

Technical Article

サーバー用電源設計の 5 つの主要なトレンド



Richard Yin

サーバーはデータ通信を処理するのに不可欠であるため、サーバー業界はインターネットと並行して飛躍的に成長しています。サーバー ユニットは元々 PC アーキテクチャに基づいていましたが、サーバー システムは増加するネットワークホストの数と複雑さに対応できる必要があります。

図 1 に、データセンター内の一般的なラック サーバー システムと、サーバー システムのブロック図を示します。電源ユニット (PSU) はサーバー システムの中核であり、複雑なシステム アーキテクチャを必要とします。この記事では、電力バジェット、冗長性、効率、動作温度、通信と制御という 5 つのサーバー PSU 設計トレンドについて考察します。

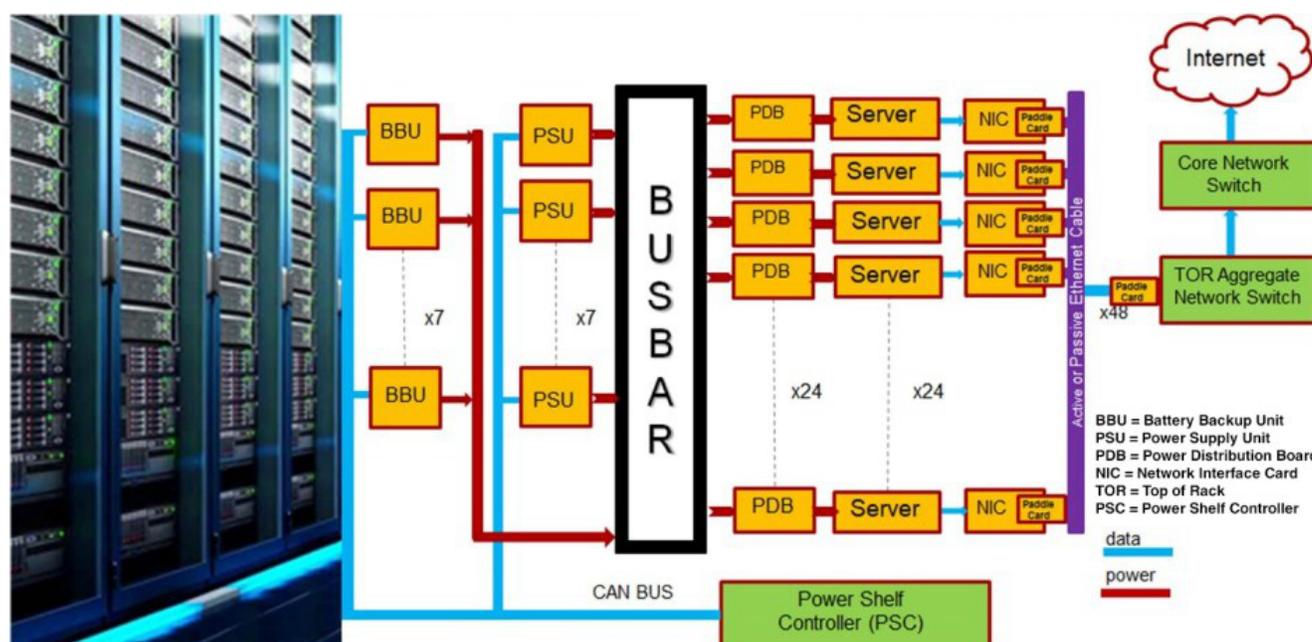


図 1. サーバー システムのブロック図およびサーバーをデータセンター内のサーバー設置状況。出典:テキサス・インスツルメンツ

トレンド 1 : 電力バジェット

21 世紀初期には、ラックまたはブレード サーバー PSU の電力バジェットは 200W~300W の範囲でした。当時、中央演算装置 (CPU) 1 個あたりの消費電力は 30W~50W の範囲内でした。CPU 消費電力の傾向を図 2 に示します。

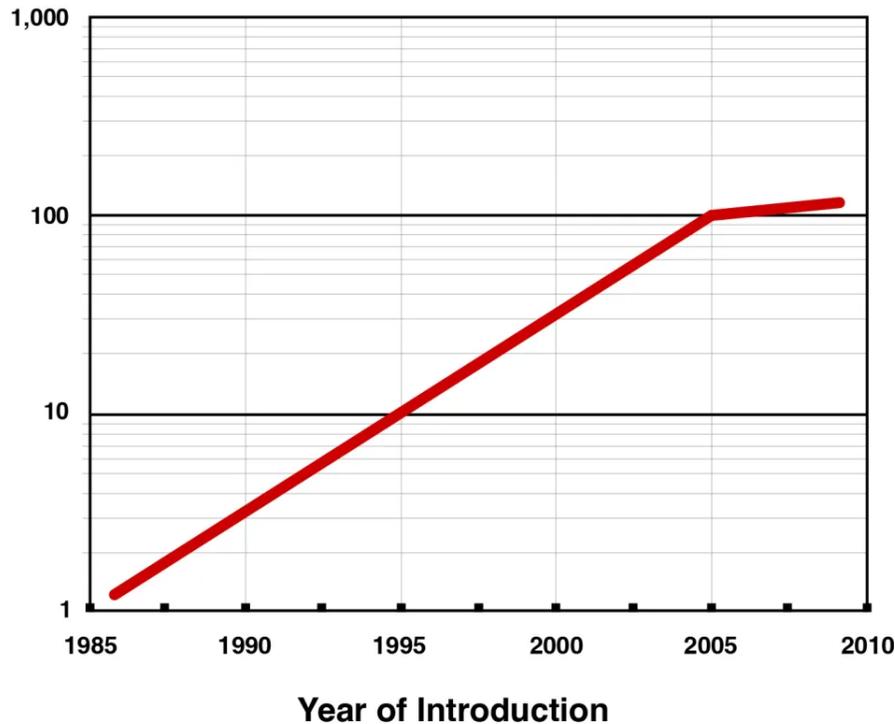


図 2.21 世紀初期における CPU 消費電力の傾向。

現在、サーバー CPU の消費電力は約 200W であり、熱設計電力が 300W に近づいているので、サーバー PSU の電力バジェットは大幅に増加して 800W~2,000W の範囲になっています。クラウド コンピューティングやインターネット上で的人工知能 (AI) 計算など、ますます多くのサーバー計算要件に対応するために、サーバーは、CPU と連携して動作するグラフィックス処理ユニット (GPU) を搭載することもあります。これにより、サーバの電力需要が 5 年以内に 3,000 W 以上に増加する可能性があります。ただし、ほとんどのラックまたはブレード サーバーの PSU は、電流定格が最大 16A の AC インレットを使用しているため、コンバータの効率を考慮すると、240V AC 入力で 3,600 W 前後という限られた電力バジェットになります。したがって、近い将来においても、サーバーラック PSU の電力制限は、やはり 3,600 W のままでしょう。

データセンターの電源シェルフについては、サーバー PSU の設計者は、電流定格 20A の IEC (国際電気標準会議) 60320 C20 AC インレットを広く適用しています。PSU の電力バジェットは、AC インレットの電流定格によって制限されます。現在のデータセンター PSU では、約 3,000W の電力を供給できます。しかし、近い将来、データセンター PSU の電力レベルが 5,000W を上回る可能性があります。PSU あたりの電力バジェットを増やして電力密度を高めるためには、AC インレットにバスバーを使用して入力電流定格を増やすこともできます。

トレンド 2 :冗長性

サーバーシステムでは信頼性と可用性が重要であり、冗長 PSU が必要になります。1 台または複数の PSU に障害が発生した場合、システム内の他の PSU が取って代わって電力を供給することができます。

シンプルなサーバーシステムは、1+1 の冗長性を備えています。つまり、システム内に稼働中の PSU が 1 つ、冗長 PSU が 1 つあります。複雑なサーバーシステムでは、システムの信頼性とコストの考慮事項に応じて、N+1 または N+N (N > 2) の冗長性を備えています。PSU を交換する必要がある場合にシステムの正常な動作を維持するためには、システムにホットスワップ (ORing 制御) 技術が必要です。また、N+1 または N+N システムでは、複数の PSU が同時に電力を供給するため、サーバー PSU に電流共有 (カレントシェア) 技術が必要になります。

PSU がスタンバイモードのとき、すなわち、メイン電源レールから出力に電力を供給していない場合であっても、ホットスワップ イベントが発生した後、直ちに最大電力を供給する必要があるため、電力段を常に稼働させる必要があります。スタンバイモードでの冗長電源の消費電力を低減するために、「コールド冗長性」機能がトレンドになりつつあります。コールド

冗長性の目的は、主電源動作をシャットダウンするか、またはバーストモードで動作し、冗長 PSU のスタンバイ消費電力を最小限に抑えることです。

トレンド 3 : 効率

2000 年代初期の効率仕様は 65% をわずかに上回る程度でした。当時、サーバー PSU の設計者は効率を優先していませんでした。従来のコンバータトポロジで、65% の効率目標を容易に達成できます。しかし、サーバーは継続的に動作する必要があるため、効率を高めることで総所有コストを大幅に削減できます。

2004 年以降、80 Plus 規格は、80% を上回る効率を達成可能な PC およびサーバーの PSU システムに対して認証を提供しています。現在量産されているサーバー PSU のほとんどは、80 Plus Gold (> 92% の効率) の要件を満たしており、80 Plus Platinum (> 94% の効率) を達成できるものもあります。

現在開発中のサーバー PSU は、主として、より高度な 80 Plus Titanium 仕様を目標にしています。この仕様では、50% 負荷において 96% を超えるピーク効率が要求されます。表 1 に、80 Plus のさまざまな仕様を示します。

表 1. 80 Plus 仕様により 80% を上回る効率が保証されます。

230 V internal redundant				
	10%	20%	50%	100%
80 Plus				
80 Plus Bronze		81%	85%	81%
80 Plus Silver		85%	89%	85%
80 Plus Gold		88%	92%	88%
80 Plus Platinum		90%	94%	91%
80 Plus Titanium	90%	94%	96%	91%

また、データセンターの PSU が採用している Open Compute Project (OCP) オープンラック仕様では、PSU は 97.5% を上回るピーク効率を達成する必要があります。したがって、ブリッジレス力率補正 (PFC) やソフト スイッチング コンバータなどの新しいトポロジと、シリコン カーバイド (SiC) や窒化ガリウム (GaN) などのワイド バンドギャップ技術を組み合わせることによって、PSU が 80 Plus Titanium および OCP の効率目標を達成できるようになります。

トレンド 4 : 動作温度

サーバー PSU の熱管理の観点では、設計者は、ファンが配置されている PSU AC インレットの周囲温度をサーバー PSU の動作温度として定義しています。この動作温度は、2000 年代初期には最大 45°C でした。現在では、サーバールームの冷却システムによって異なりますが、最大 55°C に達しています。

動作温度が高いほど、サーバー冷却システムのエネルギーコストを削減できます。データセンターの設備投資 (ハードウェア機器など) と比較すると、運用費用としてのエネルギーコストは、長期的には設備投資よりも高くなると予想されます。電力使用効率 (PUE) の規格によれば、

$$PUE = \text{データセンターの合計電力} / \text{実際の IT 電力}$$

表 2 に示すように、PUE の数値が小さいほど、データセンターの効率が高いことを意味します。図 3 は、さまざまな動作温度での PUE の推定値です。たとえば、PUE が 1.25 のデータセンターでは、全体の消費電力の 10% だけが冷却システムに使われています。これは、サーバー PSU の動作温度をより高くする必要があることを意味します。

表 2. PUE の値が小さいほど、効率的なデータセンターであることを意味します。

PUE	Level of Efficiency
1.25	Very Efficient
1.5	Efficient
2	Average
2.5	Inefficient
3	Very Inefficient

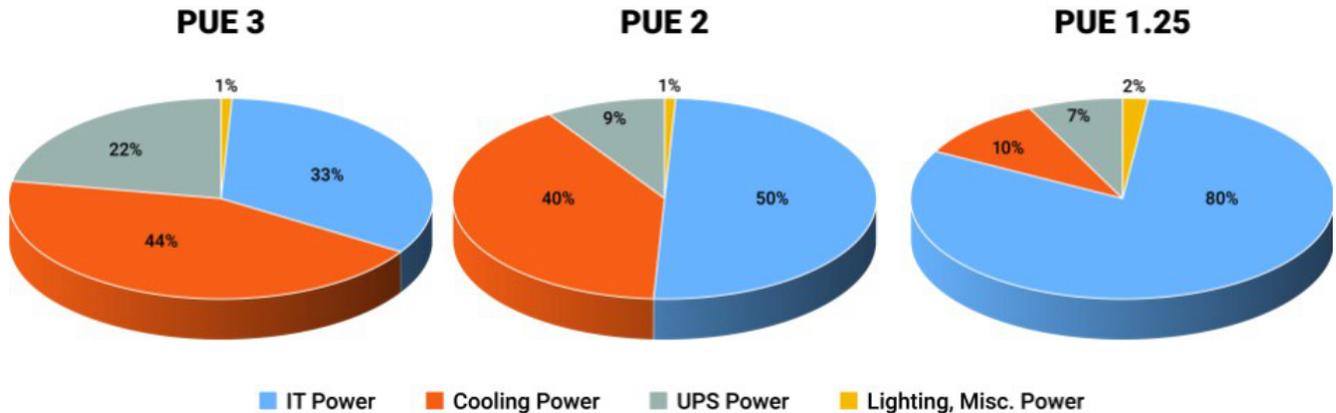


図 3. さまざまな動作温度での PUE 推定値を見ると、動作温度が高いほど冷却コストが削減されることがわかります。

トレンド 5 : 通信と制御

通信と制御は、長年にわたってサーバー電源において重要な役割を果たしてきました。2000 年代初期には、PSU の内部情報は、SMBus (System Management Bus) インターフェイスを経由してシステム側へ送信されました。2007 年に、PMBus (Power Management Bus) インターフェイスに、構成、制御、監視、障害管理、入出力電流と電力、基板の温度、ファンの速度制御、リアルタイム更新コード、過電圧 (電流、温度)、保護などの機能が追加されました。その後、データセンターの電源シェルフに対する需要の増加に対応して、CAN (Controller Area Network) バスがサーバー電源通信に採用されました。

また、電源管理コントローラも通信バスとともに進化してきました。2000 年代初期には、サーバー PSU の制御には、主にアナログコントローラが使われていました。通信の必要性が高まるにつれて、そのような要求をデジタルコントローラで容易に実現できるようになりました。また、デジタル制御を使用すると、ハードウェアエンジニアのデバッグ作業が軽減され、PSU の設計段階や検証段階での人件費が削減される可能性があります。

サーバー PSU の将来の開発トレンド

体積が一定のままサーバーの電力バジェットが増加すると、電力密度の要件が厳しくなります。電力密度は、2000 年代初期には 1 桁でしたが、新しく開発されたサーバー PSU では 100W/in³ 近くまで向上しました。トポロジとコンポーネントテクノロジーの進化を通じてコンバータの効率を改善することが、高い電力密度を達成するための解決策です。

電流、電力、効率のトレンドの場合と同様に、理想ダイオード / ORing コントローラは、小型パッケージで大電流を供給する必要があります。また、理想ダイオード / ORing コントローラは、監視、フォルト処理、過渡処理などの機能を統合して、これらの機能の実現に必要な総部品点数と PCB 面積を削減する必要があります。

たとえば、サーバー PSU 内の PFC 回路は、パッシブ PFC からアクティブブリッジ PFC、さらにはアクティブブリッジレス PFC へと進化してきました。絶縁 DC/DC コンバータは、ハードスイッチングのフライバックコンバータやフォワードコンバータから、ソフトスイッチングのインダクタ - インダクタ - コンデンサ共振や位相シフトフルブリッジコンバータへと進化してきました。非絶縁 DC/DC コンバータは、リアレギュレータや磁気アンプから、同期整流器を採用した降圧コンバータへと進化してきました。このようにして全体の効率が向上すると、内部消費電力が減少し、熱に関する問題を解決するために必要な労力が減少します。

サーバー PSU に適用されるコンポーネントテクノロジーも、IGBT やシリコン MOSFET から、SiC MOSFET や GaN FET などのワイドバンドギャップデバイスへと進化しています。IGBT やシリコン MOSFET は、スイッチング特性が理想的ではないので、スイッチング周波数が 200kHz 未満に制限されます。ワイドバンドギャップデバイスは、理想スイッチに近いスイッチング特性を備えており、ワイドバンドギャップデバイスを使用すれば、より高いスイッチング周波数を実現して、PSU に使用する磁気部品の数削減できます。

動作温度が上昇するにつれて、サーバー PSU 内の部品はより大きな熱ストレスに対処する必要が生じます。その結果、回路の進化も促進されます。たとえば、従来の実装では、スタートアップ時の入力突入電流を抑制するために、機械式リレーと抵抗を並列に使用します。しかし、サイズの大きさ、信頼性に関する懸念、低い温度定格により、サーバーの PSU 内にある機械式リレーは、今では、ソリッドステートリレーに置き換えられる傾向にあります。

> 180W/in³ の電力密度を備えた 3.6kW の単相トータムポールブリッジレス PFC デザイン、およびアクティブクランプ設計で > 270W/in³ の電力密度を備えた 3kW の位相シフトフルブリッジは、サーバーにおける共通冗長電源の仕様を満たすことを目的としています (図 4)。

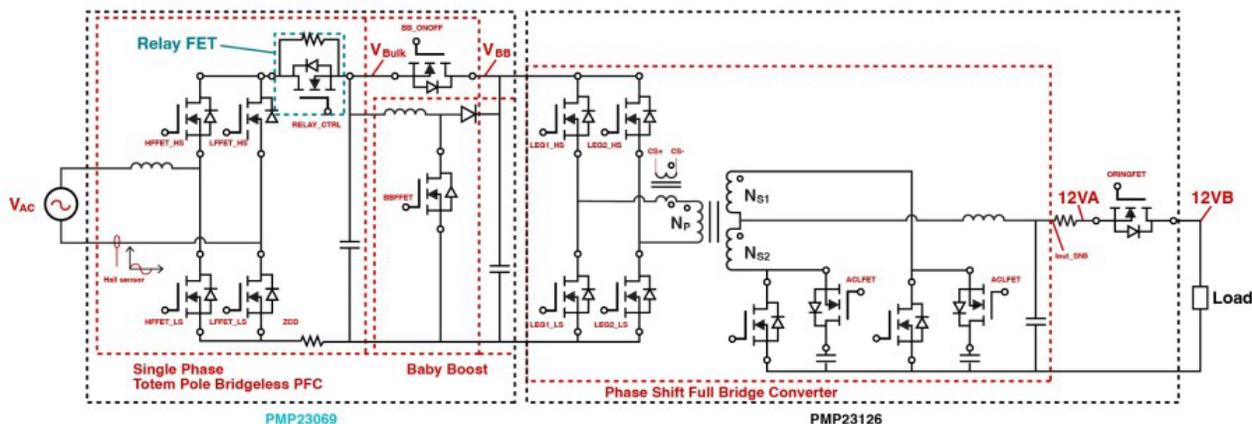


図 4. このブロック図は 3.6kW と 3kW のリファレンス・デザインを示します。出典:テキサス・インスツルメンツ

3.6kW PFC デザインでは、ソリッドステートリレーが高い動作温度に対応します。この場合、[LMG3522R030 GaN FET](#) を使って、ブリッジレストータムポール PFC トポロジを利用できます。「ベビーブースト」機能により、バルクコンデンサの体積を低減し、電力密度を高めることができます。

3kW 位相シフトフルブリッジデザインでは、[LMG3522R030 GaN FET](#) が、循環電流を低減するのに役立っており、ソフトスイッチングを実現できます。アクティブクランプ回路がロスレススナバとして機能することで、コンバータの効率が向上し、同期整流器の電圧ストレスが軽減されます。前述のすべての制御要件は、[C2000™](#) マイクロコントローラをデジタル制御プロセッサとして動作させることにより達成できます。

関連コンテンツ:

- [サーバーの電力効率を高める方法](#)
- [データセンターに電力を供給する GaN と MCU](#)
- [Facebook がデータセンター、サーバー設計を公開](#)
- [サーバの冗長電源技術の解説](#)
- [効率向上のためのデータセンター次世代電源ソリューション](#)

以前 [EDN.com](#) で公開された記事です。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated