
OCP (12 V)	階段式斷電，例如額定電流的125% / 135%
OVP (12 V & 12 VSB)	< 15 V (latch-off on 12 V; hiccup on 12 VSB)

依OCP M-CRPS基準規格及代表性符合規格之資料表；特定單元的精確數值依其設計規格而定。

Transient / Load-Step Response

瞬態行為以兩種互補方式進行評估——動態負載步進（斜率）測試和單元聲明的峰值功率偏移。

兩者均有伺服器指南：OCP M-CRPS 基礎規格在動態加載和峰值負載保護下涵蓋它們。其結構與 ATX v3.1 電源偏移階梯不同，但確實存在。

動態負載步進。在指定輸出電容下，以 $0.5 \text{ A}/\mu\text{s}$ 的斜率將最大輸出 50% 的階梯負載施加於 12 V 軌；軌道必須保持在 $\pm 5\%$ 內，過衝/欠衝 $\leq 5\%$ 且乾淨恢復。任何待機軌道均以自身較小的階梯進行測試。與 ATX 不同，CRPS 不提供放寬的瞬態窗口（ATX 在 PCIe 上允許 -8%，其他地方允許 -7%）；相同的 $\pm 5\%$ 同時適用於靜態和動態。

峰值功率偏移。伺服器模組在其負載表中聲明峰值輸出級別，我們針對它們進行測試。通常有兩個級別高於連續等級：短暫峰值約 10 ms 和持續峰值約 20 秒，後者受溫度傳感器限制。我們驗證 12 V 軌在每個聲明的偏移中保持調節，無錯誤保護觸發，且恢復乾淨。這是 ATX v3.x 電源偏移的伺服器類比——但 ATX v3.1 規定固定百分比/ duty 階梯（110/120/160/180/200% 在 100 μs 到 100 ms 之間，針對通過 12V-2x6 連接器的 GPU 閃電），CRPS 峰值大小和持續時間按 SKU 聲明並受溫度保護限制，因為模組為背板供電，下游 DC-DC 和大容量電容緩衝 CPU/GPU 閃電。

CRPS 輸出負載級別（每 SKU 的大小；來自 2.6 kW / ~210 A 模組的範例值）

Tier	Magnitude (12 V main)	Duration	備註
Continuous (Pmax)	Rated current (e.g., ~211 A)	Indefinite	認證環境下的額定連續輸出。
Sustained peak (CLST)	Rated + ~6 A (example)	$\geq 20 \text{ s}$	熱限制；必須在最高操作溫度下保持 ≥ 20 秒。
Short peak (Pmax app)	Rated + ~30 A (example)	$\approx 10 \text{ ms}$	瞬時偏移；軌道保持在規範內，無保護跳閘。
Dynamic step	50% of max @ $0.5 \text{ A}/\mu\text{s}$	Transient	斜率測試；輸出在 $\pm 5\%$ 以內，過衝/下衝 $\leq 5\%$ 。

CRPS 以額定電流加上固定附加值來表達峰值能力，而非百分比：在上述代表性 2.6 kW / ~210 A 模組中，+6 A 持續約 20 秒和 +30 A 持續約 10 ms 僅約為幾百分比持續和短脈衝約 10-15%——遠低於 ATX v3.1 階梯。精確附加值和持續時間來自每個模組的負載表；不適用 ATX 12VHPWR / 12V-2x6 偏移表。

浪涌電流

冷啟動時的峰值浪涌電流在高電壓（低電壓支援時）和最壞情況 AC 相位角下捕獲，且必須保持在模組的額定範圍內——通常 $< 35 \text{ A}$ 冷啟動峰值，暖啟動浪涌電流也記錄在案（合規模組指定 $< 55 \text{ A}$ ）。與旁路繼電器 / NTC 方案的行為備註。

保護功能

保護功能在單 12 V 環境下進行評估。以下項目均需檢查，且在性能計算中授予獎勵分數：

- **12 V 軌上的 OCP / OPP** — 伺服器模組通常將 OCP 階段設置為在額定電流約 125% (OCP1) 和 135% (OCP2) 時鎖定關閉；觸發點必須足夠高以承受真實閃電，但又足夠低以在高溫下保護模組。
- **12 V (及 12 VSB) 上的 OVP / UVP** — OVP 通常 < 15 V (12 V 鎖定關閉；12 VSB 短暫中斷)；必須在規格窗口內保護負載。
- **OTP** — 在二次側超過安全溫度前關閉模組 (暫定：< 190 °C 二次側)，對 24/7 運行至關重要。
- **SCP** — 12 V 輸出短路會關閉模組，並在重複/延長短路測試後乾淨恢復；任何待機軌道在短路移除後恢復。
- **風扇故障保護** — 若模組風扇停止，模組必須在內部元件受損前自我保護 (降速 / 降額 / 關閉)。
- **浪涌 / 浪涌零件 (MOV/TVS, NTC + 旁路繼電器)** — 存在且有效。

AC輸入：模組必須在額定輸入範圍的低端於滿載下啟動並運行，且必須在該範圍以下的短暫偏移後存活 (正常恢復)，遵循適應SKU額定範圍的桌面法。這些低電壓/HVDC檢查僅為功能/存活測試，不進行評級，因為認證方案僅適用於230 V。

整體效能計算 (伺服器模組適配)

桌面性能演算法針對單主電源軌拓撲重新加權。與缺失電源軌或不適用模式相關的術語已移除。與桌面演算法相同，我們從完美的100分開始，減去加權懲罰，然後加上容量歸一化和時序/保護獎勵。顯示的加權為暫定，將根據資料庫進行調整。

Penalty terms (subtracted):

$$\text{Eq1} = 1.2 \times \text{V.Reg}(+12\text{V}) + 0.4 \times \text{V.Reg}(+12\text{VSB})$$

負載調節 — 小電源軌已移除；12 V 電源軌主導。

$$\text{Eq2} = 0.10 \times \text{Ripple}(+12\text{V}) + 0.04 \times \text{Ripple}(+12\text{VSB})$$

Ripple suppression — from the 100% load test.

$$\text{Eq3} = 2 \times \text{Max.Dev}(+12\text{V}, \text{load-step}) + 0.3 \times \text{Max.Dev}(+12\text{VSB})$$

Transient response — server load-step.

$$\text{Eq4} = 1.25 \times (\text{overshoot}(+12\text{V}) + \text{overshoot}(+12\text{VSB}))$$

Turn-on transient voltage overshoots.

$$\text{Eq5} = 0.8 \times (100 - \text{Average_Efficiency})$$

Average efficiency — ETA Redundant average.

$$\text{Eq6} = 0.03 \times (100 - \text{Efficiency_at_2\%_load})$$

Efficiency at 2% load.

$$Eq7 = 6 \times (1 - \text{Average_PF})$$

Average power factor.

$$Eq8 = 0.15 \times (\text{Required_holdup} - \text{Holdup_ms})$$

Hold-up time — Required_holdup = 11 ms (M-CRPS); 10 ms common on legacy CRPS.

$$Eq9 = 0.15 \times (\text{PWOK_holdup} - (\text{Holdup} - 1))$$

Power-OK 信號 — 懲罰電源正常信號持續時間超過規範。

移除與桌面型：平均5VSB效率項與待機/電源漏電項被刪除，+5 V / +3.3 V 貢獻消失，因為這些電壓軌不在模組上。

Capacity normalization (added):

$$Eq10 = 0.4 \times (\text{Rated_Module_Watts} / 100)$$

容量 — 按桌面法規範小單元的調節/紋波優勢。

獎金（附加）：保護獎金遵循適用於單一12 V環境的桌面方案調整。

- 0.25 — 12 V OCP / total OPP staged within the server margin (provisional: latch-off by $\leq 135\%$ of rated).
- 0.25 — OTP關閉模組於 $< 190^\circ\text{C}$ 次級。
- 0.25 — SCP on 12 V (and any standby rail) with clean recovery after repeated short tests.
- 0.25 — MOV/TVS 雷擊保護裝置存在且有效。
- 0.25 — NTC熱敏電阻 + 開關繼電器突波保護。
- 0.25 — 風扇故障保護（模組在風扇停止時會自我保護）。

Final rating:

$$Eq11 = 100 - (Eq1 + \dots + Eq9) + Eq10 + \text{Timing_Bonus} + \text{Protection_Bonus}$$

結果為該單元整體性能評分。如同桌面演算法，由於所有基礎資料均被保留，可針對整個資料庫重新套用所有權重變更，以維持歷史比較的一致性。

Uncertainty Estimations

桌面協議中建立的擴展不確定度（ $k = 2$ ，約 95% 信賴水準，依 JCGM 100:2008 / GUM）將沿用，因為使用了相同的校準儀器鏈：

Carried-Over Measurement Uncertainties

Measurement	Expanded uncertainty (k = 2)
效率	$\pm 0.18\%$
Output noise	$\pm 1.23 \text{ dB}$
Conducted EMI	$\pm 2.35 \text{ dB}$

參考文獻

- [1] Cybenetics PSU 測試協議，修訂版 3.9，2026 年 8 月（母文件）。
- [2] Cybenetics ETA (Redundant) 效率要求 — cybenetics.com.
- [3] Cybenetics LAMBDA (PSUs) 噪音要求 — cybenetics.com.
- [4] 開放計算計畫，模組化通用冗餘電源供應器（M-CRPS）基礎規格。
- [5] Intel / SSI 伺服器系統基礎設施，電源供應設計指南 (CRPS)。
- [6] ISO 7779:2018 — 音學：IT 及通訊設備所發射空氣傳播噪音的測量。
- [7] ISO 11201:2010 — 噪音學：在基本上自由場中測定輻射聲壓級的方法。
- [8] ECMA-74 — 電腦及通訊設備所發射空氣傳播噪音的測量。
- [9] CISPR 32 / EN 55032 — 多媒體設備電磁相容性：輻射要求。
- [10] ISO/IEC 17025:2017 — 測試及校準實驗室能力的一般要求。
- [11] JCGM 100:2008 (GUM) — 測量資料評估：測量不確定度表達指南。
- [12] IEC 62301 / EN 50564 — 待機功率測量（用於待機方法的參考）。

結語

本協議透過重複使用桌面協議中仍適用的所有內容，並調整或替換不適用的部分，將 Cybenetics 方法學擴展至冗餘伺服器 PSU 模組。每個模組均透過其金手指連接器單獨測試，無需主機架：單一 12 V 拓撲結構、僅 230 V 方案，以及移除電源耗電和次要電壓軌的術語，驅動效率和性能的變化；而伺服器適當的噪音處理和獨立保護/暫態電池完成方法學。數位管理（PMBus/SMBus/SPDM）和多模組功能（電流共享、ORing、熱插拔、冗餘）被故意排除在範圍之外。暫定閾值——尤其是伺服器噪音尺度和獎勵權重——將標記為此類，並將隨著資料庫的擴大而最終確定，正如 ETA（冗餘）計劃所意圖的那樣。