

COMPLETE SYSTEM POWER PROTECTION

— 完全なシステム電源保護 —

Design Guide



目次

はじめに	3
標準的なシステム保護	4
過電圧保護	4
過電流保護	4
逆方向電流保護	4
集積型バック・ツー・バックMOSFET	5
モータードライバアプリケーション	5
従来のディスクリートソリューション	5
集積型ソリューション	5
集積型保護ファミリ	6
保護デバイスの保護	6
結論	8
製品選択表	9



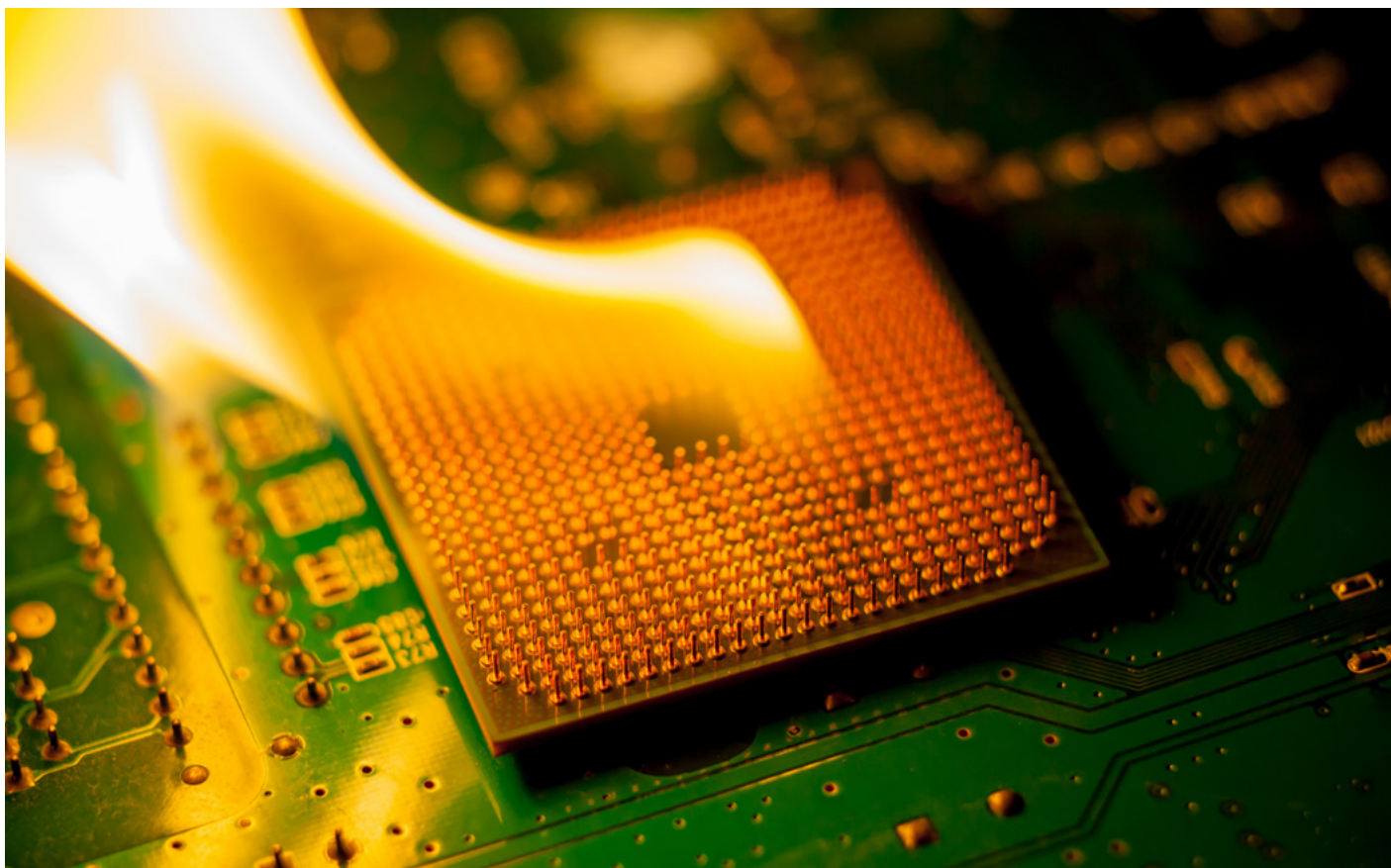


図1. 保護されていないCPUの発火

はじめに

保護回路は現代の電子機器を陰で支えています。どんなアプリケーションでも、ACラインからデジタル負荷までの長い電気の経路には、あらゆるサイズと形状のヒューズや過渡電圧サプレッサがちりばめられています。この電気の経路上で、ストレージコンデンサによる突入電流、誤配線や停電による逆方向電流、および誘導性負荷スイッチングや落雷によって発生する過電圧と低電圧などの電氣的ストレス要因が、大事な負荷の電子デバイスに損傷を与える可能性があります。これは、繊細なサブミクロン線幅の低電圧プロセス技術を使って作られるマイクロプロセッサやメモリなどに当てはまります。城壁を築く兵士のように、負荷の周囲に保護回路という防衛境界線を構築し、これらの大惨事につながる現象に対処する必要があります(図1)。

最初のセクションでは、効果的な保護方式の基本的な特長を概説します。次に、高い部品コスト、プリント基板サイズの増大、大きな特性ばらつき、および時間のかかる認定取得など、標準的な保護の実装の欠点を明らかにします。最後に、これらの問題に対応する集積型の、高い柔軟性を備えた充実した保護ICファミリを紹介します。

標準的なシステム保護

図2は、スマート負荷(例：マイクロプロセッサ)の周囲の標準的なシステム保護方式を示しています。コントローラ(IC₂)、同期整流MOSFET (T₃、T₄)とそれに付随するボディダイオード(D₃、D₄)、および入力と出力のフィルタコンデンサ(C_{IN}、C_{OUT})から構成されるDC-DCコンバータが、マイクロプロセッサまたはPLCに給電します。24V電源バス(V_{BUS})からの電圧サージ(図3)が発生した場合、もし直接V_{IN}に接続されていると、DC-DCコンバータとその負荷に破滅的な結果をもたらすかもしれません。そのため、前段の電子回路の保護が必要です。ここでは、2つのディスクリートMOSFET (T₁およびT₂)を駆動するコントローラ(IC₁)を使用して保護が実装されています。

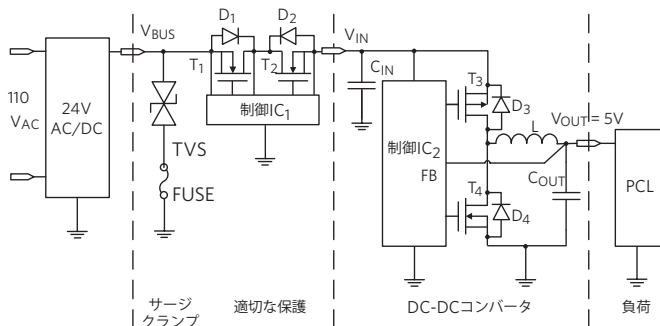


図2. 標準的な電子システムと保護

保護電子回路は、その電圧および電流定格の制限内で、過電圧/低電圧、過電流、および逆方向電流などのフォルト状態に対応する必要があります。予想される電圧サージがここで解説する保護電子回路の定格を上回る場合は、フィルタおよび過渡電圧サプレッサ(TVS)デバイスという形で、さらなる保護の層を追加することができます。

過電圧保護

DC-DCコンバータの最大動作電圧に基づいて、この動作範囲内ではクローズしており、それ以上ではオープンになるMOSFETスイッチ(T₂)でプロテクタICは基本的に構成されます。付随するボディダイオードD₂は、過電圧の場合は逆バイアスされ、何の役割も果たしません。T₁およびD₁の存在もこの場合は重要ではなく、T₁は完全に「オン」状態です。



図3. ホットプラグインによる電圧サージの発生

過電流保護

入力電圧が許容動作範囲に制限されている場合でも、まだ問題は残っています。上昇方向の電圧変動によって高dV/dtの突入電流が発生し、ヒューズが飛んだり(図4)、PCBトレースが焼損したり、システムがオーバーヒートして信頼性が低下する可能性があります。したがって、保護ICは電流制限機能を備える必要があります。



図4. 溶断されたヒューズ

逆方向電流保護

MOSFETのドレイン-ソース間のボディダイオードは、MOSFETが「オン」のとき逆バイアスされ、MOSFET電圧の極性が反転するとき順バイアスになります。当然T₂自体は負の入力電圧をブロックすることはできないということになります。この負の入力電圧は、たとえば負の過渡現象や停電によって入力電圧(図2のV_{BUS})が低下またはゼロになり、DC-DCコンバータの入力コンデンサ(C_{IN})がボディダイオードD₂を介して電源バスに給電するときに偶発的に発生することがあります。

この逆方向電流をブロックするために、負の電流を妨害する（向きの）ボディダイオード D_1 を備えたトランジスタ T_1 が必要です。その結果は、それぞれのボディダイオードに逆方向のバイアスがかかる2つのMOSFETという、高コストなバック・ツー・バック構成になります。

集積型バック・ツー・バックMOSFET

バック・ツー・バック構成の必要性は、図2のようにディスクリートのMOSFETを利用する場合は明らかですが、保護がモノリシックの場合、すなわち制御回路とMOSFETが1つのICに集積化されている場合はそれほど明確ではありません。逆方向電流保護を備えた集積型保護ICの多くは1つのMOSFETを使用し、MOSFETの極性に関係なくデバイスのボディダイオードを逆バイアス状態へ切り替えるという追加の対策を講じています。この実装は、ソースとドレインに関して対称形の構造を備えた5VのMOSFETではうまく機能します。ソース-ボディ間およびドレイン-ボディ間の最大動作電圧は同一です。Maximの場合、高耐圧MOSFETは非対称で、ドレインのみがボディを基準とする高電圧に耐えることができるように設計されています。高耐圧MOSFETのレイアウトはさらに重要で、ソースがボディに短絡された場合のみ、高耐圧MOSFETの $R_{DS(ON)}$ は、最適化されます。つまり、高耐圧(5V以上)の集積型ソリューションも、バック・ツー・バック構成を利用する必要があります。

モータードライバアプリケーション

モータードライバアプリケーションでは、DCモーター電流はMOSFETブリッジドライバによってPWM制御されます。PWM制御サイクルのオフ部分の間、電流は入力コンデンサに回生して戻り、実質的にエネルギー回収機構を実装します。この場合、逆方向電流保護は要求されません。

従来のディスクリートソリューション

図5は、図2に示したものの(24V_{IN}、-60V ~ +60V保護)のようなディスクリート実装を利用する場合の、プリント基板面積および部品点数という点での高いコストを図示しています。PCB面積は70mm²もの大きさになります。

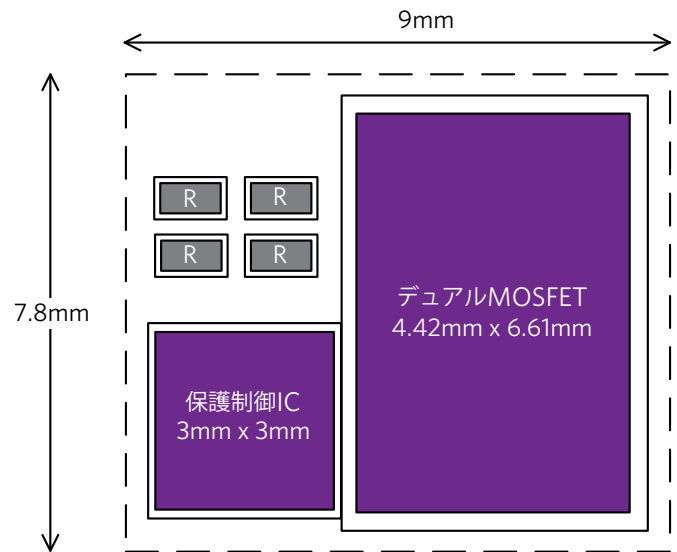


図5. PCB面積が大きい従来のディスクリート保護(70mm²)

集積型ソリューション

図6は、制御およびパワー MOSFETを同一のIC内に集積し、TDFN-EPパッケージ(3mm x 3mm)に封止した場合の優位性を示しています。この場合、占有PCB面積はディスクリートソリューションの約40% (28mm²)に削減されます。

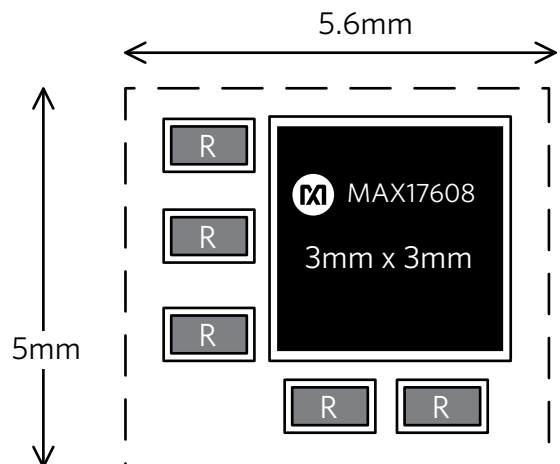


図6. PCB面積を削減する集積型保護(28mm²)

集積型保護ファミリ

可変過電圧および過電流保護デバイスのMAX17608、MAX17609、MAX17610ファミリは、そのような集積型ソリューションの例です。このファミリは、図7に示すように低オン抵抗(210mΩ)のFETペアを内蔵しています。

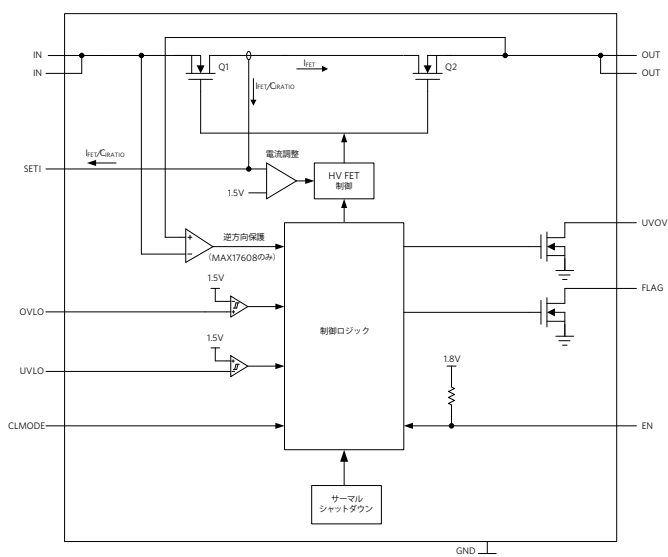


図7. MAX17608/MAX17609過電圧/過電流保護デバイスのブロック図

これらのデバイスは、後段の回路を最大±60Vの正および負の入力電圧フォルトから保護します。過電圧ロックアウトスレシヨルド(OVLO)は、オプションの外付け抵抗で5.5V～60Vの範囲の任意の電圧に調整されます(図8)。同様に、低電圧ロックアウトスレシヨルド(UVLO)も、オプションの外付け抵抗で4.5V～59Vの範囲の任意の電圧に調整されます。これらは、最大1Aまで設定可能な電流制限保護を備えています。電流制限スレシヨルドは、適切な抵抗をSETI端子に接続することによって設定可能です。MAX17608およびMAX17610は逆方向の電流をブロックするのに対し、MAX17609は電流が逆方向に流れることを許容します。また内部のオーバーヒートに対するサーマルシャットダウン保護も備えています。これらは小型、12ピンTDFN-EPパッケージ(3mm x 3mm)で提供され、-40℃～+125℃の拡張温度範囲で動作します。

望ましい内蔵機能以外に、このソリューションはディスクリートソリューションで一般的な±40%と比べて高精度な±3%の電流検出を備えています。また、これらのICはSETI端子で負荷の瞬時電流値を報告します(図8)。これは優れた機能で、システムが各回路基板の消費電流を監視するために役立ちます。

これらのデバイスは、電流制限条件下での動作を、自動復帰モード、連続動作モード、またはラッチオフモードの3種類に設定することができます。これは、システム設計者が負荷過渡現象を管理しシステムのダウンタイムとサービスコストを最小限に抑える方法を決定するための優れた方法です。

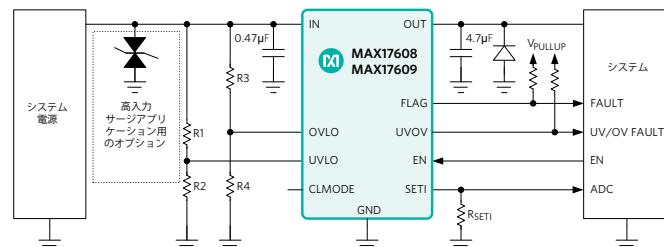


図8. MAX17608/MAX17609のアプリケーション図

最大6Aおよび最大±60Vの保護ソリューションの完全なポートフォリオについては、表1を参照してください。

保護デバイスの保護

標準的なロードボックス(図9)は、データを処理しステップダウンバックコンバータへ電力を送るフロントエンドトランシーバを内蔵し、そのコンバータが適切な電圧をASIC/マイクロコントローラ/FPGAに供給します。負荷は、通常は24V DC電源(VBUS)によって給電されます。電源経路を図9に示します。

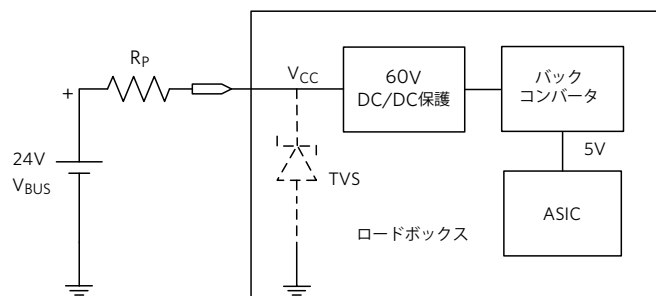


図9. ロードボックスの電源システム

24Vバスがクリーンまたは電氣的ノイズのレベルが前段スイッチングレギュレータの動作電圧以下の場合は、追加の保護は不要です(図2のTVSなし)。

しかし、工場のフロアは非常に厳しい環境で、長いケーブル、落雷、および強力な電磁干渉によって高い過渡電圧が発生します。したがって、場合によってロードボックスはOC/OV保護の動作電圧より大幅に高い過渡電圧に耐える必要があります。

この場合、ロードボックスは過渡電圧サプレッサ(TVS)を利用して前段の入力電圧(V_{CC})を制限します。これに付随する入力電流ピークは、抵抗 R_P (過渡電圧源(V_{BUS})とセンサーの間の電気経路の寄生素子または実物の素子)によって低減されます。

例として、Littelfuse™のカatalogからTVSを選ぶ方法を説明します。TVSの一般的な特性を図10に示します。

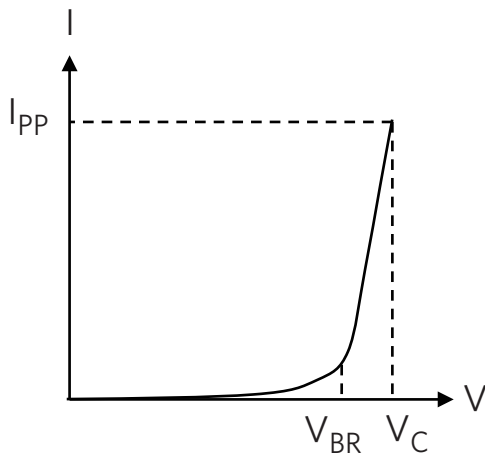


図10. TVSのV-I特性

TVSデバイスは、両端の電圧が V_{BR} に達するまではオープン回路です。この時点で、TVSは電流の導通を開始し、その電圧は最大クランプ電圧 V_C までわずかに上昇し、これは最大許容ピークパルス電流 I_{PP} に相当します。 $V_C \times I_{PP}$ の積は、TVSが処理可能な最大ピーク電力です(このTVSファミリの場合は400W)。

効果的な保護のためには、TVSの V_{BR} が $V_{CC(MAX)}$ 以上になるように選択するとともに、 V_C がスイッチングレギュレータの入力電圧ブレークダウン以下である必要があります。

ここでの V_{BUS} 電源は24V $\pm 10\%$ で、最大値は26.4Vです($V_{BUS(MAX)}$)。Catalogの中で可能な限り最も近いTVSの選択肢はSMAJ28Aで、 V_{BR} が28V (min)、クランプ電圧が45.4V (max)、およびピーク電流が8.8A (max)です(図11)。TVSの電圧と過渡電圧の間の差分によって抵抗(R_P)を通る電流が生じますが、これは最大許容値 I_{PP} 以下である必要があります。

TVSの過渡クランプ波形

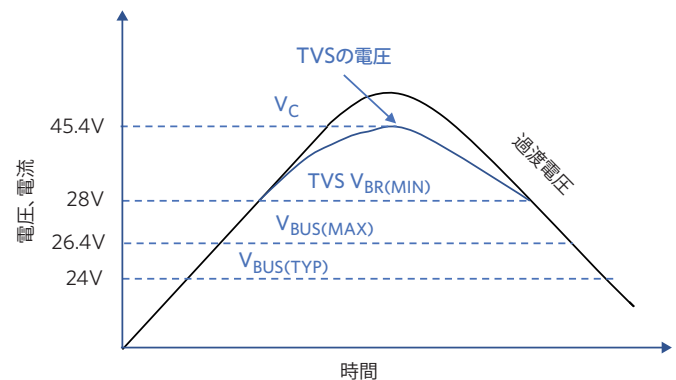


図11. 最小限のTVSの選択

ロードボックスは24VDCおよび少なくとも45.4Vの過渡電圧に耐える必要があるという事実によって、かなりの数のバックコンバータが検討対象から外れます。

さらに、上記の選択では、 V_{BUS} の最大値とTVSの電圧(V_{BR})の最小値の間にわずか1.6Vのマージンしかありません。マージンをより大きくするには、バックコンバータの電圧定格(V_{CC})が45.4Vを大幅に上回っている必要があります。理想的には、60V定格の保護ICとともに、33V (min)の V_{BR} (および60Vより十分に低い53.3Vのクランプ電圧 V_C)を備えたSMAJ33Aを使用することができます。これによって、 $V_{BUS(MAX)}$ より上に6.6Vおよび60Vより下に6.7Vの動作マージンが得られます(図12)。

TVSの過渡クランプ波形

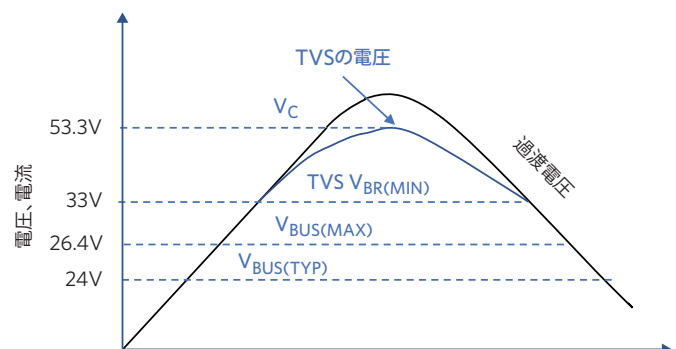


図12. 理想的なTVSの選択

結論

負荷の電子デバイスは、停電や電圧変動、誘導性負荷スイッチング、および落雷の影響からの保護が必要です。ここでは標準的な保護ソリューションについて概説し、その低い集積度がプリント基板スペースの非効率性と部品コストの増大につながるのみでなく、大きな特性ばらつきを持ち、回路認定の課題が生じることを示しました。そして直接および逆方向電圧/電流保護を提供する、高集積の、非常に柔軟な、低 $R_{DS(ON)}$ の保護ICの充実した製品ラインアップを紹介しました。これらのデバイスは使用が非常に容易で、必要な機能を最小限の部品数とプリント基板占有スペースで提供します。これらのICによって、システムの周囲に保護という強固な防衛境界線を設計し、安全性と信頼性を強化することができます。

表1. 集積型電源保護製品の選択表

型番	説明	動作電圧範囲 (V)	最大動作電流 (A)	電流検出精度	R _{ON} (typ)	パッケージ	サイズ (mm x mm)
MAX17612A	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FLAGおよびUVOV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	0.25	±5% (20mA~250mA)	2 x 710mΩ	TDFN-EP/10	3 x 3
MAX17612B	OV、UV、OC、OT、FLAGおよびUVOV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	0.25	±5% (20mA~250mA)	2 x 710mΩ	TDFN-EP/10	3 x 3
MAX17612C	OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FWDおよびREV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	0.25	±5% (20mA~250mA)	2 x 710mΩ	TDFN-EP/10	3 x 3
MAX17608	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FLAGおよびUVOV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	1	±3% (0.2A~1A)	2 x 260mΩ	TDFN-EP/12	3 x 3
MAX17609	OV、UV、OC、OT、FLAGおよびUVOV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	1	±3% (0.2A~1A)	2 x 260mΩ	TDFN-EP/12	3 x 3
MAX17610	OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FWDおよびREV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	1	±3% (0.2A~1A)	2 x 260mΩ	TDFN-EP/12	3 x 3
MAX14721	OV、UV、OC、OT、逆方向電流(外付けFETを使用)、2段構成の電流制限(1×)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	2	±10% (0.3A~2A)	76mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5
MAX14722	OV、UV、OC、OT、逆方向電流(外付けFETを使用)、2段構成の電流制限(1.5×)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	2	±10% (0.3A~2A)	76mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5
MAX14723	OV、UV、OC、OT、逆方向電流(外付けFETを使用)、2段構成の電流制限(2×)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	2	±10% (0.3A~2A)	76mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5

表1. 集積型電源保護製品の選択表(続き)

型番	説明	動作電圧範囲 (V)	最大動作電流 (A)	電流検出精度	R _{ON} (typ)	パッケージ	サイズ (mm x mm)
MAX17613A	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FLAGおよびUVOV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	3	±3.5% (0.15A~3A)	2 x 65mΩ	TQFN-EP/20	4 x 4
MAX17613B	OV、UV、OC、OT、FLAGおよびUVOV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	3	±3.5% (0.15A~3A)	2 x 65mΩ	TQFN-EP/20	4 x 4
MAX17613C	OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FWDおよびREV信号、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~60	3	±3.5% (0.15A~3A)	2 x 65mΩ	TQFN-EP/20	4 x 4
MAX17525	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(外付けP-FET)、FLAG信号、2段構成の電流制限(1×、1.5×および2×オプションあり)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	6	±10% (1A~6A)	31mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5
MAX17526A	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(外付けN-FET)、FLAG信号、電力制限、2段構成の電流制限(1×)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	6	±6% (0.6A~6A)	30mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5
MAX17526B	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(外付けN-FET)、FLAG信号、電力制限、2段構成の電流制限(1.5×)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	6	±6% (0.6A~6A)	30mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5
MAX17526C	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(外付けN-FET)、FLAG信号、電力制限、2段構成の電流制限(2×)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	5.5~60	6	±6% (0.6A~6A)	30mΩ	TQFN-EP/20	5 x 5

表1. 集積型電源保護製品の選択表(続き)

型番	説明	動作電圧範囲 (V)	最大動作電流 (A)	電流検出精度	R _{ON} (typ)	パッケージ	サイズ (mm x mm)
MAX17523	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(外付けFETを使用)、端子選択可能(ラッチオフ、自動復帰、連続動作)	4.5~36	1	±10% (0.3A~1A)	2 x 95mΩ	TQFN-EP/16	3 x 3
MAX17561	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FLAG信号、自動復帰	4.5~36	4.2	±15% (0.7A~4.2A)	2 x 50mΩ	TSSOP-EP/14	5 x 6.5
MAX17562	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FLAG信号、ラッチオフ	4.5~36	4.2	±15% (0.7A~4.2A)	2 x 50mΩ	TSSOP-EP/14	5 x 6.5
MAX17563	OV、UV、OC、OT、逆方向電流保護(内蔵FET)、FLAG信号、連続動作	4.5~36	4.2	±15% (0.7A~4.2A)	2 x 50mΩ	TSSOP-EP/14	5 x 6.5

関連リソース

完全なシステム電源保護

アプリケーションノート

How Protection ICs Maintain System Uptime

(保護ICはどのようにシステムの稼働時間を維持するか) (英文)

How to Connect System Protection ICs for Higher Current Application

(より高電流のアプリケーション用にシステム保護ICを接続する方法) (英文)

ブログ

A Simple Way to Increase Factory Uptime

(工場の稼働時間を増大させる簡単な方法) (英文)

ビデオ

電源保護の基礎

さらに詳しく

詳細については、こちらをご覧ください:

www.maximintegrated.com/jp/systemprotection

マキシム・ジャパン株式会社

〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-4 大崎ニューシティ 4号館20F

©2020 Maxim Integrated Products, Inc. All rights reserved. Maxim IntegratedおよびMaxim Integratedのロゴは、米国およびその他の国の管轄域におけるMaxim Integrated Products, Inc.の登録商標です。その他、記載されている会社名、製品名は各社の登録商標、または商標です。

Rev 0; April 2020

