

EVM User's Guide: UCG28824EVM-124

UCG28824EVM-124 45W 高密度 GaN 統合型疑似共振フライバックコンバータの使用



説明

UCG28824EVM-124 は 45W USB-C PD 評価基板 (EVM) であり、AC/DC アダプタ、チャージャ、USB 電源コンセントなどのアプリケーションにおいて、オフライン GaN 統合型疑似共振フライバックコンバータを評価するために使用します。この評価基板は、CoC Tier 2 や DoE Level 6 の効率要件を満たしています。また、評価を目的としており、最終製品としての使用を意図していません。UCG28824EVM-124 は、90V_{RMS} ~ 264V_{RMS} の入力電圧を USB-C PD 出力電圧 (5V_{DC}、9V_{DC}、15V_{DC}、20V_{DC} のいずれかを選択できる) に変換します。この評価基板はさらに、5V_{DC} ~ 24V_{DC} の範囲で固定出力電圧を生成するように構成することもできます。この評価基板は、最大 15V_{DC} で 3.00A の最大出力電流を供給でき、15V_{DC} ~ 24V_{DC} の範囲の出力電圧に対して 45W の最大出力電力を供給できます。このデザインで使用しているメインデバイスは、750V の GaN FET とコントローラを 5mm x 5mm のパッケージに内蔵した UCG28824 です。

設計を開始

- 評価を行う前に、このユーザーガイドをよく読んで学習しておいてください。
- ステップ 1 を満たしたら、評価用に [UCG28824EVM-124](#) を注文します。
- ユーザーガイドの手順に従って、[UCG28824EVM-124](#) をセットアップし、テストを行います。



UCG28824EVM-124 (上面図)



UCG28824EVM-124 (底面図)

1 評価基板の概要

1.1 はじめに

UCG28824EVM-124 を使用すると、コントローラ内蔵型 GaN FET である UCG28824 を AC-DC QR フライバック パワー コンバータ内で評価できます。この評価基板 (EVM) は、ユニバーサル AC 入力範囲 90VAC ~ 264VAC を想定した設計を採用しており、20V/15V/9V/5V の USB PD 3.0 出力プロトコルに対応しています。さらに、5V ~ 24V の範囲で固定出力電圧を生成するように構成することもできます。このユーザーガイドでは、高電圧における安全の概要、推奨されるテスト設定、効率結果、波形、伝導 EMI 性能について説明しています。

1.2 キットの内容

- 45W USB-C QR フライバック評価基板
- クイック スタート ガイド
- 高電圧に関する注意事項

1.3 仕様

入力	コントローラの構成	出力	最大出力電力
90VAC-264VAC 47~63Hz	USB-C PD	20V/2.25A、15V/3.00A、9V/3.00A、5V/3.00A	45W
	固定出力電圧	5V ~ 15V/3A、15V ~ 24V/45W	

1.4 製品情報

UCG28824 は、最大 45W の電源での使用を想定した 750V の 1 次側 GaN FET を内蔵した高周波疑似共振 (QR) AC/DC フライバック コンバータです。このデバイスは、GaN の統合によって、最大 500kHz の高いスイッチング周波数で高い電力密度を実現します。UCG28824 は、業界初の自己バイアス機能を搭載した補助フライバックアーキテクチャを採用しており、トランジスタ内の補助巻線を必要とせずに、小型で低コストの電源設計を実現できます。自己バイアス機能により、低ドロップアウトレギュレータ (LDO) や関連する損失を排除してデバイスバイアスを生成することにより、USB-PD チャージャーのような広い出力電圧範囲のアプリケーションで損失を低減し、効率を向上させることができます。UCG28824 は、低ライン入力条件下で、過渡負荷条件を想定したトランジスタを必要とすることなく、最大 90W (公称出力 45W の 2 倍) の過渡出力条件を満たすために、最長で 10 ミリ秒間の連続伝導モード (CCM) 動作をサポートし、スペースとコストを節約します。このデバイスには、軽負荷および無負荷状況での動作効率を向上させるため、それぞれ周波数フォールドバック モードとバースト モードも搭載されています。X コンデンサ放電回路は、入力 EMI フィルタの X コンデンサを 1 秒以内に 0V まで放電して、ユーザーがコンセントから電源を抜いたときに感電しないようにします。UCG28824 は、目的の動作ポイントで性能を最適化するための最大限の柔軟性を実現できるように、抵抗のプログラム可能なオプションをユーザーに提供することで、内蔵コンバータのシステム設計制限を克服します。このデバイスには、出力の過電圧、過電流、過負荷、短絡、過熱などの状態に対する保護機能も多数搭載されており、自動再起動とラッチ応答により、上記の障害発生時に損傷を防止する堅牢な電源設計を実現しています。

1.5 テキサス・インスツルメンツの高電圧評価基板 (TI HV EVM) におけるユーザーの安全のための一般的な指針



テキサス・インスツルメンツの設定および使用の手順に常に従い、すべてのインターフェイスコンポーネントを推奨される電気的定格電圧および電力制限範囲内で使用してください。電気的な安全上の注意事項に常に従い、個人および周囲で作業中の人々の安全が確保されるようにします。詳細については、テキサス・インスツルメンツの製品情報センター (<http://support.ti.com>) までご連絡ください。

今後の参考のため、すべての警告と手順を保存してください。

警告

警告および手順に従わないと、感電ややけどの危険により、人身傷害、物的損害、あるいは死亡事故が発生する可能性があります。

TI HV EVM という用語は、電子デバイスが通常オープンフレームの、密封されていないプリント基板アセンブリで提供されていることを意味します。開発ラボ環境で使用することを厳密に意図しており、高電圧電気回路の開発および応用における電気的安全性の訓練を受け、技能と知識を有する有資格者のみが使用してください。その他の使用および/または応用は、テキサス・インスツルメンツにより厳密に禁止されています。資格を有していない場合は、HV EVM の使用をただちに停止してください。

1. 作業場の安全性

- a. 作業領域を清潔で整理整頓された状態に保ちます。
- b. 回路への電源投入は、必ず資格を有するオブザーバーの立ち合いの下行います。
- c. TI HV EVM およびインターフェイス電子機器に電源を投入する領域には、効果的なバリアと標識を必ず設け、不用意なアクセスがないように、アクセス可能な高電圧が存在する可能性があることを明記します。
- d. 開発環境で使用されるすべてのインターフェイス回路、電源、評価基板、計器、メーター、スコープ、およびその他関連の装置で 50Vrms/75VDC を超えるものは、緊急電源遮断 EPO で保護された電源タップ内に電気的に配置する必要があります。
- e. 安定した非導電性の作業台を使用します。
- f. 適切に絶縁されたクランプおよびワイヤを使用して測定用プローブおよび計器を接続します。可能な限りフリーハンド テストは行わないでください。

2. 電気的安全性: 予防措置として、EVM 全体が完全にアクセス可能でアクティブ高電圧が印加されていると想定するのが、良いエンジニアリング プラクティスです。

- a. 電気測定またはその他の診断測定を行う前に、テキサス・インスツルメンツの HV EVM およびすべての入力、出力、電気負荷の電源を遮断します。TI HV EVM 電源が安全に切られていることを再評価します。
- b. EVM の電源が切断されていることを確認した上で、EVM 回路および測定装置が電気的に導通していると想定して、必要な電気回路構成、配線、測定装置の接続、およびその他の応用ニーズを実施します。
- c. EVM の準備が整ったら、意図されたように EVM に電源を投入します。

警告

評価基板 (EVM) に電源が投入されている間、EVM または電気回路に触らないでください。高電圧により感電の危険性があります。

3. 個人の安全

- a. 個人用保護具 (ゴム手袋やサイドシールド付き保護メガネなど) を身につけ、EVM を適切なインターロック付きの透明のプラスチック箱に入れて保護するなどして、不用意に触ることがないようにします。

安全使用の制限:

EVM は、量産ユニットのすべてまたは一部として使用することを意図していません。

2 ハードウェア

2.1 補足画像

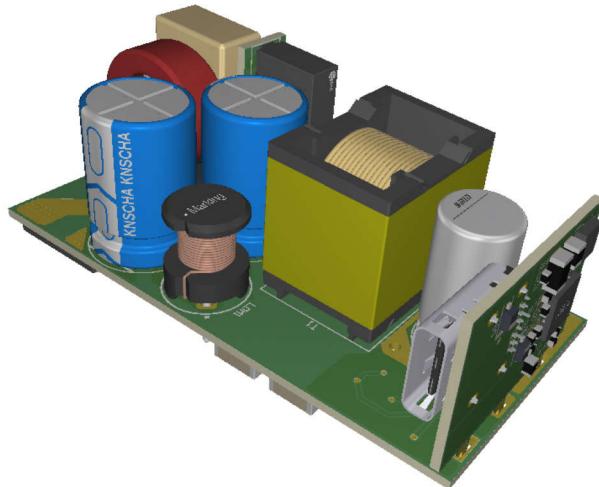


図 2-1. 高電力密度構成

2.1.1 USB-C PD 通信があるのない負荷での評価基板 (EVM) の使用

UCG28824EVM-124 には、USB-C PD コントローラとオンボード USB-C コネクタが実装されており、USB-C ケーブル経由で接続されている USB-C PD 負荷を用いて評価を行うことができます。対応するテスト設定図を「[セクション 3.2.2](#)」のセクションに掲載しています。USB-C PD コントローラはボード出力を調整し、5V、9V、15V、20V のいずれかを得ることができます。この評価基板 (EVM) の評価には、USB-C PD 通信負荷が必要です。この負荷の例として、USB-C-PD-DUO-EVM があります。このような通信負荷が存在しない場合、ボード出力の USB-C コネクタ (J2) は可変出力電圧を供給しません。5V、9V、15V から 3.00A の全負荷電流を得るためにには、標準的な USB-C ケーブルを使用できます。20V 出力で 3.25A を得るためにには、「E マーカー」USB-C® ケーブルを使用する必要があります。

2.1.2 USB-C PD 通信のない負荷での評価基板 (EVM) の使用

UCG28824EVM-124 は、USB-C 以外の PD 負荷を用いて評価を行う場合、5V ~ 24V の範囲で固定出力電圧が生成されるように再構成できます。対応するテスト設定図を「[セクション 3.2.2](#)」のセクションに掲載しています。

UCG28824EVM-124 には、USB-C PD 負荷を使用するためのデフォルトのコントローラ構成として、USB-C PD 制御モードが搭載されています。USB-C 以外の PD 負荷を使用するテストの場合は、コントローラ回路を再構成して固定出力電圧モードを有効にする必要があります。コントローラの再構成に関するガイドラインは、「[セクション 4.1](#)」のセクションに記載されています。固定出力電圧制御モードでは、このコンバータは 5V ~ 15V 出力で 3A の定格電流、15V ~ 24V 出力で 45W の定格電力を供給できます。

3 実装結果

3.1 電気的性能の仕様

表 3-1. UCC28824EVM-124 電気的性能の仕様

パラメータ		テスト条件	最小値	公称値	最大値	単位
入力特性						
V_{IN}	入力ライン電圧 (RMS)		90	115/230	264	V
f_{LINE}	入力ライン周波数		47	50/60	63	Hz
P_{STBY}	無負荷時での入力電力	$V_{IN} = 115/230V_{RMS}$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 0A$, USB-C PD コントローラ有効		8/32		mW
P_{180mW}	180mW 負荷時での入力電力	$V_{IN} = 230V_{RMS}$, $V_{OUT} = 5V$, $P_{OUT} = 180mW$, USB-C PD コントローラ有効		260		mW
P_{300mW}	300mW 負荷時の入力電力	$V_{IN} = 230V_{RMS}$, $V_{OUT} = 5V$, $P_{OUT} = 300mW$, USB-C PD コントローラ有効		390		
出力特性						
V_{OUT}	出力電圧	$I_{OUT} = 0 \sim 1.875A$, 固定 V_{OUT} コントローラ有効		24		V
		$I_{OUT} = 0 \sim 2.25A$, USB-C PD コントローラ有効		20		V
		$I_{OUT} = 0 \sim 3A$, USB-C PD コントローラ有効		15		V
		$I_{OUT} = 0 \sim 3A$, 固定 V_{OUT} コントローラ有効		12		V
		$I_{OUT} = 0 \sim 3A$, USB-C PD コントローラ有効		9		V
		$I_{OUT} = 0 \sim 3A$, USB-C PD コントローラ有効		5		V
I_{OUT}	全負荷定格出力電流	$V_{OUT} = 24V$		1.875		A
		$V_{OUT} = 20V$		2.250		A
		$V_{OUT} = 5V/9V/12V/15V$		3.000		A
V_{OUT_PP}	$V_{IN} = 115V/230V$ での出力電圧リップル	$V_{OUT} = 24V$, $I_{OUT} = 0 \sim 1.875A$		45		mVpp
		$V_{OUT} = 20V$, $I_{OUT} = 0 \sim 2.25A$		98		mVpp
		$V_{OUT} = 15V$, $I_{OUT} = 0 \sim 3A$		89		mVpp
		$V_{OUT} = 12V$, $I_{OUT} = 0 \sim 3A$		108		mVpp
		$V_{OUT} = 9V$, $I_{OUT} = 0 \sim 3A$		136		mVpp
		$V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 0 \sim 3A$		115		mVpp
$V_{OUT_Δ}$	負荷ステップの昇降による V_{OUT} 偏差 (100Hz レートでの負荷 0 ~ 100% で I_{OUT} ステップの変化が生じる)	$V_{OUT} = 24V$		-260/120		mV
		$V_{OUT} = 20V$		-440/330		mV
		$V_{OUT} = 15V$		-510/360		mV
		$V_{OUT} = 12V$		-410/120		mV
		$V_{OUT} = 9V$		-450/380		mV
		$V_{OUT} = 5V$		-440/460		mV
P_{OPP}	過電力保護スレッショルド	$V_{IN} = 90 \sim 264V_{RMS}$		100		W
システム特性						

表 3-1. UCC28824EVM-124 電気的性能の仕様 (続き)

パラメータ		テスト条件	最小値	公称値	最大値	単位
η	$V_{IN} = 115V/230V$ での全負荷効率	$V_{OUT} = 24V, I_{OUT} = 1.875A$		94.50/95.17		%
		$V_{OUT} = 20V, I_{OUT} = 2.25A$		94.44/94.96		%
		$V_{OUT} = 15V, I_{OUT} = 3A$		94.16/94.56		%
		$V_{OUT} = 12V, I_{OUT} = 3A$		93.81/94.31		%
		$V_{OUT} = 9V, I_{OUT} = 3A$		93.66/93.56		%
		$V_{OUT} = 5V, I_{OUT} = 3A$		92.36/91.62		%
η	$V_{IN} = 115V/230V^{(1)}$ での 4 ポイント平均効率	$V_{OUT} = 24V$ (CoC Tier 2, 87.7%)		94.41/94.01		%
		$V_{OUT} = 20V$ (CoC Tier 2, 87.7%)		94.49/94.29		%
		$V_{OUT} = 15V$ (CoC Tier 2, 87.7%)		94.33/94.06		%
		$V_{OUT} = 12V$ (CoC Tier 2, 86.8%)		94.12/93.19		%
		$V_{OUT} = 9V$ (CoC Tier 2, 85.4%)		93.86/92.86		%
		$V_{OUT} = 5V$ (CoC Tier 2, 81.8%)		92.57/91.03		%
η	$V_{IN} = 115V/230V$ で負荷 10% での効率	$V_{OUT} = 24V$ (CoC Tier 2, 77.8%)		92.24/90.10		%
		$V_{OUT} = 20V$ (CoC Tier 2, 77.8%)		93.64/92.48		%
		$V_{OUT} = 15V$ (CoC Tier 2, 77.8%)		94.15/92.88		%
		$V_{OUT} = 12V$ (CoC Tier 2, 77.1%)		92.97/90.10		%
		$V_{OUT} = 9V$ (CoC Tier 2, 75.9%)		93.67/91.30		%
		$V_{OUT} = 5V$ (CoC Tier 2, 72.5%)		92.25/88.73		
T_{AMB}	動作時周囲温度	$V_{IN} = 90 \sim 264V_{RMS}, I_{OUT} = 0 \sim 3.00A$ (5V/9V/15V)、2.25A (20V)、または, or 1.875A (24V)		25		°C

(1) 4 つの負荷ポイントの平均効率、 I_{OUT} = 各出力電圧に対する定格全負荷電流 100%、75%、50%、25%。

3.2 テスト設定

3.2.1 テスト設定要件

安全: この評価基板はカプセル化されておらず、50V_{DC} を超えるアクセス可能な電圧が存在します。

絶縁入力トランス: この評価基板 (EVM) への入力では適切な定格の 1:1 絶縁トランスを使用し、強化絶縁、二重絶縁、または、保護導体端子に接続されたスクリーンで、1 次巻線と 2 次巻線を分離するという方法で上記トランスを構築する必要があります。



警告

- 電力電子機器の適切な安全性、取り扱い、テストに関するトレーニングを受けていない方は、この評価基板のテストを行わないでください。
- 評価基板 (EVM) に電源が投入されている間、EVM または電気回路に触らないでください。高電圧により感電の危険性があります。
- 注意事項: 高温面。触るとやけどの原因になることがあります。触れないでください！
- テストを実施する前に、このユーザー ガイドをよくお読みください。

電圧源: 264V_{RMS} 以上に対応でき、電力レベル 100W を処理できる絶縁型 AC ソースまたは可変 AC トランス。

電圧計: デジタル電圧計

電力アナライザ: 1mW～100W の入力電力を測定でき、264V_{RMS} の入力電圧に対応可能。一部の電力アナライザには、5W 以下の入力電力を測定するために入力電流を測定する高精度のシャント抵抗が必要です。全電力およびスタンバイ電力の適切な測定設定については、電力アナライザのユーザー マニュアルを参照してください。

オシロスコープ:

- 4 チャネル、帯域幅 500MHz。
- 600V 対応のプローブ。

出力負荷: 20V で 130W に対応できる抵抗性負荷または電子負荷。

推奨ワイヤ ゲージ: 22AWG ~ 18AWG 絶縁。



警告

注意事項: 評価基板 (EVM) の電源を入れたままその場を離れないでください。

3.2.2 UCG28824EVM-124 のテスト設定図

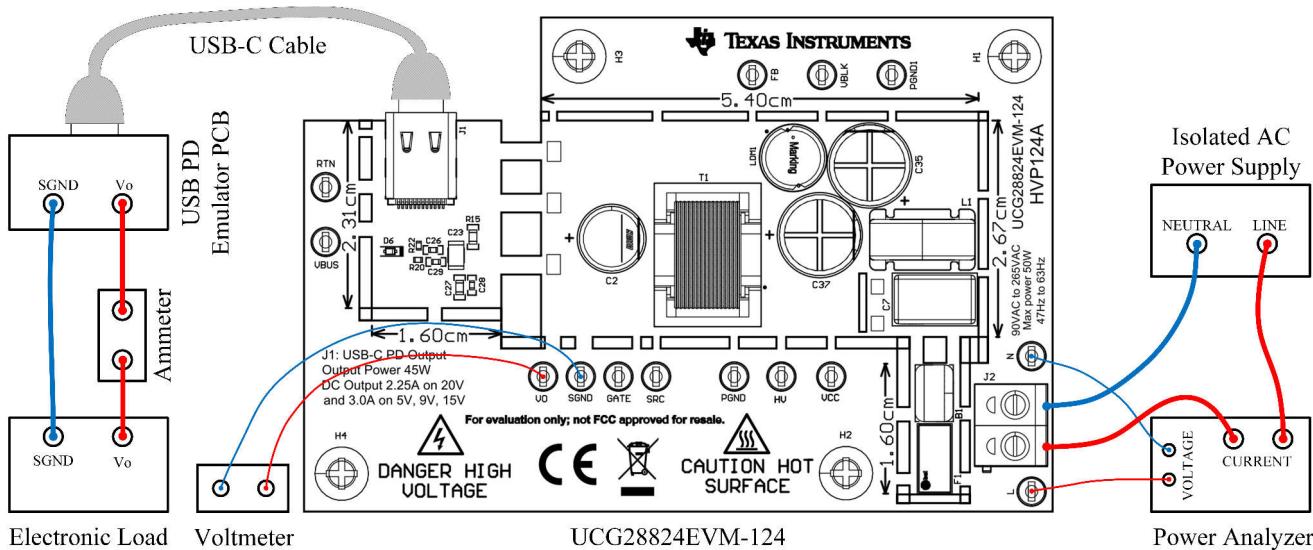


図 3-1. USB-C PD 負荷を使用した UCG28824EVM-124 のテスト設定図

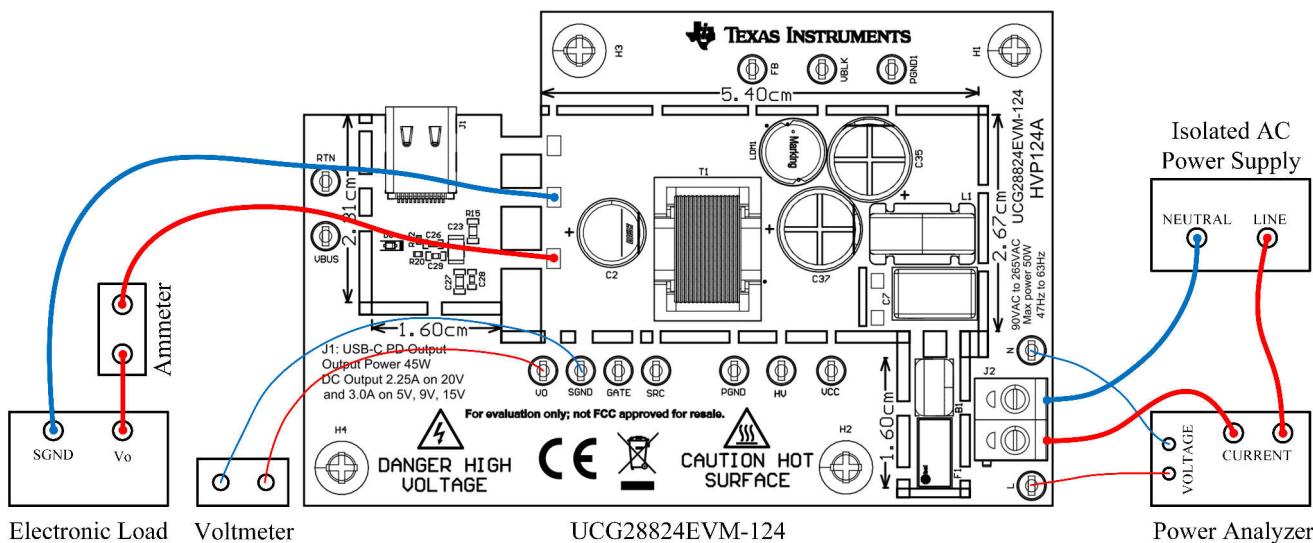
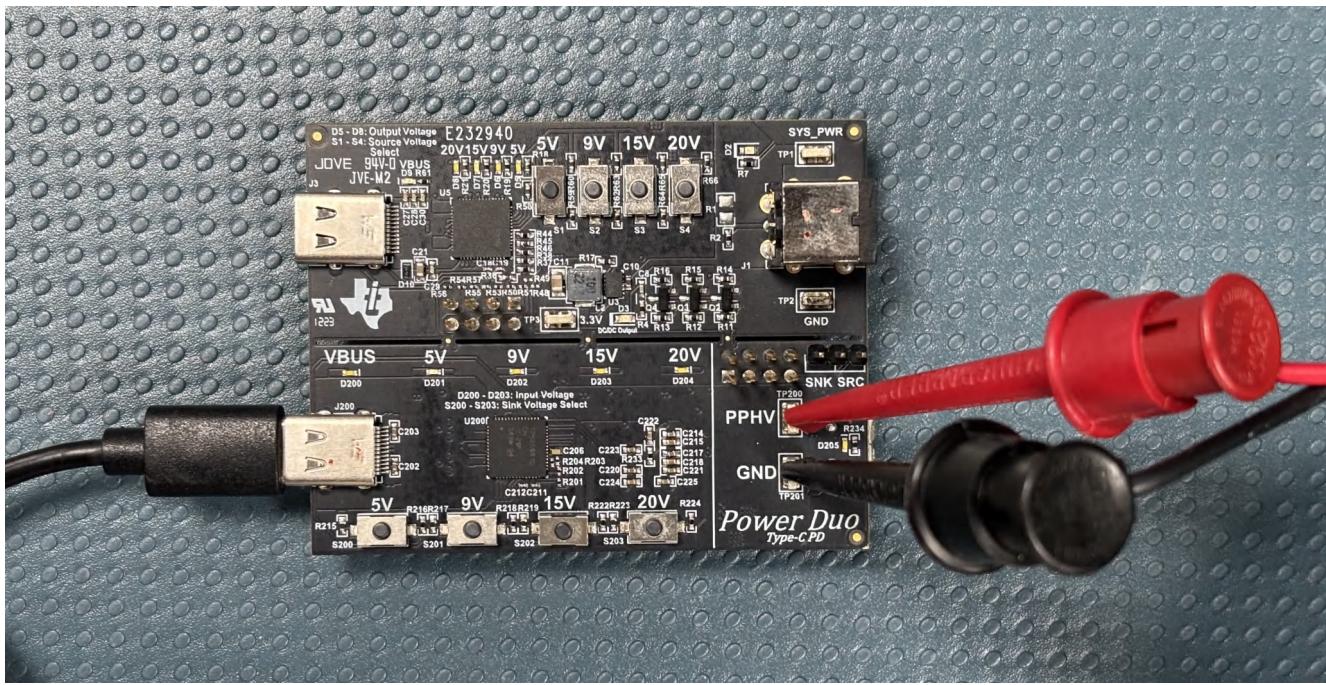


図 3-2. USB-C 以外の PD 負荷を使用した UCG28824EVM-124 のテスト設定図

負荷 25% ~ 100% に対する効率結果は、上記の構成で測定したものです。スタンバイ状態で負荷が 10% の場合、電圧測定はソース / 負荷で実行して効率値を記録します。



- A. この評価には、以下の USB エミュレータ「USB-C-DUO EVM」を使用します。この評価基板 (EVM) の評価には、他の PD3.0 準拠 USB-C PD エミュレータも使用できます。USB-C PD エミュレータはわずかながら電流 (mA) を消費することに注意してください。効率の計算時にはこの電流を考慮する必要があります。

図 3-3. USB-C エミュレータ

3.2.3 テスト ポイント

表 3-2. 入出力端子およびテスト ポイント機能

端子およびテスト ポイントで	説明
J1	USB-C 端子
J2	AC 電圧入力端子
L	AC 入力のテスト ポイント - ライン
N	AC 入力のテスト ポイント - ニュートラル
PGND、PGND1	1 次側グランドのテスト ポイント
VBLK	バルク コンデンサ電圧のテスト ポイント
FB	FB ピンのテスト ポイント
VCC	VCC ピンのテスト ポイント
HV	HV ピンのテスト ポイント
SRC	SR FET ソースのテスト ポイント
GATE	SR FET ゲートのテスト ポイント
SGND	2 次側グランドのテスト ポイント
VO	コンバータ出力電圧のテスト ポイント
VBUS	出力側バス電圧のテスト ポイント
RTN	出力側帰還ラインのテスト ポイント

3.3 性能データおよび標準的な特性曲線

3.3.1 24Vout における 4 ポイント平均の効率結果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 ポイント平均効率
90	4.94	23.99	0.188	4.50	10	90.99%	93.85%
90	12.04	23.99	0.470	11.28	25	93.65%	
90	23.93	23.99	0.939	22.53	50	94.15%	
90	35.90	23.99	1.406	33.73	75	93.96%	
90	48.03	23.99	1.875	44.98	100	93.65%	
115	5.08	24.05	0.195	4.69	10	92.24%	94.41%
115	12.16	24.05	0.475	11.42	25	93.95%	
115	23.97	24.05	0.943	22.68	50	94.63%	
115	35.84	24.05	1.409	33.89	75	94.54%	
115	47.79	24.05	1.878	45.17	100	94.50%	
230	5.23	24.06	0.196	4.72	10	90.10%	94.01%
230	12.44	24.05	0.475	11.42	25	91.82%	
230	24.08	24.05	0.943	22.68	50	94.17%	
230	35.72	24.04	1.410	33.90	75	94.89%	
230	47.44	24.04	1.878	45.15	100	95.17%	
264	5.14	23.99	0.188	4.51	10	87.70%	93.46%
264	12.41	23.99	0.470	11.28	25	90.86%	
264	24.07	23.99	0.938	22.50	50	93.48%	
264	35.68	23.99	1.406	33.70	75	94.47%	
264	47.32	23.99	1.875	44.96	100	95.02%	
CoC Tier 2、平均 4 ポイント							87.70%
CoC Tier 2、10% 負荷							77.83%

3.3.2 20V_{OUT} での 4 ポイント平均の効率結果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{OUT} %	効率	4 ポイント平均効率
90	4.98	19.94	0.225	4.65	10	93.50%	94.00%
90	12.12	19.94	0.564	11.41	25	94.15%	
90	24.02	19.93	1.126	22.61	50	94.14%	
90	35.98	19.94	1.688	33.83	75	94.02%	
90	48.06	19.94	2.250	45.03	100	93.71%	
115	4.97	19.95	0.225	4.66	10	93.64%	94.49%
115	12.11	19.95	0.564	11.42	25	94.27%	
115	23.90	19.94	1.126	22.62	50	94.63%	
115	35.76	19.94	1.688	33.83	75	94.60%	
115	47.68	19.94	2.250	45.03	100	94.44%	
230	5.04	19.95	0.225	4.66	10	92.48%	94.29%
230	12.27	19.95	0.564	11.42	25	93.09%	
230	24.00	19.95	1.127	22.65	50	94.36%	
230	35.71	19.95	1.688	33.84	75	94.76%	
230	47.42	19.94	2.250	45.03	100	94.96%	
264	5.08	19.95	0.225	4.66	10	91.71%	93.83%
264	12.35	19.95	0.564	11.42	25	92.47%	
264	24.16	19.95	1.126	22.63	50	93.69%	
264	35.86	19.95	1.688	33.84	75	94.38%	
264	47.55	19.95	2.250	45.06	100	94.76%	
CoC Tier 2、平均 4 ポイント							87.70%
CoC Tier 2、10% 負荷							77.83%

3.3.3 15V_{OUT} での 4 ポイント平均の効率結果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{OUT} %	効率	4 ポイント平均効率
90	4.98	15.00	0.300	4.61	10	93.78%	93.71%
90	12.12	15.00	0.750	11.36	25	94.17%	
90	24.02	15.00	1.501	22.62	50	94.03%	
90	35.98	15.00	2.250	33.86	75	93.58%	
90	48.06	15.00	3.000	45.11	100	93.06%	
115	4.91	15.00	0.301	4.62	10	94.15%	94.33%
115	12.05	15.00	0.750	11.36	25	94.29%	
115	23.93	15.00	1.500	22.61	50	94.47%	
115	35.86	15.00	2.250	33.86	75	94.40%	
115	47.90	15.00	3.000	45.11	100	94.16%	
230	4.98	15.01	0.301	4.63	10	92.88%	94.06%
230	12.21	15.01	0.751	11.38	25	93.20%	
230	24.05	15.00	1.501	22.62	50	94.06%	
230	35.86	15.00	2.250	33.86	75	94.42%	
230	47.70	15.00	3.000	45.11	100	94.56%	
264	5.02	15.01	0.301	4.63	10	92.06%	93.66%
264	12.30	15.01	0.750	11.37	25	92.40%	
264	24.14	15.00	1.501	22.62	50	93.70%	
264	36.01	15.00	2.250	33.86	75	94.02%	
264	47.73	15.00	3.001	45.12	100	94.53%	
CoC Tier 2、平均 4 ポイント							87.70%
CoC Tier 2、10% 負荷							77.83%

3.3.4 12Vout における 4 ポイント平均の効率結果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{OUT} %	効率	4 ポイント平均効率
90	3.96	12.10	0.305	3.69	10	93.25%	93.41%
90	9.72	12.10	0.755	9.13	25	94.00%	
90	19.41	12.10	1.504	18.19	50	93.76%	
90	29.17	12.10	2.252	27.25	75	93.40%	
90	39.25	12.10	3.001	36.31	100	92.50%	
115	3.97	12.10	0.305	3.69	10	92.97%	94.12%
115	9.71	12.10	0.755	9.13	25	94.08%	
115	19.30	12.10	1.504	18.20	50	94.31%	
115	28.92	12.10	2.253	27.26	75	94.28%	
115	38.72	12.10	3.002	36.33	100	93.81%	
230	4.10	12.10	0.305	3.69	10	90.10%	93.19%
230	10.00	12.10	0.755	9.13	25	91.36%	
230	19.53	12.10	1.504	18.19	50	93.12%	
230	29.00	12.10	2.253	27.26	75	93.98%	
230	38.51	12.10	3.002	36.32	100	94.31%	
264	4.14	12.10	0.306	3.70	10	89.32%	92.53%
264	10.12	12.10	0.755	9.13	25	90.26%	
264	19.70	12.09	1.504	18.19	50	92.34%	
264	29.14	12.10	2.252	27.24	75	93.46%	
264	8.62	12.10	3.002	36.32	100	94.05%	
CoC Tier 2、平均 4 ポイント							86.83%
CoC Tier 2、10% 負荷							77.11%

3.3.5 9V_{OUT} での 4 ポイント平均の効率結果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{OUT} %	効率	4 ポイント平均効率
90	2.95	9.01	0.301	2.76	10	93.68%	93.37%
90	7.27	9.01	0.750	6.81	25	93.68%	
90	14.49	9.01	1.500	13.57	50	93.61%	
90	21.76	9.01	2.250	20.32	75	93.39%	
90	29.15	9.00	3.000	27.05	100	92.81%	
115	2.95	9.01	0.301	2.76	10	93.67%	93.86%
115	7.25	9.01	0.751	6.82	25	93.97%	
115	14.44	9.01	1.501	13.57	50	93.99%	
115	21.66	9.01	2.250	20.32	75	93.82%	
115	28.92	9.01	3.001	27.09	100	93.66%	
230	3.03	9.01	0.301	2.76	10	91.30%	92.86%
230	7.40	9.01	0.750	6.81	25	92.04%	
230	14.66	9.01	1.501	13.57	50	92.59%	
230	21.77	9.00	2.250	20.30	75	93.24%	
230	28.92	9.00	3.001	27.06	100	93.56%	
264	3.07	9.01	0.301	2.76	10	90.10%	92.25%
264	7.47	9.01	0.751	6.82	25	91.28%	
264	14.78	9.01	1.500	13.57	50	91.77%	
264	21.89	9.01	2.250	20.32	75	92.83%	
264	29.06	9.00	3.001	27.06	100	93.11%	
CoC Tier 2、平均 4 ポイント							85.42%
CoC Tier 2、10% 負荷							75.86%

3.3.6 5V_{OUT} での 4 ポイント平均の効率結果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{OUT} %	効率	4 ポイント平均効率
90	1.65	4.98	0.301	1.52	10	92.43%	92.30%
90	4.05	4.98	0.750	3.75	25	92.60%	
90	8.08	4.97	1.500	7.48	50	92.56%	
90	12.15	4.97	2.250	11.20	75	92.21%	
90	16.24	4.97	3.000	14.92	100	91.84%	
115	1.65	4.98	0.301	1.52	10	92.25%	92.57%
115	4.05	4.97	0.750	3.75	25	92.62%	
115	8.07	4.97	1.501	7.49	50	92.73%	
115	12.10	4.97	2.250	11.20	75	92.56%	
115	16.16	4.97	3.000	14.92	100	92.36%	
230	1.71	4.98	0.301	1.52	10	88.73%	91.03%
230	4.16	4.97	0.751	3.76	25	90.45%	
230	8.24	4.97	1.500	7.48	50	90.72%	
230	12.27	4.97	2.251	11.21	75	91.34%	
230	16.28	4.97	3.000	14.92	100	91.62%	
264	1.75	4.98	0.301	1.52	10	87.07%	90.11%
264	4.21	4.98	0.751	3.76	25	89.31%	
264	8.34	4.97	1.501	7.49	50	89.78%	
264	12.42	4.97	2.250	11.21	75	90.25%	
264	16.39	4.97	3.000	14.93	100	91.10%	
CoC Tier 2、平均 4 ポイント							81.84%
CoC Tier 2、10% 負荷							72.48%

3.3.7 標準的な効率結果

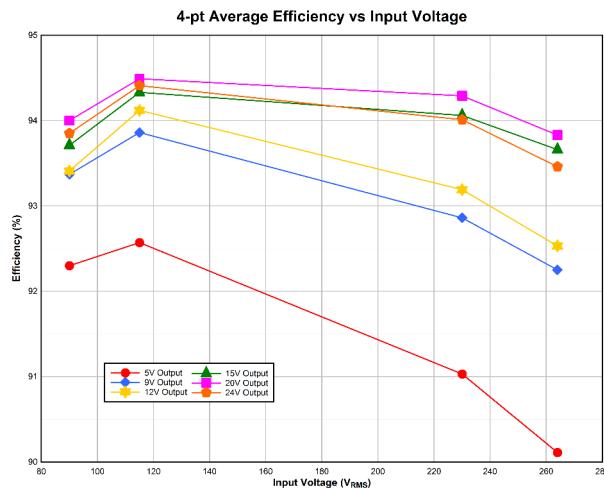


図 3-4.4 ポイント平均効率と入力電圧との関係

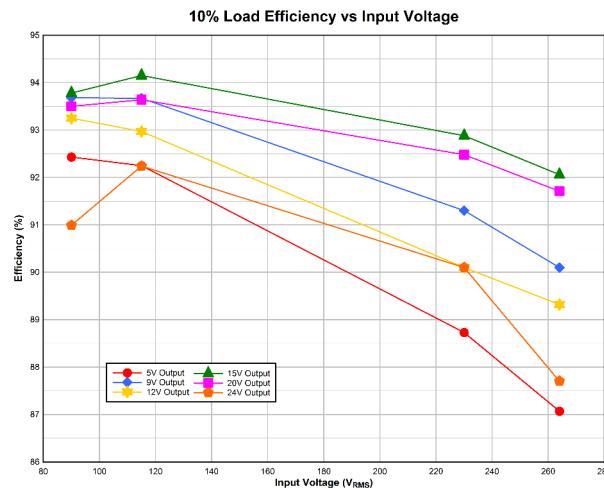


図 3-5. 10% 負荷の効率と入力電圧との関係

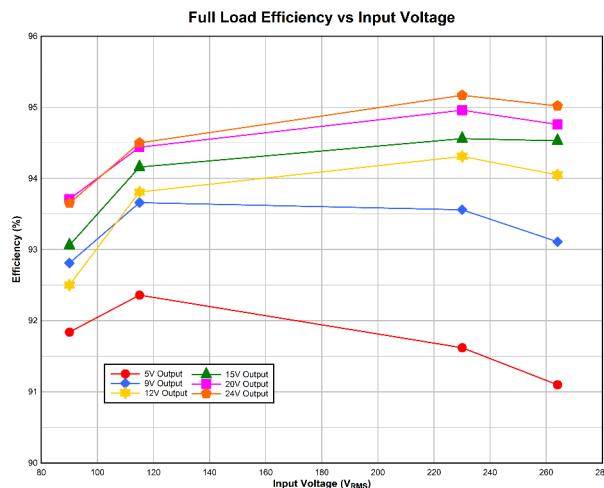


図 3-6. 全負荷効率と入力電圧との関係

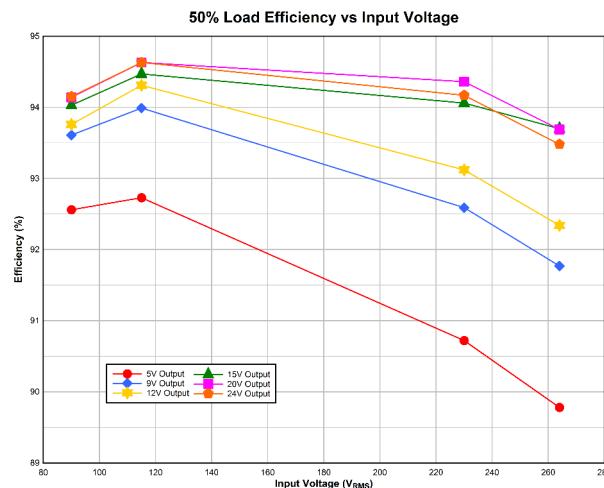


図 3-7. 50% 負荷の効率と入力電圧との関係

3.3.8 出力特性

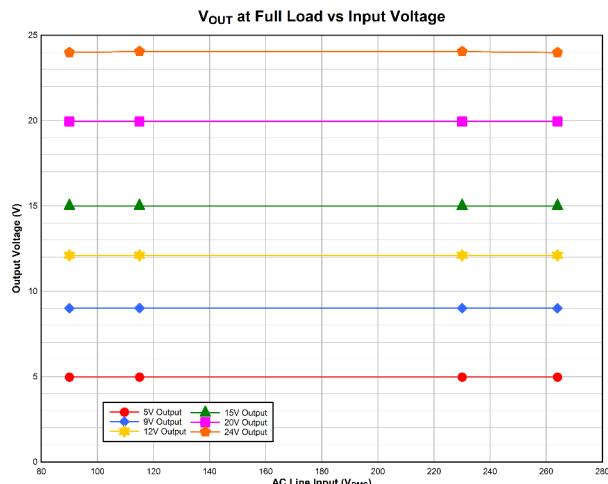


図 3-8. 全負荷時の V_{OUT} と入力電圧との関係

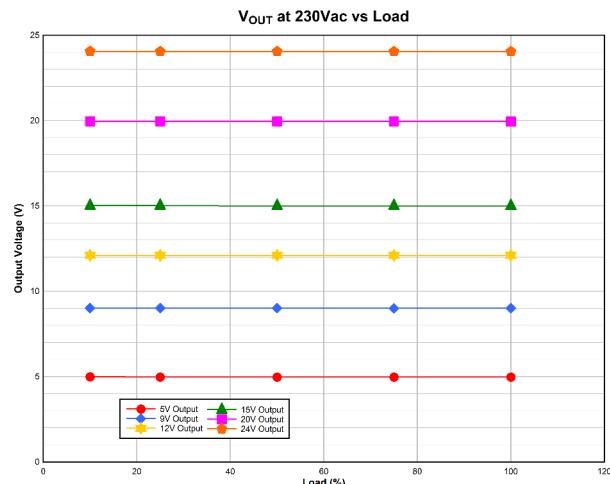


図 3-9. V_{OUT} と出力電流との関係

3.3.9 主要なスイッチング波形

このセクションでは、全負荷時の標準的なスイッチング波形を示します。Ch1 - 出力電圧、Ch2 - SR ゲート電圧、Ch3 - スイッチノード電圧、Ch4 - FB ピン電圧。

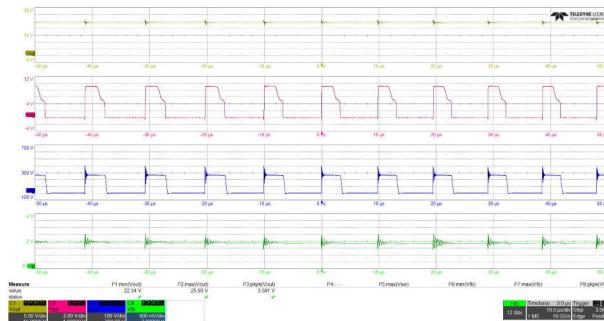


図 3-10. Vin = 90Vac、Vout = 24V

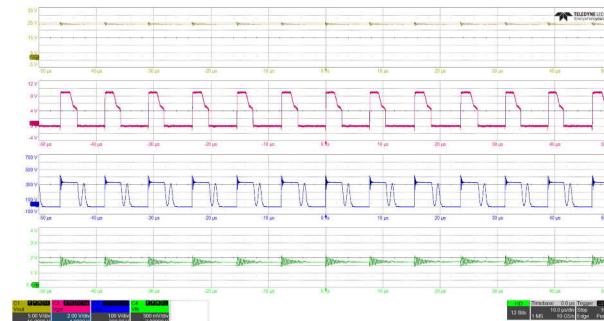


図 3-11. Vin = 115Vac、Vout = 24V

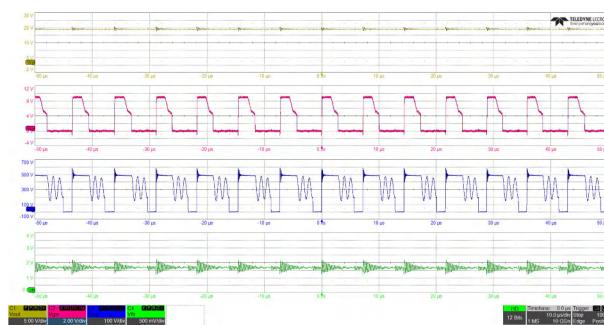


図 3-12. Vin = 230Vac、Vout = 24V

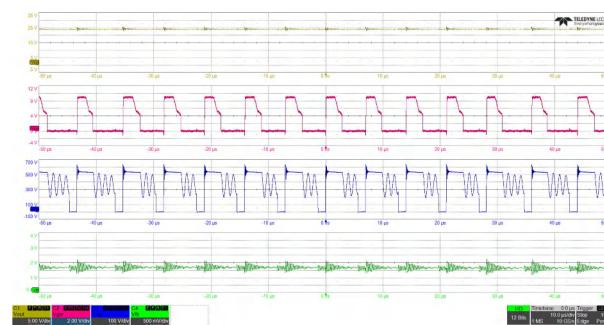


図 3-13. Vin = 264Vac、Vout = 24V

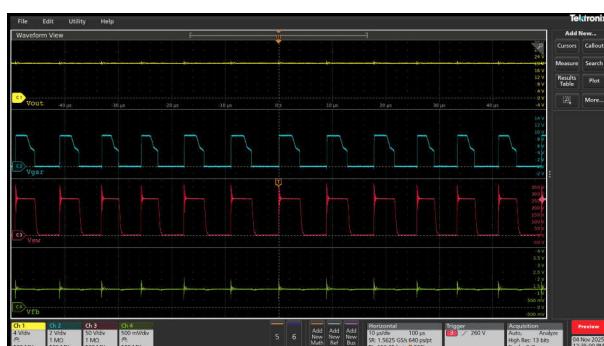


図 3-14. Vin = 90Vac、Vout = 20V



図 3-15. Vin = 115Vac、Vout = 20V



図 3-16. Vin = 230Vac、Vout = 20V



図 3-17. Vin = 264Vac、Vout = 20V

実装結果

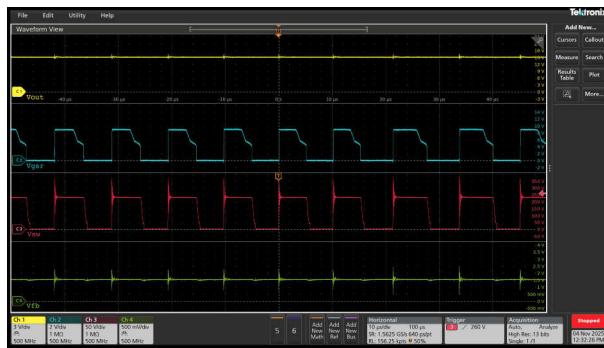


図 3-18. Vin = 90Vac、Vout = 15V



図 3-19. Vin = 115Vac、Vout = 15V



図 3-20. Vin = 230Vac、Vout = 15V



図 3-21. Vin = 264Vac、Vout = 15V



図 3-22. Vin = 90Vac、Vout = 12V



図 3-23. Vin = 115Vac、Vout = 12V



図 3-24. Vin = 230Vac、Vout = 12V



図 3-25. Vin = 264Vac、Vout = 12V



図 3-26. Vin = 90Vac、Vout = 9V



図 3-27. Vin = 115Vac、Vout = 9V



図 3-28. Vin = 230Vac、Vout = 9V



図 3-29. Vin = 264Vac、Vout = 9V



図 3-30. Vin = 90Vac、Vout = 5V

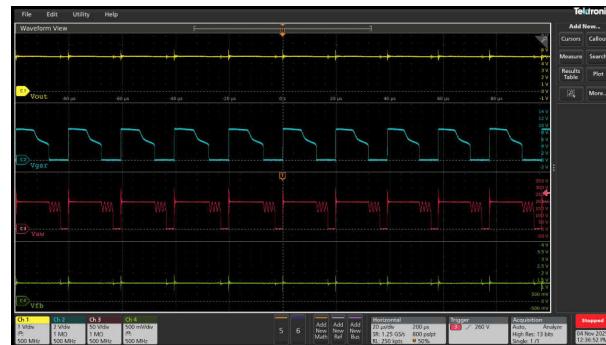


図 3-31. Vin = 115Vac、Vout = 5V



図 3-32. Vin = 230Vac、Vout = 5V



図 3-33. Vin = 264Vac、Vout = 5V

3.3.10 スイッチング周波数と負荷との関係

このセクションでは、さまざまな負荷条件での標準的なスイッチング波形を示します。Ch1 - 出力電圧、Ch2 - バルク キャパシタ、Ch3 - スイッチ ノード電圧、Ch4 - FB ピン電圧

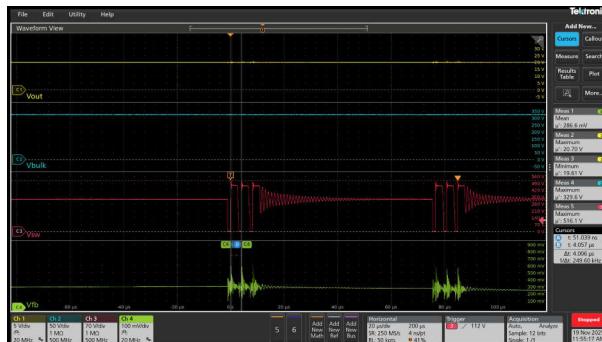


図 3-34. 230Vac/1W (パースト周波数 250kHz/ Vfb - 0.29V)

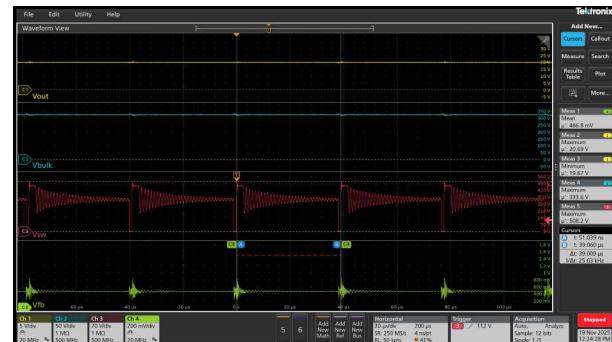


図 3-35. 230Vac/4.3W (25kHz のスイッチング周波数 / 周波数 - フォールドバック モード/ Vfb - 0.47V)



図 3-36. 230Vac/12W (68kHz 周波数/ Vfb - 0.76V)

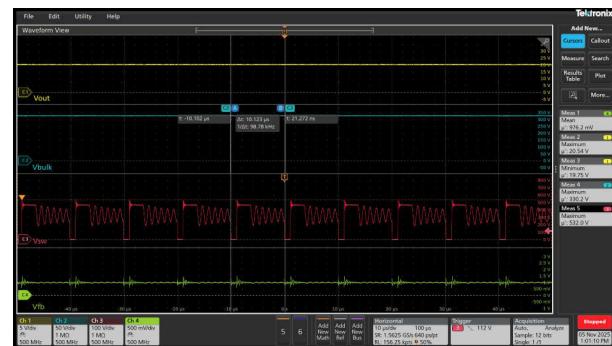


図 3-37. 230Vac/18W (99kHz 周波数/ Vfb - 0.98V)



図 3-38. 230Vac/30W (102kHz 周波数/ Vfb - 1.21V)



図 3-39. 230Vac/45W (128kHz 周波数/ Vfb - 1.26V)

3.3.11 出力リップル電圧

このセクションでは、出力電圧リップルの波形を示します。Ch1 - 出力電圧リップル、オシロスコープ チャネルの帯域幅 = 20MHz。

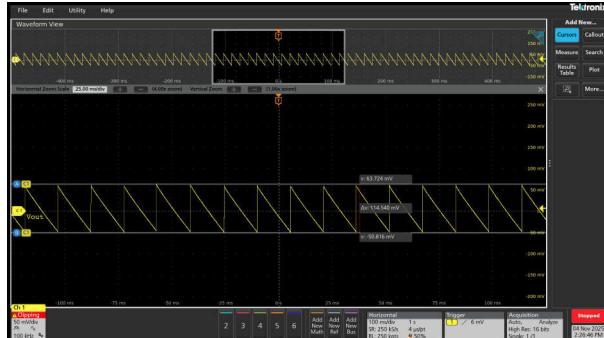


図 3-40. 無負荷時の $V_{OUT} = 5V$ の標準リップル電圧 (115mVpp)

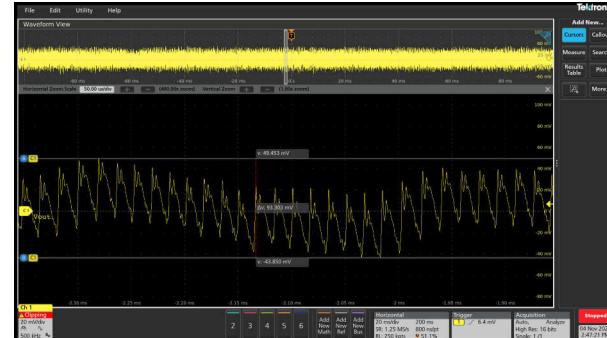


図 3-41. 全負荷時の $V_{OUT} = 5V$ の標準リップル電圧 (93mVpp)

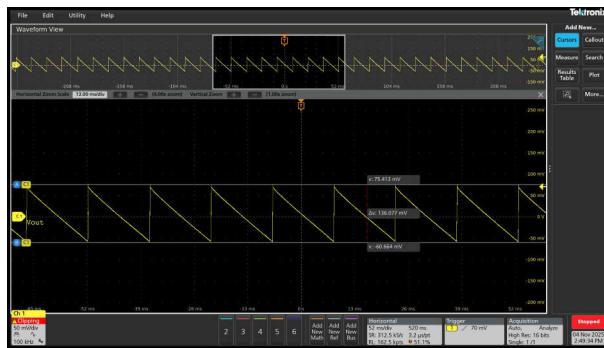


図 3-42. 無負荷時 $V_{OUT} = 9V$ の標準リップル電圧 (136mVpp)



図 3-43. 全負荷時の $V_{OUT} = 9V$ の標準リップル電圧 (77mVpp)

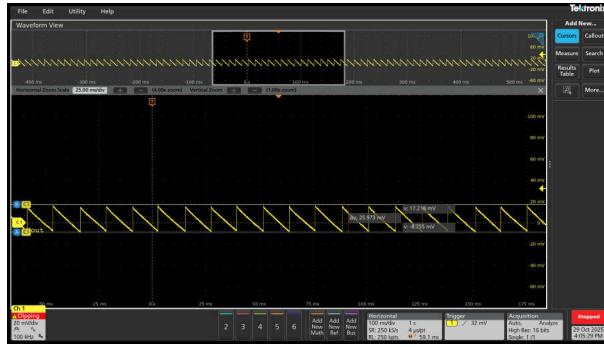


図 3-44. 無負荷時 $V_{OUT} = 12V$ の標準リップル電圧 (26mVpp)



図 3-45. 全負荷時の $V_{OUT} = 12V$ の標準リップル電圧 (108mVpp)

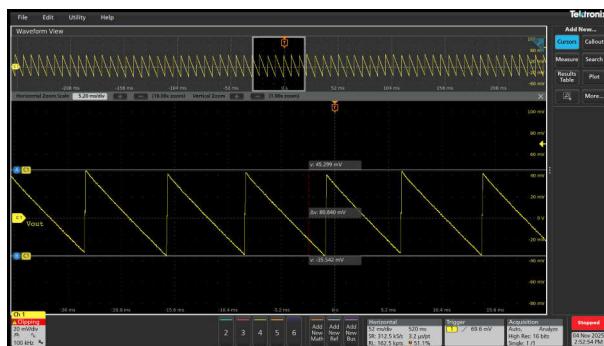


図 3-46. 無負荷時 $V_{OUT} = 15V$ の標準リップル電圧
(89mVpp)

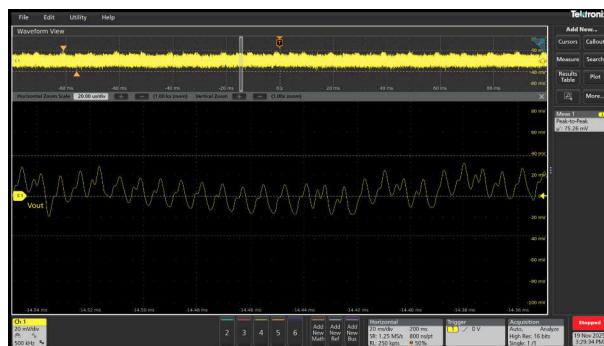


図 3-47. 全負荷時の $V_{OUT} = 15V$ の標準リップル電圧
(75mVpp)

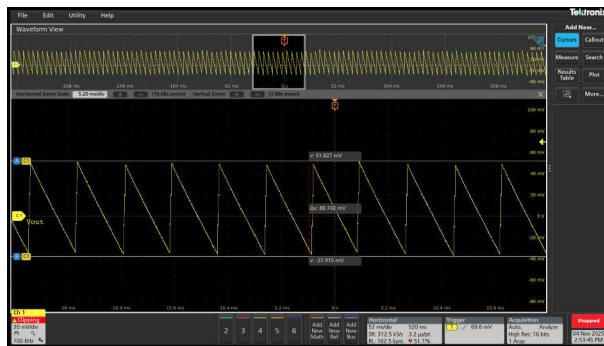


図 3-48. 無負荷時 $V_{OUT} = 20V$ の標準リップル電圧
(90mVpp)

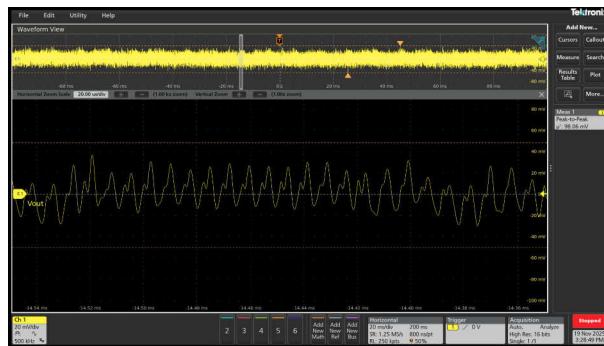


図 3-49. 全負荷時の $V_{OUT} = 20V$ の標準リップル電圧
(98mVpp)

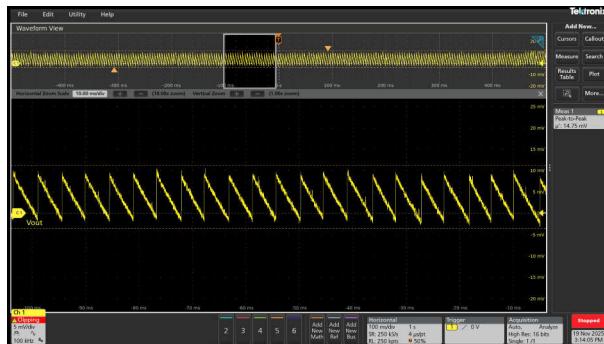


図 3-50. 無負荷時 $V_{OUT} = 24V$ の標準リップル電圧
(15mVpp)

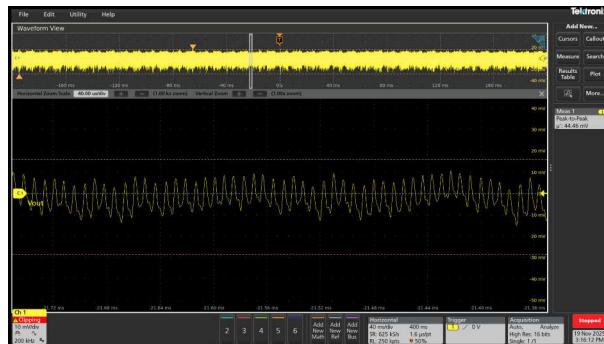


図 3-51. 全負荷時の $V_{OUT} = 24V$ の標準リップル電圧
(45mVpp)

3.3.12 負荷過渡応答

このセクションでは、負荷過渡状況でのスイッチング波形を示します。負荷電流ステップ変化は、レート 100Hz、2.5A/μs において、0% ~ 100% です。

Ch1 - 出力電圧 (AC カップル)、Ch2 - 出力電流。

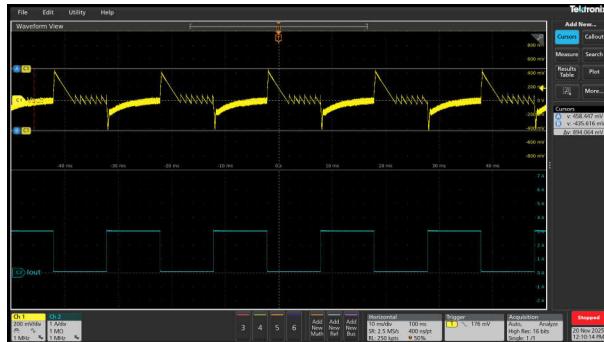


図 3-52. $V_{OUT} = 5V$ オーバーシュート / アンダーシュート = 460mV / -440mV における負荷過渡応答

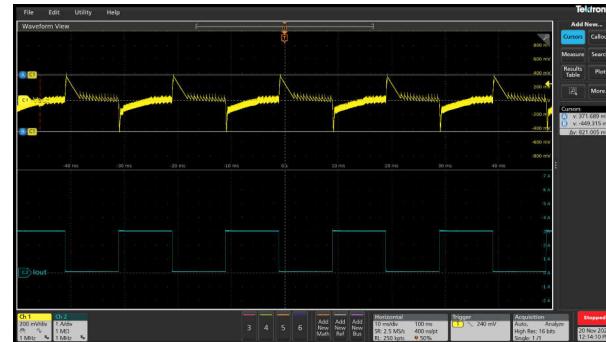


図 3-53. $V_{OUT} = 9V$ オーバーシュート / アンダーシュート = 380mV / -450mV における過渡応答

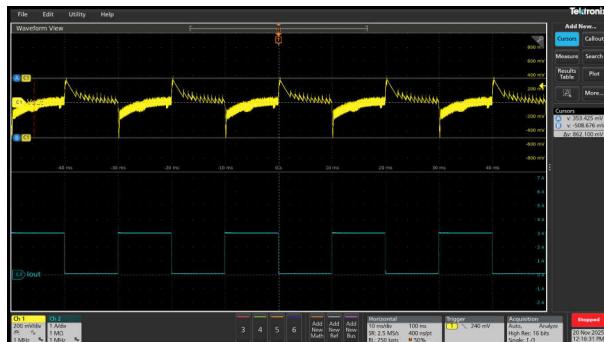


図 3-54. $V_{OUT} = 15V$ オーバーシュート / アンダーシュート = 360mV / -510mV における負荷過渡応答

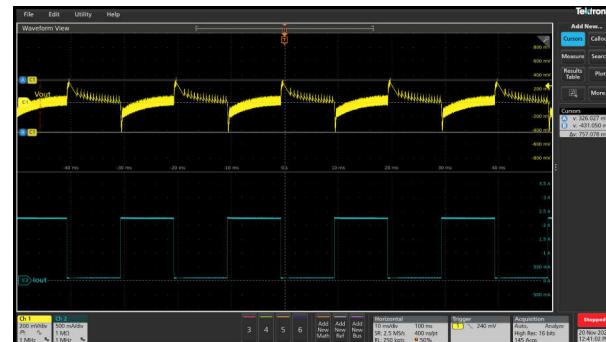


図 3-55. $V_{OUT} = 20V$ オーバーシュート / アンダーシュート = 330mV / -440mV における負荷過渡応答

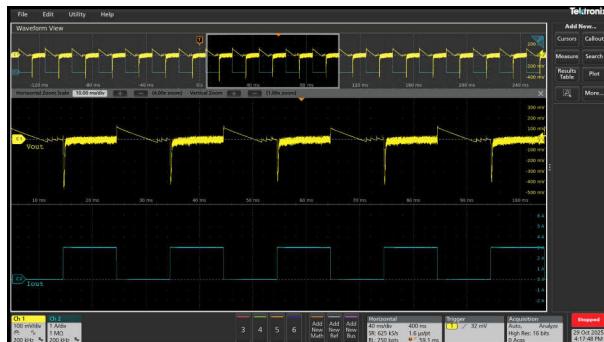


図 3-56. $V_{OUT} = 12V$ オーバーシュート / アンダーシュート = 120mV / -410mV における負荷過渡応答

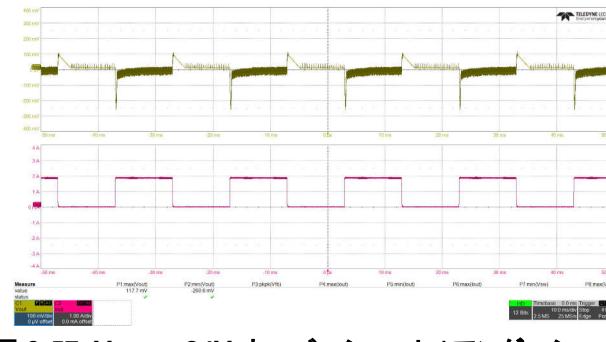


図 3-57. $V_{OUT} = 24V$ オーバーシュート / アンダーシュート = 120mV / -260mV における負荷過渡応答

3.3.13 ライン過渡応答

このセクションでは、無負荷および全負荷の時 90Vac から 264Vac へのライン過渡時のスイッチング波形を示します。

Ch1 - 出力電圧、Ch2 - AC 入力電圧、Ch3 - スイッチ ノード電圧、Ch4 - FB ピン電圧

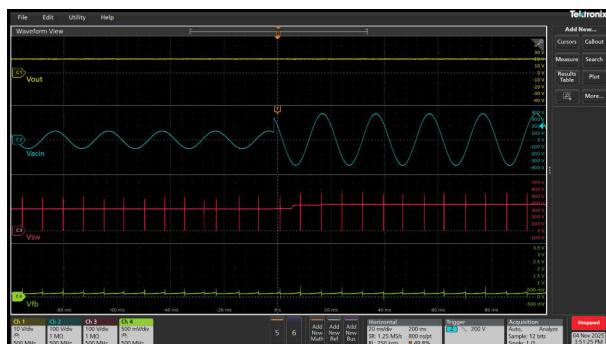


図 3-58. 20V / 無負荷時の 90Vac から 264Vac へのライ
ン過渡応答



図 3-59. 20V / 全負荷時の 90Vac から 264Vac へのライ
ン過渡応答

3.3.14 短期過負荷動作

この評価基板 (EVM) は、損傷、安全上の問題、保護のトリガを発生させることなく、短期的な過負荷に対処することができます。ピーク短期過負荷 5.1A が 1ms 間加えられると、出力電圧は 19.2V まで低下します。ピーク短期過負荷 4.5A が 2ms 間加えられると、出力電圧は 19.3V まで低下します。結果は 90Vac でチェックされます。Ch1 - 出力電圧、Ch2 - 出力電流、Ch3 - スイッチノード電圧、Ch4 - フィードバックピン電圧。



図 3-60. VIN = 90Vac (2.25x 定格電流が 1ms 間、0.9x 定格電流が 9ms 間)

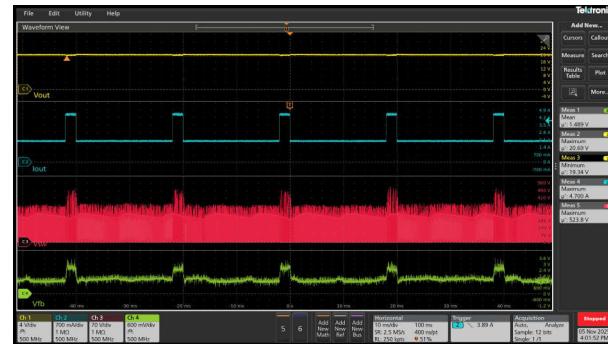


図 3-61. VIN = 90Vac (2x 定格電流が 2ms 間、0.9x 定格電流が 18ms 間)

3.3.15 CCM 動作

このセクションでは、90Vac、負荷 4.5A における CCM 動作時のスイッチング波形を示します。さらに波形のズームバージョンも示します。Ch1 - 出力電圧、Ch2 - 出力電流、Ch3 - スイッチノード電圧、Ch4 - フィードバックピン電圧。



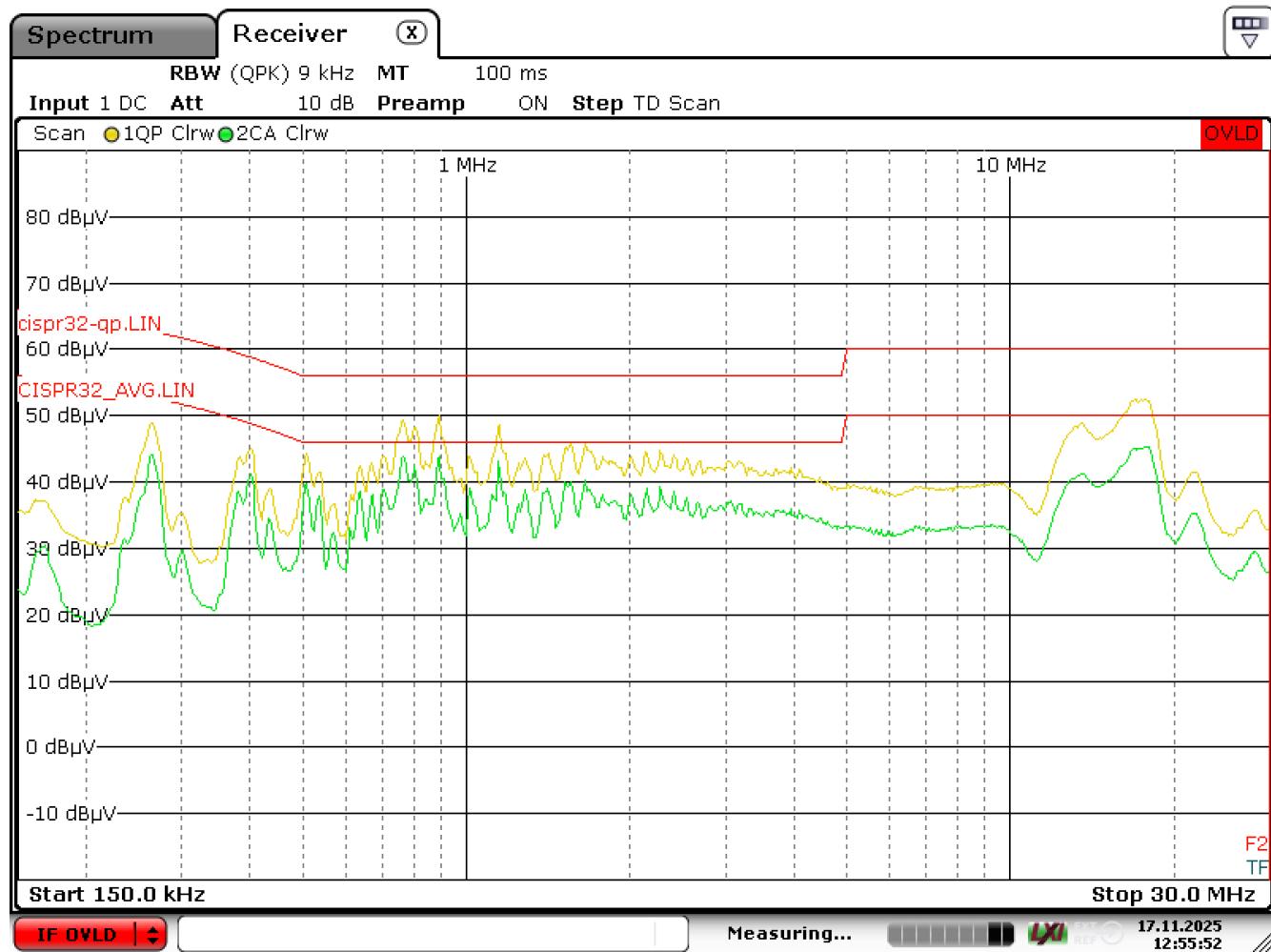
図 3-62. VIN = 90Vac (2x 定格電流が 2ms 間、0.9x 定格電流が 18ms 間)



図 3-63. VIN = 90Vac (2x 定格電流が 2ms 間、0.9x 定格電流が 18ms 間) - ズーム

3.3.16 CISPR32 Class B 伝導 EMI テスト結果

この評価は、事前認定のみを目的とし、EMI ステーションにて実施されました。テキサス・インストルメンツでは、最終設計の検証をすべて代理店認定の EMI テストハウスで行うことを推奨しています。



Date: 17.NOV.2025 12:55:52

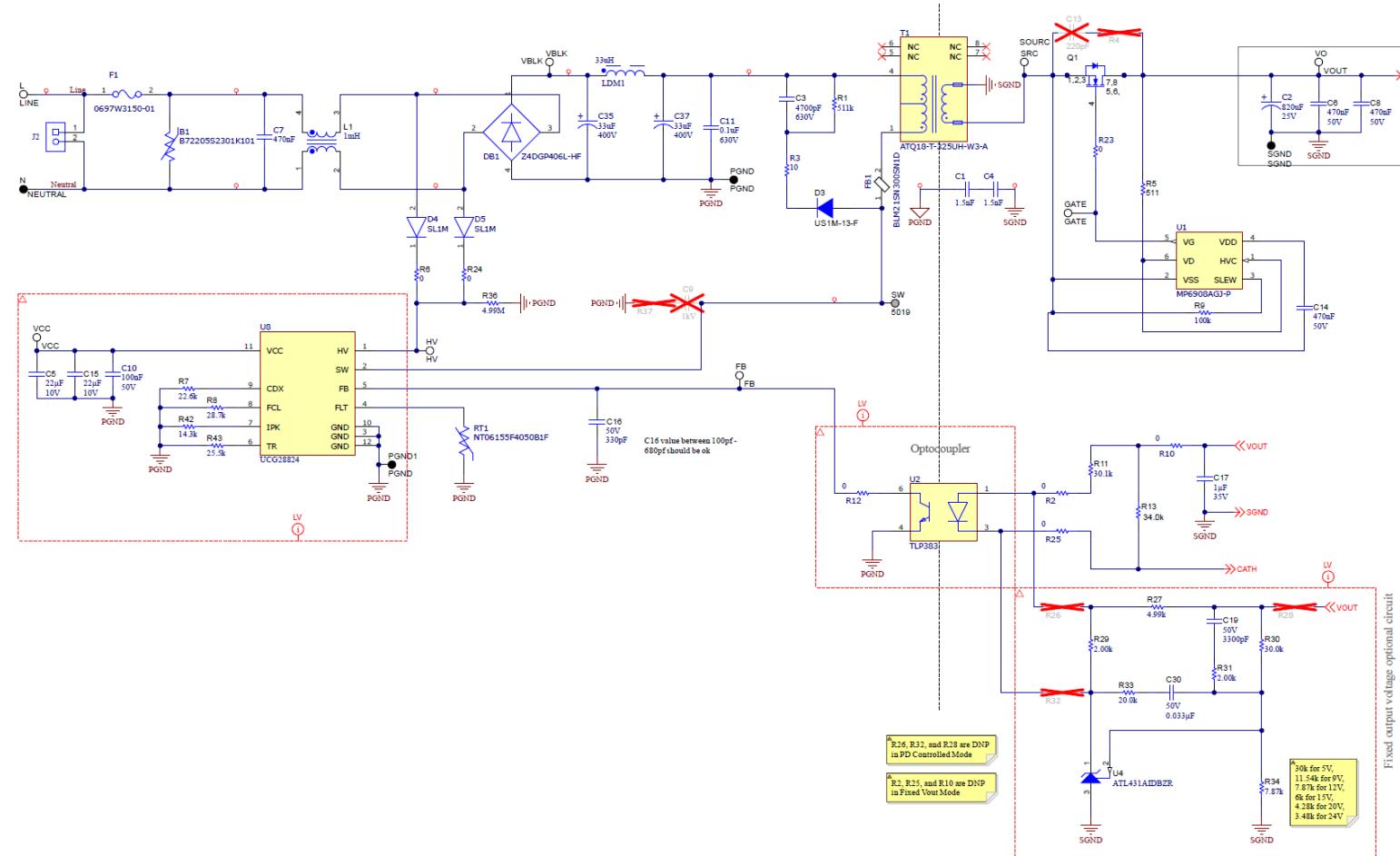
図 3-64. $V_{IN} = 230V_{RMS}$ 、 $V_{OUT} = 20V$ 、負荷 = 3.25A (SGND は LISN グラウンドに接続されていない)

4 ハードウェア設計ファイル

4.1 回路図

UCG28824EVM-124 の回路図を以下に示します。この評価基板 (EVM) は、USB-PD 負荷を使用した評価のために USB-PD コントローラが有効になるように構成されています。この評価基板はさらに、USB-PD 以外の負荷を使用したテストのために、固定出力電圧が生成されるように再構成することもできます。固定出力電圧コントローラを有効にするために、**0Ω** 抵抗である R2, R25, R10, R19 を取り外すことで、USB-C PD コントローラを無効にします。次に、**0Ω** 抵抗 R26, R32, R28 を取り付けると、固定出力電圧コントローラが有効になります。その後、以下の式を使用して R34 を調整すると、出力電圧を設定できます。

$$R34 = R30 \times 2.5V / (V_{out} - 2.5V) \quad (1)$$



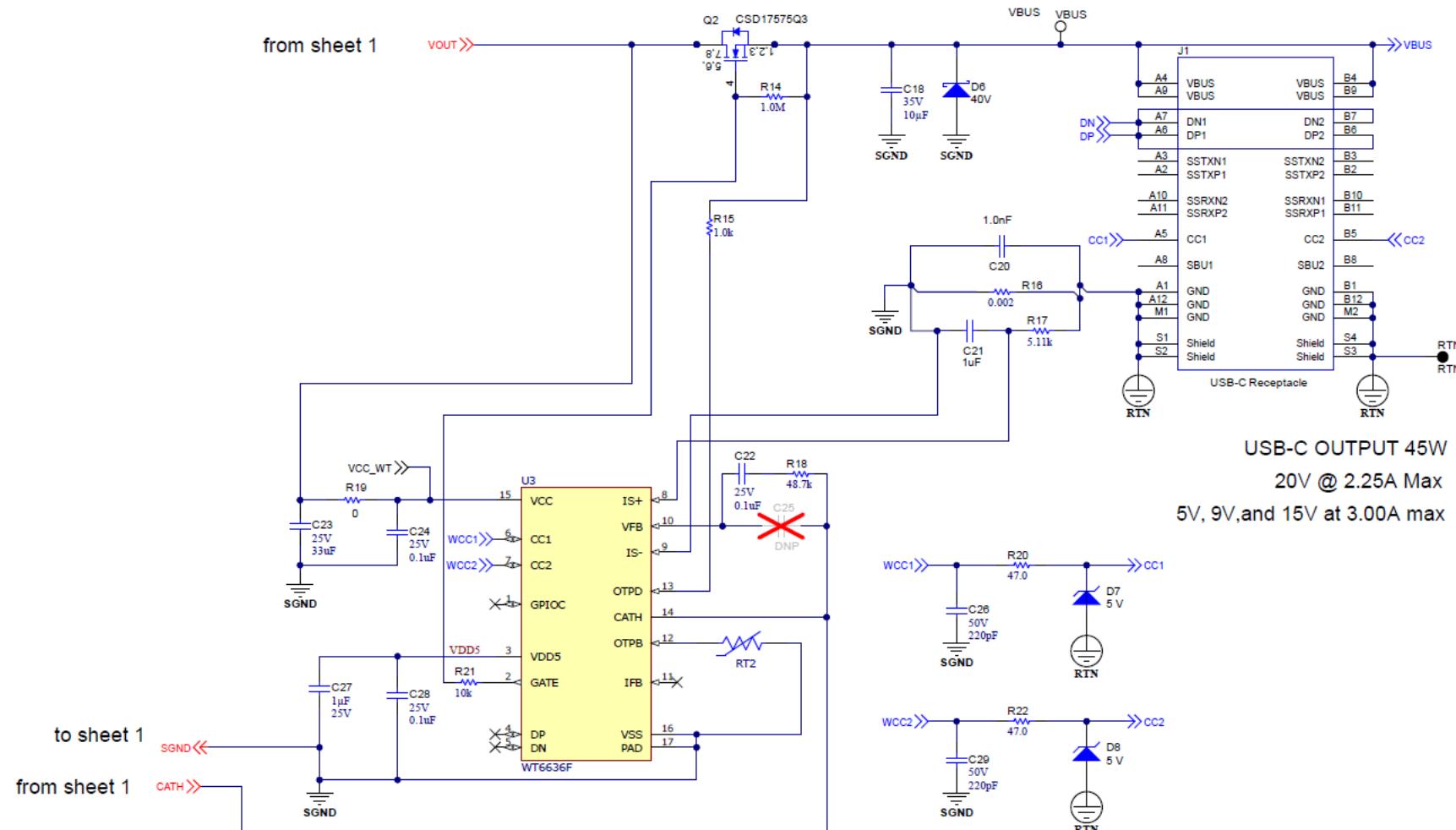


図 4-1. UCG28824EVM-124 回路の回路図

4.2 PCB のレイアウト

UCG28824EVM-124 は 2 層の PCB を使用しています。各層のレイアウトのスクリーンショットを以下に示します。

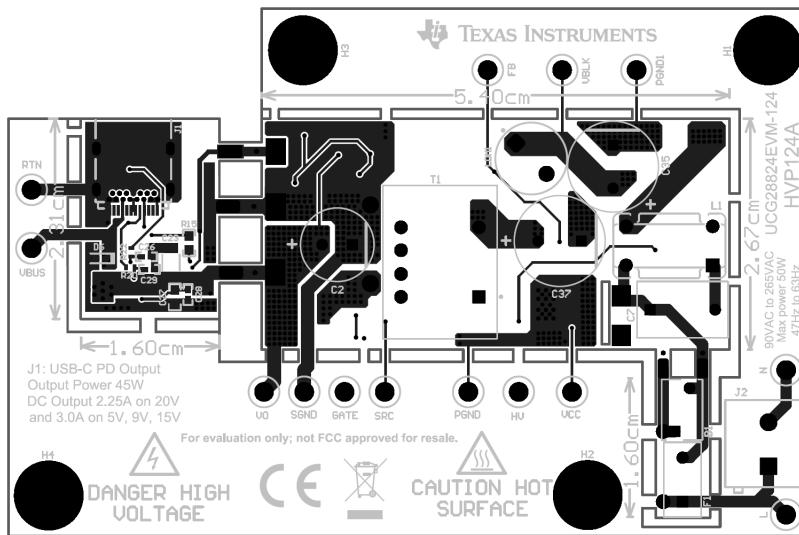


図 4-2. 上層

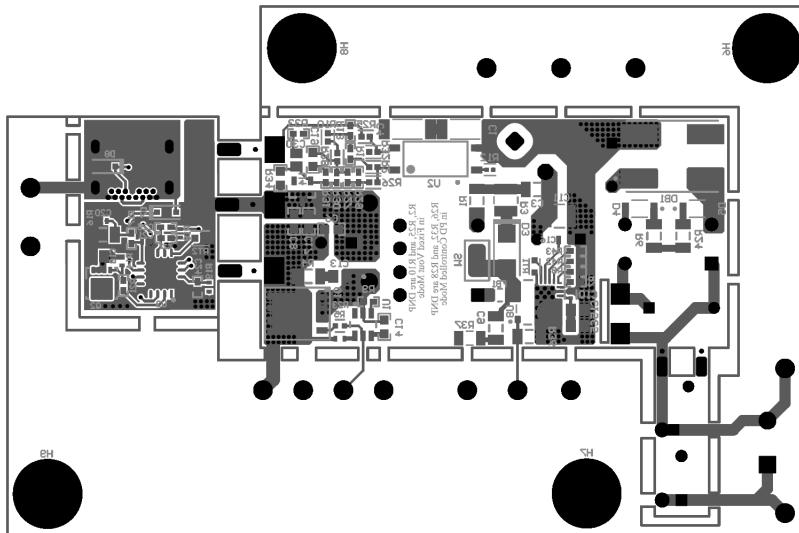


図 4-3. 下層

4.3 トランスの詳細

このデザインでは 3L コイルの ATQ18-T-325UH-W3-A トランスを採用しており、以下に仕様を示します。

4.3.1 ATQ18-T-325UH-W3-A

ATQ18-T-325UH-W3-A の詳細は以下の通りです。

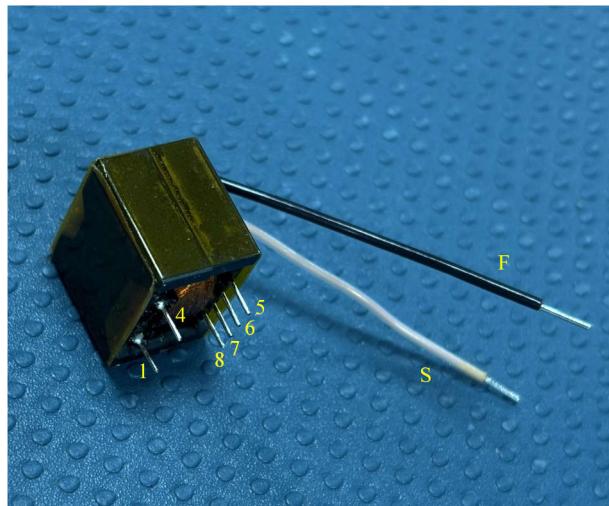


図 4-4. トランスの画像

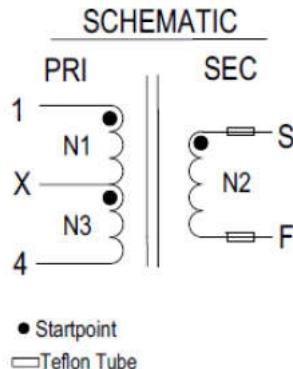


図 4-5. トランスの回路図

表 4-1. 25°C におけるトランスの仕様

パラメータ	標準値	ピン / リード	テスト条件
インダクタンス (μ H)	325, $\pm 10\%$	1 – 4	その他のすべてのピンをオープン、 100kHz / 0.25Vac
リーケージインダクタンス (μ H)	6.73	1 – 4	ショート S - F、100kHz / 0.25Vac
D.C. 抵抗 (Ω)	0.255	1 – 4	
D.C. 抵抗 (Ω)	上限 0.017	S – F	
誘電 (VAC、60Hz)	3000Vac	1 – S	3mA、50Hz、3 秒
巻数比	7:1	(1-4):(S-F)	

4.4 部品表

このセクションでは、UCG28824EVM-124 の部品表を示します。

表 4-2. 部品表

記号	値	数量	説明	部品番号	メーカー
B1	470V	1	470V 800A バリスタ スルー ホール ディスク 5mm	B72205S2301K101	EPCOS
C1, C4	1.5nF	2	1500pF $\pm 10\%$ 250VAC セラミック コンデンサ X7R 1808 (4520 メトリック)	1808YA250152KJTSYX	Knowles
C2	820uF	1	820uF 25V $\pm 20\%$ プラグイン、D8xL14mm アルミ電解コンデンサ	NPXD1401E821MF	Ymin
C3	4.7nF	1	CAP、CERM、4700pF、630V、 $\pm 5\%$ 、 C0G/NP0、1206	CGA5F4C0G2J472J085AA	TDK
C5, C15	22uF	2	コンデンサ、セラミック、22uF、10V、 $\pm 20\%$ 、 X7R、0805	GRM21BZ71A226ME15L	Murata (村田製作所)
C6, C8, C14	470nF	3	コンデンサ、セラミック、0.47uF、50V、 $\pm 10\%$ 、X7R、0603	C1608X7R1H474K080AC	TDK
C7	470nF	1	470nF $\pm 10\%$ 310Vac X2 プラグイン、 P=7.5mm 安全コンデンサ	MPX474K31B9KN20600	KNSCHA
C10	100nF	1	CAP、CERM、100nF 50V X7R $\pm 10\%$ 0402	GRT155R71H104KE01D	Murata (村田製作所)
C11	100nF	1	コンデンサ、セラミック、0.1uF、630V、 $\pm 10\%$ 、X7R、1210	C1210C104KBRAC TU	KEMET
C16	330pF	1	コンデンサ、セラミック、330pF、50V、 $\pm 5\%$ 、 C0G/NP0、0603	885012006060	Wurth Elektronik
C17	1uF	1	コンデンサ、セラミック、1uF、35V、 $\pm 10\%$ 、 X7R、0603	CGA3E1X7R1V105K080A C	TDK
C18	10uF	1	CAP、CERM、10uF、35V、 $\pm 10\%$ 、X5R、 0805	GMK212BBJ106KG-T	Taiyo Yuden
C19	3.3nF	1	CAP、CERM、3300pF、50V、 $\pm 5\%$ 、 C0G/NP0、0603	GRM1885C1H332JA01D	Murata (村田製作所)
C20	1nF	1	コンデンサ、セラミック、1000pF、50V、 $\pm 10\%$ 、X7R、0402	885012205061	Wurth Elektronik
C21	1uF	1	コンデンサ、セラミック、1uF、6.3V、 $\pm 20\%$ 、 X7R、0402	GRM155R70J105MA12D	Murata (村田製作所)
C22	100nF	1	CAP、CERM、0.1uF、25V、 $\pm 10\%$ 、X7R、 0402	GRM155R71E104KE14D	Murata (村田製作所)
C23	33uF	1	CAP、CERM、33uF、25V、 $\pm 20\%$ 、X5R、 1206	C3216X5R1E336M160AC	TDK
C24, C28	100nF	2	CAP、CERM、0.1uF、25V、 $\pm 10\%$ 、X7R、 0402	GRM155R71E104KE14D	Murata (村田製作所)
C26, C29	220pF	2	コンデンサ、セラミック、220pF、50V、 $\pm 10\%$ 、 X7R、0402	GRM155R71H221KA01D	Murata (村田製作所)
C27	1uF	1	コンデンサ、セラミック、1uF、25V、 $\pm 10\%$ 、 X7R、0603	GCM188R71E105KA64D	Murata (村田製作所)

表 4-2. 部品表 (続き)

記号	値	数量	説明	部品番号	メーカー
C30	33nF	1	CAP、CERM、0.033 μ F、50V、 $\pm 5\%$ 、C0G/NP0、0805	CGA4J2C0G1H333J125AA	TDK
C35、C37	33uF	2	33 μ F 400V 500m Ω @100kHz 370mA@100kHz $\pm 20\%$ プラグイン、D10xL15mm アルミ電解コンデンサ	87EC0493	KNSCHA
D3	1000V	1	ダイオード、超高速、1000V、1A、SMA	US1M-13-F	Diodes Inc.
D4、D5	800V	2	ダイオード 800V 1A 表面実装 SOD-123FL	SL1K	Diotec
D6	40V	1	ダイオード、ショットキー、40V、0.2A、SOD-523	RB521SM-40T2R	ROHM
D7、D8	5.1V	2	ダイオード、ツェナー、5.1V、400mW、SOD-323F	D3Z5V1BF-7	Diodes Inc.
DB1		1	ブリッジ整流器単相標準 600V 表面実装	Z4DGP406L-HF	Comchip
F1	3.15A	1	ヒューズ小型スロー プロー動作 3.15A 350V ラジアル 8.35 X 4 X 7.8mm 熱可塑性ボックス	0697W3150-01	ベルヒューズ
FB1		1	30 Ω @ 100MHz 1 電源ライン フェライトビーズ 0805 (2012 メトリック) 8.5A 4m Ω	BLM21SN300SN1D	Murata (村田製作所)
FB、GATE、HV、L、SRC、VBLK、VBUS、VCC、VO		9	テスト ポイント、多目的、白色、TH	5012	Keystone
H1、H2、H3、H4		4	#4-40 パン ヘッド マシン スクリュー フィリップ スドライプ ナイロン	NY PMS 440 0038 PH	Building Fasteners
H6、H7、H8、H9		4	スタンドオフ、六角、0.5	1902C	Keystone
J1	USB-C レセプタクル	1	コネクタ、レセプタクル、USB Type C、R/A	632723300011	Würth Elektronik
J2		1	端子台、5.08mm、2x1、真鍮、TH	ED120/2DS	On Shore Technology Inc.
L1	1mH	1	カッブル インダクタ、1mH、2A、0.045 Ω 、TH	744821201	Wurth Elektronik
LDM1	33uH	1	WE-TI 製ラジアル リード付き巻線 インダクタ、サイズ 8095、33 μ H、2.5A、0.066 Ω	7447720330	Wurth Elektronik
N、PGND、PGND1、RTN、SGND		5	テスト ポイント、多目的、黒色、TH	5011	Keystone
Q1	150V	1	MOSFET、N-CH、150V、87A、PG-TDS0N-8	BSC093N15NS5ATMA1	インフィニオン テクノロジーズ
Q2	30V	1	MOSFET、N-CH、30V、60A、DQG0008A (VSON-CLIP-8)	CSD17575Q3	テキサス・インスツルメント
R1	511k	1	RES、511k、1%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、1206	CRCW1206511KFKEA	Vishay/Dale
R2、R10、R12、R23、R25	0	5	RES 厚膜、0、0.2W、0402	CRCW04020000Z0EDHP	Vishay
R3	10	1	10 $\pm 5\%$ 0.5W 1210 厚膜チップ抵抗 AEC-Q200 準拠	RMCF1210JT10R0	Stackpole Electronics

表 4-2. 部品表 (続き)

記号	値	数量	説明	部品番号	メーカー
R5	511	1	RES、511、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW0402511RFKED	Vishay Dale
R6、R24	0	2	RES、0、5%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、1206	CRCW12060000Z0EA	Vishay/Dale
R7	22.6	1	RES、22.6k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040222K6FKED	Vishay Dale
R8	28.7	1	RES、28.7 k、1%、0.063 W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040228K7FKED	Vishay Dale
R9	100k	1	RES、100k、1%、0.063 W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW0402100KFKED	Vishay / Dale
R11	30.1k	1	RES、30.1k、1%、0.063W、0402	CRCW040230K1FKED	Vishay Dale
R13	34k	1	RES、34.0k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040234K0FKED	Vishay Dale
R14	1Meg	1	RES、1.0M、5%、0.063 W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW04021M00JNED	Vishay Dale
R15	1k	1	RES、1.0k、5%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、0603	ESR03EZPJ102	ROHM
R16	0.002	1	抵抗、0.002、1%、1W、1206	CSNL1206FT2L00	Stackpole Electronics Inc
R17	5.11k	1	RES、5.11k、1%、0.063W、0402	CRCW04025K11FKED	Vishay Dale
R18	48.7k	1	RES、48.7k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040248K7FKED	Vishay Dale
R19	0	1	RES、0、5%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW04020000Z0ED	Vishay / Dale
R20、R22	47	2	抵抗、47.0、1%、0.063W、0402	RK73H1ETTP47R0F	KOA スピア
R21	10k	1	RES、10k、5%、0.063W、0402	CRCW040210K0JNED	Vishay / Dale
R27	4.99k	1	RES、4.99k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW04024K99FKED	Vishay Dale
R29、R31	2.00k	2	RES、2.00k、0.1%、0.063W、0402	RG1005P-202-B-T5	Susumu
R30	30k	1	RES、30.0k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040230K0FKED	Vishay
R33	20.0k	1	RES、20.0k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040220K0FKED	Vishay / Dale
R34	7.87k	1	RES、7.87k、1%、0.1W、AEC-Q200 グレード 0、0603	CRCW06037K87FKEA	Vishay / Dale
R36	4.99k	1	RES、4.99M、1%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、1206	CRCW12064M99FKEA	Vishay/Dale
R42	14.3k	1	RES、14.3 k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040214K3FKED	Vishay / Dale
R43	25.5k	1	RES、25.5k、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW040225K5FKED	Vishay / Dale
RT1	150k	1	NTC サーミスタ 150k 0603 (1608 メトリック)	NT06155F4050B1F	イートン

表 4-2. 部品表 (続き)

記号	値	数量	説明	部品番号	メーカー
RT2	220k	1	サーミスタ NTC、220kΩ、5%、0603	ERT-J1VT224J	Panasonic
SW		1	テスト ポイント、ミニチュア、SMT	5019	Keystone
T1		1	フライバックトランジスタ	ATQ18-T-325UH-W3-A	3L コイル
U1		1	高速ターンオフ インテリジェント RECTIF	MP6908GJ-Z	Monolithic Power Systems Inc.
U2		1	フォトアイソレータトランジスタ出力 5000Vrms 1 チャネル 6-SO	TLP383 (GR-TPL、E)	東芝セミコンダクター &ストレージ
U3		1	USB PD/QC4/QC4+ コントローラ	WT6636F	Weltrend
U4		1	2.5V、低 Iq、可変高精度シャントレギュレータ、DBZ0003A (SOT-23-3)	ATL431AIDBZR	テキサス・インスツルメンツ
U8		1	GaN 内蔵、自己バイアス型高周波数 QR フライバックコンバータ	UCG28824-1REZR	テキサス・インスツルメンツ

5 追加情報

商標

USB-C® is a registered 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。

STANDARD TERMS FOR EVALUATION MODULES

1. *Delivery:* TI delivers TI evaluation boards, kits, or modules, including any accompanying demonstration software, components, and/or documentation which may be provided together or separately (collectively, an "EVM" or "EVMs") to the User ("User") in accordance with the terms set forth herein. User's acceptance of the EVM is expressly subject to the following terms.
 - 1.1 EVMs are intended solely for product or software developers for use in a research and development setting to facilitate feasibility evaluation, experimentation, or scientific analysis of TI semiconductors products. EVMs have no direct function and are not finished products. EVMs shall not be directly or indirectly assembled as a part or subassembly in any finished product. For clarification, any software or software tools provided with the EVM ("Software") shall not be subject to the terms and conditions set forth herein but rather shall be subject to the applicable terms that accompany such Software
 - 1.2 EVMs are not intended for consumer or household use. EVMs may not be sold, sublicensed, leased, rented, loaned, assigned, or otherwise distributed for commercial purposes by Users, in whole or in part, or used in any finished product or production system.
- 2 *Limited Warranty and Related Remedies/Disclaimers:*
 - 2.1 These terms do not apply to Software. The warranty, if any, for Software is covered in the applicable Software License Agreement.
 - 2.2 TI warrants that the TI EVM will conform to TI's published specifications for ninety (90) days after the date TI delivers such EVM to User. Notwithstanding the foregoing, TI shall not be liable for a nonconforming EVM if (a) the nonconformity was caused by neglect, misuse or mistreatment by an entity other than TI, including improper installation or testing, or for any EVMs that have been altered or modified in any way by an entity other than TI, (b) the nonconformity resulted from User's design, specifications or instructions for such EVMs or improper system design, or (c) User has not paid on time. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary. TI does not test all parameters of each EVM. User's claims against TI under this Section 2 are void if User fails to notify TI of any apparent defects in the EVMs within ten (10) business days after delivery, or of any hidden defects with ten (10) business days after the defect has been detected.
 - 2.3 TI's sole liability shall be at its option to repair or replace EVMs that fail to conform to the warranty set forth above, or credit User's account for such EVM. TI's liability under this warranty shall be limited to EVMs that are returned during the warranty period to the address designated by TI and that are determined by TI not to conform to such warranty. If TI elects to repair or replace such EVM, TI shall have a reasonable time to repair such EVM or provide replacements. Repaired EVMs shall be warranted for the remainder of the original warranty period. Replaced EVMs shall be warranted for a new full ninety (90) day warranty period.

WARNING

Evaluation Kits are intended solely for use by technically qualified, professional electronics experts who are familiar with the dangers and application risks associated with handling electrical mechanical components, systems, and subsystems.

User shall operate the Evaluation Kit within TI's recommended guidelines and any applicable legal or environmental requirements as well as reasonable and customary safeguards. Failure to set up and/or operate the Evaluation Kit within TI's recommended guidelines may result in personal injury or death or property damage. Proper set up entails following TI's instructions for electrical ratings of interface circuits such as input, output and electrical loads.

NOTE:

EXPOSURE TO ELECTROSTATIC DISCHARGE (ESD) MAY CAUSE DEGRADATION OR FAILURE OF THE EVALUATION KIT; TI RECOMMENDS STORAGE OF THE EVALUATION KIT IN A PROTECTIVE ESD BAG.

3 Regulatory Notices:

3.1 United States

3.1.1 Notice applicable to EVMs not FCC-Approved:

FCC NOTICE: This kit is designed to allow product developers to evaluate electronic components, circuitry, or software associated with the kit to determine whether to incorporate such items in a finished product and software developers to write software applications for use with the end product. This kit is not a finished product and when assembled may not be resold or otherwise marketed unless all required FCC equipment authorizations are first obtained. Operation is subject to the condition that this product not cause harmful interference to licensed radio stations and that this product accept harmful interference. Unless the assembled kit is designed to operate under part 15, part 18 or part 95 of this chapter, the operator of the kit must operate under the authority of an FCC license holder or must secure an experimental authorization under part 5 of this chapter.

3.1.2 For EVMs annotated as FCC – FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION Part 15 Compliant:

CAUTION

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions: (1) This device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

FCC Interference Statement for Class A EVM devices

NOTE: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instruction manual, may cause harmful interference to radio communications. Operation of this equipment in a residential area is likely to cause harmful interference in which case the user will be required to correct the interference at his own expense.

FCC Interference Statement for Class B EVM devices

NOTE: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications. However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. If this equipment does cause harmful interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment off and on, the user is encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures:

- Reorient or relocate the receiving antenna.
- Increase the separation between the equipment and receiver.
- Connect the equipment into an outlet on a circuit different from that to which the receiver is connected.
- Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.

3.2 Canada

3.2.1 For EVMs issued with an Industry Canada Certificate of Conformance to RSS-210 or RSS-247

Concerning EVMs Including Radio Transmitters:

This device complies with Industry Canada license-exempt RSSs. Operation is subject to the following two conditions:

(1) this device may not cause interference, and (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

Concernant les EVMs avec appareils radio:

Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes: (1) l'appareil ne doit pas produire de brouillage, et (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

Concerning EVMs Including Detachable Antennas:

Under Industry Canada regulations, this radio transmitter may only operate using an antenna of a type and maximum (or lesser) gain approved for the transmitter by Industry Canada. To reduce potential radio interference to other users, the antenna type and its gain should be so chosen that the equivalent isotropically radiated power (e.i.r.p.) is not more than that necessary for successful communication. This radio transmitter has been approved by Industry Canada to operate with the antenna types listed in the user guide with the maximum permissible gain and required antenna impedance for each antenna type indicated. Antenna types not included in this list, having a gain greater than the maximum gain indicated for that type, are strictly prohibited for use with this device.

Concernant les EVMs avec antennes détachables

Conformément à la réglementation d'Industrie Canada, le présent émetteur radio peut fonctionner avec une antenne d'un type et d'un gain maximal (ou inférieur) approuvé pour l'émetteur par Industrie Canada. Dans le but de réduire les risques de brouillage radioélectrique à l'intention des autres utilisateurs, il faut choisir le type d'antenne et son gain de sorte que la puissance isotope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) ne dépasse pas l'intensité nécessaire à l'établissement d'une communication satisfaisante. Le présent émetteur radio a été approuvé par Industrie Canada pour fonctionner avec les types d'antenne énumérés dans le manuel d'usage et ayant un gain admissible maximal et l'impédance requise pour chaque type d'antenne. Les types d'antenne non inclus dans cette liste, ou dont le gain est supérieur au gain maximal indiqué, sont strictement interdits pour l'exploitation de l'émetteur

3.3 Japan

3.3.1 *Notice for EVMs delivered in Japan:* Please see http://www.tij.co.jp/lsts/ti_ja/general/eStore/notice_01.page 日本国内に輸入される評価用キット、ボードについては、次のところをご覧ください。

<https://www.ti.com/ja-jp/legal/notice-for-evaluation-kits-delivered-in-japan.html>

3.3.2 *Notice for Users of EVMs Considered "Radio Frequency Products" in Japan:* EVMs entering Japan may not be certified by TI as conforming to Technical Regulations of Radio Law of Japan.

If User uses EVMs in Japan, not certified to Technical Regulations of Radio Law of Japan, User is required to follow the instructions set forth by Radio Law of Japan, which includes, but is not limited to, the instructions below with respect to EVMs (which for the avoidance of doubt are stated strictly for convenience and should be verified by User):

1. Use EVMs in a shielded room or any other test facility as defined in the notification #173 issued by Ministry of Internal Affairs and Communications on March 28, 2006, based on Sub-section 1.1 of Article 6 of the Ministry's Rule for Enforcement of Radio Law of Japan,
2. Use EVMs only after User obtains the license of Test Radio Station as provided in Radio Law of Japan with respect to EVMs, or
3. Use of EVMs only after User obtains the Technical Regulations Conformity Certification as provided in Radio Law of Japan with respect to EVMs. Also, do not transfer EVMs, unless User gives the same notice above to the transferee. Please note that if User does not follow the instructions above, User will be subject to penalties of Radio Law of Japan.

【無線電波を送信する製品の開発キットをお使いになる際の注意事項】開発キットの中には技術基準適合証明を受けていないものがあります。技術適合証明を受けていないものご使用に際しては、電波法遵守のため、以下のいずれかの措置を取っていただく必要がありますのでご注意ください。

1. 電波法施行規則第6条第1項第1号に基づく平成18年3月28日総務省告示第173号で定められた電波暗室等の試験設備でご使用いただく。
2. 実験局の免許を取得後ご使用いただく。
3. 技術基準適合証明を取得後ご使用いただく。

なお、本製品は、上記の「ご使用にあたっての注意」を譲渡先、移転先に通知しない限り、譲渡、移転できないものとします。

上記を遵守頂けない場合は、電波法の罰則が適用される可能性があることをご留意ください。日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

東京都新宿区西新宿6丁目24番1号

西新宿三井ビル

3.3.3 *Notice for EVMs for Power Line Communication:* Please see http://www.tij.co.jp/lsts/ti_ja/general/eStore/notice_02.page
電力線搬送波通信についての開発キットをお使いになる際の注意事項については、次のところをご覧ください。<https://www.ti.com/ja-jp/legal/notice-for-evaluation-kits-for-power-line-communication.html>

3.4 European Union

3.4.1 *For EVMs subject to EU Directive 2014/30/EU (Electromagnetic Compatibility Directive):*

This is a class A product intended for use in environments other than domestic environments that are connected to a low-voltage power-supply network that supplies buildings used for domestic purposes. In a domestic environment this product may cause radio interference in which case the user may be required to take adequate measures.

4 *EVM Use Restrictions and Warnings:*

- 4.1 EVMS ARE NOT FOR USE IN FUNCTIONAL SAFETY AND/OR SAFETY CRITICAL EVALUATIONS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO EVALUATIONS OF LIFE SUPPORT APPLICATIONS.
- 4.2 User must read and apply the user guide and other available documentation provided by TI regarding the EVM prior to handling or using the EVM, including without limitation any warning or restriction notices. The notices contain important safety information related to, for example, temperatures and voltages.
- 4.3 *Safety-Related Warnings and Restrictions:*
- 4.3.1 User shall operate the EVM within TI's recommended specifications and environmental considerations stated in the user guide, other available documentation provided by TI, and any other applicable requirements and employ reasonable and customary safeguards. Exceeding the specified performance ratings and specifications (including but not limited to input and output voltage, current, power, and environmental ranges) for the EVM may cause personal injury or death, or property damage. If there are questions concerning performance ratings and specifications, User should contact a TI field representative prior to connecting interface electronics including input power and intended loads. Any loads applied outside of the specified output range may also result in unintended and/or inaccurate operation and/or possible permanent damage to the EVM and/or interface electronics. Please consult the EVM user guide prior to connecting any load to the EVM output. If there is uncertainty as to the load specification, please contact a TI field representative. During normal operation, even with the inputs and outputs kept within the specified allowable ranges, some circuit components may have elevated case temperatures. These components include but are not limited to linear regulators, switching transistors, pass transistors, current sense resistors, and heat sinks, which can be identified using the information in the associated documentation. When working with the EVM, please be aware that the EVM may become very warm.
- 4.3.2 EVMs are intended solely for use by technically qualified, professional electronics experts who are familiar with the dangers and application risks associated with handling electrical mechanical components, systems, and subsystems. User assumes all responsibility and liability for proper and safe handling and use of the EVM by User or its employees, affiliates, contractors or designees. User assumes all responsibility and liability to ensure that any interfaces (electronic and/or mechanical) between the EVM and any human body are designed with suitable isolation and means to safely limit accessible leakage currents to minimize the risk of electrical shock hazard. User assumes all responsibility and liability for any improper or unsafe handling or use of the EVM by User or its employees, affiliates, contractors or designees.
- 4.4 User assumes all responsibility and liability to determine whether the EVM is subject to any applicable international, federal, state, or local laws and regulations related to User's handling and use of the EVM and, if applicable, User assumes all responsibility and liability for compliance in all respects with such laws and regulations. User assumes all responsibility and liability for proper disposal and recycling of the EVM consistent with all applicable international, federal, state, and local requirements.
5. *Accuracy of Information:* To the extent TI provides information on the availability and function of EVMs, TI attempts to be as accurate as possible. However, TI does not warrant the accuracy of EVM descriptions, EVM availability or other information on its websites as accurate, complete, reliable, current, or error-free.

6. *Disclaimers:*

- 6.1 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, EVMS AND ANY MATERIALS PROVIDED WITH THE EVM (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, REFERENCE DESIGNS AND THE DESIGN OF THE EVM ITSELF) ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING SUCH ITEMS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY OR IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY PATENTS, COPYRIGHTS, TRADE SECRETS OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.
- 6.2 EXCEPT FOR THE LIMITED RIGHT TO USE THE EVM SET FORTH HEREIN, NOTHING IN THESE TERMS SHALL BE CONSTRUED AS GRANTING OR CONFERRING ANY RIGHTS BY LICENSE, PATENT, OR ANY OTHER INDUSTRIAL OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI, ITS SUPPLIERS/LICENSENSORS OR ANY OTHER THIRD PARTY, TO USE THE EVM IN ANY FINISHED END-USER OR READY-TO-USE FINAL PRODUCT, OR FOR ANY INVENTION, DISCOVERY OR IMPROVEMENT, REGARDLESS OF WHEN MADE, CONCEIVED OR ACQUIRED.
7. *USER'S INDEMNITY OBLIGATIONS AND REPRESENTATIONS.* USER WILL DEFEND, INDEMNIFY AND HOLD TI, ITS LICENSORS AND THEIR REPRESENTATIVES HARMLESS FROM AND AGAINST ANY AND ALL CLAIMS, DAMAGES, LOSSES, EXPENSES, COSTS AND LIABILITIES (COLLECTIVELY, "CLAIMS") ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH ANY HANDLING OR USE OF THE EVM THAT IS NOT IN ACCORDANCE WITH THESE TERMS. THIS OBLIGATION SHALL APPLY WHETHER CLAIMS ARISE UNDER STATUTE, REGULATION, OR THE LAW OF TORT, CONTRACT OR ANY OTHER LEGAL THEORY, AND EVEN IF THE EVM FAILS TO PERFORM AS DESCRIBED OR EXPECTED.

8. *Limitations on Damages and Liability:*

- 8.1 *General Limitations.* IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF THESE TERMS OR THE USE OF THE EVMS, REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. EXCLUDED DAMAGES INCLUDE, BUT ARE NOT LIMITED TO, COST OF REMOVAL OR REINSTALLATION, ANCILLARY COSTS TO THE PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES, RETESTING, OUTSIDE COMPUTER TIME, LABOR COSTS, LOSS OF GOODWILL, LOSS OF PROFITS, LOSS OF SAVINGS, LOSS OF USE, LOSS OF DATA, OR BUSINESS INTERRUPTION. NO CLAIM, SUIT OR ACTION SHALL BE BROUGHT AGAINST TI MORE THAN TWELVE (12) MONTHS AFTER THE EVENT THAT GAVE RISE TO THE CAUSE OF ACTION HAS OCCURRED.
- 8.2 *Specific Limitations.* IN NO EVENT SHALL TI'S AGGREGATE LIABILITY FROM ANY USE OF AN EVM PROVIDED HEREUNDER, INCLUDING FROM ANY WARRANTY, INDEMNITY OR OTHER OBLIGATION ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THESE TERMS, EXCEED THE TOTAL AMOUNT PAID TO TI BY USER FOR THE PARTICULAR EVM(S) AT ISSUE DURING THE PRIOR TWELVE (12) MONTHS WITH RESPECT TO WHICH LOSSES OR DAMAGES ARE CLAIMED. THE EXISTENCE OF MORE THAN ONE CLAIM SHALL NOT ENLARGE OR EXTEND THIS LIMIT.
9. *Return Policy.* Except as otherwise provided, TI does not offer any refunds, returns, or exchanges. Furthermore, no return of EVM(s) will be accepted if the package has been opened and no return of the EVM(s) will be accepted if they are damaged or otherwise not in a resalable condition. If User feels it has been incorrectly charged for the EVM(s) it ordered or that delivery violates the applicable order, User should contact TI. All refunds will be made in full within thirty (30) working days from the return of the components(s), excluding any postage or packaging costs.
10. *Governing Law:* These terms and conditions shall be governed by and interpreted in accordance with the laws of the State of Texas, without reference to conflict-of-laws principles. User agrees that non-exclusive jurisdiction for any dispute arising out of or relating to these terms and conditions lies within courts located in the State of Texas and consents to venue in Dallas County, Texas. Notwithstanding the foregoing, any judgment may be enforced in any United States or foreign court, and TI may seek injunctive relief in any United States or foreign court.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, 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默示保証、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、明示的または默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、(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、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