



1.7 kV SiC MOSFETを使った産業および 太陽光発電アプリケーション用の補助電源

はじめに

本書では1.7 kV SiC(シリコン カーバイド)MOSFETを使った産業および太陽光発電アプリケーション用の入力電圧の広い63 W補助電源の設計と性能について説明します。本評価用ボードはMSC750SMA170Bの性能評価を簡単にするために設計されています。

本書はMSC750SMA170Bを使って低コストで高性能な補助電源用オフラインSMPS(スイッチング モード電源)を開発するユーザを対象としています。本書ではデバイスの選定、制御パラメータの決定、変圧器とハードウェアの設計を含む設計の詳細を説明します。

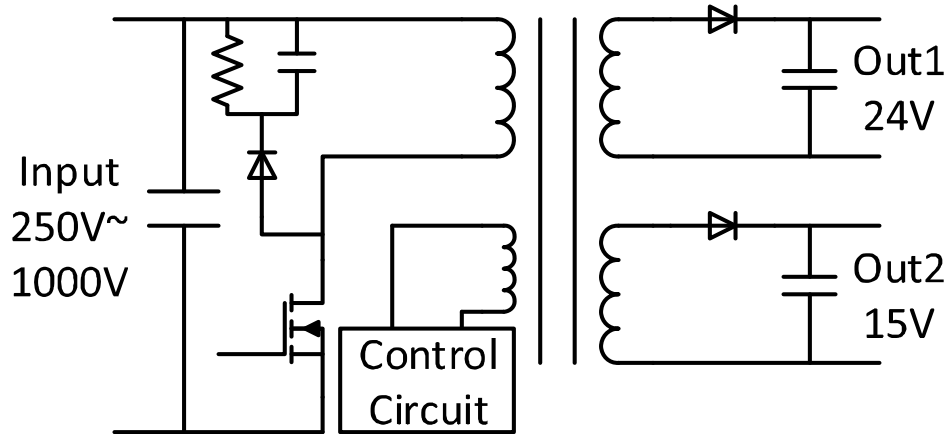
補助電源は制御回路、検出回路、冷却ファン等に電力を供給するためにHV(高電圧)DCバスの電力をLV(低電圧)ソースに変換する電力コンバータに必須の部分です。電氣的に絶縁された低電力(100 W未満)電力コンバータは産業およびPV(太陽光発電)アプリケーションにおいて最も重要なコンポーネントの1つです。DCリンク電圧の変動により、これら補助電源の多くは通常、250 Vから1000 Vまでの幅広い入力電圧レンジで動作する必要があります。電力コンバータ システムの全体的な信頼性を確保するため、このコンバータは部品点数を抑えたシンプルな回路構成にする必要があります。

シングルスイッチ フライバック回路構成はそのシンプルな構造、部品点数の少なさ、コストの低さにより、低消費電力DC/DCコンバータによく用いられる選択です。しかしながら、パワー スwitchング デバイスで検出される高いピーク電圧により、補助電源アプリケーションにシリコンMOSFETを使うのには多くの課題があります。例えば、最高入力電圧1 kVの場合、二次側反射電圧と変圧器の漏れインダクタンスで発生する電圧によってスイッチング デバイスのピーク電圧は簡単に1.2 kVを超えるため、ユーザは1.5~2 kVランクのデバイスを使わざるを得ません。

HVシリコンMOSFETの選択肢は限られており、LV MOSFETよりも実際のON抵抗ははるかに高いため、コンバータの効率が低下し冷却設計が複雑化します。さらに、選択肢の制限によりHV SiC MOSFETのコストは著しく高くなります。定格電圧のより低いSiC MOSFETを利用するには、2スイッチ フライバックまたはその他の回路方式が使えますが、設計の複雑さと部品点数が大きく増加するため、信頼性が低下し設計コストがかさみます。

次ページの図に、補助電源アプリケーション用の1.7 kV SiC MOSFETを使ったシングルスイッチ フライバック コンバータの回路方式を示します。

図1. 補助電源アプリケーション用のシングルスイッチ フライバック コンバータ



1.7 kV SiC MOSFETは幅広い入力電圧レンジを要する補助電源アプリケーションにシングルスイッチ フライバック回路方式を使うのに最適な選択肢です。1.7 kVの降伏電圧は1 kVの入力電圧に対して十分な電圧マージンを提供します。1.7 kV SiC MOSFETの実際のON抵抗はHVシリコンMOSFETよりもはるかに低いため、同一パッケージでもダイサイズとON抵抗を削減できます。ダイサイズが小さくなり高速化する事でスイッチング損失も大幅に低減されます。このオプションにより補助電源のスイッチング周波数を高くして変圧器のサイズと従量を削減できます。

特長

本評価用ボードには以下の主なハードウェア的特長があります。

- シングルスイッチ フライバック回路方式
- 250~1000 Vの幅広い入力電圧
- +24 V/2 Aおよび+15 V/1 Aのデュアル出力、合計63 Wの出力電力
- 幅広い電力レンジにわたり高い電力変換効率
- 電流モードPWM(パルス幅変調)コントローラ ベースの閉ループ制御

アプリケーション

本評価用ボードには以下のアプリケーションがあります。

- 産業用モータ駆動
- ソーラー インバータ
- 無停電電源
- 汎用インバータ
- カスケードHブリッジ コンバータ
- モジュール式マルチレベル コンバータ

目次

はじめに	1
特長	2
アプリケーション	2
1. 電氣的仕様	4
2. 評価用ボード	5
2.1 評価用ボードのハードウェア	5
2.2 回路図	5
2.3 回路の説明	7
2.4 PCBレイアウト	9
3. 部品表	11
4. クイック起動とテスト手順	14
5. 実験的テスト結果	15
5.1 動作波形	15
5.2 熱特性	17
5.3 電力損失と効率	18
6. 参考文献	19
7. 改訂履歴	20
Microchip社の情報	21
Microchip社ウェブサイト	21
お客様への通知サービス	21
お客様サポート	21
Microchip社のデバイスコード保護機能	21
法律上の注意点	22
商標	22
品質管理システム	23
各国の営業所とサービス	24

1. 電氣的仕様

下表に本評価用ボードの電氣的仕様を示します。

表1-1. 電氣的仕様 – 評価用ボード

記号	パラメータ	定格	単位
V_{in_min}	最小入力電圧	250	V
V_{in_max}	最大入力電圧	1000	
V_{out1}	出力電圧1	24	
I_{out_max1}	最大出力電流1	2	A
V_{out2}	出力電圧2	15	V
I_{out_max2}	最大出力電流2	1	A
P_{out_max}	最大出力電力	63	W
f_s	スイッチング周波数	45	kHz
–	効率 @ 負荷25%超	>80	%
E_{ff_max}	ピーク効率:	89	

2. 評価用ボード

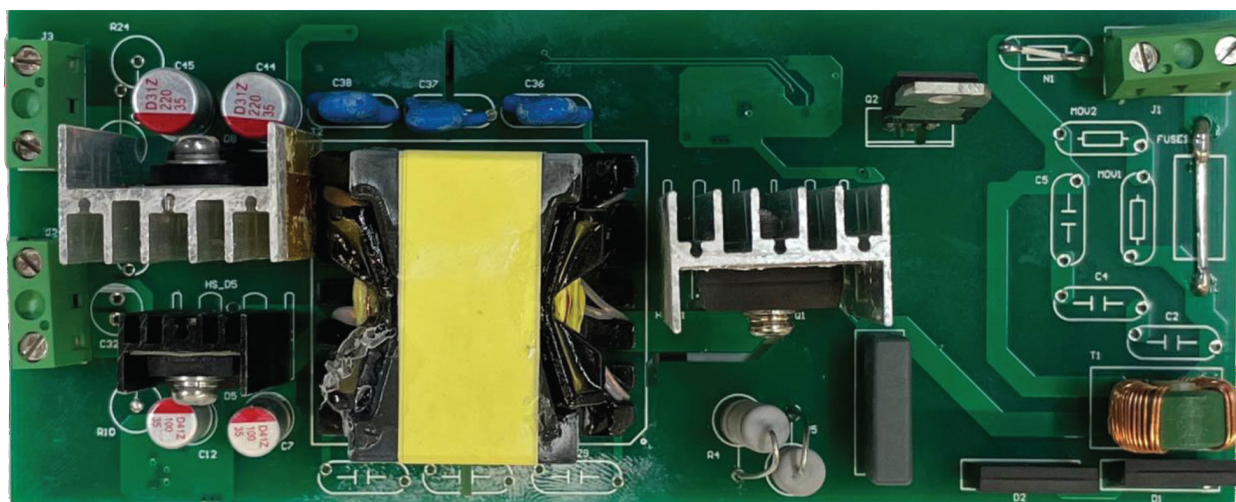
本章では本評価用ボードのハードウェア、回路図、回路、PCB(プリント基板)レイアウトについて説明します。

2.1 評価用ボードのハードウェア

本評価用ボードの主なコンポーネントには、入力および出力電源コネクタ、入力および出力コンデンサ、SiC MOSFET、絶縁トランス、出力整流器、ドライバIC、アナログ閉ループ回路があります。

下図は本評価用ボードのハードウェアを示しています。

図2-1. 評価用ボードのハードウェア



2.2 回路図

メイン電源段の回路には以下のコンポーネントが含まれます。

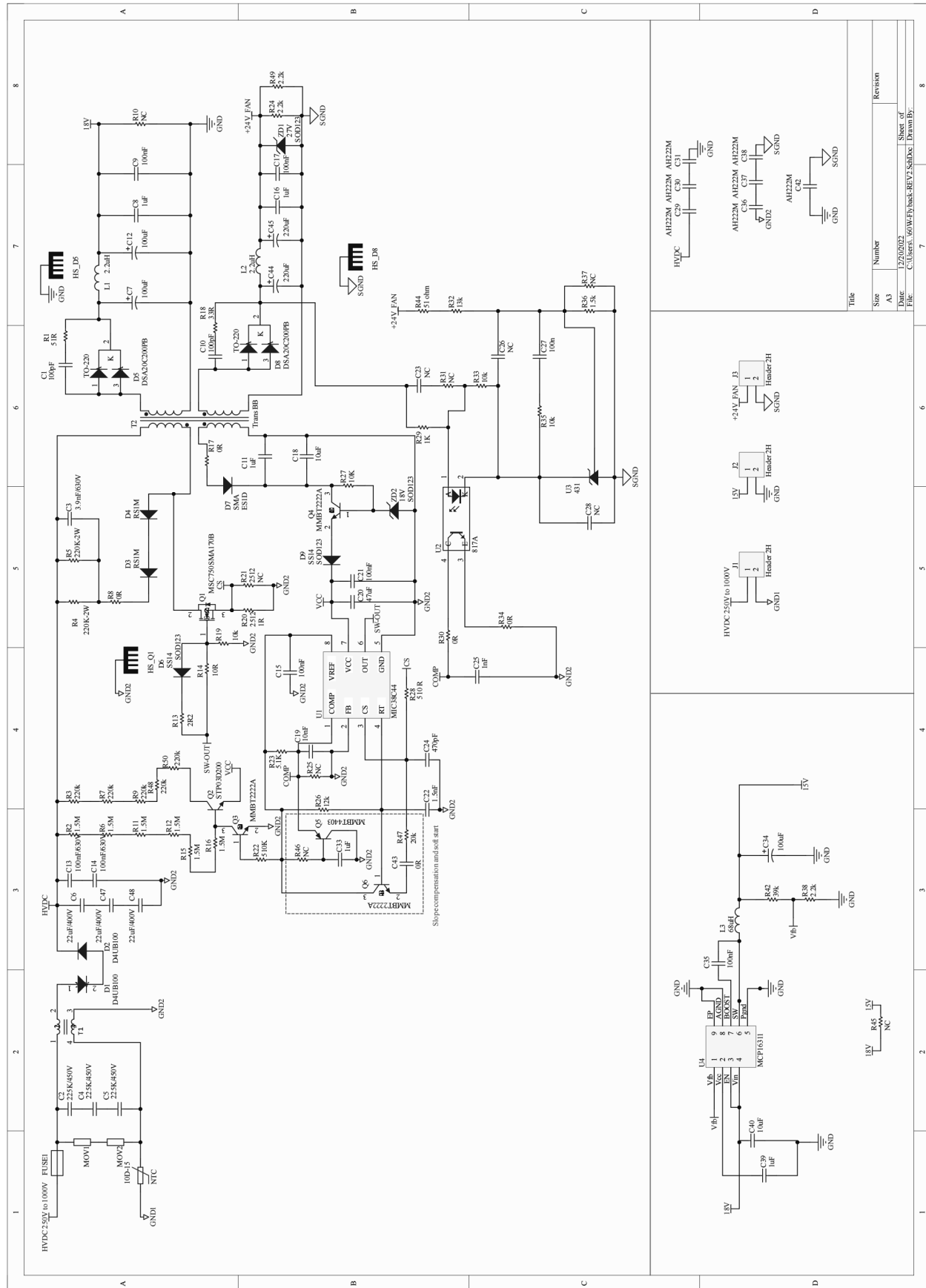
- DC入力ヒューズとMOV(オプション)
- 入力コンデンサ
- 損失低減起動回路
- RCD(抵抗コンデンサ ダイオード) スナバ回路
- 絶縁トランス
- SiC MOSFET
- ゲート駆動回路
- 出力整流回路
- 絶縁型出力電圧帰還回路
- アナログ制御回路

制御回路は、固定周波数で高性能な電流モードPWMコントローラIC(集積回路)であるMIC38C44をベースとしています。以下では詳細な設計とパラメータ選択方法について説明します。実際の設計ファイル(回路図とガーバーファイル)をダウンロードするには、microchip.com/sicにアクセスしてください。

次ページの図に本評価用ボードの回路図を示します。

Note: k、M、Rで示す抵抗はそれぞれk Ω 、M Ω 、 Ω を示します。

図2-2. 評価用ボードの回路図



2.3 回路の説明

SiCベースのシングルスイッチ フライバック コンバータの設計はMIC38C4xコントローラを使った伝統的な設計と同様に行えます。ただし、一部の特別な注意事項について以下のセクションに説明します。

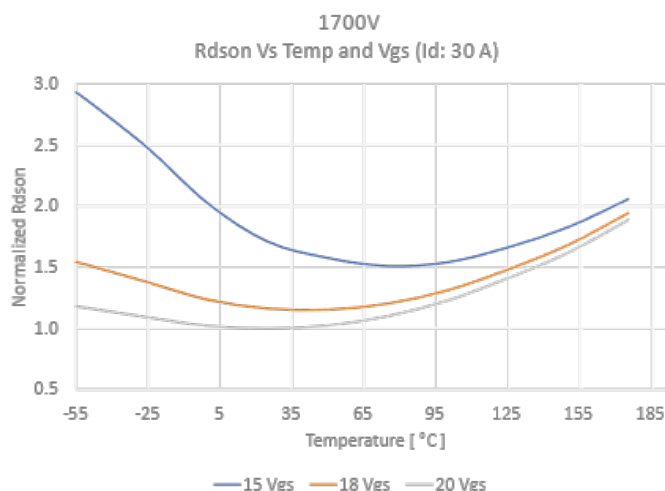
2.3.1 一次側SiCスイッチング デバイスの選定

最大入力電圧が1 kVで、二次側の24 V出力電圧から変圧器で反射電圧が生じる場合、一次側スイッチング デバイスのピーク電圧は1.2 kVを上回る事があります。そのため、1.7 kV SiC MOSFETを選択しました。定格電力の63 Wに対して一次側スイッチング デバイスを流れるRMS(二乗平均平方根)電流は非常に小さいため、このようなアプリケーションにおいて750 mΩ SiC MOSFETは十分過ぎる程です。また、750 mΩ SiC MOSFETのダイサイズが小さい事もスイッチング損失の低減に役立ちます。デバイスを流れるピーク電流も比較的小さいため、3L-TO247パッケージを選択して熱特性を高め、自然対流冷却を可能にしてファンを不要にしました。そのため、一次側スイッチング電源デバイスとして業界標準の3ピンTO247パッケージに収められたMicrochip社の1.7 kV、750 mΩ SiC MOSFET(製品番号: MSC750SMA170B)を選択しました。

2.3.2 ゲート駆動電圧とゲート抵抗の選定

1.7 kV、750 mΩ SiC MOSFETのきわめて低いゲート容量はコントローラICからの直接駆動を可能にし、追加のゲートドライバを不要にします。MSC750SMA170Bのゲート駆動電圧は+20 V/-5 Vが推奨されます。ただし、下図に示すように、+18 Vの時デバイスはON抵抗のわずかな増加のみで良好に動作します。さらに+15 Vでも、高い接合部温度でON抵抗の増加は25%未満です。一次側スイッチを流れるRMS電流が少ないため、このアプリケーションの伝導損失は非常に低くなります。

図2-3. 各種ゲート電圧における正規化ON抵抗($R_{ds(on)}$)



また、MSC750SMA170Bは通常OFFのデバイスであるため、定常状態でデバイスをOFFに維持するのに負電圧は不要です。推奨される負電圧は、ハーフブリッジ回路で貫通電流の障害を引き起こす可能性のある誤ターンオンを防ぐためのものです。シングルスイッチ フライバック回路方式では貫通電流の障害が起こるリスクはありません。したがって、負のOFF電圧は不要です。

同時に、コントローラIC MIC38C44の絶対最大電源電圧は+20 Vで、18 Vでの動作に対して特別な注意を要します。コントローラICが確実に安全動作するよう、SiC MOSFETの駆動電圧は+17 V/0 Vに設定されます。

適切なゲート抵抗の選択はスイッチング損失、EMI(電磁干渉)ノイズ エミッション、駆動IC能力を最適化する事によって決定されます。ゲート抵抗が低いほどパワーMOSFETのスイッチング速度は向上しスイッチング損失が低下します。一方、ゲート抵抗が高いほどコンバータのEMIノイズ エミッションは低減されます。SiC MOSFETの内部ゲート抵抗、ピーク出力電流供給能力、PWMコントローラの出カインピーダンスに基づき、ターンオン抵抗は10 Ωを選択しました。

コントローラMIC38C44のUVLO(低電圧ロックアウト)はSiC MOSFETの理想的なゲート電圧と比べると相対的に低くなっています。起動プロセス中、電源電圧がUVLOしきい値を超えるとコントローラは動作を開始します。ゲート電圧が低い時、SiC MOSFETはリニアモードで動作し、負荷が重い場合デバイスを流れる最大電流が必要な電流量を下回る事があります。UVLOはバイパス可能で、しきい値電圧は外部回路を通して設定できます。詳細な実装については、Microchip社技術サポートへお問い合わせください。

2.3.3 制御電源とアクティブ起動

定常動作では、制御電圧は変圧器の補助巻き線から18 Vツェナー ダイオードとNPNトランジスタを介して生成されます。起動プロセス中は制御電圧はDCバスから直接供給されます。コンバータの損失を低減してコントローラを高いDCリンク電圧から保護するため、抵抗分圧回路を経由した高耐圧トランジスタQ2を経由して制御電圧が供給されます。変圧器の補助巻き線の電圧が上昇すると、回路はHV DCバスへの接続を切断して電力損失を抑えます。

ゲート駆動パラメータを決定した後、ゲートループ レイアウト設計を最適化する事が重要です。ゲートのリンギングを抑えピークゲート電圧が高くないようにするために考慮すべき重要な点は、ゲートループ インダクタンスを低減して近傍電磁界からの誘導を防ぐ事です。

2.3.4 スイッチング周波数

電力コンバータのスイッチング周波数はスイッチング損失、変圧器の損失、コンバータの全体的なサイズ/重量、コンバータ全体のEMIに影響するため、最も重要な設計パラメータの1つです。SiC MOSFETはSi(シリコン) スイッチと比較してスイッチング損失エネルギーが小さく、ゲート電荷がきわめて小さいため、スイッチング周波数を高くして、より少ない電力損失でよりコンパクトな変圧器設計が可能になります。本評価用ボードでは、コンバータの損失の全体的最適化を考えて $f_s = 45 \text{ kHz}$ のスイッチング周波数を選択しました。

2.3.5 出力電圧レギュレーション

本デモ用ハードウェアは産業用および太陽光発電アプリケーション用に設計されており、2つの出力電圧を持ちます。ファン負荷用の24 V/2 Aとメイン コンバータ向け制御回路用の15 V/1 Aです。24 V/2 A出力はアナログ補償ネットワークとフォトカブラを介して出力電圧をコントローラに帰還させる事によって直接レギュレートされます。15 V/1 A出力では固定周波数PWM/PFM同期整流降圧型レギュレータに基づく2段目の電力変換が利用できます(MCP16311)。高精度の15 V出力が必要な場合、変圧器の二次側巻き線が18 Vを出力して降圧型レギュレータに送ります。降圧型レギュレータはこれを高精度の15 V出力に変換します。コスト削減のため、降圧型レギュレータをバイパスする事もできます。その場合は、変圧器の二次側巻き線は24 Vレギュレーションに準拠するために15 V出力用に再設計します。このような変圧器設計も利用可能です。

2.3.6 変圧器の設計

変圧器は本回路の主要な受動素子で、正しい出力電圧と電氣的絶縁を提供するために使われます。変圧器の電力損失と温度上昇はコア材と巻き線の選択によって決まります。巻き線の構造によって直接決まる漏れインダクタンスは、パワーMOSFETの電圧リンギングとピーク電圧に影響を与え、RCDクランピング回路の設計にも影響します。絶縁静電容量はシステムのCM(コモンモード) ノイズ エミッションに影響します。

下表に変圧器の主なパラメータを示します。

表2-1. 変圧器の設計仕様

パラメータ	仕様
コア材	PQ3528
巻き数比(Np-Ns1-Ns2-Na、Pri:Sec1:Sec2:Aux)	60:7:5:5
一次側インダクタンス(L_P)	3.5 mH
絶縁定格(pri-sec)	AC3000 V、3s、2.0 mA
絶縁抵抗(Np-Ns)	100 M Ω
動作温度	-25~125 °C

2.3.7 RCDクランピング

一次側スイッチング デバイスに過剰な電圧がかからないよう、フライバック回路方式には変圧器の漏れインダクタンスのエネルギーを吸収するRCDクランピング回路が必要です。デバイスのドレイン-ソース間電圧が入力電圧 + 反射された出力電圧より高い場合、RCDスナバ回路はダイオードに順バイアスをかけて漏れインダクタンス共振によるエネルギーを吸収します。スナバ回路の容量が十分に大きければ、1スイッチング周期中の電圧は一定とみなす事ができます。変圧器の漏れインダクタンスからのエネルギーを吸収するため、2つの高電力2 W抵抗が1つのHV 630 V/3.9 nF フィルム コンデンサと並列に接続されています。

2.3.7.1 閉ループ制御パラメータ

閉ループ制御は定常状態誤差をなくし、システムのパラメータ変更に対する感度を下げるために使われます。コンバータのゲインと位相マージンを特定の周波数レンジ全体で最適化する事で、微小信号負荷外乱の影響を低減しシステム負荷の動的性能を向上します。閉ループ制御は定常状態の性能に最小限の影響しか与えません。駆動ICはピーク電流モードのPWMコントローラとして構成されているため、コンバータを安定化するために外部電圧帰還ループが必要です。

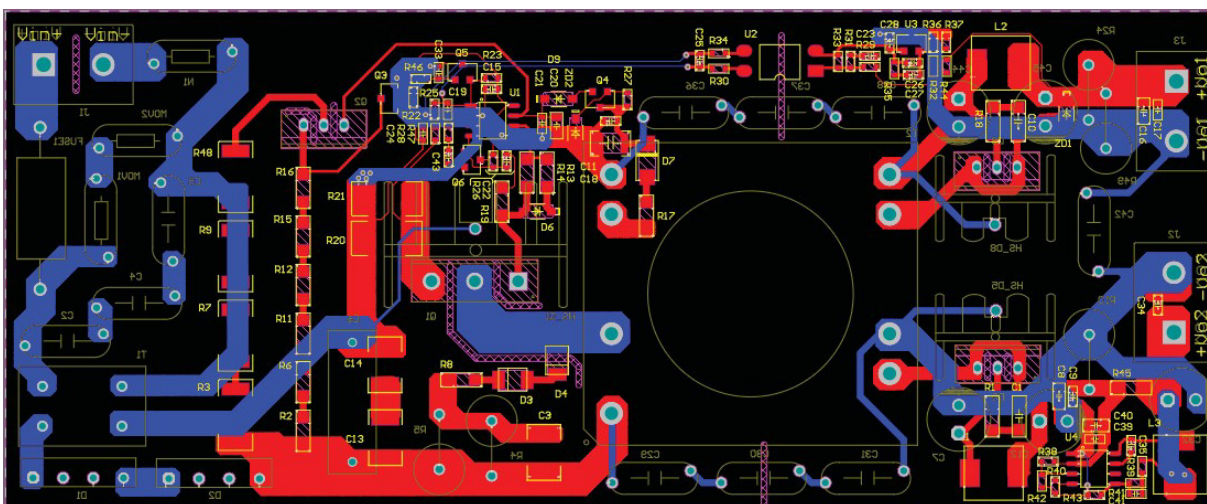
補償ループはTL431、フォト トランジスタ オプトカプラFOD817A、コントローラIC内のエラーアンプを使った典型的なデュアルループ設計です。本評価用ボードは電源段の性能をお試し頂く事を目的としているため、本ユーザガイドでは電圧補償ループ設計の詳細なRC値の計算については割愛します。詳細については、Microchip社のサポートチームにお問い合わせください。

2.4 PCBレイアウト

システムコストを削減するため、2層PCB構成を選択しました。デバイスのスイッチング性能とコンバータ全体の性能を向上するため、一次側のパワーループと二次側のゲートループは最小化されています。

下図にデモ用ハードウェアのPCBのレイアウト設計を示します。

図2-4. PCBのレイアウト設計





3. 部品表

下表に本評価用ボードのBOMを示します。

表3-1. 評価用ボードのBOM

タイプ	定格/製品番号	マーキング	フットプリント	説明	数量
コンデンサ	3.9 nF/630 V	C3	1812	TDK、'X7R、±10%	1
	100 nF/630 V	C13、C14	1812	TDK、'X7R、±10%	2
	100 µF/35 V	C7、C12、C32	C 8*11-3.5	AIHUA	3
	220 µF/35 V	C44、C45	C 8*11-3.5	AIHUA	2
	1 µF	C8、C11、C16	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	3
	100 nF	C9、C15、C17、C21	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	4
	10 nF	C19	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	1
	1 nF	C22	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	1
	100 nF	C23	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	1
	200 pF	C24、C34、C35、C39、C41	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	5
	22 nF	C25	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	1
	NC	C26、C28、C33、C43	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	4
	10 nF	C27	C0603	TDK、'X7R、±10%、35 V	1
	10 µF	C20、C40	C0805	TDK、'X7R、±10%、35 V	2
	100 pF	C1、C10	C1206	TDK、'X7R、±10%、35 V	2
	10 µF	C18	C1210	TDK、'X7R、±10%、35 V	1
	3 µF/1100 V	C6	C-18*6-15P	HJC	1
	2.2 µF/450V	C2、C4、C5	CY-222-4.5X14	±10%	3
	2200 pF	C29、C30、C31、C36、C37、C38、C42	CY-222-4.5X14	KEMET	7

タイプ	定格/製品番号	マーキング	フットプリント	説明	数量
抵抗	510 k Ω	R22、R38	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
	5.1 k Ω	R23	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	NC	R25、R37、R46、R47	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	4
	23 k Ω	R26	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	10 k Ω	R27	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	1 k Ω	R28、R29、R33	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	3
	0 Ω	R30、R34、R39	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	3
	5.6 k Ω	R31	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	21.5 k Ω	R32	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	14.3 k Ω	R35	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	2.43 k Ω	R36	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	68 k Ω	R40、R42	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
	230 k Ω	R41	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	20 k Ω	R43	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	51 Ω	R44	R0603	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	2.2 Ω	R13	R0805	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
	10 Ω	R14	R0805	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
	NC	R45	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	51 Ω	R1	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	1.5 M Ω	R2、R6、R11、R12、R15、R16	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	6
	0 Ω	R8	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	NC	R10	R-6.8-LS	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	10 Ω	R17	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	33 Ω	R18	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	10 k Ω	R19	R1206	YAGEO、 $\pm 1\%$	1
	150 k Ω	R3、R7、R9、R48	R2512	YAGEO、 $\pm 1\%$	4
	1 Ω	R20、R21	R2512	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
	68 k Ω /2 W	R4、R5	R-6.8-LS	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
	200 Ω /5 W	R24、R49	R-6.8-LS	YAGEO、 $\pm 1\%$	2
ダイオード	ES1D	D7	SMA	ON、ST	1
	RS1M	D3、D4	SMB	ON、ST	2
	SS14	D6、D9	SOD123	ON、ST	2
	27 V	ZD1	SOD123	UMZ27K	1
	18 V	ZD2	SOD123	BZT52C18	1
	D4UB100	D1、D2	D3K	YJ	2
	DSA20C200PB	D5、D8	TO-220AB	Littelfuse	2

タイプ	定格/製品番号	マーキング	フットプリント	説明	数量
IC(集積回路)	MIC38C44	U1	SOIC8	Microchip	1
	MCP16311	U4	SOIC8	Microchip	1
	817A	U2	OPTO-SMT	TI	1
	TL431	U3	SOT23	TI	1
NPN トランジスタ	STN0214	Q2	SOT223	ST	1
	MMBT2222A	Q3、Q4、Q6	SOT23	ON、ST	3
PNP トランジスタ	MMBT4403	Q5	SOT23	ON、ST	1
MOSFET	MSC750SMA170 B	Q1	TO-247	MC	1
Fuse	FUSE	FUSE1	AXIAL0.8	Littelfuse	1
ヘッダ	Header 2H	J1、J2、J3	HDR1X2-7.5	TE	3
ヒートシンク	ヒートシンク	HS_D5、HS_D8	HS-TO220-1	—	2
	ヒートシンク	HS_Q1	HS-TO247-1	—	1
インダクタンス	2.2 μ H	L1、L2	IN-L	3 A	2
	10 μ H	L3	IN-L	2 A	1
	70 m Ω /2 A	T1	LL	PDMCAT1386-472ML	1
MOV(バリスタ)	—	MOV1、MOV2	MOV	” プレースホルダー”	2
NTC (サーミスタ)	NTC	N1	NTC	” プレースホルダー”	1
変圧器	Trans BB	T2	PQ3528	—	1

4. クイック起動とテスト手順

本評価用ボードを素早く起動してテストするには以下の手順を行います。

1. ボードとコンポーネントに損傷がないか目視で確認します。曲がり、折れ、形状の変化がないか確認します。
2. DC入力をDC電源に接続し、2つのDC出力を受動負荷または電子負荷に接続します。この時、正極と負極の接続が正しい事を確認します。
3. オシロスコープ プローブ、DMM(デジタル マルチメータ)等の計測機器を全て接続します。
4. 10 V/0.1 AのDC入力で開始し、DCソース電流を監視します。システムに短絡が発生していない事を確かめるため、DCソース電流が0に近い事を確認します。DCソース電流が0.1 Aの場合、入力が短絡しています。システムを停止して問題を特定します。
5. 通常のテストではDCソースを250 V/0.5 Aに設定します。すると、出力が0.5秒後にセットアップされます。

5. 実験的テスト結果

本章ではSiC MOSFETについて実施したテストの結果を説明します。

5.1 動作波形

コンバータは、入力電圧250 V、50%および100%負荷時にCCM(電流連続モード)、入力電圧1 kV、50%および100%負荷時にDCM(電流不連続モード)で動作します。MOSFETのドレイン-ソース間ピーク電圧は1.7 kVのデバイス定格電圧をはるかに下回っています。RCD回路がデバイスのドレイン-ソース間電圧をクランプするものの、変圧器の漏れインダクタンスが相対的に大きいため、デバイスのターンオフ後に V_{DS} リングングがいくらか発生します。ゲート抵抗が相対的に大きくPCBのレイアウト設計が優れているため、デバイスのスイッチング過渡中のゲート電圧のオーバーシュートとアンダーシュートは小さくなります。ゲート信号 V_{GS} はターンオン過渡中もターンオフ過渡中もクリーンです。デバイスの計測ゲート電圧は16.5 Vで、ターンオフ中は0 Vゲート電圧でうまく動作します。

下図に各種の入力電圧と定常状態出力電力レベルにおけるSiC MOSFETの動作波形を示します。

Note: 以下の動作波形において、ドレイン-ソース間電圧(V_{DS})は青色、ゲート-ソース間電圧(V_{GS})は赤色、デバイス電流(I_{DS})は緑色で示します。

図5-1. $V_{in} = 250$ V、50%負荷時の動作波形

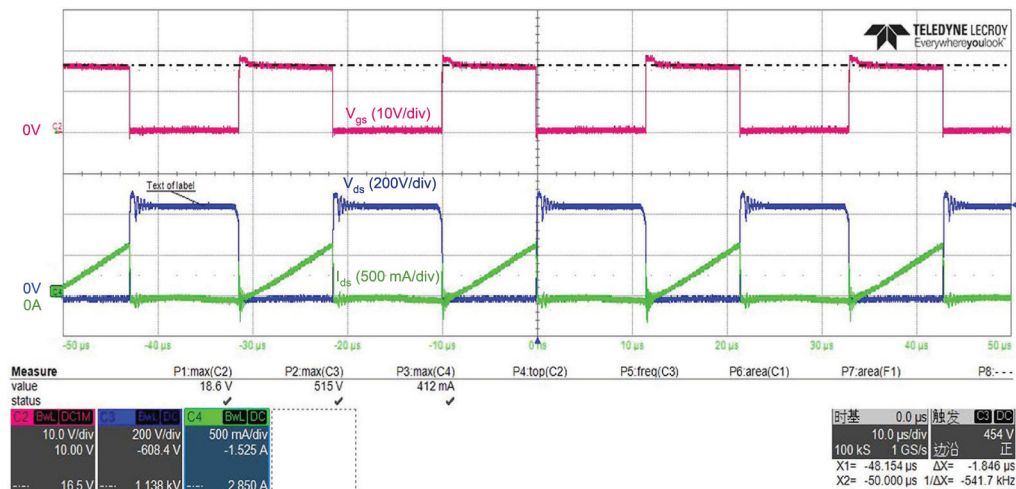


図5-3. $V_{in} = 1000\text{ V}$ 、50%負荷時の動作波形

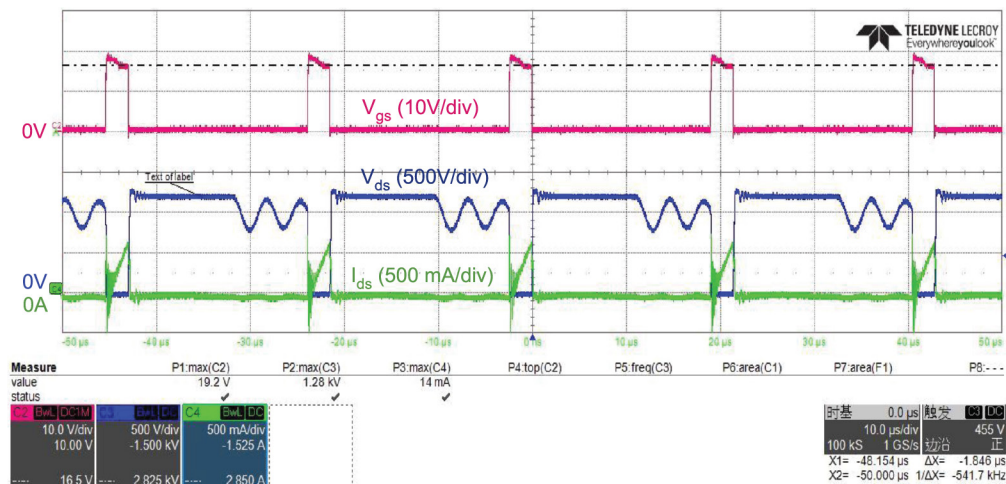
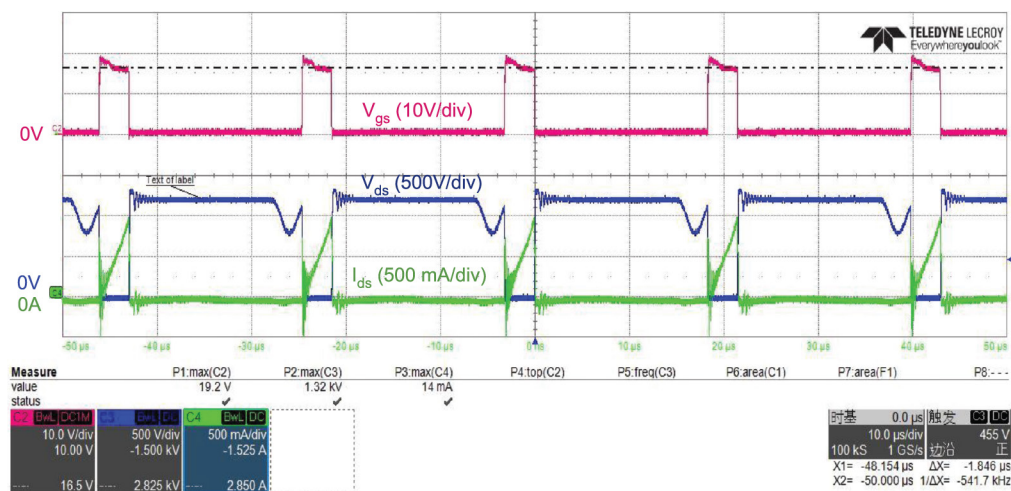


図5-4. $V_{in} = 1000\text{ V}$ 、100%負荷時の動作波形



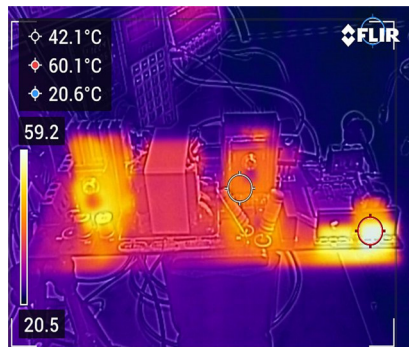
5.2 熱特性

小型ヒートシンクのみを使い、ファンによる冷却は行わない場合の一次側MOSFETの温度上昇はワーストケースでわずか25.8 °Cです。これにより、MOSFETははるかに高い電力を処理でき、アプリケーションによってはヒートシンク不要である事が分かります。電力変圧器の最大温度上昇は37.5 °Cであり、その有効性を実証しています。全負荷時、出力1の整流ダイオードで最大温度上昇(47.6 °C)が計測されます。出力ダイオードは小型ヒートシンクに接続されており、自然対流冷却が使われています。この結果は、設計の有効性を実証し、小型ヒートシンクと自然対流冷却によってコンバータ設計の全ての主要なコンポーネントにおける温度上昇が比較的低い事を示しています。

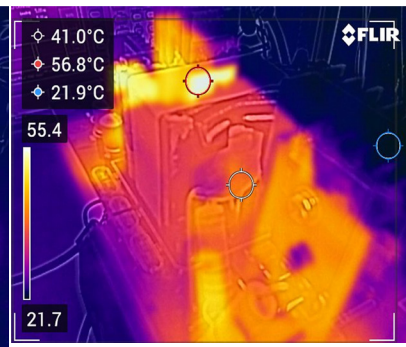
下図は、各種入力電圧条件下におけるコンバータの全負荷時の熱特性を示しています。

図5-5. 温度計測結果

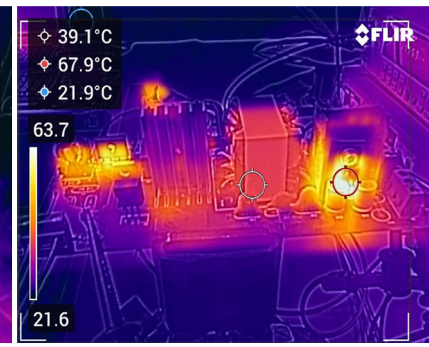
V_{out2} ダイオード、SiC FET、
入力ダイオード($V_{in} = 250$ V時)



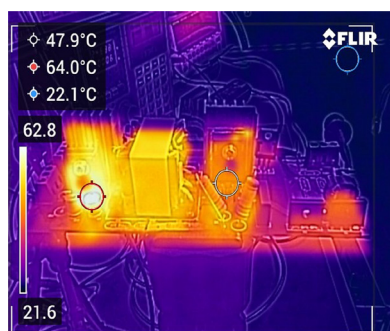
電力変圧器($V_{in} = 250$ V時)



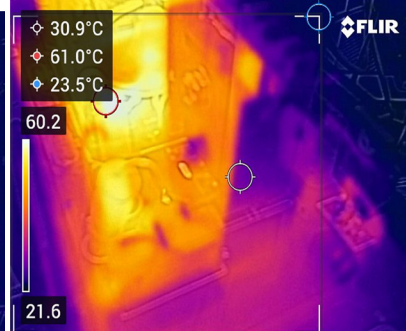
V_{out1} ダイオード($V_{in} = 250$ V時)



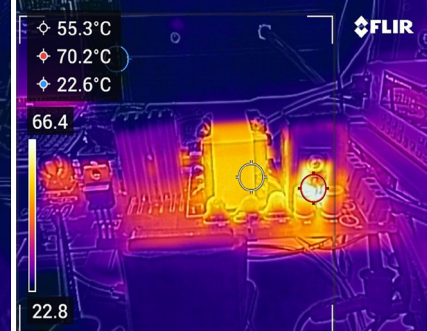
V_{out2} ダイオード、SiC FET、
入力ダイオード($V_{in} = 1000$ V時)



電力変圧器($V_{in} = 1000$ V時)



V_{out1} ダイオード($V_{in} = 1000$ V時)

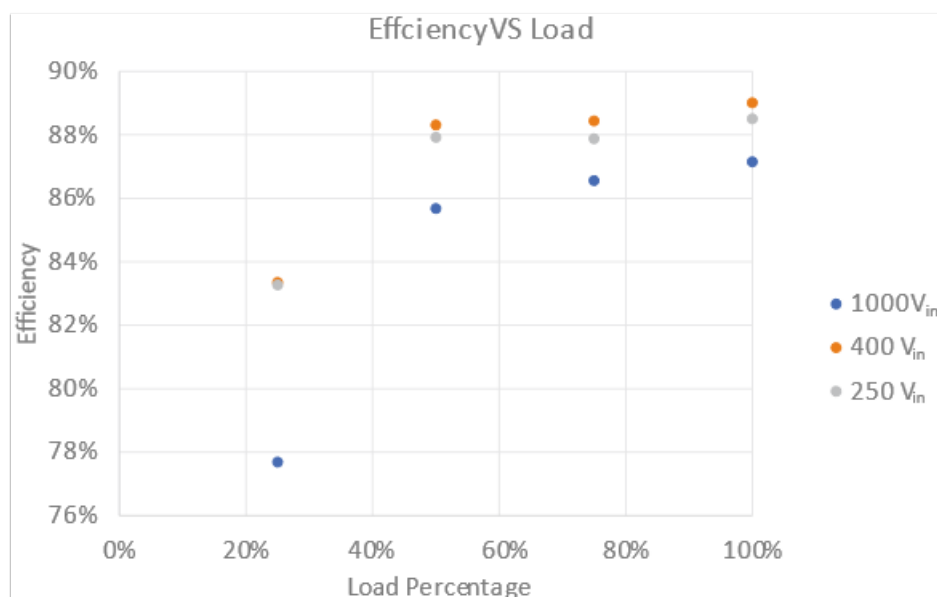


5.3 電力損失と効率

入力電圧が高くなるとコンバータのスイッチング損失は大幅に増加するため、1 kVにおける効率は400 Vと250 Vにおける効率より低くなります。25%を超える負荷では、入力電圧250 Vと400 Vでコンバータの効率は80%を上回り、負荷100%、入力電圧400 Vの時、89%のピーク効率を示します。

各種の入力電圧および負荷条件におけるデモコンバータの効率計測結果を下図に示します。

図5-6. 各種入力電圧下における出力電力負荷に対する効率計測値



定常状態の出力電圧リップルを含め、その他にも多くのテスト結果があります。各種動作条件における負荷制御、ラインレギュレーション、起動時間、ホールドアップ時間、短絡保護結果については、Microchip社の技術サポートチームにお問い合わせください。

6. 参考文献

本ユーザガイドでは以下の文書を参照しています。

- [MIC38C42/43/44/45 BiCMOS電流モードPWMコントローラ データシート](#)

7. 改訂履歴

改訂履歴には本文書で行われた変更を示します。変更はリビジョンごとに、発行が新しい順に示します。

リビジョン	日付	説明
A	2023年02月	初版

Microchip社の情報

Microchip社ウェブサイト

Microchip社はウェブサイト(www.microchip.com)を通してオンライン サポートを提供しています。当ウェブサイトでは、お客様に役立つ情報やファイルを提供しています。以下を含む各種の情報をご覧になれます。

- **製品サポート** - データシートとエラッタ、アプリケーション ノートとサンプル プログラム、設計リソース、ユーザガイドとハードウェア サポート文書、最新のソフトウェアと過去のソフトウェア
- **技術サポート** - FAQ(よく寄せられる質問)、技術サポートのご依頼、オンライン ディスカッション グループ、Microchip社のデザイン パートナー プログラムおよびメンバーリスト
- **ご注文とお問い合わせ** - 製品セレクトと注文ガイド、最新プレスリリース、セミナー/イベントの一覧、お問い合わせ先(営業所/正規代理店)の一覧

お客様への通知サービス

Microchip社のお客様への通知サービスは、お客様にMicrochip社製品の最新情報をお届けする配信サービスです。ご興味のある製品ファミリまたは開発ツールに関する変更、更新、リビジョン、エラッタ情報をいち早くメールにてお知らせします。

<http://www.microchip.com/pcn>にアクセスし、登録手続きをしてください。

お客様サポート

Microchip社製品をお使いのお客様は、以下のチャンネルからサポートをご利用頂けます。

- 正規代理店
- 技術サポート

サポートは正規代理店にお問い合わせください。本書の最後のページに各国の営業所の一覧を記載しています。

技術サポートは以下のウェブページからもご利用頂けます。 www.microchip.com/support

Microchip社のデバイスコード保護機能

Microchip 社製品のコード保護機能について以下の点にご注意ください。

- Microchip社製品は、該当するMicrochip 社データシートに記載の仕様を満たしています。
- Microchip社では、通常の条件ならびに動作仕様書の仕様に従って使った場合、Microchip 社製品のセキュリティレベルは、現在市場に流通している同種製品の中でも最も高度であると考えています。
- Microchip社はその知的財産権を重視し、積極的に保護しています。Microchip 社製品のコード保護機能の侵害は固く禁じられており、デジタル ミレニアム著作権法に違反します。
- Microchip社を含む全ての半導体メーカーで、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、Microchip 社が製品を「解読不能」として保証するものではありません。コード保護機能は常に進化しています。Microchip 社では、常に製品のコード保護機能の改善に取り組んでいます。

法律上の注意点

本書および本書に記載されている情報は、Microchip 社製品を設計、テスト、お客様のアプリケーションと統合する目的を含め、Microchip 社製品に対してのみ使う事ができます。それ以外の方法でこの情報を使う事はこれらの条項に違反します。デバイス アプリケーションの情報は、ユーザの便宜のためにのみ提供されるものであり、更新によって変更となる事があります。お客様のアプリケーションが仕様を満たす事を保証する責任は、お客様にあります。その他のサポートはMicrochip 社正規代理店にお問い合わせ頂くか、<https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services>をご覧ください。

Microchip 社は本書の情報を「現状のまま」で提供しています。Microchip 社は明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、非侵害性、商品性、特定目的への適合性の暗黙的保証、または状態、品質、性能に関する保証をはじめとするいかなる類の表明も保証も行いません。

いかなる場合もMicrochip 社は、本情報またはその使用に関連する間接的、特殊的、懲罰的、偶発的または必然的損失、損害、費用、経費のいかににかかわらず、またMicrochip 社がそのような損害が生じる可能性について報告を受けていた場合あるいは損害が予測可能であった場合でも、一切の責任を負いません。法律で認められる最大限の範囲を適用しようとも、本情報またはその使用に関連する一切の申し立てに対するMicrochip 社の責任限度額は、使用者が当該情報に関連してMicrochip 社に直接支払った額を超えません。

Microchip 社の明示的な書面による承認なしに、生命維持装置あるいは生命安全用途にMicrochip社の製品を使う事は全て購入者のリスクとし、また購入者はこれによって発生したあらゆる損害、クレーム、訴訟、費用に関して、Microchip 社は擁護され、免責され、損害をうけない事に同意するものとします。特に明記しない場合、暗黙的あるいは明示的を問わず、Microchip社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip 社の名称とロゴ、Microchip ロゴ、Adapttec、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi ロゴ、MOST、MOST ロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST ロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGA は米国とその他の国におけるMicrochip Technology Incorporated の登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLightLoad、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus ロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、ZL は米国におけるMicrochip Technology Incorporated の登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、KoD、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified ロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、RippleBlocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、TotalEndurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、ZENAは米国とその他の国におけるMicrochip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は米国におけるMicrochip Technology Incorporated のサービスマークです。

Adaptec ロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom はその他の国におけるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

GestIC は、その他の国におけるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KG (Microchip Technology Incorporated の子会社) の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2023, Microchip Technology Incorporated and its subsidiaries. All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-6683-2658-9

品質管理システム

Microchip社の品質管理システムについてはwww.microchip.com/qualityをご覧ください。

各国の営業所とサービス

南北アメリカ	アジア/太平洋	アジア/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術サポート: http://www.microchip.com/support URL: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースティン, TX Tel: 512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン, TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー, NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク, NY Tel: 631-435-6000 サンノゼ, CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10 -8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港SAR Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 厦門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - バンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネ Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストリア - ヴェルス Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガーヒンク Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイルブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドヴァ Tel: 39-049-7625286 オランダ - ドリリュネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-7288-4388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - ヨーテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820