

如何用无桥图腾柱功率因数校正控制器实现出色的AC-DC功率转换效率

How to achieve the ultimate AC-DC power conversion efficiency with bridgeless totem pole power factor correction controllers

Yong Ang (安森美半导体战略营销总监)

电网提供的电能是交流电，但我们使用的大多数设备都需要直流电，这意味着进行这种转换的交流/直流电源是能源网上最常见的负载之一。随着世界关注能效以保护环境并管理运营成本，这些电源的高效运行变得越来越重要。

效率作为输入功率与供给负载的功率之间的比率衡量，很容易理解。但是，输入功率因数也有很大的影响。功率因数(PF)描述了任何交流电设备(包括电源)消耗的有用(真实)功率与总(视在)功率(kVA)之间的比值。PF衡量消耗的电能转换为有用功输出的有效性。

如果负载是纯阻性负载，PF将等于1，但任何负载内的无功元件都会降低PF，使视在功率大于有用功率，从而导致效率降低。PF小于1是由电压和电流相位不同引起的——这在感性负载中很常见。它也可能是由于谐波含量高或电流波形失真，这在开关型电源(SMPS)或其他类型的不连续电子负载中很常见。

校正PF

许多不带PF校正的SMPS(开关电源, Switching Mode Power Supply)比经过校正的SMPS消耗的电流更高,因此在功率水平高于70W的条件下,立法要求设计人员添加电路将PF值校正为接近1。最

常见的有源PF校正(PFC)技术使用升压转换器将整流电源转换为直流高电平,然后使用脉宽调制(PWM)来调节直流电平。

虽然这项技术效果很好且易于实施,但也存在一些挑战。现代效率标准(如严格的“80+ 钛金标准”)要求在整个宽功率范围内具有高效率,在50%负载条件下的峰值效率需达到96%。由于PFC(Power Factor Correction, 功率因数校正)级之后的DC-DC(直流-直流)转换器通常具有2%的损耗,线性整流和PFC级本身只能损耗2%——这对桥式整流器中的二极管来说是一个挑战。

然而,如果将升压二极管(D5)替换为同步整流器,效率则会提高。此外,只需要两个线性整流二极管,也可以采用同步整流器(Q3和Q4),进一步提高效率。这种技术被称为图腾柱PFC(TPPFC),借助理想电感和出色开关,效率可以接近100%。现代MOSFET(金属-氧化物半导体场效应晶体管)具有出色的性能,但尚未达到理想开关的水平——即使并联使用时也很难达到。因此,宽带隙半导体开关将与图腾柱PFC拓扑携手并进。

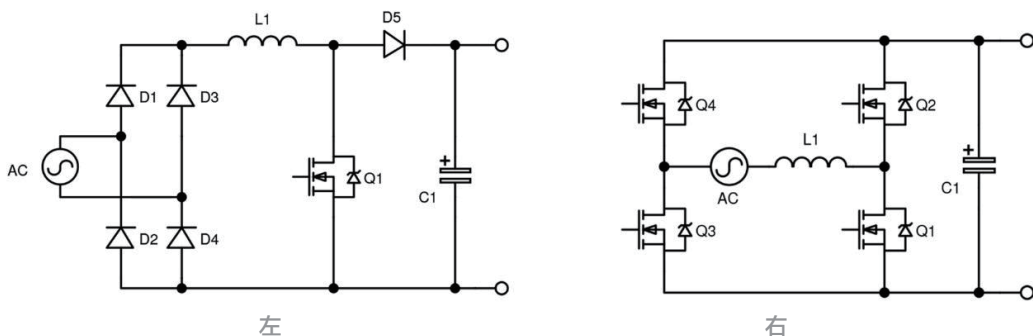


图1 传统(左)和(右)无桥图腾柱PFC电路

应对损耗

随着开关频率不断提高的发展趋势，开关器件中的动态损耗会产生更大的影响。这些损耗是 MOSFET 被配置为图腾柱高速开关桥臂时的反向恢复所致，当其体二极管在开关“死区”时间内导通时，必须耗尽相关的存储电荷，损耗也来自于开关输出电容的充电和放电。

事实上，硅基 MOSFET 的动态损耗可能相当大，因此，设计人员越来越多地在 TPPFC 应用中指定使用宽带隙半导体材料，例如碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN) 器件。这些器件的附加优势是更高工作频率和高温工作能力——这两个特性在电源应用中非常有用。

临界导通模式 (CrM) 通常是 TPPFC 的首选导通模式，尤其是在功率高达几百瓦时，该模式提供了效率和 EMI 性能之间的良好折衷。连续导通模式 (CCM) 可进一步降低开关中的 RMS 电流和导通损耗，使 TPPFC 能够适用于千瓦级额定功率的应用。

即便使用 CrM，效率在轻负载条件下也会明显下降（可达 10%），这在我们试图满足待机或空载能耗限制时带来了真正的挑战。一种解决方案是箝位或“折返”最大允许频率，从而在轻负载条件下强制电路进入 DCM，该模式下的较高峰值电流仍低于同等 CrM 实现

中的峰值电流。

将 TPPFC 与 CrM 工作和频率箝位相结合，可提供一个良好的中等功率解决方案，在整个负载范围内提供出色的效率，尤其是当 WBG（宽禁带）开关用于高频桥臂时。

其他挑战

解决了效率挑战后，还需要克服最后一个障碍。需要同步驱动四个有源器件，并且必须检测电感的零电流交越以强制 CrM。该电路必须能够在需要时自动切换进入和退出 DCM，而且在完成所有这些操作的同时，保持高功率因数并生成一个 PWM 信号来调节输出。除此之外，还要求提供电路保护（例如过电流和过压）。

一般来说，鉴于所涉及的复杂性，最佳方法是在微控制器中实现控制算法。然而，这种方法可能很昂贵，而且需要生成并调试代码，这是许多设计人员希望避免的领域。

采用 CrM 的 TPPFC 无代码解决方案

完全集成的 TPPFC 控制解决方案具有许多优势，包括能够提高性能水平、缩短设计时间（下转第 37 页）

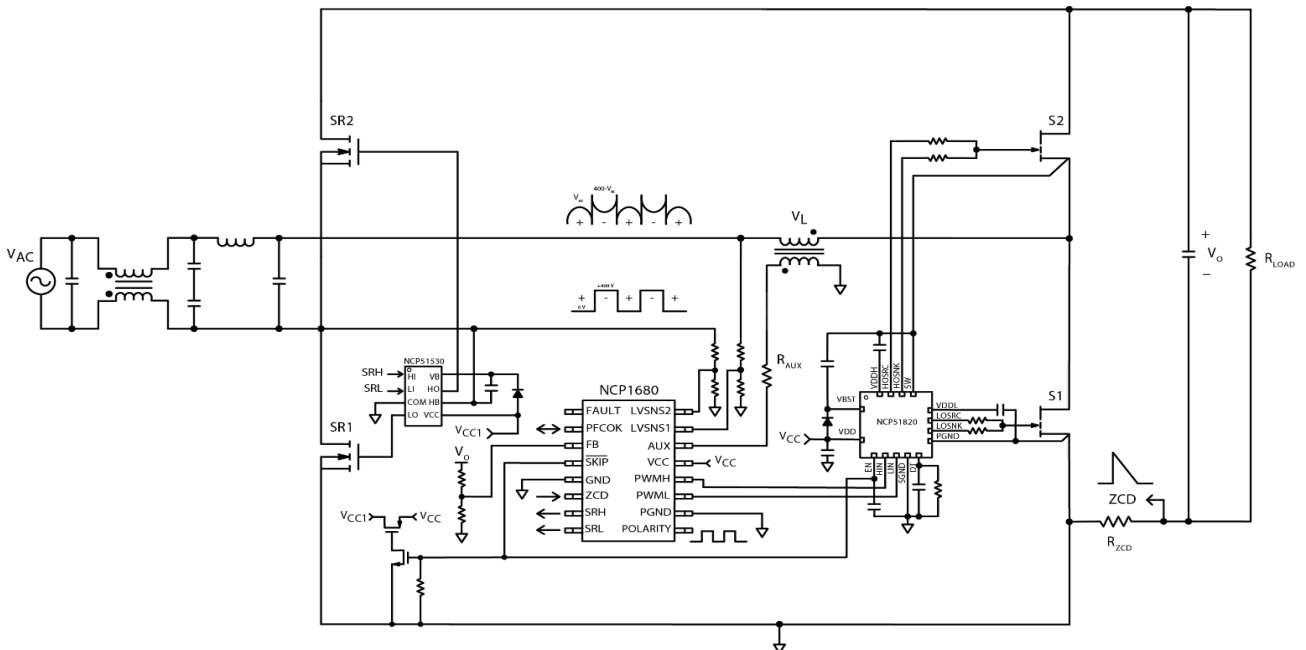


图2 NCP1680 提供了简单而精巧的无代码 TPPFC 解决方案

(上接第18页) 和降低设计风险，同时无需采用微控制器和相关代码。

安森美提供的混合信号 TPPFC 控制器 NCP1680 在恒定导通时间的 CrM 下工作，确保在整个负载范围内实现高效率。NCP1680 可在轻负载条件下提供频率折返期间的“谷底开关”，通过在最低电压下进行开关操作来提高效率。数字电压控制环路经过内部补偿，可优化整个负载范围内的性能，同时能够确保设计过程保持简单。

这款创新的控制器采用小型 SOIC-16 封装，利用专有的低损耗方法进行电流检测和逐周期限流，无需外部霍尔效应传感器即可提供出色的保护水平，从而降低复杂性、尺寸和成本。所有必要的控制算法都嵌入在 IC 中，为设计人员提供低风险、经过试用和测试验证的解决方案，在经济价位下提供高性能。