

开关电源中几种过流保护方式的比较

杨恒

〔飞兆科技有限公司（台湾），上海 200070〕

摘要：在输出短路或过载时对电源或负载进行的保护，即为过电流保护，简称过流保护。介绍了过流保护的几种型式，如 Γ 字型、恒流型、恒功率型等，并进行了比较。

关键词：过流保护；检测；比较

0 引言

电源作为一切电子产品的供电设备，除了性能要满足供电产品的要求外，其自身的保护措施也非常重要，如过压、过流、过热保护等。一旦电子产品出现故障时，如电子产品输入侧短路或输出侧开路时，则电源必须关闭其输出电压，才能保护功率 MOSFET 和输出侧设备等不被烧毁，否则可能引起电子产品的进一步损坏，甚至引起操作人员的触电及火灾等现象，因此，开关电源的过流保护功能一定要完善。

1 开关电源中常用的过流保护方式

过电流保护有多种形式，如图 1 所示，可分为额定电流下垂型，即 Γ 字型；恒流型；恒功率型，多数为电流下垂型。过电流的设定值通常为额定电流的 110% ~ 130%。一般为自动恢复型。

图 1 中 表示电流下垂型， 表示恒流型， 表示恒功率型。

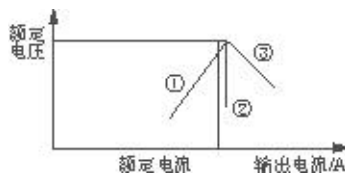


图 1 过电流保护特性

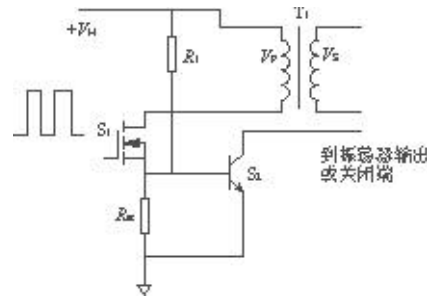
1.1 用于变压器初级直接驱动电路中的限流电路

在变压器初级直接驱动的电路（如单端正激式变换器或反激式变换器）的设计中，实现限流是比较容易的。图 2 是在这样的电路中实现限流的两种方法。

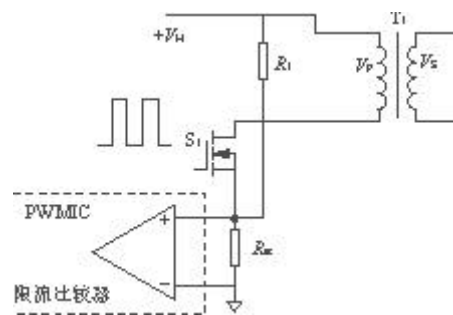
图 2 电路可用于单端正激式变换器和反激式变换器。图 2 (a) 与图 2 (b) 中在 MOSFET 的源极均串入一个限流电阻 R_{sc} ，在图 2 (a) 中， R_{sc} 提供一个电压降驱动晶体管 S_2 导通，在

图 2 (b) 中跨接在 R_{sc} 上的限流电压比较器，当产生过流时，可以把驱动电流脉冲短路，起到保护作用。

图 2 (a) 与图 2 (b) 相比，图 2 (b) 保护电路反应速度更快及准确。首先，它把比较放大器的限流驱动的阈值电压预置在一个比晶体管的阈值电压 V_{be} 更精确的范围内；第二，它把所预置的阈值电压取得足够小，其典型值只有 $100\text{mV} \sim 200\text{mV}$ ，因此，可以把限流取样电阻 R_{sc} 的值取得较小，这样就减小了功耗，提高了电源的效率。



(a) 晶体管保护



(b) 限流比较器保护

图 2 在单端正激式或反激式变换器电路中的限流电路

当 AC 输入电压在 $90 \sim 264\text{V}$ 范围内变化，且输出同等功率时，则变压器初级的尖峰电流相差很大，导致高、低端过流保护点严重漂移，不利于过流点的一致性。在电路中增加一个取自 $+V_H$ 的上拉电阻 R_1 ，其目的是使 S_2 的基极或限流比较器的同相端有一个预值，以达到高低端的过流保护点尽量一致。

1.2 用于基极驱动电路的限流电路

在一般情况下，都是利用基极驱动电路把电源的控制电路和开关晶体管隔离开来。变换器的输出部分和控制电路共地。限流电路可以直接和输出电路相接，其电路如图 3 所示。在图 3 中，控制电路与输出电路共地。工作原理如下：

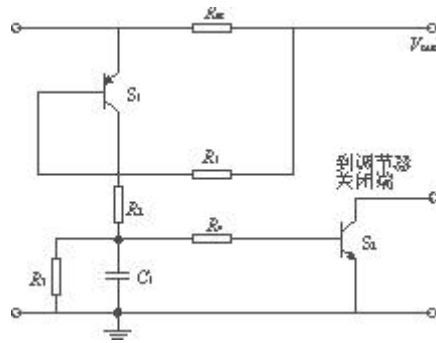


图3 用于多种电源变换器中的限流电路

电路正常工作时，负载电流 I_L 流过电阻 R_{sc} 产生的压降不足以使 S_1 导通，由于 S_1 在截止时 $I_{C1}=0$ ，电容器 C_1 处于未充电状态，因此晶体管 S_2 也截止。如果负载侧电流增加，使 I_L 达到一个设定的值，使得 $I_L R_{sc} = V_{be1} + I_{b1} R_1$ ，则 S_1 导通，使电容器 C_1 充电，其充电时间常数 $\tau = R_2 C_1$ ， C_1 上充满电荷后的电压是 $V_{C1} = I_{b2} R_4 + V_{be2}$ 。在电路检测到有过流发生时，为使电容器 C_1 能够快速放电，应当选择 $R_4 \ll R_3$ 。 R_2 的选用原则为 $I_{b1max} = (V_{in} - V_{be1}) / R_1$ ， $I_{C1} = \beta \times I_{b1max}$ ，则 $R_2 = (V_{in} - V_{cesat1}) R_1 / (V_1 - V_{be1})$ 。如果参数设计正确，由 V_{C1} 所产生的偏压足以使 S_2 快速进入导通状态，通过 S_2 的集电极输出可以进一步关闭 PWM 的驱动信号。当过载现象解除后，电路可以自动恢复到正常工作状态。

1.3 无功率损耗的限流电路

上述两种过流保护比较有效，但是 R_{sc} 的存在降低了电源的效率，尤其是在大电流输出的情况下， R_{sc} 上的功耗就会明显增加。图 4 电路利用电流互感器作为检测元件，就为电源效率的提高创造了一定的条件。

图 4 电路工作原理如下：利用电流互感器 T_2 监视负载电流 I_L ， I_L 在通过互感器初级时，把电流的变化耦合到次级，在电阻 R_1 上产生压降。二极管 D_3 对脉冲电流进行整流，经整流后由电阻 R_2 和电容 C_1 进行平滑滤波。当发生过载现象时，电容器 C_1 两端电压迅速增加，使齐纳管 D_4 导通，驱动晶体管 S_1 导通， S_1 集电极的信号可以用来作为电源变换器调节电路的驱动信号。

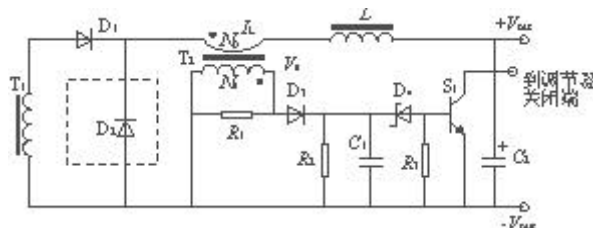


图4 无功耗限流电路

电流互感器可以用铁氧体磁芯或 MPP 环型磁芯来绕制，但要经过反复实验，以确保磁芯不饱和。理想的电流互感器应该达到匝数比是电流比。通常互感器的 $N_p=1$ ， $N_s=N_p I_p R_1 / (V_s + V_{D3})$ 。具体绕制数据最后还要经过实验调整，使其性能达到最佳状态。

1.4 用 555 做限流电路

图 5 为 555 集成时基电路的基本框图。

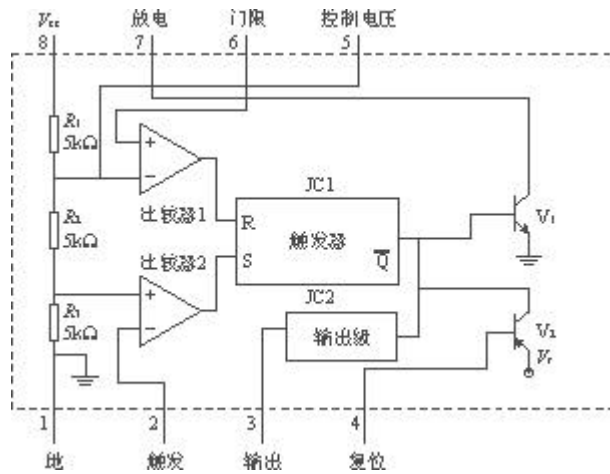


图 5 555 集成时基电路的基本框图

555 集成时基电路是一种新颖的、多用途的模拟集成电路，有 LM555，RCA555，5G1555 等，其基本性能都是相同的，用它组成的延时电路、单稳态振荡器、多谐振荡器及各种脉冲调制电路，用途十分广泛，也可用于直接变换器的控制电路。

555 时基电路由分压器 R_1 、 R_2 、 R_3 ，两个比较器，R-S 触发器以及两个晶体管等组成，电路在 5 ~ 18V 范围内均能工作。分压器提供偏压给比较器 1 的反相输入端，电压为 $2V_{cc}/3$ ，提供给比较器 2 的同相输入端电压为 $V_{cc}/3$ ，比较器的另两个输入端脚 2、脚 6 分别为触发和门限，比较器输出控制 R-S 触发器，触发器输出供给输出级以及晶体管 V_1 的基极。当触发器输出置高时， V_1 导通，接通脚 7 的放电电路；当触发器输出为低时， V_1 截止，输出级提供一个低的输出阻抗，并且将触发器输出脉冲反相。当触发器输出置高时，脚 3 输出的电压为低电平，触发器输出为低时，脚 3 输出的电压为高电平。输出级能够提供的最大电流为 200mA，晶体管 V_2 是 PNP 管，它的发射极接内部基准电压 V_r ， V_r 的取值总是小于电源电压 V_{cc} ，因此，若将 V_2 的基极（脚 4 复位）接到 V_{cc} 上， V_2 的基—射极为反偏，晶体管 V_2 截止。

图 6 为用 555 做限流保护的电路，其工作原理如下：UC384X 与 S_1 及 T_1 组成一个基本的 PWM 变换器电路。UC384X 系列控制 IC 有两个闭环控制回路，一个是输出电压 V_o 反馈至误差放大器，用于同基准电压 V_{ref} 比较之后产生误差电压（为了防止误差放大器的自激现象产生，直接把脚 2 对地短接）；另一个是变压器初级电感中的电流在 T_2 次级检测到的电流值在 R_8 及 C_7 上的电压，与误差电压进行比较后产生调制脉冲的脉冲信号。当然，这些均在时钟所设定的固定频率下工作。UC384X 具有良好的线性调整率，能达到 0.01%/V；可明显地改善负载调整率；使误差放大器的外电路补偿网络得到简化，稳定度提高并改善了频响，具有更大的增益带宽乘积。UC384X 有两种关闭技术；一是将脚 3 电压升高超过 1V，引起过流保护开关关闭电路输出；二是将脚 1 电压降到 1V 以下，使 PWM 比较器输出高电平，PWM 锁存器复位，关闭输出，直到下一个时钟脉冲的到来，将 PWM 锁存器置位，电路才能重新启动。电流互感器 T_2 监视着 T_1 的尖峰电流值，当发生过载时， T_1 的尖峰电流迅速上升，使 T_2 的次级电流上升，经 D_1 整流， R_9 及 C_7 平滑滤波，送到 IC₁ 的脚 3，使 IC₁ 的脚 1 电平下降（注意：接 IC₁ 脚 1 的

R_3, C_4 必须接成开环模式, 如接成闭环模式则过流时 555 的脚 7 放电端无法放电)。IC₁ 的脚 1 与 IC₂ 的脚 6 相连接, 使 IC₂ 的比较器 1 同相输入端的电压降低, 触发器 Q 输出高电平, V_1 导通, IC₂ 的脚 7 放电, 使 IC₁ 的脚 1 电平被拉低于 1V, 则 IC₁ 输出关闭, S_1 因无栅极驱动信号而关闭, 使电路得到保护。若过流不消除, 则重复上述过程, IC₁ 重新进入启动、关闭、再启动、再关闭的循环状态, 即“打嗝”现象。而且, 过负载期间, 重复进行着启振与停振, 但停振时间长, 启振时间短, 因此电源不会过热, 这种过负载保护称为周期保护方式(当输入端输入电压变化范围较大时, 仍可使高、低端的过流保护点基本相同)。其振荡周期由 555 单稳多谐振荡器的 RC 时间常数 决定, 本例中 $=R_1C_1$, 直到过载现象消失, 电路才可恢复正常工作。电流互感器 T2 的选择同 1.3 的互感器计算方法。

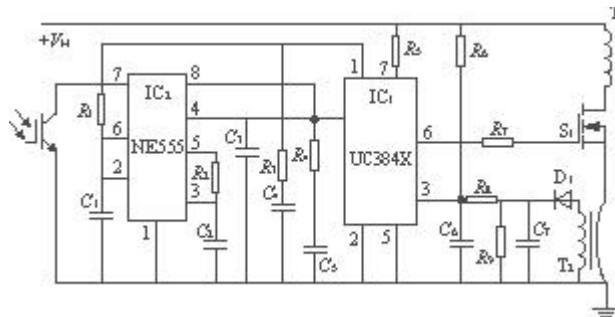


图 6 用 555 做限流保护电路

图 6 电路, 可以用在单端反激式或单端正激式变换器中, 也可用在半桥式、全桥式或推挽式电路中, 只要 IC1 有反馈控制端及基准电压端即可, 当发生过流现象时, 用 555 电路的单稳态特性使电路工作在“打嗝”状态下。

1.5 几种过流保护方式的比较

几种过流保护方式的比较如表 1 所列。

表 1 几种过流保护方式的比较

电路模式	所用元器件	调试难易程度	保护性能	功耗	对效率的影响
电阻初级限流电路	少	易	差	大	较大
基极驱动限流电路	较少	较易	较差	较大	大
无功耗限流电路	较多	较易	较好	较小	较小
用 555 作限流电路	多	易	好	小	小

2 结语

作者经过长期的研发与生产, 比较了开关电源中所使用的各种过流保护方法, 可以说, 几乎没有一种过流保护方式是万能的, 只有用 555 的保护方式性能价格比是较好的。一般来说, 选择何种过流保护方式, 都要结合具体的电路变换模式而做出相应的选择。只有经过认真的分析, 大量的实验才能找到最适合的过流保护方式。保护方式设计的合理、有效, 意味着产品的可靠性才可能更高。

作者简介

杨恒（1964 - ），男，大学，高级工程师。87年开始从事于开关电源的研发，设计与生产管理工作至今。目前在飞兆科技股份有限公司(台湾)担任研发部经理。发表论文数篇，其中《两级交叉正激式同步整流拓扑》被评为2003年度上海市青年优秀论文三等奖。