

1. はじめに

エレクトロニクス設計では、同じ回路機能を果たす電気機械式リレー (EMR) と比較して性能の優れたソリッドステート・リレー (SSR) を活かせる場合がよくあります。ソリッドステート・リレーには、次のような利点があります。

- 一般にSSRは、EMRより小型で、プリント基板アプリケーションで貴重なスペースを節約できます。
- SSRは、劣化する可動部分または接点がないため、システムの信頼性が優れています。
- SSRは、駆動回路が不要、バウンス(はね返り)のないスイッチングなど、最新の性能を実現しています。
- SSRは、電源および熱放散要件が軽減されたシンプルな設計など、システム・ライフサイクル・コストに優れています。
- SSRは、表面実装技術(SMT)部品として提供可能で、コストを削減でき、SMTプリント基板製造が容易です。

本アプリケーション・ノートでは、EMRと比較した、SSRの多様な利点について解説します。また、Clare, Inc.、SSR部品に関する情報、設計資料の参照先も含まれています。

2. SSRのアプリケーション

ソリッドステート・リレーは、次のような多くのアプリケーションにおいて、EMRの代わりに使うことができます。

- 電気通信
 - I/Oカード
 - 制御パネル交換機
 - UMTS用アンテナ・スイッチ
 - GSM基地局
 - 負荷スイッチ
 - 無線基地局
 - トランク・スイッチ(中継交換器)
 - 加入者線のEMR置き換え
 - グランド・スタート
 - ループ電流試験
 - テストイン/テストアウト
- データ通信
 - 組み込みモデム・データ・アクセス配列(DAA)回路

- PCモデル・ディスクリットDAA回路
- V.92モデムにおける回線スイッチング
- 産業
 - 計量出力パルス・リレー
 - マルチプレクサ
 - 鉄道信号
 - デコーダ・リレー
 - 産業用制御システム
 - リモート監視
 - グランド(対地)絶縁
 - プログラマブル・ロジック・コントローラ入力マルチプレックス・リレー
 - プログラマブル・ロジック・コントローラ出力リレー
- セキュリティ・システム
 - アラーム・スイッチ
 - センサー・スイッチ

3. ClareのSSRについて

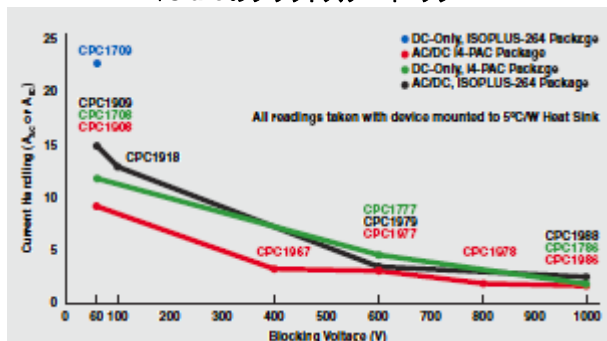
ClareのOptoMOS[®]系列ソリッドステート・リレーは、半導体技術を使用して、絶縁小型信号切り替えソリューションを実現しています。OptoMOSソリッドステート・リレーは、最高の性能を得るために、4つのディスクリット半導体チップを使用した3つ主要な回路機能からできています。入力回路には、入力起動信号を赤外線光に変換する単一のLEDチップがあります。赤外線光は、光電式(PV)電池および関連する駆動回路の集積アレイからなる変換回路に光学的に結合されています。PV電池(光電池)は、出力負荷を切り替える高電圧出力MOSFETの制御に必要な電圧を生成します。

LEDチップとPVチップは、熱を伝えたり、絶縁抵抗を犠牲にすることなく、一方から他方へ光を送る透明な材料によって結合されています。この光誘電性材料が、電気絶縁を実現します。

Clareのライン・カード・アクセス・スイッチ(LCAS)製品ファミリーは、中央局やアクセス装置にある従来の音声および音声/データ混合ライン・カードで使用されているすべての2-Form-C EMRに取って代わるのに必要な機能を備えています。ライン・カード上のリレーの基本的機能は、回線の切断、呼び出し、インジェクション、加入者回線テストまたはテスト・アウト、回線テストまたはテストインです。これらすべての機能では、高電圧の信号を取り扱い、過酷な電力線混触および雷試験に耐える必要があります。LCAS製品は、Clare独自の320V BCD MOSプロセスで製造されたモノリシックICです。このプロセスは、トレンチ・アイソレーションを使用し、ボンデッド(結合)厚膜SOI(Silicon-On-Insulator)技術に基づいています。

ClareのOptoMOSソリッドステート・リレー、ACソリッドステートスイッチ、LCAS製品には、幅広い接点スタイル、阻止電圧、電流取り扱い能力が揃っています。阻止電圧1,000 Vまで、負荷電流22.8 AまでのClareの大電力SSRを図1に示します。

1: Clareのソリッドステート・リレー



4. SSRの仕様

4.1 過剰仕様の傾向

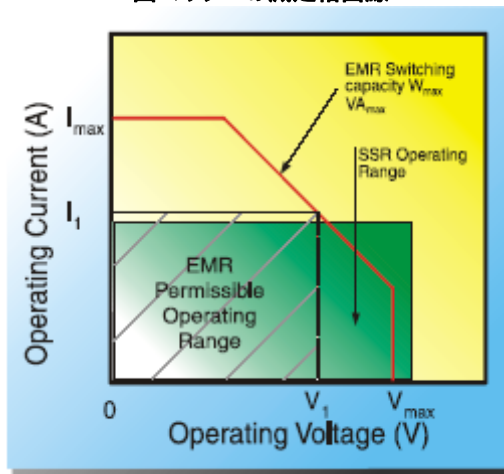
この項では、EMRの過剰仕様の傾向について説明します。設計で過剰仕様のコンポーネントを指定すると、最終製品のコストが必要以上に高くなります。

EMRを用いた設計では、設計上の2つの懸念から、個々のアプリケーションにとって過剰な仕様の部品を指定する傾向があります。多くの場合、EMRは、より低電流のユニットが揃っていないため、電流取り扱い能力が過剰仕様になっています。しかし、多くの場合、EMRは、実用寿命の間に予想される接点消耗に備えて、過剰仕様になっています。接点消耗は、接点抵抗の増大とEMR接点の溶着を招き、リレーが機能しくなります。

これに対して、SSRは、実際の負荷電圧および電流のままの仕様を指定することができます。接点がないため、接点消耗の心配はありません。SSRは、幅広い電流取り扱い能力が揃っており、設計にぴったり合ったものが選べます。詳しくは、1ページの「SSRのアプリケーション」をご参照ください。

4.2 最大スイッチング容量と減定格

図2: リレーの減定格曲線



EMRメーカーは、リレーを最大スイッチング容量で規定しています。最大スイッチング容量(通常は、VAまたはWで表示)は、リレーのデータシートに示されています。データは、図2に示すようなグラフで与えられます。EMRの最大スイッチング容量は、最大電圧または電流容量に対して大幅に減定格されます。これに加え、リレーのユーザーは、リレーの接点寿命を延ばそうとして、メーカーの推奨値を超えた減定格を適用します。そして、しばしば、この減定格により、EMRが実際に取り扱うことができる負荷がSSRの動作範囲内になります。SSRは接点を持っていないため、接点の減定格は必要ありません。最大スイッチング容量の減定格は、SSRには当てはまりません。

5. SSRの物理サイズの利点

SSRは、EMRと比較して、サイズの面で大幅に有利です。プリント基板上のスペースが非常に貴重な現在の設計環境では、サイズが何よりも優先されます。3ページの表「SSRとEMRの物理サイズの比較」は、極当たり消費されるプリント基板面積から見たSSRとEMRの物理サイズの比較を示しています。この情報を使用して、EMRソリューションとSSRソリューションのそれぞれで消費される基板スペースを計算することができます。アナログ・ライン・カードの設計では、チャンネル密度が重要で、利用可能な基板スペースが限られているため、基板面積の節約は、ライン・カード当たり16チャンネルと32チャンネルの違いに相当します。

CLARE日本販売代理店 ジェイレップ株式会社

本社 〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com
 東京営業所 〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844

たとえば、設計者がClareのCPC7581MAを使用する場合、第4世代の2-Form-C EMRと比較して、プリント基板面積を43%削減できます。LCASを使用する場合も、EMRで必要な接点スナバ回路が少なく済みす。セット・トップ・ボックス内の組み込みモデムなどのアプリケーションでは、ClareのCPC1035といったソリッドステート・リレーなら、リード・リレー・ソリューションと比較して、わずか16%の基板面積しか消費しません。

表1: SSRとEMRの物理サイズの比較

| Part | Package | Number of Poles | Area per Pole (mm ²) |
|--------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|
| CPC7581BA LCAS | 16 SOIC | 4 | 54 |
| CPC7582BA LCAS | | 6 | 27 |
| CPC7583BA LCAS | 28 SOIC | 10 | 32 |
| CPC7581MA LCAS | 16 MLP | 4 | 21 |
| CPC7582MA LCAS | | 6 | 10.5 |
| CPC7583MA LCAS | 28 MLP | 10 | 13 |
| LCA110 OptoMOS | 6-pin SMT | 1 | 53 |
| LAA110 OptoMOS | 8-pin SMT | 2 | 30.5 |
| CPC1035 OptoMOS | 4-pin SOP | 1 | 16 |
| Electromechanical Relays | | | |
| Reed relay | 4-pin SIP | 1 | 97 |
| Surface-mount Reed relay | 4-pin Gull | 1 | 116 |
| 2 Form C EMR | 3 rd Generation | 4 | 77 |
| 2 Form C EMR | 4 th Generation | 4 | 36.5 |

Note that these figures do not take into account allowances that must be made for relay spacing in printed-circuit board design. See "Circuit Noise Generation and Isolation" on page 4 and "Magnetic Interaction and Sensitivity" on page 3 for more information.

6. プリント基板におけるSSRの利点

プリント基板アプリケーションでは、SSRには、EMRと比較して、次のような複数の利点があります。

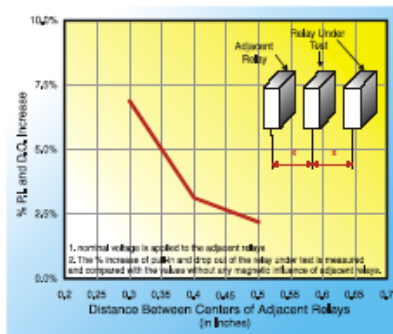
- SSRは、磁気相互作用を起こさない。
- SSRは、電気ノイズを発生しない。
- SSRは、物理的衝撃や振動に対し、優れた耐性をもつ。
- SSRは、電磁障害(EMI)を起こさず、またその影響を受けない。
- 現代のSMTプリント基板メーカーは、SSRを、ICのように使うことができる。

この項では、プリント基板設計でSSRを使用することの利点について解説します。

6.1 電磁相互作用および感受性

EMRは、磁界で動作します。この磁界は、リレー内に閉じ込められてはいないため、プリント基板の設計では、隣接する電磁コンポーネントとの間における磁界の相互作用を考慮しなければなりません。

図3: EMRのスペース要件



相互作用については、EMRアプリケーション資料に次のように記述されています。

- 磁性粉末または塵の多い場所での使用は避けること。
- 磁界(8,000 A/mを超える)の中での使用は避けること。
- 複数のリレーを隣り合わせに実装する場合、リレーの種類に合った最小実装間隔を守ること。

このような相互作用により、通常、EMRの全周囲について0.2インチ(5 mm)のプリント基板スペースが奪われます。これは、EMRソリューションを使用する際の隠れたコストです。典型的な吸引電圧および開放(ドロップアウト)電圧に対するEMRの間隔要件を図3に示します。

CLARE日本販売代理店 ジェイレップ株式会社

本社 〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com
東京営業所 〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844

SSRでは、出力の切り替えに磁界を使用していないため、磁界相互作用は存在しません。

6.2 回路ノイズの発生と隔離

SSRとは異なり、EMRは、プリント基板アプリケーションでは問題となりうる電気および音声ノイズを発生します。EMRアプリケーション資料にある次の記述をご覧ください。

- リレーは、半導体回路のノイズ源になることがあります。PCB上にリレーや他の半導体コンポーネントを配置する際は、このことを考慮しなければなりません。
- リレーと半導体コンポーネントとは、できる限り離します。
- リレー・コイルのサージ・サプレッサは、できる限りリレーの近くに配置します。
- ノイズの影響を受けやすい音声信号の配線は、リレーの下を這わせてはなりません。
- トレース・パターンは、最短距離にします。
- 電源とリレーを他の電子コンポーネントから分離する方法の一つとして、シールド(遮へい)トレース・パターンの使用があります。

SSRは、集積回路(IC)です。音声および電気ノイズの源になることはなく、プリント基板上で、他の半導体との配置に関して特別な配慮は必要ありません。

6.3 衝撃と振動

SSRと比べて、EMRは、物理的衝撃や振動の影響を受けやすいという性質があります。さらに物理的移動が予測される設計では、衝撃または振動に対する電気機械式リレーの向きを考慮しなければなりません。

理想的には、衝撃または振動がアーマチュア(接極子)の動作方向に対して直角に掛かるようにEMRを実装しなければなりません。EMRのコイルが励起状態ではない場合、衝撃抵抗とノイズ耐性は実装方向に大きく影響されます。典型的なEMRの機能的衝撃耐性は50 G、機能的振動耐性は20 Gに過ぎません。

EMRパッケージ内のアーマチュアの方角を決めるのは、EMRを使った設計における複雑な要素です。一部のメーカーのリレーのアーマチュアは、90度異なる方向で動作するため、リレーの供給元が複数ある場合、衝撃の影響を受けやすいアプリケーションは複雑になります。

これに対し、SSRは、稼働部分を持たず、物理的衝撃および振動の影響をEMSのように受けません。Clare SSRのテストでは、500Gおよび0.5ミリ秒までの機能的衝撃耐性が確認されています。SSRの取り付け方向は、衝撃耐性には無関係です。

6.4 製造上の意味

6.4.1 混合技術コスト

SMT設計の場合、スルーホールまたは手動装着を必要とするEMRは、混合技術の使用に伴い、コストが高くなることがあります。

製造コストには、大きな幅があります。1回のSMTプリント基板コンポーネント装着について、0.01ドルから0.03ドルを提示するメーカーもあります。ほとんどのClare SSRはSMT製品です。これに対して、多くのEMRは、SMTではなく、SMT設計の中でスルーホールまたは手動装着が必要です。メーカーの提示コストは、1回のスルーホールまたは手動装着について、0.05ドルから0.15ドル、第2プロセスの手動ソルダリングについては、コンポーネント当たり0.15ドルから1.00ドルです。

設計に関わる全コストを意識せずコンポーネントのコストだけを見ていると、見落とされがちですが、SMT設計におけるSSRの採用は、製造コストの大幅な節約につながります。

6.4.2 リフロー・ソルダ・プロセスにおける表面実装EMRの制限事項

表面実装EMRを使用することは可能ですが、リフロー・ソルダ・プロセスでは、いくつかの理由でSMT SSRが最適な選択肢です。

スプリング、アーマチュア、ソレノイド・コイル、そして空気をパッケージ内に封入したEMRは、リフロー・ソルダ・プロセスに関連する熱応力に対して、はるかに敏感です。稼働部分を持たないClareのOptoMOS SSRは、リフロー・ソルダ・プロセスに対応しており、ウェーブ・ソルダリングが可能です。Clareでは、ソルダ・プロセスの制限値として、IPC9502レベル7を推奨しています。ClareのOptoMOS SSRは、PCBのどちらの面にも実装可能で、短時間なら、融解した半田に浸されてもかまいません。ClareのLCASは、業界標準のソルダ・プロセスに対応しています。

チップ・コンポーネントのように小型かつ軽量のコンポーネントの場合、小規模な装着エラーが生じて、プリント基板の配置時に自己アラインメント効果が期待できません。この効果は、EMRのような大型の電気機械式コンポーネントでは期待できません。ソルダリング・パッドの上で、正確な配置が必要です。

CLARE日本販売代理店 ジェイレップ株式会社

本社 〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com
東京営業所 〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844

SMT EMRが、装着マシンのピックアップ・ヘッドから過度な機械的応力を受ける場合、その性能は保証されません。また、スルーホール技術(THT)バージョンのEMRでは、ほとんどすべての場合に、手動装着が必要です。ピン先の場所とEMRケースの外側との間に一般的な相関関係はありません。典型的なスルーホール技術ICの場合、リードは、5～10度の角度で外側に曲がっています。ヘッドがコンポーネントを握ると、リードがホールの間隔に合わせて内側に曲げられ、挿入されます。EMRの場合、リードではなく、ケースの部分を握るため、通常は、手で挿入しなければなりません。また、SMT EMRは、ボード上で最も高さのあるコンポーネントであることが多いため、トップ・カバーが過度な加熱やシャドーイングを起こすことがあります。

6.4.3 信頼性と歩留まり

具体的に数量化するのは簡単ではありませんが、業界の一致した見方として、混合技術プリント基板の製造に必要な手動の処理とソルダリングは、製造歩留まりの低下と、製品の平均故障間隔(MTBF)値の短縮をまねきます。

結果として、混合技術の作業プロセスを必要としないSSRを使用することは、信頼性と歩留まりの向上を意味します。

7. SSRの入出力間アイソレーションの利点

電話回線インターフェース回路のように高い入出力間アイソレーションを必要とするアプリケーションの場合、SSRは優れたソリューションとなります。この項では、SSRとEMRのアイソレーション特性を比較します。

Clare OptoMOS SSRについては、入出力間降伏電圧(Input-to-Output breakdown Voltage: IOBDV)の全数試験が行っています。最小定格は、4ピンSSRで1,500 V_{rms}を60秒間(定常状態)です。その他のClare SSR製品ラインの定格は、3,750または5,000 V_{rms}を60秒間です。

EMRの場合、入出力間アイソレーションは、しばしば絶縁抵抗と呼ばれています。この用語は、リレーのすべての絶縁された導電部分間の抵抗値として定義されています。この値には、コイルと接点との間、開いた接点間、接点からグランド電位のコアまたはフレームまでの絶縁が含まれます。物理的構造の制約(例、接点ギャップ)と使用材料から、一般にEMRの定格は、1,000 V_{rms}に過ぎません。

8. 故障モード

すべての電子コンポーネントには、故障モードがあります。EMRは、稼働部分、接点面、コイル(巻線)を持っており、SSRと比べてFIT (Failures-In-Time)が高いのが普通です。SSRの信頼性はLEDに関連しており、光アイソレータ部分の部品は、近年大幅に進歩しています。

8.1 光カプラの「消耗」

これまで、SSRのアイソレーション実現に使用されていたディスプレイスクリーンおよびパッケージ型の光電子デバイスには、製造または電気-光パラメータの時間経過によるドリフトに関わる問題がありました。このような問題から、一般にLEDベースのSSRは、あまり信頼できず、時間とともに「消耗する」と考えられてきました。しかし、Clare SSRで使用されている光コンポーネントを試験した結果、LEDの平均故障間隔(MTBF)は、90%の確信度で290,875時間、すなわち33.20年ということがわかりました。この計算は、LEDの規格電流である10 mAに基づいています。

光検出器の試験の結果は、天文学的な長さの推定寿命を示しており、SSRの光コンポーネントの信頼性を制限する要因はLEDになります。

8.2 EMRの接点消耗

接点は、EMRの信頼性における最も重要なコンポーネントです。接点の特性は、接点の材料、印加される電圧および電流値、負荷の種類、動作頻度、環境、接点配置、接点バウンス(はね返り)などの要因によって大きく左右されます。これらのいずれかの値が、あらかじめ決められた制限を満たさない場合、接点間の金属劣化、接点の溶着、消耗、または接点抵抗の急速な増加が起こることがあります。

接点消耗は、負荷特性に依存します。負荷がつながれた接点が開閉する際、アークが生じます。直流電圧は、交流信号のように電流のゼロクロス(ゼロ交差)点がないため、特に厄介です。このため、アークが一度生じると、消すのが困難です。アークの大きさと長さによっては、重大な接点破壊を起こすことがあります。接点开および閉の両方の電流が、接点寿命に大きな影響を与えることがあります。

直流負荷は、EMRにさらなる問題を生じさせます。これは、交流負荷の場合のように、接点の正の側と負の側が入れ替わらないからです。その結果、材料が片方向にのみ移動し、一方の接点の山と他方の接点の谷が対峙することになります。これにより、閉時抵抗の変化、早期の故障、または接点接着が起こることがあります。

CLARE日本販売代理店 ジェイレップ株式会社

本社 〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com
東京営業所 〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844

6ページの表「負荷タイプ別の突入電流」は、各種の負荷とそれらの負荷を切り替える際にリレーが取り扱う突入電流をリストしたものです。リアクタンス負荷の場合、回路を閉じる際の突入電流は、重大な接点消耗を起こすような大きさになることがあり、ときには、接点が溶着する可能性もあります。このような条件から、リレー接点を保護するためのリレー接点保護回路が、EMRメーカーによって推奨されています。保護回路は、EMRソリューションのコストを跳ね上げ、本来他の機能に使用可能なプリント基板上の貴重なスペースを奪うことになります。

表2: 負荷タイプ別の突入電流

| Type of Load | Inrush Current |
|-------------------|---|
| Resistive | Steady state current |
| Motor | 5 to 10 times the steady state current |
| Incandescent lamp | 10 to 15 times the steady state current |
| Mercury lamp | Up to 3 times the steady state current |
| Sodium vapor lamp | 1 to 3 times the steady state current |
| Capacitive | 20 to 40 times the steady state current |
| Transformer | 5 to 10 times the steady state current |

振動が原因の金接点の冷間溶着のように、大きな電流または振動があると、接点が溶着により短絡することがあります。SSRは、接点を持っていないため、上記のEMRの接点消耗に関する問題は生じません。

接点や稼働部分がないことは、SSRが、アークを発生せず、消耗しないことを意味します。EMRの接点は、一部の大型のリレーでは交換できますが、小信号用のプリント基板EMRの場合、接点を交換することは現実的ではありません。

8.3 他のEMR故障モード

EMRの故障メカニズムには、コイルの断線や短絡もあります。コイルが短絡は、加熱によりコイルの絶縁体が溶けた場合に起こります。コイルの断線は、過電圧または過電流がコイルに加えられることによって発生します。

EMRの駆動に使用される回路では、駆動回路自身が故障するか、過渡現象にさらされた場合、コイル断線を起こすことがあります。SSRは、ロジック回路によって直接駆動されているため、中間の駆動回路は必要ありません。

交流負荷のSSRは、ゼロクロス・スイッチングの利点を利用して、スイッチング動作を電圧がゼロ交差する点に限定することにより、回路のノイズを低減できます。

9. SSRソリューションとEMRとの欠点の比較

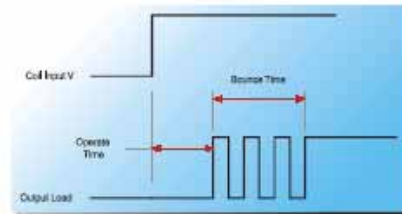
9.1 接点バウンスとアーク発生

EMRの最大バウンス(はね返り)時間は、他方の切り替え位置へ切り替わる際に、リレー接点が閉じ始めてから閉じ終わるまで、または開き始めてから開き終わるまでです。バウンスにより、短時間の接触中断が起こります。バウンスは、接点寿命を縮め、リレーをパルス・カウントに使用するアプリケーションでは特に厄介です。このような場合、バウンスの間、接点は回路を開閉しつづけるため、誤ったパルス・カウントがよく起こります。半導体ベースのSSRでは、接点バウンスは起こりません。バウンスする接点がないからです。

バウンスやアーク発生で問題が起こる典型的なアプリケーションとして、データ収集があります。EMRの場合、接点がバウンスしている間の測定を避けるために、一定の待ち時間をアプリケーションに組み込まなければなりません。

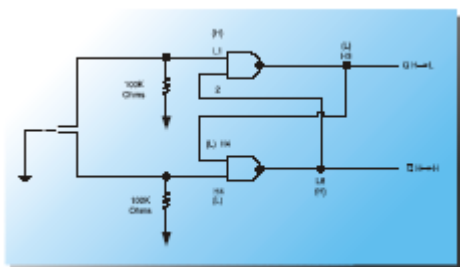
接点バウンスは、メーターやカウンタなど、電圧上昇をカウントする必要のあるアプリケーションでも問題になります。接点バウンスは、誤ったピークを発生させ、カウンタの信頼性を損ないます。

図4: EMRの接点バウンス



EMRにおける動作時間と接点バウンス時間との関係を図4に示します。動作時間は、コイルの電源が初めて入ったときから、常時開接点が閉じるまでの経過時間として定義されています。多極デバイスの場合、測定は、最後の極が閉じたときに行います。バウンス時間は、運転時間仕様には含まれていません。設計者は、コイルをオーバードライブすることによって、リレーの動作時間を短縮することができます。これによって、動作時間は短くなりますが、閉じる力の適用によって、バウンスの時間と回数が増加することがあります。逆に接点バウンスは、動作時間を犠牲にして、コイル駆動を減らすことによって抑えることができます。バウンスのたびに、負荷が開閉するため、接点の電気寿命が大幅に短くなります。接点バウンスは、次の図に示すように、外部コンポーネントを使用して取り除くことができます。

図5: 接点バウンス回路



これらのコンポーネントは、EMRリレー設計のコストを最大0.25ドル上昇させます。これには、外部回路によって消費されるプリント基板スペースは含まれていません。SSRは、出力負荷を切り替えるのに、稼働接点の代わりにMOSFETを使用するため、バウンスは存在せず、補償回路は不要です。

EMRの場合、接点バウンスの問題は、水銀接点(水銀で濡れた接点)を使用することによって対処できますが、重力に対する取り付け方向の制限が生じます。水銀接点の使用には、ほかにも考慮すべき点があります。すなわち、環境とコストです。水銀は有害な物質です。水銀リレーは、接点バウンスを解決するための実用的なソリューションではなくなっています。これに対して、SSRは、任意の位置に取り付け、そこで動作させることができ、環境にもはるかに優しくなっています。

9.2 電氣的推定寿命

EMRの最大電氣寿命とは、動作信頼性95%における、指定された条件下の、指定された接点負荷のもとで最大となる切り替え動作の回数です。

寿命の終わりは、定格接点抵抗が2倍になるまでの動作回数として定義されています。多くのEMRベンダーは、定格接点抵抗を、実際の値が15 mΩに近くなる100 mΩに指定することによって、この値を拡大しています。

電氣的寿命は、一般に動作回数100,000から500,000回とされています。

通常、EMRが確実に機能するのは、動作回数約100,000回までです。EMRの寿命は、負荷の特性に依存するため、リレーの実際の寿命を判断する唯一確実な方法は、実際の負荷条件の回路で試験することです。二極リレーが故障するのは、一組の接点の金属粉が他の接点の障害を起こしたとき、特に軽い負荷で、各負荷の電源が別々になっている場合です。

SSRのデータシートには、EMRのような電氣的寿命に関する仕様は含まれていません。寿命が実際の切り替え負荷とサイクル

数に依存するEMRとは異なり、SSRの信頼性は、切り替えサイクルの回数ではなく、稼働時間によって決まります。SSRを公表された仕様の範囲内で使用した場合、MTBFは1,900万時間を超えることもあります。

9.3 電力消費

EMRは、切り替えが起こる前にコイルを励起しなければなりません。このコイル・エネルギーは、接点をその求める位置に保つために維持しなければなりません。通常、EMRは、コイルを励起するために80 mWの電力を消費します。SSRも同様に、LEDに連続電流を付加しなければなりません。消費される電力ははるかに小さく、3 mWの範囲です。つまり、EMRは、SSRの25倍以上の電力を消費することになります。電力消費が小さいことは、取り扱うべき熱が少ないことを意味し、一層の節約になりますが、設計者には見逃されがちです。SSRは、EMRより高密度で実装できる一方、熱の発生も小さくなります。システムの電源も小さくて済み、コストも下げられます。

連続電力の要件を克服するために、ラッチング(保持式)EMRを使用することも可能ですが、この種のEMRは、振動、機械的応力、または熱応力などによって、保持が外れることがあります。このため、設計では、ラッチングEMRを既知の状態にリセットするための回路を追加する必要があります。

リセット回路が必要になる場合が2つあります。すなわち、起動時と瞬断の後です。これらは、それぞれ異なる対処が必要で、EMRアプリケーションのコストと複雑さが増すことになります。

9.4 SSRの方が小さい電力消費

EMRの電力消費は、消耗現象、環境影響、製造誤差を考慮した安全率の分だけ、吸引電力より大きくなります。半導体スイッチの場合、電力消費は、吸引電力に安全率およびコレクタ損を加えた値に等しくなります。半導体デバイスの電力消費は、接点電流に関連するEMRと比較して、コレクタ電流に関連して、はるかに急激に上昇します。たとえば、有極EMRの最小電力要件は、80 mWを超えますが、SSRは約3 mWしか消費しません。

9.5 SSRの方が低い電圧要件

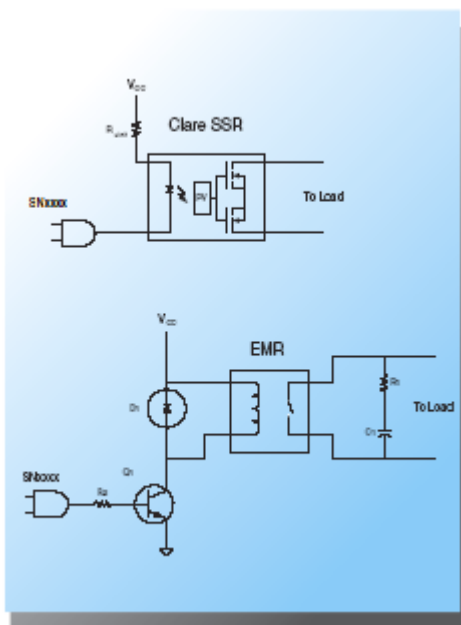
SSRは、コイルを励起したり、接点を開く必要がないため、SSRを開閉するのに必要な電圧は低くて済みます。EMRは、直流5～48Vの範囲の電源で制御されます。これに対して、SSRは、直流1.5Vという低い電源電圧で動作可能です。

9.6 直接ロジック動作

SSRは、あまり電力を消費せず、低い電圧で動作するため、74xxxタイプなどのロジック回路によって直接駆動でき、インターフェース電子回路の層が必要ありません。

EMRは、ロジック回路の出力駆動をはるかに超えるコイル駆動電圧を必要とします。その結果、EMRをロジック回路とインターフェースさせるには、追加コンポーネントが必要です。下の回路は、機械式リレーをデジタル回路内に組み込むために必要な追加コンポーネントを示しています。EMRの欠点を補うためには、4つの追加コンポーネントがEMR設計において必要となります。

図6: SSRとEMRの駆動回路の比較



これらの欠点から、エンジニアは、補償のために一般的な設計習慣を採用する必要があります。すべての機械式リレーの入力にあるコイルについては、入力を遮断する際、必然的に誘導スパイクが生じます。このスパイクは、EMRの動作を制御するのに使用される敏感なコンポーネントに印加されます。一般にスパイクが生じると、適切に抑制されていない場合、制御回路に破滅的な損害を与えることもあります。このようなリスクを解消するため、コイルの両端に高速ダイオードを使用しなければなりません。

図の下の方の回路では、ロジック・ゲートによってQ1がオンになると、入力コイルに流れる電流によってEMRが励起されます。リレーを非励起状態にするためにQ1がオフになると、発生した誘導スパイクが再循環し、ダイオードD1によってコイル内で放散されます。図の上の方のSSRソリューションでご注目いただきたいのは、コイルがシンプルなLEDに置き換わり、保護ダイオードとドライブ・トランジスタが省かれていることです。回路に唯一追加されているのは、LEDに供給される電流を設定するのに必要な電流制限抵抗です。

10. EMRの方が信頼性が低いことによる真のコスト

アプリケーションでは、EMRの信頼性が低いことにより、製品のライフサイクル・コストが上昇します。この項では、EMRと比較したSSRの信頼性の利点について、MTBF値および関連するコストの観点から説明します。

比較のために、MTBF値は、Telcordia Reliability Procedure for Electronic Equipment(電子装置に関するTelcordia信頼性手順)、TR-332から導きました。

Telcordia信頼性予測は、電子機器に重点を置いています。商用市販(COTS)部品に関するコンポーネント・レベル、システム・レベル、プロジェクト・レベルの予測を提供できます。Telcordiaは、製品の信頼性を予測するために、次の3つのメソッドを使用しています。

- I. 部品数
- II. 部品数予測と研究所データの組み合わせ
- III. 現場データに基づく予測

Clareでは、メソッドIとメソッドIIの両方を使用して、製品のMTBFを計算しています。次の例では、メソッドIIを温度を上げた1,000時間の実際の寿命試験と組み合わせることによって、MTBFを求めています。

信頼性とコストとの間に意味のある関係を確立できます。EMRの場合、界磁障害が起こりますが、発生頻度は実証された故障率に比例します。故障率が最低の場合、故障頻度も最低になります。リレーの追加コストは、定格ライフ・サイクル内で使用され

る必要数に対して、予測される故障のコストを償却することによって求められます。表3の例は、単極EMRを単極SSR(LCA110)と比較しています。

CLARE日本販売代理店 ジェイレップ株式会社

本社 〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com
東京営業所 〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844

表3: SSRの推定寿命コスト上の利点

| Cost Factor | EMR | LCA110 SSR |
|---|-------------|-------------|
| Life expectancy at 250 V, 120 mA, resistive load, number of cycles | 900,000 | 5,000,000 |
| Number of Failures | 1 | 0 |
| Failure rate per 10,000 cycles | 0.01% | 0.00% |
| Original procurement cost | \$0.50 | \$0.50 |
| Failure cost | \$100.00 | \$100.00 |
| Expected use, number of cycles | 100,000 | 100,000 |
| Add-on cost (failure cost x failures per operation x number of cycles) | \$1.00 | \$0.00 |
| Use factor (total use life / total life expectancy) | 11% | 2% |
| Adjusted add-on cost (Use factor x add-on cost) | \$0.11 | \$0.00 |
| Adjusted actual cost (purchase price + add-on cost) | \$0.61 | \$0.50 |
| Cost of use for 100,000 units (adjusted actual cost x number units purchased) | \$61,111.11 | \$50,000.00 |
| Reliability cost advantage of SSR solution | | \$11,111.11 |

データシート上の電氣的寿命の図に従って、EMRの寿命予測は、動作回数900,000回となります。このデータに基づき、100個のリレーを900,000サイクルの表に示される負荷条件の下でサイクル動作させると、1回の故障が発生するでしょう。SSRの信頼性は、スイッチング・サイクルの回数ではなく、合計稼働時間によって定義されています。そのため、SSRが耐えられるスイッチング・サイクルは、基本的に無制限です。この例では、比較のために500万サイクルが選択されています。

動作回数10K回ごとの故障率が計算できます。この例では、リレーの調達コストは等しく、故障によるコストは100ドルです。故障によるコストは、現場修理の対象となる装置によって決めることができますが、顧客の不满を合計に含めることによる将来の業務の損失など、形のないものを評価するのは、簡単ではありません。アプリケーションに必要な品質とサイクル数が与えられ、リレーの追加コストは簡単に計算できます。

使用率と追加コストを掛け合わせると、調整追加コストが得られます。この合計は、EMRソリューションの信頼性の低さに直接起因すると思われるリレー当たりの追加コストを反映しています。リレーの調整実コストを求めるには、調整追加コストをリレーの本来の購入価格に追加します。これに購入したリレーの合計数を掛け、全購入価格を引くと、信頼性の低いリレーに関連した合計追加コストが得られます。このコストは、故障コストの構成と最終装置に適用されるサービス契約に従って、顧客またはメーカーが負担します。

11. リレーの信頼性比較の理解

EMRにおいて消耗と故障を決めるのは、機械的切り替え動作およびそれに関連した接点の劣化です。EMRの場合、スイッチング・サイクルの回数によって部品の寿命がほぼ決まるため、MTBFは、あまり有効な示性値ではありません。

一方、SSRは、消耗する稼働部分または接点を持っていないため、スイッチング・サイクルの回数は、SSRの故障には無関係で、合計通電稼働時間がMTBFに影響を与えません。

任意のEMRアプリケーションについて、デューティ・サイクルが既知の場合、次のMTBF式が適用されます。

MTBF = サイクル寿命/1時間当たりのサイクル数

SSRアプリケーションの場合、基本となるMTBFが、アプリケーションのオン時間によって重み付けされ、次のようになります。

MTBF = 100%MTBF/デューティ・サイクル

たとえば、デューティ・サイクルが50パーセントのアプリケーションの場合、100パーセントのオンタイムに基づくMTBF値は、2倍になるでしょう。信頼性を比較するには、次の式が有効です。
EMRのサイクル寿命/(1時間当たりのサイクル数 = 100% SSR MTBF/デューティ・サイクル

実世界の比較では、デューティ・サイクル10パーセントで1時間当たり3,600サイクルの切り替えを行うEMRが、ClareのLCA110 SSRのMTBF値に一致するには、698,400,000,000サイクルに達する必要があります。

12. 結論

本アプリケーション・ノートでは、複数の分野における電気機械式リレーに対するソリッドステート・リレーの優位性を示しました。まとめると、SSRは、EMRと比較して、次の特徴的な利点を持っています。

- より低い使用コスト
- 直接ロジック動作
- より低い電力消費
- より低い動作電圧
- より高い信頼性
- より長い電氣的推定寿命
- より高い入出力間アイソレーション
- 接点バウンスまたはアーク生成がない
- 物理的に小型
- 衝撃と振動の影響を受けにくい
- 磁界または電氣的ノイズの発生がない
- SMT PCB製造においてより扱いやすい

13. Clare, Inc.の設計資料

Clare, Inc.のWebサイトには、アプリケーション・ノートや基準設計を含む、Clare製品を使用した設計に便利な情報が豊富に揃っています。製品データシートにも、追加のアプリケーションおよび設計情報が含まれています。次の項目については、Webサイトをご覧ください。

ソリッドステート・リレー

ラインカード・アクセス・スイッチ製品

マスター製品セレクト

ソリッドステート・リレーのパラメータ・セレクト

Application Note 100 Design Surge and Power Fault Protection for Subscriber Line Interfaces (加入者回線インターフェースのためのサージおよび電力線混触保護)

Application Note 108 Current Limited Solid-State Relays (電流制限ソリッドステート・リレー)

Application Note 144 Impulse Noise Benefits of Line Card Access Switches (ライン・カード・アクセス・スイッチのインパルス雑音の利点)

13.1 サード・パーティの設計資料

次の資料にも、SSRの設計に便利な情報が含まれています。

Engineer's Relay Handbook, Fifth Edition, National Association of Relay Manufacturers, Milwaukee, Wisconsin, USA, 1996.

CLARE日本販売代理店 ジェイレップ株式会社

本社 〒564-0051 大阪府吹田市豊津町2-1 Tel:06-6368-2111 Fax:06-6368-2114 e-mail:info@j-rep.com
東京営業所 〒108-0074 東京都港区高輪3-19-20 Tel:03-5789-2310 Fax:03-3449-7844