

1. 概述和特点

CS4146 是一种低功耗的漏电保护控制电路，专用于交流插座漏电保护器（ALCI）和两线制漏电保护装置（RCD）。CS4146 可以检测到危险的接地漏电故障，并在危险电击发生之前断开线路。

CS4146 内部包含一个二极管整流器、高精度 12V 带隙并联稳压器、精密的低 VOS 失调感应放大器、延时噪声滤波器、窗口检测比较器和一个晶闸管驱动器。加入最少数量的外部元件，CS4146 就可以检测和防止火线对地故障。元件数量极少以及小型 SOT23-6 封装，使得 CS4146 成为超小型、低成本的应用解决方案。

CS4146 电路包含一个内置整流器和并联稳压器，只需较低的静态电流，允许使用高值、低功率系列电阻。内置温度补偿的并联稳压器、感应放大器以及偏置电路提供高精度对地故障检测。低 VOS 失调感应放大器允许感应线圈直接耦合到放大器的反馈信号端，无需大容量的 50/60Hz 交流耦合电容。内置的延时滤波器能够滤除感性负载中的高频噪声尖峰，减少了虚假误触发。内置的晶闸管驱动器具有温度补偿，该设计可以满足在宽范围内选择外部晶闸管的电流要求。

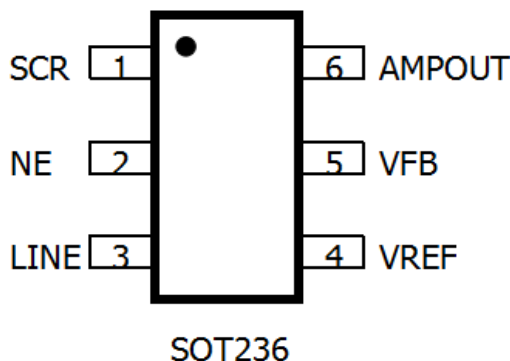
外观元件数量极少以及 SOT23-6 封装带来了低成本、紧凑设计和布局。CS4146 是一个增大了温度范围的器件。

- 满足 UL943B 要求
- 极少外部器件
- 内置交流整流器
- 内置噪声滤波器
- 精密感应放大器与带隙基准
- 用于双线 ALCL 和 RCD 应用
- 适合 120V 或者 220V 系统
- SOT23-6 封装，节省空间

应用：

- 个人护理产品
- ALCI 和 RCCB 电路
- 两线制电源插头、断路器和要求带有 GFCI 安全设施的电源线

2. 引脚图



序号	名称	功能描述
1	SCR	外部晶闸管的门极驱动
2	Neutral	电路的电源零线输入
3	Line	电路的电源火线输入
4	VREF	电流感应放大器的非反相输入
5	VFB	电流感应放大器的反相输入
6	AmpOut	外部电阻连接到 VFB 端，可设定 I_{FAULT} 的灵敏度阈值

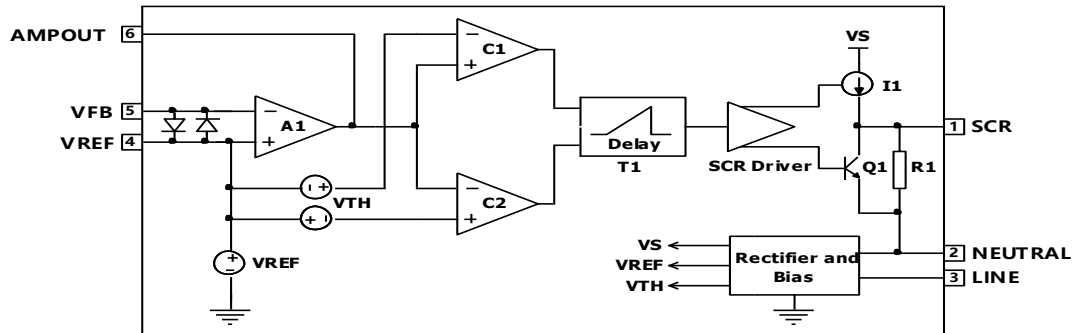
3. 极限参数

符 号	参 数	最小值	最大值	单 位
I_{CC}	连续电流, 火线到零线	-	15	mA
V_{CC}	连续电压, 火线到零线	-1.2	16	V
	连续电压到零线, 所有其他引脚	-0.8	15	V
T_{STG}	存储温度范围	-65	+150	°C
ESD	静电放电防护等级	人体模式, JESD22-A114	4.0	KV
		带电设备模式, JESD22-C101	2.0	
		机械模式, JESD22-A115	0.4	

4. 直流特性（如无特别说明 $I_{shunt}=1mA$, $T_A=25^{\circ}C$ ）

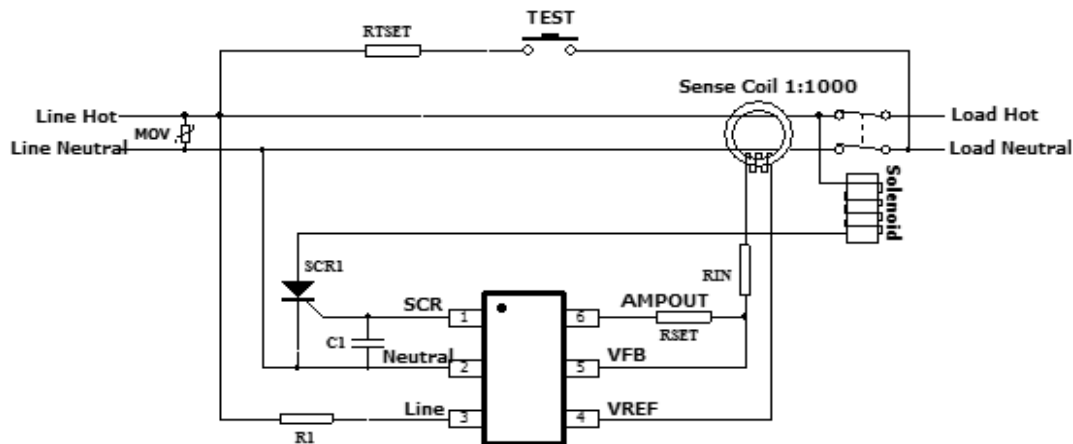
符 号	参 数	测 试 条 件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{REG}	电源并联稳压器电压	电源到零线	12.2	12.7	13.2	V
		电源到零线, $I_{shunt}=-2mA$	-0.9	-0.7	-	
I_Q	静态电流	电源到零线=10V	320	500	680	uA
V_{REF}	参考电压	V_{REF} 到零线	5.8	6.0	6.2	V
V_{TH}	触发阈值	AMPOUT 到 V_{REF}	3.4	3.8	4.2	V
V_{OS}	放大器偏置	$R_{SET}=511K\Omega$, $R_{IN}=500\Omega$	-450	0	450	uV
I_{OS}	放大器输入偏置 (*1)	设计值	-50	0	50	nA
G	放大器直流增益 (*1)	设计值	-	100	-	dB
f_{GBW}	放大器增益带宽 (*1)	设计值	-	1.5	-	MHz
V_{SW+}	放大器正电压摆幅	AmpOut 到 V_{REF} ,	4	-	-	V
V_{SW-}	放大器负电压摆幅	V_{REF} 到 AmpOut, $I_{FAULT}=-10uA$	4	-	-	V
I_{SINK}	放大器电流槽	AmpOut= $V_{REF}+3V$,	400	-	-	uA
I_{SRL}	放大器电流源	AmpOut= $V_{REF}-3V$,	400	-	-	uA
T_D	延时滤波器	从 C1 触发到晶闸管的时延从	0.75	1.00	1.25	ms
R_{OUT}	SCR 输出电阻	SCR-零线=250mV, AmpOut= V_{REF}	-	0.5	1	K Ω
V_{OUT}	SCR 输出电压	SCR-零线, AmpOut= V_{REF}	-	1	10	mV
		SCR-零线, AmpOut= $V_{REF}+4V$	2.5	-	-	V
I_{OUT}	SCR 输出电流	SCR-零线=1V, AmpOut= $V_{REF}+4V$	350	500	-	uA

5. 电路内部框图



6. 应用信息

1.120/220 VAC ALCI 应用



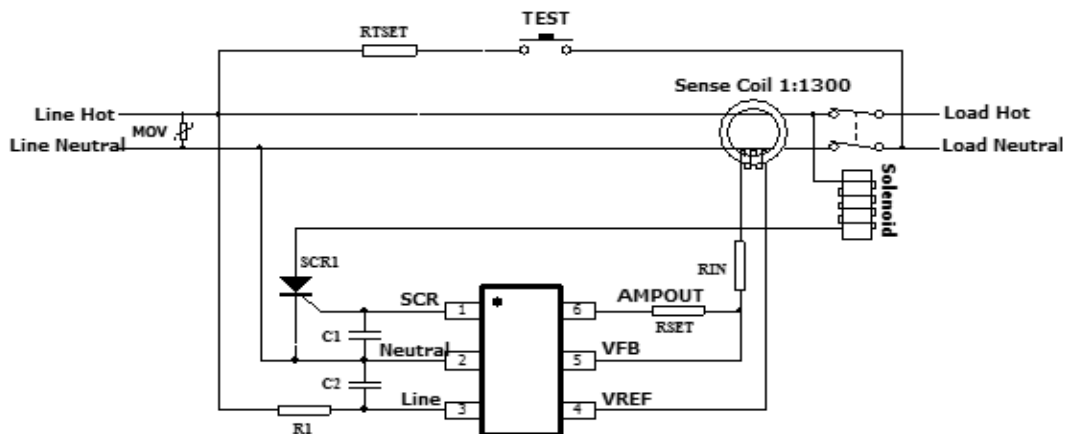
<1>器件典型值:

$R_{IN}=470\ \Omega$, $R_{TEST}=15K\ \Omega$, $C1=22nF$, $R_{SET}=511K\ \Omega$ (*1), $R1=91K\ \Omega$ (瓦数取决于 VAC 最大值)

<2>说明 (*1) :

精确取值取决于感应线圈的特性和应用场合 (此处按照 5mA 触发阈值进行取值)。

2.220 VAC RCD 应用



<1>器件典型值:

$R_{IN}=470\ \Omega$, $R_{TEST}=15K\ \Omega$, $C1=22nF$, $C2=10nF$, $R_{SET}=324K\ \Omega$ (*2), $R1=174K\ \Omega$ (瓦数取决于 VAC 最大值)

<2>说明 (*2):

精确取值取决于感应线圈的特性和应用场合 (此处按照 10mA 触发阈值进行取值)。

3.功能说明 (参考上图)

CS4146 为双线 GFCI 控制器, 专门用于交流接地故障断路器。在交流电源的正半周, 内置整流器整流。内置 12 V 并联稳压器采用了精密温度补偿带隙基准。精密的基准电路与精密的感应放大器的组合, 提供了精确的接地故障容差, 使外部元件的参数选择范围更广泛和更低廉。由于所需静态电流较低, 可以采用高值的外部串联电阻 ($R1$), 大大降低电阻的功耗。12 V 并联稳压器为感应放大器 ($A1$) 的非反相输入端 (AC 接地参考) 提供参考电压 V_{REF} , 并且给延时定时器 ($T1$)、比较器 ($C1$ 和 $C2$) 和晶闸管驱动器提供偏压。

感应变压器的次级绕组直接直流耦合到感应放大器的反相输入端引脚 5 (V_{FB})。电阻 R_{SET} 将感应变压器的次级绕组电流在引脚 6 ($AmpOut$) 处转换成电压。该电压与内置窗口比较器 ($C1$ 和 $C2$) 进行比较, 如果 $AmpOut$ 的电压超过阈值电压 $\pm V_{TH}$, 窗口比较器就会触发内部延时定时器。如果窗口比较器的输出瞬间为低电平, 则定时器 $t1$ 复位。如果在 $t1$ 脉冲结束时, 窗口比较器输出一直为高电平, 则晶闸管驱动器启动电流源 $I1$, 禁止 $Q1$ 。然后电流源 $I1$ 开启外部晶闸管, 给电磁阀通电, 打开连接负载的接触开关, 从而消除危险接地故障。窗口比较器允许检测正的或负的 $IFAULT$ 信号, 不依赖于电源电压的相位。当引脚 3 ($LINE$) 的电压低于 7.5 V 时, 内部欠压闭锁电路将关闭晶闸管驱动器。杜绝晶闸管阳极电压低于 65V 时晶闸管继续给螺线管通电。

感应变压器通常都有一个由复合钢环或者固体铁氧体制成的环形磁芯。一般情况下, 变压器次级要求由 40#线在该环形磁芯上绕 1000 匝, 变压器初级通常为一匝。交流火线和零线穿过该环形磁芯中央, 当接地故障出现时, 流入火线与零线的电流出现偏差, 通过将初级差动电流除以初级与次级之间的匝比就可得到了变压器的次级电流。

4.电阻 R_{SET} 的计算

$AmpOut$ 的信号必须超过窗口比较器的阈值电压 V_{TH} , 持续时间超过延时定时器时间, 计算如下:

$$V_{TH}=IFAULT \times 1.41 \times R_{SET} \times \cos(2\pi \times (t/2P)) / N \quad \text{-----}(1)$$

$$R_{SET}=(V_{TH} \times N) / (1.41 \times IFAULT \times \cos(\pi \times t/P)) \quad \text{-----}(2)$$

式中: $V_{TH} = 3.5V$;

$IFAULT = 5mA$ (UL943);

$t = 1ms$ (定时器延时);

$P =$ 交流电源周期(1/60Hz);

$N =$ 次级与初级匝比(1000:1);

$R_{SET} = 505K\ \Omega$ (511K $\ \Omega$ 标准 1%) (*3);

说明(*3): 在实际中, 由于变压器不理想, 需要调节 R_{SET} , 范围高达 30%, 才能获得所需的 $IFAULT$ 触发阈值。

5.VOS 触发阈值误差的计算

由于感应线圈直接连接到感应放大器的反馈端，VOS 偏置会引入一个 IFAULT 阈值误差。误差的计算方法为：

$$\%Error = 100 \times (VOS \times RSET) / (RIN + RLDC + RLAC) / VTH \quad \text{-----}(3)$$

其中:VOS = $\pm 450\mu V$ (最坏情况); $\pm 150\mu V$ (典型值);

RSET= 511K Ω ;

RIN = 470 Ω (典型值);

RLDC = 75 Ω (感性线圈次级直流电阻);

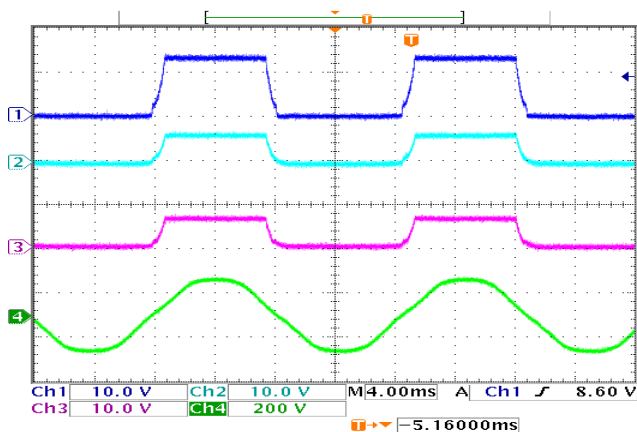
RLAC = 1.5 K Ω ($AC(j\omega L)$ 感应线圈阻抗) ($L= 4H$, $f= 60Hz$);

VTH = 3.5V;

得出: %Error = $\pm 3.2\%$ (最差情况); $\pm 1.1\%$ (典型值)。

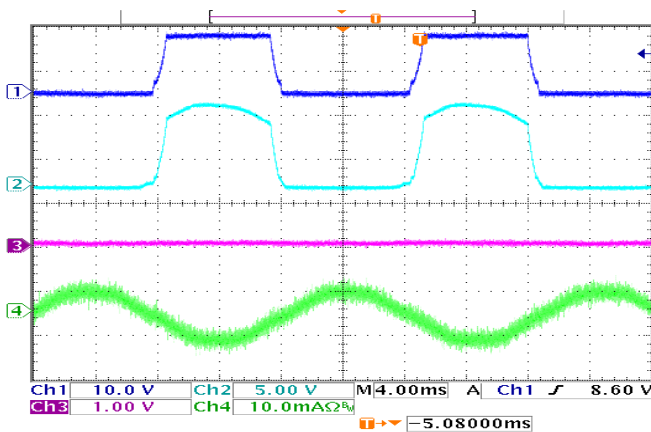
7. 典型工作波形

(若无其他说明，所有值都是在 $T_A=25^\circ C$ ，晶闸管断开 (220 VAC RCD 应用) 情况下得到)



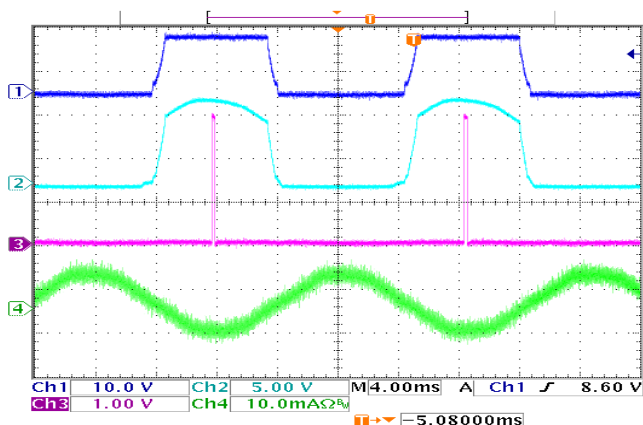
无接地故障时典型波形

通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 10V/Div
通道 3: VREF (PIN4) 10V/Div
通道 4: VAC 输入 200V/Div



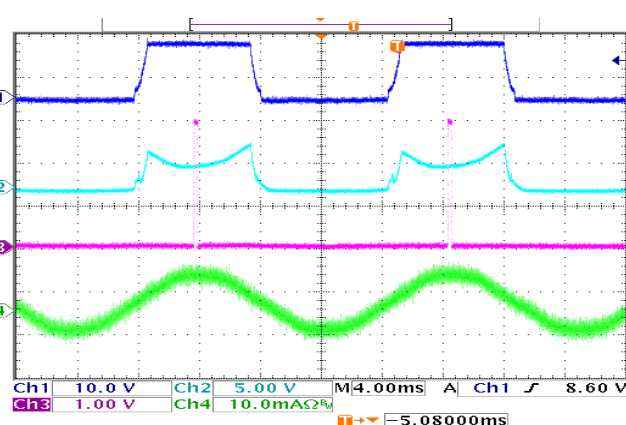
4mA 接地故障时典型波形

通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 5V/Div
通道 3: SCR (PIN1) 1V/Div
通道 4: IFAULT 10mA/Div



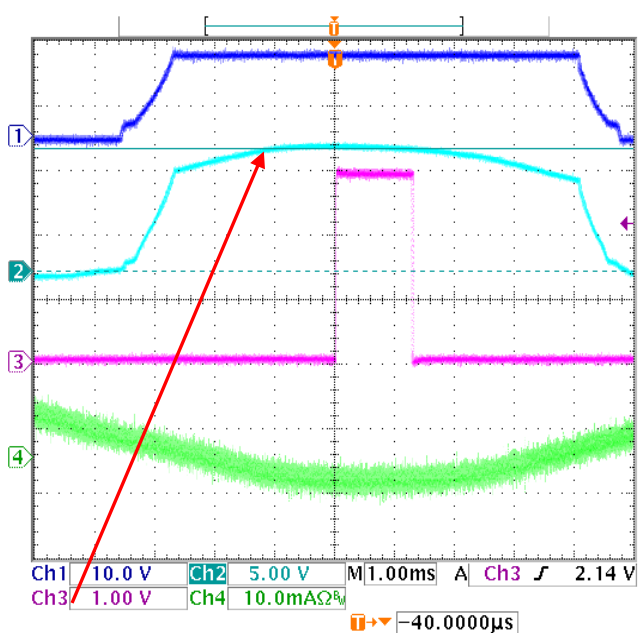
5mA 接地故障时典型波形

通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 5V/Div
通道 3: SCR (PIN1) 1V/Div
通道 4: IFAULT 10mA/Div



5mA 接地故障时典型波形（线路极性反转）

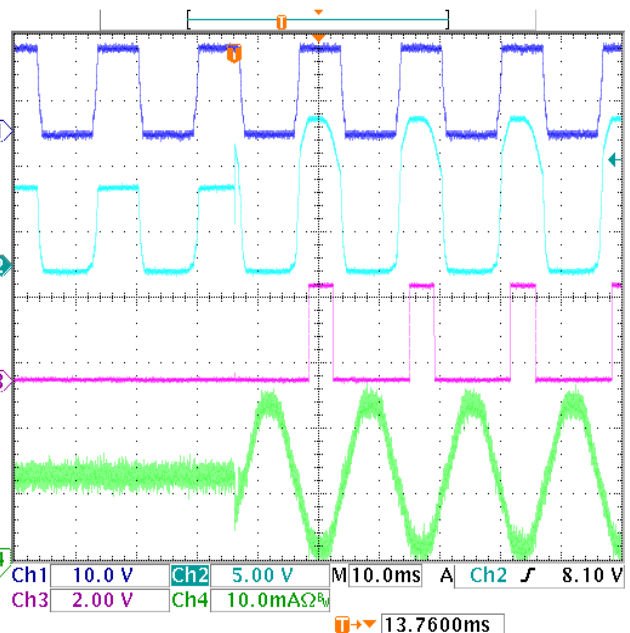
通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 5V/Div
通道 3: SCR (PIN1) 1V/Div
通道 4: IFAULT 10mA/Div



AmpOut 信号达到 9.5V 后 1 ms，触发晶闸管。

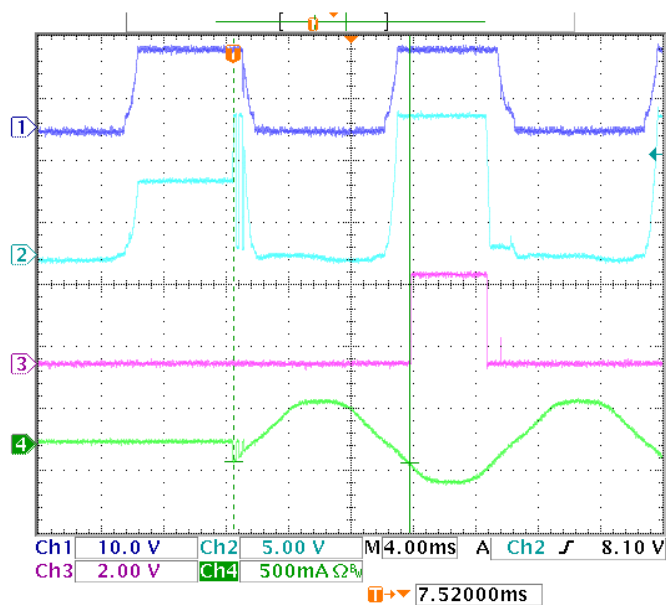
AmpOut 阈值，内部 1ms 延时

通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 5V/Div
通道 3: SCR (PIN1) 1V/Div
通道 4: IFAULT 10mA/Div



15KΩ 接地故障

通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 5V/Div
通道 3: SCR (PIN1) 2V/Div
通道 4: IFAULT 10mA/Div



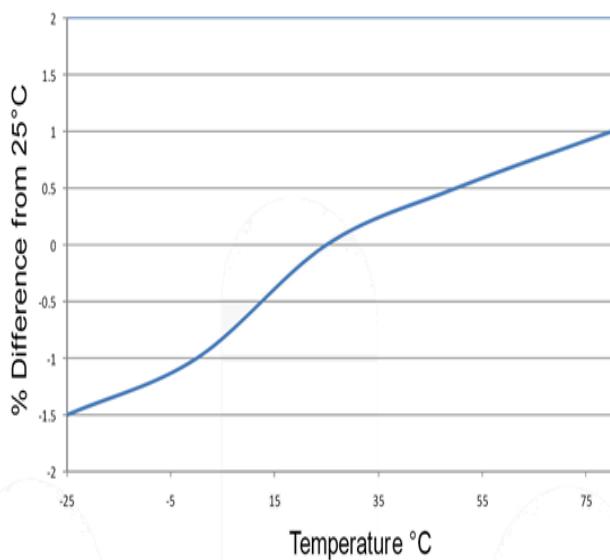
通道 1: Line (PIN3) 10V/Div
通道 2: AmpOut (PIN6) 5V/Div
通道 3: SCR (PIN1) 2V/Div
通道 4: I_{FAULT} 500mA/Div

500 Ω 接地故障(*4*5)

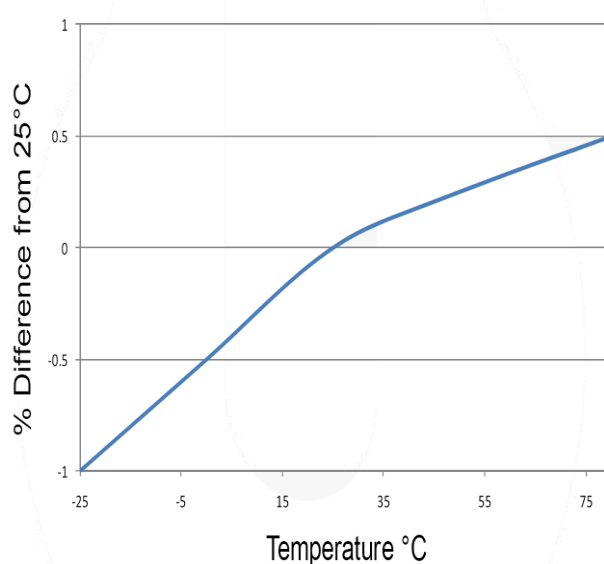
说明(*4): 最大触发时间~12 ms;

说明(*5): 交流正半周结束时发生故障。

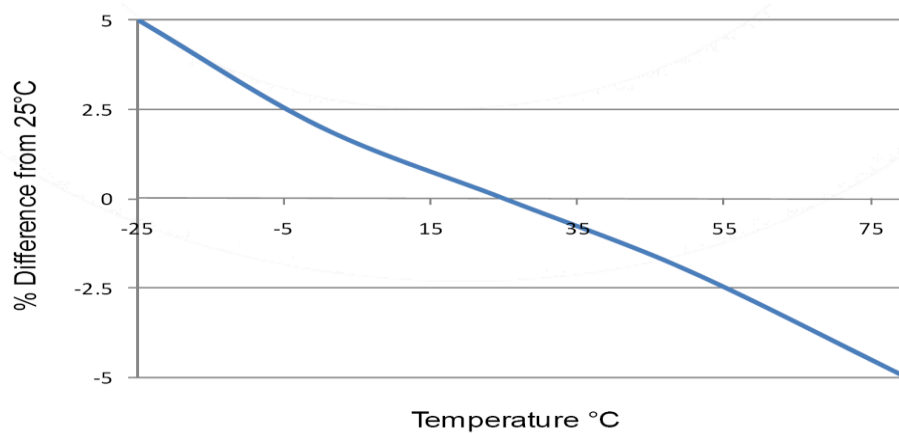
8. 典型温度特性



阈值电压 (V_{TH}) 相对温度的曲线



参考电压 (V_{REF}) 相对温度的曲线



SCR 输出电流 (I_{om}) 相对温度的曲线

9. 封装尺寸图

