

文章编号: 1005-0523(2008)03-0095-05

开关电源安全保护电路剖析

曾兀彧¹, 史晓红²

(1. 井冈山大学, 江西 吉安 343009; 2. 江西旅游商贸职业学院, 江西 南昌 330003)

摘要: 电子设备的能量一般由开关电源供给, 其设备的安全、可靠性在很大程度上依赖于开关电源的保护电路。据不完全统计, 电子设备的安全、可靠性问题 80% 源于设计。通过剖析开关电源的浪涌电流保护、过流保护、过压保护、欠压保护等电路的设计原理与特点, 指出了电路中存在的不足, 归纳了保护电路组成的基本单元。

关键词: 开关电源; 安全保护电路; 剖析

中图分类号: TM56

文献标识码: A

对于开关电源而言, 安全、可靠性历来被视为重要的性能之一。开关电源在电气技术指标满足电子设备正常使用要求的条件下, 还要满足外界或自身电路或负载电路出现故障的情况下也能安全可靠地工作。为此, 须有多种保护措施。对保护电路的特点分析, 对存在不足期待克服, 希望设计出更安全、更可靠的保护电路。

1 浪涌电流电路剖析

浪涌电流是由于电压突变所引起。如电子设备在第一次加电压时, 由于大容量电源电容器充电引起的涌入初始电流——开机浪涌电流; 又如直击雷、感应雷沿着电源线进入开关电源的突变电压所产生瞬态电流——雷浪涌电流。浪涌电流上升时间非常快, 持续时间非常短, 破坏作用非常大。为防止或减轻浪涌电流的破坏, 设置抑制浪涌电流或将浪涌电流转移到地线等方式来保护开关电源避免浪涌电流的损害。

1.1 启动限流保护

开关电源的初级整流电路有大容量滤波电容, 开机瞬间整流管向这些大电容充电, 使整流管瞬时电流超过额定值。为减小开机启动限流(浪涌电流), 开关电源通常都设有抗冲击电路。如图 1 电路,

在开机瞬间, 开关电源变压器的 3、4 绕组电压为 0V, VD5 截止, 晶闸管 VD6 的 G、K 极间电压为 0V, VD6 截止。充电电流路径: AC220V → VD1-4 正极 → 大电容 C1 → 地 → R2 → VD1-4 负极。由于 R2 有阻碍大电流作用(一般设为 3.3Ω), 因此能有效限制开机浪涌电流。

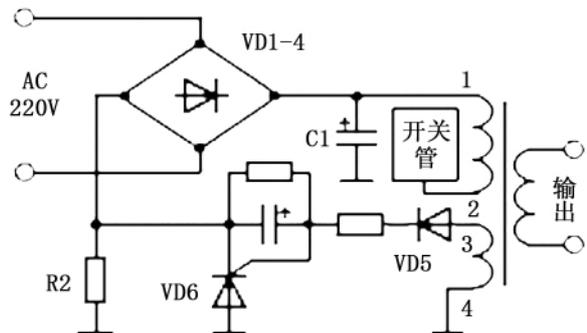


图1 晶闸管启动限流保护

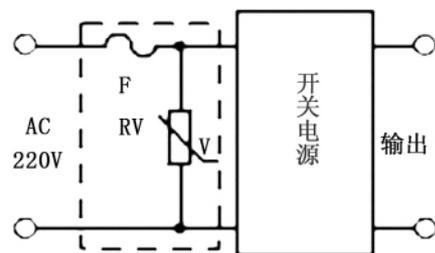


图2 压敏电阻-雷浪涌电流保护

收稿日期: 2008-03-30

作者简介: 曾兀彧(1957-), 男, 江西吉安人, 副教授, 从事电子技术、电力电子及功率器件应用研究。

开关电源正常工作后,开关电源变压器的1、2绕组上产生感应电压,对C2充电(充电时间常数约等于 $R3 \times C2$),使VD6导通,整流电流不再经R2,而是经VD6的A、K极返回整流桥VD1-4的负极.也就是说,在正常工作状态,VD6将R2短路,防止R2产生功耗.R2仅在开机瞬间起作用.

用晶闸管作启动限流保护安全可靠,但电路比较复杂些,从电路成本和电路简捷等角度来说用温控电阻作启动限流保护,它既经济又简单更安全可靠,如图3.

1.2 雷浪涌电流保护

电网输电线受到雷击或感应雷时,输电线中的感应突变电压会产生浪涌电流.为防范雷浪涌电压和电流冲击,常在电源的输入端并联一个或几个压敏电阻来释放雷浪涌电流的冲击.图2电路是用压敏电阻来防范雷浪涌电流,压敏电阻 R_v 常态下呈高阻抗(近似开路),当电网输电线遇到雷击或感应雷,压敏电阻 R_v 两端瞬间超过它的启动电压,它将立即由高阻抗变为低阻抗(近似短路),使雷浪涌电流释放,同时交流保险丝F熔断,起到防输电线被雷击或感应雷而损坏电子设备的目的.

1.3 实际电路分析及仿真测试

图3电路是一个典型的实际开关电源部分电路.

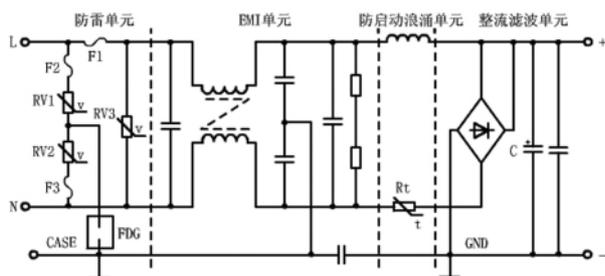


图3 实际开关电源部分电路

防雷单元:当有雷击,产生高压经电网导入电源时,由 R_v1 、 R_v2 、 R_v3 、 $F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 和FDG组成的电路进行保护.当加在压敏电阻两端的电压超过其工作电压时,其阻值降低,使高压能量被压敏电阻所消耗.若电流过大, $F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 会烧毁保护后级电路.

防开机浪涌单元:当电源开启瞬间,要对C充电,由于瞬间电流大,其能量全消耗在温控电阻 R_t 上.由于 R_t 的特性是随温度上升电阻呈指数关系减小(R_t 为负温系数元件),瞬间温度升高后 R_t 阻值减小(呈低阻抗),这时它消耗的能量非常小,后级电路可正常工作.温控电阻 R_t 由高阻抗变为低阻抗,有效地防止浪涌电流.

模拟实验:用雷击浪涌电流发生器模拟保护电路加入前后的实验测试波形如图4和开机浪涌电流测试波形如图5.模拟实验表明,浪涌电流的共同点是作用时间短(几至几十纳秒),冲击电流大(雷击浪涌电流可达几十至几千安培,开机浪涌电流超过工作电流的数十倍以上),加入保护电路后尖峰被削去.

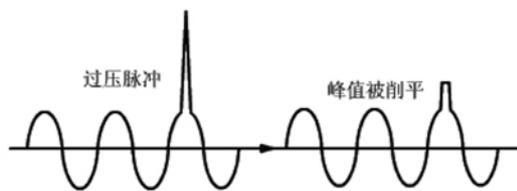


图4 雷击浪涌热敏电阻工作波形

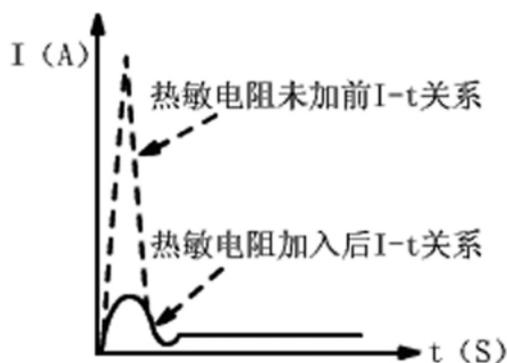


图5 启动浪涌热敏电阻工作波形

2 过流保护电路剖析

众所周知,当电源输出端超过额定负载或短路或控制电路失去控制能力等意外情况时,会造成电子设备不能正常工作或对电子设备造成损坏等.过流保护电路有断路法、振荡器调频法.

2.1 断路法过流保护

防范电路中的电流过流,最经济简便的方法是用保险丝.保险丝熔断保护分为交流保险和直流保险二类.当负载电流发生意外其电流超过保险丝的熔断值(熔断系数一般在1.1~1.5之间)时,保险丝熔断,达到过流保护目的.但在开机瞬间,由于大电容的充电,会产生很大的浪涌电流,这个浪涌电流一般为正常输入电流的数倍,容易使保险丝熔断,而发生错误判断,这是它的主要缺陷.

2.2 振荡器调频法过流保护

所谓调频法就是通过检测比较放大电路产生一个控制信号使振荡器的振荡频率发生变化,使负载电压降低,从而达到负载电流减小目的.通常过电流

保护设定值为额定电流的 110% ~ 130% ,能自动恢复.

在互感器的耦合下,若输出端有过载或短路情况发生时,此时初级电流会很快地增加,检测电阻 R_S (锰铜丝) 上的电压 V_{RS} 就会增大. 在图 6 (A) 此电压 V_{RS} 超过 V_2 的 B-E 导通电压, V_2 导通,由于 V_2 集电极接的是振荡电路的控制端,使振荡电路的振荡减缓或停止振荡. 在图 6 (B) V_{RS} 经电压比较器后输出一个控制信号到振荡电路,调节振荡频率,使输出电压降低,减小负载电流,达到保护的目. 图 6 (B) 与图 6 (A) 的过流保护精度要高,因 (B) 电路设计了误差比较和误差放大电路.

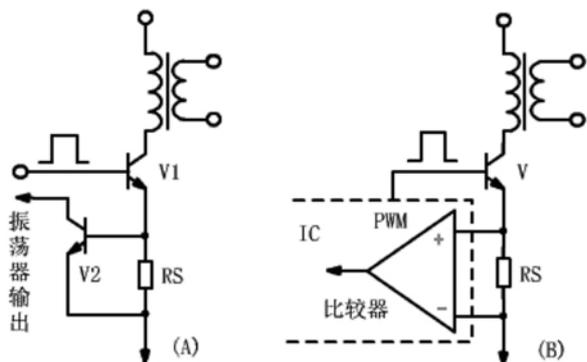


图 6 过流保护之一

如图 7 所示为恒流过流保护电路. 电路中 R_1 和 R_2 对 V_R 进行分压,电阻 R_2 上分得的电压 $V_{R2} = V_R [R_2 / (R_1 + R_2)]$ 负载电流 I_0 , 测电阻 R_S 上的电压 $V_S = I_0 R_S$, 电压 V_S 和 V_{R2} 进行比较,如果 $V_S > V_{R2}$, A 输出控制信号,使脉冲信号频率变化,使输出电压下降,输出电流 I_0 减小.

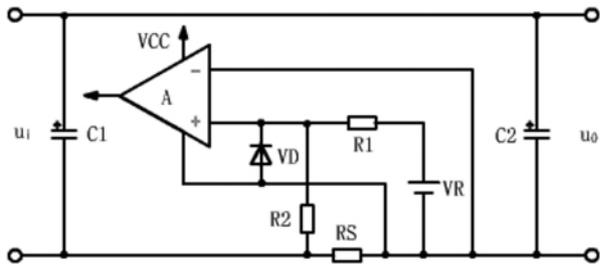


图 7 过流保护之二

图 8 是常见的光电耦合器驱动过流保护电路,其工作原理:当输出电流过大时, R_S 两端电压上升, IC_2 ②脚电压高于③脚基准电压, IC_2 输出高电压, V_1 导通,光电耦合器 IC_1 发生光电效应,使振荡电路的振荡频率发生变化,从而控制开关管的脉冲信号的宽度(或频率)发生变化,使得输出电压降低,达到输出过载限流的目的.

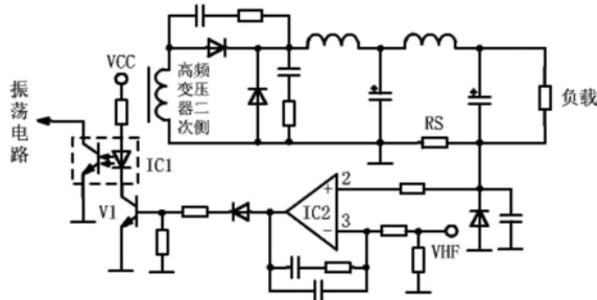


图 8 过流保护之三

2.3 存在不足

检测电阻 R_S 总是串在电路中,若检测电阻 R_S 值取得较小,电路保护反应速度不快,精度也不太高,若检测电阻 R_S 值取得太大,功耗就会明显增加. 检测电阻 R_S 存在着无功损耗而降低开关电源的效率. 为减小检测电阻 R_S 的无功损耗,将采取检测信号放大等电路,提高保护电路的反应速度、精度.

3 过压保护电路剖析

开关电源电路过压分为电源外因过压和内因过压,它们都会使电子设备工作异常或烧毁电子设备的器件. 电源外因过压主要有错接入 380 V 的电压;内因过压主要来自开关电源本身电路异常或元器件损坏(失去稳压控制)使输出电压过高. 最常见的过压保护电路有断路法和开关管截止法.

3.1 断路法过压保护

外因过压主要来自工频电网电压过高,如因错接入 380 V 的电压,如图 9 是一个用继电器 J 关断电路起保护的电路. 当交流电源正常时,通过稳压管 V_S 的电流很小, $I_{RR} < V_{be}Q$, 因而三极管 V 截止,继电器 J 处于常闭(导通)状态. 因某种原因交流电源

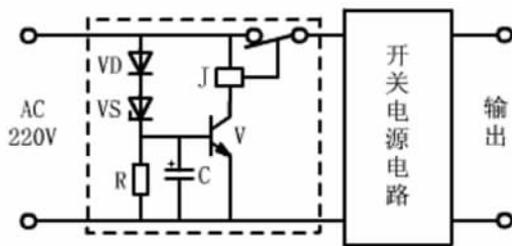


图 9 继电器过压保护

高于正常状态值时,通过稳压管 V_S 的电流很大, $I_{RR} > V_{be}Q$, 导致三极管 V (饱和) 导通,继电器 J 动作,切断输入电路,从而达到保护开关电源电路及负载电路. 当交流电源恢复正常时,三极管 V 截止,继

电器 J 处于常闭(导通)状态.优点是能自动恢复供电,缺点是稳定性差,继电器 J 的体积较大.

3.2 开关管截止法过压保护

开关电源本身电路异常或元器件损坏(失去稳压控制)使输出电压过高.如图 10 所示是用可控硅驱动的过压保护电路.在正常的电压输出情况下, T803 第 3 绕组中上端正、下端负的电势经 R1、R2 分压后不能使 VD 击穿导通,可控硅 V2 也截止,保护电路不动作.因某原因开关管 V1 失去稳压控制,输出电压异常升高,高频变压器 T 第 3 绕组电压经 R1、R2 分压后将超过 VD 的击穿电压值,使 VD 击穿并引起可控硅 V2 触发导通.可控硅 V2 触发后,使电容 C 上端接地,并使开关管 V1 迅速截止.高频变压器 T 第 3 绕组电压经整流后,能使稳压电路输出减弱振荡控制信号,进一步使开关管 V1 加速截止.保护电路动作后,由于整流滤波后的直流电压经 R3 给可控硅 V2 的 A 极供电,所以 V2 将一直导通下去,直到故障排除后再次开机, V2 才截止.

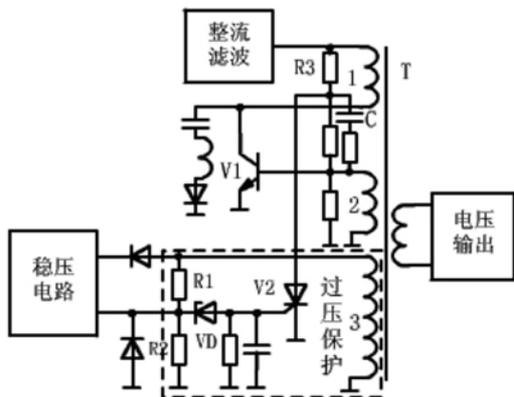


图 10 过压保护之一

如图 11 所示是用光电耦合器驱动的过压保护电路.其中,光电耦合器 IC1 在开关电源中起两个作用.一是实现固态继电器;另一个作用是对输入与输出进行了隔离.

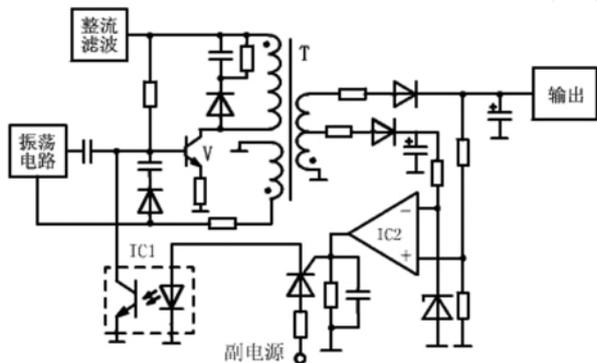


图 11 过压保护之二

当输出电压超过正常值时,在误差比较放大器 IC2 的驱动下,使光电耦合器 IC1 内部发光二极管发光,进而使 IC1 光电耦合器的内部光敏三极管饱和和导通,于是开关管 V 脉冲电流被光敏三极管短路,所以开关管 V 迅速截止.保护电路动作后,由于副电源直流电压可控硅的 A 极供电,所以可控硅将一直导通下去,光敏三极管也一直饱和和导通,直到再次开机.

3.3 存在不足

由于开关管截止,没有输出电压.但当输入接线而引入 380 V 的电压时,其滤波电容、开关管等元件所加的电压仍然为 380 V,若这些元件的耐压不够而损坏.

4 实际电路分析

如图 12 为一个实际开关电源电路.220 V 的交流电经整流滤波后得到约 300 V 的直流电压,再经 T3 的 5、1 端绕组加到 V3(大功率开关管)集电极. L22、L23 可延续脉冲电流对 V3 电极的冲击, C23、C24 可吸收 V3 集电极尖峰脉冲,以防止 V3 击穿损坏. T3 的 9、7 端绕组为正反馈绕组,其反馈电势经 R26、C19 耦合到 V3 基极,从而使 V3 产生自激振荡.振荡频率为 30 - 60 kHz. VD39 为正反馈耦合电容 C19 提供放电回路,同时又将 V3 在截止期的 b - e 极反向电压限制在 0.7 V,以防止 V3 的 b - e 击穿.

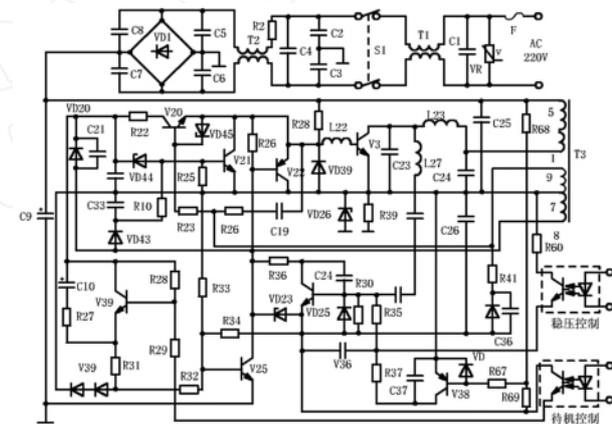


图 12 实际开关电源电路

V20 为恒流驱动管, T3 的 8、7 端绕组电势经 VD20 整流和 C21 电容滤波后建立约 8 V 左右的直流电压,该电压经 R22 给 V20 集电极供电.在开关管 V3 饱和期间, T3 的 9 端的电势经 R23 使 V20 导通,因此 V20 是为 V3 提供恒流驱动电流,其大小由

R22 阻值决定,恒流驱动使开关电源交流输入电压范围扩大至 90 - 270 V.

V21 有两个作用,第一是过压保护,当 C21 两端的电压由正常值 8 V 上升到 10 V 时,VD44 击穿导通,并引起 V21 导通,V3 基极激励电流被 V21 的 c - e 极所短路,使开关管 V3 处于截止状态而被保护.第二个作用是对 V3 导通进行延时控制.在 V3 截止期间,T3 的 8 端正电势、7 端的负电势经 VD43 给 C33 充电,当 V3 由截止状态向饱和状态翻转时,C33 所充电压将维持 V21 再导通一段时间,在此期间内,V21 对 V3 基极的激励电流进行分流,也就是将 V3 的导通延时了一段时间,此时 V3 集电极电压已下降至低点,以减小 V3 由截止向饱和状态翻转瞬间产生的功率损耗.

V38 是欠压保护控制管,首先是 T3 的 7 端为正电势、9 端为负电势并经 VD24 整流在 C26 上建立约 -10 V 直流电压,此 -10 V 电压经 R69、R67 加到 V38 的基极.另外,300V 电压经 R68 也加到 V38

基极.当输入交流电压低于 110 V 时,也就是说整流、滤波后得到的直流电压从 300 V 降低至 150V 以下,此时 V38 基极电位也降低,于是 V38 导通,然后引起 V24、V22 导通,V3 基极激励电流被 V22 旁路,使开关管 V3 处于截止状态而起保护.

V25 是过流保护控制管,R39 是开关管 V3 的过流检测电阻,R39 上的过流压降经 R33 加到 V25 基极,使 V25 导通后引起 V22 导通,因而开关管 V3 由于过流而被处于截止状态.

参考文献:

- [1] 沙占友,等.新型单片开关电源设计与应用技术[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [2] 周志敏,周纪海.开关电源实用技术设计与应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.
- [3] 徐德鸿.开关电源设计指南(第2版)[M].北京:机械工业出版社,2001.

An Analysis of the Switch Electricity Security Protection

ZENG Wu - yu ,SHI Xiao - hong

(Jinggangshan University ,Ji' an ,343009; Jiangxi Tourism & Commerce College ,Nanchang 330003 ,China)

Abstract: The electrical source is commonly supplied by electronic facilities ,the security and reliability of which is to a large extent based on the circuit protection from their switches. By an incomplete statistics ,eight percent of the security and reliability problems of electronic facilities result from the design of circuits. This article points out the existing shortcomings in the electrical circuit and comes to a conclusion of the basic unites for the security protecting circuit by means of further analysis on the circuit protection of surge current ,over - carried voltage ,lower - carried voltage and over - carried current protection in the switch electrical source.

Key words: switch electrical source; security protecting circuit; analysis

(责任编辑:周尚超)

