

IEC 62368-1に対応し電源ラインの堅牢な保護が可能なeFuse IC

eFuse ICs Enhancing Protection of Power Supply Lines in Compliance with IEC 62368-1

矢動丸 裕 YADOMARU Yutaka 引地 佑輔 HIKICHI Yusuke

電子機器に対する安全意識が国内外で高まっており、欧米では、情報通信・AV機器向けの新安全規格であるIEC 62368-1（国際電気標準会議規格 62368-1）^{（注1）}が2020年12月から施行される。IEC62368-1は人体への傷害を防ぐための規格であり、規格の遵守のためには電源ラインの堅牢（けんろう）な保護が重要である。そのため、電源ラインの保護には従来のヒューズなどに比べて保護性能に優れた電子ヒューズ（eFuse IC）の需要が高まっている。

東芝デバイス&ストレージ（株）は、高速かつ高精度な過電流保護に加え、突入電流の抑制や、過電圧保護、過熱保護、電流の逆流防止などを組み合わせた様々な保護機能を実現できるeFuse ICとしてTCKE800/805/812シリーズを開発し、IEC 62368-1 認証を取得後、製品化している。

In recent years, attention has become increasingly focused on the safety of various electronic devices worldwide. Particularly in Europe and the United States, IEC (International Electrotechnical Commission) 62368-1, a new safety standard for audiovisual and information and communication equipment, will be introduced in December 2020. In order to enhance the protection of power supply lines of such equipment in compliance with IEC 62368-1, which is a hazard based standard, demand has arisen for electronic fuse integrated circuits (eFuse ICs) offering higher protection performance compared with conventional protective devices, as typified by physical fuses.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has developed and released a lineup of eFuse ICs compliant with the IEC 62368-1 standard that provide various protection functions comprising inrush current suppression, overvoltage protection, overheating protection, and reverse current protection, in addition to a high-speed, high-precision overcurrent protection function.

1. まえがき

近年、電子機器に対する安全意識が高まっており、欧米では情報通信・AV機器向けの新安全規格IEC 62368-1が2020年12月から施行される（図1）。IEC 62368-1の要求に応えるには電源ラインの堅牢な保護が重要であり、特に電源ラインの過電流から回路を高速かつ高精度に保護することが求められる。電源ラインの過電流保護には、従来、ガラス管ヒューズや、チップヒューズ、ポリヒューズなどが用いられていたが、安全意識の高まりとともに高速かつ高精度な過電流保護機能に加え、様々な保護機能を備えるeFuse ICの需要が増加してきている。

東芝デバイス&ストレージ（株）は、電子機器の安全性確保に貢献するためIEC 62368-1に適合したeFuse ICを開発している。ここでは、製品化したeFuse ICのTCKE800/805/812シリーズに用いられている保護機能に関する技術について述べる。

（注1）IEC62368-1は、人体への傷害を防ぐ“ハザードベース・セーフティー・エンジニアリング（HBSE：危険から始まる安全工学）”という概念を基に開発され、IECで定められた新しい製品安全規格。

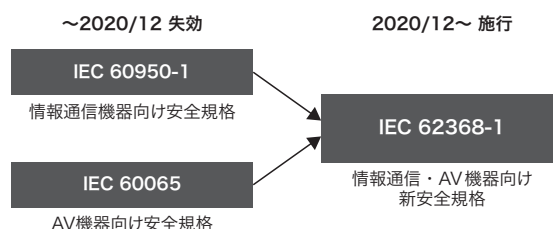


図1. 新たに施行される安全規格IEC 62368-1
需要増加に加え、新たな安全規格IEC 62368-1への対応が求められる。
New IEC 62368-1 safety standard

2. eFuse ICの概要

2.1 eFuse IC

eFuse ICは、半導体素子を使用して過電流から回路を保護するヒューズの機能を持ったICである。

現在、ヒューズとして一般に用いられているガラス管ヒューズやチップヒューズは、電源ラインに定格以上の大電流が流れたときに発生するジュール熱を利用し、経路を溶断させて電流を遮断し、機器の破壊や火災などを防止する。

これに対してeFuse ICは、電源ラインの導通をICに内蔵したMOSFET（金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ）で制御し、大電流が発生したときにはMOSFETをオフすることで電流を遮断し、機器の保護を行う。

2.2 eFuse ICを使用するメリット

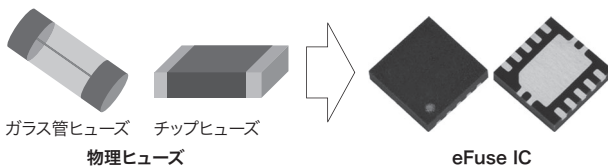
eFuse ICと物理ヒューズの特性比較を、図2に示す。ガラス管ヒューズなどの従来型ヒューズに対して、eFuse ICを使用するメリットは多い。

従来型の物理ヒューズは、過電流によるジュール熱で経路を溶断させるため、過電流に対する保護の速度が遅く、過電流の検出精度も低いというデメリットがある。また、一度ヒューズが切れると、部品交換作業が必要になる。

一方、eFuse ICは、電流をモニターし過電流発生時に内蔵のMOSFETを制御するため、高速かつ高精度な過電流保護が可能である。また、MOSFETで経路を遮断するため繰り返し使用でき、部品交換などのメンテナンスコストを低減できる。更に、過電流保護に加え、突入電流抑制や、過電圧保護、過熱保護、電流の逆流防止などを組み合わせた高度な保護機能を実現できるというメリットがある。

3. 各種機能

2.2節で述べたように、eFuse ICは、従来型ヒューズでは実現できなかった、複数の高度な保護機能を搭載している。



項目	ガラス管ヒューズ	チップヒューズ	eFuse IC
繰り返し性	×	×	○
過電流保護の速度・精度	×	×	◎
そのほかの保護機能 (過熱保護など)	×	×	◎
周囲温度による影響	×	×	◎
単体実装面積	×	○	△
保護回路を含む トータル実装面積	×	×	◎
部品単体コスト	○	○	△
機能・メンテナンスを含む トータルコスト	×	×	◎

◎:非常に良い ○:良い △:普通 ×:悪い

図2. eFuse ICと物理ヒューズの比較

eFuse ICは、従来の物理ヒューズに比べて多くの特長を持っている。

Comparison of characteristics of physical fuses and eFuse IC

3.1 過電流保護機能

3.1.1 定電流制御による保護

今回開発したeFuse ICでは、過電流保護に垂下型と呼ばれる定電流制御による電流制限機能を採用している。

定電流制限回路は、負荷に異常が発生して出力電流(I_{OUT})が既定の制限電流(I_{OUT_CL})を超えた場合に、出力MOSFETのゲートを制御してオン抵抗(R_{on})を増加させることで、電流を I_{OUT_CL} に制限する。

過電流状態が継続すると、損失 $I_{OUT_CL}^2 \times R_{on}$ による発熱で温度上昇するが、既定温度に達すると過熱保護回路が動作して出力MOSFETをオフし、機器を保護できる。

3.1.2 短絡保護機能

3.1.1項に記載した定電流制御回路は、 I_{OUT_CL} の精度が標準値に対して $\pm 11\%$ ($I_{OUT_CL}=4\text{ A}$ 設定時)という高い精度を実現しているほか、外部抵抗によって I_{OUT_CL} を変える機能を持たせており、多様な要求に対応した高度な保護を実現している。

しかし、実使用を想定した場合、定電流制御回路と過熱保護回路だけで保護できる状況は限定的である。開発したeFuse ICの通常動作時の R_{on} は約30 mΩであり、例えば、入力電圧(V_{IN})が12 Vで使用中に出力電圧(V_{OUT})がGND(接地)に短絡すると、単純計算で瞬間的に100 A以上が流れるおそれがあり、定電流制御回路が動作するまでの数百μsの間に機器やeFuse IC自身が破壊してしまう。

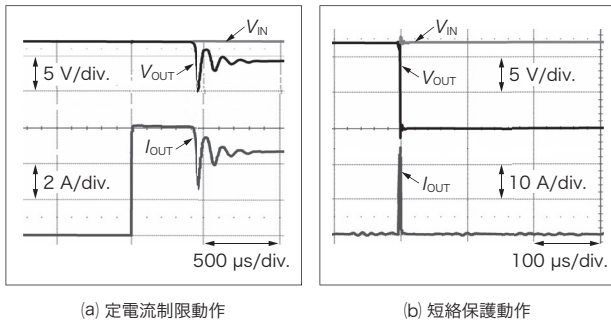
このため、短絡時まで含めた過電流状態に対して、保護動作をいかに高速化するかが課題となる。定電流で制御する方式では、一般にアンプで負帰還を掛ける制御が必要になるが、位相補償のために内部に容量が必要となることなどから高速化には限界がある。

そこで、非常に低い抵抗値で短絡したハードショート時には、定電流制御ではなく超高速で電流を遮断する短絡保護機能(ファストトリップ機能)も併せ持つ構成とした。短絡保護機能は、アンプを使った負帰還回路ではなく、コンパレータを用いた回路構成とすることで、 I_{OUT} がしきい値(開発したeFuse ICでは、 I_{OUT_CL} の1.6倍に設定)を超えた瞬間にスイッチをオフする超高速保護動作(150 ns(標準値))を実現した。過電流負荷接続時の応答波形の実測データを、図3に示す。

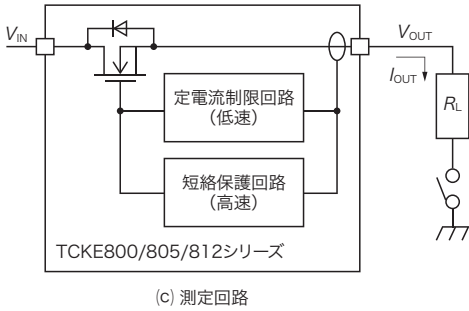
このように、2重の保護回路を搭載することで、短絡まで含めた過電流に対して堅牢な保護を実現することに成功した。

3.2 電流の逆流防止機能

通常、MOSFETをスイッチとして使用する場合に $V_{OUT} > V_{IN}$ になると、MOSFETのドレイン-ソース間に存在するpn(p:p型半導体, n:n型半導体)ダイオードを介して出力



(a) 定電流制限動作 (b) 短絡保護動作



(c) 測定回路

div. : division R_L : 負荷抵抗

図3. 過電流負荷接続時の応答波形

開発したeFuse ICでは、過電流負荷接続時の保護回路を2重化することで、より堅牢な過電流保護を実現した。定電流制限動作か、短絡保護動作かは、 R_L の値によって決まる。

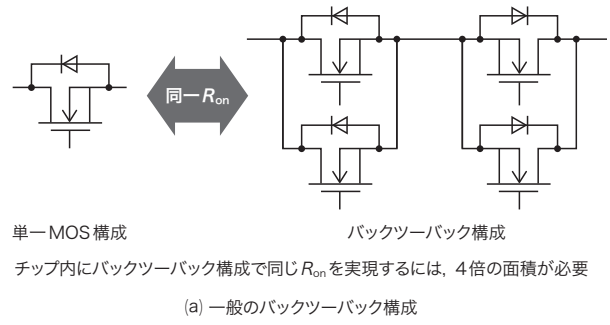
Response waveforms at time of connecting overcurrent load

端子VOUTから入力端子VINへ電流が逆流してしまう。

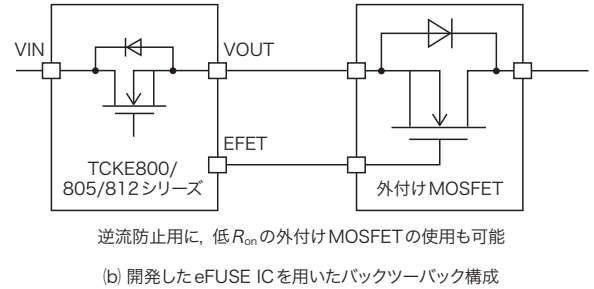
eFuse ICの用途は様々であり、電流の逆流防止機能が必要とするアプリケーションも多く存在する。

逆流防止を実現する方法は、二つのMOSFETを対向させて直列接続することでpnダイオードを介した逆流を防ぐ、バックツーバック構成とするのが一般的である。しかし、IC内でこの構成を採用する場合には、 R_{on} の悪化という問題が生じる。通常の単一MOSFETを使用した場合と比較して、同一面積では R_{on} が4倍になってしまい、同じ R_{on} を実現しようとするMOSFETの面積は4倍に増加する。eFuse ICのような大電流対応で低 R_{on} の製品では、チップ内でMOSFETの占める面積は非常に大きくなり、チップコストや製品サイズの増大に直結する。

そこで、開発したeFuse ICでは、逆流防止機能はオプションとして設けることとした。これにより、逆流防止が不要な場合には無駄なコストアップを避け、逆流防止機能が必要な場合には外付けのMOSFETを接続することでバックツーバック構成による逆流防止機能を実現できる。外付けのMOSFETによる逆流防止機能の構成を、図4に示す。ゲートの制御については、EFET端子を外付けのMOSFET



単一MOS構成 バックツーバック構成
チップ内にバックツーバック構成で同じ R_{on} を実現するには、4倍の面積が必要 (a) 一般のバックツーバック構成



逆流防止用に、低 R_{on} の外付けMOSFETの使用も可能 (b) 開発したeFuse ICを用いたバックツーバック構成

図4. 外付けMOSFETをバックツーバック接続した逆流防止機能

開発したeFuse ICでは、低 R_{on} の外付けMOSFETを用いることで、逆流防止機能を実現した。

Reverse current protection through back-to-back connection of external metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (MOSFET) to eFuse IC

のゲートに接続することで、内部MOSFETと同時に制御できるようにしている。

4. あとがき

電子機器の電源ラインの保護に最適なeFuse ICの保護機能について、当社が保有する技術を中心に述べた。

今後も、電源ラインの保護に最適な半導体製品の開発を行うことで、電子機器の安全性向上に貢献していく。



矢動丸 裕 YADOMARU Yutaka
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部
ディスクリット応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



引地 佑輔 HIKICHI Yusuke
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部
先端集積デバイス開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.