

反激式控制器将有源 PFC 功能电路整合在单级转换器

作者：Bruce Haug，电源产品高级产品市场工程师，凌力尔特公司

LT3798能够利用整合在单级反激式转换器中的有源PFC功能电路提供离线式隔离型电源转换，而且在此过程中无需使用一个光耦合器来检测输出电压，因而是一款革命性的新型器件。

任何依靠交流电源工作的电源系统都具有一个相关的功率因数，该功率因数被定义为其从交流电源吸收电流的方式。AC 电力系统的功率因数被定义为流至负载的有功功率（real power）与视在功率（apparent power）的比值，是一个介于 0 和 1 之间的无单位数值。有功功率是电路在特定时间执行任务的能力。视在功率则是电路的电流与电压之乘积。由于非线性负载（它会使从电源吸收的电流波形产生失真）的原因，视在功率将大于有功功率。

在一个电力系统中，与一个具有高功率因数的负载相比，在所传输的有用功率相同的情况下，一个具有低功率因数的负载吸收更大的电流。因为所需的电流较高，所以在配电系统中损失的能量也增加了，这反过来又需要更粗的导线和其他传输设备。较大的设备和能源浪费增加了成本，所以电力公司往往对功率因数较低的客户收取较高的费用。

此外，电源的功率因数还会对 AC-DC 电源产生在交流电源上的谐波造成影响，因此，为不带功率因数校正功能的 AC-DC 电源之负载配电时，电力公司面临重大难题。此类电源是非线性负载，它们：

- 会使 AC 波形失真
- 会引起谐波电流，此谐波电流会影响同一根电力线上其他设备的操作
- 会由于中线过热而引发火灾
- 会导致电源变压器承受过大的应力和缩短寿命
- 会导致 AC 电源发生器过载

自上世纪 80 年代起，欧盟决定将解决这些问题的重担交给采用 AC-DC 电源之产品的制造商。从那以后，用于限制相关产品在电力线频率的谐波（整数倍）上可以吸收之电流值的标准几经修改。最终，形成了 IEC61000-3-2

市电线路谐波电流辐射标准分类，如表 1 所示。

如图 1 所示，典型的离线式电源利用一个负责驱动电容性负载的二极管电桥给交流电源线加载。该负载是非线性的（因为它主要给一个电容器充电），而且此类负载只在正弦线路电压的峰值期间吸收电流，因而产生了会引起电源线谐波的线路输入电流峰值。

功率因数校正（PFC）

改善功率因数的方法之一是采用一个滤波器。这通常被称为“无源 PFC”。可以设计一种只传递位于市电线路频率（例如：50Hz 或 60Hz）之电流的滤波器。这种滤波器一般用于低功率要求并可减小谐波电流，这意

表 1：IEC 61000-3-2 分类

级别	种类	备注
A	电子设备	<ul style="list-style-type: none"> • 平衡三相设备 • 家用电器（不含被标记为 D 级的设备） • 工具（不包括便携式工具） • 白炽灯的调光器 • 音频设备 • 所有其他未被归类为 B、C 或 D 级的设备
B	便携式工具	非专业型弧焊设备
C	照明设备	白炽灯调光器除外
D	PC、PC 监视器、广播、或电视接收机	输入功率范围从 75W 至 600W，且每相额定电流 $\leq 16A$

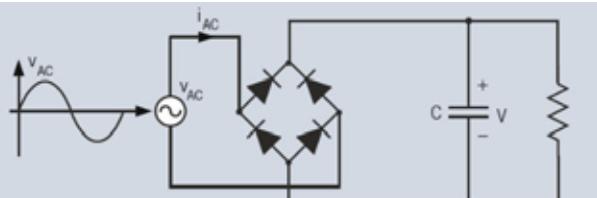


图 1：开关电源输入电路

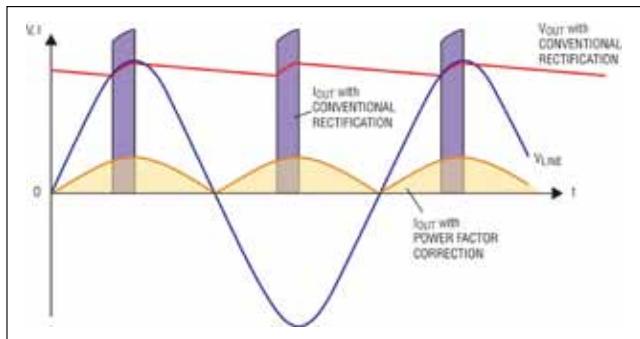


图2：采用和未采用有源PFC时的 AC 电压和电流波形（对于一个容性负载）

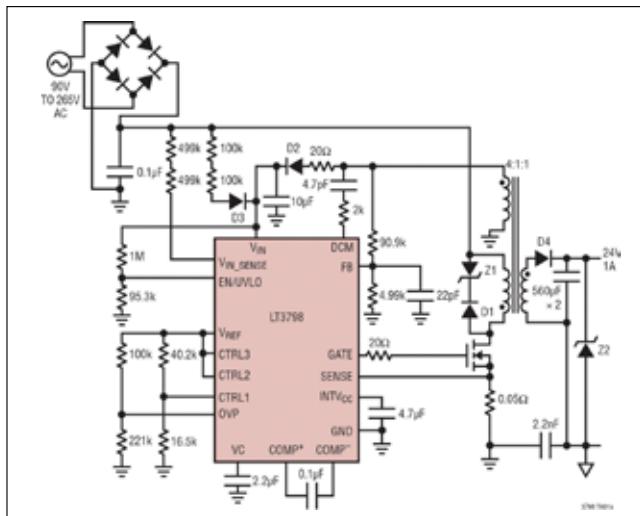


图 3: LT3798 用作一款通用输入 24WPFC 总线转换器

味着非线性器件此时看似一个线性负载，而且能根据需要采用电容器或电感器以使功率因数接近 1。不过，此类滤波器需要采用大数值的高电流电感器，而这种电感器既笨重又昂贵。

有源 PFC

有源PFC是一种用于控制负载所吸取的无功功率之的电力电子系统，旨在获得尽可能接近1的功率因数。在大多数应用中，有源PFC负责控制负载的输入电流，以使电流波形与交流电源电压波形（正弦波）成比例。有源PFC功能电路通常包括一个附加的开关升压转换器功率级，该功率级需要一个控制IC、开关MOSFET和电源电感器。有源PFC使电压和电流几乎同相，而且无功功率损耗接近于零。这就能最高效地将电能从电力公司传送给用户。图2示出了未采用PFC和采用有源PFC(1.0)时至离线式开关电源的电流波形。

迄今为止，电源设计一直需要采用一个额外的功率

级以整合 PFC。无论是有源PFC还是无源 PFC，都需要增设组件，从而导致成本、电路尺寸和复杂性的增加。然而，凌力尔特近期宣布推出一款革命性的隔离型反激式控制器，该器件将有源PFC功能电路整合在单级转换器，而无需额外的组件。

介绍

LT®3798 是一款具单级有源PFC功能且无需光耦合器的恒定电流 / 恒定电压隔离型反激式控制器。通过主动调制输入电流，能实现一个高于 0.97 的功率因数，从而无需额外的开关电源级和有关的组件。此外，无需光耦合器或信号变压器实现反馈，因为输出电压是从主端反激信号中检测的。

基于 LT3798 的设计可轻松地满足大多数谐波电流辐射规格的要求。输出功率值高达 100W 时，可实现高于 86% 的效率。该器件的输入电压范围与外部组件的选择有关，而且它能够在 90VAC 至 307VAC 的输入电压范围内运作，并可容易地调节至较高或较低的输入电压。此外，LT3798 还可设计到输入电压很高的 DC 应用中，从而使该器件非常适用于工业、EV/EHV 汽车、采矿和医疗应用。LT3798 运用临界传导模式工作，相比连续传导模式设计，前者可使用更小的变压器，从而进一步减小了解决方案的尺寸。LT3798 采用耐热性能增强型 16 引脚 MSOP 封装。

图 3 示出了 LT3798 的一款典型应用电路，该电路可将一个 90VAC—265VAC 的输入电压转换至 24V/1A 输出。此 IC 为电流模式开关控制器，专门用于采用一种隔离型反激式拓扑来产生一个恒定电流 / 恒定电压电源。为了保持输出电压调节作用，这款设计从第二个主端变压器绕组来检测输出电压。

LT3798 免除了增设一个光耦合器、光驱动器和副端基准电压的需要，同时保持了主端与副端之间的隔离（只有一部分必须横跨隔离势垒）。另外，该器件还运用了一种主端检测方案，此方案能够通过反激式主端变压器绕组来检测输出电压。在开关断开期间，输出二极管向输出端提供电流，而且输出电压反射至反激式变压器的主端。该反射电压的数值为输入电压与输出电压之和，这是**LT3798** 能够重构的。

在一个典型周期中，栅极驱动器接通外部 MOSFET 以便一个电流流入主端绕组。该电流以一个与输入电压成正比、而与变压器的磁化电感成反比的速率增加。控制环路负责确定最大电流，而一个比较器用于在其达到该电流时切断开关。当开关断开时，变压器中的能量通过输出二

极管 D4 流出副端绕组（参阅图 3）。

LT3798 功率因数校正

LT3798 的 V_{IN_SENSE} 引脚连接至一个从电源电压引出的电阻分压器。两个误差放大器输出中靠下的那个与 V_{IN_SENSE} 引脚电压相乘。假如 LT3798 采用一个快速控制环路进行配置，则 V_{IN_SENSE} 引脚电压变化的减缓将不会干扰电流限制或输出电流。 $COMP+$ 引脚电压将根据 V_{IN_SENSE} 的变化进行相应的调节。使乘法器起作用的唯一方法是把控制环路的操作速度设定为比 V_{IN_SENSE} 信号的基础频率低一个数量级。在离线操作的情况下，电源电压的基础频率为 120Hz，于是控制环路单位增益频率必须设定为约低于 12Hz。由于在副端上未储存大量的能量，因此输出电流将受到电源电压变化的影响，但输出电流的 DC 分量将是准确的。一个内部乘法器通过使主电源开关的峰值电流与线路电压成比例，使得 LT3798 实现了高功率因数和低谐波分量。对于大多数设计，基于 LT3798 的设计均能获得高于 0.97 的功率因数，并将满足大部分谐波辐射规格的要求。

变压器的设计考虑因素

变压器的规格与设计是成功应用 LT3798 的一个

关键性的环节。除了应对高频隔离式电源变压器设计的一系列常见注意事项（例如：低漏电感）之外，以下信息也是应当谨慎考虑的。由于变压器副端上的电流是利用主端上的采样电流推知的，因此必须严格控制变压器匝数比以确保提供一个恒定的输出电流。变压器之间的 $\pm 5\%$ 匝数比容差有可能在输出调节中导致超过 $\pm 5\%$ 的偏差。幸运的是，大多数磁性组件制造商都能够保证 1% 或更好的匝数比容差。凌力尔特已与多家主要的磁性组件制造商开展了合作，以生产可与 LT3798 配合使用的预设计型反激式变压器，LT3798 的产品手册中提供了这些变压器的清单。

结论

LT3798 能够利用整合在单级反激式转换器中的有源 PFC 功能电路提供离线式隔离型电源转换，而且在此过程中无需使用一个光耦合器来检测输出电压，因而是一款革命性的新型器件。这种组合显着地简化了设计，减小了线路电压谐波失真和解决方案尺寸，改善了功率因数，并降低了转换器的成本，可用于众多的离线式以及高 DC 输入应用。

www.linear.com.c