



# | 全国大学生电子设计竞赛题目交流 |

## G题:双路语音同传的无线收发系统

北京理工大学

指导老师: 吴琼之

参赛队长: 江子昊



# 目录

## CONCENTS

---

01

题目回顾

02

系统方案

03

理论分析

04

测试结果

05

电赛感想

06

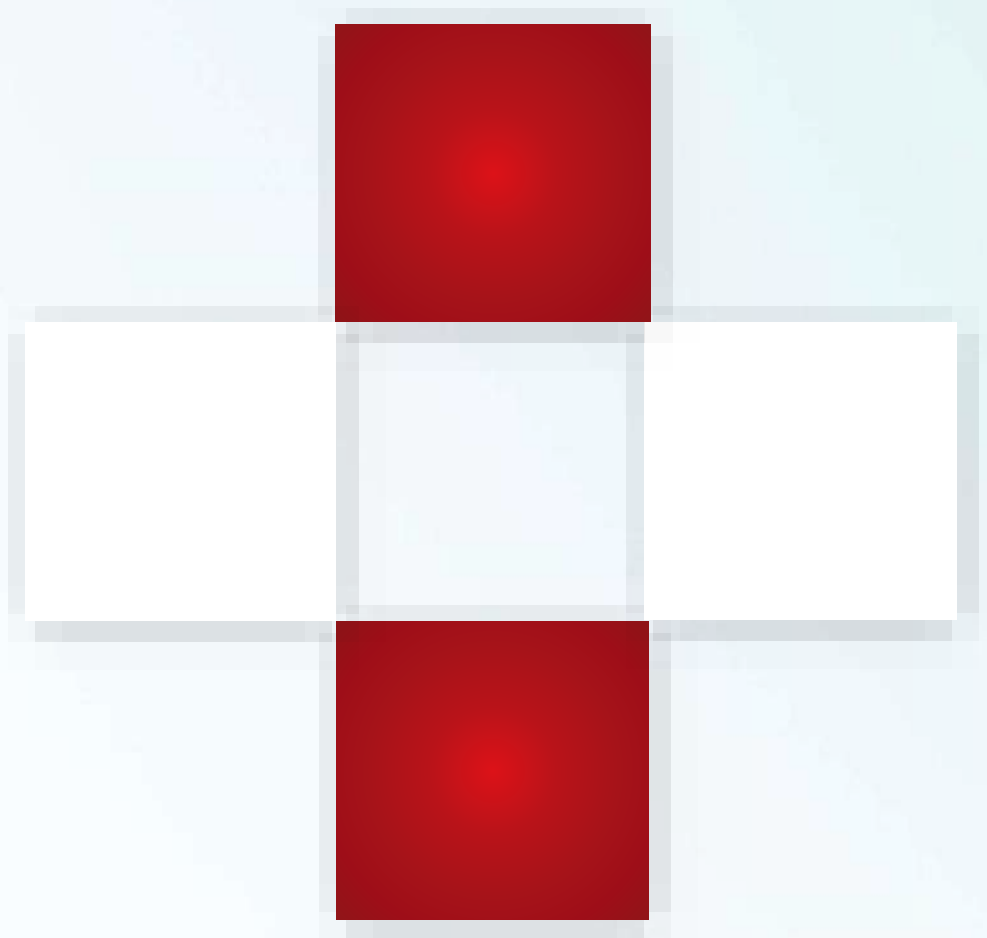
辅导感想



PART ONE

# 题目回顾

---



## 双路语音同传的无线收发系统（G 题）

## 【本科组】

## 一、任务

设计制作一个双路语音同传的无线收发系统，实现在一个信道上同时传输两路语音信号。系统的示意图如图 1 所示。

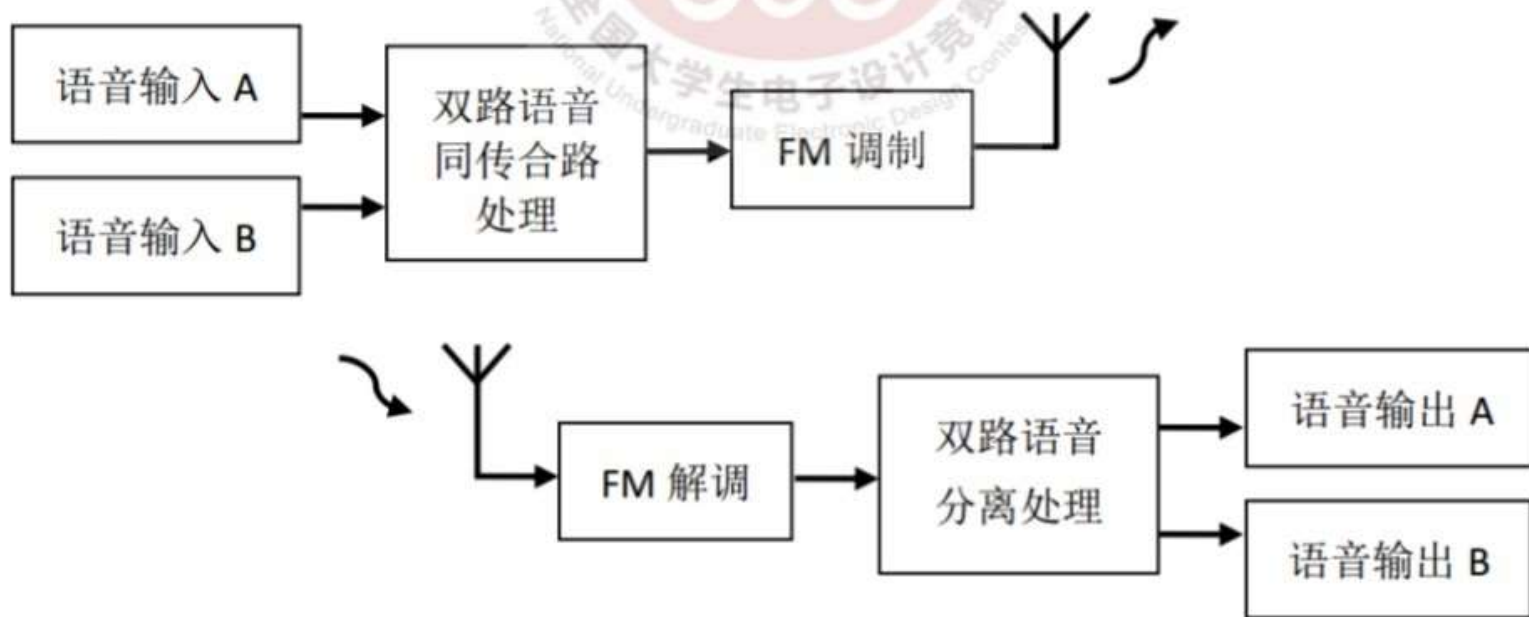


图 1 双路语音同传无线收发系统示意图



## 二、要求

### 1. 基本要求

- (1) 制作一套 FM 无线收发系统。其中，FM 信号的载波频率设定为 48.5MHz，相对误差的绝对值不大于 1%；峰值频偏不大于 25kHz；天线长度不大于 0.5m。
- (2) 通过 FM 无线收发系统任意传输一路语音信号 A 或者 B，语音信号的带宽不大于 3400Hz。要求无线通信距离不小于 2m，解调输出的语音信号波形无明显失真。
- (3) 通过 FM 无线收发系统同时传输双路语音信号 A 和 B。要求无线通信距离不小于 2m，解调输出的双路语音信号波形无明显失真。





## 2. 发挥部分

- (1) 要求设计制作的发射电路中 FM 信号的载波频率能通过一个电压信号  $v_c(t)$  进行调节, 用来模拟无线通信中载波频率漂移的情况。电压信号  $v_c(t)$  单位电压调节载波频率产生的频率漂移量, 由参赛者自行设计。
- (2) 在保证系统能正确进行双路语音无线传输的前提下, 通过  $v_c(t)$  信号调节 FM 信号的载波频率产生不小于 300 kHz 的漂移, 要求调节时间  $\tau$  不超过 5s (秒)。
- (3) 在保证系统能正确进行双路语音无线传输的前提下, 通过  $v_c(t)$  信号调节 FM 信号的载波频率, 按照图 2 所示进行漂移, 要求 FM 信号的载波频率漂移范围  $\Delta f_0$  越大越好。

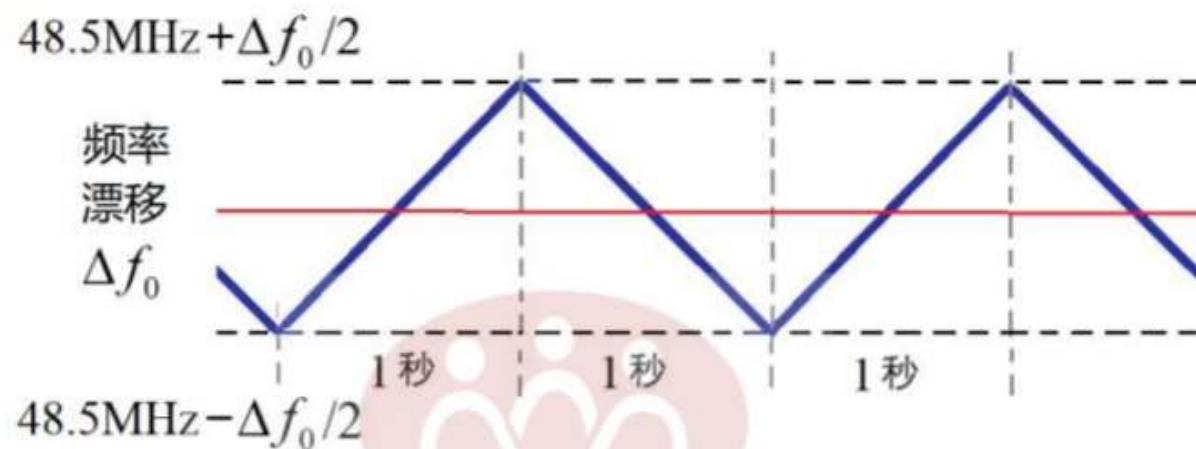


图 2：载波频率漂移的图示

(4) 其他。

### 三、说明

- (1) 系统输入的语音信号，可以由标准的信号源产生；解调的语音信号输出应留有测试接口，以便示波器观测。
- (2) 制作的 FM 发射电路应在发射天线端引出测试端口，以便测试。



## 2. 主要元器件清单

三脚架（高度 60~80cm）

可控电动云台（水平转动，水平及垂直两维转动）

四旋翼飞行器（最大轴距不超过 420mm）

电动小车（外形尺寸：长度 $\leq$ 30cm，宽度 $\leq$ 26cm）

舵机（10~20W）

摄像头（可带处理器模块）

可编程逻辑器件及其下载板

嵌入式开发系统板

TI 处理器系统板（可含板载调试下载模块）

微处理器最小系统板（可含板载调试下载模块）

DDS 芯片或模块

超五或六类网线及 RJ45 插头

无线发射接收模块

可见光三线激光光源（满足中学物理教学实验用即可）



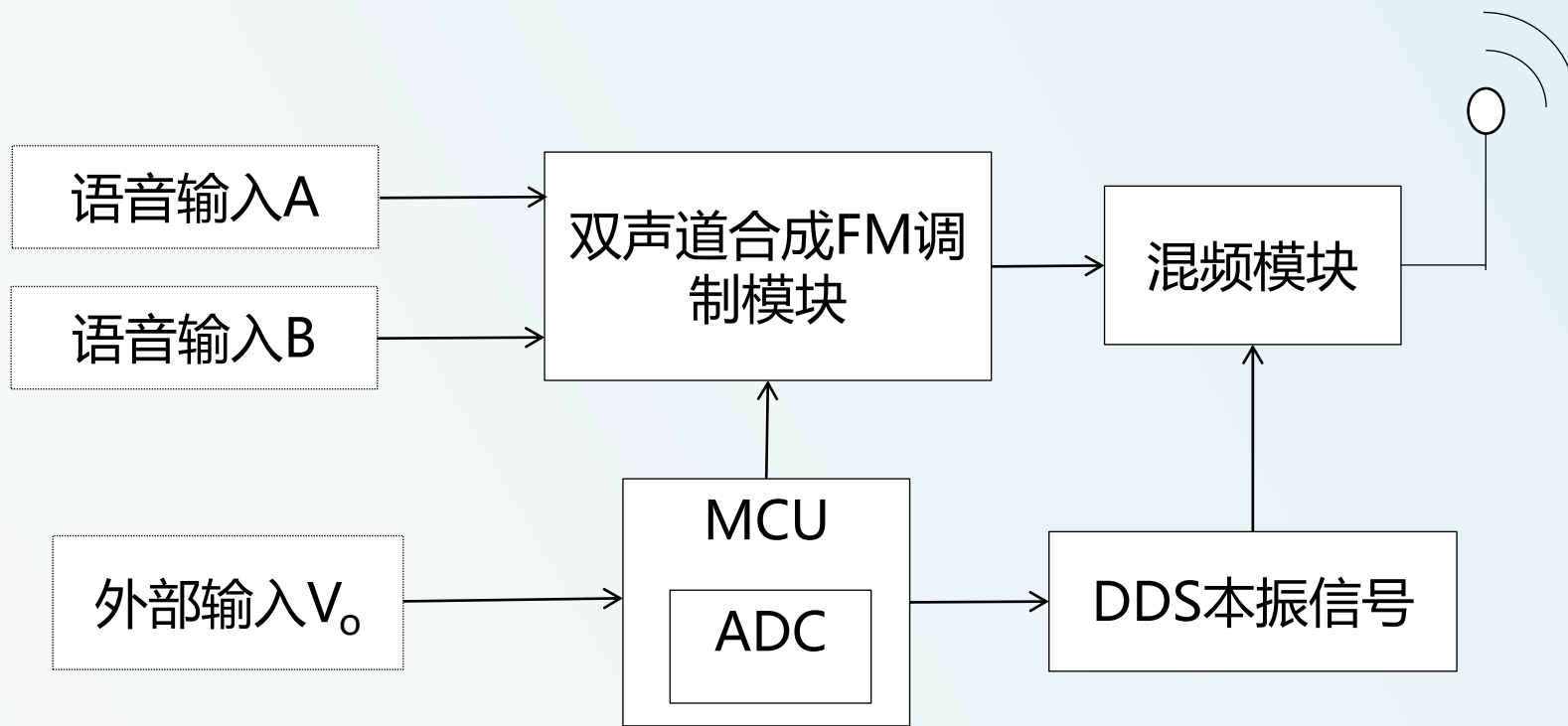


PART TWO

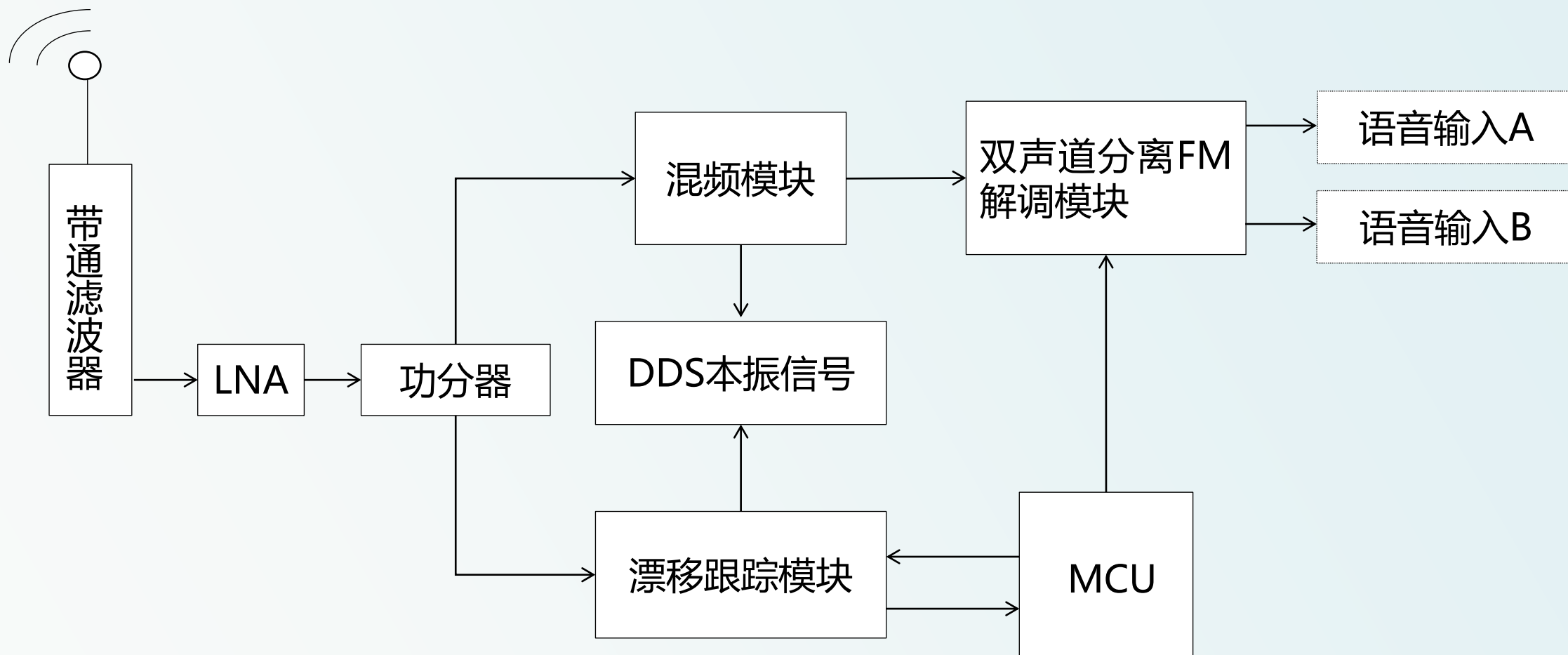
# 系统方案

---

**模拟立体声方案：使用立体声FM调制解调芯片来实现，由芯片同时完成双路语音信号合路和分离处理；为满足变频要求，需要采用上下变频方式**



发送端框图



接收端框图



## (一) 双声道合成分离与FM调制解调模块方案设计

### 1.方案一：经典锁相环电路

锁相环路（PLL）是一种反馈控制电路，利用外部输入的参考信号控制环路内部振荡信号的频率和相位。通常用VCO进行FM调制，并用PLL生成带载波的调制信号，混频之后天线发送；解调时给PLL输入相同载波频率的晶振信号，从VCO前端输出即可得到FM的解调信号。然而这种方案自己做难度较高，而且市面上有相当成熟的FM调制解调模块，因此不考虑此方案。

Si47

### 2.方案二：运用Si47xx系列芯片

Si47xx芯片有如下特点：立体声双声道发送语音信号，有Lin与Rin的管脚单独输入模拟信号，FM调制解调稳定。该芯片满足此模块的所有需求，且用MCU简单控制即可完成基本功能和题目对信号的要求。最后我们根据分装和功能要求选择了Si4713作为发射模块，Si4703作为接收模块。

需要注意的是，Si47XX是标准的FM广播发射模块，因此其载波频率在85-108MHz处，所以必须经过混频得到48.5MHz的信号。Si47XX还有一个问题在于它的输出信号不是很大，在后面过混频器之后信噪比不足，因此在该模块末端我们采用AD8367进行低噪放大。





## (二) 本振信号发生器模块方案设计

该模块的目标在于根据输入的模拟电压 $V$ 产生对应的载波信号，将传输信号进一步调制，此处采用超外差法减少镜像信号的干扰。硬件方面，产生频率可调可控的高频信号，用DDS是最适合的，我们选用AD9959；软件方面，我们需要设计对电压 $V$ 进行采样测量的ADC程序，并将控制信息传递给DDS调节本振信号，这些需要在MCU中进行编程。

## (三) 处理器选择

处理器主要负责控制其他功能模块的开启与操控，发送端的ADC采样与接收端的周期捕获，因此选用MSP430F5529可以满足所有要求。



## (四) 漂移跟踪模块方案设计

方案：先下混频再低通滤波得到频率偏移信息

如果说直接测48.5MHz的精确载波实在困难，那么先下混频大致的频率，再去测量频率偏差就会十分精确。根据题目要求，漂移的速率并不是很快且是连续变化的，因此在一小段时间内，更新的频率会在上一次测得的频率附近。由于不知道频率是增大还是减小，下混频的实际频率需比上次测得频率低一些。由于实际频率和下混频频率的差值很小，只需要低通滤波，就可以得到较为准确的载波偏差，而不会受到空中其他杂波的影响（具体的方案分析和计算见2.3）。

至于偏移频率的测量，我们提供了两种方案：

**1.方案一：频谱分析。**将一段时间的载波信息进行傅里叶变换，得到中心频率。然而这种方法的好处在于计算精确，若能还原出立体声的19K导频，则计算结果会相当精准。这种方法的问题在于计算量巨大，会导致延时严重，因此方案不可行。

**2.方案二：过零比较计算方波周期。**将载波偏移进行过零比较得到方波，在输入MCU计算方波的周期，该方法计算简便因此延时很小。同时音频信号本身存在带宽，所以需要统计多个方波的平均周期，以提高测量的精确度。这种方法实现简单，延时较小，因此采用。



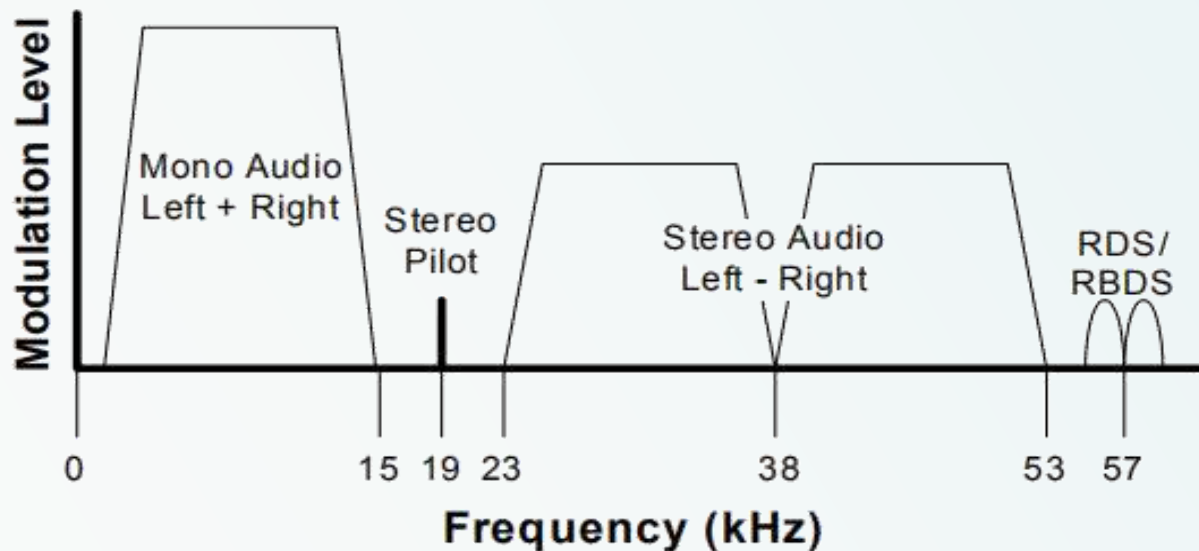
PART THREE

# 理论分析

---



## (一) 发射的双路语音合路处理分析与计算



由于我们采用Si4713作为发射模块进行了信号的合路和调制处理，因此在此简述一下Si4713的立体声传送标准与方法。立体声的传送标准如图2-1所示，其基带信号分为三个部分，0-15KHz传送左声道加右声道的信息，19KHz处有标准正弦波做导波，发送端用19KHz的二倍频将左声道减右声道的信息进行了频谱搬移至23-53KHz处，同时三倍频将RDS基带信号搬移至57KHz左右。立体声的基带信号公式如下所示：

$$m(t) = C_0[L(t) + R(t)] + C_1 \cos(2\pi 19 \text{KHz}) + C_0[L(t) - R(t)] \cos(2\pi 39 \text{KHz}) + C_2 RDS(t) \cos(2\pi 57 \text{KHz})$$





上式C为每一种信号的幅值，可以用其来控制峰值频偏，题目要求峰值频偏 $\leq 25\text{KHz}$ ，计算公式

$$A_m = 2C_0 + C_1 + C_2$$

$$\Delta f = K_{vco} A_m$$

其中 $K_{VCO}$ 是VCO调节频率的控制系数，芯片中为定值 $75\text{KHz/V}$ ，由于不需要RDS，因此设 $C_0=0.15$ ， $C_1=0.0367$ ， $C_2=0$ ，此时理论峰值频偏为 $25\text{KHz}$ ，符合要求。

Si4703只能发送 $85\text{-}108\text{MHz}$ 的载波频率，而题目要求 $48.5\text{MHz}$ ，因此需要对载波在此进行混频，混频公式如下所示。

$$\begin{aligned} S(t) &= \cos(\omega(t)t + \varphi(t)) \times \cos(\omega_c t) \\ &= \frac{1}{2} [\cos(\omega(t)t + \varphi(t) + \omega_c t) - \cos(\omega(t)t + \varphi(t) - \omega_c t)] \end{aligned}$$

其中 $\omega_c$ 为DDS的本振信号频率。由公式可知，混频之后实际上会出现两个中心频率的信号，而没有用的镜像信号，会影响接收机性能，因此需要用滤波器滤除。为减小干扰信号影响，采用超外差方式，取本振频率 $\omega_c = 150\text{MHz}$ ，Si4713输出FM频率为 $101.5\text{MHz}$ ，混频后得到差频 $48.5\text{MHz}$ 和镜像频率为 $251.5\text{MHz}$ ，再设计一个 $48.5\text{MHz}$ 无源带通滤波器滤波。



## (二) 接收的双路语音分离处理分析与计算

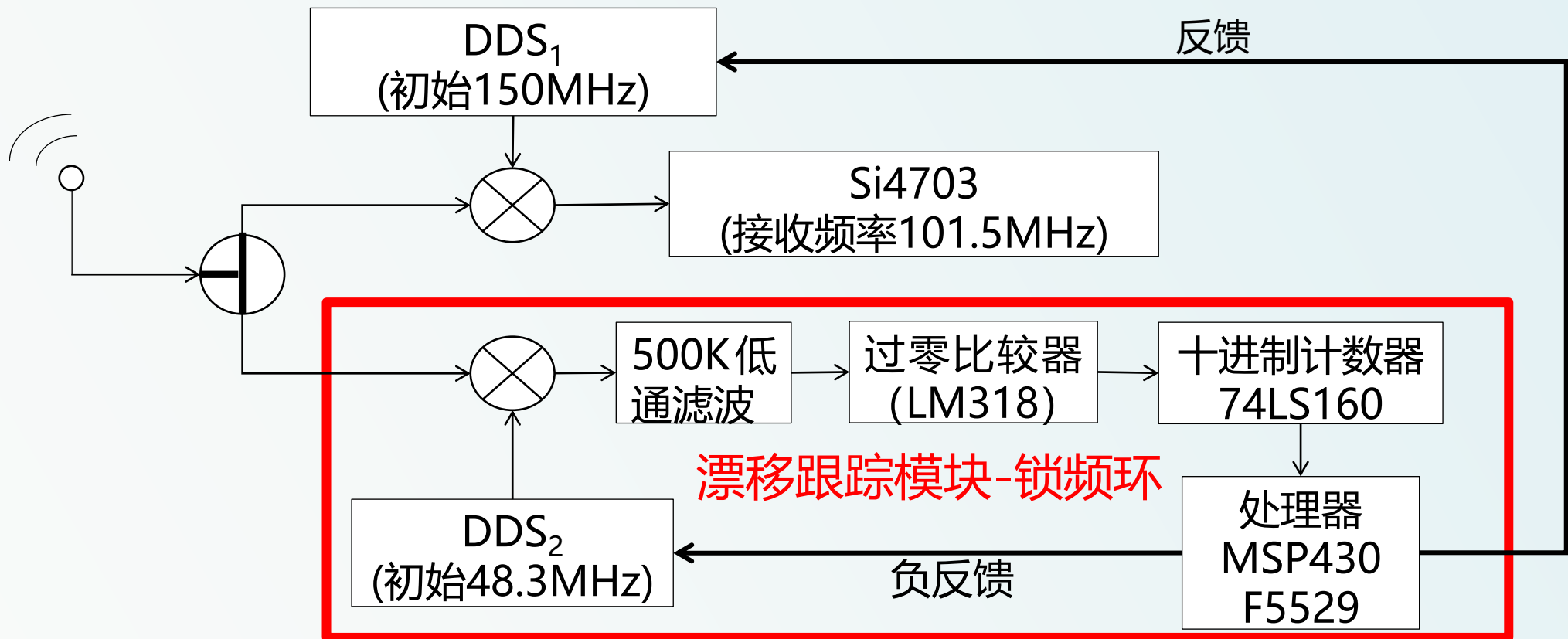
由于我们采用Si4703作为接收模块进行了信号的合路和调制处理，因此在此简述一下Si4703的解调与分离方法。Si4703采用的是低-中频接收机体系结构，相较于超外差接收机体系结构，低中频不需要高Q值的镜像抑制滤波器，所以易于集成，相较于零-中频体系结构，低中频对寄生的DC补偿，本振泄露是不敏感的。前级的混频器将RF信号降至中低频，AD之后先对幅度相位不匹配的IQ分量进行数字矫正，在用综合混频器起到主动镜像干扰抑制的作用，这两步的公式如下所示。

$$I_0 = I_i \cos(\omega_{low}t) - (\alpha I_i + \beta Q_i) \sin(\omega_{low}t)$$

$$Q_0 = -I_i \sin(\omega_{low}t) + (\alpha I_i + \beta Q_i) \cos(\omega_{low}t)$$

### (三) 无线收发系统频漂移处理分析与计算

根据总体方案的分析可知，漂移跟踪模块包括：下混频、低通滤波、过零比较、计数器几个子模块，该部分总体的框图如下图所示：





第一个混频器的目标在于将信号载波调整至Si4703可以接收的范围，第二个混频器的混频比天线发射频率低200KHz，通过500KHz的低通滤波器可以接收到(-200K,300K)的漂移偏移量，后用LM318运算放大器构成过零比较电路，将正弦信号转成方波，74LS160的十进制计数器一是为了平均频率，二是为了减少处理器进入中断的次数。

漂移信号在通过了十进制计数器之后进入MCU的定时器捕获以计算频率。考虑到平均频率的精确性和跟随速度的权衡，我们在处理器内每4次进行一次计数，相当于外部信号的40周期平均，如下所示。

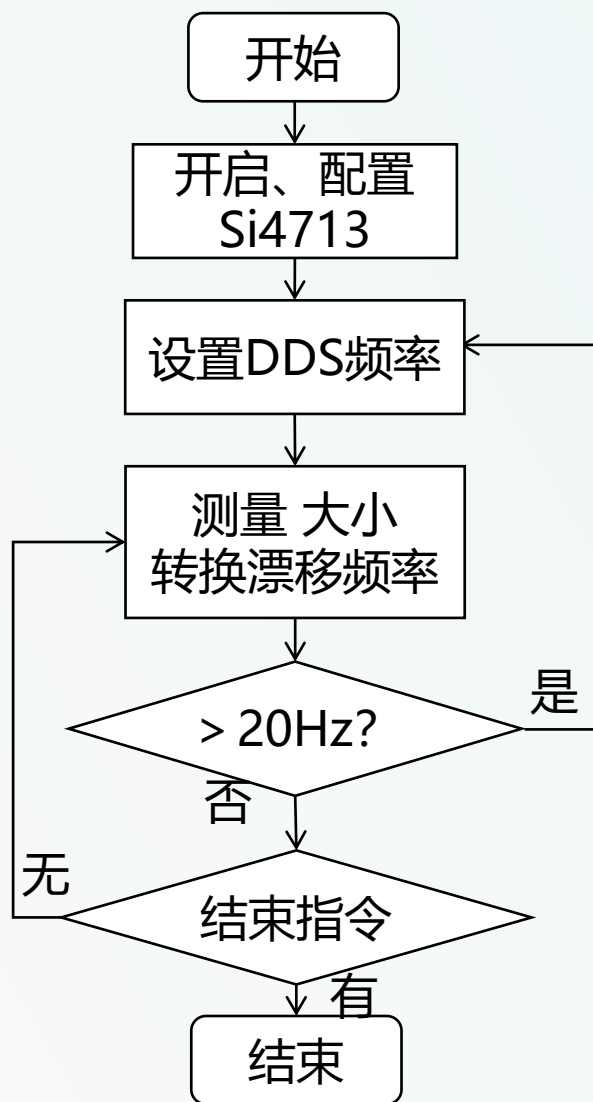
$$f_{offset} = \frac{40 \times 12 \times 10^6}{N_4} - 200KHz$$

$$f_{now} = -0.2 f_{offset} + f_{last}$$

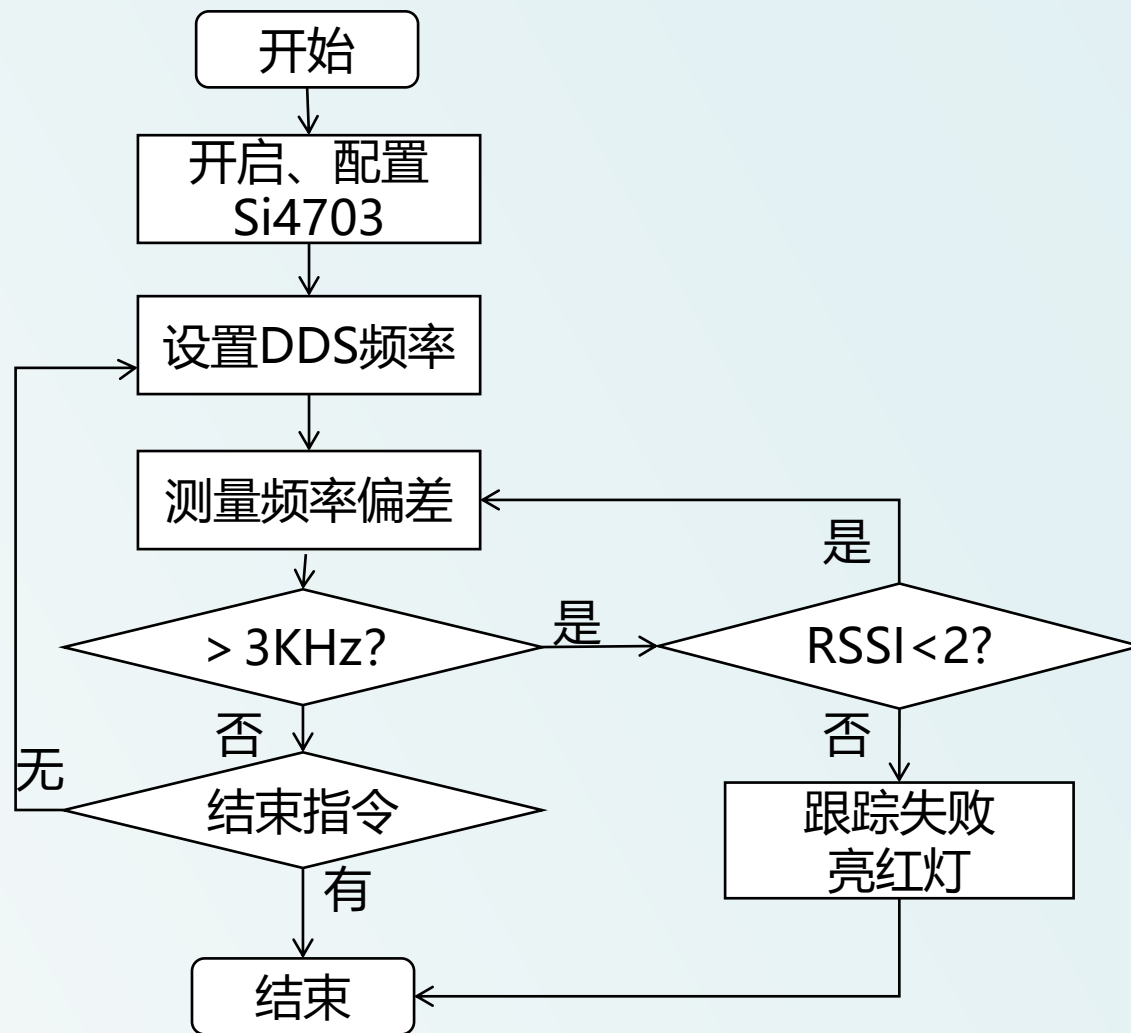
从系统的角度来看，该反馈满足如下差分系统方程

$$y(k) = y(k-1) - 0.2(x(k) - 48.5MHz)$$





发送端程序流程图



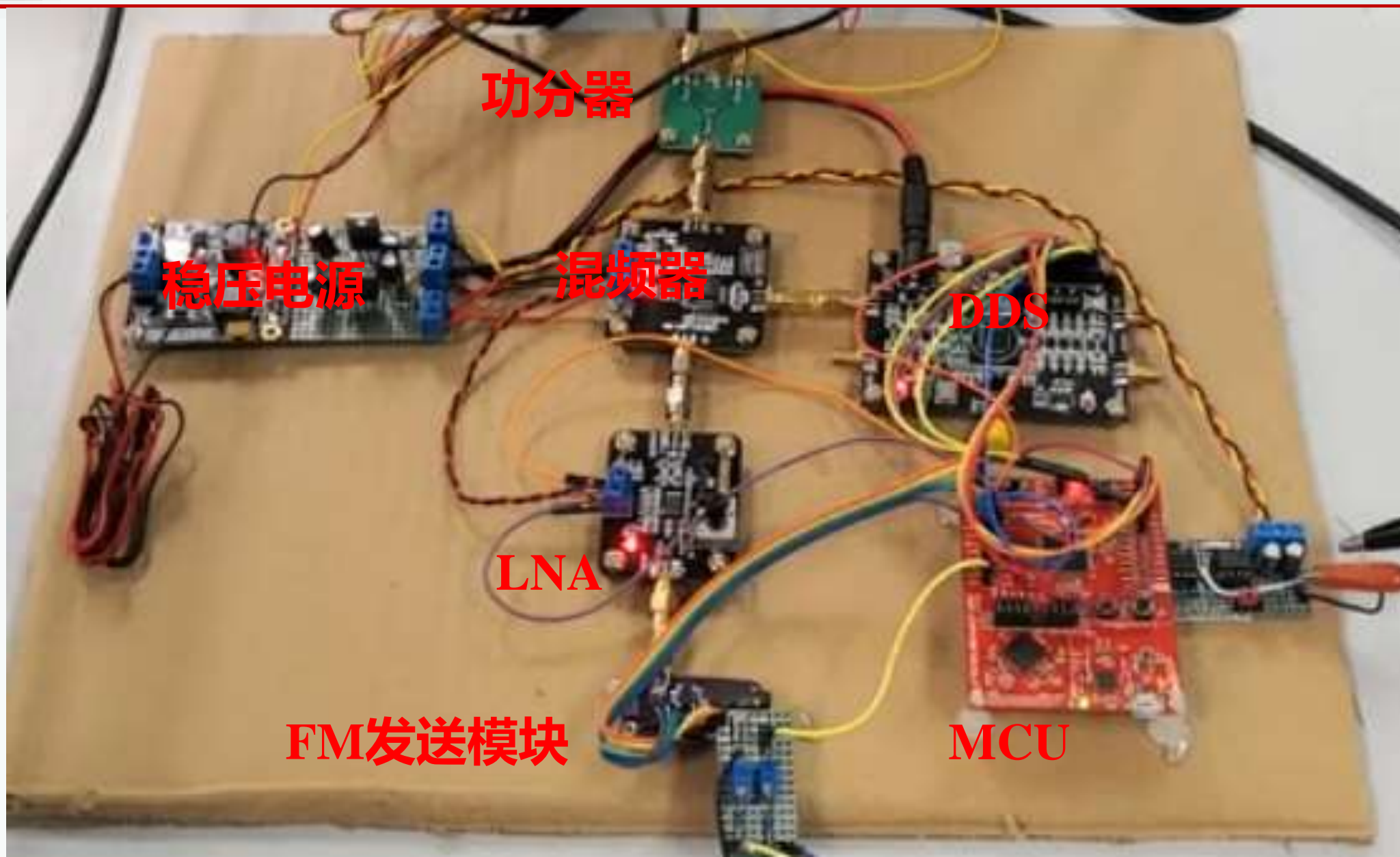
接收端程序流程图



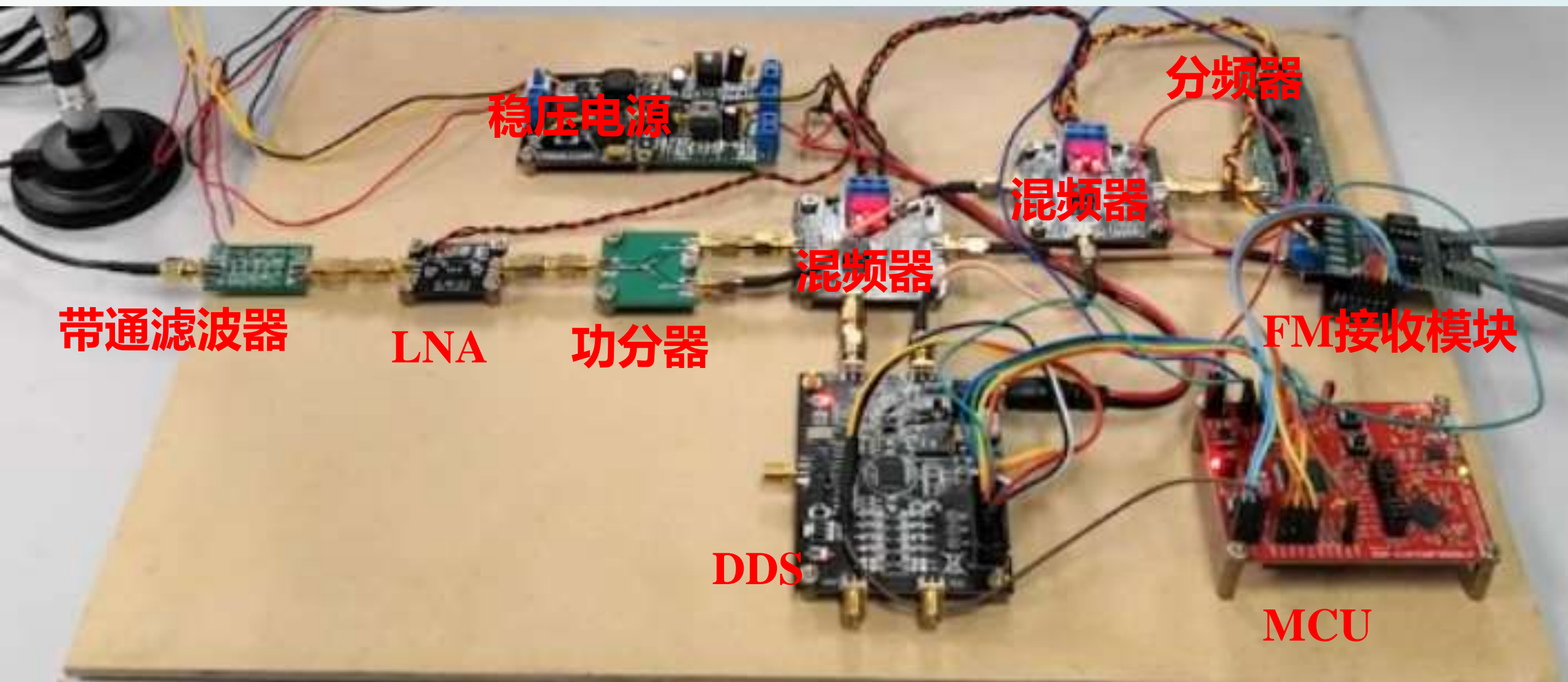
## PART FOUR

# 测试方案与结果

---









## 1.基本要求的测量结果

(1) 天线长度: 45cm

发射间距: 4.2m

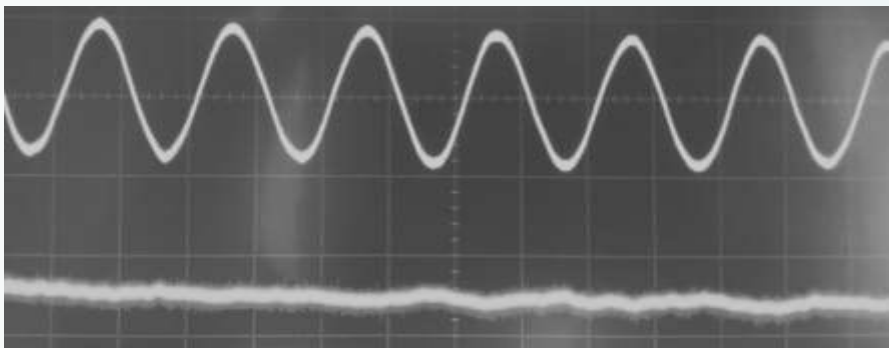
载波峰值频率: 48.5025MHz

载波频率相对误差绝对值:  $5 \times 10^{-5}$

带宽: 100.5KHz

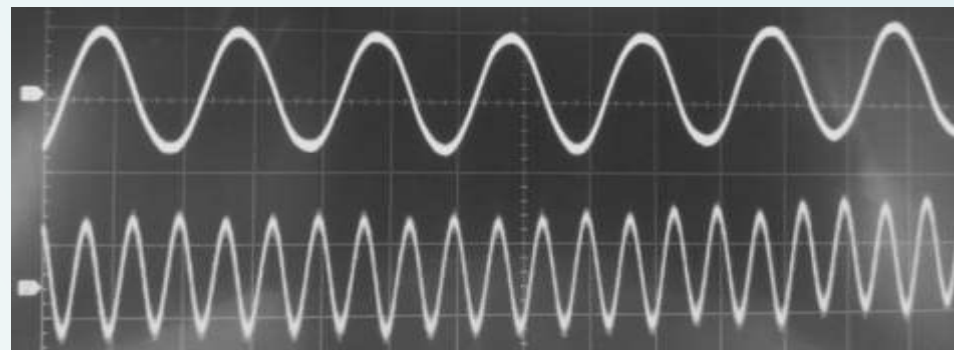
峰值频偏: 8.85KHz

(2) 单路信号为1KHz正弦波, 峰峰为1V  
的接收端图像如下图所示



输出端接收正弦波频率1KHz, 幅  
值940mV, 无明显失真

(3) 双路信号为1KHz和3KHz正弦波, 峰  
峰值均为1V的接收端图像如下图所示



输出端接收左端口正弦波频率为1KHz, 幅  
值为1080mV, 右端口正弦波频率为3KHz,  
幅值为1100mV, 无明显失真



## 2.发挥部分的测量结果

$V_c(t)$ 单位电压调节漂移量: 294.1KHz/V 最大调节区间: [-500KHz,500KHz]

在调节时间为0.5s, 漂移总频率为372KHz的情况下进行漂移, 且双路信号无明显失真现象

在漂移频偏 $f = 2.4\text{MHz}$  时, 可以进行漂移跟踪, 且双路信号无明显失真现象, 最终的可以跟踪的最大漂移速率是2.4MHz/s

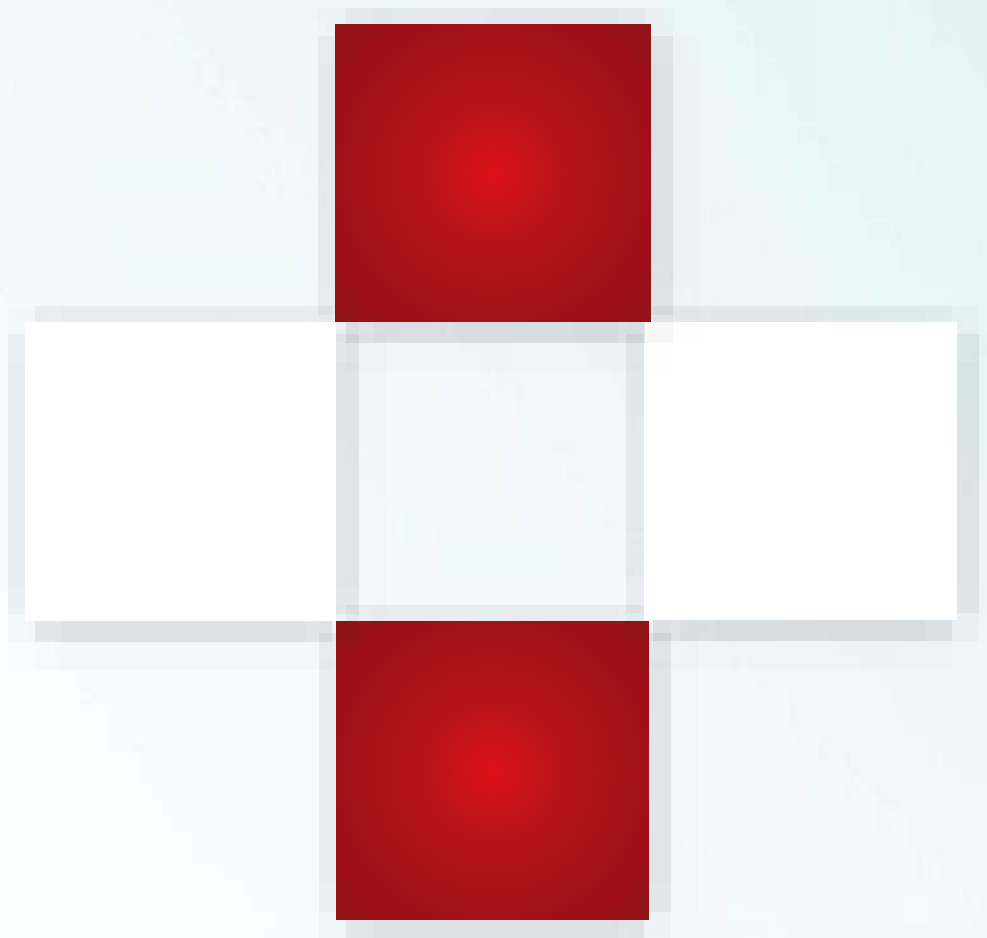




PART FIVE

# 电赛感想

---





## 提前规划

提前规划好学习路径，珍惜校赛经历，学会赛后复盘。

## 团队磨合

分工明确，一人负责。

## 摆正心态

把电赛题目想象成工程难题，以工程师心态参赛、对项目负责。

A decorative graphic on the left side of the slide consists of a 3x3 grid of squares. The top and bottom rows each have a solid red square in the center, with the other squares in the grid being white. The middle row consists of three white squares. All squares have a subtle gray drop shadow.

PART SIX

# 电赛辅导经验感想

---





全校层面的北京理工大学大学生创新创业计划，创造双创气氛。

各学院科协等组织，培养潜在队伍。

每年组织校级电子设计竞赛、参加北京市竞赛，选拔优秀队伍。

全国大学生电子设计竞赛，设置“课赛结合”式学分课程，解决赛、课矛盾，普及与拔尖相结合。

竞赛期间的强力条件支撑。



## 做好队伍选拔工作

参赛学生必须具备通信电路、信号与系统方面较为系统的基础理论知识。学生基本素质很重要。强强联合的队伍构成也很重要。以校赛为选拔依据。

## 抓牢前期基础培训

暑假前即以选修课形式开展基础培训，包括单片机、运放、传感器、各种单元电路、工艺和焊接、PCB制板等等，以综合课题的形式全面培训到位。效果明显。

## 中期及时分线

依据往届竞赛命题，结合自身特点，按照信号处理、仪器仪表、无线传输、自动控制、小车/飞机等对培训队伍分线，不一窝蜂，具体教师集中精力负责具体方向。



0

6

## 具体的竞赛培训经验总结

教师做好方向指导和反馈通道

精心设计日常练习任务，逐步加码，最终覆盖所有相关技术方向。教师不重在解决问题，而是向学生及时提供意见和反馈。

发挥学生主观积极性

自主管理、自主选择。甚至日常物料的采买，也提供足够的自由度。



对无线方向的趋势做了充分估计

无线传输电路，早已协议化、规范化、集成化。换位思考，作为竞赛题目，不能遵循具体某一种无线传输指标或者功能，必定会在多方面寻求与现有技术的差异性。当学生满足于“用通某个模块”时，教师需及时提出更高要求。

培训期间积累了完备知识体系和物资储备

从基础培训开始，做无线的同学们积累了射频放大器、混频器、检波器、功分器、合成器、DDS、PLL、各种无线传输IC和模块等等，并具备了灵活使用的能力。

与软件无线电方案相比，基于模块集成的硬件方案体现了优势

软件无线电依赖于FPGA或嵌入式编程，门槛较高。当通信模式简单时，可以找到诸多开源例程或IP组合，而一旦传输要求有特殊性，编码难度马上提升。相比之下，纯硬件电路上手快、见效快，在G题上表现良好。



# 感谢聆听

## THANK YOU FOR LISTENING

北京理工大学

指导老师：吴琼之

参赛队长：江子昊