

防浪涌 NTC 在开关电源中的应用

AN-THM-002



图-1 防浪涌 NTC (UL 认证-UL1434 文件号 E82830)

本文将根据安费诺传感器的防浪涌 NTC 的特性，针对两种典型的小功率开关电源工作方式，讲述为这类开关电源的应用如何选择一款适用的防浪涌 NTC（如图-1）所示。

为什么需要防浪涌 NTC?

在小功率的开关电源 AC/DC 的整流部分，由于二极管整流部分的导通电阻及输入线路本身电阻往往很小（20m~600m 欧姆）[1]，即使计入滤波储能电容的等效串行电阻（ESR），如图-2 示意图所示，在上电初始短时间内，尤其在交流峰值的时候，也将会在整流部分的电路中形成一个很大的浪涌电流。

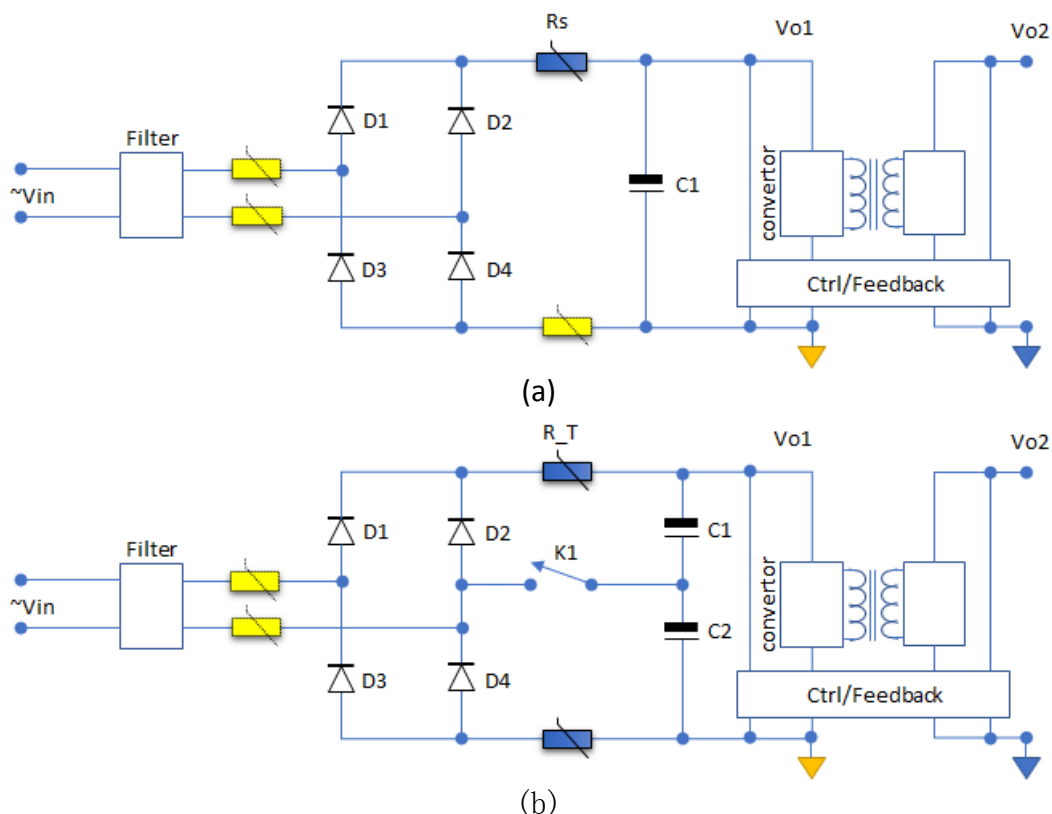


图-2 防浪涌 NTC 在开关电源中的应用示意

在图-2（a）中，针对有效电压为 220VAC 的输入，如果电路的串行电阻为 R，则上电瞬态的电流 I_R 有如下公式：

$$I_R = V \times e^{\frac{-t}{RC}} / R$$

标称的峰值电压约为 311V。在不加入其它限流器件时，模拟的输出信号如下示意。其中的第一条蓝色曲线即为无限流而完全依赖于线路中器件阻值的情况下整流二极管内模拟大小输出。靠近 600A 的浪涌电流远超一般的整流二极管允许的正向峰值电流。

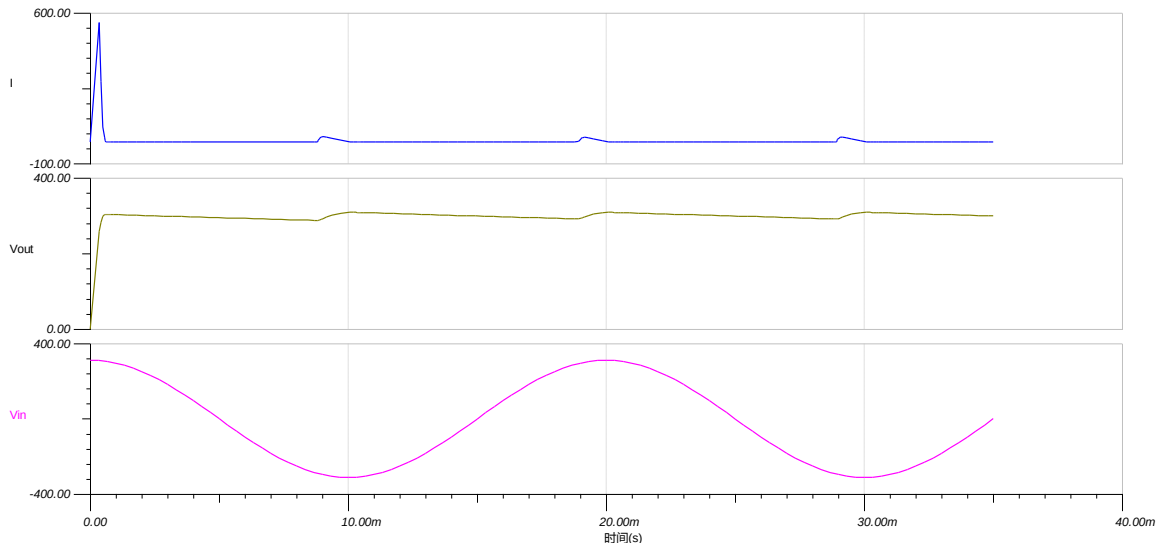


图-3 浪涌电流仿真—无限流

如果在电路中串入一个 4 欧姆的电阻，仿真看输出电流情况。很明显，浪涌电流被限制在了 80A 以下。如图-4 所示。

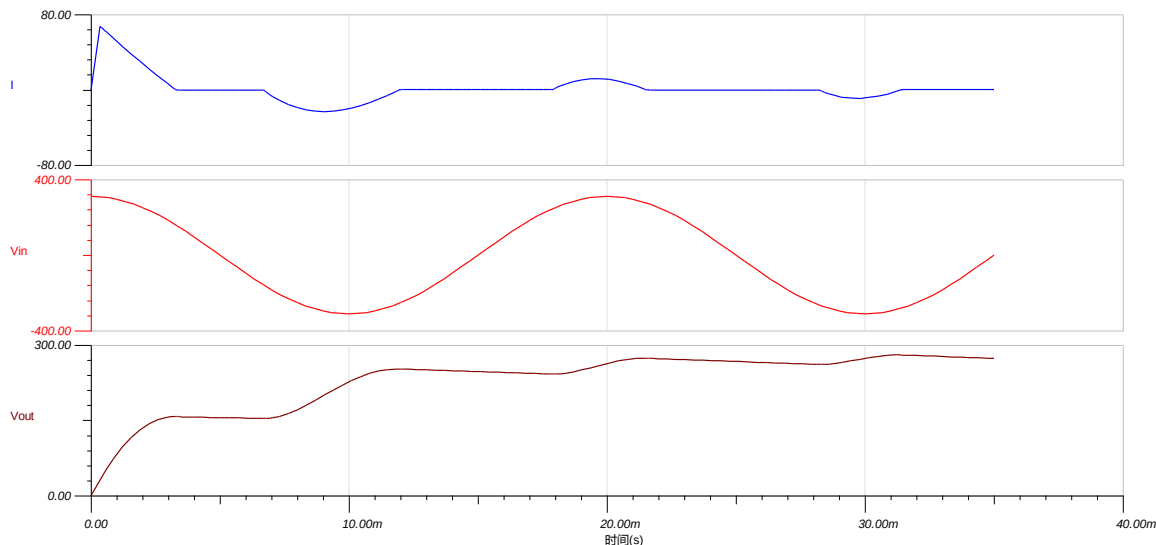


图-4 浪涌电流仿真—有限流（无软启动及延时输出控制）

对浪涌电流有效抑制后，就可以选择峰值电流额度更小的整流器件等，从而降低成本并减少 PCB 面积，并且，适当增加稳态下电路的串行阻值 R_s ，还可以增加整流二极管的导通角，从而减少电流谐波成分比例[2]，某种程度地提高功率因数。采用这种方式构造方式的电源模块其功率因素 ϕ 大概在 0.5~0.7 之间（按照[2]中图 1.6.4 换算），功率小时对电网的影响并不明显。如果要提高功率因素，则需要添加扼流线圈或者其它主动式的 PFC 方式。

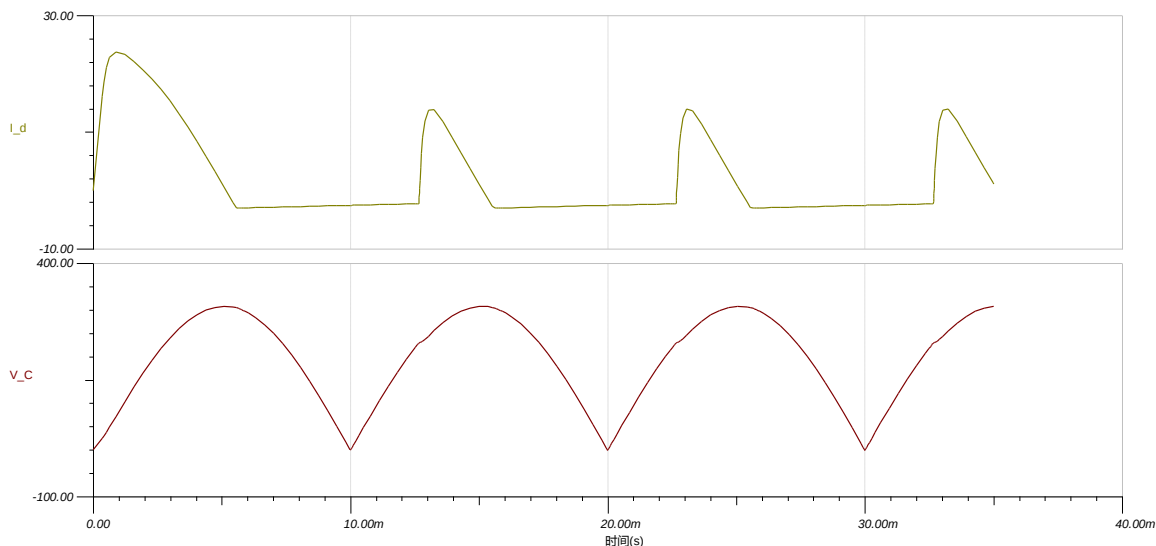


图-5 储能滤波电容/整流电路影响功率因素的脉冲电流仿真

对于微小功率开关电源的防浪涌应用，如果使用固定的功率电阻，那损耗是直接且明显的，而使用防浪涌 NTC 在不增加其它器件的情况下，虽然总体上会增加损耗，但是可以在完成限流之后随着温度上升后自动减小阻值，从而减少了部分电路损耗。

防浪涌 NTC 的布置如图-2 中蓝色和黄色模块所示。

图-2（a）中所示的示意开关电源一般是针对特定区域的单一额定电压的应用。防浪涌 NTC 可以放置在图中所示的任意一个位置，也可以根据设计情况放置到过滤电路之前。

图-2（b）是针对全球各个区域使用不同额定电压电网的一种可以倍压的解决方案示意图。K1 断开时为 220~240VAC 的应用，C1 和 C2 为串联。K1 闭合时，是为 100~120VAC 的电网使用，从而在倍压后将母线的电压保持在与高压输入时一样，保证了后续转换电路的统一设计。由于其中的滤波储能电容 C1 和 C2 是通过交替半个工频周期被单独充电，典型安装位置为图-2（b）中 2 个蓝色示意模块 R_T 所示。这种设置可以让两个限流 NTC 在 100VAC 的倍压设置（K1 闭合）和 220VAC（K1 断开）两种电压下，都可以承受相近的电压及按照低压 110VAC 时供电的浪涌电流。如果将限流防浪涌 NTC 放到电桥的左侧，虽然只需要一个，但是 NTC 需承受 220VAC 时的浪涌电流。

■ 如何选择防浪涌 NTC?

开始之前，我们先罗列一些关键参数：

- 电路中最大允许浪涌电流 $I_{Surge}(A)$
- 最大稳态有效电流 $I_{steady}(A)$
- 额定输入电压 $V_{RMS}(V)$ ，输入峰值电压 $V_{peak}(V)$
- 滤波储能电容 C_e
- 环温 $T_A(C)$
- 稳态下 NTC 的工作温度 $T_{op}(C)$
- NTC 的尺寸，NTC 的热耗散常数, $\delta (mW/^{\circ}C)$
- 整流线路电阻 $R_c(ohm)$ ，包括保险丝、扼流线圈内阻等

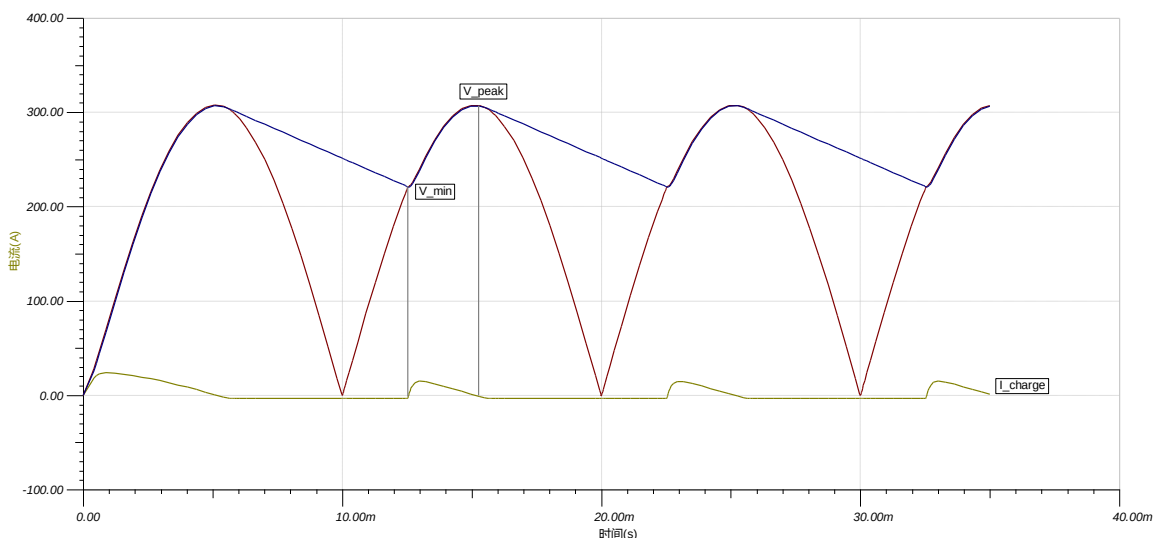


图-6 稳态下储能滤波电容的充放电及峰值纹波电压仿真—有限流

Step-1:

实际应用中，整流器件和滤波电容都会根据设计输出功率大小、输出电压、峰值电流、纹波电压峰峰值、额定输入电压、预估效率/功率因素等更早地备选好，而防浪涌 NTC 的作用就是保护其中对浪涌电流的影响最薄弱的一环，比如整流二极管的允许最大前向峰值电流等。0 状态下上电，在输入电压峰值情况下，可以得到最大启动电流值。如果电路中还有其它串行限流电阻 R_c 则记入，否则，只计算 R_s 。

总的开机限流电阻： $R=R_s+R_c$ ；

$$R = V_{in_peak} / (I_{Surge} \times K_1)$$

- 其中, $V_{in_peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$, V_{rms} 为交流电的有效电压, 实际计算时应选择电网允许的最高值;
- $K1$ 为安全系数, 小于 1。
 - 浪涌电流被抑制, 从而小于整流二极管的最大前向峰值电流。
 - 保护快速熔断器
- 所选防浪涌 NTC 的启动电阻不小于计算所得的 R_c 。

Step-2:

如果工作环温为 T_A , 根据设计要求的最大输出功率 P , 总体效率估值 η , 以及输入有效电压的最小值 V_{rms_min} , 估计的功率因素 ϕ , 可以推算出环境温度为 T_A 下的满负载恒功率输出时的等效输入电流 I_e :

$$I_e = \frac{P}{\eta} \div V_{rms_min}$$

由于电容充电脉冲高峰值电流的畸变, 实际流经整流器件和 NTC 的电流应该属于比等效电流 I_e 更大的视在功率中的电流有效值 I_{rms} 。输入电压波形不变, 由估算的功率因素 ϕ 得:

$$I_{rms} = I_e / \phi$$

产品参数表中提供的是环温 25C 下的最大电流有效值。当环境温度 T_A 不一样, 可以利用产品的降额使用的 $I_{Derated}$ 根据经验公式推导降额前的器件工作有效电流 $I_{steadymax}$:

$$I_{Derated@T_A} = \sqrt{(1.1425 - 0.0057 \times T_A)} \times I_{steadymax@25^\circ C}$$

我们把前面计算得到的 I_{rms} 当作温度 T_A 时降额使用的电流有效值 $I_{Derated@T_A}$, 那么可以找到对应的 25C 标称下的对应热敏电阻最大稳态电流有效值 $I_{steadymax@25^\circ C}$:

$$I_{steadymax@25^\circ C} = \frac{I_{Derated@T_A}}{\sqrt{(1.1425 - 0.0057 \times T_A)}} \quad (1)$$

在式-1 中, 如果环温在 60C 时, 可以计算得到最大电流也只增加了约 11%, 所以在环温稍高于参考温度 25C 的情况下, 可以直接把 $I@T_A$ 拿来核算 I_{rms} 也是可以的。但是在选择对应的电流参数时, 考虑到安全系数, 对该电流 $I_{steadymax@25}$ 实际选择时仍然要乘以一个大于 1 的安全系数 $K2$, 让器件在工作中留有裕度:

$$I_{max@25^\circ C} = I_{steadymax@25^\circ C} \times K_2$$

Step-3:

产品参数表中提供了两个类型的额定交流电压，分别是 120VAC 和 240VAC。所选防浪涌 NTC 的允许滤波电容值不应大于设计所选电容值。

$$W = \frac{1}{2} C_e V_{rms}^2 \quad (2)$$

根据当前所选的电容值，以及额定电压值 V_{rms} ，可以估算出所选的防浪涌 NTC 需要吸收并耐受多大的浪涌电能。参数表中提供了每一款产品在指定额定电压下的允许工作的最大吸收浪涌电能（图-7 表格中黄色列所示）。由设计选择的 C_e ，以及我国使用的 220VAC 代入公式（2），可以估算最大允许的吸收能量 W 。计算所得的能量要小于所选项中的该列参数。

					C ₀ Max ** (μ Farads)			Equation Constants for resistance under load ***			Approximate Resistance Load at % Maximum Rated							Max. Current Flow @ 25°C and 240 V Rms (Amps)
Type	Resistance @ 25°C (Ω) ±25%	*Max. Steady State Current (Amps RMS)	Max. Disc Dia. in (mm)	Max. Disc Thick. in (mm)	⌀120 (VAC Rms)	⌀240 (VAC Rms)	Max. Energy (Joules)	X	Y	Current Range Min I Max I	25%	50%	75%	100%	Dissip. Constant (mW/°C)	Time Constant (sec.)		
CL-11	0.7	12	0.77 (19.56)	0.22 (5.59)	2700	675	19.44	0.5	-1.18	4≤1≤12	0.14	0.06	0.04	0.03	25	100	457	
CL-21	1.3	8	0.55 (13.97)	0.21 (5.33)	800	200	5.76	0.6	-1.25	3≤1≤8	0.25	0.11	0.06	0.04	15	60	246	
CL-30	2.5	8	0.77 (19.56)	0.22 (5.59)	6000	1500	43.20	0.81	-1.25	2.5≤1≤8	0.34	0.14	0.09	0.06	25	100	128	
CL-40	5	6	0.77 (19.56)	0.22 (5.59)	5200	1300	37.44	1.09	-1.27	1.5≤1≤6	0.65	0.27	0.16	0.11	25	100	64	
CL-50	7	5	0.77 (19.56)	0.26 (6.60)	5000	1250	36.00	1.28	-1.27	1.5≤1≤5	0.96	0.40	0.24	0.17	25	120	46	
CL-60	10	5	0.77 (19.56)	0.22 (5.59)	5000	1250	36.00	1.45	-1.3	1.2≤1≤5	1.08	0.44	0.26	0.18	25	100	32	
CL-70	16	4	0.77 (19.56)	0.22 (5.59)	5000	1250	36.00	1.55	-1.26	1≤1≤4	1.55	0.65	0.39	0.27	25	100	20	

图-7 防浪涌 NTC 参数表（部分）

从 step-1 到 step-3，我们可以根据满足以下三个参数进行器件选择了：

- 最小启动阻值 R_c （留意阻值在 T_A 时不小于在 step-1 中所得的 R_c ）——阻值高一点，浪涌电流更小些
- 允许的额定有效电流 $I_{rms@25}$ ——工作电流有效值大一点
- 最大吸收能量——浪涌能量吸收大一点

Step-4:

估算环温 25°C 稳态工作情况下防浪涌 NTC 的阻值以及温度。

4-1. 有两种方式对运行中的防浪涌 NTC 的阻值进行估算

- **查表**：根据实际输入电流有效值 I_{rms} ，以及选型产品的满量程时允许的最大电流有效值 I_{steady_max} ，得出负载比率后查表。

$$Load\ Rate = \frac{I_{OP}}{I_{Steady_Max}} \times 100\%$$

在图-7 的表格中，部分数据示意如下表格：

0%	25%	50%	75%	100%
0.7	0.14	0.06	0.04	0.03
1.3	0.25	0.11	0.06	0.04
2.5	0.34	0.14	0.09	0.06
5	0.65	0.27	0.16	0.11
OHM				

0%表示无电流情况下的阻值；25%~100%表示流经器件的有效电流分别为 25%~100% 时的器件的阻值。

- **根据经验公式计算**：根据实际输入电流有效值 I_{op_rms} ，由经验公式换算出当前的阻值。

$$R_{Steady} = X \times (I_{rms_OP})^Y$$

其中 I_{op_rms} 为实际输入有效电流；X 和 Y 为图-7 中的表格所示内容。每个型号对应一组参数。

4-2. 根据获得的阻值估算防浪涌 NTC 工作中的温度值 T_{op}

- 在稳态工作条件下，器件的发热和产生的热量达到平衡，电流流经器件电阻发热和器件散热功率相等，因此有：

$$I_{rms_op}^2 \times R_{Steady} = \delta \times (T_{Op} - T_A)$$

其中：

- δ 表示防浪涌 NTC 的热耗散常数。
- T_{op} 为要估算的工作时器件的温度
- R_{steady} 为前一步估算的工作时的阻值
- I_{rms_op} 为工作时的电流有效值

经转换后得出 T_{op} ：

$$T_{Op} = \frac{I_{rms_OP}^2 \times R_{Steady}}{\delta} + T_A \quad (3)$$

如果 T_{op} 估算值超出我们预设值，从式-3 可以看出，尝试更换一个具有更大热耗散常数的型号可以降低工作中 NTC 的温度值。当然，温度的控制更多要依赖于设计布局 and 工

作冷却环境。我们的产品参数都是在静止不流动的空气环境下测得，实际应用时，如果有风冷等外设，则工况要优于表格参数[3]。

以上步骤无法替代实际验证。实际操作中，由于有很多不可控的因素，导致很多参数是估算所得，以上的步骤多作为初步参考。为此，用户可以购买每款包括多达 32 种当前广泛使用的防浪涌 NTC 产品组成的**套件**（A2130-NTC Inrush Current Limiter Kit）进行验证测试再确定选择。

■ 使用防浪涌 NTC 的注意事项

由于 NTC 在工作中温度上升之后就失去抑制浪涌电流的能力，因此，如果使用该器件的设备，在再次启动时，应该等待足够的时间直到该器件冷却到阻值可以进行再次抑制启动浪涌电流的时候。必要时可以考虑加入延时短接的方式，可以在一定程度上提高切换启动频率，但是仍然要避免短时间内频繁启动。

防浪涌 NTC 不能并联使用。由于是负温度系数，并联之后的器件阻值低的器件将流过更多的电流，将进一步促使该器件温度上升，阻值更为降低，最终导致器件的更早老化损坏。

由于本身为发热器件，温度在应用中会超出其它器件很多，因此 PCB 布局需要有意安排足够的距离和空间。

其它更多事项请参看相关的产品手册及文档。

[1] 电源设计基础, Robert A. Manmmano, 辽宁科学技术出版社

[2] 精通开关电源, Keith Billings, Taylor Morey, 人民邮电出版社

[3] 安费诺传感器 Thermometrics 防浪涌 NTC

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

©2014 AMPHENOL CORPORATION PROVIDES TECHNICAL AND DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES “AS IS” AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with AAS products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate AAS products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. AAS grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the AAS products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other AAS intellectual property right or to any third party intellectual property right. AAS disclaims responsibility for, and you will fully indemnify AAS and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources. Other company names and product names used in this document are registered trademarks of their respective owners.



服务热线: 400 620 8986

www.amphenol-sensors.com

www.amphenol-sensors.cn

Amphenol Sensors

©2019 Amphenol Corporation. All Rights Reserved.