第 5 次作业（参考答案）

1. 在某型无人机电源管理系统设计中，需要对电池欠压进行监控并实现报警状态的锁存。比较器在检测到电池电压低于安全阈值时，会输出一个低电平信号V_bat＝0，否则输出高电平V_bat＝1。要求一旦触发欠压，报警指示灯（Alarm 端，高电平点亮）需持续保持点亮，即使电压恢复正常也不能解除，直到地勤人员按下复位按钮（输出低电平脉冲 M_rst）才能关闭报警。系统选用了一片 74LS279 芯片，其内部包含 4 个独立的基本 SR 触发器。请完成：

   (1) 根据芯片逻辑符号，说明该芯片中的触发器是低电平输入有效还是高电平输入有效？V_bat 信号和 M_rst 信号应分别连接到该触发器的哪个输入端？

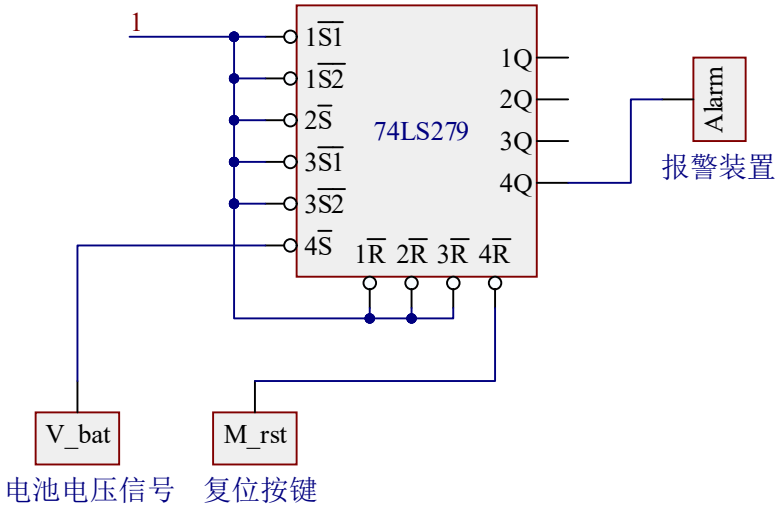
   (2) 画出该电路的接线图（注意闲置引脚的处理）。

   (3) 写出该 SR 触发器的特性方程，并写出它在正常工作时必须遵守的约束条件。

   (4) 如果地勤人员在电池仍然处于欠压状态时，一直按住复位按钮不松手，此时能关闭报警吗？为什么？

   答：（1）低电平输入有效；V_bat 信号应接到置位端 $\overline{S}$，而 M_rst 信号应接到复位端 $\overline{R}$。

   （2）电路图如下



   （3）通过卡诺图的方式，可用写出该 SR 触发器的特性方程为

$$Q^{n+1}=\overline{\overline{S}}+Q\cdot\overline{R}$$

   约束条件为输入端 $\overline{S}$ 和 $\overline{R}$ 不能同时为低电平，即输入需满足 $\overline{S}+\overline{R}=1$ 或者 $\overline{\overline{S}}\cdot\overline{\overline{R}}=0$。此题很多同学不理解为什么写 $\overline{\overline{S}}$ 这样的而不直接写 S，这里一定要注意：从芯片外部来看，给触发引脚信号相当于给 $\overline{S}$ 和 $\overline{R}$ 赋值，这两个符号是引脚的标注名字，是整体。

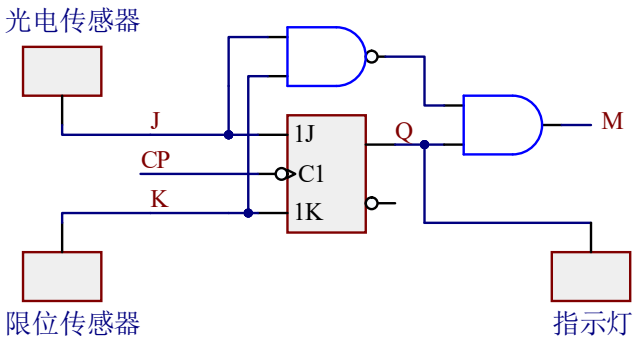
   （4）无法关闭报警。理由：欠压输出的低电平 V_bat 已经使 $\overline{S}$ 端有效，触发器状态 Q

已经为高电平，此时给 $\overline{R}$ 端输入低电平会导致 $\overline{S}$ 和 $\overline{R}$ 同时有效，为非法输入，无法将 Q 复位；从该触发器内部来看，$\overline{S}$ 端和 Q 中间是一个与非门，只要 $\overline{S}$ 为 0，则 Q 必为 1。

2. 在某自动化车间的物料传送带控制系统中，工程师使用了一片下降沿触发的 JK 触发器来控制电机驱动模块。系统输出 $M=1$ 时电机运转，$M=0$ 时电机停止。系统的输入端配置如下：

- 起始端光电传感器连接到 J 端，当检测到有物料放上时，输出 $J=1$；无物料时 $J=0$。
- 末端限位传感器连接到 K 端，当检测到物料到达终点时，输出 $K=1$；未到达时 $K=0$。
- 系统主控板提供一个10Hz的连续方波作为采样时钟 CP。

设传送带初始为空（电机停止，$Q=0$，$M=0$）。该控制电路图如下



请结合 JK 触发器的特性，分析以下四种工况下，时钟有效沿到来后电机的状态：

(1) 启动工况：工人将物料放到起始端，且末端为空。此时 J 和 K 的状态是什么？输出 M 变为多少？

(2) 传输工况：物料离开起始端，正在传送带中间移动（两端传感器均未触发）。此时 J 和 K 的状态是什么？输出 M 会发生什么变化？这体现了触发器的什么功能？

(3) 到位工况：物料到达末端，等待机械臂抓取（起始端无新物料）。此时 J 和 K 的状态是什么？输出 M 变为多少？

(4) 报警工况：由于传感器故障或人为误操作，导致起始端和末端同时被触发，此时 J 和 K 的状态是什么？输出 M 为多少？触发器状态 Q 会呈现什么状态？电机和指示灯分别有何现象？

(5) 若给出时钟信号和输入信号的部分波形如下，请绘制状态 Q 对应的波形图。

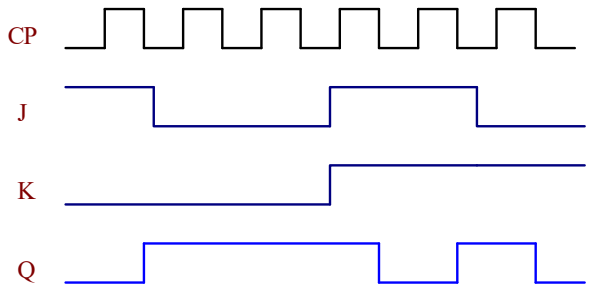
答：（1）启动工况：$J=1$，$K=0$。时钟下降沿到来后，输出 $Q=1$，$M=\overline{J\cdot K}\cdot Q=1$，电机启动。

（2）传输工况：$J=0$，$K=0$。时钟下降沿到来后，输出 $Q^{n+1}=Q=1$，$M=\overline{J\cdot K}\cdot Q=1$。电机保持运转。这体现了触发器的锁存（记忆/保持）功能。

（3）到位工况：$J=0$，$K=1$。时钟下降沿到来后，输出$Q=0$，$M=\overline{J\cdot K}\cdot Q=0$，电机停止。

（4）故障工况：$J=1$，$K=1$。输出$M=\overline{J\cdot K}\cdot Q=0$，此时无需等待时钟沿到来，电机立即停止。时钟沿到来后，$Q^{n+1}=\bar{Q}$（触发器状态翻转）。由于 CP 是10Hz 的连续时钟，此时Q会在 1 和 0 之间持续跳变，所以指示灯会以5Hz 频率闪烁。

（5）绘制波形图如下



3. 自动化 AGV 小车在车间行驶时，车顶警示灯的闪烁逻辑由一个下降沿 T 触发器控制。警示灯驱动端接在触发器的输出Q上（$Q=1$灯亮，$Q=0$灯灭）。系统提供一个稳定的2Hz 时钟脉冲接在 CP 端。AGV 的安全主控芯片输出一个“危险模式使能”信号 Warning_En，直接连接到触发器的T端。请完成：

(1) 写出 T 触发器的特性方程。

(2) 当 AGV 在安全区域正常行驶时，主控输出Warning_En＝0。假设此时警示灯初始为熄灭状态，请问在连续的时钟脉冲作用下，警示灯会闪烁吗？为什么？

(3) 当 AGV 驶入人员密集区时，主控输出Warning_En＝1并保持。请问此时输出Q会呈现什么波形？警示灯的闪烁频率是多少（单位：Hz）？

(4) 现场维护时发现该 T 触发器损坏，由于仓库中只有图中的 JK 触发器。请给出用 JK 触发器替换 T 触发器的接线图。

答：（1）T 触发器的特性方程

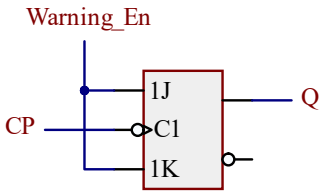
$$Q^{n+1}=T\bar{Q}+\bar{T}Q=T\oplus Q$$

（2）安全区域正常行驶时不会闪烁。因为此时$T=$Warning_En＝0，代入特性方程得$Q^{n+1}=Q$。触发器处于状态保持模式，输出Q一直保持为 0，即警示灯保持熄灭状态。

（3）当驶入人员密集区时，$T=$Warning_En＝1，代入特性方程得$Q^{n+1}=\bar{Q}$，触发器进入翻转模式。此时每一个时钟下降沿到来，Q都会翻转一次，输出方波。因为时钟 CP 是2Hz，需要经过 2 个时钟周期，输出Q才能完成一次完整的 0-1-0 循环，因此输出方

波的频率是1 Hz，警示灯闪烁频率也是1 Hz。

（4）JK 触发器替换 T 触发器的接线图如下



4. 在全自动化生产线上，机械臂的某个动作使能信号Q由系统主时钟 CP 和控制数据D同步决定。但安全规范要求，必须接入“光幕传感器”作为最高优先级的急停保护。一旦有人闯入光幕，急停信号 $\overline{\text{E_STOP}}$ 变为低电平，动作使能信号Q必须立刻被强制清零，且不受主时钟的控制。系统使用带有异步置位端 $\overline{S_D}$ 和异步复位端 $\overline{R_D}$ 的上升沿 D 触发器。请完成：

(1) 为了实现上述安全逻辑，主控数据接入D端，系统时钟接入 CP 端。请问急停信号 $\overline{\text{E_STOP}}$ 应该接在哪个引脚上？另一个未使用的异步控制引脚应该接什么电平，为何这样接？

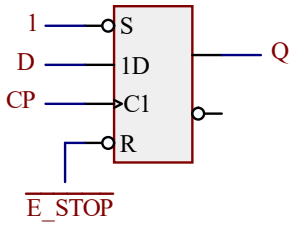
(2) 画出电路图（触发器的外接信号源可不画，只在在其引脚处标注信号名称即可）。

(3) 简述异步控制端优先级高于时钟同步端在实际工业控制中的意义。

(4) 已知该触发器的输入 CP、D以及异步复位端 $\overline{R_D}$ 的波形如下，请画出状态Q的波形。

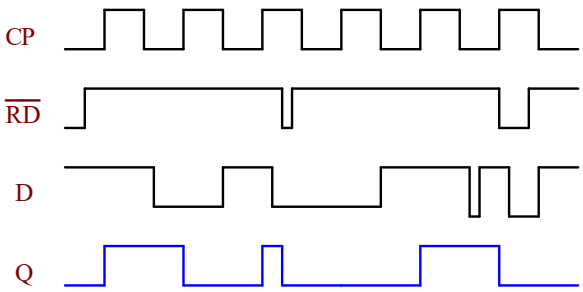
答：（1）急停信号 $\overline{\text{E_STOP}}$ 应该接在异步复位引脚 $\overline{R_D}$。未使用的异步引脚为 $\overline{S_D}$，应接高电平，保证触发器正常工作；如果给 $\overline{S_D}$ 悬空或接低电平会导致触发器被误强制置 1，干扰正常工作。

（2）电路图如下



（3）工业控制中，安全指令（如急停）是最高优先级，其意义在于：异步端不受时钟周期的束缚，可以在故障发生的瞬间做到“零延时”阻断危险动作，防止等待下一个时钟沿期间造成的安全事故。

（4）波形图绘制如下


CP
$\overline{RD}$
D
Q