

## Technical Article

# Kompromisse bei der Stromversorgung bei der Vorbereitung auf die nächste Welle des KI-Computing-Wachstums



Es wird davon ausgegangen, dass die IT-Rack-Leistung in den nächsten zwei bis drei Jahren 1 MW übersteigen wird. Der Bedarf an einer höheren Leistungsdichte in KI-Servern hat zu einem Übergang von einem 48-V- oder 54-V-Bus zu einem DC-Bus mit einer höheren Spannung von 800 VDC geführt. Der Übergang zu 800 VDC bringt Herausforderungen bei der Erzielung einer hocheffizienten und hochleistungsfähigen Energieumwandlung auf Systemebene mit sich, bietet aber auch die Möglichkeit, die Stromversorgungsarchitektur in einem IT-Server-Rack zu überprüfen.

Der Wechsel auf 800 VDC verändert die Stromversorgungsarchitektur, wie in Abbildung 1 dargestellt. Der Eingang in das IT-Tray liegt jetzt bei 800 VDC. Hierfür wird eine Hot-Swap-Schaltung mit höherer Spannung benötigt, um den Einschaltstrom zu regeln und eine sichere Verbindung mit dem Bus mit höherer Spannung zu verwalten. Ein Zwischenbuswandler (Intermediate Bus Converter, IBC) mit hohem Wandlungsverhältnis auf der Stromverteilungsplatine wandelt Energie von 800 VDC in eine niedrigere Zwischenbusspannung um. Eine Isolierungsbarriere (mit verstärkter Isolierung) in diesem System könnte das Hochspannungssystem vom Niederspannungssystem trennen. Der Rest der Leistungsarchitektur würde ähnlich aussehen und wirken wie das Computing-Tray mit künstlicher Intelligenz (KI) mit 48 VDC, aber es gibt mehrere mögliche Variationen. Eine Option ist ein IBC mit 800 V bis 50 V, gefolgt von einem IBC mit 50 V bis 12,5 V oder 6,25 V.

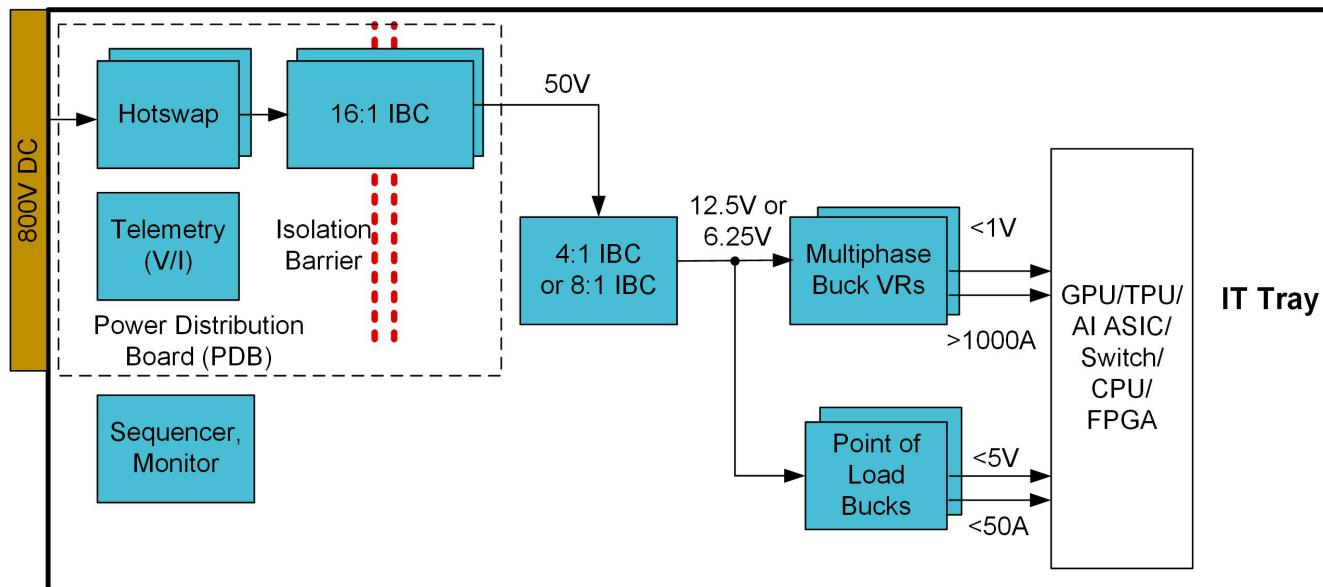
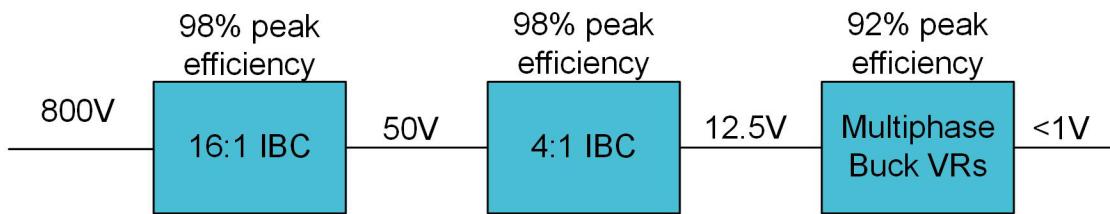


Abbildung 1. Beispiel für die Stromversorgungsarchitektur des IT-Trays in einem System mit 800 VDC

Untersuchen wir nun anhand der skizzierten Stromversorgungsarchitektur die Ziele und Designkompromisse der Stromversorgung. Ein Ziel von Rechenzentrenbetreibern besteht darin, eine hohe durchgehende Energieeffizienz bei der Energieumwandlung zu erreichen. Dadurch werden die Betriebskosten im Rechenzentrum sowie die durch Leistungsverluste (und der damit verbundene Heizungs-, Lüftungs- und Klimanlagenaufwand) erzeugte Wärme reduziert und der Energieverbrauch auf die beabsichtigte Last konzentriert: den KI-Beschleuniger oder -Prozessor und andere unterstützende Schaltungen. Weitere wichtige Ziele sind geringe Größe (begrenzter Platinenplatz für Leistungskomponenten), hohe Zuverlässigkeit und

die Erfüllung von Leistungsanforderungen, wie zum Beispiel das Einschwingverhalten von mehrphasigen Spannungsreglern und Point-of-Load-Abwärtswandlern.

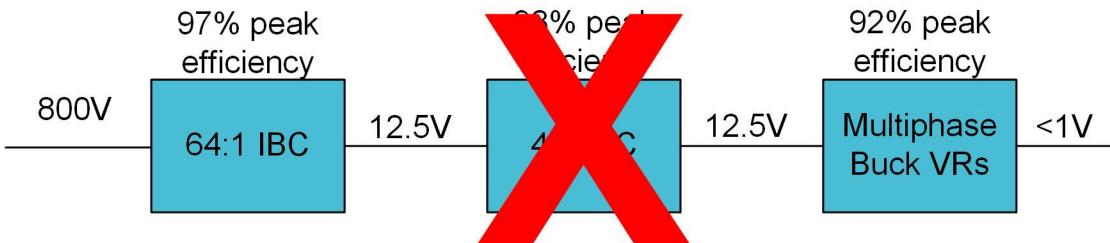
Ein Ansatz besteht darin, der vorhandenen 48V-Stromversorgungsarchitektur einfach einen IBC mit höherer Spannung hinzuzufügen. Abbildung 2 zeigt diese dreistufige Umwandlungsarchitektur. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass der Großteil der vorhandenen auf 48 V basierten Stromversorgungsarchitektur wiederverwendet werden kann. Betrachten wir einen IBC mit höherer Spannung und einem Spannungswandlungsverhältnis von 16 zu 1 (d. h. einen 48-V-Ausgang). Wenn Sie annehmen, dass die Spitzenwirkungsgrade des IBCs mit 16-zu-1-Verhältnis 98 %, des IBCs mit 4-zu-1-Verhältnis 98 % (von 50 V bis 12,5 V) und des mehrphasigen Spannungsreglers 92 % (von 12,5 V bis zum Kern) betragen, beträgt der gesamte Spitzenwirkungsgrad der Wandlung ca. 88 % von 800 V DC bis hinab zum Kern.



**Abbildung 2. Dreistufige Wandlungsarchitektur**

Ein wichtiger Punkt ist die Auswahl der richtigen Spannung für den Zwischenbus. Eine weitere Architektur ähnlich Abbildung 2 besteht darin, den 50-V- bis 12,5-V-IBC (Verhältnis 4 zu 1) durch einen 50-V- bis 6,25-V-IBC (Verhältnis 8 zu 1) zu ersetzen. Der Wirkungsgrad des 4-zu-1-IBCs, jetzt 8-zu-1-Verhältnis, würde geringfügig abnehmen (ca. 97,5 % Spitzenwert), aber die 6,25-V-Eingangsspannungsreglerstufe könnte einen Anstieg des Wirkungsgrads auf einen Spitzenwert von 92,5 % aufweisen. Der Gesamtwirkungsgrad könnte bei ca. 88 % Spitzenwert ähnlich sein. Der Vorteil einer niedrigeren Eingangsspannung der Spannungsreglerstufe besteht in der Möglichkeit, mit einer höheren Frequenz zu schalten, wodurch die Größe verringert, die Einschwingleistung verbessert und die rückseitige Montage (vertikale Stromversorgung oder VPD) ermöglicht wird.

Sie fragen sich vielleicht, warum drei Wandlungsstufen erforderlich sind und ob es möglich ist, die Stromversorgungsarchitektur auf zwei Stufen zu vereinfachen: einen hocheffizienten IBC mit hohem Wandlungsverhältnis und einen hochleistungsfähigen Spannungsregler. Sehen wir uns diese Architektur an, wie in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3. Zweistufige Wandlungsarchitektur mit einem 64-zu-1-IBC**

Durch Entfernen des 4-zu-1-IBC konnte der 64-zu-1-IBC 12,5 V direkt mit einem angenommenen Spitzenwirkungsgrad von 97 % ausgeben. Der Gesamtpitzenwirkungsgrad von 800 V bis hinab zur Kernschiene beträgt dann etwa 89 %. Bei dieser vereinfachten Analyse werden auch die Verluste auf der Leiterplatte vom Ausgang des 64-zu-1-IBC zum Spannungsreglereingang nicht berücksichtigt. Wenn es jedoch möglich ist, diese Verluste auf <1 % zu halten, bleibt der Gesamtwirkungsgrad gleich. Dieser Ansatz könnte Größe und Kosten minimieren, da der 4-zu-1-IBC nicht mehr erforderlich ist. Abbildung 4 veranschaulicht diese potenzielle Architektur.

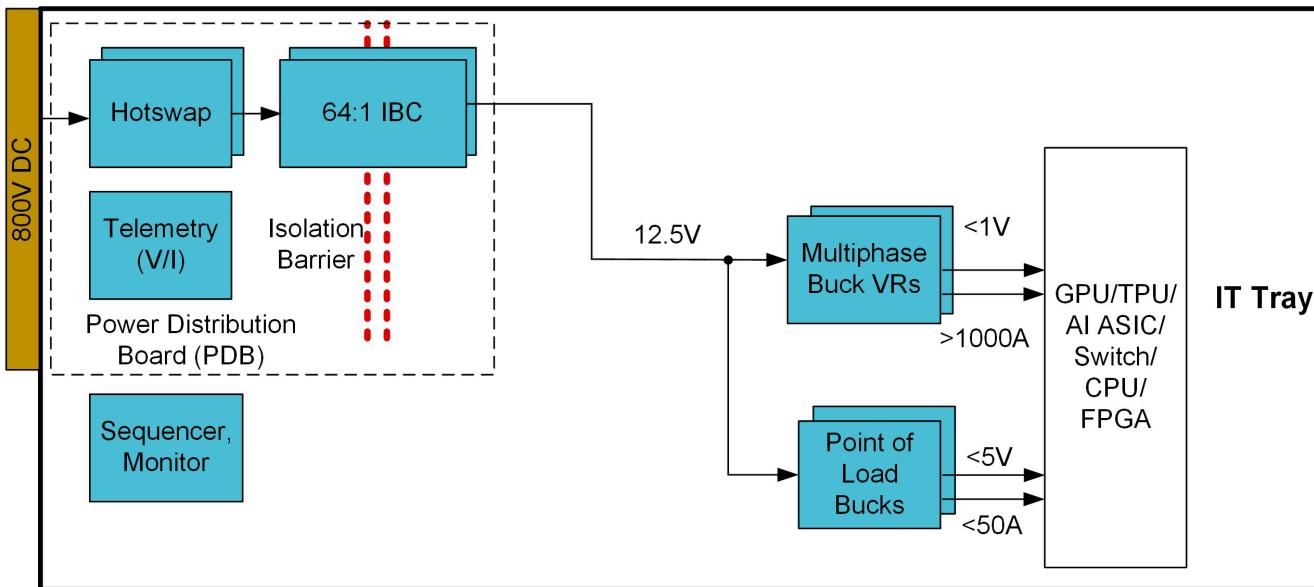


Abbildung 4. Zweistufige 800-V-Wandlungsarchitektur mit 64-zu-1-IBC

Abbildung 5 erweitert diese zweistufige Wandlungsarchitektur und zeigt die Implementierung des 64-zu-1-IBC mit einem Spannungswandlungsverhältnis von 128 zu 1 mit einem 6,25-V-Ausgang. Wie bereits erwähnt, ermöglicht eine geringere Eingangsspannung zum mehrphasigen Spannungsregler einen höheren Frequenzbetrieb, eine geringere Größe und eine vertikale Stromversorgung (Montage auf der Rückseite der Platine unter dem Prozessor). Der geschätzte Spitzenwirkungsgrad von 800 V zum Kern beträgt 89 % (ohne Platinenverluste).

Die Herausforderung bei dieser Architektur besteht darin, dass der Ausgangsstrom des 128-zu-1-IBC sehr groß ist. Angenommen, die vom System gelieferte Leistung beträgt etwa 15 kW bis 20 kW, gäbe es 2,4 kA bis 3,2 kA bei 6,25 V. Um die Verluste der Platine auf dem 6,25-V-Zwischenbus auf einem angemessenen Niveau (<1 oder 2 %) zu halten, sind sehr große Leiter (z. B. Sammelschienen) erforderlich. Der 128-zu-1-IBC benötigt wahrscheinlich mehrere parallel geschaltete Module, um den beabsichtigten Strompegel zu erreichen.

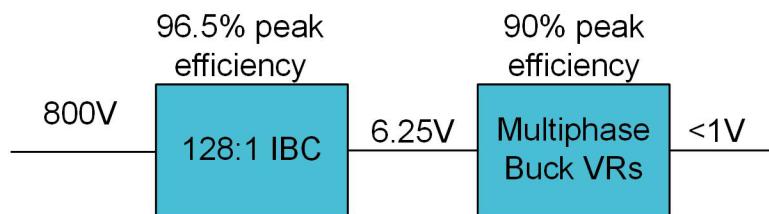


Abbildung 5. Zweistufige 800-V-Wandlungsarchitektur mit einem 128-zu-1-IBC

## Fazit

Der Übergang zu einer 800-VDC-Stromversorgungsarchitektur stößt eine erneuerte Diskussion darüber an, wie die Stromversorgung angesichts der Kompromisse des Gesamtwirkungsgrads, der Größe und der Leistung entworfen werden kann. Das TI-Portfolio von Galliumnitrid-Leistungsstufen (GaN), digitalen Leistungsreglern, mehrphasigen Abwärtsspannungsreglern, DC/DC-Point-of-Load-Abwärtswandlern, Hot-Swap-Controllern, isolierten Gate-Treibern und mehr ermöglicht der Branche, diesen Übergang zu bewältigen.

Durch die Zusammenarbeit mit NVIDIA bei der Entwicklung von Power-Management-Lösungen, die eine 800-VDC-Architektur unterstützen, gewährleisten die Produkte von TI eine zuverlässige Spannungswandlung an kritischen Punkten der Stromversorgungsarchitektur und bieten die Schutz-, Überwachungs- und Telemetriefunktionen, die für 48-V- und 800-V-Ökosysteme erforderlich sind. Gleichzeitig wird eine hocheffiziente und hochdichte Leistungswandlung vom Stromnetz zum KI-Beschleuniger-Gate ermöglicht. Erfahren Sie mehr über die [Rechenzentrums- und Enterprise-Computing-Lösungen von TI](#).

## Marken

Alle Marken sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.

## WICHTIGER HINWEIS UND HAFTUNGSAUSSCHLUSS

TI STELLT TECHNISCHE UND ZUVERLÄSSIGKEITSDATEN (EINSCHLIESSLICH DATENBLÄTTER), DESIGNRESSOURCEN (EINSCHLIESSLICH REFERENZDESIGNS), ANWENDUNGS- ODER ANDERE DESIGNBERATUNG, WEB-TOOLS, SICHERHEITSINFORMATIONEN UND ANDERE RESSOURCEN „WIE BESEHEN“ UND MIT ALLEN FEHLERN ZUR VERFÜGUNG, UND SCHLIESST ALLE AUSDRÜCKLICHEN UND STILLSCHWEIGENDEN GEWÄHRLEISTUNGEN AUS, EINSCHLIESSLICH UND OHNE EINSCHRÄNKUNG ALLER STILLSCHWEIGENDEN GEWÄHRLEISTUNGEN DER MARKTGÄNGIGKEIT, DER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK ODER DER NICHTVERLETZUNG VON RECHTEN.

Diese Ressourcen sind für qualifizierte Entwickler gedacht, die mit TI-Produkten entwickeln. Sie allein sind verantwortlich für (1) die Auswahl der geeigneten TI Produkte für Ihre Anwendung, (2) das Design, die Validierung und den Test Ihrer Anwendung und (3) die Sicherstellung, dass Ihre Anwendung die geltenden Normen sowie alle anderen Sicherheits-, regulatorischen und sonstigen Vorgaben erfüllt.

Diese Ressourcen können jederzeit und ohne Vorankündigung geändert werden. Sie erhalten von TI die Erlaubnis, diese Ressourcen ausschließlich für die Entwicklung von Anwendungen mit den in der Ressource beschriebenen TI-Produkten zu verwenden. Jede andere Vervielfältigung und Darstellung dieser Ressourcen ist untersagt. Es wird keine Lizenz für andere Rechte am geistigen Eigentum von TI oder an Rechten am geistigen Eigentum Dritter gewährt. TI übernimmt keine Verantwortung für und Sie schützen TI und seine Vertreter gegen Ansprüche, Schäden, Kosten, Verluste und Verbindlichkeiten, die sich aus Ihrer Nutzung dieser Ressourcen ergeben.

Produkte von TI werden gemäß den [Verkaufsbedingungen von TI](#) oder anderen geltenden Bedingungen bereitgestellt, die entweder auf [ti.com](#) verfügbar sind oder in Verbindung mit diesen TI-Produkten bereitgestellt werden. Durch die Bereitstellung dieser Ressourcen durch TI werden die geltenden Garantien oder Gewährleistungsausschlüsse von TI für TI-Produkte weder erweitert noch verändert.

TI widerspricht allen zusätzlichen oder abweichenden Bedingungen, die Sie möglicherweise vorgeschlagen haben, und lehnt sie ab.

Postanschrift: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [ti.com](#) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025