

图 2.60 开关电源内部的噪声产生与相互耦合

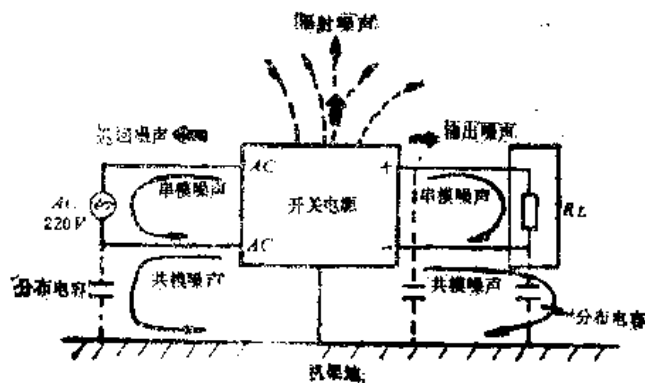


图 2.61 以开关电源为中心的噪声分类

二、整流二极管产生的噪声和缓冲器的效果

1. 整流二极管反向电流产生噪声的原因

前面已提到, 开关电源中整流二极管所产生的噪声是主要的噪声, 所以有必要对二极管产生噪声的机理作一研究。一般对开关电源中所使用的整流二极管的要求是: 正向电压要小; 反向恢复时间要快; 反向漏电流要小; 要有一定的耐压; 工作温度范围要宽; 装配要方便等。对高频整流二极管, 正向电压 V_F 和反向恢复时间 t_{rr} 两个参数最重要, 特别是反向恢复时间 t_{rr} 直接关系到二极管所产生的噪声大小。人们通常认为, 二极管正向导电, 反向不导电。但实际上反向也有一定的电流流过, 特别是当频率较高的交流电压加在二极管两端时, 这种反向电流就很明显。这是由于一般的硅二极管在正向有电流流过时, 其PN结内的电荷被积累, 而当反向电压一加上, 积累的电荷就消失, 并回到原来的状态, 在这段时间内失去了整流作用, 有较大的反向电流流过。二极管的这种交流特性及正反向电流的波形如图2.62a)所示。图2.62b)、c)是二极管的反向恢复特性。由图可见, 所谓的反向恢复时间 t_{rr} 是指反向电流刚产生到反向电流又恢复到零的这段时间。一般来说, 二极管的反向恢复时

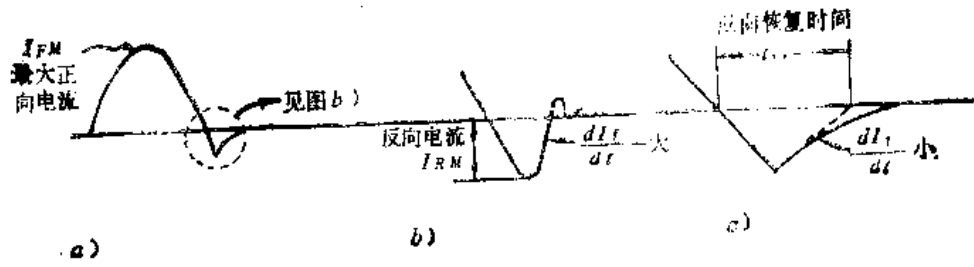


图 2.62 二极管的反向特性和恢复时间

间越长，其反向电流的幅值也越大，较大的反向电流导致了噪声的发生。另外，图2.62还表示了反向电流从最大幅值恢复到零值的恢复特性。较大 dI_T/dt 方式的特性恢复曲线很陡，称硬恢复（图b），反之称软恢复（图c）。下面还会提到，这种恢复特性也影响着噪声产生的强弱。

图2.63说明了反向电流与噪声的关系。反向电流导致噪声的原因是这样的，如图a)所

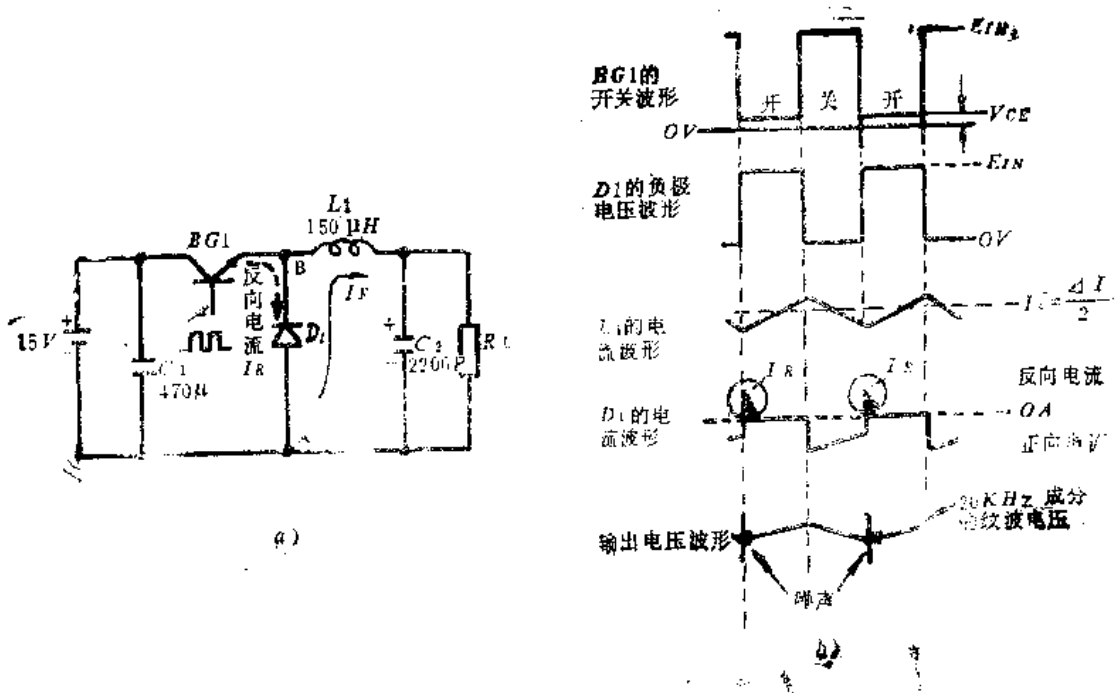


图 2.63 反向电流 I_R 和噪声的关系

示，当 BG_1 关断，电感 L_1 的能量通过整流二极管 D_1 的电流 I_F 而释放；随着电感 L_1 上的能量逐渐减少，输出电压降低， BG_1 又导通；这时二极管从本来由A到B有正向电流通过的状态突然变成加有反向电压的状态，因而产生了一个反向电流 I_R 。就是这个突变的反向电流，通过线路的电感成分，产生了很大的噪声电压。由图2.63b)可见， D_1 上的反向电流流过期间，在输出纹波上重叠有较大的噪声。

图2.64说明了反向恢复时间与反向电流值以及噪声大小的关系。图2.64是反向恢复时间为300ns的二极管其反向电流有2.3A，输出端有50mV $_{p-p}$ 的噪声电压，稳压电源的效率也十分差。图b)是反向时间为35ns的二极管，其反向电流仅为300mA，输出端的噪声为10mV $_{p-p}$ 。

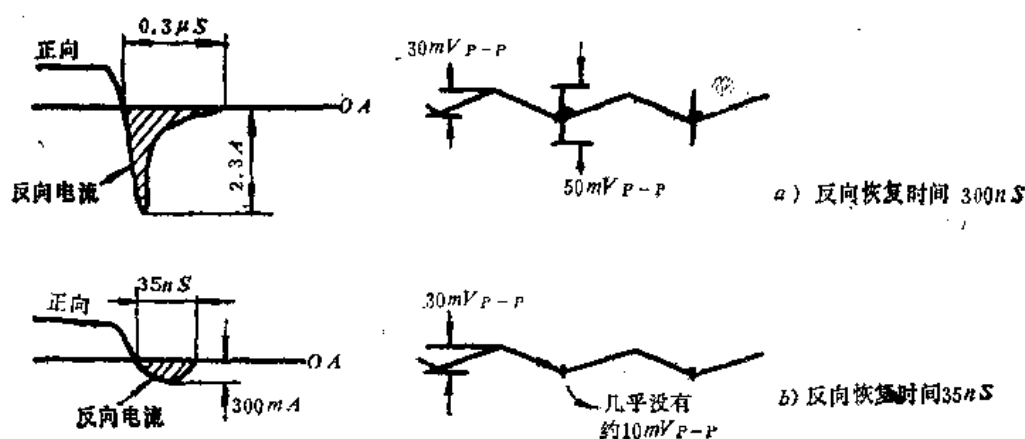


图 2.64 二极管的反向恢复时间与噪声大小的关系

现在看一下反向恢复特性（即从反向电流最大值到回复为零这段波形）与噪声的关系。图2.65画出了各种反向恢复特性的波形。图a)是硬恢复，从反向电流的峰值点向零值恢复

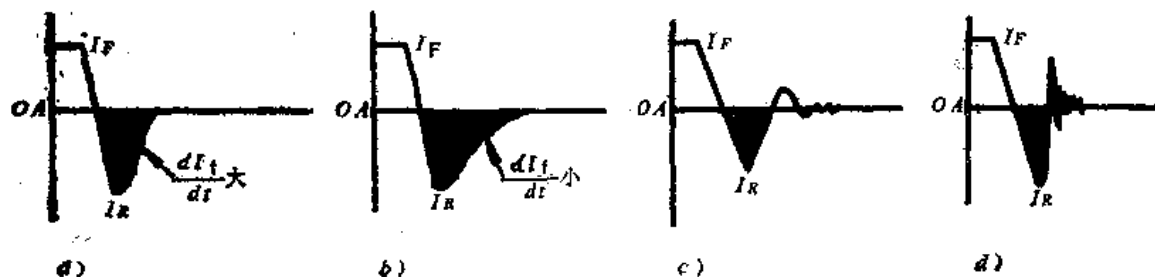


图 2.65 各种反向恢复波形

的曲线非常陡，就是电流变化非常剧烈，这导致了较大的噪声产生。图b)是属于软恢复，由于电流变化不那么剧烈，它所产生的噪声要比前者小一个数量级。恢复波形还有如图c)和图d)的振荡式恢复和过冲式恢复，这种情况首先是与二极管的制造工艺有关，有时候也与布线及印刷线路板的设计有关。

2. 二极管反向恢复特性软化的措施

由上述分析可知，为减小噪声干扰，要求二极管反向恢复时间短以及具有软恢复特性。一般反向恢复时间短的二极管大多具有软恢复特性。对于硬恢复特性也可以采取措施使之软化。图2.66介绍了二种软化的办法。图a)是输入20V，输出为5V、3A的开关电源。它的二极管具有硬恢复特性，当开关频率为154kHz时，在输出处的噪声为160mV_{p-p}。图b)是软化恢复特性的一个基本措施，即在二极管两端并联一个由电阻和电容串联而成的缓冲器。这个缓冲器的参数是：电阻为51Ω，电容为680pF。由于采取这种软化措施，使其恢复波形软化，在输出处噪声降低为55mV_{p-p}。图c)的措施是在图b)的基础上加以改进的，在二极管的线路上串接一个电感量为数μH的电感L₂，可阻止反向电流通过。这个措施有相当显著的效果，可将噪声抑制到18mV_{p-p}。需指出的是，只加L₂而不加缓冲器则会引起相反效果。图2.67所示的方法可以使反向电流和输出噪声减少。图中的电感L₂的取值可根据(2-10)式估算。

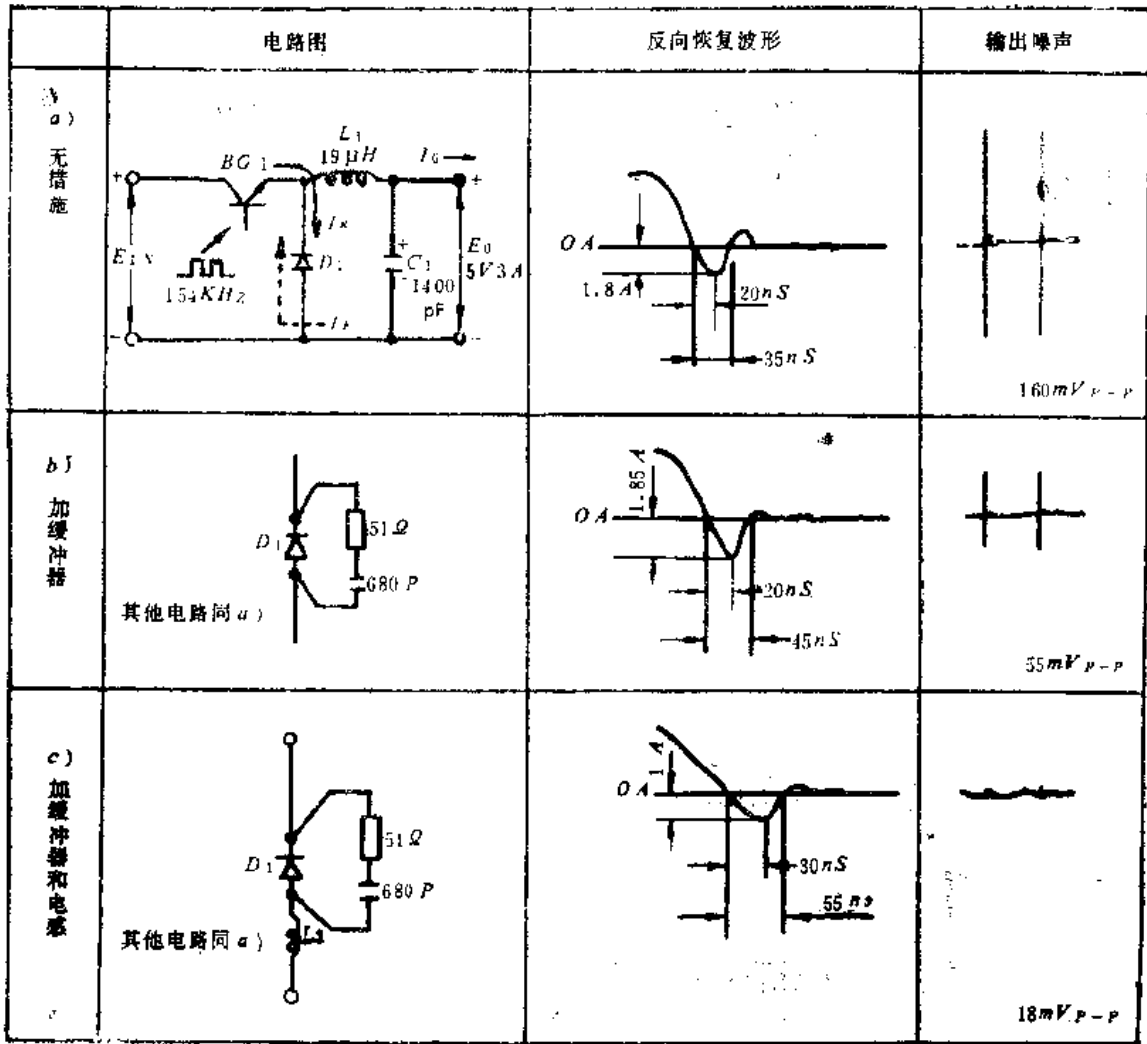


图 2.66 反向恢复波形的软化措施

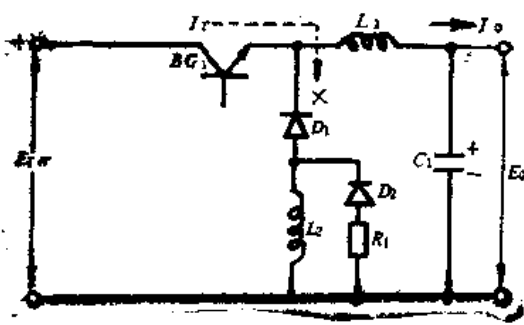


图 2.67 使反向电流和输出噪声减少的措施

$$L_2 = \frac{E_{1N} \cdot t_{rr}}{I_0} \quad (2-10)$$

t_{rr} 为二极管的反向恢复时间；电阻 R_1 的取值可根据试验决定。

在图2.68所示的那种开关电源中，如用反向恢复时间较长的二极管 D_1D_2 ($t_{rr}=200\text{ns}$) 其反向有10A的电流流过，这相当于短路的大电流，不但会流经线路的电感导致强烈的噪声，还会使电源的效率大幅度地下降。对于这样的电路，除了要选用 t_{rr} 在100ns以下的二极管外，

还要在二极管两端并接缓冲器。缓冲器要尽可能短地连接在二极管的两端，电阻、电容的引线也要尽可能地短。采取这样的措施后，输出噪声可以大幅度地降低。

缓冲器不仅可以用于二极管，也可用于开关三极管。图2.69是一个推挽式的开关电源，试看 BG_1 和 BG_2 的集电极之间加缓冲器的效果。当不加缓冲器时，在输出处的噪声为

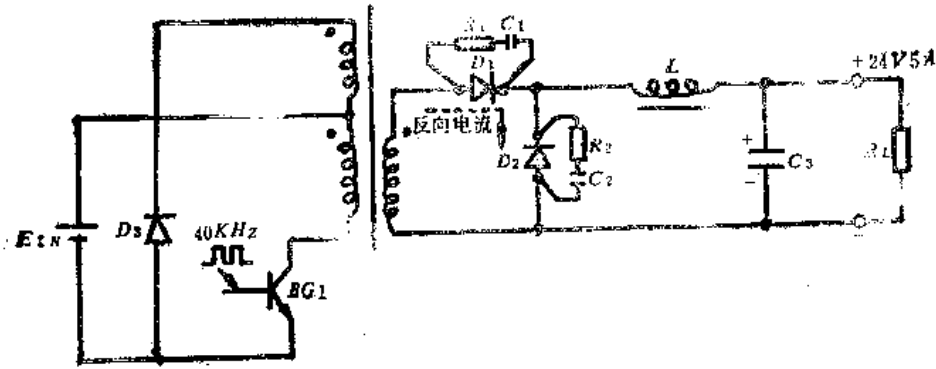


图 2.68 二极管的两端要尽可能短地连接到缓冲器

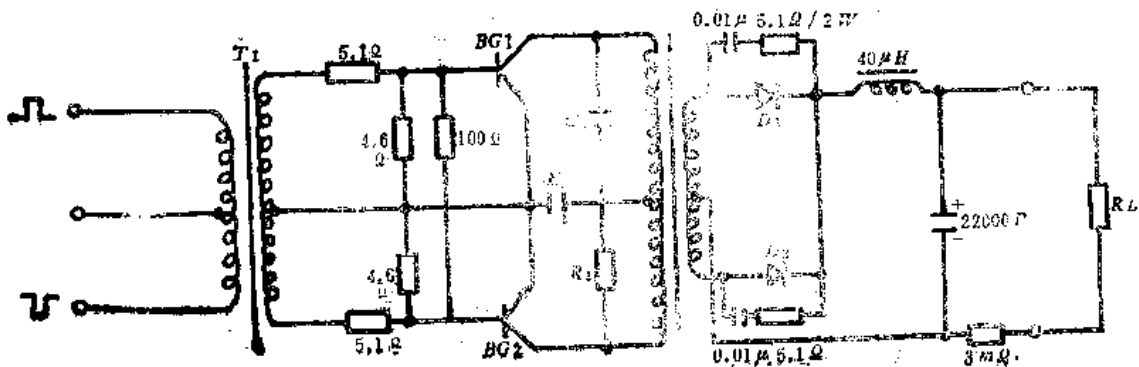


图 2.69 推挽变换式开关电路加缓冲器的效果

180mV_{p-p}。在二个三极管的集电极之间加缓冲器就有显著的效果。如先使缓冲器的电容 C_1 容量固定在500pF。当缓冲器的电阻 R_1 为2k Ω 时，电源输出处的噪声为82mV_{p-p}；当 R_1 为1.5k Ω 时，噪声为56mV_{p-p}；当 R_1 为750 Ω 时，噪声为48mV_{p-p}。当然，只降低电阻值不能无止地使噪声降低下去，是有限度的。缓冲器的电容 C_1 增大也有效果，但太大了会使晶体管的开关速率降低，所以也不能无限制地增大。同时，要注意缓冲器元器件的引线一定要短，否则，其效果变差。

还应指出，缓冲器不仅对软化二极管的反向恢复特性、降低输出噪声有明显效果，还对半导体器件起很好的保护作用，可以避免开关电源中常发生的因浪涌电压而烧毁器件的事故。有人做过试验，在开关电源的交流输入处叠加输入高频脉冲，在相同条件下，不加缓冲器的二极管经三十分钟后烧毁，而加了缓冲器的电路可经受更长时间的这种浪涌冲击。

3. 缓冲器C、R参数选择

图2.70表示缓冲器电路中C和R的参数变化对输出处噪声大小的影响。参考此关系曲线选择缓冲器的R、C参数。

缓冲器电路的R、C参数也可由简单的计算得到，这里举例说明。图2.71所示的是一个基本电路， $V_{CC}=100V$ ； $L=100\mu H$ ； $r=5\Omega$ ； $V_{CE0}=400V$ 。先求 C_0 的电容值。由于电感L所积累的能量为 $\frac{1}{2}LI_c^2$ ，它全部被 C_0 吸收， C_0 充电的电压应限制在晶体管的击穿电压 V_{CE0} 以下，所以

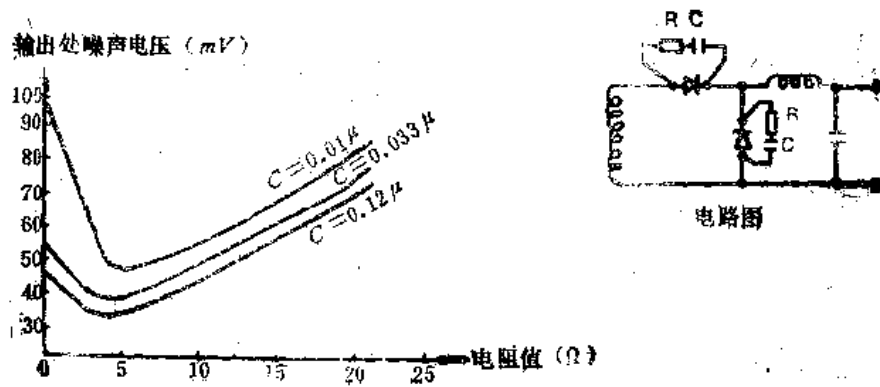


图 2.70 缓冲器的R、C与噪声电压的关系

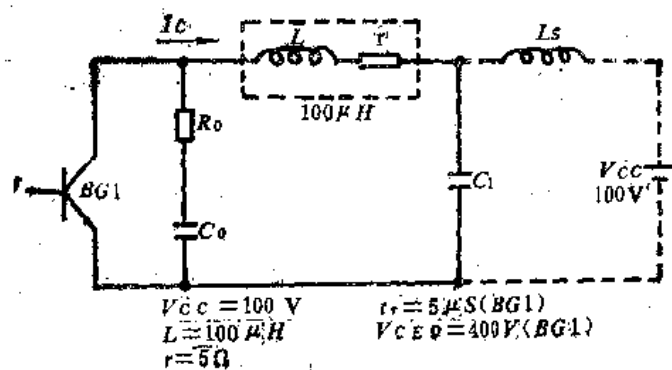


图 2.71 缓冲器 R_0C_0 的参数计算

$$\frac{1}{2}LI_c^2 \leq \frac{1}{2}C_0(V_{CE0}^2 - V_{CC}^2) \quad (2-11)$$

$$(2-12)$$

即:
$$C_0 \geq \frac{LI_c^2}{V_{CE0}^2 - V_{CC}^2}$$

将L、 I_c 、 V_{CE0} 、 V_{CC} 的实际值代入计算，其中 $I_c = 100V/5\Omega = 20A$ ， $C_0 \geq 0.27 \times 10^{-6}F$ 。所以 C_0 可取 $0.27\mu F$ 。现计算 R_0 的值，串联电阻 R_0 是用于晶体管转换导通时限制 C_0 的放电电流，同时防止电容 C_0 和电路的阻抗因共振而产生的阻尼振荡。 R_0 应为

$$\frac{V_{CC}}{I_{C(max)}} \leq R_0 \leq \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2-13)$$

将L、 C_0 、 V_{CC} 实际值代入，且 $I_{C(max)} = 40A$ ，计算得

$$2.5\Omega \leq R_0 \leq 370\Omega$$

电阻 R_0 的数值可在上述范围内选取。电容器最好选用高频特性好的无感电容。

三、开关电源自激振荡的抑制

开关电源和其他电源一样，也有自激振荡的问题，其振荡频率一般比工作频率低。当自激产生时，输出的纹波增加，有时还会使变压器和电感线圈发出鸣叫声。象图2.72a)的电路是比较容易产生自激的。在开关电源中要想较大幅度地抑制噪声和纹波，常常采用多级L