

## DC電源電圧保護回路に関する 半導体の考察



ON Semiconductor®

[www.onsemi.jp](http://www.onsemi.jp)

### APPLICATION NOTE

#### 要約

本資料では、DC電源の過電圧/低電圧保護方式で  
使用される半導体センス回路およびSCRクロバ・  
デバイスに対する要件について説明します。

#### はじめに

現在では、低電圧の単一DC電源で動作する数百  
ドル程度のマイクロプロセッサやメモリ・チップは  
なかなか見つかりません。

基板上の電源に過電圧保護や低電圧保護がない場  
合は、部品が故障したり、システムの試験中や修理  
中に誤って、異なる電圧の電源バスにツールを落と  
したりすると、文字通り莫大な金額が煙と消える可  
能性があります。

数年来、コンピュータ・メーカや産業機器メーカ  
は、障害を防止するために過電圧保護(OVP)および  
過/低電圧保護(OUVP)回路にわずかな追加投資を行  
うことに同意しています。

オン・セミコンダクターは「クロバ」センス回  
路技術を選択しています。このシステムは、過電圧  
状態を検出し、電源を素早く「クロバ」すなわち  
短絡させて、電源を強制的に電流制限動作にする  
か、あるいはヒューズまたは回路ブレーカを開放し  
ます。この技術を詳細に説明する前に、次の3つの  
質問を検討する必要があります。

1. なぜOVPを使用するか？メモリを節約しシス  
テムの信頼性を向上させる。
2. どこでOVPを使用するか？
  - 過電圧/低電圧が問題となる場所
  - 電源システムが使用されている場所
  - スイッチモード・システムが設計されてい  
る場所
3. どのようにOVPを使用するか？現在、OVPア  
プリケーションでは数種類のセンス回路が使用  
されています。  
これらは次の3種類に分類できます。
  - a) ツェナ
  - b) ディスクリット
  - c) MC1723 (OVP構成での電圧安定化)

#### ツェナ・センス回路

過電圧に対して保護する最も簡単な方法は、ツェ  
ナ・ダイオードを使用して出力電圧を検出すること  
です(Figure 1)。ツェナはアバランシェ状態に入ると  
SCRをトリガします。

この種の保護には、次のような問題があります。

1. 別のツェナ・ダイオードを選択する以外、  
閾値調整がない。
2. 瞬時過渡を無視できない。
3. 低速で変化する電圧検出時に、トリガ電流立  
ち上がり時間が不十分になりSCR信頼性が低下  
下。

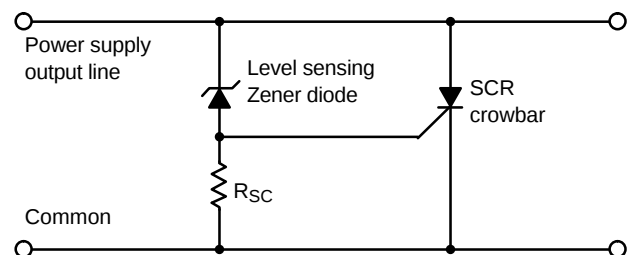


Figure 1.

#### ディスクリットのセンス回路

適切なゲート・ドライブと調整可能な低温度係数  
トリップポイントを提供できる技術をFigure 2に示  
します。

この回路には、ツェナ基準電圧(Z1)、コンパレー  
タ部(Q1、Q2)、バンドギャップ回路(Q3、Q4)、ポテ  
ンショメータ(R1)、トリップポイント、および出力  
部(Q5、R2、R3、D1)が含まれます。

この技術はツェナ・センス回路の問題を克服しま  
すが、次のような多くの欠点ももたらします。

1. 多数の部品が必要(今回は12個)
2. コストが非常に高い。
3. この方法は特に耐ノイズ性が高いわけではな  
く、有害なトリップが生じることが多い。

This document may contain references to devices which are no  
longer offered. Please contact your ON Semiconductor  
representative for information on possible replacement devices.

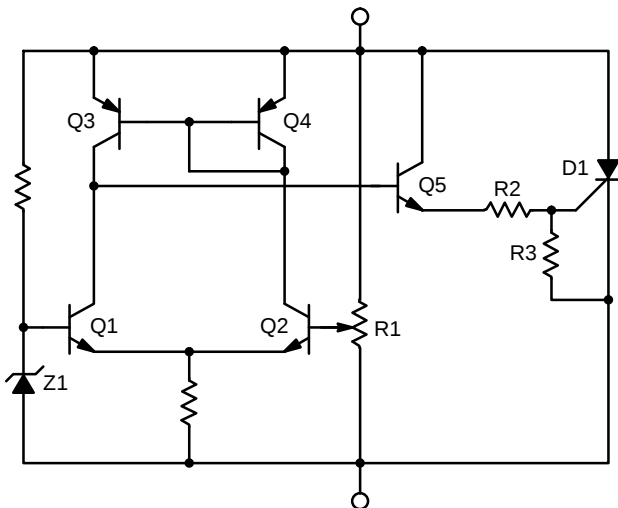


Figure 2.

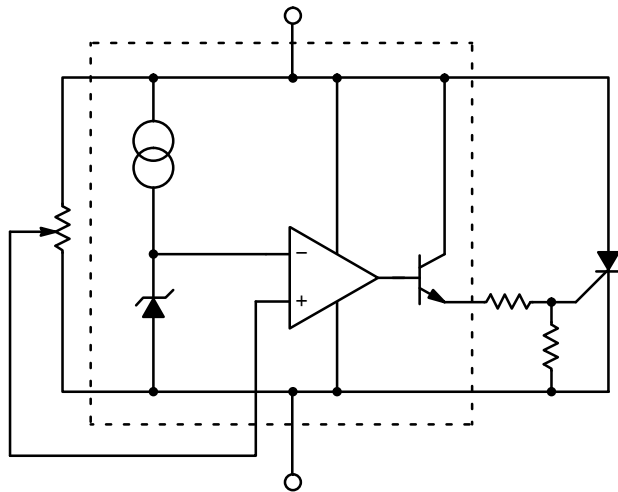


Figure 3.

#### MC1723センス回路

より簡単な方法は、MC1723電圧レギュレータでSCRクローバを起動することです。

部品点数が大幅に削減されます(Figure 3参照)。主な欠点は次のとおりです。

1. 耐ノイズ性がない。
2. 最小入力電圧範囲は9.5 Vなので、より高い電圧での使用に限定されるか補助電源電圧を供給して補う。

#### SCRの選択

DC電源でのSCRクローバ過電圧保護回路の使用は、長年にわたり偶発的な過電圧ストレスから負荷を保護するための一般的な方法でした。この技術を使用し適切に実装することが、半導体産業によるLSIの最近の進歩に伴って、ますます重要になってきています。

Figure 4、5を参照すると、クローバSCRはアクティブになると出力容量 $C_{OUT}$ からの大きな電流サージに晒されることが分かります。このサージ電流はFigure 6に図解されていますが、 $di/dt$ 、絶対ピーク・サージ、 $I^2t$ の3つの作用のいずれかによって、SCRの故障や劣化を生じる可能性があります。これらの故障要因とアプリケーションの多様性との関係のために、半導体メーカーによるSCRの仕様が困難かつ高価なものになっています。したがって、設計者は、信頼性が高く効果的なOVP動作が可能なSCRや回路要素を、実験に基づいて決定する必要があります。ただし、SCRの $di/dt$ およびサージ能力に影響を与える要因を理解することで、この作業が単純化されます。

SCRのゲート領域が駆動されて導通すると、その導通領域の成長時間は有限であり、非常に小さい領域から徐々に拡大していきます。アノード電流は、この導通ゲート領域を通じて流れるので、高いアノード電流が急速に( $di/dt$ )現れた場合は、ゲート領域に非常に高い電流密度が発生する可能性があります。これによって、機会の重大度に応じて、SCRの即時破壊や順方向ブロック電圧能力の緩やかな劣化をもたらす可能性があります。

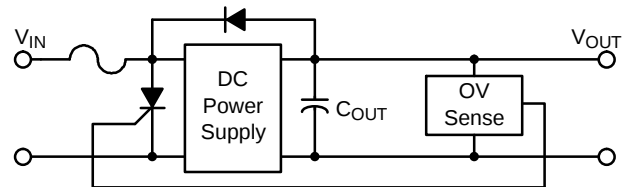


Figure 4.

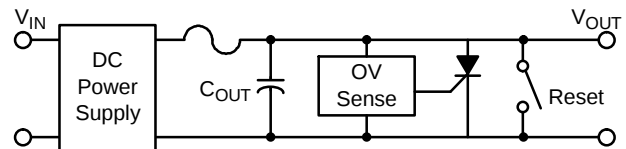


Figure 5.

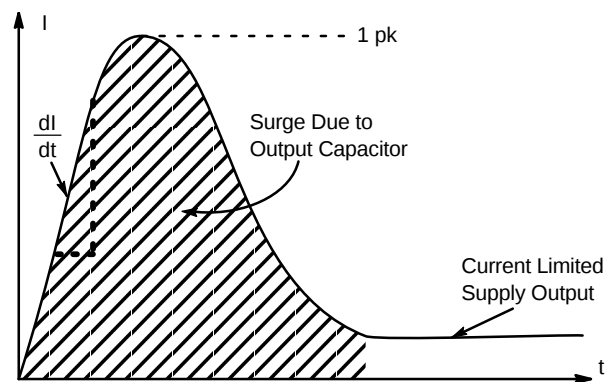


Figure 6.

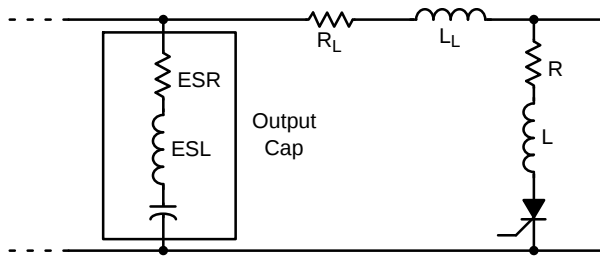


Figure 7.

$C_{OUT}$ は、電源の出力容量、負荷のデカップリング容量、電源の入力フィルタ容量(Figure 4の場合)で構成されます。

SCRが安全に処理できる $di/dt$ 値は、その構成とゲート・ドライブ信号の特性によって影響されます。センタゲートファイアSCRは、コーナゲートファイア・タイプよりも $di/dt$ 能力が高く、高速(< 1  $\mu s$ )の立ち上がり時間信号でSCRゲートを深くオーバドライブ( $I_{GT}$ の3~5倍)して、 $di/dt$ 能力を最大限に高めます。ゲート電流が $I_{GT}$ の5倍、立ち上がり時間が1  $\mu s$ 未満と仮定した場合、定格50 Arms未満の位相制御SCRの標準的な最大値は、200 A/ $\mu s$ です。これを行った場合、 $di/dt$ の問題が依然として存在することが分かりますが、Figure 7に示すように、SCRと直列にインダクタンスを追加することによって、電流波形の $di/dt$ も低減することができます。もちろん、これによってDCバス電圧を急降下させる回路能力が低下し、迅速な電圧降下と $di/dt$ の間でトレードオフを行う必要があります。

#### サージ電流

ピーク電流やサージの持続時間が過剰な場合、デバイス過熱による即時破壊が生じます。SCRのサージ能力はダイ面積に正比例します。バス電圧を迅速に降下させるために、サージ電流を(Figure 7のよ

うに直列抵抗を追加して)システム要件に適合する安全レベルにまで低減できない場合は、高電流SCRを使用する必要があります。これにより、SCRの平均電流能力がDC電源で求められる定常状態時の電流要件を超える場合があります。

#### 過電圧プロテクタ：MC3423

低コスト、低複雑度手法のニーズを満たすために、あるいは従来技術の欠点を排除したクローバ過電圧保護を実装するために、オン・セミコンダクターはMC3423とその軍用バージョンのMC3523を開発しました。

この回路はクローバSCRの $di/dt$ 能力を最大限引き出すために、400 mA/ $\mu s$ の立ち上がり時間で最大300 mAの出力電流を供給するように設計されています。また、次の主な特長を備えています。

- 4.5~36 Vの電源電圧で動作
- 可変、低温度係数のトリップ・ポイント
- ノイズの多い環境で厄介なトリップを低減するための、動作前に調整可能な最小過電圧持続時間(0.5  $\mu s$ ~1.0 ms)
- リモート・アクティベーション入力
- アクティベーション表示出力
- 出力短絡回路を $V_{CC} \leq 10$  Vに対して保護

#### ブロック図

MC3423のブロック図をFigure 8に示します。このデバイスは安定した2.6 V基準電圧、2個のコンパレータ、高電流出力で構成されています。

この出力は、表示出力トランジスタと共に、ピン3への2.6 Vを超える電圧、またはリモート・アクティベーション入力(ピン5)へのTTL/5 V CMOS“H”論理レベルによってアクティブになります。

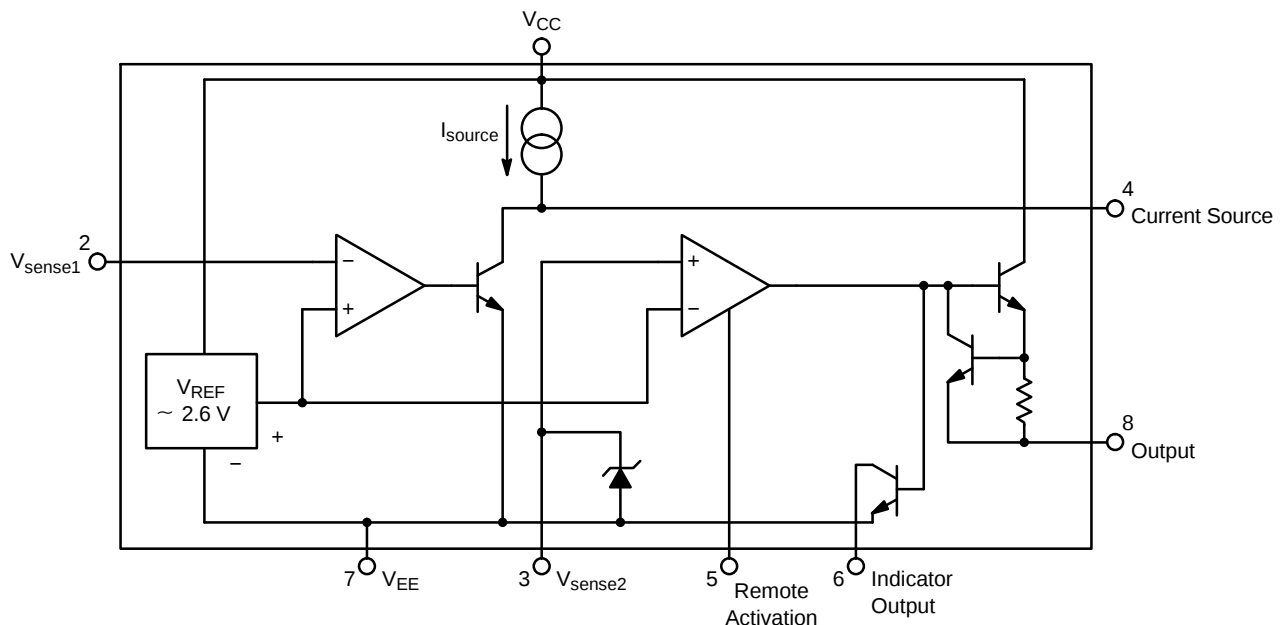


Figure 8.

最初のコンパレータは、安定した時間遅延を開始するように設計されており、第2のコンパレータはクローバ点火電流と低レベル表示信号の両方をアクティブにします。

### 基本回路

OVPの基本回路構成をFigure 9に示します。この回路では、過電圧状態を検出するために、両方の内部アンプの電圧検出入力が互いに接続されています。これによって可能な最短の伝搬遅延が得られます。

MC3423がトリガし、クローバSCR、Q1にゲート・ドライブを供給するトリップ電圧の閾値は、R1とR2の選択によって決まります。これらの値は等式(1)で求めることができます。

$$V_{trip} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R1}{R2} \right) = 2.6 \text{ V} \left( 1 + \frac{R1}{R2} \right) \quad (\text{eq. 1})$$

ドリフトを最小限に抑えるには、 $R2 \leq k\Omega$ となります。

Figure 10に( $R2 = 2.7 \text{ k}\Omega$ )、R1対トリップ電圧の値(min, typ, max)を示します。

スイッチS1 (Figure 9)は、SCRクローバをリセットするのに使用できます。S1がない場合は、SCRが接続されている電源をシャットダウンしてクローバをリセットする必要があります。電流制限されていない電源を使用する場合、ヒューズまたは回路ブレーカF1を使用して、SCRや負荷を保護しなければなりません。

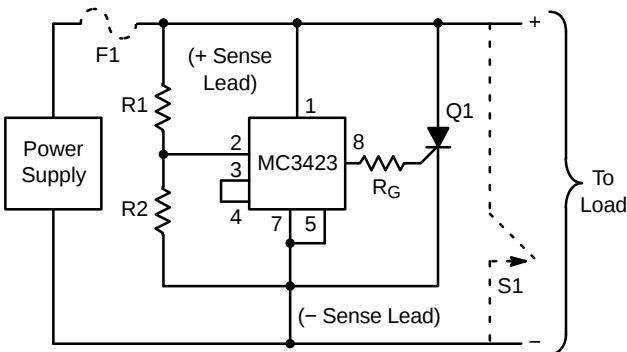


Figure 9.

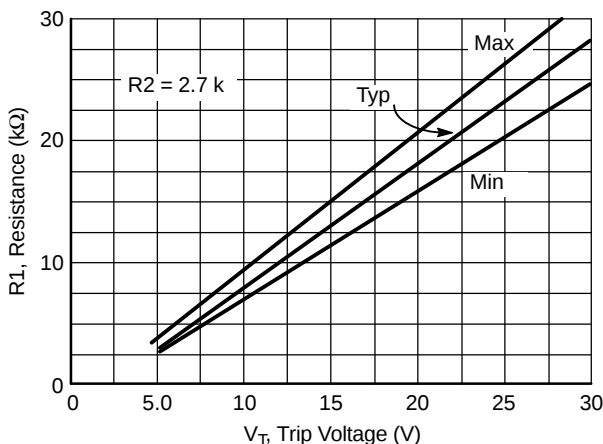


Figure 10.

ゲート電流制限抵抗 $R_G$ の最小値をFigure 11に示します。この $R_G$ の値を使用すると、SCRのQ1にはMC3423に損傷を与えることなく、可能な最大のゲート電流が流れます。より低い出力電流が要求される場合は、 $R_G$ の値を増やすことができます。

### プログラミング

#### 低電圧 < 36 V

多くの場合、MC3423はノイズの多い環境で使用されます。通常は負荷に影響を与えないノイズによるOVP回路の誤トリップを防止するために、MC3423はプログラム可能な遅延機能を備えています。この機能を実装するには、Figure 12の回路構成を使用します。この構成では、ピン3から $V_{EE}$ にコンデンサが接続されます。このコンデンサの値はOVPをトリップするのに必要な過電圧状態の最小持続時間を決定します。Cの値はFigure 13から分かります。回路は次のように動作します。 $V_{CC}$ がR1とR2で設定されるトリップ・ポイントより高く上昇すると、内部電流源(ピン4)がピン3に接続されているコンデンサCの充電を開始します。これが起こる前に過電圧状態がなくなった場合、コンデンサは充電レートの $\approx 10$ 倍の速度で放電され、次の過電圧状態が起こるまで、タイミング機能がリセットされます。

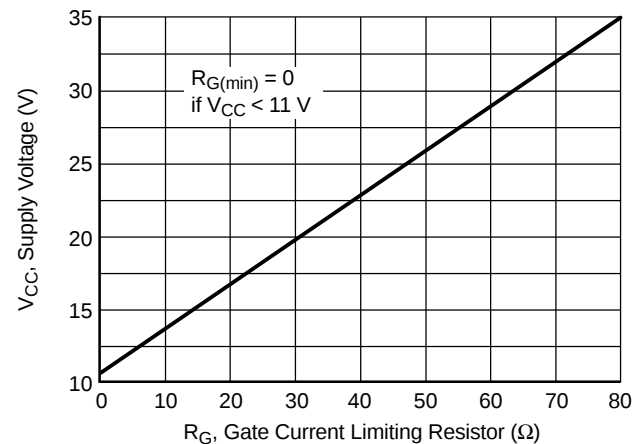


Figure 11.

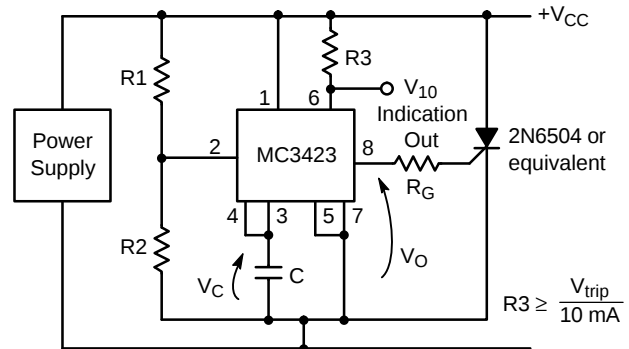


Figure 12.

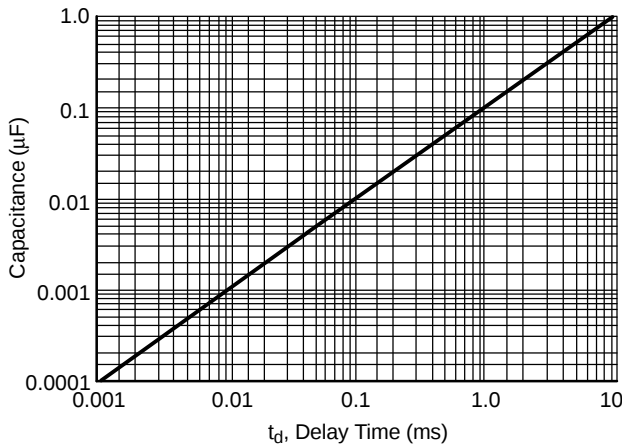


Figure 13.

場合によっては、Figure 12の誤トリップ・イミュニティを維持しながら、高い過電圧状態が発生したときに、電源の即時クローバ動作が起こることが望まれます。

#### 高電圧 36 V < V < 800 V

Figure 14は、ツェナ・ダイオード1N4740 (10 V)と正のセンス・リードに10 μF (15 V)コンデンサを使用した、36 Vを超える電圧に対する電圧保護のための代表的なアプリケーションです。

$R_S$ の値は次の公式(2)を使用して計算できます。

$$R_S = \frac{(V_S - 10)}{25} \text{ k}\Omega \quad (\text{eq. 2})$$

Vトリップは公式(1)で与えられます。

次のとおりSCR (Q1)を選択すれば、最大800 Vまで保護することができます。

- $V_S \leq 50 \text{ V}$ : 2N6504または同等品
- $V_S \leq 100 \text{ V}$ : 2N6505または同等品
- $V_S \leq 200 \text{ V}$ : 2N6506または同等品
- $V_S \leq 400 \text{ V}$ : 2N6507または同等品
- $V_S \leq 600 \text{ V}$ : 2N6508または同等品
- $V_S \leq 800 \text{ V}$ : 2N6509または同等品

この構成(Figure 14)では、標準伝搬遅延は1.0 μsです。より高速な動作が必要な場合は、ピン3をピン2に接続し、ピン4はフロート状態にしておくことができます。これにより、トリップ電圧値に対する $T_C$ がわずかに増加しますが、伝搬遅延は約0.5 μsに短縮されます。

#### その他の特長

##### アクティベーション表示出力

MC3423によって、OVPアクティベーションの表示として使用する追加出力が提供されます。この出力はオープン・コレクタのトランジスタで、OVPがアクティブになると飽和します。Figure 12、15のように、SCRクローバが電源電圧 $V_{CC}$ を4.5 V以下に引き下げるまで飽和状態のままです。この出力はエッジ・トリガ型フリップフロップのクロック駆動に使用

できます。このフリップフロップの出力は、OVPトリップ時に電源を禁止またはシャットダウンします。これにより、クローバSCRのヒートシンク要件が緩和または排除されます。

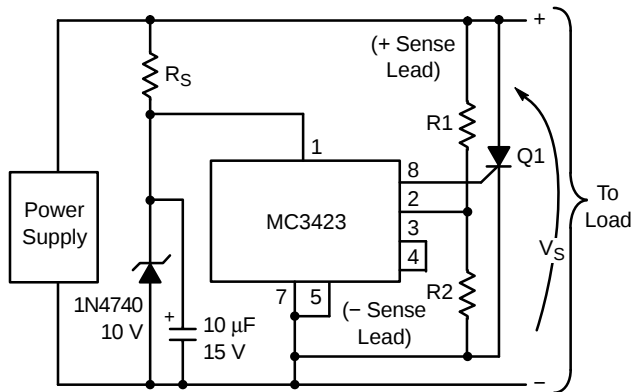


Figure 14.

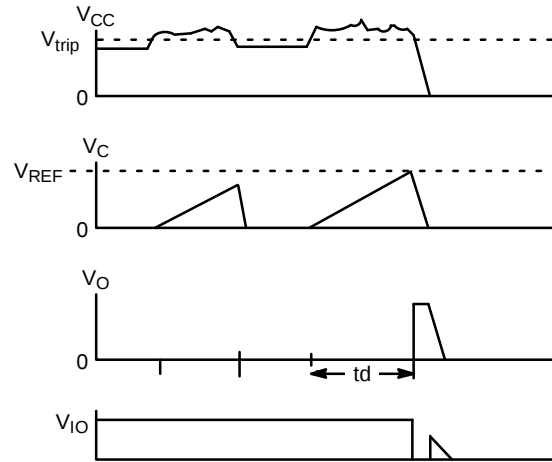


Figure 15.

Figure 13 (Cの値)とFigure 15を使用すると、 $t_d$ は次のようになります。

$$t_d = \frac{V_{REF}}{I_{source}} \times C \approx (12.10^3) \cdot C \quad (\text{eq. 3})$$

#### リモート・アクティベーション入力

MC3423のもう1つの特徴はリモート・アクティベーション入力(ピン5)です。このCMOS/TTL互換入力の電圧が0.8 V以下に保持されると、MC3423は正常に動作します。ただし、2.0 Vを超える電圧に上昇すると、OVP出力は過電圧状態が存在するかどうかに関係なくアクティブになります。ピン5には内部プルアップ電流源があることに注意してください。この機能を使用すると、システム障害時にシステム電源の秩序立った順次シャットダウンを達成できます。さらに、Figure 16に示すように、1個のトランジスタ・インバータを使って、前のICの表示出力を後のICのリモート・アクティベーション入力に接続すると、1つのMC3423のアクティベーション表示出力で

別のMC3423をアクティブにすることができます。この回路では、電源1のMC3423の表示出力(ピン6)を使用して、電源2に関連するMC3423をアクティブにします。Q1は十分な電圧定格を持つ任意の小形PNPです。

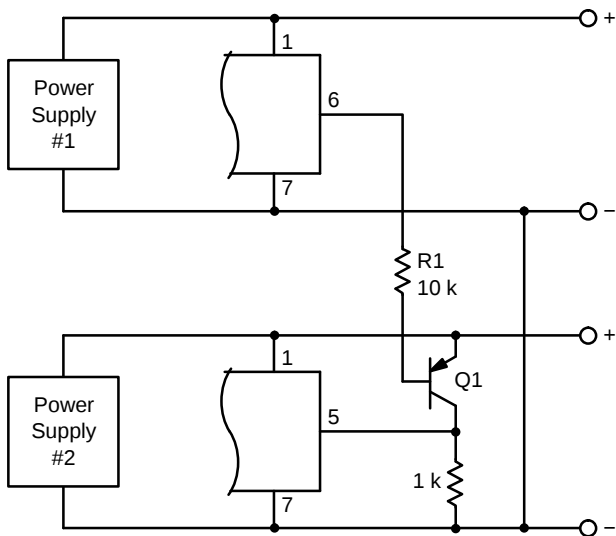


Figure 16.

両電源の負の出力リードが互いに接続される(すなわち、両方とも正電源)ことに注意してください。正リードが共通(2つの負電源)の場合、Q1のエミッ

タが電源1の正リードに移動するので、Q1に適切なドライブを供給するようにR1のサイズを変更する必要があります。

#### ヒューズ保護回路について

上記のFigure 4、5を参照すると、保護対象電源の出力電流が制限されていない場合はヒューズが必要なが分かります。このヒューズはSCR障害を防止するためではなく、火災を防止することが目的です！

SCRを保護するために、ヒューズの $I^2t$ 定格はSCRよりも低くなくならず、それでいて通常の電源出力電流に耐え得るだけの高い連続電流定格を備えている必要があります。

さらに、電源からの高い短絡電流を適切に除去できなければなりません。このようなヒューズは非常に高価であり、入手できない場合もあります。

#### 過電圧および低電圧保護とは

MC3424とMC3425、およびそれらの軍用温度範囲対応シリーズMC3524とMC3525の2種類の回路が開発されています。MC3423と同様、これらの回路は主に電圧保護回路として使用することを目的としていました。基本的にMC3424とMC3425も「クロージャ・センシング回路技術」を使用しており、ブロック図(Figures 17、18)はMC3423のようです。

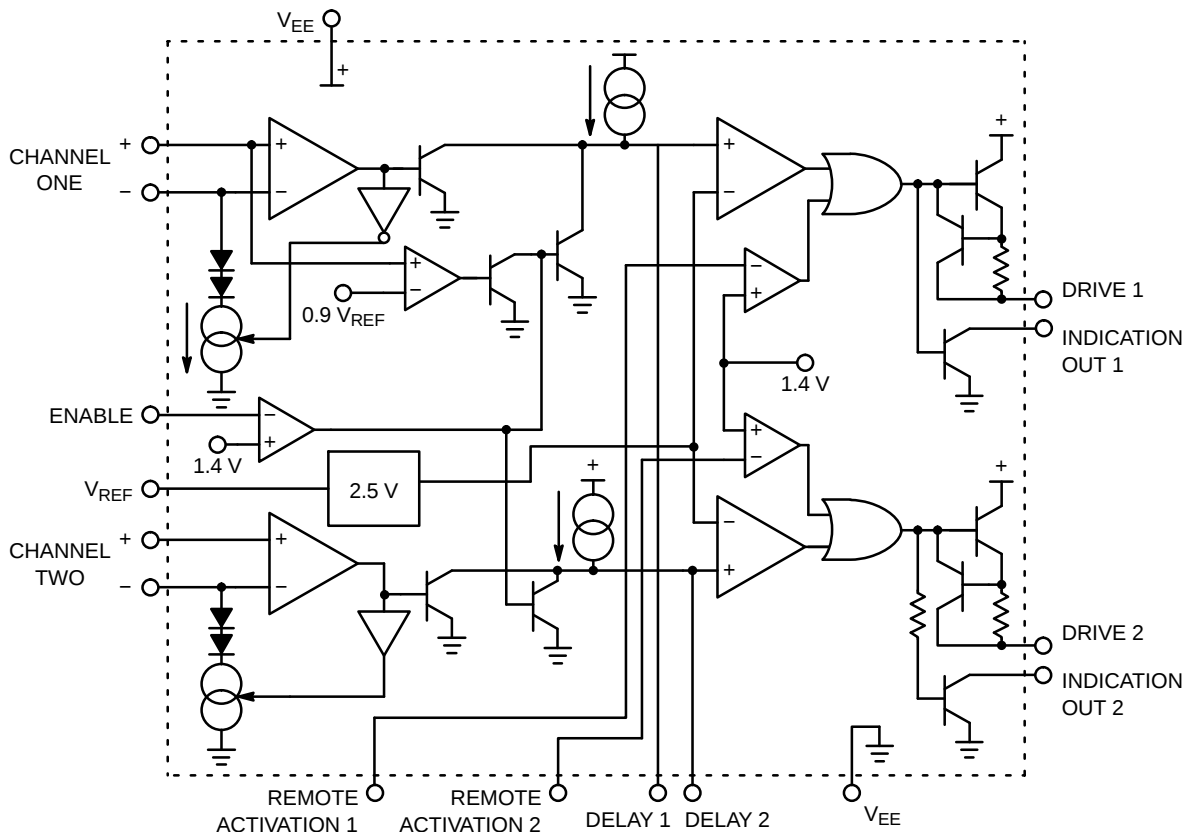


Figure 17. MC3424/MC3524 Equivalent Circuit

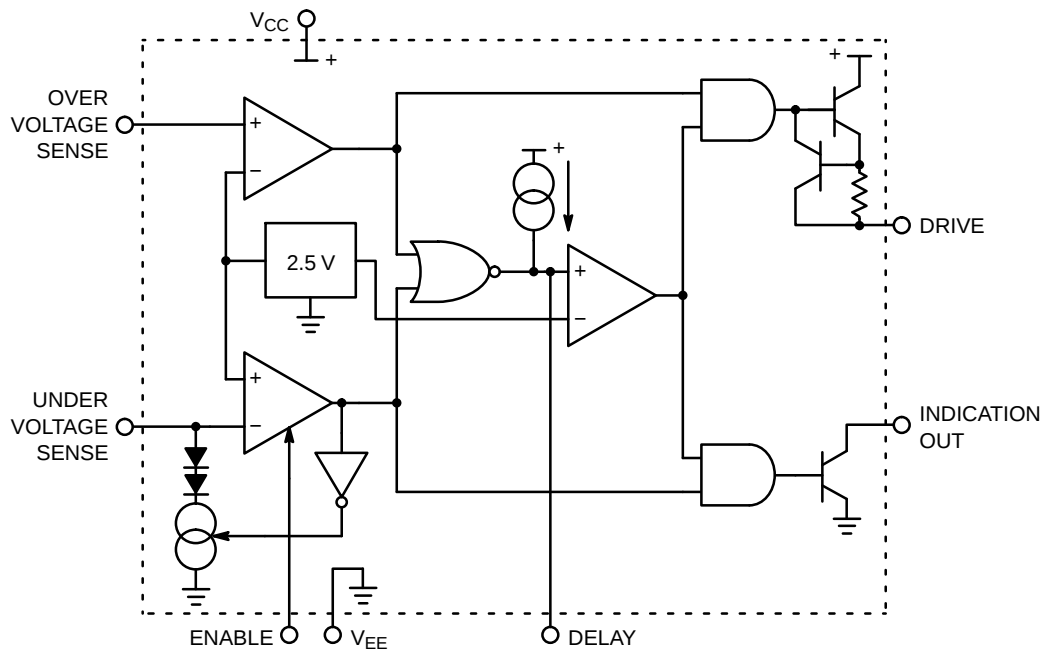


Figure 18. MC3425/MC3525 Equivalent Circuit

Figure 17 (MC3424)を見ると、柔軟性を高めるためにグラウンド( $V_{EE}$ )から $V_{CC}$ +までのコモンモード範囲を持つ、コミットされていない2チャンネルの差動入力があります。この回路は外部でプログラム可能なヒステリシスを備えています。しかし、出力は主にバンドギャップ基準電圧回路(2.5 V、10 mA)のために、非常に安定しています( $T_C < 0.01\%/^{\circ}\text{C}$ )。

2つの独立したドライブ出力は、200~400 mA/ $\mu\text{s}$ のスルーレートで300 mAを供給できます。

2つのインジケータ出力は300 mAをシンクできます。

イネーブル入力(CMOS、TTL、DTL互換)は、チャンネル1の入力条件に応じてチャンネル2または両方のチャンネルを制御します。

各チャンネルは、ゲイン付きまたはユニティ・ゲインの閉ループで動作可能であり、遅延ピンで安定化されます。

Figure 18 (MC3425)に、低価格のOVPバージョン(14ピンのMC3424ではなく8ピンのデュアルインライン)を示します。

代表的アプリケーションをFigure 19に示します。必要なトリップ電圧に続いて、抵抗 $R_S$ および $R_B$ の値は、次の公式[式(1)参照]に従って選択されます。

$$V_{\text{trip}} = V_{\text{REF}} \left( 1 + \frac{R_S}{R_B} \right) = 2.6 \text{ V} \left( 1 + \frac{R_S}{R_B} \right) \quad (\text{eq. 4})$$

回路の最小ドリフトを防止するために、 $R_B$ 値は約10 k $\Omega$ とし、また $R_E$ と $C_D$ は次式で計算されます。

$$R_E = \frac{T}{C_{E\text{Ln}} \left( \frac{V_S}{V_S - V_E} \right)} \quad (\text{eq. 5})$$

$$C_D = \frac{I_S T_d}{V_{\text{REF}}} = \frac{200 \mu\text{A } T_d}{2.5 \text{ V}} \quad (\text{eq. 6})$$

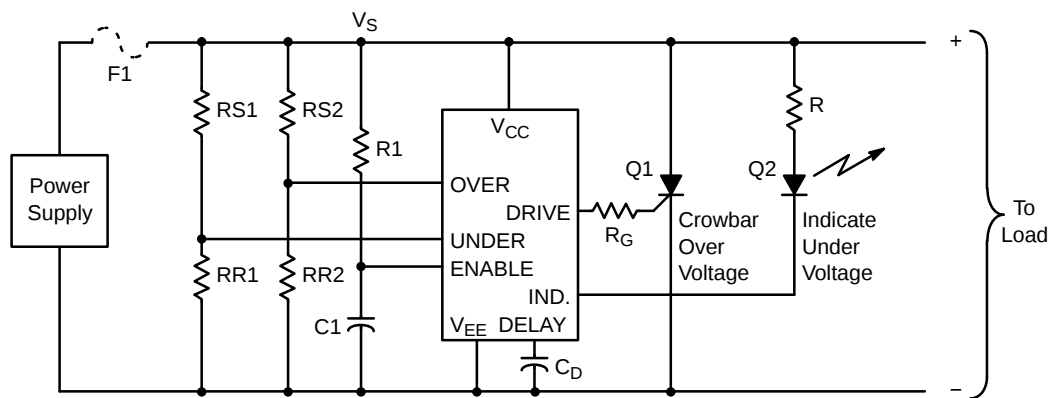


Figure 19.

## 結論

影響を受けやすい負荷を電源過電圧から保護するためにクローバを使用することはごく一般的であり、一見したところこれらのクローバの設計は比較的簡単な単純作業のように思えます。

- 負荷はどの程度の大きさの過電圧をどれだけの期間(エネルギー)受けることができるか？
- クローバの反応が遅すぎて負荷を保護しなかったり、逆に速すぎて厄介な誤トリガを起こすことがあるか？
- クローバ・サイリスタ(SCR)はどのくらいのエネルギーを扱うことができるか、またヒューズが回路ブレーカを開くまで破壊されないか？
- ヒューズは、サージ電流を含む通常の電流レベルとクローバの短絡状態を正しく区別できるか？

すべてのユーザがこのような問題への対応を求められおり、本資料では以上の質問に回答できるように説明を試みました。

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductorは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。ON Semiconductorの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。[www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Markinq.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Markinq.pdf)。ON Semiconductorは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。ON Semiconductorは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductorデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。ON Semiconductorは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA(米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品などへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にON Semiconductor製品を購入または使用した場合、たとえ、ON Semiconductorがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、ON Semiconductorとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。ON Semiconductorは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

## PUBLICATION ORDERING INFORMATION

### LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
Email: [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free  
USA/Canada  
Europe, Middle East and Africa Technical Support:  
Phone: 421 33 790 2910  
Japan Customer Focus Center  
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative