

データとともに DC電力を給電する 新しいイーサネット システム

汎用ネットワークのRJ-45ジャックから パケットとともに電力を供給!

Power over Ethernet(PoE)は、電力給電の手法として、IEEE 802.3afにて規格化されました。これにより、ユビキタスな汎用ネットワークであるイーサネット環境において、データパケットとともにDC電力も供給可能になりました。このIEEE規格の成立は、おそらく世界共通で使用される電源のジャックもしくはプラグが定義された初の事例でしょう。この規格により、ネットワークに接続されていて常時電源が必要であったIP電話・無線アクセスノード・ウェブ監視カメラなどの機器において、AC電源を供給する必要がなくなったことを意味します。また、デバイスをコンセント近くにおかなければならないという制約がなくなり、電源ケーブルも不要となります。

PoEシステムでは、イーサネットネットワークから電力の供給を受けるクライアント側装置をPowered Device(PD)と呼び、PDに給電する装置をPower-Sourcing Equipment(PSE)と呼びます。PDの電力消費は12.95W以下、PSE出力はRJ-45ポート1つあたり15.4W以下と規定されています。イーサネットリンクケーブルと物理層デバイス(PHY)トランスがきちんとバランスしているという条件であれば、それぞれのPDは、最大350mAの連続電流を引き出すことができます。

CAT-5イーサネットリンク(最長100m)で発生する電圧降下を考慮して、IEEE規格ではPDとPSEに異なる定格電力を定義しています。リンクが長くなるほど電圧降下は大きくなるため、PDで使用可能な定格48VDCを超える出力をPSE側では出す必要があります。その結果、イーサネットリンク上には、最大57VDCという電圧が発生する可能性があります。

PoEネットワークでは、通常、エンドポイントあるいはミッドスパンに1台のPSEを持ちます。エンドポイントPSEは、イーサネットスイッチと電源を1つの装置にまとめたもので、イーサネットリンクのもう一方の端に位置します。このタイプのPSEは、イーサネットリンクのエンドポイントで電力がインラインになるため、PoEネットワークの実装方法としてもっとも簡便です。このようなイーサネットスイッチは、「インラインパワー」と呼ばれることがあります(図1参照)。エンドポイントPSEは、新たな設備展開に理想的です。

既存のイーサネットネットワークでシステムを完全に組み替えることが出来ない場合は、ミッドスパンPSEによってイーサネットリンクに給電します。ミッドスパンPSEでは、CAT-5ケーブルの「スペアケーブル」を利用して給電します。この方法は、受電するイーサネットデバイス为数が少なければ、費用対効果の高い方法となります。具体的には、大規模マルチポートネットワークを構成するシステムの一部として、4ポートから24ポート程度のローカルエリアが該当するでしょう(図2)。

エンドポイントPSEとミッドスパンPSEの違いは、電力を信号と同じツイストペアで送るか、予備のペアを使用して送るかという点です。一般に、PSEは信号線で送電も行うか、予備のペアを使って送電を行うか、どちらか一方でなければならず、両方で送電することはありません。

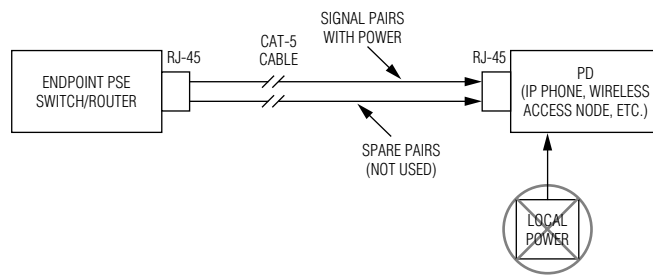


図1. エンドポイントPSEとPDデバイスの組み合わせでは、信号用ペアを使って給電が行われます。

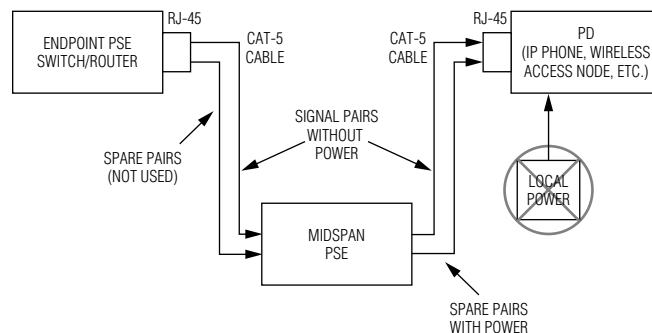


図2. ミッドスパンPSEとPDデバイスの組み合わせでは、予備のペアを使って給電が行われます。

このようなシステムは、単純に見えますが、その設計は意外と困難です。たとえば、イーサネットに48VDCが印可されていることを前提としていない装置との後方互換性を確保するために安全対策を考慮しなければなりません。IEEE 802.3af規格は後方互換性をカバーするとともに、イーサネットネットワークへの給電機能と将来的な拡張を含んだ規格となっています。このアーティクルでは、新しいシステムや既存システムで使用する製品、つまり、ギガビットイーサネット(1000BASE-T/TX)への移行を前提とした製品を開発するために設計者が知っておくべきことをまとめます。

ギガビットイーサネットとは？

ギガビットイーサネットでは、エンドポイントPSEとする必要があり、ミッドスパンPSEは使えません。CAT-5ケーブルが持つ4つのペアのすべてをデータ転送で使用するからです。これに対し、10BASE-Tや100BASE-TXでは、データ転送用に2ペア(ワイヤ1~2と3~6)しか使用していないため、ミッドスパン給電に使うことができる予備のペア(ワイヤ4~5と7~8)が残っています。このように、ギガビットイーサネットにインライン給電

するためには、エンドポイントPSEスイッチが必要となります。

IEEE 802.3af規格では、10BASE-Tシステムで使用されていたCAT-3ケーブルもサポートされています。ただし、信号の完全性を高めるため、新設時にはできるだけグレードの高いイーサネットケーブル(CAT-5eやCAT-6)の使用を推奨します。ケーブルは、10年ほどの長期にわたって使用することが多いからです。ギガビットイーサネット(特に1000BASE-T)ではCAT-5ケーブルの使用が前提になっていますが、CAT-5とギガビットイーサネットスイッチの組み合わせでは不十分というアプリケーションもあります。そのため、当初の1000BASE-TX規格がCAT-5を要求していたのに対し、最新の1000BASE-TX規格ではCAT-6を要求するようになりました。

PDの検出

イーサネットリンクに接続されたPSEは、それぞれの装置が電力を必要とするかどうかを検出しなければなりません。したがってPD側も、レガシー装置とは異なる特性を示す必要があります。このために、PSEは、2.7Vから10.1Vという電流制限付き電圧を持つ信号線を調べながら同時に

表1. 適切なPDとして認識されるためには、以下の条件のすべてがミッドスパンPSEやエンドポイントPSEによって検出される必要があります。

パラメータ	状態(V)	最大	最小
V-Iスロープ(1V以上の電圧が印可されたコード)	2.7 ~ 10.1	23.75k Ω	26.25k Ω
電圧オフセット	—	—	1.9V
電流オフセット	—	—	10 μ A
入力キャパシタンス	2.7 ~ 10.1	0.05 μ F	0.12 μ F
入力インダクタンス	2.7 ~ 10.1	—	100 μ H

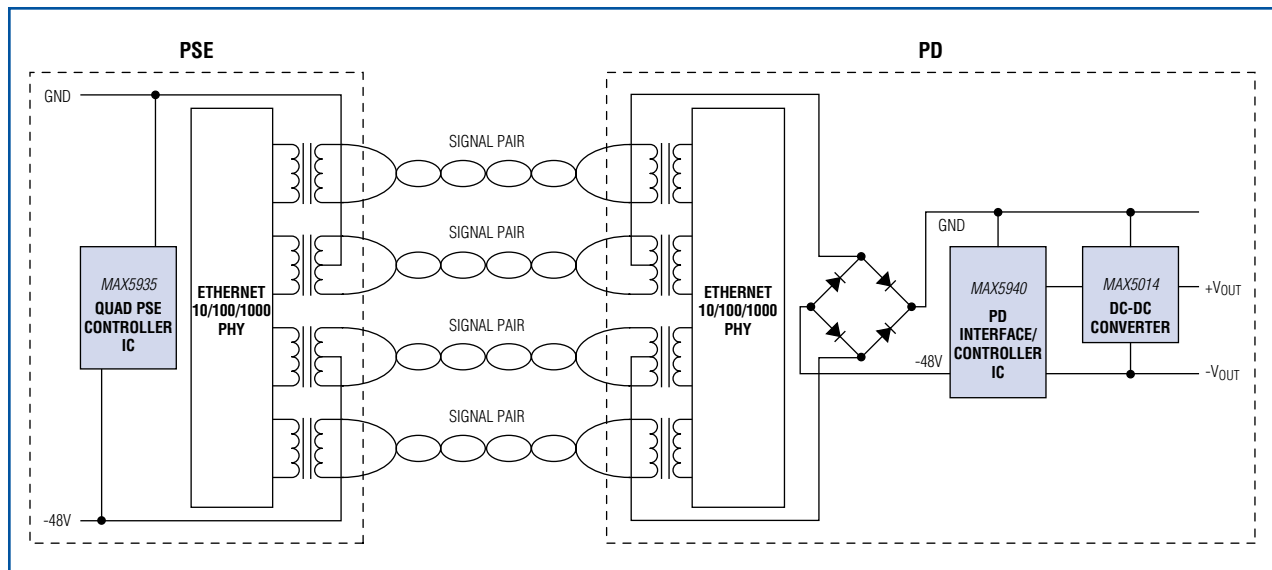


図3. ギガビットイーサネットで作動作するPDも、ミッドスパンPSEに対する後方互換を持ち、エンドポイントPSEスイッチから給電可能でなければなりません。

V-I測定を行います。一方、有効なPDとして検出されるためには、PDは表1に示す条件を満足する必要があります。1.9Vというシリーズオフセットが許容されているのは、電圧極性の制御にダイオードブリッジが使われることが多いからです。PDには後方互換性を持たせ、ミッドスパンPSEでも使えるようにしなければならないため、1つのPDに2つのダイオードブリッジが必要になります(図3)。10 μ Aの電流オフセットは、PD内部で生じるリーク電流を考慮したものです。表2に示す条件は、イーサネットデバイスを不適切なPDと判断する基準です。

PDの電力分類

イーサネットネットワークで給電を可能にしようという動きが始まったのは、voice-over IP (VoIP) 電話からでした。この便利な電源を使うことができるイーサネットデバイスがたくさんある(RFIDリーダー、携帯電話やPDAの充電器、ノートパソコンなど)ことから、IEEE 802.3af規格に電力分類と呼ばれるオプション機能が追加されました。この結果、PSEは、電力消費量を細かく管理できるようになったのです。表3に、PDが分類される可能性のある電力クラスと、各クラスに対応する分類シグネチャを示します。

オプションの電力分類の方式を実行するため、PSE側では検出電圧として14.5Vから20.5Vを印可します。これに対し、PDはシグネチャ(分類電流)を応答し、PDが必要とする最大電力をPSEに通知します。この情報をもとに、PSEスイッチは、接続されているPDに供給する可能性のある最大電力を管理します。

PSEコントローラICの選択によっては、PSE側のポートあたりの出力電力をハード的に制限するというIEEE 802.3afの規格以外の機能を実行することができます。消費電力の大きなPDに交換されることが絶対にないと保証されない限り、スイッチ側で予想した電力バジェットを超えてしまう瞬間があるかもしれません。そのようなケースでは、PDの電力分類が満足されないポートへの電力供給を、PSEが拒否します。

緊急時に便利な機能として、PSE側で、給電を開始するポートの順番を決めたり、UPSやバックアップ発電機が限界に近づいたとき給電を停止するポートの順番を決めるということが考えられます。こうすれば、一番重要なイーサネットポートにできる限り長く電力を供給することができます。そのようなポートに接続する機器としては、緊急電話、アクセス用バッジリーダー、特殊な

表2. ミッドスパンPSEやエンドポイントPSEで以下の条件が1つでも検出されると、イーサネットデバイスは不正なPDと認識されます。

パラメータ	条件(V)	値の範囲
V-Iスロープ	2.7 ~ 10.1	>45k Ω または <12k Ω
入力キャパシタンス	2.7 ~ 10.1	>10 μ F

表3. 5クラスのPD電力分類と分類シグネチャ

クラス	条件(V)	分類電流(mA)	PD電力レンジ(W)
0 (デフォルト)	14.5 ~ 20.5	0 ~ 4	0.44 ~ 12.95
1	14.5 ~ 20.5	9 ~ 12	0.44 ~ 3.84
2	14.5 ~ 20.5	17 ~ 20	3.84 ~ 6.49
3	14.5 ~ 20.5	26 ~ 30	6.49 ~ 12.95
4 (将来のための予備)	—	—	—

監視カメラやアクセスポイント、収益を生み出すデータ回路などが考えられます。

PSEコントローラICがそのようなフェイルセーフ機能を持っていれば、それがハード的なものであっても、ソフトウェア的に構成可能なものであっても、緊急時の電力消費量管理が容易になります。ソフトウェア構成可能なPSEコントローラICを探してみるといいでしょう。

PD切り離しの検出

PSEは、PDへの給電開始後、IEEE 802.3af規格に基づいてPDの「電源維持(maintain power)」シグネチャを監視しなければなりません。また、PD切断も検出する必要があります。規格では、ACとDC 両方のPD切り離し検出方法が、規定されています。PDがネットワークから切り離され、同じスイッチのRJ-45ジャックに直ちにレガシーイーサネット装置が接続されることが考えられます。このような場合、PD切り離し後、すぐに48VDCの電力供給を停止しなければ、レガシー装置が故障してしまう危険性があります。

純粋なDC電気抵抗を測定する方法よりも、PDのACインピーダンスを測定する方法のほうが一般的に高い精度を実現することができます。まず、イーサネットリンクを通じて、データ信号と48VDCと同時に、微少な共通モードAC電圧を送ります。これによって流れるAC電流を測定し、ポートのインピーダンスを計算します。PDが接続されていれば、ポートのインピーダンスは26.25kΩよりも小さくなるはずですが、AC電圧の周波数は、1MHz~100MHzでなければなりません。DCあるいはACによる切り離し検出方法について、この他にも細かい規定が数多くあるため、設計者はIEEE 802.3af規格を十分に検証する必要があります。いずれの方法を選択した場合でも、短時間で測定を完了し、測定結果に応じて電源をすばやく切り離す必要があります。

高度な機能を搭載したチップ

現在、製品化されているマルチポートPSEシリコンチップは、4ポートのインライン電源を制御することができ、PSEコントローラが主流です。中には、I²C™互換のシリアルインタフェースと、MCUと組み合わせて使用可能なオプションを持つプログラマブルレジスタを有した製品もあります。このような製品は数多くの動作モードを持ち、2001年9月11日の同時多発テロ後、着目されるようになった緊急時の対応で重要な働きをする高度な機能を持つものがあります。

たとえば、MAX5935は、自動、半自動、マニュアル、シャットダウン、デバッグという動作モードがあります。自動モードでは、ソフトウェアによる監視なしでデバイスが動作します。半自動モードでは、(要求に応じて)ポートに接続されたデバイスの検出と分類を連続的に実行しますが、ソフトウェアによる指示があるまでポートへの電力供給を行いません。マニュアルモードはシステム診断に便利なモードで、デバイスの動作すべてをソフトウェアによって管理します。シャットダウンモードは、動作を停止し、ポートへの電力供給を停止します。デバッグモードでは、デバイスのステートマシンを介して、ステップ動作により詳細なシステム診断を実行することが可能です。

図3は、ギガビットイーサネットPSEとPDを接続するPoEシステムのシンプルな設計例です。ギガビットイーサネットではミッドスパン給電が行えないため、100/10MイーサネットモードのみエンドポイントPSEスイッチに接続することができます。(MAX5940 PDインタフェースコントローラは、ダイオードブリッジを必要としませんが、使用することも可能)通常はPDがDC/DCコンバータを内蔵していますが、最新のPDインタフェースコントローラIC(MAX5941やMAX5942など)は、PWM(パルス幅変調)コントローラを搭載しています。