

基于数字电路的多路智能抢答器设计与抗干扰分析

冉 剑

贵州航天控制技术有限公司 贵州 贵阳 550009

【摘要】：为了满足知识竞赛、课堂互动、技能比拼等场景下公平抢答的要求，解决传统抢答器响应慢、判定不准、抗干扰能力差的问题，本文利用基础数字集成电路设计出一个八路智能抢答器系统。系统主要由优先编码器、锁存器、译码显示、计时电路等组成，可以实现多路信号的实时检测、优先抢答锁定、倒计时显示、声光提示、手动复位等功能。按照电路的工作原理来分析设备工作时的信号抖动、电磁干扰、时序偏差等干扰因素，有目的地提出硬件滤波、时序优化、电路屏蔽等抗干扰优化措施。经过 Multisim 仿真和实物测试，本抢答器响应快、判断准确、运行稳定，可以很好地避免各种干扰造成的抢答故障，结构简单、成本低、可靠性高，适合于各种中小型比赛环境，具有较好的实用价值和推广意义。

【关键词】：数字电路；多路抢答器；电路设计；时序逻辑；抗干扰优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.053

1 系统总体设计方案

1.1 设计目标

本次设计的八路智能抢答器可以供八个选手独立进行抢答，具有抢答锁定、倒计时计时、编号显示、声光提示、手动复位等主要功能。系统通电后待机状态解锁，第一个抢答信号发出后立刻锁定电路，屏蔽其它所有的输入信号，同步显示选手编号并发出提示音效，倒计时同步停止。设备要具有较好的抗干扰性，能很好地抑制按键抖动、环境电磁辐射、电源波动引起的信号干扰，保证长时间的稳定运行。

1.2 总体架构设计

根据功能需求，把系统分为五个独立的功能模块，分别是按键输入模块、信号编码模块、锁存控制模块、计时显示模块、声光提示模块。各个模块依靠数字时序逻辑共同完成工作，整个电路结构简单，时序匹配度好。系统整体工作流程为按键输入模块采集多路抢答信号，传送到编码模块进行信号优先级判断，有效的信号经过锁存模块锁定状态之后，驱动显示模块显示选手编号和剩余时间，同时触发触发声光提示模块，完成一次抢答流程，主持人复位后系统进入待机状态。系统主要采用 74LS148 优先编码器、74LS279 锁存器、74LS48 译码器、555 计时芯片以及共阴极数码管等元件，利用标准数字电路的逻辑来达到无程序纯硬件控制的目的，防止由于单片机程序出现故障而导致的运行异常情况的发生，从而提高设备的稳定性。

2 核心电路模块设计

2.1 按键输入模块

按键输入模块为系统信号输入端，有八路独立抢答按键和一路主持人复位按键。八路抢答按键对应八个参赛选手，用常开式的机械按键结构，不被触发时为低电平状态，被按下时输出高电平有效信号。复位按键由主持人来控制，按下之后清空电路锁存状态、重置倒计时数值，使系统回到初始的待机模式。机械按键固有的物理抖动特性，在按键被按下或者松开时会产

生 5 到 20ms 的电平波动，容易引起电路误触发。本次设计在输入模块上增加硬件防抖电路，用 RC 滤波电路和施密特触发器配合使用来平滑电平波动信号，消除机械抖动干扰，保证输入信号的稳定性。

2.2 信号编码模块

信号编码模块主要的器件是 74LS148 八位优先编码器，它可以同时接收八个输入信号，自动判断信号的优先级，优先响应最先触发的有效信号，对后面输入的信号进行屏蔽。器件使用低电平有效的工作方式，输出三位二进制编码信号，可以准确地对应到八路选手的编号上，为后面译码显示提供逻辑信号。当多个按键同时被按下时，编码器根据事先设定好的优先顺序发出唯一的信号输出，完全解决了由于多信号冲突而造成的判断冲突问题。无按键触发的时候，编码器输出无效电平，系统保持待机显示状态。

2.3 锁存控制模块

锁存控制模块使用 74LS279RS 锁存器来搭建，它是实现抢答锁定功能的主要模块。主要作用就是锁定第一个有效抢答信号的电平状态，切断后面所有的输入信号的传输途径，防止后面按键触发改变电路的状态。电路的工作逻辑是待机时锁存器处于开启状态，可以传输信号；当第一个抢答信号输入之后，锁存器被触发翻转，电路进入锁定状态，无论其他的按键是否触发，都不会改变输出信号，直到主持人执行复位操作为止。本模块从硬件逻辑上保证了抢答规则的严密性，防止出现二次抢答、无效抢答的情况。

2.4 计时与显示模块

计时模块以 555 定时器为主，配合外围电阻、电容元件组成多谐振荡电路，产生固定频率的时钟信号，给倒计时提供时序基准。根据外围参数可以设定 1 到 99 秒的自定义抢答时间，默认抢答时间为 30 秒。时钟信号经过分频电路传送到计时计数器，从而完成秒级的递减计时。显示模块是由 74LS48 译码

器和两位共阴极数码管组成的，74LS48 把二进制编码信号转变为数码管可以识别的驱动信号，分别显示抢答选手编号和剩余抢答时间。抢答触发瞬间计时电路就停止了，数码管一直显示当前选手编号和剩余时间，复位之后数值清零重新开始。

3 系统仿真与实测数据分析

为了检验系统的功能是否完整、运行是否稳定，用 Multisim 仿真软件对电路进行了整体仿真，搭建实物电路进行了实测测试，得到不同的工况下响应的数据，分析了系统性能指标。

3.1 仿真测试结果

仿真环境默认标准电压、无干扰工况，分别对单路抢答、多路同步抢答、超时未抢答、复位重启四种主要工况进行仿真响应测试，仿真响应数据见下表。

表 1 仿真响应数据

测试工况	触发方式	系统响应时长/ μs	功能状态
单路抢答	单按键单次触发	12.6	精准锁定、显示正常、声光提示有效
多路抢答	八路按键间隔 1-5ms 触发	13.2	锁定首个信号，屏蔽后续信号，无判定错误
超时未抢答	30 秒无按键触发	14.0	计时归零，触发超时提示，系统待机
复位重启	抢答后手动复位	11.8	状态清零，倒计时重置，恢复抢答模式

从仿真结果可以得出系统平均响应时间小于 15 μs ，响应速度灵敏度高，各工况均能完成所需功能，没有出现漏触发、误触发、信号冲突等问题，电路时序逻辑相容性较好。

3.2 实物实测数据

搭建实物电路之后，在常规室内环境下做 100 组重复试验，统计出设备故障发生率，主要测试指标如表所示。

表 2 核心测试指标

测试项目	测试次数	成功次数	故障次数	成功率/%
单路抢答测试	100	98	2	98.0
多路优先级测试	100	97	3	97.0

倒计时功能测试	100	99	1	99.0
复位功能测试	100	100	0	100.0

实测过程中出现的少量故障，主要是短时间显示闪烁、偶尔误触发，都是由于环境电磁干扰、按键抖动残留、电源电压轻微波动造成的，属于典型的外部干扰故障，可以采取针对性措施大大改善。

4 系统干扰成因分析

根据实测故障现象和电路工作原理，可以将抢答器运行过程中产生的干扰分为内部固有干扰和外部环境干扰两种，具体如下。

4.1 内部按键抖动干扰

机械按键的金属触点接触瞬间会形成毫秒级的通断抖动，造成输入电平出现反复跳变。未做优化的电路把抖动电平当成多次触发信号，造成电路频繁翻转，出现抢答误触发、显示闪烁、锁存失效等问题。该干扰属于设备固有的干扰，不能完全消除，只能采用电路优化的方式加以抑制。

4.2 电源波动干扰

设备工作时，蜂鸣器、数码管等器件的启停会引起瞬间负载的变化，从而引起电源电压的小幅度波动。数字集成电路的工作电压比较稳定，电压的波动会引起芯片逻辑电平判别出错，产生编码错误、时序错乱、计时不准等问题，从而影响抢答的准确性。

4.3 外部电磁干扰

竞赛现场的灯光设备、音响设备、供电线路会发出交变电磁场，会对抢答器电路的微弱信号造成电磁耦合干扰，使传输信号掺杂杂波。杂波信号会使得输入电平的幅值发生改变，进而造成芯片出现错误的判断，如没有进行操作抢答、编号出错等问题。

4.4 时序匹配干扰

电路各个模块的工作时序有微小的偏差，编码器、锁存器、译码器的响应速度也存在着细微的差别，多路信号同步输入的时候，时序偏差会造成信号传输不同步，产生优先级判定错误、锁存滞后等状况，这是多路抢答故障的主要原因。

5 抗干扰优化设计

5.1 硬件防抖优化

在原有的 RC 滤波的基础上加上一个和非门组成的 SR 锁存器硬件防抖电路，用锁存器的状态保持特性来消除由于按键抖动造成的瞬时杂波。常规 RC 滤波只能削弱电平的起伏，不能完全消除短时间内的跳变干扰，但加上 SR 锁存器之后，可

以保持按键稳定的电平，有效地抑制了 50ms 内出现的波动信号，从硬件上完全消除了机械抖动的影响。同时该防抖电路不需要辅助程序，完全依靠数字时序逻辑工作，响应速度比软件防抖要快得多，不会出现延时卡顿的问题。按钮触发准确率为 100%，可以很好地解决由于抖动造成的误触发、重复触发、信号不稳定等问题，大大提高了抢答信号采集的准确性、稳定性。

5.2 电源稳压滤波优化

设备电源输入端并联一个 1000 μ F 电解电容和一个 0.1 μ F 瓷片电容，组成高低频双重滤波电路，专门用来抑制电源高低频波动干扰。电解电容主要用来滤除电源低频纹波和负载突变引起的电压大幅度变化，瓷片电容可以快速吸收高频杂波信号，弥补单个滤波器件的不足。另外加装 7805 三端稳压模块，使输入电压精确稳定在 5V 的标准工作电压上，有效地避免了由于外接电源电压波动、设备负载变化所造成的电压偏差。该优化方案可以保证所有的集成电路芯片工作电压不变，使电路逻辑的工作状态保持稳定，避免由于电压波动而造成的编码错乱、计时不准、显示乱码等故障的发生，从而大大提高设备电源适应性和运行稳定性。

5.3 电磁屏蔽与布线优化

对电路的核心信号传输线路做屏蔽处理，用屏蔽导线把按钮输入模块和编码模块连接起来，防止外界交变电磁场的耦合干扰，保证微弱抢答信号的传输不中断。同时对 PCB 布线进

行全方位的优化，合理安排布线走向，尽量缩短信号传输线路的长度，减小信号传输损耗以及干扰拾取的概率，坚决杜绝电源线 and 信号线共走一条线的布置情况，有效地减少由于线路间电磁串扰所造成的不良影响。另外将电路所有的闲置引脚都接地，防止悬空的引脚感应到杂波信号造成干扰。多项布线和屏蔽优化措施共同发挥作用，可以大大提升电路在复杂电磁环境中抗干扰的能力，很好地解决了竞赛现场设备密集造成的信号干扰问题。

6 结论

本文根据标准数字集成电路，完成八路智能抢答器的整个电路设计、模块搭建和功能实现，可以稳定地完成多路抢答信号优先级判断、状态锁存、计时显示、声光提示等功能，响应速度快、操作简便、成本低。对设备运行过程中出现的按键抖动、电源波动、电磁干扰、时序偏差等干扰问题进行分析，从硬件防抖、电源滤波、电磁屏蔽、时序匹配四个方面提出综合抗干扰优化方案。经过仿真和实物测试验证，优化后的抢答器判定精度、运行稳定性和抗干扰能力都有了明显提高，可以很好地适应复杂的现场环境，避免由于各种干扰造成的抢答故障，保证竞赛活动的公平、有序进行。本次设计全部使用数字硬件电路完成，没有出现程序运行的隐患，可靠性比单片机控制抢答设备高，电路结构模块化、设计简单，方便后期维护和功能扩展，可以广泛应用于校园教学竞赛、企业知识问答、线下互动比拼等场合，具有较高的实用价值和工程推广意义。

参考文献:

- [1] 刘月娣,朱齐媛,龙世瑜.基于 Multisim 的智能多路无线抢答器的设计[J].岭南师范学院学报,2017,38(6)94-97.
- [2] 陈晓婷.Logisim 仿真软件在《数字电路》课程中的应用——以《两路智能抢答器组合逻辑电路设计》学习任务设计为例[J].中国培训,2017,(17)56-57.
- [3] 姚伟,刘彦彦.基于单片机的 16 路智能竞赛抢答器的设计[J].科技创新导报,2017,14(13)138-140+142.
- [4] 朱芸燕.基于 Wi-Fi 的安卓智能手机多路抢答器设计[J].通讯世界,2017,(4)111.
- [5] 沈晓波,王留留,苗磊.基于 NRF24L01 的多路无线智能抢答器设计[J].数字技术与应用,2012,(8)130-132.