

OMRON

The  
解决

[MOS FET继电器篇]

## 继电器的故障



为正确发挥继电器的性能提供保障

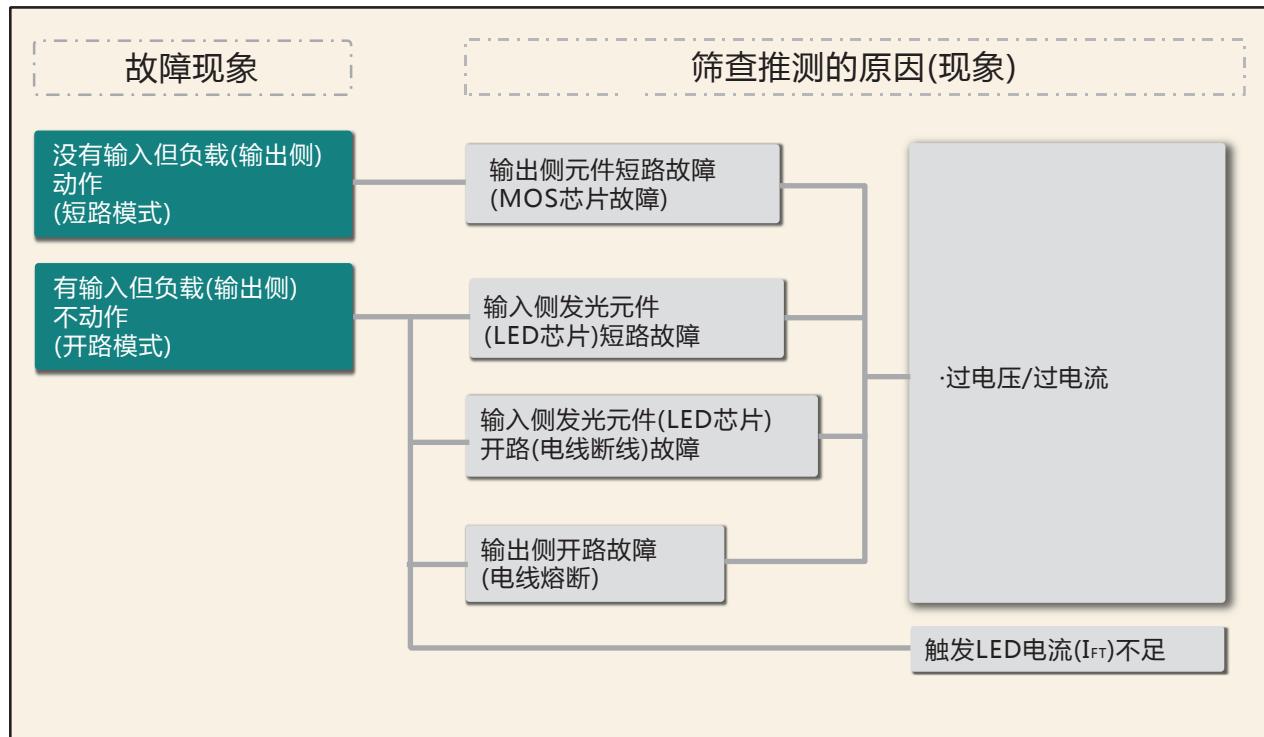
MOS FET具有即使瞬间超过绝对最大额定值也会导致故障的特点。  
因此必须要根据使用环境条件采取降额措施, 使用时请考虑到这一点。  
本文根据过去的失败事例汇总了原因和对策, 请在发生意外故障等情况时灵活运用。

## 目 录

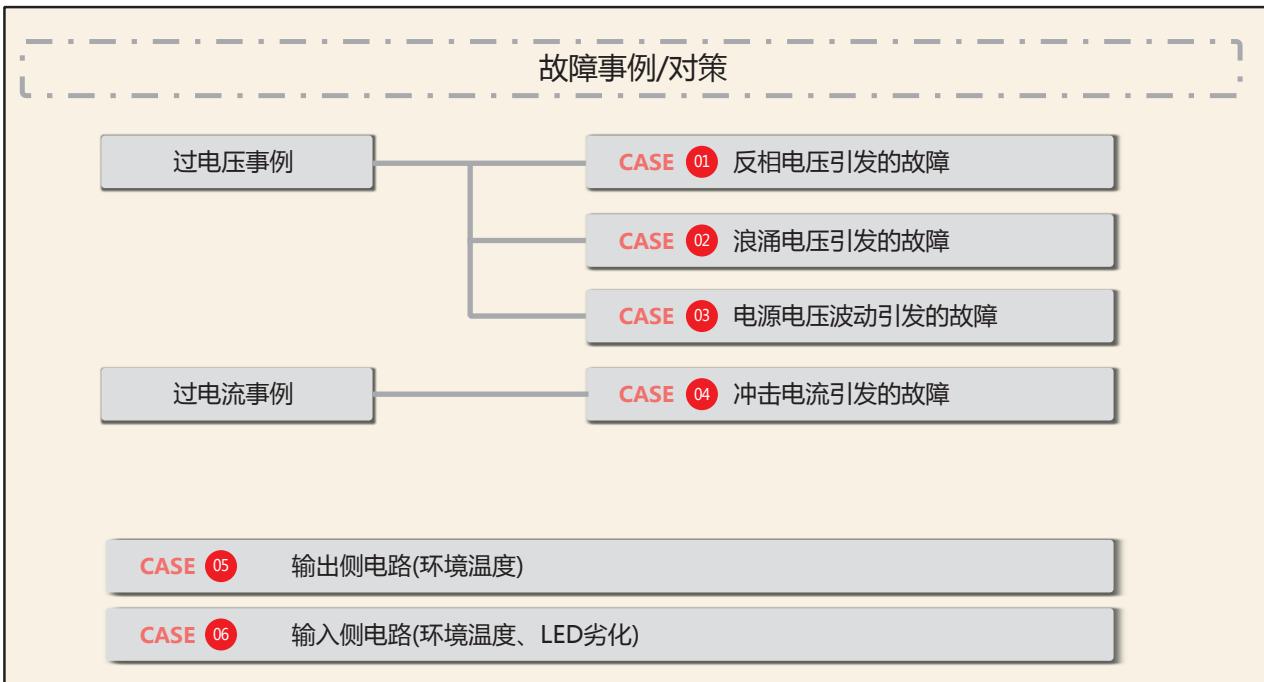
MOS FET继电器故障现象和故障特性原因图	3
MOS FET继电器故障事例	3
CASE 01 反相电压引发的故障	4
CASE 02 浪涌电压引发的故障	6
CASE 03 电源电压波动引发的故障	8
CASE 04 冲击电流引发的故障	10
CASE 05 输出侧电路设计的注意事项	11
CASE 06 输入侧电路设计的注意事项	12
故障现象照片	15

# 故障现象和故障特性原因图

## MOS FET继电器 故障现象和故障特性原因图



## MOS FET继电器 故障事例



# 反相电压引发的故障

切断感性负载(L负载)(使MOS FET从ON变为OFF时)时产生的反相电压超过MOS FET的负载电压( $V_{OFF}$ )后，输出侧元件会发生故障。

## 推测原因

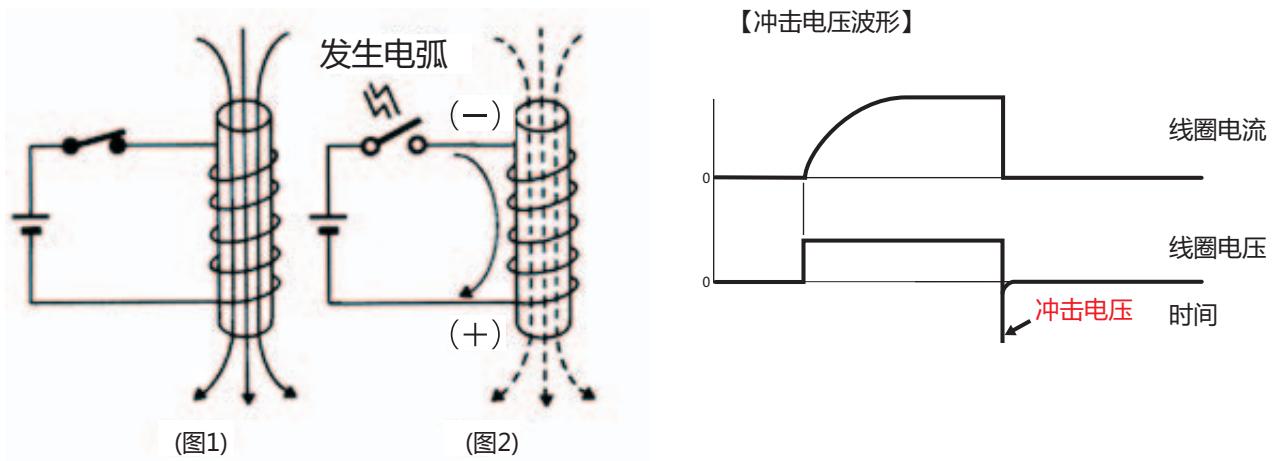
感性负载(L负载)具有在OFF时切断电源仍然会维持电流流通的特性，会产生与负载两端之前加载的电源电压极性相反的电压。该电压叫作反相电压，如果超过MOS FET的负载电压( $V_{OFF}$ )，MOS FET的输出侧元件会发生故障。

- 输出侧元件发生短路故障(参照P15.故障现象照片)
  - ⇒ 未在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧依然动作。(短路模式)
- 输出侧元件发生开路故障(参照P16.故障现象照片)
  - ⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作。(开路模式)

按照(图1)向线圈施加电压后，会产生磁通。

接下来，按照(图2)将开关设为OFF后，磁通消失，在线圈的自感作用下，将沿阻止磁通消失的方向产生反相电压。

此时开关已断开，线圈产生的电动势无处释放，会产生非常高的电压。

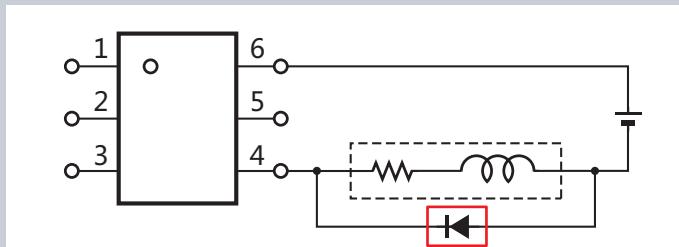


例) 发生反相电压的感性负载  
螺线管、电磁阀、机制动器、接触器、机械继电器等

## 措施

请连接保护电路(保护元件)，以抑制来自感性负载的过电压。  
(将过电压控制在负载电压( $V_{OFF}$ )以下)。

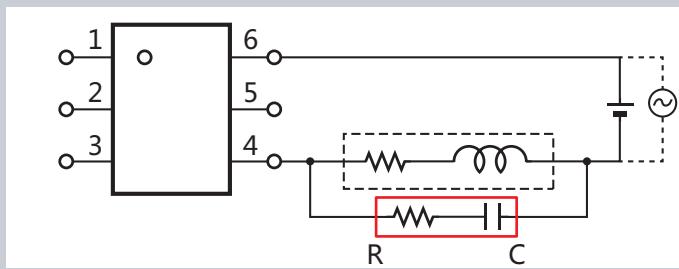
①用外接二极管吸收能量。



选择的大致标准：

二极管的反向耐压为电路电压的10倍以上，因此请使用正向电流在负载电流以上的二极管。

②用缓冲电路吸收能量。



选择的大致标准：

C、R的大致标准如下

C：接点电流1A对应0.5~1(μF)

R：接点电压1V对应0.5~1(Ω)

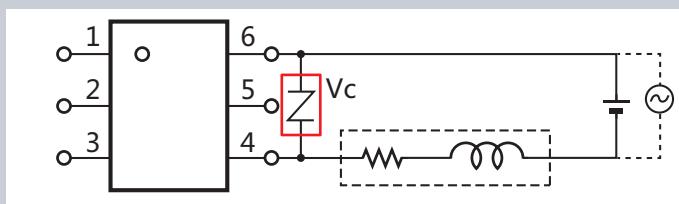
具体情况因负载的性质和特性的不同而异。

考虑到C具备在接点分离时抑制放电的效果，R具备在下次接通时限制电流的作用，请通过实验进行确认。

C请使用耐电压一般为200~300V的电容器。如为AC电路，请使用AC用电容器(无极性)。

但是，在直流高电压下，接点间电弧的断路能力成为问题时，将CR连接在接点之间，而非负载之间可能更加有效，请在实际设备上进行确认。

③用可变电阻切断过电压。



选择的大致标准：

请选择截止电压 $V_c$ 在以下条件内的可变电阻。交流需要为 $\sqrt{2}$ 倍。

$V_c > (\text{电源电压} \times 1.5)$

但是，设定的 $V_c$ 如果过高，将无法切断高电压，效果会减弱。

备注：

- 使用保护元件会导致负载侧的复位时间(断开时间)变慢，使用前请务必通过实际负载进行确认。
- 实际组装二极管、缓冲电路(C-R)、可变电阻等保护元件时，需要安装在负载或MOS FET的附近。如果距离过远，可能发挥不出安装保护元件的效果。

# 浪涌电压引发的故障(输入侧)

向MOS FET的输入侧施加开关浪涌电压等浪涌电压后，输入侧元件可能会发生故障。

## 推测原因

向输入端子间施加超过LED反向电压( $V_R$ )的反向电压(反向浪涌电压)时，输入侧发光元件(LED芯片)会发生故障，导致动作不良。

### ●LED芯片发生短路故障(参照P17.故障现象照片)

⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作(ON)。

### ●LED芯片发生开路故障(参照P17.故障现象照片)

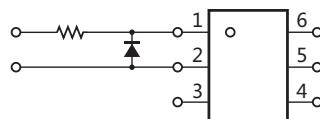
⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作(ON)。

※因发光量明显降低而进入不变为ON的模式

## 措施

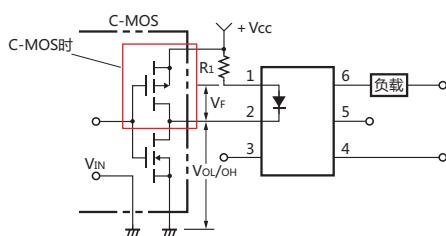
在输入端子间会施加反向电压(反向浪涌电压)时，请插入与输入端子反并联的二极管，避免向LED芯片施加超过LED反向电压( $V_R$ )的反向电压。(大致标准：3V以下)

输入侧的浪涌电压保护电路

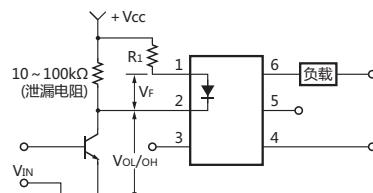


代表性电路示例如下。

代表性MOS FET继电器的驱动电路示例



晶体管时



- 为保证MOS FET继电器可靠运行，请通过以下公式计算出极限电阻值，并进行相应的设计。

$$R1 = \frac{V_{CC} - V_{OL} - V_{F(ON)}}{I_{F(ON)}}$$

※ 关于 $I_{F(ON)}$ 的值，请参照各型号的产品样本中记载的触发LED正向电流、推荐动作条件下的动作LED正向电流，请设定较大的值，留有一定的裕量。

- 为保证MOS FET继电器可靠复位，请通过以下公式计算出复位电压值，并进行相应的控制以确保电压在该值以下。

$$V_{F(OFF)} = V_{CC} - I_{F(OFF)}R1 - V_{OH}$$

※ 关于 $I_{F(OFF)}$ 的值，请设定小于各型号产品样本中记载的复位LED正向电流的值，留有一定的裕量。

- 驱动用晶体管的漏电流较大，可能导致误动作时，请添加泄漏电阻。

在左侧的CMOS驱动电路中，OFF时1-2针的电位基本相同，抗干扰性优异。

# 浪涌电压引发的故障(输出侧)

MOS FET继电器受到浪涌电压(瞬间超过绝对最大额定值的过电压)的影响后，输出侧元件可能会发生故障。

## 推测原因

浪涌电压叠加至输出侧(负载电路侧)并超过负载电压 $V_{OFF}$ (绝对最大额定值)时，MOS FET继电器的输出侧元件可能会发生故障，导致动作不良。

●输出侧元件发生短路故障(参照P15.故障现象照片参照)

⇒ 未在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧依然动作。(短路模式)

●输出侧元件发生开路故障(参照P16.故障现象照片)

⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作。(开路模式)

## ■浪涌电压的种类

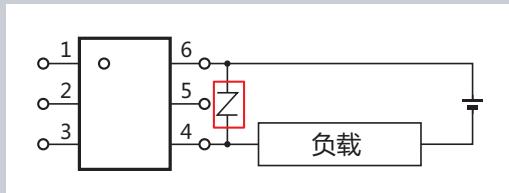
①静电放电Electro-Static Discharge : ESD(人、设备)

②来自电路和设备的泄漏浪涌

③雷击

## 措施

■请在输出端子两端间连接可变电阻。



■选择方法

可变电阻电压请勿超过MOS FET继电器的负载电压( $V_{OFF}$ )。

- ESD : 一般使用防静电用多层次式可变电阻。
- 在商用AC电源下使用时，请参照下表中“可变电阻的大致标准”。

可变电阻的大致标准

电源电压	推荐可变电阻电压	绝对最大额定值 $V_{OFF}$	浪涌电流耐量
AC100V线路	220 ~ 270V	400-600V	1000A以上
AC200V线路	430 ~ 470V	600V	1000A以上

# 电源电压波动引发的故障

受电源电压波动影响超过了绝对最大额定(电压/电流)时，输入侧元件及输出侧元件可能会发生故障。

## 推测原因

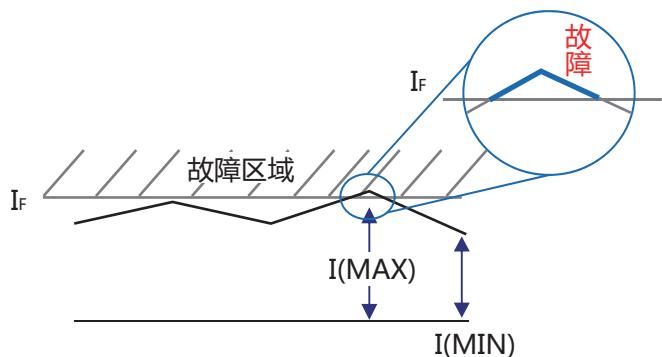
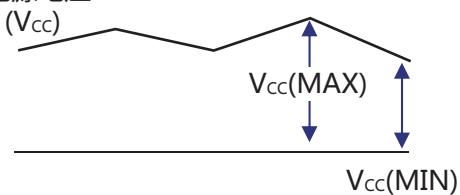
### 输入侧发生的故障

受输入电源电压的波动最大值( $V_{cc(MAX)}$ )的影响，向输入端子间通入了超过LED正向电流( $I_F$ )的最大额定值时，输入侧发光元件(LED芯片)可能会发生故障，导致动作不良。

- LED芯片发生短路故障(参照P17.故障现象照片)
   
⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作(ON)。
- LED芯片发生开路故障(参照P17.故障现象照片)
   
⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作(ON)。
   
※因发光量明显降低而进入不变为ON的模式

【例：因电源电压波动而产生超过 $I_F$ 的过电流】

电源电压



## 措施

考虑到波动，输入侧的电源电压请勿超过LED正向电流( $I_F$ )的绝对最大额定值。

受电源电压波动影响超过了绝对最大额定(电压/电流)时，输入侧元件及输出侧元件可能会发生故障。

## 推测原因

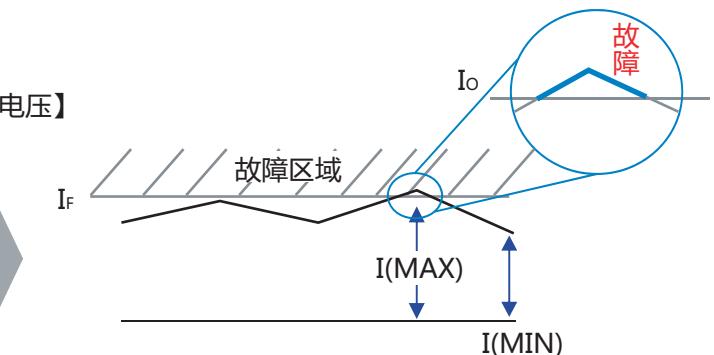
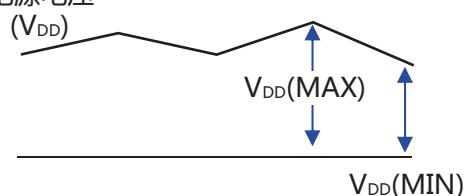
### 输出侧发生的故障

受输入电源电压的波动最大值( $V_{DD(MAX)}$ )影响，电压和电流超过了输出侧负载电压( $V_{OFF}$ )及连续负载电流( $I_o$ )的绝对最大额定值时，输出侧元件可能会发生故障，导致动作不良。

- 输出侧元件发生短路故障(参照P15.故障现象照片)  
⇒ 未在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧依然动作。(短路模式)
- 输出侧元件发生开路故障(参照P16.故障现象照片)  
⇒ 在输入端子间通入动作LED正向电流( $I_F$ )，输出侧也不动作。(开路模式)

【例：因电源电压波动而产生超过 $V_{OFF}$ 、 $I_o$ 的过电压】

电源电压



## 措施

考虑到波动，输出侧的电源电压请勿超过负载电压( $V_{OFF}$ )及连续负载电流( $I_o$ )的绝对最大额定值。

# 冲击电流引发的故障

受负载种类影响，混用MOS FET继电器开关时可能会发生超过绝对最大额定值的冲击电流，导致输出侧元件发生故障。

## 推测原因

冲击电流发生于使用MOS FET继电器开关时。冲击电流超过MOS FET继电器的脉冲导通电流( $I_{OP}$ )时，会导致输出侧元件发生故障。

(脉冲条件： $t=100ms$ ，Duty=1/10)

冲击电流的数值因负载的种类而异，代表性负载的特点如下所示。

### 1. 加热器负载(阻性负载)

基本上不产生冲击电流。使用某些种类的加热器时，电阻值会随温度发生变化，常温时电阻值较低，会产生冲击电流，需要加以注意。

<冲击电流流通的加热器的种类>

- 纯金属类加热器(额定电流的约3~5倍)
- 陶瓷类加热器(额定电流的约3~5倍)等

### 2. 螺线管负载(仅AC)

螺线管会流通额定电流约10倍左右的冲击电流。

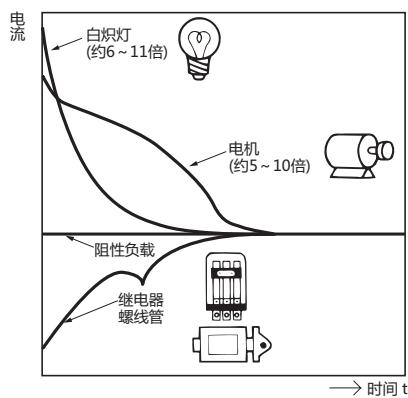
### 3. 机械继电器负载(仅AC)

机械继电器会流通额定电流约2~3倍左右的冲击电流。

### 4. 电机负载

电机等感性负载在启动时会流通额定电流约5~10倍左右的冲击电流。

## ■直流负载的种类和冲击电流



## ■交流负载的种类和冲击电流

负载的种类	冲击电流/恒定电流	波形
螺线管	约10倍	
白炽灯	约10~15倍	
电机	约5~10倍	
继电器	约2~3倍	
电容器	约20~50倍	
阻性负载	1	

## 措施

请确认负载的冲击电流，选择不超过MOS FET继电器的脉冲导通电流( $I_{OP}$ )的产品。

(脉冲条件： $t=100ms$ 、Duty=1/10)

# 输出侧电路设计的注意事项(环境温度)

输出侧的连续负载电流( $I_o$ )规定了与环境温度对应的降低比率，超过此规定时，输出侧元件可能会发生故障。

## 推测原因

以接合部温度额定值( $T_j$  = 内部元件接合部容许的温度额定值)为基准，环境温度升高导致连续负载电流( $I_o$ )降低的比率有相应规定，如果在高温下，输出侧流通的电流超过了规定值，接合部温度可能会超过额定值，导致输出侧元件发生故障。

### 高温下输出侧流通的连续负载电流( $I_o$ )超出规定值的事例

#### (案例)

希望向输出侧通入400mA的电流，选择了输出侧连续负载电流( $I_o$ )有25%余量的500mA( $T_a=25^{\circ}\text{C}$ )的机型。

在试制阶段正常完成了动作确认。

(试制评估时的MOS FET继电器环境温度为25°C)

但在市场上发生了动作不良。

#### (原因)

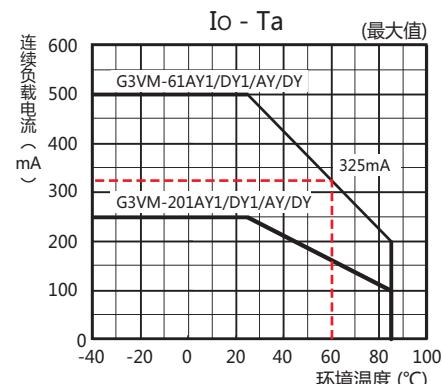
实际使用时MOS FET继电器环境温度为60°C，流通的电流超过了“连续负载电流-环境温度”图表中规定的连续负载电流( $I_o$ )。

#### (解说)

如右图所示，规定的连续负载电流( $I_o$ )会随环境温度发生变化。

在这次的情况下，MOS FET继电器的环境温度为60°C，规定的连续负载电流( $I_o$ )为325mA。

流通的电流为400mA，超过了规定，因此在市场上发生了动作不良。



## 措施

请确认按机型作出规定的“连续负载电流-环境温度”图表，根据实际使用时MOS FET继电器的环境温度，选择有余量的机型。

# 输入侧电路设计的注意事项( $I_F$ )

由于MOS FET继电器的“输入侧LED经年老化导致光量降低”、“环境温度升高”，动作LED正向电流( $I_F$ )可能会出现不足，导致MOS FET继电器无法动作。

## 推测原因

设计输入侧电路的动作LED正向电流( $I_F$ )时，电流值没有考虑LED的经年变化、环境温度变化及电源不同等对于触发LED正向电流( $I_{FT}$ )的影响，因此，随着环境变化和使用时间的推移，输入电流可能出现不足，导致MOS FET无法动作。

(失败事例见P13、14。)

## 措施

如下所示，建议采用在初始设计阶段考虑了降额的动作LED正向电流( $I_F$ )设计。

### 【触发LED正向电流值( $I_{FT}$ )的设计方法】

触发LED正向电流值( $I_{FT}$ )的设计值 =  $I_{FT}$ (最大值)  $\times \alpha_1 \times \alpha_2 \times (\alpha_3)$

$\alpha_1$  : LED的经年变化率  $\Rightarrow$  因产品型号(使用的LED)而异。

请参阅产品样本中的通用注意事项“关于预估寿命”。

$\alpha_2$  : 环境温度变化  $\Rightarrow$  请参照产品样本的“触发LED正向电流-环境温度”图表。

$\alpha_3$  : 安全系数  $\Rightarrow$  电源不同和劣化等的余量。

(例)G3VM-401G型，在环境温度最高为85°C的条件下使用时

$I_{FT}$  : 3mA(最大规格值, at 25°C)

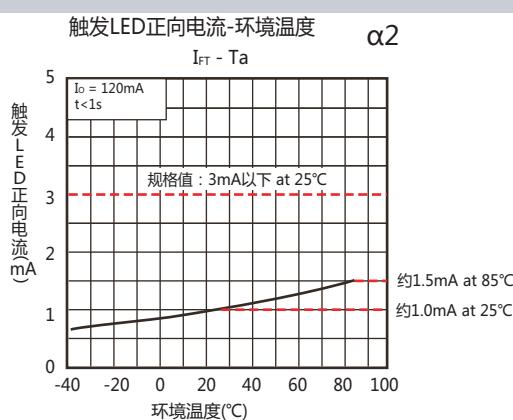
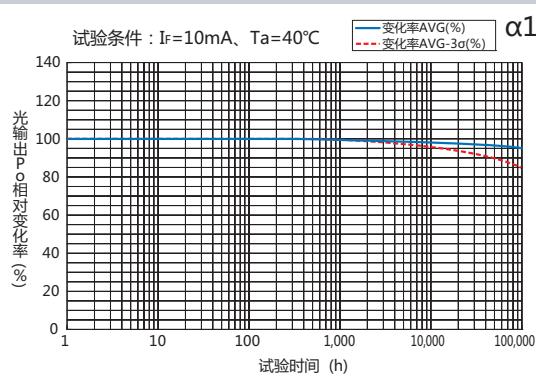
$\alpha_1$  : 按10万小时后为LED推测经年变化数据的80%(减少20%)进行设定  $\Rightarrow 1 \div 0.8 = 1.25$

(环境温度升高后会促进变化，在环境温度85°C下使用时，变化率会大于40°C下的数据，但是，如果使用条件低于 $I_F$ 条件10mA，变化会缩小。考虑到这一点，这次按80%进行设定。)

$\alpha_2$  : 根据触发LED正向电流-环境温度图表中环境温度为25°C和85°C的值设定变化率

$\Rightarrow 1.5mA \div 1mA = 1.5$

设计值 =  $3mA \times 1.25 \times 1.5 (\times \alpha_3) =$  约5.6mA( $\times \alpha_3$ )



# 输入侧电路设计的注意事项 (LED的经年老化、环境温度)

由于MOS FET继电器的“输入侧LED经年老化导致光量降低”、“环境温度升高”，动作LED正向电流( $I_{FT}$ )可能会出现不足，导致MOS FET继电器无法动作。

## 推测原因

失败事例1. 输入侧LED经年老化导致触发LED正向电流( $I_{FT}$ )不足

(案例)

为使输入侧在3.5mA下动作，留出余量，选择了触发LED正向电流( $I_{FT}$ )最大值为3mA ( $T_a=25^{\circ}\text{C}$ )的机型(G3VM-401G型)。

在试制阶段正常完成了动作确认。

但在市场上，使用约100,000小时后发生了动作不良。

(原因)

在实际使用中，“推测经年变化数据”图表中规定的光输出降低，触发LED正向电流( $I_{FT}$ )上升，LED正向电流( $I_F$ )出现不足，因此发生了动作不良。

(解说)

如下图所示，光输出会随输入侧LED的通电时间而发生劣化。

如下图所示，以 $I_F=10\text{mA}$ 通电100,000小时后，光输出劣化约20%。

光输出劣化20%表现为 $I_{FT}$ 增加25%(\*)。

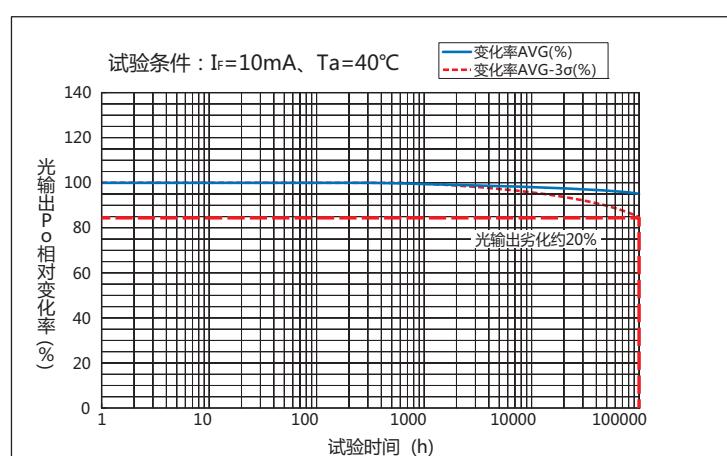
触发LED正向电流( $I_{FT}$ )变为3.75mA，超过了动作LED正向电流( $I_F$ )3.5mA，因此在市场上发生了动作不良。

\*计算公式

$$1/(100-20)=1.25(125\%)$$

例：G3VM-401G型

$$I_{FT} = 3\text{mA} \Rightarrow 3.75\text{mA}$$



## 措施

进行输入侧的电流设计时，请以动作LED正向电流( $I_{FT}$ )的最大值为基础，考虑动作时间所对应的LED的光输出劣化。

由于MOS FET继电器的“输入侧LED经年老化导致光量降低”、“环境温度升高”，动作LED正向电流( $I_F$ )可能会出现不足，导致MOS FET继电器无法动作。

## 推测原因

失败事例2. 高温下LED正向电流( $I_F$ )不足，导致无法动作的事例

(案例)

触发LED正向电流的标准值为1mA( $T_a=25^{\circ}\text{C}$ )，因此选择了输入侧的设计电流值为1mA的机型。

在试制阶段正常完成了动作确认。

(试制评估时的MOS FET继电器环境温度为25°C)

但在市场上发生了动作不良。

项目	符号	---	---	单位
触发LED正向电流	$I_{FT}$	标准	1	mA
		最大	3	

(原因)

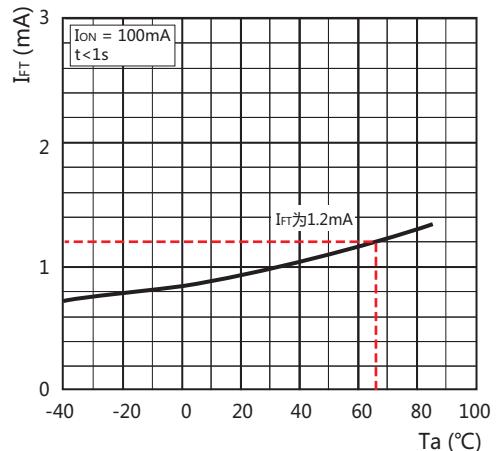
实际使用时，MOS FET继电器环境温度为60°C，“LED电流-环境温度”图表中规定的触发LED正向电流( $I_{FT}$ )升高，LED正向电流( $I_F$ )出现不足，发生了动作不良。

(解说)

如右图所示，触发LED正向电流( $I_{FT}$ )会随环境温度发生变化。

在这次的情况下，环境温度为60°C时， $I_{FT}$ 为1.2mA。

因此， $1\text{mA} < 1.2\text{mA}$ ，在市场上出现了不动作的情况

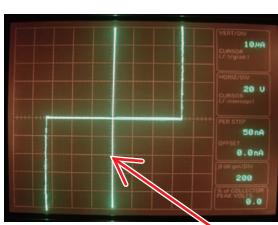
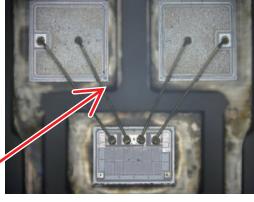
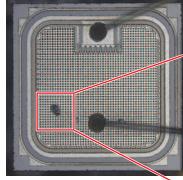
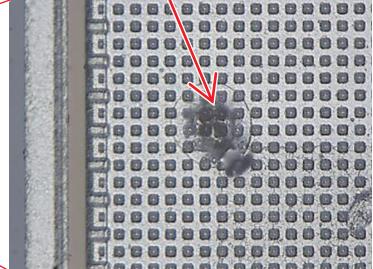
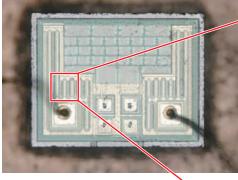
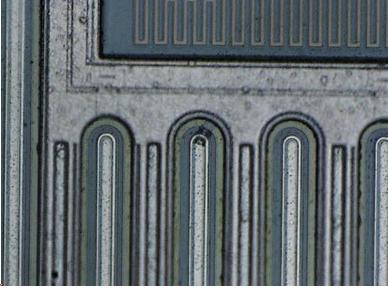
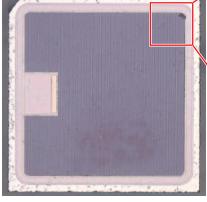
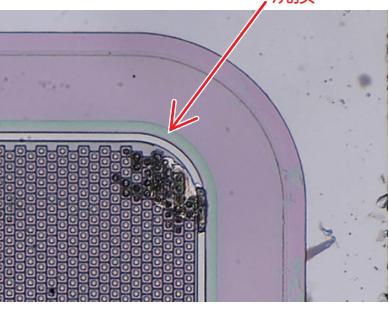
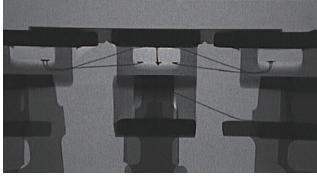


## 措施

进行输入侧的电流设计时，请以触发LED正向电流( $I_F$ )的最大值为基础，考虑环境温度变化。

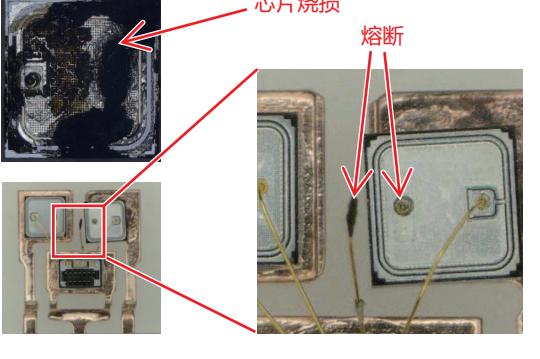
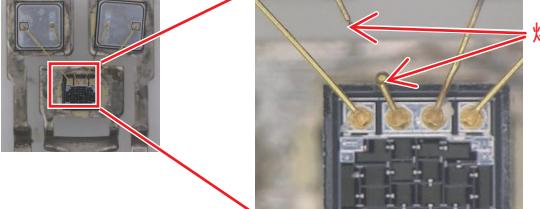
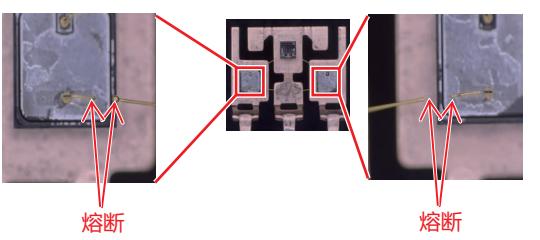
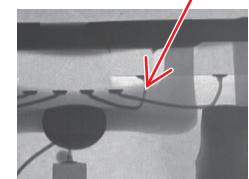
# 故障现象照片(输出侧)

## 输出侧短路故障

特性	输出侧元件的状态
 短	  
使用X射线观察内部	   
 无异常	

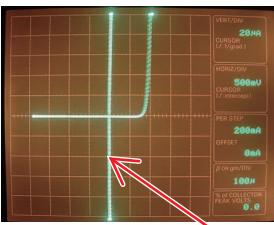
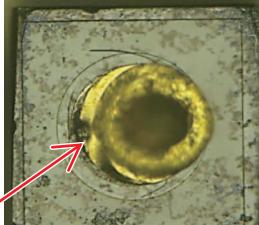
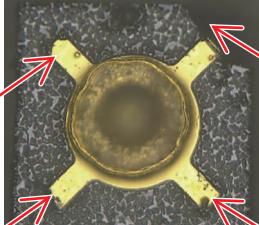
# 故障现象照片(输出侧)

## 输出侧开路故障

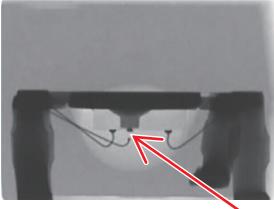
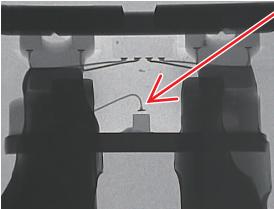
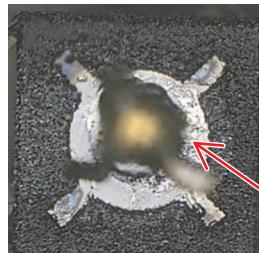
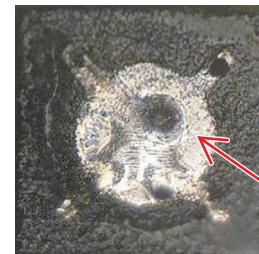
外观	输出侧元件的状态
  <p>树脂烧焦 树脂裂缝</p>	 <p>芯片烧损 熔断</p>
使用X射线观察内部	  <p>熔断 裂缝 熔断</p>
  <p>熔断 裂缝 熔断</p>	

# 故障现象照片(输入侧)

## 输入侧短路故障

特性	输入侧发光元件的状态	
 短	 烧损	 缺损 放电 放电 放电

## 输入侧开路故障

特性	输入侧发光元件的状态	
 熔断  电极浮起	 电极熔化	 电极熔化

订购前请务必阅读我司网站上的“注意事项”。

## 欧姆龙电子部品(中国)统辖集团

网站

欧姆龙电子部件贸易(上海)有限公司

<https://www.ecb.omron.com.cn>