

简洁低功耗过零检测电路

作者: [C Castro-Miguens](#) [M Pérez Suárez](#) [西班牙 Vigo 大学](#); [JB Castro-Miguens](#) [西班牙马德里 Cesinel](#) 上网日期: [2013 年 05 月 31 日](#)

有很多电路展示了使用 50Hz 和 60Hz 电线的零交叉检测器的工作原理。虽然电路有很多种，但是大多数都有不足之处。本例中展示的电路可使用少量的通用元件来提供更高的性能，且耗电量低。

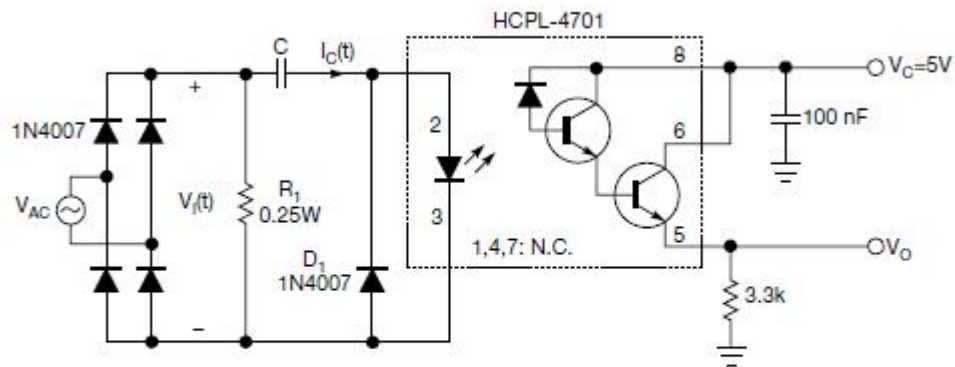


图1：零交叉检测器使用的元件少，且耗电量低。 V_O 信号的上升沿与线电压 V_{AC} 的各零交叉点一致。

在图 1 所示电路的 V_O 处产生了一段波形，其上升沿与线电压 V_{AC} 的零交叉点相一致。该电路很容易修改，这样电路中就可以产生与 V_{AC} 保持同步的下降沿波形。

$$\begin{aligned} i_c(t) &= i_{LED}(t) = C \frac{d}{dt} [v_i(t) - v_{LED}] \approx C \frac{d}{dt} \times v_i(t) \\ &= C \times \omega \times V_{AC-PK} \times \cos(\omega t) \rightarrow i_c(0) \approx C \times \omega \times V_{AC-PK}, \end{aligned} \quad \text{方程式(1)}$$

$$\begin{aligned} \omega &= 2 \times \pi \times f_{AC} \text{ and} \\ v_i(t) &= |V_{AC}(t)| = |V_{AC-PK} \times \sin(\omega t)|. \end{aligned} \quad \text{方程式(2)}$$

$$\begin{aligned} &C \frac{d}{dt} [v_i(t) - v_{LED}] \\ &= C \frac{d}{dt} \times v_i(t) - C \frac{d}{dt} \times v_{LED} \approx C \frac{d}{dt} \times v_i(t), \end{aligned} \quad \text{方程式(3)}$$

$$C \frac{d}{dt} \times v_{LED} \approx 0 (v_{LED} \approx \text{constant}). \quad \text{方程式(4)}$$

该电路的运作方式如下：在 V_{AC} 的零交叉点上，通过电容器和 HCPL-4701 光耦合器 LED 的电流要满足方程式 1。方程式 2 是弧度每秒与赫兹之间的标准转换公式，也解释了 $v_i(t)$ 的来历。方程式 3 和 4 是方程式 1 的简式。因为通过 LED 的电压接近于一个常量，该值在时间方面的变量趋近于 0。

通过 LED 的电流峰值为电容器 C 的函数。 C 的取值需满足以下条件：时间为起始时间 ($t=0$)，满足所给的最小供给电压值，并且强度需要超过光耦合器的触发阈值。在 HCPL-4701 中， $I_F(ON)=40 \mu A$ 。

二极管 D1 不仅允许电容器放电，而且还可阻止 LED 上的反向电压。HCPL-4701 的最大反向输入电压为 2.5V。

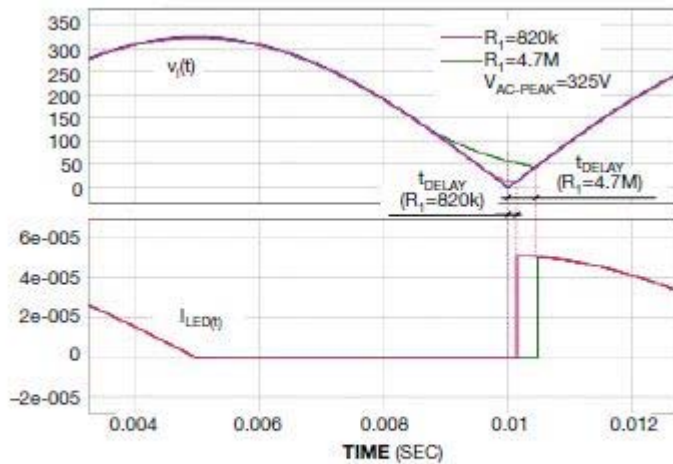


图2: $v_i(t)$ 与 $I_{LED}(t)$ 之间的关系为 R_1 值的函数，显示了零交叉点与LED电流之间的时延。

当 $i_c(t) < 0$ (图 2) 时，电阻器 R_1 在每个 $v_i(t)$ 循环的后段释放出电容器中储存的能量。 R_1 的最大值受到以下因素的限制：电容器、供应电压峰值 ($V_{AC-PEAK}$) 以及通过与 AC 电压零交叉点 (图 2) 相关的 LED 电流上升沿的可接受最大时延。 R_1 的最小值取决于 R_1 中可允许的最大功耗 ($[V_{AC-RMS}]^2/R_1$)，可依据实际情况取折中值。

表1. 不同的 R_1 值对应的时延

R_1	$t_{DELAY} (\mu s)$	$V_{AC-RMS}^2/R_1 (mW)$
470k Ω	60	112.5
470k Ω	100	64.5
470k Ω	450	11.2

表 1 展示了通过 LED 电流上升沿的时延 (t_{DELAY}) 以及 R_1 取三种不同值时所对应的功耗。需要注意的是，与 V_{AC} 零交叉点对应的 V_O 上升沿的时延必须包含光耦合器的传播时延。HCPL-4701 的传播时延为 $70 \mu s$ 。

基于上述信息，可以得到下列 C 与 R_1 的实际取值：

$V_{AC} = 230V_{RMS} \pm 20\%$ (图 3)： $C = 0.5nF/400V$ (MKT-HQ370 金属化聚酯膜，MKT 系列)， $R_1 = 560k\Omega/0.25W$ ， $t_{DELAY} = 114 \mu s$ (与 V_{AC} 零交叉点相关的 V_O 上升沿时延)， $P \approx 100mW$ (AC 线缆平均功率)。

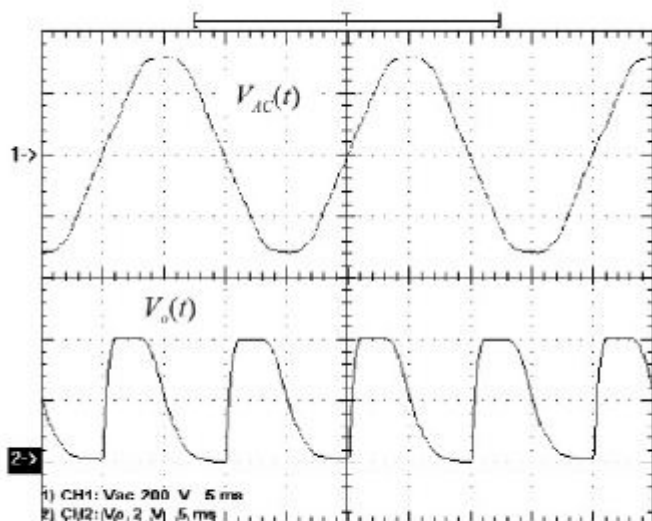


图3：经验值为 $V_{AC}=230V_{RMS}$, $C=0.5nF$, $R_1=560k\Omega$ 。

$V_{AC}=115V_{RMS} \pm 20\%$ (图 4)： $C=1nF/200V$, $R_1=220k\Omega/0.25W$, $t_{DELAY}=130\mu s$ (与 V_{AC} 零交叉点相关的 V_O 上升沿时延), $P \approx 65mW$ (AC 线缆平均功率)。

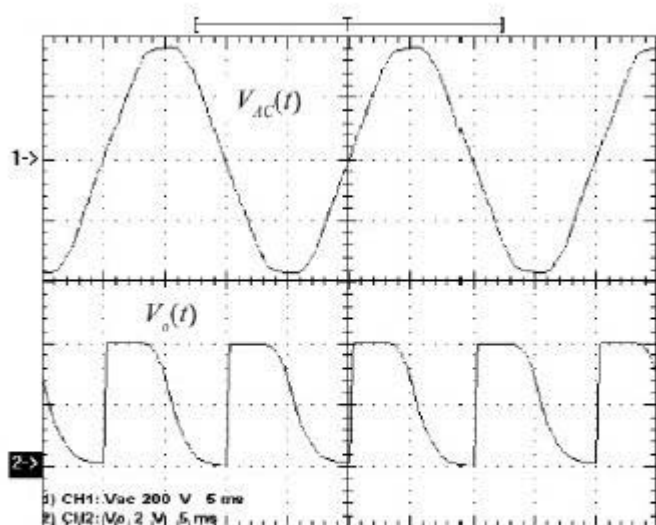


图4：经验值为 $V_{AC}=115V_{RMS}$, $C=1nF$, $R_1=220k\Omega$ 。

80VRMS~280VRMS 的运行状态下： $C=1nF/400V$, $R_1=330k\Omega/0.25W$ 。各个取值的经验值为 $V_{AC}=267V_{RMS}$ 、 $C=1nF$ 、 $R_1=220k\Omega$ (图 5)。

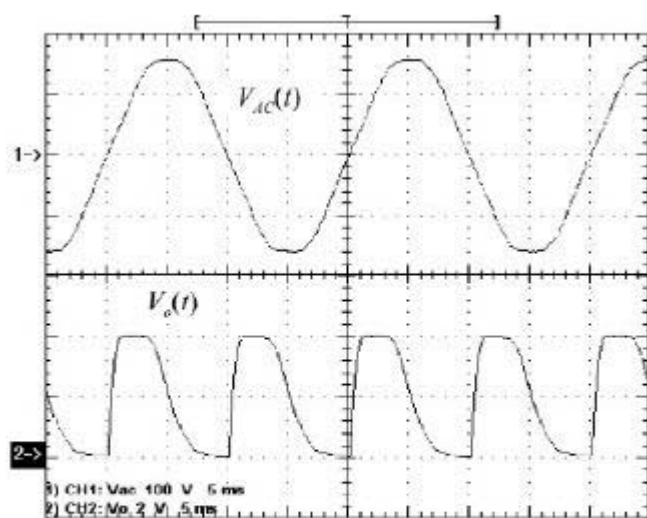


图5: 经验值为 $V_{AC}=267V_{RMS}$, $C=1nF$, $R_1=220k\Omega$ 。

注意：在已通电设备上对该电路进行台架测试时，请绝对小心。在设计印刷电路板时请遵循相关指南。