

データラインの サージ保護

ジョセフ セイモア

White Paper #85

APC[®]
Legendary Reliability™

要約

データラインのサージ(過渡過電圧)によってオフィスや住宅で使われているコンピュータが破損する可能性があります。多くのユーザは電源ラインのサージのリスクを理解してはいますが、データラインのサージについては見落としています。このホワイトペーパーでは、サージについて、その発生のしくみと電気設備に及ぼす影響を説明します。さらに、サージ抑制機器を使ってデータラインをサージから保護する方法を紹介します。

はじめに

電源障害は、IT機器とデータにとって深刻な問題です。電源障害は、スパイク、サージ、過渡過電圧などの名前で呼ばれますが、電源障害の影響により作業の中断、機器の破損等が発生し、IT機器のダウンタイムを招きます。また、コンピュータネットワークの一般化が進んでいるため、通信ケーブルに与えるサージの影響も重要になっています。建物に接続されている通信ケーブルによって、地上、地下を問わず大規模なサージが住宅や会社に侵入する可能性があります。サージは、多様な組み合わせ(磁場によるシステム間の電気エネルギー転送)で発生するため、建物内の通信インターフェイスに重大な損害を与えることがあります。サージが発生する過程はさまざまなので、入力ケーブルに1つのサージ保護機器を適用するだけでは、内部ケーブルとIT機器をサージから完全には保護できない場合があります。

サージがデータラインに及ぼす影響について説明する前に、データラインの意味と電気の形式でデータを伝達する方法について一般的な用語を理解しておきましょう。データラインは、低電圧で接続機器間の通信を行う導電性のある通信ケーブルです。データケーブルの一般的な例として、同軸ケーブル、CAT5イーサネットケーブル、電話線などがあります。データは、データラインを経由して、送信側のIT機器からケーブルの先にある受信側のIT機器に、レベルの変動する電圧を発信しIT機器間で伝送されます。受信側のIT機器では、電圧レベルを処理して、理解可能なデータに解釈して変換します。

データラインは、低電圧レベルしか伝達しない性質を有していますが、導電素材で作成されているため、他の導電性のあるケーブルと同様に、過渡的なサージやスパイクの影響を受けます。一般に、過渡過電圧とは、適切な電圧レベル(コンピュータと電気機器の場合はシグナル)から短時間だけ電圧が上昇することです。この意図しない電圧上昇によって、電気機器が誤動作して機能しなくなることがあります。データライン経由で通信するとき、設備は非常に低い電圧で機能するように設計されている場合があります。そのため、電圧レベルが通常よりも上昇すると直ちに破損する可能性があります。さらに、過渡過電圧はさまざまな原因で発生します。そのため、IT機器の構成にかかわらず、過渡過電圧を無視することはできません。

図1にフロリダ電力による研究結果を示します。この研究では電力の品質問題をさまざまなグループに分類しています。このグラフでは、雷は電力の品質問題の15%であり、グリッドの切り替えによる変電所を原因とするサージはわずか5%である一方、オフィス機器によって発生するサージは電力の品質問題全体で60%にも達します。

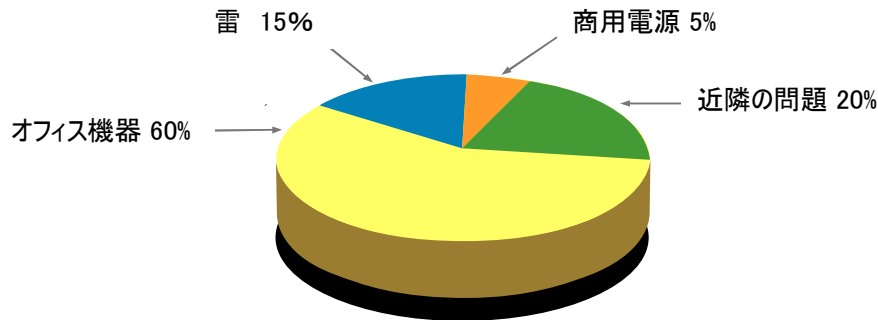


図1 - オフィス環境で発生した電力品質問題の分類(フロリダ電力による研究)

サージの発生過程

サージは、商用電源の送電線、電話線、データライン、シグナルラインなど、あらゆる導電性ケーブルで発生する可能性があります。ローカルエリアネットワーク(LAN)の多くで使用されているデータラインの種類としては、RS-232、RS-422、イーサネットケーブル、トークンリングケーブル、ケーブルテレビ、監視警報システム、CNC/マシンツールインターフェイスなどがあります。

サージは過渡過電圧の一種であり、短期的な過電圧で、通常、継続時間は数ミリ秒です。このような意図しない過度の電気エネルギーはどのような導電性ケーブルでも容易に発生します。サージのエネルギー量は莫大となる可能性があり、IT機器が破損し不正確な電圧レベルのために誤ったシグナルが発信され誤作動の原因にもなります。マイクロプロセッサや他の集積回路(IC)で駆動するIT機器は、特にサージに対して脆弱です。多様な原因が誘導的に組み合わせられると一般にデータライン固有のサージの原因となります。

他からの誘導によりデータラインにサージが発生する仕組みについては、交流電力のサージが発生する過程に比べて認識されていません。電流が導電素材を流れると必ず磁場が発生します。1つ目の導電体の磁場に2つ目の導電体が置かれ、さらに磁場が変化する場合には、磁場によって2つ目の導電体に電流が誘導されます。他の導電素材に物理的に接続せずに、電流を生じさせ電圧を誘導する磁場を使用する方法は、商用電源の送電線に使用される変圧器が利用している基本原理です。変圧器では、主電源のコイル状のケーブルから広がる磁場が発生します。これによって、2つ目のコイル状のケーブルに電圧が誘導されます。同じ原理で、建物内で隣接する複数のケーブルがある場合、磁力でサージが誘導される場合があります。これを図2に示します。この組み合わせは、送電線で発生する可能性があります。これによって、電圧は隣接するデータラインに誘導され、一方のデータラインから他方のデータラインへ誘導されます(一般に、クロストークと呼ばれます)。

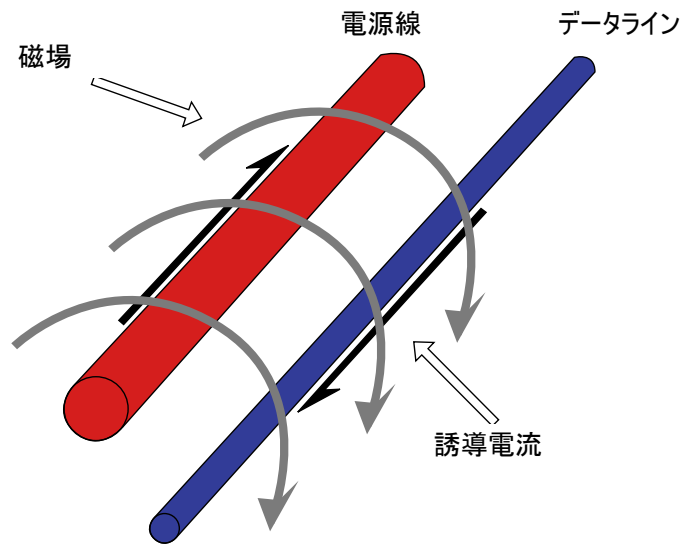


図2 - 誘導的な組み合わせ

雷はさらに強力な種類の磁気を組み合わせたものです。1回の落雷で複数アイテムが突然破損する可能性があります。図3に、地面に落雷した場合を示します。この稲妻は非常に強力な磁場を発生しています。ある導電体が隣接する導電体にサージを誘導することがある場合と同様に、送電線に直接落雷しなかった場合でも、落雷の磁場によって電力が外部の送電線に誘導されることがあります。さらに重要な点は、落雷が設備に近い場合、磁場が通過する内部のデータラインに、サージを誘導する可能性があることです。このサージによって、このようなデータラインで転送されているデータが混乱し接続設備が破損する可能性があります。

誘導的な組み合わせの説明に使用するもう1つの用語は電磁妨害(Electromagnetic Interference/EMI)、つまりノイズです。

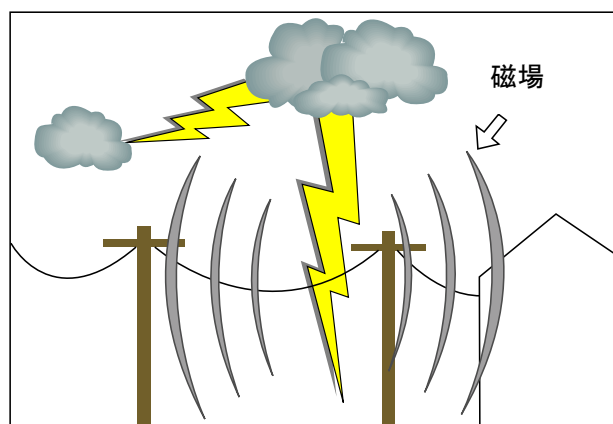


図3 - 落雷で発生する磁場

ケーブルが隣接していることと落雷は、データラインのサージの原因として知られています。設備内のデータインフラに悪影響を及ぼす可能性のある組み合わせには、他にも原因があります。設備のデータラインの計画や検査を実施する場合、以下に示すような誘導的な組み合わせに注意する必要があります。

- 電源配線に隣接するデータライン
- 避雷導体の近くを通るデータケーブル(避雷導体とは、雷の放電を建物から地面へ伝達するように設計された、建物内のケーブルまたは構造物です)
- 建物の鉄部分の近くを通るデータケーブル(特に、避雷導体の周辺)
- 蛍光灯(EMIを発生します)のごく近くを通るデータライン

データラインの誘導的な組み合わせには主要な原因がいくつかありますが、どのような設備でも、より多くの原因が存在する可能性があります。

サージの影響

現在、施設や家庭にある電気設備の多くが、ICやマイクロプロセッサを使用しており、サージによって特に破損しやすい性質があります。このような電気設備には、コンピュータとその周辺機器、コンピュータとデータネットワーク(LANなど)、電気通信設備、医療調査設備、CNC生成機、無線通信設備、テレビ、衛星テレビ設備、キャッシュレジスタ、コピー機、ファックス機などがあります。また、このような機器の多くは、通常、通信目的で何らかの形式のデータラインに接続されています。

ICを使用している機器がサージによって破損しやすい要因は以下の3点です。

1. プリント基板のパターンとICとの間隔が近い
2. ICの許容電圧が低い
3. 同期クロックを使用している(コンピュータの場合など)

プリント基板のパターンとICとの間隔が近い

ICを使用している機器がサージで破損しやすい一般的な要因の1つ目は、ICの部品とプリント基板パターンとの間隔が非常に近いことです。多くの場合、毛髪の太さよりもはるかに狭い間隔です。導電的な経路やパターンを利用して回路基板を電気が通過します。この経路は、ICの内部と外部、回路基板自体にもあり、膨張と収縮に一定のしきい値があります。回路基板部品を通過する電流によって発生する熱で、ある程度膨張して、この電流がなくなってから収縮します。この経路にサージが入り込むと、過熱状態になり、回路基板構造に微小な裂け目が発生する可能性があります。これが原因で、通常は絶縁されているパターンが短絡する結果になることがあります。このとき、機器が操作不能になるショートが内部的に発生することもあります。このような微小な裂け目によって直ちに損害が発生するとは限りませんが、日常的なコンポーネントの膨張と収縮で裂け目が少しずつ大きくなり、裂け目が増えると、時間の経過につれて機器は少しずつ故障し、最終的には動作できなくなります。

ICの許容電圧が低い

ICが破損しやすい要因の2つ目は、IC機器に必要な動作電圧が低くなってきていることです。コンピュータ部品はサイズが小さくなり効率的になりました。また、節電の努力により、コンピュータの実行に必要な動作電圧は少しずつ低くなっています。コンピュータ機器の一般的な動作電圧は5VDCから3.3VDCに低下しましたが、今後も更に低下する可能性があります。つまり、ICベースのシステムで処理可能な電圧のしきい値も減っています。サージによって、3.3VDCベースのシステムが5VDCの電圧レベルに上昇すると容易に誤動作する可能性があります。

クロック同期の使用

ICベース機器が破損しやすい要因の3つ目は、クロック信号を使用して内部部品の動作を同期させていることです。ほとんどのコンピュータはクロック信号によって同期されています。クロック信号は特定の周波数で実行されている電圧に基づいています。EMIは特定の周波数でコンピュータのクロック信号に近くなる可能性があります。このような場合、コンピュータでは、この偽のクロック信号は命令を実行できないと解釈されてしまいます。この偽の命令によってエラーが数多く発生すると、結果としてキーボードのロックアップ、プログラムのクラッシュ、システムのロックアップという具体的な形で現れます。逆に、EMIによってコンピュータが有効な命令を実行できない可能性があります。この場合も同様の問題が発生します。

サージで生じる一般的な障害

電気機器内のサージによって生じる最も一般的な障害は、破壊的な障害、消耗的な障害、破滅的な障害です。

破壊的な影響 – (データラインまたは送電線の)誘導性の結合によってサージが設備に侵入した場合に発生します。電気部品はサージを有効な命令として処理します。結果として、システムのロックアップ、誤動作、出力エラー、ファイルの消失や破損の他に、意図しないさまざまな影響があります。

消耗的な影響 – IC部品への継続的なストレスと関連付けられます。ICの組み立てに使用される素材は、ある程度まではエネルギーレベルのサージが繰り返されても耐えられますが、過度に繰り返されると耐えられません。悪化した状態が長期に続くと最終的にIC部品は動作不能になります。

破滅的な影響 – 高レベルのエネルギーを有するサージによって直ちに設備に障害が発生する条件がすべて含まれます。多くの場合、プリント基板の焼損やひび、電子部品の溶解など、目に見える物理的な損害があります。

サージの抑制と保護

サージとは、通常の電圧または信号レベルから、短時間また多くの場合は大幅に急上昇することを指します。サージの規模が大きくなるほど電気設備の中断や破損の可能性も高くなります。前述のように、サージはどこの導電性材料でも発生する可能性があるため、商用電源に接続されている機器だけではなく、電話線、イーサネットケーブル、同軸ケーブル、シリアル通信ケーブルなどにも影響を及ぼします。

サージ保護機器

サージ保護機器 (Surge Protective Device/SPD) は、このようなサージの規模を小さくして設備を破損する影響から保護する機器です。ただし、SPDはサージをゼロにまで減らす訳ではありません。SPDは、接続されている電力負荷に対して安全なレベルまでサージを減らすに過ぎません。これは、電源側の電圧許容値は機器によって異なるためと、電圧をゼロに減らすと、接続された機器が動作できなくなるためです。SPDは、サージをゼロにはせず、設備の保護に適したレベルまで低減するだけです。ある程度高機能のSPDであればノイズのフィルタリング機能もあります。これによって、電圧波形に含まれるEMIが接続機器に到達しないように低減することができます。

つまり、SPDは、損害が生じるレベルのサージが保護対象の機器に到達するのを防ぎます。SPDでは、過電圧の吸収、バイパス、またはその2つを組み合わせ、この処理を実現します。図4では、的に射られている矢が描かれています。的はSPDを、矢はサージを示しています。矢が的に当たると的に突き刺さり、ただし、矢が的に突き抜けずに的でとどまるかどうかは的の厚さによって決まります。また、この場合、矢によつて的は傷つくため、将来、この的では矢を止めることができなくなる可能性があります。次に、的の前に金属の盾があると想像してください。矢が放たれると、盾に当たって、的は傷つかずに的の横に跳ね返ります。これが多くのSPDの基本的な操作です。SPDは、エネルギーを吸収するか (SPDの性能によって変わりますが、サージを防ぐことができても損傷します)、サージをバイパスさせます。ほとんどの場合、SPDでは、サージを吸収してバイパスさせるために、複数の機器を組み合わせ使用します。

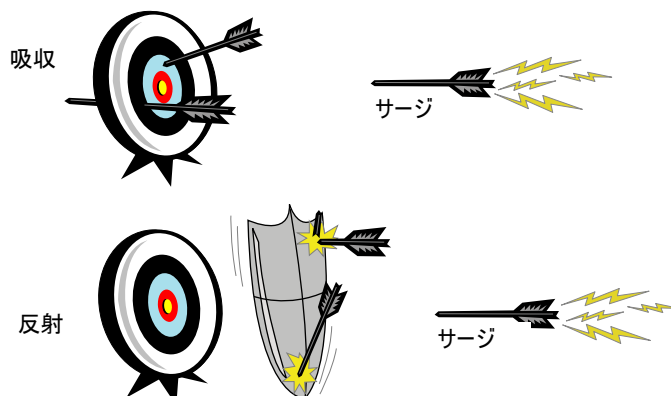


図4 - サージの吸収と反射

クランピングは、SPDでサージを制限するときに使用する機能です。クランピングは、SPDの内部部品でサージから接続の電気機器を保護できる低い電圧レベルまで減らす処理です。接続の電気機器に渡されるエネルギーは、SPDのサージを減らす処理を経て、いわゆる通過電圧になります。前述のように、ほとんどのSPDでは、この処理でサージをゼロ電圧にまで低くすることはありません。また、接続される負荷の機能に必要なレベルより低くすることはありません。必要以上のレベルにサージを低くすると、SPD自体に不要な負担がかかります。

SPDでよく使用されるコンポーネントの1つは酸化金属バリスタ (Metal Oxide Varistor/MOV) です。MOVは半導体的な特徴を有する非線形の抵抗器です。MOVは通常非電導状態にあり、電力は透過できますが、サージがケーブルに入ってくると特

性が変わります。この時点で、MOVは導電状態となり、過電圧をアースします。電流レベルが増えるにつれて、クランピング処理される電圧の量も増えます。これによって、通過電圧は許容レベルで設備へ継続的に供給されます。この処理はサージが正常レベルに戻るまで続きます。

多くの場合、MOVは温度ヒューズと組み合わせて使用されます。温度ヒューズは保護設備への電気経路と直列に接続され、致命的なサージが発生した場合、接続設備への電力を遮断します。サージが高い状態がある程度継続すると、MOVの最大動作電圧に達する可能性があり、この場合、MOVはその電圧を透過させます。温度ヒューズは閉じた状態かMOVに付属していることが多いのですが、MOVに障害が発生すると、熱によって温度ヒューズは電流を遮断し、保護機器に電力が印加されないようにします。MOVは、SPDと性質が矛盾しないため、SPDで使用されます。MOVは所定値以下の電圧は継続的に透過させ、電圧が所定値を超えた場合に一定のレベルのエネルギーまでの過電圧を吸収します。

SPDではすべての電力の品質問題を解決することはできません。商用電源から供給される電力のサグ(低電圧)とスウェル(長期の過電圧)には対処できません。また、コンピュータや蛍光灯システム内のモータやスイッチング電源など、非線形の負荷によって発生する高周波を減らすこともできません。商用電源からの電圧がなくなった場合に対しては、UPSなどの機器を使用すべきです。UPSには、商用電源の電力が回復するまで、一時的に電力を供給するバッテリーがあります。

接地(アース)

SPDに関連する最も大事な電源条件は接地です。

接地はどのような電力系統、シグナルネットワーク、またはデータネットワークでも必須の要素です。すべての電圧レベルとシグナルレベルは接地と必須要素です。また、ほとんどのSPDでも、設備には接地ケーブルを使用してサージが発生したときにその過電圧を退避します。適切に接地されていない場合、SPDが正しく機能することはできません。

設備内の接地は、入力分電盤にある1つの接続ポイントにのみ接続します。このように1つの接続ポイントを接地することで、誤って複数の接地ポイントを作成することを防ぐことができます。複数の接地ポイントがある商用電圧に違いが生じ、意図しない電流が低電圧のデータラインに流れる結果になります。この意図しない電流は、データ伝送の品質を落とすノイズなど、あまり損害を出さないともありますが、設備の伝送ケーブルが破損するほど大規模なサージになることもあります。図5では接地ループ例を示しています。設備の各部分は別々に接地されています(各電源コンセントは別の接地)。何らかの接地した(および導電性の)データラインによって設備が接続されている場合、問題が発生することがあります。図5では、コンピュータがパラレル通信ケーブルでプリンタに接続されています。使用する設備の(複数の異なる)接地間で、電位が異なる場合、電位差による電流がパラレルケーブルを通して機器間を移動することがあります。これは「接地ループ」と呼ばれ、通常動作では運転電圧の低い設備に重大な損害を与える可能性があります。この例では1つの施設を示していますが、接地ループは複数の設備間でも発生します。

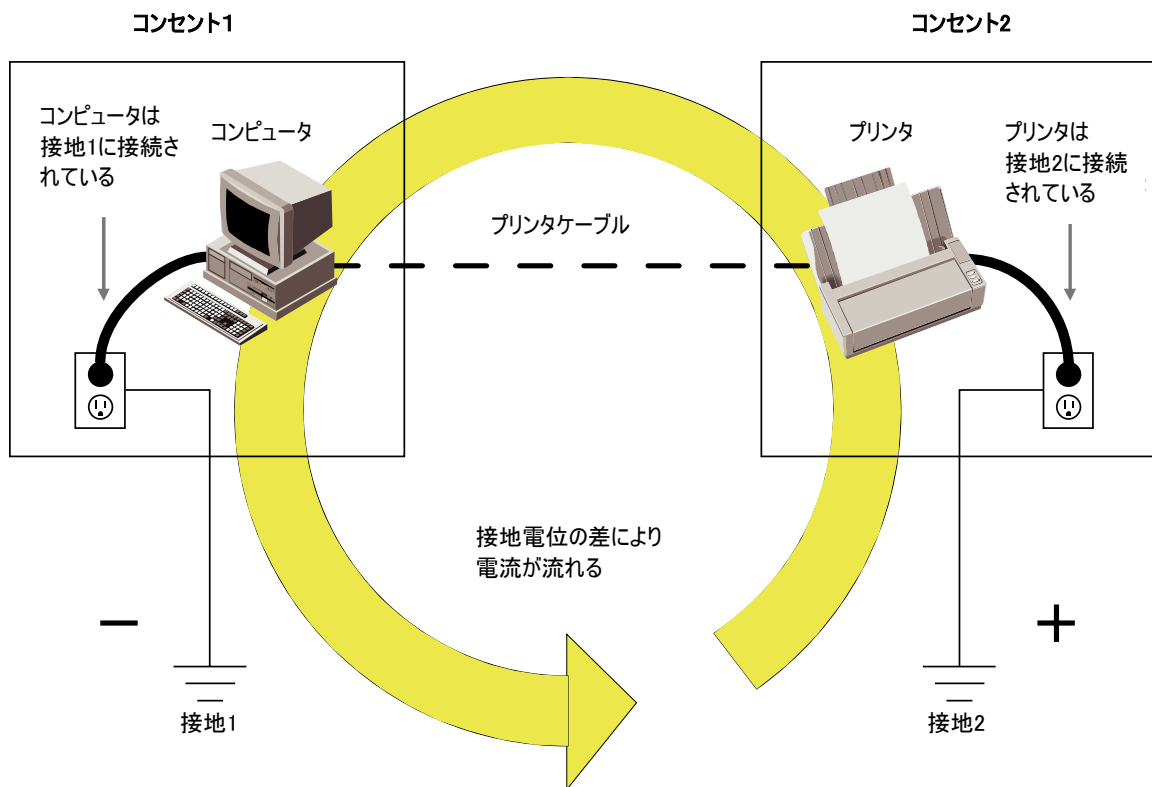


図5 - 接地ループ

サージ保護のためのレイヤ化アプローチ

SPDのネットワークを適用してサージに対してレイヤ化された保護を実現する方法は、賢明な方法です。1つ目のレイヤは、送電線のサージなど、設備に侵入する大規模なサージを制御するときに使用されます。この問題は落雷が原因になることもあります。もう1つのレイヤは、内部の送電線やデータラインのサージを制御するときに使用されます。サージの大部分は建物内で発生しているため、SPDを理解して適用することは、どの施設でも電力の品質を改善するために必要です。

レイヤ化アプローチは、ほとんどのサージの問題によって生じる悪影響を防ぐために、最も効果的な手段です。この方法では、送電線のサージの問題を分離することが重要ですが、データラインの場合も同様に、このアプローチに従うことが重要です。大規模な設備には、受信データラインの大規模なサージに対して、何らかの第一線の防御策があります。たとえば、多くの家庭や設備では、ガス管やスパークギャップ付SPD（多くの場合、電話会社が設置します）を使用して、大容量のサージを基本的な電話設備（補助電力がなくても機能する独立型の電話）に適切なレベルまで減らしています。ただし、この1つ目のレイヤのSPDを通過した電圧では、コンピュータのDSLやダイヤルアップモデムなど（モデムに接続されているコンピュータの場合も）、破損しやすい電気設備の損害を防ぐことができるほど安全なレベルまで電圧が下がらない場合がよくあります。この問題は、他の破損しやすい電気設備の場合でも、音声/映像設備などが同軸ケーブルに接続されたときやブロードバンドのケーブルモデム設備にも適用されます。このため、追加のSPDを使用して最初のSPDレイヤを通過した電圧をさらに減らすことで個々の機器を保護する必要があります。

結論

サージの問題は、一般には送電線の障害の分野に含まれます。ただし、サージがデータラインネットワークに含まれる設備内部で発生する割合を考慮すると、データラインのサージ制御を評価する必要があります。導電性のケーブルであれば、常にサージを伝達する可能性があり、どのような設備でも誘導的な組み合わせの原因になるものは数多くあります。現在、コンピュータ機器の運転電圧は低くなってきているため、電磁妨害の影響を受けやすくなっています。つまり、電気障害が少ない場合でも注意することは、損害とデータの破損を防ぐために重要です。サージを抑制するためのレイヤ化アプローチは、理想的な方法です。このアプローチでは、1つ目のレイヤで外部のサージや他の大規模なサージを減らし、次のレイヤで破損しやすい電気設備にエネルギーが渡る前に内部的にさらにサージを減らします。データラインのサージ抑制は、破損しやすい設備のデータ破損と低電圧のデータラインの損害を防ぎ、さらにサージが通過する経路からサージが侵入するのを防ぐために必要です。

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。致命的なサージ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。