



第1章 卫星通信概述

1.1 开关电源概述

1.2 开关电源的分类

1.3 开关电源的主要技术指标

1.4 开关电源典型结构

1.5 开关电源技术要点

1.6 开关器件

1.7 开关电源中的整流电路

1.8 电源设备的评价与测量



1.1 开关电源概述

1.1.1 开关电源的工作原理

开关电源的工作原理可以用图1-1进行说明。图中输入的直流不稳定电压 U_i 经开关S加至输出端，S为受控开关，是一个受开关脉冲控制的开关调整管，若使开关S按要求改变导通或断开时间，就能把输入的直流电压 U_i 变成矩形脉冲电压。这个脉冲电压经滤波电路进行平滑滤波后即可得到稳定的直流输出电压 U_o 。



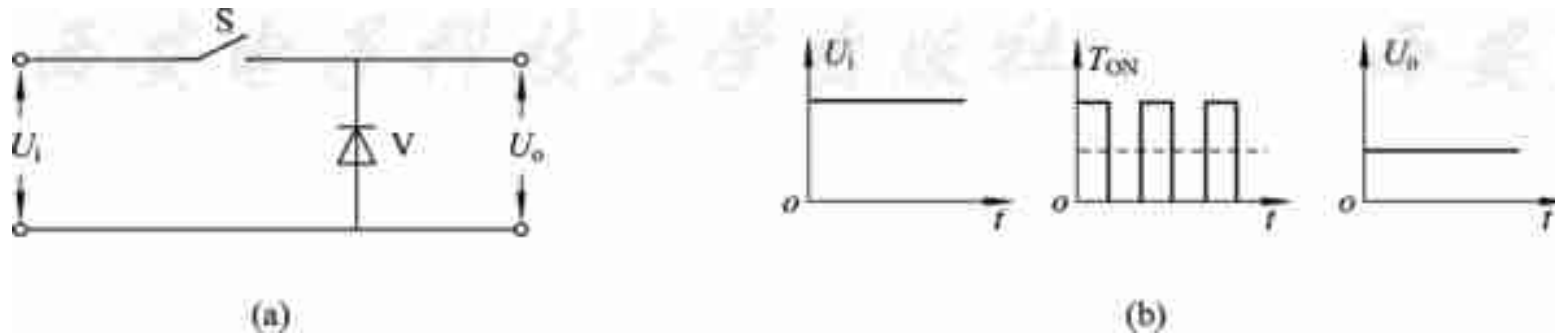


图1-1 开关电源的工作原理
(a) 电路图；(b) 波形图





为方便分析开关电源电路，定义脉冲占空比如下：

$$D = \frac{T_{\text{ON}}}{T} \quad (1-1)$$

式中， T 表示开关S的开关重复周期； T_{ON} 表示开关S在一个开关周期中的导通时间。

开关电源直流输出电压 U_o 与输入电压 U_i 之间有如下关系：

$$U_o = U_i D \quad (1-2)$$





由式(1-1)和式(1-2)可以看出，若开关周期 T 一定，改变开关 S 的导通时间 T_{ON} ，即可改变脉冲占空比 D ，从而达到调节输出电压的目的。 T 不变，只改变 T_{ON} 来实现占空比调节的稳压方式叫做脉冲宽度调制(PWM)。由于PWM式的开关频率固定，输出滤波电路比较容易设计，易实现最优化，因此PWM式开关电源用得较多。若保持 T_{ON} 不变，利用改变开关频率 $f=1/T$ 实现脉冲占空比调节，从而实现输出直流电压 U_o 稳压的方法，称做脉冲频率调制(PFM)。由于该方式的开关频率不固定，因此输出滤波电路的设计不易实现最优化。既改变 T_{ON} ，又改变 T ，实现脉冲占空比调节的稳压方式称做脉冲调频调宽方式。在各种开关电源中，以上三种脉冲占空比调节的稳压方式均有应用。





1.1.2 开关电源的组成

开关电源的基本组成如图1-2所示。其中DC/DC变换器用以进行功率变换，它是开关电源的核心部分；驱动器是开关信号的放大部分，对来自信号源的开关信号进行放大和整形，以适应开关管的驱动要求；信号源产生控制信号，该信号由它激或自激电路产生，可以是PWM信号、PFM信号或其他信号；比较放大器对给定信号和输出反馈信号进行比较运算，控制开关信号的幅值、频率、波形等，通过驱动器控制开关器件的占空比，以达到稳定输出电压值的目的。除此之外，开关电源还有辅助电路，包括启动、过流过压保护、输入滤波、输出采样、功能指示等电路。

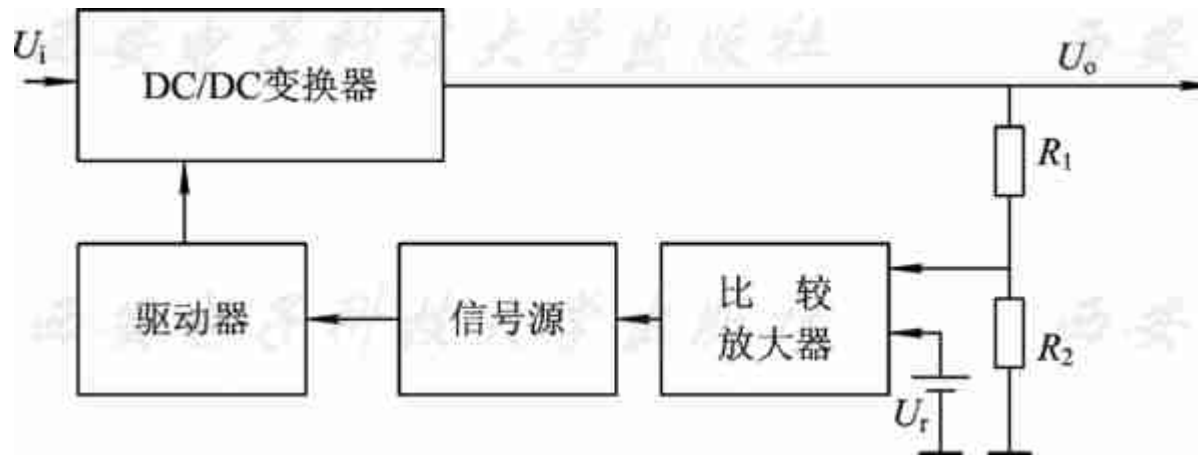


图1-2 开关电源的基本组成





DC/DC变换器有多种电路形式，其中控制波形为方波的PWM变换器以及工作波形为准正弦波的谐振变换器应用较为普遍。

开关电源与线性电源相比，其输入的瞬态变换比较多地表现在输出端，在提高开关频率的同时，由于比较放大器的频率特性得到改善，开关电源的瞬态响应指标也能得到改善。开关电源的负载变换瞬态响应主要由输出端LC滤波器的特性决定，所以可以通过提高开关频率、降低输出滤波器LC的方法来改善瞬态响应特性。





1.1.3 开关电源的特点

开关电源具有如下特点：

(1) 效率高。开关电源的功率开关调整管工作在开关状态，所以调整管的功耗小，效率高，一般在80%~90%，高的可达90%以上。

(2) 重量轻。由于开关电源省掉了笨重的电源变压器，节省了大量的漆包线和硅钢片，从而使其重量只有同容量线性电源的1/5，体积也大大缩小了。

(3) 稳压范围宽。开关电源的交流输入电压在90~270 V内变化时，输出电压的变化在±2%以下。合理设计开关电源电路，还可使稳压范围更宽，并保证开关电源的高效率。





(4) 安全可靠。在开关电源中，由于可以方便地设置各种形式的保护电路，因此当电源负载出现故障时，能自动切断电源，保障其功能可靠。

(5) 功耗小。由于开关电源的工作频率高，一般在20 kHz以上，因此滤波元件的数值可以大大减小，从而减小功耗；特别是，由于功率开关管工作在开关状态，损耗小，不需要采用大面积散热器，电源温升低，周围元件不致因长期工作在高温环境而损坏，因此采用开关电源可以提高整机的可靠性和稳定性。





1.2 开关电源的分类

为了使读者更好、更方便地设计和使用开关电源，在此按电路的输出稳压控制方式、开关电源的触发方式、电路的输出取样方式等多种角度，对开关电源进行分类。

1. 按电路的输出稳压控制方式分类

按电路的输出稳压控制方式，开关电源可分为脉冲宽度调制(PWM)式、脉冲频率调制(PFM)式和脉冲调频调宽式三种。这三种开关电源在1.1.1节已有介绍，这里不再赘述。





2. 按开关电源的触发方式分类

1) 自激式开关电源

自激式开关电源利用电源电路中的开关晶体管和高频脉冲变压器构成正反馈环路，来完成自激振荡，使开关电源输出直流电压。在显示设备的PWM式开关电源中，自激振荡频率同步于行频脉冲，即使在行扫描电路发生故障时，电源电路仍能维持自激振荡而有直流输出电压。

2) 它激式开关电源

它激式开关电源必须有一个振荡器，用以产生开关脉冲来控制开关管，使开关电源工作，输出直流电压。





3. 按电路的输出取样方式分类

1) 直接输出取样开关电源

直接输出取样电路在光电耦合器尚未应用时，主要在串联开关电源上使用；在光电耦合器应用后，开始在变压器耦合并联开关电源上使用。图1-3为直接输出取样电路在开关电源中的应用实例。

光电耦合器中三极管集电极电流 I_C 的大小与发光二极管电流 I_F 及光电耦合系数 h 成正比例关系，即

$$I_C = hI_F \quad (1-3)$$



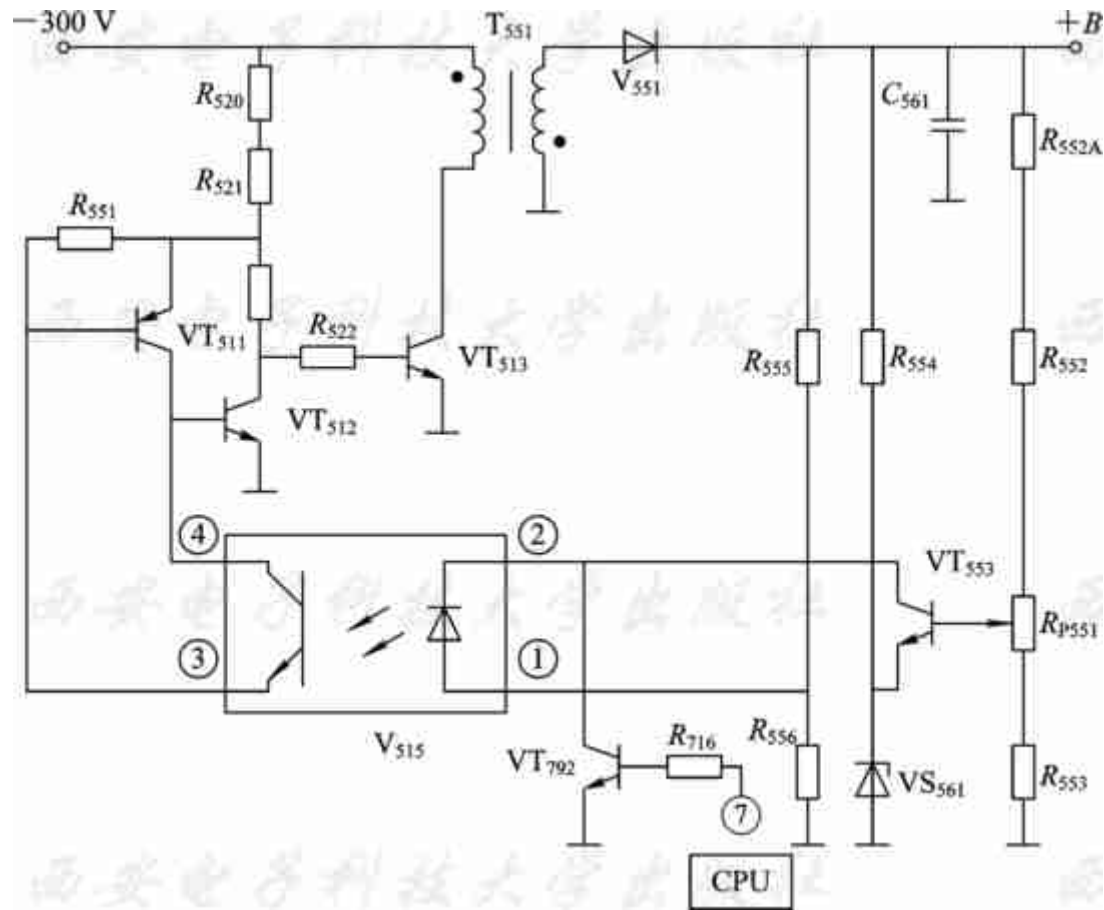


图1-3 直接输出取样开关电源电路





当开关电源的输出电压因输入电压升高或负载减轻而升高时，滤波电容 C_{561} 两端升高的电压一路经取样电阻 R_{555} 、 R_{556} 取样后，使光电耦合器 V_{515} 的①脚电压升高，即发光二极管正极电位升高；另一路经取样电阻 R_{552A} 、 R_{552} 、 R_{P551} 、 R_{553} 取样后使误差放大管 VT_{553} 的基极电位升高，由于 VT_{553} 发射极接有稳压管，其发射极电位不变，所以 VT_{553} 加速导通，集电极电位下降，于是 V_{515} 内的发光二极管发光强度增大，光电三极管内阻下降，脉宽调节电路的 VT_{511} 、 VT_{512} 相继导通，开关管 VT_{513} 导通时间减小，使输出电压下降到正常值。采用直接输出取样方式的开关电源，不仅安全性好，而且具有便于空载检修、稳压反应速度快、瞬间响应时间短等优点。





由误差取样电路与误差放大电路组成的三端误差取样放大器见图1-4。该放大器的电路结构不但得到了简化，其可靠性也得到了提高，因此目前视听设备的开关电源大多采用这种三端误差取样放大器的直接取样电路方式。



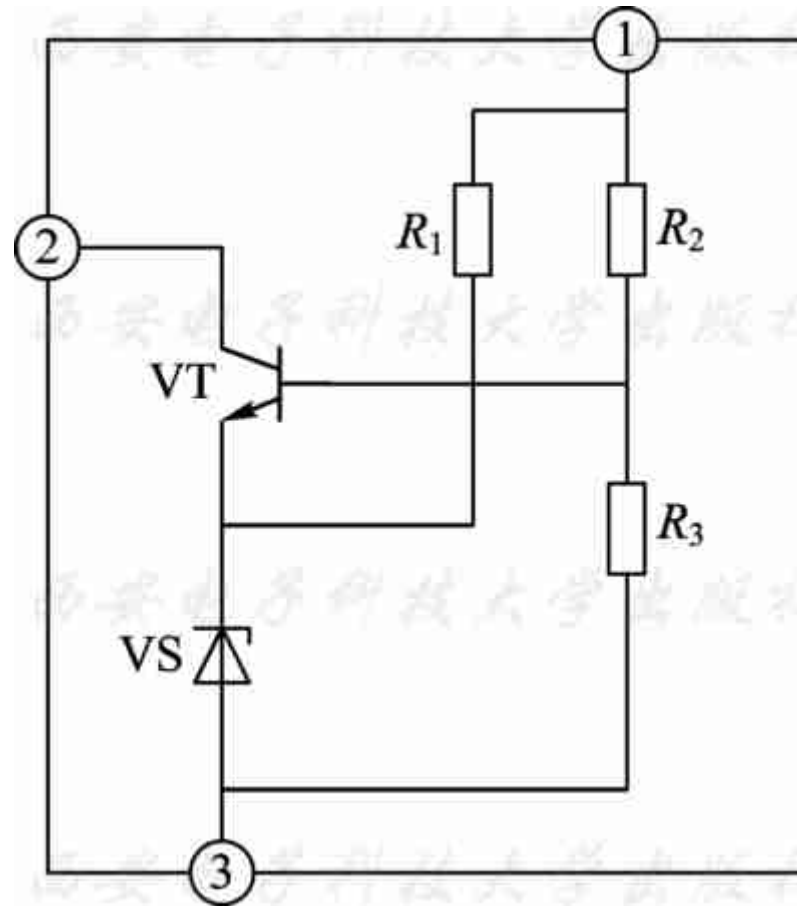


图1-4 三端误差取样放大器





2) 间接输出取样开关电源

图1-5所示是间接输出取样开关电源电路。该电路的特点是在开关变压器上专门设置了一个取样绕组，即①-②绕组，取样绕组感应的脉冲电压经 V_{811} 整流，在滤波电容 C_{815} 两端产生供取样电路取样的直流电压。由于取样绕组与次级绕组采用了紧耦合结构，因此滤波电容 C_{815} 两端电压的高低，就间接反映了开关电源输出电压的高低，所以这种取样方式称为间接输出取样方式。间接输出取样方式的缺点是响应差，当输出电压因输入电压等原因发生变化时，输出电压的变化须经开关变压器磁耦合才能反映到取样绕组两端，所以稳压速度低，并且这种开关电源不能空载检修，检修时须在输出端接替代负载。



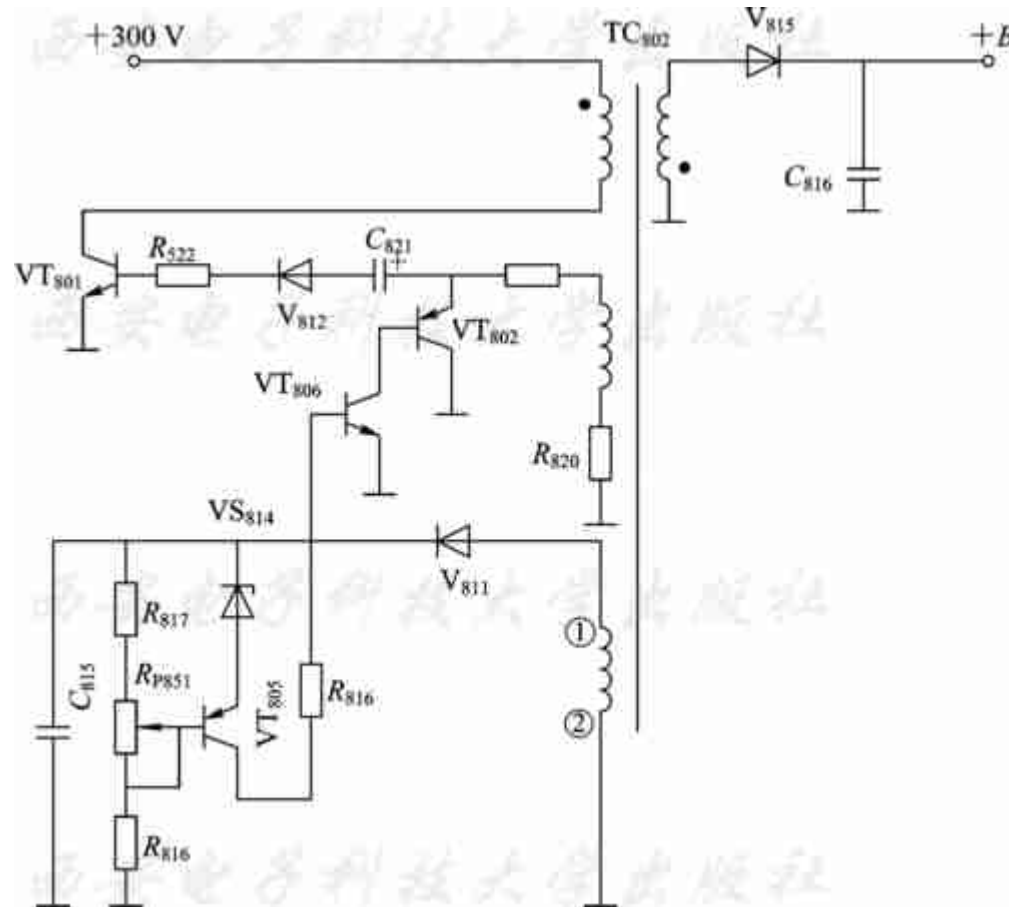


图1-5 间接输出取样开关电源电路





4. 按其他方式分类

开关电源按功率开关管的连接方式，可分为单端正激开关电源、单端反激开关电源、半桥开关电源和全桥开关电源；按功率开关管与电源供电、储能电感、稳压电压的输出方式，可分为串联开关电源和并联开关电源。

串联、并联、单端正激、单端反激、半桥及全桥开关电源的工作原理将在以后章节中分别进行介绍。





1.3 开关电源的主要技术指标

开关电源有以下主要技术指标。

(1) 输入电压变化范围：当稳压电源的输入电压发生变化时，使输出电压保持不变的输入电压变化范围。这个范围越宽，表示电源适应外界电压变化的能力越强，电源使用范围就越宽。它和电源的误差放大、反馈调节电路的增益以及占空比调节范围有关。目前开关电源的输入电压变化范围已做到90~270 V，可以省去许多电器中的110 V/220 V转换开关。





(2) 输出内阻 R_o : 输出电压的变化量 ΔU_o 与输出电流的变化量 ΔI_o 的比值。这个比值越小, 表示电源输出电压随负载电流的变化越小, 稳压性能越好。

(3) 效率 η : 电源输出功率 P_o 与输入功率 P_i 的比值。这个比值越高, 开关电源的体积越小, 同时可靠性也越高。目前开关电源的效率可达到90%以上。

(4) 输出纹波电压: 由于开关电源的稳压过程是一个不断反馈调节的过程, 因此在输出的直流电压 U_o 上会出现一个叠加的波动的纹波电压, 即输出纹波电压。这个电压值越小, 表示电源的输出性能越好。这个参数的表示有两种方法: 一是输出纹波电压有效值; 二是输出纹波电压的峰峰值 U_{pp} 。



(5) 输出电压调节范围：由于电源的输出电压只和基准电压与输出取样电路的元器件参数有关，因此，输出电压调节范围反映在线性电源上是稳压调整管集电极电流的变化范围，反映在开关电源上是开关调整管脉冲占空比 D 的变化范围。

(6) 输出电压稳定性：输出电压随负载变化而变化的特性，这个变化量越小越好。它主要和反馈调节回路的增益及频响特性有关。反馈调节回路增益越高，基准电压 U_E 越稳定，输出电压 U_o 的稳定性就越好。

(7) 输出功率 P_o ：电源能输出给负载的最大功率，它和负载功率有关。为了保证电源安全，要求输出功率有20%~50%的裕量。





1.4 开关电源典型结构

1.4.1 串联开关电源结构

串联开关电源原理图如图1-6所示。开关元件即功率开关晶体管VT串联在输入与输出之间。正常工作时，功率开关晶体管VT在开关脉冲信号的作用下周期性地导通、截止之间交替转换，使输入与输出之间周期性地闭合与断开。输入不稳定的直流电压通过功率开关晶体管VT后输出为周期性脉冲电压，再经脉冲整流滤波后，就可得到平滑直流输出电压 U_0 。 U_0 和功率开关晶体管VT的脉冲占空比 D 有式(1-2)的关系。



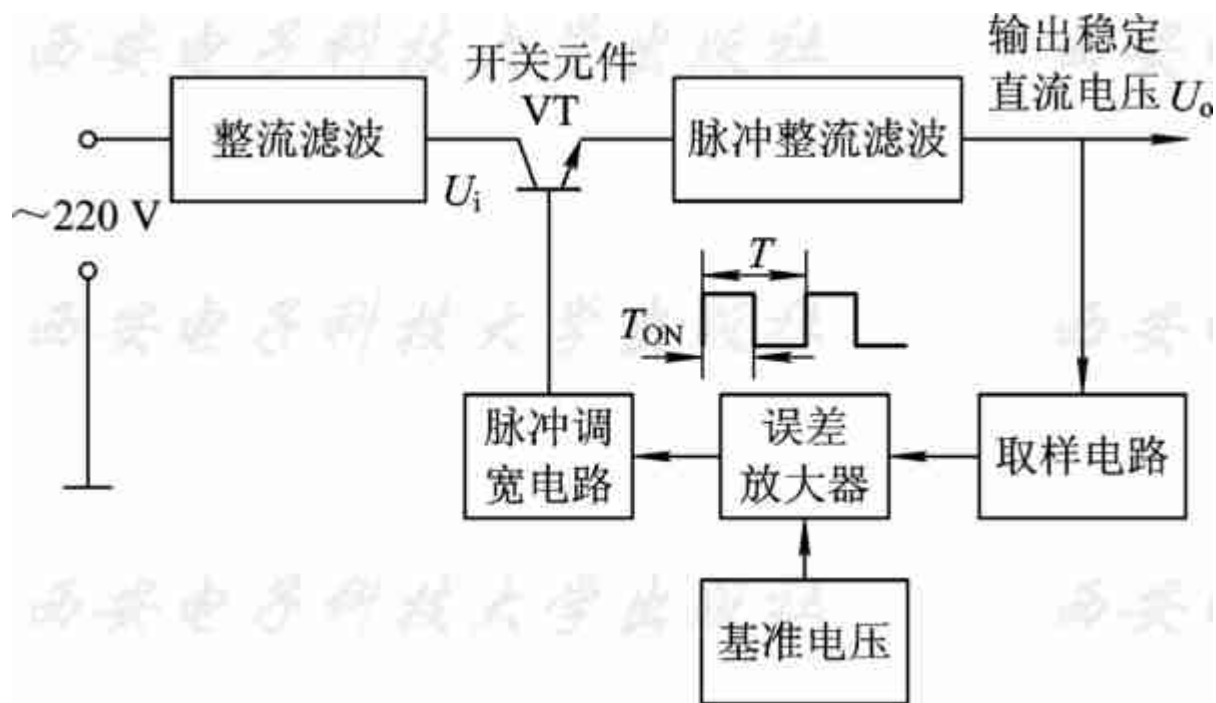


图1-6 串联开关电源原理图



输入交流电压或负载电流的变化，会引起输出直流电压的变化，通过输出取样电路后将得到的取样电压与基准电压相比较，其误差电压通过误差放大器放大后控制脉冲调宽电路的脉冲占空比 D ，达到稳定直流输出电压 U_o 的目的。

→ 在串联开关电源中，由于功率开关管VT串联在输入电压 U_i 与输出电压 U_o 之间，因此对开关管耐压要求较低。但是由于输入电压和输出电压共用地线，电源输入与输出间不隔离，有可能使电路板底板带电，使用不安全，更不能满足外接AV输入、影碟机、录放像机的要求。因此在目前的电子装置和视听设备的电源电路中已较少采用串联开关电源，而更多的是采用并联开关电源。





1.4.2 并联开关电源结构

并联开关电源原理图如图1-7所示，其中功率开关管VT与输入电压、输出负载并联，输出电压为

$$U_o = U_i \frac{1}{1-D} \quad (1-4)$$

图1-7所示为一种输出升压型并联开关电源，电路中有一个储能电感，适当利用这个储能电感，可将输出升压型并联开关电源转变为广泛使用的变压器耦合并联开关电源。



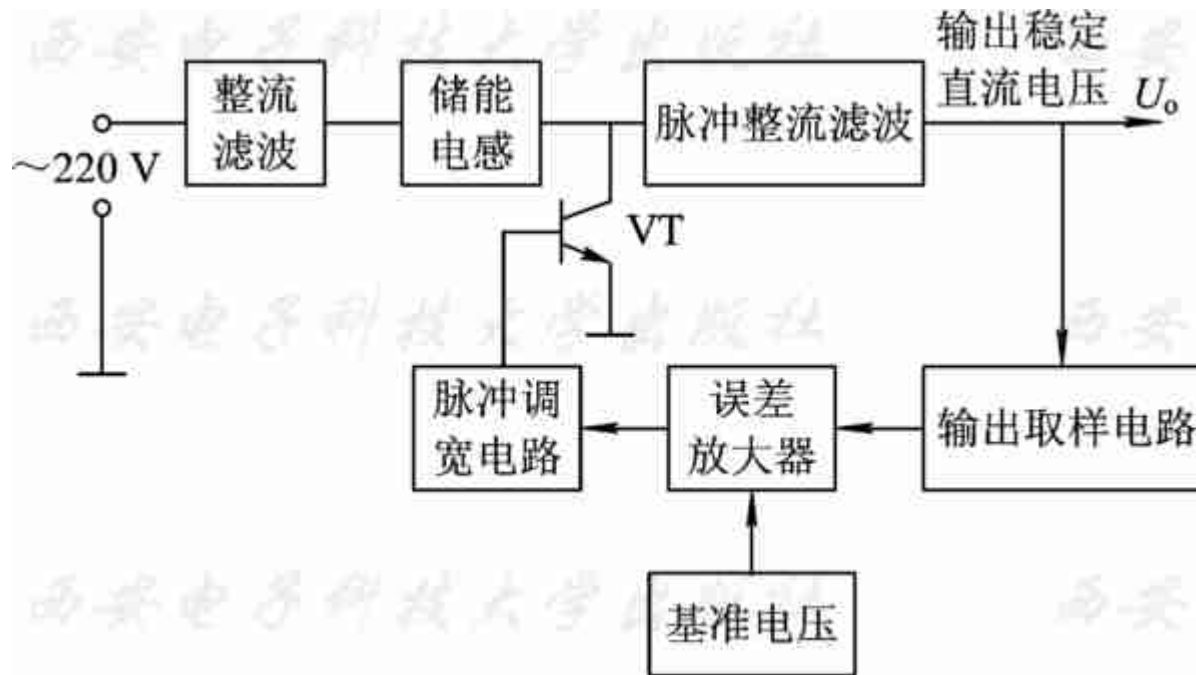


图1-7 并联开关电源原理图





变压器耦合并联开关电源原理图如图1-8所示。功率开关管VT与开关变压器初级线圈相串联接在电源供电输入端，功率开关管VT在开关脉冲信号的控制下周期性地导通与截止，集电极输出的脉冲电压通过变压器耦合在次级得到脉冲电压，这个次级脉冲电压经整流滤波后得到直流输出电压 U_o 。同样，经过取样电路后将得到的取样电压与基准电压 U_E 进行比较，其误差电压再被误差放大器放大后输出至功率开关管VT，来控制功率开关管VT的导通、截止，达到控制脉冲占空比的目的，从而稳定直流输出电压。由于采用变压器耦合，因此变压器的初、次级侧可以相互隔离，从而使初级侧电路地与次级侧电路地分开，做到次级侧电路地不带电，使用安全。同时由于变压器耦合，因此可以使用多组次级线圈，在次级得到多组直流输出电压。



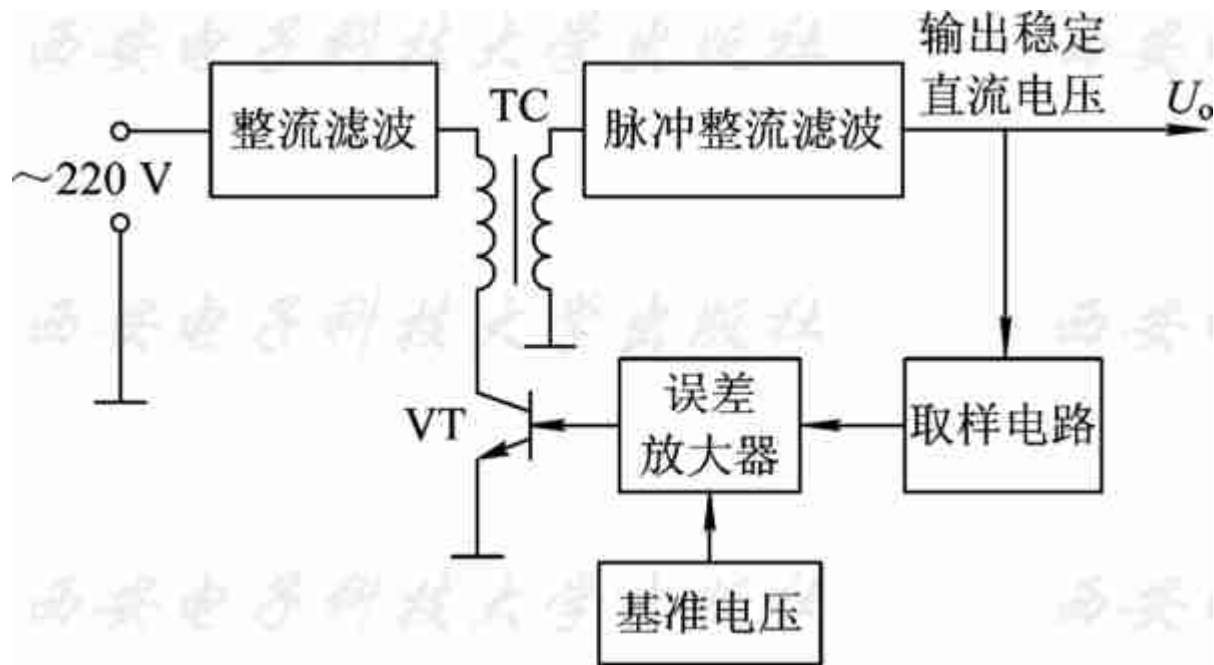


图1-8 变压器耦合并联开关电源原理图





由于变压器耦合并联开关电源输入端与输出端不共地，即所谓的冷底板供电，因此该开关电源可外接数字通信设备，从而在电子通信设备中得到广泛应用。使用中应注意，在并联开关电源中，对功率开关管VT的耐压要求较高，一般应高于2~3倍电源供电电压。





1.4.3 正激开关电源结构

正激开关电源是一种采用变压器耦合的降压型开关稳压电源，其电路如图1-9所示。加在变压器 N_1 绕组上的电压振幅等于输入电压 U_i ，功率开关管VT导通时间 T_{ON} 为开关脉冲宽度，变压器次级侧开关脉冲电压经二极管 V_1 整流变为直流。

这种开关电源中功率开关管VT导通时，变压器初级绕组励磁电流最大值为

$$I_{N1} = \frac{U_i}{L_{N1}} DT \quad (1-5)$$

式中， L_{N1} 表示变压器初级绕组 N_1 的电感量； D 表示脉冲占空比； T 表示脉冲开关周期。



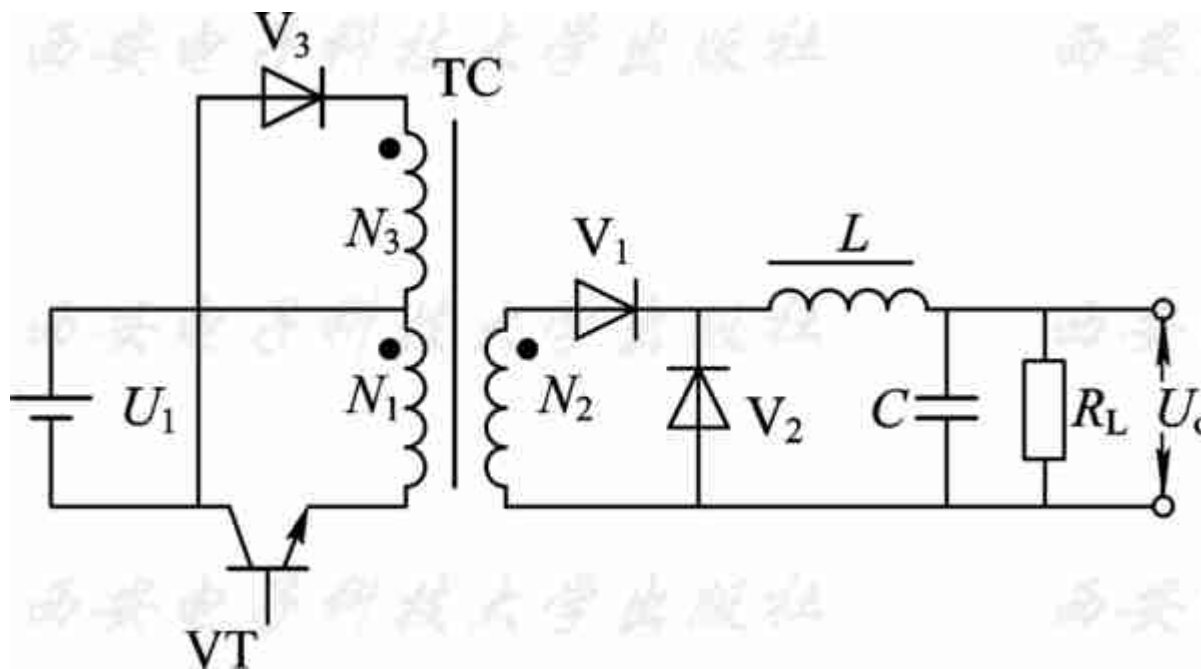


图1-9 正激开关电源电路





正激开关电源的特点是，当初级侧的功率开关管 V_T 导通时，电源输入侧的能量由次级侧二极管 V_1 经输出电感 L 为负载供电；当功率开关管 V_T 断开时，由续流二极管 V_2 继续为负载供电，并由消磁绕组 N_3 和消磁二极管 V_3 将初级绕组 N_1 的励磁能量回馈到电源输入端。





1.4.4 反激开关电源结构

反激开关电源电路如图1-10所示。当功率开关管VT导通时，输入侧的电能以磁能的形式存储在变压器的初级线圈 N_1 中，由于同名端关系，次级侧二极管 V_1 不导通，负载没有电流流过。当功率开关晶体管VT断开时，变压器次级绕组以输出电压 U_o 为负载供电，并对变压器进行消磁。



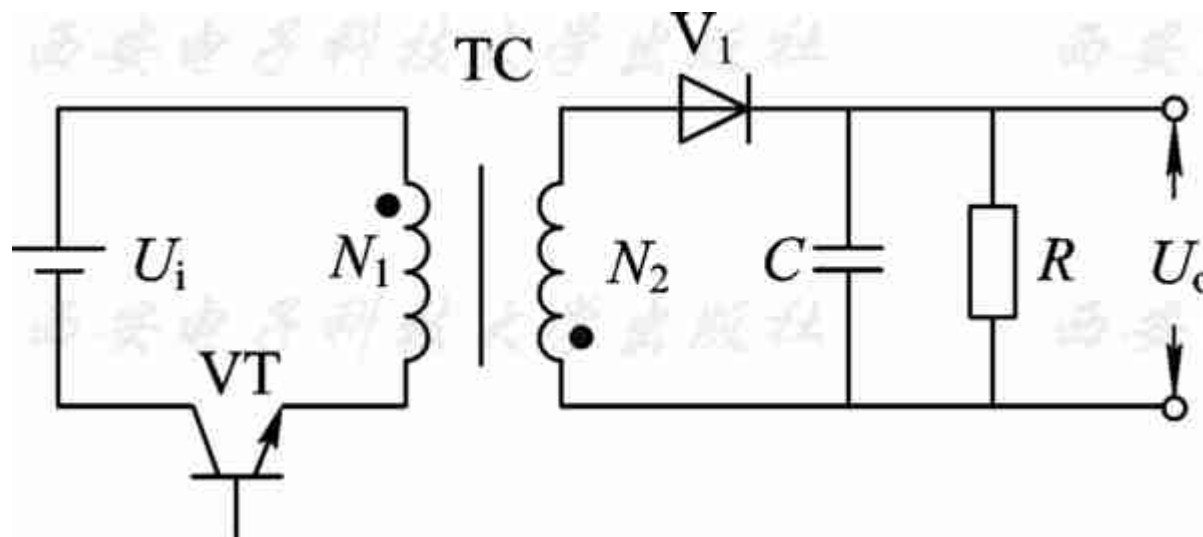


图1-10 反激开关电源电路





反激开关电源电路简单，输出电压 U_o 既可高于输入电压 U_i 又可低于输入电压 U_i ，一般适用在输出功率为200 W以下的开关电源中。

当要求电源输出功率更大，如在200~400 W范围内时，可采用半桥开关电源，它在一些有较大负载的电路中被普遍采用。





1.4.5 半桥开关电源结构

半桥开关电源电路及波形如图1-11所示。两个功率开关管 VT_1 和 VT_2 在开关脉冲信号的作用下，交替地导通与截止。当开关管 VT_1 导通、 VT_2 截止时，输入电压 U_i 经 VT_1 、变压器初级绕组 N_1 和电容 C_2 为变压器初级线圈 N_1 励磁，同时经次级侧二极管 V_1 、绕组 N_2 给负载供电。当开关管 VT_1 截止、 VT_2 导通时，输入电源经 C_1 、变压器初级侧绕组 N_1 和开关管 VT_2 给变压器初级绕组 N_1 励磁，同时经次级侧二极管 V_2 给负载供电。所以，初级侧电源通过功率开关管 VT_1 、 VT_2 交替给变压器初级线圈 N_1 励磁并为负载供电。变压器初级侧的脉冲电压峰值为 $U_i/2$ 。同样，电容 C_1 、 C_2 上的电压也分别为 $U_i/2$ 。



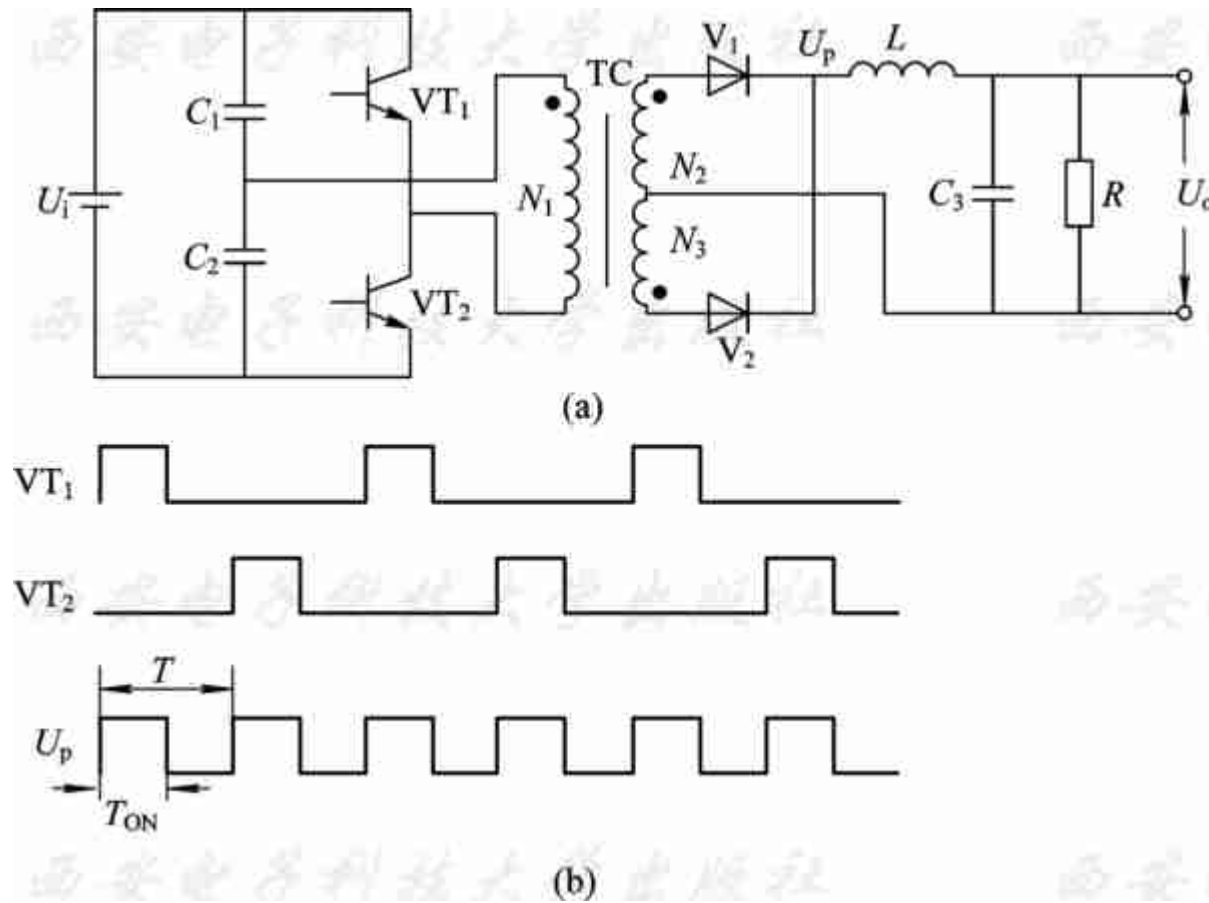


图1-11 半桥开关电源电路及波形
(a) 电路图；(b) 波形图





半桥开关电源的最大优点是自平衡能力强，不易使变压器由于 VT_1 、 VT_2 的导通时间不一致而产生磁饱和现象，使功率开关管 VT_1 、 VT_2 损坏。这是因为，当 VT_1 、 VT_2 导通时间不一致时，变压器初级侧 N_1 绕组的励磁电流大小不一样，致使电容 C_1 、 C_2 上的电压不相等，励磁电流越大，则对应的电容器电压越小，从而起到自平衡对称作用。但是由于每个功率开关管上的电压只有输入电源电压 U_i 的一半，因此要输出同样的功率，每个功率开关管中流过的电流就要增大一倍。300 W左右的开关电源多采用半桥式。





同时，半桥开关电源中需要避免功率开关管 VT_1 、 VT_2 的共态导通问题，否则将使两个功率开关管损坏。这点可通过使 VT_1 、 VT_2 功率开关管的导通时间相互错开来解决。这一相互错开的最小时间称为死区时间。





1.4.6 全桥开关电源结构

全桥开关电源电路及波形如图1-12所示。由4个功率开关管 VT_1 、 VT_2 、 VT_3 、 VT_4 组成一个电桥形式的电路，其中，由 VT_1 与 VT_4 、 VT_2 与 VT_3 分别组成两个导通回路。当 VT_2 、 VT_3 的触发控制信号有效时， VT_1 、 VT_4 的触发控制信号无效， VT_2 、 VT_3 导通时，输入电压 U_i 经 VT_2 、变压器的初级线圈 N_1 和 VT_3 形成电流回路，加至变压器初级线圈的电压为电源电压 U_i ，并经次级侧二极管 V_1 整流、滤波后为负载供电。同理，当 VT_2 、 VT_3 关断， VT_1 、 VT_4 导通时，输入电压 U_i 从和 VT_2 、 VT_3 导通时电流相反的方向为变压器初级线圈 N_1 励磁，并通过次级线圈 N_2 和整流二极管 V_2 为负载供电，这样在次级得到如 U_p 所示的脉冲波形。



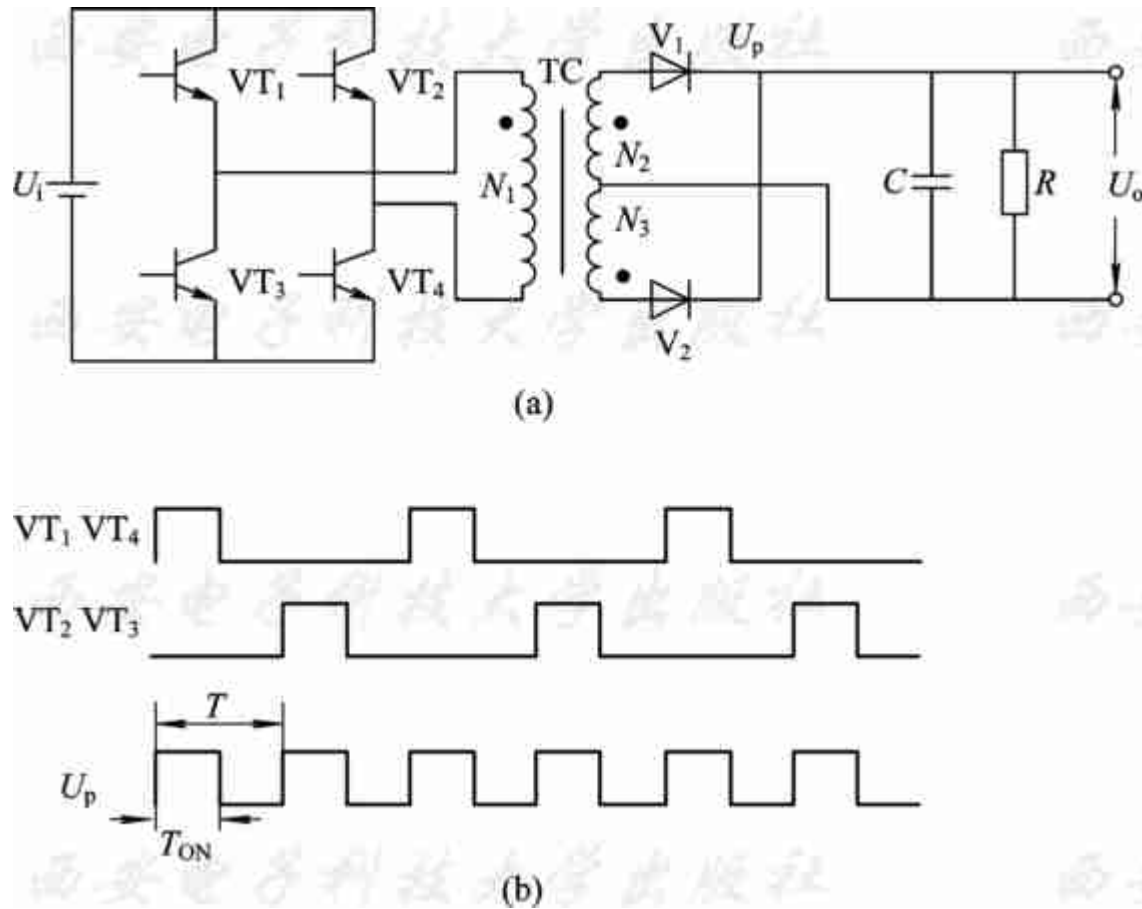


图1-12 全桥开关电源电路及波形
(a) 电路图；(b) 波形图





和半桥开关电源相比，由于加在全桥变压器初级线圈上的电压、电流比半桥开关电源的各大一倍，因此在同样的电源供电电压 U_i 下，全桥开关电源的输出功率是半桥开关电源的4倍。全桥开关电源常用在输出功率较大的场合。

同样，在全桥开关电源中也存在4个功率开关管 VT_1 、 VT_2 、 VT_3 、 VT_4 的共态导通问题。这点也可以通过设置死区时间的方法来克服。





1.5 开关电源技术要点

1.5.1 电源电路的组成及主要特点

1. 电源电路的组成

电源电路一般由主开关电源、副电源、辅助电路等组成。

1) 主开关电源

主开关电源的输出功率较副电源、辅助电路的输出功率要大。它将220 V交流输入直接整流、滤波为300 V左右的直流电压，再经过开关稳压调整环节中的开关调整管、开关变压器、稳压控制电路、激励脉冲产生电路对300 V左右的直流电压进行DC/DC开关变换，产生各种所需的稳定直流电压输出。主开关电源主要为主负载电路提供110~145 V的直流电压。电源电路的遥控待机功能是通过主开关电源的控制实现的，主开关电源一旦停止工作，则相应的功率放大级也将停止工作，于是主负载失去直流供电。



2) 副电源

副电源的主要作用是微处理器控制电路提供+5 V的供电电压。副电源电路一般较简单，既可采用简易开关电源，也可以采用传统的线性稳压电路。无论负载处于正常工作状态还是待机状态，副电源都必须正常工作。

3) 辅助电路

将行输出变压器中产生的行扫描脉冲进行整流与滤波，就可以得到各种所需的直流电压。由于辅助电路是将行输出级经直流—交流—直流做两次变换，所以又称为二次电源。行输出级产生的各种直流电压主要给显像管各电极供电，同时也可以为视频输出板尾板、场扫描以及图像和伴音通道供电。



2. 电源电路的主要特点

电源电路的主要特点如下：

(1) 由于负载均属高可靠性设备，对电源的要求较高，因此除了提供大的功率外，还要求有较高的效率。

(2) 为扩大仪器设备的使用范围，要求电源电路能适应110 V和220 V交流供电的需要。一般要求电源电路对交流输入市电电压的适应范围为90~245 V，并对50 Hz及60 Hz输入频率均能适应。





(3) 为了使负载仪器设备使用安全，要求机芯为冷底板设计，所以输出稳压取样反馈回路普遍采用光电耦合器进行电源初、次级侧的隔离，以提高设备的抗干扰性和安全性。

(4) 要求电源电路有良好的过压、过流、输出短路、X射线保护及复位功能。

(5) 为了保证遥控待机功能的正确实现，电源电路一般还加有副电源电路(待机电源)。副电源电路功率不大，一般在几瓦左右，既可以用开关电源实现，也可以用线性电源实现。



1.5.2 倍压/桥式整流自动切换

为了保证负载能在较宽的交流输入电压范围内正常工作，如90~245 V，有些电源加了一个倍压/桥式整流自动切换电路，使它在110 V交流输入电压下工作在倍压整流方式，而在220 V交流输入电压下工作在桥式整流方式，从而使负载在110 V和220 V两种交流供电情况下都能正常工作。如不采用倍压/桥式整流自动切换，则易使开关电源在110 V交流供电方式下处于欠激励工作状态，而在220 V交流供电下又易工作于过激励工作状态，不能保证开关电源工作在最佳工作状态。采取倍压/桥式整流自动切换后，开关电源工作在最佳工作状态，其效率及可靠性等指标都可以得到保证。



倍压/桥式整流自动切换电路如图1-13所示。当输入220 V交流电压时，通过电压检测电路使双向晶闸管V截止，这时电容 C_1 、 C_2 相串联，整流电路为普通桥式整流工作方式，整流输出电压 U_o 为300 V左右的直流电压。当交流输入电压为110 V时，通过电压检测电路使双向晶闸管V导通，整流电路工作在倍压整流方式。倍压整流的工作原理如下：在交流电压的正半周时，交流电经二极管 V_1 、电容 C_1 、双向晶闸管V形成回路，并给电容 C_1 充电；在交流电压负半周时，交流电经双向晶闸管V、电容 C_2 和二极管 V_4 形成回路，并给电容 C_2 充电，这时的输出电压 U_o 为电容 C_1 、 C_2 上的电压之和，形成倍压整流。



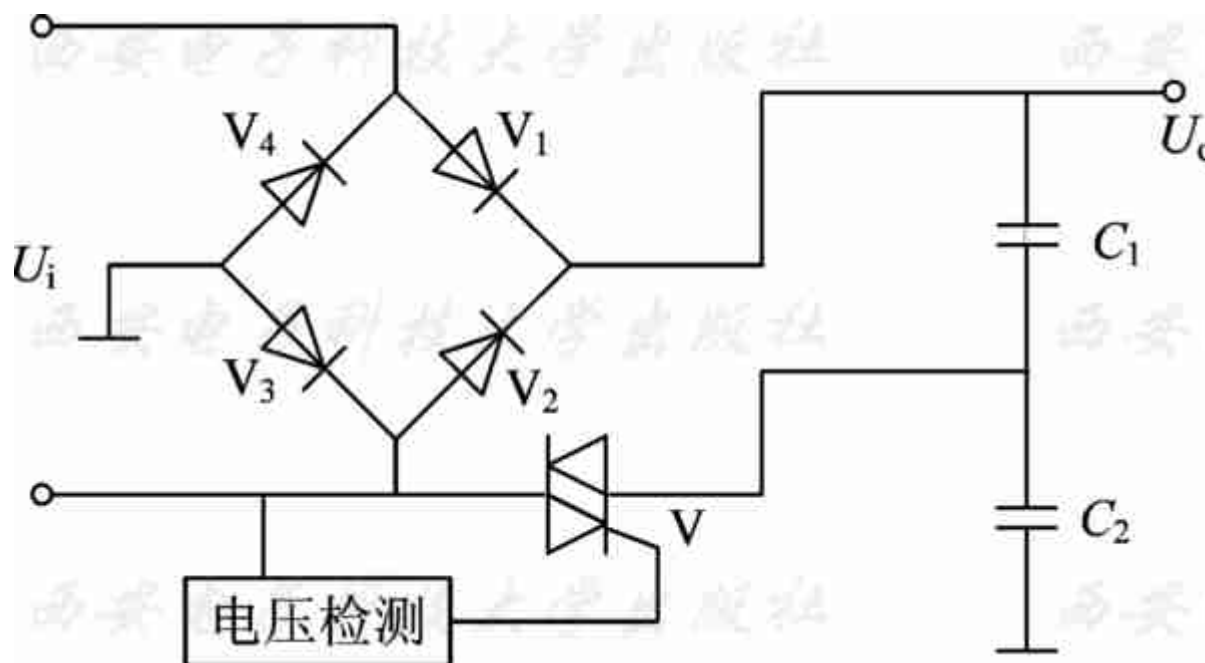


图1-13 倍压/桥式整流自动切换电路





倍压/桥式整流自动切换电路可使在110 V和220 V交流输入电压下的整流滤波输出直流电压相差不大，从而确保开关电源既可工作在较宽的交流输入电压范围，又可以使开关电源工作在较好工作状态，从而提高开关电源的效率和工作的可靠性。但是倍压/桥式整流自动切换电路如不能正常完成切换功能，同样也会引起负载电路的大面积损坏，设计电路时必须十分重视。





1.5.3 电源的微处理器控制

现代电气设备都具有微处理器对电源系统的控制功能，这种控制包含待机控制。遥控设备有两种工作状态，一种是正常状态，此时设备整机功耗为200~350 W；另一种是待机状态即休眠状态，但仍需继续保持微处理器控制电路的+5 V供电，整机功耗下降到10 W以下。

待机工作方式分为三种：第一种是手动待机方式，通过待机键，使设备在工作状态与待机状态转换；第二种是定时待机方式，利用定时键，设定所需的定时待机时间；第三种是无信号自动待机方式，微处理器通过信号检测判定电路为无信号时，几分钟后就会使设备自动进入待机状态。

各种不同设备的待机控制电路不完全一样，主要有以下几种典型电路。





1. 待机控制电路一

待机控制电路一如图1-14所示，微处理器在待机状态下输出的高电平使 VT_1 饱和导通、 VT_2 截止，将行振荡电路的供电电压切断，整机处于无声、无光的待机状态。为了降低待机状态下的整机功耗，微处理器还要使开关电源由正常振荡转变为低频弱振荡，使+B输出电压减小到正常值的1/2，但仍为微处理器控制电路提供+5 V电压。这种待机控制电路的特点是，整机必有一个电源，并且待机状态下整机功耗较小，所以使用较多。

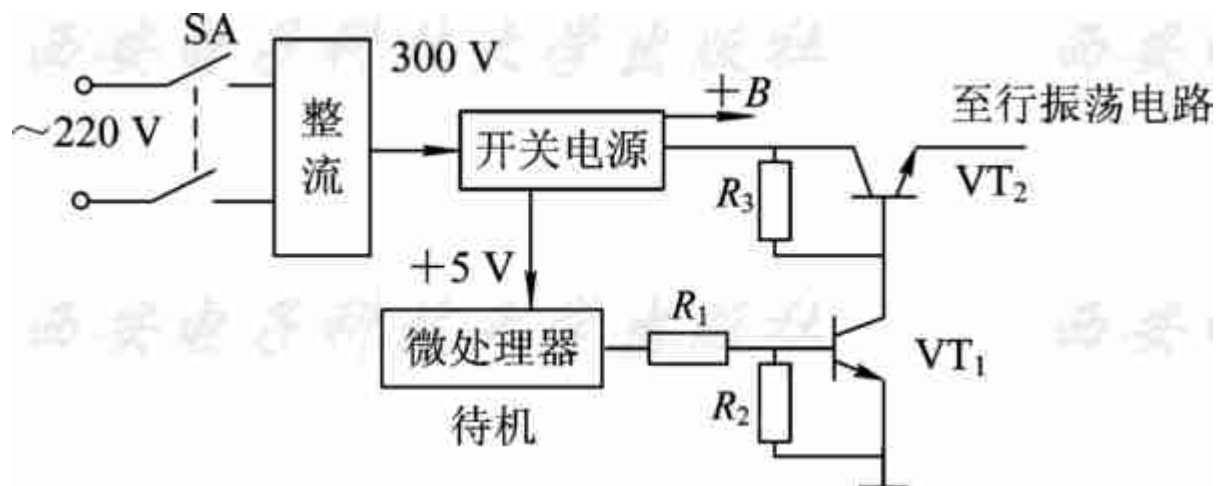


图1-14 待机控制电路一





2. 待机控制电路二

待机控制电路二如图1-15所示，微处理器在待机状态下输出的待机控制信号使主开关电源停止工作，从而使整机处于无声、无光的待机状态。这种待机控制电路的特点是，必须有一个副开关电源为微处理器提供+5 V电压。由于在待机状态下主开关电源完全停振，所以整机功耗很小，一般只有4 W左右。这种待机控制电路的主、副电源共用一个整流电路。

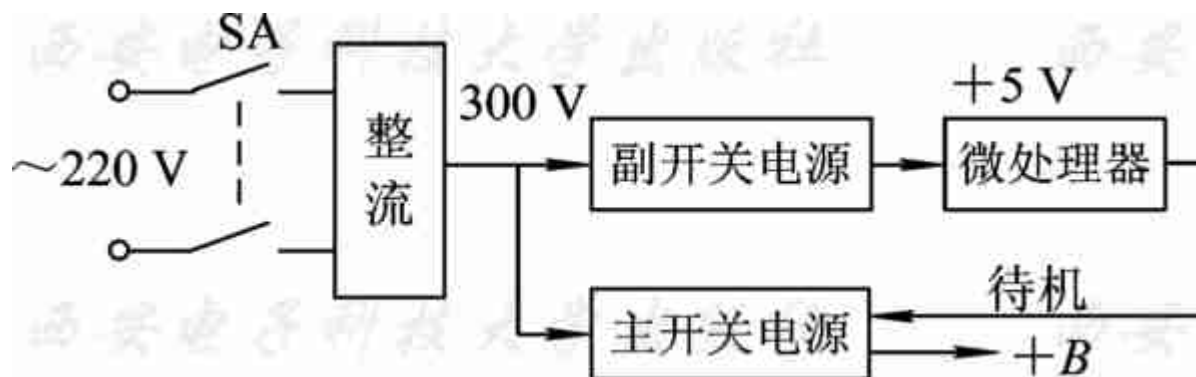


图1-15 待机控制电路二





3. 待机控制电路三

待机控制电路三如图1-16所示，微处理器在待机状态下输出的高电平使 VT_1 饱和导通，继电器 K_1 线圈中有电流通过，线圈产生的电磁力使交流触点开关断开，将电视机整机电源切断。在这种待机控制电路中，开关SA既是手动推拉式交流开关，又是继电器开关，但这种待机控制电路进入待机状态后，微处理器也失去了+5 V供电，再也不能利用遥控器使电视机恢复到正常收看状态，所以这种待机控制电路又叫做交流关机控制电路。

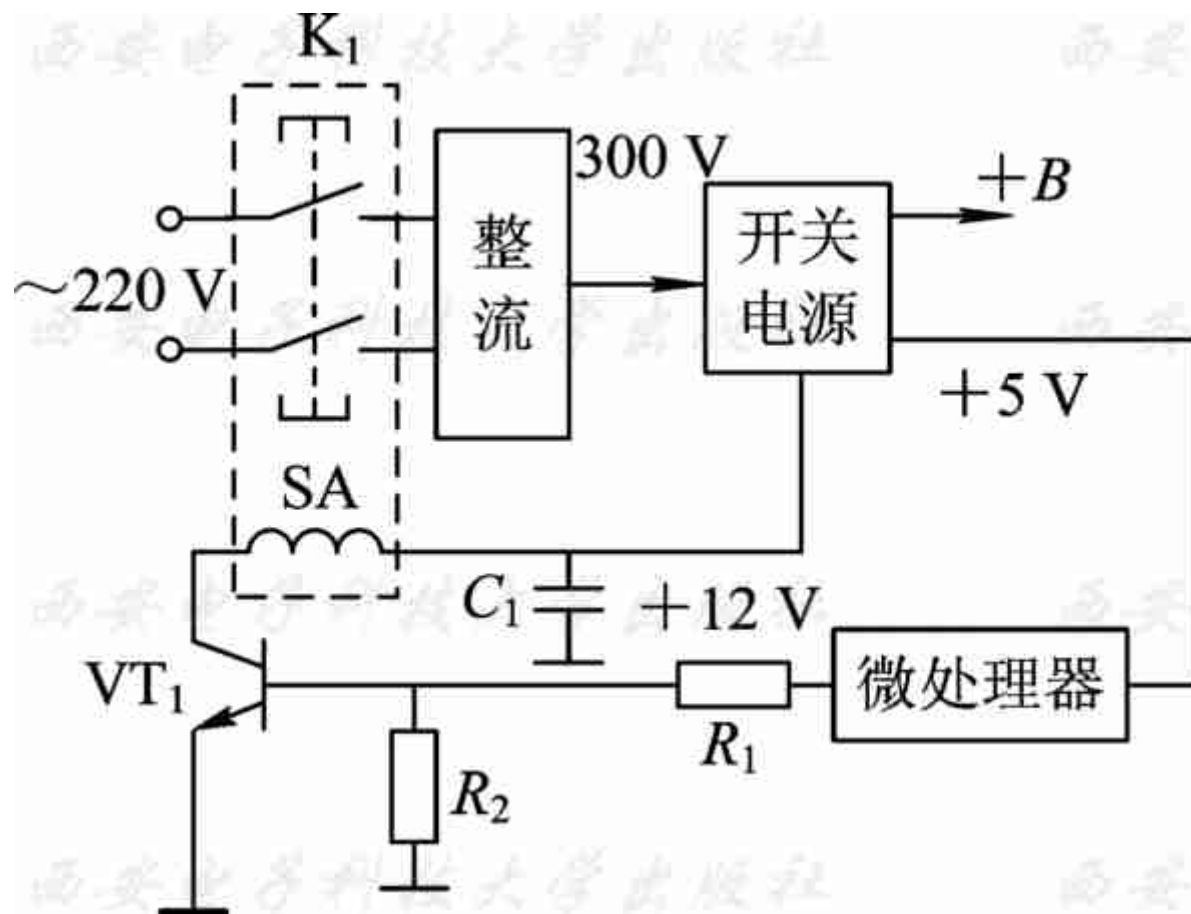


图1-16 待机控制电路三



4. 待机控制电路四

待机控制电路四如图1-17所示，微处理器在待机状态下输出的低电平使 VT_1 截止，继电器 K_1 线圈断电流，继电器开关断开，交流220 V主开关电源被切断，于是电子设备处于无声、无光的待机状态。



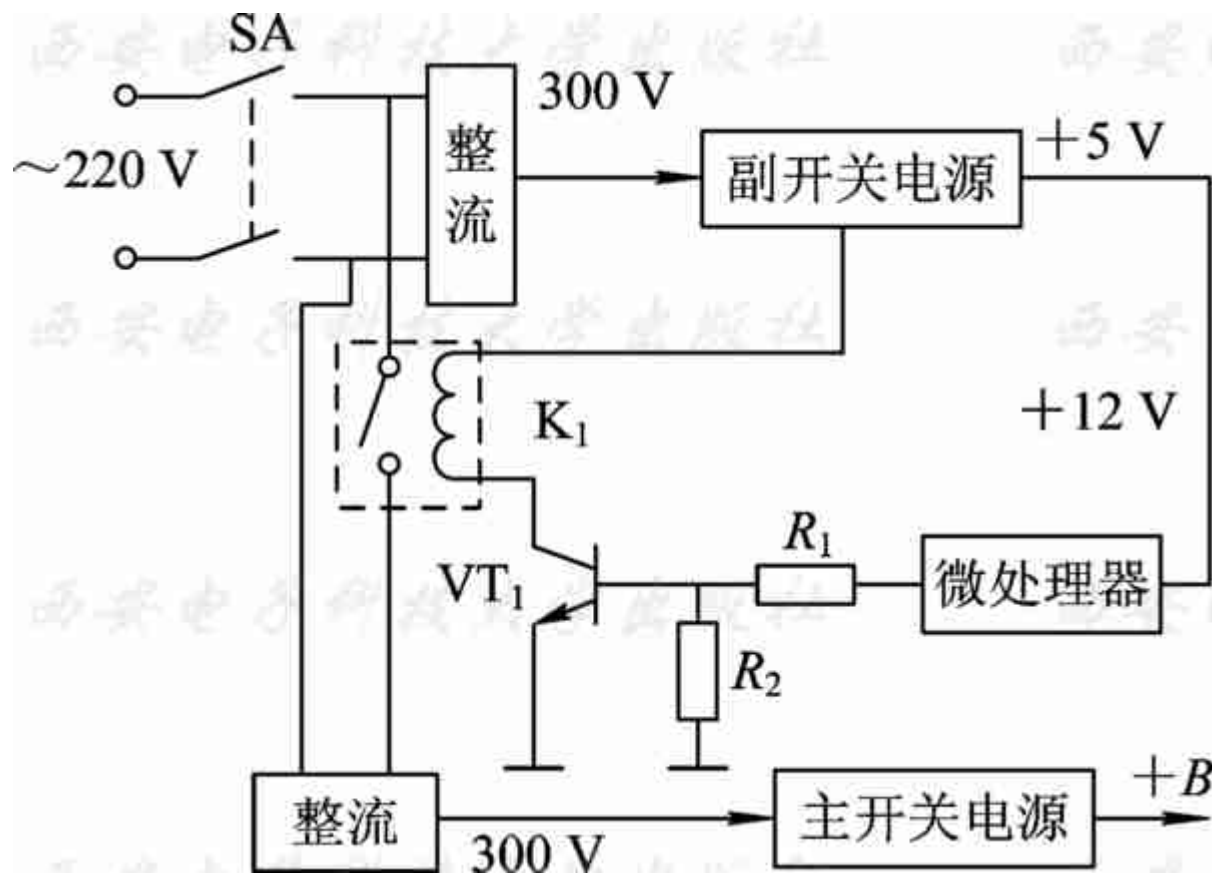


图1-17 待机控制电路四





5. 待机控制电路五

待机控制电路五如图1-18所示，微处理器在待机状态下输出的高电平使 VT_1 饱和导通，将行驱动管 VT_2 基极上的驱动脉冲通过 VT_1 的C-E极短路，使行扫描电路停止工作，负载处于无声、无光的待机状态。在这种待机控制电路中，微处理器所需的+5 V供电电压和行输出所需的+B电压都由同一开关电源提供，省掉了副电源电路，但是开关电源在待机状态下仍正常工作，所以待机状态下整机的功耗较大，约为10 W。



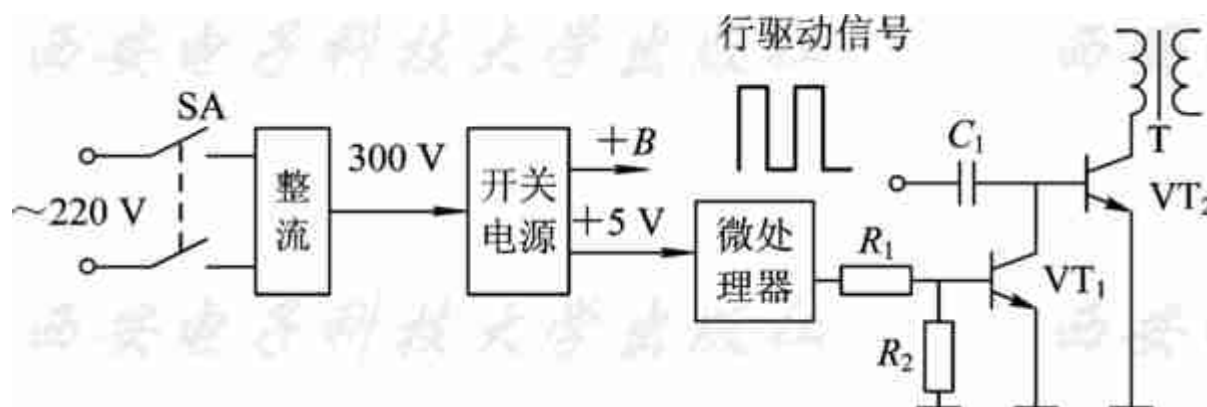


图1-18 待机控制电路五





1.5.4 防开机浪涌电流技术

防开机浪涌电流电路如图1-19所示。在设备开机瞬间，由于滤波电容 C_1 上的初始电压为零，所以 C_1 的起始充电电流很大。在早期的电源中，简单地用一个几欧姆、10 W左右的大功率电阻 R_1 来限制开机浪涌电流，但是此电阻在负载进入正常工作状态后，仍串接在电路中，使整机功耗增大，同时也易引起整机附加温升。如果能使防开机浪涌电流电阻 R_1 只在开机瞬时串在电视机供电电路中，一旦电视机进入正常工作状态，就不再使电流通过 R_1 ，就可以避免产生无谓的功耗，并降低机内温升。目前常用的防开机浪涌电流电路有晶闸管控制的和继电器控制的两种。



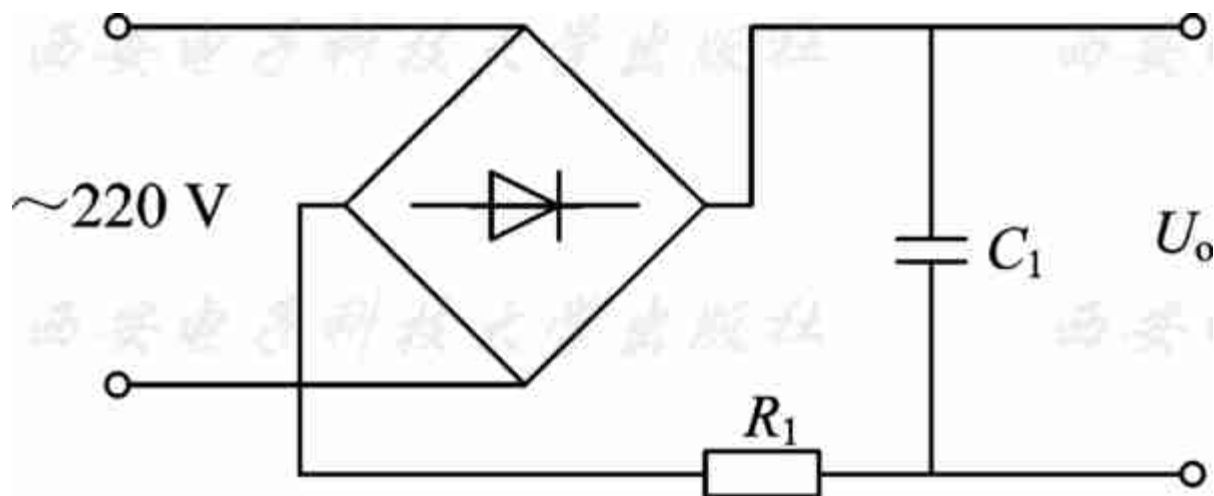


图1-19 防开机浪涌电流电路





1. 晶闸管控制的防开机浪涌电流电路

晶闸管控制的防开机浪涌电流电路如图1-20所示。由于开机瞬间浪涌电流很大，所以在电阻 R_1 上的压降也很大，使 VS_3 击穿导通，并引起 VT_1 导通， VT_1 的C-E极导通使晶闸管 V_2 的触发极被短路， V_2 处于截止态，开机浪涌电流全部从限流电阻 R_1 中流过。当滤波电容 C_1 充电结束，负载进入正常工作状态后，流经电阻 R_1 的电流为正常工作电流，限流电阻 R_1 两端的压降下降， VS_3 和 VT_1 恢复截止，晶闸管 V_2 的控制极经电阻 R_2 获得触发电压，晶闸管 V_2 导通，整机电流不再流经电阻 R_1 ，而经晶闸管 V_2 旁路，电阻 R_1 不再消耗功率。



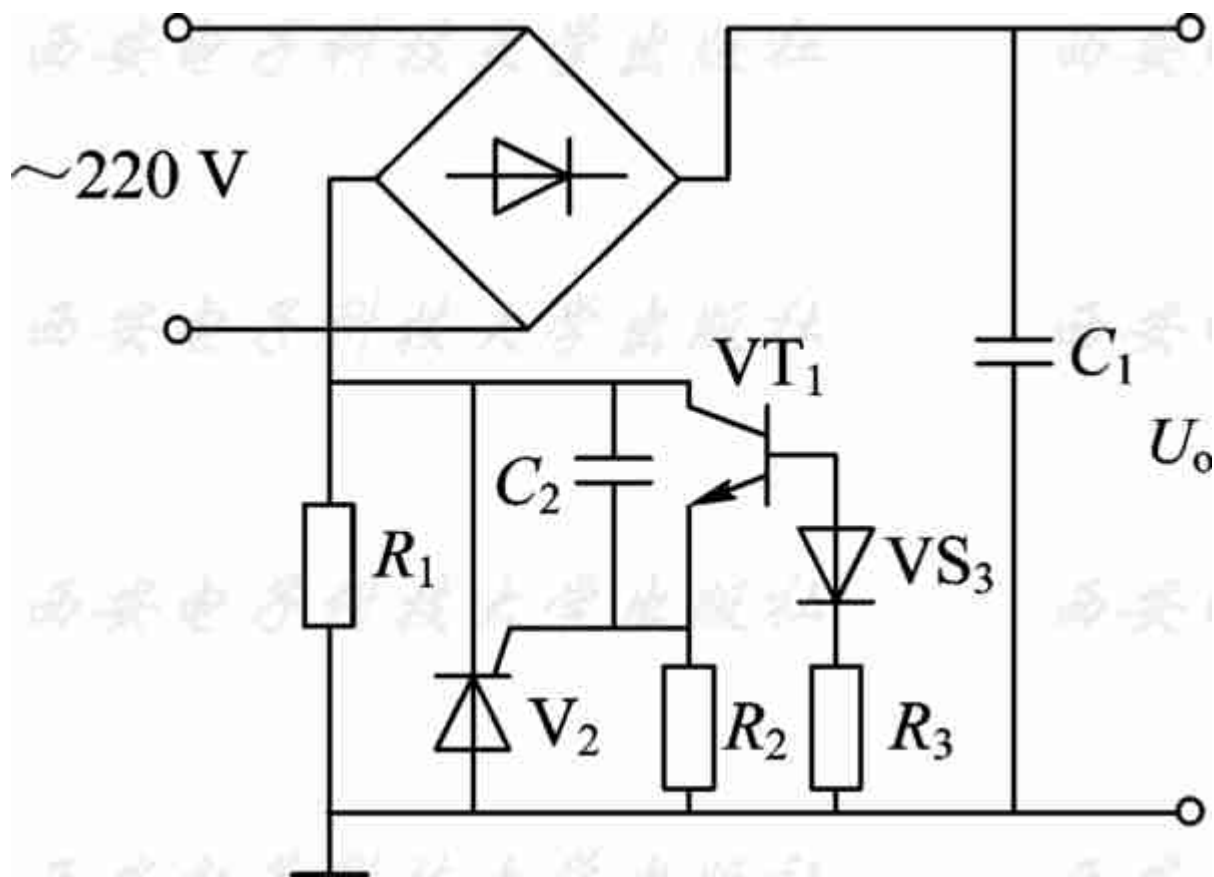


图1-20 晶闸管控制的防浪涌电流电路





2. 继电器控制的防开机浪涌电流电路

图1-21为采用继电器控制的防开机浪涌电流电路。刚开机时，开关电源还未正常工作，电容 C_2 上无电压， VS_2 和 VT_1 均截止，继电器 K_1 线圈中无电流通过， K_1 的触点开关断开以防开机浪涌电流作用。当开关电源正常工作后， C_2 上有正常电源电压，这时 VS_2 、 VT_1 导通，继电器 K_1 线圈中有电流通过，继电器触点开关闭合将 R_1 短路，电阻 R_1 不再消耗功率。



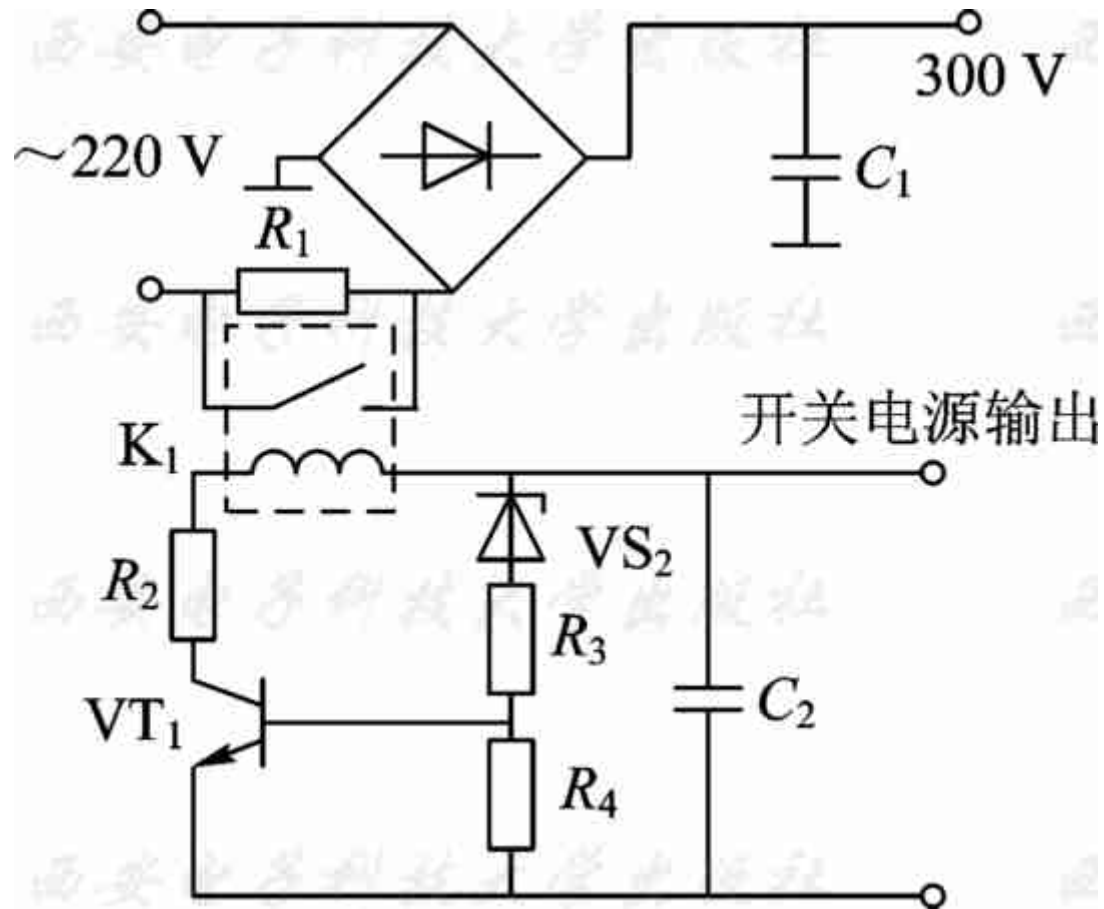


图1-21 继电器控制的防开机浪涌电流电路





1.5.5 开关电源干扰的抑制

开关电源的优点是效率高，体积小，但由于其始终工作在高频开关状态，所以会产生极大的高频谐波成分，而这些高频谐波成分经电路、空间辐射到外部电路及空间，极易干扰其他设备正常工作。干扰有两方面的含义，一是开关电源本身产生的干扰信号对别的机器正常工作的影响；二是开关电源本身具有抗外界干扰，保证自己正常工作的能力，即所谓抗干扰性。一个干扰和抗干扰性能都很好的开关电源，它的工作稳定性也好。从干扰方式又可将干扰分为电磁辐射干扰(EMI)和射频干扰(RFI)。





1. 干扰的产生

产生干扰的因素很多，下述为主要的几种。

1) 开关管开关工作产生的干扰

开关电源中的开关管工作在开关状态，工作时会产生较大的脉冲电压和脉冲电流，而脉冲电流和脉冲电压中含有丰富的高次谐波。同时开关管导通时由于开关变压器漏感和输出整流二极管的恢复特性形成的电磁振荡，在二极管上产生浪涌电压，开关管断开时变压器漏感也会产生浪涌电压，这些都将成为噪声干扰源。





2) 由二极管的恢复特性产生的干扰

硅二极管进行高频整流时，由于存在结电容，正向电流所积蓄的电荷在加反向电压时不能马上消失。这种载流子积蓄效应，使二极管流过反向电流，这段时间叫做反向恢复时间。在反向恢复时间内，由于反向电压较大，会产生较大损耗。如果反向电流恢复时的电流上升率 di/dt 较大，由于电感作用产生较大的尖峰电压，就会形成恢复噪声。恢复噪音既可通过吸收回路实现，也可以通过谐振开关技术实现。恢复电路对提高开关电源的可靠性和减小干扰有很大的作用。肖特基二极管没有载流子积蓄效应，所以恢复噪声很小，在恢复电路中应用较多。





3) 变压器产生的干扰

变压器绕组中电流形成的磁通，大部分将通过高导磁率的磁芯，但仍会有少部分通过绕组与间隙辐射出去，成为所谓漏磁通，这些漏磁通将形成电磁感应干扰。

4) 由整流滤波电容产生的干扰

交流市电输入的开关电源在输入端接有整流滤波电路，使整流二极管的导通角很小，整流电流的峰值很大，这种脉冲状的二极管整流电流也会产生干扰。





2. 干扰的抑制

对干扰的抑制一直是电源使用者和设计者始终考虑的问题，随着国家对电源产品的指标要求越来越高，对干扰的抑制成为电源技术研究的热点之一。归纳起来，目前有效的方法有以下三种。

1) 抑制干扰发生源的电平

干扰来源为电流、电压急剧变化的部分，是由功率开关管、整流二极管与周围电路引起的。为此应尽量降低电流与电压波形的变化率。利用吸收电路可以降低浪涌电压，并减少开关变压器的漏感。





2) 利用RC吸收回路抑制干扰

如图1-22、图1-23所示的 RC 、 RCV 吸收回路可以起到减少脉冲电流、电压变化率的效果，改善开关电路的工作条件，从而减少干扰，保护功率开关管。



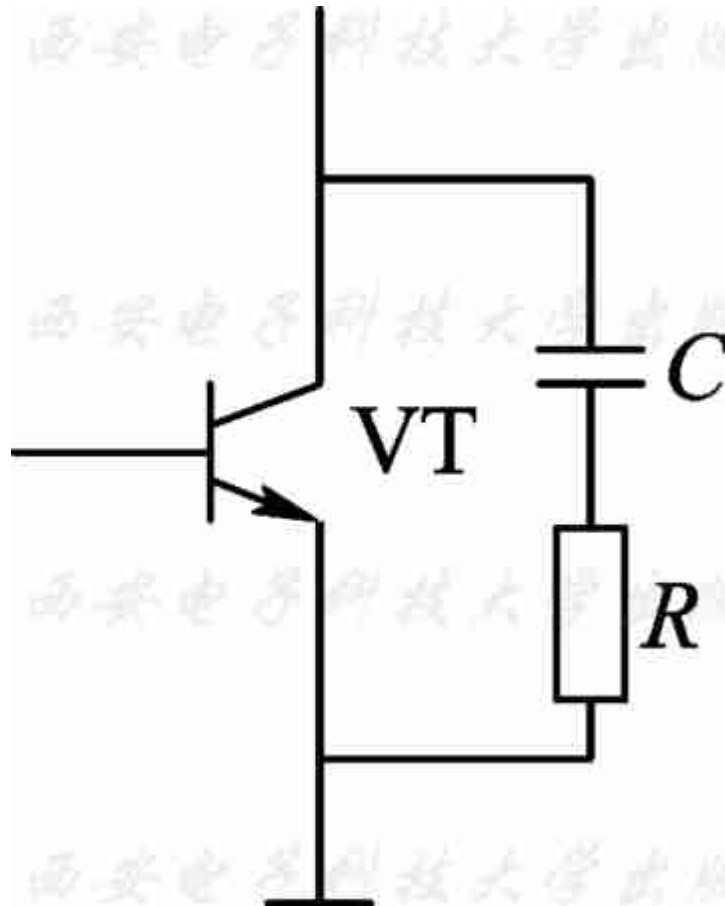


图1-22 RC吸收回路



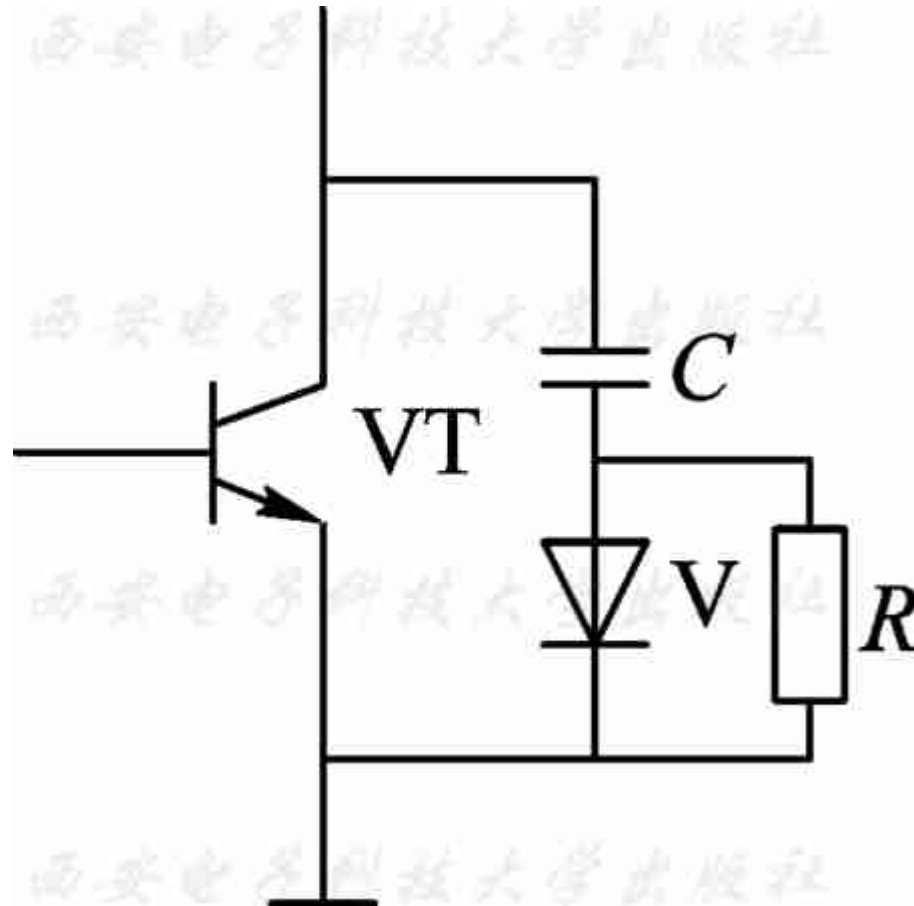


图1-23 RCV吸收回路





在图1-22所示的 RC 吸收电路中，当开关管 VT 断开时，积蓄在寄生电感中的能量在对开关管的寄生电容充电的同时，通过吸收电阻 R 对吸收电容 C 充电，吸收电容等效地增加了开关的并联电容容量，因而抑制了开关管断开时的尖峰电压。开关管导通时，吸收电容 C 通过吸收电阻 R 放电，电阻起着限制放电电流的作用。在图1-23所示的 RCV 吸收电路中，当开关管 VT 关断时，积蓄在漏感中的能量在对开关管寄生电容充电的同时，只要吸收电容 C 上的电压低于脉冲尖峰电压，二极管 V 就导通，脉冲尖峰电压对开关管寄生电容和吸收电容充电，由于充电等效电容为开关管寄生电容和吸收电容并联，等效充电电容加大，可以平缓脉冲尖峰电压。反之当开关管 VT 导通时，吸收电容 C 通过开关管 VT 和吸收电阻 R 放电，由于吸收电阻的作用，又限制了放电电流的大小。二极管 V 的存在使 VT 上的电压不会大于吸收电容 C 上的电压，二极管 V 起着钳位作用。由于 RC 、 RCV 吸收电路简单，保护效果明显，所以在开关电源中被广泛使用。





3) 利用 LC 干扰抑制电路抑制干扰

利用 LC 干扰抑制电路(见图1-24),可以起到电源供电输入侧与开关电源侧干扰信号的双向抑制作用。图中变压器 T 的匝数比为1,同名端如图所示,是一种共模干扰抑制电感,它对电源输入侧或开关电源侧产生的共模干扰信号等效阻抗很大,从而起到共模干扰信号的抑制作用。电容 C_a 叫做差模干扰抑制电容,电容 C_b 叫做共模抑制电容, C_b 和共模抑制电感 L 共同抑制共模干扰信号。



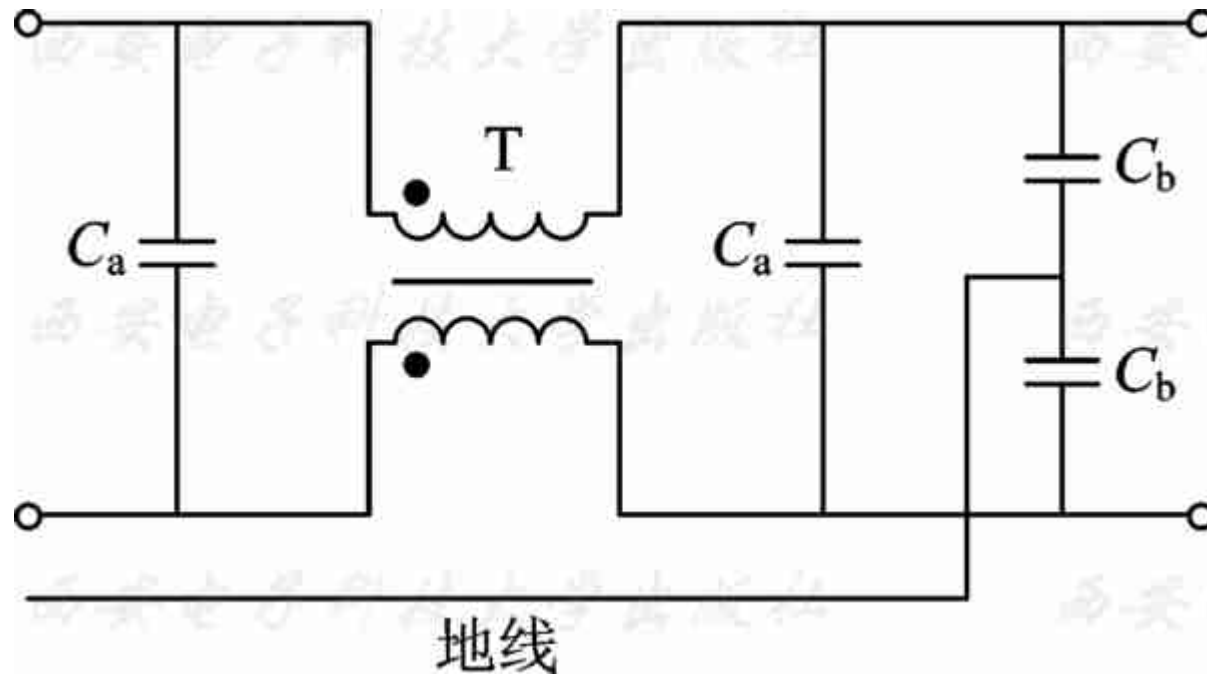


图1-24 LC干扰抑制电路





1.6 开关器件

开关器件(即开关电源的电子器件)的特性及其驱动是开关电源电路中关键的问题。对开关器件的认识和了解是电源设计和使用的基本知识。

1.6.1 开关器件概述

1. 开关器件的特征

同处理信息的电子器件相比,开关电源的电子器件具有以下特征:

(1) 能处理电功率的大小,即承受电压和电流的能力是开关器件最重要的参数,其处理电功率的能力小至毫瓦级,大至兆瓦级,大多远大于处理信息的电子器件。



(2) 开关器件一般都工作在开关状态，导通时(通态)阻抗很小，接近于短路，管压降接近于零，电流由外电路决定；阻断时阻抗很大，接近于断路，电流几乎为零，管子两端电压由外电路决定。

(3) 开关器件的动态特性也是很重要的方面，有些时候甚至上升为第一位的重要问题。作电路分析时，为简单起见往往用理想开关来代替实际开关。

(4) 电路中的开关器件往往需要由信息电子电路来控制。在主电路和控制电路之间，需要一定的中间电路对控制电路的信号进行放大，这就是开关器件的驱动电路。



(5) 为保证不致于因损耗散发的热量导致开关器件温度过高而损坏，不仅在开关器件封装上讲究散热设计，在其工作时一般都要安装散热器。导通时，器件上有一定的通态压降；形成通态损耗。阻断时，开关器件上有微小的断态漏电流流过；形成断态损耗。在开关器件开通或关断的转换过程中产生开通损耗和关断损耗，总称开关损耗。对某些器件来讲，驱动电路向其注入的功率也是造成开关器件发热的原因之一。通常电力电子器件的断态漏电流极小，因而通态损耗是开关器件功率损耗的主要成因。当开关器件开关频率较高时，开关损耗会随之增大，可能成为开关器件功率损耗的主要因素。





2. 开关器件的组成

开关电源系统由控制电路、驱动电路和以开关器件为核心的主电路组成。

控制电路按系统的工作要求形成控制信号，通过驱动电路去控制主电路中开关器件的通或断来完成整个系统的功能。

开关电源系统中需要有检测电路。广义上往往其他驱动电路等主电路之外的电路都归为控制电路，从而粗略地说开关电源系统是由主电路和控制电路组成的。





主电路中的电压和电流一般都较大，而控制电路的开关器件只能承受较小的电压和电流，因此在主电路和控制电路连接的路径上，如驱动电路与主电路的连接处，驱动电路与控制信号的连接处，或者主电路与检测电路的连接处，一般需要进行电气隔离，而通过其他手段如光、磁等来传递信号。

由于主电路中往往有电压和电流的过冲，而开关器件一般比主电路中普通的元器件要昂贵，但承受过电压和过电流的能力却要差一些，因此必须在主电路和控制电路中附加一些保护电路，以保证开关器件和整个电源系统正常、可靠运行。





开关器件一般有三个端子(或称为极), 其中两个连接在主电路中, 而第三端被称为控制端或称为控制极。开关器件的通断是通过在其控制端和一个主电路端子之间加一定的信号来控制的, 这个主电路端子是驱动电路和主电路的公共端, 一般是主电路电流流出器件的端子。





3. 开关器件的分类

开关器件按其能够被控制电路信号所控制的程度，分为以下三类：

(1) 半控型器件——通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断，晶闸管及其大部分派生器件的关断由其在主电路中承受的电压和电流决定。

(2) 全控型器件——通过控制信号既可控制其导通又可控制其关断，又称自关断器件，如绝缘栅双极晶体管IGBT、电力场效应晶体管MOSFET、门极可关断晶闸管GTO。



(3) 不可控器件——不能用控制信号来控制其通断，因此也就不需要驱动电路。如电力二极管(Power Diode)只有两个端子，它的通和断是由其在主电路中承受的电压和电流决定的。按照驱动电路加在器件控制端和公共端之间信号的性质，不可控器件分为两类：

① 电流驱动型器件——通过从控制端注入或者抽出电流来实现导通或者关断的控制。

② 电压驱动型器件——仅通过在控制端和公共端之间施加一定的电压信号就可实现导通或者关断的控制。

电压驱动型器件实际上是通过加在控制端上的电压在器件的两个主电路端子之间产生可控的电场来改变流过器件的电流大小和通断状态的，所以又称为场控器件或场效应器件。



1.6.2 电力二极管

电力二极管的结构和原理简单，工作可靠。快恢复二极管和肖特基二极管分别在中、高频整流和逆变，以及低压高频整流的场合具有不可替代的地位。其基本结构和工作原理与信息电子电路中的二极管一样，以半导体PN结为基础，由一个面积较大的PN结和两端引线以及封装组成。造成电力二极管和信息电子电路中的普通二极管区别的一些因素：正向导通时要流过很大的电流，其电流密度较大，因而额外载流子的注入水平较高，电导调制效应不能忽略；引线和焊接电阻的压降等都有明显的影响；承受的电流变化率 di/dt 较大，因而其引线和器件自身的电感效应也会有较大影响；为了提高反向耐压，其掺杂浓度低也造成正向压降较大。



1. 电力二极管的基本特性

1) 静态特性

电力二极管的基本特性主要指其伏安特性。当电力二极管承受的正向电压大到一定值，即达到门槛电压 U_{T0} 时，正向电流才开始明显增加，处于稳定导通状态。与正向电流 I_F 对应的电力二极管两端的电压 U_F 即为其正向电压降。当电力二极管承受反向电压时，只有由少子引起的微小而数值恒定的反向漏电流。





2) 开通过程

正向压降先出现一个过冲 U_{FP} ，经一段时间才接近稳态压降的某个值(2 V)，如图1-25所示。其中 u_F 表示二极管压降， i_F 表示二极管正向电流， t_{fr} 为正向恢复时间。电流上升率越大， U_{FP} 越高。



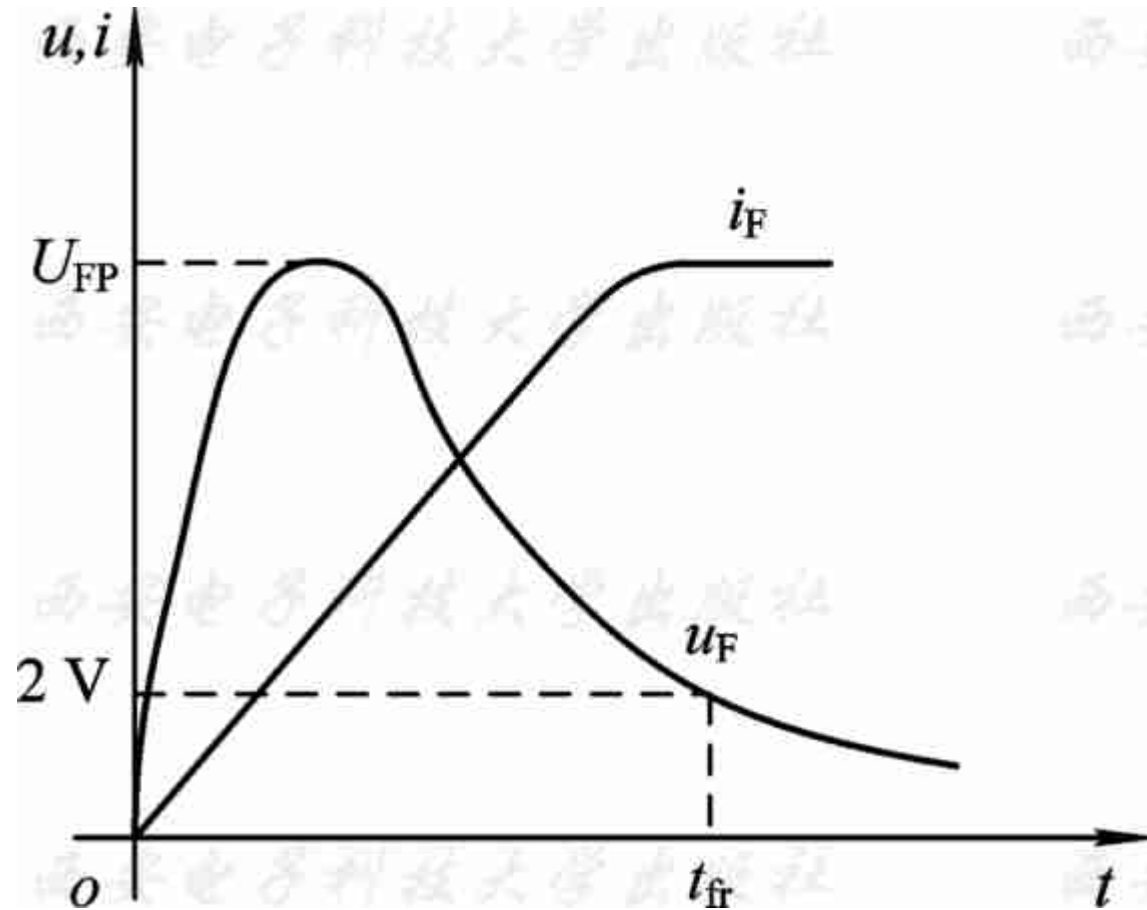


图1-25 电力二极管的开通过程



3) 关断过程

电力二极管须经过一段短暂的时间才能重新获得反向阻断能力，进入截止状态。电力二极管在关断之前有较大的反向电流出现，并伴随有明显的反向电压过冲，如图1-26所示。其中 U_{RP} 为最大反向电压， I_{RP} 为最大反向电流， t_{rr} 为反向恢复时间， t_{rr} 越小越好。



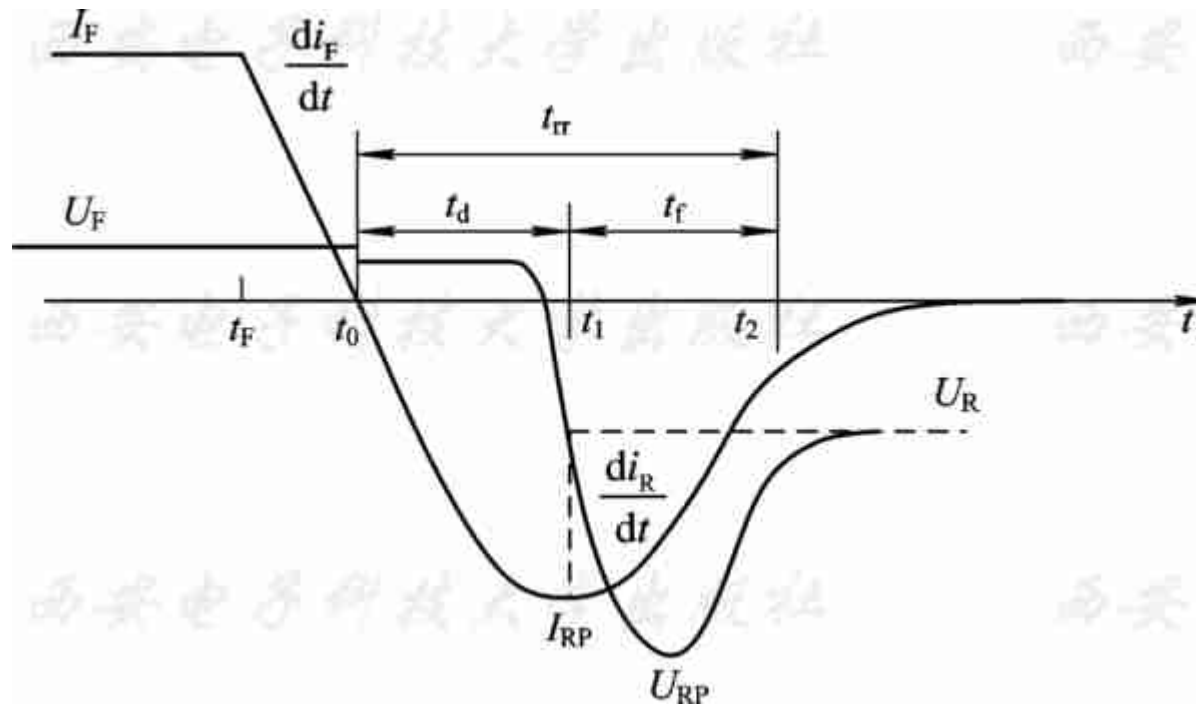


图1-26 电力二极管反向恢复过程中的电流和电压波形





2. 电力二极管的主要类型

1) 普通二极管(General Purpose Diode)

普通二极管又称为整流二极管(Rectifier Diode)，多用于开关频率不高(1 kHz以下)的整流电路中。其反向恢复时间较长，一般在5 s以上，这在开关频率不高时并不重要。其正向电流定额值和反向电压定额值可以达到很高，分别可达数千安和数千伏以上。





2) 快恢复二极管(FRD)

快恢复二极管是恢复过程很短，特别是反向恢复过程很短的二极管，简称为快速二极管。快速二极管在工艺上多采用了掺金措施，有的采用PN结型结构，有的采用改进的PiN结构。采用外延型PiN结构的快恢复外延二极管(Fast Recovery Epitaxial Diodes, FRED)，其反向恢复时间更短(可低于50 ns)，正向压降也很低(0.9 V左右)，但其反向耐压多在400 V以下。快速二极管从性能上可分为快速恢复和超快速恢复两个等级，前者反向恢复时间为数百纳秒或更长，后者则在100 ns以下，有的甚至达到20~30 ns。





3) 肖特基二极管

以金属和半导体接触形成的势垒为基础的二极管称为肖特基势垒二极管(SBD)，简称为肖特基二极管。肖特基二极管的优点很多，主要是：反向恢复时间很短(10~40 ns)，正向恢复过程中不会有明显的电压过冲；在反向耐压较低的情况下其正向压降也很小，明显低于快恢复二极管；其开关损耗和正向导通损耗都比快速二极管还要小，效率高。肖特基二极管的不足之处是：当反向耐压提高时，其正向压降也会高得不能满足要求，因此多用于200 V以下；反向漏电流较大且对温度敏感，因此反向稳态损耗不能忽略，而且必须更严格地限制其工作温度。





1.6.3 电力场效应晶体管MOSFET

信息电子技术与电力电子技术在各自发展的基础上相结合，形成了高频化、全控型、采用集成电路制造工艺的电力电子器件，从而将电力电子技术又带入了一个崭新阶段。其典型代表有门极可关断晶闸管、电力晶体管、电力场效应晶体管、绝缘栅双极晶体管。电源电路主要采用后两种元件。





1. 电力场效应晶体管的特点

电力场效应晶体管主要指绝缘栅型中的MOS型，简称电力MOSFET。其特点是：用栅极电压来控制漏极电流，驱动电路简单，需要的驱动功率小，开关速度快，工作频率高，热稳定性好，电流容量小，耐压低，一般只适用于功率不超过10 kW的电源电子装置。





2. 电力场效应晶体管的结构和工作原理

电力MOSFET的种类按导电沟道可分为P沟道和N沟道，如图1-27所示。其中G为栅极，S为源极，D为漏极。

电力MOSFET的工作原理是：在截止状态，漏源极间加正电源，栅源极间电压为零。P基区与N漂移区之间形成的PN结反偏，漏源极之间无电流流过；在导电状态，在栅源极间加正电压 U_{GS} ，栅极是绝缘的，所以不会有栅极电流流过，但栅极的正电压会将其下面P区中的空穴推开，而将P区中的电子吸引到栅极下面的P区表面。



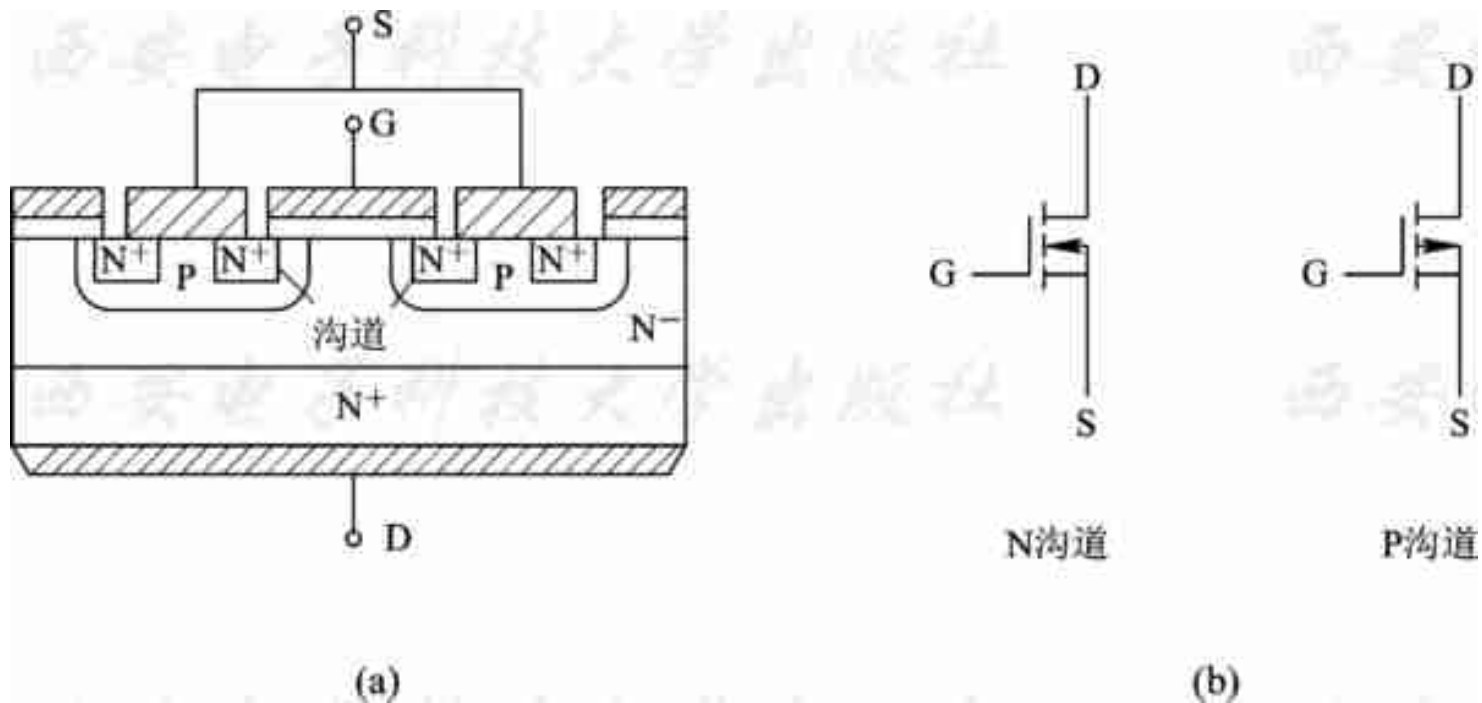


图1-27 电力MOSFET的结构和电气图形符号
(a) N沟道内部结构断面示意图； (b)电气图形符号





当 U_{GS} 大于开启电压或阈值电压 U_T 时，栅极下P区表面的电子浓度将超过空穴浓度，使P型半导体反型成N型而成为反型层，该反型层形成N沟道而使PN结消失，漏极和源极导电。

电力MOSFET开关时间在10~100 ns之间，其工作频率可达100 kHz以上，是主要开关器件中最高的。它属于场控器件，静态时几乎不需要输入电流，但在开关过程中需对输入电容充放电，故仍需一定的驱动功率。开关频率越高，所需要的驱动功率就越大。





3. 电力场效应晶体管驱动电路的选择

1) IR2011和IR221X系列

主电路的电力MOSFET开关频率要达到100 kHz，而早期的IR21系列的最短开通关断的时间是1.35 μ s，达不到100 kHz的开关要求。IR最新的驱动IC已经突破这一限制，如IR2011、IR221X系列均可工作在100 kHz以上。同类型的高压板桥驱动IC有很完善的保护机制，可以很好地应用于半桥、全桥、三项全桥等拓扑结构。





2) 应用隔离光耦驱动电路

应用隔离光耦驱动电路是为了让频率达到要求，在开关频率较高时，会产生显著的延时，而且需要一组独立的驱动电源。若使用高速光耦，其驱动能力不足。

3) 脉冲驱动变压器

脉冲驱动变压器的延时较小，但是输出驱动波形不易控制，输出驱动脉冲的宽度不能大范围调节，而且输出宽脉冲时脉冲变压器容易饱和，因此主要应用于开关频率较高的电路。



1.6.4 绝缘栅双极晶体管IGBT

电力晶体管GTR的特点是：双极型，电流驱动，有电导调制效应，通流能力很强，开关速度较低，所需驱动功率大，驱动电路复杂。MOSFET的优点是：单极型，电压驱动，开关速度快，输入阻抗高，热稳定性好，所需驱动功率小而且驱动电路简单。结合二者的优点而成的复合器件就是绝缘栅双极晶体管IGBT。它目前已经取代了GTR和一部分MOSFET，成为电源中小功率电力电子设备的主导器件。





1. IGBT的结构和工作原理

IGBT为三端器件，分别为栅极G、集电极C和发射极E，如图1-28所示，J表示PN结。IGBT的驱动原理与电力MOSFET基本相同，它是场控器件，其通断由栅射极电压 U_{GE} 决定。需导通时， U_{GE} 大于开启电压，MOSFET内形成沟道，为晶体管提供基极电流，IGBT导通；导通时有一压降，电导调制效应使电阻 R_N 减小，使通态压降小；需关断时，栅射极间施加反压或不加信号，MOSFET内的沟道消失，晶体管的基极电流被切断，IGBT关断。



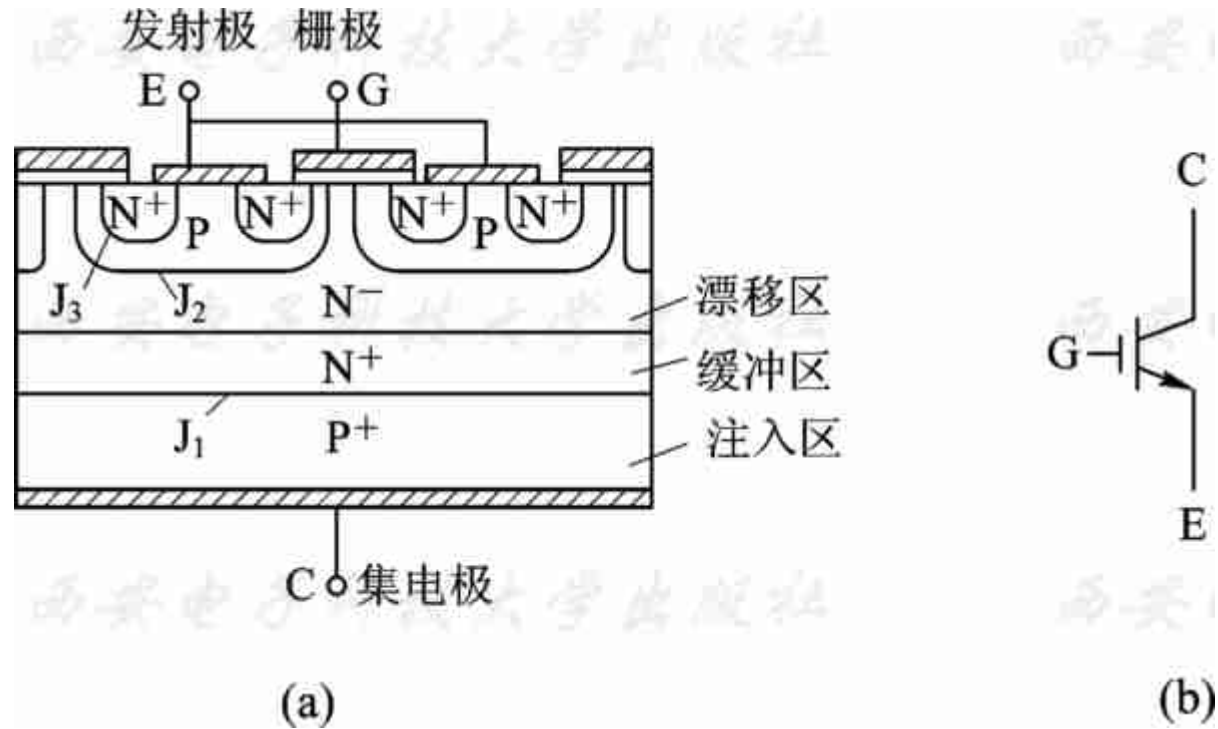


图1-28 IGBT的结构和电气图形符号
(a) 内部结构断面示意图；(b) 电气图形符号





2. IGBT的特性和参数特点

- (1) 开关速度高，开关损耗小。电压在1000 V以上时，开关损耗只有GTR的1/10，与电力MOSFET相当；
 - (2) 相同电压和电流定额时，安全工作区比GTR的大，且具有耐脉冲电流冲击能力；
 - (3) 通态压降比MOSFET低，特别是在电流较大的区域；
 - (4) 输入阻抗高，输入特性与MOSFET类似；
 - (5) 与MOSFET和GTR相比，耐压和通流能力还可以进一步提高，同时保持开关频率高的特点。
- 为使用方便，IGBT往往与反并联的快速二极管封装在一起，制成模块而成为逆导器件。





3. IGBT栅极驱动电路

1) IGBT栅极驱动模块的选用

IGBT栅极驱动模块EXB841、M57962L均可用于驱动1200 V系列400 A以内的IGBT模块，且具有过流检测及保护功能。EXB841内部产生 -5 V 负偏压且不可调；M57962L在外部利用稳压二极管产生 -9 V 负偏压，关栅可靠性比EXB841的高。M57962L的保护动作时间，即从出现过流到栅压降至 0 V 的时间仅为 $6.3\ \mu\text{s}$ 。EXB841的保护动作时间为 $16\ \mu\text{s}$ 且关栅电压不能降至 -2 V 以下，导致IGBT炸管的危险性比M57962L的大。因此，IGBT栅极驱动模块宜选用M57962L。





2) 驱动模块外围电路的改进

IGBT在关断时，管子的集电极和发射极之间产生的电压上升率 dv/dt 高达 $30\,000\text{ V}/\mu\text{s}$ 。过高的 dv/dt 会产生较大的位移电流，并导致产生较大的集电极脉冲浪涌电流，很容易使IGBT发生动态擎住现象。为了避免IGBT发生这种误动作，必须在IGBT栅极加负偏压。





3) IGBT模块与滤波电容的连接

IGBT的输入特性与MOSFET相类似，输入阻抗高。如果驱动电路失去电压，则IGBT的栅极失去负偏压，对发射极呈高阻态。此时，一旦有干扰窜至IGBT的栅极，则IGBT模块的上、下两管易同时导通。如果IGBT模块直接与数千微法的滤波电容连接，那么滤波电容储存的能量会通过IGBT模块的上、下管直接释放，易导致IGBT模块损坏。因此，设计大功率电源时应考虑加入控制电路，以使在开机时先接通控制、驱动部分电路的电源，后将IGBT模块与滤波电容连接。在关机时先将IGBT模块与滤波电容断开，后关断控制、驱动部分电路的电源。





1.6.5 功率模块与功率集成电路

为降低成本，方便应用，电子器件的制造出现模块化的发展趋势。人们将多个器件封装在一个模块中，该模块称为功率模块。其特点是可缩小装置体积，降低成本，提高可靠性，对工作频率高的电路，可大大减小线路电感，从而简化对保护和缓冲电路的要求。

将器件与逻辑、控制、保护、传感、检测和自诊断等信息电子电路制作在同一芯片上，该芯片称为功率集成电路PIC。智能功率模块IPM则专指IGBT及其辅助器件与其保护和驱动电路的单片集成，也称智能IGBT。功率集成电路的主要技术难点：高低压电路之间的绝缘问题以及温升和散热的处理问题。智能功率模块在一定程度上解决了上述两个难点，最近几年获得了迅速发展。功率集成电路实现了电能和信息的集成，成为机电一体化理想接口。





1.6.6 缓冲电路

1. 缓冲电路的作用

缓冲电路也称为吸收电路，其作用就是抑制器件的内因，如过电压、 du/dt 、过电流和 di/dt ，减小器件的开关损耗。缓冲电路可分为关断缓冲电路和开通缓冲电路。

关断缓冲电路也称为 du/dt 抑制电路，其作用是吸收器件的关断过电压和换相过电压，抑制 du/dt ，减小关断损耗。

开通缓冲电路也称为 di/dt 抑制电路，其作用是抑制器件开通时的电流过冲和 di/dt ，减小器件的开通损耗。

将关断缓冲电路和开通缓冲电路结合在一起可形成复合缓冲电路。

通常，缓冲电路专指关断缓冲电路，将开通缓冲电路叫做 di/dt 抑制电路，如图1-29所示。



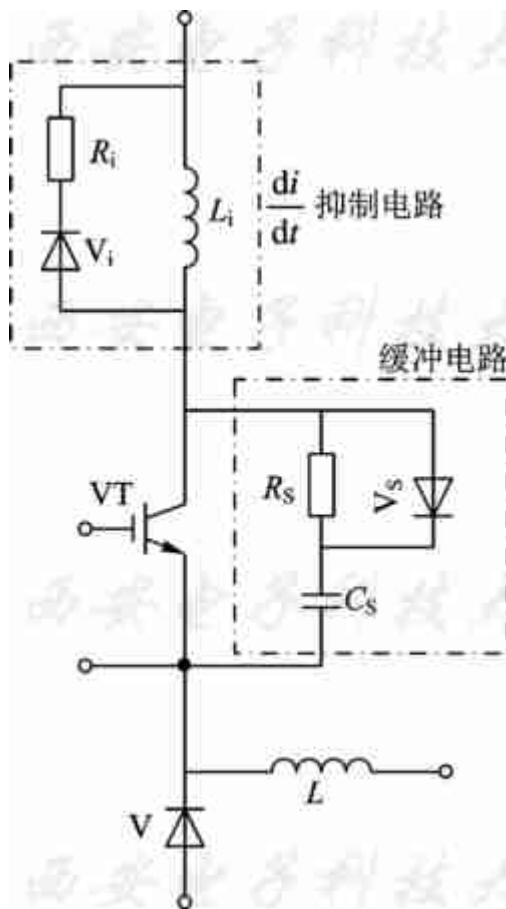


图1-29 缓冲电路





2. 缓冲电路中的元件选取

C_S 和 R_S 的取值可通过实验确定或参考工程手册， V_S 必须选用快恢复二极管，额定电流不小于主电路器件的1/10，尽量减小线路电感，且选用内部电感小的吸收电容。中小容量场合，若线路电感较小，可只在直流侧设一个 du/dt 抑制电路，对IGBT甚至可以仅并联一个吸收电容。

晶闸管在实用中一般只承受换相过电压，没有关断过电压，关断时也没有较大的 du/dt ，一般采用RC吸收电路即可解决。





1.7 开关电源中的整流电路

整流电路是组成基础开关电源的主要部分。整流电路有单相半波、单相全波、单相桥、倍压整流和多相整流等形式，这些整流电路都可以用于开关电源中，只是开关电源整流电路的工作频率要远远高于普通线性稳压电源的整流电路。





1.7.1 恒功率整流器

在普通的限流型整流器中，有恒压型整流器和恒流型整流器之分。在恒压型整流器中，其输出电压保持不变。而在恒流型整流器中，其输出电流保持不变，如果负载电流超过限流值，整流器输出电压将随电流的增加迅速下降，直至整流器过流而关断。在恒流型限流整流器中，其额定电流、限定电流和过流值三个电流值相当接近。功率整流器在交流输入电压和直流输出电压的变化范围内均能给出额定功率。



恒功率整流器与普通限流型整流器的不同之处是它有三个不同的输出阶段，即在恒压阶段和恒流阶段中插入了一个恒功率阶段，恒压阶段和恒流阶段的工作情况与普通限流型整流器完全相同，恒功率阶段是普通限流型整流器所没有的，有了恒功率阶段便可保持整流器输出功率不变。当普通的限流型整流器的输出电流超过限定值时，输出电压会大幅度降低，不能保证输出功率不变。但在恒功率整流器中，当输出电流超过限定值时，输出电压也会降低，但降低的速度不像限流型整流器那么快，仍可保持其输出功率不变，维持电子设备正常工作。所以在采用恒功率整流器的开关电源的设计中，只考虑电子设备的最大负荷和整流器的冗余，以确定开关电源的额定输出功率，也随之确定了输出电压和输出电流的调整范围。





1.7.2 倍流整流器

倍流整流器由高频变压器副边绕组、两个电感器、两个整流二极管和输出电容器组成。倍流整流器的特点是高频变压器副边绕组没有中心抽头，两个滤波电感器绕制在同一个磁心上，其电感量相等。这样，流过变压器副边绕组和两个电感器的电流只是输出负载电流的一半，从而大大简化了高频变压器和滤波电感器的结构设计和尺寸。倍流整流器的输出电流是两个滤波电感器电流之和，而两个滤波电感器电流的脉动电流是相互抵消的，所以倍流整流器可以得到脉冲电流很小的直流输出。





1.7.3 同步整流器

高速数据处理系统和笔记本电脑需要低电压的超大规模高速集成电路，使得电源的整流损耗变成了主要损耗。譬如，以往DC/DC变换器采用硅肖特基二极管(Si-SBD)作为输出整流二极管，DC/DC变换器正常工作时，Si-SBD的正向压降 U_{nF} 为0.4~0.6 V，而DC/DC变换器的输出电压为5 V左右；当输出电流较大时，Si-SBD上的功耗很大，DC/DC变换器的效率大大降低。现在高速数据处理系统的电源电压已降到3 V左右，甚至降到1.5~1.8 V，显然用Si-SBD作为输出整流二极管时，效率更低。研究显示，大约有22%的功率消耗在Si-SBD输出整流管上。为了提高效率，现采用了具有低导通电阻的MOSFET器件进行整流，由于MOSFET的正向压降很小，目前MOSFET已成功地用于整流电路，大大提高了变换器的效率。图1-30所示是用MOSFET作为整流二极管的整流电路。MOSFET器件作为开关管时，驱动信号加在栅极G和源极S之间；作为整流管时，漏极D和源极S间仍类似一个开关管。图1-30所示电





路是一个半波整流电路，MOSFET的D极接在变压器的输出同名端，G极通过电阻 R_1 接在变压器输出的另一端。当D为高电位时，G为低电位，MOSFET被阻断；当D为低电位时，G为高电位，MOSFET导通，在负载 R_0 上得到整流输出。由于利用变压器实现了MOSFET器件的G极驱动信号与D-S极间开关的同步，所以将这种方式称为同步整流，用于同步整流的MOSFET开关器件称为同步整流管SR。

SR的优点是导通电阻小，可做到毫欧量级，正向压降小，功率变换器的效率高，同时还有阻断电压高、反向电流小等优点，所以在大功率、低输出电压的功率变换器中被广泛采用。

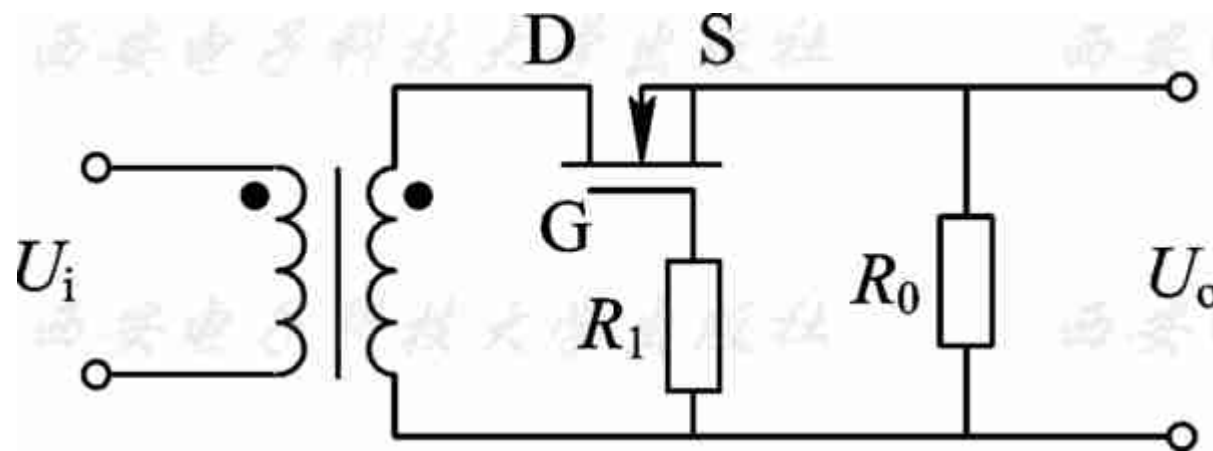


图1-30 用MOSFET作为整流二极管的整流电路





1.8 电源设备的评价与测量

电能作为人们广泛使用的能源，其应用程度是一个国家发展水平和综合国力的主要标志之一。在满足工业生产、社会和人民生活对电能需求量的同时，提高对电能质量的要求是一个国家工业生产发展、科技水平提高、社会文明程度进步的表现，是信息时代和信息社会发展的必然结果，是增强用电效率、节能降损、改善电气环境、提高国民经济的总体效益以及工业生产可持续发展的技术保证。

电源设备的高质量是负载电源系统优质供电的基础和保障。虽然人们在不断完善检测标准和检测方法，但是在使用和操作过程中难免会产生一些误解或被一些误导所困惑。为此，人们在综合分析、科学判定的基础上，总结了一些规律和经验，以供参考。





1.8.1 电源设备的评价

所谓常规指标，是指诸如精度、失真度、平衡度、转换时间、动态反应等。目前很多电源产品都已经达到了该产品标准的较高指标，但过高的指标未必就是实际使用所需要的。某一项性能指标的高低，不能成为判定产品品质优劣的标准。判定产品优劣最重要的指标是可靠性。提高可靠性是电源产品永恒的主题，离开可靠性谈先进性和可使用性都是毫无意义的。可靠性指标一般都是根据可靠性设计和大量的统计数据进行综合评估的，短时间内难以检测校对，但是可以通过检测输出能力和效率来评定其可靠性。在同一规格的产品中，输出能力强就意味着在正常使用的环境下不是满负荷运行，还有储备的能量，故障比较少；效率高则意味着温升高。符合这样要求的产品一般来说可以认为可靠性高。



1. 集中监控管理系统

当前的电源集中监控管理系统在进一步完善，在建设该系统时应将重点放在直流系统，特别是在基础电源系统为48V的主蓄电池、发电机组的启动电池、UPS后备电池的智能化管理方面，对于可设可不设的三遥点，就一定不要设置。避免重复设置遥信点，但要加强告警点的设置，把实用性放在第一位。





2. 防雷问题

雷电易引起火灾、爆炸，特别是对电力、通信领域危害更严重。全面防雷应采取综合治理、整体防御、多重保护、层层设防的原则，特别是要严格控制雷击点。安全引导雷电电流入地、完善低电阻地网、消除地面回路、电流浪涌保护、信号及数据线瞬变保护等是行之有效的防雷措施。

由于雷电的产生受周边环境等多种因素的影响，因此不管采用任何厂家的防雷器、过电压保护器、过流型避雷器、过压型浪涌抑制器等，都必须与良好的联合接地系统相配合才能有效发挥作用。





3. 交流不间断电源系统

不间断电源系统的可靠性是信息系统可用性的基本前提。信息系统的发展，就是全面计算机化。今后信息交流负荷将愈来愈大，重要性会越来越高，所以提高不间断电源供电系统的可靠性是一大重点。品质好的设备，应该具备以下基本功能：

(1) 能在各种复杂的电网环境下投入运行，在电网电压变化范围较大的情况下仍能正常运行；





- (2) 在运行中不会对供电电网产生其他附加的干扰；
- (3) 它的输出电性能指标应是全面的、高质量的，能够持续满负荷运行；
- (4) 本身具有高效率；
- (5) 有高智能化的自动管理功能。





4. 油机发电机组

油机发电机组是提高交流供电可用度的关键设备。由于汽油发电机组汽油的燃点低，稳定性差，因此采用点火爆发，必须有人值守。发电机在我国乃至在世界上都是最经典、最成熟的技术，一般来说，其稳态、瞬态的八大性能指标已经达到了标准规定的比较高的技术水平。世界上的机组制造厂，有的生产发动机而外购原动机，有的生产原动机而外购发动机，有的工厂原动机和发动机均外购。我国的组装技术并不比国外差，远高于周边的一些国家，国产原动机的质量虽然在不断提高，但与发达国家相比，尚有一定差距。





5. 整流器设备

对于整流器设备，我们要选择输出能力强、效率高的产品。由于电子设备多是在开关机的瞬间过程出现故障的，因此在验收设备时最好适量增加开关机的次数。





6. 蓄电池

由于电池使用场所及放电方式不同，因此对其要求也是不一样的。

- (1) 接入网应选择适合小电流、长时间深度放电的电池。
- (2) 不间断电源系统应选择适合大电流、短时间深度放电的电池。
- (3) 太阳能供电系统应选择适合长时间深度放电、回充速度快、充放电效率高、无规律充放电、充电电流时大时小的电池。





1.8.2 开关电源的技术指标

1. 输出电压调整率

当设计制作开关电源时，第一个测试步骤就是将输出电压调整至规定范围内。此步骤完成后才能确保后续的技术指标能够符合。通常，当调整输出电压时，将输入交流电压设定为正常值，并且将输出电流设定为正常值或满载电流，然后以数字电压表测量电源供应器的输出电压值并调整其电位器，直到电压读值位于要求的范围内。





2. 电源调整率

电源调整率的定义为电源供应器在输入电压变化时提供其稳定输出电压的能力。此项技术指标用来验证电源供应器在最恶劣之电源电压环境下输出电源的稳定度是否合乎需求的规格，如高温条件下，当用电需求量最大时，其电源电压最低；又如低温条件下，用电需求量最小，其电源电压最高。在前述之两个极端下验证电源。

能提供可变电电压能力的电源，至少能提供待测电源供应器的最低到最高之输入电压范围。均方根值交流电压表可以用来测量输入电源电压，其众多的数字功率计能精确计量电压、电流、功率和PF值。



测试步骤如下：将待测电源供应器以正常输入电压及负载状况下热机稳定后，分别在低输入电压 U_{imin} 、正常输入电压 U_{inor} 及高输入电压 U_{imax} 下测量并记录其输出电压值。电源调整率 ξ 表示为正常固定负载下，由输入电压变化所造成其输出电压偏差率的百分比，如下列公式所示：

$$\xi = \frac{U_{imax} - U_{imin}}{U_{inor}} \quad (1-6)$$

电源调整率也亦可用下列方式表示：在输入电压变化下，其输出电压的偏差量须在规定的范围内，即在输出电压的上、下限绝对值以内。





3. 负载调整率

负载调整率的定义为开关电源在输出负载电流变化时提供其稳定输出电压的能力。此项技术指标用来验证电源在最恶劣负载环境下，输出电源稳定度是否合乎需求的规格，如在负载断开，用电需求量最小，其负载电流最低的条件下，以及在负载最多，用电需求量最大的条件下。





测量负载调整率所需的设备和连接与测量电源调整率的相似，唯一不同的是需要精密的电流表与待测电源供应器的输出串联。测试步骤如下：将待测电源供应器以正常输入电压及负载状况下热机稳定后，测量正常负载下的输出电压值，再分别在轻载、重载负载下，测量并记录其输出电压值。负载调整率通常以正常固定输入电压下，由负载电流变化所造成其输出电压偏差率的百分比表示。当输出负载电流变化时，其输出电压的偏差量须在规定的电压范围内，即在输出电压的上、下限绝对值以内。





4. 综合调整率

综合调整率的定义为电源供应器在输入电压与输出负载电流变化时提供其稳定输出电压的能力。此项技术指标是上述电源调整率与负载调整率的综合，可提供对电源供应器在改变输入电压与负载状况下更正确的性能验证。综合调整率用下列方式表示：当输入电压与输出负载电流变化时，其输出电压的偏差量须在规定的电压范围内(即在输出电压的上、下限绝对值以内)或某一百分比界限内。



5. 输出噪声

输出噪声(PARD)是指在输入电压与输出负载电流均不变的情况下,其平均直流输出电压上的周期性与随机性偏差量的电压值。输出噪声是表示在经过稳压及滤波后的直流输出电压上所有不需要的交流和噪声部分(包含低频50/60 Hz电源倍频信号、高于20 kHz高频切换信号及其谐波,再与其他随机性信号所组成),通常以毫伏峰峰值电压为单位来表示。一般开关电源的规格均以输出直流电压的1%以内为输出噪声规格,其频宽为20 Hz~20 MHz或其他更高的频率,如100 MHz等。电源供应器在恶劣环境状况下(如输出负载电流最大、输入电源电压最低等),其输出直流电压加上杂讯后的输出瞬时电压,应仍能够维持稳定的输出电压,而不超过输出高低电压界限,否则将可能会导致电源电压超过或低于逻辑电路(如TTL电路)所承受电源电压而误动作,进一步造成死机现象。





例如：5 V输出，其输出噪声要求为50 mV以内。此时包含电源调整率、负载调整率、动态负载等其他所有变动，其输出瞬时电压应介于4.75 V至5.25 V之间，才不致引起TTL逻辑电路的误动作。在测量输出噪声时，电子负载的PARD必须比待测的电源供应器的PARD值低，才不会影响输出噪声测量。同时，测量电路必须有良好的隔离处理及阻抗匹配。为避免导线上产生不必要的干扰、振铃和驻波，一般都在双同轴电缆的端点并以50 Ω 电阻，并使用差动式量测方法以避免地回路噪声电流，来获得正确的测量结果。

