

CDMA 手机射频前端设计中的几个关键问题

Maxim 公司 Walid Y. Ali-Ahmad, 徐继红译

CDMA (码分多址) 通信技术的实际应用始于 80 年代末、90 年代初。由于这种通信技术具有其他技术无法比拟的高频谱利用率, 对于缓解频率资源紧张、降低运营成本、提供优质服务等十分有利, 基于这种通信技术的无线网络正在世界范围内稳步发展。CDMA 蜂窝系统的实现方案最早由 Qualcomm 公司提出, 后来, 由 TIA 确定其为 IS-95 标准。

恶劣的工作环境对 CDMA 手机的性能提出了苛刻的要求, 尤其是需要在低于 0dB 载-干比的接收信号中解读出有用的语音或数据信号。要求 CDMA 手机有一个高性能的射频前端及 DSP 基带处理电路。本文简要分析 TIA/EIA/IS-98-A 过渡性标准关于 CDMA 蜂窝式移动台接收单元的最低射频规范, 基于对这些最低标准的理解, 估算出在设计 CDMA 蜂窝电话射频前端电路时需要遵从的射频参数。

IS-95 前向信道及基本 CDMA 方程

CDMA 系统基于直序扩频通信技术。其基本原理就是利用一个伪随机(PN)序列对基带信号进行调制, 由于 PN 序列的码片速率远大于基带信号速率, 经过调制后, 基带信号频谱被展宽至 PN 序列的带宽, 并且具有了伪随机和类似噪声的特性。接收机收到信号后, 利用一个与发送端 PN 码同步的副本作相关运算进行解调。由于 PN 序列是一种自相关的二进制序列, 不同 PN 序列之间具有很低的互相关。当相关器的 PN 序列与嵌入 CDMA 信号之中的 PN 序列相匹配时, 目标信号被解扩至扩频前的原始带宽, 而与该序列不匹配的输入信号(接收器噪声、干扰信号或其它不同步的 CDMA 信号)则被相关器的 PN 序列扩频至 PN 序列的带宽。紧跟在解扩器之后的数字滤波器具有与基带信号相同的带宽, 可以完全选通基带信号而只允许干扰信号频谱中的一部分通过。结果是出现在相关器输出端的干扰信号(I_{corr_out})相比于输入端(I_{corr_in})被削减了一定的比率, 该比率就是 CDMA 系统的传输带宽(BW_{RF})与基带信号带宽(R_{INFO})之比。相关器输出端的载-干比($(C/I)_{corr_out}$)也相应增加了同样的比率(相比于输入端的值 $(C/I)_{corr_in}$)。这个比率就是 CDMA 系统的处理增益(G_p):

$$G_p = \frac{BW_{RF}}{R_{INFO}}; \quad (1)$$

$$I_{corr_out} = \frac{I_{corr_in}}{G_p}; \quad (2)$$

$$(C/I)_{corr_out} = (C/I)_{corr_in} \cdot G_p; \quad (3)$$

经过数字滤波后, 相关器输出端的信号和干扰具有相同的带宽(R_{INFO}), 因此有:

$$(C/I)_{corr_out} = \frac{E_b \times R_{INFO}}{N_t \times R_{INFO}} = \frac{E_b}{N_t}; \quad (4)$$

$$\Rightarrow \frac{E_b}{N_t} = \left(\frac{C}{I} \right)_{in} \cdot G_p; \quad (5)$$

E_b/N_t 定义为相关器输出端, 平均每个信息位的能量与等效噪声功率谱密度之比。噪声功率谱密度包括热噪声和来自于其他干扰源的干扰。扩频系统中, 干扰信号在解扩器中被转换为噪声。

每个 IS-95 前向 CDMA 信道（从基站到移动台）由多个逻辑信道组成，它们占用相同的频带，并共享一个和蜂窝基站或扇区相关的导频 PN 码相位。这些逻辑信道包括一个导频信道，最多一个同步信道，最多 7 个寻呼信道，和最多至 63 个业务信道。在移动台接收机内，这些逻辑信道可通过一个基于 Walsh 函数的 64 位正交 PN 码加以区分。业务信道用以承载单一用户的业务信息（主要是语音），所以下面的讨论主要集中于对于前向业务信道的接收性能。

声码器输出的全速率语音信号速率为 (R_{INFO}) 9600bps，然后经卷积编码、块交织和数据扰码后，业务信道的数据被一个特定的正交 Walsh 码 BPSK 调制，然后再由一对基站 PN 码 QPSK 调制。最终单一用户的业务信道数据速率达到码片速率 (1.2288Mcps)。在基站扇区发送器的输出，所有业务信道和导频、同步及寻呼信道被相互叠加在一起，然后安排到同一射频信道上发射出去。因此，每一用户的业务信道只占前向 CDMA 信道总功率的很小部分。经数字滤波后，前向 CDMA 信道的 3dB 带宽 (BW_{RF}) 为 1.23MHz。

假设在基站天线接口处测得前向 CDMA 信道功率为 I_{or} ，经过单一路径被移动台接收，在天线入口处测得接收信号功率 $\hat{I}_{or}$ 。前向业务信道平均每个 PN 码片的发送功率占整个前向信道发

送功率的比率为 $\frac{Traffic E_c}{I_{or}}$ 。前面提到，各种干扰信号在解扩器输出端类似于限制带宽的白

噪声干扰源。我们可以用一个限制带宽的白噪声干扰源 I_{oc} 来模拟接收机热噪声、连续波干扰和来自于其他蜂窝的 CDMA 信号等干扰源。根据前面的公式 (5)，我们可以得到以下有关单一用户前向业务信道的基本 CDMA 方程：

$$\begin{aligned} Traffic \frac{E_b}{N_t} &= \frac{\frac{Traffic E_c}{I_{or}} \cdot \hat{I}_{or}}{I_{oc}} \times G_p \\ \Rightarrow Traffic \frac{E_b}{N_t} &= \frac{\frac{Traffic E_c}{I_{or}} \times G_p}{\frac{I_{oc}}{\hat{I}_{or}}} ; \end{aligned} \quad (6)$$

灵敏度和动态范围

CDMA 系统中，基站和移动台之间的信息交换是以帧为基本单位的。每帧长 20ms，包含了业务信道（语音或数据）、接入信道及寻呼信道的信息。因此，对于 CDMA 移动台性能的评价都是建立在一定的帧误率 (FER) 基础上的。IS-98-A 关于 CDMA 移动接收机最低灵敏度和动态范围规范见表 1 所示。最低灵敏度定义为：保证接收 FER<0.5% 所需的最低 CDMA 信道功率。表 1 中考核条件 1 确定了前向 CDMA 信道接收灵敏度 -104dBm。

表 1. 灵敏度, 动态范围最低要求

参数	单位	考核 1	考核 2
$\hat{I}_{or}$	dBm/1.23MHz	-104	-25
$\frac{Traffic E_c}{I_{or}}$	dB	-15.6	

根据 IS-98-A 标准，在采用 BPSK 数据调制及 9600bps 全速率语音编码时，满足 0.5% FER 要求的最低 $Traffic \frac{E_b}{N_t}$ 为 4.5dB，在此基础上增加 2dB 的设计裕量，则要求 $Traffic \frac{E_b}{N_t} > 6.5dB$ 。

根据前面的 CDMA 方程：

$$Traffic \frac{E_b}{N_t} = \frac{Traffic E_c}{I_{or}} + 10 \log \frac{BW_{RF}}{R_{INFO}} + \hat{I}_{or} - I_{oc} ; \quad (7)$$

其中：

$$\frac{TrafficE_c}{I_{or}} = -15.6\text{dB}$$

$$10\log\frac{BW_{RF}}{R_{INFO}} = 10\log\frac{1.2288\text{Mcps}}{9600\text{bps}} = 10\log(128) = 21.1\text{dB} \quad (\text{处理增益})$$

$$\hat{I}_{or} = -104\text{dBm}$$

据此可以推算出，要满足最低灵敏度要求及 2dB 设计裕量就必须使接收机天线入口处的干扰电平 $I_{oc} \leq -105\text{dBm}$ (1.23MHz 带宽)。

在考虑接收灵敏度时需主要考虑两个纯高斯型白噪声干扰源：接收单元等效输入热噪声功率谱密度 (N_o) 和发送单元热噪声落入接收频带内的功率谱密度 (N_{TX})。 N_o 由接收单元的噪声系数 (NF) 确定，而 N_{TX} 则取决于发射部分的热噪声通过双工器向接收器输入端的泄漏。典型发射机功放的输出热噪声功率谱密度为 -135dBm/Hz ，假设双工器衰减 -43dB ，则到达天线入口处的 N_{TX} 为 -178dBm/Hz 。由于 $I_{oc} = (N_o + N_{TX}) \cdot BW_{RF}$ ，因此要求 $N_o \leq -166.2\text{dBm/Hz}$ 。转化为

对噪声系数的要求则为： $NF_{RX} \leq 7.8\text{dB}$

表 1 中考核条件 2 确定了 CDMA 接收机在满足 $FER \leq 0.5\%$ 条件下的最小动态范围之上限，实际的接收机应该能够处理更高电平的信号。根据考核 1 和考核 2 的要求可以得到最小动态范围要求为 79dB。CDMA 系统中的信息一般采用双相调制，调制后的信号没有恒定包络，典型的峰-均比可达 10dB。为保证正确地检测和解调接收信号，移动台接收单元应保证在允许接收信号功率范围内保持良好的线性。

典型的 CDMA 移动接收机具有 90dB 的设计动态范围，要求具有超过 90dB 的增益控制范围。混频器输入 1dB 压缩点是限制 CDMA 接收机线性范围上限的主要因素，一般在 -30dBm 至 -20dBm 之间。为解决这个问题，前端 LNA 应该具有超过 15dB 的线性增益控制范围，或者是级差 15dB 至 20dB 的阶跃增益控制。

单音干扰

当距离 CDMA 信道一定频偏处有一单音干扰信号时，会降低移动台的接收灵敏度，这主要是由于不理想的前端电路特性（主要是非线性）使干扰信号混入有用信号频带内。IS-98-A 标准关于移动台抗单音干扰的规范见表 2 所示。

表 2. 抗单音干扰最低要求

参数	单位	考核 1	考核 2
单音频偏	kHz	-900	+900
单音功率 (P_{st})	dBm	-30	
$\hat{I}_{or}$	dBm/1.23MHz	-101	
$\frac{TrafficE_c}{I_{or}}$	dB	-15.6	

在表 2 所规定的考核条件下，接收机的帧误率不应超过 1%。根据 IS-98-A 标准，在采用 BPSK 数据调制及 9600kbps 全速率语音编码时，获得 1% FER 所需的最低 $Traffic \frac{E_b}{N_t}$ 为 4.3dB。同样，

为获得优化的接收机性能，我们在此基础上再增加 1.5dB 设计裕量，即要求 $Traffic \frac{E_b}{N_t} \geq 5.8\text{dB}$ 。利用方程 (7) 我们可以计算出所允许的干扰电平 $I_{oc} \leq -101.3\text{dBm}$ 。在考虑单音干扰时， I_{oc} 由接收单元热噪声 (N_o)、发送单元热噪声 (N_{TX})、以及由单音干扰引起的等效带内干扰 (I_{st})

组成, 即 $I_{oc} = I_{st} + (N_o + N_{TX}) \cdot BW_{RF}$ 。引用前面的计算结果 ($N_o = -166.2 \text{ dBm/Hz}$, $N_{TX} = -178 \text{ dBm/Hz}$), 得到 $I_{st} \leq -103.7 \text{ dBm/1.23 MHz}$ 。注意 I_{st} 是由单音干扰引起的、落入接收频带内的等效输入干扰电平。

这种单音干扰常常是由附近的模拟蜂窝基站所发射的窄带 AMPS 信号。在移动台的前端电路, 由于不理想的电路特性, 带外的单音干扰会产生两种带内的干扰成分。

第一种干扰成分是通过互易混频而产生的 (如图 1 所示)。主要是由于接收机的 UHF 频段 VCO 产生的本振信号中含有相位噪声 (Φ_N), 当接收信号经过 LNA 预放大送入 UHF 混频器进行下变频时, 含有相位噪声的本振信号和单音干扰信号相混频后产生带内干扰, 表示为 I_{RMXG} 。由于接收前端的 3 阶非线性, 通过双工器泄漏过来的一部分发射信号和单音干扰信号交叉调制后产生第二种带内干扰成分 (图 2), 示为 I_{XMOD} 。假设漏过 LNA 的发送信号被其后的滤波器滤除, 则交叉调制主要产生于 LNA。将这两种干扰分别折算到天线入口处, 叠加而成 I_{st} : $I_{st} = I_{RMXG} + I_{XMOD}$ 。

按照表 2, 单音干扰距 CDMA 信道中心频率 900kHz, 用于 CDMA 移动台的 UHF VCO 在 900kHz 频偏下具有 -137 dBc/Hz 的典型相位噪声。我们可以按下式计算互易混频: $I_{RMXG} = P_{st} + \Delta \Phi_N$, 其中 $\Delta \Phi_N$ 是以 900kHz 频偏为中心, 在 1.23MHz 频带对相位噪声积分得到。假设 VCO 的相位噪声在 285kHz 至 1515kHz (PLL 的通带宽度) 频率范围内具有 $1/f^2$ 分布特性, 积分求得 $\Delta \Phi_N = -75.6 \text{ dBc}$, 进而得到 $I_{RMXG} = -105.6 \text{ dBm}$ (1.23MHz 内)。

前面已经根据 IS-98-A 标准规定的考核规范得到 $I_{st} = I_{RMXG} + I_{XMOD} \leq -103.7 \text{ dBm}$, 所以对交调分量的要求为: $I_{XMOD} \leq -108.2 \text{ dBm/1.23 Hz}$ 。根据对于 CDMA 系统交调现象的分析, 假设交调主要产生于 LNA, 我们可以按照下式来估算交调分量:

$$I_{XMOD_LNA} (\text{dBm}) = 2 \cdot P_{TX} + P_{st_LNA} - 2 \cdot IIP_{3_LNA} - 3 \text{ dB}$$

其中 P_{TX} 是发射信号漏入 LNA 输入端的信号功率, IIP_{3_LNA} 是 LNA 的输入 3 阶互调交越点。从该式可以看出, $I_{XMOD_LNA} (\text{dBm})$ 类似于 3 阶互调的产物。-3dB 代表交叉调制产生的信号只有一半落入带内, 另外一半位于带外。

CDMA 系统中, 当接收信号接近于灵敏电平时, 功放输出功率为 $+28 \text{ dBm}$ 。典型的双工器隔离度为 -58 dB , 因此到达 LNA 输入的 $P_{TX} = -30 \text{ dBm}$ 。考虑双工器典型 -3 dB 的插入损耗, 到达 LNA 输入的单音干扰电平为 -33 dBm 。那么利用式 13 可以得到要使交叉调制项不超出 -111.2 dBm , 就要求 LNA 的输入三阶互调交越点 (IIP_{3_LNA}) 不得低于 $+7.6 \text{ dBm}$ 。

半中频 (1/2IF) 干扰

选用比较低的 IF 频率时会产生半中频干扰问题。当单音干扰信号位于 CDMA 射频信号与 UHF 本振信号中间时, 在混频中产生的 (2X2) 杂散项进入有用信号频带内 (图 3)。

此种情况下的等效白噪声干扰源 (I_{oc}) 包含接收单元热噪声 (N_o)、发送单元热噪声 (N_{TX})、

以及半中频混频后产生的带内干扰 (I_{st})。按照同样的方法, 并考虑对于最低标准的 $Traffic \frac{E_b}{N_t}$

增加 1dB 裕量 ($\geq 5.3 \text{ dB}$), 我们可以得到 $I_{st} \leq -102.9 \text{ dBm/1.23 Hz}$ 。

注意到 I_{st} 是等效至接收器输入端的干扰电平, 从天线接口到混频器输入端的典型级联增益为 7dB, 所以到达混频器输入的单音干扰电平 (P_{st_MXR}) 为 -23 dBm , 而折合到混频器输入端的杂散干扰电平应小于 $-95.9 \text{ dBm/1.23 MHz}$ 。所以, 在混频器中我们要求对于 (2X2) 杂散项的抑制: $\Delta_{1/2-IF} \geq 73 \text{ dBc}$ 。混频器对于 (2X2) 杂散项的抑制和其 2 阶交越点 (IIP_{2_MXR}) 有关。我们可以

根据下式计算对于混频器 IIP_{2_MXR} 的要求: $IIP_{2_MXR} = P_{st_MXR} + \Delta_{1/2-IF} \Rightarrow IIP_{2_MXR} \geq +50 \text{ dBm}$ 。

双音干扰

当在指定信道外存在两个相邻的单音干扰时，由于接收机的奇次非线性所产生的 3 阶互调项会落入有用的 CDMA 信道内产生带内干扰。针对这种干扰，IS-98-A 标准制订了三种不同电平的考核规范，并要求接收机帧误率小于 1%。

有理由相信，接收机的 3 阶非线性是产生 3 阶互调干扰的主要因素。下面针对高低两种电平的双音干扰讨论对于接收机输入 3 阶互调 (IIP_3) 的要求，对于中等电平的双音干扰可用同样的方法处理。

表 3. 弱双音干扰考核标准

参数	单位	考核 1	考核 2
音 1 频偏	kHz	-900	+900
音 1 功率 (P_{st1})	dBm	-43	
音 2 频偏	kHz	-1700	+1700
音 2 功率 (P_{st2})	dBm	-43	
$\hat{I}_{or}$	dBm/1.23MHz	-101	
$\frac{Traffic E_c}{I_{or}}$	dB	-15.6	

表 4. 强双音干扰考核标准

参数	单位	考核 1	考核 2
音 1 频偏	kHz	-900	+900
音 1 功率 (P_{st1})	dBm	-21	
音 2 频偏	kHz	-1700	+1700
音 2 功率 (P_{st2})	dBm	-21	
$\hat{I}_{or}$	dBm/1.23MHz	-79	
$\frac{Traffic E_c}{I_{or}}$	dB	-15.6	

两种情况中，双音频率间隔为 800kHz，距离较近的干扰信号或者高于、或者低于 CDMA 中心频率 900kHz。所产生的 3 阶互调项则位于 CDMA 信号带宽内，高于、或者低于中心频率 100kHz（图 4）。

在弱双音情况（表 3），等效白噪声干扰源 I_{oc} 包含接收单元热噪声 (N_o)、发送单元热噪声 (N_{Tx})、

和由 3 阶互调产生的等效干扰源 I_{IM3} 。和前面的讨论一样，我们针对最低标准的 $Traffic \frac{E_b}{N_t}$ 增

加 1.5dB 裕量 ($\geq 5.8\text{dB}$)，得到 $I_{oc} \leq -101.3\text{dBm}/1.23\text{Hz}$ ，并进一步得到 $I_{IM3} \leq -103.7\text{dBm}/1.23\text{Hz}$ 。

已知 $P_{st1} = P_{st2} = -43\text{dBm}$ ，所以要求对于 3 阶互调项的衰减量应为 $\Delta_{IM3} \geq 60.7\text{dB}$ 。接收机输

入 IP_3 可按下式计算： $IIP_3(\text{dBm}) = P_{st} + \frac{\Delta_{IM3}}{2}$ ，因此对于弱双音干扰情况，要求接收机输

入 $IP_3 \geq -12.7\text{dBm}$ 。

对于强双音情况，由于 CDMA 信号高出灵敏电平 25dB，可以忽略噪声的影响，等效白噪声干扰源主要由 3 阶互调产生。类似地，我们留出 1.5dB 裕量，可以计算出对于接收机输入 IP_3 的要求： $IP_3 \geq +8.15\text{dBm}$ 。

上述计算表明，CDMA 接收机至少需要两种不同的线性模式。正如我们在动态范围的讨论中所提到的，这可以通过可变增益或阶跃增益的 LNA 而获得。

小结

要设计一个高性能的 CDMA 手机射频前端，有必要对 IS-98-A CDMA 标准加以仔细的分析，从

中分解出关于射频前端的系统级和模块级规格。着手设计时应特别注意窄带干扰信号的作用，因其高频谱密度通过相关器后比宽带信号具有更高的功率密度。需要仔细注意接收部分的互易混频、交叉调制、半中干扰和互调等其他一些射频系统的寄生响应。

Maxim 公司推出了一系列完整的 cdmaOne™ 射频前端芯片组，可用于蜂窝式双模 CDMA/AMPS 电话，双频（蜂窝/PCS）、双模 CDMA 电话（见图 5），以及单模 CDMA 电话（蜂窝或 PCS）。这些芯片组采用先进的 SiGe 工艺制造，具有很高的性能，达到甚至超过了 GaAs 工艺的器件，同时又保持很低的功耗和低成本。

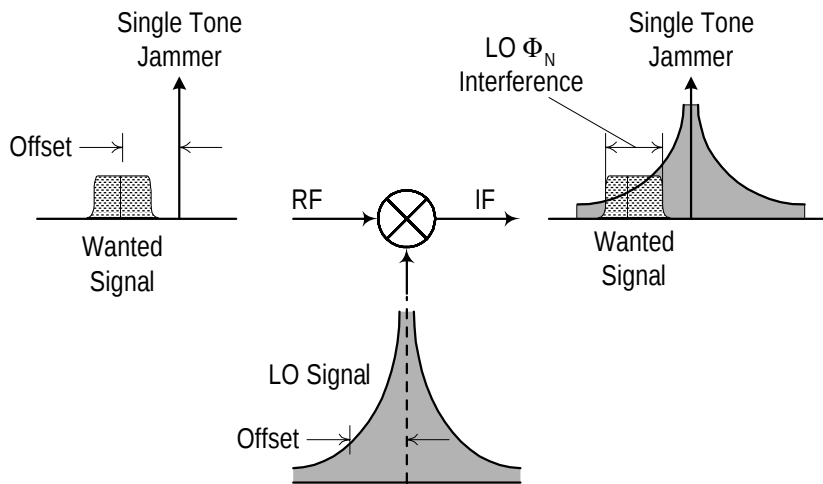


图 1. 互易混频

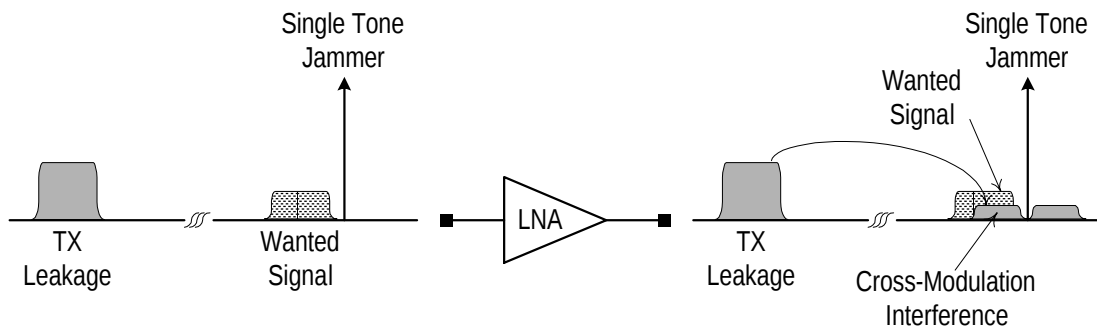


图 2. 交叉调制

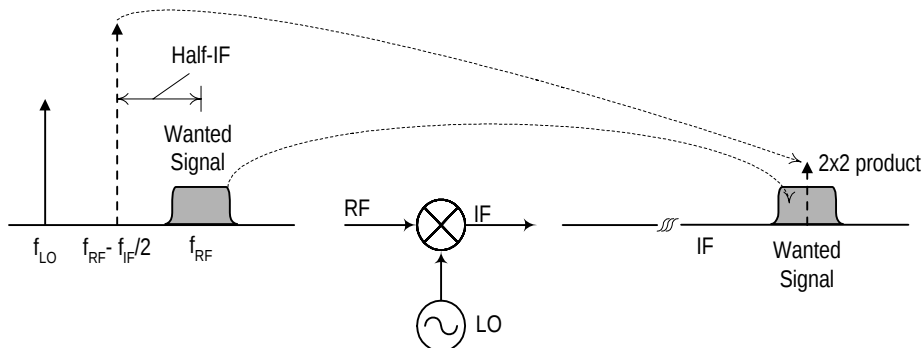


图 3. 半中频干扰

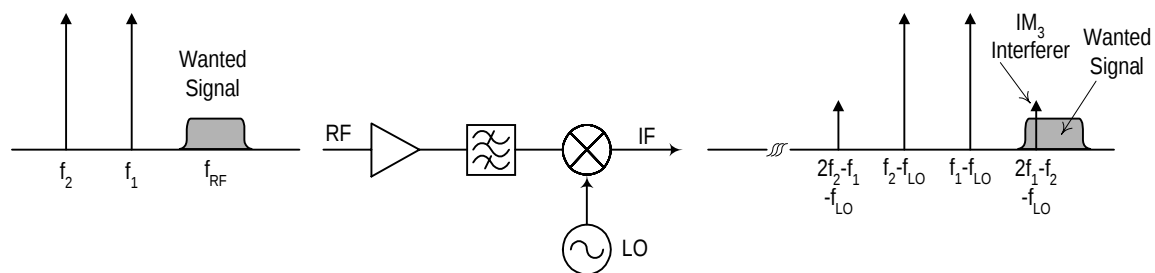


图 4. 双音干扰

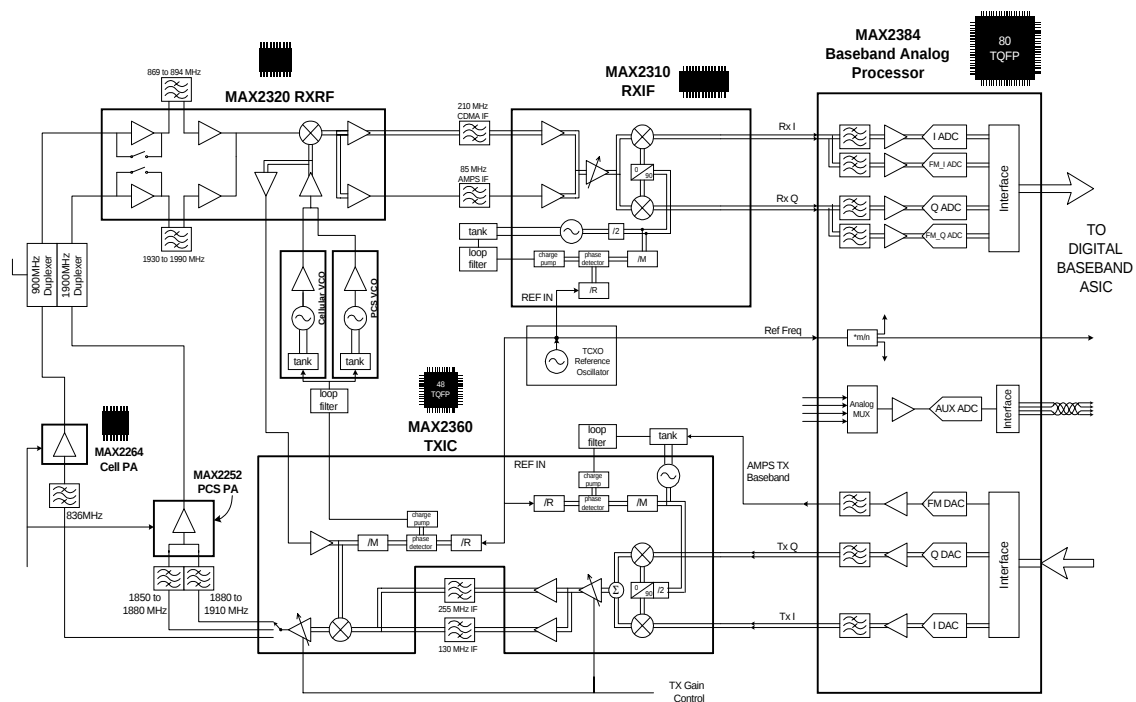


图 5. Maxim 公司的双频（蜂窝/PCS）、双模 CDMA 电话模拟前端芯片组

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(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),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>