

反激式开关电源的零电压开关

Zero Voltage Switch of Flyback SMPS

陈永真 辽宁工学院 (121001)

Chen Yongzhen Liaoning Institute of Technology(121001)

摘要:简要介绍了反激式开关电源的特点和缓冲电路存在的问题,提出零电压开关的电路拓扑,详尽地分析了各阶段的工作过程,提出了控制方式和实现方法,分析了本文电路的性能和需要注意的问题。

叙词:零电压开关 零电流开关 缓冲电路

Abstract: In this paper, the character of flyback SMPS and the problem existing in snubber are introduced, The topology circuit of ZVS the control and the realization methods are put forward. At the same time, HOW to work in each phase, the circuit performance of the circuit and what need be take care of are analyzed clearly.

Keywords: ZVS ZCS snubber

反激式开关电源以电路简单电磁干扰相对小得到广泛应用,对开关电源的输出电压尖峰和 EMI 也提出了更高的要求,通常减小 EMI 的方法主要是采用自激型反激式开关电源,用开关速度相对慢的双极晶体管作为主开关;加大缓冲电路电容量来降低关断过程的 dv/dt 、 di/dt 产生的 EMI 用减缓导通过程减小开通 EMI,付出的代价是电源效率下降,发热量大,可靠性下降。因而需要一种低 EMI,高效的反激式开关电源,软开关反激式开关电源,便是比较理想的解决方案。

1 零电压开关

零电压开关反激式开关电源主电路如图 1。

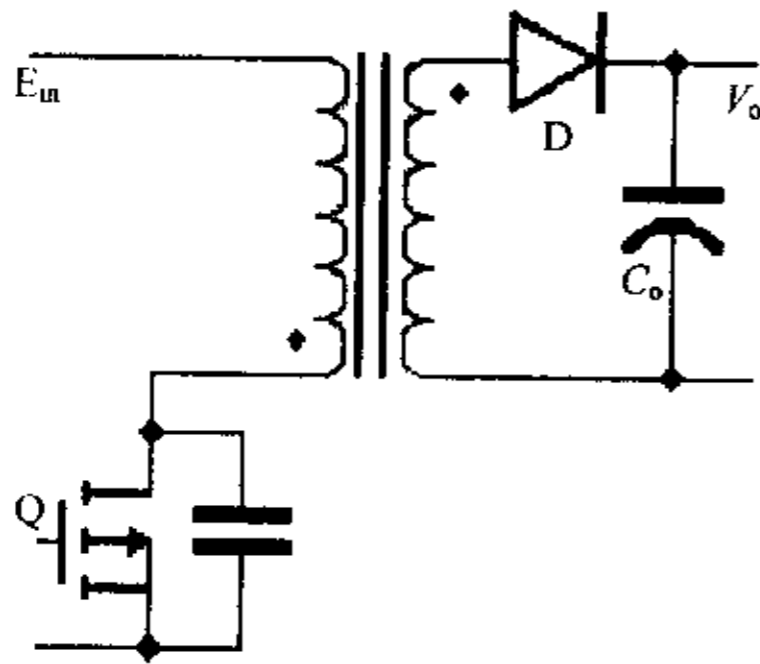


图 1 主电路

主要波形如图 2,电路工作过程分为四个阶段:开关管关断及缓冲电路作用阶段,变压器释放储能阶段,缓冲电路复位阶段,开关管导通阶段。

1.1 开关管关断及缓冲电路作用阶段

图 2 波形中, $t_0 - t_1$ 期间为开关管关断及缓冲电路作用阶段,等效电路如图 3,在 t_0 时刻控制电路将开关管关断,变压器初级电流由开关管向缓冲电容器转移,开关管电流下降,缓冲电

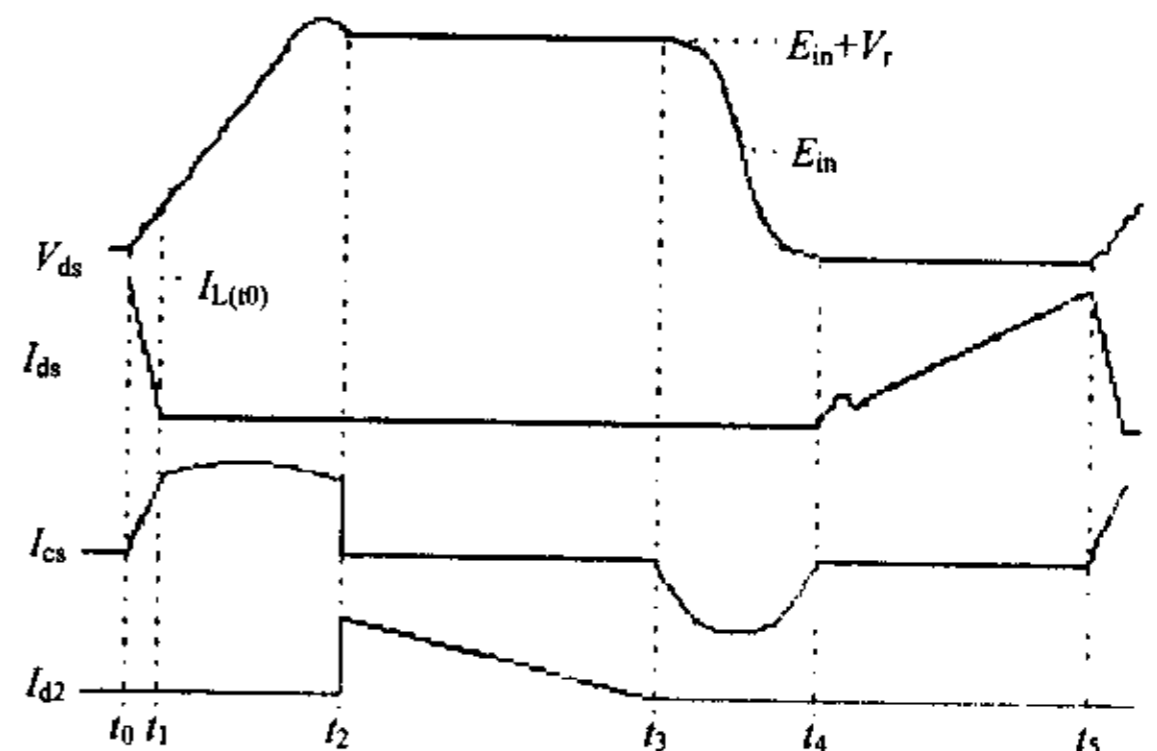


图 2 主要波形

容器电流上升,开关管电流下降,直到零变压器初级电流全部转移到缓冲电容器,等效电路如图 3,开关管的关断过程结束开关管关断过程的长短取决于开关管自身特性和控制电路,一般为开关周期的 $1/100 - 1/200$ 或百纳秒左右。由于缓冲电容器上的电压不能跃变,使开关管关断过程中漏、源电压很低接近于零,实现了“零电压”关断。为确保“零电压”关断,缓冲电容器应取较大值,这样开关管在关断过程结束时缓冲电容器电压仍为很小值,变压器初级电压极性没有改变,输出整流二极管阳极反向电压不能导通,变压器初级电流仍需流过缓冲电容器,直到缓冲过程结束。缓冲过程的持续时间约为开关周期 $1/20$ 左右,与开关周期相比相对很短,变压器初级电流变化很小,为分析方便可以认为变压器初级电流不变,这样缓冲电容器电压为:

$$V_{cs} = \frac{I_{cs} \cdot t}{C_s} \quad (1)$$

其中 I_{L1} 为 t_1 时刻变压器初级电流值,可近似为 t_0 时刻值。当缓冲电容器电压上升到 $v_{cs} = E_{in} + V_R$ (V_R 为稳压电源输

出电压反射到变压器初级侧电压值)后,即 t_2 时刻,输出整流二极管导通,变压器储能经输出整流二极管想输出端释放,变压器初级电流为零。电路进入变压器释放储能阶段。

1.2 变压器释放储能阶段

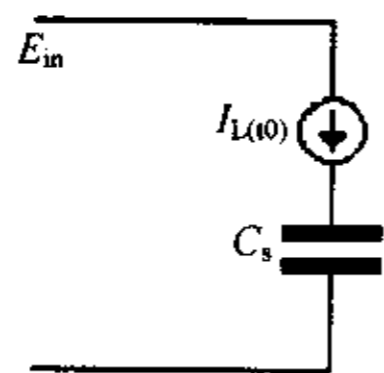


图3 $t_0 - t_1$ 期间等效电路

当 v_{cs} 上升到 $E_{in} + V_R$ 后,输出整流二极管导通,电路进入变压器释放储能阶段,对应 $t_2 - t_3$ 期间,等效电路如图4。

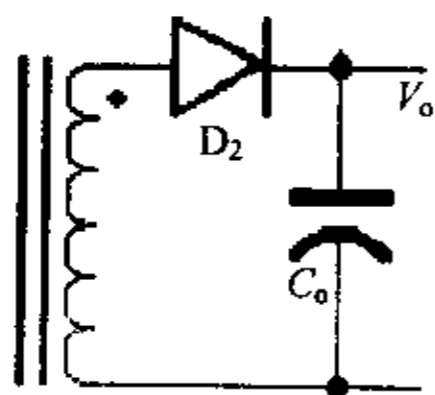


图4 $t_1 - t_3$ 期间等效电路

变压器通过次级绕组、输出整流二极管向输出端释放储能。变压器次级电流为:

$$i_s = i_{s(0)} - \frac{V_0 \cdot t}{L_s} \quad (2)$$

其中 $I_{s(0)}$ 为开关管关断时变压器初级电流反射到次级侧电流值, L_s 为变压器次级电感, V_0 为输出电压。

当 $t = t_2$ 时

$$\frac{V_0 \cdot T}{L_s} I_{s(0)} \quad (3)$$

变压器次级电流降到零,变压器储能全部释放,输出整流二极管自然关断,电路进入缓冲电路复位阶段。

1.3 缓冲电路复位阶段

缓冲电路复位阶段对应 $t_3 - t_4$ 期间为使缓冲电容器在下一个开关周期能起到缓冲作用,保证开关管“零电压”关断和“零电压”开通,需将缓冲电容器放电,将电荷全部泄放,即复位。与有损耗缓冲电路不同,无损耗缓冲电路采用 LC 谐振方式将缓冲电容器复位,本文电路的复位电感为变压器初级电感。电路如图5

当变压器储能释放尽,由于缓冲电容器上电压 v_{cs} 高于电源电压 E_{in} ,缓冲电容器通过变压器初级电感以 LC 谐振方式将缓冲电容器电压复位,由于复位过程缓冲电容器电压将低于 $E_{in} + V_R$,输出整流二极管自然关断,等效电路为:

缓冲电容器电压为:

$$V_{cs} = E_{in} - V_R \cdot \cos \omega t \quad (4)$$

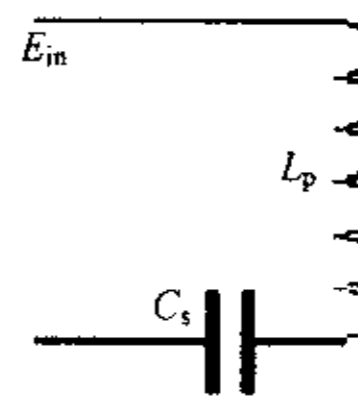


图5 $t_2 - t_3$ 期间等效电路

当选择 $E_{in} = V_i$ 时,式(2)为:

$$V_{cs} = (1 - \cos \omega t) E_{in} \quad (5)$$

其中 $\omega = (L_p \cdot C_s)^{-1/2}$

由此可见,本文提出的零电压开关电路,除关断缓冲、缓冲电路复位外,变压器均处于增加或释放储能状态,没有间歇状态,与常规 PWM 控制方式不同。

当 $\omega t = t_4 - t_3$ 时, $\cos \omega t = 1$,这时缓冲电容器电压为零或最低,复位过程应结束,使复位过程结束的唯一办法是开关管导通。开关管导通后,电路进入开关管导通阶段。

1.4 开关管导通阶段

开关管导通阶段为 $t_3 - t_4$ 阶段,当缓冲电容器上电压降到零或最低时,开关管在零电压或最低电压导通,变压器电流上升,等效电路如图6

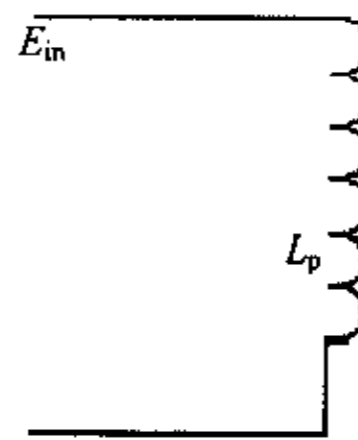


图6 $t_2 - t_3$ 期间等效电路

变压器初级电流为:

$$i_p = \frac{E_{in} \cdot t}{L_p} \quad (6)$$

当变压器次级电流上升到 I_{pm} 满足

$$P_0 = \frac{L_p \cdot I_{pm}^2 \cdot \eta \cdot f}{2} \quad (7)$$

$$I_p = \frac{E_{in} \cdot t_{on}}{L_p} \quad (8)$$

其中 η 为电源效率

这时控制电路应将开关管关断。

2 控制方式

反激式开关电源工作在电流断续模式时,稳压过程遵守能量守恒原理,即式(7),由式(7)、(8)得

$$P_0 = \frac{E_{in}^2 \cdot t_{on} \cdot \eta}{2L_p} \quad (9)$$

或

$$P_0 = \frac{E_m^2 \cdot D \cdot \eta}{2L_p} \quad (10)$$

由(9)、(10)或可知,调节输出功率、稳定输出电压可以调节导通时间或占空比或调频方式或几种方式综合应用。当输出功率下降或电源电压上升,导通时间减小,反之导通时间增加;随输出功率的增加或减小变压器初次级电流峰值均增加或减小,由式(3)可知变压器的释放储能时间也随之增加或减少,为实现“零电压”开关,变压器不能工作在间歇状态,因此 PWM 控制方式不能满足本文电路的“零电压”开通的要求。

基于上述工作条件的约束,本文电路应采用输出电压反馈控制导通时间,用“零电压”检测控制开关管导通时刻,即调频、

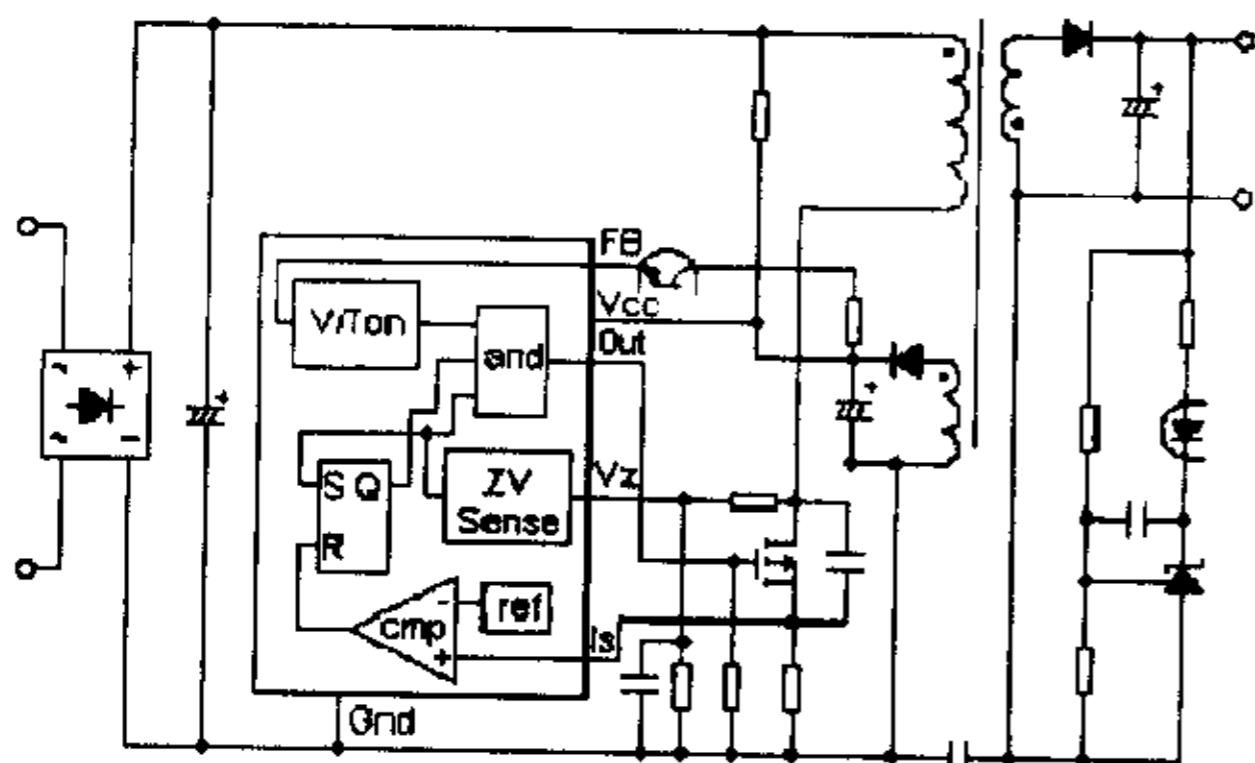


图7 应用电路

调占空比工作方式。具体电路可以采用通用器件组合,如图7。

3 电路性能分析

本文提出的“零电压”开关方式,复位过程也无损耗,基本消除了开关过程中的开关损耗,因此效率高,通常高于85%相对有损耗缓冲电路整机电源效率高5-10%,不仅如此由于“零电压”开关在开通过程中基本上实现了零电压开通,同时电感电流也为零,使开通过程既无能量交换(包括寄生参数的能量交换)又使输出整流二极管在缓冲电路复位过程中有充分时间和缓变电压下缓慢反向恢复,开通时刻因寄生振荡所产生的输出电压尖峰和EMI大幅度降低,由于零电压关断和较大容量缓冲电容器使关断过程避免了大的dv/dt,抑制了变压器漏感和二极管开通造成的寄生振荡,因而开关管关断时刻的输出尖峰电压和EMI也很小,基本上消除了常规有损耗缓冲电路对以致开关电压尖峰抑制现象。

本文电路用于5V输出的稳压电源,很容易做到输出电压尖峰小于10mV_{p-p}。由于EMI很小,非常适用于大屏幕彩色电视机、无线电发射与接受用电源。

在设计时需要注意的是:与常规有损耗缓冲电路和PWM控制方式相比,V_r值不应低于E_m, (如AC220V输入,V_r值应选300V而不是200V或130V,以保证在通常条件下能实现真正的零电压开关,尽管V_r值选得很高,开关管的实际电压峰值并不十分高,由于有效的关断缓冲,使开关管电压过冲很小(20-30V),即使在最高电源电压时(电源电压+20%,即AC:264V整流后DC:370V),开关管电压峰值为700V,可以选用耐压为700V的开关管(一般MOSFET的击穿电压为额定电压的105-110%,而且具有抗雪崩击穿能力)

尽管电路原理分析可以实现“零”或极低的输出电压尖峰和EMI,实际上由于各种原因的寄生振荡仍然存在,在开关过程中也会产生不同程度的输出电压尖峰和EMI,因此适当减缓开关过程有时是必要的,也可以采用开通过程的比例驱动。由于零电压开关消除了变压器储能释放后缓冲电容器与变压器初级电感的寄生振荡,有利于减小变压器的损耗。

本文提出的反激式开关电源零电压开关电路的过电流保护应采用逐周峰值电流限制方式,在过电流状态下将不是零电压开关,开关损耗将增加,因此应辅之以“打嗝”保护方式。

4 结论

作者应用本文技术改造了一台康佳T2512A、63厘米彩色电视机的电源部分,改造后的整机电源效率达90%,高出原机电源效率10个百分点以上,输出电压尖峰不到20mV,EMI也较原机电源小,原机电源在低频道时机内电源对图象有较明显的干扰,改造后,在各频道均没有任何干扰,而且发热减少,表明:本技术特别适合于大屏幕彩色电视机。

作者简介

陈永真,辽宁工学院电力电子与电力传动硕士研究生导师,主要从事电力电子技术的教学科研工作。

(上接第158页)

作者简介

阮新波,男,1970年2月生,博士学位,教授,研究方向为高

频软开关直-直变换器、高频软开关逆变器和变换器的建模分析。