

一种电流谐振 PFM 软开关 DC—DC 变换器

黄河, 曹国雄

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:采用谐振电路和 PFM 开关结合组成电流谐振开关,实现 DC—DC 功率变换,给出了功率变换电路及其控制电路。用这种方式设计的 200 W 开关电源效率高、控制电路简单,经实际使用,性能稳定可靠。

关键词:电流谐振;PFM;VCO;功率变换

中图分类号:TN344 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2000)05-0075-03

目前,开关电源的发展趋势是集成化与小型化,把功率开关与控制电路、反馈电路集成于同一芯片,提高开关频率是其关键技术之一;开关频率的提高,必须采用高速开关元件,降低开关损耗。由于电路存在分布电感和分布电容,开关过程会出现较大的电流和电压浪涌,使功率器件由于过流或过压而造成损坏;同时也易引起较强的辐射干扰和传导干扰,影响周围电子设备的正常工作;且随开关频率的提高,开关损耗加大,开关电源本身效率和可靠性降低。若采用 LC 谐振电路,使加在开关两端的电压或流过开关的电流为正弦波,则能降低电路的浪涌电流和电压,使开关损耗接近于零,这是减小开关损耗、抑制浪涌电压和电流最有效的方式,称为谐振开关方式。本文介绍了一种带电流谐振电路的软开关 DC—DC 变换器,给出了实际电路。

1 电流谐振变换器

在 PFM 开关电路中接入 LC 谐振电路,使寄生电容和电路的寄生电感作为谐振电路的一部分,流经开关的电流为部分正弦波,这种变换器称为电流谐振变换器,谐振电路与 PFM 开关组合称为谐振开关。电路谐振开关中开关导通时电流脉冲宽度 t_{ON} 由谐振电路决定,为了进行脉宽控制,需要保持导通时间 t_{ON} 不变,改变开关的断开时间,即采用 PFM 方式。

1.1 主变换电路

主变换电路如图 1 所示,由 S_1 、 L_r 、 C_{r1} 、 D_1 及 S_2 、 C_{r2} 、 D_2 构成谐振开关电路,开关 S_1 、 S_2 轮流导通,流经 S_1 、 S_2 的电流 i_s 为部分正弦波,保证 S_1 、 S_2 通断时 i_s 始终为零,提供零电流开关(ZCS)条件。若将后级电路作为一个整体,当负载回路滤波电感 $L_o \gg L_r$ 时,则可认为在每个谐振周期内负载电流 I_o 近似不变,则图 1 可部分等效为图 2^[1]。

1.2 电路工作过程分析

根据开关导通时 i_s 的波形,可分为半波和全波电流谐振开关,图 2 所示为全波电流谐振开关,其工作过程分为四种状态^[2]。波形见图 3。

(1) $t=t_0$ 时, S_1 导通, i_s 从零开始线性上升。 $i_s = V_i/L_r(t - t_0)$ 。当 $t=t_1$ 时, $i_s = I_o$, D_1 截止,电路进入谐振状态。

(2) $t=t_1$ 时, L_r 与 C_{r1} 产生谐振,状态方程为 $L_r di_s/dt = V_i - v_c, C_{r1} dv_c/dt = i_s - I_o$

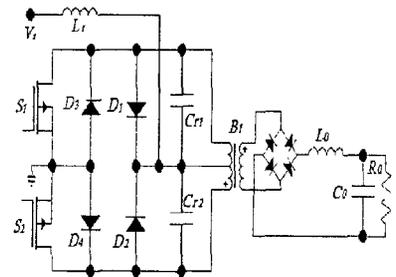


图 1 主变换电路

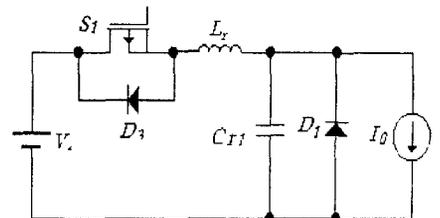


图 2 电流谐振开关等效电路

初始条件为 $i_s(t_1) = I_0, v_c(t_1) = 0$

状态方程解为 $i_s = I_0 + V_i/Z_r \sin \omega_r(t - t_1), v_c = V_i - V_i \cos \omega_r(t - t_1)$

式中, $Z_r = \sqrt{L_r/C_{r1}}, \omega_r = 1/\sqrt{L_r C_{r1}}$

为进行零电流开关, i_s 需等于零, 故零电流开关的条件为 $I_0 \leq V_i/Z_r$

(3) $t = t_2$ 时, $i_s = 0$, 谐振状态结束, C_{r1} 以电流源 I_0 放电。 $v_c = v_c(t_2) - I_0(t - t_2)/C_{r1}$, 若谐振状态期间用 a 表示, 则 $a = \omega_r(t_2 - t_1)$, $\sin a = -I_0 Z_r/V_i$, 全波电流谐振时, $\pi/2 < a < 2\pi$, a 是选取 t_{ON} 的重要参数。

(4) $t = t_3$ 时, C_{r1} 两端电压 V_c 下正上负, D_1 导通, V_c 被钳位于零, 直到开关 S_1 再次导通。由图 3 可知, 开关电流和电压峰值为 $i_{ss} = I_0 + V_i/L_r, V_{ss} = V_i$ 。只要正确选定 t_{ON} 及 L_r, C_{r1}, C_{r2} , 就可保证开关 S_1, S_2 的通断在零电流时刻进行。变压器 B_1 初级波形如图 3 所示, 改变 PFM 脉冲频率, 即可调节输出电压 V_o 。

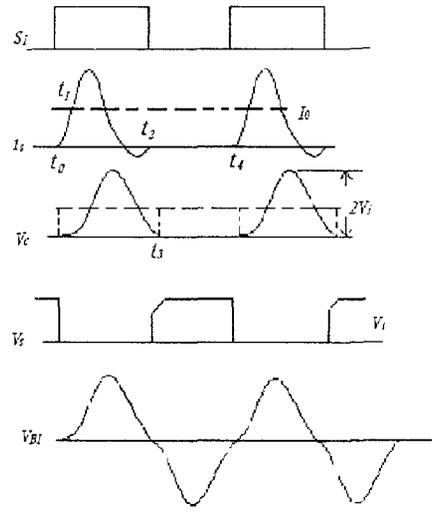


图 3 谐振开关工作波形

2 控制电路的实现

2.1 控制电路

采用专用控制器 GP605 构成谐振开关电源控制电路。GP605 片内含 VCO 和一单稳电路, VCO 是输出频率与输入电压有关的振荡器, 单稳电路是产生恒定 t_{ON} 脉冲的脉冲发生器。此外, GP605 还有输入欠压、过压保护, 输出过流保护、软启动电路及推挽驱动电路等。利用 GP605 的 15 脚可获得输入电压过低或过高时自动断开电源的功能, 不用此功能时, 15 脚取固定电压 2.5 V; 13 脚为 VCO 控制电压输入端, 电压高 VCO 输出脉冲频率高; 12 脚外接电容 C_5 用于电路的软启动, 软启动时间约为 40 ms; 16 脚为输出过流保护端子, 由变压器对电流取样得到取样电压加到 16 脚, 16 脚电压超过 3.2V 时, GP605 启动保护电路封锁输出脉冲; 10 脚为输出控制端子, 10 脚接地时, 6、8 脚推挽输出 t_{ON} 恒定、频率可调的脉冲。应用电路见图 4, 为确保零电流开关条件, 谐振电路 L_r, C_r 的选取需满足^[3] $t_{ON} = 0.75(2\pi \sqrt{L_r C_r})$ 。式中, t_{ON} 为 S_1, S_2 的导通时间, 由 GP605 第 9 脚外接 C_3, R_{13} 决定。

2.2 控制过程

控制流程如图 4 所示, 功率调节和稳压过程为: 当输出电流增大, V_o 下降时, 输出电压取样与基准电压差值变大, 其差值经误差放大, 通过光耦控制 VCO, VCO 输出 t_{ON} 恒定的重复脉冲, 使谐振开关工作; VCO 输入电压越高, 其输出开关频率越高, 更多的能量输送到输出电路, 使输出电压保持稳定。

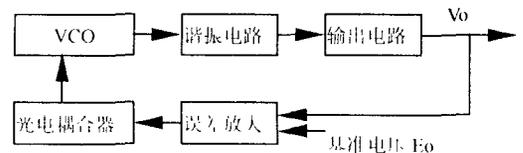


图 4 控制流程图

3 实际应用

采用电流谐振开关, 研制了 200 W 部分谐振开关电源, 其参数为: $t_{ON} = 0.8 \mu s, P_o = 200 W$, 满载时开关频率 $f = 300 KHz$, 输出 36 V、 $\pm 15 V$ 、12 V 四组电压, 实测效率达 88%, 突然加载或减载时的动态性能较好。对此种电源的设计应注意: 一是由于频率较高, MOSFET 存在较大的输入电容, 须仔细设计驱动电路, 降低驱动电路阻抗; 二是要正确测量 L_r 与 C_r 值, C_r 要选用温度特性较好的电容, 确保 t_{ON} 与 L_r, C_r 的关系成立; 三是电路中二极管应选用反向恢复时间 t_{rr} 特别小的二极管, 保证能与 MOSFET 匹配使用。实际电路见图 5, 主回路由交流 220 V 整流得到 300V 直流供电, GP605 由辅助电源供给 12V 电压。图 5 为全波电流谐振开关电路, 谐振电感由变压器 B_1 漏感和 L_r 组成, 谐振电容由变压器 B_1 初级分布电容和 C_{r1}, C_{r2} 组成, 消除了开关管感性关断时的电压浪涌, 抑制了漏感引起的感应电势导致的电压尖刺和噪声, 改善了变压器的 EMI 特性; 谐振开关 S_1, S_2 上反向并联快恢复二极管 D_3, D_4 , 使谐振电流双向流动, 开关导通时, 能量从电源传输到主回路, 负载轻时, 大部分能量从主回路返回电源; 负载重时, 只有小部分能量返回电源, 使输出电压

不随负载变化，具有较好的动态性能。同时，开关 S_1 、 S_2 始终处在零电流通、断，减小了开关损耗，提高了变换器效率。此电源已在 100 kV · A 变频调速系统中应用，运行效果较好。

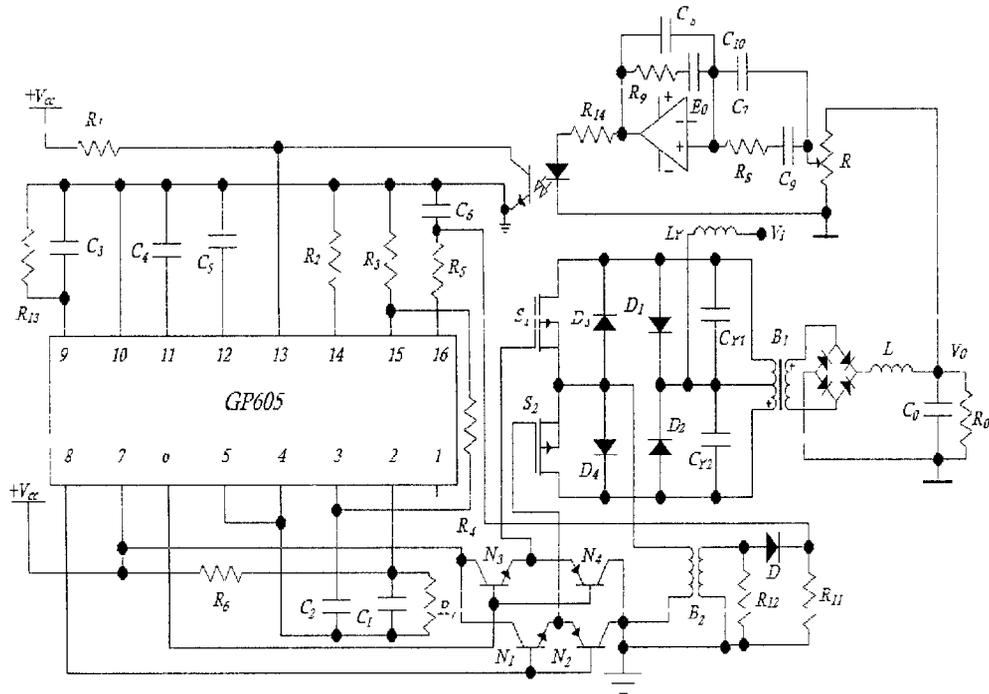


图 5 实际电路

4 结束语

目前，世界各地正在大力研制开发新型开关电源，不断地向高频化、线路简单化和控制电路集成化方向发展。采用软开关技术，实现 DC—DC 功率变换，在提高开关频率的同时，能有效地抑制电路的电流和电压浪涌，减小开关损耗，提高电源效率和可靠性，是实现开关电源高频化、集成化的一种有效的方法，具有较好的应用前景。

参考文献：

[1] 何希才. 新型开关电源及其应用[M], 北京: 人民邮电出版社出版, 1995.
 [2] 王 聪. 软性开关逆变电路及其应用[M], 北京: 机械工业出版社, 1993.
 [3] 祁承超, 吴保芳, 卢飞星, 等. 带谐振直流环节的 PWM 软开关 DC—DC 变换器[J]. 电力电子技术, 1999, 33(6): 34 - 36.

One Kind of Current Resonance PFM Soft Switch DC—DC Converter

HUANG He, CAO Guo-xiong

(Telecommunication Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710077, China)

Abstract: Current resonance switch is composed of by using resonance circuit combined with PFM switch to carry out DC—DC power conversion. And the power conversion circuit and its control circuit are also given. Switch mode power supply designed in this way has a high efficiency and simple circuit. In the practical use, its performance is stable and reliable.

Key words: current resonance; PFM; VCO; power conversion