

# 无线通信实验在线开放课程

主讲人：吴光 博士

广东省教学质量工程建设项目





# 第三章

## RTL-SDR的硬件结构

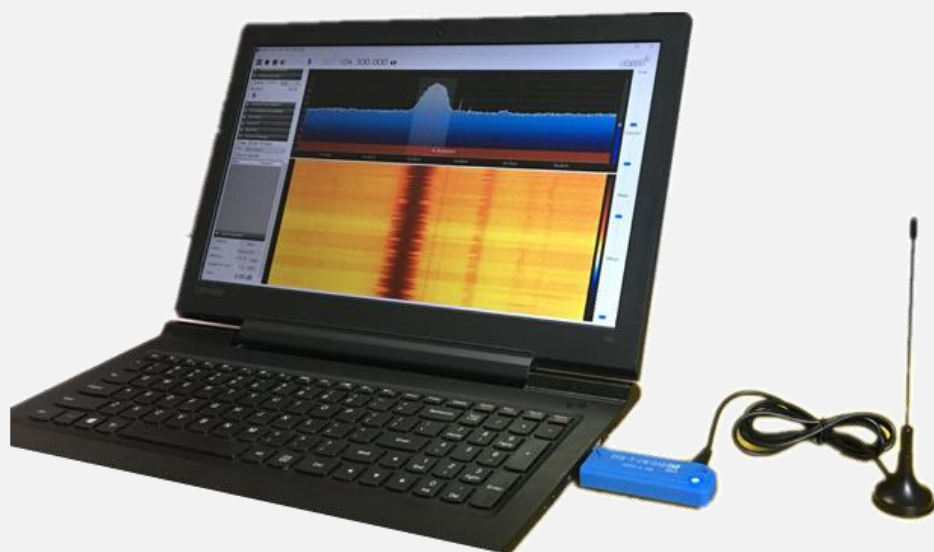
## 本章内容:

- RTL-SDR简介
- RTL-SDR的LabVIEW接口
- FM信号的复数表示
- FM电台搜索程序设计
- FM信号的解调和播放
- RTL-SDR的硬件结构





## 3.1 RTL-SDR简介



FM 频段: 87.5~108MHz

航空频段: 108~137MHz

近海事 VHF: 156~174 MHz

ISM 频段: 433MHz

应急频段: 450~470MHz

UHF 电视频段:  
- - - - -

4G-LTE 频段: 800MHz

物联网频段: 863~870MHz

GPS 频段: 1227MHz

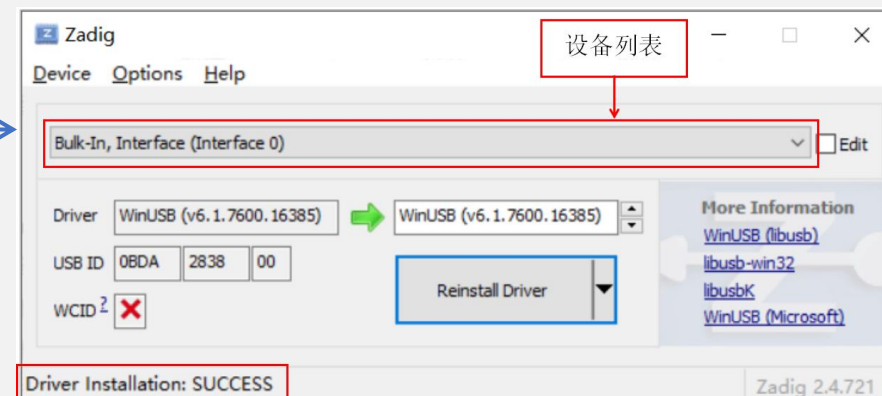
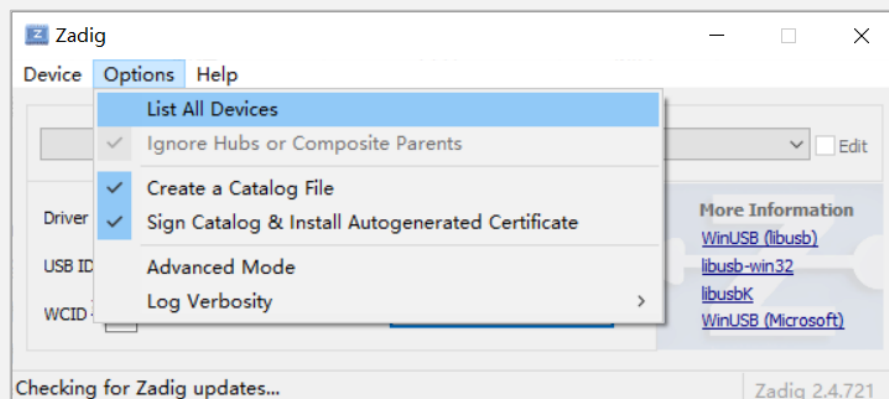


RTL-SDR通过USB接口将原始I/Q信号传输到PC端，构成低成本软件无线电（Soft-Defined Radio, SDR）平台。



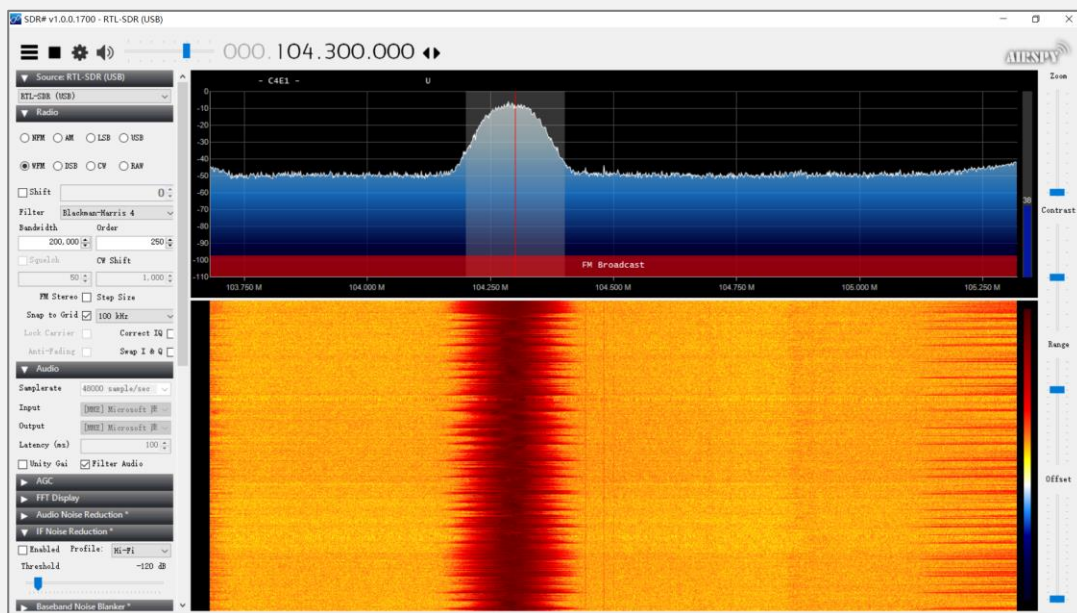
## 3.1.2 RTL-SDR驱动安装

### RTL-SDR驱动程序安装——Zadig软件

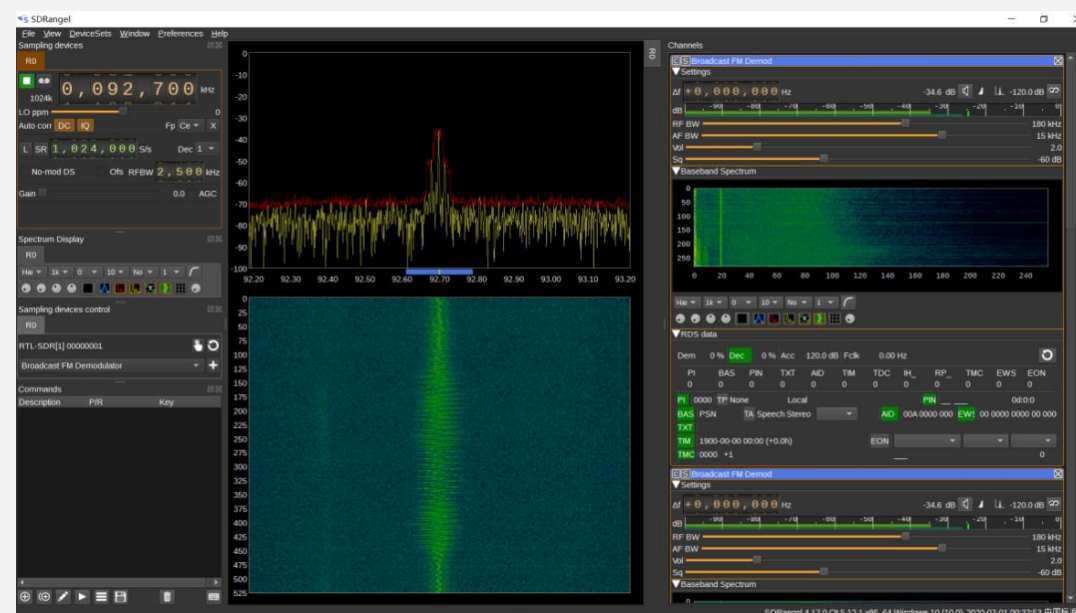




## 3.1.2 RTL-SDR驱动安装



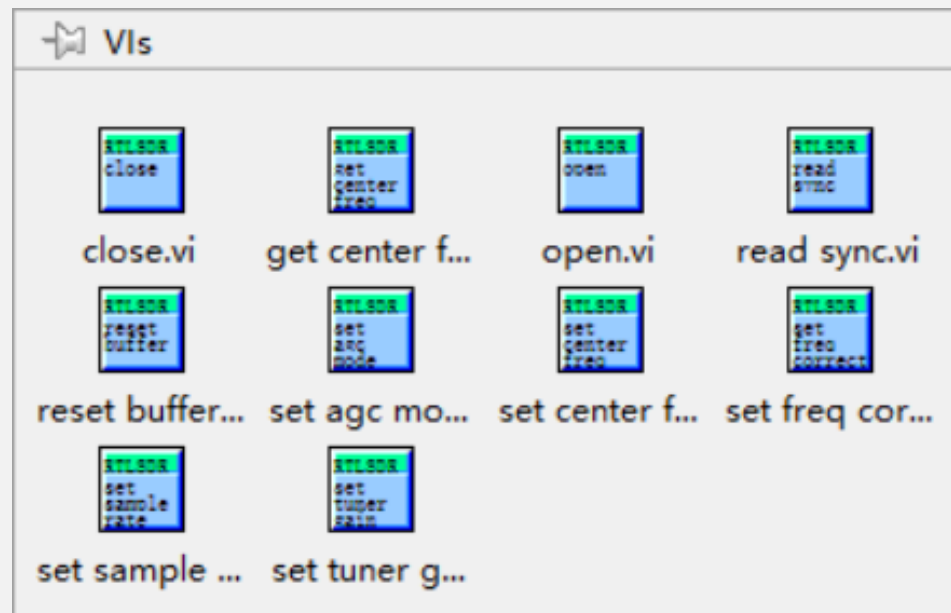
SDRSharp软件界面



SDRangel软件界面



## 3.2 RTL-SDR的LabVIEW接口



RTL-SDR接口函数





### 3.2 RTL-SDR的LabVIEW接口

接口函数	作用
open 函数	查找并开启设备，返回设备句柄。通过设备句柄，就可以对RTL-SDR的参数进行配置
set sample rate函数	设置设备的I/Q数据的采样率，一般情况下，最大的采样率不应超过2.4MHz，否则有数据丢失
set center freq函数	设置中心频率，有效范围为25MHz-1.75GHz
set freq correction函数	用于RTL-SDR频偏校正，RTL-SDR所产生的的频偏接近，在一些频率稳定度比较高的应用中，使用前需要预先进行频偏校正
set tuner gain函数	设置调谐器的增益，有效值为{ 0, 9, 14, 27, 37, 77, 87, 125, 144, 157, 166, 197, 207, 229, 254, 280, 297, 328, 338, 364, 372, 386, 402, 421, 434, 439, 445, 480, 496 }，该值表示10倍dB，例如115表示11.5 dB





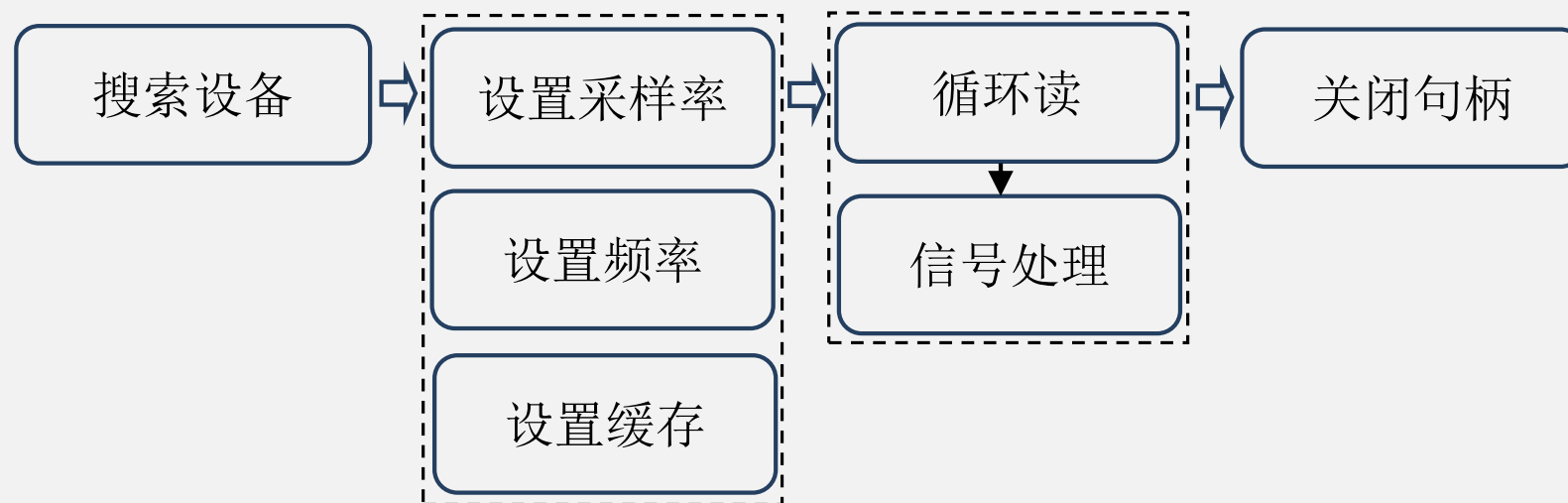
### 3.2 RTL-SDR的LabVIEW接口

接口函数	作用
set agc mode函数	开启或者关闭调谐器内部自动增益控制（Automatic Gain Control, AGC）电路，AGC能够将接收信号强度调整到一个合理的ADC电平
reset buffer函数	重新设置RTL2832U内部接收数据的缓存
read sync函数	RTL2832U支持同步或者异步通信方式，该函数将数据通信方式设置为同步读取
close函数	释放句柄资源，供下次调用时分配



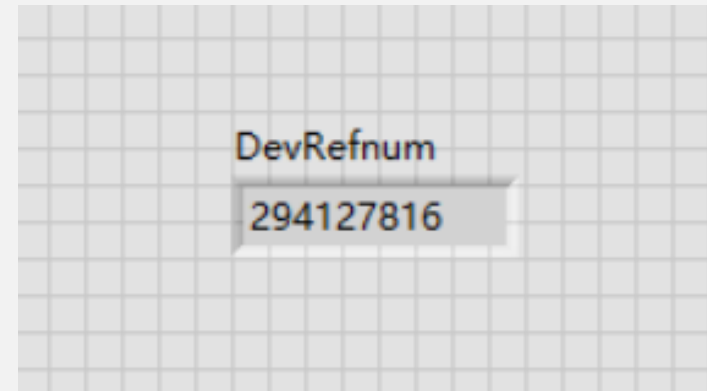
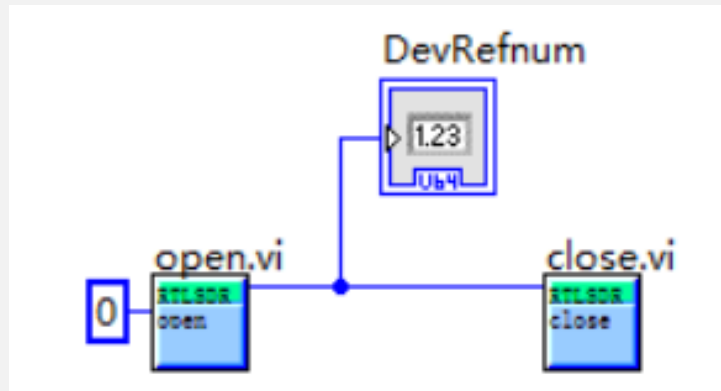
## 3.2 RTL-SDR的LabVIEW接口

RTL-SDR数据采集流程：





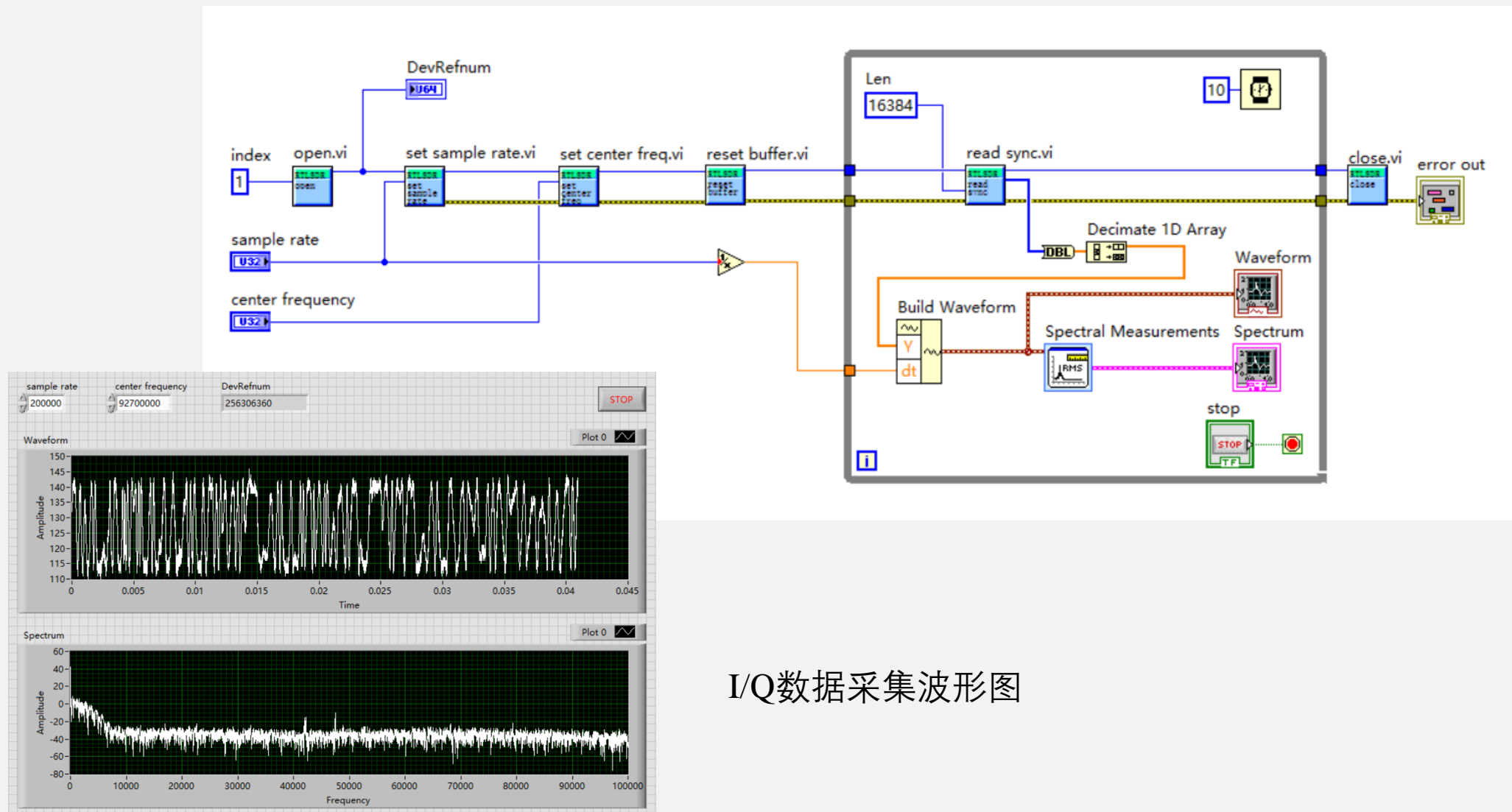
## 3.2 RTL-SDR的LabVIEW接口



设备句柄

LabVIEW中设计数据采集程序验证接口函数能否正常使用。

## 3.2 RTL-SDR的LabVIEW接口



I/Q数据采集波形图



### 3.3 FM信号的复数表示

I/Q信号的具体意义?



### 3.3 FM信号的复数表示

在通信系统中，实带通信号 $s(t)$ 可以表示为，

$$s(t) = a(t)\cos[2\pi f_c t + \varphi] \quad (3-1)$$

其中， $a(t)$ 表示幅度， $f_c$ 表示载波频率， $\varphi$ 表示相位，将式 (3-1) 展开得，

$$s(t) = a(t)\cos(\varphi)\cos(2\pi f_c t) - a(t)\sin(\varphi)\sin(2\pi f_c t) \quad (3-2)$$

令  $s_I(t) = a(t)\cos(\varphi)$ ，表示同向分量。  $s_Q(t) = a(t)\sin(\varphi)$ 表示正交分量，则式 (3-2) 进一步化简为，

$$s(t) = s_I(t)\cos(2\pi f_c t) - s_Q(t)\sin(2\pi f_c t) \quad (3-3)$$

将式 (3-3) 进一步写成复数形式，

$$s(t) = \Re\{[s_I(t) + js_Q(t)]e^{2\pi f_c t}\} \quad (3-4)$$

式 (3-4) 中的复数  $[s_I(t) + js_Q(t)]$ 表达了基带信号的信息，称为复基带信号，表示为

$$s_L(t) = s_I(t) + js_Q(t) \quad (3-5)$$



### 3.3 FM信号的复数表示

设  $m(nT_s)$  表示需要传输的数字基带信号，经过FM调制后，表示成复基带信号  $s_L(nT_s)$ ，则

$$s_L(nT_s) = s_I(nT_s) + js_Q(nT_s) \quad (3-6)$$

其中，根据FM的调制原理，I路信号为：

$$s_I(nT_s) = A_c \cos(\varphi(nT_s)) = A_c \cos(2\pi k_f \int m(nT_s) dt) \quad (3-7)$$

Q路信号为：

$$s_Q(nT_s) = A_c \sin(\varphi(nT_s)) = A_c \sin(2\pi k_f \int m(nT_s) dt) \quad (3-8)$$

其中， $T_s$ 表示I/Q采样间隔， $k_f$ 表示调制灵敏度， $A_c$ 表示载波幅度。





## 3.4 FM电台搜索程序设计

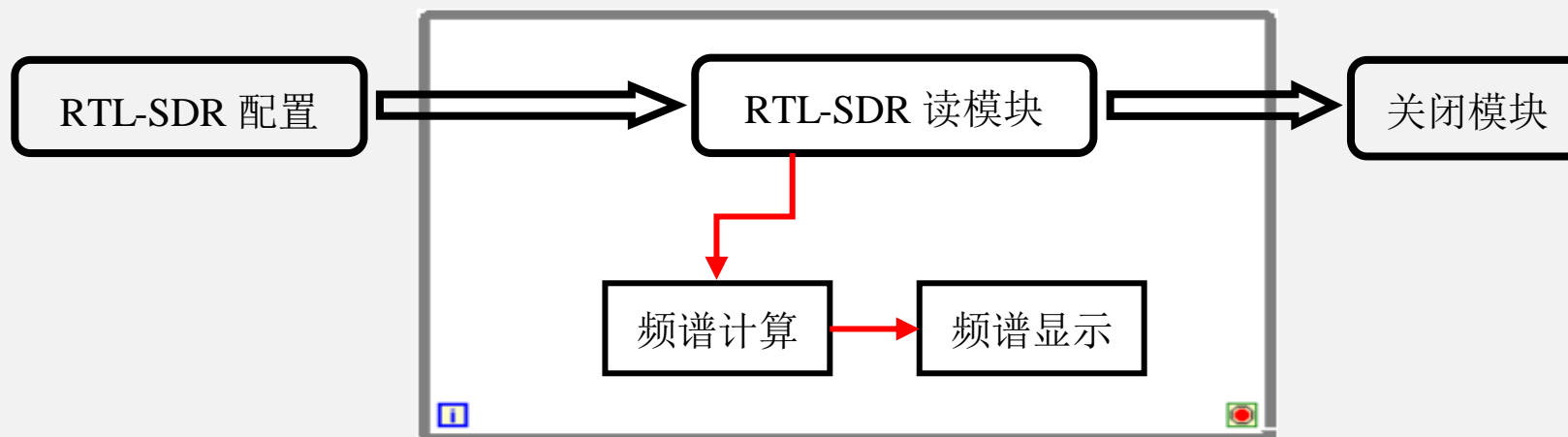
- RTL-SDR参数配置：

RTL-SDR设备可以配置的主要参数有五个：设备索引、I/Q采样率、中心频率、调谐器增益以及采样缓存。

设备索引	索引连接计算机的RTL-SDR设备
I/Q采样率	I/Q采样速率即每秒钟获得采样值的数量
中心频率	FM广播电台的频率
调谐器增益	调谐器增益指R820T增益，即在模数转换之前信号的增益
采样缓存	先入先出的队列，寄存的对象是I/Q采样值，计算机通过读函数可以读取采样缓存中的数据



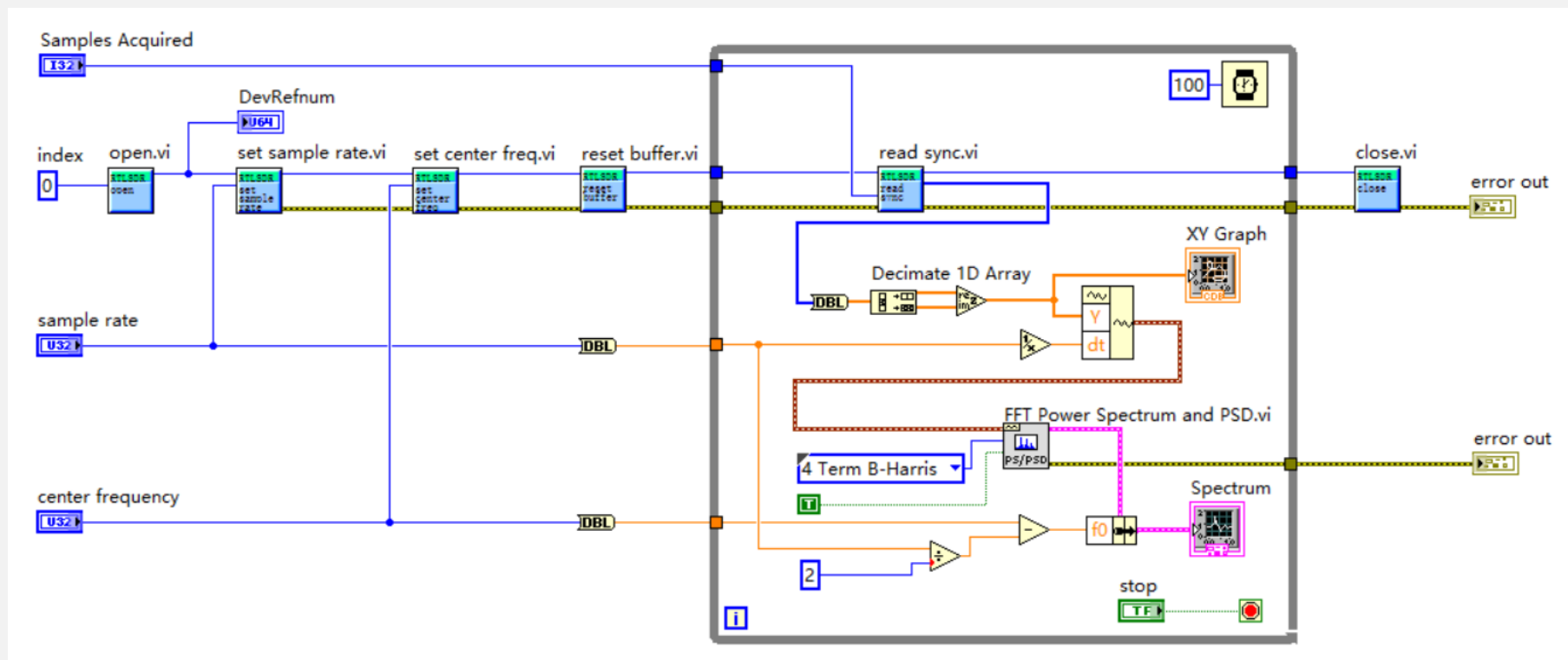
## 3.4 FM电台搜索程序设计



FM接收机设计模型

## 3.4 FM电台搜索程序设计

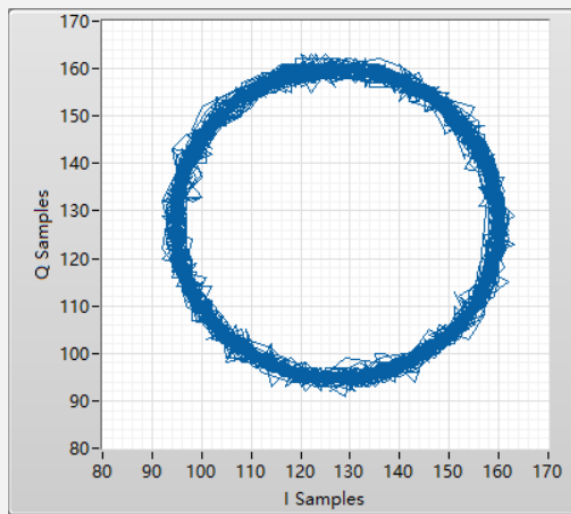
- 接收机整体设计：



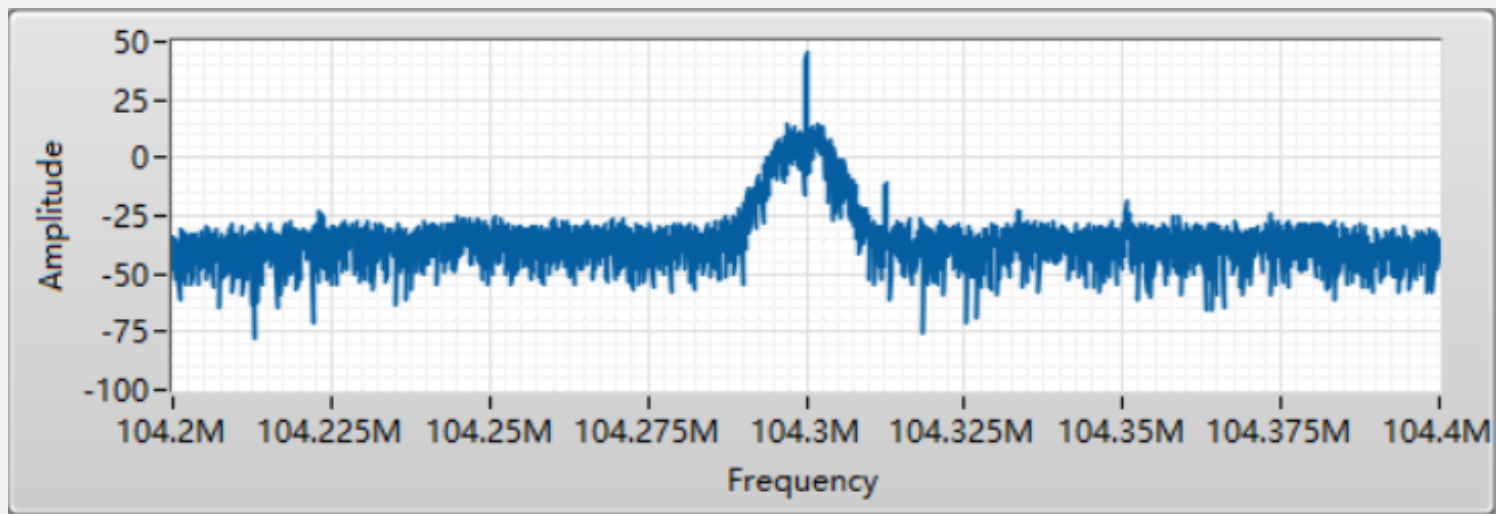


## 3.4 FM电台搜索程序设计

- 星座图、频谱：



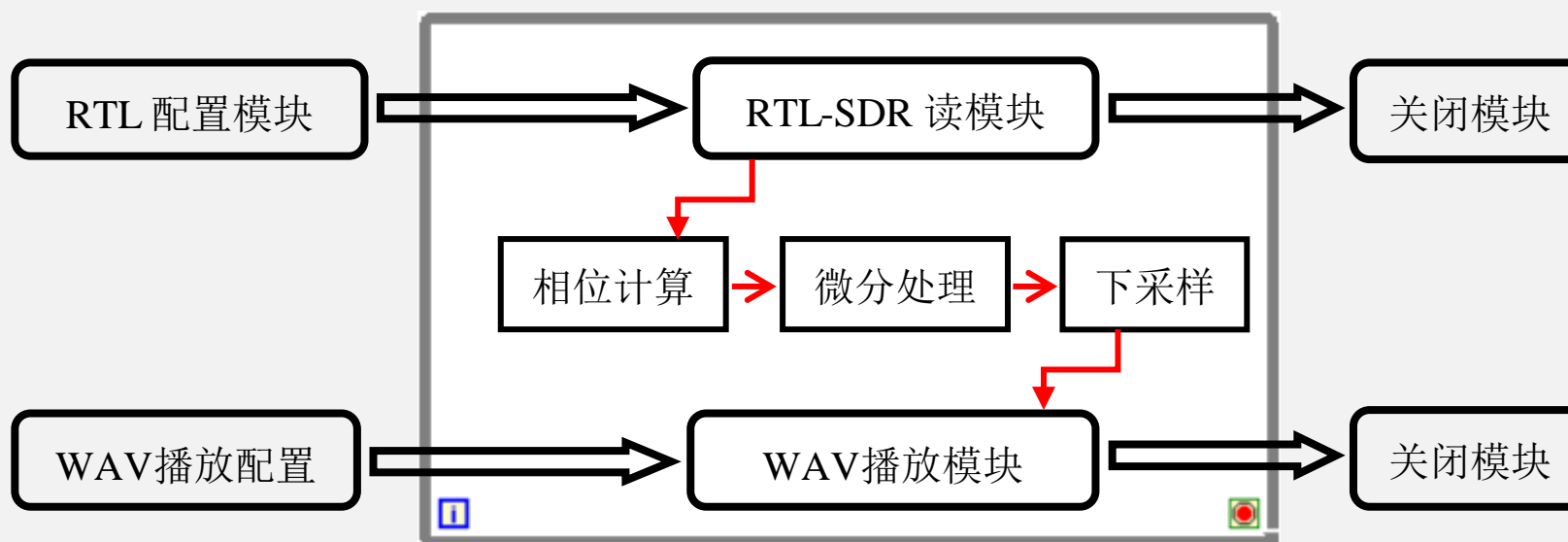
FM星座图



FM频谱



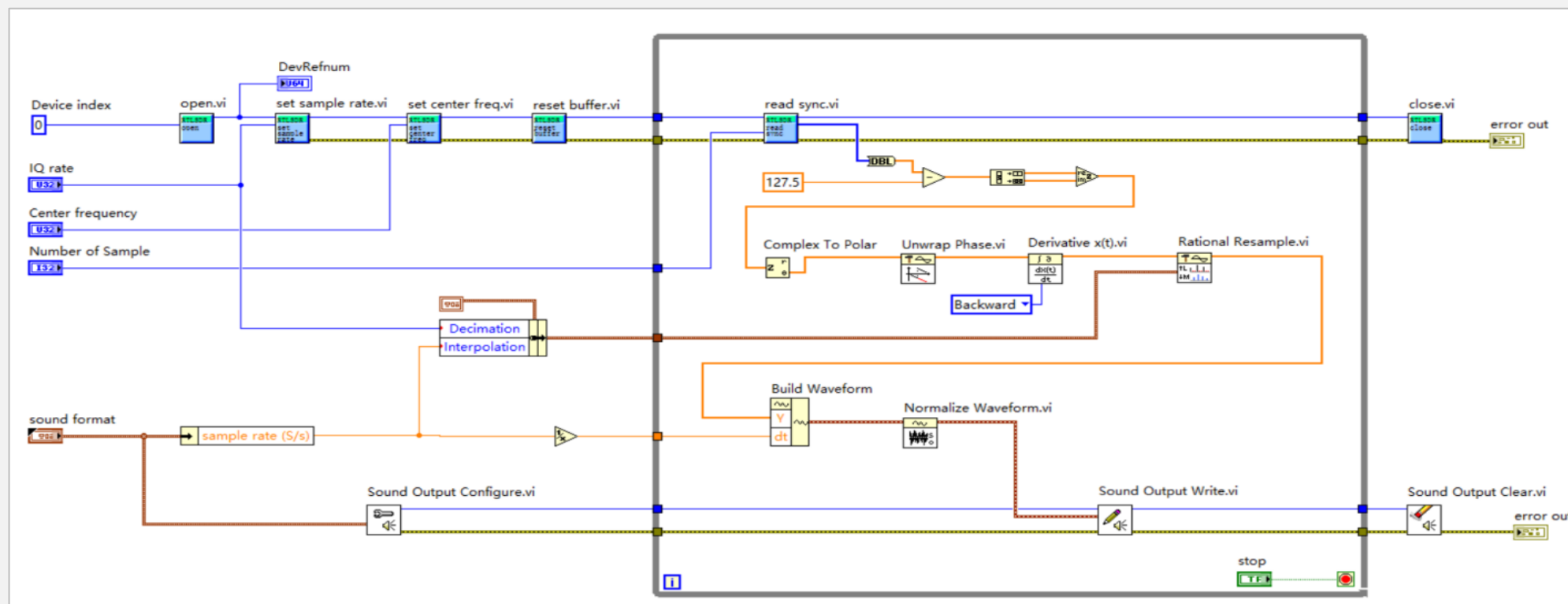
### 3.5 FM信号的解调和播放



FM接收机模型

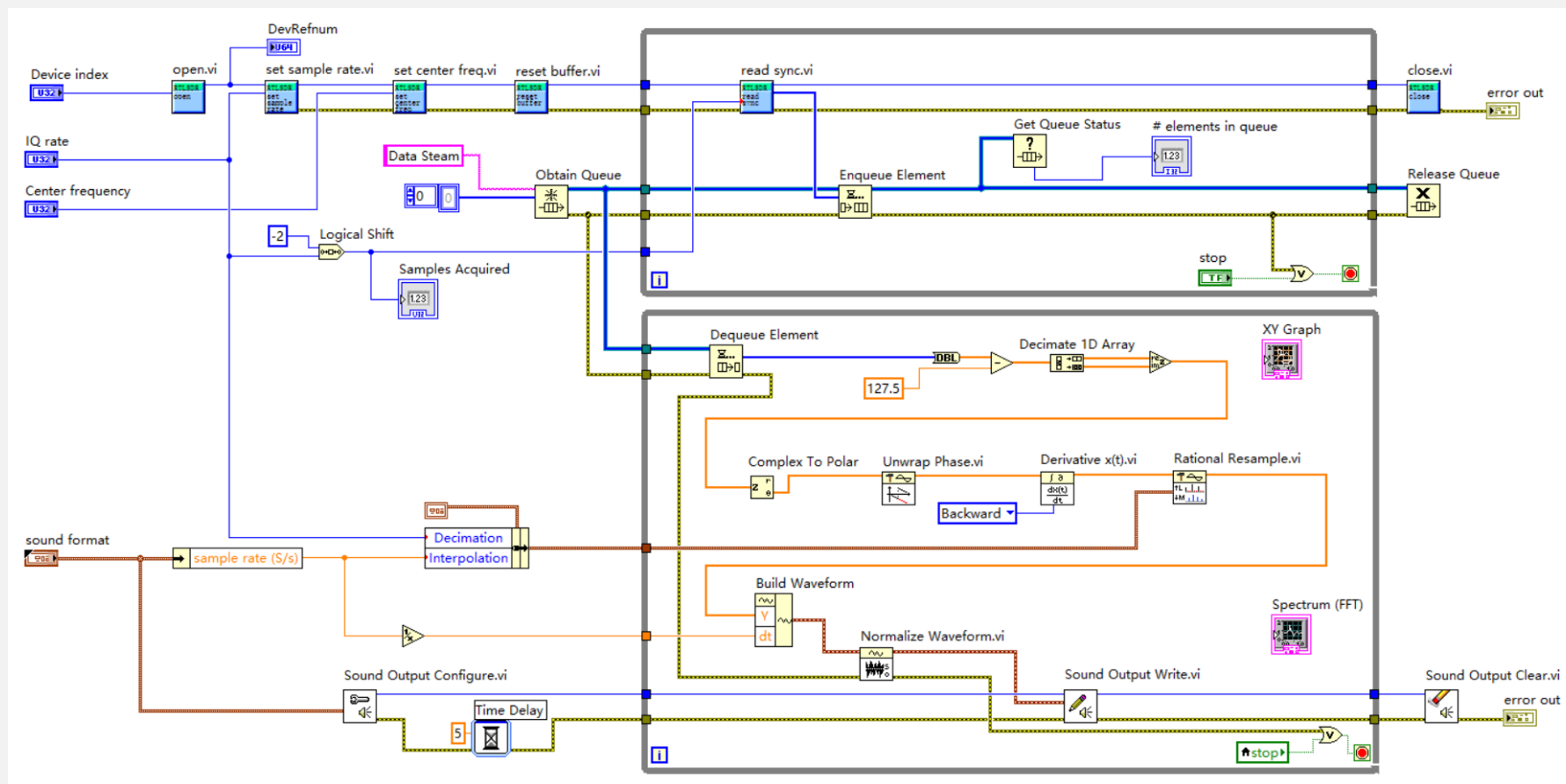
## 3.5 FM信号的解调和播放

- RTL-SDR解调程序框图



## 3.5 FM信号的解调和播放

- 基于队列的FM接收机

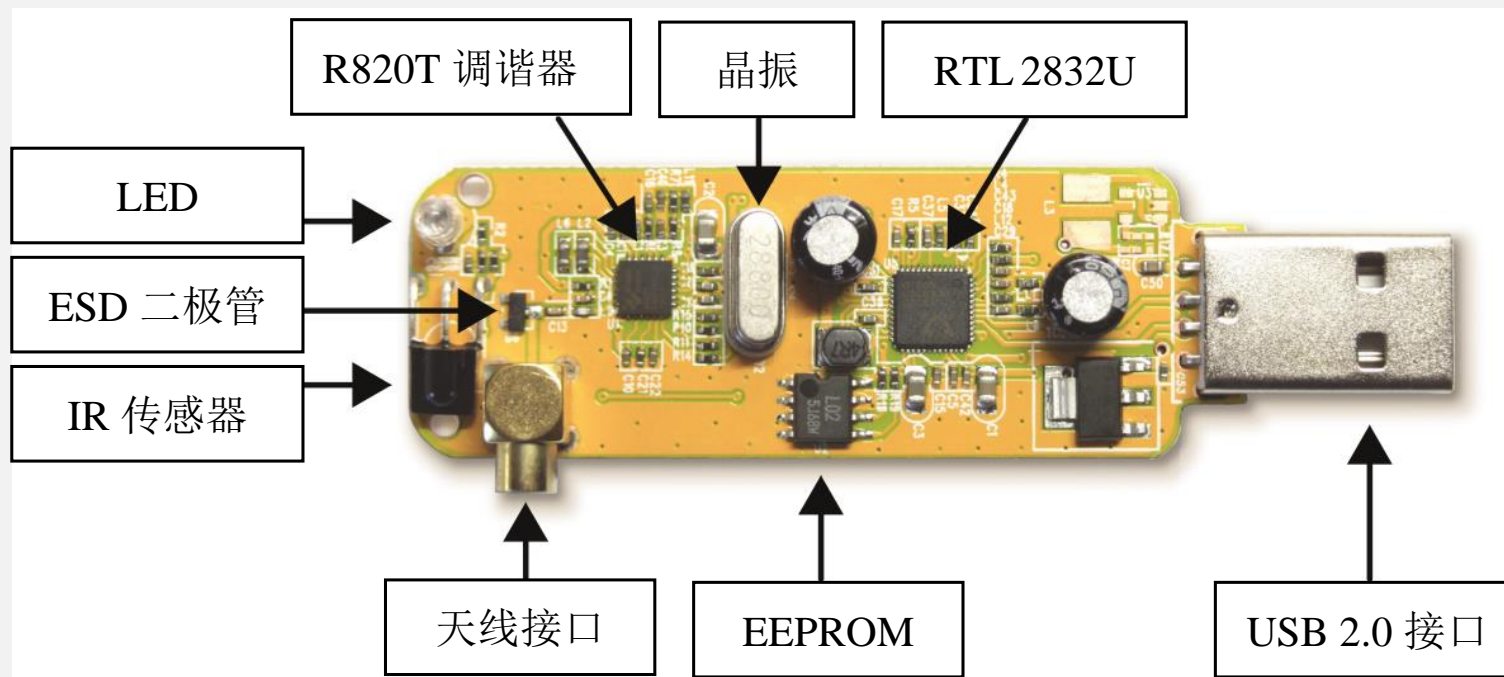




## 3.6 RTL-SDR的硬件结构

- RTL-SDR硬件简介

RTL-SDR主要由R820T调谐器芯片、RTL2832U芯片等部件构成。

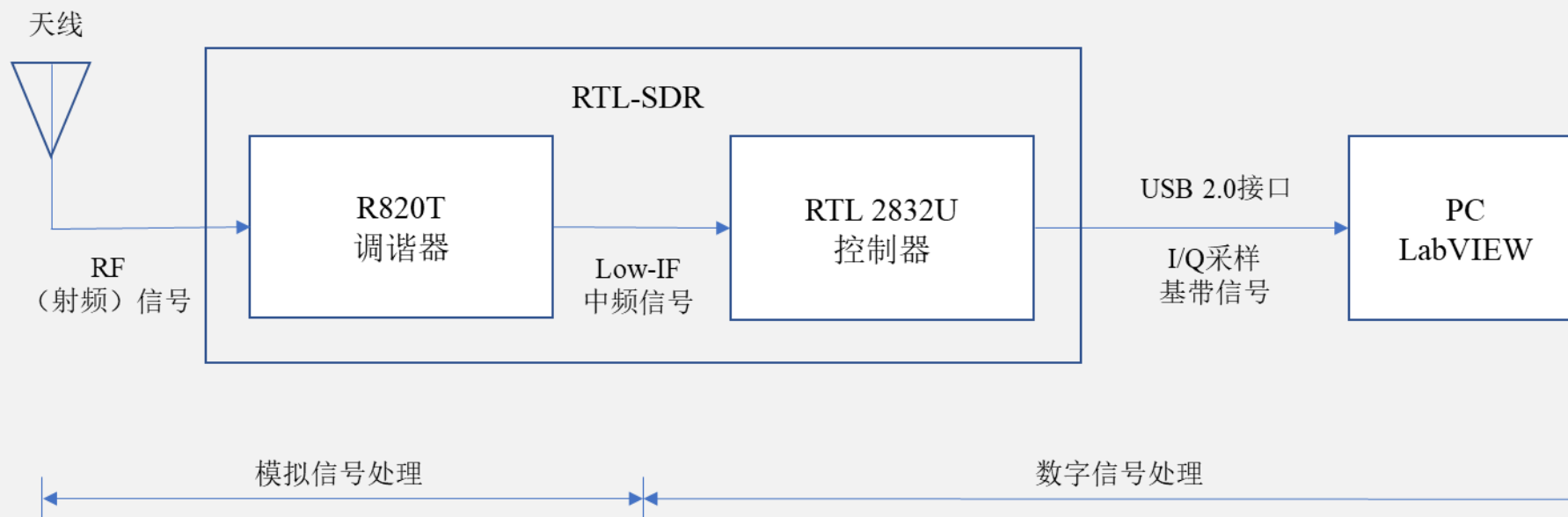


RTL-SDR 内部电路板



## 3.6 RTL-SDR的硬件结构

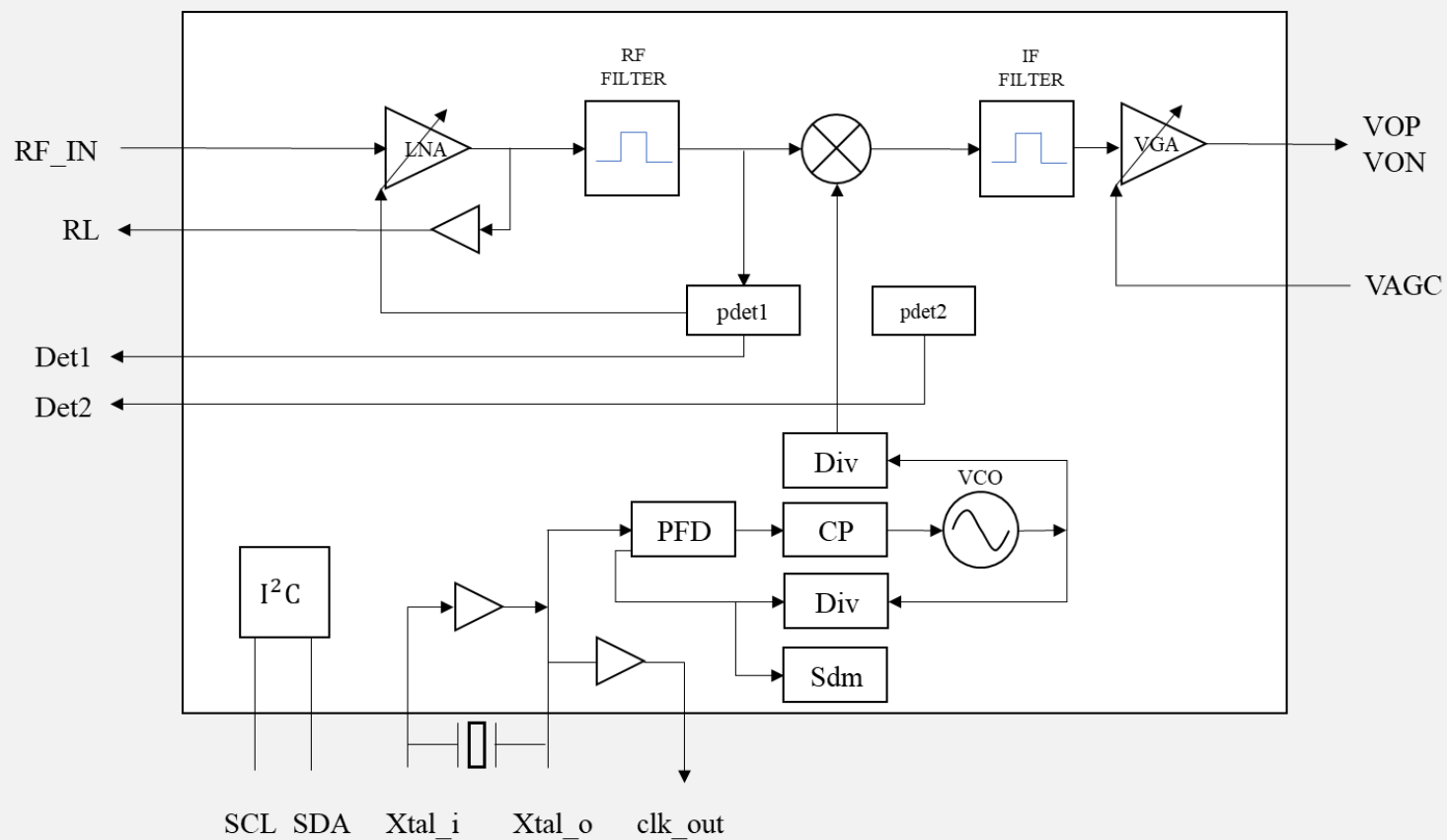
RTL-SDR信号处理流程：





## 3.6 RTL-SDR的硬件结构

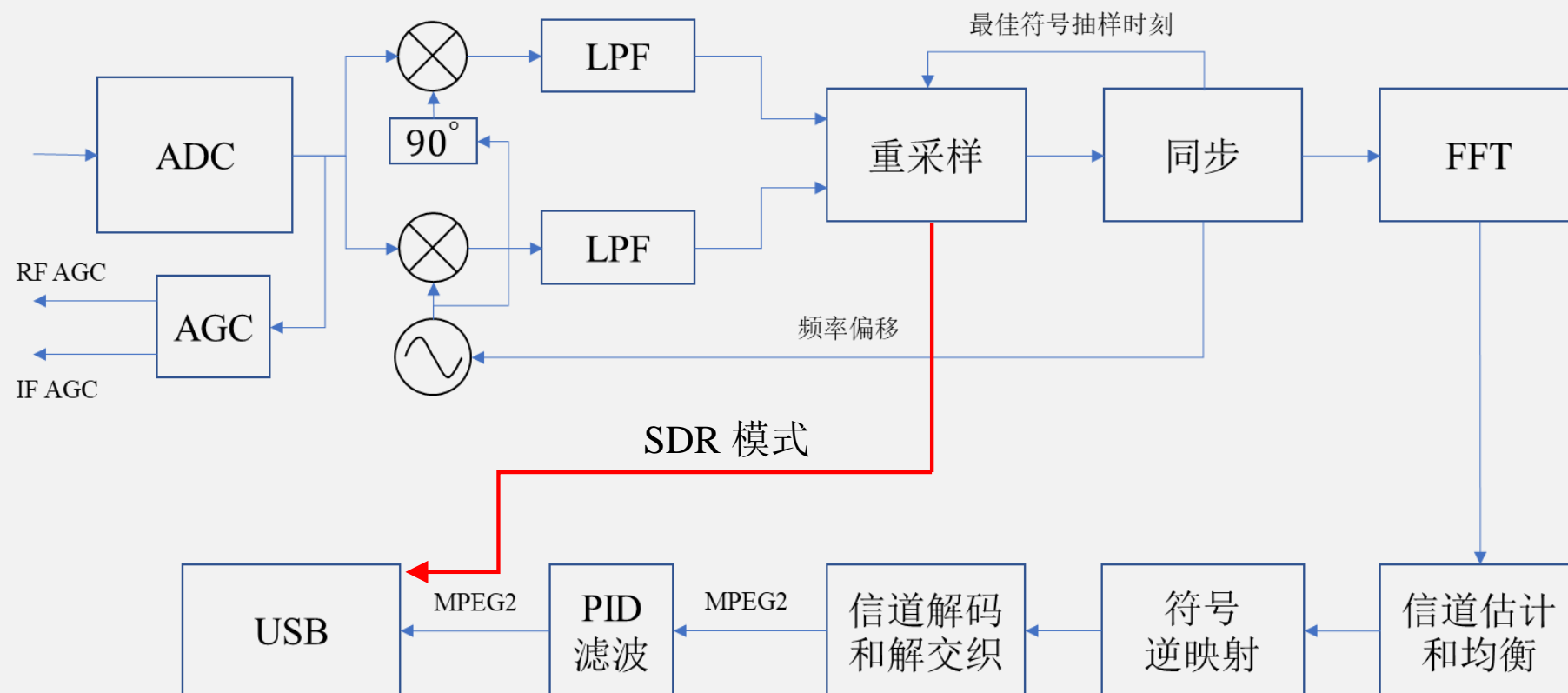
### (1) 调谐器芯片R820T



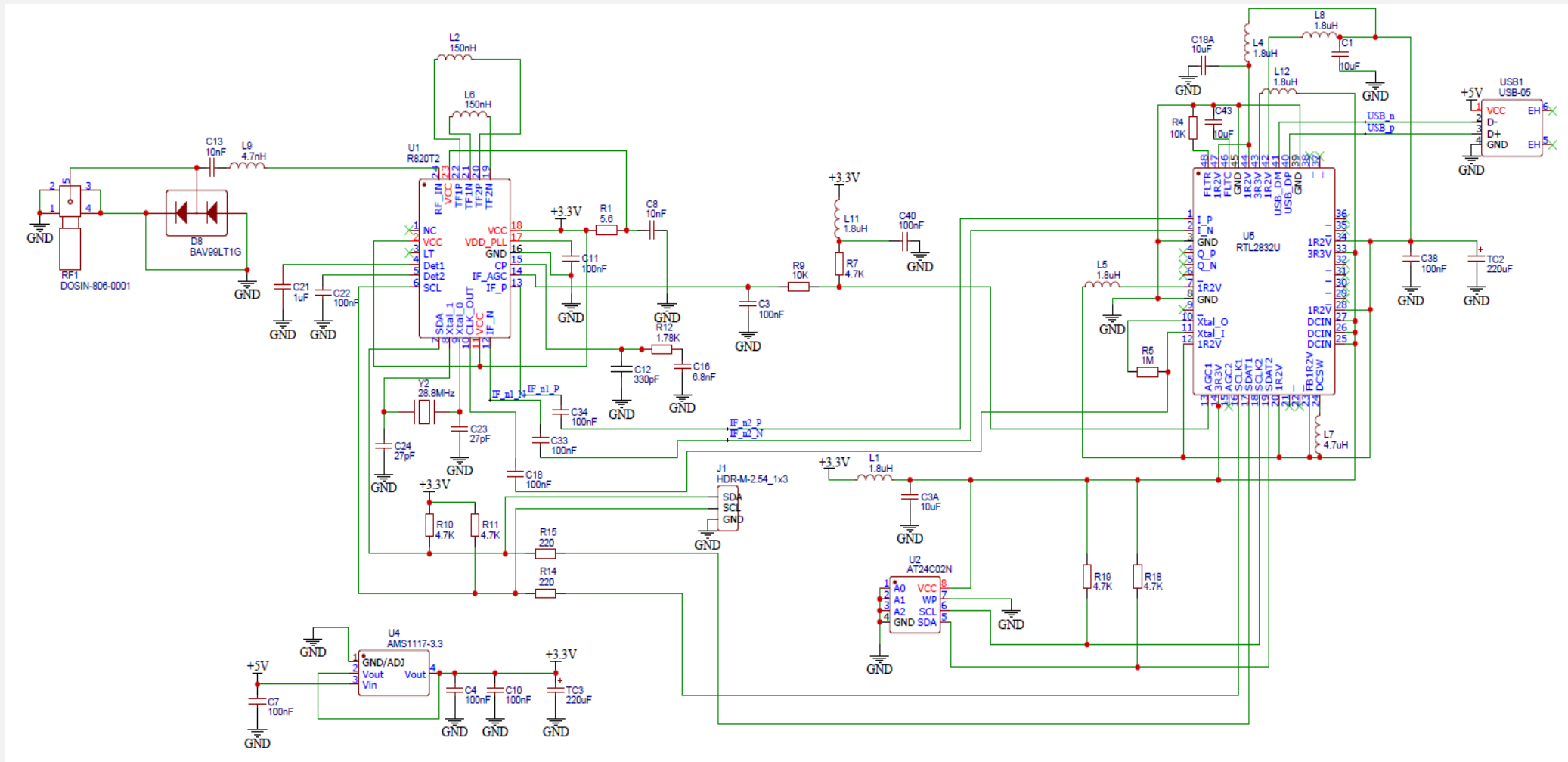


## 3.6 RTL-SDR的硬件结构

### (2) RTL2832U控制器

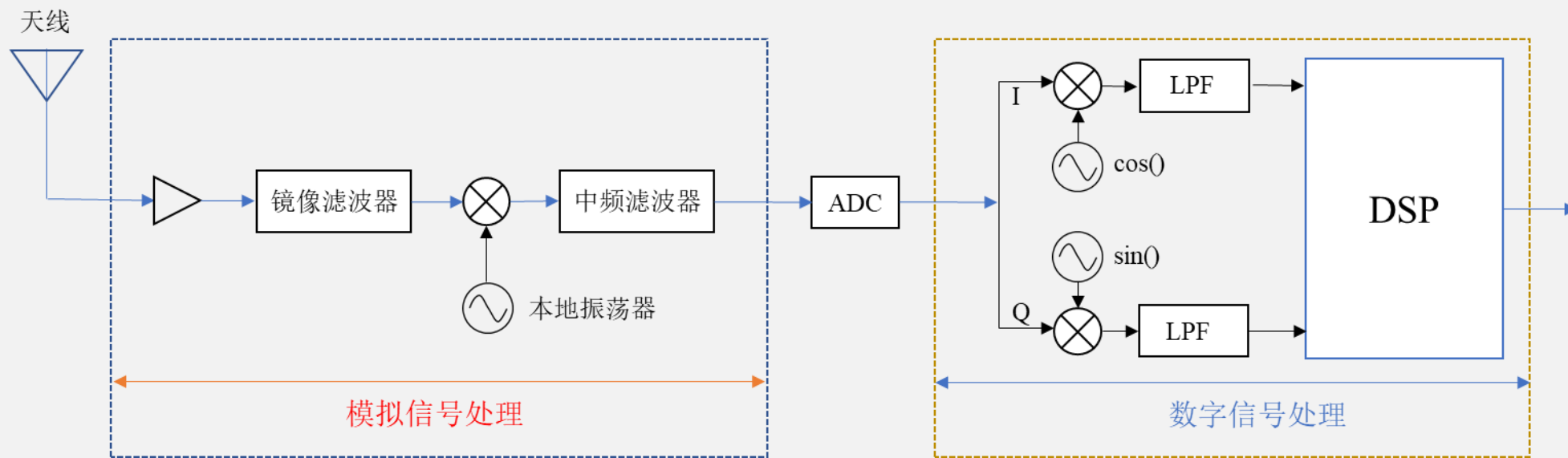


## 3.6 RTL-SDR的硬件结构



RTL-SDR的原理图

## 3.6 RTL-SDR的硬件结构



数字中频接收机结构



- Question ?







【通信新说】



腾讯课堂