# Photo TRIAC的特性与应用介绍

## 1. 功能说明

Photo Triac 为一无接点的开关器件， 它可以用微小的讯号（几毫安到几十毫安） 控制三端双向可控硅(Triac)的接通和分断， 输入端与输出端之间采用光电隔离， 输入端加上直流或脉冲讯号，输出端就能从断态转换成通态， Photo Triac Driver 分成零点触发(Zero-cross)和任意相位触发(Random-Phase)两种类型。

## 2. 三端双向交流开关(TRIAC)的工作原理

三端双向交流开关(TRIAC)是由双向晶闸管(bidirectional thyristor)所组成， 代替两个反极性并联的晶闸管(thyristor)，并使用一个触发电路， 是目前比较理想的交流开关器件。双向晶闸管可以双向导通， 即闸极(Gate; G)加上正或负的触发电压， 均能触发双向晶闸管正、反两个方向导通。与单向晶闸管相比较，双向晶闸管的主要的区别是触发之后为双向导通；触发电压不分极性，只要绝对值达到触发门限值即可导通。其内部结构和符号如图 1 所示。

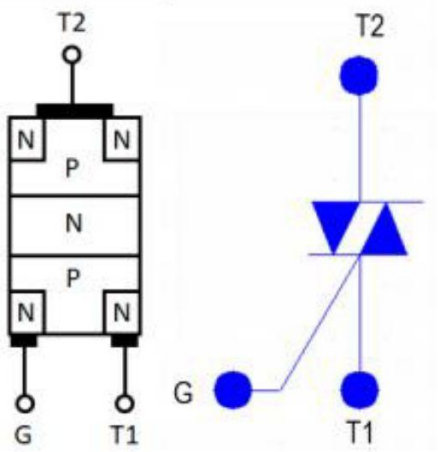



图 1. 双向晶闸管内部结构和符号图

因为 TRIAC 是双向组件，当闸极电流$I_G$不论极性为何，只要$T_1$与$T_2$间电压小于其额定转态电压时， TRIAC 处于截止状态。两阳极间只有少量的漏电流通过， 当闸极电压大于转态电压， TRIAC 为低电阻，电流上升则端电压下降呈现导通状态， 一但转态导通，闸极不再有控制作用。

在移去闸极信号后，以下三种方式可将 TRIAC 截止：
(1)中断两端点($T_1$和$T_2$)的电压(开路或短路)。

(2)改变两端点($T_1$和$T_2$)的电压极性(如使用交流电则会自动截止)。
(3)将导通的电流降低至维持电流$I_H$以下(可参考图 2)。

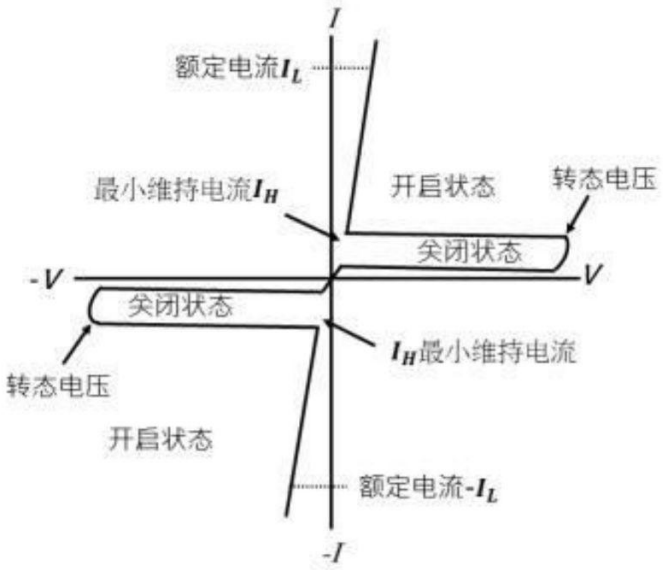



图 2.TRIAC 特性曲线图

## 3. Photo TRIAC Driver 的种类

### 3.1 零点触发（Zero-Cross , ZC）

一般用于交流电源控制， 例如继电器（Relay）驱动、交流开关等应用， 因交流电源电压较高， 在输出功率较大时， 开关的瞬间会有火花产生， 进而影响开关、继电器等这类有接点的设备寿命， 火花会使接点碳化， 导致接点阻抗升高， 恶性循环的情况下， 造成接点接触不良， 就很容易发热， 也就越容易失效。零点触发(ZC)，就是在零的交越处， 去驱动外部的接点， 因火花产生的原因来自于电流，而电流的产生来自于有电压，又因交流电有正负周期的关系，以 60Hz 的交流电来说，每秒钟会有 60 个零交越点，在零点的时候即代表电压为 0V，故此时不会有电流产生， 亦即这时导通或关闭开关时， 是最不容易产生火花的时候， 所以零交越电路所在做的就是在零点的时候，触发开关导通。

通常会使用零点触发的目的，是为了要延长开关接点的寿命，所以在 relay 上应用零交越是很常用的一种设计，但是因为 relay 通常动作的时候激磁会有反应时间，这种时间是没办法控制的， 且通常都是毫秒内， 对于在零点切换几乎是不可能的事情。因 TRIAC 导通时间较短也较容易控制，故可用 TRIAC 取代 relay 做开关控制。

零交越的动作时序应为：

(1)触发零交越 IC 使 TRIAC 导通。

(2)Relay 开启或放开。

(3)解除零交越。

因输出只在正弦波的零点才会动作或复归， 可避免突波或 EMI/ RFI ，特别适用于控制阻抗性、电容性和不饱和感抗性等负载， 图 3 为操作时的波形变化。

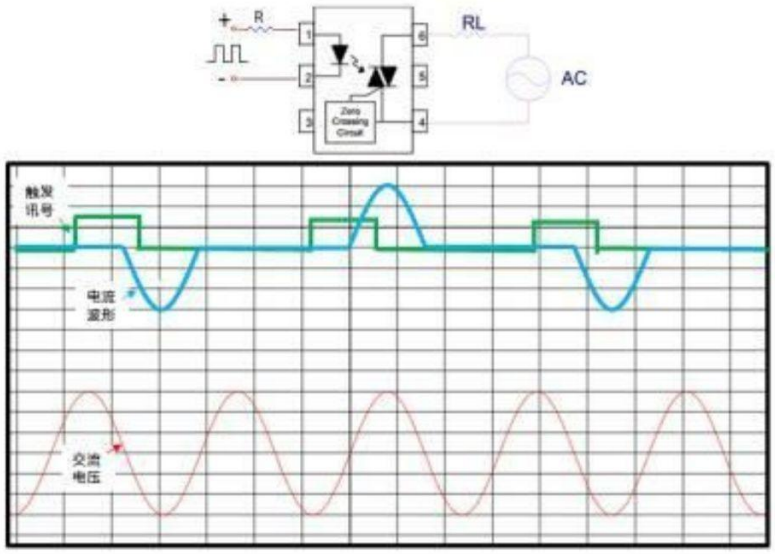



图3 . Zero Crossing 操作时的波形变化

## 3.2 随机相位触发（RANDOM-PHASE , RP）

可应用于电磁阀控制、灯具整流器、交流电开关、微处理器与交流电外设的接口， 固态继电器、白炽灯调光器、温度控制器及马达控制等， 和过零触发的差别在于， 它允许在交流正弦电压的任何一个时刻启动输出， 控制 TRIAC 的触发角来决定输出功率， 各类的调压模块或固态继电器内部作为输出触点的器件均为可控硅， 而且都是依靠改变可控硅导通角来达到调压的目的， 故输出的电压波形均为缺角的正弦波， 因此存在高次谐波， 有一定的噪声，具有较强的抗静态电压上升率(dv/dt)的能力， 能够保证对感性负载的开/关控制， 图 4 为操作时的波形变化。

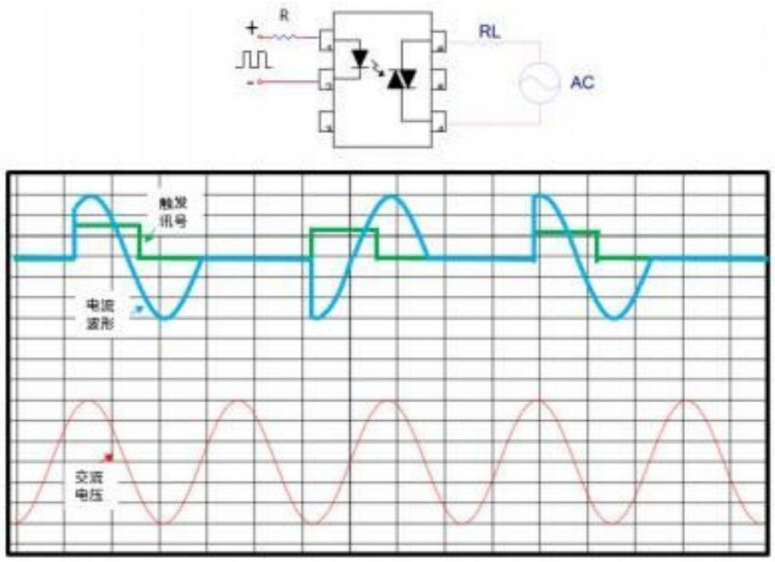



图 4. Random Phase 操作时的波形变化

## 4. 静态电压上升率（dv/dt）

图5为静态 dv/dt 测试电路， 开启待测器件（D.U.T），同时使用 High Voltage Pulse Source 施加足够的 dv/dt，以确保在触发电流断开后， TRIAC 仍保持导通状态，随后降低 dv/dt，直到 D.U.T 关断。测量上升至 $0.632V_{PEAK}$所需的时间$\tau_{RC}$，然后用 $0.632V_{PEAK}$除以$\tau_{RC}$得到 dv/dt。

$$dv/dt = \frac{0.632 \times V_{PEAK}}{\tau_{RC}}$$

**Static dv/dt Test Circuit & Waveform**

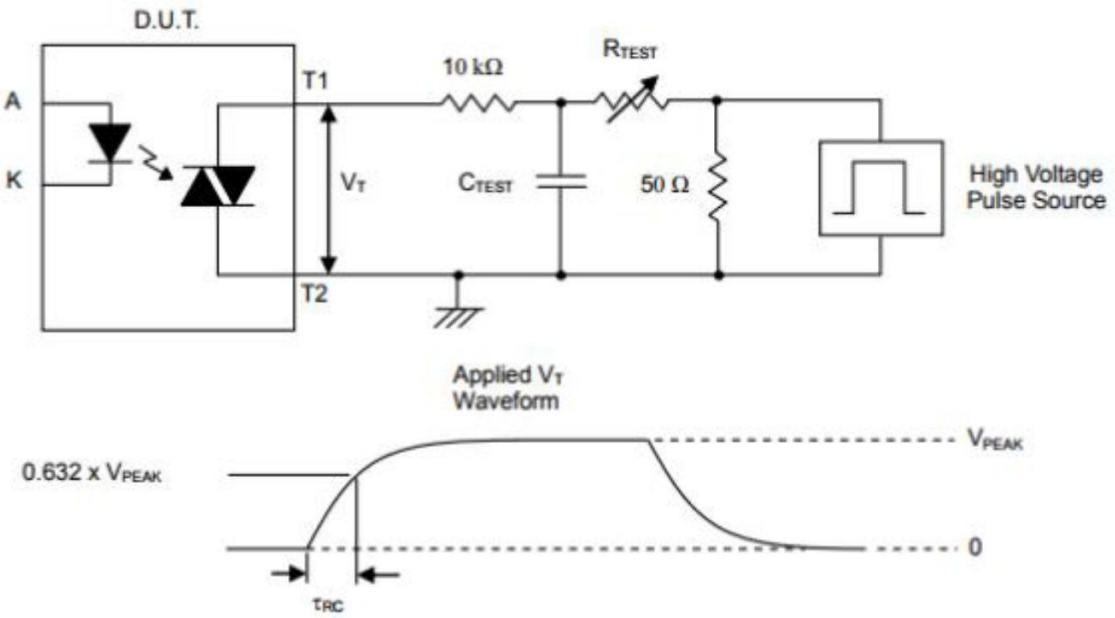



图 5. 静态 dv/dt 测试电路

以 AT306X series 为例，将$V_{PEAK}$=600V 套入公式，我们可以得到 dv/dt 的值。

$$dv/dt = \frac{0.632 \times 600}{\tau_{RC}} = \frac{379.2}{\tau_{RC}}$$

## 5. Photo TRIAC Driver 基本触发电路

图 6 为 Photo TRIAC Driver 基本触发电路， Photo TRIAC 主要是利用输入端的红外光去触发 TRIAC，其中$I_{FT}$是表示驱动 TRIAC 所需的最小电流。以 AT3031 为例：当$I_F$=15mA 时，输出端会导通，即使$I_F$下降至 15mA 以下时，输出端依然是导通状态，直到流过 TRIAC 的电流降至$I_H$以下后， TRIAC 才会断开。而当输出端电压高于 TRIAC 两端的正向阻断电压$V_{DRM}$也会导通，另外交流常见的瞬变或噪声等,如果超过静态电压上升率 dv/dt 的额定值，也有可能触发 TRIAC，为了防止误触，通常会加上缓冲器(Snubber circuit)。

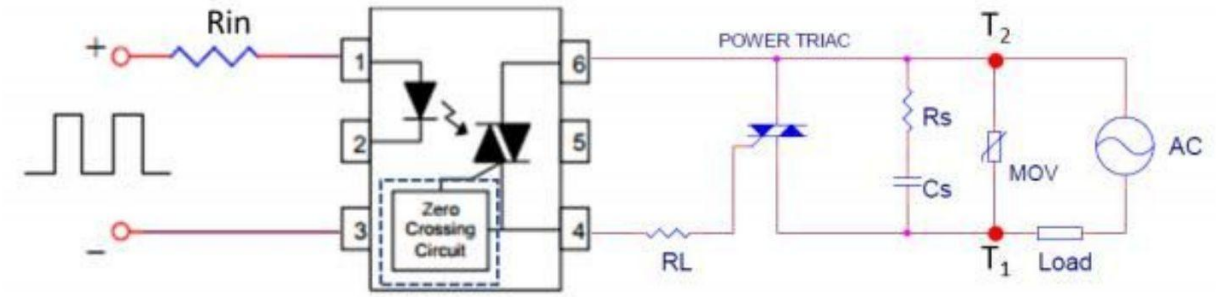



图 6. Photo TRIAC Driver 基本触发电路

若负载为电阻性负载，电路中的电压和电流同相，当电流为零，会达到零功率点，此时电压为零， TRIAC 可轻易的变为 OFF。若负载为电抗性（电感或电容），因电路的电压和电流异相，故 TRIAC 切为 OFF 的方式跟电阻性负载不同。考虑类似马达的电感性负载，此电路的电流落后于电压，当电流变为零，电压不为零并且施加于 TRIAC 两侧，此电压可能将 TRIAC 转为 ON，造成误触发。除了电感性负载，静态电压通常伴随噪声，而其值也可能将组件转为 ON。闸流体是由 PN 接面制成，当不导通时，这些接面具有空乏区。空乏区为绝缘体，可视为电容的介电层。这些电容会对在静态时的急遽电压改变有所反应，并且引入充电电流。而此充电电流可以当作闸极电流，并将组件转为 ON，因此造成了误触发。

缓冲电路可以减少在 TRIAC 控制电路中的误触发。把电容抗拒电压改变的特性用在 RC 缓冲电路。 RC 电路在 TRIAC 的 T2 和 T1 间连接。缓冲电路将充电电流由非导通时的闸流体分流出来。

## 5.1 零点触发(Zero-Cross)

图 7 为零点触发(Zero-Cross)的基本触发电路，$R_L$为阻性负载时，因电流受限于 Power TRIAC 的 Gate 触发电流($I_{GT}$)，故可不须电阻 R；R 主要是应用在电感性负载应用中，防止 TRIAC Driver 可能造成的破坏。

如果限流电阻 R 的值过高，可能会造成 TRIAC 错误的相位控制，如果 TRIAC 在峰值电压附近进入非导通状态，并且缓冲器电容对 TRIAC 放电，电阻 R 可限制流过 TRIAC Driver 的电流。电阻 R 的计算方式：假设电压为 110V 有效值，最大峰值驱动电流等于 1A，可以计算出R值。

$R = \frac{V_{Peak}}{I_{Peak}} = \frac{110\sqrt{2}}{1} = 155\ ohm$ 可以选择较常用的电阻值 160ohm。

$R_G$只有在 Power TRIAC 或 SCR 的内部 Gate 阻抗极高时才需要，如果没有$R_G$，抗噪性能和热稳定性会非常差，$R_G$的阻值范围为 100~500ohm，$R_G$会增加$I_{GT}$电流，而$R_G$和 R 一起使用，会造成过零时间与 Power TRIAC 触发时间之间的非预期延迟或相移。

Power TRIAC 需要特定的触发电流($I_{GT}$)和触发电压($V_{GT}$)才能使其导通，$T_1$和$T_2$两端点之间有最小线路电压$V_T$，即使 TRIAC Driver 已被触发为导通状态。最小线路电压$V_T$的值为触发电路中所有压降相加得到：

$V_T = V_R + V_{TM} + V_{GT}$

电流 I 除了($I_{GT}$)之外，还包含了流过$R_G$上的电流。

$I = I_{RG} + I_{GT}$

将 Power TRIAC 所需的 Gate 触发电压$V_{GT}$除以$R_G$可以得到$I_{RG} = \frac{V_{GT}}{R_G}$

所以，$I = \frac{V_{GT}}{R_G} + I_{GT}$，$V_R = I\,X\,R = (\frac{V_{GT}}{R_G} + I_{GT})R$

$V_{GT}$和$I_{GT}$可由 Power TRIAC 的规格书上得知，$V_{TM}$由 TRIAC Driver 的规格书上得知，因此可以知道 R 和$R_G$决定于$V_T$的值。

在$V_T$已知的情况下，非预期相位延迟角度$\theta_d$以及触发延迟时间$t_d$可由下式求得：

$\theta_d = \sin^{-1}\frac{V_T}{V_{peak}} = \sin^{-1}\frac{R(V_{GT}/R_G + I_{GT}) + V_{TM} + V_{GT}}{V_{peak}}$

$t_d = \frac{\theta_d}{90}\ X\ \frac{1}{4}\ f$

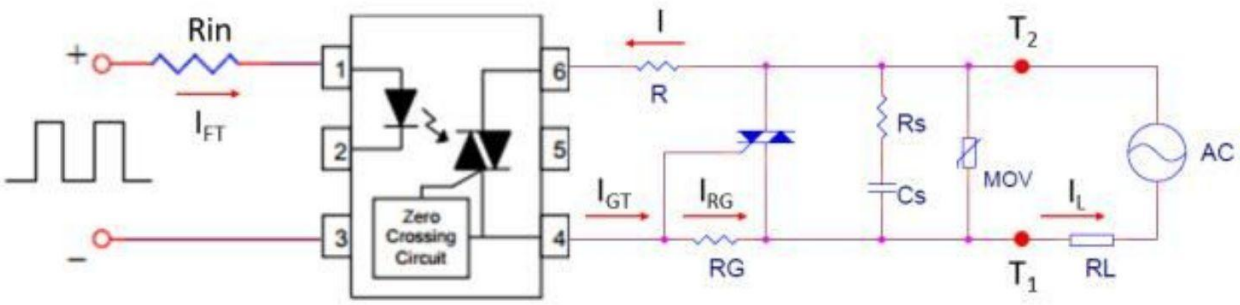



图 7.Zero Crossing 基本电路

5.2 随机相位(RANDOM-PHASE)

在任何相位都可让输出端导通， 但一样会在下一个线路电压过零处关闭， 比较要注意的是，因为在任意相位都能触发，会造成瞬变电压干扰。针对 Power TRIAC 的选择，需要注意工作的电压以及可能会产生的浪涌电压， 应选择高于耐受度高于此电压的组件， 如果是白炽灯， 应使用保险丝保护 Power TRIAC，或使用额定值高的组件， 避免峰值电流过高而损坏组件。当交流线路上产生瞬变电压干扰并超过组件静态 dv/dt 额定值时，会造成 TRIAC Driver 所触发的 Power TRIAC 被误触而导通，但一般情况下 Power TRIAC 会在下一个过零点时被关闭，大部份负载可承受这种偶发性半个周期的功率。

电感性负载(电机、电磁阀、磁体...等)，对 Power TRIAC 和 TRIAC Driver 来说， 因为电压和电流异相，而 TRIAC 会在零电流时会关掉。故当电流为零且施加的电压为高电压时，对于 TRIAC 来说， 上升速率超过 Power TRIAC 的 dv/dt 或者 TRIAC Driver 的静态 dv/dt，TRIAC 就会导通。为了用缓冲器电路来降低电压上升率。有时候会在 Power TRIAC 和 TRIAC Driver 都加上缓冲器，要正确的设计缓冲器，须配合电抗性负载的功率因子(PF)。

**本应用手册提供客户设计参考，若有设计变更可能造成系统性性能降低，若有机构设计上的问题请与奥特电子联系取得进一步技术支持。**