

碳化硅器件在新能源汽车的车载电源 DC/DC 变换器中应用

李冬黎 博士/芯塔电子

电动汽车的供电基本结构如图 1 所示，储能电池和功率变换器是电动汽车的核心部件之一。目前动力电池电压一般在 200V~400V，但是不少车企的动力电池往 800V 甚至更高电压方向发展。车载低压蓄电池系统（典型端压为 12V）对很多低压电器供电，例如音响，雨刮，照明、仪表、车窗移动和除霜加热器，等等。传统的 12V 供电依靠隔离型 DC/DC 变换器从动力电池的高压母线变化而来。车载低压电源功率等级一般在 1KW 到 3KW 之间。车载 DC/DC 变换器输出电压低（9V~16V），输出电流大（80A~250A）。据了解，上海大众、比亚迪、欣锐科技在其部分车型中的 OBC 和 DC-DC 中使用了 SiC 器件。

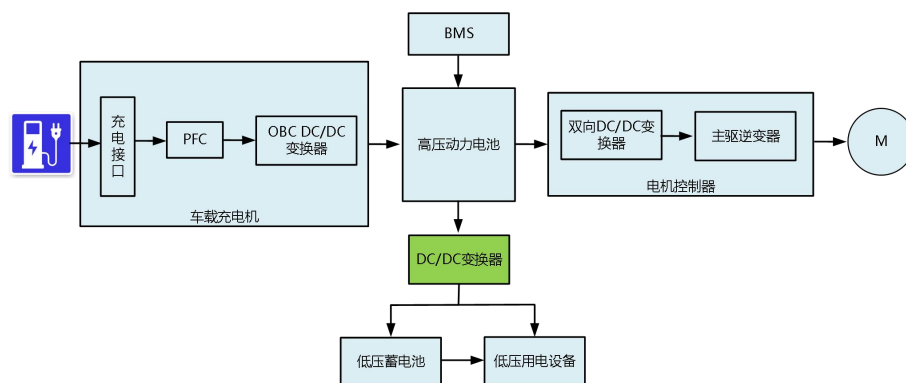
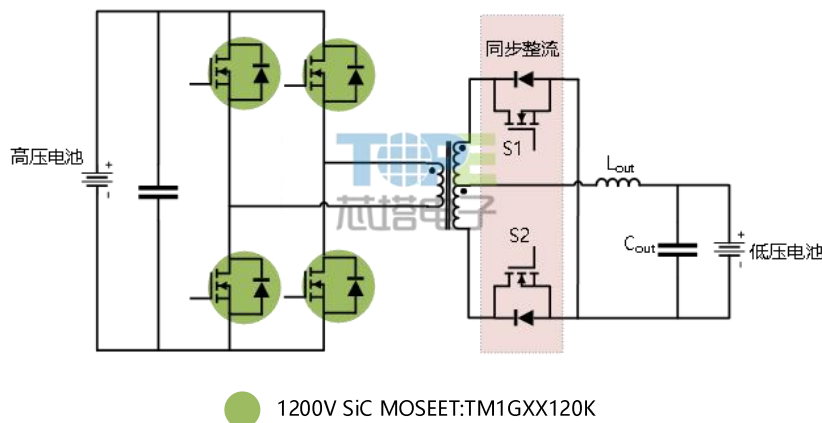


图 1 电动汽车的供电基本结构

变压器隔离型的 DC/DC 功率变换器从结构上可以分为原边逆变电路和副边整流电路。原边逆变电路除了直流变交流，还起到调压作用。逆变拓扑主要有推挽正激、半桥和全桥拓扑。考虑到开关管电压电流应力，实现软开关难易程度（影响效率）、功率密度和控制复杂性，全桥拓扑是车载 DC/DC 最佳选择。全桥拓扑中有全桥 PWM 硬开关、移相全桥软开关和 LLC 谐振。副边整流实现低压大电流整流。副边整流拓扑主要有全桥整流，全波整流，半波整流和倍流整流。对于车载低压大电流的整流侧，综合考虑效率、功率密度和成本，全波整流是最佳的选择。



● 1200V SiC MOSEET:TM1GX120K

图 2 全桥 PWM 硬开关变换器

全桥 PWM 硬开关变换器如图 2 所示，输出电压依靠 PWM 原理调节。为了进一步提高效率，副边整流二极管可以用同步整流 MOSFET S1、S2 替代。全桥 PWM 硬开关变换器缺点是效率低。需要注意的是，副边同步整流二极管关断不是 ZCS，电压过充大，选择的 MOSFET 需要有足够的耐压。其优点是 PWM 控制，输出电压调节范围宽。输出具有 LC 滤波器，输出电流纹波小， C_{out} 的 ESR 要求低。

如图 3 所示，移相全桥变换器和它的改进版在大功率 DC/DC 中成为最常用的拓扑结构之一，在变压器原边添加一个谐振电感 L_r ，利用 L_r 和寄生电容的谐振实现变压器原边全桥 MOSFET 可以实现 ZVS 开通和副边整流二极管 ZCS 关断。这种拓扑主要确定是滞后桥臂的 ZVS 开通范围窄，变压器副边存在严重的电压振铃。滞后桥臂 ZVS 开通范围可以通过在原边增加谐振电感来调节。副边电压振铃主要由变压器的等效电感（变压器漏感和额外增加的谐振电感 L_r ）和整流二极管的结电容发生谐振导致。为了承受高的电压压力，就必须使用高击穿电压的二极管，这样导致高的二极管导通损耗而降低变换器的整体效率。为了平衡耐压和效率问题，采用同步整流的 MOSFET 就是一个很好的选择。此外，可以在原边添加额外的钳位二极管来限制谐振电压峰值，如图 4 所示。

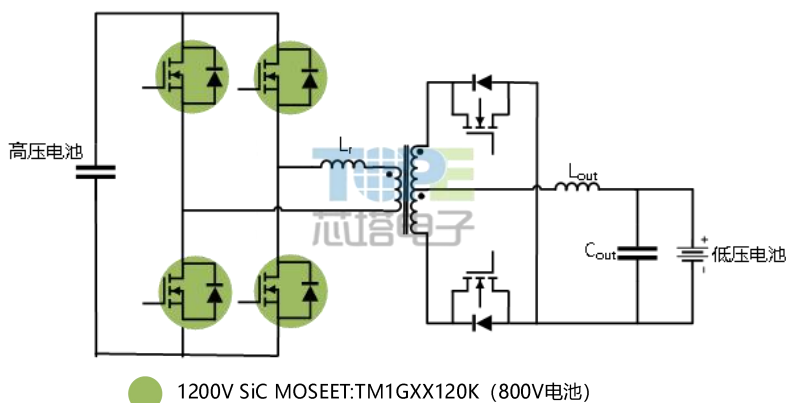


图 3 全桥移相软开关变换器

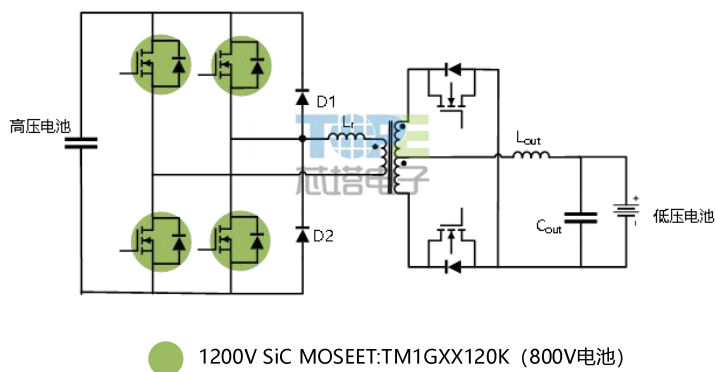


图 4 带二极管钳位的全桥移相软开关变换器

如图 5 是 BOOST PFC+LLC DC/DC 变换器。LLC 利用谐振原理可以实现原边的 H 桥功率器件 ZVS 开通和副边二极管可以 ZCS 关断。因此在本文涉及的三种全变换器结构中，其效率是最高的。由于为了同时实现原边和副边功率器件的软开关，变换器工作频率范围比较窄，导致 LLC 变换器本身输出控制电压制范围窄，尤其当输入电池电压宽范围变化时候（200V~800V）。解决方案是在输入端增加一级额外 BOOST 电路。为了增加功率，两路 BOOST 变换器交错并联。针对 800V 电池系统，就性价比而言，芯塔电子 1200V 的 SiC MOSFET TM1GXX120K 是原边全桥主开关器件最佳选择。如果副边二极管使用同步整流 MOSFET，原边功率半导体功率器件使用 SiC，则整机效率可以达到 99% 以上。另外，在车载 DC/DC 使用碳化硅器件一个重要优势是更容易将它们集成在一起，最大程度的共用一些电路和元器件，进而从系统层面进一步降低成本和提高功率密度。通过不同车载功率变换器集成技术，还可以提供多方向能量流动功能，提高系统性价比【1】。

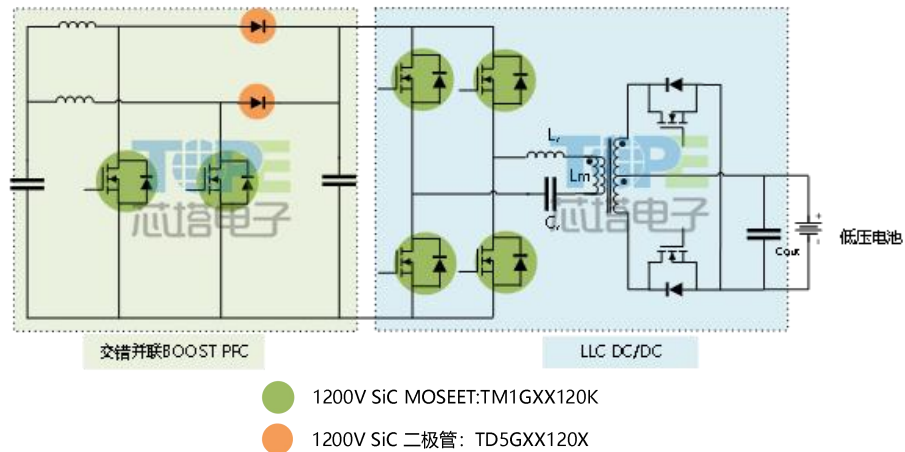


图 5 交错并联 BOOST+LLC DC/DC 变换器

相比于全桥移相，SRC 变换器通过变频调节谐振腔的状态变化而实现能量传递，若采用传统的电压反馈，输出电压对输入跟踪的动态响应相对较慢。若采用峰值电流控制，可以提高系统抗输入扰动能力，同时有效减少或者消除变压器偏磁问题。

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车载充电器(OBC)。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！

参考文献

- 【1】安徽芯塔电子科技有限公司，碳化硅器件在车载充电器和 DC/DC 集成系统中应用. 2021



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