

EVM User's Guide: UCG28828EVM-094

UCG28828、GaN 内蔵 120W QR フライバック コンバータの評価基板



説明

UCG28828 評価基板 (EVM) を使用すると、設計者は補助巻線不要の UCG28828 QR フライバック コントローラの動作と性能を評価できます。この評価基板は、UCG28828 で擬似共振フライバック コンバータを駆動し、負荷範囲全体とユニバーサル ライン入力範囲全体で高い効率を実現する方法を示します。

設計を開始

1. 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。
2. ステップ 1 を満たしたら、評価用に [UCG28828EVM-094](#) を注文します。
3. ユーザー ガイドの手順に従って [UCG28828EVM-094](#) をセットアップし、テストを行います。

特長

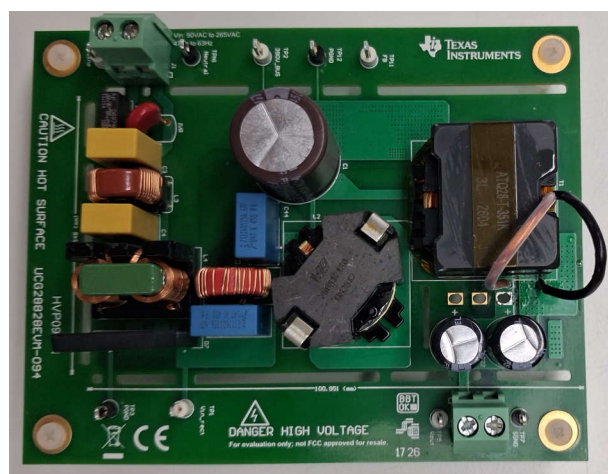
- オン抵抗 170mΩ の 750V GaN を内蔵し、動的 QR/DCM/CCM 動作モードとピーク電流モード制御に対応する QR フライバック コンバータ
- AC 入力電圧 90VAC ~ 264VAC、ライン周波数 43Hz ~ 63Hz に対応し、20V/5A、24V/5A、28V/4.3A の出力が可能。また、この評価基板は、すべての

出力電圧で PFC を無効にすることにより、5V/3A、9V/3A、12V/3A、15V/3A に構成できます。

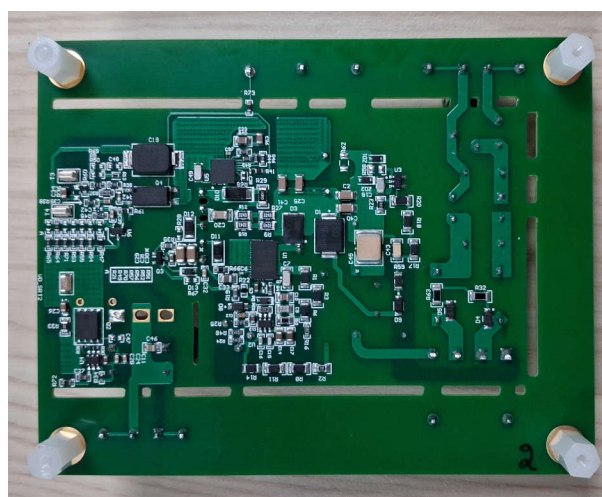
- 高効率、低スタンバイ消費電力、2 段構成 (PFC + フライバック) のピーク効率: 115VAC 入力時に 93% 超、230VAC 入力時に約 95% の効率
- 入力電圧範囲全体で PFC 回路を有効にするには、20V 出力設定時に PFC に 20mA 以上が必要
- 自己バイアスと補助巻線不要のセンシング採用と、電流検出、HV 起動、X コンデンサ放電の各内蔵機能により、BOM コストを最小化
- OVP (過電圧保護)、OTP (過熱保護)、短絡保護、過電流保護、ブラウンイン / ブラウンアウト保護を含む包括的な保護機能。
- UCC28056 PFC 遷移モード コントローラ向けにディスクリット ブラウンアウト回路を実装。
- この評価基板には、UCG28828、UCC28056、LMG3622、LM8364、ATL431 の TI 部品を搭載しています。

アプリケーション

- [USB 電源アダプタ](#)
- [USB AC/DC アダプタ](#)
- [バッテリー チャージャ](#)
- [ドッキング ステーション](#)



UCG28828EVM-094 の上面図



UCG28828EVM-094 底面図

1 評価基板の概要

1.1 はじめに

このユーザー ガイドでは、120W の 2 段 AC/DC 電源評価基板 (EVM) の設計、動作、性能について説明しています。この評価基板は、AC/DC アダプタ、家電製品、産業用、医療用の電源アプリケーション向けの高効率、高密度の絶縁型電源設計を実証します。

この評価基板は、2 段電力変換トポロジを実装しています。最初の段では UCC28056 遷移モード PFC コントローラと LMG3622 GaN FET スイッチを使用し、90VAC ~ 264VAC のユニバーサル AC 入力範囲全体で 1 に近い力率と低全高調波歪み (THD) を実現します。2 段目では、UCG28828 補助巻線レス疑似共振 (QR) フライバック コントローラと内蔵の 750V GaN HEMT を使用して、20V、24V、または 28V の安定化 DC 出力と 120W の出力電力を供給します。UCG28828 補助巻線レス アーキテクチャを採用すると、フライバック バイアス電源用のトランスの補助巻線が不要になり、トランスの複雑さと、全体の部品表 (BOM) コストを低減できます。バレー スイッチング動作は、スイッチング損失を最小化し、高い電力密度を実現すると同時に、負荷範囲全体にわたって 92% を上回る効率を維持します。この評価基板は、以下の業界標準を満たす設計を採用しています：

- ・ 効率: DoE レベル VI の平均効率
- ・ スタンバイ消費電力: CoC Tier 2 (無負荷時に 210mW 未満)
- ・ EMC: CISPR 32 クラス B 伝導性放射
- ・ 入力: ユニバーサル AC、90 VAC ~ 264 VAC、47Hz ~ 63Hz
- ・ 出力: 20V、24V、または 28V、および 120W の最大電力。

このユーザー ガイドでは、評価基板の回路図、部品表、テスト設定、性能の測定データ (効率、ロードレギュレーション、起動、負荷に応じたスイッチング周波数、ライン過渡、負荷過渡、出力電圧リップル、放熱性能、伝導 EMI と PFC 段のテストデータなど) を取り上げています。ユーザー ガイドでは、QR フライバック コンバータ動作のシステム視点から、基本的な評価手順を解説しています。この基板に電力を供給する前に、このユーザー ガイドをよくお読みください。

1.2 キットの内容

項目	説明	数量
UCG28828EVM-094	PCB (評価基板)	1

1.3 仕様

入力	出力	最大出力電力
90VAC-264VAC47-63Hz	28V/4.3A、24V/5A、および 20V/5A [出力を 15V/3A、12V/3A、9V/3A、5V/3A に設定可能 (PFC は無効化)]	120W

1.4 製品情報

UCG28828 は、高周波数の疑似共振 (QR) AC/DC フライバック コンバータであり、750V の 1 次側 GaN 高電子移動度トランジスタ (HEMT) を内蔵し、RDS (on) がわずか 170mΩ、最大 500kHz のスイッチング周波数で高電力密度の設計向けに 120W の AC/DC 電力変換を行うように設計されています。このデバイスは、自己バイアスを備えた業界初の補助巻線レスフライバック アーキテクチャを採用しており、トランスの補助巻線が不要であるため、高効率で、コンパクトかつ低コストの電源設計を実現できます。特に、USB-PD 充電器などの出力電圧範囲の広いアプリケーションで有効です。入力電圧検出、出力電圧検出、電流検出、HV 起動、X コンデンサ放電の各機能を内蔵した結果、外付け部品点数と BoM (部品表) コストを大幅に低減できます。UCG28828 は、CCM、QR、DCM 動作モードへの動的なモード遷移に対応しており、全電力範囲にわたって高効率を実現し、30mW 未満のスタンバイ消費電力を達成します。また、周波数ディザリング、バレー ロック、周波数フォールドバック、バースト モード、スイッチング スルーレート制御による EMI 低減機能を内蔵しています。包括的な保護機能群 (OVP、SCP、LPS 付き 2 レベル過電力保護、OTP、ブラウンインおよびブラウンアウト、オープン フィードバック保護、サイクル毎の電流制限) を、柔軟な抵抗プログラマブル設定ピンとともに小型の 5mm × 5mm QFN パッケージに集積した UCG28828 は、USB-PD アダプタ、USB 電源コンセント、産業用 DIN レール電源、サーバー補助電源向けの完全統合型プラットフォーム対応設計を実現します。

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氣的定格電圧および電力制限範囲内で使用してください。電氣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氣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

- 作業領域を清潔で整理整頓された状態に保ちます。
- 回路への電源投入は、必ず資格を有するオペレーターの立ち合いの下に行います。
- 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。
- 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氣的に配置する必要があります。
- 安定した非導電性の作業台を使用します。
- 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. 電氣的安全性

予防措置として、評価基板全体が完全にアクセス可能で、高電圧が印加されていると想定することは良いエンジニアリング プラクティスです。

- 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。
- 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氣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。
- 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

- 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 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！
- 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} および 100W の電力レベルに対応可能な絶縁型 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な場合があります。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 チャンネル、帯域幅 500MHz。
- 600V 対応のプロブ。

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。

2.2 推奨テスト設定

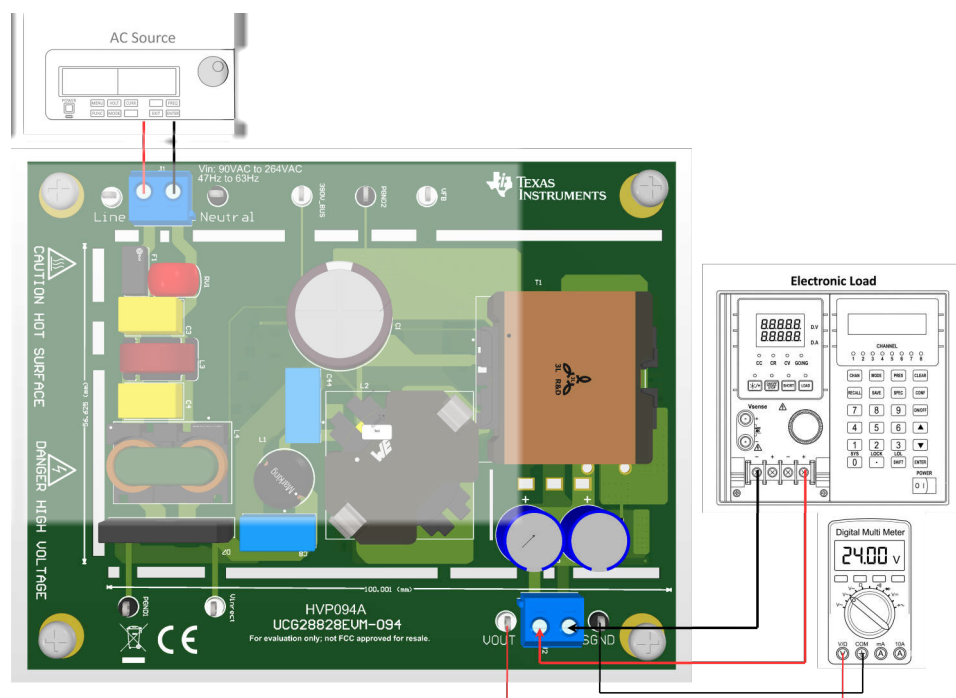


図 2-1. UCG28828EVM-094 テスト設定図

2.3 テスト ポイント

表 2-1. テスト ポイント

テスト ポイント	説明
ライン	AC 入力ライン端子
どちらとも言えない	AC 入力ニュートラル端子
Vinrect	整流された入力電圧
390V_BUS	PFC 出力電圧
PGND1、PGND2	1 次側グランド
VFB	UCG28828 フィードバック ピン電圧
VD_SR	SR FET ドレイン ピン電圧
VOUT	フライバック出力電圧
SGND	2 次側グランド
T2、T3	安定性解析のための 50Ω 抵抗をまたぐテスト ピン (R36)

2.4 端末

表 2-2. 評価基板の端子表

端末	説明
J1	AC 入力端子
J2	フライバック出力端子

3 性能データおよび標準的な特性曲線

120W の 2 段 AC/DC 電源は、パワー スイッチとして LMG3622 700V GaN FET を採用した UCC28056 制御の PFC フロント エンド段と、それに続く UCG28828 (750V GaN FET 内蔵、補助巻線レス フライバック変換段) を組み合わせています。この電源は、28V、24V、20V という 3 つのプログラマブル出力電圧すべてにわたって一貫して高い効率を実現します。また、90VAC ~ 264VAC のユニバーサル入力範囲全体にわたっても同様です。

LMG3622 GaN ベースの PFC スイッチは、PFC 段で高周波かつ損失の低いスイッチングが可能で、あらゆるライン条件および負荷条件にわたってシステム全体の効率向上に直接寄与します。28V 出力の場合、264VAC 全負荷時にピーク効率は 95.23% に達します。4 点の平均効率は、92.13% (90VAC 時) ~ 94.05% (264VAC 時) の範囲です。24V 出力の場合、264VAC 全負荷時にピーク効率は 95.00% に達します。4 点の平均効率は、91.92% (90VAC 時) ~ 94.00% (264VAC 時) の範囲です。20V 出力の場合、264VAC 全負荷時にピーク効率は 94.82% に達します。4 点の平均効率は、91.82% (90VAC 時) ~ 93.71% (264VAC 時) の範囲です。すべての出力電圧設定全体にわたって、50% 負荷、およびそれ以上の全ライン条件でシステム効率は一貫して 92% を超えており、すべての結果は 120W の外部電源に関する DoE のレベル VI および CoC Tier 2 の要件を満たしています。

これらの測定結果から、UCC28056、LMG3622、UCG28828 の組み合わせによって、全出力電圧範囲、全負荷範囲、全ユニバーサル入力電圧範囲にわたって高い変換効率を維持できることが確認され、高電力密度のアダプタ アプリケーション向けの設計が妥当であることが実証されます。

3.1 28V 出力電圧に対する効率テスト データ

V _{IN} および F _{line}	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 点の平均効率
90VAC および 60Hz	0.22733	27.89	0.00489	0.13624	0.11%	59.93%	
90VAC および 60Hz	0.32208	27.89	0.0070	0.1963	0.16%	60.94%	
90VAC および 60Hz	0.44436	27.89	0.0108	0.3023	0.25%	68.02%	
90VAC および 60Hz	0.5901	27.89	0.0153	0.4264	0.35%	72.26%	
90VAC および 60Hz	0.6722	27.89	0.0178	0.4951	0.41%	73.66%	
90VAC および 60Hz	1.2286	27.89	0.0350	0.9756	0.81%	79.41%	
90VAC および 60Hz	5.6506	27.89	0.1769	4.9340	4.11%	87.32%	
90VAC および 60Hz	13.5907	27.88	0.4290	11.9605	10%	88.01%	
90VAC および 60Hz	33.38	27.87	1.084	30.2111	25%	90.51%	92.13%
90VAC および 60Hz	64.75	27.86	2.147	59.8154	50%	92.38%	
90VAC および 60Hz	96.41	27.84	3.216	89.5334	75%	92.87%	
90VAC および 60Hz	128.68	27.84	4.288	119.3779	100%	92.46%	
115VAC および 60Hz	0.355	27.89	0.00654	0.182	0.15%	51.39%	
115VAC および 60Hz	0.349	27.89	0.007	0.202	0.17%	57.93%	
115VAC および 60Hz	0.465	27.89	0.011	0.317	0.26%	68.26%	
115VAC および 60Hz	0.604	27.89	0.016	0.437	0.36%	72.32%	
115VAC および 60Hz	0.677	27.89	0.018	0.502	0.42%	74.10%	
115VAC および 60Hz	1.278	27.89	0.037	1.026	0.86%	80.23%	
115VAC および 60Hz	5.726	27.89	0.18	5.014	4.17%	87.56%	
115VAC および 60Hz	13.704	27.87	0.434	12.096	10%	88.26%	
115VAC および 60Hz	33.26	27.87	1.086	30.267	25%	91.00%	92.81%
115VAC および 60Hz	64.436	27.86	2.146	59.788	50%	92.79%	
115VAC および 60Hz	95.767	27.85	3.220	89.677	75%	93.64%	
115VAC および 60Hz	127.332	27.84	4.291	119.461	100%	93.82%	
230VAC および 50Hz	0.303	27.88	0.006	0.156	0.13%	51.41%	
230VAC および 50Hz	0.365	27.88	0.008	0.215	0.18%	58.76%	
230VAC および 50Hz	0.478	27.88	0.012	0.325	0.27%	68.12%	

V _{IN} および Fline	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 点の平均効率
230VAC および 50Hz	0.620	27.88	0.016	0.444	0.37%	71.65%	
230VAC および 50Hz	0.703	27.88	0.018	0.509	0.42%	72.37%	
230VAC および 50Hz	1.275	27.88	0.037	1.029	0.86%	80.71%	
230VAC および 50Hz	5.607	27.88	0.179	4.982	4.15%	88.85%	
230VAC および 50Hz	13.519	27.88	0.430	11.988	10%	88.68%	
230VAC および 50Hz	32.796	27.87	1.081	30.138	25%	91.90%	93.83%
230VAC および 50Hz	63.898	27.86	2.149	59.871	50%	93.70%	
230VAC および 50Hz	95.026	27.85	3.230	89.956	75%	94.66%	
230VAC および 50Hz	125.914	27.84	4.3	119.712	100%	95.07%	
264VAC および 50Hz	0.285	27.89	0.005	0.145	0.12%	50.99%	
264VAC および 50Hz	0.366	27.89	0.007	0.208	0.17%	56.81%	
264VAC および 50Hz	0.479	27.89	0.011	0.317	0.26%	66.26%	
264VAC および 50Hz	0.619	27.89	0.016	0.437	0.36%	70.54%	
264VAC および 50Hz	0.695	27.88	0.018	0.504	0.42%	72.56%	
264VAC および 50Hz	1.234	27.88	0.035	0.982	0.82%	79.61%	
264VAC および 50Hz	5.611	27.88	0.179	4.980	4.15%	88.76%	
264VAC および 50Hz	13.75	27.86	0.439	12.231	10%	88.95%	
264VAC および 50Hz	32.591	27.85	1.078	30.022	25%	92.12%	94.049%
264VAC および 50Hz	63.611	27.85	2.146	59.766	50%	93.96%	
264VAC および 50Hz	94.356	27.84	3.216	89.533	75%	94.89%	
264VAC および 50Hz	125.533	27.83	4.2990.145	119.641	100%	95.23%	

3.2 24V 出力電圧に対する効率テスト データ

V _{IN} および Fline	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 点の平均効率
90VAC および 60Hz	0.199	24.02	0.005	0.116	0.09%	58.08%	
90VAC および 60Hz	0.317	24.02	0.008	0.196	0.16%	61.83%	
90VAC および 60Hz	0.426	24.02	0.012	0.293	0.24%	68.84%	
90VAC および 60Hz	0.542	24.02	0.016	0.392	0.33%	72.27%	
90VAC および 60Hz	0.646	24.02	0.020	0.485	0.40%	75.10%	
90VAC および 60Hz	1.267	24.02	0.043	1.028	0.86%	81.09%	
90VAC および 60Hz	5.714	24.02	0.208	4.992	4.15%	87.37%	
90VAC および 60Hz	13.874	24.02	0.508	12.202	10%	87.95%	
90VAC および 60Hz	33.330	24.01	1.253	30.085	25%	90.26%	91.92%
90VAC および 60Hz	65.040	24.00	2.500	60.000	50%	92.25%	
90VAC および 60Hz	97.060	24.00	3.750	90.000	75%	92.73%	
90VAC および 60Hz	129.700	23.99	4.997	119.878	100%	92.43%	
115VAC および 60Hz	0.246	24.02	0.006	0.113	0.09%	54.10%	
115VAC および 60Hz	0.336	24.02	0.009	0.218	0.18%	65.05%	
115VAC および 60Hz	0.442	24.02	0.013	0.304	0.25%	68.77%	
115VAC および 60Hz	0.550	24.02	0.017	0.403	0.34%	73.34%	
115VAC および 60Hz	0.642	24.02	0.020	0.480	0.40%	74.76%	
115VAC および 60Hz	1.252	24.02	0.042	1.019	0.85%	81.39%	
115VAC および 60Hz	5.518	24.02	0.201	4.838	4.03%	87.68%	

V _{IN} および Fline	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 点の平均効率
115VAC および 60Hz	13.710	24.01	0.505	12.125	10%	88.44%	92.64%
115VAC および 60Hz	33.176	24.01	1.253	30.085	25%	90.68%	
115VAC および 60Hz	64.662	24.00	2.500	60.000	50%	92.79%	
115VAC および 60Hz	96.178	24.00	3.750	90.000	75%	93.58%	
115VAC および 60Hz	128.203	23.99	4.998	119.902	100%	93.52%	
230VAC および 50Hz	0.265	24.02	0.006	0.132	0.11%	49.94%	93.79%
230VAC および 50Hz	0.354	24.02	0.009	0.212	0.17%	59.87%	
230VAC および 50Hz	0.453	24.02	0.013	0.303	0.25%	67.02%	
230VAC および 50Hz	0.558	24.02	0.017	0.402	0.33%	72.01%	
230VAC および 50Hz	0.665	24.02	0.021	0.493	0.41%	74.14%	
230VAC および 50Hz	1.230	24.02	0.042	1.003	0.84%	81.52%	94.00%
230VAC および 50Hz	5.515	24.02	0.204	4.897	4.08%	88.81%	
230VAC および 50Hz	13.514	24.02	0.505	12.130	10%	89.76%	
230VAC および 50Hz	32.732	24.02	1.253	30.097	25%	91.95%	
230VAC および 50Hz	63.984	24.01	2.500	60.025	50%	93.81%	
230VAC および 50Hz	95.105	24.00	3.749	89.976	75%	94.61%	94.00%
230VAC および 50Hz	126.432	23.98	4.998	119.852	100%	94.80%	
264VAC および 50Hz	0.261	24.02	0.005	0.117	0.10%	44.83%	
264VAC および 50Hz	0.350	24.02	0.008	0.198	0.17%	56.56%	
264VAC および 50Hz	0.451	24.02	0.012	0.296	0.25%	65.60%	
264VAC および 50Hz	0.564	24.02	0.016	0.395	0.33%	70.01%	94.00%
264VAC および 50Hz	0.680	24.02	0.020	0.489	0.41%	71.87%	
264VAC および 50Hz	1.203	24.02	0.040	0.967	0.81%	80.38%	
264VAC および 50Hz	5.513	24.02	0.205	4.924	4.10%	89.31%	
264VAC および 50Hz	13.521	24.02	0.505	12.130	10%	89.71%	
264VAC および 50Hz	32.687	24.01	1.254	30.109	25%	92.11%	94.00%
264VAC および 50Hz	63.840	24.01	2.501	60.049	50%	94.06%	
264VAC および 50Hz	94.860	24.00	3.749	89.976	75%	94.85%	
264VAC および 50Hz	126.166	23.98	4.998	119.852	100%	95.00%	

3.3 20V 出力電圧に対する効率テスト データ

V _{IN} および Fline	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 点の平均効率
90VAC および 60Hz	0.309	20.034	0.010	0.199	0.20%	64.26%	91.82%
90VAC および 60Hz	0.440	20.034	0.015	0.310	0.31%	70.54%	
90VAC および 60Hz	0.551	20.034	0.021	0.412	0.41%	74.88%	
90VAC および 60Hz	0.677	20.033	0.026	0.517	0.52%	76.35%	
90VAC および 60Hz	1.251	20.033	0.051	1.019	1.02%	81.47%	
90VAC および 60Hz	5.796	20.029	0.255	5.017	5.02%	88.12%	91.82%
90VAC および 60Hz	11.501	20.028	0.505	10.114	10.11%	87.94%	
90VAC および 60Hz	27.889	20.023	1.254	25.109	25.00%	90.03%	
90VAC および 60Hz	54.447	20.017	2.502	50.083	50.00%	91.98%	
90VAC および 60Hz	81.000	20.009	3.751	75.054	75.00%	92.66%	
90VAC および 60Hz	108.014	20.001	5.001	100.025	100.00%	92.60%	91.82%

V _{IN} および F _{line}	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{out} %	効率	4 点の平均効率
115VAC および 60Hz	0.312	20.034	0.010	0.199	0.20%	63.91%	
115VAC および 60Hz	0.437	20.033	0.016	0.311	0.31%	71.25%	
115VAC および 60Hz	0.544	20.033	0.021	0.412	0.41%	75.76%	
115VAC および 60Hz	0.677	20.033	0.026	0.517	0.52%	76.36%	
115VAC および 60Hz	1.247	20.033	0.051	1.020	1.02%	81.77%	
115VAC および 60Hz	5.790	20.020	0.257	5.145	5.14%	88.86%	
115VAC および 60Hz	11.510	20.021	0.508	10.171	10.17%	88.36%	
115VAC および 60Hz	27.770	20.018	1.257	25.163	25.00%	90.61%	92.47%
115VAC および 60Hz	54.196	20.013	2.504	50.113	50.00%	92.47%	
115VAC および 60Hz	80.417	20.006	3.752	75.063	75.00%	93.34%	
115VAC および 60Hz	107.014	19.997	5.001	100.005	100.00%	93.45%	
230VAC および 50Hz	0.315	20.034	0.010	0.200	0.20%	63.53%	
230VAC および 50Hz	0.446	20.033	0.016	0.313	0.31%	70.20%	
230VAC および 50Hz	0.555	20.033	0.021	0.414	0.41%	74.59%	
230VAC および 50Hz	0.674	20.033	0.026	0.517	0.52%	76.78%	
230VAC および 50Hz	1.224	20.033	0.050	0.994	1.00%	81.23%	
230VAC および 50Hz	5.705	20.025	0.257	5.146	5.15%	90.21%	
230VAC および 50Hz	11.336	20.025	0.506	10.133	10.13%	89.38%	
230VAC および 50Hz	27.336	20.022	1.256	25.148	25.00%	92.00%	93.62%
230VAC および 50Hz	53.584	20.016	2.503	50.100	50.00%	93.50%	
230VAC および 50Hz	79.567	20.012	3.752	75.085	75.00%	94.37%	
230VAC および 50Hz	105.710	20.001	5.001	100.025	100.00%	94.62%	
264VAC および 50Hz	0.341	20.034	0.010	0.200	0.20%	58.69%	
264VAC および 50Hz	0.448	20.034	0.016	0.314	0.31%	69.93%	
264VAC および 50Hz	0.561	20.033	0.021	0.415	0.42%	74.03%	
264VAC および 50Hz	0.651	20.033	0.024	0.490	0.50%	75.37%	
264VAC および 50Hz	1.266	20.033	0.051	1.022	1.00%	80.71%	
264VAC および 50Hz	5.611	20.032	0.251	5.028	5.00%	89.61%	
264VAC および 50Hz	11.231	20.030	0.502	10.055	10.00%	89.53%	
264VAC および 50Hz	27.302	20.026	1.253	25.093	25.00%	91.91%	93.71%
264VAC および 50Hz	53.514	20.024	2.502	50.100	50.00%	93.62%	
264VAC および 50Hz	79.438	20.015	3.751	75.076	75.00%	94.51%	
264VAC および 50Hz	105.516	20.005	5.001	100.045	100.00%	94.82%	

3.4 効率曲線: 効率と出力電力との関係

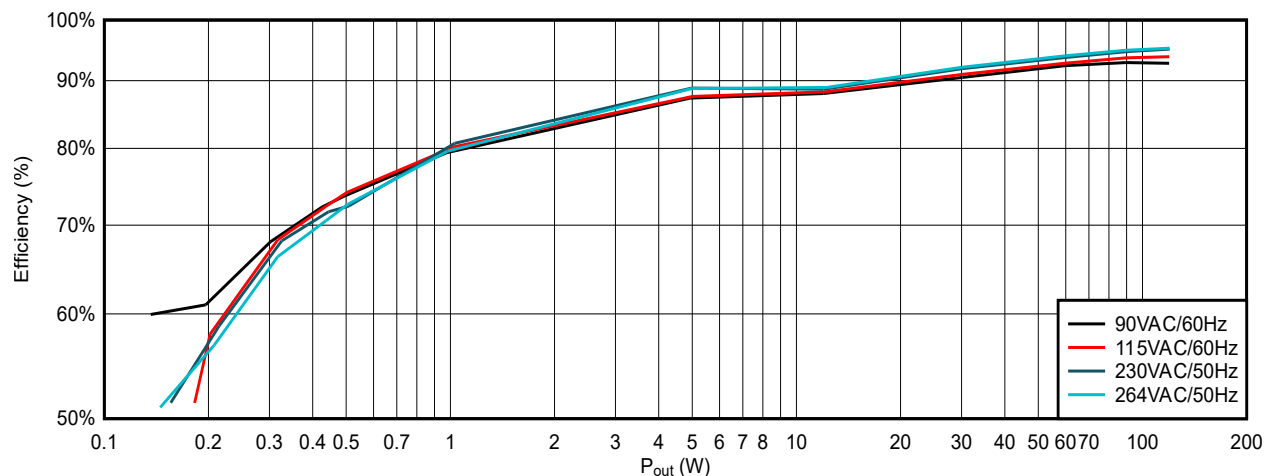


図 3-1. 効率と P_{out} との関係 (28V V_{out})

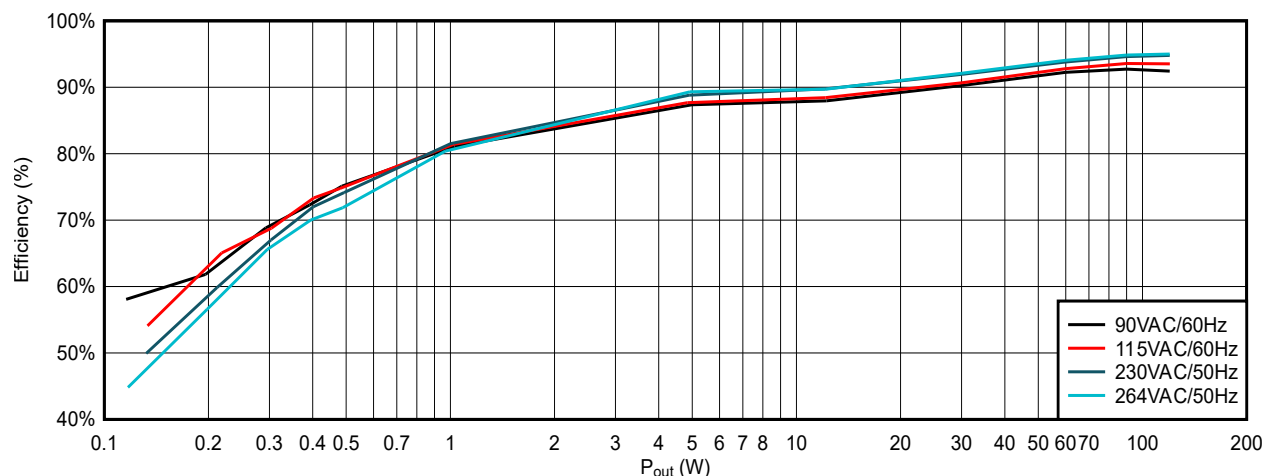


図 3-2. 効率と P_{out} との関係 (24V V_{out})

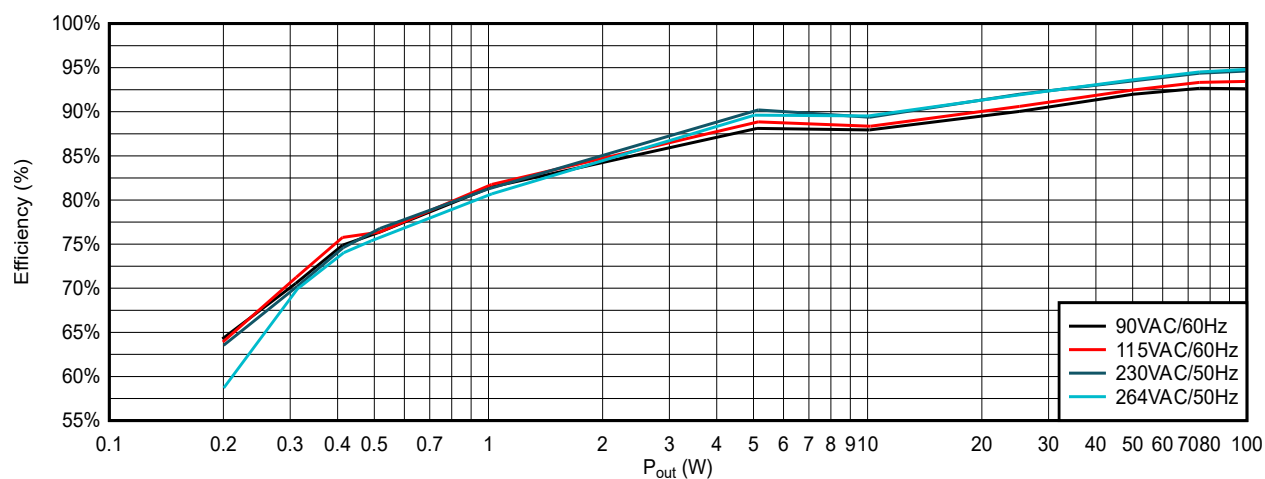


図 3-3. 効率と P_{out} との関係 (20V V_{out})

3.5 ロードレギュレーション

このセクションでは、90VAC/60Hz、115VAC/60Hz、230VAC/50Hz、および 264VAC/50Hz の AC 入力電圧に対する負荷全体にわたる出力電圧レギュレーションを示します。

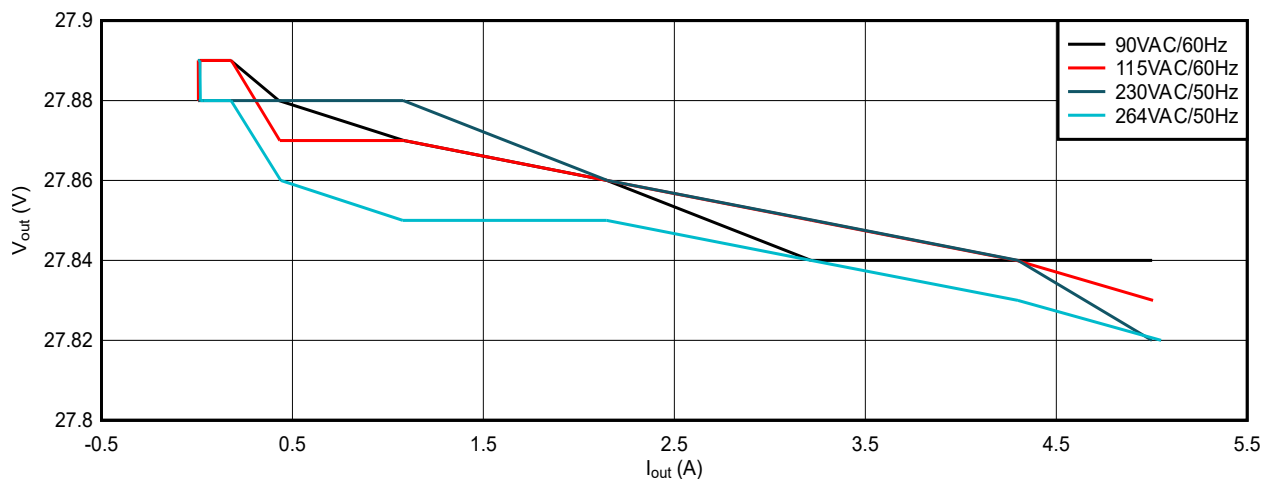


図 3-4. ロードレギュレーション:28V 出力電圧時

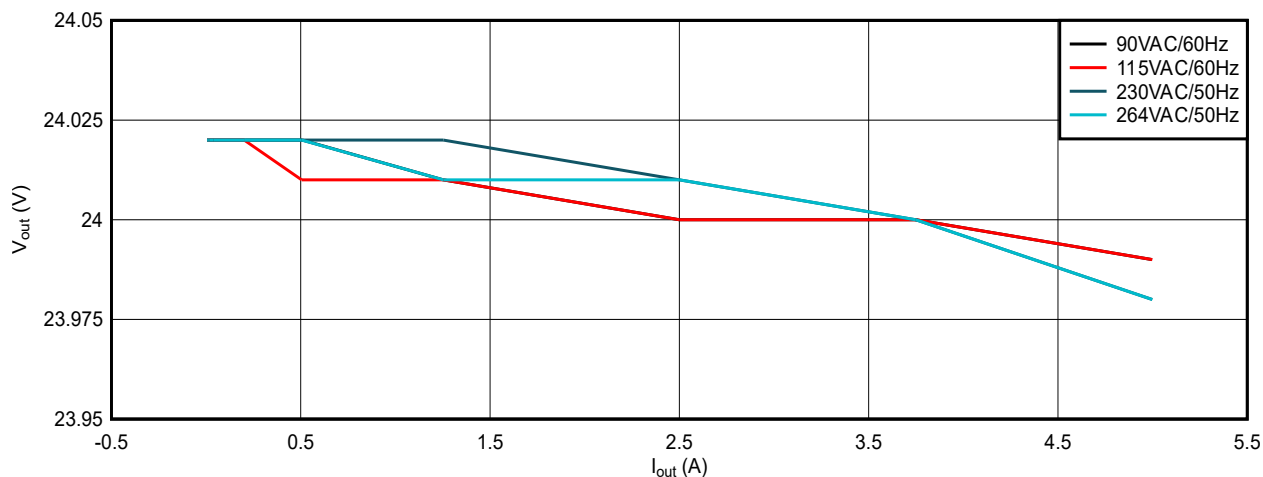


図 3-5. ロードレギュレーション:24V 出力電圧時

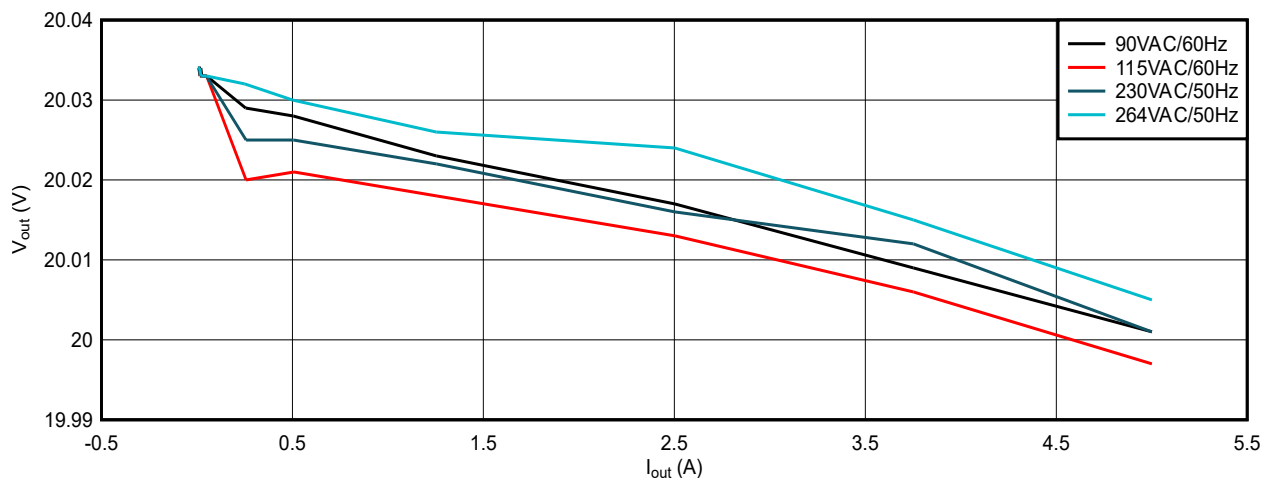


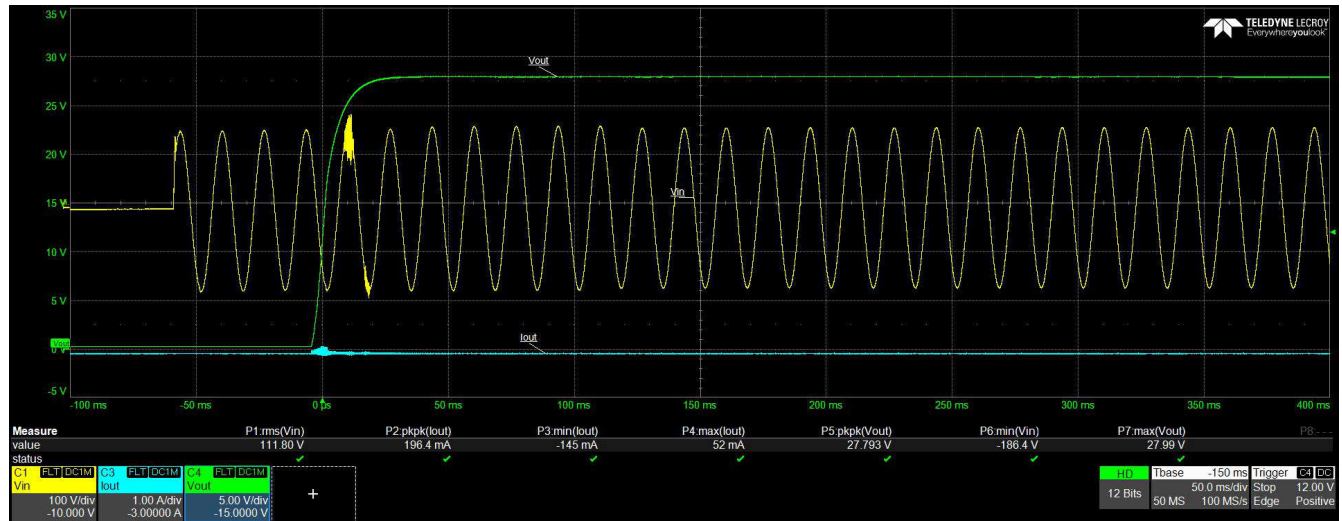
図 3-6. ロードレギュレーション:20V 出力電圧時

3.6 起動波形

以下の波形は、無負荷および全負荷時の起動中の AC 入力電圧、出力電圧、負荷電流を示しています。図の説明にテスト条件を示します。

注

PFC バイアス電源はフライバックに依存しているため、この評価基板は、115VAC 未満の任意の出力電圧設定 (20V/24V/28V) での最大出力起動に対応していません。

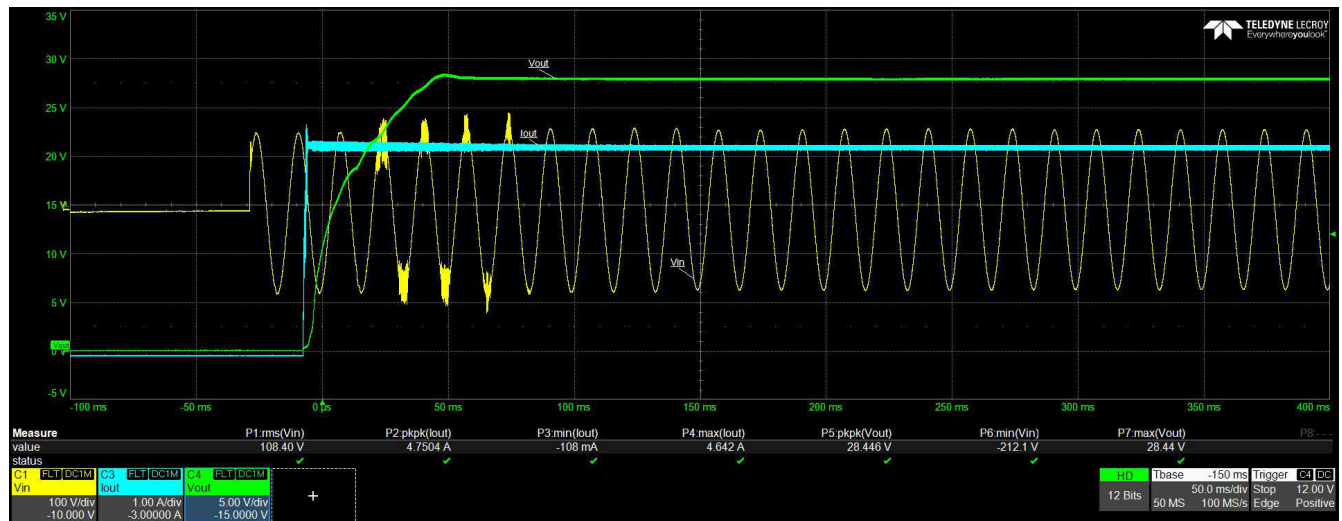


C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-7. 115VAC/60Hz、28V/0A での起動波形

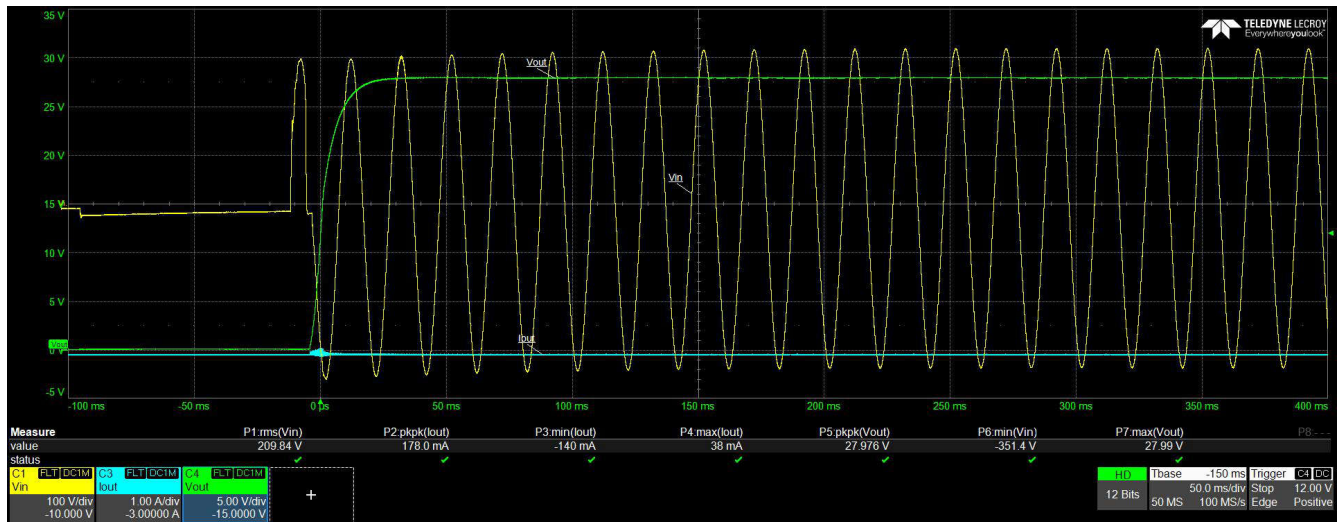


C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-8. 115VAC/60Hz、28V/4.3A での起動波形



C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-9. 230VAC/50Hz、28V/0A での起動波形

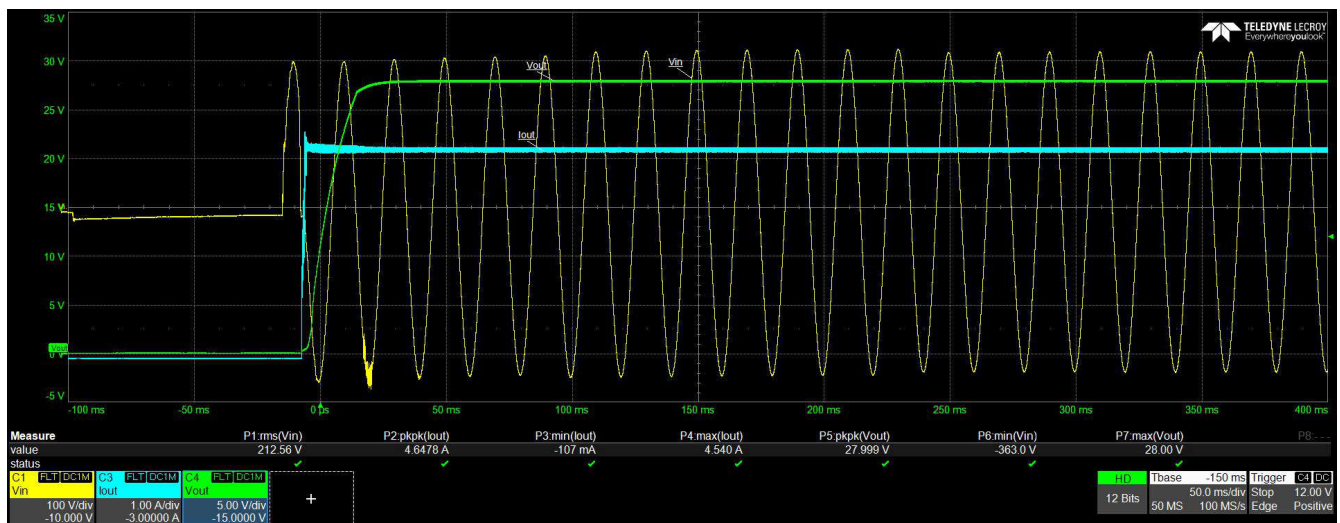
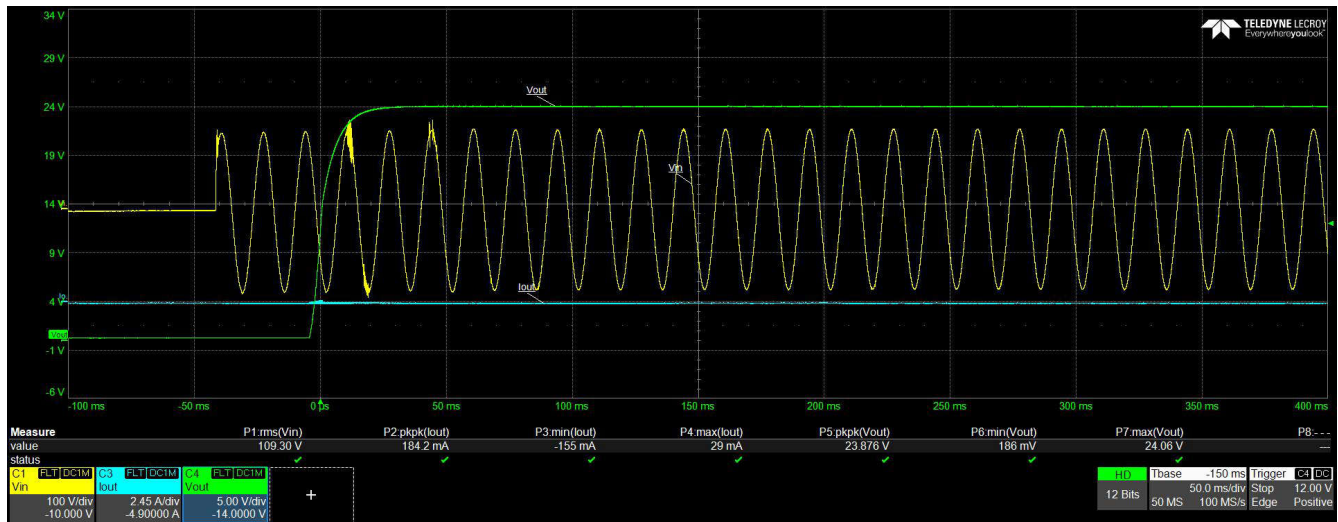


図 3-10. 230VAC/50Hz、28V/4.3A での起動波形

C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

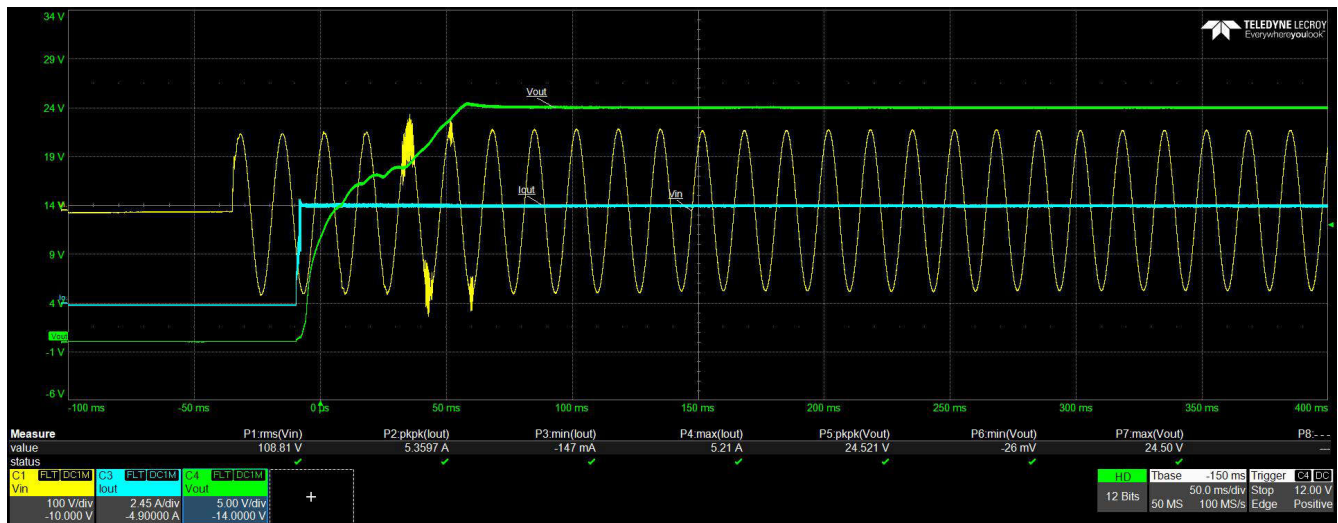


C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-11. 115VAC/60Hz、24V/0A での起動波形



C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-12. 115VAC/60Hz、24V/5A での起動波形

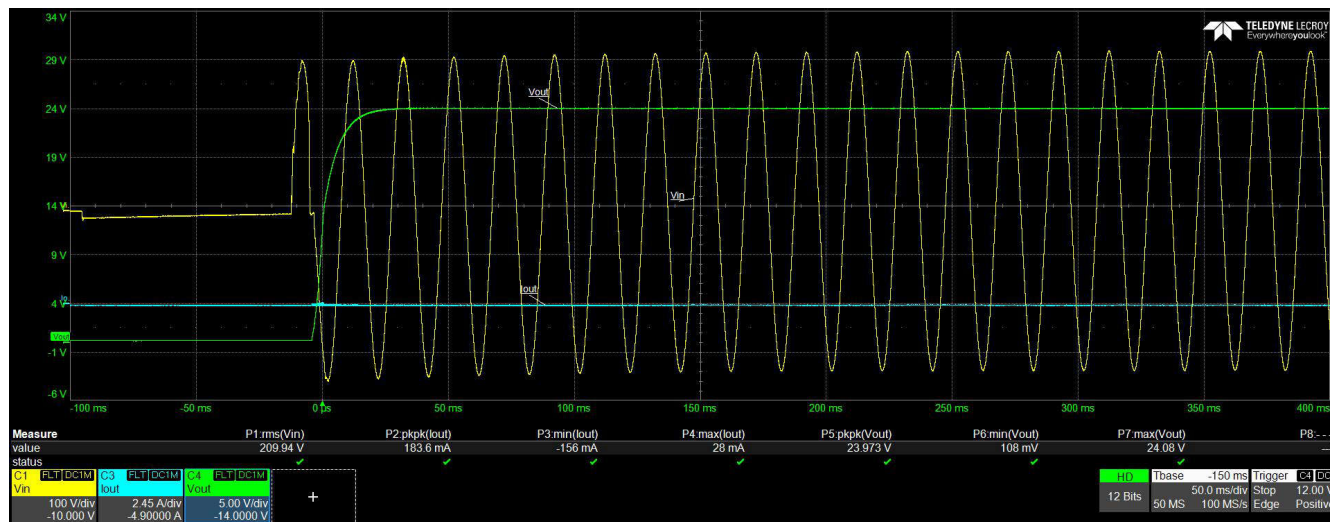


図 3-13. 230VAC/50Hz、24V/0A での起動波形

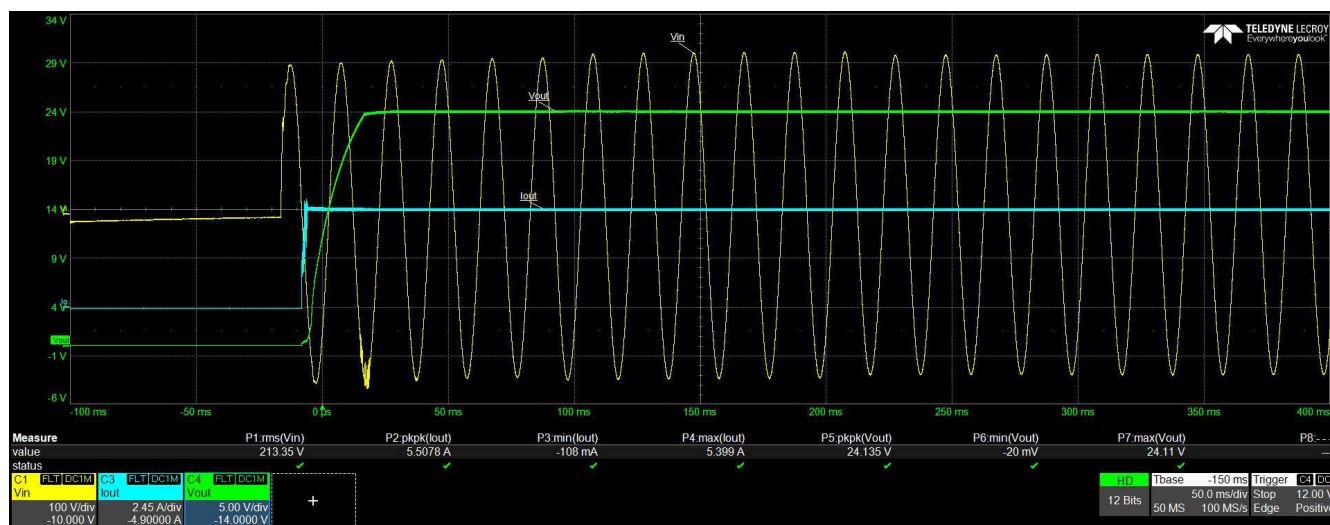
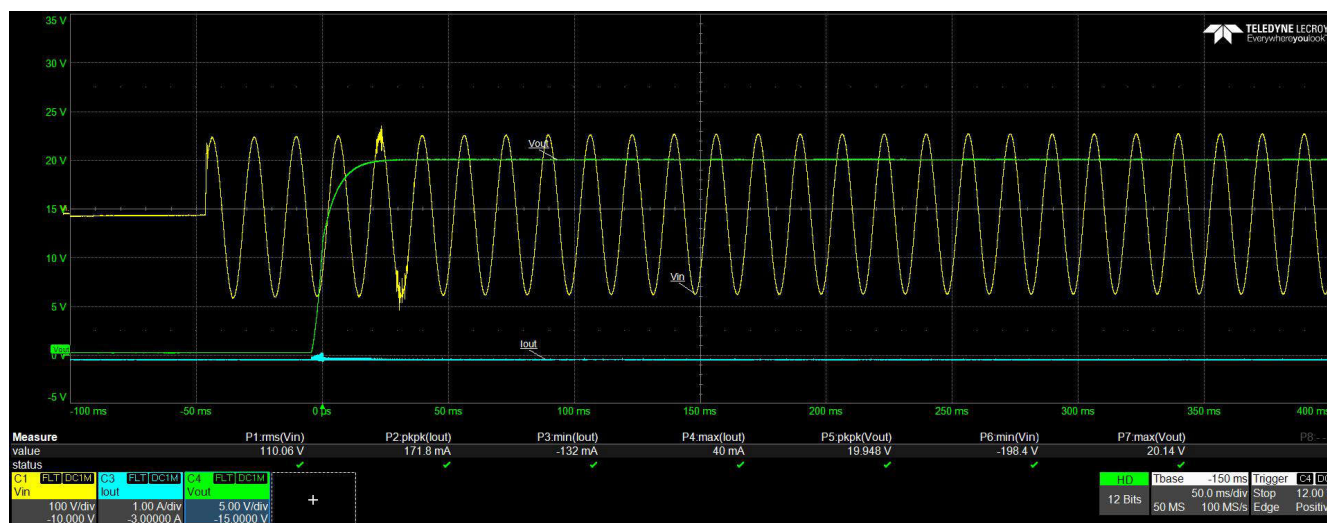


図 3-14. 230VAC/50Hz、24V/5A での起動波形

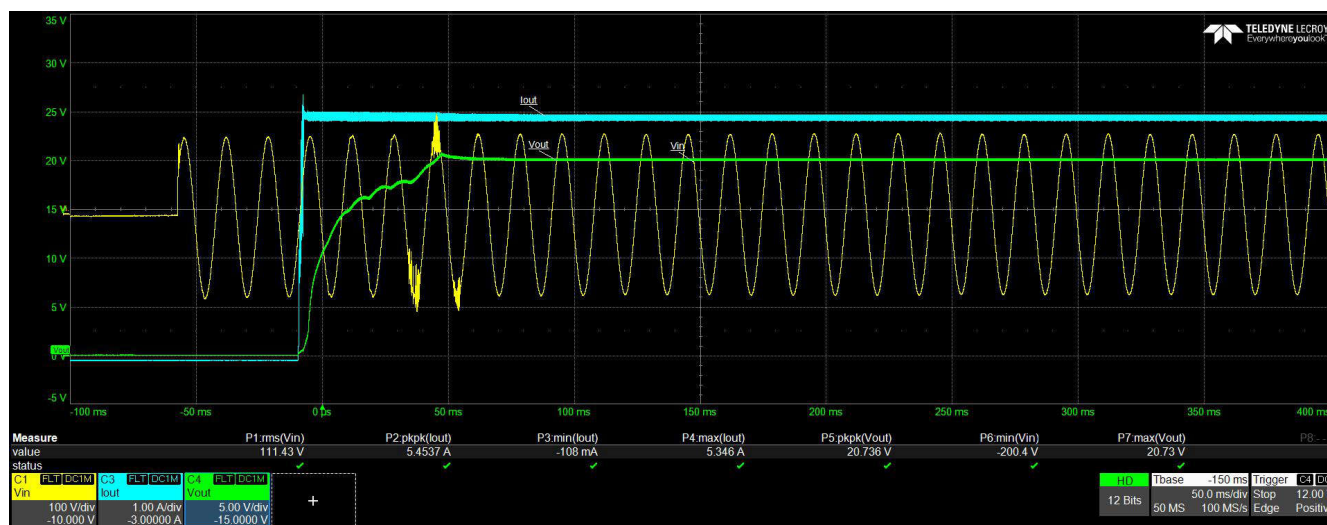


C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-15. 115VAC/60Hz、20V/0A での起動波形

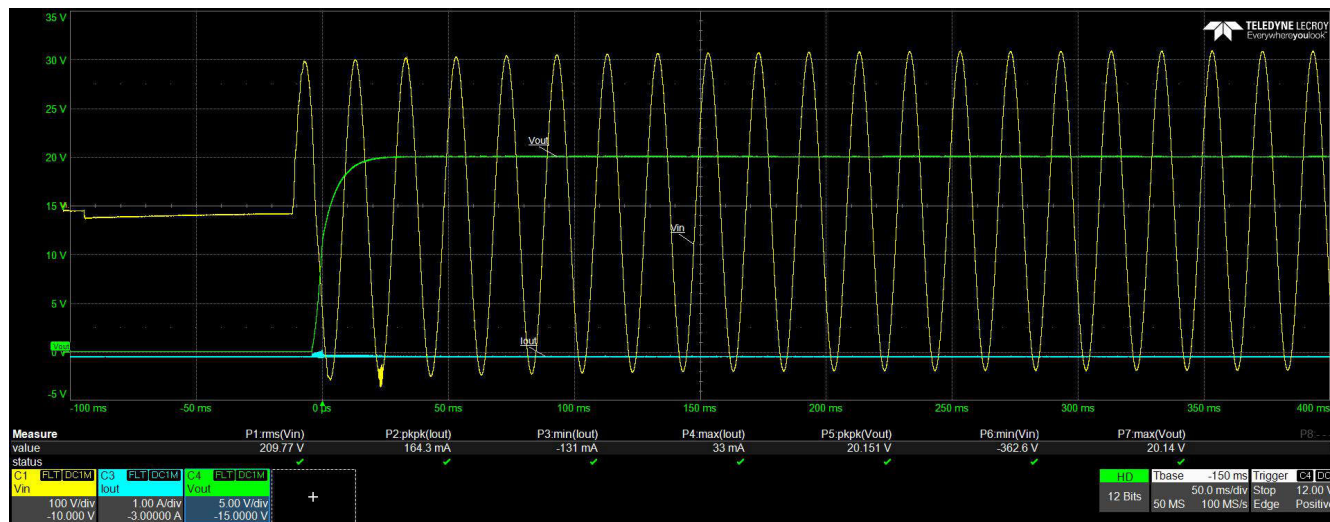


C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-16. 115VAC/60Hz、20V/5A での起動波形

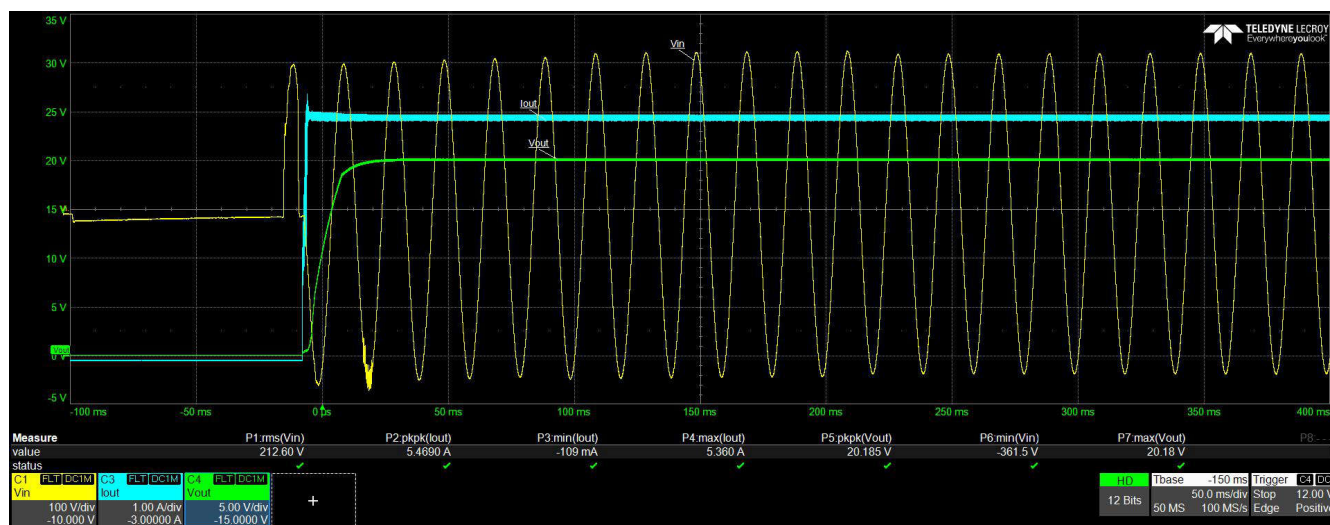


C1 = Vin (AC)

C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-17. 230VAC/50Hz、20V/0A での起動波形



C1 = Vin (AC)

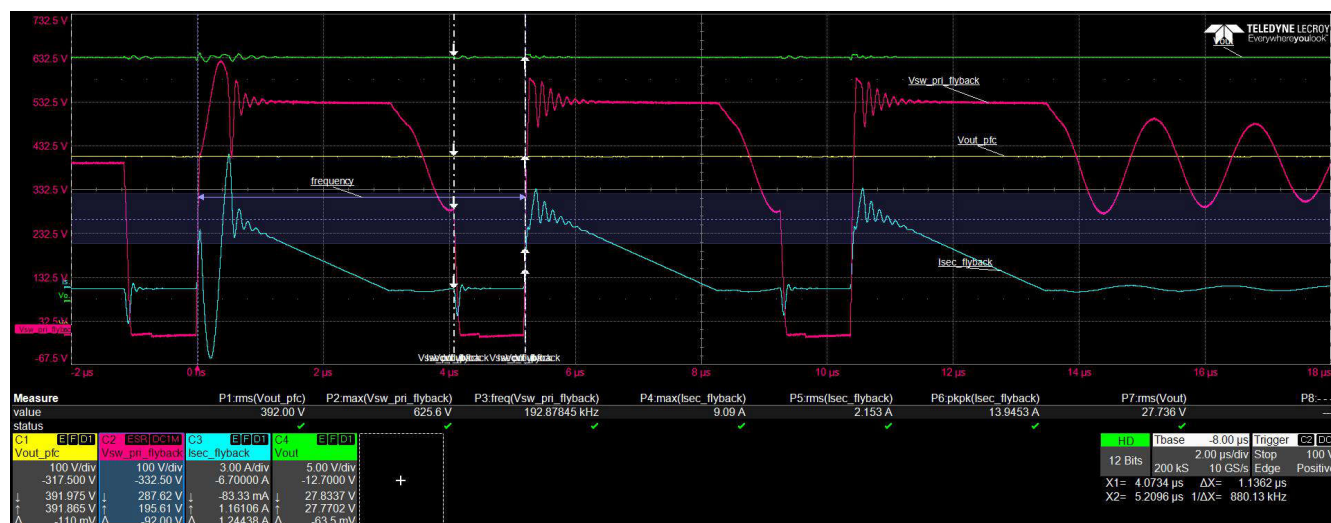
C3 = Iout

C4 = Vout

図 3-18. 230VAC/50Hz、20V/5A での起動波形

3.7 負荷に応じたスイッチング周波数

以下の波形は、20V、24V、28V の出力設定において、全負荷範囲での 115VAC/60Hz と 230VAC/50Hz の動作ポイントにおける UCG28828-1REZR のスイッチング動作を示しています。



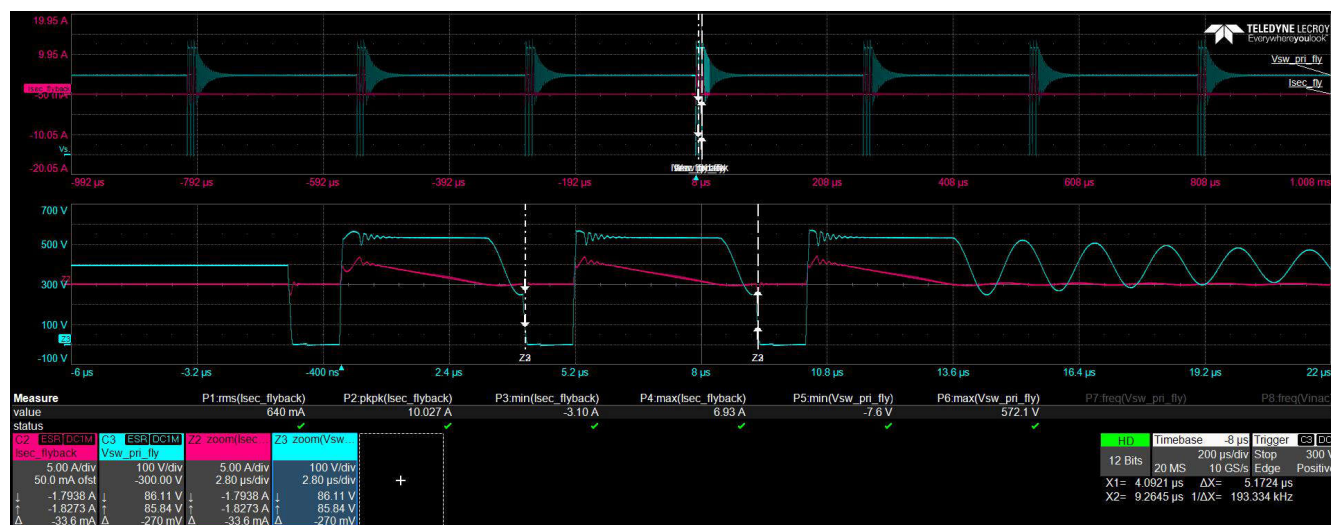
C1 = PFC 出力電圧

C2 = フライバックの 1 次側スイッチ
チ ノード電圧

C3 = フライバックの 2 次側電流

C4 = 出力電圧

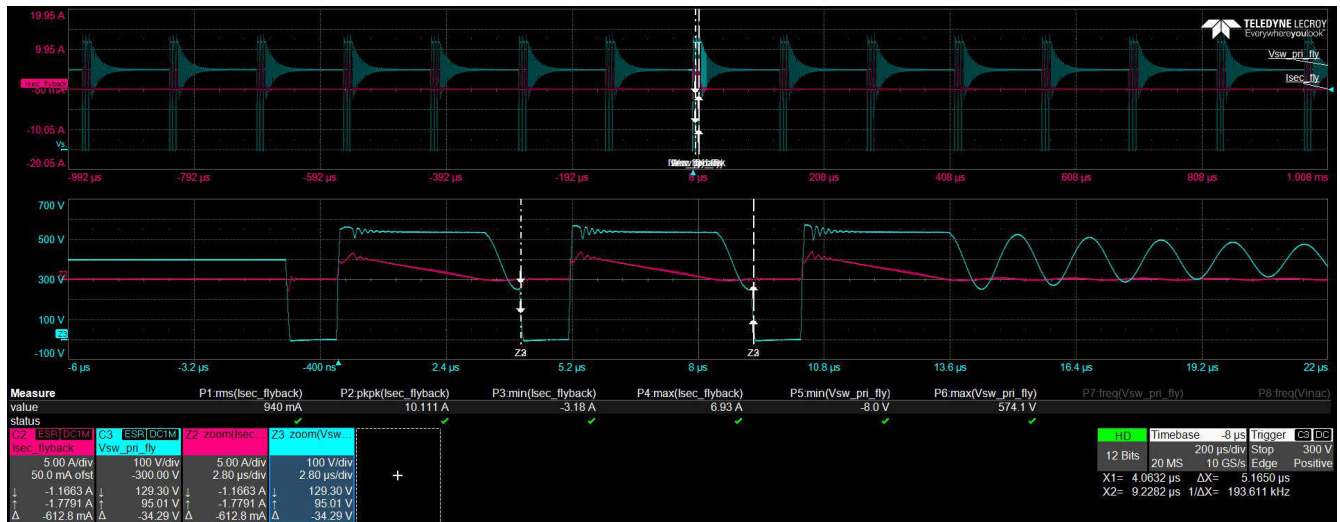
図 3-19. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 0A$ のときのスイッチング動作



C2 = フライバックの 2 次側電流

C3 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧

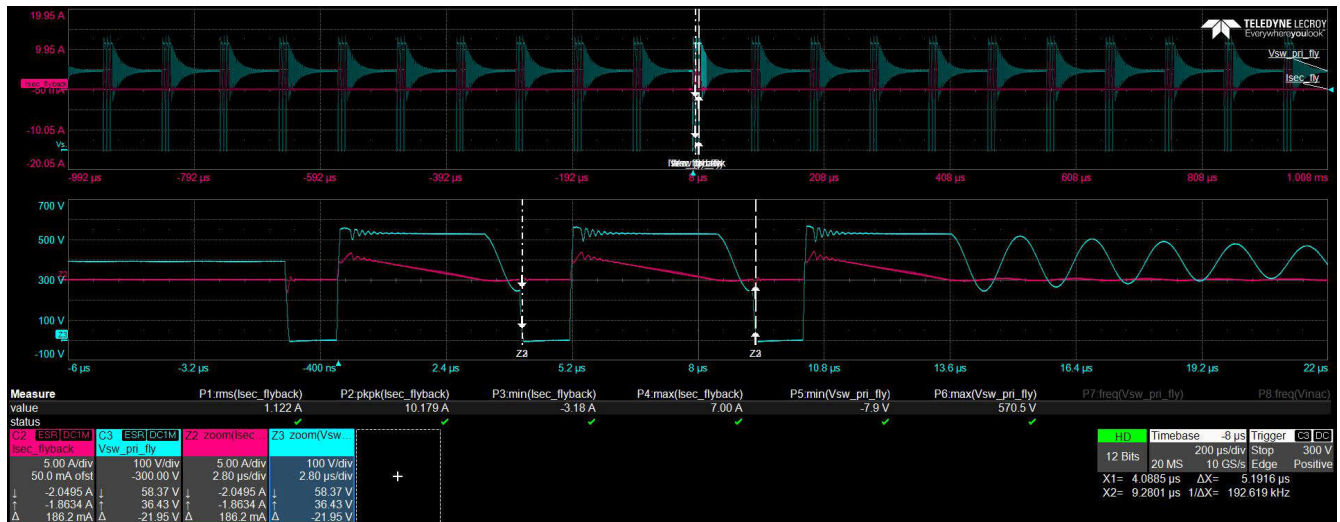
図 3-20. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 0.1A$ のときのスイッチング動作



C2 = フライバックの 2 次側電流

C3 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧

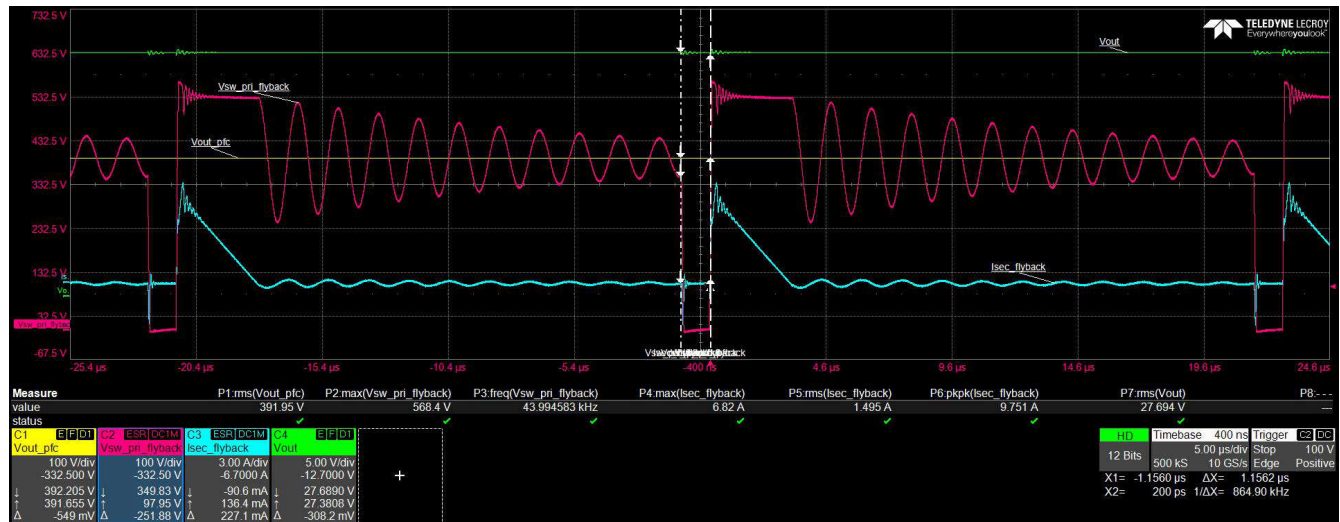
図 3-21. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 0.2A$ のときのスイッチング動作



C2 = フライバックの 2 次側電流

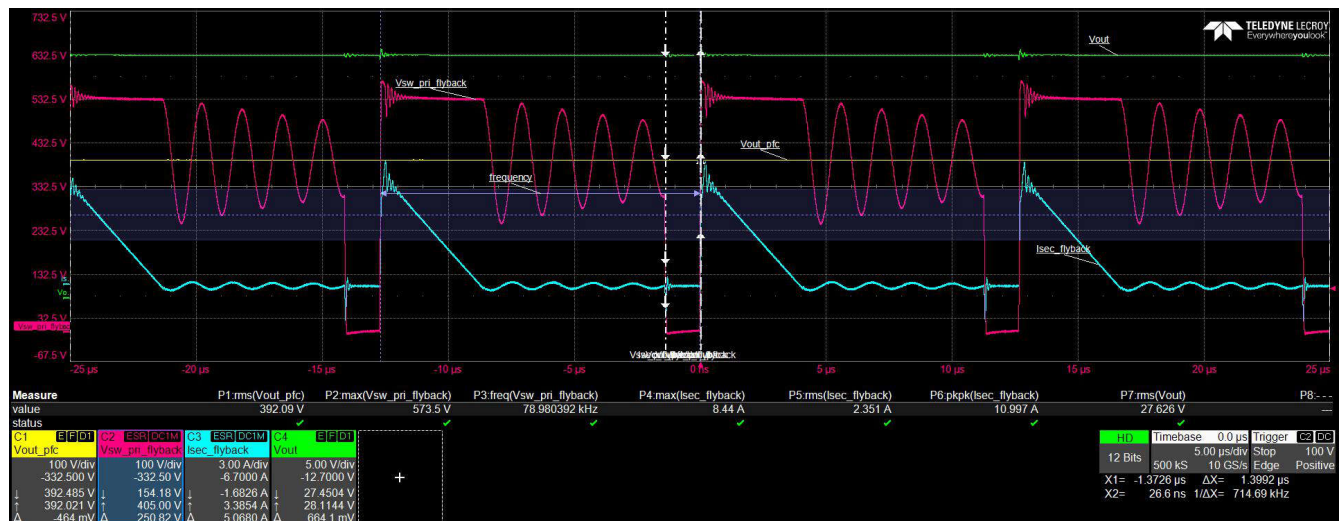
C3 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧

図 3-22. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 0.3A$ のときのスイッチング動作



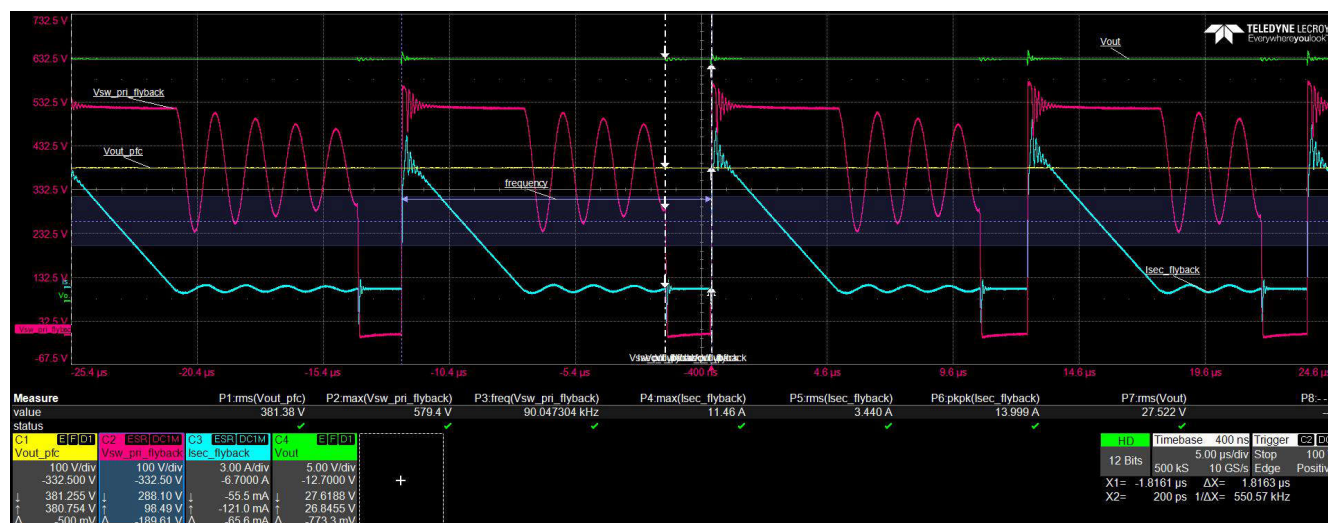
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧 C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧

図 3-23. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 0.43A$ のときのスイッチング動作



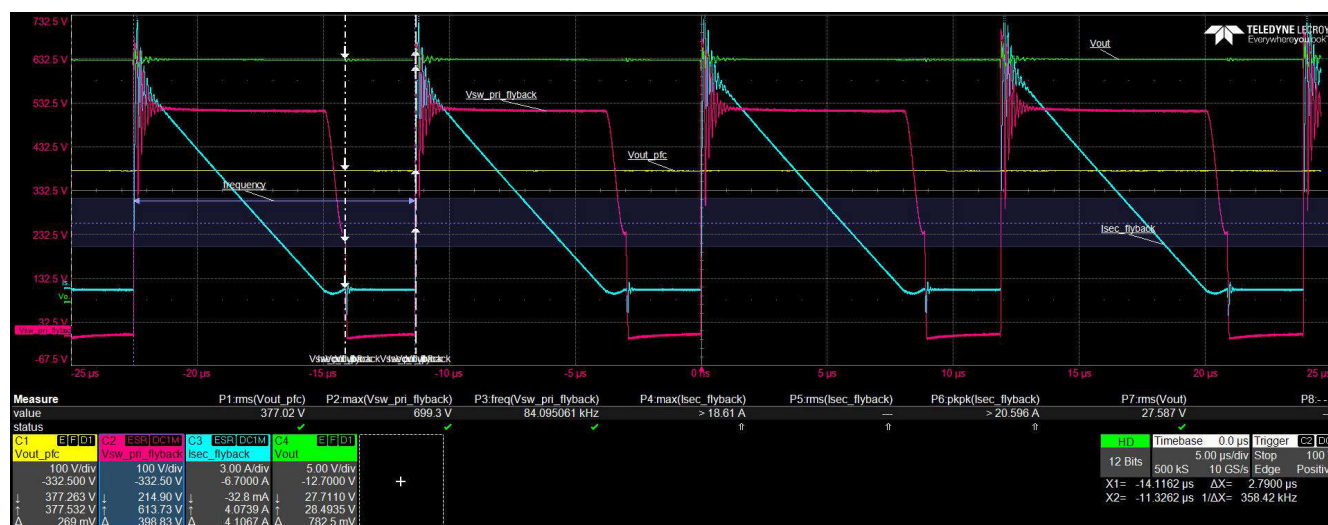
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧 C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧

図 3-24. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 1.075A$ のときのスイッチング動作



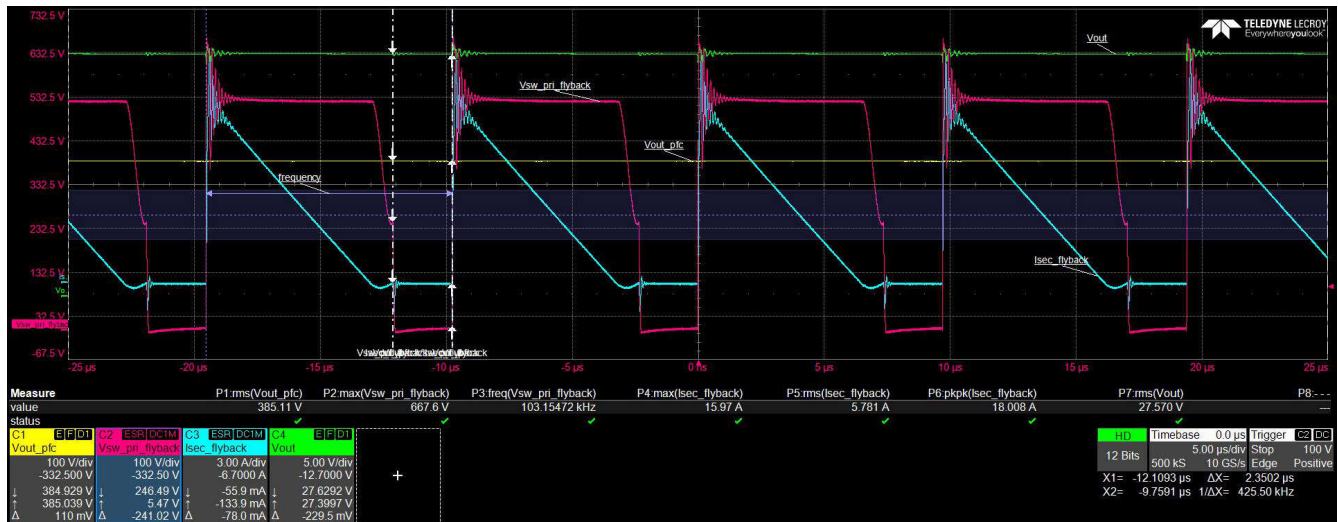
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ C3 = フライバックの 2 次側電流
チ ノード電圧 C4 = 出力電圧

図 3-25. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 2.15A$ のときのスイッチング動作



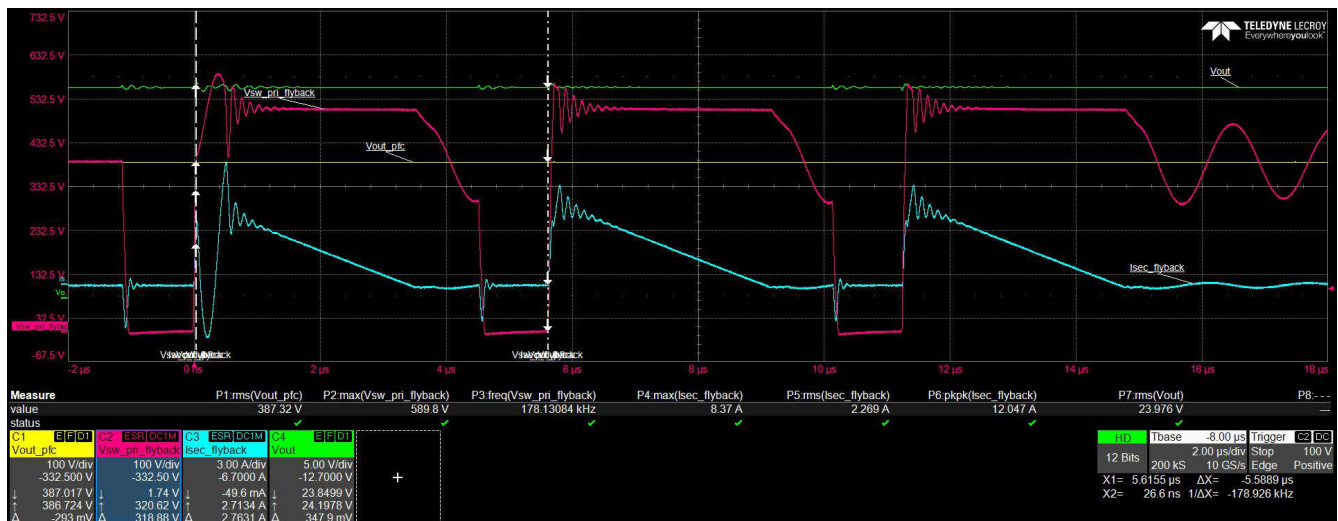
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ C3 = フライバックの 2 次側電流
チ ノード電圧 C4 = 出力電圧

図 3-26. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 3.225A$ のときのスイッチング動作



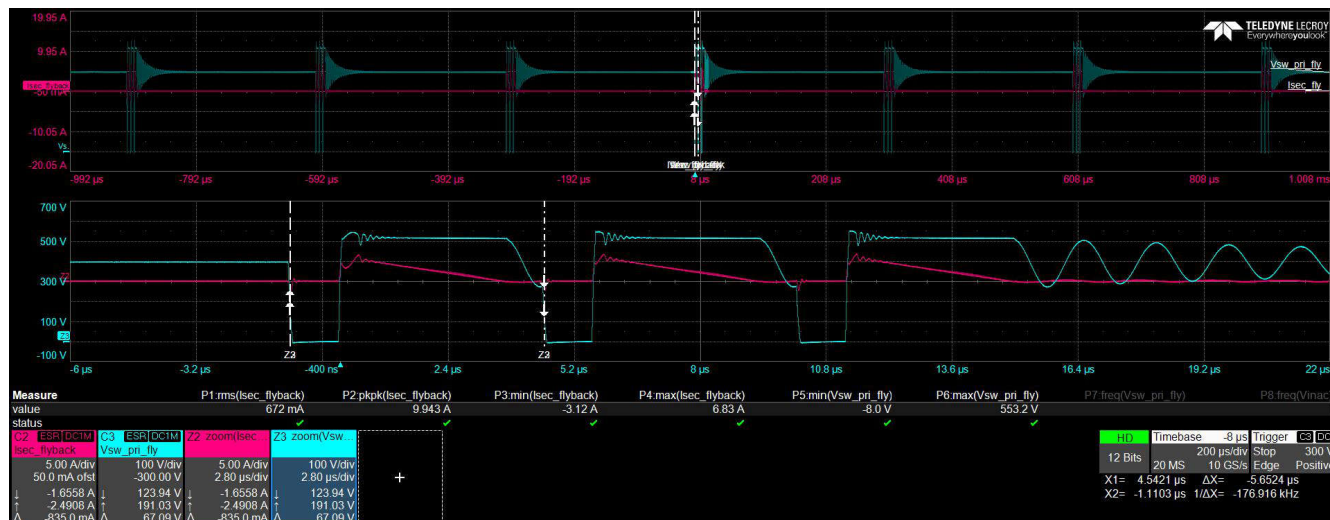
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧 C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧

図 3-27. $V_{out} = 28V$ および $I_{out} = 4.3A$ のときのスイッチング動作



C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧 C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧

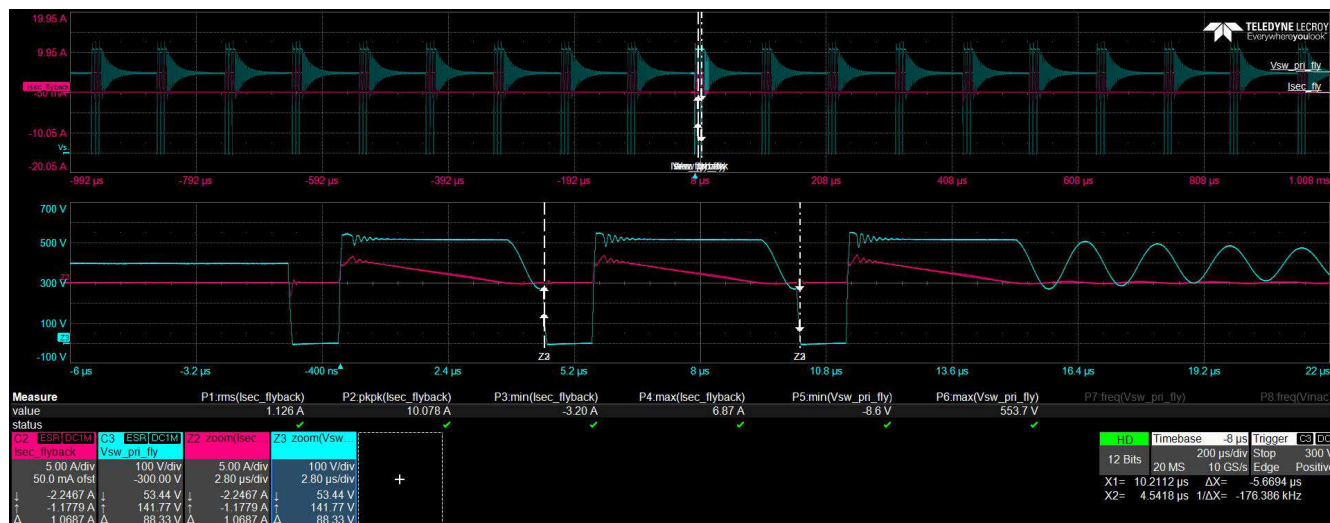
図 3-28. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 0A$ のときのスイッチング動作



C2 = フライバックの 2 次側電流

C3 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧

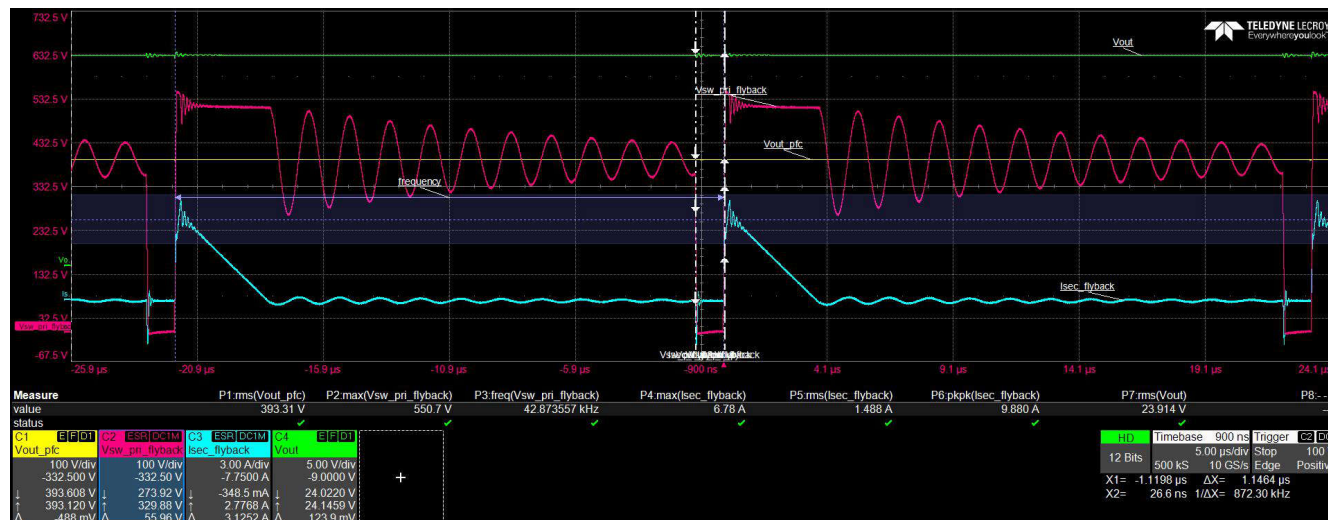
図 3-29. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 0.1A$ のときのスイッチング動作



C2 = フライバックの 2 次側電流

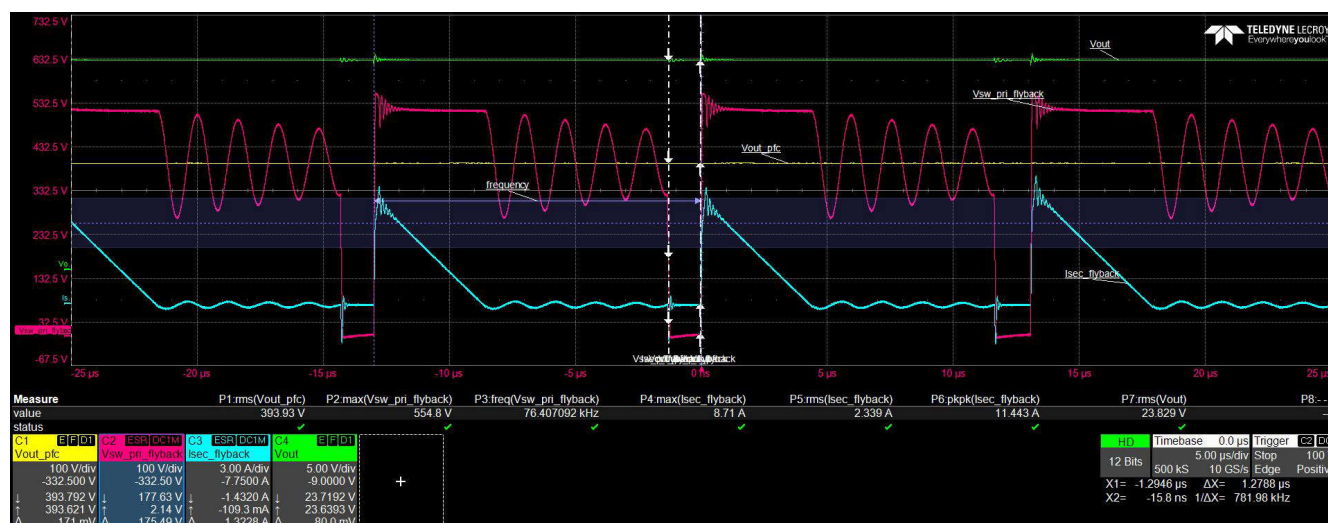
C3 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧

図 3-30. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 0.3A$ のときのスイッチング動作



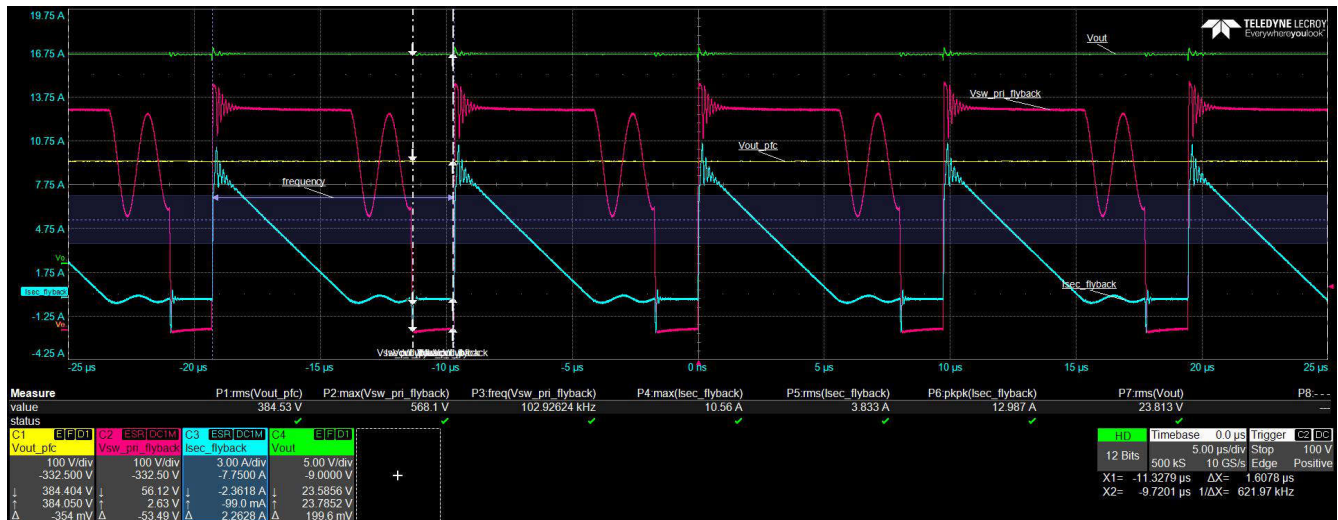
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ C3 = フライバックの 2 次側電流
チ ノード電圧 C4 = 出力電圧

図 3-31. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 0.5A$ のときのスイッチング動作



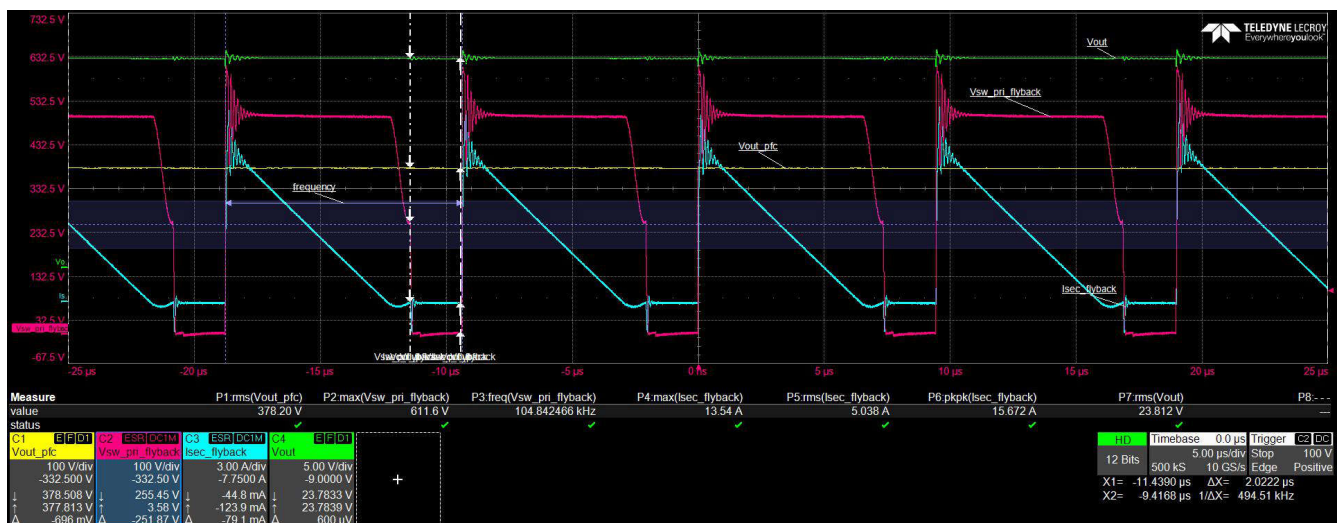
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ C3 = フライバックの 2 次側電流
チ ノード電圧 C4 = 出力電圧

図 3-32. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 1.25A$ のときのスイッチング動作



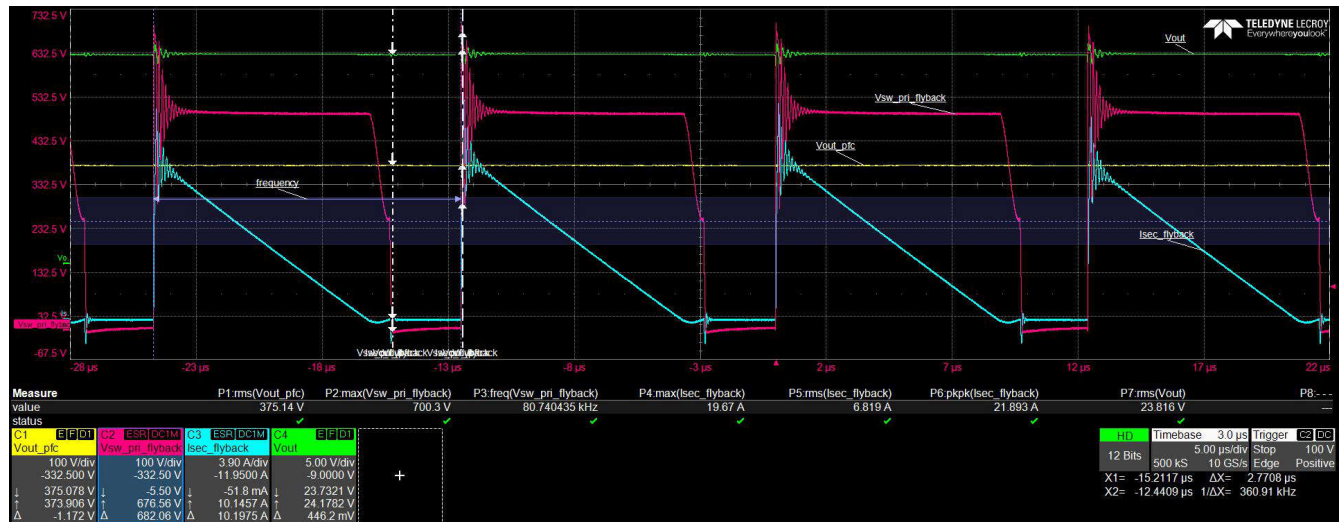
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ C3 = フライバックの 2 次側電流
チ ノード電圧 C4 = 出力電圧

図 3-33. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 2.5A$ のときのスイッチング動作



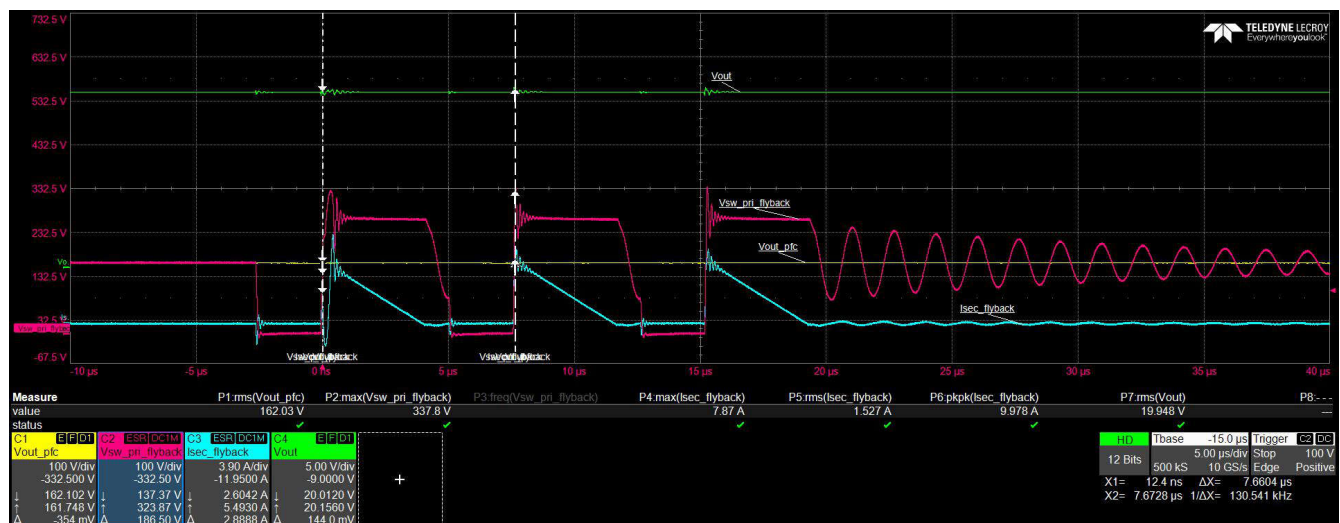
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ C3 = フライバックの 2 次側電流
チ ノード電圧 C4 = 出力電圧

図 3-34. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 3.75A$ のときのスイッチング動作



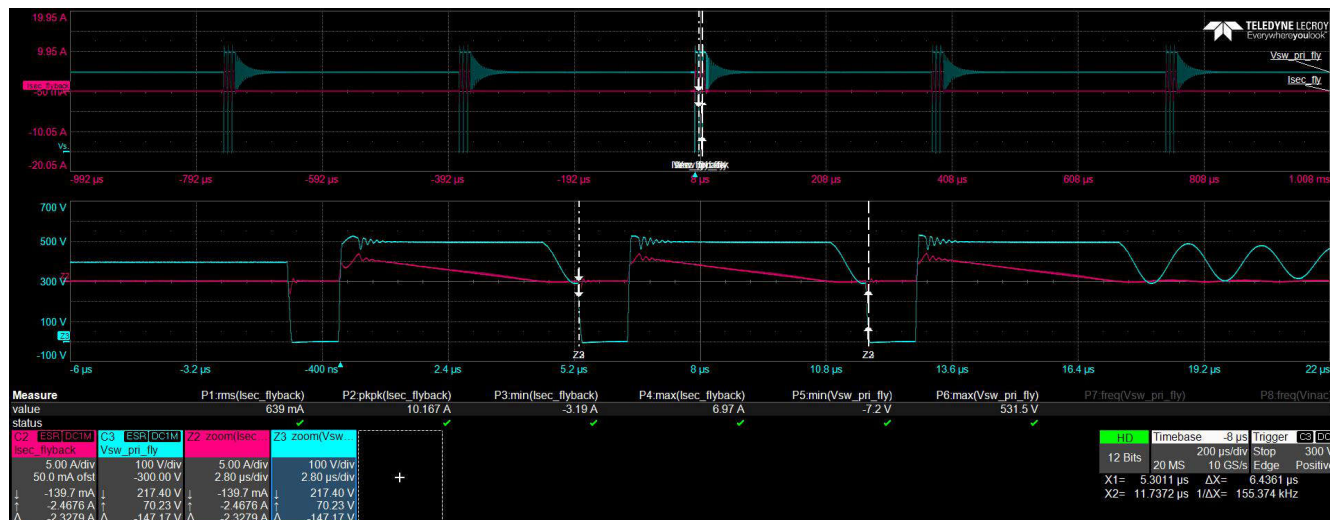
C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧 C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧

図 3-35. $V_{out} = 24V$ および $I_{out} = 5A$ のときのスイッチング動作



C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイッチ ノード電圧 C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧

図 3-36. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 0A$ のときのスイッチング動作



C1 = PFC 出力電圧

C2 = フライバックの 1 次側スイッチ
チ ノード電圧

C3 = フライバックの 2 次側電流

C4 = 出力電圧

図 3-37. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 0.1A$ のときのスイッチング動作

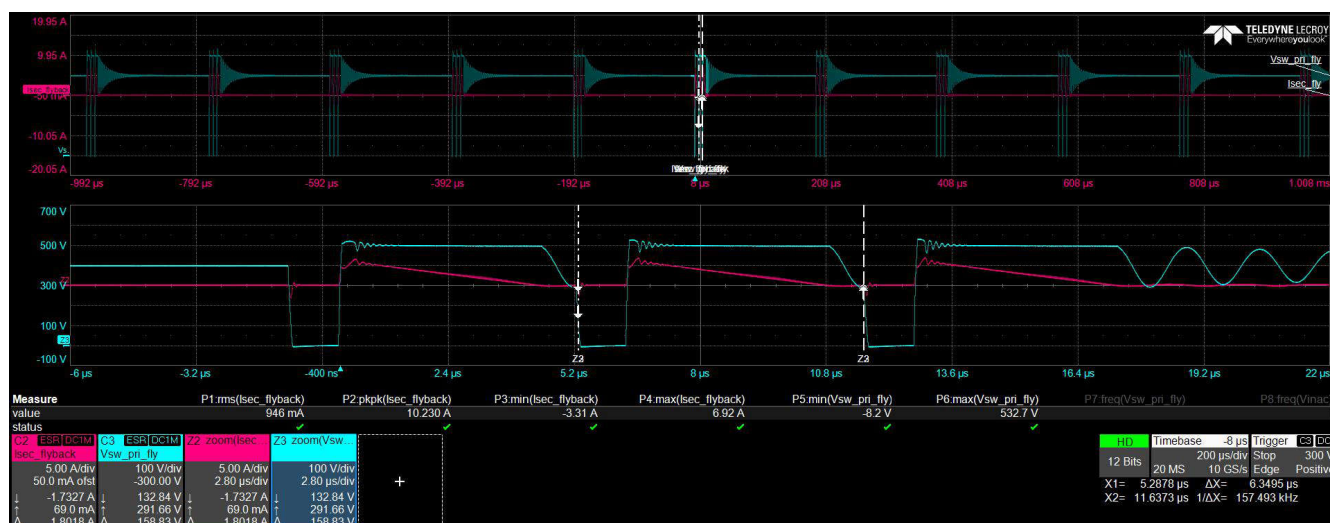


図 3-38. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 0.2A$ のときのスイッチング動作

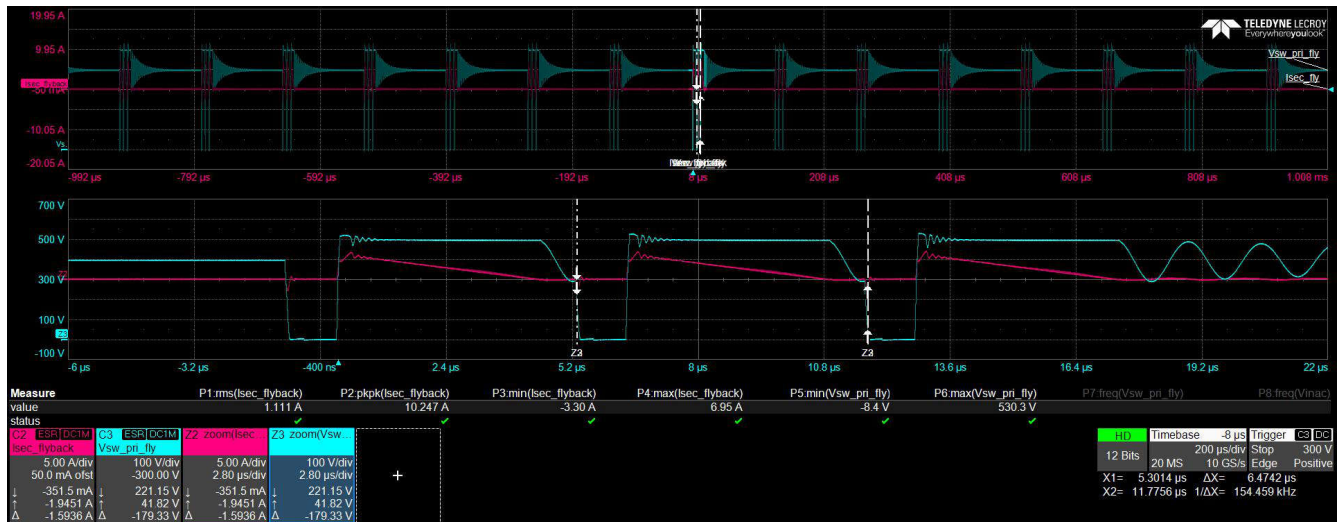
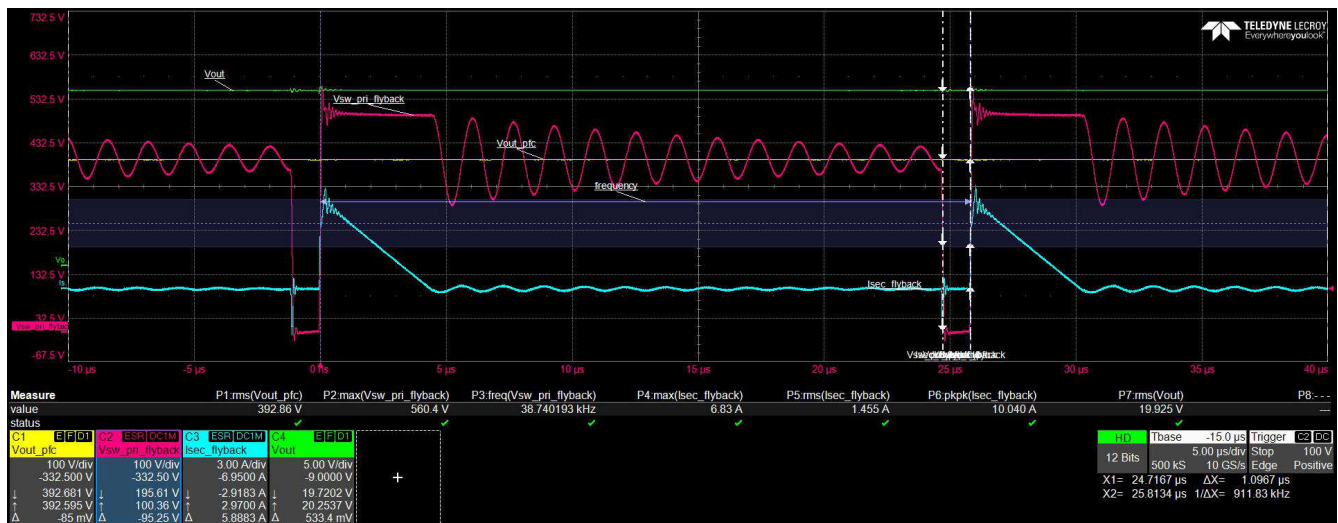


図 3-39. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 0.3A$ のときのスイッチング動作



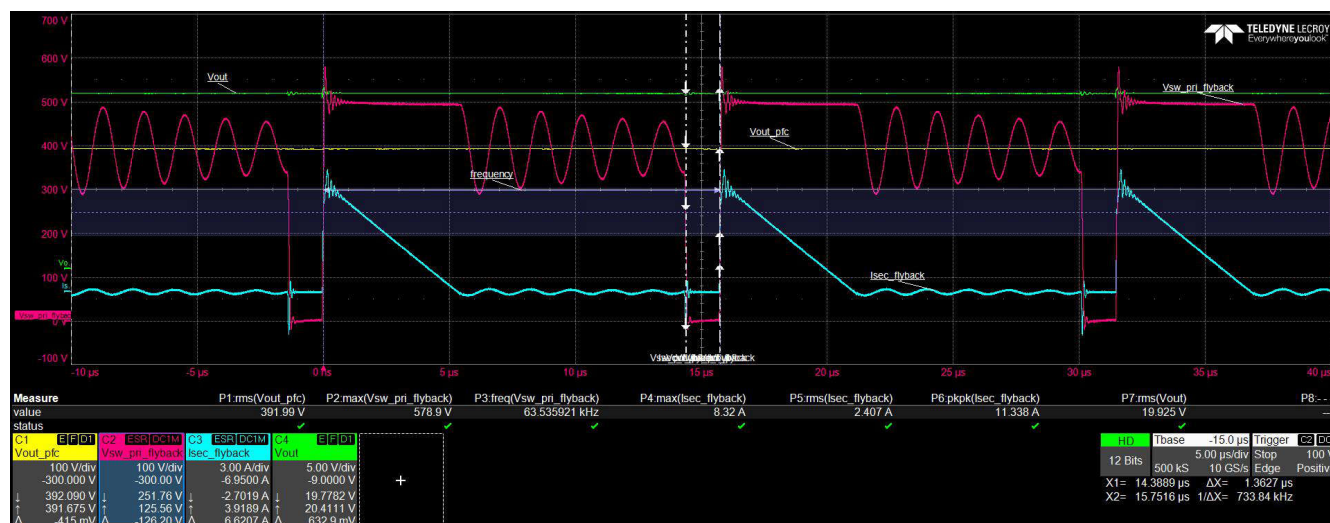
C1 = PFC 出力電圧

C2 = フライバックの 1 次側スイッチ
チ ノード電圧

C3 = フライバックの 2 次側電流

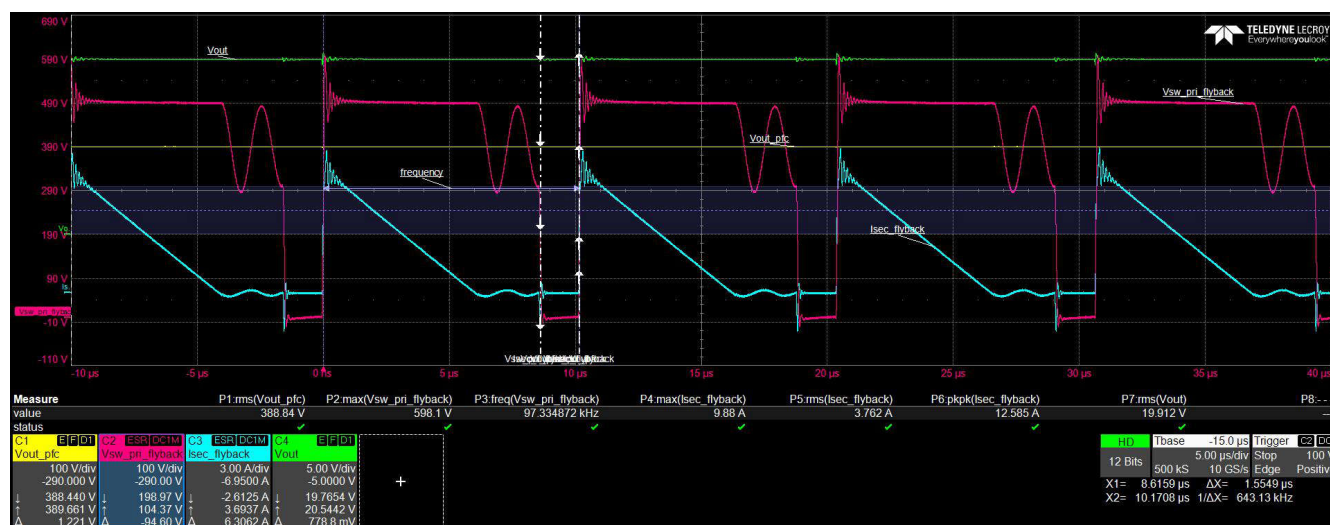
C4 = 出力電圧

図 3-40. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 0.5A$ のときのスイッチング動作



C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイ C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧
チ ノード電圧

図 3-41. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 1.25A$ のときのスイッチング動作



C1 = PFC 出力電圧 C2 = フライバックの 1 次側スイ C3 = フライバックの 2 次側電流 C4 = 出力電圧
チ ノード電圧

図 3-42. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 2.5A$ のときのスイッチング動作

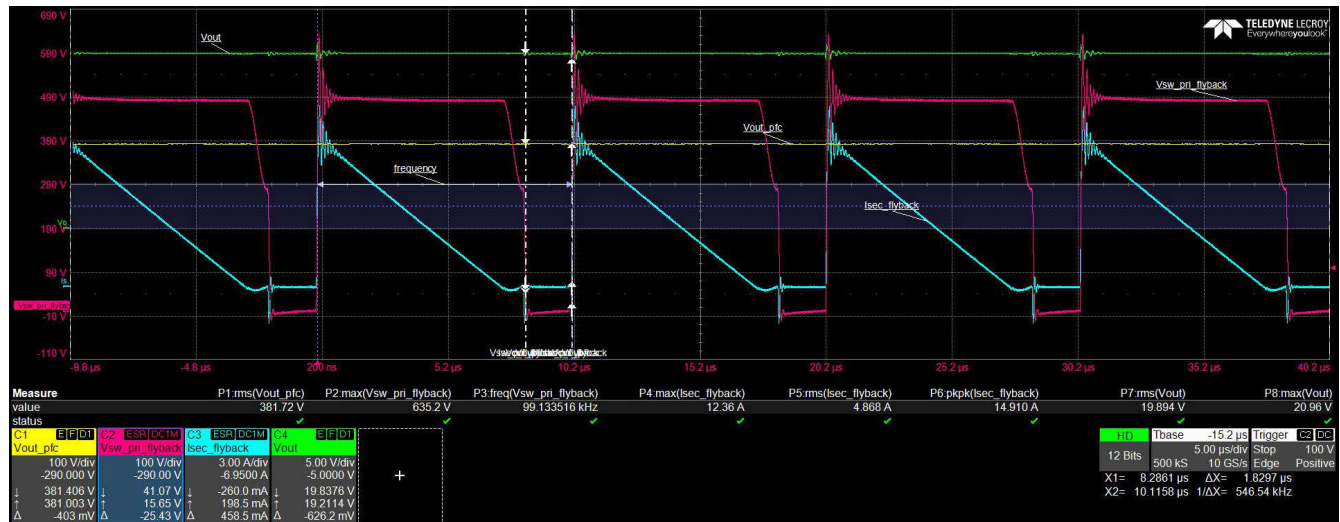
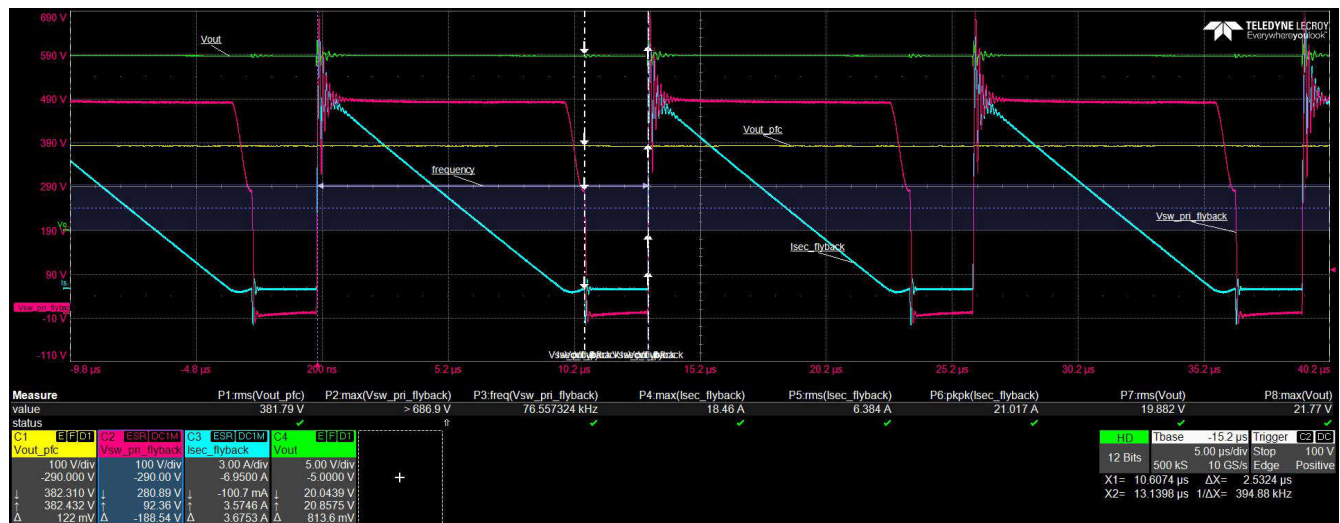


図 3-43. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 3.75A$ のときのスイッチング動作



C1 = PFC 出力電圧

C2 = フライバックの 1 次側スイッチ
ノード電圧

C3 = フライバックの 2 次側電流

C4 = 出力電圧

図 3-44. $V_{out} = 20V$ および $I_{out} = 5A$ のときのスイッチング動作

3.8 ライン過渡応答

このセクションでは、AC 入力電圧が大きく変動しても、評価基板が安定した DC 出力電圧を維持できることを示します。この波形は、入力電圧を最小 90VAC から最大 264VAC、60Hz に切り替えたときのシステム応答を示しています。

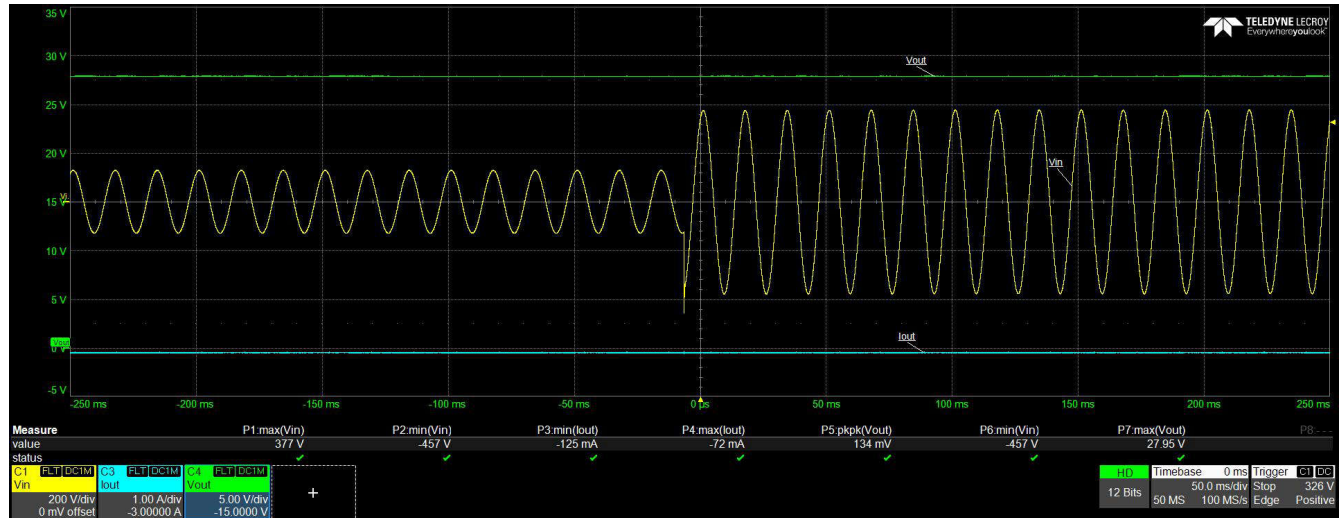


図 3-45. ライン過渡波形: $V_{in} = 90\text{VAC} \sim 264\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out} = 28\text{V}$ 、および $I_{out} = 0\text{A}$

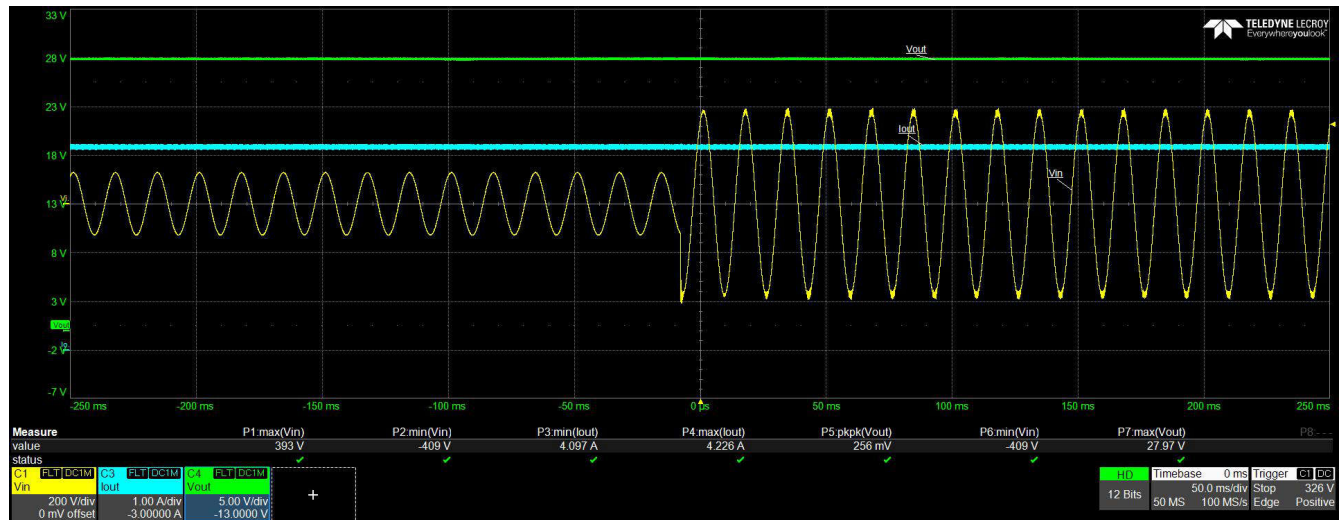
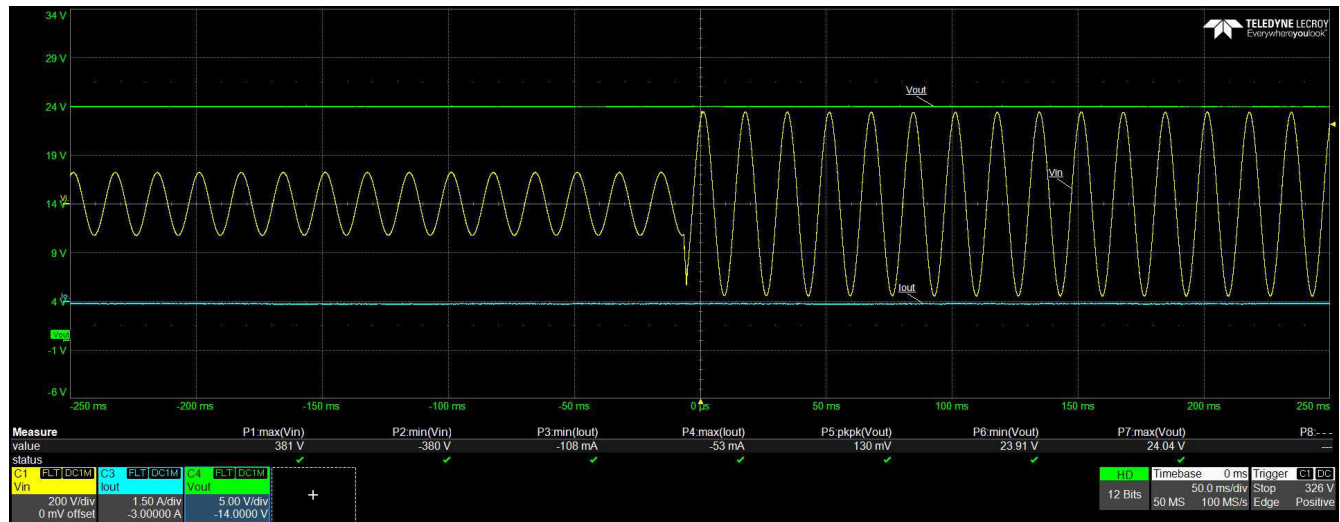


図 3-46. ライン過渡波形: $V_{in} = 90\text{VAC} \sim 264\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out} = 28\text{V}$ 、および $I_{out} = 4.3\text{A}$

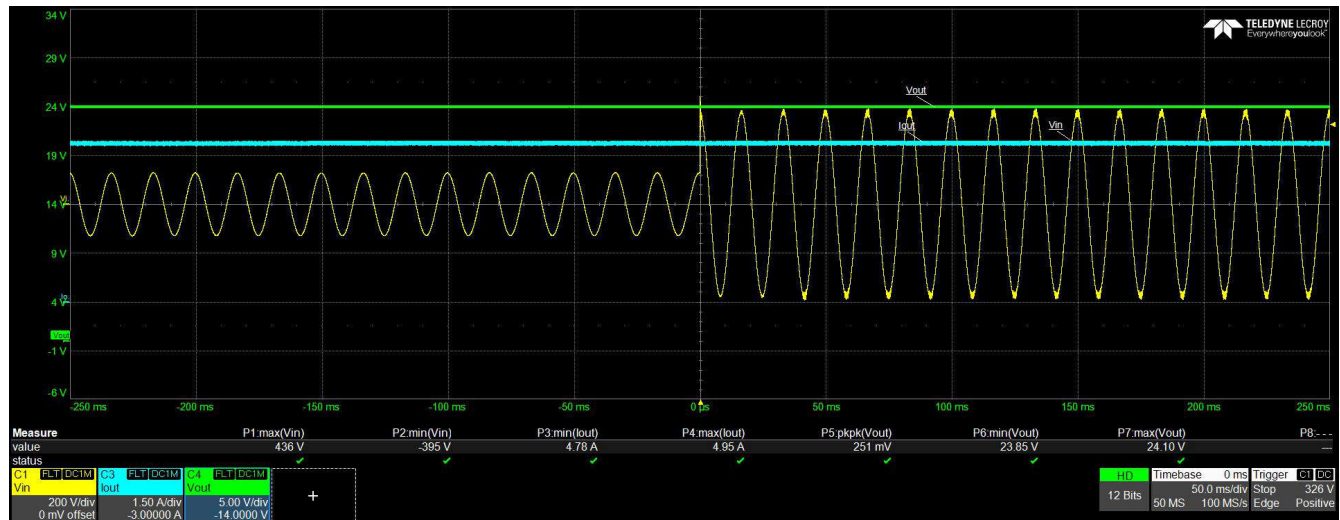


C1 = AC 入力電圧

C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

図 3-47. ライン過渡波形: $V_{in} = 90VAC \sim 264VAC/60Hz$ 、 $V_{out} = 24V$ 、および $I_{out} = 0A$



C1 = AC 入力電圧

C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

図 3-48. ライン過渡波形: $V_{in} = 90VAC \sim 264VAC/60Hz$ 、 $V_{out} = 24V$ 、および $I_{out} = 5A$

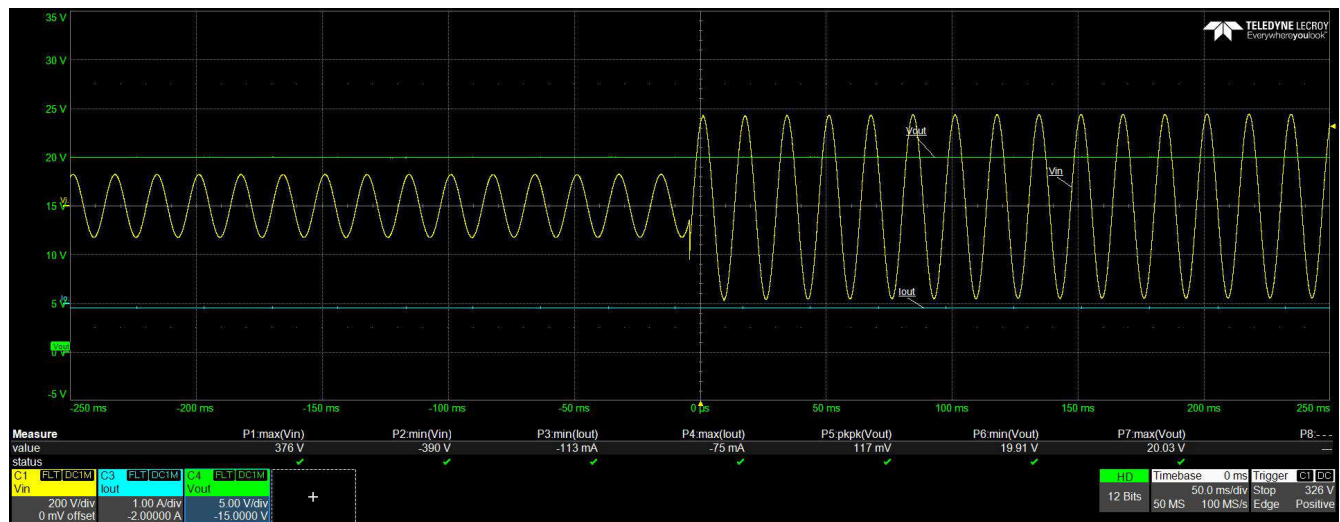


図 3-49. ライン過渡波形: $V_{in} = 90\text{VAC} \sim 264\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out} = 20\text{V}$ 、および $I_{out} = 0\text{A}$

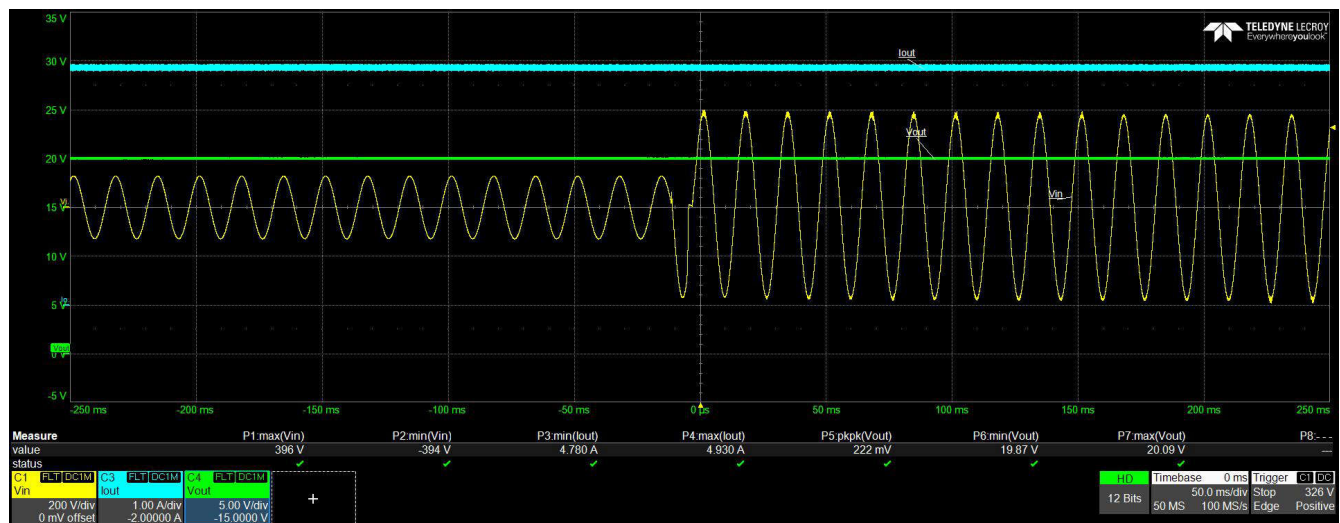
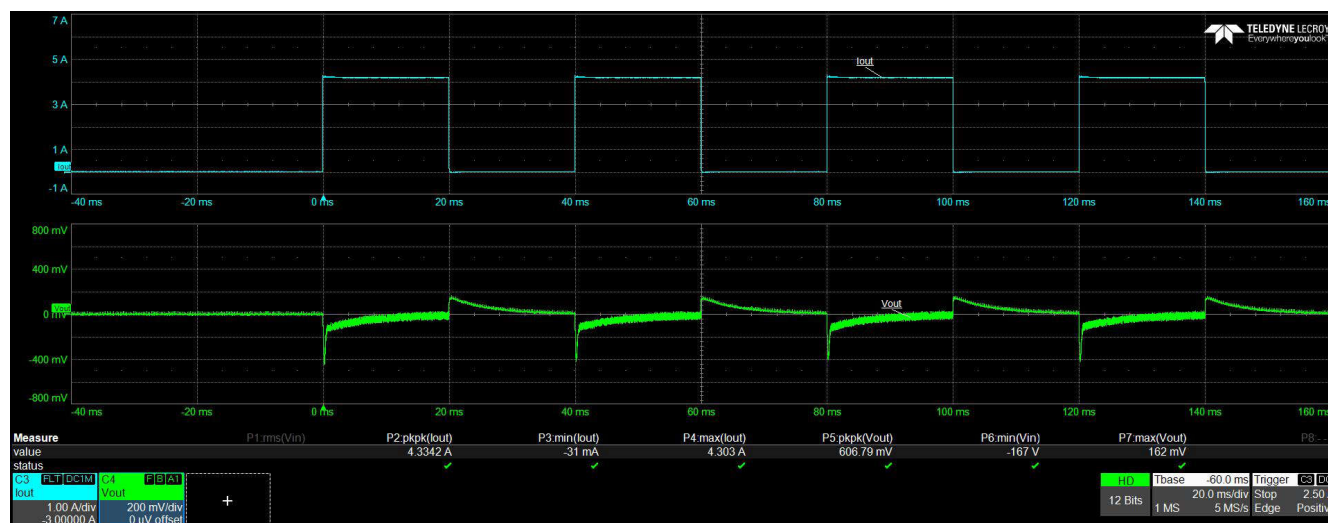


図 3-50. ライン過渡波形: $V_{in} = 90\text{VAC} \sim 264\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out} = 20\text{V}$ 、および $I_{out} = 5\text{A}$

3.9 負荷過渡波形

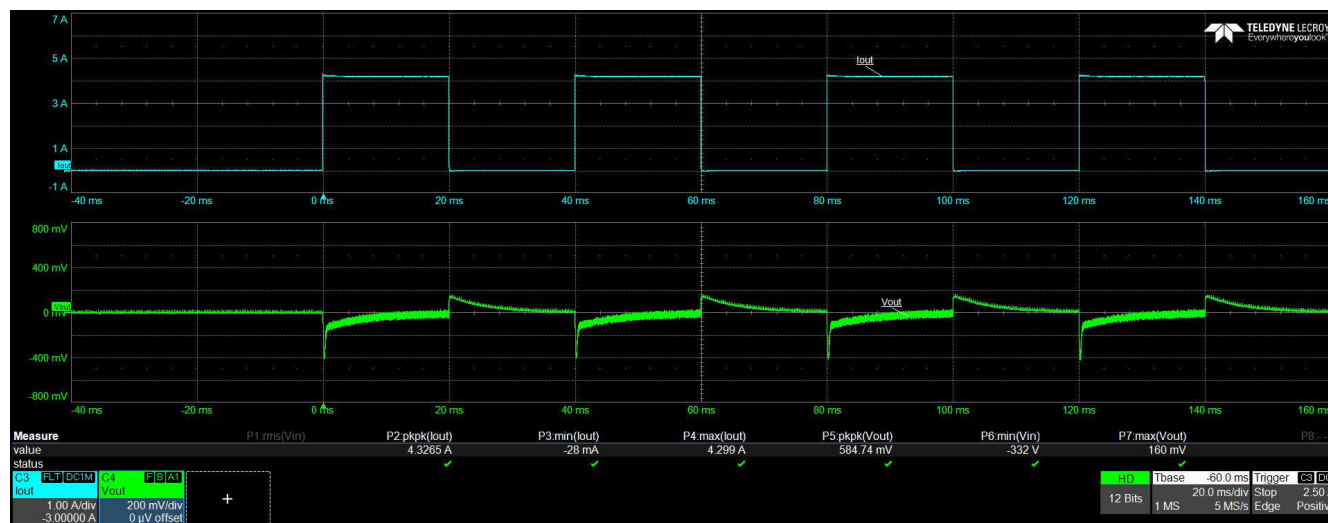
このセクションでは、周波数 25Hz で $2.5\text{A}/\mu\text{s}$ (立ち上がりエッジと立ち下がりエッジの両方) のスルーレートで、2% ~ 100% 負荷のステップ負荷過渡時に、評価基板が安定した DC 出力電圧を維持できることを示します。以下の波形は、115VAC/60Hz と 230VAC/50Hz の入力、28V/24V/20V の出力に対するものです。



C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

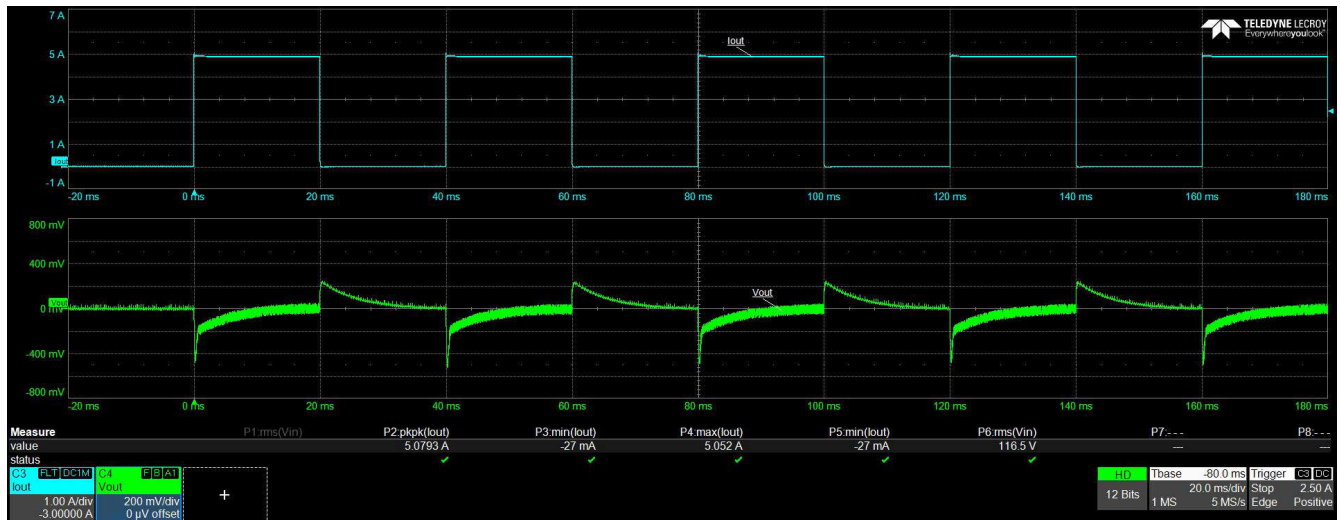
図 3-51. 115VAC/60Hz および出力 28V/0.1A ~ 4.3A 時の過渡波形



C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

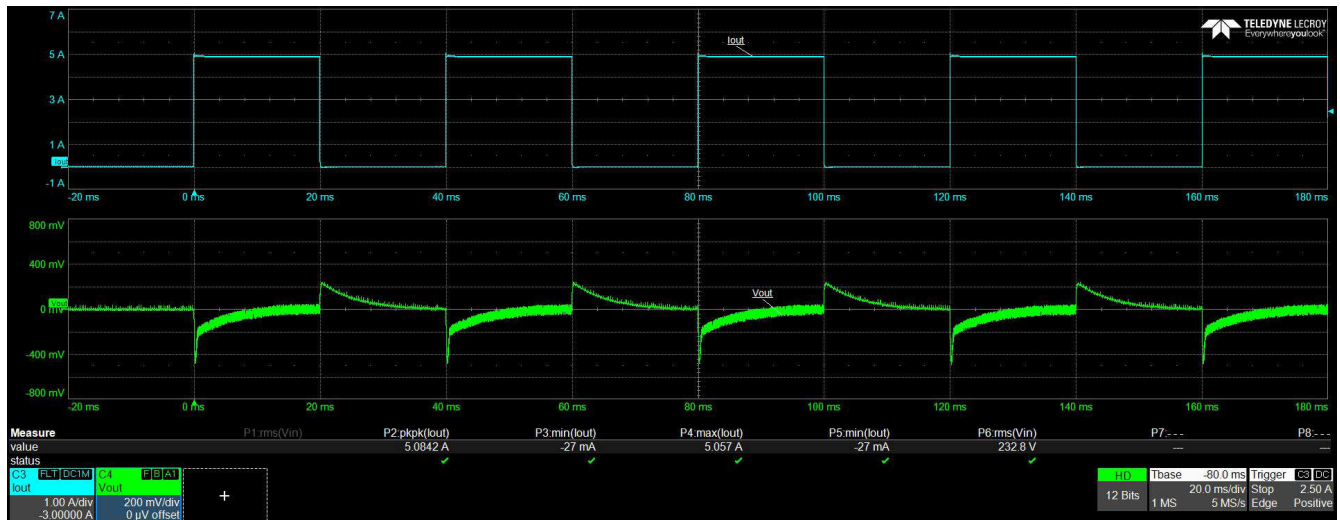
図 3-52. 230VAC/50Hz および出力 28V/0.1A ~ 4.3A 時の過渡波形



C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

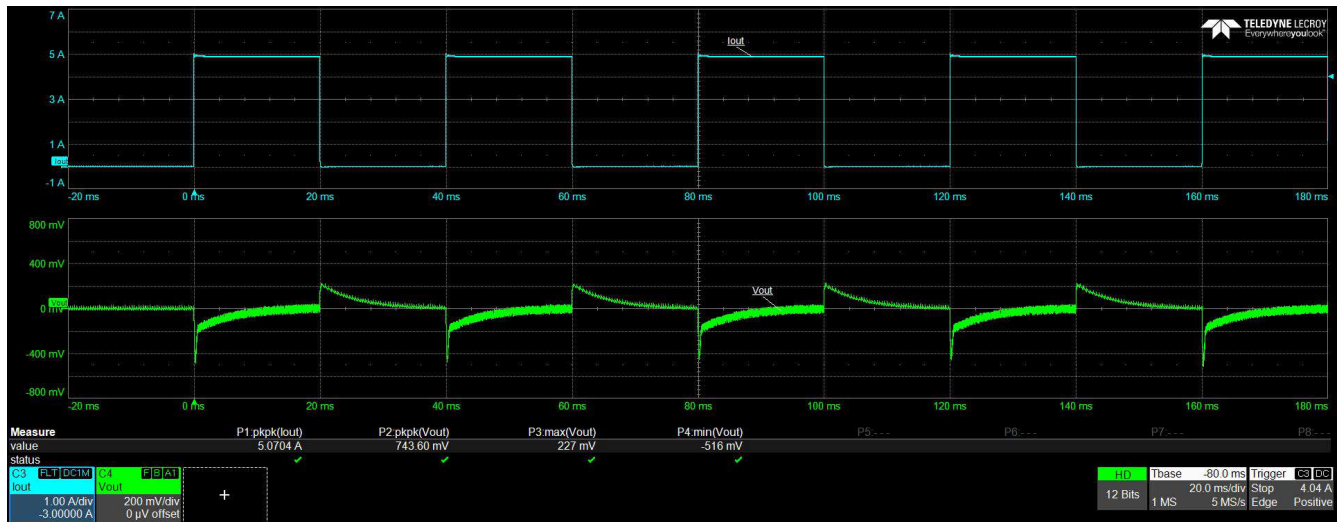
図 3-53. 115VAC/60Hz および出力 24V/0.1A ~ 5A 時の過渡波形



C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

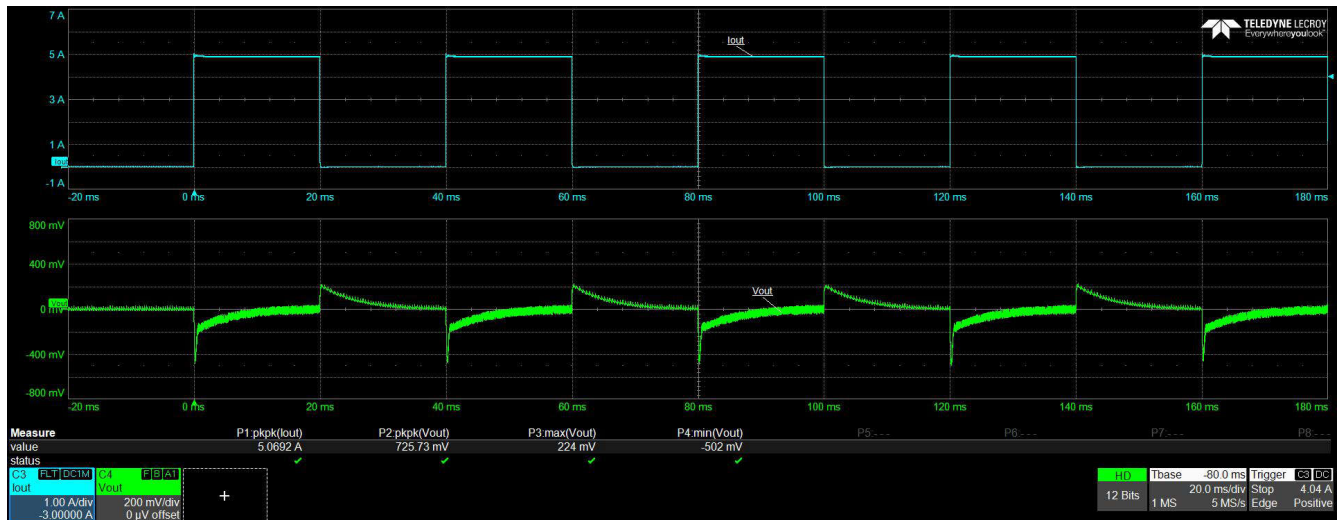
図 3-54. 230VAC/50Hz および出力 24V/0.1A ~ 5A 時の過渡波形



C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

図 3-55. 115VAC/60Hz および出力 20V/0.1A ~ 5A 時の過渡波形



C3 = フライバック出力電流

C4 = フライバック出力電圧

図 3-56. 230VAC/50Hz および出力 20V/0.1A ~ 5A 時の過渡波形

3.10 出力リップル電圧

以下の波形は、20V、24V、28V の出力設定において、無負荷時と全負荷時の 115VAC/60Hz と 230VAC/50Hz の出力電圧リップルを示しています。ここでは、C4 - 出力電圧リップル、オシロスコープのチャンネル帯域幅 = 20MHz、オシロスコープのプロローブは AC 結合されています。

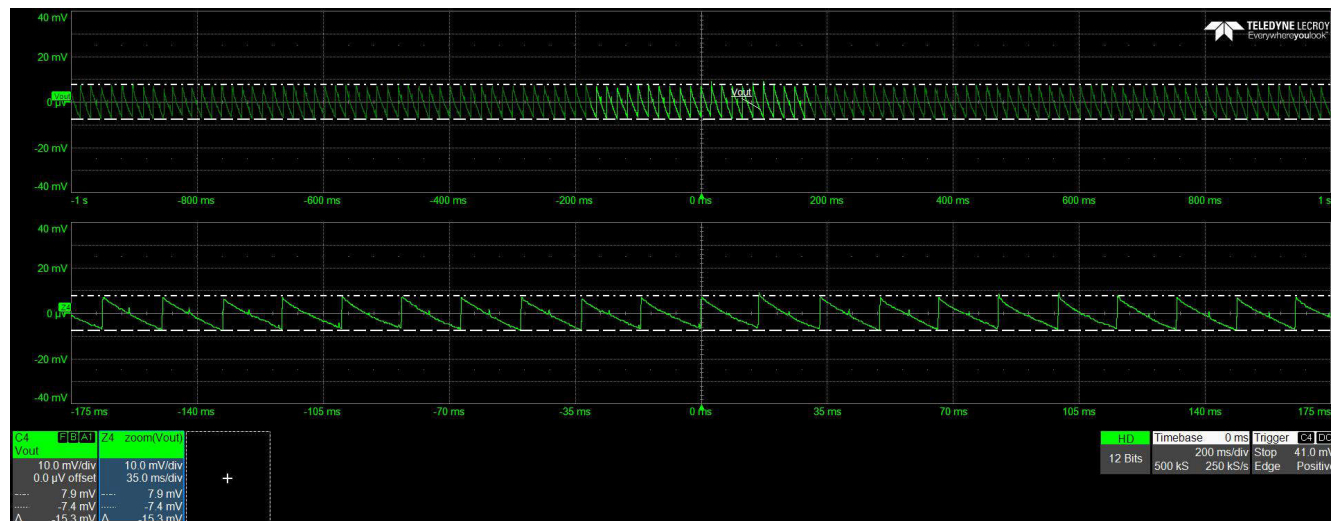


図 3-57. 入力 = 115VAC/60Hz、出力 = 28V/0A での出力電圧リップル

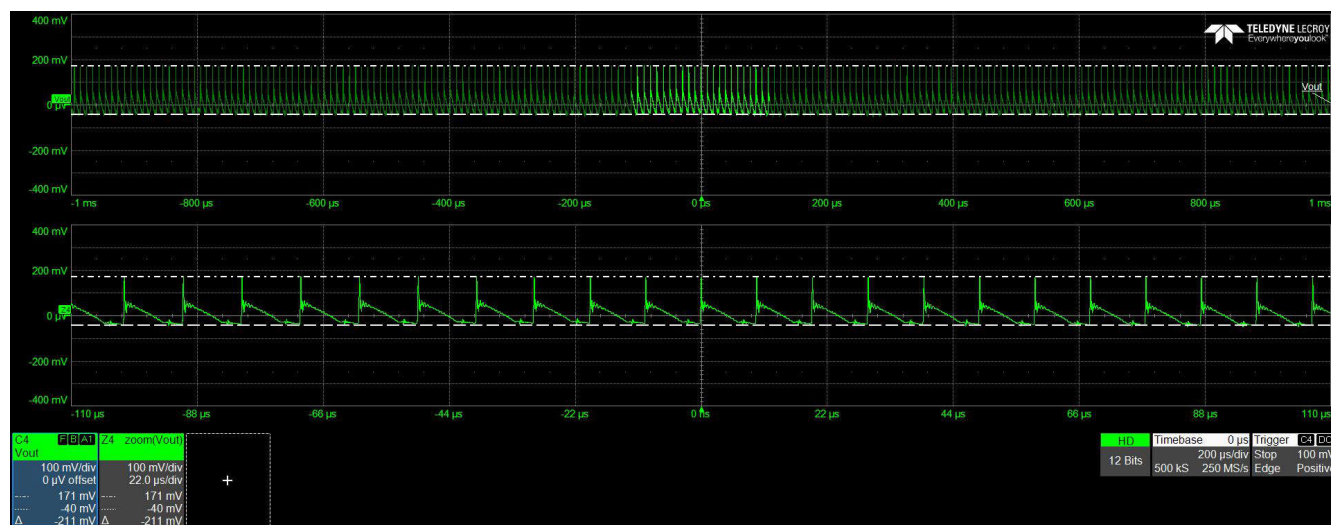


図 3-58. 入力 = 115VAC/60Hz、出力 = 28V/4.3A での出力電圧リップル

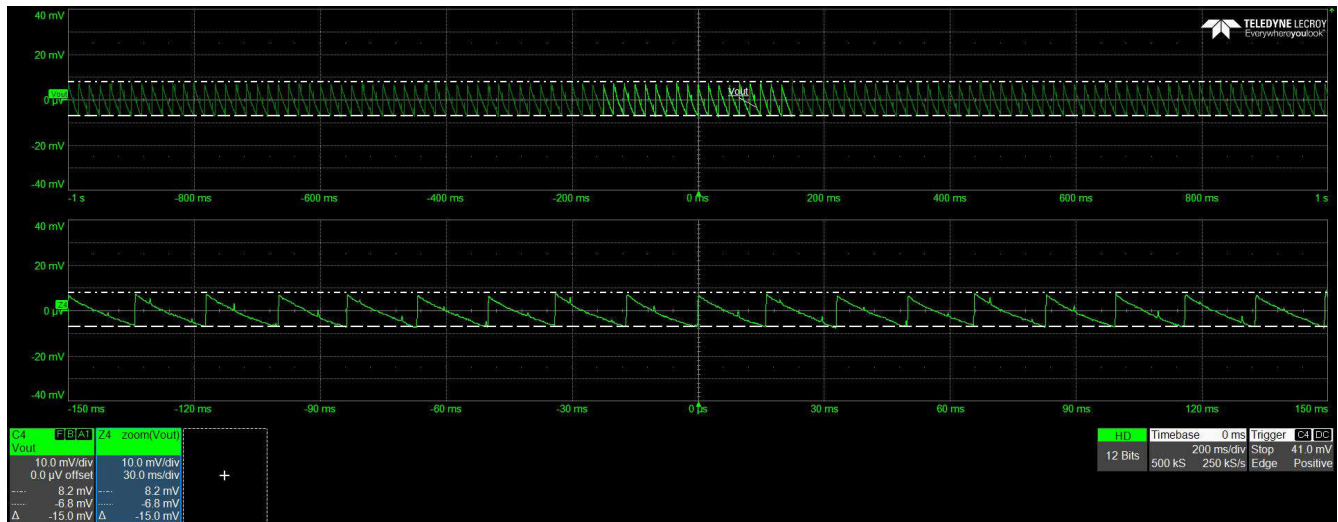


図 3-59. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 28V/0A での出力電圧リップル

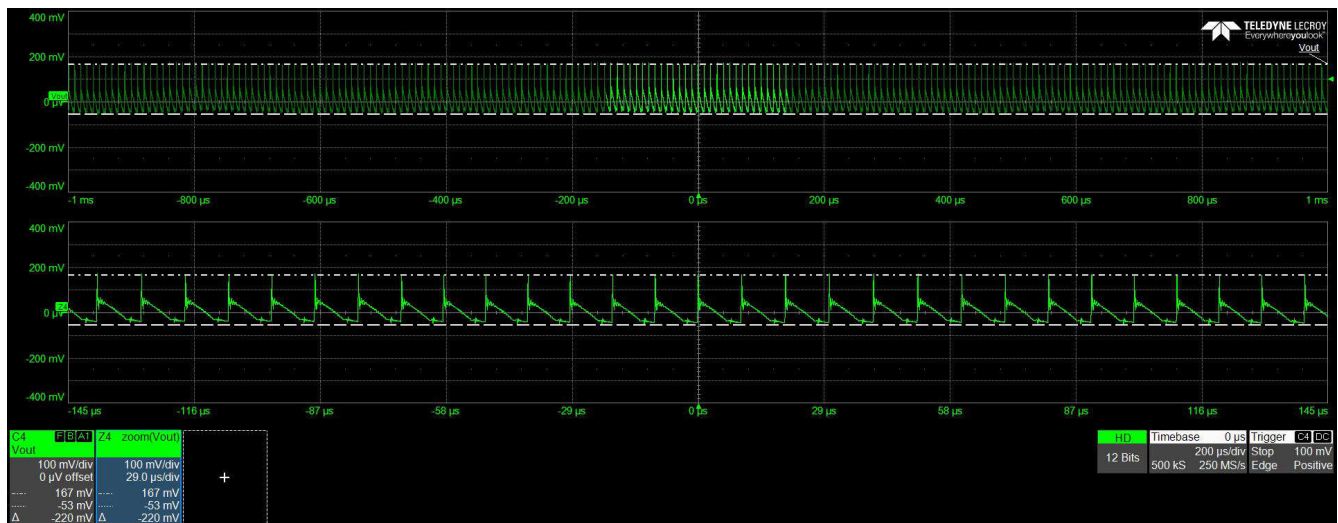


図 3-60. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 28V/4.3A での出力電圧リップル

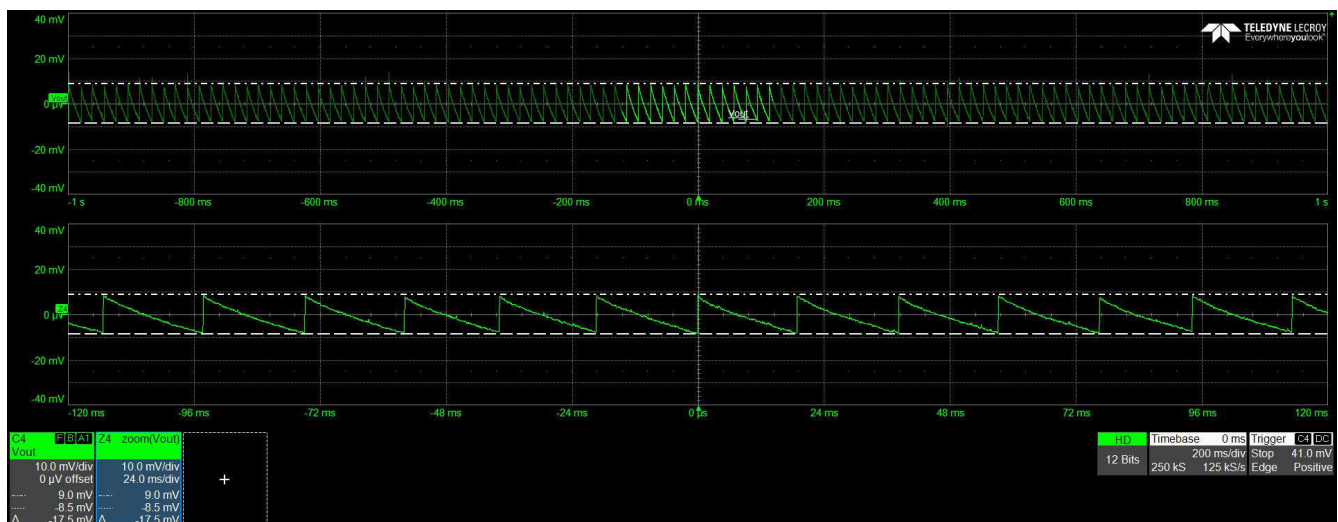


図 3-61. 入力 = 115VAC/60Hz、出力 = 24V/0A での出力電圧リップル

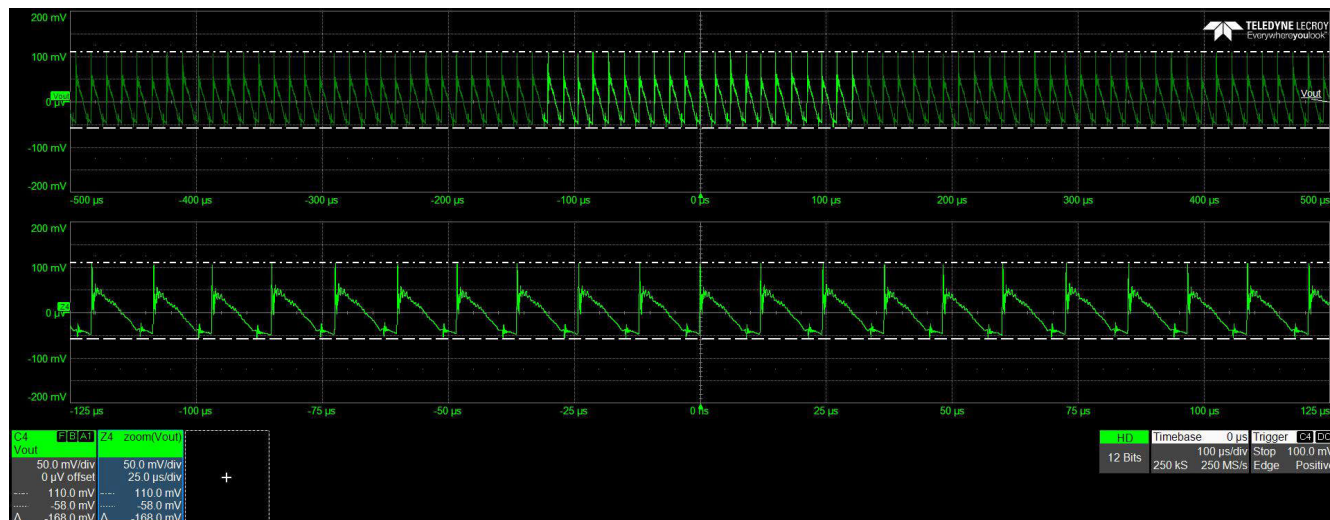


図 3-62. 入力 = 1150VAC/60Hz、出力 = 24V/5A での出力電圧リップル

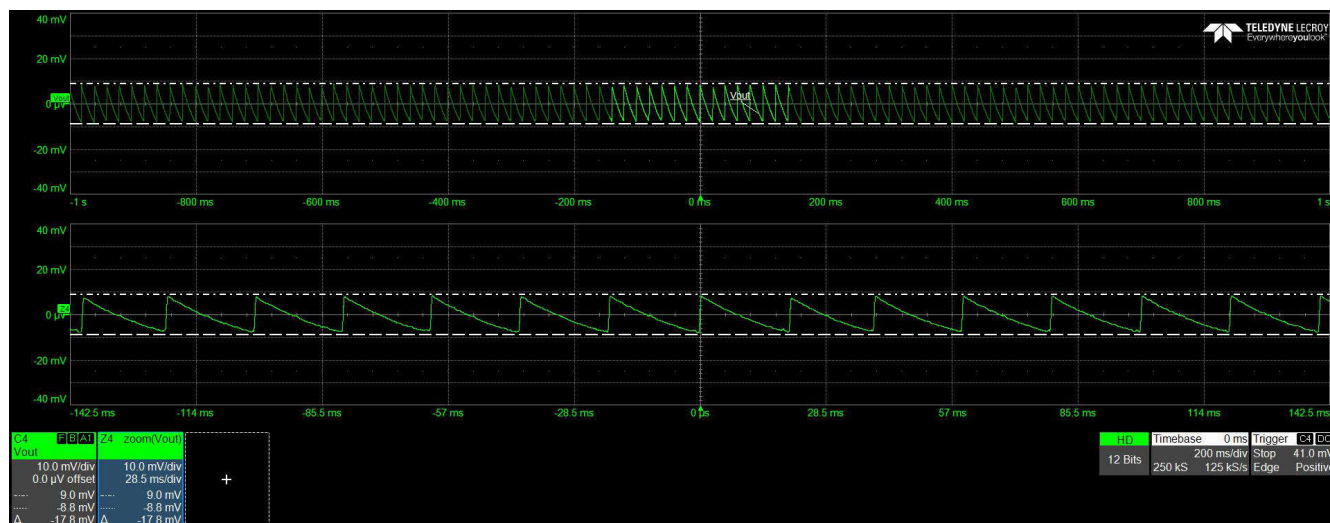


図 3-63. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 24V/0A での出力電圧リップル

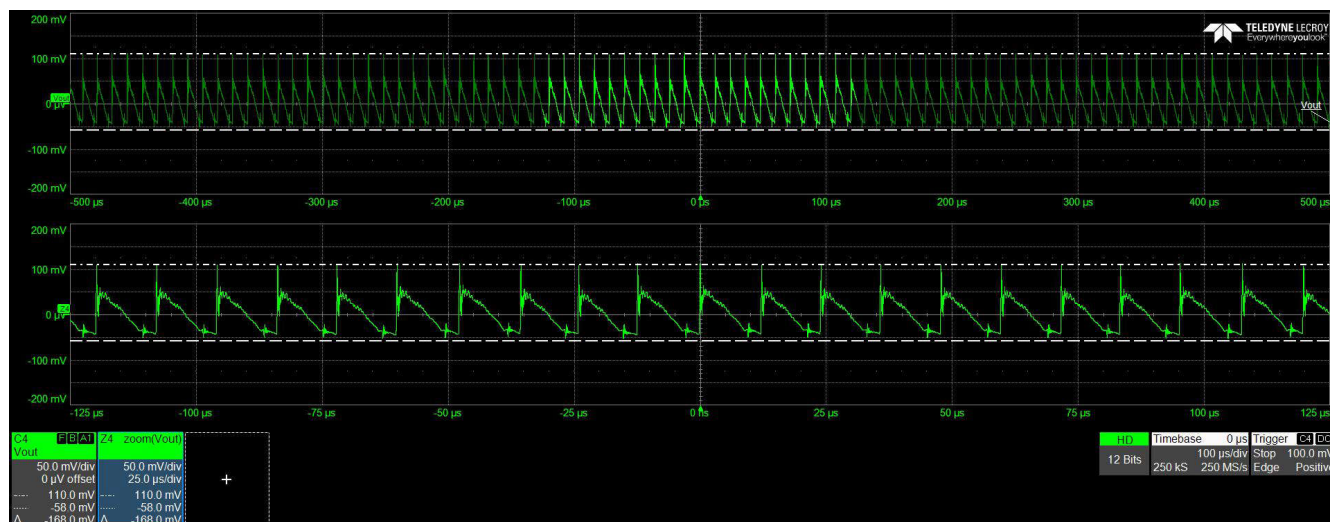


図 3-64. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 24V/5A での出力電圧リップル

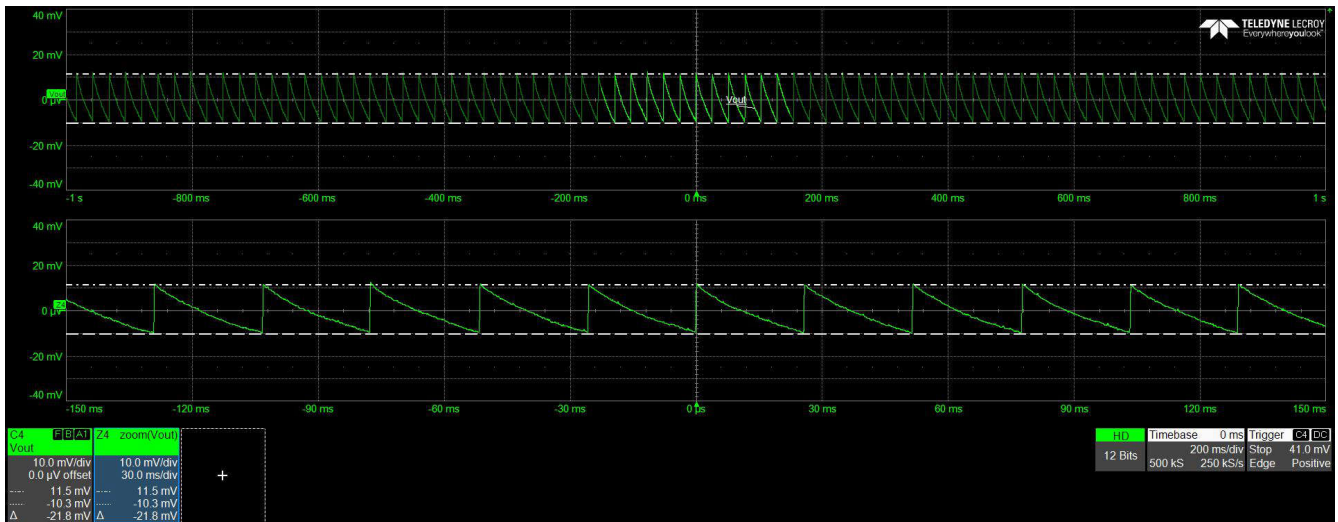


図 3-65. 入力 = 115VAC/60Hz、出力 = 20V/0A での出力電圧リップル

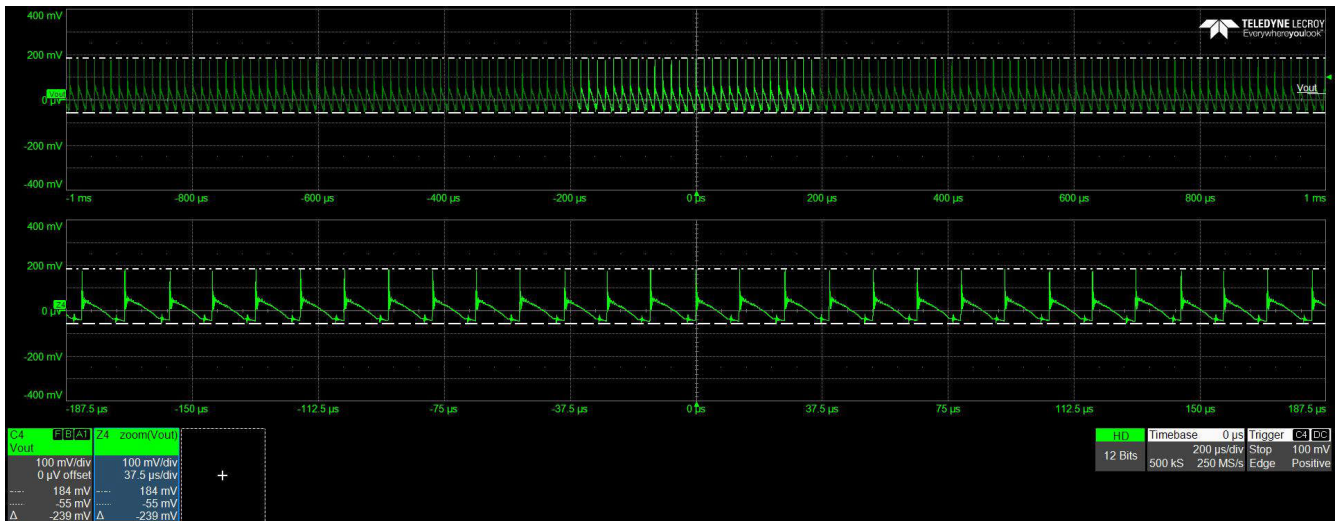


図 3-66. 入力 = 115VAC/60Hz、出力 = 20V/5A での出力電圧リップル

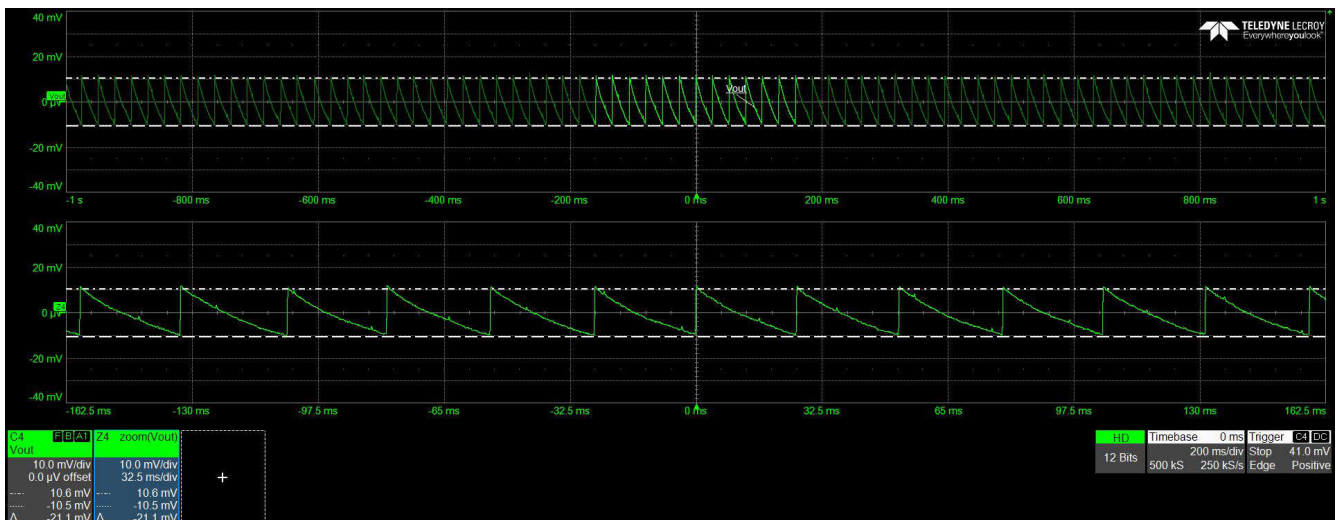


図 3-67. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 20V/0A での出力電圧リップル

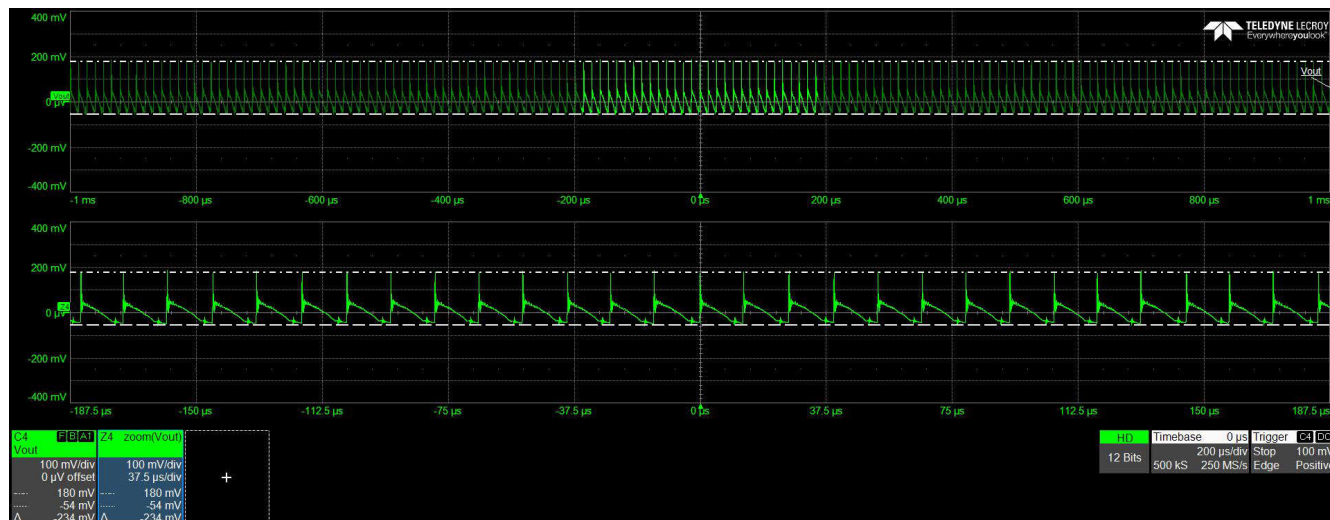
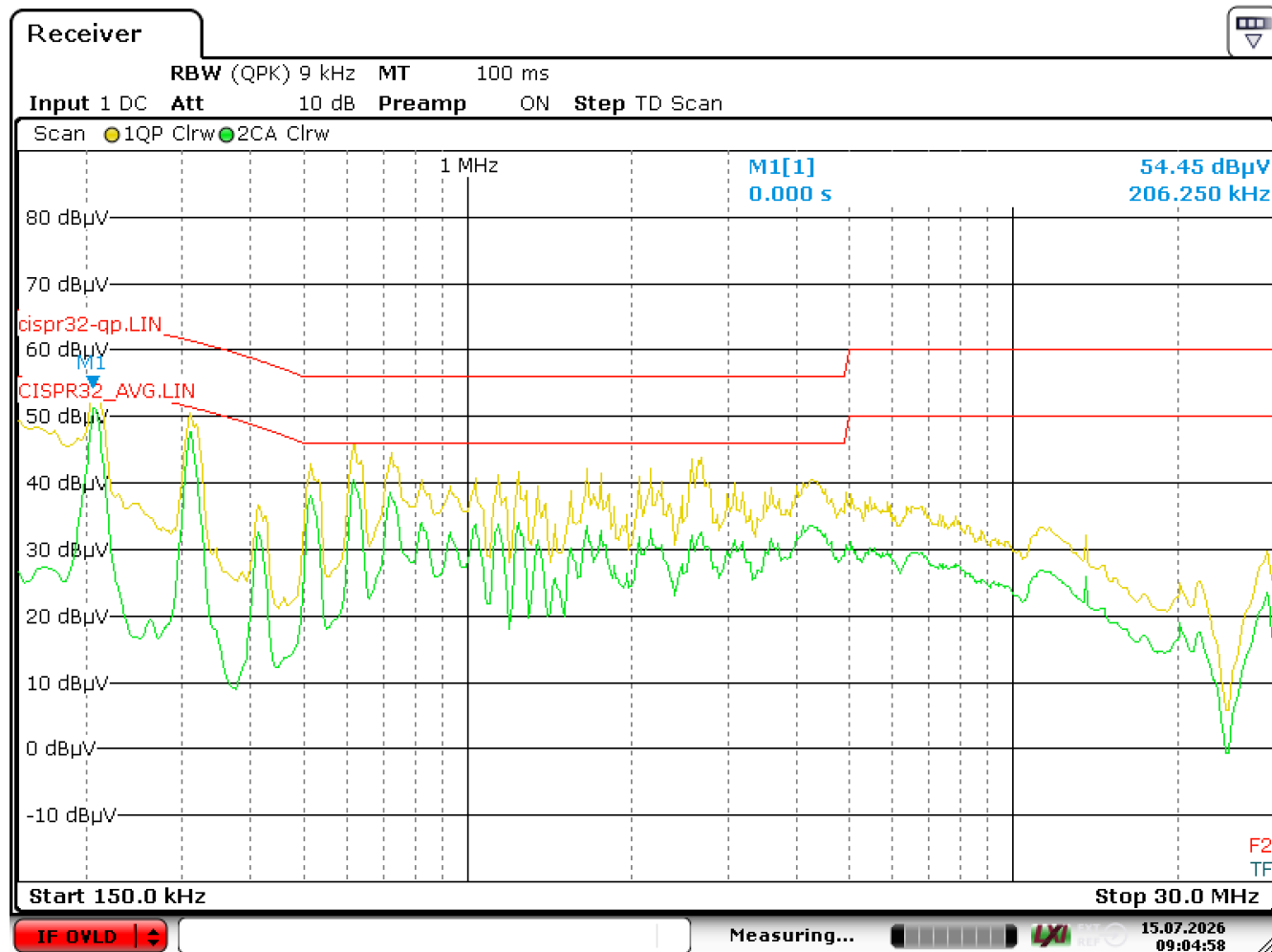


図 3-68. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 20V/5A での出力電圧リップル

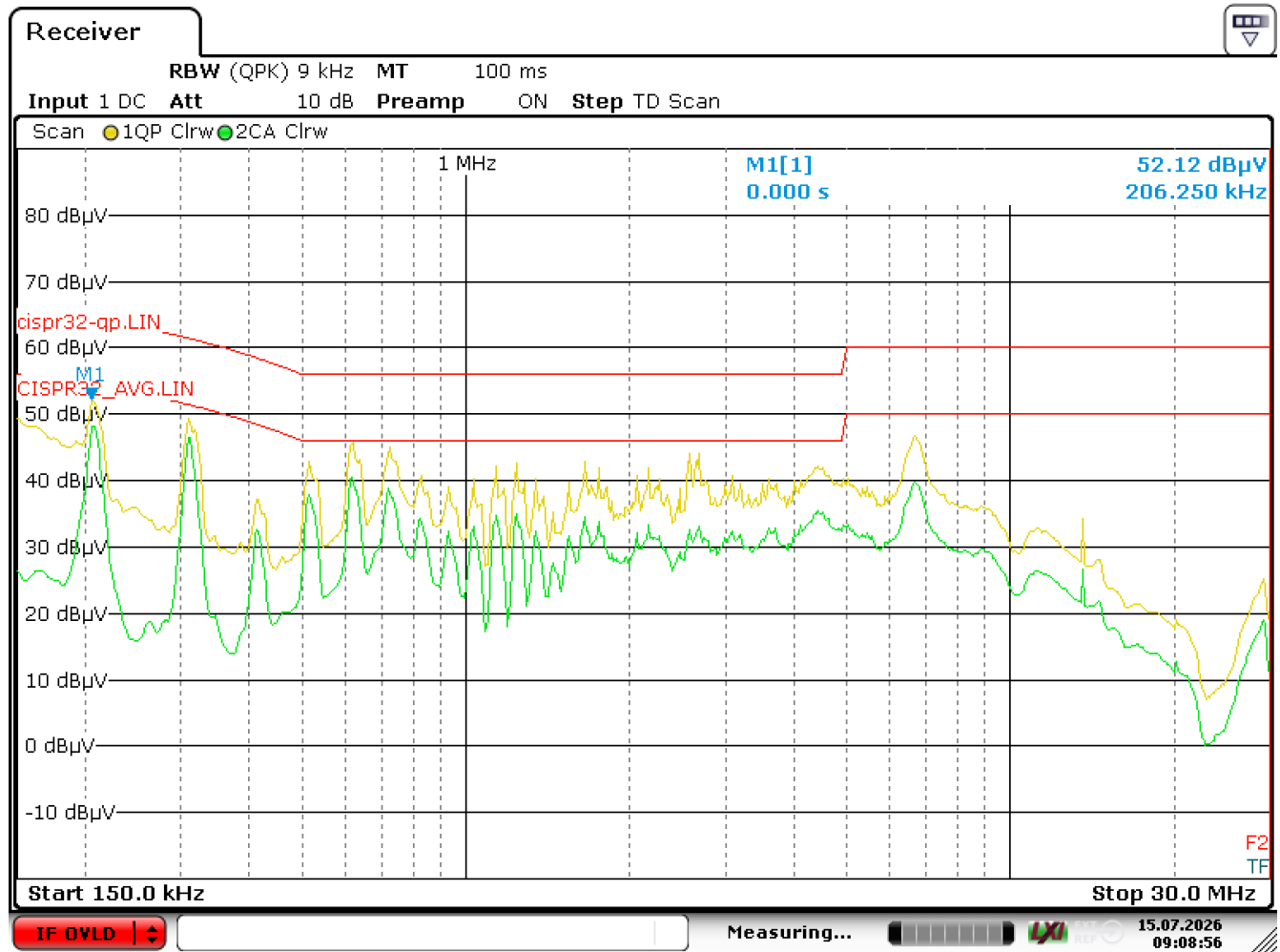
3.11 EN55022 Class B 伝導 EMI テスト結果

なお、このデバイスは、ラボでの EMI 予備適合性試験で評価済みです。TI では、すべての最終設計について、公認機関認定の EMI テスト ハウスで検証を行うことを推奨しています。テスト条件を図の説明に示します。



Date: 15.JUL.2026 09:04:59

図 3-69. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 28V/4.3A、ライン スキャンおよびニュートラル終端



Date: 15.JUL.2026 09:08:57

図 3-70. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 28V/4.3A、ニュートラル スキャンおよびライン終端



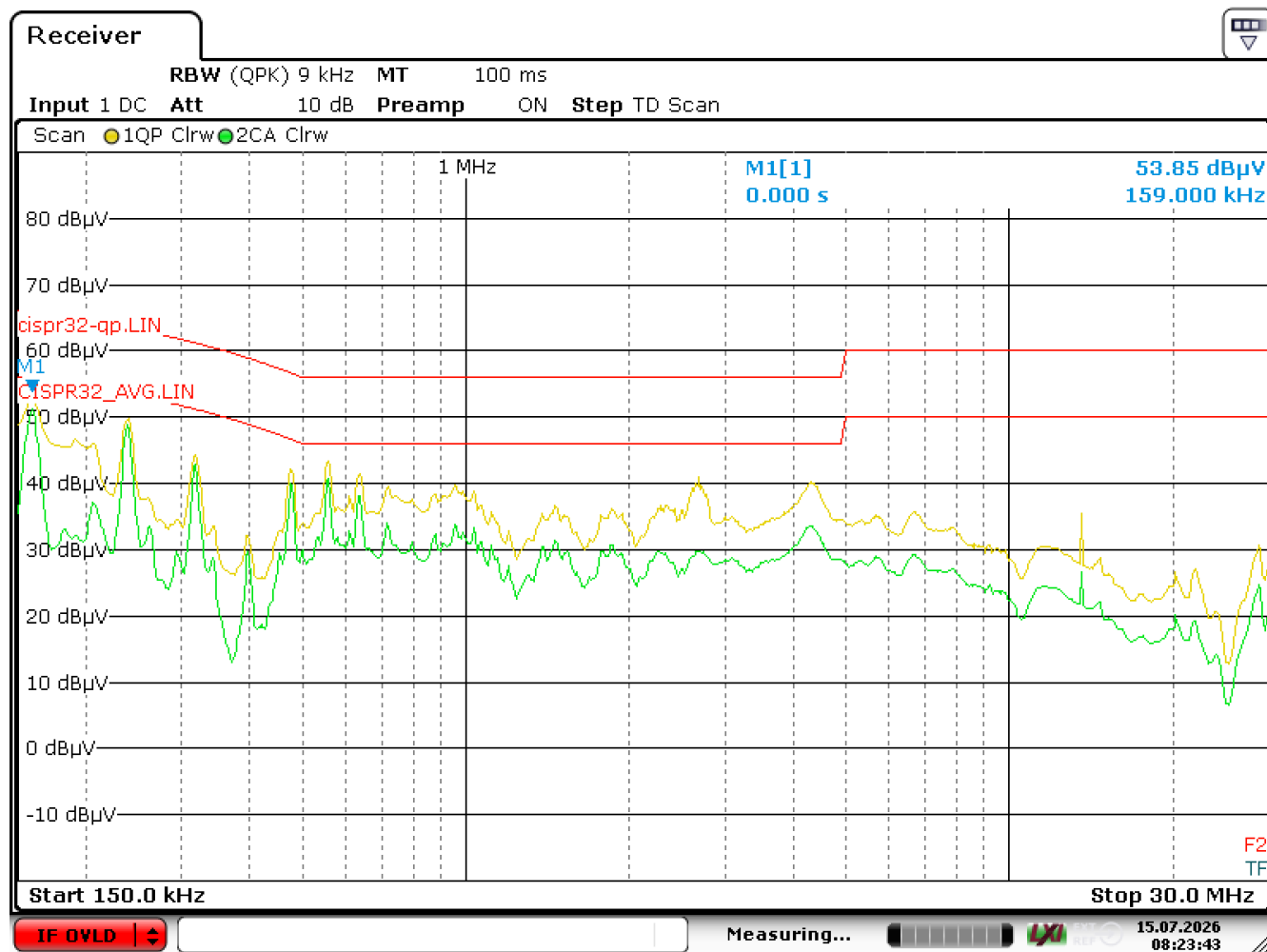
Date: 7.JUL.2026 13:04:35

図 3-71. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 24V/5A、ライン スキャンおよびニュートラル終端



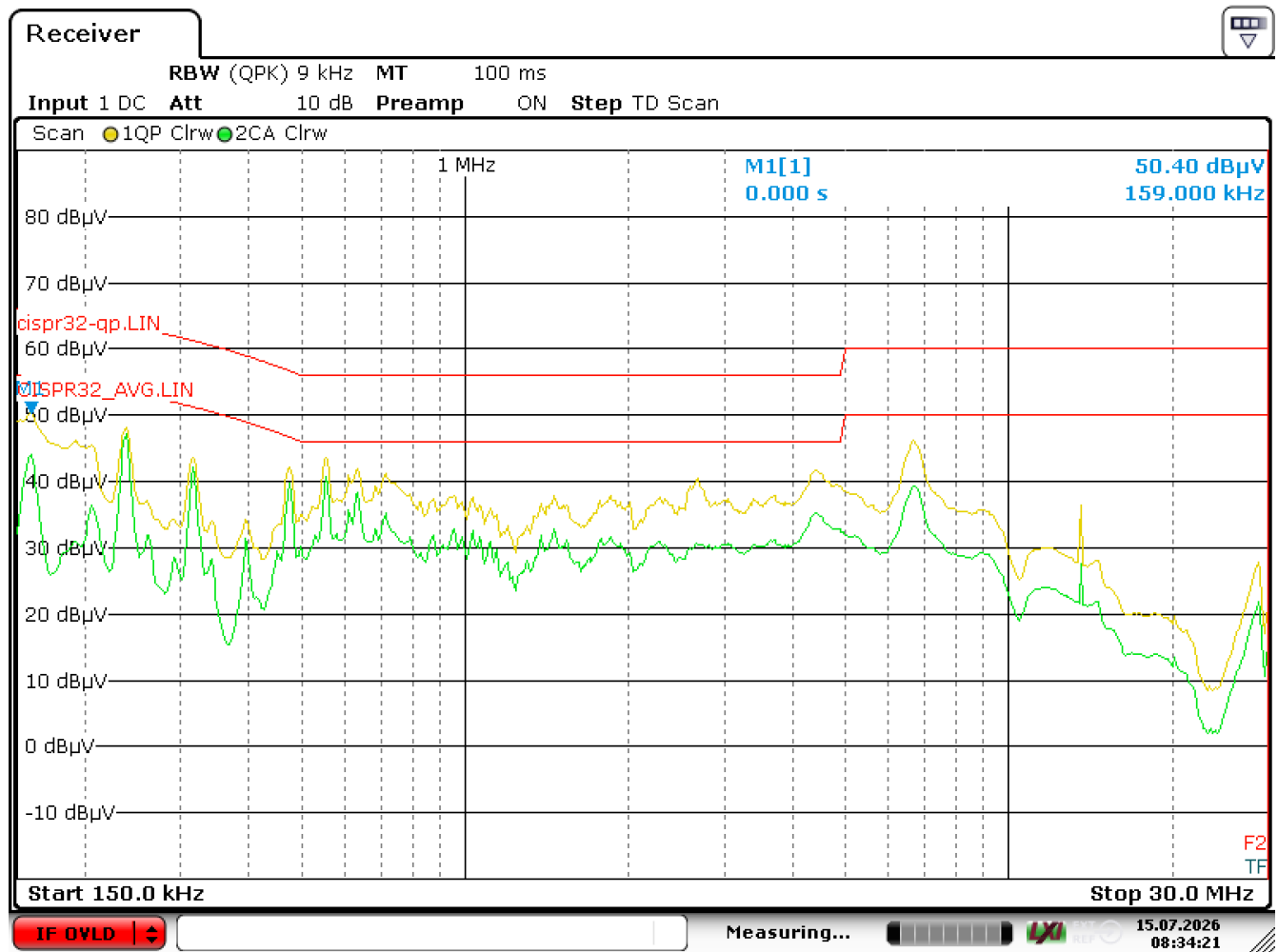
Date: 7.JUL.2026 13:19:40

図 3-72. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 24V/5A、ニュートラル スキャンおよびライン終端



Date: 15.JUL.2026 08:23:44

図 3-73. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 20V/5A、ライン スキャンおよびニュートラル終端



Date: 15.JUL.2026 08:34:22

図 3-74. 入力 = 230VAC/50Hz、出力 = 20V/5A、ニュートラル スキャンおよびライン終端

3.12 最大負荷時の放熱性能

以下の図は、90VAC/60Hz、出力設定 24V、全負荷、強制換気なしの状態です。1 時間、2 時間、3 時間経過した評価基板の温度を示しています。

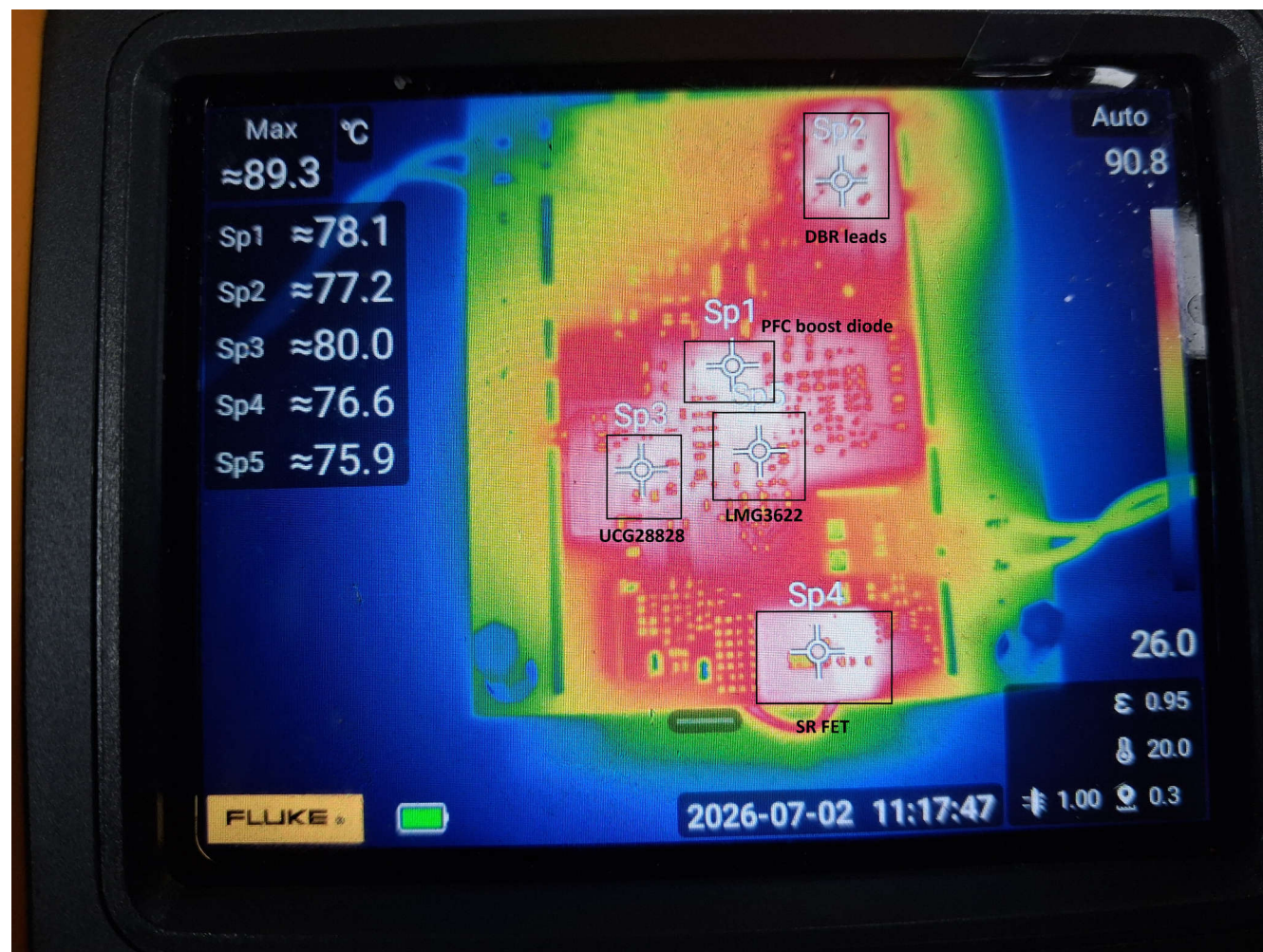


図 3-75. 入力 = 90VAC/60Hz、出力 = 24V/5A、1 時間実行後にスキャン (底面)

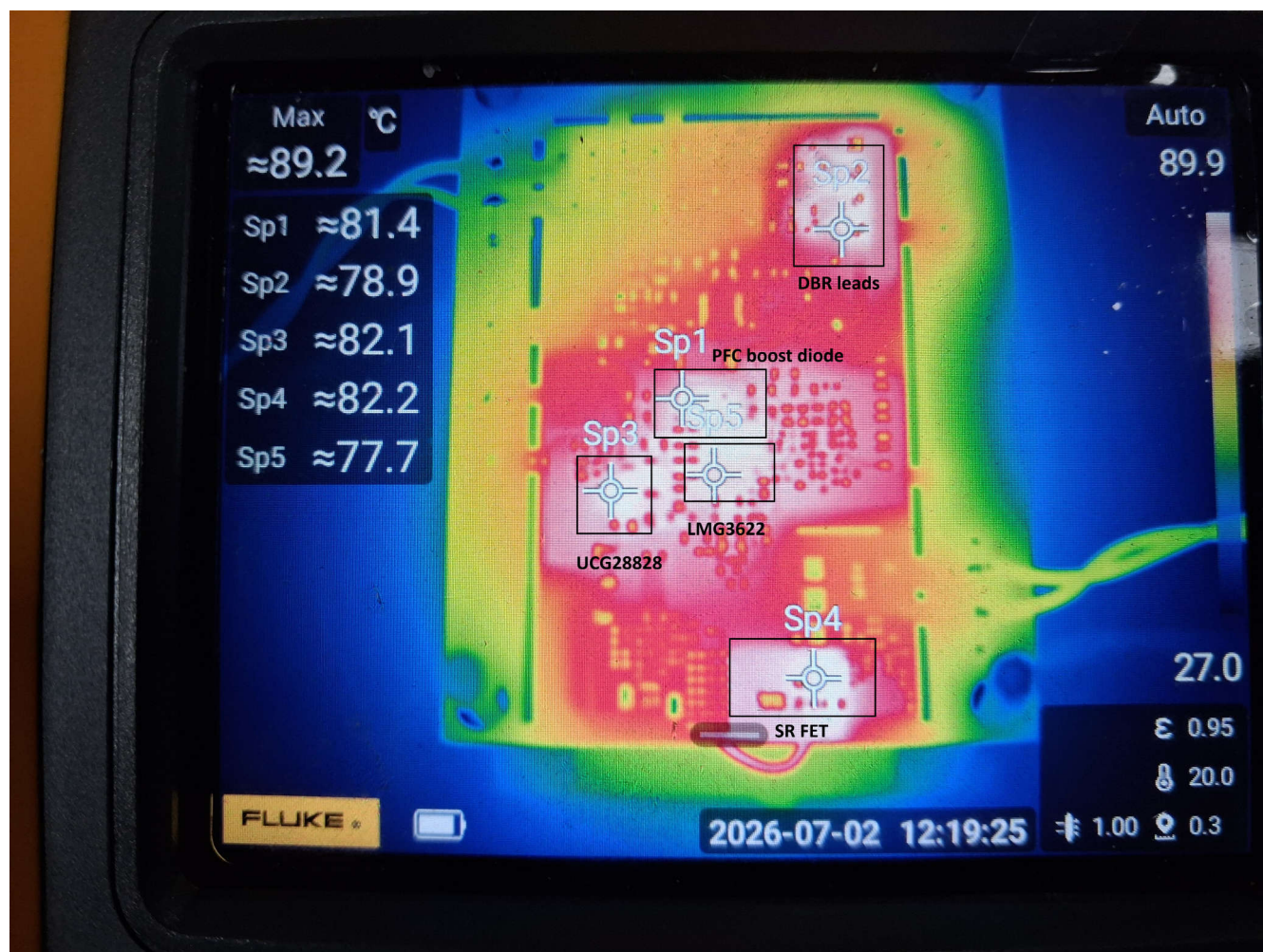


図 3-76. 入力 = 90VAC/60Hz、出力 = 24V/5A、2 時間実行後にスキャン (底面)

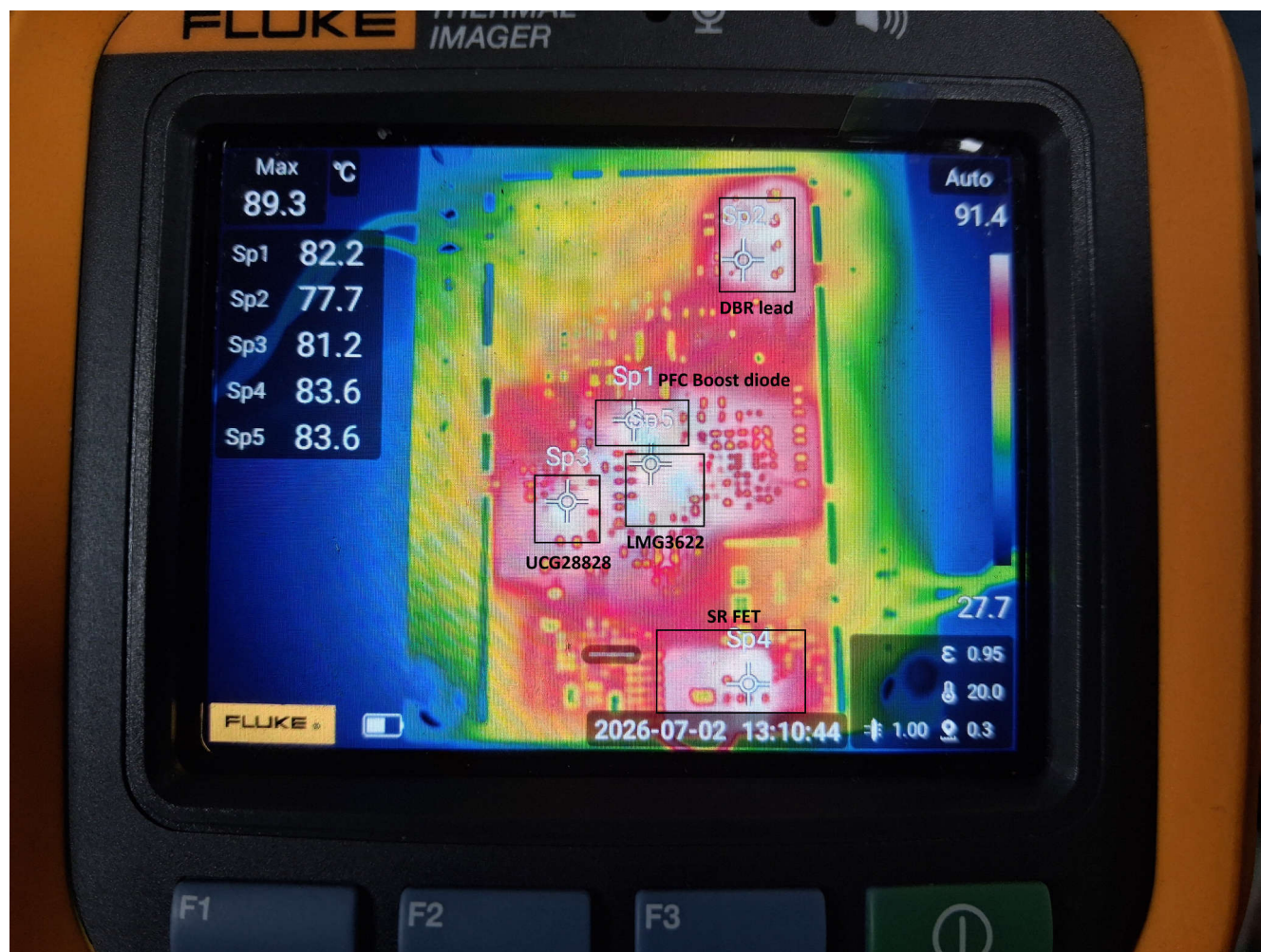


図 3-77. 入力 = 90VAC/60Hz、出力 = 24V/5A、3 時間実行後にスキャン (底面)

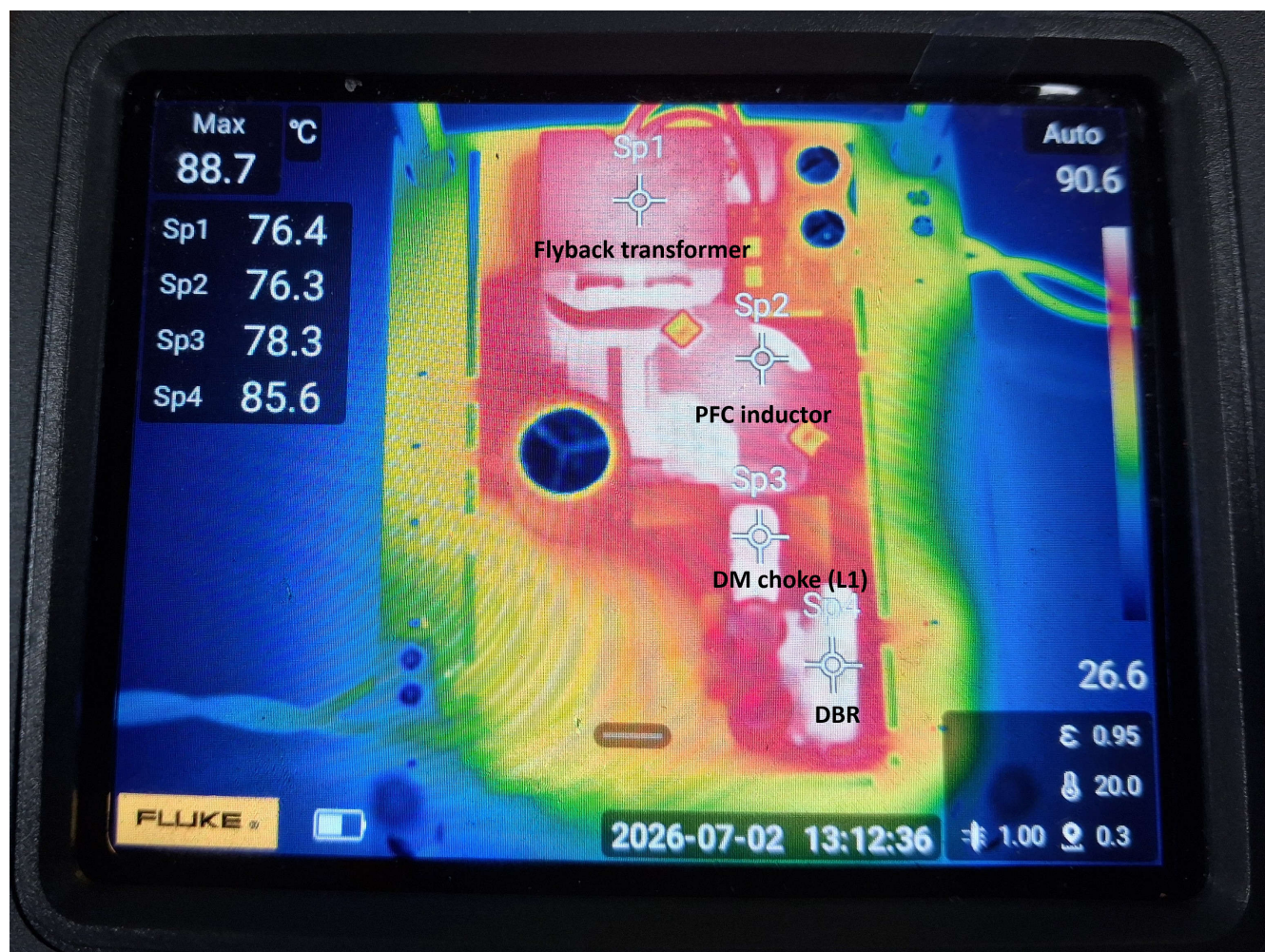
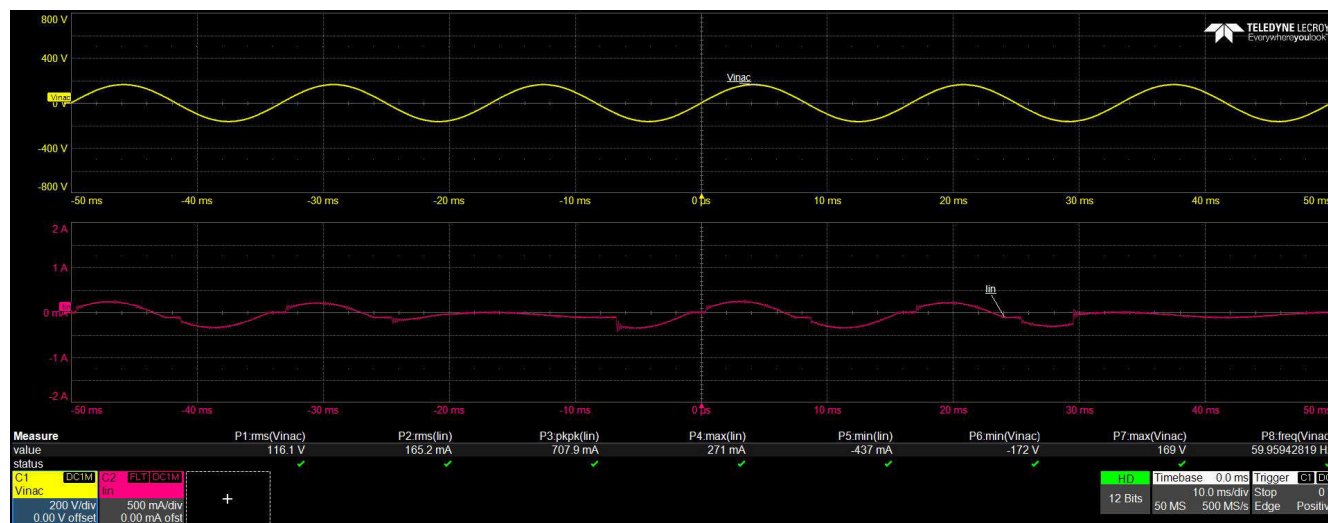


図 3-78. 入力 = 90VAC/60Hz、出力 = 24V/5A、3 時間実行後にスキャン (上面)

3.13 PFC テスト結果: V_{in} と I_{in} との関係

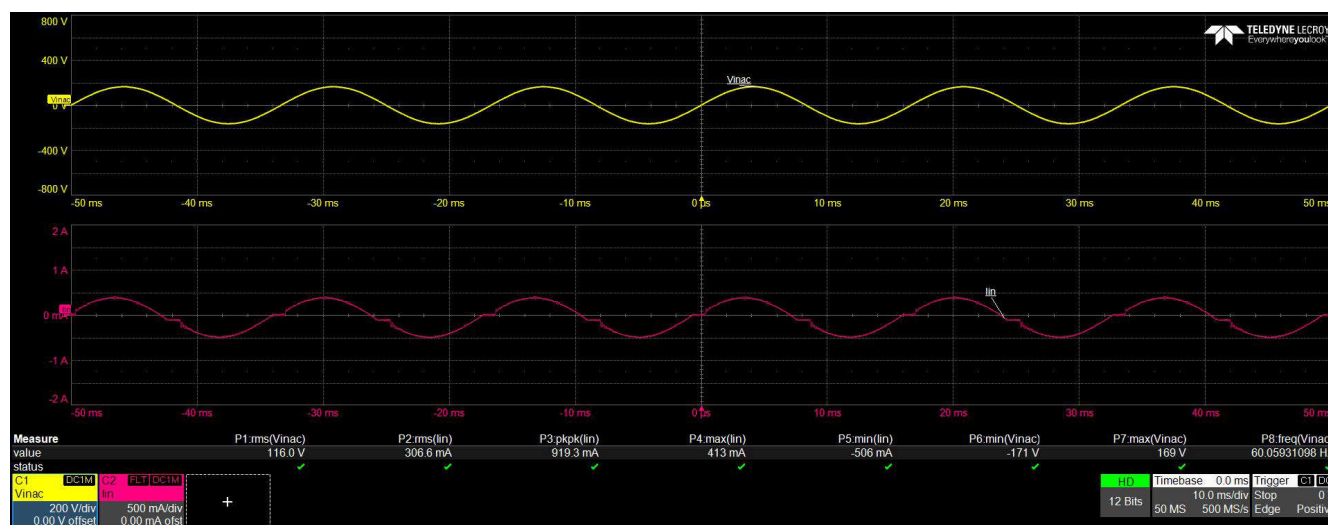
以下の波形は、115VAC/60Hz および 230VAC/50Hz の入力電圧において 24V 出力を設定した場合のさまざまな負荷条件での入力電流の挙動を示しています。



C1 = AC 入力電圧

C2 = 入力電流

図 3-79. $V_{in} = 115VAC/60Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 0.5A$



C1 = AC 入力電圧

C2 = 入力電流

図 3-80. $V_{in} = 115VAC/60Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 1.25A$

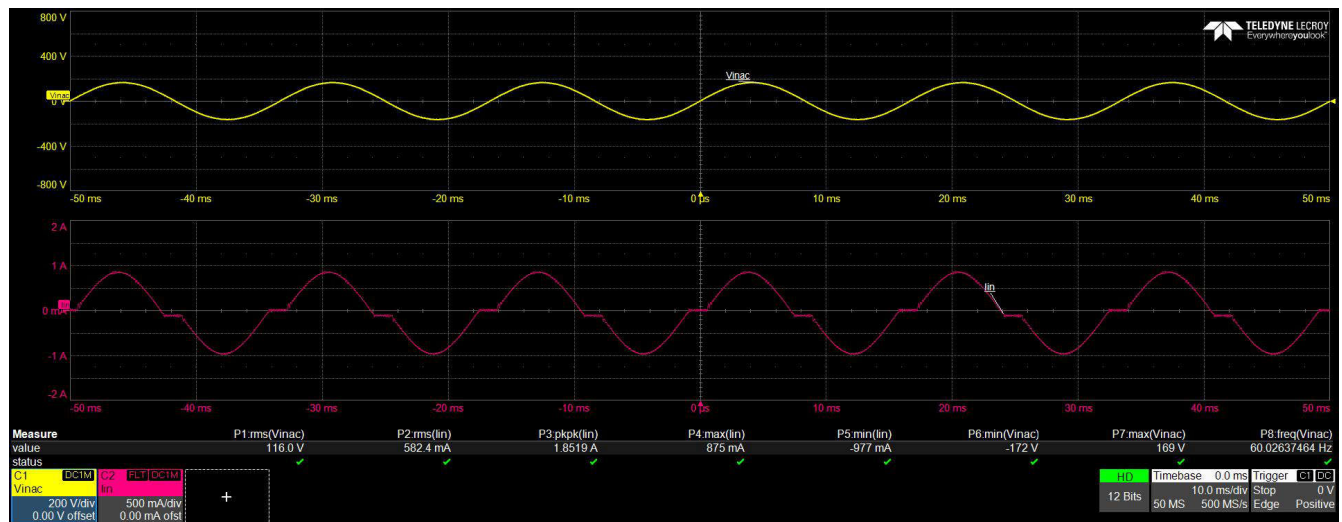


図 3-81. $V_{in} = 115\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 2.5\text{A}$

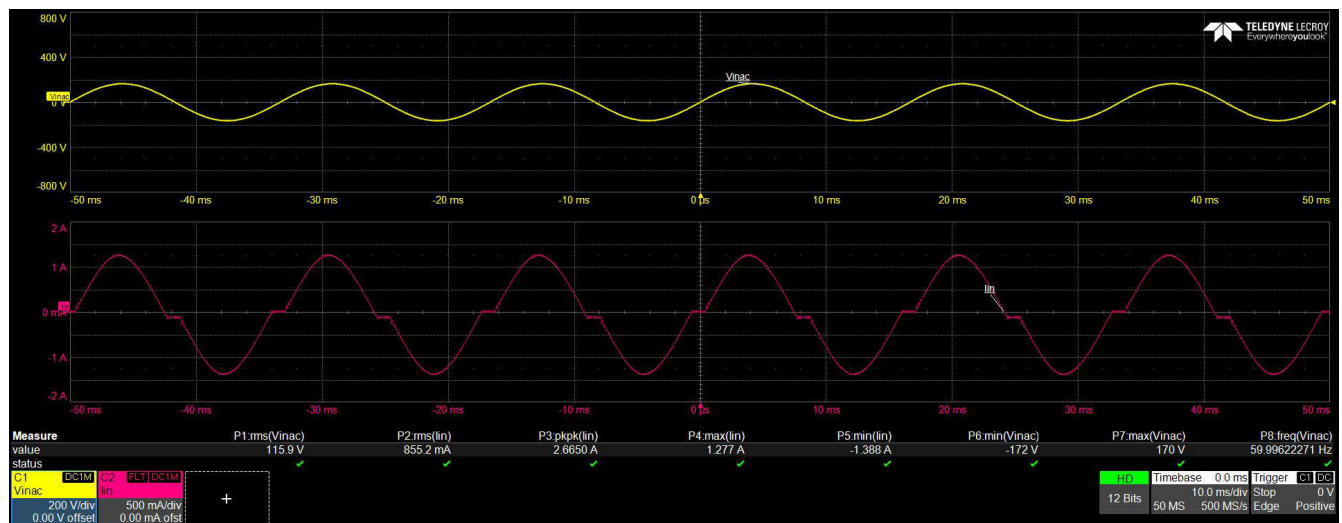
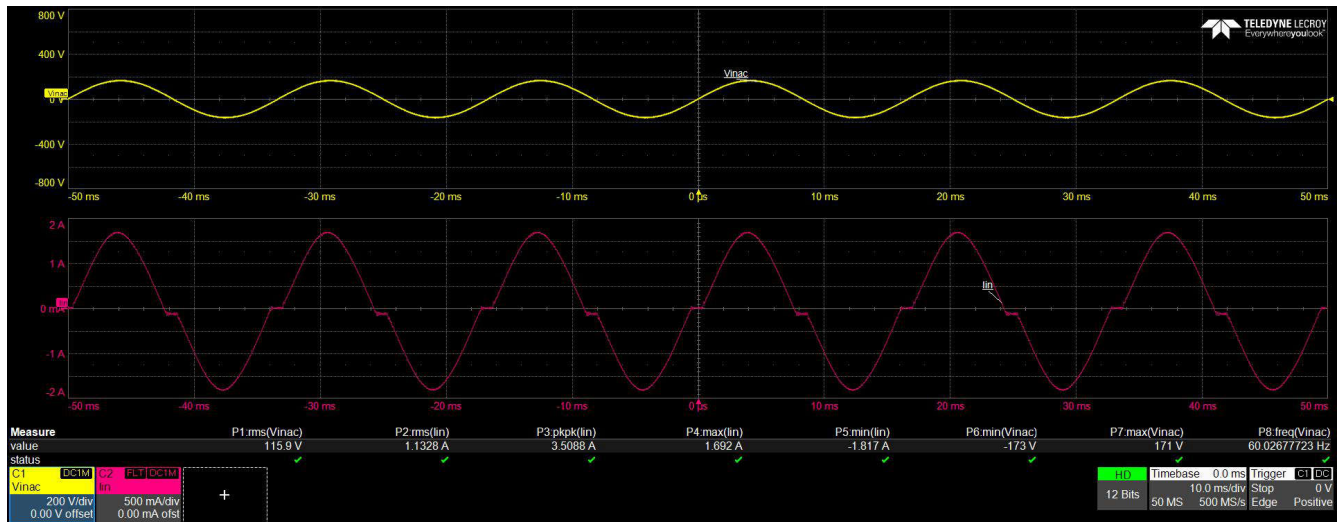


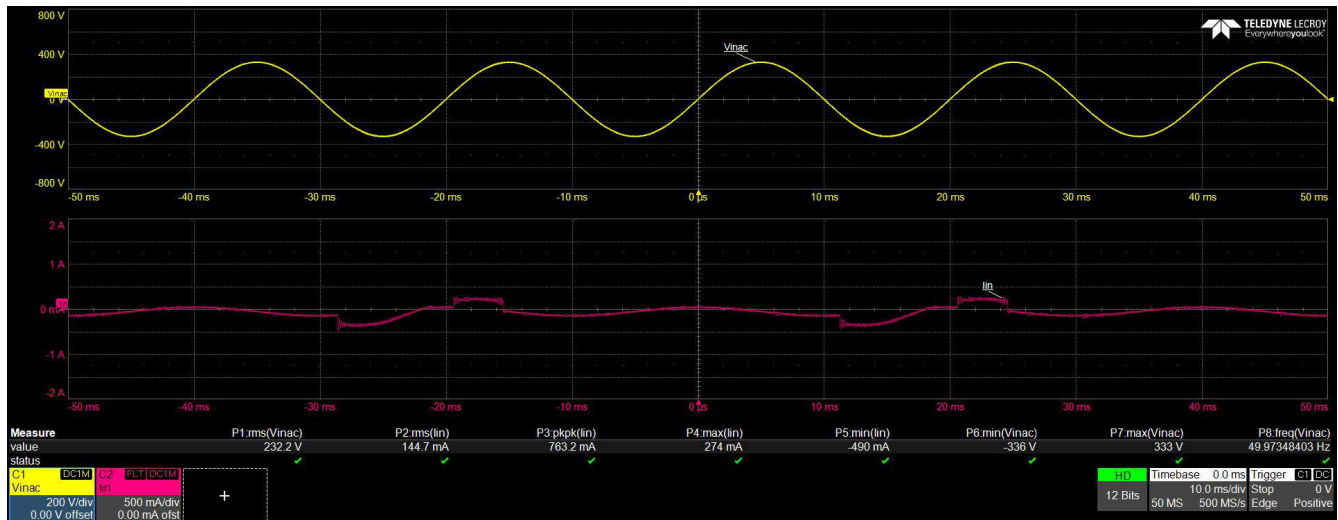
図 3-82. $V_{in} = 115\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 3.75\text{A}$



C1 = AC 入力電圧

C2 = 入力電流

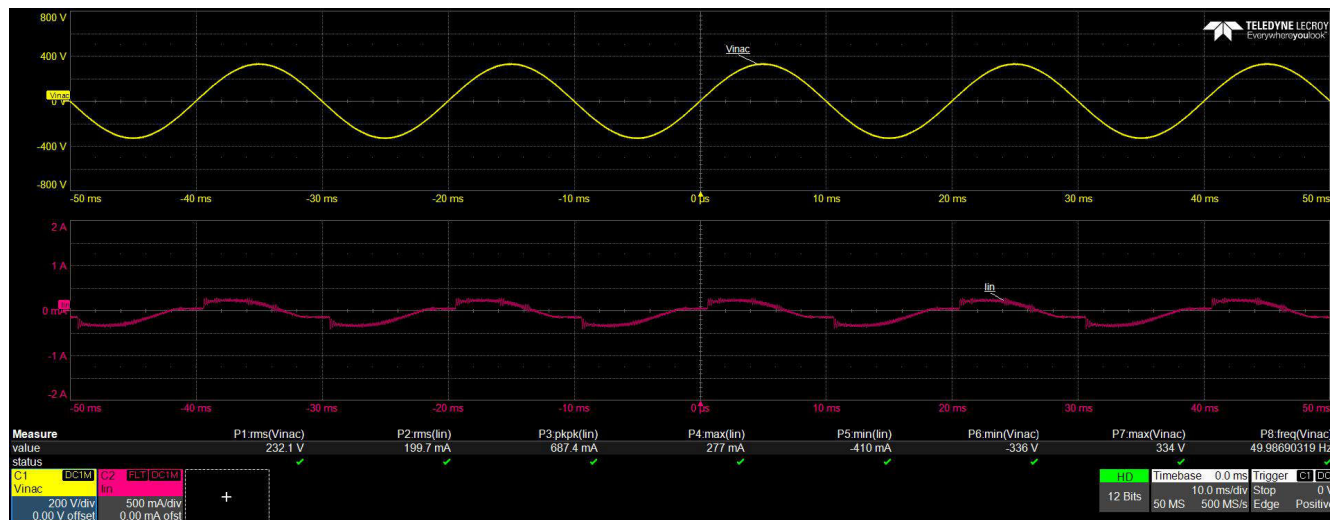
図 3-83. $V_{in} = 115\text{VAC}/60\text{Hz}$, $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 5\text{A}$



C1 = AC 入力電圧

C2 = 入力電流

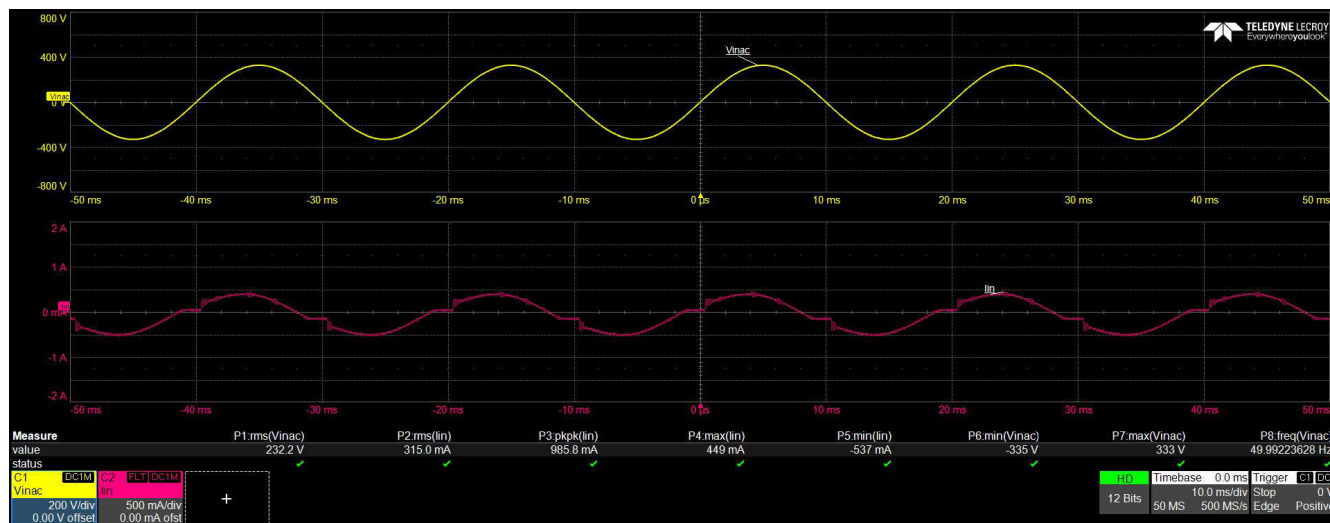
図 3-84. $V_{in} = 230\text{VAC}/50\text{Hz}$, $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 0.5\text{A}$



C1 = AC 入力電圧

C2 = 入力電流

図 3-85. $V_{in} = 230VAC/50Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 1.25A$



C1 = AC 入力電圧

C2 = 入力電流

図 3-86. $V_{in} = 230VAC/50Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 2.5A$

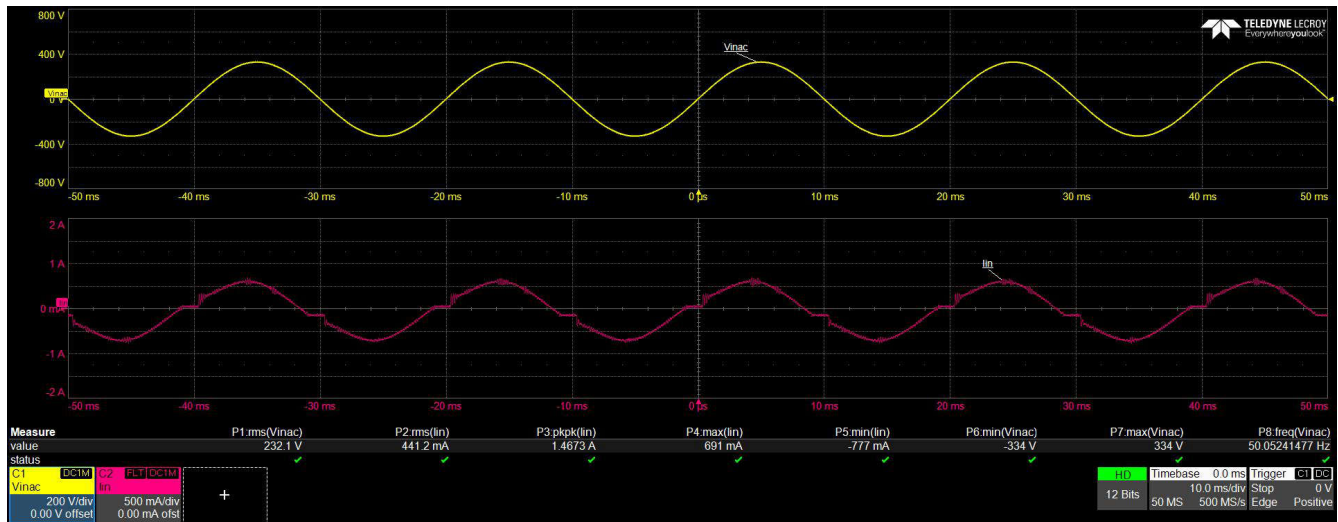


図 3-87. $V_{in} = 230VAC/50Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 3.75A$

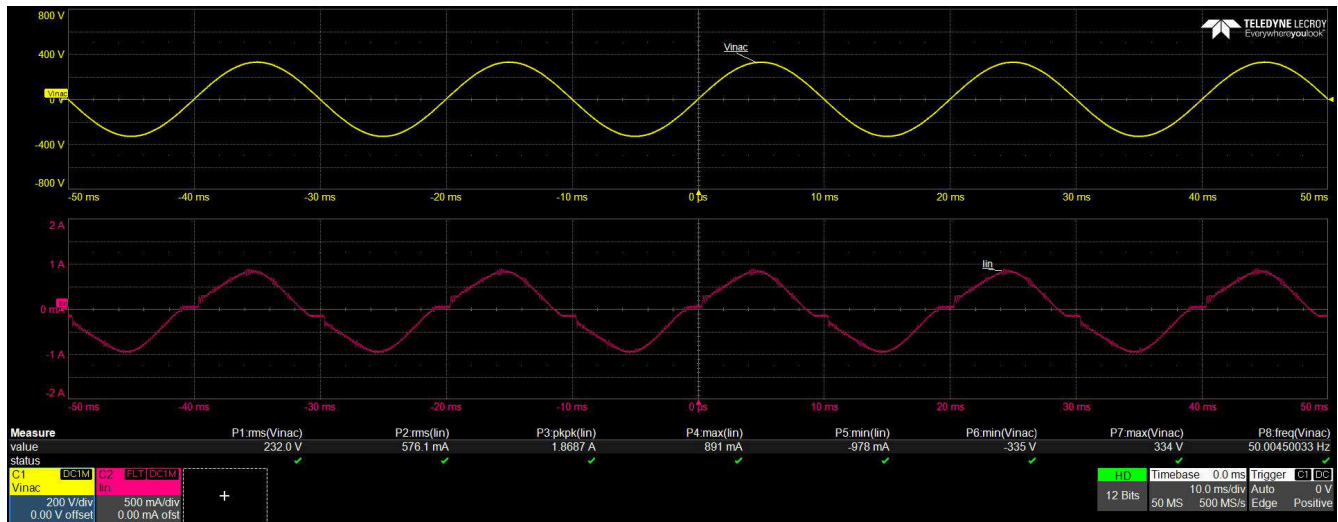
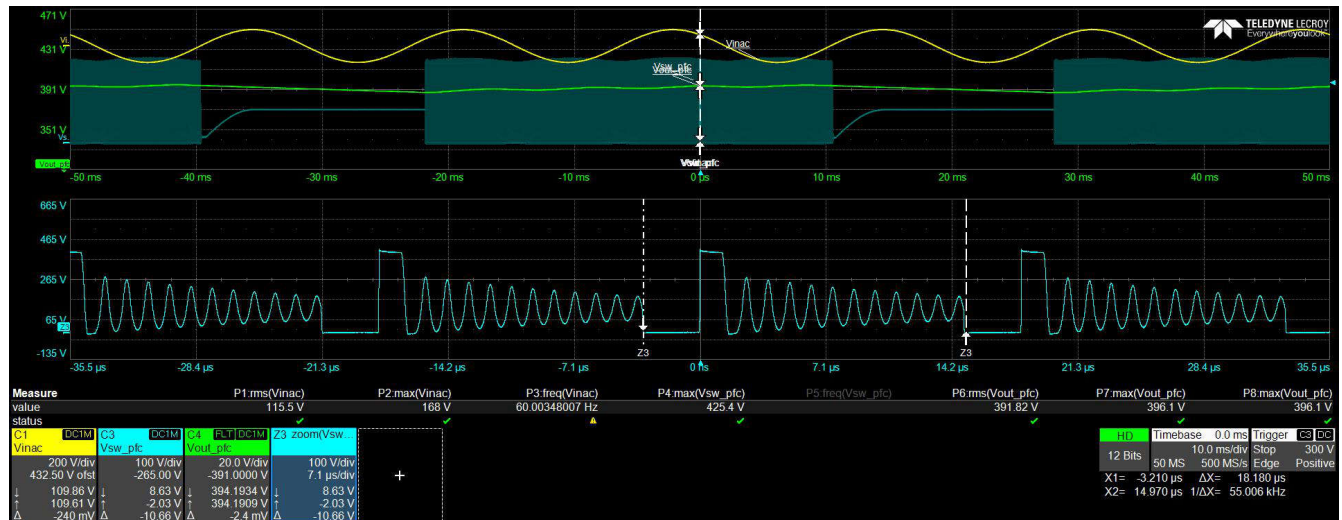


図 3-88. $V_{in} = 230VAC/50Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 5A$

3.14 PFC テスト結果: 負荷に対するスイッチ ノードの波形

以下の波形は、115VAC/60Hz および 230VAC/50Hz の入力電圧において 24V 出力を設定した場合のさまざまな負荷条件でのスイッチ ノードの挙動を示しています。

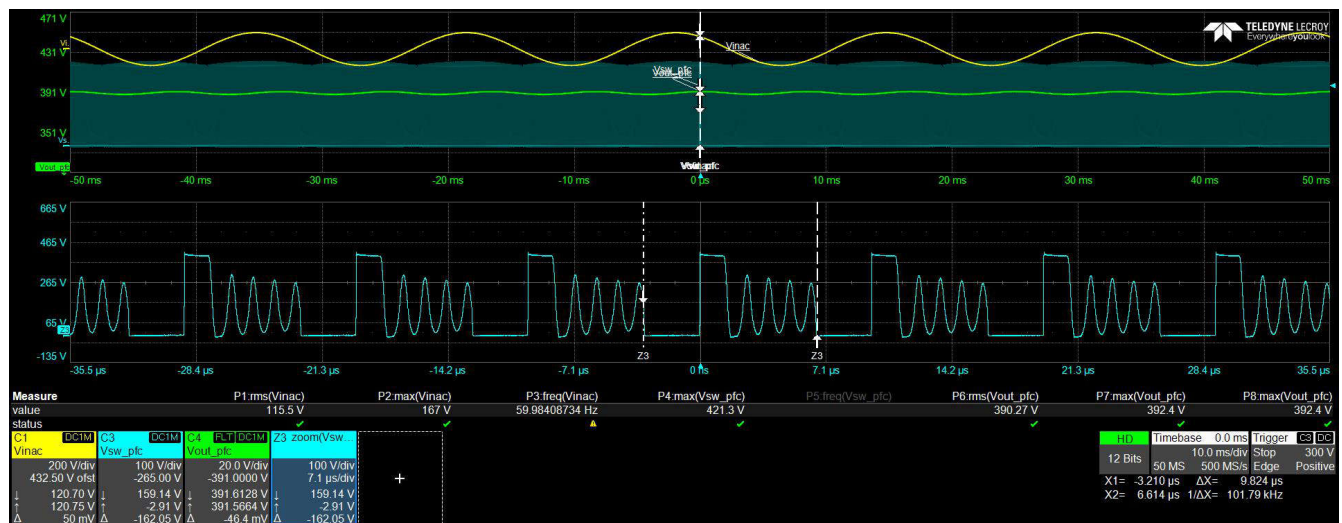


C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-89. $V_{in} = 115VAC/60Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 0.5A$

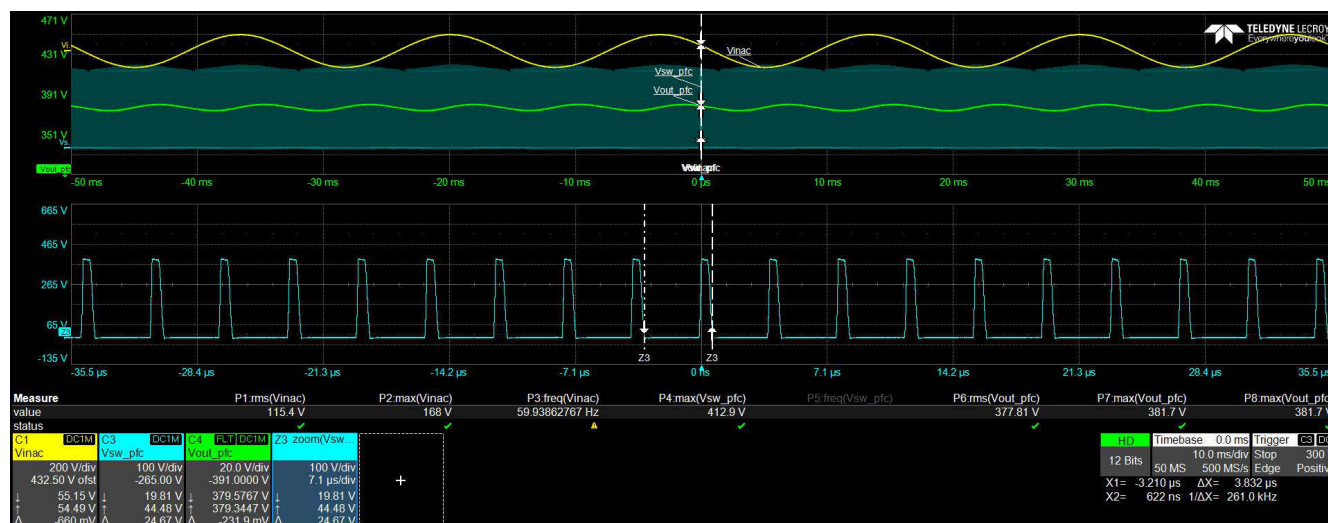


C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-90. $V_{in} = 115VAC/60Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 1.25A$

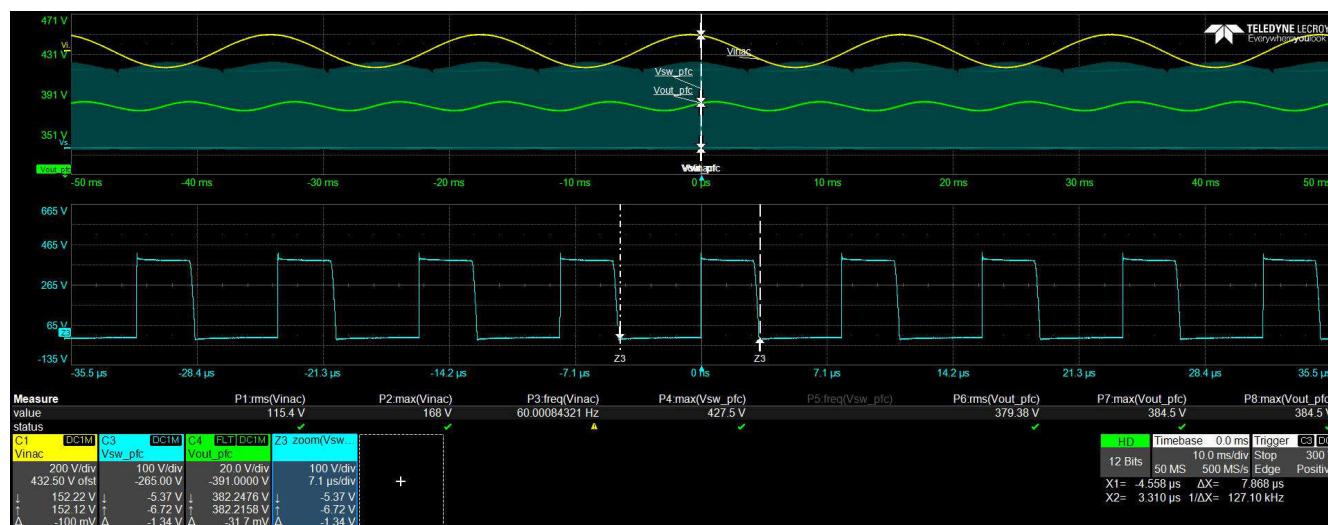


C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-91. $V_{in} = 115\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 2.5\text{A}$



C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-92. $V_{in} = 115\text{VAC}/60\text{Hz}$ 、 $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 3.75\text{A}$

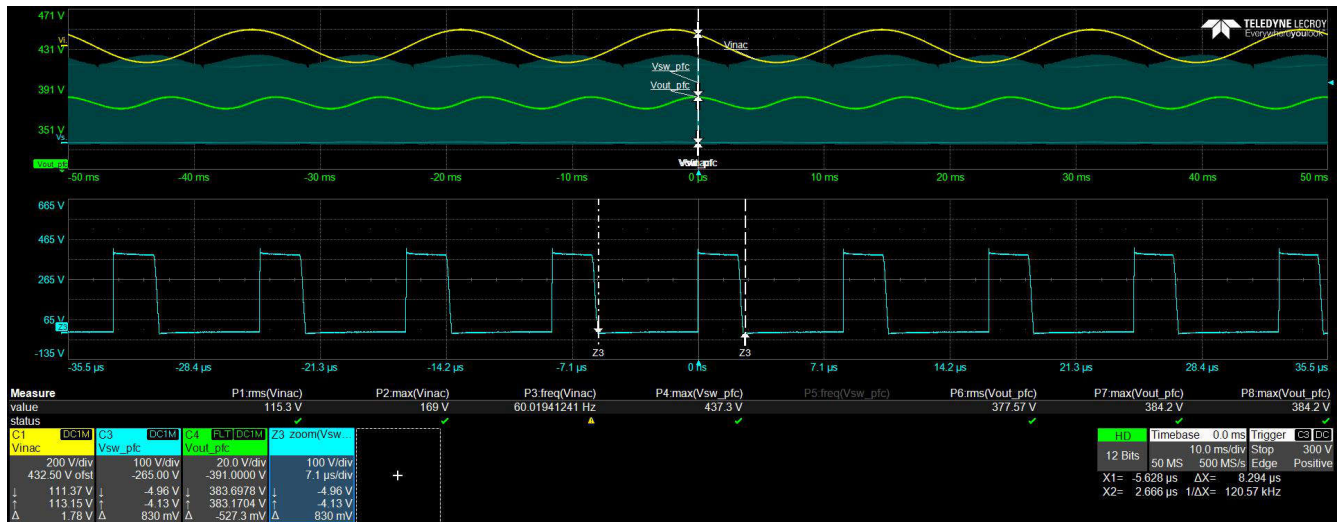


図 3-93. $V_{in} = 115\text{VAC}/60\text{Hz}$, $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 5\text{A}$

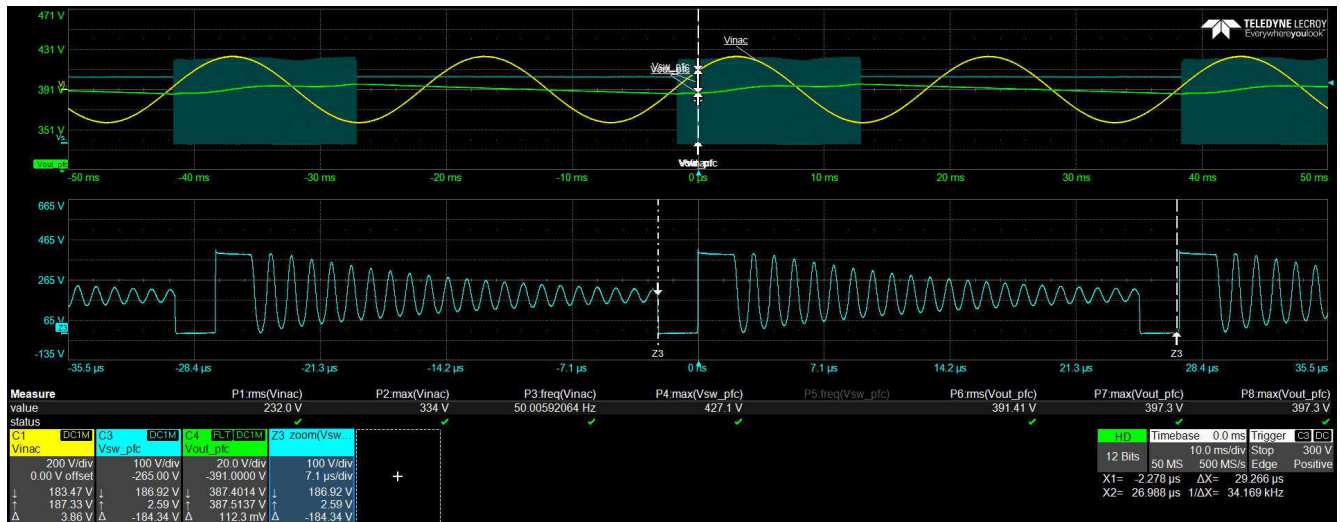
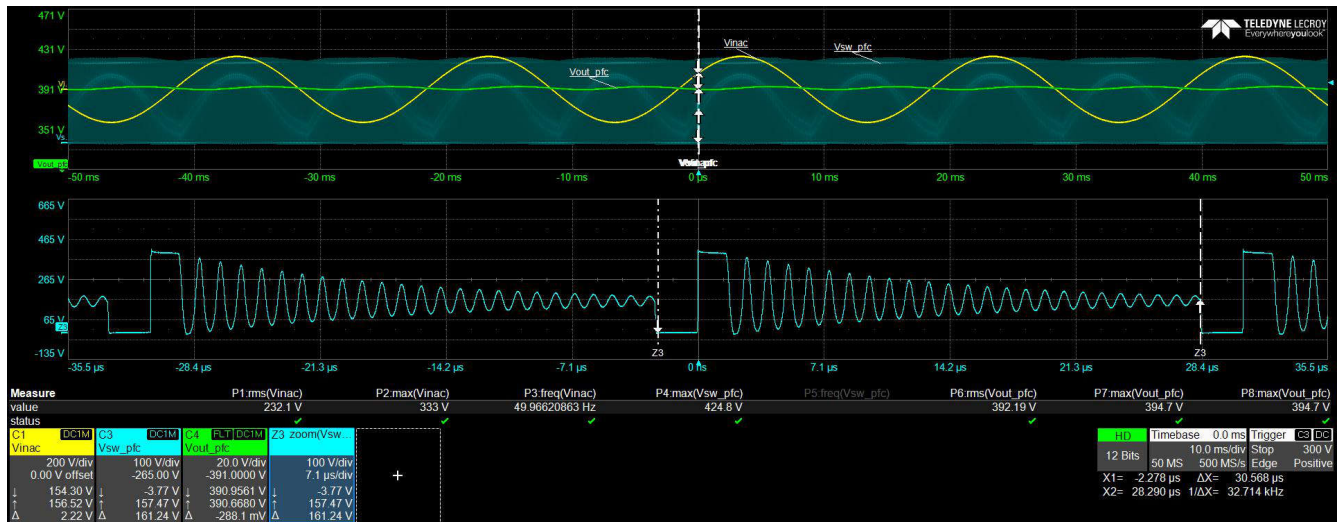


図 3-94. $V_{in} = 230\text{VAC}/50\text{Hz}$, $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 0.5\text{A}$

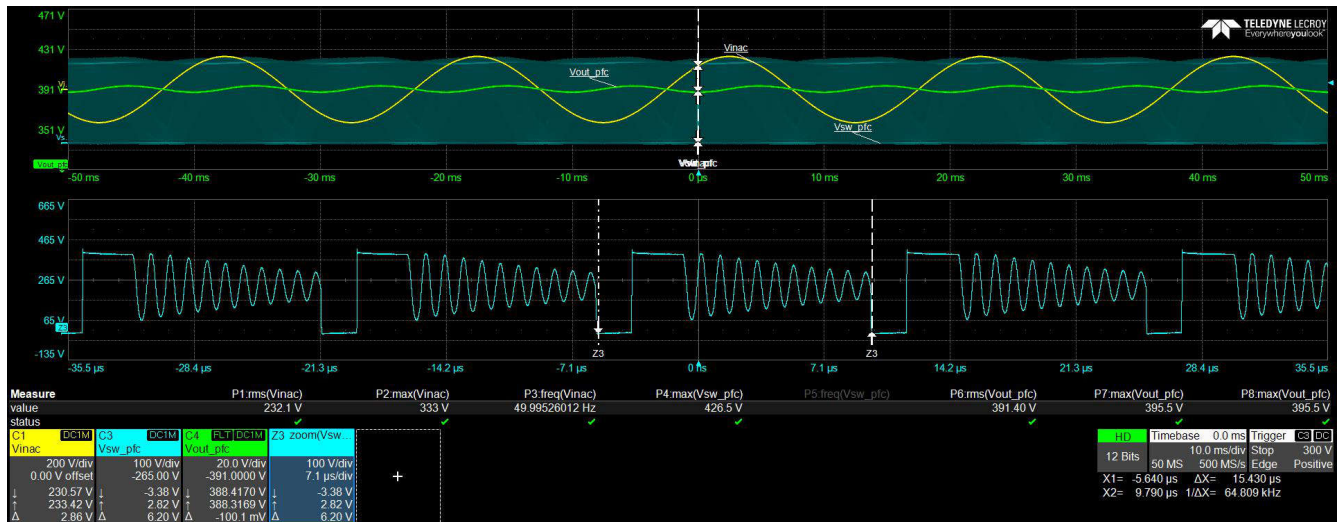


C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-95. $V_{in} = 230\text{VAC}/50\text{Hz}$ 、 $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 1.25\text{A}$

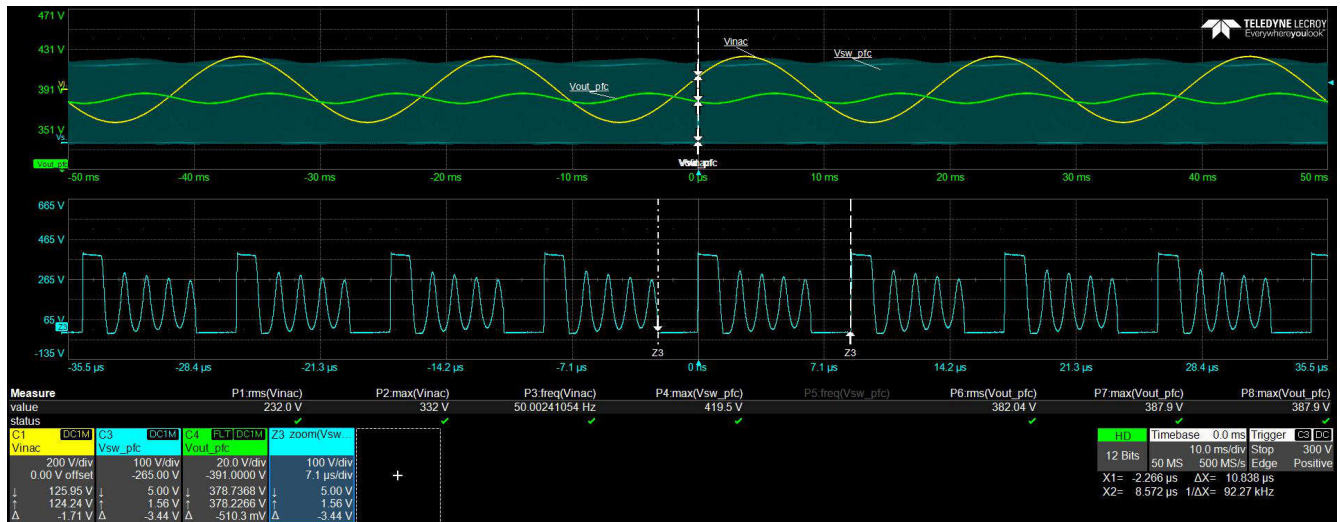


C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-96. $V_{in} = 230\text{VAC}/50\text{Hz}$ 、 $V_{out_fly} = 24\text{V}$ および $I_{out} = 2.5\text{A}$

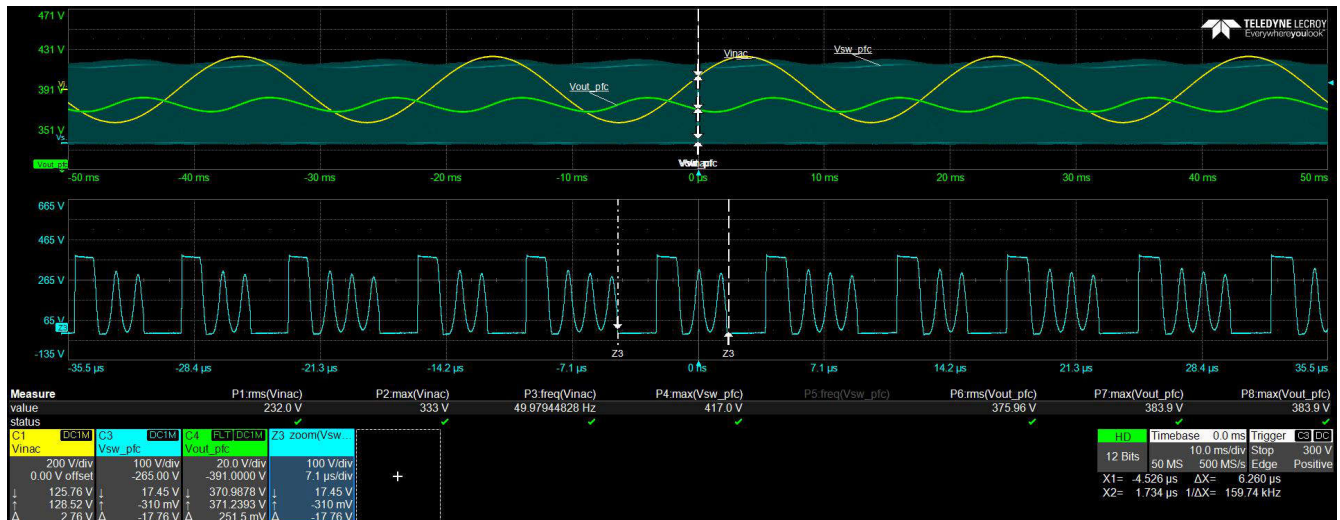


C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-97. $V_{in} = 230VAC/50Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 3.75A$



C1 = AC 入力電圧

C3 = PFC スイッチング ノード電圧

C4 = PFC 出力電圧

図 3-98. $V_{in} = 230VAC/50Hz$ 、 $V_{out_fly} = 24V$ および $I_{out} = 5A$

3.15 PFC テスト結果: 効率 (外部 Vcc 使用の PFC のみ)

このセクションでは、PFC への外部バイアス電源を 15V とした場合の PFC 段の効率を示します。各動作点にわたる効率の計算では、消費電力 (たとえば $V_{cc} \times I_{V_{cc}}$) が考慮されています。次の表に、115VAC、60Hz、および 230VAC、50Hz でのフロントエンド PFC の効率を示します。

V _{IN} および F _{line}	P _{IN} (W)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{OUT} (W)	効率
115VAC および 60Hz	3.273	390.3	0.008	3.111	94.19%
115VAC および 60Hz	10.483	390.4	0.026	9.963	95.04%
115VAC および 60Hz	21.075	391.1	0.051	20.126	95.50%
115VAC および 60Hz	31.406	390	0.077	29.956	95.38%
115VAC および 60Hz	41.315	385.8	0.103	39.626	95.91%
115VAC および 60Hz	51.992	387.1	0.129	49.948	96.07%
115VAC および 60Hz	61.257	380.6	0.155	58.909	96.17%
115VAC および 60Hz	71.763	382.5	0.181	69.076	96.26%
115VAC および 60Hz	81.864	380.4	0.207	78.815	96.28%
115VAC および 60Hz	94.327	379.2	0.239	90.629	96.08%
115VAC および 60Hz	104.839	378.4	0.266	100.654	96.01%
115VAC および 60Hz	114.869	377.6	0.292	110.259	95.99%
115VAC および 60Hz	125.244	376.9	0.318	119.854	95.70%
115VAC および 60Hz	135.382	376.4	0.347	130.611	95.77%
230VAC および 50Hz	3.238	390	0.008	3.026	93.01%
230VAC および 50Hz	10.761	390.2	0.027	10.352	96.06%
230VAC および 50Hz	20.675	390.2	0.051	19.916	96.19%
230VAC および 50Hz	30.980	390.5	0.077	29.971	96.65%
230VAC および 50Hz	41.318	391.3	0.102	40.093	96.93%
230VAC および 50Hz	51.273	391.3	0.127	49.781	97.01%
230VAC および 50Hz	61.579	391.1	0.153	59.827	97.08%
230VAC および 50Hz	72.130	390.1	0.180	70.124	97.16%
230VAC および 50Hz	83.268	386.9	0.209	80.986	97.19%
230VAC および 50Hz	93.290	382.4	0.238	91.011	97.49%
230VAC および 50Hz	103.479	380.4	0.265	100.806	97.28%
230VAC および 50Hz	113.479	378.7	0.292	110.580	97.39%
230VAC および 50Hz	123.912	376.5	0.321	120.857	97.49%
230VAC および 50Hz	133.826	374.3	0.348	130.256	97.29%

効率曲線:

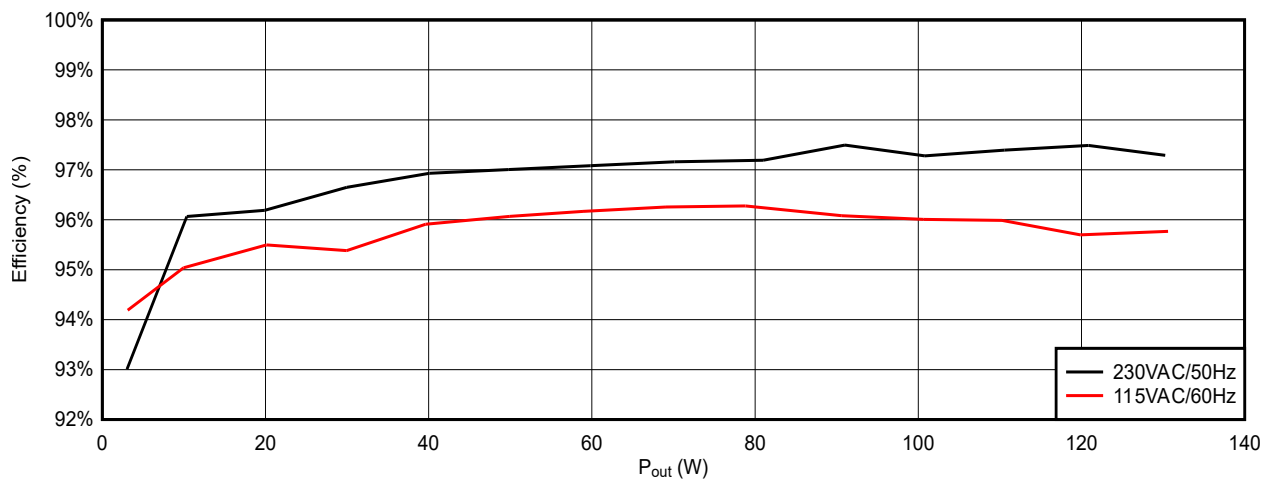


図 3-99. 外部 V_{cc} = 15V でのフロント エンド PFC の効率曲線

4.1 回路図

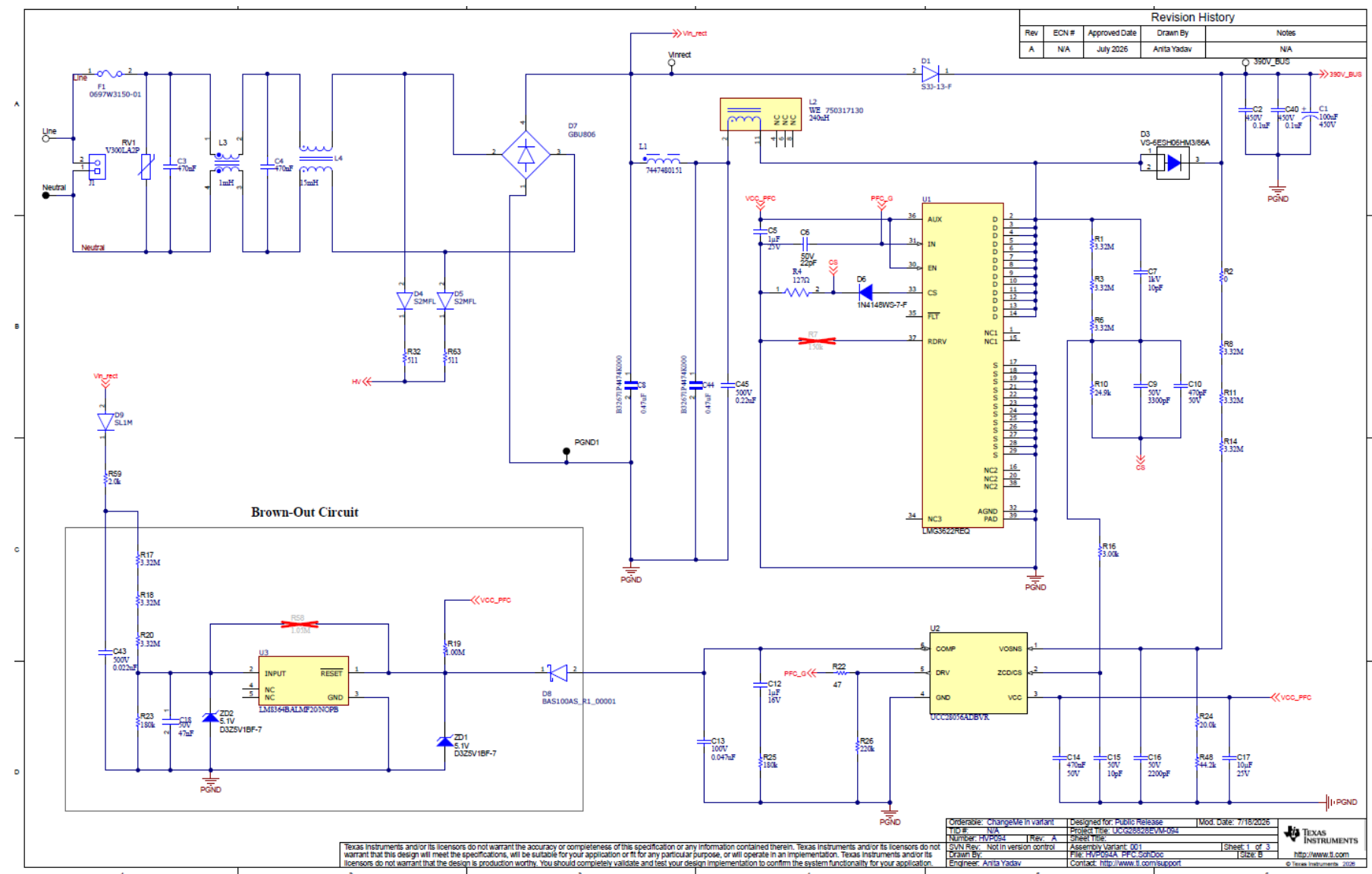


图 4-1. UCG28828EVM-094:PFC 回路图

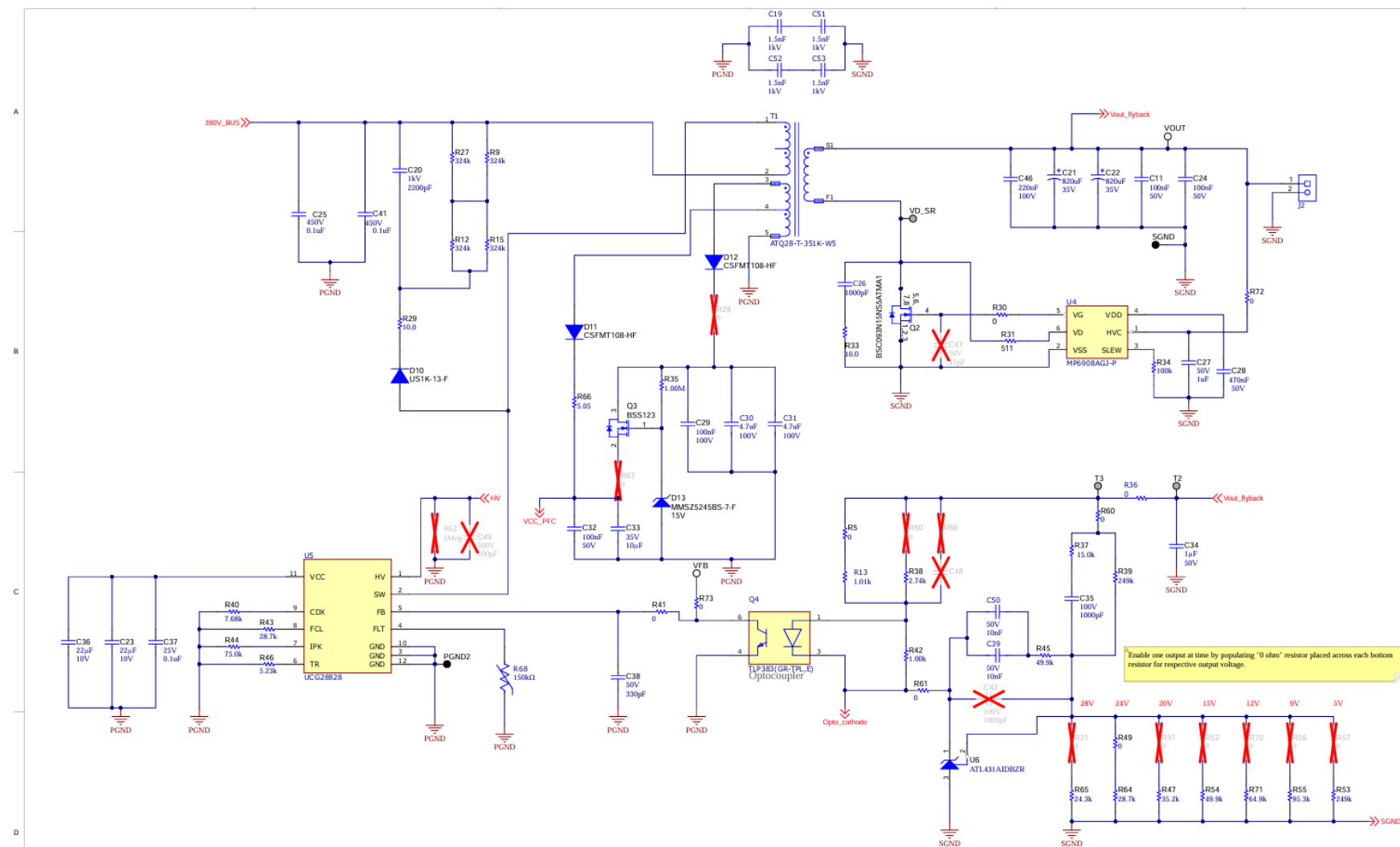


図 4-2. UCG28828EVM-094:フライバックの回路図

4.2 PCB のレイアウト

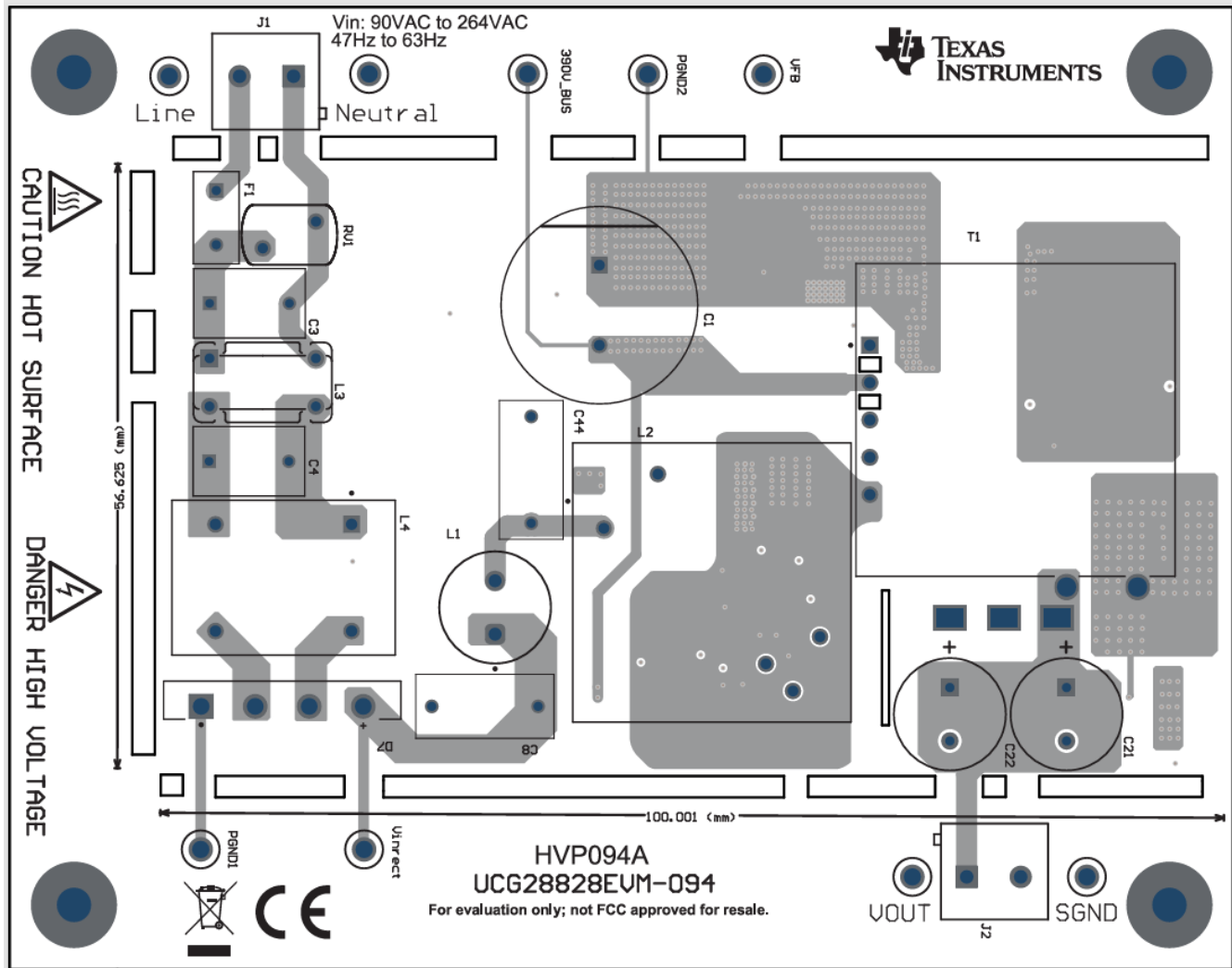


図 4-3. 評価基板アセンブリ (上面図)

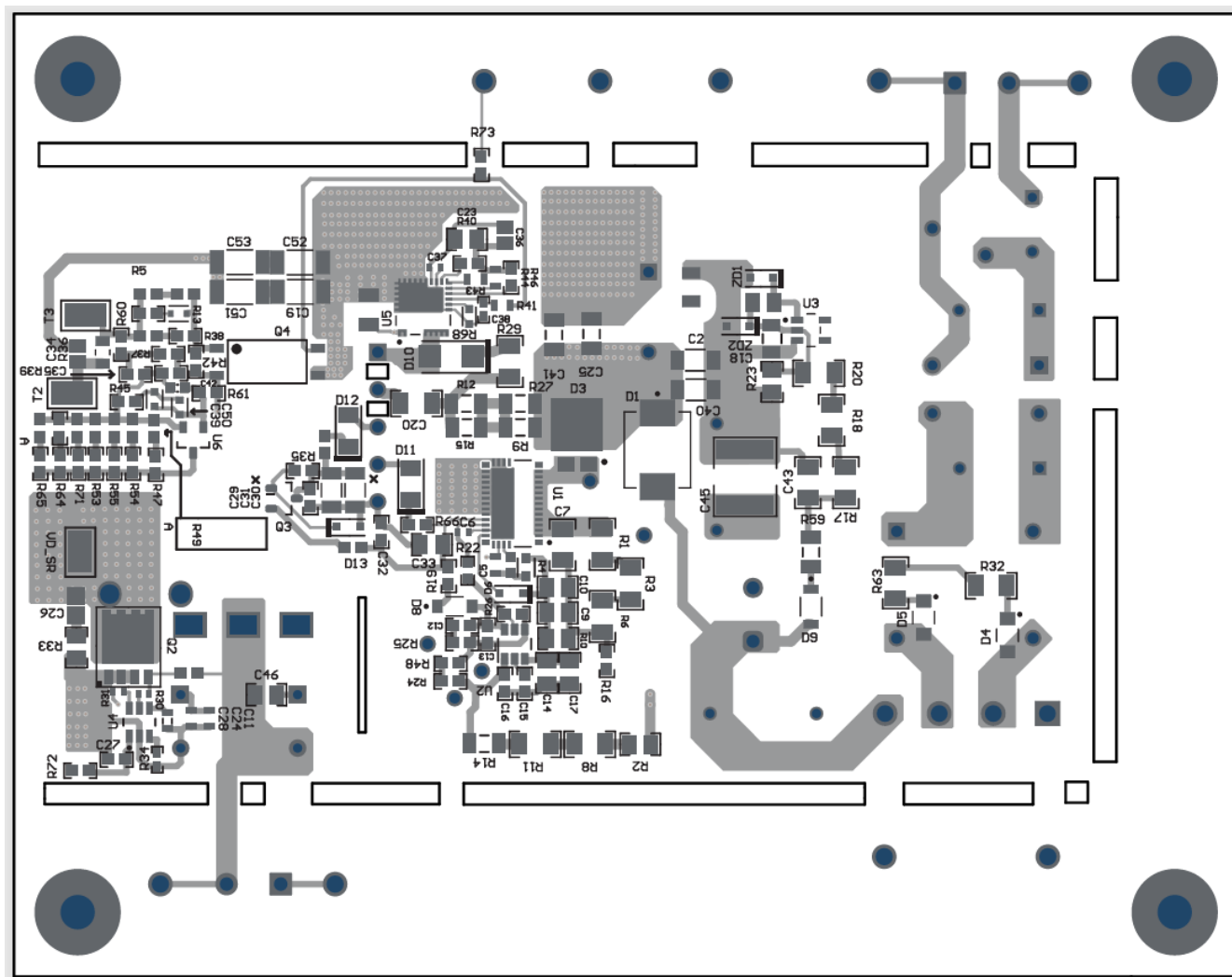


図 4-4. 評価基板アセンブリ (底面図)

4.3 トランスの詳細

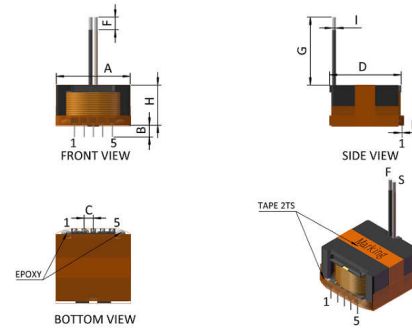
この設計では 3L Coils 製のトランスを採用しており、その仕様を以下に示します。このトランスは、漏れインダクタンスとターン間静電容量の間のバランスが良好です。ATQ28-T-351K-W5 トランスの詳細は以下のとおりです。

パラメータ	標準値	ピン/リード
インダクタンス (μH)	350 ± 10%	1 – 2
リーケージインダクタンス (μH)	3.76	1 – 2
D.C. 抵抗 (mΩ)	97.17	1 – 2
D.C. 抵抗 (mΩ)	9.57	S - F
寄生容量 (pF)	47.8	1 - S
巻数比	25T:5T:3T:10T± 0.5TS	(1-2):(S-F):(4-5):(3-4)



図 4-5. ATQ28-T-351K-W5:回路図

1.Mechanical Dimension:



Item	Spec.(mm)	Typ.(mm)	Item	Spec.(mm)	Typ.(mm)
A	29.3 MAX	28.56	F	5.0 ± 0.5	5.1
B	3.8 ± 0.5	3.87	G	50 ± 2.0	50.3
C	3.5 ± 0.5	3.51	H	20.0 MAX	19.1
D	30.5 MAX	29.71	I	1.8 MAX	1.6
E	0.8 ± 0.1	0.80	J		

Notes:

Marking :ATQ28-T-351K

図 4-6. ATQ28-T-351K-W5:機械的寸法

3、DC-BIAS CURVE.

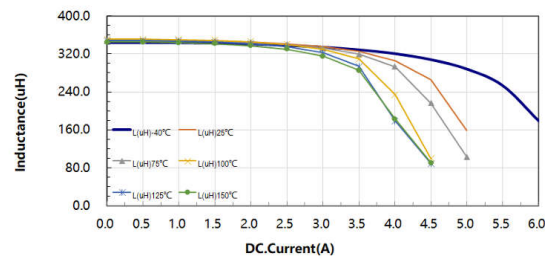


図 4-7. ATQ28-T-351K-W5: DC バイアス曲線

4.4 部品表

下表に UCG28828EVM-098 の部品表を示します。

表 4-1. 部品表

記号	数量	説明	部品番号
390V_BUS、ライン、VFB、Vinrect、Vout	5	テストポイント、多目的、白色、TH	5012
C1	1	100μF、450V、アルミ電解コンデンサ、ラジアル、缶型、105°C で 3000 時間	KCMJ2002W101MF
C2、C25、C40、C41	4	CAP、CERM、0.1μF、450V、±10%、X7T、AEC-Q200 グレード 1、1206_190	CGA5L4X7T2W104K160AE
C3、C4	2	470nF ±10% X2 プラグイン、P = 7.5mm サプレッションコンデンサ、ROHS 準拠	MPX474K31B9KN20600
C5	1	コンデンサ、セラミック、1μF、25V、±10%、X7R、AEC-Q200 グレード 1、0603	CGA3E1X7R1E105K080AC
C6	1	コンデンサ、セラミック、22pF、50V、±5%、C0G/NP0、0402	CC0402JRNPO9BN220
C7	1	コンデンサ、セラミック、10pF、1000V、±5%、C0G/NP0、1206	VJ1206A100JXGAT5Z
C8、C44	2	0.47μF フィルムコンデンサ 160V、450V、ポリプロピレン (PP)、メタライズド、ラジアル型	B32671P4474K000
C9	1	コンデンサ、セラミック、3300pF、50V、±5%、C0G/NP0、0805	GRM2165C1H332JA01D

表 4-1. 部品表 (続き)

記号	数量	説明	部品番号
C10	1	コンデンサ、セラミック、470pF、50V、±10%、X7R、0805	C0805C471K5RACTU
C11、C24	2	コンデンサ、セラミック、0.1μF、50V、±10%、X7R、AEC-Q200 グレード 1、0603	06035C104KAZ2A
C12	1	コンデンサ、セラミック、1μF、16V、±10%、X7R、AEC-Q200 グレード 1、0603	GCM188R71C105KA64J
C13	1	コンデンサ、セラミック、0.047μF、100V、±10%、X7S、0603	C1608X7S2A473K080AB
C14	1	コンデンサ、セラミック、0.47μF、50V、±10%、X7R、0805	GRM21BR71H474KA88L
C15	1	コンデンサ、セラミック、10pF、50V、±5%、C0G/NP0、0603	C0603C100J5GACTU
C16	1	コンデンサ、セラミック、2200pF、50V、±5%、C0G/NP0、0603	GRM1885C1H222JA01D
C17	1	コンデンサ、セラミック、10μF、25V、±10%、X7R、0805	GRM21BZ71E106KE15L
C18	1	汎用チップ マルチレイヤ セラミック コンデンサ、1206、47000pF、C0G、30ppm/°C、5%、50V	GRM31M5C1H473JA01K
C19、C51、C52、C53	4	1500pF ±10% 250VAC セラミック コンデンサ X7R 1808 (4520 メートル法)	1808YA250152KJTSYX
C20	1	コンデンサ、セラミック、2200pF、1000V、±10%、X7R、1206	GRM31BR73A222KW01L
C21、C23	2	アルミ電解コンデンサ (ラジアルリード形) 820μF ±20% 35V	EEUFS1V821
C23、C36	2	コンデンサ、セラミック、22μF、10V、±20%、X7R、0805	GRM21BZ71A226ME15L
C26	1	CAP CER 1000PF 1KV X7R 0805	C0805X102KDRACTU
C27	1	コンデンサ、セラミック、1μF、50V、±10%、X5R、0603	C1608X5R1H105K080AB
C28	1	コンデンサ、セラミック、0.47μF、50V、±10%、X7R、0603	C1608X7R1H474K080AC
C29	1	コンデンサ、セラミック、0.1μF、100V、±10%、X7R、AEC-Q200 グレード 1、0603	HMK107B7104KAHT
C30、C31	2	汎用チップ マルチレイヤ セラミック コンデンサ、1206、4.7μF、X7R、15%、10%、100V	GRM31CZ72A475KE11L
C32	1	コンデンサ、セラミック、0.1μF、50V、±10%、X7R、0603	C1608X7R1H104K080AA
C33	1	コンデンサ、セラミック、10μF、35V、±10%、X5R、0805	GMK212BBJ106KG-T
C34	1	コンデンサ、セラミック、1μF、50V、±10%、X7R、AEC-Q200 グレード 1、0805	08055C105K4Z2A
C35	1	コンデンサ、セラミック、1000pF、100V、±5%、C0G/NP0、0603	C1608C0G2A102J080AA
C37	1	コンデンサ、セラミック、0.1μF、25V、±10%、X7R、0402	GRM155R71E104KE14D
C38	1	コンデンサ、セラミック、330pF、50V、±1%、C0G/NP0、0402	GRM1555C1H331FA01J
C39、C50	2	マルチレイヤ セラミック コンデンサ 10nF 50V C0G ±5% 0603 紙 T/R	GRT1885C1H103JA02D
C43	1	コンデンサ、セラミック、0.022μF、500V、±10%、X7R、1206	VJ1206Y223KXEAT5Z
C45	1	コンデンサ、セラミック、0.22μF、500V、±10%、X7R、2220	VJ2220Y224KBEAT4X
C46	1	コンデンサ、セラミック、0.22μF、100V、±10%、X7R、0805	CL21B224KCFNSWE
D1	1	整流器、シングル、600V、3A、Smc Rohs 準拠:はい	S3J-13F
D3	1	ダイオード、ハイパーファスト、600V、6A、AEC-Q101、TO-277A	VS-6ESH06HM3/86A
D4、D5	2	ダイオード、1000V、2A、表面実装、SOD-123F	S2MFL
D6	1	ダイオード、スイッチング、75V、0.15A、AEC-Q101、SOD-323	1N4148WS-7F
D7	1	ダイオード整流器ブリッジ シングル 600V 8A 4 ピン ケース GBU チューブ	GBU806
D8	1	ダイオード小信号ショットキー 100V 0.5A 2 ピン SOD-123T/R	BAS100AS_R1_00001

表 4-1. 部品表 (続き)

記号	数量	説明	部品番号
D9	1	ダイオード、1000V、1A、表面実装、SOD-123FL	SL1M
D10	1	ダイオード、高速整流器、800V、1A、SMA	US1K-13F
D11、D12	2	ダイオード、超高速整流器、600V、1A、3.5x1.6mm	CSFMT108-HF
D13	1	ダイオード、ツェナー、15V、200mW、SOD-323	MMSZ5245BS-7F
F1	1	ヒューズ小型スロー ブロー動作 3.15A 350V ラジアル 8.35×4×7.8mm 熱可塑性ボックス	0697W3150-01
H1、H2、H3、H4	4	スタンドオフ、六角、0.5 インチ L #4-40 ナイロン	NY PMS 440 0025 PH
H5、H6、H7、H8	4	スタンドオフ、六角、0.5 インチ L #4-40 ナイロン	1902C
J1、J2	2	端子台、5.08mm、2×1、真鍮、TH	ED120/2DS
L1	1	非シールド巻線型パワーチョーク 150uH 10% 10kHz フェラ イト 2A 180mΩ DCR RDL トレイ	7447480151
L2	1	インダクタ 240uH 10% 100kHz 0.223Ω 9.8A 26.16x26.16x19.05mm TH	750317130
L3	1	結合インダクタ、1mH、2A、0.045Ω、TH	744821201
L4	1	結合インダクタ 15mH	DC-SQ1515-02010-03L
ニュートラル、PGND1、 PGND2、SGND	4	テスト ポイント、多目的、黒色、TH	ニュートラル、PGND、SGND
Q2	1	MOSFET、N-CH、150V、87A、PG-TDSON-8	BSC093N15NS5ATMA1
Q3	1	MOSFET、N-CH、100V、0.17A、SOT-23	BSS123
Q4	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)
R1、R3、R6、R8、R11、R14、 R17、R18、R20	9	RES、3.32M、1%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、1206	CRCW12063M32FKEA
R2	1	抵抗、0、5%、0.125W、AEC-Q200 グレード 0、0805	ERJ-6GEY0R00V
R4	1	RES SMD 127Ω 0.5% 1/10W 0603	RT0603DRD07127RL
R5、R49	2	抵抗、0、5%、0.125W、AEC-Q200 グレード 0、0805	RC0603JR-070RL
R9、R12、R15、R27	4	RES、324k、1%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、1206	ERJ-8ENF3243V
R10	1	RES、24.9k、1%、0.125W、AEC-Q200 グレード 0、0805	CRCW080524K9FKEA
R13	1	1.01kΩ ±0.1% 0.1W、1/10W チップ抵抗 0603 (1608 メート ル法) 耐湿性薄膜	RN73R1JTDD1011B25
R16	1	RES、3.00k、0.1%、0.1W、0603	RG1608P-302B-T5
R19、R35	2	RES、1.00M、1%、0.125W、0603	MCT06030C1004FP500
R22	1	抵抗、47、5%、0.1W、AEC-Q200 グレード 0、0603	CRCW060347R0JNEA
R23	1	RES、180k、0.1%、0.125W、0805	RT0805BRD07180KL
R24	1	RES、20.0k、0.1%、0.1W、0603	RT0603BRD0720KL
R25	1	RES、180k、0.1%、0.1W、0603	RT0603BRD07180KL
R26	1	RES、220k、0.1%、0.1W、0603	RG1608P-224B-T5
R29	1	抵抗、10.0、0.5%、1W、AEC-Q200 グレード 0、1206	HRG3216Q-10R0D-T1
R30	1	抵抗、0、5%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW04020000Z0ED
R31	1	抵抗、511、1%、0.063W、AEC-Q200 グレード 0、0402	CRCW0402511RFKED
R32、R63	2	抵抗、511、1%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、1206	CRCW1206511RFKEA
R33	1	抵抗、10.0、0.05%、0.1W、0805	RNCF0805AKT10R0
R34	1	RES、100k、1%、0.1W、0402	ERJ-2RKF1003X
R36	1	0Ωs ジャンパ 0.125W、1/8W チップ抵抗 0805 (2012 メート ル法) 車載 AEC-Q200 厚膜	RMCF0805ZT0R00
R37	1	RES、15.0k、0.05%、0.1W、AEC-Q200 グレード 0、0603	ERA-3ARW153V

表 4-1. 部品表 (続き)

記号	数量	説明	部品番号
R38	1	RES, 2.74k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD072K74L
R39、R53	2	RES, 249k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD07249KL
R40	1	RES, 7.68k, 0.5%, 0.1W, 0603	RT0603DRE077K68L
R41、R60、R61、R72、R73	5	抵抗、0、0%、0.25W、AEC-Q200 グレード 0、0603	RCS06030000Z0EA
R42	1	RES, 1.00k, 0.01%, 0.063W, 0603	RNCF0603TKY1K00
R43	1	RES, 28.7k, 0.5%, 0.1W, 0603	RT0603DRE0728K7L
R44	1	RES, 75.0k, 0.5%, 0.1W, 0603	RT0603DRE0775KL
R45	1	RES, 49.9k, 0.5%, 0.1W, 0603	RT0603DRE0749K9L
R46	1	RES, 5.23k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD075K23L
R47	1	RES, 35.2k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0735K2L
R48	1	RES, 44.2k, 0.5%, 0.1W, 0603	RT0603DRE0744K2L
R54	1	RES, 49.9k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0749K9L
R55	1	RES, 95.3k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0795K3L
R59	1	RES, 2.0k, 5%, 0.25W, AEC-Q200 グレード 0、1206	CRCW12062K00JNEA
R64	1	RES, 28.7k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0728K7L
R65	1	RES, 24.3k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0724K3L
R66	1	抵抗、5.05、0.5%、0.1W、0603	RT0603DRE075R05L
R68	1	NTC サーミスタ 150k 0603 (1608 メトリック)	NT06155F4050B1F
R71	1	RES, 64.9k, 0.5%, 0.1W, 0603	RT0603DRE0764K9L
RV1	1	バリスタ 490V 1.2KA ディスク 7mm	V300LA2P
T1	1	トランス	ATQ28T-351K-W5
T2、T3、VD_SR	3	テスト ポイント、ミニチュア、SMT	5019
U1	1	ドライバと電流検出エミュレーション内蔵 650V GaN FET	LMG3622REQ
U2	1	6 ピン単相遷移モード PFC コントローラ、DBV0006A (SOT-23-6)	UCC28056ADBVR
U3	1	低静止電流および 2.5% スレッシュホールド精度のアクティブロー電圧モニタ、5-SOT-23、-40 ~ 85	LM8364BALMF20/NOPB
U4	1	高速ターンオフ インテリジェント RECTIF	MP6908AGJ-P
U5	1	750V GaN HEMT 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	UCG28828-1REZR
U6	1	シャント電圧リファレンス IC 可変 2.5V 36W±1% 15mA SOT-23-3	ATL431LIAIDBZR
ZD1、ZD2	2	ダイオード、ツェナー、5.1V、400mW、SOD-323F	D3Z5V1BF-7

5 追加情報

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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 (August 2026)

Page

- 図 3-4 から図 3-6 までの軸ラベルを更新..... 11

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 instructions, 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 isotrope 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/sds/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 2 4 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/sds/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/LICENSORS 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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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