

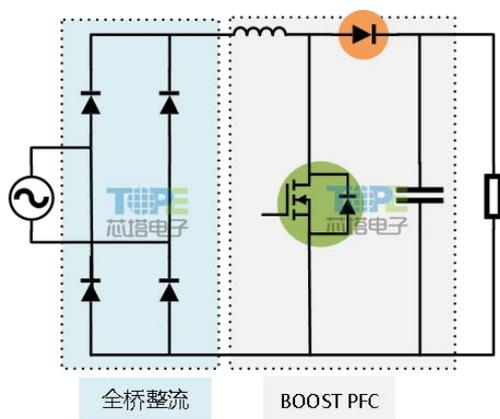
碳化硅器件在单相 PFC 中应用

李冬黎 博士/芯塔电子

单相功率因数校正器（PFC）实现交流网侧高功率因数、低谐波电流，被广泛应用于电源适配器、LED 驱动、服务器电源、OBC 等各类中小功率的 AC-DC 电源系统中。

1 有桥 PFC

从原理上讲，任何一种 DC/DC 拓扑都可以作为功率因数校正（PFC）主电路结构。常用的单级有源 PFC 结构拓扑有 BOOST、Buck-boost、Buck、Flyback（反激）。

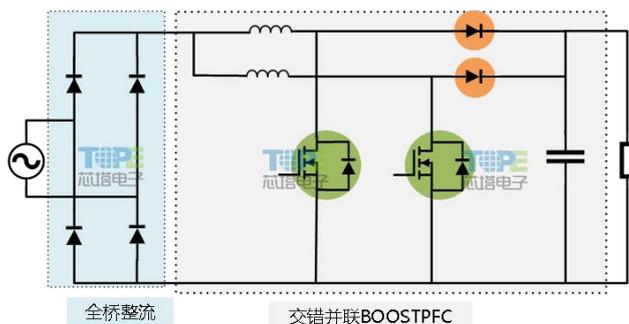


- SiC MOSFET: TM1GXX065X
- SiC SBD: TDXX065X

图 1 BOOST PFC

图 1 为 Boost PFC 拓扑结构，输出电压可以升高到 380V 到 400V 左右，功率因数可以到达 0.99 甚至更高。该电路结构简单，技术成熟，被广泛使用。

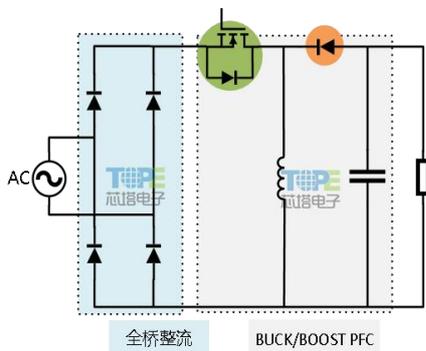
随着功率的增加，传统的 Boost PFC 器件承受的电压电流应力相应增大，造成器件选型困难。图 2 所示的交错并联技术可以解决这一问题，采用双 Boost PFC 交错并联技术可以大幅度增加输出功率。同时减小单个电感尺寸和输出电流纹波，适合高功率大电流输出的应用场合。



- SiC MOSFET: TM1GXX065X
- SiC SBD: TDXX065X

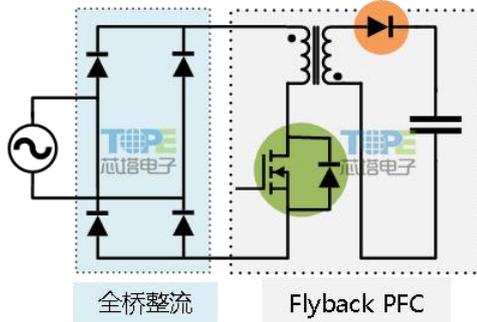
图 2 交错并联 BOOST PFC

图 3 为 Buck-boost PFC 变换器拓扑，该拓扑的优点是输出电压范围宽，既可以升压也可以降压。缺点是设计复杂，输入和输出反向。因此在实际中用得不多。图 4 中的 Flyback 变换器拓扑将 Buck-boost PFC 中电感用变换器替代，解决 Buck-boost 的输出反向问题。Flyback PFC 电路比较简单，输入输出隔离，在充电器和笔记本电源中很常用。其他变换器拓扑（如 Cuk、Sepic、Zeta）就不再一一介绍。



- SiC MOSFET: TM1GX065X
- SiC SBD: TDXX065X

图 3 BUCK/BOOST PFC



- SiC SBD: TDXX065X
- SiC MOSFET: TM1GX120X

图 4 Flyback（反激变换器）PFC

传统的 PFC 电路中，续流功率器件使用 Si 快恢复二极管(FRD)。Si FRD 和碳化硅 SBD 的反向恢复特性如图 5 所示。FRD 是双极型器件，有比较长的反向恢复过程和较大的功率损耗。反向恢复过程中电流的变化率比较大，导致在线路的杂散电感上产生较大的电压尖峰。SiC 肖特基势垒二极（SBD）管属于单极性器件，在导通过程中主要是多子参与导电，没有额外的载流子注入和存储过程，因而在理论上不存在反向恢复过程，反向恢复过程中损耗很小。续流二极管反向恢复过程会导致主开关管开通过程中电流尖峰和较大的开通损耗，并且影响主开关管的可靠性。另外，结温的变化对 SiC SBD 反向恢复过程没有影响，而 Si FRD 的反向恢复电流尖峰和反向恢复时间都随着结温的增加而加剧。因此，SiC SBD 的热稳定性明显优于 Si FRD，而且耐高温性更好。因此，在 CCM 模式下 APFC 中使用 SBD 作为续流二极管，可以降低功率损耗，提高开关频率和产品功率密度。

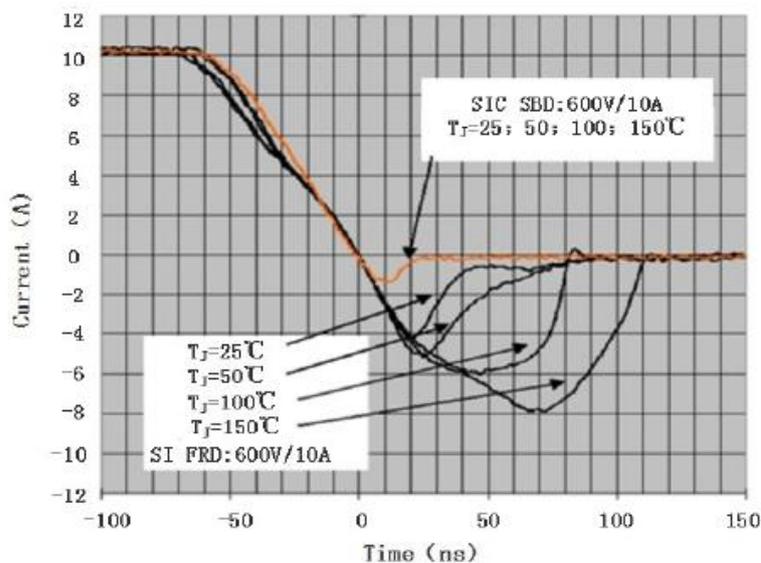
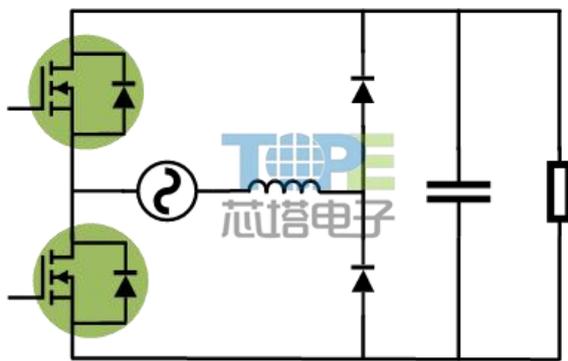


图 5 不同结温下 Si FRD 和 SiC SBD 的反向恢复特性

2 无桥 PFC

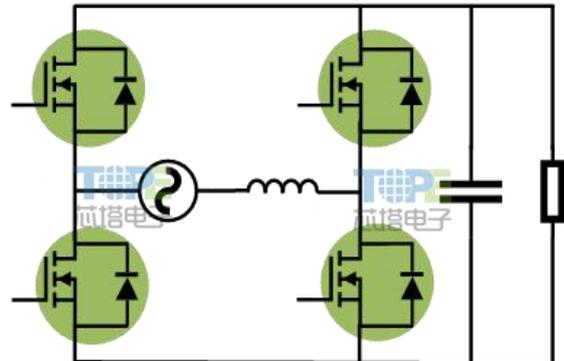
在低输入 AC 电压（例如 90V Vac）时候，网侧输入电流大，整流桥的导通损耗约占输入功率的 1.5~2%，成为电路损耗主要因素。如果能通过改进拓扑，不用整流桥，减少高频电流回路中串联功率器件的数量，效率将提高很多。Si MOSFET 寄生体二极管的反向恢复时间长和反向恢复损耗大，所以 Si 基图腾柱无桥 PFC 变换器一般只应用于电流断续模式(DCM)或者电流临界模式(CRM)，从而制约了其在大功率场合应用。随着新型宽禁带功率器件（SiC 和 GaN）的出现，从根本上避免了体二极管的反向恢复问题。图腾柱 BOOST 无桥 PFC 可以工作在电流连续模式（CCM），从而大大提高其功率等级，展示了其广阔应用前景。

图腾柱 BOOST 无桥 PFC 结构简单。单相图腾柱 BOOST 无桥 PFC 如图 6 所示，开关管桥臂工作在高频，二极管桥臂工作在工频。交流输入端电势不会高频跳变，只在市电电压过零时候有跳变，因此电路共模干扰低。



● 1200V SiC MOSEET:TM1GXX120K

图 6 单向图腾柱 PFC



● 1200V SiC MOSEET:TM1GXX120K

图 7 双向图腾柱 PFC

把图 6 中二极管桥臂替换成 MOSFET 桥臂，如图 7 所示，可以实现能量双向流动。能量正向流动时候，电网侧给负载供电；能量负向流动时候，负载侧池直流逆变成交流，给其他交流输入电器供电或者用于 V2G 并网。

芯塔电子开发的 SiC 功率器件可以帮助工程师设计出高功率转换效率、高能量密度和具有成本竞争优势的电源 PFC。同时我们对客户提供工程和应用支持，为客户创造价值。让我们携手一起推动能源绿色低碳发展！



了解更多应用技术支持信息
请扫码关注芯塔电子公众号
或登录芯塔电子官网：www.topelectronics.cn 查询