



电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China

数字无线电系统基础

期末复习

陈章鑫

信息与通信工程学院

科研楼B区427

zhangxinchen@uestc.edu.cn

1

- 知识结构图

2

- 知识点分解

3

- 无线电频谱管理

4

- 习题讲解



一、知识结构图

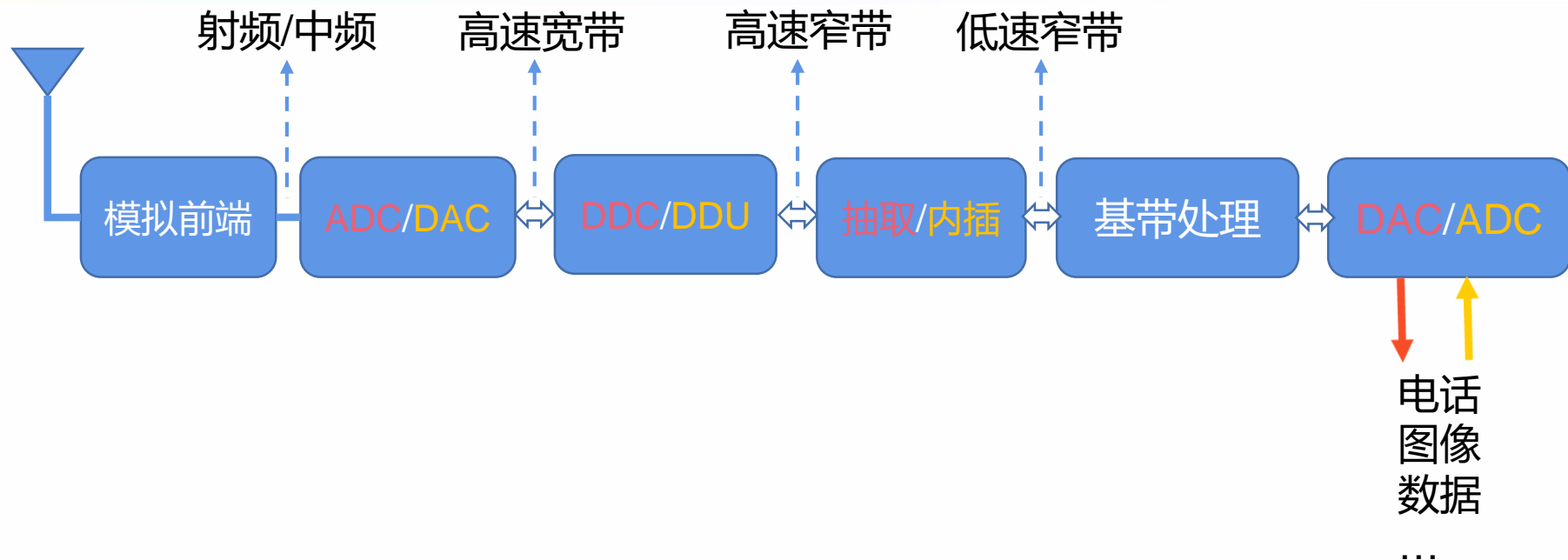
求真 求大 求气 求为



电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

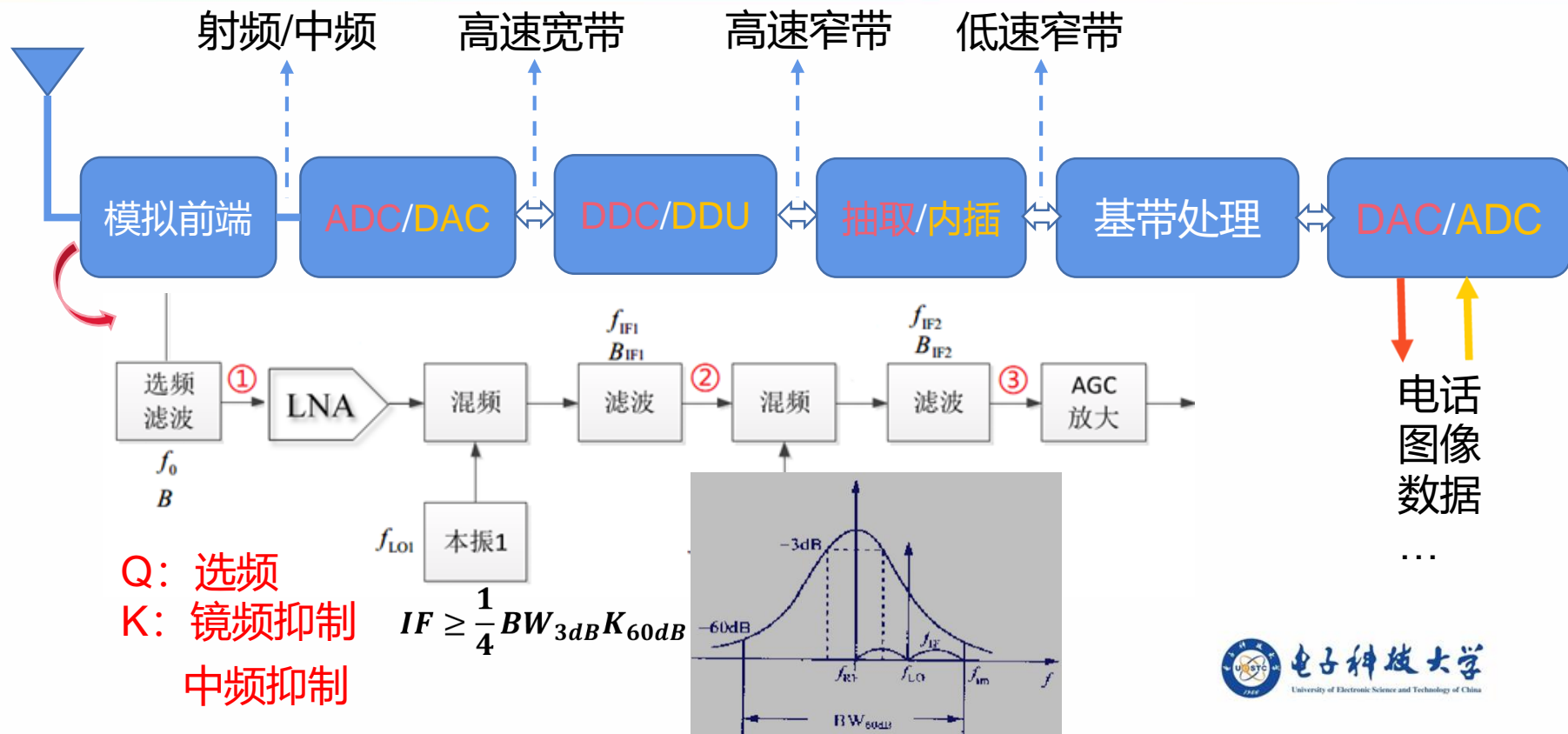
二、知识点分解

求真 求是 大气 大度



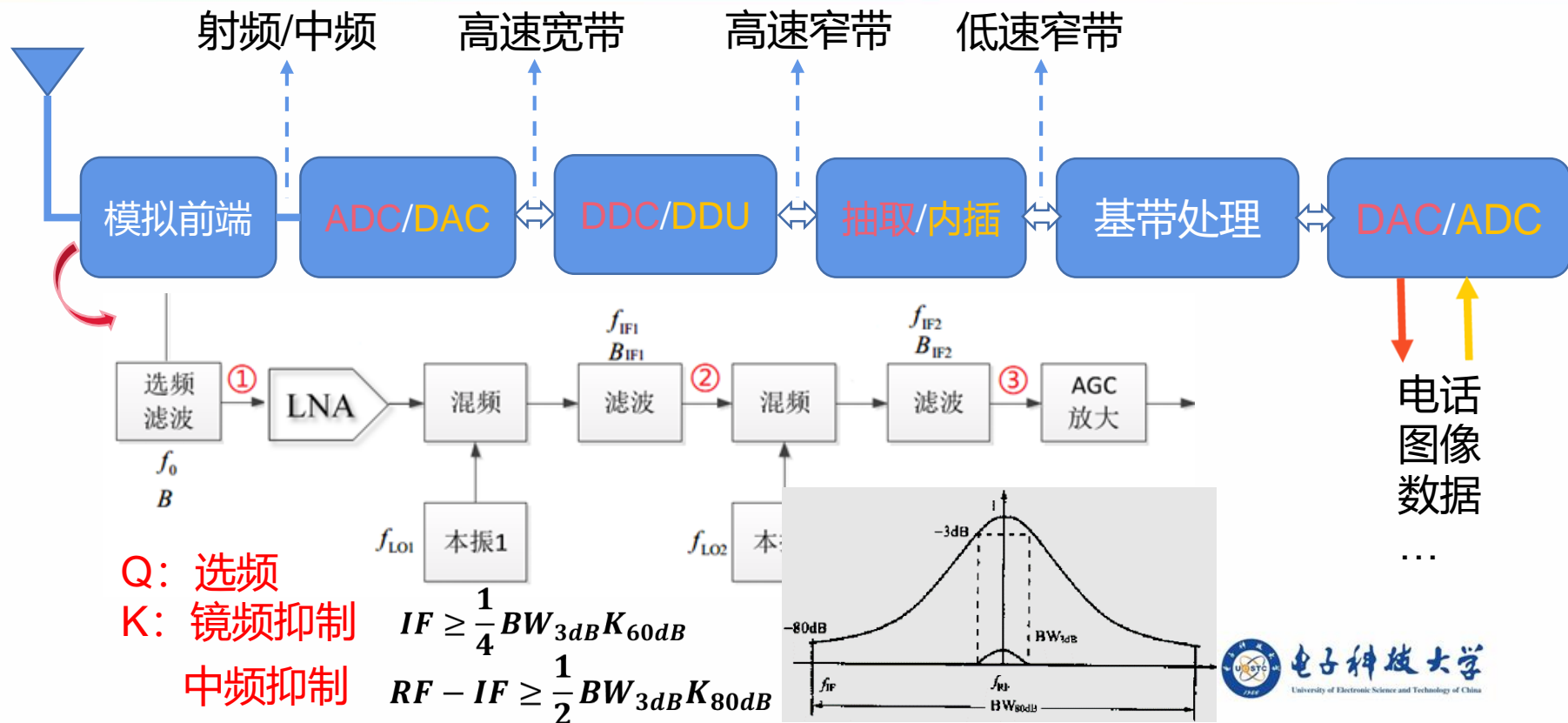
二、知识点分解

求真 求大 求气 求大



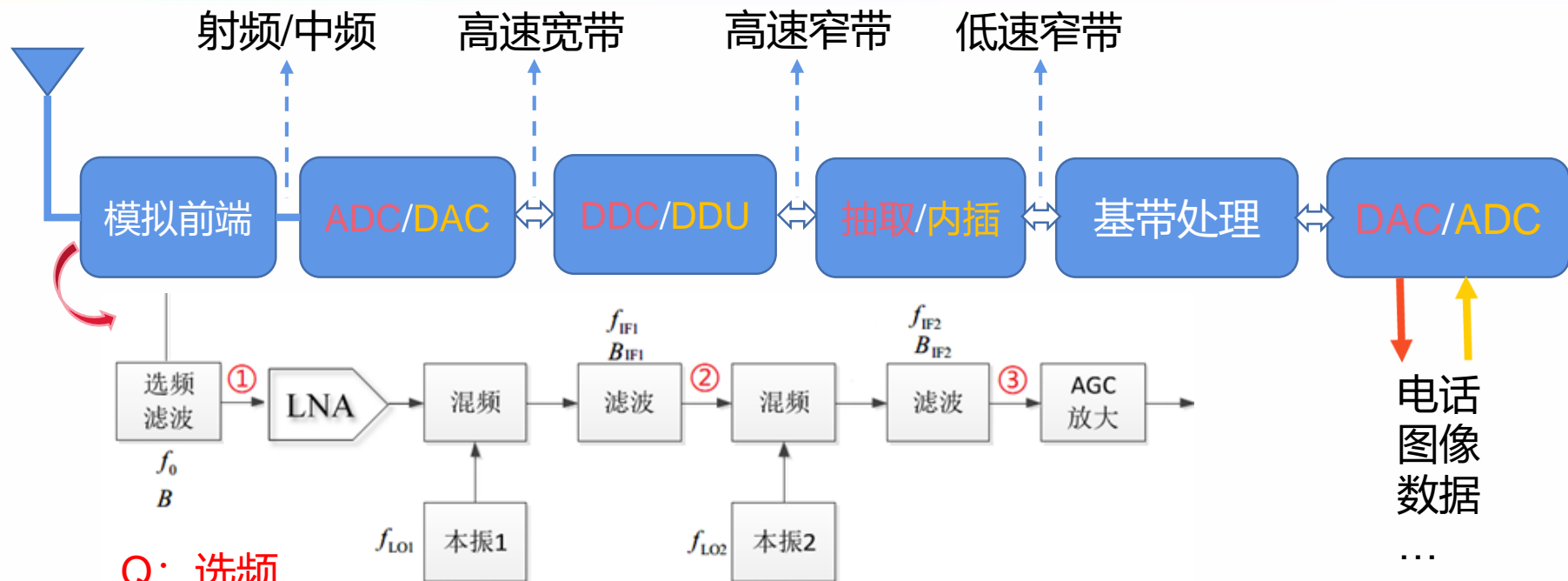
二、知识点分解

求真 求真 大氣大為



二、知识点分解

求真 求大 求气 求大



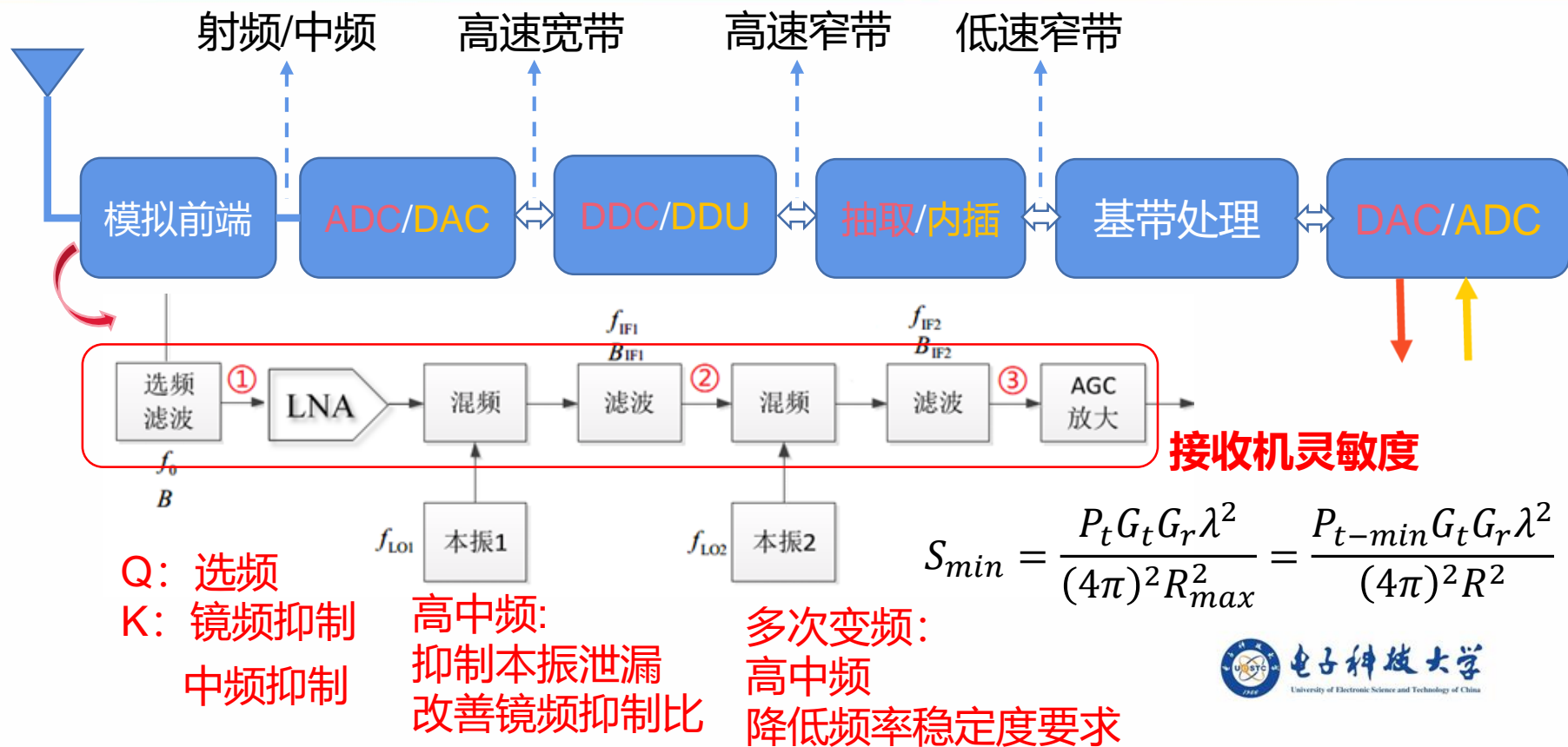
Q: 选频
K: 镜频抑制
中频抑制

高中频:
抑制本振泄漏
改善镜频抑制比

多次变频:
高中频
降低频率稳定度要求

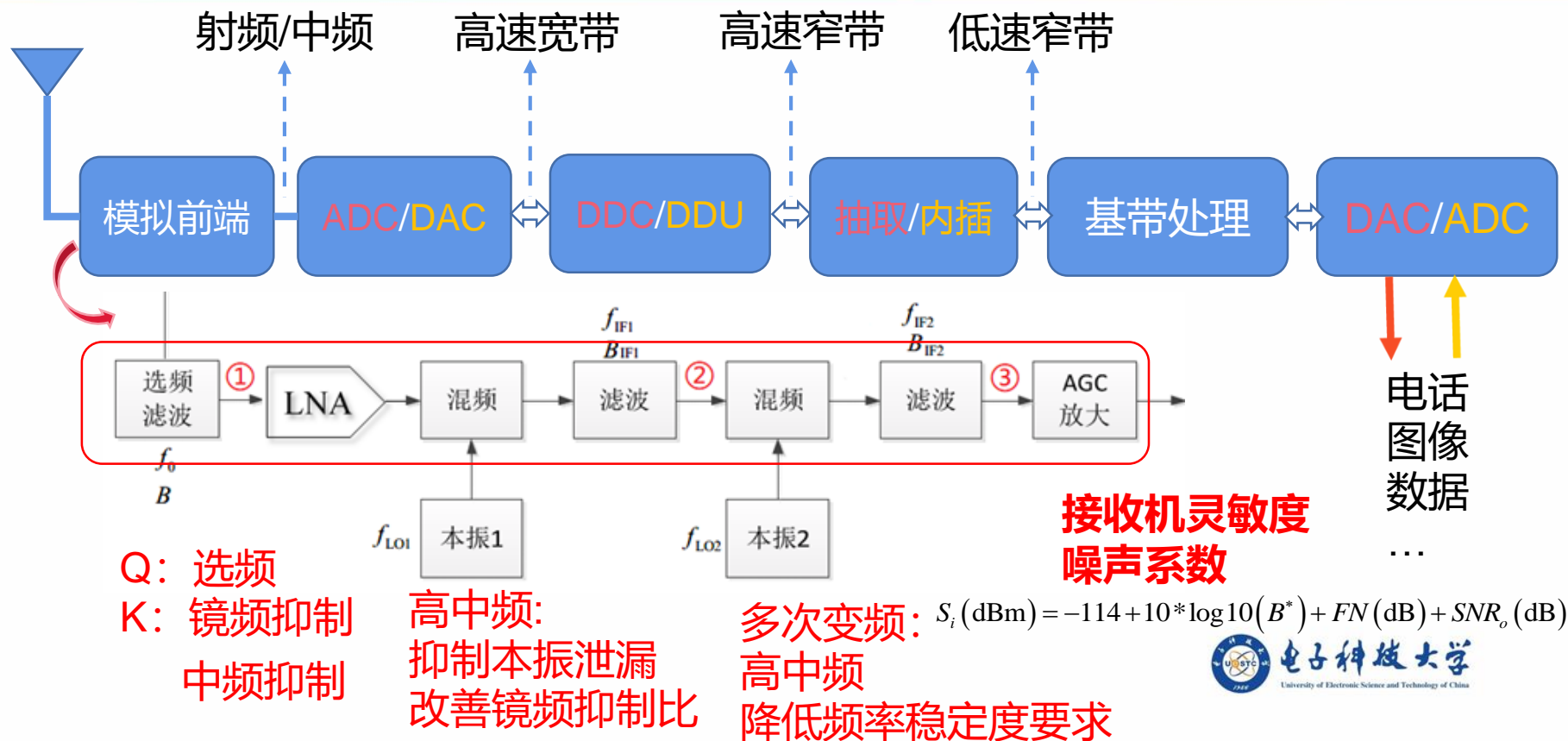
二、知识点分解

求真 求大 求真 求大



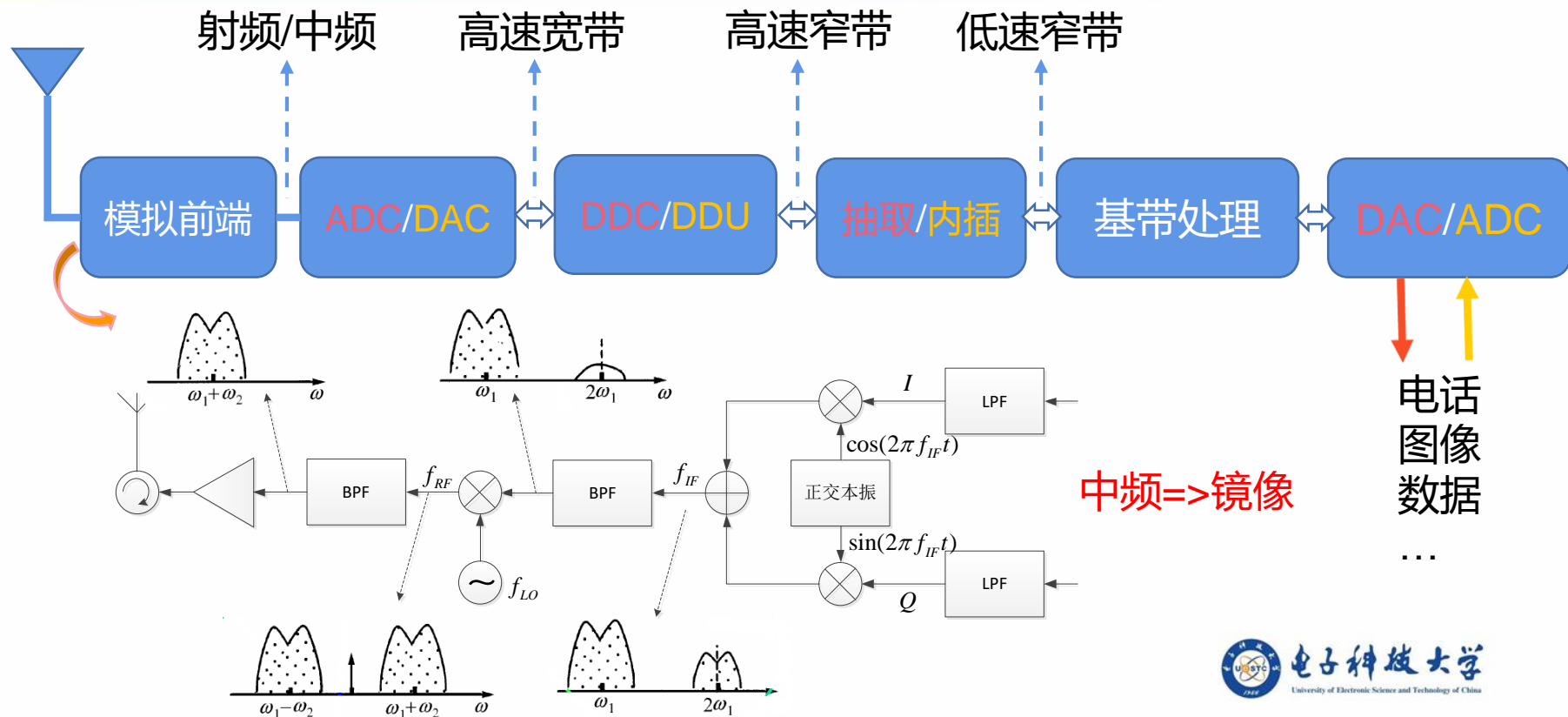
二、知识点分解

求真 求是 大气 大德



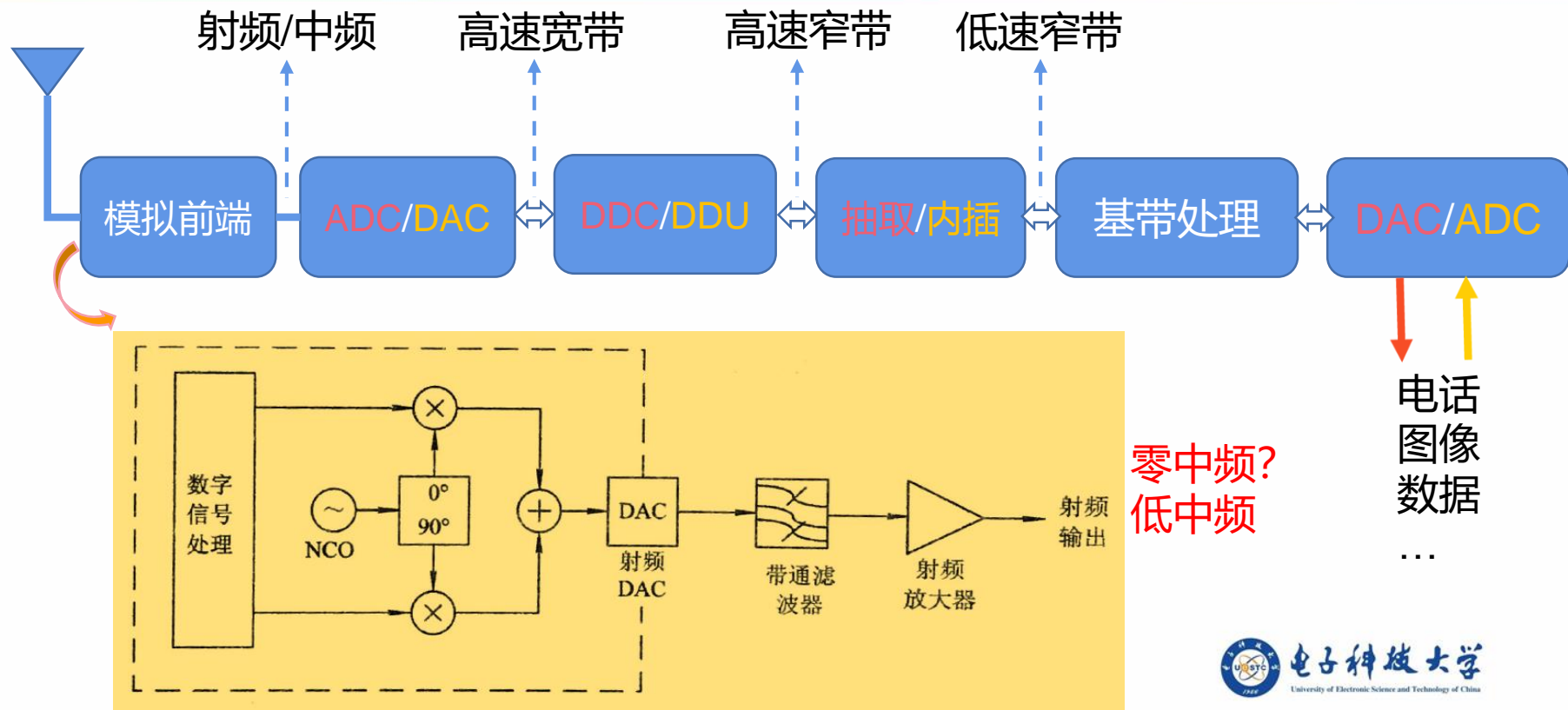
二、知识点分解

求真 求是 大气 大勇



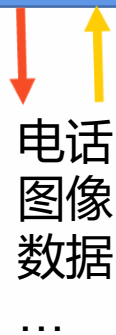
二、知识点分解

求真 求大 求气 求大



电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

求實求真 大氣大為

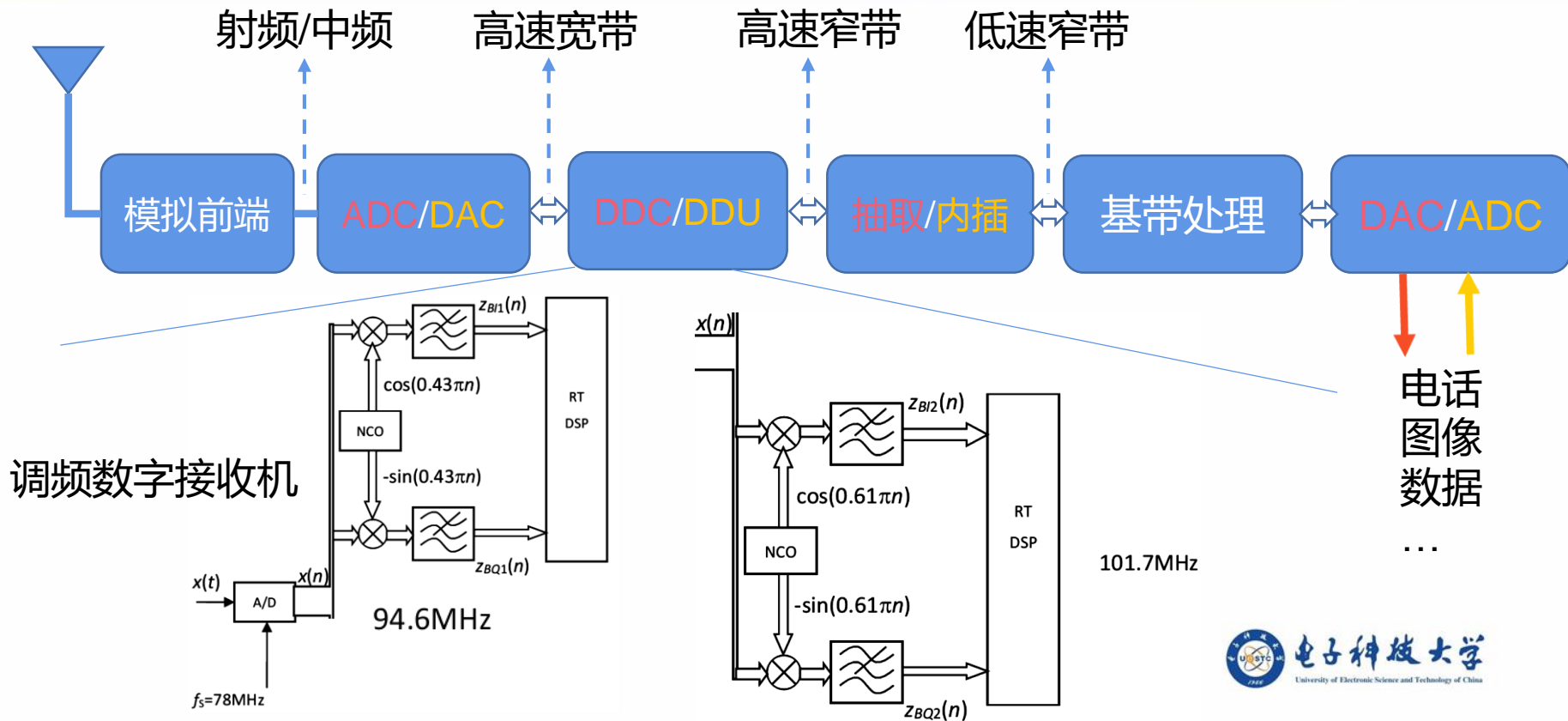
[illegible]

整帶采样

偶: $f_B = f_0 - MB_f = \frac{2m+1}{2} B_f - MB_f = \frac{B_f}{2}$
奇: $f_B = -f_0 + (M+1)B_f = -\frac{2m-1}{2} B_f + \frac{2m+2}{2} B_f = \frac{B_f}{2}$

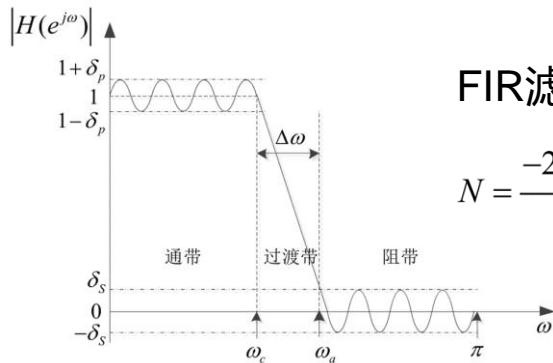
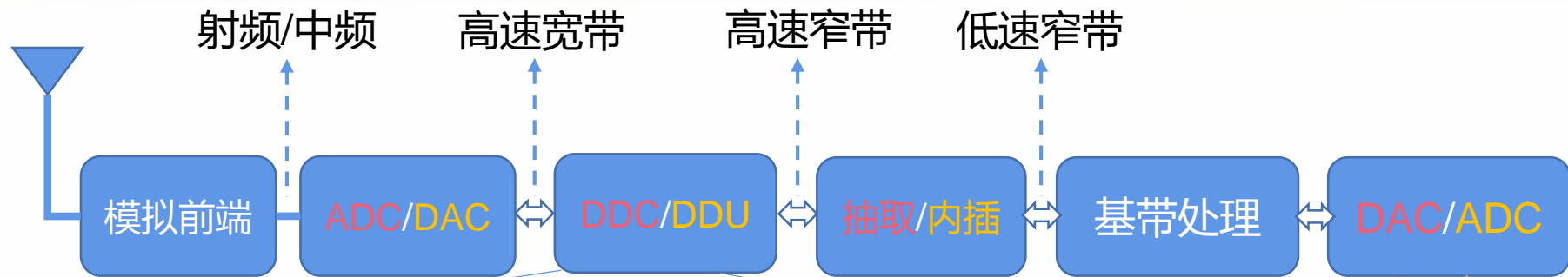
二、知识点分解

求真 求实 大气 大器



二、知识点分解

求真务实 大气大器



FIR滤波器阶数

$$N = \frac{-20 \lg \sqrt{\delta_p \delta_s} - 7.95}{14.36 \cdot \Delta F} + 1 = \frac{-20 \lg \sqrt{\delta_p \delta_s} - 7.95}{14.36 \cdot (f_a - f_c)} f_s + 1$$

电话
图像
数据
...

δ_p : 通带起伏 (或纹波); δ_s : 阻带起伏 (或纹波);

二、知识点分解

求真务实 大气大度

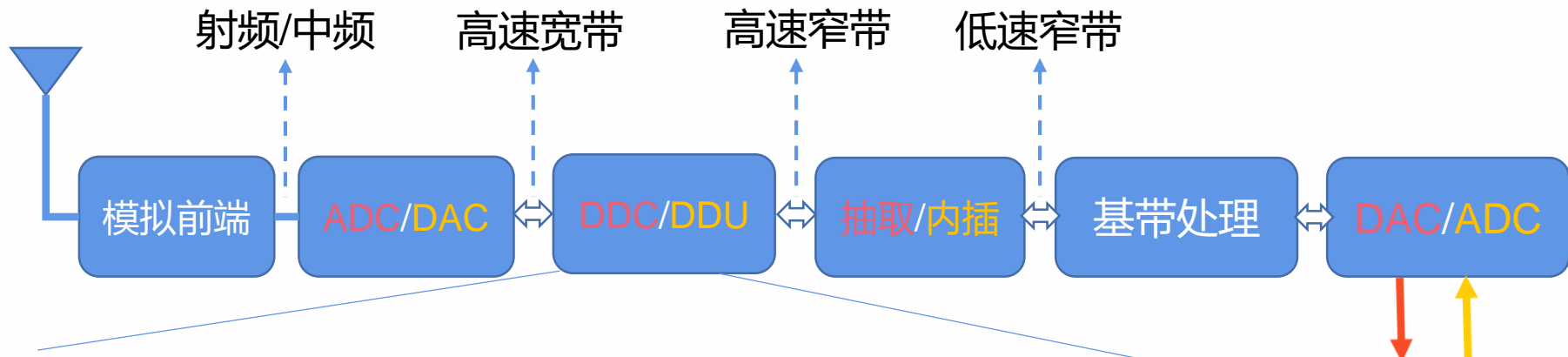


表 1 常用的窗函数的数学表达式、幅值相等恢复系数和功率相等恢复系数

窗函数	数学表达式 ($n=1, 2, 3, \dots, N$)	幅值相等 恢复系数	功率相等 恢复系数
矩形窗	$W(n)=1$	1	1
汉宁窗	$W(n)=0.5-0.5\cos(2\pi n/N)$	2	1.633
海明窗	$W(n)=0.54-0.46\cos(2\pi n/N)$	1.852	1.586
三角窗	$W(n)=\begin{cases} \frac{n}{N/2}, & n=1, \dots, N/2 \\ W(N-n), & n=N/2+1, \dots, N-1 \end{cases}$	2	1.732
高斯窗	$W(n)=e^{-\frac{1}{2}(\frac{2n}{N}-1)^2}$	2.396	1.840
指数窗	$W(n)=e^{- n-\frac{N}{2} /\frac{N}{2}}$	1.582	1.521
布拉克曼窗	$W(n)=0.42-0.5\cos(2\pi\frac{n-1}{N-1})+0.008\cos(4\pi\frac{n-1}{N-1})$	2.381	1.812
平顶窗	$W(n)=\begin{cases} \frac{1}{2}[1-\cos(10\pi n/N)], & n=1, 2, 3, \dots, N/10 \\ 1, & n=N/10+1, \dots, 9N/10-1 \\ \frac{1}{2}[1+\cos(10\pi(n-9N/10)/N)], & n=9N/10, \dots, N \end{cases}$	1.110	1.069
凯泽-贝塞尔窗	$W(n)=I_0(3\pi\sqrt{(2n/N-1)^2}/I_0(3\pi))$	2.480	1.854

FIR滤波器阶数

$$N = \frac{-20\lg\sqrt{\delta_p\delta_s} - 7.95}{14.36 \cdot \Delta F} + 1 = \frac{-20\lg\sqrt{\delta_p\delta_s} - 7.95}{14.36 \cdot (f_a - f_c)} f_s + 1$$

电话
图像
数据
...

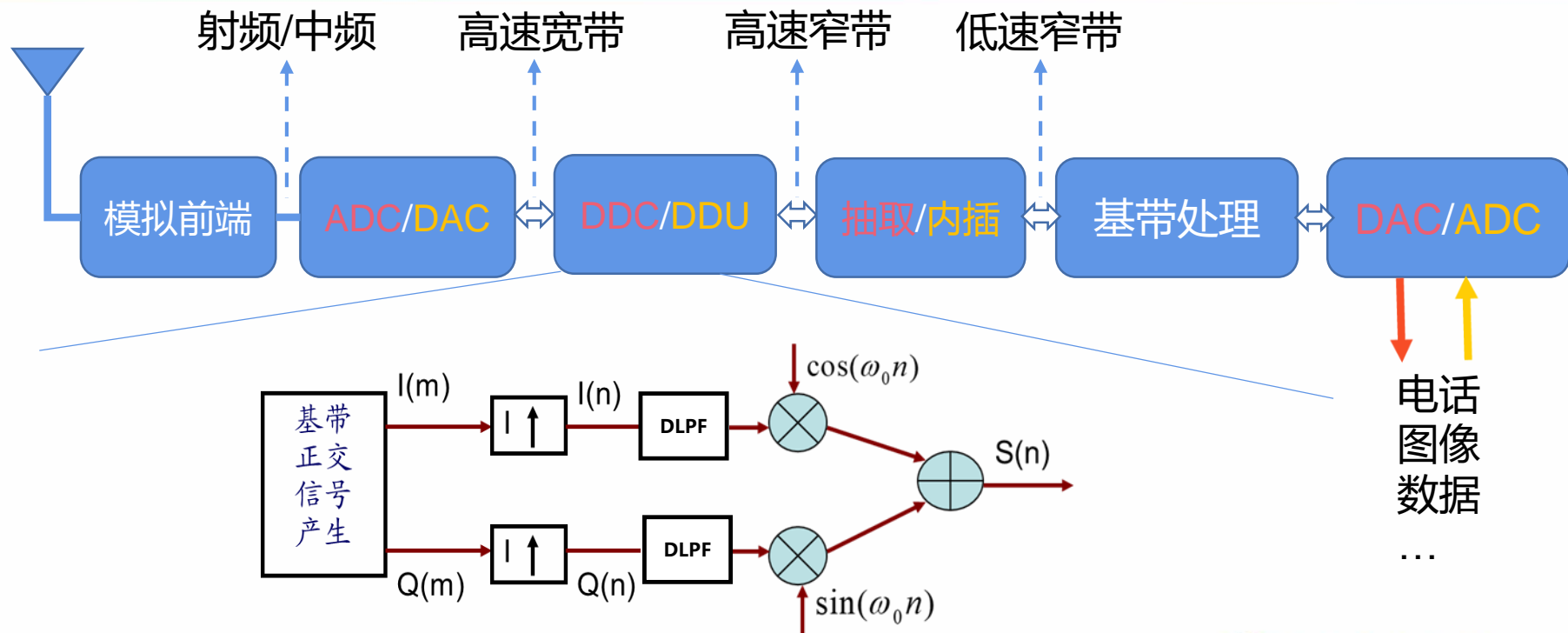
表中: $I_0(x) = \sum_{k=0}^{\infty} [(x/2)^k / k!]^2$

<https://blog.csdn.net/>



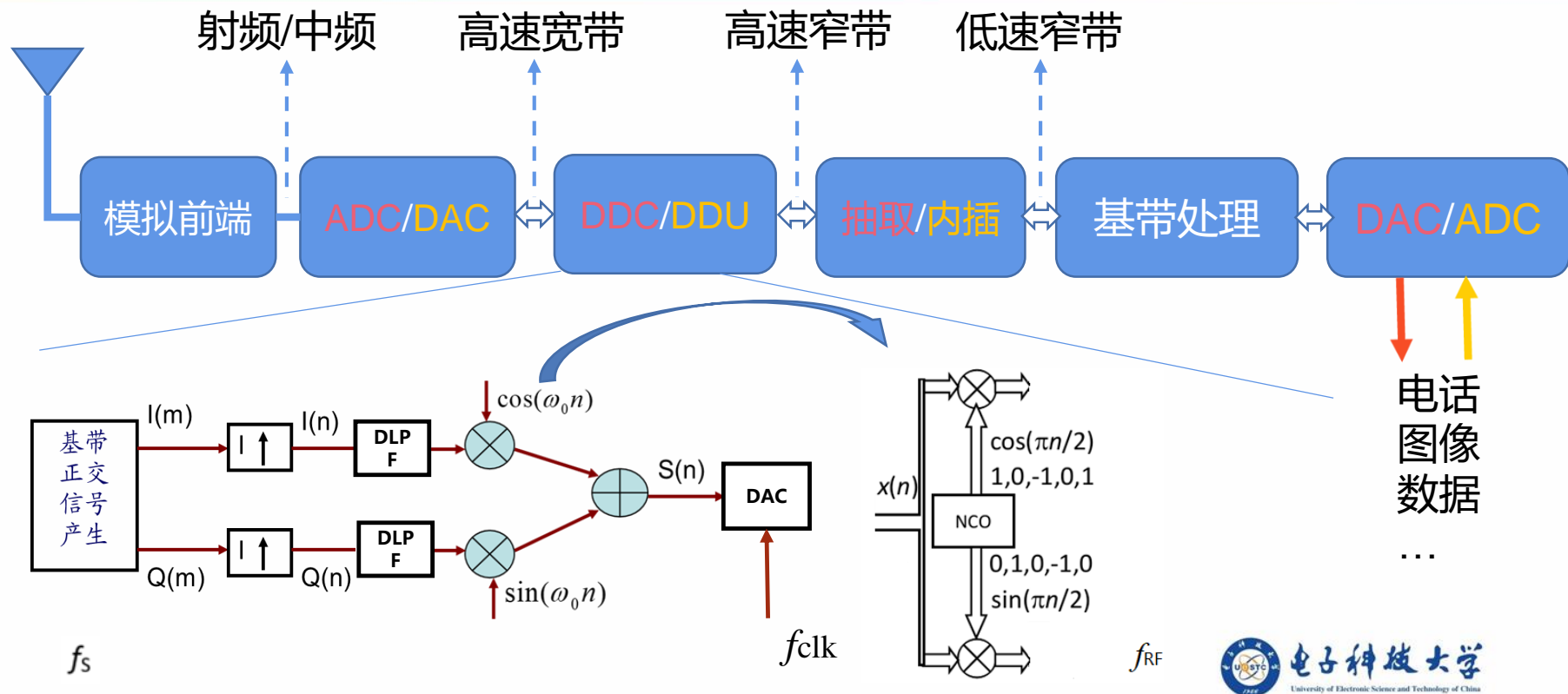
二、知识点分解

求真 求大 求气 求大



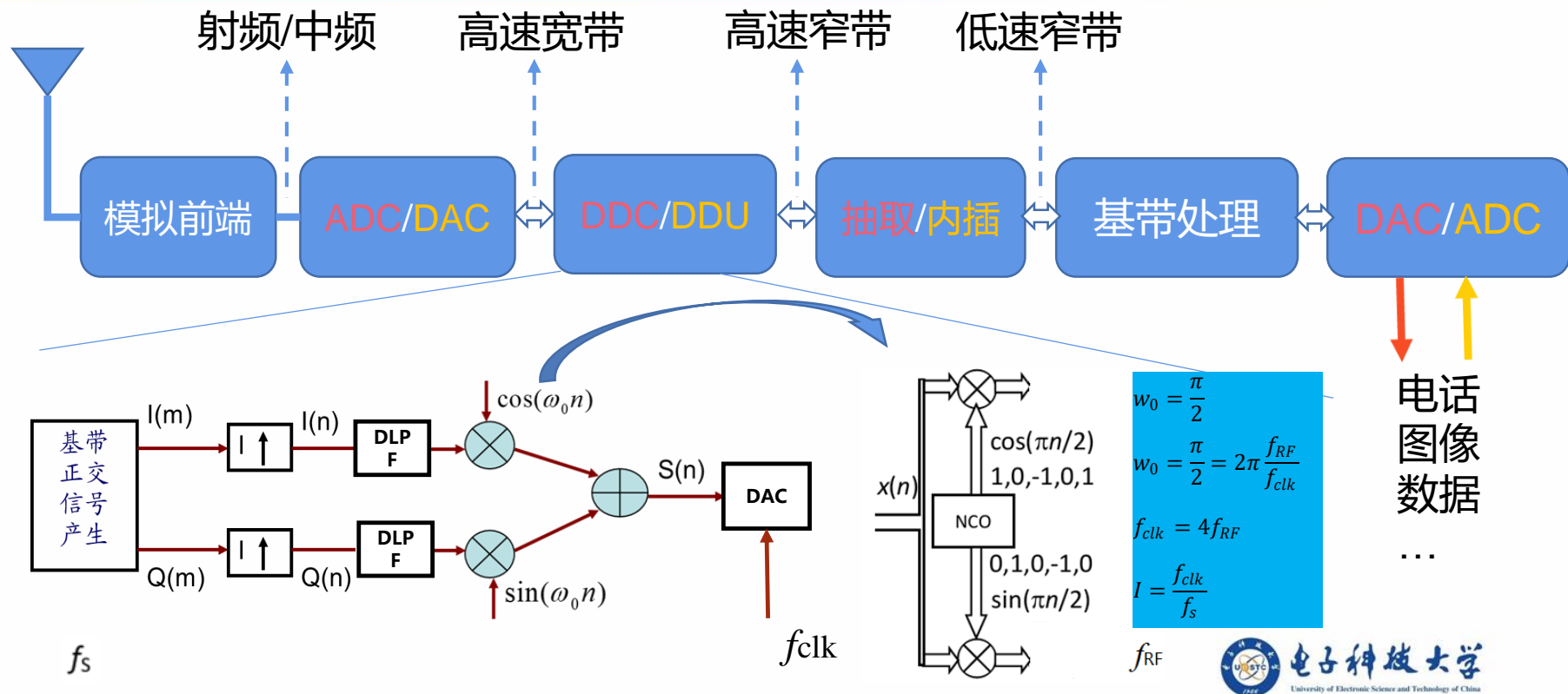
二、知识点分解

求真 求是 大气 大德



二、知识点分解

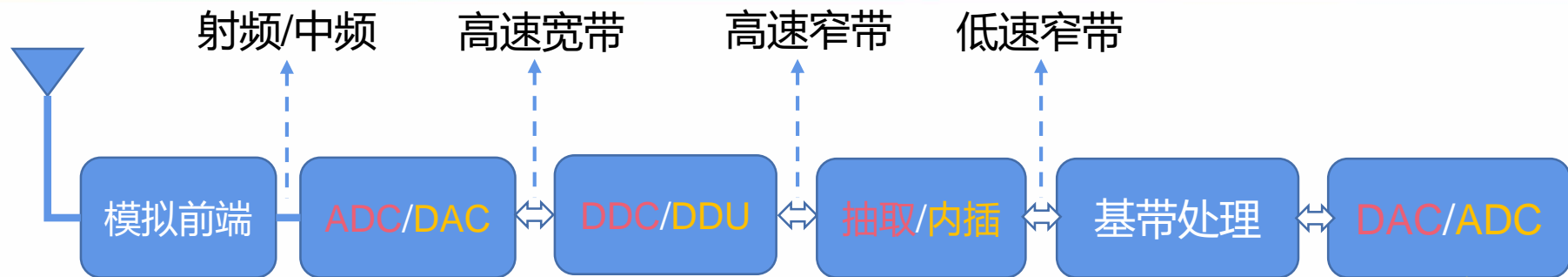
求真务实 大气大器



电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

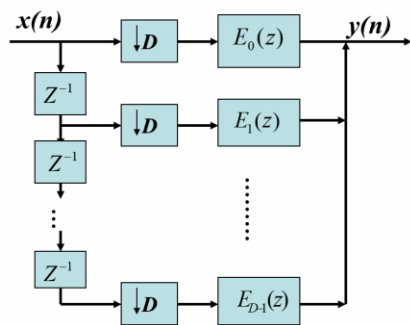
二、知识点分解

求真务实 大气大器



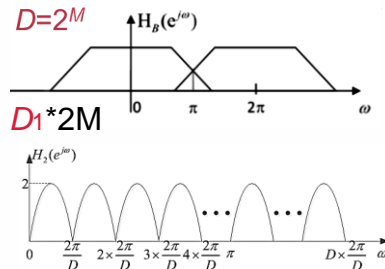
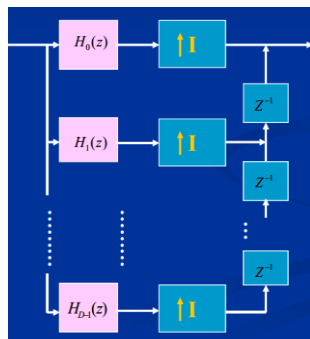
$$w_0 = \frac{\pi}{2}$$
$$w_0 = \frac{\pi}{2} = 2\pi \frac{f_{RF}}{f_{clk}}$$
$$f_{clk} = 4f_{RF}$$
$$I = \frac{f_{clk}}{f_s}$$

高效运算



高效结构

高效



高效滤波器

电话
图像
数据
...

三、无线电频谱管理

求实求真 大气大为

- 无线电频谱是一种**有限的自然资源**
 - 《中华人民共和国宪法》、《中华人民共和国物权法》：无线电频谱资源属于国家所有
 - 无线电管理机构：对无线电频谱资源这一国家专有的财产行使占有、使用、收益和处分权利的时候，使其保值、增值、不流失，产生出更高的经济效益和社会效益
- 第一部规范无线电频谱资源管理的行政法规
 - 《中华人民共和国无线电管理条例》：规范使用
- 第二部规范无线电频谱资源管理的行政法规
 - 《中华人民共和国无线电管制规定》：强制性管理

三、无线电频谱管理

求真 求是 大气 求是

●电磁辐射污染

- 《电磁辐射环境保护管理办法》：国家法律
- 一系列国家标准：规范发射频率和功率

ICS 13.280
C 71



中华人民共和国国家标准

GB 21288—2007

移动电话电磁辐射局部暴露限值

Limits for human local exposure to electromagnetic
fields emitted by mobile phones

电磁辐射防护规定

udc 614.898.5

GB 8702-88

(1988年3月11日 国家环境保护局批准 1988年6月1日实施)

1 总则

- 1.1 为防止电磁辐射污染、保护环境、保障公众健康、促进伴有电磁辐射的正当实践的发展，制定本规定。
- 1.2 本规定适用于中华人民共和国境内产生电磁辐射污染的一切单位或个人、一切设施或设备。但本规定的防护限值不适用于为病人安排的医疗或诊断照射。
- 1.3 本规定中防护限值的范围为100KHZ~300GHZ。防护限值与频率的关系见下图。
- 1.4 本规定中的防护限值是可按接受的防护水平的上限，并包括各种可能的电磁辐射污染的总量值。
- 1.5 一切产生电磁辐射污染的单位或个人，应本着“可合理达到尽量低”的原则，努力减少其电磁辐射污染水平。
- 1.6 一切产生电磁辐射污染的单位或部门，均可以制定各自的管理限值（标准），各单位或部门的管理限值（标准）应严于本规定的限值。

2 电磁辐射防护限值

- 2.1 基本限值
- 2.1.1 职业照射：在每天8H工作期间内，任意连续6MIN按全身平均的比吸收率（SAR）应小于0.1W/KG。
- 2.1.2 公众照射：在1天24H内，任意连续6MIN按全身平均的比吸收率（SAR）应小于0.02W/KG。
- 2.2 导出限值
- 2.2.1 职业照射：在每天8H工作期间内，电磁辐射场的场量参数在任意连续6MIN内的平均值应满足表1要求。

表1 职业照射导出限值

频率范围 MHz	电场强度 V/m	磁场强度 A/m	功率密度 W/m ²
0.1~3	87	0.25	(20) ¹⁾
3~30	150/	0.40/	(60/f) ¹⁾
30~3000	(28) ²⁾	(0.075) ²⁾	2
3000~15000	(0.5) ²⁾	(0.0015) ²⁾	#1500
15000~30000	(61) ²⁾	(0.16) ²⁾	10



电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

三、无线电频谱管理

求真务实 大气大度

●无线电频谱频率资源争夺

- 《无线电规则》对卫星频率和轨道做了

- ✓ 充分解释和分配方式

- ✓ 7年内申请者必须使用该频率；

- ✓ 若“撞频率”，协商使用



无线电通信部门(ITU-R)

国际电信联盟



国家无线电频谱管理中心



三、无线电频谱管理

求实求真 大气大为

●无线电频谱频率资源争夺

北斗频率保卫战：谭述森扫除“北斗”第一道障碍

2015年，**我校杰出校友**，北斗系统卫星导航系统总体设计专家谭树森在工程院院士评选时，中科院院士杨元喜认为谭述森院士为北斗卫星导航系统作出了三大贡献，其中之一便是为北斗卫星导航系统争取到了宝贵的频率资源。

中欧双方科学家开展了长达8年的技术层面的谈判。期间，谭述森院士带领谈判团队提出了卫星导航信号兼容性评估准则，并证明了北斗与伽利略系统频率重叠时互不影响。最终，2015年1月，欧盟代表团接受了中方提出的频率共用理念，同意在国际电联框架下完成卫星导航频率协调。



2013年3月，谭述森带队参加中欧“操作者”第三次频率协调会谈

三、无线电频谱管理

求真务实 大气大为

●无线电频谱频率资源争夺

北斗导航总设计师杨长风：差4小时，北斗卫星就抢占不到国际频率资源了



欧洲伽利略

2000年6月5日申请，05年发的卫星，06年发的导航信号。

中国北斗

- 2000年4月18日，我国向国际电联申报了频率资源和轨道位置；
- 2004年，“北斗”二号立项；
- 2007年4月初将北斗二号首颗卫星研制成功；
- 2007年4月10日，“进行第三次总检查的时候，卫星应答机突然异常。
- 2007年4月14日，完成问题归零，并于当天发射升空。
- 2007年4月17日的晚上8点，在只有最后的4个小时期限内，北斗科研人员终于接收到了首颗卫星发射的第一组信号，确保抢占了我国太空领域的空间国土。

四、习题讲解

求真务实 大气大度

基于带通采样的数字中频调幅收音机的设计

信号参数：射频525—1605kHz，带宽10kHz，频道间隔10kHz，中频465kHz。

要求：

(1) 设计系统结构（从天线起至扬声器止，数字前端采用高效结构）；

(2) 给出系统各级的主要参数；

以1465kHz频道为例，画出系统各级的频谱。

一般调幅收音机的中频频率有两种规格：465千赫和455千赫。另外，525~1605kHz这段信号很容易受干扰，波动大，要稳定地放大也比较困难。因此，一般采用超外差进行接收。很多用的是二次变频技术：第一次变频产生10.5MHz（或者10.7MHz等）的第一中频，以抑制镜频干扰；再经过第二次变频得到465kHz的第二中频。

四、习题讲解

求真务实 大气大度

基于带通采样的数字中频调幅收音机的设计

信号参数：射频525—1605kHz，带宽10kHz，频道间隔10kHz，中频465kHz。

要求：

(1) 设计系统结构（从天线起至扬声器止，数字前端采用高效结构）；

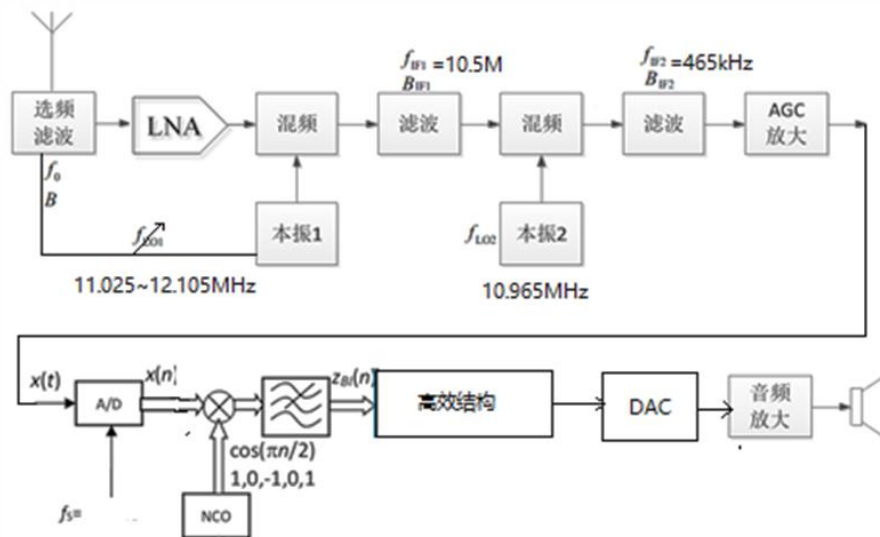
(2) 给出系统各级的主要参数；

以1465kHz频道为例，画出系统各级的频谱。

(1) 利用第二中频 465kHz 和带宽计算 M；

$$B = 2f_{IF} / (2M+1) = 930k / (2M+1):$$

$M = 2$, $B = 186k$ ，大于信号带宽；



四、习题讲解

求真务实 大气大度

基于带通采样的数字中频调幅收音机的设计

信号参数：射频525—1605kHz，带宽10kHz，频道间隔10kHz，中频465kHz。

要求：

(1) 设计系统结构（从天线起至扬声器止，数字前端采用高效结构）；

(2) 给出系统各级的主要参数；

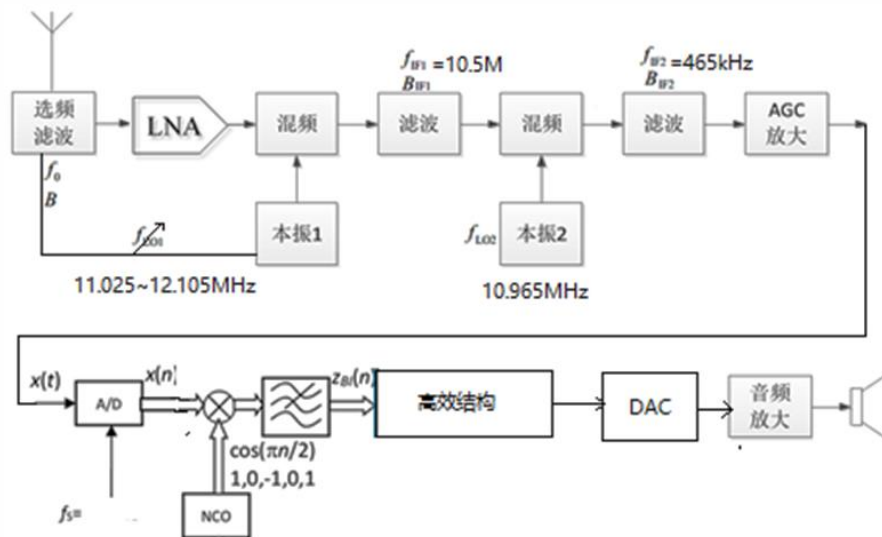
以1465kHz频道为例，画出系统各级的频谱。

(2) 确定采样率

$$f_s = 2B = 372\text{kHz}$$

(3) 考虑到一般用于音频解码的 DAC 数据率一般为 44.1kHz 的倍数，可以设计其中的高效结构。

1240/147，为了得到 44.1k 的数据率，需要内插 147，抽取 1240，即可以得到 44.1kHz， $147 = 7 \times 7 \times 3$ ， $1240 = 31 \times 5 \times 2 \times 2$ ，进行内插-抽取组合：



四、习题讲解

求真务实 大气大度

基于带通采样的数字中频调幅收音机的设计

信号参数：射频525—1605kHz，带宽10kHz，频道间隔10kHz，中频465kHz。

要求：

(1) 设计系统结构（从天线起至扬声器止，数字前端采用高效结构）；

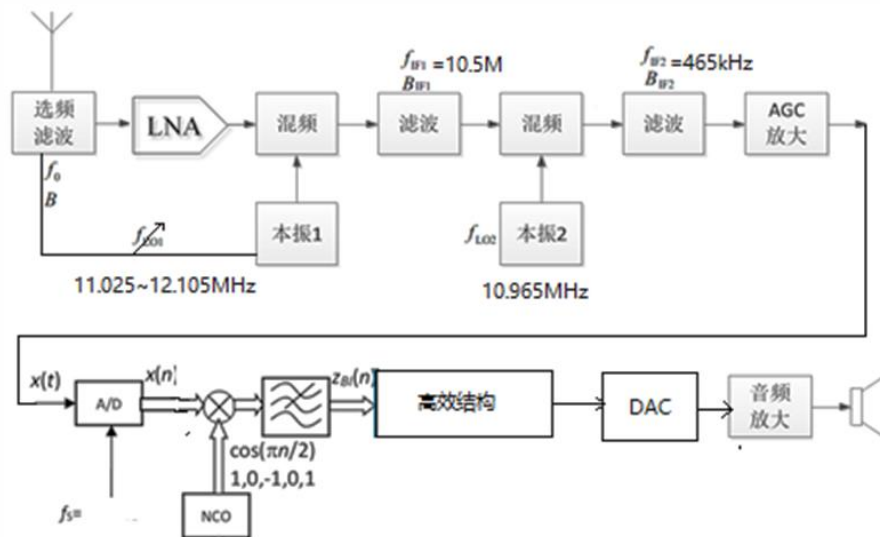
(2) 给出系统各级的主要参数；

以1465kHz频道为例，画出系统各级的频谱。

①先内插 49，再抽取 31，共用滤波器；

②再内插 3，可以使用多相滤波结构；

③抽取 $5 \times 2 \times 2 \times 2$ 可以使用高效结构，CIC→HB→FIR

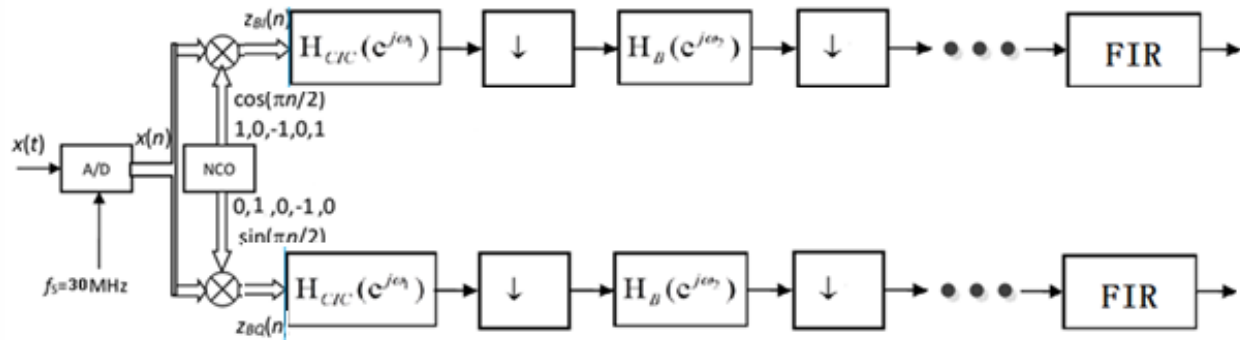


四、习题讲解

求真 求大 求气 求大

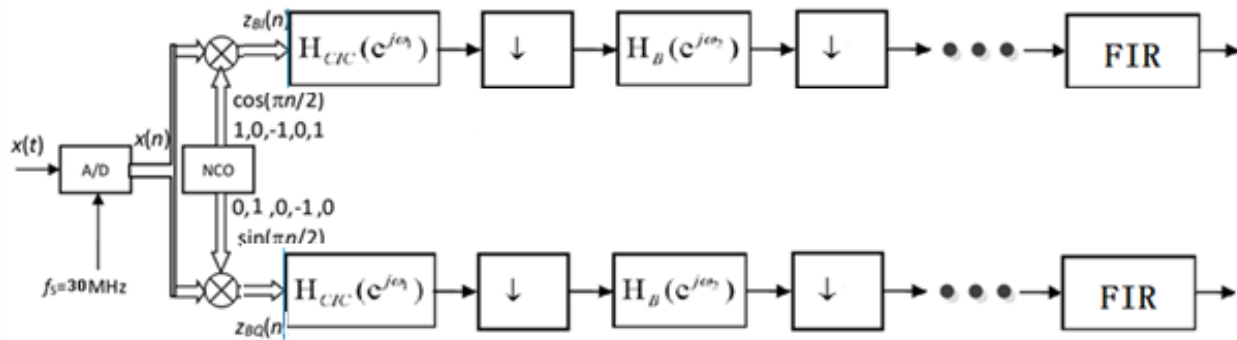
输入采样率 30MHz 的中频信号，设计一个数字下变频器，将中心频率 52.5MHz，带宽 1MHz 的信号正交解调至基带，选择 CIC 滤波器，半带滤波器和 FIR 滤波器作三级抽取，输出最低的数据率。

- 1) 画出下变频器结构；
- 2) 设计三级抽取的倍数，画出 CIC 滤波器的展开结构；
- 3) 画出各级滤波器的频谱图。



四、习题讲解

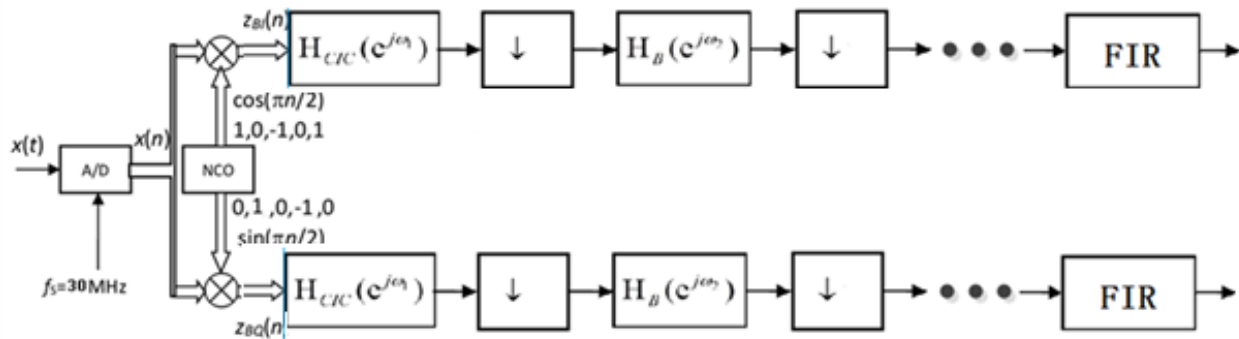
求实求真 大气大为



- 1) NCO 的频率: $\omega = 2\pi * 22.5/30 = 3\pi/2$, 所以应该是 $\cos(n*3\pi/2)$ 和 $-\sin(n*3\pi/2)$, 或者 $\cos(n\pi/2)$ 和 $\sin(n\pi/2)$ 。
- 2) $D_{\max} = f_s/2B = 30/(2*0.5) = 30$, 考虑到 DLPF 的过渡带, 取 $D=28=7*2*2$ (考虑 $D=30$ 在设计 FIR 滤波器时会出现什么问题)

四、习题讲解

求实求真 大气大为



对于第一级抽取滤波器，其 $\omega_c = 2\pi \times 0.5/30 = \pi/30 < \omega_a = 2\pi/7 \approx 0.29\pi$ ，
因此可选择 7 倍抽取 CIC 滤波器作为抽取滤波器。

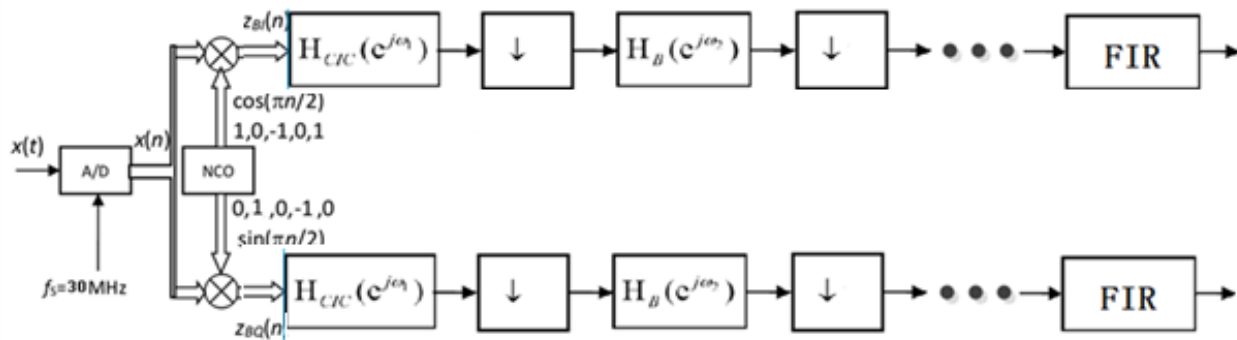
为降低 CIC 滤波器的主副比，利用 5 级级联 CIC 滤波器，则主副比达到 67.3dB。



抽取后的采样频率为： $f_{s2} = 30/7\text{MHz}$

四、习题讲解

求实求真 大气大为



对于第二级抽取 $D_2 = 2$ ，用半带滤波器，其 $\omega_c = 2\pi \times 3.5/30 = 7\pi/30$ ，

$$\omega_a = \pi - \omega_c = 23\pi/30。$$

输出对应的其 $\omega_c = 2 \times 7\pi/30 = 7\pi/15$

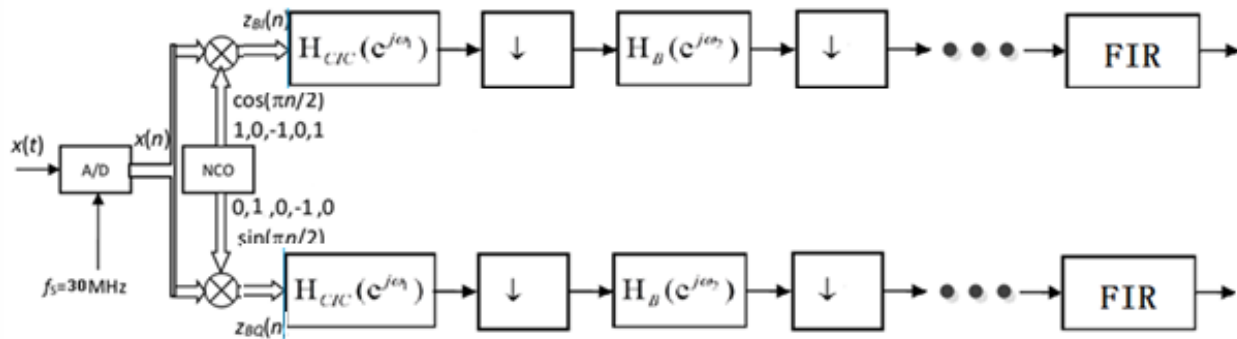
抽取后的采样频率为： $f_{s3} = 30/14\text{MHz} = 15/7\text{MHz}$



电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

四、习题讲解

求实求真 大气大为



HB 滤波器过渡带混叠严重，最后加一级 FIR 滤波器

第四级 FIR 滤波器 $\omega_c = 14\pi/15$ ， $\omega_s = \pi$ ，取纹波系数 $\delta = 0.001$

则其阶数为：

$$N = \frac{60 - 7.95}{14.36 \times (1/2 - 7/15)} + 1 \approx 109$$

抽取后的采样频率为： $f_{s4} = 30/28\text{MHz} = 15/14\text{MHz}$



谢谢
THANKS