参考資料

Design Guide: TIDA-011012

中電圧アプリケーション向け、50kW、SiC ベース モジュール型半導体トランスのリファレンス デザイン

説明

この設計では、シリコン カーバイド (SiC) パワー モジュールをベースにした 3 相半導体トランス (SST) を実装しています。モジュール型アーキテクチャの採用により、複数のコンバータ サブモジュールを直列にスタックし、中電圧グリッドの要件を満たすことができます。高速スイッチング SiC デバイスの採用により、DC/AC 段を 10kHz で、デュアル アクティブ ブリッジ (DAB) 絶縁段を 100kHz でスイッチングできるようになります。これにより、高周波磁気部品を小型化し、全体の電力密度を向上させることができます。モジュール間通信は、中電圧の最終製品で必要とされる高い絶縁電圧レベルを実現します。カスケード接続トポロジにより、グリッド電圧がサブモジュール間に均等に分配されるため、完全な中電圧動作を維持しながら、標準的な定格電圧の低い SiC デバイスを使用できます。

リソース

TIDA-011012	デザイン フォルダ
UCC35131-Q1	プロダクト フォルダ
UCC218915-Q1	プロダクト フォルダ
TMS320F28P650DK	プロダクト フォルダ
AMC0306M05	プロダクト フォルダ
AMC1336	プロダクト フォルダ
UCC33421	プロダクト フォルダ
AMC23C12	プロダクト フォルダ
ISOTMP35	プロダクト フォルダ
TMCS1133	プロダクト フォルダ

特長

- モジュール型のスケーラブル アーキテクチャを採用した、50kW 定格のリファレンス デザイン。
- 2.2kV の中電圧 DC リンク、1.5kV の低電圧 DC リンク。
- 中電圧側にある SiC パワー モジュールをベースとする H ブリッジ コンバータ。
- 100kHz でスイッチングを行う絶縁型 DC/DC 変換段用デュアル アクティブ ブリッジ (DAB)。
- ユニポーラ モードで 10kHz のスイッチングを行う DC/AC コンバータ。
- 必要な絶縁電圧を提供する、サブモジュール間の光ファイバ通信。
- グリッドからストレージ、およびストレージからグリッドへの電力供給に対応する双方向の電力フロー機能。
- シングル モジュールのサイズ：850mm × 300mm × 80mm。

アプリケーション

- 半導体トランス (SST)
- セントラル インバータ
- 電力変換システム (PCS)
- エネルギー ストレージ システム

テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。

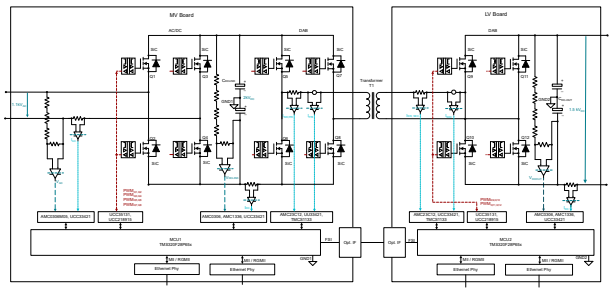

図 1-1. ブロック図

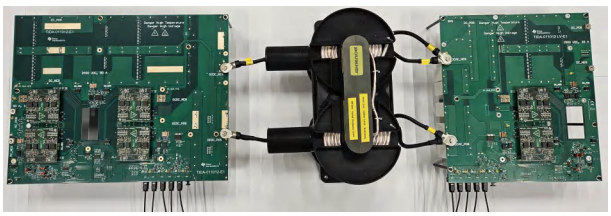

図 1-2. ボードのセットアップ

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 システムの説明

産業設備や商業施設全体で電力の変換と分散を行う方法は、大きな変化を遂げています。ライン周波数トランスは数十年にわたって、グリッド接続型システムの治具として使用されてきました。これらのトランスは信頼性が高い一方、かさばり、重く、低電圧のパワー エレクトロニクス システムとのインターフェイス接続ではあまり効率的ではありません。現在、大規模な公益事業である太陽光発電、グリッド接続のバッテリ ストレージ、高密度データ センターなどのアプリケーションでは、小型で効率的な設備や、より高い電力レベルが求められています。このような技術革新の需要は、従来型トランス アーキテクチャを土台として構築されたパワー エレクトロニクス システムに圧力をかけています。

そこで代替として登場したのが、半導体トランス (SST) です。SST は、50Hz または 60Hz で動作する大型の鉄コア トランスに依存するのではなく、10kHz を超える周波数でスイッチングする高周波パワー エレクトロニクス ステージを使用して、同様のガルバニック絶縁および電圧変換を実行します。直接的な効果として、トランスのサイズと重量の低減を実現しています。さらに、中電圧グリッドから DC リンクへの直接的な電力変換が可能であり、システム効率が向上します。

中電圧グリッドは、10kV から 30kV までの間で動作します。中電圧動作の難点は、標準的な電力の半導体にこのような電圧レベルに対する耐性がないことです。この問題に対処するには、トポロジの選択が重要になります。資料で説明してきたさまざまなコンバータ アーキテクチャの中で、カスケード H ブリッジ (CHB) が SST 設計のための最も実用的なオプションであることはほぼ間違いありません。1 セットのスイッチング デバイスを完全な中電圧へ曝露する代わりに、複数の直列接続 H ブリッジ セル全体に電圧を分割します。個々のデバイスは幅広い市販の低電圧部品から選択されるため、各セルには中電圧の合計からわずかな割合しか観測されません。さらに、これらの部品は通常、高電圧部品に比べて高速かつ安価で、より優れた特性を示します。

CHB トポロジのモジュール構造には、電圧問題の解決だけではなく、その他の利点もあります。たとえば、セルの数をターゲット電圧に応じて拡張または低減できたり、アーキテクチャが冗長性をサポートしていたりします。冗長性とは多くの場合、障害が発生したセルを、コンバータ全体をオフラインにせずバイパスできることを意味します。

これらの特性から SST は、太陽光発電所、バッテリ エネルギー ストレージ システム、データ センターなどに将来必要とされる電力インフラにとって魅力的なビルディング ブロックとなります。

この設計ガイドでは、カスケード H ブリッジ トポロジを中心に構築された双方向 50kW SST リファレンス デザインを紹介します。各サブモジュールは、中電圧側の H ブリッジ コンバータと、絶縁型 DC/DC 変換段用のデュアル アクティブ ブリッジ (DAB) で構成されます。中電圧 DC リンクは定格 2.2kV であり、低電圧 DC リンクは 1.5kV で動作します。サブモジュール間の通信は光ファイバ リンクを介して確立され、中電圧電位全体で動作する場合に必要な電気的絶縁レベルを実現します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1.1 主なシステム仕様

表 1-1. DC/AC コンバータの主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
公称 AC 電源	±50kVA	±有効、±無効
公称 AC 電圧	1000 VRMS	
公称 AC 電流	50 ARMS	
公称 DC 電圧	2200VDC	
DC リンク電圧リップル	±200V	2200V の場合
スイッチング周波数	5kHz ～ 10kHz	H ブリッジ ユニポーラ
冷却技術	強制空冷	12V ファン
最大周囲温度	60°C	
パワー FET 仕様	3.3kV、22.5mΩ	SiC FET

表 1-2. DC/DC コンバータの主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
公称 DC 電源	±50kW	双方向の電力伝送機能
MV 公称 DC 電圧	2.2kV	
MV 公称 DC 電流	23A	
LV 公称 DC 電圧	1.5kV	
LV 公称 DC 電流	33.3A	
スイッチング周波数	100kHz	
最大周囲温度	60°C	
パワー FET 仕様 (MV)	3.3kV、22.5mΩ	SiC FET
パワー FET 仕様 (LV)	2.3kV、11.5mΩ	SiC FET

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated



注意

電源を入れたままその場を離れないでください。



警告

高電圧！基板上は高電圧状態になっており、接触するおそれがあります。感電する可能性があります。基板は、不適切に取り扱った場合に感電、火災、負傷の原因となる電圧および電流で動作します。負傷や物品の破損を避けるために、必要な注意と適切な対策をもって機器を使用してください。安全のため、過電圧および過電流保護機能付きの絶縁された試験装置の使用を強く推奨します。

テキサス・インスツルメンツは、基板への電源投入やシミュレーション実行の前に、電圧要件および絶縁要件を確認し理解することがユーザーの責任であると考えます。電源投入中は、回路およびその接続部品には触れないでください。



警告

表面は高温！触れるとやけどの原因になることがあります。触らないでください！

基板の電源を入れると、一部の部品は 55°C を超える高温に達することがあります。動作中は常に、また動作直後も高温の状態が続く可能性があるため、基板に触れてはいけません。



警告

テキサス・インスツルメンツは、**このリファレンス デザインをラボ環境のみで使用するものとし、一般消費者向けの完成品とはみなしておりません。**このデザインは室温で動作することを意図しており、他の周囲温度での動作はテストされていません。

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインを高電圧電気 機械部品、システム、およびサブシステムの取り扱いに伴うリスクを熟知した**有資格のエンジニアおよび技術者**のみが使用するものとしています。

基板上は高電圧状態になっており、接触するおそれがあります。基板は、不適切に取り扱ったり適用したりした場合に感電、火災、負傷の原因となる電圧および電流で動作します。負傷や物品の破損を避けるために、必要な注意と適切な対策をもって機器を使用してください。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 システム概要

2.1 ブロック図

このリファレンスデザインは、以下のボードで構成されています。

- AC/DC と DAB コンバータ (2 つの H ブリッジ) の一部で構成される中電圧基板。
- DAB コンバータの 2 番目の部分 (1 つの H ブリッジ) で構成される低電圧基板。
- MV 基板と LV 基板で使用される 2 枚の制御カードボード (TMDSCNCD28P65X)。
- パワー FET の制御と保護に使用する 6 枚のゲートドライバ ボード。

図 2-1 に、50kW SiC ベースのモジュール型半導体トランスの回路概略図を示します。

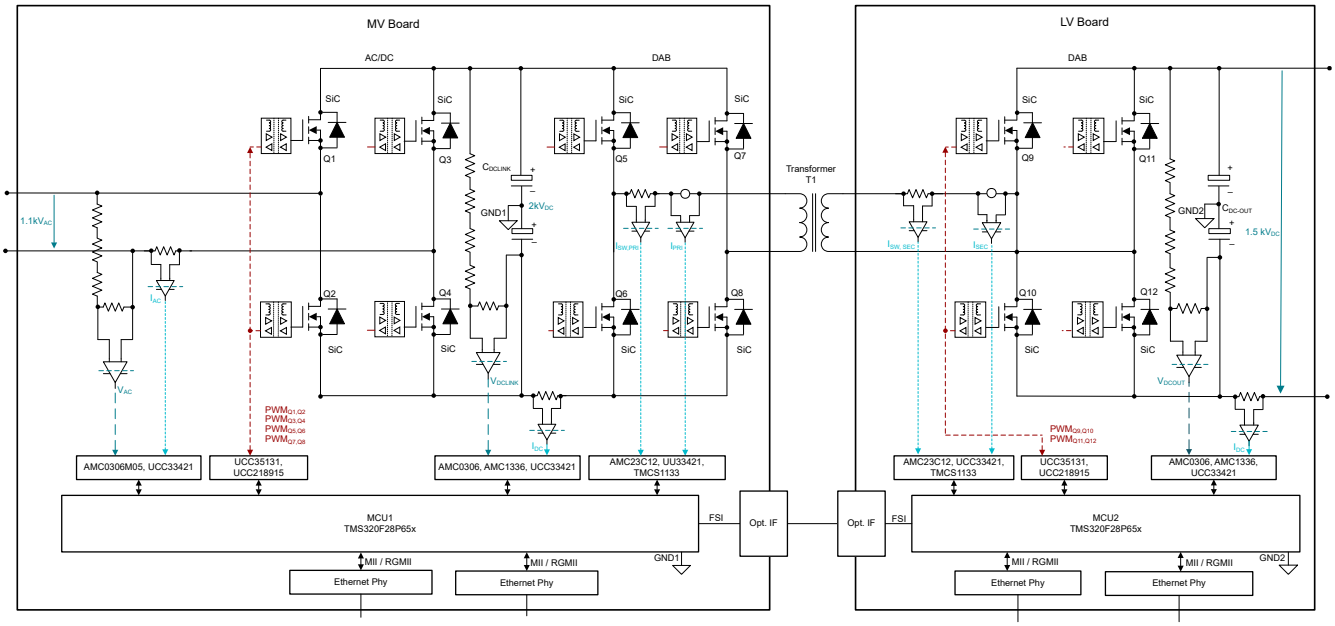

図 2-1. 50kW SiC ベースのモジュール型半導体トランスの回路図

2.2 設計上の考慮事項

図 2-2 に、3 相中電圧グリッドからの電力を DC 出力に変換する SST の基本アーキテクチャを示します。グリッド側で複数の H ブリッジ サブモジュールを直列接続しているため、各セル間で中電圧を均等に分配できます。出力側では DAB コンバータが並列接続されているため、降圧機能の実行により低電圧 DC リンクへ一括して給電できます。メイン コントローラは、ローカル サブモジュール コントローラと連携して動作し、入力電流をグリッド電圧と同位相になるよう整形しながら、出力電圧を制御します。回路絶縁の観点からは、各中電圧サブモジュールはコンデンサの中間点を基準としており、各サブモジュール内の絶縁部品に必要とされる耐性の範囲内で、電圧を実質的に半減させます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

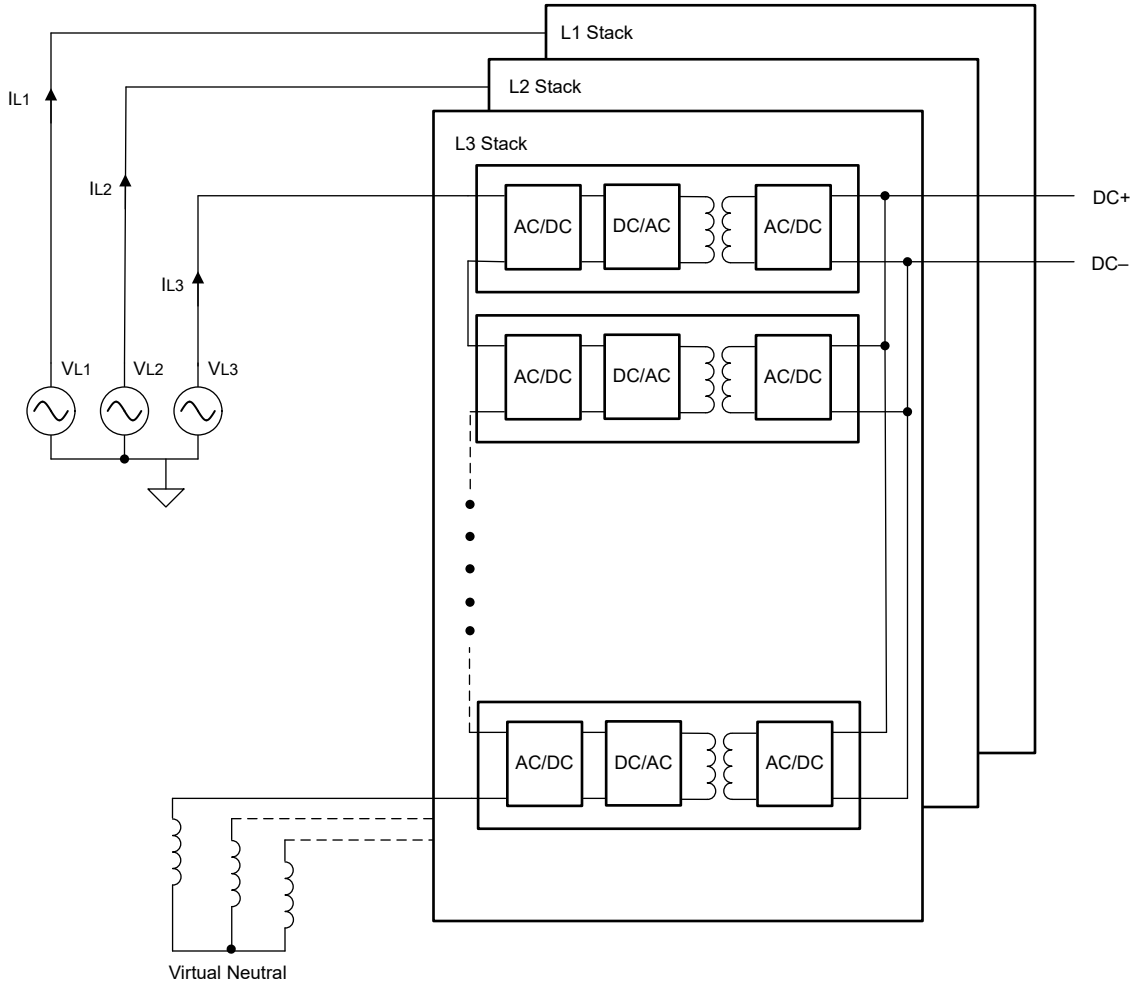

図 2-2. スタックの概要

2.2.1 DC/AC コンバータ

中電圧コンバータ段については、いくつかのトポロジを資料に記載しています。この中で H ブリッジは、追加の保護回路やクランプ素子を必要としないため、最も実装が簡単です。H ブリッジは、バイポーラおよびユニポーラ スイッチング モードで動作できます。ユニポーラ スイッチング モードでは、フィルタで観測される等価出力スイッチング周波数が実質的に倍増します。複数の H ブリッジ セルを使用する場合、セル間で PWM キャリアを位相シフトすると、出力の等価スイッチング周波数がさらに乗算されます。位相シフトにより、昇圧インダクタに必要なインダクタンスが大幅に減少します。このトポロジの DC リンク コンデンサは、本質的な電力リップルを基本周波数の 2 倍の周波数で吸収できるサイズになっています。このサイズ設定は、このリップルが DAB コンバータに伝搬して設計の過度な複雑化を避けるため意図的に選択されています。

2.2.2 DC/DC コンバータ

いくつかの絶縁型 DC/DC コンバータトポロジを資料に記載しています。SST アプリケーションで最も一般的に考慮されているのは、CLLC 共振コンバータとデュアル アクティブ ブリッジです。どちらにも利点がありますが、この設計では、グリッド接続型ストレージ アプリケーションの要件と適切に合致する簡潔な双方向制御を実現すべく DAB を選択しました。絶縁トランスはシステムの中電圧側と低電圧側の間にガルバニック バリアを備えているため、各 DAB セルに内蔵する絶縁トランスには、中電圧グリッド電位全体への耐性を持つ定格が必要です。すべての DAB コンバータが並列動作している場合、スイッチング パターンをインターリーブすると、出力 DC リンクの高周波電流リップルが大幅に低減されます。この設計の DAB は、グリッド側から供給される低周波の電力リップルを処理できるサイズではないことに注意してください。H ブリッジ段の DC リンク コンデンサでは、DAB の設計に重点を置き、かつ適切に最適化しながら電力リップルを完全に吸収します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.3 主な使用製品

2.3.1 UCC35131-Q1

UCC35131-Q1 は、IGBT、SiC、Si、GaN 絶縁ゲートドライバおよび UIR センサへの電力供給を目的として設計された車載認定済み高絶縁電圧 DC/DC パワー モジュールです。独自のトランス内蔵、フリップチップ パッケージ、高度な制御アーキテクチャにより、大電力密度と低ノイズが実現されています。このデバイスは、周囲温度が 85°C のとき、標準値 2.0W の出力電力を供給できます。高精度のデュアル出力電圧は、抵抗デバイダで設定でき、SiC、IGBT、GaN の各デバイスで、低オン抵抗、高速、高信頼性のスイッチングを実現します。低レイテンシのフィードバック制御により、出力容量を低減して高速負荷過渡を実現し、動的な電圧プログラミングをサポートできます。広い入力電圧範囲と調整可能な VIN UVLO は、電気自動車 (EV) の広いバッテリ電圧とレギュレーション済み入力レールの両方をサポートします。5.5V ～ 20V の VIN で動作し、最大 28V の VIN 過電圧過渡に耐えられます。内蔵の保護機能、異常検出出力付パワー グッド ピン、イネーブル機能により、システムの堅牢性が向上し、外付け部品が削減されています。沿面距離と空間距離が 8.2mm の SOIC パッケージにより、高い絶縁能力が提供されます。

2.3.2 UCC218915-Q1

UCC218915-Q1 は、先進の保護機能、クラス最高の動的性能、堅牢性を持ち合わせ、最高 1500V (DC) で動作する SiC MOSFET および IGBT 用に設計されたガルバニック絶縁型シングル チャネル プリドライバです。UCC218915-Q1 は、外付けバッファの NMOS/PMOS ペアを直接駆動するためのデュアル 2.8A 出力を備えています。入力側は SiO2 容量性絶縁技術によって出力側から絶縁されており、最大 1.06kVRMS の動作電圧、絶縁バリア寿命が 40 年を超える 10kVPK のサージ耐性を備えるとともに、小さい部品間スキューと 200V/ns を超える同相ノイズ耐性 (CMTI) を実現しています。UCC218915-Q1 には、SiC および IGBT のスイッチング動作と堅牢性を最適化するのに役立つ以下の保護機能が搭載されています。

1. 過電流または短絡の高速検出
2. 故障後の制御されたソフト シャットダウン
3. 障害通知
4. アクティブ ミラー クランプ
5. 高電圧側のアクティブ短絡入力
6. 入力側および出力側電源 UVLO

2.3.3 TMDSCNCD28P55X - controlCARD 評価基板

TMDSCNCD28P65X は、F28P65x デバイスの TI C2000™ MCU シリーズの初期評価とプロトタイプ製作向けに設計された、低コストの評価 / 開発ボードです。このデバイスは、HSEC180 (180 ピン高速エッジ コネクタ) を搭載しています。TMDSCNCD28P65X を評価するには、180 ピンのドッキング ステーションである TMDSHSECDOCK が必要です。TMDSHSECDOCK を個別ユニットとして、またはバンドル キットとして購入するには、TMDSHSECDOCK の製品ページをご覧ください。

ハードウェアの特長

- USB から JTAG への接続を行う XDS110 絶縁型オンボード デバッグ プローブにより、リアルタイムのインシステム プログラミングとデバッグが可能
- 標準 180 ピン controlCARD HSEC インターフェイス
- 2 ポート EtherCAT スレーブ コントローラ
- 標準 180 ピン HSEC インターフェイスでのアナログ I/O、デジタル I/O、JTAG 信号
- ハードウェア ファイルは C2000Ware の boards\controlCARDs\TMDSCNCD28P65X に格納

ソフトウェアの特長

- TI Code Composer Studio IDE - TI のマイコンと組込みプロセッサ向けの統合開発環境 (IDE)
- ソフトウェア開発キット (SDK)
- C2000Ware — 下位レベルのデバイス ドライバとサンプル。
- モーター制御 SDK - 各種 3 相モーター制御アプリケーション向け、モーター制御システムの開発
- デジタル電源 SDK - AC/DC、DC/DC、DC/AC の各種電源アプリケーション向け、デジタル電源システムの開発

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.3.4 AMC0306M05

AMC0x06M05 は、±50mV の差動入力およびデジタル出力を備えた高精度、ガルバニック絶縁型デルタ シグマ (ΔΣ) 変調器です。入力は、電流センシング アプリケーションで一般的に使用される低インピーダンス シャント抵抗への接続用に最適化されています。この絶縁バリアは、異なる同相電圧レベルで動作するシステム領域を分離します。絶縁バリアは磁気干渉に対して非常に耐性があります。このバリアは、最大 5kVRMS (DWV パッケージ) の強化絶縁と、最大 3kVRMS (D パッケージ) (60s) の基本絶縁を実現することが認定されています。AMC0x06M05 の出力ビットストリームは、外部クロックと同期します。sinc3、OSR 256 フィルタと組み合わせることにより、このデバイスは 16 ENOB (分解能の実効ビット数)、または 84dB のダイナミック レンジ (サンプリング レート 78kSPS) を実現します。AMC0x06M05 は、8 ピンのワイドボディおよびナローボディ SOIC パッケージで提供されます。これらのデバイスは、温度範囲 (–40℃ ～ +125℃) で完全に動作が規定されています。

2.3.5 AMC1336

AMC1336 は高精度のデルタ シグマ(ΔΣ)変調器で、磁気干渉に対して高い耐性のある二重の静電容量性絶縁バリアを採用して、入力回路と出力回路を電気的に分離しています。このバリアは、DIN VDE V 0884-11 および UL1577 規格に準拠した、8000 VPEAK までの強化絶縁として認証されています。この絶縁型変調器を絶縁型電源と組み合わせて使用すると、システムの中で異なる同相電圧レベルで動作する複数の部分を互いに分離し、低電圧部分の損傷を防ぎます。AMC1336 独自の広いバイポーラの±1V 入力電圧範囲と、高い入力抵抗から、高電圧アプリケーションでデバイスを分圧抵抗に直接接続できます。デジタル フィルタ (TMS320F28004x、TMS320F2807x、TMS320F2837x マイクロコントローラ ファミリに内蔵されているものなど) を使用して出力ビット ストリームを間引くと、82kSPS のデータ速度、87dB のダイナミック レンジで、16 ビットの分解能が得られます。ハイサイドでは、AMC1336 は 3.3V または 5V 電源から給電されます。絶縁型デジタル インターフェイスは、3.0V、3.3V、5V の電源で動作します。AMC1336 は、-40℃～+125℃の拡張工業用温度範囲で動作が規定されています。

2.3.6 UCC33421-Q1

UCC33421-Q1 は、車載用途向けに認定された DC/DC パワーモジュールで、トランス一体型技術を採用し、1.5W の絶縁型出力電力を供給するように設計されています。このデバイスは、4.5V ～ 5.5V の入力電圧動作範囲に対応し、5.5V の選択可能なヘッドルームを備えた 5.0V の出力電圧を安定化させることができます。UCC33421-Q1 は独自のトランスアーキテクチャを採用しており、5kVRMS の絶縁耐圧を実現すると同時に、低 EMI と優れた負荷レギュレーションを両立しています。UCC33421-Q1 には、故障通知メカニズム付きのイネーブル ピン、短絡保護、サーマル シャットダウンなど、システムの堅牢性を向上させる保護機能が内蔵されています。UCC33421-Q1 は、小型で薄型の SSOP パッケージ (5.85mm × 7.50mm) に収められており、高さは 2.65mm、沿面距離および空間距離は 8.2mm 以上です。

2.3.7 AMC23C12

AMC23C12 は、応答時間が短い絶縁型ウィンドウ コンパレータです。そのオープン ドレイン出力は、磁気干渉に対して優れた耐性を示す絶縁バリアによって入力回路から分離されています。このバリアは、VDE 0884-17 および UL1577 に従って最大 5kVRMS の強化ガルバニック絶縁を達成していることが認証されており、最大 1kVRMS の使用電圧に対応しています。その比較ウィンドウの中心は 0V です。つまり、入力電圧の絶対値がトリップ スレッショルド値を超えると、コンパレータはトリップします。このトリップ スレッショルドは、1 つの外付け抵抗で 20mV ～ 300mV の範囲に調整できるため、比較ウィンドウの範囲は ±20mV ～ ±300mV となります。REF ピンの電圧が 550mV より高い場合、負のコンパレータは無効化され、正のコンパレータのみが機能します。このモードでのリファレンス電圧は最大 2.7V です。このモードは、電圧電源を監視するのに特に便利です。本デバイスのオープン ドレイン出力はトランスペアレント モード (LATCH 入力を GND2 に接続します。出力は入力状態に従います) またはラッチ モード (ラッチ入力信号の立ち下がりエッジで出力がクリアされます) をサポートしています。AMC23C12 は 8 ピンのワイドボディ SOIC パッケージで供給され、–40℃ ～ +125℃の車載用温度範囲全体で動作が規定されています。

2.3.8 ISOTMP35

ISOTMP35 は、最大 3000VRMS の耐電圧の内蔵絶縁バリアと、-40℃ ～ 150℃ で 10mV/℃ の勾配を特長とするアナログ温度センサを組み合わせています。この統合により、高価な絶縁回路を必要とせずに、センサを高電圧熱源 (たとえば HV FET、IGBT、HV コンタクタ) と同じ場所に設置することができます。また、高電圧熱源に直接接触することで、絶縁要件を満たすためにセンサを遠くに配置するアプローチに比べ、より高い精度と高速な熱応答が得られます。
ISOTMP35 は非絶縁型の 2.3V～5.5V 電源で動作するため、高電圧プレーンでサブレギュレートされた電源を利用できないアプリケーションに簡単に統合できます。内蔵絶縁バリアは UL 1577 の要件を満たしています。表面実装パッケージ

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

(7 ピン SOIC) は、熱源から組込み熱センサへの優れた熱流を提供し、熱質量を最小限に抑え、より正確な熱源測定を実現します。これにより、時間のかかる熱モデリングの必要性が減り、製造や組み立てによる機械的なバラツキが減少するため、システム設計のマージンが向上します。ISOTMP35 の Class-AB 出力ドライバは、最大出力が 500µA と強力で、最大 1000pF の容量性負荷を駆動でき、A/D コンバータ (ADC) のサンプル ホールド入力と直接インターフェイスするように設計されています。

2.3.9 TMCS1133

TMCS1133 は、業界をリードする絶縁性と精度を備えたガルバニック絶縁ホール効果電流センサです。入力電流に比例する出力電圧により、優れた直線性と、あらゆる感度オプションで低ドリフトを実現しています。ドリフト補償を内蔵した高精度シグナル コンディショニング回路は、寿命全体にわたってシステム レベルのキャリブレーションを必要とせず、1.4% 未満の最大感度誤差および 1.4% 未満の過熱を達成しています。また、高精度のシグナル コンディショニング回路は、寿命および温度ドリフトを含む 1 回限りの室温キャリブレーションで、0.9% 未満の最大感度誤差を達成しています。AC または DC 入力電流は内部導体を流れ、そこで発生する磁界を、内蔵のオンチップ ホール効果センサで測定します。コアレス構造のため、磁気コンセントレータは不要です。差動ホール センサは、外部の浮遊磁界による干渉を排除します。導体抵抗が小さいので、測定可能な電流範囲が最大 ±96A まで拡大すると同時に、電力損失を最小化し、放熱要件を緩和できます。5kVRMS に耐える絶縁と、最小 8mm の沿面距離および空間距離により、高いレベルの、信頼できる寿命をもった強化動作電圧を実現します。内蔵シールドにより、優れた同相除去と過渡耐性を実現しています。固定感度とすることで、デバイスは 3V ～ 5.5V の単一電源で動作でき、レシオメトリック誤差をなくし、電源ノイズ除去を向上させています。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、およびテスト結果

3.1 ハードウェア要件

テスト設定は、以下のハードウェア コンポーネントで構成されます。

- TIDA-011012 中電圧基板 1 枚
- TIDA-011012 低電圧基板 1 枚
- UCC25800A をベースとするゲートドライバ カード 4 枚
- UCC35131 をベースとするゲートドライバ カード 2 枚
- TMDSCNCD28P65X 制御カード 2 枚
- 4kVRMS を上回る連続同相電圧を定格とする USB アイソレータを搭載した USB Type-C™ ケーブル 2 本
- 12V 出力と 3A 電流定格を採用した電源アダプタ 2 個。4kVRMS を上回る連続同相電圧に耐えることが可能
- 中電圧と低電圧の間の電源トランス
- AC 側のインダクタ セット
- ノートブック PC
- 定格 60kW を上回る 1.5kV DC 双方向電源
- 定格 60kW を上回る 1kV AC 双方向電源
- 電力アナライザ

UCC25800A をベースとする 4 枚のゲートドライバ カードを、H ブリッジ コンバータの一次側と二次側の両方に使用します。

3.2 テスト設定

システム全体は閉ループ モードで動作します。2 つのマイコンは、光ファイバ チャネルを通じて通信と同期を行います。

中電圧基板では、TMDSCNCD28P65X は以下の制御ループを実行します。

- AC 電流制御
- AC グリッド電圧と同期するための PLL。AC 電圧は、SDFM 電圧センシングを使用してサンプリングされ、マイコン上で再構成されます
- 2.25kVDC の設定ポイントを使用した中電圧 DC バス電圧制御
- 開ループ モードで動作する中電圧 H ブリッジ

低電圧基板では、TMDSCNCD28P65X は以下の制御ループを実行します。

- DC 出力電流制御

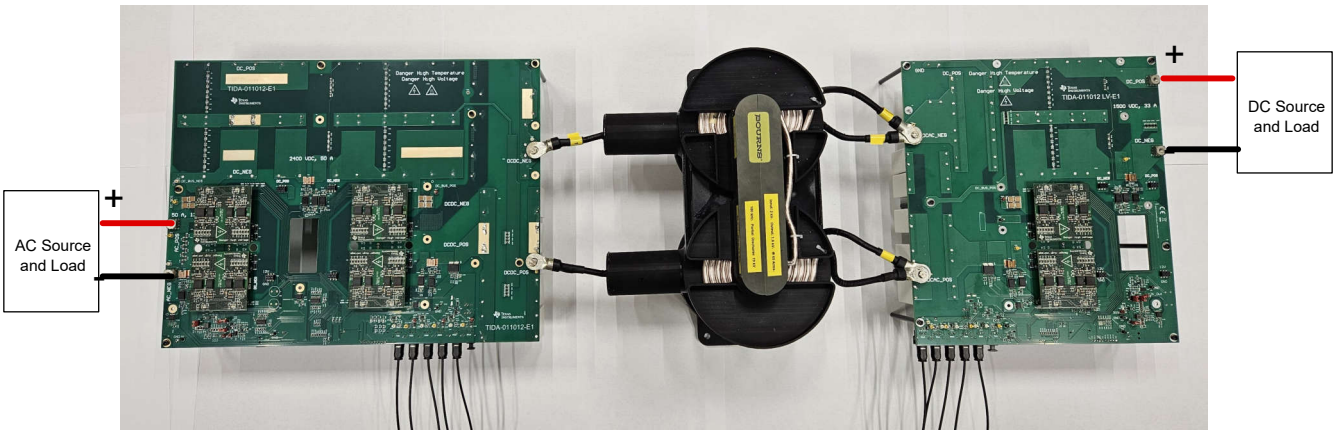

図 3-1. リファレンス デザインのテスト用接続

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.3 テスト結果

3.3.1 公称出力電力のテスト

電力が AC 端子から DC リンク端子に変換されました。AC 端子の電圧は 1000VRMS、DC 端子の電圧は 1500V です。50kW の出力電力が達成された際の対応する波形を図 3-2、図 3-3、図 3-4 に示します。図 3-2 に、電流と差動スイッチング ノード電圧を示します。3 レベルの出力波形から、ユニポーラ スイッチング手法が採用されていることが分かります。DC/AC 段は 10kHz で切り換えられ、その結果 20kHz の等価出力周波数となります。中電圧 DC リンクは 2.25kV に設定され、電圧リップルが観測されます。このリップルは単相電力変換によって発生し、100Hz の周波数成分が入り込みます。100Hz のリップルは、DC リンク コンデンサによって減衰されます。

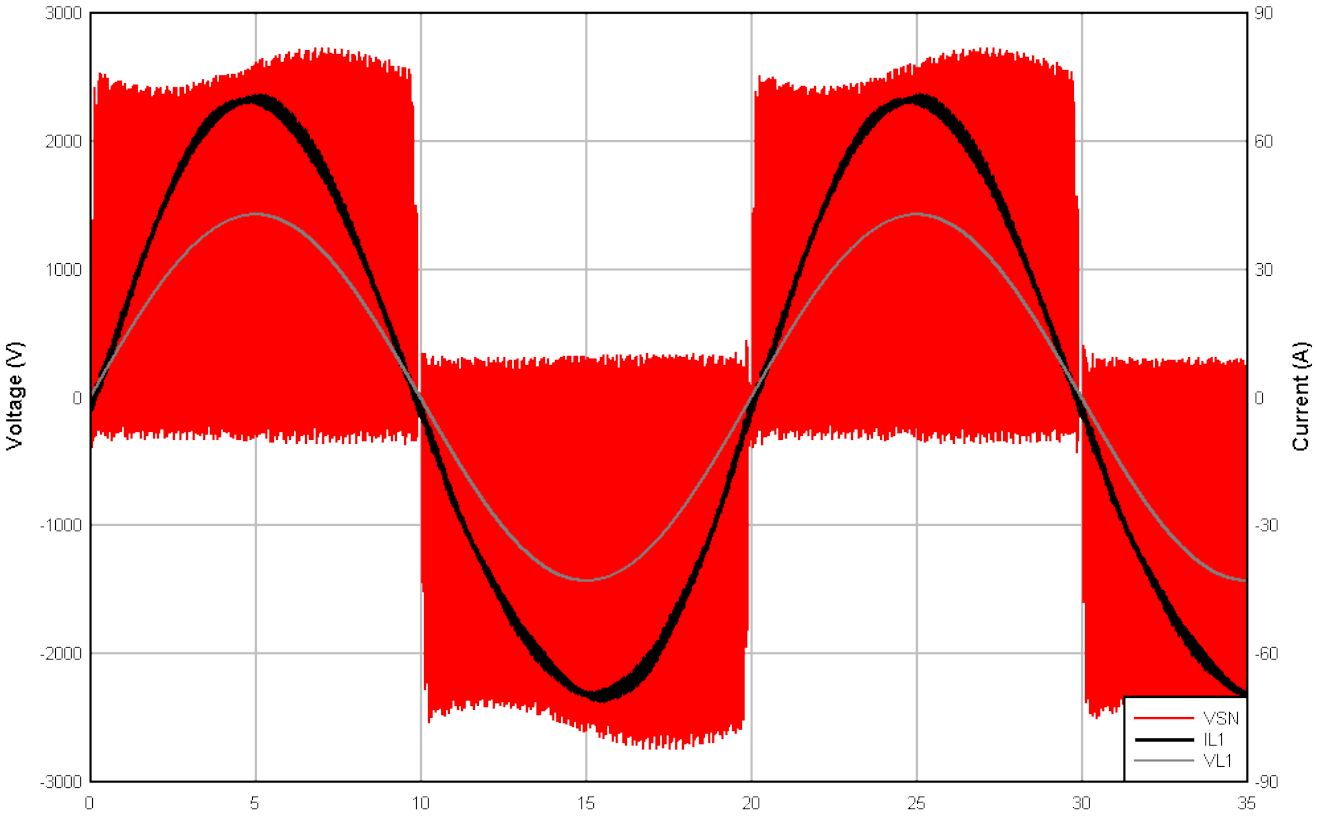

図 3-2 の x 軸の時間単位はミリ秒です。

図 3-2. 差動スイッチング ノード電圧 (赤)、差動スイッチング ノード電圧の基本高調波、スイッチング ノード電流

変換電力を評価するために、高速フーリエ変換 (FFT) を使用して DC/AC スイッチング電圧を処理し、基本高調波を抽出しました。電圧と電流はほぼ同位相であることが確認され、力率はほぼ 1.0 になります。約 50ARMS の RMS 電流が達成されました。

DAB 側では、一次側と二次側のトランス電圧を測定しました。結果を図 3-3 に示します。DAB が 100kHz で切り替えられ、電力伝送を可能にする位相シフトが存在します。一次側スイッチング ノード電流についても青色で示しています。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

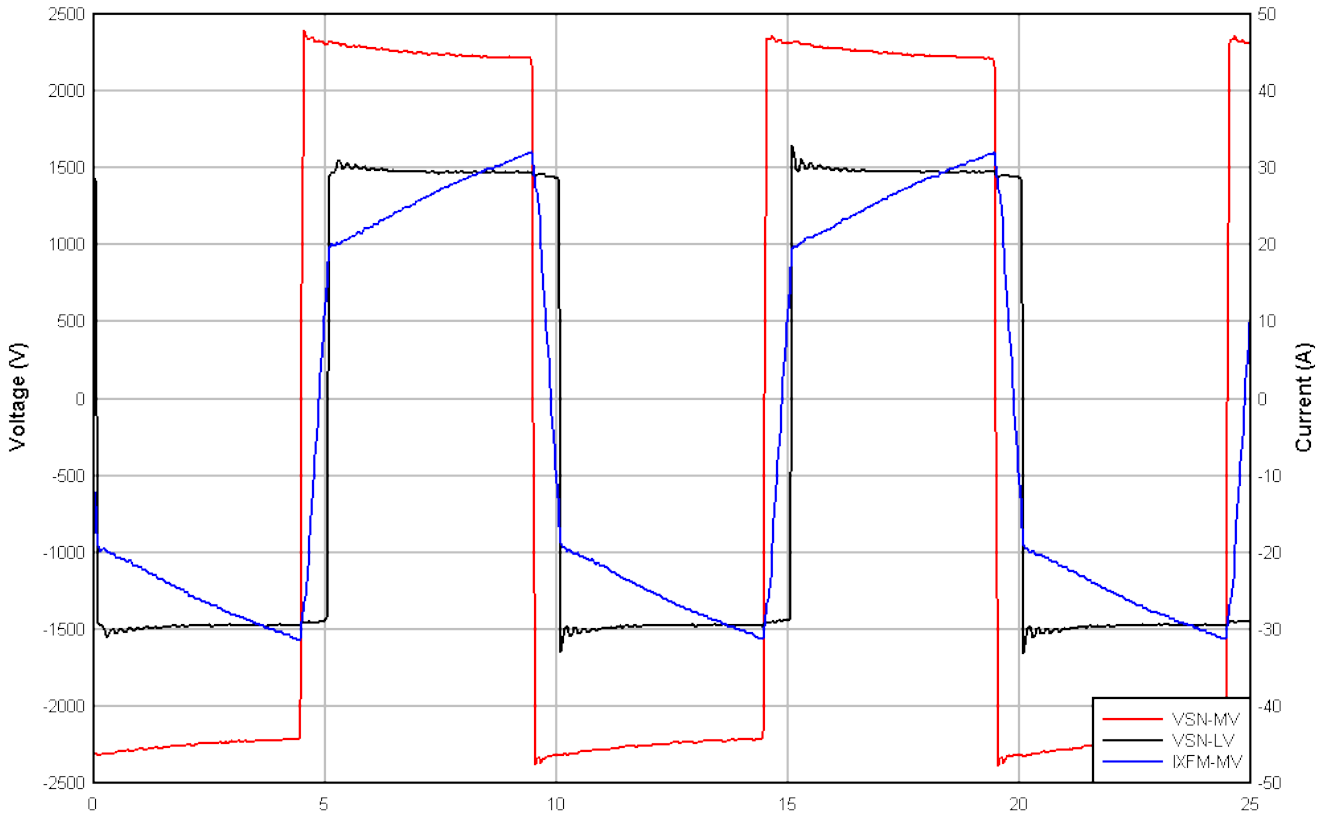

図 3-3 の x 軸の時間単位はマイクロ秒です。

図 3-3. 50kW での電力伝送時における一次側および二次側のトランスの波形

DC 側の波形を図 3-4 に示します。DC 電流と DC 電圧の両方が記載されています。DC 電流には 100Hz の大きなリップルは見られません。電力リップルの大部分は中電圧の DC リンク コンデンサ (160µF) に吸収されるためです。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

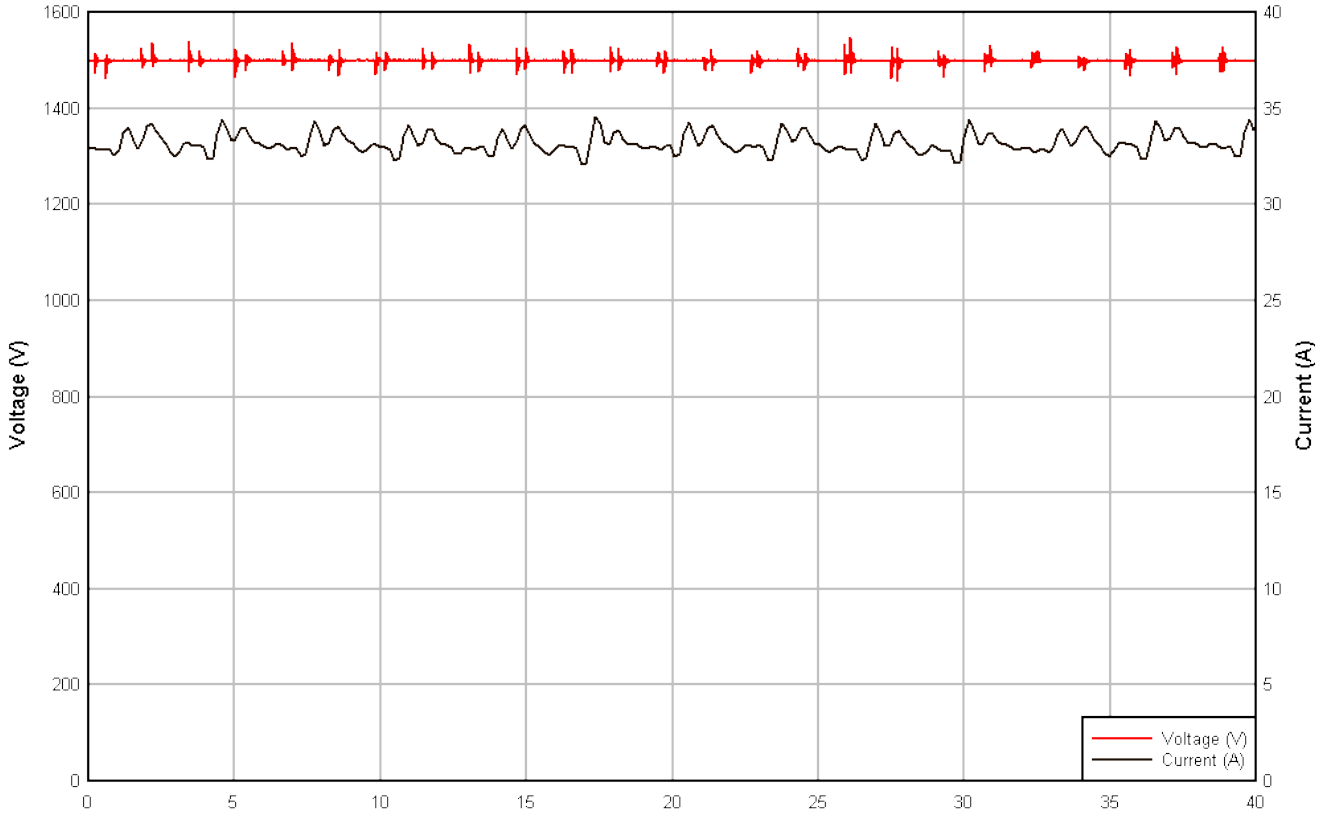

図 3-4 の x 軸の時間単位はミリ秒です。

図 3-4. 整流後電力 50kW での低電圧側の DC 電圧および電流

3.3.2 電力に対する効率

図 3-5 に、負荷 50% ～ 100% の動作範囲におけるコンバータの効率を示します。この動作範囲のほとんどにおいて、測定された効率は 98.2% を超えています。効率は負荷 50% 付近でより急速に低下し、DAB が部分的にハード スイッチング条件での動作を開始します。デュアル位相シフトまたはトリプル位相シフト制御を実装すると、これらの動作点での性能を改善できます。

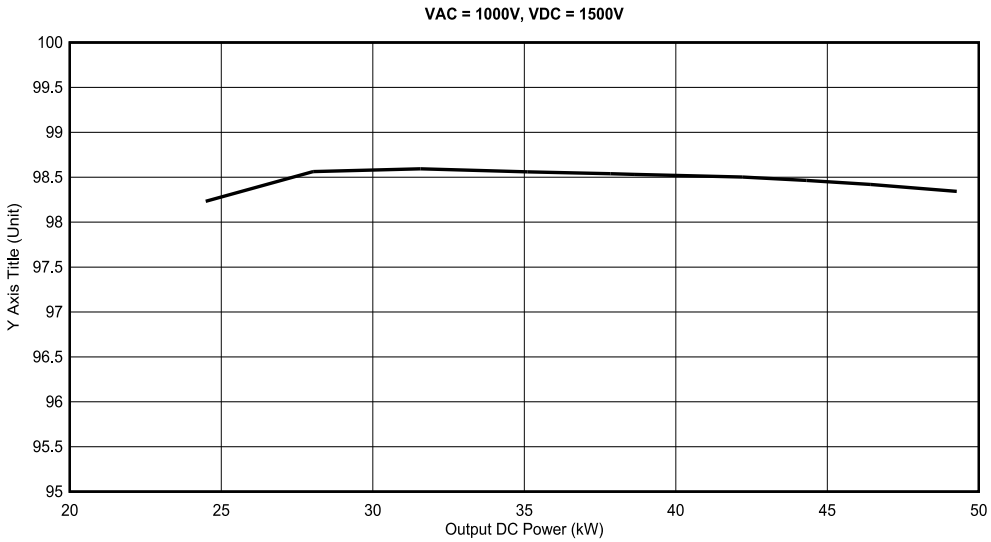

図 3-5. 1500VDC 出力および 1000VAC 入力時の電力に対する効率

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 設計とドキュメントのサポート

4.1 デザイン ファイル

デザイン ファイルをダウンロードするには、TIDA-011012 のデザイン ファイル{https://www.ti.com/tool/TIDA-011012} を参照してください。

4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、TIDA-011012 のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、TIDA-011012 のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『3 相産業用システムのための AC/DC 電力変換トポロジの比較』電源設計セミナー。
2. テキサス・インスツルメンツ、『レベル 3 電気自動車 (EV) 充電ステーション向け、双方向、デュアル アクティブ ブリッジのリファレンス デザイン』リファレンス デザイン。
3. テキサス・インスツルメンツ、『11kW、双方向、GaN ベースの 3 相 ANPC』リファレンス デザイン
4. テキサス・インスツルメンツ、『11kW、双方向、3 相、3 レベル (T タイプ) インバータと PFC』リファレンス デザイン。
5. テキサス・インスツルメンツ、『15kW ～ 30kW 双方向、3 相 + ニュートラル対応、GaN ベースのフライング コンデンサ方式』リファレンス デザイン。
6. テキサス・インスツルメンツ、『3.3kV SiC-FET の絶縁バイアス電源を備えた絶縁ゲート ドライバ ボード』リファレンス デザイン。

商標

テキサス・インスツルメンツの™ and C2000™ are trademarks of Texas Instruments.
USB Type-C™ is a trademark of USB Implementers Forum.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 著者について

Riccardo Ruffo は、2019 年にイタリア、トリノにあるトリノ工科大学で電気、電子、通信工学の博士号を取得しました。彼は現在、テキサス インスツルメンツ ドイツ社で、エネルギー インフラストラクチャ チームの一員として、太陽エネルギー分野のシステム エンジニアとして勤務しています。主な業務は、EV 充電、誘導性ワイヤレス電力伝送、太陽光発電、再生可能エネルギー、エネルギー貯蔵アプリケーションです。

Andreas Lechner は、テキサス インスツルメンツでグリッド インフラと再生可能エネルギーに重点を置いたシステム エンジニアとして働いており、現在このリファレンス デザインを担当しています。TI 入社前に、ランツフート応用科学大学で電気工学の修士号を取得しました。

6 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision * (July 2026) to Revision A (November 2026)	Page
• 「ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、およびテスト結果」セクションを追加	10
• 「ハードウェア要件」セクションを追加	10
• 「テスト設定」セクションを追加	10
• 「テスト結果」セクションを追加	11
• 「公称出力電力のテスト」セクションを追加	11
• 「電力に対する効率」セクションを追加	13

Copyright © 2026 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 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 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月