

一种反激同步整流 DC-DC 变换器设计

作者：华南理工大学自动化学院 任光 深圳华为技术有限公司电源研发部 李卫东 深圳信息职业技术学院电子

2004 年 4 月 B 版

摘 要：对反激同步整流在低压小电流 DC-DC 变换器中的应用进行了研究，介绍了主电路工作原理，几种驱动方式及其优缺点，选择出适合于自驱动同步整流的反激电路拓扑，并通过样机试验，验证了该电路的实用性。

关键词：反激变换；同步整流；电路拓扑

引言

低压大电流 DC-DC 模块电源一直占模块电源市场需求的一半左右，对其相关技术的研究有着重要的应用价值。模块电源的高效率是各厂家产品的亮点，也是业界追逐的重要目标之一。同步整流可有效减少整流损耗，与适当的电路拓扑结合，可得到低成本的高效率变换器。本文针对 36V-75V 输入，3.3V/15A 输出的二次电源模块，在分析同步整流技术的基础上，根据同步整流的特点，选择出适合于自驱动同步整流的反激电路拓扑，进行了详细的电路分析和试验。

反激同步整流

基本的反激电路结构如图 1。

其工作原理：主 MOSFET Q1 导通时，进行电能储存，这时可把变压器看成一个电感，原边绕组电流 I_p 上升斜率由 $dI_p/dt=V_s/L_p$ 决定，磁芯不饱和，则 I_p 线性增加；磁芯内的磁感应强度将从 B_r 增加到工作峰值 B_m ；Q1 关断时，原边电流将降到零，副边整流管开通，感生电流将出现在副边；按功率恒定原则，副边安匝值与原边安匝值相等。

在稳态时，开关导通期间，变压器内磁通增量 $\Delta\Phi$ 应等于反激期间内的磁通变化量，即：

$$\Delta\Phi = V_s T_{on} / N_p = V_s T_{off} / N_s$$

从此式可见，如果磁通增量相等的工作点稳定建立时，变压器原边绕组每匝的伏-秒值必然等于副边每匝绕组的伏-秒值。

反激变换器的拓扑实际就是一个 BUCK-BOOST 组合的变换器拓扑的应用，而且如果副边采用同步整流，电路总是工作于 CCM 的模式下，其电压增益

$$M=V_o/V_s=K \cdot D/(1-D) (K \text{ 为原副边匝数比})$$

用 PMOSFET 和 MOSFET 替代图 1 中的肖特基二极管，可以实现同步整流的 4 种电路结构如图 2 和图 3

反激电路的开关电压波形见图 4，是标准的矩形波，非常适合同步整流驱动。设计的关键点在于同步整流管的位置与驱动电路的结构配合、波形的整形限幅和死区控制。

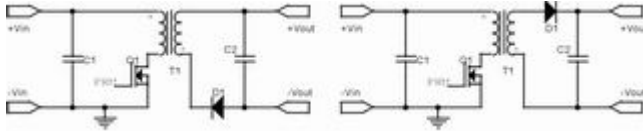


图 1 基本反激电路结构图

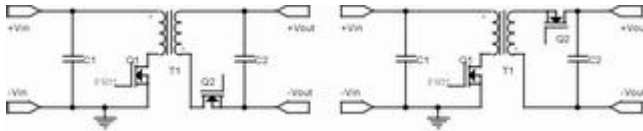


图 2 由 NMOSFET 构成的反激同步整流电路结构

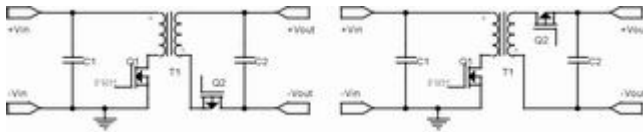


图 3 由 PMOSFET 构成的反激同步整流电路结构

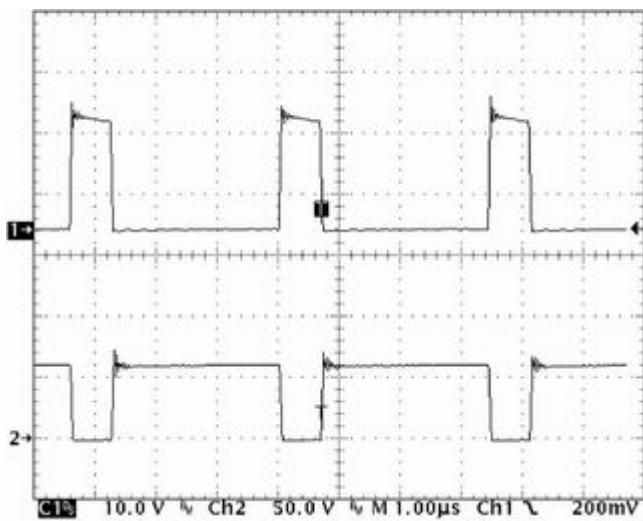


图 4 CH1—整流管实验波形/ CH2—主开关实验波形

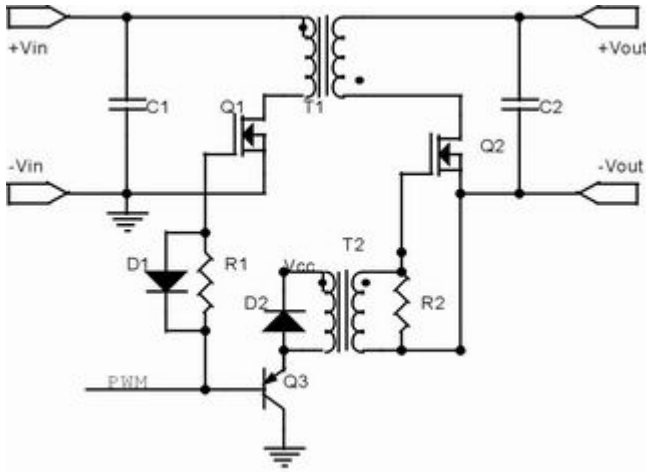


图5 一种实际的外驱电路

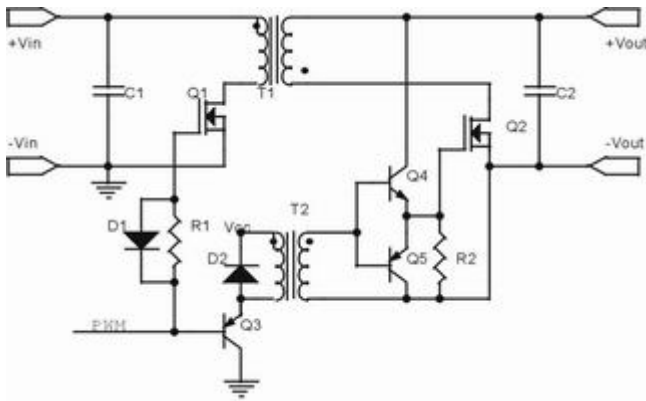


图6 增加驱动能力的外驱电路

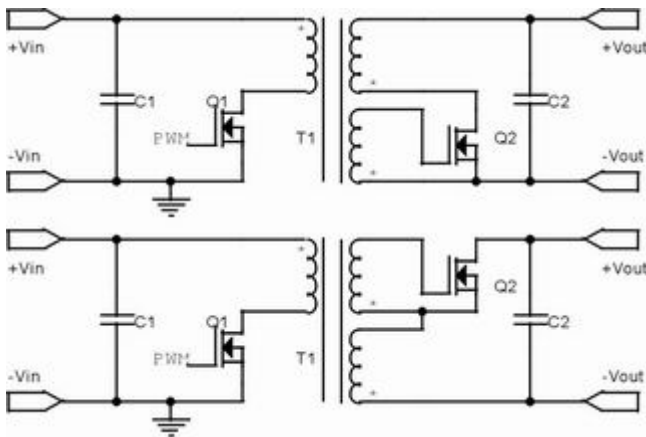


图7 由NMOSFET构成的反激同步整流自驱动电路结构

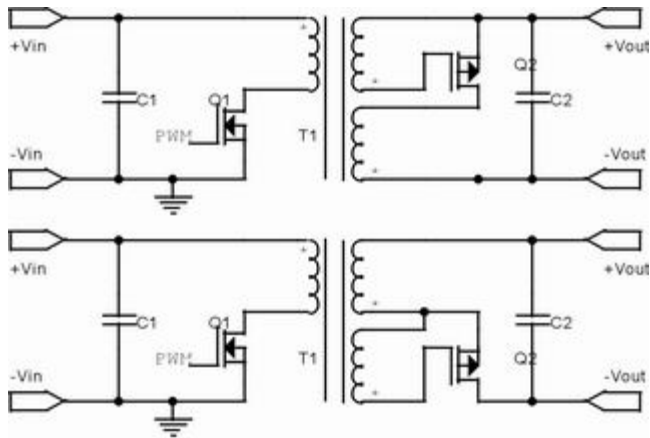


图 8 由 PMOSFET 构成的反激同步整流自驱动电路结构

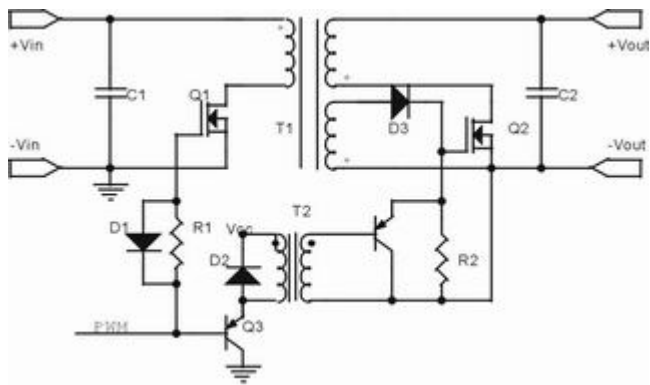


图 9 反激同步整流半自驱电路结构

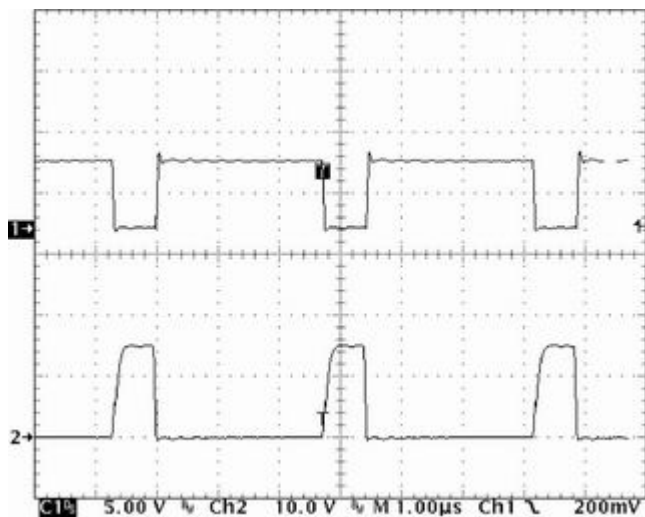


图 10、V_{gs} 驱动波形，CH1 同步整流管，CH2 主开关管

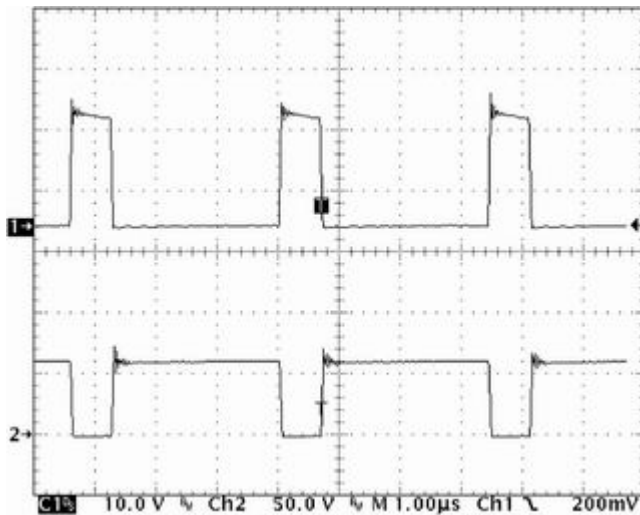


图 11、Vds 波形，CH1 同步整流管，CH2 主开关管

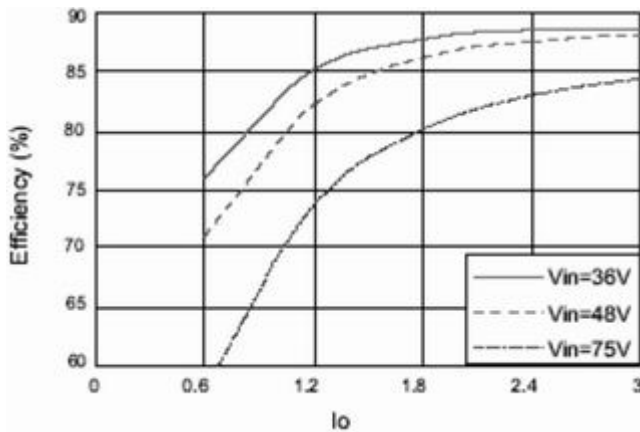


图 12 转换效率曲线

反激同步整流驱动电路选择

同步整流管的驱动方式有三种：第一种是外加驱动控制电路，优点是其驱动波形的质量高，调试方便。缺点是：电路复杂，成本高，在追求小型化和低成本的今天只有研究价值，基本没有应用价值。图 5 是简单的外驱电路，R1D1 用于调整死区。该电路的驱动能力较小，在同步整流管的 Ciss 较小时，可以使用。图 6 是在图 5 的基础上增加副边推挽驱动电路的结构，可以驱动 Ciss 较大的 MOSFET。在输出电压低于 5 V 时，需要增加驱动电路供电电源。

第二种是自驱动同步整流。优点是直接由变压器副边绕组驱动或在主变压器上加独立驱动绕组，电路简单、成本低和自适应驱动是主要优势，在商业化产品中广泛使用。缺点是电路调试的柔性较少，在宽输入低压范围时，有些波形需要附加限幅整形电路才能满足驱动要求。图 7 和图 8 是四种反激同步整流的电路结构。由于 Vgs 的正向驱

动都正比于输出电压，调节驱动绕组的匝数可以确定比例系数，且输出电压都是很稳定的，所以驱动电压也很稳定。比较麻烦的是负向电压可能会超标，需要在设计变压器变比时考虑驱动负压幅度。

第三种是半自驱。其驱动波形的上升或下降沿，一个是由主变压器提供的信号，另一个是独立的外驱动电路提供的信号。图 9 是针对自驱的负压问题，用单独的放电回路，提供同步整流管的关断信号，避开了自驱动负压放电的电压超标问题。

实验结果

根据图 7 电路，设计了一台 15W 样机，输入电压 36—75V，输出 5V/3A，体积 50mm/25mm/8.5mm。开关频率 300kHz，磁心选用国产 FEY12.5，变压器匝比 3:1，磁心中柱气隙 0.2mm。

同步整流管选择的主要依据是：整流管导通电阻尽量小，电压和电流不超过整流管的电压和电流限值，这里选用 Motorola 公司的 MTB75N05HD($V_{ds}=50V$ ， $R_{ds}=7m\Omega$) 同步整流管的驱动波形如图 10，为标准的矩形波。

实测的效率曲线如下，低压满载时在 87% 以上。与肖特基二极管整流的典型效率 82% 相比，模块损耗减少了 30%。

结语

理论分析和样机验证，证明反激同步整流的效率在低压输出条件下有明显的优势，模块本身的功耗比肖特基整流低 30%，可以提高 30% 的模块功率密度，具有极大的推广和应用价值。■