

1. 什么是压敏电阻?

压敏电阻是一种具有在一定的定电压条件下支持电流急速流出的电压-电流特性的产品。如图1所示。

压敏电阻的作用：保护在电子线路中的半导体器件免受过大电压的影响。如图2所示，压敏电阻并联在电路中起保护作用。当有浪涌（浪涌电流 I_s ：由浪涌电压 V_s 和阻抗 Z_s 决定）施加在电路上时，浪涌电流（ I_s ）限制浪涌电压在压敏电阻的限定电压 V_{clamp} 之内。

相互的关系可以用下面的公式来解释。

$$V_s = I_s \cdot Z_s + V_{clamp} \dots\dots\dots (1)$$

$$\therefore V_{clamp} = V_s - I_s \cdot Z_s \dots\dots\dots (2)$$

因为 V_s 远远大于 V_{clamp} ，浪涌电流 I_s 可以用以下公式求得。

$$I_s \cong \frac{V_s}{Z_s} \dots\dots\dots (3)$$

所以，由于可承受电压大于最大的限定电压，电路可以长时间的免于浪涌电压的损坏。

由于吸收异常电压和冲击电流的特性，压敏电阻可非常高效的保护电子器件。

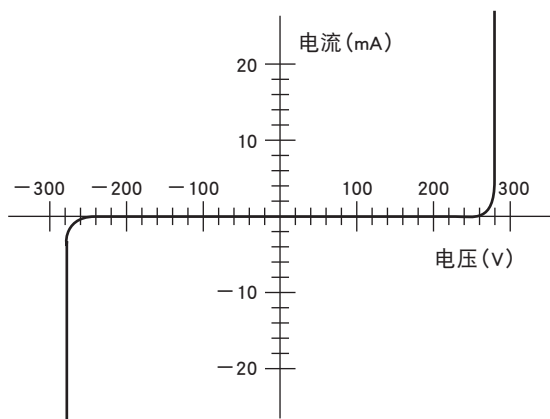


图1.压敏电阻的电压-电流特性

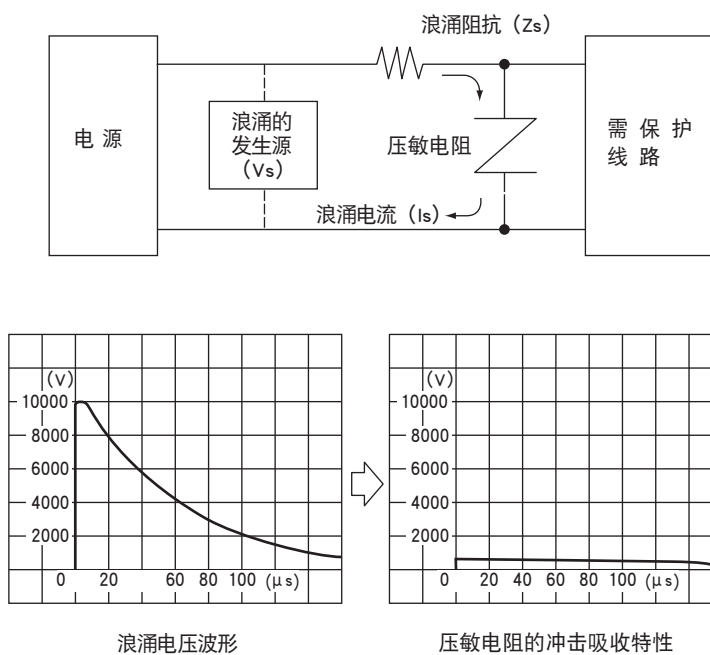


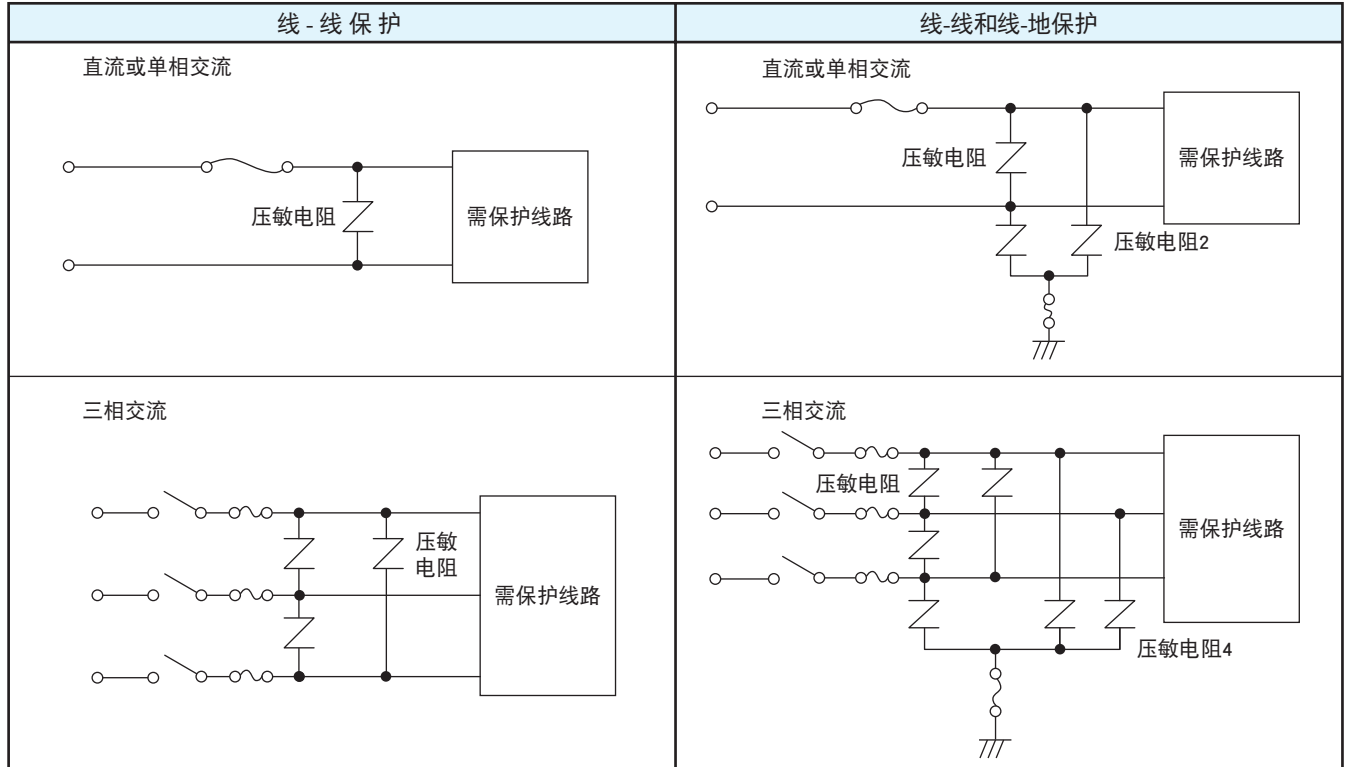
图2.压敏电阻对浪涌的吸收

2. 压敏电阻的使用案例和注意事项

这个章节是介绍压敏电阻的常见使用案例和注意事项，选择压敏电阻的规格时请注意这些条件。

2-1 电源浪涌保护

(1) 布线举例

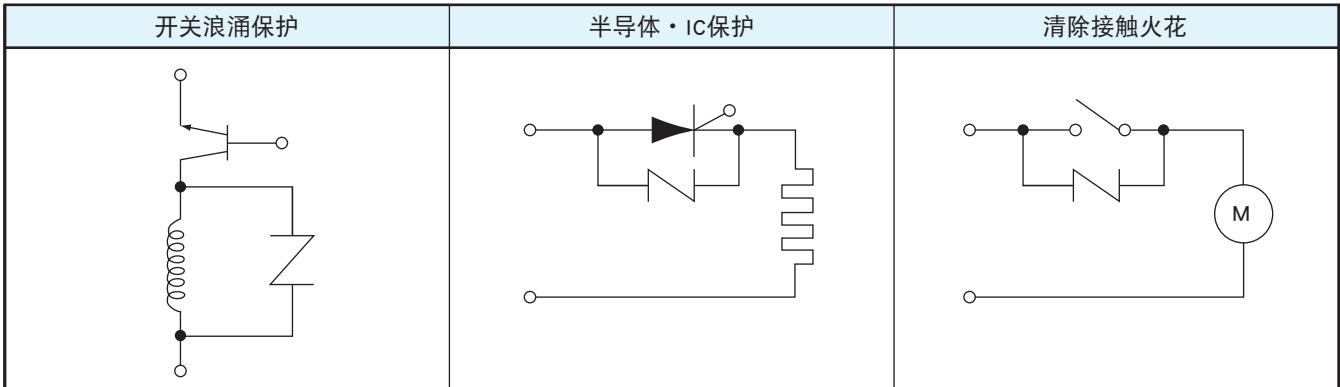


(2) 规格选择举例

线-线用压敏电阻		线-地用压敏电阻	
电源电压	型 号	压敏电阻	电 源 电 压
100V交流	TND□□V-221K	压敏电阻2	100V交流/ 200V交流
	TND□□V-241K		
	TND□□V-271K*		
200V交流	TND□□V-391K	压敏电阻4	200V交流
	TND□□V-431K		
	TND□□V-471K*		
12V直流	TND□□V-220K		
	TND□□V-270K		
24V直流	TND□□V-330K		
	TND□□V-390K		
	TND□□V-470K		
<p>注意事项:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 如果Varistor使用在上述条件以外的情况,请确保电路电压即使上升至峰值时也不超过压敏电阻所能够承受的最大电压。 2) 对于独立布线及容性负载,电源电压会随着开关的闭合或断开而升高,因此,100VAC输入或者是200VAC输入时请使用带有*标识的压敏电阻。 		<p>注意事项:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 在做设备的绝缘阻抗测试时(测试电压:500V),由于压敏电阻的漏电流叠加,测试结果有可能被错误的判定为不合格。在此条件下,经相关方同意后请拆除压敏电阻后进行测试,或者使用带有**标识的压敏电阻产品。 2) 在做设备的耐压测试时(测试电压1000VAC),由于压敏电阻的漏电流叠加,测试结果有可能被错误的判定为不合格。在此条件下,经相关方同意后请拆除压敏电阻后进行测试,或者使用带有***标识的压敏电阻产品。 3) 为避免电源遭到过压损坏(如接地错误),在电压为100VAC的线电压与地线之间请使用200VAC的Varistor。 	

2-2 对半导体、IC感应开关的脉冲保护及接触火花的清除

(1) 布线举例



(2) 规格选择举例

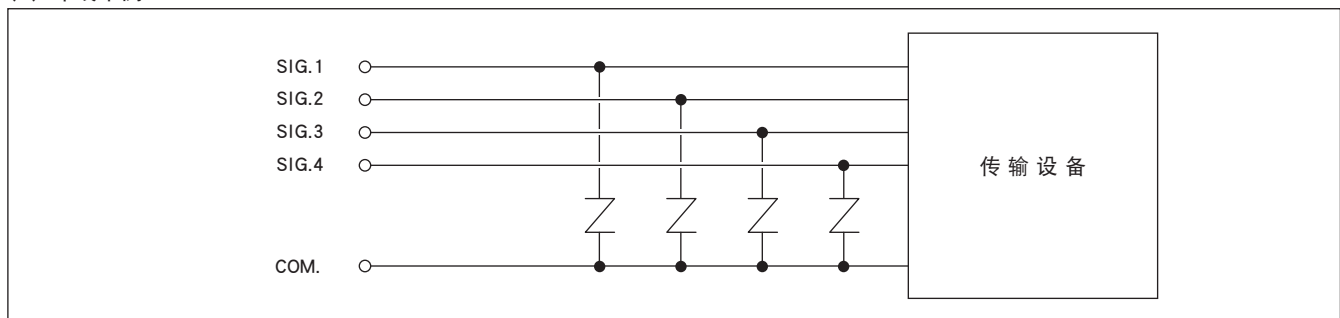
一般选择举例		选择时的注意事项
电源电压	型 号	(1) 如果压敏电阻使用在选择举例以外的电源电压上时, 请确保电源电压即使上升至峰值时也不超过Varistor所能够承受的最大电压。 (2) 对于不是完全的直流电压的情况, 请确保峰值电压的最大电压不超过最大允许回路电压。 (3) 请充分考虑负载所产生的浪涌能量后, 选择浪涌电流耐量、最大能量、额定脉冲功率。
DC 12V	TND □□ V-220K	
DC 24V	TND □□ V-390K	
DC100V	TND □□ V-151K	
AC100V	TND □□ V-221K	
	TND □□ V-241K	
	TND □□ V-271K	

(3) 压敏电阻的使用注意事项

1. 请注意2-1节所解释的“电源浪涌保护”部分。
2. 关于施加的浪涌次数与压敏电阻的关系, 请参照浪涌寿命特性曲线, 选择满足要求的压敏电阻。
3. 请选择额定功率大于平均功率的压敏电阻以确保能够吸收高频浪涌。

2-3 减少信号传输线之间的浪涌

(1) 布线举例



(2) 规格选择举例

一般选择举例		选择时的注意事项
信号载波电压	类 型	(1) 在压敏电阻的规格列表中有标明静电容量, 在用于高频信号条件时, 请特别注意。 (2) 当信号叠加传输, 并且有高压信号(如铃声)时, 请按高压选择压敏电阻。 (3) 当信号太弱但又不允许衰减时, 请选择压敏电阻电压为82V或82V以上的压敏电阻产品。
直流12V Max	TND □□ V-150K	
	TND □□ V-220K	
	TND □□ V-820K 以上	
直流24V	TND □□ V-390K	
	TND □□ V-820K 以上	

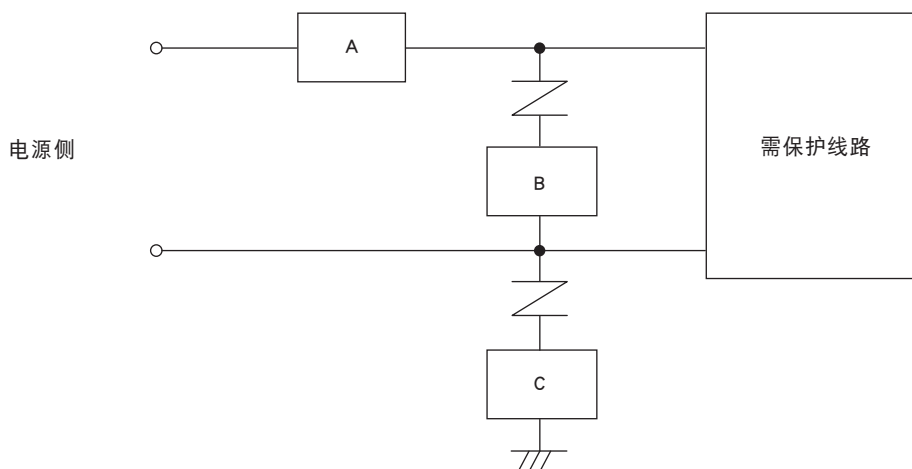
2-4 各领域选型示例

一般选择举例			选择时的注意事项
用途	设置位置	规格	(1) 5~20的数字代表压敏电阻的直径, 直径越大, 最大峰值电流越大。请根据浪涌的大小选择满足要求的压敏电阻的规格。 (2) 选择时, 除一般选择举例之外的特殊使用条件时, 请充分考虑后选择压敏电阻的规格。
民用	室内	TND05V- □□□ K	
		TND07V- □□□ K	
		TND10V- □□□ K	
		TND12V- □□□ K	
室外	TND07V- □□□ K		
	TND10V- □□□ K		
	TND12V- □□□ K		
	TND14V- □□□ K		
通信、测试及控制用途	室内	TND07V- □□□ K	
		TND10V- □□□ K	
		TND12V- □□□ K	
		TND14V- □□□ K	
	室外	TND07V- □□□ K	
		TND10V- □□□ K	
		TND12V- □□□ K	
		TND14V- □□□ K	
工业及电源用途	室内、室外	TND14V- □□□ K	
		TND20V- □□□ K	

2-5 使用时的注意事项

除以下注意事项之外, 也请充分考虑电源浪涌保护页所记述的注意事项。

- 当吸收超过压敏电阻额定的浪涌时, 压敏电阻可能发生短路或者损坏, 所以请采取下图所示对策。



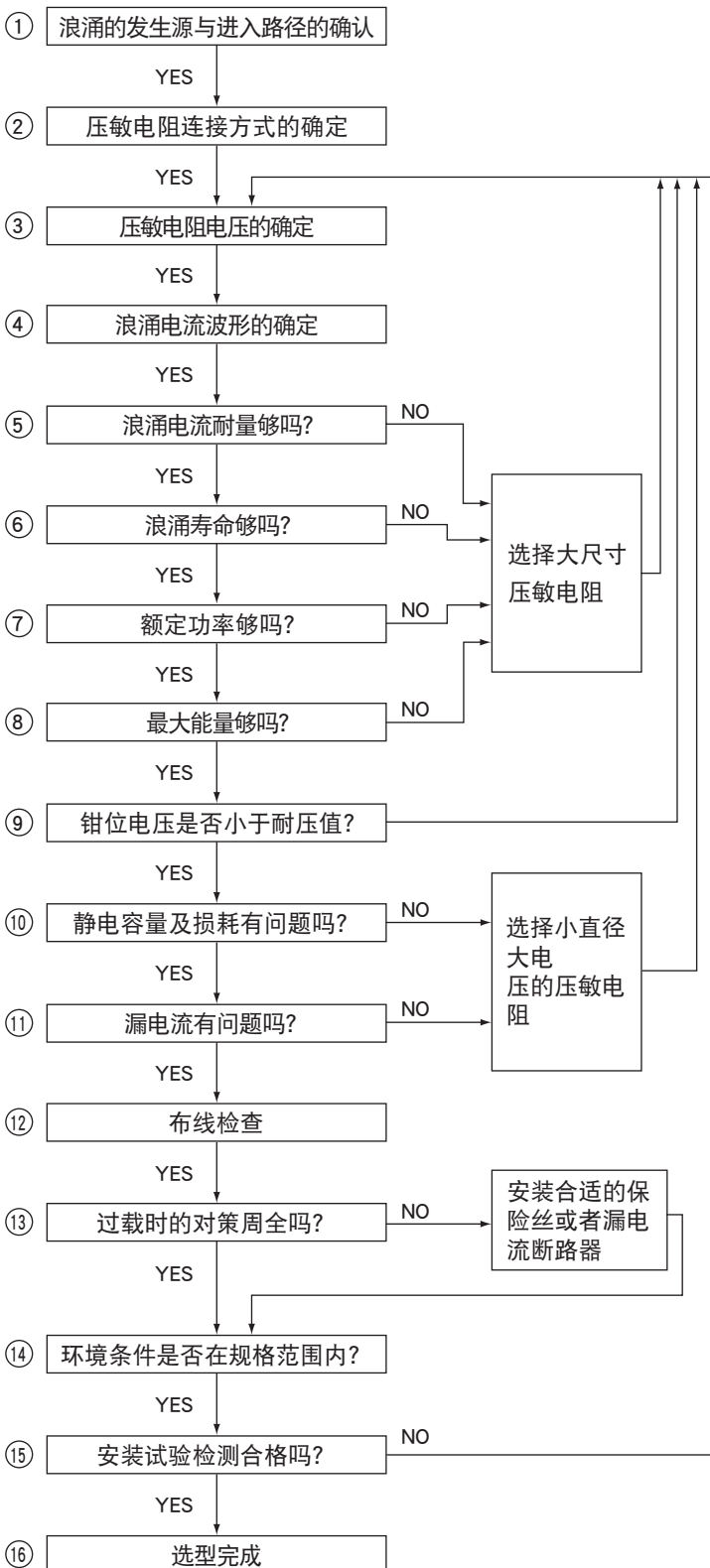
- 将压敏电阻安装在离过电流保护器 (如: 断路器、保险丝等) 更近的位置, 在压敏电阻短路时立刻让其与电源端断开。
- 如果不能在位置A安装过电流保护器, 请安装在位置B。
- 位置A或位置B的保险丝规格举例如下:

规格名(TND-)	05V- □□□ K	07V- □□□ K	09V- □□□ K 10V- □□□ K 12V- □□□ K	14V- □□□ K 20V- □□□ K
保险丝规格	3A max.	5A max.	7A max.	10A max.

- 如果压敏电阻连接在功率线与地之间, 需要在A位置使用漏电断路器或者在C位置连接压敏电阻与热结合的温度保险丝。同时, 使用带有温度保险丝的GF系列压敏电阻效果更佳。
- 如果暴露在阳光下或者接近热源时, 请确认压敏电阻的工作温度范围。
- 连接压敏电阻的线请尽量短。如果连接线较长, 连接线的电感会使电压下降, 对于快速上升的浪涌的吸收效果也会下降。

3. 压敏电阻规格的选择方法

3-1 规格选择方法流程

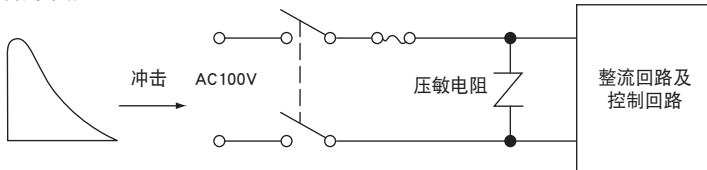


- ① 把握浪涌的发生源・进入路径、外部雷浪涌・内部雷浪涌（开/关浪涌）、线对线部分・线对地部分、功率线・信号线
- ② 压敏电阻的连接方式请参考前述「适用案例和注意事项」。
- ③ 请确保电路电压即使上升至峰值时也不超过最大允许电路电压。如果压敏电阻被安装在线与地之间，请关注绝缘阻抗安装试验・耐压试验时的施加电压。
- ④ 浪涌电流峰值几乎等于浪涌电压除以浪涌阻抗后得到的值。
- ⑤ 如果预计的浪涌次数不超过两次，请选择浪涌电流峰值大的且直径大的压敏电阻以满足浪涌电流耐量大于浪涌电流值。
- ⑥ 如果预计的浪涌次数较多，请参考浪涌寿命特性曲线选择浪涌次数高于规定耐浪涌保证次数的压敏电阻。
- ⑦ 如果有高频率浪涌持续施加，请选择额定功率高于平均浪涌功率的且直径大的压敏电阻。
- ⑧ 如果浪涌带有高能量，请关注最大能量值。
- ⑨ 选择的压敏电阻须满足被保护设备的耐电压值必须大于最大钳位电压。如果没有压敏电阻可以对应，可能需要提高设备的耐电压值。
- ⑩ 如果是用于高频电路请联络我们。因为，部分静电容量的压敏电阻，会出现信号衰减，其损耗会产生发热的状况。
- ⑪ 请参考电压-电流特性曲线中的最大漏电流值。
- ⑫ 连接压敏电阻的线请尽量短。如果连接线较长，连接线的电感会使电压下降，对于快速上升的浪涌的吸收效果也会下降。
- ⑬ 在压敏电阻之前请安装保险丝。保险丝的选择请参考2-5条项。
- ⑭ 请注意压敏电阻的周围温度不能高于最大工作温度。
- ⑮ 请尽可能通过安装试验确认压敏电阻的功能。
- ⑯ 选型完成。

3-2 压敏电阻选择举例

3-2-1 电源控制单元的外部雷浪涌保护

(1) 目标回路



<条件>

- 1) 承受电压: $V_t=600V$
- 2) 浪涌阻抗: $Z_s=50\Omega$
- 3) 浪涌电压: 占空比 1.2/50 μS 条件下 $V_s=12kV$
- 4) 浪涌次数: 10次*10年=100次
- 5) 浪涌间隔时间: 2分钟或者更多

(2) 基于额定条件下压敏电阻的选择步骤

- ① 浪涌的发生源与进入路径的确认: 外部雷浪涌与功率线之间的线路 (设备不接地)
- ② 压敏电阻连接方式的确定: 功率线之间 (需保护设备的交流输入端)
- ③ 压敏电阻电压的确定:
因为是被安装在 100VAC 线路之间, 根据前述使用举例, 选择弊公司推荐的 270V 的压敏电阻。如果被保护设备的承受电压和钳位电压之间的关系不满足第⑨项所描述的, 需要再选择合适的压敏电阻。
- ④ 浪涌电流波形的确定:
a) 浪涌电流峰值 (I_p)
$$I_p = \frac{V_s}{Z_s} = \frac{12000}{50} = 240 [A]$$

b) 浪涌电流波尾持续时间
浪涌电流的波尾持续时间会短于浪涌电压的波尾持续时间, 所以, 为安全考虑浪涌电流的波尾持续时间 (T) 设定为 $40\mu S$ 。
(实际中, 如果浪涌电压时间的占空比为 1.2/50 μS , 则冲击电流的波尾持续时间大概为 $25\mu S$ 。)
- ⑤ 浪涌电流耐量够吗?
因为浪涌电流耐量是 240A, 通常认为选择浪涌电流耐量为 600A 的 5V 系列 (考虑两次浪涌) 的压敏电阻是没有问题的。但是, 总数为 100 次的浪涌中浪涌电流的波尾持续时间不足 $20\mu S$, 所以需要根据条项⑥考虑 TNR 的浪涌寿命。
- ⑥ 冲击寿命够吗?
条件包括 $I_p=240A$ 、 $T=40\mu S$ 、浪涌次数为 100 次、浪涌间隔时间 = 2 分钟或更多。对照这四个条件来确认压敏电阻的浪涌寿命额定值。

5V 类型时	2 ~ 10 次
7V 类型时	10 ~ 100 次
10V 类型时	100 ~ 1000 次
14V 类型时	1000 ~ 10000 次

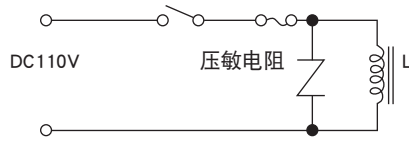
鉴于以上列表, 可以选择压敏电阻 10V 类型。同时, 按照条项③中的结果来看压敏电阻 10V 类型可成为候选者。

TND 10V-271K

- ⑦ 额定功率够吗?
因为对于设备的浪涌的频率低, 所以不需要特别考虑。
- ⑧ 最大能量够吗?
因为是波尾持续时间短的雷浪涌, 所以不需要特别考虑。
- ⑨ 钳位电压是否小于耐压值?
TND 10V-271K 的最大钳位电压在规格书中被定义为 $V_{25V}=455V MAX$ 。
然而, 在线路中通过的最大电流是 240A, 通过压敏电阻的电压电流特性曲线可以得出耐压值为 600V。
 $V_{240A}=510V < 600V$, 是满足的。
- ⑩ 静电容量及损耗有问题吗?
因为商业用电频率一般为低频的 50 到 60 赫兹, 所以不会导致严重的问题。
- ⑪ 漏电流有问题吗?
110VAC 输入线仅仅会产生数 μA 的漏电流, 不会导致严重的问题。
- ⑫ 布线检查
请注意避免压敏电阻的布线和整流回路及控制回路产生电磁耦合。让布线尽可能的短可以使漏感最小化。
- ⑬ 过载时的对策周全吗?
为防止过压的发生, 请在压敏电阻之前安装一个 3~7A 的保险丝。请参考 2-5 条项。
- ⑭ 环境条件是否在规格范围内?
如果不是安装在电感等热源旁边, 只确认设备的工作温度范围即可。
- ⑮ 安装检测合格吗?
有必要的话, 请安装 TND 10V-271K 后测试性能。
- ⑯ 选型完成
像示例一样, 选用 TND 10V-271K 后, 吸收冲击的压敏电阻选型就完成了。

3-2-2 继电器开/关浪涌保护

(1) 目标回路



<条件>

- 1) 电感规格: $I=0.25A, L=1H$
- 2) 继电器动作: 2次/秒、8小时/天、6天/周
- 3) 寿命: 5年
- 4) 浪涌次数: $2 \times 3600 \times 8 \times 313 \times 5 = 0.9 \times 10^8$ 次
- 5) 理想钳位电压: 250V以下

(2) 基于额定条件下压敏电阻的选择步骤

- ① 浪涌的发生源与进入路径的确认: 继电器及电源布线
- ② 压敏电阻连接方式的确定: 在功率线之间 (与电感并联)
- ③ 压敏电阻电压的确定:

压敏电阻将会被安装在110Vdc输入线两端, 因设备不是被定义为典型案例, 压敏电阻电压由回路电压与最大供给电压之间的关系来决定。在假设电压波动为+10%的条件下, 选择比最大供给电压为121V更大的151K (150V) 类型的压敏电阻。

④ 浪涌电流波形的确定:

a) 浪涌电流峰值: $I_p=0.25A$ (与负载电流一致)

b) 浪涌电流波尾持续时间:

假设浪涌电流波形矩形波, 浪涌电流波尾持续时间可以通过下列公式计算得出。

$$E = 1/2L I_p^2 = 0.5 \times 1 \times 0.25 \times 0.25 = 0.031 [J]$$

$$T = \frac{E}{I_p \cdot V_p} = \frac{0.031 \times 1000}{0.25 \times 220} = 0.56 [ms]$$

V_p : 从TNR的电压电流特性曲线可读出
151K 压敏电阻在0.25A时的钳位电压

⑤ 浪涌电流耐量够吗?

因为浪涌次数多, 所以核实压敏电阻的浪涌寿命。

⑥ 浪涌寿命够吗?

条件包括 $I_p=0.25A$ 、 $T=0.56ms$ 、施加的浪涌次数= 0.9×10^8 、浪涌间隔时间=0.5秒。若施加浪涌的时间间隔少于10S, 那么以施加浪涌时间间隔为10S为准计算求等效电流值和等效浪涌施加次数。

$$\text{等效电流值} = 0.25 \times \frac{10}{0.5} = 5 [A]$$

$$\text{等效浪涌施加次数} = 0.9 \times 10^8 \times \frac{0.5}{10} = 4.5 \times 10^6 [\text{次}]$$

另外, 从条项④可以得知浪涌电流波尾持续时间T是0.56ms, 从上述条件可以得出浪涌寿命时间的额定值。

7V类型时.....	约 $10^6 < 4.5 \times 10^6$ 次
10V类型时.....	$> 4.5 \times 10^6$ 次

从上面的参数可以看出, 可以选择压敏电阻10V系列。进而从条项③的结果与上面的结果一起判断可以选定TND10V-151K。

TND10V-151K

⑦ 额定功率够吗?

f_s (1秒数次) 为浪涌的循环频率, 压敏电阻吸收的平均功率 (P_s) 为0.062W。

$$P_s = E \cdot f_s = 0.031 \times 2 = 0.062 [W]$$

从吸收功率的方面来看, 可以选择压敏电阻5V类型 (0.1W), 可是从条项⑥的浪涌寿命特性考虑, 0.4W的压敏电阻10V类型更好。

⑧ 最大能量够吗?

由于施加次数多, 已经按浪涌寿命探讨过。具体请参考条项⑥。

⑨ 钳位电压是否小于耐压值?

从条项④看出TND10V-151K的最大钳位电压大概是220V, 从压敏电阻的电压电流特性得出, $V_{0.25A}=210V < 250V$, 所以是满足特性需要的。

⑩ 静电容量及损耗有问题吗?

在DC输入状况时不会导致严重问题。

⑪ 漏电流有问题吗?

110VDC输入线仅仅会产生数 μA 的漏电流, 不会导致严重的问题。

⑫ 布线检查

为了降低对其它器件的电磁感应, 压敏电阻安装位置离电感越近越好。

⑬ 过载时的对策周全吗?

为防止过压的发生, 请在压敏电阻之前安装一个3A~5A的保险丝。

⑭ 环境条件是否在规格范围内?

如果不是安装在电感等热源旁边, 只确认设备的工作温度范围即可。

⑮ 安装检测合格吗?

有必要的话, 请安装TND10V-151K后测试性能。

⑯ 选型完成

像示例一样, 选用TND10V-151K后, 吸收冲击的压敏电阻选型就完成了。

4. 压敏电阻的温度负载衰减曲线

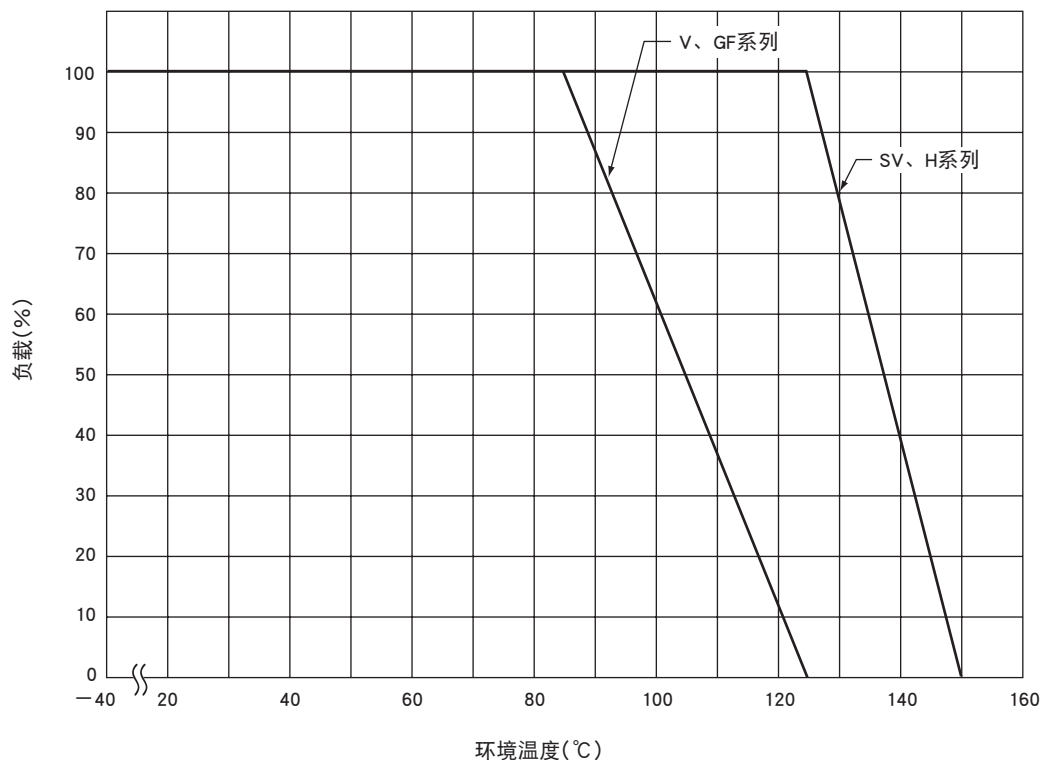


图3. 负载衰减曲线

负载包含额定功率、最大允许回路电压、浪涌电流耐量（SV系列：2次保证值）、最大能量。如：当TND10V-221K在95°C条件下使用时，从上面的负载衰减曲线得出负载为75%。所以如下参数可被计算。

1. 额定功率	$0.4\text{W} \times 0.75 = 0.3\text{W}$
2. 最大允许回路电压	AC: $140\text{V} \times 0.75 = 105\text{V}$ DC: $180\text{V} \times 0.75 = 135\text{V}$
3. 浪涌电流耐量	$2500\text{A} \times 0.75 = 1875\text{A}$
4. 最大能量	$27.5\text{J} \times 0.75 = 20.63\text{J}$

5. 压敏电阻的衰减

5-1 压敏电阻的衰减

(1) 无浪涌施加给压敏电阻时

压敏电阻的平均寿命与环境温度的关系如下图所示，如果回路电压及周围温度均在最大规格范围内，压敏电阻的平均寿命将超过100年，可以说压敏电阻几乎不会衰减。

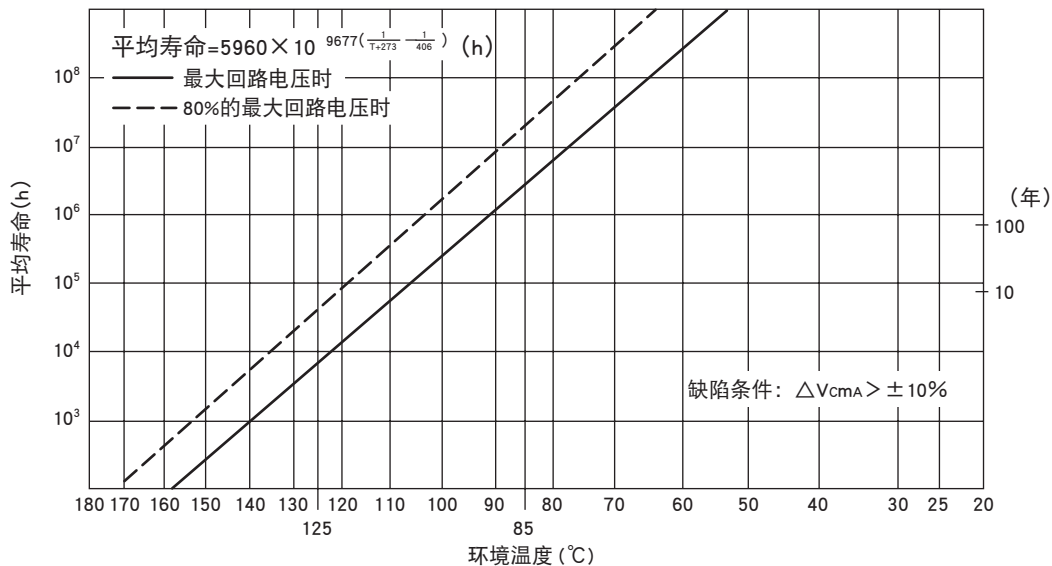


图4. 压敏电阻的平均寿命与环境温度的关系（无浪涌施加给压敏电阻时）

(2) 有浪涌施加给压敏电阻时

①作为浪涌吸收器件，当施加的浪涌超过额定值时压敏电阻会衰减。

雷击脉冲

有雷浪涌施加给压敏电阻时，浪涌波形、浪涌能量及频率都不能确定，所以无法确定初期至衰减的时间。

②开关浪涌

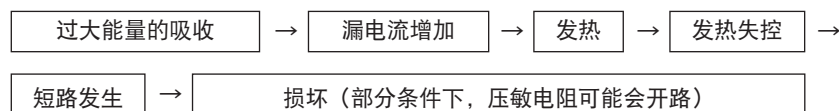
有开/关浪涌施加给压敏电阻时，浪涌波形、浪涌能量及频率可以被测量或估计，所以可以从压敏电阻的浪涌寿命特性来确定压敏电阻的大概的衰减时期。

然而，通常条件下都会选择符合浪涌寿命要求的压敏电阻产品，所以压敏电阻在设备保证年限内将不会衰减。

5-2 压敏电阻衰减的检查方法

(1) 压敏电阻的衰减

施加最大浪涌及电源电压波动等因素导致的过电压施加会造成压敏电阻的衰减，过程如下：



(2) 压敏电阻衰减的检查方法

如 5-2 (1) 条项所描述，压敏电阻的衰减会以漏电流增加的形式体现出来，所以可以通过测量漏电流来判断压敏电阻的衰减程度。虽然压敏电阻的漏电流（当压敏电阻额定电压值的一半施加到压敏电阻上时）根据压敏电阻规格的变化而有所不同，但初始值大概都为 $1 \mu A$ 。

漏电流为 $10 \mu A$ 时证明压敏电阻开始衰减，所以此时压敏电阻需要被更换。

不过，漏电流为 $10 \mu A$ 时只会导致产生微小的发热，但不会立刻导致发热失控，此时，压敏电阻的浪涌寿命会比初始时变短。

6. 压敏电阻的脉冲响应特性

压敏电阻本身具有时间短至1ns的单次冲击响应时间。但是,由于引线感量的巨大影响,响应时间非常难测定。

在实际使用中,由于引线感量的影响,对于快速上升的脉冲来说,即使在相同电流条件下钳位电压也会有一点增加。如图5所示,在占空比为8/20 μ s的标准电流脉冲条件下,钳位电压会随着脉冲上升时间的变化而增长的比率,叫做过冲比率。图5中的案例显示的是,当大小为10A的持续性的峰值电流施加在TND14V-271K上,浪涌上升时间从0.5 μ s到8 μ s时的钳位电压的过冲比率。在图5中所示,浪涌上升时间为0.5 μ s时,过冲比率大概为10%。

在实际使用中,受在线上传递的感量及静电容量的限制,浪涌电压的上升时间大部分都超过1 μ s。

因为较长的布线会引起更高的过冲,所以布线请尽量短。

图6和图7显示的是极限案例,布线距离为5mm和25cm时压敏电阻的冲击吸收特性。在案例中,布线长度为25cm时钳位电压大概为1250V,差不多是布线长度为5mm时钳位电压(500V)的2.5倍。

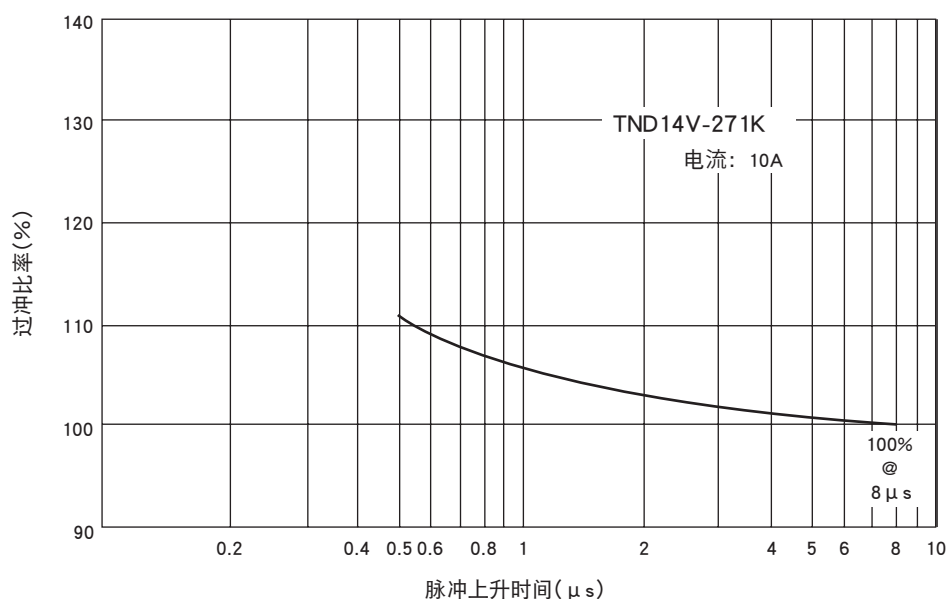


图5.浪涌上升时间与过冲比率的关系

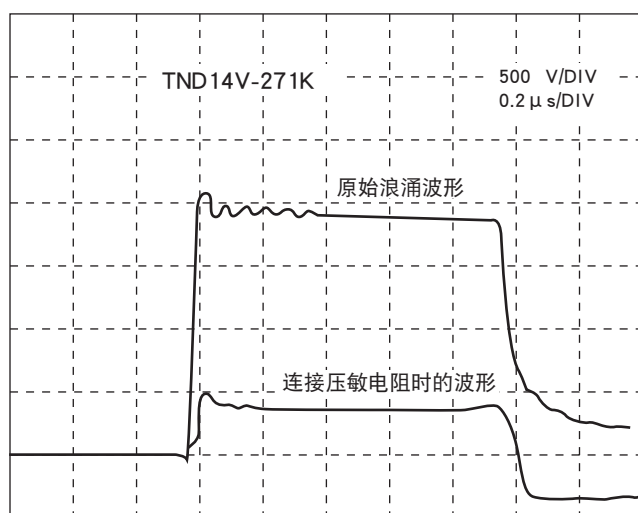


图6. 压敏电阻的浪涌吸收特性(布线长度5mm)

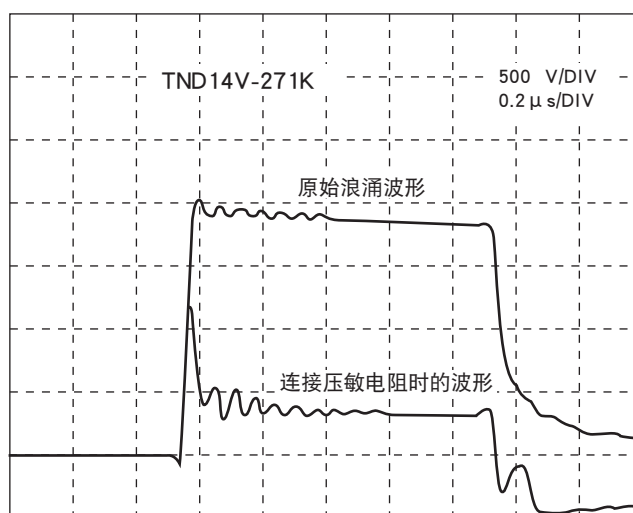
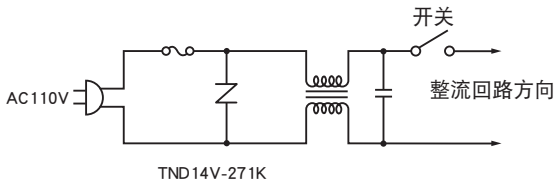


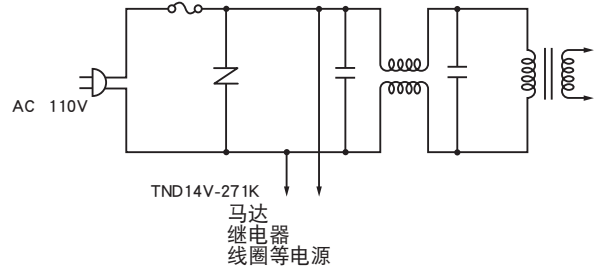
图7. 压敏电阻的浪涌吸收特性(布线长度25cm)

压敏电阻的使用回路案例

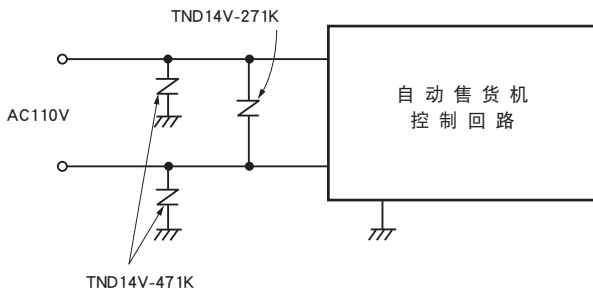
(1) TV电源回路 (Power Source Circuit)



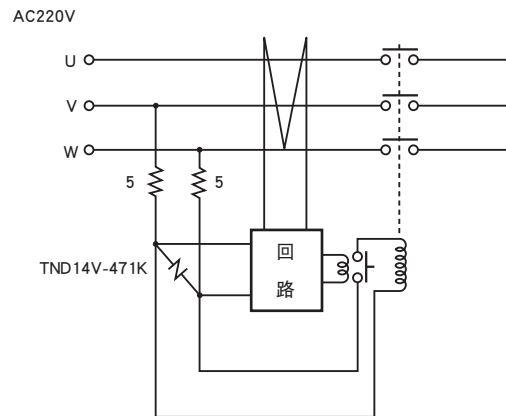
(2) 家电用保护设备 (Micro Computer Equipment)



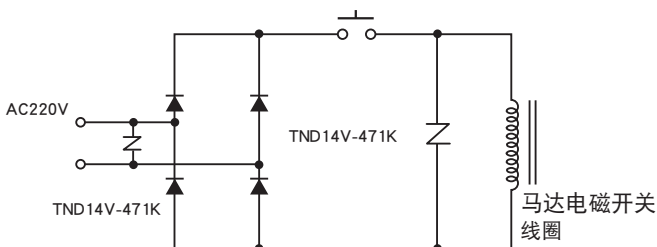
(3) 自动售货机 (Vending Machine)



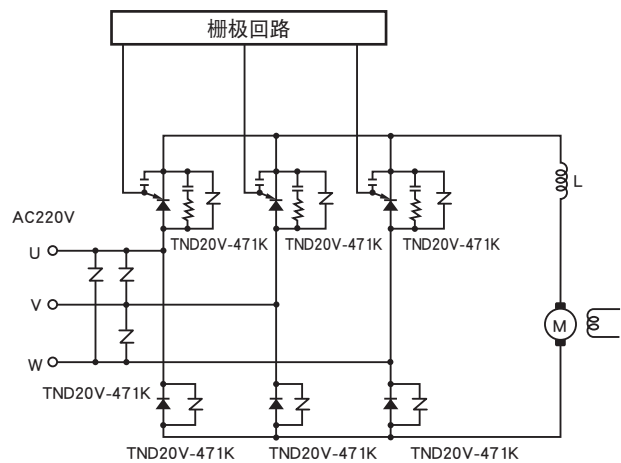
(4) 漏电流断路器 (Leakage Current Detector)



(5) 马达电磁开关 (Magnetic Brake)



(6) 20kW马达控制回路 (Control of 20kW DC Motor)



(7) 电话机 (Telephone)

