

# WCDMA手机关键射频指标分析

环球资源 第三届中国无线电技术研讨会及展览会

2000年8月3-4日，广州

2000年8月7-8日，上海

MAXIM （美国）美信集成产品公司 供稿

撰稿： 王险峰，MAXIM中国区射频产品应用工程师

广州展会参展由MAXIM中国地区销售代理商 英迈国际（中国）有限公司协助组织

广州展会研讨会主讲人：谭磊，MAXIM公司中国北区应用工程师经理

上海展会参展由MAXIM中国地区销售代理商 庆成企业有限公司协助组织

上海展会研讨会主讲人：王险峰，MAXIM中国区射频产品应用工程师

## 内容提纲

- WCDMA手机关键射频指标分析
- WCDMA与GSM900双频双模手机射频单元参考设计

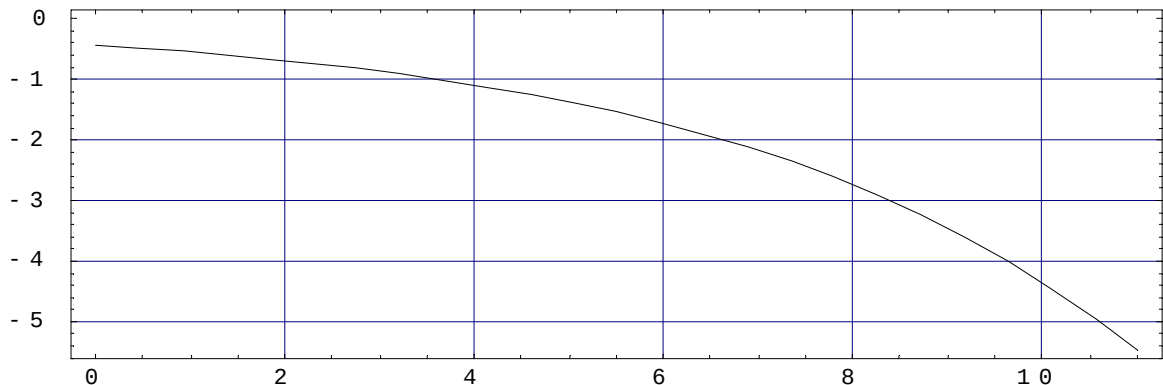
# WCDMA手机若干指标

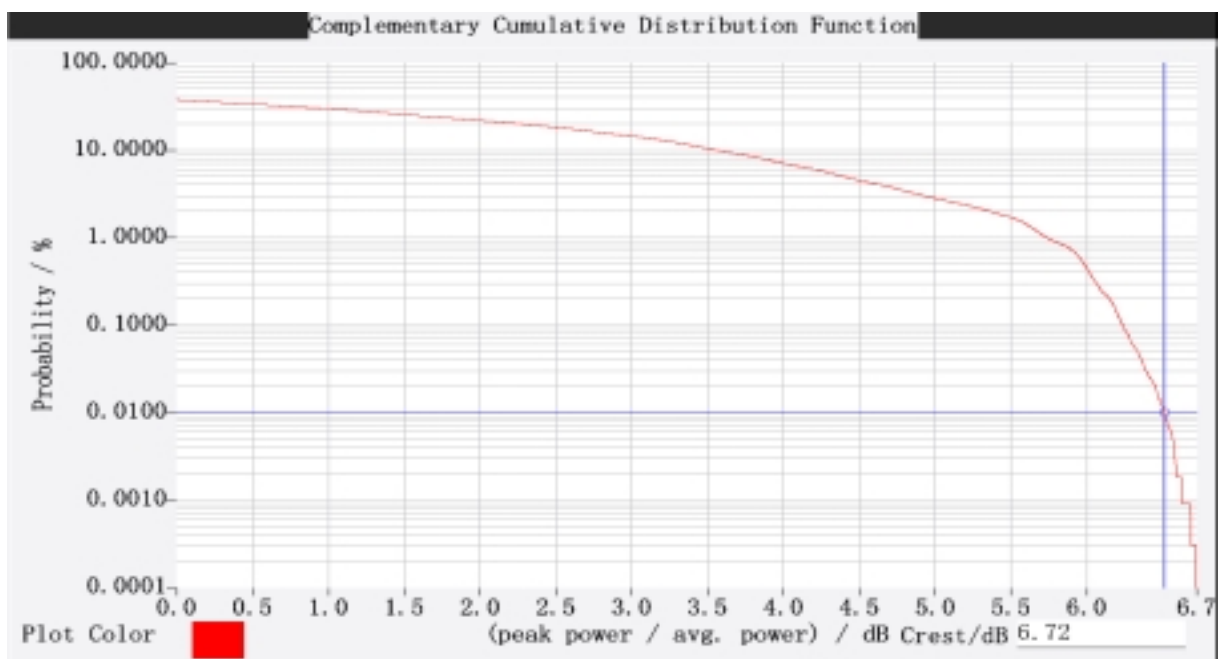
- WCDMA手机发通道基本指标与要求

- 频段：1920MHz ~ 1980MHz
- 最大发射功率根据等级1, 2, 3, 4, 分别为33dBm, 27dBm, 24dBm, 21dBm
- 最小可控输出功率应低于-50dBm
- 根据手机功率等级和最小输出功率可以确定发射通道的AGC动态，对于3类和4类手机，AGC动态可考虑为80dB。
- 邻道功率泄漏：33dB(邻道)，43dB(隔一信道)。（针对3类和4类终端）
- 杂散指标
- 输出频谱应符合频谱模板要求
- 误差矢量（EVM）应小于17.5%
- 峰值码域误差分量要求比平均功率低15dB

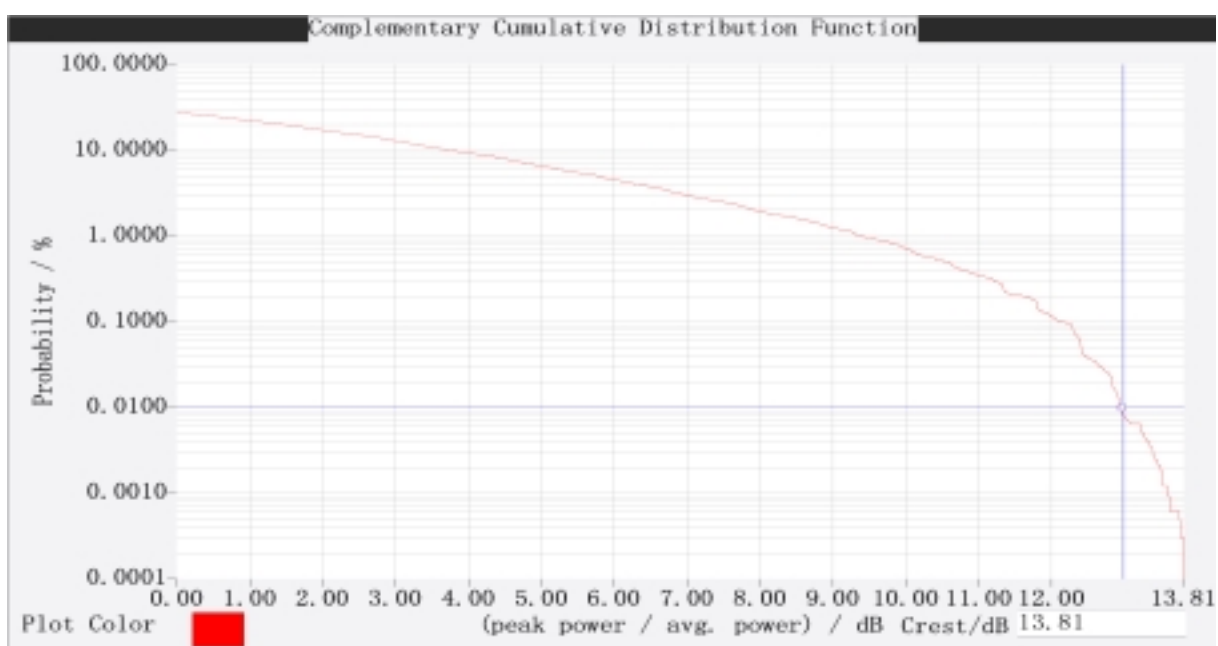
- 峰值系数

- 峰值系数是指信号的峰值功率与平均功率之比，通常用单位1减去累积分布来表示，即CCDF。如下图为白噪声包络的峰值分布，横坐标表示超出平均功率多少dB，纵坐标表示大于该峰值的概率，在此取了对数。
- 下面两张幻灯片分别为WCDMA上行信号与下行信号的CCDF曲线，注上行信号在此包括6个DPDCH和一个DPCCH，扩频码的选取使得峰值系数为平均水平；下行信号包括PERCH、SCCPCH、16个DPDCH，扩频码的选取同样使得峰值系数为平均水平。





- 上行信号包络的CCDF分布



- 下行信号包络的CCDF分布

- 如何估算邻道泄漏——ACLR

- ACLR主要是一反映通道线性的一个指标，WCDMA协议3G TS 25.101 V3.2.2给出了其定义:Adjacent Channel Leakage power Ratio (ACLR) is the ratio of the transmitted power to the power measured in an adjacent channel. Both the transmitted power and the adjacent channel power are measured with a filter that has a Root-Raised Cosine (RRC) filter response with roll-off  $\alpha = 0.22$  and a bandwidth equal to the chip rate
- 给据试验结果，邻道ACLR与通道输出IP3out有如下近似关系：  

$$\text{ACLR(dBc)} = 2 (\text{Pin} - \text{IP3in}) - 7$$
 此经验公式是在单码道工作时得到的。
- WCDMA要求ACLR（邻道）<-33dBc，根据上面的方程可以算出输入信号功率只要低于输入IP3 10dB即可。
- 注：一般器件的非线性根据IP3与1dB压缩点的差可以分为超线性和一般器件，对于差值大于9.6dB的称为超线性器件。在利用上面的公式估算时，如果器件是超线性，在此需要考虑一些余量。

- EVM指标的定义及意义

- WCDMA协议3G TS 25.101 V3.2.2给出了ACLR的定义：The Error Vector Magnitude is a measure of the difference between the measured waveform and the theoretical modulated waveform (the error vector). It is the square root of the ratio of the mean error vector power to the mean reference signal power expressed as a %. The measurement interval is one power control group (timeslot).
- 根据上面定义可以知道EVM是一个统计结果，在一个timeslot内共有2560的测试点，在每个象限内为640个测试点，这些点因通道中各种因素的影响将形成一个分布，如下图所示：
- 右图仅细画了第一象限，图中S为统计均值，M为一实际测试点对应的矢量，E则表示误差分量，则：

$$S = \frac{1}{640} \cdot \sum_i M_i$$

$$\text{EVM} = \sqrt{\frac{1}{639} \cdot \sum_i (M_i - S)^2}$$

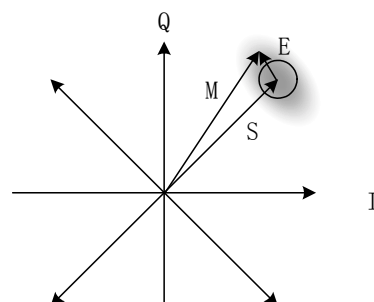


Figure 1

- 影响输出信号EVM指标的几个主要因素
  - 输入I、Q信号幅度不平衡
  - 正交调制器移相误差，即I、Q相位不平衡
  - 载波泄漏
  - 通道滤波器幅频特性失真
  - 通道滤波器相频特性失真
  - 本振相位噪声的影响
  - 非线性产物的影响
  - 所有这些因素的影响可近似认为是独立的，因而在分析计算时可分别考虑，假如单纯有输入I、Q信号幅度不平衡造成的EVM值记为EVM1，正交调制器移相误差造成的EVM值记为EVM2，依次类推，我们可以得到EVM1~EVM7，则总的EVM值为：

$$EVM_{total} = \sqrt{\sum_{i=1}^7 (EVM_i)^2}$$

# WCDMA手机若干指标

- WCDMA手机接收通道基本指标与要求
  - 频段：2110MHz ~ 2170MHz
  - 参考接收灵敏度：DPCH\_Ec = -117dBm/3.84MHz
  - 最大输入信号电平：DPCH\_Ec=-44dBm, 此时接收总功率为-25dBm.
  - 接收机通道AGC动态可考虑为80dB
  - 邻道选择性(ACS)优于33dB（针对3类和4类终端）
  - 阻塞指标
  - 杂散响应指标：-44dBm（干扰功率）
  - 抗双音阻塞指标：干扰分别为-46dBm，点频，偏离信号10MHz；-46dBm，已调干扰，偏离信号20MHz。
  - 杂散辐射辐射：

| 频段   | 接收频段内        | 9KHz~1GHz   | 1GHz~12.75GHz |
|------|--------------|-------------|---------------|
| 杂散电平 | -60dBm/3.84M | -57dBm/100K | -47dBm/100K   |

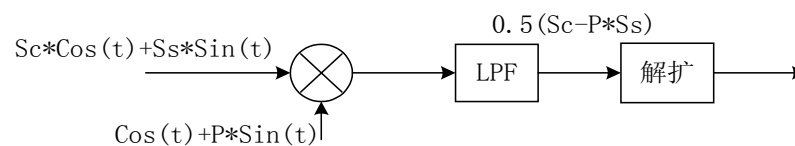
# WCDMA手机指标分析

- 估算接收机噪声系数

- 协议给出最小灵敏度电平为-117dBm/3.84MHz，在如此低电平时，系统的干扰可以认为来自两个方面，即输入热噪声和系统内部产生的热噪声。噪声系数可有下面公式给出：
- $NF < S - n - Eb/No + Ga - Ma$
- 上式中，S为最小灵敏度，等于-117dBm；n为3.84MHz带宽范围内290K时的热噪声功率，等于-108.1dBm；Eb/No取5.2dB；Ga为系统的处理增益，等于25dB；Ma是考虑的余量，在此取1.9dB(发射对接收的影响等因素)。将这些数值代入上式计算得：NF < 9dB
- 在下面的分析中，接收机噪声系数按9dB考虑。

# WCDMA手机指标分析

- 估算相位噪声对信噪比的影响



- 考虑一个简单模型如上图所示，输入信号可以分解为相互正交的两项，P为相位噪声，可以看出在输出中包含一项噪声 $0.5P \cdot Ss$ 。在抽样判决点处噪声功率与信号功率比为：

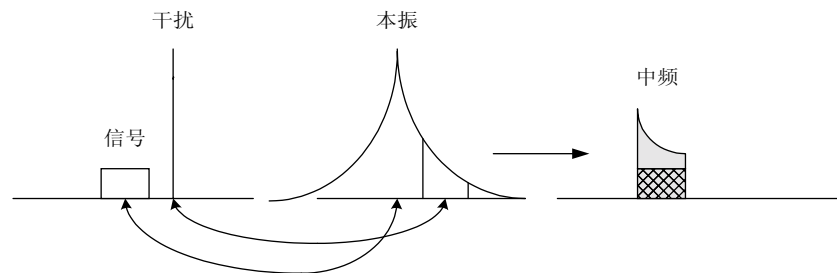
$$\frac{N_p}{S} = \int_0^{\infty} G_p(f) \cdot \frac{1 - \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot T)}{\pi^2 \cdot f^2 \cdot T^2} df$$

- 注：

- 上式中，Sc、Ss、P均为随机过程，P与Sc及Ss统计独立，Gp为本振单边相位噪声谱密度函数。
- 上式中，T每比特宽度，在WCDMA中，扩频因子为256时，T=66.7uS。
- 本振噪声按分析EVM时给定的指标考虑，计算得该噪声较信号低30dB。

# WCDMA手机指标分析

- 在有强干扰时，本振相噪对信号的影响



- 协议中在讨论抗双音阻塞指标时提到在偏离信号10MHz处存在点频信号 -46dBm，此时信号电平为-114dBm。则有倒易混频公式，容易计算出本振在偏离中心10MHz处，分辨带宽取3.84MHz时，相位噪声为：

$$PH = 46 - 114 - C/I - Ma = -68 + 18 - 10 = -60 \text{ dBc/3.84M} = -125.8 \text{ dBc/Hz}$$

- 注，上式中考虑了10dB余量，由结果可以看出WCDMA手机对接收RF本振远端相位噪声要求不高。

# WCDMA手机指标分析

- 最大输入信号电平对系统的要求

- 协议规定最大输入电平为-25dBm，此时DPCH信道功率为-44dBm，系统满足误码率0.1%的要求。
- 如单纯考虑非线性产物导致误码率下降，临界点噪声功率等效到输入端为  $-44 - C/I = -44 + 18 = -26 \text{ dBm}$ ，该电平几乎等于输入电平，即便输入电平达到1dB压缩点，也不会产生这样大的非线性干扰。
- 通过上面分析，我们可以考虑输入1dB压缩点取为-20dBm。
- 一般手机用有源混频器输入1dB压缩点为-10dBm，如考虑前端低噪声放大器增益为20dB，则不能满足要求，故最好选用有高低增益模式的低噪声放大器，如MAXIM公司的MAX2561、MAX2652、MAX2653等。

# WCDMA手机指标分析

- 杂散响应指标对系统的要求

- 一般响应最强的杂散点落在本振与信号的中间点上，被称为2-2阶响应点，也就是说在接收信号在与本振混频时，该干扰的平方与本振的平方项中有一个分量落在中频带内。
- 在选择中频频点时，如果比较低，则该杂散点会落在带内，射频前端滤波器则无法提供额外的抑制。
- WCDMA终端协议提到杂散响应点电平为-44dBm，此时信号电平抬高3dB以保持误码指标，也就是说此时杂散的2-2阶响应产生的功率恰好等于热噪声，即 $-108(n)+9(NF)=-99\text{dBm}$ 。在不考虑前端滤波器提供的抑制时，要求混频器2-2阶响应衰减为55dB。

# WCDMA手机指标分析

- 接收前端（低噪放+混频）对IP3的要求

- 协议中有两个指标对射频前端IP3提出要求，一是抗双音阻塞指标，该指标对LNA+MIXER一起提出要求，另一个是ACS指标，该指标对LNA的线性提出要求。
- 抗双音阻塞指标：干扰分别为：-46dBm，点频，偏离信号10MHz；-46dBm，已调干扰，偏离信号20MHz。此时信号电平抬高3dB，也就是说整体干扰抬高了3dB。如仅考虑交调产物对系统的影响，则容易计算出：前端输入IP3应大于-19.5dBm。在设计时应适当放出一些余量。
- ACS指标：偏离信号5MHz存在一调制干扰，电平-52dBm，导致信号抬高到-103dBm，比参考灵敏度高出14dB，以满足误码要求。此时的干扰电平同样抬高14dB，等于 $KTB+NF+14=-108+9+14=-85\text{dBm}$ 。该功率可以分做两部分考虑，一是-52dBm的干扰通过滤波直接影响解调，一般认为该部分较大，从而提出滤波器的邻道抑制要求；另一部分是该干扰与手机发射泄漏至LNA前端的信号产生交叉调制，我们可以考虑这一部分为-90dBm，同时设发射泄漏等效到天线口功率为-27dBm，根据下面的公式可以计算出前端LNA的输入IP3应大于-6.9dBm。
- $IP3in > 0.5 (Pa + 2 * PI - Pm + 2.2)$
- 上式中，Pa是指邻道干扰功率，PI为发射泄漏功率，Pm为交叉调制产物，2.2为修正项，它与信号的统计特性有关，此处假定信号类似白噪声。



## WCDMA/GSM双频双模手机射频单元参考设计方案

- 该部分主要内容
  - 为何要提出此种组合的双模手机
  - 设计中的关键芯片
    - MAX2360 单片覆盖整个发射通道
    - MAX2321 双通道LNA加混频
    - MAX2310 双通道收中频处理芯片
    - MAX4473 GSM功放功率爬坡控制
  - 参考设计的详细功能框图

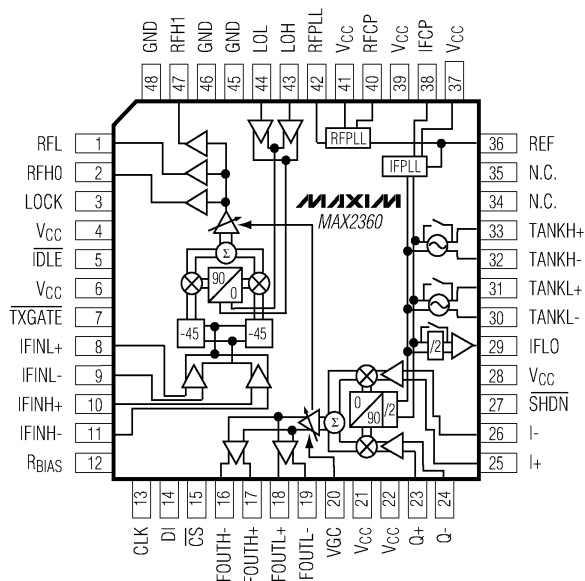
## WCDMA/GSM双频双模手机射频单元参考设计方案

- 为何要提出此种组合的双模手机
  - 在第二代数字蜂窝系统中，GSM系统占有绝对优势，单就中国，GSM用户数超过6千万。将来第三代移动通信的发展必将考虑到现有的巨大投资。
  - WCDMA与GSM系统在核心网上完全兼容。
  - 基于以上两点，可以预见该种组合的手机将具有很大的市场潜力。

# WCDMA/GSM双频双模手机射频单元参考设计方案

## • 关键芯片：MAX2360

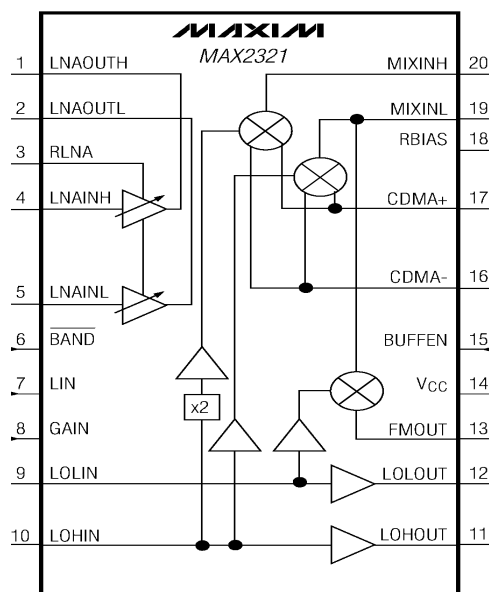
- 包含的功能模块：I/Q正交调制器、中频VGA、SSB上变频器、射频VAG、中频/射频锁相环、中频VCO
- 特点：芯片有很多功能可通过编程控制，如：SSB混频取哪个边带；中频与射频增益均衡，以提高线性指标；中频有两个射频有三个，如何选取；选用哪个中频VCO等。
- 关键指标：
  - ACPR -54dBc@+7dBm输出时
  - 100dB增益动态
  - 2.7~5.5V供电电压
  - 级联EVM值小于3%



# WCDMA/GSM双频双模手机射频单元参考设计方案

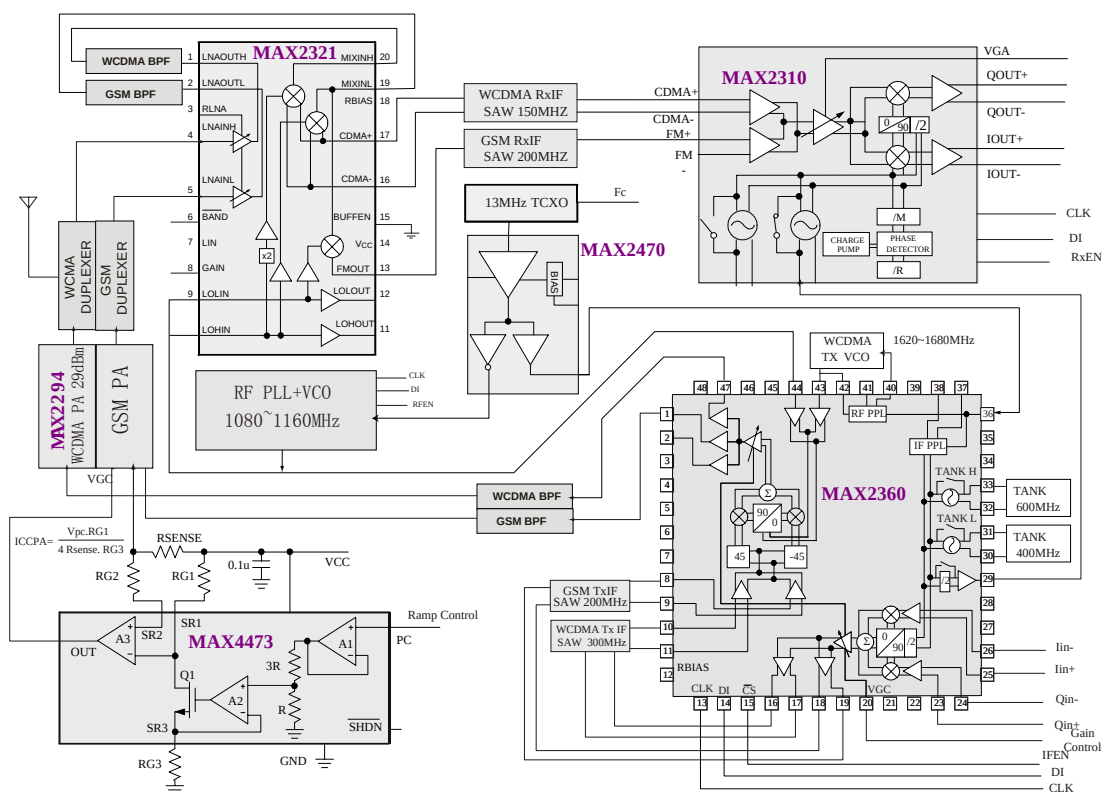
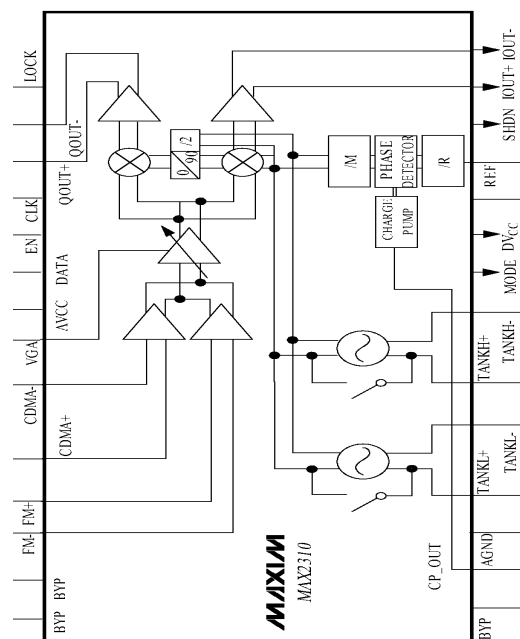
## • 关键芯片：MAX2321

- 包含的功能模块：两个低噪声放大器、三个混频器、一个倍频器，用于本振信号倍频
- 关键指标：
  - 2.7V~3.6V供电电压
  - 低噪声放大器分三种模式，混频器分两种模式
  - LNA指标：
    - 15dB Gain, 1.6dB NF@ PCS, 1.4dB NF @Cellular, +7dBm IIP3\_\_\_\_HGHL Mode
    - 0dB Gain, 5dB NF @PCS, 4dB NF @Cellular, +14 dBm IIP3 @PCS, +16dBm IIP3 @Cellular\_\_\_\_LGHL Mode
  - Mixer 指标：
    - 11dB Gain, 11dB NF, 4dBm IIP3, 1dBm P1dBout, @PCS band and HGHL/LG Mode
    - 11dB Gain, 11dB NF, 2dBm IIP3, 0dBm P1dBout, @PCS band and HGHL Mode



# WCDMA/GSM双频双模手机射频单元参考设计方案

- 关键器件：MAX2310
- 包括的功能模块：VGA、正交解调器、锁相环、2个VCO
- 特点：该器件的很多功能可通过编程进行控制，如选择哪个VCO工作，选择哪一个通道，FM采用何种方式解调，本振是采用内部锁相环还是外部注入等
- 关键指标：
  - VGA 增益动态超过110dB
  - 中频频率范围 40 ~ 300MHz
  - IP1dB -6.4dBm @ -35dB Gain CDMA Mode
  - IP1dB -38.3dBm @ +35dB Gain CDMA Mode



•GSM+WCDMA 手机射频详细功能框图

# WCDMA/GSM双频双模手机射频单元参考设计方案

- 参考设计的频率关系
  - WCDMA的接收中频为150MHz
  - WCDMA的发射中频为300MHz
  - GSM收发中频均采用200MHz
  - WCDMA发射频本振为1620~1680MHz
  - WCDMA接收射频本振为2260~2320MHz
  - GSM发射频本振为1080~1115MHz
  - GSM收射频本振为1125~1160MHz
- 具体实现
  - GSM收发中频本振共用，采用MAX2360自带锁相环。
  - WCDMA收发中频本振共用，采用MAX2360自带锁相环，MAX2360中频本振输出端分频后提供给接收通道。
  - GSM射频本振共用，采用独立锁相环及高性能VCO。
  - WCDMA发射频本振，采用MAX2360提供的RF锁相环，外接VCO。
  - WCDMA接收射频本振与GSM射频本振共用，MAX2321芯片内有一个2倍频器，将输入的本振信号倍频到所需频段。
- 主要优缺点
  - 本振多处共用，从而节约成本。
  - 频率关系简单，从而降低了内部组合干扰。
  - GSM收发采用相同中频，从而减少SAM的种类，从而节约成本。
  - WCDMA收中频较低，对半中频杂散响应不利。（此处可以满足要求）

## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装



该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

## 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>