

# 7 種類の電源障害

ジョセフ セイモア  
テリー ホースレイ

White Paper #18

**APC**<sup>®</sup>  
Legendary Reliability™

## 要約

原因不明の機器の故障、ダウンタイム、ソフトウェアの破損、データ破損の多くは、電源障害に起因しています。この電源障害を標準的に説明する場合に共通の問題があります。このホワイトペーパーでは、電源品質障害に関するIEEE規格に基づき、電源障害の一般的な分類、原因、重要負荷機器に対する影響、機器の保護について説明します。

# はじめに

今日、技術の世界は電力を継続して利用できるということに大きく依存するようになりました。大半の国々では、多くの発電所が負荷と相互に接続され全国的な供給網を装備することで、商用電源の利用が可能となっています。電力系統からは国民に基本的に必要な住宅、照明、暖房、冷房、空調、輸送のための電力供給と共に、政府、産業、金融、医療、通信などの各種団体への重要な電力供給を行う必要があります。商用電源のおかげで、現代社会は、文字どおり活発に機能することができます。洗練された技術は我々の家庭や仕事の中に深く浸透しており、さらに電子商取引の出現によって世界中の国々と関わる方法が絶え間なく変化しています。

情報技術には、停電や障害のない電力供給が求められます。大規模な電力事故の重大性についてはこれまでも数多く指摘されてきました。米国の最近の研究によると、デジタル産業における停電に起因する損害は年間457億ドルにも上ります<sup>1</sup>。あらゆる事業部門において、停電による損失は1040億ドルから1640億ドルに上ると見積もられており、その他の電力品質問題による損失は150億ドルから240億ドルと見積られています。産業界の自動処理においては、生産ライン全体が制御不能となり、現場の作業員を危険な状態にさらし、費用のかかる重大な損失が発生するおそれがあります。また、大規模な金融会社で処理ができなくなった場合にはダウンタイム1分あたり何千万ドルもの回収不能の費用負担が生じ、その後の長時間にわたる復旧作業が必要になります。停電によってプログラムとデータが破壊された場合、ソフトウェア回復作業による復旧までに数週間もかかるという問題が発生することがあります。

商用電源系統における多くの電源障害は、何千キロにおよぶ送電線が、台風、雷雨、雪、氷、洪水などの気象条件や、機器故障、交通事故、回線の切換などに影響されるために発生します。また、今日のIT機器に影響を及ぼす電源障害は、1つの施設内で局所的に発生することが多く、その原因は施設の工事、重負荷の起動、配電機器の故障、もしくは一般的な電気ノイズなどに渡ります。

## 電源障害への取組みの第一歩は用語の統一

家庭用の電子機器から大規模でコストのかかる産業プロセスの制御の全てに渡って電子技術が広く行き渡ったことにより、電力品質の認知度が向上しました。電力品質(厳密には、「電源品質障害」)は、一般的に電気機器の通常の運用を妨げるあらゆる電気的な変化(電圧、電流、周波数)と定義されます。

電力品質の研究とその制御方法は、電力会社、大規模企業、事業所だけでなく、一般家庭の消費者にとっても関心のあがる課題です。このような研究は、機器が電源電圧、電流、周波数のわずかな変化に対しても敏感になるにつれて、ますます活発になっています。残念ながら、現存する電源障害の多くを説明する際に異なる用語が使われているため、混乱が生じ、効果的な議論や研究が困難となって、今日の電力品質の問題解決が進展しづらくなっています。米国電気電子学会(IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers)は電源品質障害の定義を含む標準を作成することによって、この問題に対処しようと試みています。この標準(IEEE 規格 1159-1995 「IEEE Recommended Practice for Monitoring Electrical Power Quality」)は電力品質問題について多くの記述があり、その内容についてはこのホワイトペーパーで取り上げます。

<sup>1</sup> 『The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies』、White Paper copyright 2001、Electric Power Research Institute.

## 電源についての考え方

壁に設置されたコンセントから供給される電気は、1つの電磁現象です。商用電源は交流(AC)で供給されています。これは発電所で発電され、変圧器で高圧に昇圧され、何百キロも離れた全地域へ伝送される、静かで一見無限とも思えるエネルギー源です。このエネルギーが短い時間に何を行っているかを調べることで、この単純で滑らかな交流電源が我々の依存する洗練されたシステムの信頼性の高いオペレーションにとって、いかに重要であるかを理解することができます。このエネルギーはオシロスコープを使って観察できます。完全な状態では、商用交流電源は滑らかな上下対称の正弦波を示し、毎秒50または60回(ヘルツ、Hz)変化します。図1はオシロスコープを使用して観察した一般的な交流正弦波を示したものです。

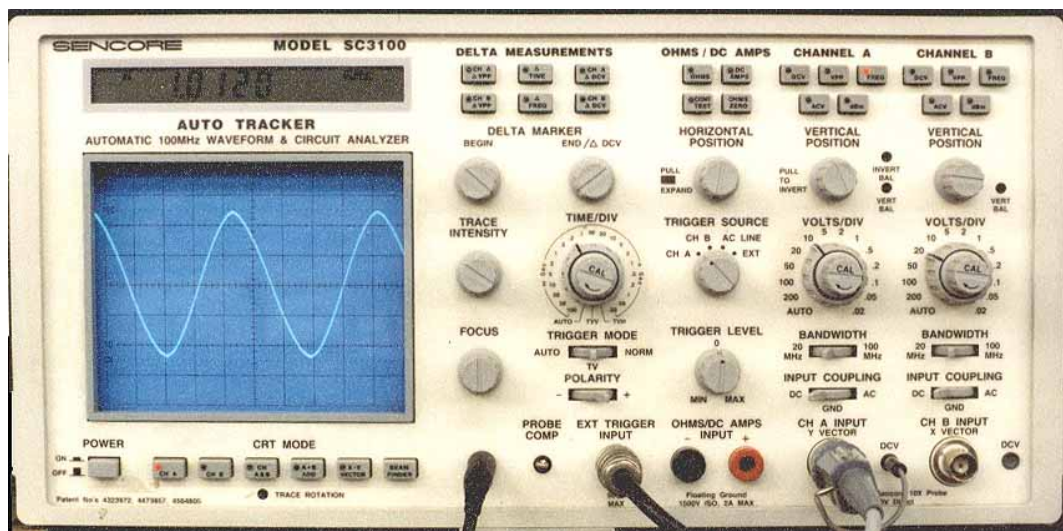


図1 - オシロスコープによる正弦波イメージ

上記の正弦波形は電圧が正の値から負の値に毎秒60回変化することを示します。この波形の大きさ、形、対称性、周波数が変化した場合、ノッチ、インパルス、リングングが生じた場合、または一瞬でもゼロに落ちたりした場合、電源障害が起こります。このホワイトペーパーでは、電源品質障害の7つの種類について、前述の理想的な正弦波形からの変化を代表的な図で示しながら説明していきます。

先に述べたように、さまざまな電源障害を説明する用語が電気業界および産業界の中で不明確に使用されていました。たとえば、「サージ」という用語は、ある産業分野では、一般に、大容量負荷のスイッチ開放による瞬間的な電圧の上昇を意味します。一方、数マイクロ秒から数ミリ秒間の非常に高いピーク値の過渡電圧として同じ「サージ」という用語が使われることもあります。後者は、通常、落雷や接点間にアークを発生するスイッチ操作と関連があります。

IEEE規格1100-1999は用語が不明確である問題について言及し、一般的に使用されている多くの用語は問題の本質を的確に説明することができないため、専門的報告書および参考書には使用しないことを推奨しています。IEEE規格1159-1995はこの問題について専門機関が電力品質に関する一貫した用語の提供を目標とすることに言及しています。不明確な用語の例は以下の通りです。

ブラックアウト	ブラウンアウト	バンブ	電力サージ
きれいな電力	サージ	停電	ブリンク
きたない電力	周波数偏移	グリッチ	スパイク
電力サージ	生の電力	電力会社の供給する生の電力	ウイंक

たとえば、停電と振動性過渡現象の相違を理解するなど、電源について効果的に説明することができるようになれば、電源補正装置の購入を決定する上で大きな違いが生まれます。情報伝達の不備によって不要な電源補正装置を購入すると、ダウンタイム、機器破損などにも関わる、高額な出費を余儀なくされる結果に至ることもあります。

このホワイトペーパーで説明するIEEEで定義された電源品質障害は、波形に基づいて7つの種別に分類されます。

1. 過渡変動
2. 電源遮断
3. サグ／不足電圧
4. 過大振幅／過電圧
5. 波形ひずみ
6. 電圧変動
7. 周波数変動

このホワイトペーパーでは上記の種別に基づいて、各電力品質障害の違いを明確にするための図を示します。

# 1. 過渡変動

過渡変動は電源障害のうち最も破壊的なタイプとなるおそれが高く、次の2つのサブカテゴリに分類されます。

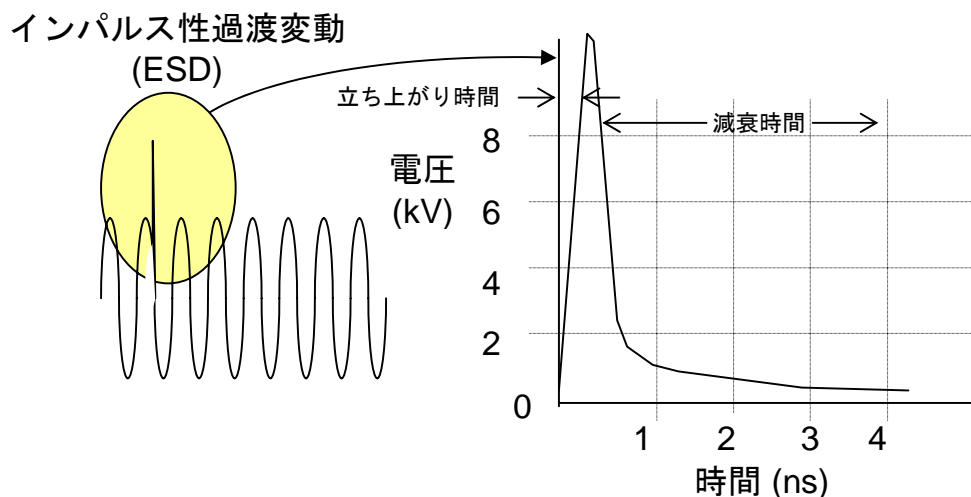
1. インパルス性
2. 振動性

## インパルス性

インパルス性過渡変動とは、電圧または電流レベルが正または負方向に瞬時に大きく変動することをいいます。これらの変動はさらに変動の速度(高、中、低)によって分類できます。インパルス性過渡変動は、非常に速く(定常値からピーク値までの立ち上がり時間5ナノ秒(5ns))で継続時間の短い(50 ns 以下)現象です。

注意: [1000 ns = 1  $\cdot$ s] [1000  $\cdot$ s = 1 ms] [1000 ms = 1 秒]

静電気放電(ESD)による正インパルス性過渡変動の例を、**図 2** に示します。



**図 2 - 正インパルス性過渡変動**

「サージやスパイクが起きた」と表現する場合、インパルス性過渡変動のことを意味していることが多くあります。バンプ、グリッチ、電力サージ、スパイクなどの用語はすべて、インパルス性過渡変動を意味します。

インパルス性過渡変動の原因には、落雷、不完全な接地、誘導負荷の遮断、電力会社の故障除去、静電気放電(ESD)などがあります。その結果として、データの損失(または破壊)から機器の物理的損失まで、さまざまな現象が生じるおそれがあります。これらの原因のうち、おそらく、落雷による被害がもっとも甚大であるといえます。

落雷による問題は、雷雨が起きた後、すぐに認識できます。夜空を光らせるだけの規模のエネルギーは、確実に、精密機器を破壊することもできます。また、落雷が直撃しなくても破壊に至ることもあり得ます。**図 3**は、落雷により発生する電磁場を示したものです。これは、近隣の導電性建造物に電流を誘導することによって破壊する可能性の方が高いといえます。

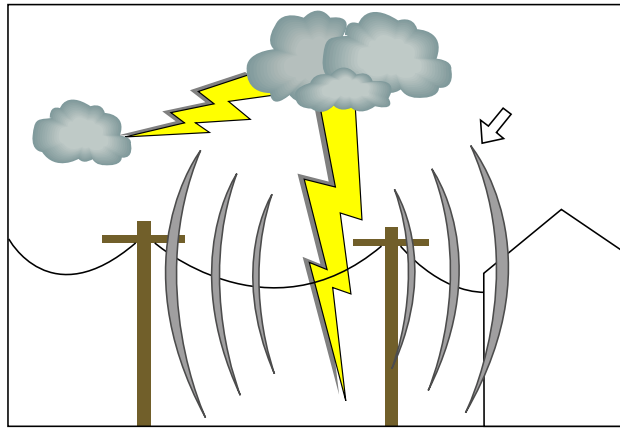


図 3 - 落雷により発生する磁場

インパルス性過渡変動から保護する方法として、2つの方法が挙げられます。1つは静電気放電(ESD)を抑える方法、もう1つはサージ抑制機器(一般にはサージサプレッサ(TVSS)やサージ保護装置(SPD)と呼ばれています)を使用する方法です。

静電気放電は、指先を通過しても人間に対して害を及ぼすことは全くなく、感じることもほとんどありませんが、コンピュータのマザーボードを完全に停止させ、二度と機能することのないような被害を及ぼすほどの十分な威力があります。データセンタ、プリント基板製造工場などのように、プリント基板が人手により処理される環境では、静電気放電の可能性を無くすることが重要です。たとえば、適切なデータセンタ環境では、ほとんどの場合、空調設備が整っています。空調設備はデータセンタの機器から熱を除去するだけでなく、空気中の湿度も調節します。空気中の湿度を40～55%に維持することにより、静電気放電が発生する可能性を削減できます。空気が非常に乾燥する冬の季節に、靴下が絨毯とわずかにこすれた後や、指がドアノブにうっかり触れたとき、誰かの耳に触れたときなどに、猛烈なアークが発生することを経験したことがあれば、湿度が静電気放電にどれだけ影響するかを理解できるでしょう。小規模なコンピュータ修理業などのプリント基板関連の環境下では、人体をアースするための設備が整えられています。この設備には、リストストラップ、帯電防止マットとデスクトップ、帯電防止靴などがあります。これらの設備は建物の接地部へ電線で接続されています。これは人間を電気ショックから守り、また発生する可能性のある静電気放電を接地する働きがあります。

サージ保護回路は長年にわたって使用されています。これらの装置は、電力会社のシステムで現在でも採用されています。大規模工場やデータセンタにおける装置、小規模企業や家庭で毎日使用される装置の性能は、MOV(金属酸化バリスタ)技術発展によって改善されています。MOVはインパルス性過渡変動、過大振幅、その他の高圧条件を安定して削減することができ、サーキットブレーカーのような熱遮断デバイス、サーミスタ、あるいは放電、サイリスタなどのコンポーネントと組み合わせることができます。サージ保護回路が電子機器に実装されている場合があります。たとえばコンピュータ電源装置のように、サージ電圧を検出してこれを抑圧する機能を持つものもあります。より一般的には、単体で用いられるサージ保護装置として利用される場合もあり、これが無停電電源装置に内蔵され、商用電源が停止し、電圧範囲が正常/安全な範囲を超えた場合にサージ電圧保護機能、非常用バッテリー電源として利用される場合もあります。

電子機器の電源障害を防止する最も効果的な方法として、サージ保護回路と無停電電源装置を直列に接続することが挙げられます。この技術を利用することにより、サージ保護回路は外部との接続点に設置され、外部から侵入してくるいかなる過

渡変動に対しても、そのエネルギーの大部分を消費することにより防ぐことができます。配電盤や精密機器に接続された機器を破壊したり、動作を不安定にしたりすることのない範囲に電圧を制限されることとなります。効率的な操作を行うため、装置の定格電圧、エネルギー吸収量、および装置の調整に特に注意を払ってください。また、MOVが故障した場合でも、サージ抑制機器が正常に動作することを十分確認してください。MOVが長時間にわたりサージ抑制機能を安定して提供していても、使用するにつれて劣化することがありますし、効果的な抑制能力の限界を超えた場合は故障することもあります。MOVの使用限界を超えてサージ保護回路が回路を破壊する可能性がある場合、保護すべき機器が破壊されないように防止することが重要です。この問題の詳細については、APC ホワイトペーパー #85「データラインのサージ保護」を参照してください。

## 振動性

振動性過渡変動とは、信号の電圧、電流もしくはその両方が、正と負の間で回路の自己振動周波数で急に変化する現象です。簡単に説明すると、過渡変動は、振動振幅が非常に短時間中に増大、縮小を起すことを示します。振動性過渡変動では1周期中に定常状態に戻ります（減衰振動）。

このような過渡変動はモータのような誘導性負荷もしくは大容量コンデンサなどの容量性負荷を接続、切り離したときに発生します。振動性過渡変動は、負荷が変化に抵抗した結果として発生するものです。これは水が大量に流れ出ている蛇口を急に閉めたときに、水管の中で槌音が聞こえる状態と似ています。流水が変化に抵抗したために振動性過渡変動と同じ状態が流水に発生するのです。

たとえば、回転しているモータを止めた時、一瞬発電機のような動作をするため、これによって発生した電気が配電システムを流れます。長距離配電システムは、電源を入れたり切ったりするときに、発振器のような動作をすることがあります。これはすべての回路には、固有のインダクタンスと分布キャパシタンスがあり減衰振動が起こるためです。

通電回路に振動性過渡変動が発生するのは、通常は電力会社の開閉操作によるもので、（特に大容量コンデンサがシステムに自動的に投入された場合）電子機器にとって破壊的な影響を及ぼします。図4は、通電された大容量コンデンサに起因する一般的な低周波数振動性過渡変動を示したものです。

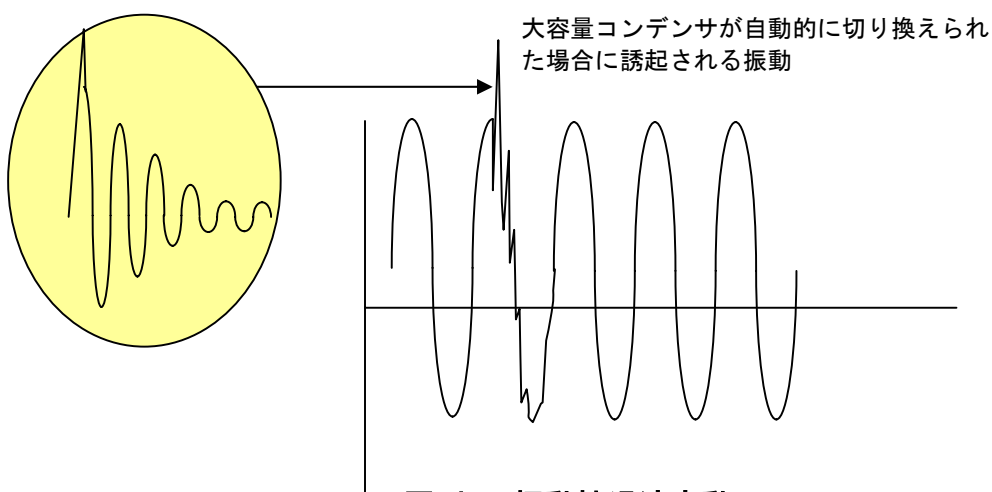


図 4 - 振動性過渡変動



コンデンサの投入とこれによる振動性過渡変動に関連して認識すべき問題として、可変速駆動(インバータ)のトリップがありません。比較的遅い過渡変動により直流回路電圧上昇し、過電圧によってトリップします。

コンデンサトリップを防止する一般的な方法は、給電線中にラインリアクトル(チョークコイルなど)を挿入し、振動性過渡変動を低減し、制御可能な範囲におさめることです。このようなリアクトルは機器の上流側または直流回路に挿入することができ、ほとんどの可変速駆動装置に、標準もしくはオプションとして入手可能です(注: 可変速駆動装置については、後述の「停電」で詳しく説明します)。

コンデンサ切り換え過渡変動問題を解決するための別の方法はゼロクロス切換えです。正弦波の電圧が正方向から減少し、ゼロに達する点(負に達する前)は図5に示すとおり、ゼロクロスと呼ばれます。容量性負荷の接続、切り離し(切換)時に発生する過渡変動は、切換え実施したタイミングがこのゼロクロスから離れるほど大きな振幅となります。ゼロクロス切換えは、この問題を次のようにして解決します。正弦波を監視し、容量性負荷の切換えをこのゼロクロス点にできるだけ近づけるようにしています。

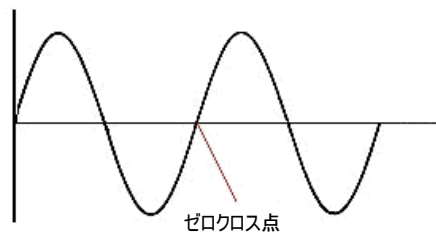


図 5 - ゼロクロス点

当然、無停電電源装置やサージ保護回路も特にネットワーク内のコンピュータのような共通データ処理機器間の振動性過渡変動を非常に効果的に減衰します。しかし、サージ保護回路や無停電電源装置は、システム間で発生する振動性過渡変動を、製造現場の装置やその制御装置に特化して開発されたゼロクロススイッチやチョークコイル型の装置ほどは防ぐことができない場合が発生します。

## 2. 停電

停電(図 6)は電源電圧または負荷電流の完全な損失と定義されます。停電はその持続時間により「瞬時」、「瞬間」、「一時」、「継続」に分類されます。それぞれの電源遮断の種類による持続時間は以下のとおりです。

瞬時	0.5から30サイクル
瞬間	30サイクルから2秒
一時	2秒から2分
継続	2分超

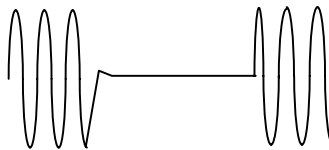


図 6 - 瞬時停電

停電の原因はさまざまですが、一般には、落雷、動物、木、自動車事故、荒天(電線付近で発生する強風、大雪、氷など)や、基幹遮断機のトリップなどによる、電力供給グリッドの異常によります。電力会社のインフラは自動的にこのような問題を復旧するよう設計されているものの、絶対に信頼できるというわけではありません。

商用電源システムにおける一般的な電源障害の原因は自動給電回復装置(再投入)のような電力会社設備保護回路です。自動給電回復装置は障害の特性により中断時間を決定します。自動給電回復装置は電力会社で利用される装置で短絡が発生したときの電流の立ち上がりを検出します。またこれが発生したときに給電電力を遮断します。自動給電回復装置はあらかじめ設定された時間経過後に再度給電を開始し、短絡を発生させた物質(通常は木の枝、電線と地面との間に挟まれた小動物など)その間に除去されていれば給電を回復します。

家庭に電気が来なくなり、ろうそくをつけるまでの数分間にすべてが元通りになったような経験があれば、停電を経験したといえるでしょう。家庭で停電が生じた場合、たとえそれが一晩中続いても単に不便なだけですが、業務の場合は大きな損失を被るおそれもあります。

停電は、それが瞬時、瞬間、一時、継続のいずれであろうと、一般家庭の消費者や業務上の利用者にとって作業の中断、機器の破損、IT 機器ダウンタイムの原因となります。家庭や小規模事業所のコンピュータユーザにとっては、機器の電源が切断されて情報が破壊された場合、貴重なデータを失うことになります。法人では、停電に起因して多大なる損失を被るでしょう。産業プロセスの多くは、信頼できる機械的コンポーネントの一定動作に依存しています。このようなコンポーネントが停電により突然停止した場合、機器破損や製品破壊に至るとともに、ダウンタイム、片付け、再開に関連するコストが発生します。たとえば、毛糸を製造する法人で瞬間の停電が起こると、毛糸成形処理に「破断」が発生し、大量の無駄と長時間のダウンタイムが生じます。毛糸は期待される品質と種類の製品を生み出すために、一定の速度で継続して押し出される必要があります。

ます。規格外の毛糸は紡績機から外して糸通しのラインに糸をつけ直す必要があります。このためには多大な労力と膨大なダウンタイムが生じます。また破損した糸くずは破棄する必要があります。

停電に対する解決方法は効率とコストの両面においてさまざまに異なります。第一にすべきことは、問題の起こる可能性を排除あるいは減少させることです。言うまでもなく、電力会社システムの良好な設計とメンテナンスを欠かすことはできません。このことは、電力会社と同じように大規模で脆弱な法人組織のシステム設計にも当てはまります。

原因の可能性となるものを除去した後、顧客の装置、プロセスを続行させる（電源品質低下中の継続したサービス提供）ための追加の装置もしくは障害に対応する設計が必要となります。最も一般的に使用される軽減装置として採用されるのは、無停電電源装置や電動発電機、冗長システムおよびエネルギー貯蔵の長所を利用したシステム設計技術などです。電源が停止すると、これらの装置が電力供給を引き受けます。ノート型パソコンを使用したことがあれば、電源がバックアップされている例を理解できるでしょう。ノート型パソコンのACアダプタが壁のコンセントにつながれている場合、コンセントから電源が供給され、そのエネルギーはノート型パソコンのバッテリーを浮動充電します。ノート型パソコンのプラグを抜くと、バッテリーが瞬時に交代してノート型パソコンへの電源供給を継続します。最近の切換え技術の進歩により、待機電力の蓄積システムは半サイクル以下で利用できるようになりました。

「継続停電」という用語は、商用電源システムの自動給電回復装置が検出した電流増加の特性から判断した結果、自動的に給電回復ができず人手の介入を必要とする状態を表します。一般に使われる「アウトエージ」という用語よりも「継続停電」の方が、より適切にこの状態を説明しています。「アウトエージ」という用語は、実際に期待された機能を実現できないシステム内のコンポーネント状態を示すものです (IEEE Std 100-1992)。

電源が2分間以上停止している場合、継続停電が起きていると表現する方が間違いないでしょう。そして、外部の電線を修理するために、電力会社の作業車がまもなく到着することでしょう。

## 3. サグ／不足電圧

### サグ

サグ(図7)は、所定周波数の交流電圧が半サイクルから1分程度の間振幅が減衰することをいいます。サグはシステム故障により発生する機会が多く、特に大きな突入電流を必要とする機器を切替える場合に発生します。

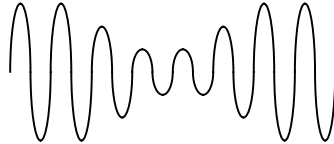


図 7 - サグ

サグの一般的な原因の一部は大規模の負荷の起動(大規模空調設備の起動)時や、遠隔地で発生した短絡の除去を行う電力会社の操作によるものが含まれます。また、工業用設備内の大規模モータ始動時にも深刻な電圧低下(サグ)が発生することがあります。モータは起動時に通常の6倍の突入電流を流すことができます。このように大規模で急激な電氣的負荷が発生すると、機器の他の回路の電圧が大幅に低下することがあります。シャワーを浴びているとき、家の中で誰かが別の蛇口から水を流したときのことを考えてみてください。シャワーのお湯は冷たくなり水圧は下がるでしょう。この問題を解決するには、シャワー専用の第2温水器を取付ける必要があります。大量の突入電流が発生する大規模始動負荷の回路にもこれと同じことがいえます。

これは非常に効果的なソリューションではありますが、設備全体に無数に大規模始動負荷がある場合には、専用の回路を大規模始動負荷に追加することが実際的かつ経済的なソリューションであるとは限りません。大規模始動負荷のもう一つのソリューションは、スターデルタ構成あるいはオートトランス付きの低電圧起動のような、モータ始動時に他の近隣の電氣的インフラに負荷をかけないような代替始動電源の使用です。半導体方式のモータ起動時の電圧サグを防止する機器も入手することができ、効率よく動作します。最近では負荷に従って(他の機能を使用しながら)モータの速度を変化させる、可変動駆動(インバータ)が工業処理を効果的かつ経済的に制御するために使われており、これにより大規模モータの始動問題を処理することもできます。

「停電」で説明したように、電力会社が遠隔にある短絡の原因を取り除く試みが負荷端の利用者にとって問題になる可能性があります。この問題がより明確になれば、この方式自体も停電の原因となります。しかし、サグはすばやく解決してしまうもの、あるいは一定期間繰り返されるものとも思われます。また、停電についての技術(無停電電源装置、電動発電機、システム設計技術など)は電圧サグにも適用できます。ただし、サグにより発生した破損(機器の損傷、データの破損、産業処理エラー)は、時間をかけて結果を確認するまでは明らかになりません。

まだ研究の初期段階ではあるものの、顧客への付加価値サービスとして産業処理のサグ分析サービスを提供している電力会社も存在します。サグ分析は、どのサグレベルまで機器が操作できるかを判断している段階です。研究が進められるにつれて、弱点が明確になり、情報の収集や分析が行われ、その結果が機器製造元に報告されることにより、機器の利用能力を改善することができるようになります。

## 不足電圧

不足電圧(図8)は、サグを発生させる長期にわたる問題の結果として生じるものです。この問題を表現するのにこれまで「ブラウンアウト」という用語が通常使われていましたが、「不足電圧」の用語がこれに取って代わるようになりました。「ブラウンアウト」は拡張していく高い電力需要における商用電源供給戦略も示すため、不明確です。不足電圧は、モータの過熱、コンピュータ電源などの非線形負荷故障の原因となります。不足電圧にもサグのソリューションが適用されます。しかし、最初は予備バッテリーを使わずに電圧調節のみを行う方式の無停電電源装置では、予備のバッテリーを頻繁に取り替える必要はありません。重要なことは、電圧低下が常態化した場合、各機器の重要な障害の前兆、電力会社の設定／調整の問題、もしくは電力会社の電力供給不足処理の必要性を示している場合があることです。

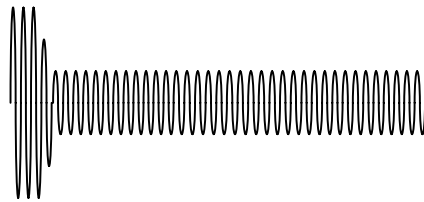


図 8 - 不足電圧

## 4. 過大振幅／過電圧

### 過大振幅

過大振幅(図9)は、サグとは逆に半サイクルから1分間交流電圧が増加する現象です。過大振幅は、通常、高抵抗接地、急激な(特に大きな)負荷減少、3相回路の単相事故などにより発生します。

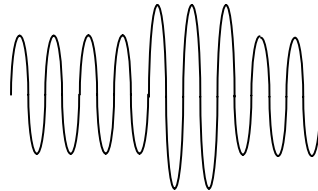


図 9 - 過大振幅

これによりデータエラー、電灯の点滅、電気接点の劣化、電子機器内の半導体破損、絶縁劣化などが発生します。一般的なソリューションとして、電力調整器、無停電電源装置、鉄共振「制御」トランスなどがあります。

サグと同様に、過大振幅も結果を確認するまでははっきりと状況を理解することはできません。入力電源を監視し記録する電力調整器または無停電電源装置を装備することにより、過大振幅が発生する時期と頻度を測定できます。

### 過電圧

過電圧(図10)は、過大振幅を発生させる長期にわたる問題の結果として生じるものです。過電圧は、過大振幅が長期化した現象と考えられます。また、過電圧は、通常、電源変圧器のタップ設定が不適切で負荷が減少した場合にも発生します。電力使用量が多い季節に合わせて供給量が設定されている地域では、オフシーズンには電力消費が少ないにもかかわらず、設定された電力が供給されることが一般的です。これは、たとえば水まき用ホースの先端を親指で押さえているような状態です。ホースを通過する水量が同じであるにもかかわらず水の出口が縮小するため水圧が増加します。過電圧により負荷過電流が発生するため、下流のブレーカで不要なトリップが生じると同時に、機器が過熱し、機器にストレスがかかります。

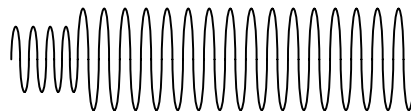


図 10 - 過電圧

過電圧は定常的な振幅拡大であり、過大振幅に対して効果がある無停電電源装置や振幅制限機器は、過電圧にも効果があります。しかしながら、電力会社から供給される電力が定常的に過電圧で入力される場合、電力会社の電圧値も変更する必要があります。過大振幅と同様の徴候が過電圧にもあてはまります。過電圧は持続性が高いため、過電圧の徴候として過熱状態が表れます。(一般的な環境と使用状態において)通常は一定量の熱を発生する機器が突然過熱状態を起こした場合、過電圧により生じたストレスであると考えられます。機器が密集するデータセンタ環境において発生すると、有害な結果に至ります。今日のデータセンタにおける熱とその影響は、電力密度の高いブレードサーバタイプ環境のIT関連業界に大きな懸念を与えています。

## 5. 波形ひずみ

波形ひずみの主な種類として、次の5つがあります。

1. DCオフセット
2. 高調波
3. 次数間高調波
4. ノッチ
5. ノイズ

### DCオフセット

直流電源が交流配電システムに代わり導入されてきています。多くの交流→直流変換に必要な整流器の故障率に影響されないようにするためです。直流は交流電源システムを通過し、すでに動作している機器の中に新たな電流の流れを構築してしまふことがあります。トランスの過熱と飽和は直流電流の循環が原因していることがあります。トランスが飽和すると過熱するだけでなく、負荷に電源を十分供給することができなくなり、その結果として波形のひずみが発生し、電子負荷機器が不安定になる原因となります。図11は、DCオフセットを示したものです。

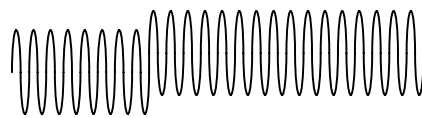


図 11 - DCオフセット

DCオフセット問題を解決するためには、問題の原因となる故障機器を交換します。ユーザが交換できるモジュール方式の機器が増加したため、故障した機器が原因となるDCオフセット問題をこれまで専門的な修理業者に支払っていた料金よりも安く、簡単に解決できるようになりました。

## 高調波

高調波ひずみ(図12)は、基本正弦波が基本波の整数系の周波数により変形されたものです(たとえば、180Hzは基本周波数60Hzの第3次高調波であり、 $3 \times 60 = 180$  となります)。

高調波問題の徴候には、トランス、中性線、その他の送電機器の過熱およびゼロクロス点の正常な正弦波トリガに依存する回路ブレーカの変動、タイミング回路の同期異常などがあります。

以前、高調波ひずみはスイッチング電源(SMPS)の特性のため IT 機器にとって重大な問題でした。このような非線形負荷とその他の多くの容量性設計は、半サイクルごとに電流を流すものと異なり、電圧波形の正、負値のピークまでそれぞれ電源を取込みます。もどり電流は短期間(約1/3サイクル)に起こるため、一般的な配電システムにおける三相をそれぞれ使用したSMPSからのもどり電流と中性線電流が混合します。中性線電流は減じられずに混合されるため、理論上、最大相電流の最高1.73倍という非常に高い中性線電流が生じます。過負荷は送電線の接続先で非常に高圧が発生する原因となり、接続機器に重大な損害を及ぼすこととなります。また、多重SMPSの負荷は、個々の半サイクル電圧のちょうどピーク時に電流が流れるため、トランスの飽和とそれによる過熱の原因となります。この問題に関連する負荷には、この他に可変速モータ駆動、雷アRESTA、大規模無停電電源装置があります。この問題を軽減するため、中性線導体の大型化、Kレートトランスの設置、高調波フィルタなどの方法が使用されます。

ここ10年間IT産業が著しく拡大したことに刺激されたIT機器の電源設計は、国際規格を通して改訂されました。最近の重要な規格変更により、設備内の過度な高調波電流を発生するIT機器電源が原因となる電氣的インフラによるストレスが軽減されました。多くの新規IT機器の電源は高調波を発生しないような設計になっています。このような電源は高調波による無駄な電流を発生しません。

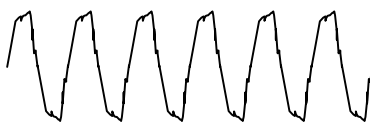


図 12 - 一般的な高調波ひずみ

## 次数間高調波

次数間高調波(図13)は1つの波形タイプであり、一般に、静止型周波数変換器、誘導電動機、アーク装置などの電気機器により、電源電圧に信号を発生させた結果として生じます。圧延工場、セメント業、鋳業機器に使われる大型モータを制御するサイクロコンバータは、最も重大な次数間高調波電源問題を生じる設備の1つです。この機器は電源電圧を供給周波数よりも低い、または高い周波数の交流電圧に変換します。

次数間高調波の最も顕著な影響は、画面や白熱灯の点滅ならびに発熱、通信障害などに見られます。

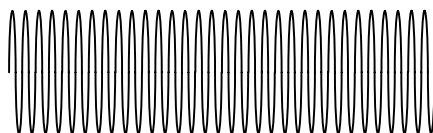


図 13 - 次数間高調波ひずみ

次数間高調波のソリューションには、フィルタ、無停電電源装置、送電線調整器などがあります。



## ノッチ

ノッチ(図14)は定期的な電圧障害で、定常運転中の可変速駆動、調光器、アーク溶接機のような電子機器によって引き起こされます。この問題はインパルス性過渡変動問題として説明することもできますが、ノッチは1/2サイクルごとに定期的に発生するため、波形ひずみ問題であると考えられます。ノッチは、一般に、システム停止、データ損失、データ転送問題などの原因となります。

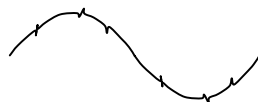


図 14 - ノッチ

ノッチ対策の1つとして、問題の原因となる機器から負荷を電氣的に分離して設置する方法があります(可能な場合)。機器を移動できない場合は、無停電電源装置やフィルタ機器を利用することもできます。

## ノイズ

ノイズ(図15)は、電源システムの電圧または電流波形に重ねられた不要な電圧または電流をいいます。ノイズは、電子装置、制御回路、アーク溶接機、スイッチング電源、無線送信機などから発生します。確実にアースされていない場所のシステムは、よりノイズの影響を受けやすくなります。ノイズは、データエラー、機器の誤動作、長期間にわたるコンポーネント故障、ハードディスク故障、ビデオ画像の破壊などのような情報機器問題の原因となります。

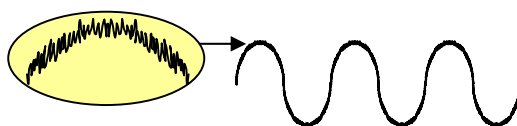
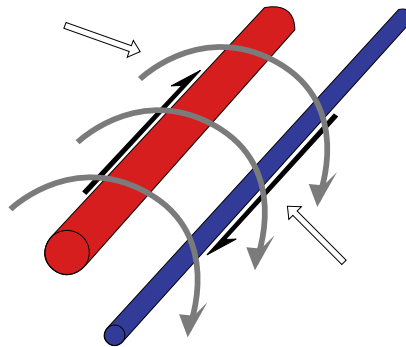


図 15 - ノイズ

ノイズを制御するにはさまざまな方法があり、求める結果を実現するために異なる技術をいくつか組み合わせて使用することもあります。以下のような方法があります。

- 無停電電源装置による負荷の絶縁
- 接地、シールドされた絶縁トランスの設置
- 負荷をノイズから離す
- ノイズフィルタの設置
- ケーブルのシールド

一般的なノイズによる障害は、データ破損です。EMI(電磁妨害)とRFI(無線周波妨害)は、**図16**に示すように、データを転送するシステムに誘導(誘導電流と誘導電圧)を発生させます。データはデジタルフォーマット(電圧の有無を1と0で表わす)で転送されるため、データ操作レベル以上の電圧が生じた場合に転送データに属していないデータを明らかにすることができます。誘導により発生したノイズとして、以前より挙げられる例に、ネットワークケーブルが蛍光灯を越えてつり天井を通る場合があります。蛍光灯は大量のEMIを発生するため、ネットワークケーブルが近くにあるとデータエラーを起こすことがあります。ネットワークケーブルが大容量電源の近くを通っている場合にも、エラーが生じる場合があります。フリーアクセスフロアのデータセンターでは、電線の束がネットワークケーブルと並行して通ることがよくあり、このことがノイズを発生させやすくします。



**図 16 - 誘導**

このような特殊な問題のソリューションとして、データを含む装置やケーブルを EMI/RFI 発生源から離すか、データ装置やケーブルにシールドを追加して EMI/RFI の影響を削減する方法が挙げられます。

## 6. 電圧変動

電圧変動は他の波形異常とは基本的に異なっているため、別のカテゴリに分類しました。電圧変動(図17)は、通常 25Hz 以下の低周波数で公称95~105% の、小規模な一連の任意の電圧変化あるいは電圧波形の体系的変化です。

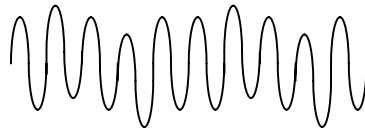


図 17 - 電圧変動

著しい電流変化を示す負荷は電圧変動を発生することがあります。一般的にアーク溶接機は伝送および配電システムにおける電圧変動の発生源です。この問題の徴候の1つに、蛍光灯が点滅することがあります。この問題のソリューションは、原因となる負荷を取り除き、精密機器の設置場所を変更するか、電力調整器または無停電電源装置を設置することです。

## 7. 周波数変動

周波数変動(図18)は、特にシステムが電力供給網を通して相互接続されている場合、安定した電力会社のシステム内で発生することはほとんどありません。現場に専用のスタンバイ発電機がある場合、または電源インフラが弱い場合、特に発電機の負荷が大きいときに周波数変動が発生します。IT機器は周波数に対する耐性があり、通常現地の小規模な発電機周波数の変化には影響されません。長期間に渡り安定した一定の電源サイクルに依存するモータ装置や精密装置などが影響を受けます。周波数変動によりモータが入力電源の周波数と一致しようとするために、モータの速度が変化します。これによりモータの駆動が非能率的になり、モータが加速し、さらに増大するために、モータの過熱と劣化をもたらします。

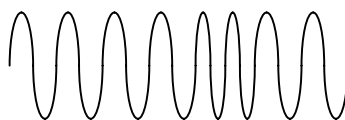


図 18 - 周波数変動

この問題を修正するためには、すべての電圧変動の原因となる生成された電源とその他の電源を検討し、修理、補正、または交換をします。

# 電圧不均衡

電圧不均衡は波形ひずみの種類ではありません。しかし、電力品質問題を扱う場合に電圧不均衡を認識することは重要なことなので、このホワイトペーパーで説明するに値します。

簡単に説明すると、電圧不均衡は(名前が示すとおり)電源電圧が均衡していないことです。この問題は外部電力会社に起因するものですが、電圧不均衡の原因は自社の設備負荷の不均衡にあります。さらに具体的には、三相の配電システムにおいて、システムが三相の負荷にも電源を供給すると同時に、そのうちの1つの相が単相機器に電力を供給する場合に発生します。

通常、このような不均衡により、特にソリッドステートモータの過熱が発生します。より大規模な不均衡の場合、モータコンポーネントが過熱し、モータ制御の断続的故障が発生します。

電圧不均衡の状態に早急に対処するために、3つの電源電圧の最高電圧と最低電圧の違いを調べます。この数値は、最低電源電圧の4%を越えてはなりません。システム内の電圧不均衡を簡単に評価するための例を、以下に示します。

例:

第 1 電源電圧: 220V

第 2 電源電圧: 225V

第 3 電源電圧: 230V

最低電圧: 220V

220V の 4% = **8.8V**

最高電圧と最低電圧の違い: **10V**

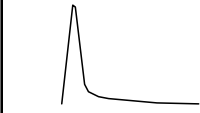
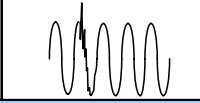
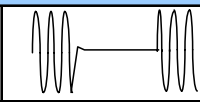
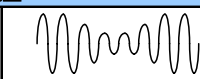
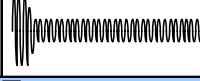
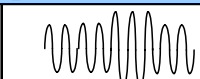
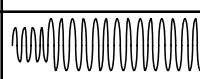
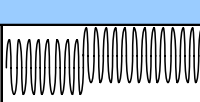

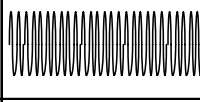
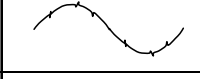
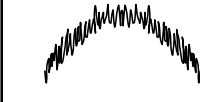
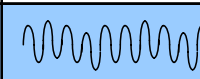
**10V > 8.8V - 不均衡値は大きい**

電圧不均衡を補正するには、負荷を再構成するか、(不均衡が内部負荷に起因するものではない場合は)入力電圧に合わせて商用電源を変更します。

# 電源障害のソリューション

表1は、これまでに述べてきた電源障害を要約し、この問題が業務上の操作に及ぼす影響を軽減するために実行可能なソリューションを一覧したものです。

表 1 - 電源障害とソリューションの要約

電源障害分類	波形	影響	考えられる原因	考えられる解決策
<b>1. 過渡過電圧</b>				
インパルス性		データ破損、故障の可能性、システム停止	落雷、静電放電、開閉インパルス、電気会社の障害除去	TVSS、湿度を35~50%に維持
振動性		データ破損、故障の可能性	誘導性負荷または容量性負荷の切り離し	TVSS、無停電電源装置、チョーク小入り、ゼロ公差切り換え
<b>2. 電源遮断</b>				
		データ破損、故障の可能性、停止	切り換え、電力会社障害、回路ブレーカー変動、コンポーネント故障	無停電電源装置
<b>3. サグ/不足電圧</b>				
サグ		システム停止、データ破損、停止	起動負荷、故障	電力調整器、無停電電源装置
不足電圧		システム停止、データ破損、停止	電力会社障害、負荷変更	電力調整器、無停電電源装置
<b>4. 過大振幅/過電圧</b>				
過大振幅		漏電、機器破損、寿命低下	負荷変動、電力会社障害	電力調整器、無停電電源装置、強共振制御トランス
過電圧		機器破損、寿命低下	負荷変動、電力会社障害	電力調整器、無停電電源装置、強共振制御トランス
<b>5. 波形ひずみ</b>				
DCオフセット		DCオフセット	整流器故障、電源	トラブルシュート、故障機器の交換
高調波		過熱トランス、システム停止	電子負荷(非線形負荷)	配電の再構成、K-ファクタトランスの設置、PCF 電源の使用
次数間高調波		電気の点滅、過熱、通信妨害	制御信号、故障機器、サイクロコンバータ、誘導電動機、アーク装置	電力調整器、フィルタ、無停電電源装置
ノッチ		システム停止、データ破損	可変速駆動、アーク溶接機、調光器	配電の再構築、精密負荷の再配置、フィルタの設置、無停電電源装置
ノイズ		システム停止、データ破損	送信機(無線)、故障機器、無効な接地、電磁妨害/無線周波数妨害源の近隣	送信機の移動、接地の再構成、電磁妨害/無線周波数妨害源から離す、シールドフィルタの増加、トランスの絶縁
<b>6. 電圧変動</b>				
		システム停止、電気の点滅	システム停止、電気の点滅	配電の再構築、精密負荷の再配置、電力調整器、無停電電源装置

## 結論

電子機器が広く使用されるようになってきたため、電力品質と業務用の重要な電子機器への影響に関する認識が向上してきました。我々の世界はますます、非常に微細な電気的変動にも影響を受けやすい小型マイクロプロセッサによって動くようになってきています。このようなマイクロプロセッサは、ダウンタイムの余裕がない、非常に高速な自動化ロボットによるアセンブリや包装ラインシステムを制御することができます。電源障害の影響を制限あるいは軽減できる経済的なソリューションもあります。しかし、産業界においては、電源障害について、あるいはこれを防止する方法について、コミュニケーションを図って理解を深めるために、さまざまな現象を表現するための共通の用語と定義が必要です。このホワイトペーパーでは、「IEEE Recommended Practice for Monitoring Electrical Power Quality」というIEEE 規格 1159-1995 に記載された電源障害について定義し、図解することを試みました。

事業の規模にかかわらず、企業は機器のダウンタイムと製造費用を減少させて利益を増大させることを目的としています。電氣的環境と電源障害に対する機器の影響について理解しコミュニケーションを図ることは、事業目標や夢を実現するためのより良い方法を発見する助けとなることでしょう。

## 著者について

**ジョセフ セイモア**は Claim Analyst のリーダーで、ロードアイランド州ウエストキングストンにある APC 本社の Claims 部門に勤務しています。致命的な過渡電圧事故によって生じた損害について評価および調査し、APCのEquipment Protection Policy(電子機器保護ポリシー)に従って顧客のクレームを審査しています。

**テリー ホースレイ**は、APC の独立Power Qualityコンサルタントです。技術管理部門、重要インフラのサポート、訓練、カリキュラム開発、テクニカルライティングを 20 年以上経験し、欧州、東南アジア、北米などで実地調査を行っています。

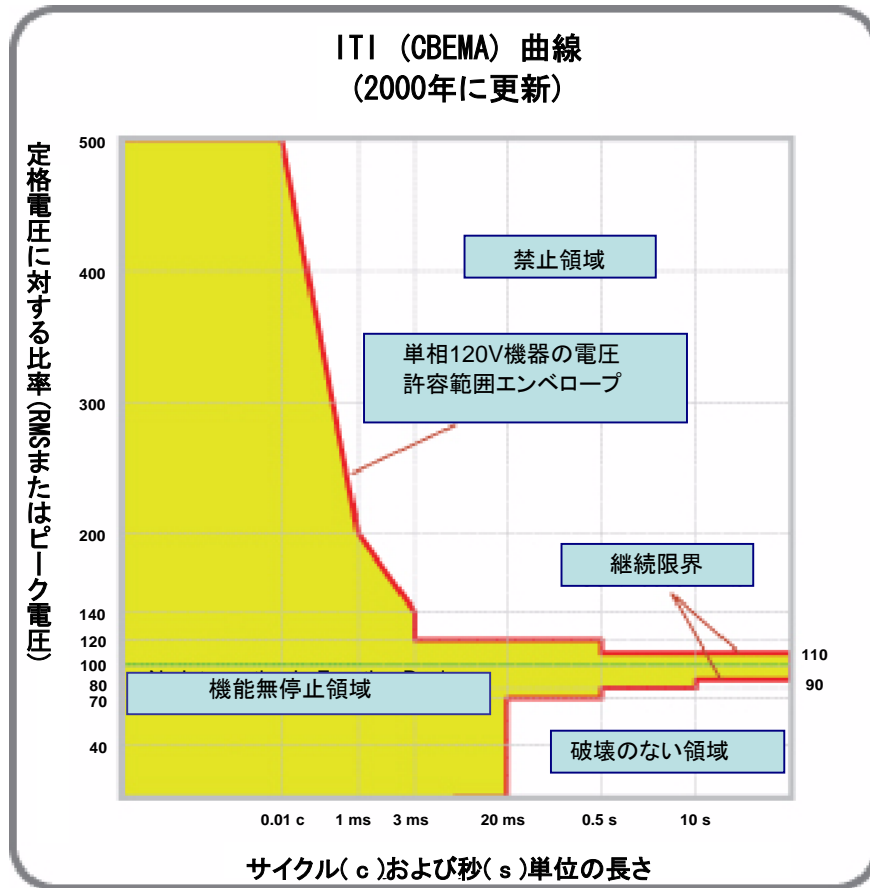
## 付録 – 電源変動の許容範囲

これまで各種の電源障害についての定義を記載しましたので、ここで最近の機器の許容範囲について理解しましょう。すべての電源障害が最近の機器に影響を及ぼすわけではありません。最近の機器電源が短時間耐えられる、交流電圧変動と電源障害があります。

ほとんどの情報機器は、公称交流電源を直流電圧に変換する、小型で耐量のあるスイッチング電源 (SMPS) により供給される低電圧電源により動作します。電源装置は、精密電子コンポーネントと、バックグラウンドノイズが入ったに交流電源電圧のエネルギー源の間に、最も効果的な防御壁として働きます。

国際標準 IEC61000-4-11 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、当初コンピュータ事務機器製造業者協会が開発した、業界で一般的に「CBEMA 曲線」として知られるアプリケーションノートには、単相 IT 機器電源の電源障害耐性を最小にするために設計された特性曲線を示しています。情報技術産業協議会 (ITIC、旧 CBEMA) は最近、**図 A1** に示すようにこの特性曲線を改良しました。この特性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](http://www.itic.org/technical/iticurv.pdf) を参照してください。

**図A1**は、直流電源についてサブサイクルスケールから10秒間までのタイムスケールを示しています。縦軸は単相IT機器に印可された公称電圧を示します。この設計で一般的な公称電圧は、60Hz機器で120V、50Hz機器で240V です。0Vの線を追っていくと、交流電源電圧がゼロに落ちた後20ミリ秒間電源が動作していることが分かりますが、これは直流出力が交流電源が切れた後 1/50 秒継続することを示しています。この曲線のもう一つの特徴は、入力交流電圧が公称値の80%に落ちた後も、電源の直流出力が最低10秒間回路を維持していることです。100%の線の正值側では、電源は少なくとも1ミリ秒間200%の増加に耐える必要があります。この電源は、交流サイクルの 0.01 (たとえば、60Hzシステムでは1.6 ミリ秒、50Hzシステムでは2.0ミリ秒) において回路操作の妨害なく、500%の増加に耐えます。



**参考文献**

『IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality』、IEEE 規格1159-1995

『Power Quality: A Utility Perspective』、Ron A. Adams 著、AEE Technical Conference Paper、1996年10月

『Power Distortion: A User's Perspective On The Selection And Application Of Mitigation Equipment And Techniques』、Wayne L. Stebbins 著、IEEE Textile Industry Technical Conference Paper、1996年5月

『IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment (IEEE Green Book)』、IEEE規格1100-1992.

『Power Quality for Electrical Contractors』コース、Electric Power Research Institute / Duke Power Company、1996年11月



『Reduced Voltage Starting of Low Voltage, Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Technical Review』、Square D Product Data Bulletin、Bulletin No. 8600PD9201、1992年6月

『Protection Zoning: A New Approach』、Anthony O. Bird 著、Duke Power Company Power Quality Trade Show、1994年9月

『Surge Protection Online User's Guide』、MCG Electronics, Inc.、インターネット上で出版、最終更新日1996年6月21日

『Evaluation of Methods for Controlling the Overvoltages Produced by the Energization of a Shunt Capacitor Bank』、R. P. O'Leary、R. H. Harner 共著、International Conference on Large High Voltage Electric Systems、1988年8月

『Understanding and Correcting Harmonic Distortion』、John F. Hibbard 著、PCIM/Power Quality '92 Conference and Exhibition、1992年9月

『Practical Guide To Quality Power For Sensitive Electronic Equipment』、EC&M/Electrical Group、1994年5月