

## 热敏电阻型浪涌抑制器在电源设计中的应用

随着电子产品对可靠性要求的不断提高和能源资源的日益紧缩,高可靠性和高效节能的电子产品将是未来电子产品发展的一个方向,因此在产品的电源设计上,必须要充分考虑其可靠性能和电源使用效率。

本文首先分析电子产品为什么会有开机浪涌,然后以典型的电源电路为例分析如何使用热敏电阻抑制浪涌电流,最后介绍热敏电阻在实际应用中应如何选型。

### 开机浪涌电流产生的原因

图 1 是典型的电子产品电源部分简化电路,C1 是与负载并联的滤波电容。在开机上电的瞬间,电容电压不能突变,因此会产生一个很大的充电电流。根据一阶电路零状态响应模型所建立的一阶线性非齐次方程可以求出其电流初始值相当于把滤波电容短路而得到的电流值。这个电流就是我们常说的输入浪涌电流,它是在对滤波电容进行初始充电时产生的,其大小取决于启动上电时输入电压的幅值以及由桥式整流器和电解电容其所形成的回路的总电阻。

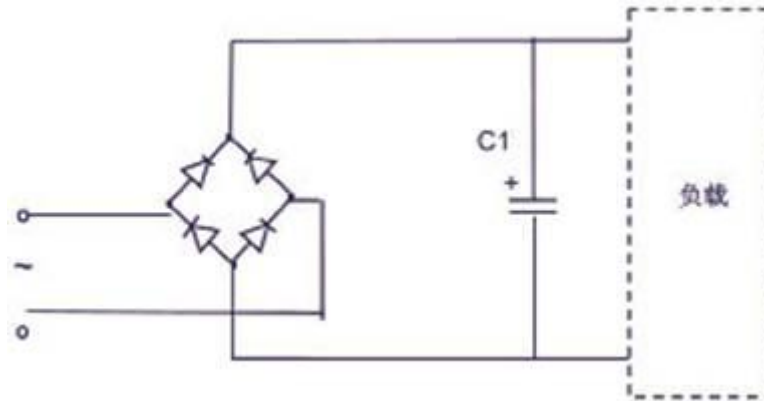


图 1 电源示意图

假设输入电压  $V_1$  为 220Vac, 整个电网内阻(含整流桥和滤波电容)  $R_s=1\Omega$ , 若正好在电源输入波形达到 90 度相位的时候开机, 那么开机瞬间浪涌电流的峰值将达到  $I=220 \times 1.414/1=311$  (A)。这个浪涌电流虽然时间很短, 但如果不加以抑制, 会减短输入电容和整流桥的寿命, 还可能造成输入电源电压的降低, 让使用同一输入电源的其它动力设备瞬间掉电, 对临近设备的正常工作产生干扰。

## 浪涌电流的抑制

浪涌电流的抑制方法有很多，一般中小功率电源中采用电阻限流的办法抑制开机浪涌电流。图 2 是一个常见的 110V/220V 双输入电源示意图，以此为例，我们分析一下如何使用 NTC 热敏电阻进行浪涌电流的抑制。

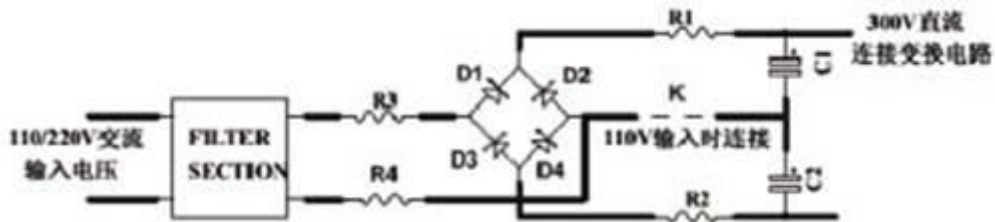


图 2 110/220Vac 双输入电源示意图

NTC 热敏电阻，即负温度系数热敏电阻，其特性是电阻值随着温度的升高而呈非线性的下降。NTC 在应用上一般分为测温热敏电阻和功率型热敏电阻，用于抑制浪涌的 NTC 热敏电阻指的就是功率型热敏电阻器。

图 2 中 R1~R4 为热敏电阻浪涌抑制器通常放置的位置。对于同时兼容 110Vac 和 220Vac 输入的双电压输入产品，应该在 R1 和 R2 位置同时放两个 NTC 热敏电阻，这样可使在 110Vac 输入连接线连接时和 220Vac 输入连接线断开时的冲击电流大小一致，也可单独在 R3 或 R4 处放置一个 NTC 热敏电阻。对于只有 220Vac 输入的单电压产品，只需在 R3 或 R1 位置放 1 个 NTC 热敏电阻即可。

其工作原理如下：

在常温下，NTC 热敏电阻具有较高的电阻值（一般选用  $5\Omega$  或  $10\Omega$ ），即标称零功率电阻值。参考图 1 的例子，串接  $10\Omega$  NTC 时，开机浪涌电流为： $I=220 \times 1.414 / (1+10) = 28$  (A)，比未使用 NTC 热敏电阻时的 311A 降低了 10 倍，有效的起到了抑制浪涌电流的作用。

开机后，由于 NTC 热敏电阻迅速发热、温度升高，其电阻值会在毫秒级的时间内迅速下降到一个很小的级别，一般只有零点几欧到几欧的大小，相对于传统的固定阻值限流电阻而言，这意味着电阻上的功耗因为阻值的下降随之降低了几十到上百倍，因此这种设计非常适合对转换效率和节能有较高要求的产品，如开关电源。

---

断电后，NTC 热敏电阻随着自身的冷却，电阻值会逐渐恢复到标称零功率电阻值，恢复时间需要几十秒到几分钟不等。下一次启动时，又按上述过程循环。

## 改进型电源设计

上述使用 NTC 浪涌抑制器的电路与使用固定电阻的电路相比，已经具备了节能的特性。对于某些特殊的产品，如工业产品，有时客户会提出如下要求：1、如何降低 NTC 的故障率以提高其使用寿命？2、如何将 NTC 的功耗降至最低？3、如何使串联了 NTC 热敏电阻的电源电路能适应循环开关的应用条件？

对于第 1、2 两点，因为 NTC 热敏电阻的主要作用是抑制浪涌，产品正常启动后它所消耗的能量是我们不需要的，如果有一种可行的办法能将 NTC 热敏电阻从正常工作的电路中切断，就可以满足这种要求。

对于第 3 点，首先分析为什么使用了 NTC 热敏电阻的产品不能频繁开关。从电路工作原理的分析我们可以看到，在正常工作状态下，是有一定电流通过 NTC 热敏电阻的，这个工作电流足以使 NTC 的表面温度达到  $100^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。当产品关断时，NTC 热敏电阻必须要从高温低阻状态完全恢复到常温高阻状态才能达到与上一次同等的浪涌抑制效果。这个恢复时间与 NTC 热敏电阻的耗散系数和热容有关，工程上一般以冷却时间常数作为参考。所谓冷却时间常数，指的是在规定的介质中，NTC 热敏电阻自热后冷却到其温升的 63.2% 所需要的时间（单位为秒）。冷却时间常数并不是 NTC 热敏电阻恢复到常态所需要的时间，但冷却时间常数越大，所需要的恢复时间就越长，反之则越短。

在上述思路的指导下，产生了图 3 的改进型电路。产品上电瞬间，NTC 热敏电阻将浪涌电流抑制到一个合适的水平，之后产品得电正常工作，此时继电器线圈从负载电路得电后动作，将 NTC 热敏电阻从工作电路中切去。这样，NTC 热敏电阻仅在产品启动时工作，而当产品正常工作时是不接入电路的。这样既延长了 NTC 热敏电阻的使用寿命，又保证其有充分的冷却时间，能适用于需要频繁开关的应用场合。

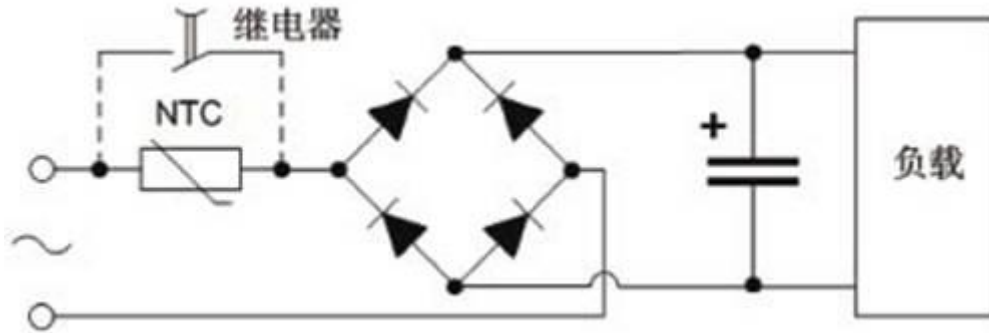


图3 带继电器旁路电路的电源设计示意图

### NTC 热敏电阻的选型

NTC 热敏电阻的选型要考虑以下几个要点：

#### 最大额定电压和滤波电容值

滤波电容的大小决定了应该选用多大尺寸的 NTC。对于某个尺寸的 NTC 热敏电阻来说，允许接入的滤波电容的大小是有严格要求的，这个值也与最大额定电压有关。在电源应用中，开机浪涌是因为电容充电产生的，因此通常用给定电压值下的允许接入的电容量来评估 NTC 热敏电阻承受浪涌电流的能力。对于某一个具体的 NTC 热敏电阻来说，所能承受的最大能量已经确定了，根据一阶电路中电阻的能量消耗公式  $E=1/2 \times CV^2$  可以看出，其允许的接入的电容量与额定电压的平方成反比。简单来说，就是输入电压越大，允许接入的最大电容值就越小，反之亦然。

NTC 热敏电阻产品的规范一般定义了允许接入的最大电容值。假设某应用条件最大额定电压是 420Vac，滤波电容值为 200 $\mu$ F，根据上述能量公式可以折算出在 220Vac 下的等效电容值应为  $200 \times 420^2 / 220^2 = 729\mu$ F，这样在选型时就必须选择 220Vac 下允许接入电容值大于 729 $\mu$ F 的型号。

#### 产品允许的最大启动电流值和长期加载在 NTC 热敏电阻上的工作电流

电子产品允许的最大启动电流值决定了 NTC 热敏电阻的阻值。假设电源额定输入为 220Vac，内阻为 1 $\Omega$ ，允许的最大启动电流为 60A，那么选取的 NTC 在初始状态下的最小阻值为  $R_{min} = (220 \times 1.414 / 60) - 1 = 4.2 (\Omega)$ 。至此，满足条件的 NTC 热敏电阻一般会有一个或多个，此时再按下面的方法进行选择。

产品正常工作时，长期加载在 NTC 热敏电阻上的电流应不大于规格书规定的电流。根据这个原则可以从阻值大于 4.2 $\Omega$  的多个电阻中挑选出一个适合的阻值。

当然这指的是在常温情况下。如果工作的环境温度不是常温，就需要按下文提到的原则来进行 NTC 热敏电阻的降额设计。

### NTC 热敏电阻的工作环境

由于 NTC 热敏电阻受环境温度影响较大，一般在产品规格书中只给出常温下（25℃）的阻值，若产品应用条件不是在常温下，或因产品本身设计或结构的原因，导致 NTC 热敏电阻周围环境温度不是常温的时候，必须先计算出 NTC 在初始状态下的阻值才能进行以上步骤的选择。

当环境温度过高或过低时，必须根据厂家提供的降功耗曲线进行降额设计。将功耗曲线一般有两种形式，如图 4 所示。

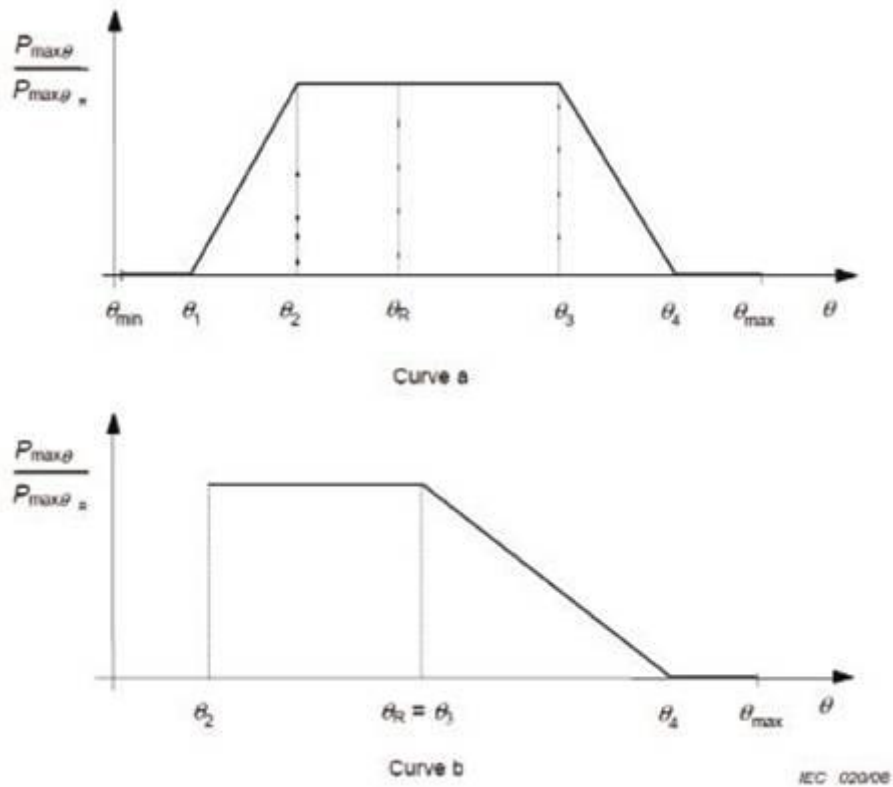


图 4 降功耗曲线

对曲线 a，允许的最大持续工作电流可用以下公式表示：

$$\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2, I_{a,b} = I_{a,b0} \times (\theta - \theta_1) / (\theta_2 - \theta_1)$$

$$\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2, I_{a,b} = I_{a,b0} \times (\theta_2 - \theta) / (\theta_2 - \theta_1)$$

对曲线 b，允许的最大持续工作电流可用以下公式表示：

$$\theta_2 \leq \theta \leq \theta_1, I_{a,b} = I_{a,b0} \times (\theta_2 - \theta) / (\theta_2 - \theta_1)$$

事实上，不少生产厂家都对自己的产品定义了环境温度类别，在实际应用中，应尽量使 NTC 热敏电阻工作的环境温度不超出厂家规定的上/下限温度。同时，应注意不要使其工作在潮湿的环境中，因为过于潮湿的环境会加速 NTC 热敏电阻的老化。

## 结论

通过以上分析可以看出，在电源设计中使用 NTC 热敏电阻型浪涌抑制器，其抑制浪涌电流的能力与普通电阻相当，而在电阻上的功耗则可降低几十到上百倍。对于需要频繁开关的应用场合，电路中必须增加继电器旁路电路以保证 NTC 热敏电阻能完全冷却恢复到初始状态下的电阻。在产品选型上，要根据最大额定电压和滤波电容值选定产品系列，根据产品允许的最大启动电流值和长时间加载在 NTC 热敏电阻上的工作电流来选择 NTC 热敏电阻的阻值，同时要考虑工作环境的温度，适当进行降额设计。