

二系統給電環境において一系統入力機器（シングルコード機器）を使用する場合の電力供給

ビクター アヴェレール

White Paper #62

APC[®]
Legendary Reliability[®]

要約

二重化された電源と、それに対応したデュアルコードを備えたIT機器で構成される二系統給電システムは、業界が推奨する最良の方法です。しかし、この方法を使用する環境で、シングルコードのIT機器が混在して使用される場合があります。シングルコード機器を高可用性の二系統給電データセンタで使用方法はいくつか考えられます。このホワイトペーパーでは、それらの方法の違いについて説明し、適切な方法を選択するための指針を示します。

はじめに

ほとんどの高可用性データセンタでは、重要なIT機器に2つの給電システムを提供する二重化された電源システムを使用しており、また、ほとんどのエンタープライズクラスのIT機器は、電源および電源コードの冗長化によってIT機器内部の電源母線まで二系統給電を保持しています。これによって、機器はいずれか一方の給電システムで障害が発生しても稼働を続けることができます。ただし、シングルコードを備えた機器があると、それが高可用性データセンタの弱点となってしまいます。冗長給電システムの利用によってシングルコード機器の可用性を高める方法として使用されることが多いのは切換スイッチです。この方法でも、切換スイッチのメカニズムを理解していないと、避けられたいはずのダウンタイムが発生してしまうことがあります。

二系統給電環境でシングルコード機器に電力を供給する基本的な方法として、次の3つがあります。

- 一方の電源のみから機器に電力を供給する - 図1a
- 使用ポイントで切換スイッチを使用し、通常は主電源を選択して、その電源で障害が発生したときには、予備電源システムに切り換える - 図1b
- 2つの電源から給電される大型の集中切換スイッチを使用して新たな電源母線を設け、多数のシングルコード機器に電力を供給する - 図1c

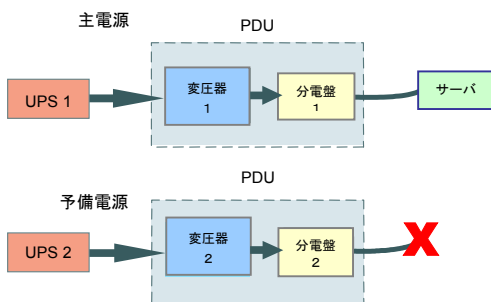


図1a - 1電源からの給電

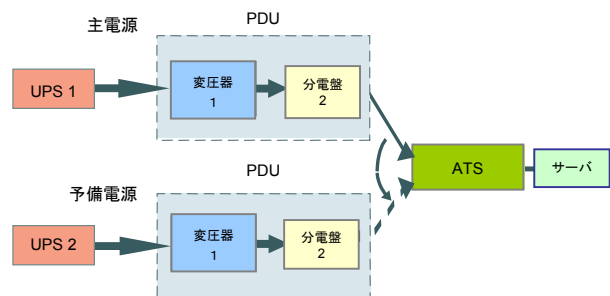


図1b - 使用ポイント切換

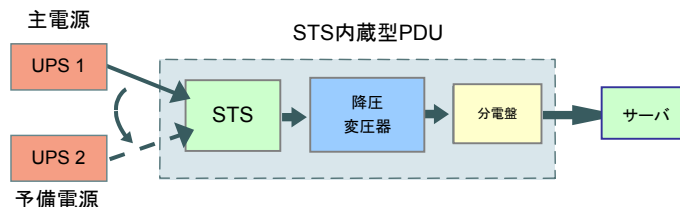


図1c - 集中切換

切換スイッチの機能

切換スイッチはデータセンタでよく使用される機器であり、次のような機能があります。

1. 商用電源に障害が発生した場合、UPSおよびその他のIT機器を商用電源から発電機に切り換える。
2. 障害が発生したUPSを商用電源または別のUPSに切り換える（どちらに切り換えるかは設計による）。
3. 重要なIT機器を二系統給電システム内のあるUPS出力母線から別のUPS出力母線に切り換える。

ここでは、3つ目の機能を取り上げます。すべてのIT機器がデュアルコードに対応している場合は、このような機能を使用する必要はありません。実際、ほとんどのハイエンドインターネットワーク機器、ストレージ装置、サーバは、完全冗長電源とデュアルコードを備えています。しかし、重要施設でもシングルコード機器がIT機器全体の約10~20%を占めています。シングルコード機器を一系統給電に接続すると、ビジネスプロセスの全体的な可用性が低下するおそれがあります。APCホワイトペーパー #48 『ラック搭載機器への給電構成に基づく可用性の比較』によると、独立した冗長電源経路を備えた100%デュアルコードのデータセンタは、一系統給電システムのデータセンタに比べ、ダウンタイムが10,000倍も短くなるということが判っています。切換スイッチを使用すると、冗長電源経路をIT機器の付近まで延長し、100%デュアルコードのデータセンタの状況に近づけることができます。

切換スイッチの種類

電源セレクトに最適な切換スイッチとして、静止型スイッチと電気機械式スイッチがあります。いずれも主電源と予備電源を切り換える方式です。実行する機能は同じですが、方法は異なっています。いずれのスイッチにも異なる用途に適した固有の特性があります。ここでは、各スイッチの動作について簡単に説明します。詳細については、**付録A**を参照してください。

静止型切換スイッチ (STS)

用途

静止型切換スイッチ (STS) には現在、容量が5 kVA～35 MVAのタイプがあります。STSは、電力会社、自動車工場、半導体工場、石油精製所、データセンタなど、幅広い施設で使用されています。使用されているSTSのほとんどは容量が100～300 kVAのタイプで、平均的なサイズはITラックの幅2つ分ほどです。石油精製所などのように商用電源と配電システムのいずれの信頼性も重要なデータセンタより低い施設では、静止型切換スイッチのメリットについて議論されることはほとんどありません。ただし、重要なデータセンタの商用電源と配電システムは格段に堅牢です。このような場合、STSの追加によって生じる信頼性の低下はSTSがもたらすメリットよりも重大です。200 kVA STSの例を図2に示します。この容量の静止型切換スイッチが最も適しているのは、NCマシンやその他の重要な製造装置などの大型の三相シングルコードIT機器です。ストレージ装置など、大型の三相IT機器もありますが、それらは一般にデュアルコードと冗長電源を備えています。デュアルコード装置の場合は、二重化された電源をIT機器に直接供給することによって、電源の信頼性と可用性が最適化されます。

5～10 kVAの静止型切換スイッチは、ほとんどが図3に示すように標準的な19インチ (483 mm) のITラックに取り付けられるように設計されています。このタイプの静止型スイッチは、一般にワイヤリングクロゼットやデータルームなどのIT環境で使用されます。小型のスイッチを使用すると、STSで発生した障害によってデータセンタの大部分が影響を受けることを防止し、ダウンタイムの発生を1つのラック内のシングルコード機器だけにとどめることができます。大容量のSTSとは異なり、ラック据え付け型のスイッチは拡張性と迅速さに富んでいます。小型スイッチは取付に時間がかからないため、必要性が生じた場合のみ購入することができます。さらに、このようなスイッチは取付が簡単で、ITの更新に伴う移動も容易にできます。



図2 - 200 kVA STS



資料 : www.cyberex.com



資料 : www.spdtech.com

図3 - ラック据え付け型STS

動作

名前からわかるとおり、静止型切換スイッチには可動部品がありません。このような設計は半導体技術によって可能になったものです。単相STSのいわゆる「スイッチ」は、SCR（シリコン制御整流素子）と呼ばれる2対の半導体スイッチで構成されます。SCRはサイリスタとも呼ばれ、制御回路によって制御されます。この回路は、主電源経路で障害が発生したことを検知すると、主電源経路のスイッチを切り、予備電源経路のスイッチを接続します。切換に要する時間は通常4ミリ秒ほどですが、両方の電源の状態によってはもう少し長くなることもあります。

故障状況

一般に、システムが複雑であるほど、発生しうる故障状況の数は多くなります。電気機械式切換スイッチに比べ、電源を切り換えるときの判断速度が速い分、静止型切換スイッチの方がはるかに複雑な構造をしています。

** たとえば、制御装置は、両方の電源について、位相角、サイリスタの状態、サーキットブレーカの状態、電圧、電流など、各種の可変要素を監視する必要があります。

- 静止型切換スイッチ制御装置の故障

制御装置は、その複雑さゆえに、静止型切換スイッチの最も重要なコンポーネントです。制御装置がサイリスタに信号を送信しなくなると、サイリスタは開いたままになります。つまり、電流が流れないため、IT機器が停止します。そのため、ほとんどの静止型切換スイッチでは制御装置と電源装置を冗長化しています。サイリスタスイッチは個別に制御されるため、制御装置には一般的な4つの故障状況があります。

- 1) 優先スイッチが開かなければならないときに制御装置が閉じるように指示する。この場合、優先電源が負荷に対応できない場合、負荷が停止します。
- 2) 優先スイッチが閉じなければならぬときに制御装置が開くように指示する。この場合、予備側スイッチが開いているか、予備電源が負荷に対応できない場合、負荷が停止します。
- 3) 予備側スイッチが開かなければならないときに制御装置が閉じるように指示する。この場合、予備電源が負荷に対応できない場合、負荷が停止します。
- 4) 予備側スイッチが閉じなければならぬときに制御装置が開くように指示する。この場合、優先スイッチが開いているか、優先電源が負荷に対応できない場合、負荷が停止します。

- サイリスタの故障

サイリスタはきわめて信頼性が高いものの、障害が発生する場合、それは98%がショートであり、スイッチに商用電源が供給されなければ、負荷が停止します。導通状態のサイリスタの電圧降下は通常は0.5ボルト未満であるため、ショートしたサイリスタを検出するのは困難です。この点も制御装置の複雑さが増す要因となっています。

- 出力ブレーカの故障

出力ブレーカが閉じているべきときに開くと、負荷が停止します。出力ブレーカの故障によってダウンタイムが発生することを防ぐために2つの出力ブレーカを使用することもあります。その場合、ブレーカ間の調整が難しくなります。

- 人為的ミスによる故障

ほとんどの重要な環境の場合と同様、人為的ミスは頻繁に起きる故障状況の1つです。静止型切換スイッチは複雑であり、さまざまな入力電源と連動するため、いくつかの原因で人為的ミスが発生します。一般的な原因としては、次のようなものがあります。

- 静止型スイッチの設定が最適でないために発生するサイトに特有のマイナスの相互作用
- STSバイパスブレーカの誤操作。たとえば、誰かが優先バイパスブレーカを閉じ、優先電源が使用不能であった場合、負荷が停止することがあります。
- 不適切な保守作業

最後に、どのような故障状況であっても、切換スイッチの容量が大きいほど、施設全体の負荷の中で停止する負荷の割合が大きくなる点にも注意が必要です。

電気機械式切換スイッチまたは自動切換スイッチ（ATS）

用途

電気機械式切換スイッチは自動切換スイッチ（ATS）とも呼ばれ、そのほとんどは容量が10 kVA未満となっています。これは、リレーに物理的な限界があり、それ以上の電力容量には対応できないからです。そのため、これらのラック据え付け型自動切換スイッチは、図4に示すように高さ1Uのものが主流となっています。ラック据え付け型STSと同様、ラック据え付け型ATSでもスイッチの故障が1つのラックに隔離され、多くのラックに波及することはありません。同じように、ラック据え付け型ATSは拡張性と迅速さも備えています。ただし、ラック据え付け型ATSの方がラック据え付け型STSより小型で軽いため、取付も簡単です。



図4－ラック据え付け型ATS

動作

電気機械式切換スイッチは電気特性と機械特性の両方に依存しています。STSと同じように、電気機械式切換スイッチにも制御装置があり、それが両方の入力電源を監視しています。このスイッチはリレーによって負荷を切り換えます。リレーは磁気力によっていずれかの側に設定される機械スイッチです。制御装置は、主電源が許容範囲から外れたことを検知すると、リレーの電源を切り、バネによって予備電源に切り換えます。このタイプの切換スイッチの場合、切換に要する時間は8～16ミリ秒です。

故障状況

電気機械式切換スイッチは静止型切換スイッチに比べてかなり小型で、複雑度もはるかに低くなっています。これは、主として電気機械式切換スイッチが制御しやすく、商用電源間の同期を必要としないことによるものです。リレーが物理的な動作をするため、電気機械式切換スイッチの故障状況はハードウェアに関連するものが多くなります。

- リレーの溶着

起こりうる故障状況の1つに、リレー接触部の溶着があります。この故障状況は、高電圧によって高温アークが発生し、それによって金属面どうしの溶着が生じるものです。三相リレーでは、このような状況が3つの内の1つ以上の極で発生する可能性があります。
- 制御装置の故障

電力容量が小さい場合はあまり発生しませんが、制御装置が切換について誤った判断をすることがあります。たとえば、主電源の電力が許容範囲から外れた場合、制御装置がまったく給電していない予備電源に切り換えることがあります。
- 制御装置の電源障害

制御装置の電源が制御装置の誤動作を引き起こすこともあります。電源の電圧が不安定になると、制御装置が予測できない動作をしたり、まったく動作しなくなったりすることがあります。
- サーキットブレーカの故障

注意が必要な故障状況として、切換スイッチの出力を保護するサーキットブレーカの故障があります。サーキットブレーカは信頼性の低い部品であり、故障することでダウンタイムが発生する可能性があります。

IT機器の電源

前述した2種類のスイッチにはいずれも短い切換時間があり、その間、重要なIT機器への電源が途切れることに注意する必要があります。このように電源が遮断された場合、IT機器はどのように稼動を維持するのでしょうか。この点については、APCホワイトペーパー #79 『Technical comparison of On-line vs. Line-interactive UPS designs』に詳しい説明があります（URL : <http://www.apc.com>）。参考のために、**付録B**にも示してあります。結論を先に述べると、IT機器のスイッチング電源（SMPS）は短い電源障害に対応するためにAC入力電圧から電力を得る必要があります。国際標準IEC 61000-4-11には、SMPS負荷が許容できる電圧障害の大きさおよび時間的な長さが定義されています。同じように、情報技術産業協議会（ITI、旧コンピュータ事務機器製造業者協会 [CBEMA]）が発行するアプリケーションノートには、「一般的な情報技術機器（ITE）が（機能停止なしで）許容できるAC入力電圧エンベロープ」についての記載があります。**図5**はITIC曲線を示しています。この図を見ると、IT機器は電圧ゼロの状態でも通常20ミリ秒の間、稼動を続行できることがわかります。このITIC曲線とアプリケーションノートについては、www.itic.org/technical/iticurv.pdf を参照してください。

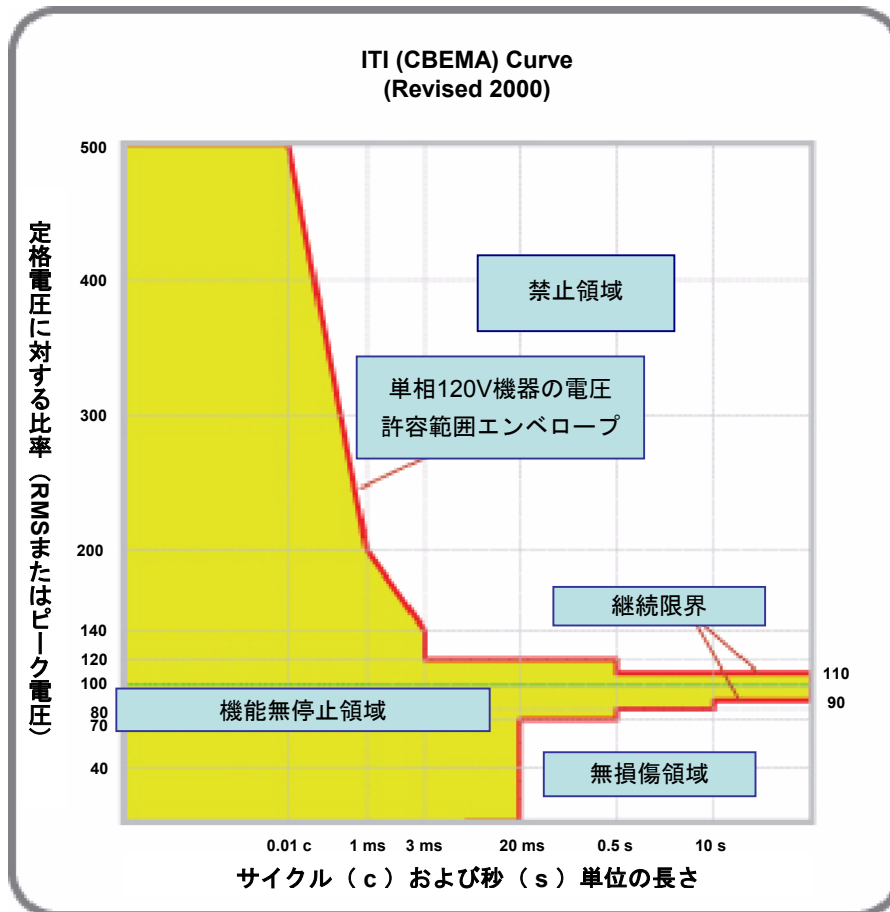


図5 – ITIC曲線

切換スイッチの選択

大型の静止型切換スイッチの方がラック据え付け型のスイッチよりはるかに容量が大きくなります。データセンタ内のほとんどのIT機器は 6 kW未満の電力しか必要としませんが、床据え付け型のストレージ装置などのように 6 kW以上の電力が必要な機器もあります。そのような機器には、大型の静止型切換スイッチを使用し、電力の冗長化を図る必要があります。ただし、このサイズの重要なIT機器は、一般に冗長電源/コードを備えているため、静止型切換スイッチは必要としません。表1は、各種スイッチの電力容量を示したもので、切換スイッチを選択する際の資料にもなります。切換スイッチを使用しない選択肢も示してあります。以下の各セクションでは、それぞれの選択要因について詳しく説明します。

TCO

TCO (Total Cost of Ownership : 総所有コスト) には、切換スイッチの購入および取付のコスト (資本にかかるコスト) とスイッチの使用に伴うコスト (稼動コスト) が含まれます。このトピックの詳細については、APCホワイトペーパー #37 『データセンタ・インフラの過剰設備により発生する不要なコストを回避するために』 を参照してください。

資本にかかるコスト

必要以上に容量の大きい静止型切換スイッチを使用すると、使用kVAあたりのコストが高くなるだけでなく、機会損失コストも発生します。大型の静止型切換スイッチ（10 kVA超）は、一般に建物の電気インフラに配線で接続して使用します。小型のATSおよび静止型切換スイッチはコンセントに差し込むだけなので、電気工事のコストは発生しません。

運営費

運営費には、電力料金、保守コストへの影響などが含まれます。静止型切換スイッチは部品数が多いため、電気機械式切換スイッチより効率が低くなります。効率が重大な問題となるのは、容量の大きい静止型切換スイッチへの負荷が小さい場合です。保守コストはベンダの提案によって異なりますが、一般には、静止型切換スイッチの方が複雑で部品数も多いため、ATSより保守コストは高くなります。

管理性

電気インフラの管理性は、ITと通信ネットワークの完全性にとって重要な問題です。一般に、重要な故障状況はスイッチが予備電源に切り換えるときになって初めて現れます。この問題は静止型切換スイッチの場合に重大性が増します。故障状況の数は静止型切換スイッチの方が電気機械式切換スイッチより多いからです。切換スイッチのリモート管理によって、IT管理者および施設管理者は、ステータスの監視、イベントのログ、オプションの設定、ファームウェアのアップグレード、電子メールとSNMPIによる警報の受信を行うことができます。HTTP（Web）、SNMP、Telnetによる標準に準拠した管理が可能なスイッチを使用する必要があります。

切換時間

IT機器および通信機器で使用する場合は、電源を20ミリ秒以内に切り換えることができる切換スイッチを選択する必要があります。

取付の容易さ

ITの更新頻度が高い（1年半～2年に1回）場合は、迅速な再設定が可能な切換スイッチを使用する必要があります。たとえば、シングルコード機器を移動することを考えると、切換スイッチの再設定が容易であることが必要です。

信頼性

一般に、システムが複雑であるほど、コンポーネントや制御装置に関してだけでなく、人間による操作に関する問題が発生する可能性が高くなります。静止型切換スイッチは元来、電気機械式切換スイッチより複雑であるため、操作や修理を行うためには、より高度な知識が必要です。電気機械式切換スイッチの場合は、リレーの切換回数に限界があります。この用途に使用されるリレーの一般的な最大動作回数は100,000回です。データセンタ環境の1年間の平均切換回数は4回です。したがって、データセンタの耐用期間から見てリレーの寿命は長いと言えます。

修理品質

システムで障害が発生した場合、IT管理者または施設管理者はモジュール全体を工場で修理または改造されたものと交換する必要があります。ラック据え付け型の静止型切換スイッチまたは電気機械式切換スイッチは交換が可能ですが、大型のSTSの場合は、標準化が不完全または未着手の環境では現場で修理します。ただし、ほとんどの静止型切換スイッチはバイパスブレーカを備えているため、保守や修理を行っている間もIT機器への電源が遮断されることはありません。構成によっては、小型の電気機械式切換スイッチであれば、重要なIT機器を停止することなく交換することも可能です。

電源の同期

2つの電源を切り換えるときに、両方の同期が取れていないために、下流の機器が損傷したり、サーキットブレーカが作動したりすることがあります。このような問題が発生する可能性は、切換の速度と切換スイッチのサイズとともに高くなります。したがって、この問題は小型の静止型切換スイッチより大型の切換スイッチで発生しやすくなります。電気機械式切換スイッチでは、電源の同期が取れていないときに電源を切り換えても問題が発生することはありませんが、スイッチ内でリレーの溶着が起きる可能性があります。そのため、電気アークの発生を防ぐために2つのリレーを備えている電気機械式切換スイッチもあります。

拡張性

データセンタの機器は約2年ごとに更新されますが、データセンタは10年以上にわたって使用することを前提としています。機器を更新する際には、電力密度、冗長性のレベル、電圧、プラグタイプが変わることに対応する必要があります。拡張性がある場合、サイズの適切化が可能であり、計画が簡略化され、そのような可変要素に関連する初期設備投資を削減できます。切換スイッチは、サイズが大きいほど拡張や頻繁な変化への適応が困難となり、ダウンタイムの発生を避ける必要がある場合は特にその困難さが増します。小型の切換スイッチでは、重要なシステムをシャットダウンすることなくビジネス要件の変化に対応できます。

シングルコード機器とデュアルコード機器の混在

データセンタでは、IT機器をビジネスプロセスまたは部門ごとに構成するのが一般的であり、シングルコード機器とデュアルコード機器に分類することはありません。そのため、データセンタ内のほとんどのラックにはシングルコード機器とデュアルコード機器が混在しています。ほとんどの場合、デュアルコード機器には2つの電源ケーブルとコンセントが必要です。それに対し、シングルコード機器では電源ケーブルとコンセントを1つだけ使用します。このことが大型の床据え付け型静止型切換スイッチの場合に問題となります。同じラックに3つの電源ケーブルとコンセントが必要となり、ネットワークケーブルやネットワーク機器の設置スペースを圧迫するからです。一方、小型のラック据え付け型切換スイッチの場合は、2つの電源ケーブルとコンセントから直接電源を取り、シングルコード機器をスイッチのコンセントに接続します。

表1-3種類の切換スイッチの特性

特性	切換スイッチなし	大型STS 20 kVA~35 MVA	ラック据え付け型STS 5-10 kVA	ラック据え付け型ATS 5-10 kVA	備考
TCO	\$0 / kW (¥0 / kW)	\$200 - \$300 / kW (約¥22,000~ ¥33,000 / kW)	\$550 - \$700 / kW (約¥55,000~ ¥77,000 / kW)	\$100 - \$150 / kW (約¥11,000~ ¥16,500 / kW)	ラック据え付け型STSの初期コストはラック据え付け型ATSの約6倍です。
管理性	管理性は不要	標準に準拠したプロトコルは一般的でない	標準に準拠したプロトコルは一般的でない	通常は標準に準拠したプロトコルが組み込まれている	ほとんどの切換スイッチでは、外部送出接点は標準で装備されていますが、標準に準拠した管理はオプションで提供されます。
切換時間	切換時間なし	4 ms	4 ms	8 ms~16 ms	IT機器の場合、切換時間は20 ms未満であることが必要です。
取付の容易さ	取付は不要	配線による接続が必要	ラック据え付け型、配線による接続は不要	ラック据え付け型、配線による接続は不要	大型の静止型切換スイッチの場合は、電気工事業者に接続を委託する必要があります。
信頼性	二系統給電がもたらす信頼性が損なわれる	MTBF = 400,000 ~ 1,000,000時間	MTBF = 400,000 ~ 1,000,000時間	MTBF = 700,000 ~ 1,500,000時間	静止型切換スイッチの方がATSより部品数が多く複雑ですが、可動部品はありません。MTBFの値は業界の見積りに基づいています。
故障状況	非該当	閉じるべきときに開く、線間ショート	閉じるべきときに開く、線間ショート	一方の電源から切り換えられない	スイッチが開く故障の場合、負荷が停止します。線間ショートが発生すると、上流のブレーカがトリップすることがあります。
修理の容易さ	電気設備の並行保守が不可能	現場での修理が必要	工場での修理したスイッチとの交換	工場での修理したスイッチとの交換	ラック据え付け型の切換スイッチが故障した場合は、一般に新品または修理品と交換します。
電源の同期	電源の同期は不要	安全な切換のために必要	同期が取れていないときに切り換えても重大な影響はない	電源の同期は不要	ラック据え付け型STSで位相が一致しない場合に電源を切り換えると悪影響がありますが、影響が及ぶのはデータセンタの狭い範囲だけです。
拡張性	非該当	拡張性なし	拡張性あり	拡張性あり	ラック据え付け型の切換スイッチは柔軟性があり、データセンタの成長に適応できます。
デュアルコード機器とシングルコード機器の混在	1本のラックに2つの電源のみ必要 - シングルコード機器にメリットはない	1本のラックに3つの電源が必要	1本のラックに2つの電源が必要	1本のラックに2つの電源が必要	大型の静止型スイッチを使用すると、配電器によってラック内の配線が複雑になり、貴重なスペースも占有されます。

注意：背景が青の欄は、その特性に関して最も優れていることを表します。

結論

時代が進むとともに、ビジネスにおいてデータの重要性がますます増大しています。したがって、ほとんどの重要機器がデュアルコードであることも驚くに値しません。しかし、IT管理者や施設管理者は、ラック内に混在するシングルコード機器に冗長電源を供給する最善の方法や冗長電源を供給すべきかどうかを検討する必要があります。10 kVA未満のシングルコード機器に対する電力の可用性は、ラックに冗長電源を供給することによって最適化されます。そのためには、ラック据え付け型の静止型切換スイッチまたはラック据え付け型のATSを使用します。ただし、このホワイトペーパーに示した基準に従うと、最適なソリューションはラック据え付け型のATSです。

著者について

ビクター アヴェレールはAPCの可用性エンジニアです。クライアントの電気システムやデータセンター設計の可用性に関する助言や分析を担当しています。1995年にRensselaer Polytechnic Instituteで機械工学を専攻して学士号を取得しました。彼はASHRAEとASQの会員です。

付録A

静止型切換スイッチ: 動作原理

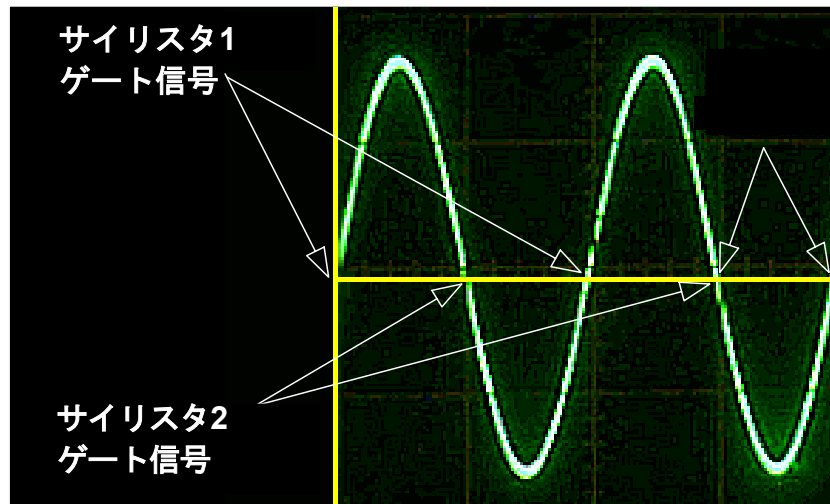
静止型切換スイッチは2つの電源を切り換える電子機器で、ソリッドステートリレー（SSR）とも呼ばれます。名称に含まれる「ソリッド」や「静止型」という表現は、電子切換部品の特性に由来します。切換部品はSCR（シリコン制御整流素子）と呼ばれるもので、サイリスタともいいます。サイリスタの動作について理解するためには、まずその材料について知っておく必要があります。

サイリスタは半導体素材のシリコン（砂や水晶の主成分）でできています。半導体素材は電気絶縁体と導電体の両方の特性を合わせ持っています。絶縁体は電気を通さず、導電体は電気を通します。半導体は、自然の状態では温度の変化によって絶縁体と導電体の両方の働きをします。ただし、これらの導電性を的確に制御するためには、シリコンのような半導体にドーピングと呼ばれる処理を施します。ドーピングとは、天然の半導体に不純物を加えることを意味します。サイリスタに少量の電圧を注入すると、不純物によってサイリスタが導電性を帯びます。サイリスタのシンボルと実際のサイリスタの写真を図A1に示します。



図A1 - サイリスタ（シリコン制御整流素子）

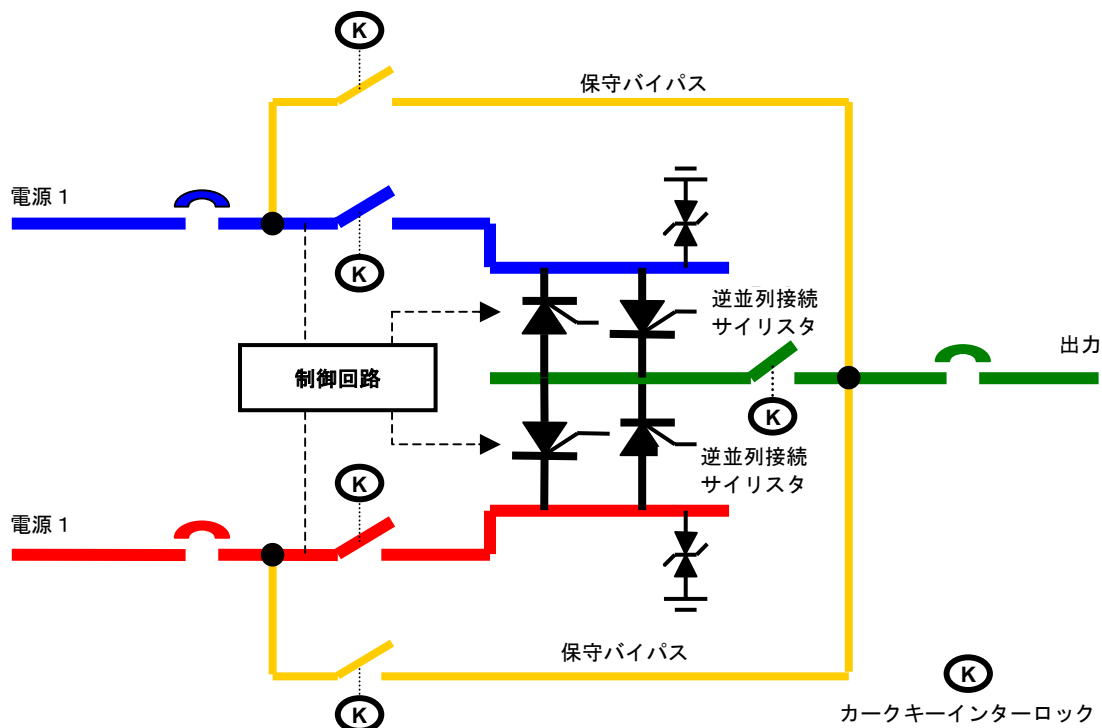
サイリスタは弁の働きをし、電流が1方向だけに流れるようにします。これは、血液が1方向だけに流れるようにする心臓弁の働きに似ています。サイリスタをオンにする、つまり「閉じる」には、サイリスタのゲートに少量の電圧を加えます。これによって、電流が陽極から陰極へ流れます。ただし、サイリスタの「弁」は、図A2に示すように、交流（AC）の正弦波がゼロ交差に当たると自動的にオフ（開く）になります。このとき、サイリスタは導通を停止し、次にゲート信号が送られてくるまで絶縁体となります。サイリスタが陰極から陽極へ電流を逆流させることはありません。では、正弦波の順方向と逆方向（正と負）の部分はどのように「処理」するのでしょうか。



図A2 – 正弦波

正弦波全体を導通させる唯一の方法は、**図A3**に示すように2つのサイリスタを逆並列接続することです。それによって、ゲート信号がサイリスタ 2に送られ、**図A2**に示す正弦波の下側（負）の部分が導電します。つまり、**図A2**に示す正弦波全体を導通させるためには、サイリスタ1には1つ目と3つ目のゼロ交差でゲート信号を送り、サイリスタ2には2つ目と4つ目のゼロ交差でゲート信号を送る必要があります。ここで重要な点は、静止型切換スイッチの制御装置がこれらのゲート信号を主電源経路が許容する限り最大限の速度と信頼性で送信する必要があることです。したがって、商用電源のACが50 Hz（1秒あたりの正弦波数が50）である場合、制御装置は1秒間に100のゲート信号を送信する必要があります。しかも、これは単相の静止型切換スイッチの場合です。静止型切換スイッチはほぼ必ず三相であり、制御装置は1秒間に1つの位相あたり100のゲート信号を送信する必要があるため、1秒あたりのゲート信号の総数は300となります。

図A3は、静止型切換スイッチの1つの位相のみを表しています。つまり、三相の静止型切換スイッチの優先電源側と予備電源側それぞれが逆並列接続された3対のサイリスタで構成されることを意味します（サイリスタは各電源側に6個で、計12個となります）。容量の大きい切換スイッチでは、この構成を「多重化」しているため、1つのスイッチで数百のサイリスタが使用されていることもある点に注意してください。

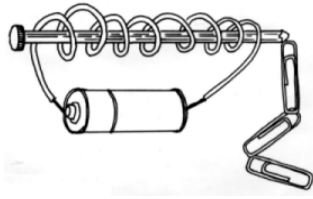


図A3 - 単相静止型切換スイッチ

ここまでサイリスタとその制御装置について説明してきましたが、では静止型切換スイッチは実際どのように電源を切り換えるのでしょうか。その答えはサイリスタの動作方法にあります。前述したとおり、サイリスタはゲート信号を受け取ると導通し、正弦波がゼロ交差に達すると導通を停止します。このとき、切換スイッチの制御装置は同じサイリスタにゲート信号を送信するか、主電源が使用できない場合は予備電源側のサイリスタにゲート信号を送信します。この判断は重要なIT機器が停止しないようにミリ秒台の速度で行われる必要があります。この判断は、ラック据え付け型の切換スイッチより大型の静止型切換スイッチの方が困難となります。大型の切換スイッチの方がサポートしているIT機器の数が多く、下流で発生するショートの影響を受けやすくなります。下流でショートが発生しているときに電源を切り換えると、安定している電源経路までショートの影響が及び、大きな被害をもたらすおそれがあります。したがって、これらの判断に加え、大型の切換スイッチではショートが発生しているかどうかを確認し、発生している場合は電源の切換を保留する必要があります。

電気機械式切換スイッチまたは自動切換スイッチ (ATS) : 動作原理

静止型切換スイッチがサイリスタを使用しているのに対し、電気機械式切換スイッチではリレーと呼ばれる部品を使用して優先電源経路と予備電源経路を切り換えています。リレーは、電磁石の単純で効率的な働きを利用したものです。最も単純な電磁石は、図A4のように釘に巻き付けた電線の両端を電池につないだものです。電池に電線を接続すると、コイル内を電流が流れ、磁場が作られます。この磁場によって釘が磁化し、ペーパークリップなどの金属を引き付けることができます。これとまったく同じ原理で、電磁気クレーンを使って廃材置き場の自動車を持ち上げることもできます。ただし、その場合は電池よりはるかに大きなエネルギーが必要です。



図A4 – 単純な電磁石

では、リレーは電磁石によってどのように電源を切り換えるのでしょうか。その答えは図A5を見ると、ほとんど一目でわかります。リレーには通電回路と接触回路という2つの回路があります。電磁石は通電回路側にあり、リレーの接点（C1およびC2）は接触回路側にあります。

電磁石は通電すると金属を引き付けるため、電機子の近くに配置されています。リレーの電機子は電気的な接触を切り換える金属部品です。電磁石が通電すると、磁力によって電機子を接点C1側に引き寄せるため、回路が完成します。しかし、電磁石への通電が停止したときには、電機子が接点C2側に移動する必要があります。そのために、電機子のもう一方の端にはバネが付いています。これによって、電機子はC1とC2のいずれかに必ず接触するようになります。

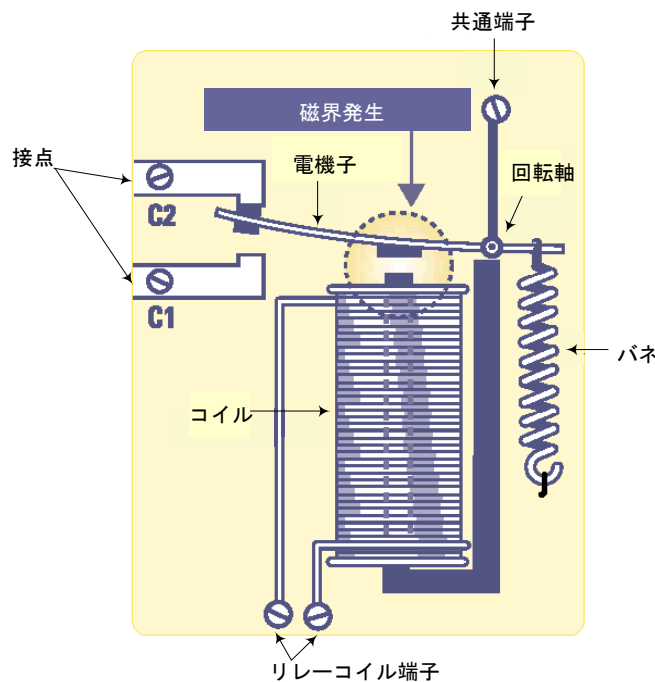


図5A – 機械式リレー

静止型切換スイッチと同様に、ATSにも主電源と予備電源からの入力電圧を監視する制御装置が必要です。ただし、ATSの制御装置の方がはるかに単純です。1秒間に数百回もゲート信号を送信する必要がないからです。ATSの制御装置は、主電源と予備電源の状態を監視し、リレーにいつ通電し、いつ通電を停止するかを決定するだけです。

付録B

IT機器とAC電源: スイッチング電源 (SMPS) の働き

電源が遮断された場合、IT機器はどのように稼動を維持するのでしょうか。まず、電気がどのように生み出されるのかについて考えます。電気は一般に商用電源および非常用発電機から交流電圧 (AC) として配電されます。交流電圧は周期的に正負が入れ替わります。理想的な状態では完全な正弦波を描き、1つのサイクルで2回ゼロボルトを通過します。商用電源に接続した電球は、通常、肉眼では確認できませんが、実は1秒間に100~120回 (50サイクルまたは60サイクルの交流の場合) 点滅しています。この点滅は、電圧がゼロボルトとなり、極性が変わるときに起きるものです。IT機器も電源の極性が変わるときに1秒間に100回以上も「電源が切れた」状態になるのでしょうか。これは明らかにIT機器が解決しなければならない問題です。最近のIT機器のほとんどは、この問題をスイッチング電源 (SMPS)¹ によって解決しています。SMPSは、まず望ましくない特性 (電圧スパイク、ひずみ、周波数変動など) ばかりを有する交流電圧を変化の少ない直流電圧 (DC) に変換します。この処理において、交流入力と電源の他の部分の間にあるコンデンサが充電されます。コンデンサは、正弦波がピーク (正および負) に到達または接近したときに1つの交流サイクルで2回充電され、下流のIT処理回路が必要とする間隔で放電します。コンデンサは、これらの正常な交流パルスと異常な電圧スパイクを継続的に吸収するように設計されています。したがって、点滅する電球とは異なり、IT機器は商用電源からの変動が多い交流ではなく安定的な直流電源で稼動します。

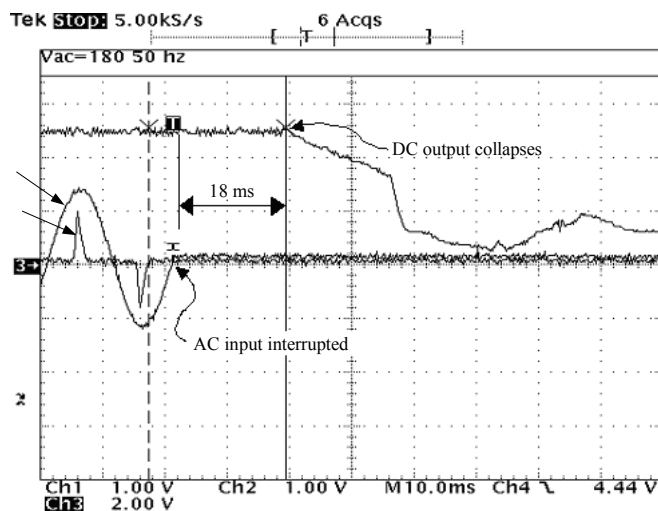
しかし、話はこれで終わりではありません。超小型電子回路にはきわめて低い直流電圧 (3.3V、5V、12Vなど) が必要ですが、前述したコンデンサには400Vという高い電圧が加わります。SMPSは、この高電圧直流を十分に安定化された低電圧の直流出力に変換します。

この電圧低下を行うために、SMPSはもう1つの重要な処理を実行します。それが絶縁です。絶縁とは回路を物理的に分離することで、目的は2つあります。1つは安全を確保し、感電を防止することです。もう1つは、コモンモード電圧 (接地との間に発生する電圧) やノイズに起因する機器の損傷や誤動作を防ぐことです。接地やコモンモード電圧の詳細については、APC ホワイトペーパー #9 『Common Mode Susceptibility of Computers』とAPC ホワイトペーパー #21 『Neutral Wire Facts and Mythology』 (<http://www.apc.com>) を参照してください。

SMPSは、交流入力の正弦波のピーク間を「保持」する場合と同じ方法で、交流電源の他の異常や瞬間的な中断も保持します。これはIT機器メーカーにとって重要な機能です。IT機器はUPSが存在しない環境でも稼動しなくてはならないからです。交流電源の微小な異常にも耐えることができないような品質やパフォーマンスによって評判を得たいと考えるIT機器メーカーはありません。この点が特に当てはまるのがハイエンドのネットワーク機器やコンピュータ機器です。そのため、これらの機器は一般に高品質の電源を内蔵しています。

¹ 「スイッチング電源 (SMPS)」とは、サーバの内部電源回路の機能を意味し、このホワイトペーパーの主題とは関係ありません。

この電圧保持能力を実証するために、ある一般的なコンピュータの電源に高い負荷を与えてから、交流入力を停止しました。そのうえで、電源の出力を監視し、交流入力が停止してからどれくらいの時間、許容できる出力電圧が生成されるかを確認しました。その結果を示したのが**図B1**です。波形は、電源の入力電圧、入力電流、直流出力電圧を表しています。



上側の波形:
電源の低電圧直流出力

中間部の波形:
入力電圧および入力電流

交流電源が停止した後、大きな負荷がかかったコンピュータの電源の出力はかなりの時間が経ってから低下する

図B1 - 電源の保持

入力電圧は、停止する前は**図B1**の左側の正弦波を描いています。入力電流（滑らかな電圧曲線の下で急上昇している波形）は、入力電圧の正のピーク時の短いパルスと負のピーク時の短いパルスからなります。これらの電流パルスでのみSMPSのコンデンサが充電されます。その後は、コンデンサから処理回路に電源が供給されます。SMPSの出力側の直流電圧は**図B1**の上側の波形です。出力電圧が交流入力の停止後も18ミリ秒の間きわめて安定していることに注目してください。APCでは、さまざまなコンピュータメーカーおよびIT機器メーカーの各種電源をテストしましたが、いずれの場合も同じような結果が得られました。電源の負荷が小さい場合は、コンデンサの放電が遅くなるため、保持時間はさらに長くなります。