

数据与直流电源一起在新的以太网系统上分发

你身边就有无处不在的网络 RJ-45 插头，用它获得电源吧！

以太网供电 (PoE, Power Over Ethernet) 是一种刚被批准为 IEEE 802.3af™ 标准的供电技术。它利用了普遍存在的通用以太网网络，在传送数据包的同时完成直流电源的输送工作。最近批准的这个 IEEE 标准似乎将成为第一个采用全球通用电源插口或插座的实例。它意味着，对需要持续供电的各种连网设备来说，不再需要连接自己的交流电源，如 IP 电话、无线接入点以及网络监控摄像头等。它还意味着这些设备无需放在交流电源插座附近，所以可以省掉电源电缆。

在 PoE 系统中，通过现有以太网接受电源的客户端设备叫做一台被供电设备 (PD)，为 PD 提供电源的设备叫电源设备 (PSE)。PD 的功耗限制在 12.95W，PSE 输出限制为每个 RJ-45 端口 15.4W。在以太网连接电缆和物理层设备 (PHY) 变压器均有良好平衡的情况下，每个 PD 最多可以获取 350mA 的连续电流。

考虑到沿 CAT-5 以太网线传输的电压降 (最长可达 100 米)，IEEE 标准为 PD 和 PSE 规定了不同的功率额定值。在较长的连接上电压降也更明显，因此 PSE 的输出电压要高于标称的 48VDC，以使 PD 获得最大功率。因此，在以太网连接的任何地方都可以见到高达 57VDC 的电压。

大多数 PoE 网络可以采用一个端点 (endpoint) 或中跨 (midspan) 式 PSE 来实现。端点 PSE 在单个设备里集成了以太网交换机和电源，适于用在以太网连接的一端。这种 PSE 类型提供了实现 PoE 网络的最简便的方法，因为在以太网连接的端点上已经有电源了。这种以太网交换机有时也称为已具备“线上电源” (inline power)。见图 1。端点 PSE 很适合用来布署新的基础网络。

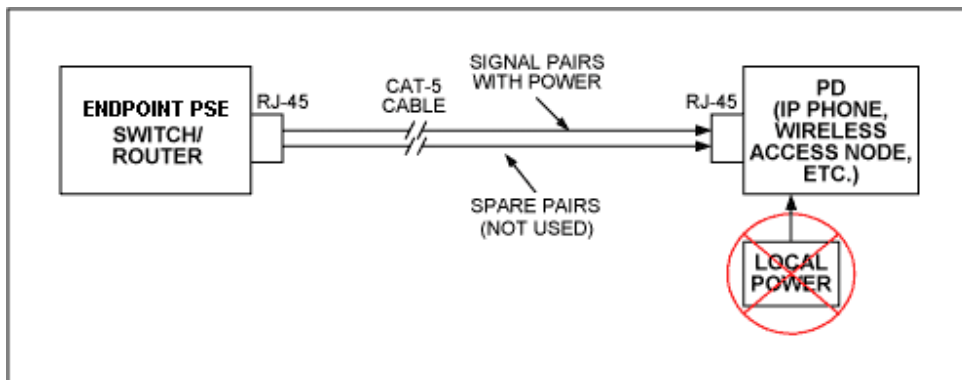


图 1. 对端点 PSE 和 PD 设备来说，电源是通过信号线对分配的。这种类型的 PSE 提供了实现一个 PoE 网络最简便的方法，因为电源已经通到了以太网连接的端点上。

对于那些不能用这种方式升级的现有以太网，可以用中跨 PSE 方法将电源插入到以太网里。中跨 PSE 可以通过 CAT-5 电缆中的“空闲线对”提供电源，如果只有几个以太网设备需要供电，这是一个最具成本效益的方法。例如有 4 至 24 端口的局域网，它可以是更大的多端口网络系统的一部分 (图 2)。端点 PSE 与中跨 PSE 不同之处在

于它的供电选择方式，可以与信号线在同一线对上，也可以在空闲线对上。一般来说，一个 PSE 必须能够通过信号线对或空闲线对提供电源，但不必两者都用。

看来虽然简单，但设计这种系统要付出相当的努力。它们必须具备向后兼容性，以保证老设备不会在以太网上接到 48VDC。IEEE 802.3af™ 包含了向后的兼容性，并且包括了为以太网供电的可选特性，因而也具备向前兼容性。本文描述的是一个设计人员应该了解的内容，他正在开发可在新的或现有系统上运行的产品，即计划迁移至千兆以太网或 1000BASE-T/TX 的产品。

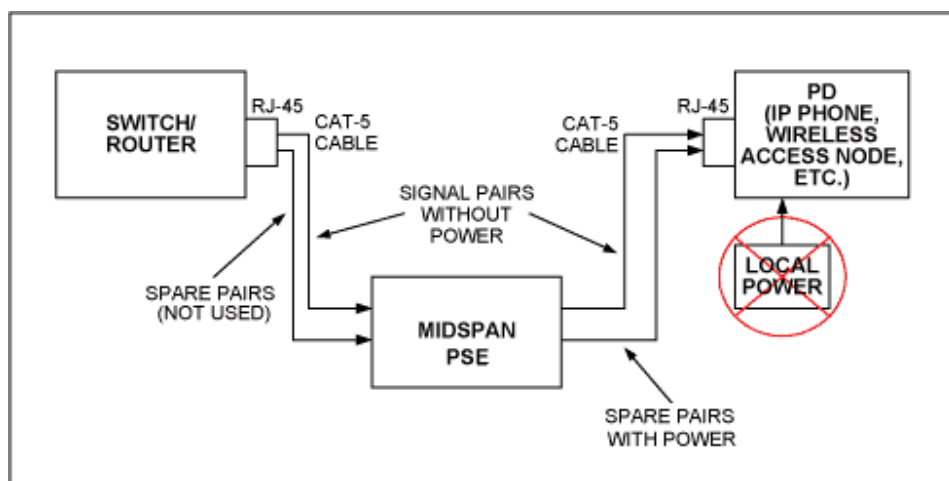


图 2. 对中跨 PSE 和 PD 设备来说，电源是通过空闲线对分配的。中跨 PSE 方法更适用于不进行大规模变动的现有以太网。

千兆以太网的情况

千兆以太网可以与端点 PSE 一同工作，但不能接受中跨式 PSE，因为它把 CAT-5 电缆中的所有四对线都用于数据传输。与之相比，10BASE-T 和 100BASE-TX 只用两对线传输数据（线对 1-2 和 3-6），留下的空闲线对（4-5 和 7-8）可以引入中跨式电源。因此，为了给千兆以太网提供线路供电，就需要端点 PSE 交换机。

IEEE 802.3af™ 支持 CAT-3 电缆，因为它最初用于 10BASE-T 系统。但是，为了最大限度地保证新网络部署中信号的完整性，并且考虑到每次电缆铺设一般有十年的使用期，我们推荐使用尽可能高等级的以太网电缆（CAT-5e 或 CAT-6）。千兆以太网（具体讲是 1000BASE-T）需要 CAT-5 电缆，但有些使用 CAT-5 的应用以及千兆以太网交换机都有最低要求。因此，最新的 1000BASE-TX 标准要求使用 CAT-6 电缆，而最初的 1000BASE-T 标准要求 CAT 5 电缆。

PD 的检测

当 PSE 被连接到以太网上时，PSE 必须检测每个以太网设备是否需要供电。因此，PD 必须表现出与老式以太网设备不同的特征。在检测时，PSE 进行 V-I 测量，同时用一个 2.7V 至 10.1V 的限流电压对信号线进行探测。表 1 列出了一个有效 PD 应付检测必备的标准。允许的 1.9V 串行偏压是通常用于控制电压极性的硅桥所需产生的。由于 PD 必须与中跨 PSE 应用向后兼容，所以每个 PD 需要两个硅桥（图 3）。10μA

的电流偏移通常是由于 PD 内的泄漏。表 2 列出了另一个标准集，任何没有通过这个标准的以太网设备都是无效的 PD。

表 1—下列所有标准都通过中跨 PSE 或端点 PSE 检测后，才是一个有效的 PD 标志

参数	条件	最小值	最大值
V-I 斜率(1V 或以上的任何弦)	2.7V 至 10.1V	23.75kΩ	26.25 kΩ
电压偏移			1.9V
电流偏移			10μA
输入电容	2.7V 至 10.1V	0.05μF	0.12μF
输入电感	2.7V 至 10.1V		100μH

表 2—中跨 PSE 或端点 PSE 对所有以下标准的检测可以判定以太网设备为无效 PD

参数	条件	值范围
V-I 斜率	2.7 至 10.1 V	大于45 kΩ 或小于 12 kΩ
输入电容	2.7 至 10.1 V	大于 10 μF

PD 的功率分级

电源与以太网结合运动最早的推动力量是语音 IP (VoIP) 电话。因为有非常多的以太网设备可以采用这种方便的供电方式 (RFID 阅读器、PDA 充电器、移动电话甚至笔记本电脑等)，因此 IEEE 802.3af™ 标准包括了一个可选的特性，名为功率分级 (Power Classification)，它可以让 PSE 更仔细地管理自己的功率预算。表 3 列出了一台 PD 可以提供的不同功率等级 (Power Classes)，以及各自相应的分级标志 (Classification Signatures)。

表 3—为最大限度地使用系统资源，PSE 使用 PD 电源的五个等级和分级标志来分配它的功率预算

级别	条件	分级电流	PD 功率范围
0 (缺省)	14.5V 至 20.5V	0mA 至 4mA	0.44W 至 12.95W
1	14.5V 至 20.5V	9mA 至 12mA	0.44W 至 3.84W
2	14.5V 至 20.5V	17mA 至 20mA	3.84W 至 6.49W
3	14.5V 至 20.5V	26mA 至 30mA	6.49W 至 12.95W
4 (保留以后使用)			

为实现可选的功率分级方法，PSE 先施加一个 14.5V 至 20.5V 的探测电压。PD 发出一个标志（分级电流）作为回应，该标志向 PSE 指示 PD 可以吸入的最大功率。这一信息使 PSE 交换机在任何时候都能管理为连接的 PD 提供的最大功率。你可以通过选择一个适当的 PSE 控制器 IC，实现另一个 IEEE 802.3af™ 标准以外的功能，即对 PSE 各个端口的输出功率进行硬件的限制。

除非网络主管保证所有的 PD 都不会换成功耗更大的设备，否则有时交换机预计的功率预算会出现超标现象。在这种情况下，PSE 将拒绝为该端口供电，直至 PD 的功率分级匹配为止。

另一个在突发情况下很灵活的功能就是 PSE 可以决定哪个端口优先接受电源，或者当 UPS 或备用发电机快要耗尽能量时决定先断掉哪个端口。这样交换机就可以保持对最重要端口的供电，如 E911 电话、出入证件阅读机、某些监控摄像头以及接入点，或者其它数据电路。PSE 控制器 IC 中带有这种故障恢复功能（可以硬件实现或软件编程实现）能帮助将紧急情况下的功率预算降到最低程度。此时，应找一个可软件编程的 PSE 控制器 IC。

检测连接中断的 PD

在 PSE 开始为一台 PD 供电后，它必须监控符合 IEEE 802.3af™ 标准的 PD “保持供电” (Maintain Power) 标志。PSE 还必须检测 PD 是否已经中断连接。标准定义了检测 PD 断线的交流和直流方法。例如，考虑这样一种情况：一台 PD 从交换机上拔下，马上有一台老式以太网设备插入同一个端口。如果在 PD 移走后 48VDC 电源没有及时中断，则老式设备就可能损坏。

对一台 PD 进行交流阻抗测量一般要比纯直流电阻的测量更准确。一个小共模交流电压同数据信号和 48VDC 一起同时沿以太网连接发送下去。然后你就可以测量交流电流，并计算各端口的阻抗，该阻抗值应小于 26.25kΩ（在 PD 未拔出的情况下）。这个交流电压的频率必须在 1MHz 和 100MHz 之间。有关断线检测交、直流方法的更多细节，设计者应查阅 IEEE 802.3af™ 标准。无论采用哪种方法，测量与随后中止供电的速度都要快。

硅片中的先进特性

在所有已面市的多端口 PSE 硅芯片中，最常见的是可控制到四个端口线上电源的 PSE 控制器。可以寻找那些带 I²C™ 兼容的串行接口，有能提供使用选项可编程寄存器的 MCU。有些属于多种工作模式的先进特性现在由于紧急事件而更显重要，特别是在 911 事件之后。

举例来说，Maxim 的 MAX5935 提供自动、半自动、手动、关断以及调试等运行模式。自动模式可以使器件在没有软件管理的情况下运行。半自动模式（根据请求）对连接到一个端口上的设备进行不间断的检测与分级，但只在软件指定的情况下才为该端口供电。手动模式在系统诊断时很有用，可以通过软件对设备实现完全的控制。关断模式终止所有的活动，切断各端口的电源。最后，调试模式可以通过设备状态机的精细步进，作详细的系统诊断。

图 3 是 PoE 系统设计的一个实例，这个简化的框图演示了使用千兆以太网的 PSE 与 PD 连接。由于千兆以太网不能引入中跨电源，所以 100/10M 以太网模式也只能连接

到一个端点 PSE 交换机上。(MAX5940 PD 接口控制器不需要硅桥,但也可以在需要时带硅桥工作。)今天的 PD 接口控制器 IC(如 MAX5941 和 MAX5942)包括一个脉冲宽度调制(PWM)控制器,虽然 PD 一般都包括一个 DC/DC 变换器。

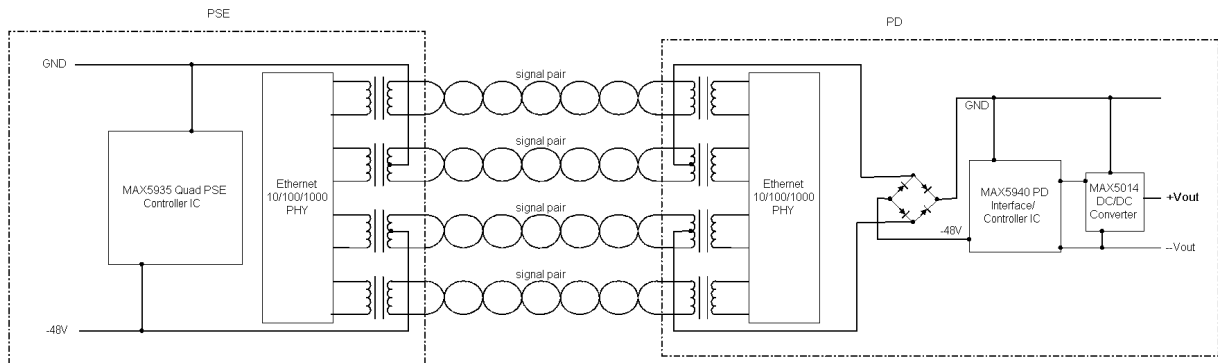


图 3. 由于千兆 PoE 网络连接使用所有四个线对来传输数据,不能用中跨 PSE 方法来为 PD 供电。100BASE-TX 和 10BASE-T 的回退模式照例可以用于数据传输。所以,在千兆以太网上运行的 PD 必须由一个端点 PSE 交换机供电。

参考文献

1. IEEE Standard 802.3af(tm)-2003, "Amendment: Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI)," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
2. Packet Magazine, "Switching: The Promise of PoE," 2Q 2004, Cisco Systems.
3. www.poweroverethernet.com

本文发表在《EDN China》电源增刊 2004 年 8 月。