

GSM 手机接收机设计的关键技术

The Key Techniques of GSM Mobile Phone Receiver Designing

厦门厦新电子有限公司 安荣邦 侯建强

摘要: 本文介绍 GSM 手机接收机的设计技术。重点介绍 LNA 和 VCO 环路在整个接收机的工作原理、设计方法和特性指标。在 LNA 部分,设计关键是灵敏度、动态范围和线性度之间的平衡设计思想;在 VCO 环路部分则强调了相位噪声对整机性能的影响和如何设计才能有效降低环路相位噪声。

关键词: LNA;VCO; GSM 手机

引言

以 GSM 为代表的无线电话近年来得到了广泛的应用。GSM 手机的设计也就成了热门话题。但是,目前国内设计水平还不高,很多厂家只是做国外公司的 OEM。本文将结合一些已经批量生产的产品中的实例介绍如何设计 GSM 手机的接收机部分。

GSM 的接收机包括天线、LNA、下变频、解调、解码和 D/A 等。由于现代通讯机的集成度较高,一般从下变频开始都主要由 IC 厂家完成。并且,对于 GSM 接收机而言,设计难点主要在 LNA 的设计和 VCO 环路的设计。因此,本文仅仅介绍在 GSM 手机的设计过程中,LNA 和 VCO 的考虑。

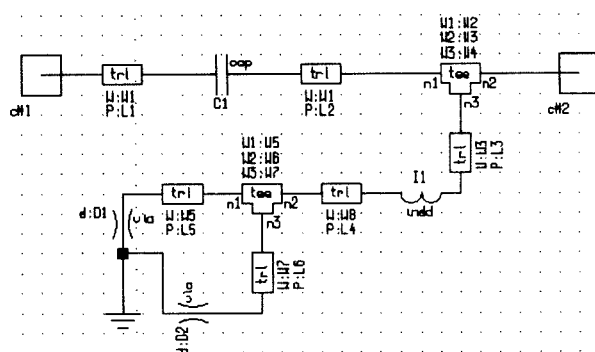
LNA 设计

GSM 手机接收机部分的前端的框图示于图 1。

LNA(低噪声放大器)的设计是以整机在尽可能大的信号范围和尽可能复杂的信号环境中都能够良好的接收基站下行的信号为原则的。LNA

设计的好坏反映在指标上就是在变化的环境下的灵敏度、线性度和动态范围。

由于现在的 GSM 手机 LNA 一般都集成在下变频器内,所以一般情况下,如果选定了下变频器就选定了 LNA。则 LNA 的设计就变成了 LNA 输入电路的设计。手机灵敏度一般用相对于 BER(误码率)的信号电平来表示。由于中频和基带对整机灵敏度的影响是相对固定的,所以这个电平值和灵敏度是一



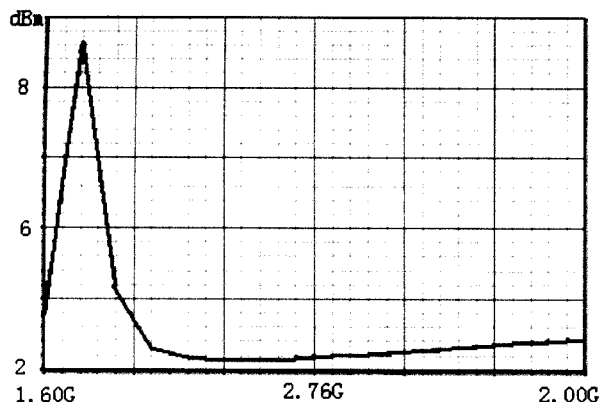


图3 图2中电路的噪声——频率曲线

量。如果这些交调分量的一项或多项落在接收的通带内,则这些信号很有可能将接收机推离正常工作状态而使得整机接收能力下降或无法工作。

线性度可用谐波抑制比和交调抑制比来表示。各种器件和不同的器件组合方式对谐波抑制比和交调抑制比的响应是不一样的。同一器件或同一组合在不同的频率范围其谐波抑制比和交调抑制比也是不一样的。一般来说,有源器件的线性度最差,高Q值的器件线性度较差。所以,在实际设计时,都需要建立对应的电路模型来优化,使整个系统的谐波抑制比和交调抑制比限制在一定的范围内。

如果信号的强度超出了接收机的动态范围,接收机会被强信号阻塞,使整机的性能下降或无法工作。GSM标准要求信号的范围是从-102dB到-48dB。在实际情况下,动态范围有可能更大。虽然LNA器件本身有一定的自适应能力,但是,这样大的动态范围如果仅仅依靠LNA电路的自适应来调节,则会大大提高接收机的成本。在实践中,都是采用软硬件结合的方式(如图1所示)。即在LAN的输入后加入可编程的衰减器。当输入信号过强,则自动打开衰减器。

除了在标准条件下的灵敏度、

线性和动态范围的仿真外,由于GSM手机的工作环境条件变化比较大,还需要做不同条件下,器件或模块的灵敏度、线性和动态范围的灵敏度分析。使得整个系统在各种不同的

条件下都能良好的工作。在做这些分析时关键是建立合适的仿真模型。对相关理论有良好的理解并具有相关的经验是建立合理的模型的基础。图2是一个实用的LNA部分输入电路模型。

建立了合适的电路模型之后,不同的参数的仿真就是不同的因变量和自变量的分析。图3是这个电路的噪声在不同频率下的特性曲线。由图可见,在1.8GHz左右,即PCS频段,其噪声特性较好。

在这个例子中,将匹配电路的这部分当作一个二端口来看待。之所以这样做的原因是二端口网络有成熟的理论和很多分析方法。可以借助于这些分析方法很方便的来分析系统特性。

在实际的物理电路分析时,建议先逐级分析。再将各个部分级连做系统优化。即先对各个部分做特性分析,在此基础上,再将各个部分级连起来做总的特性分析。这样可以避免过多的变量。可以有效的降低难度和节约时

间。

如果总的特性不能符合要求,则需要重复前面的过程,直到符合要求为止。

噪声、电平匹配、线性度及对应的灵敏度分析方法类似。唯一不同的是在做不同特性分析时,需定义不同的因变量和自变量。

除了电路传导特性的分析以外,辐射分析和热分析也必不可少。

在PCB板上完成了设计之后,最好再做一次在线仿真,以确保设计质量。

VCO 环路设计

从原理上说,VCO(压控振荡器)的设计非常简单,VCO的基本功能是产生一个载波。只要振荡器有足够的可调带宽来覆盖所有的频率范围就足够了。要做到一个能“跑”的VCO环路是非常容易的。但在实际应用上,往往对VCO的特性有很多具体的要求。这些要求往往会要求将调谐范围限制在更小的范围内。为了确保VCO能工作,往往要求VCO的频率覆盖范围更大一些,但是这样做会增大压变电容至槽路的耦合,过大的容性耦合会严重的降低槽路的品质因数。所带来的结果是更大的相位噪

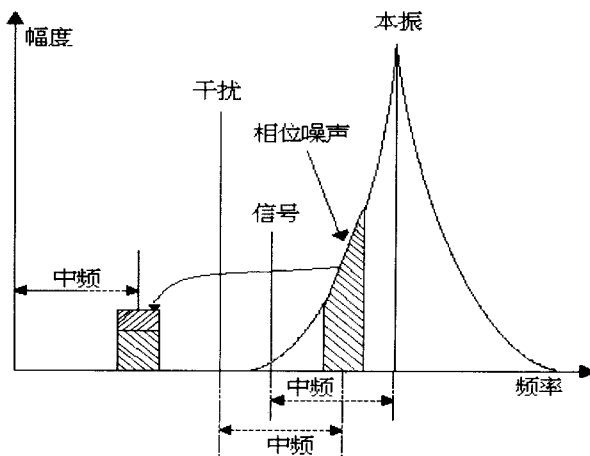


图4 相位噪声造成干扰示意图

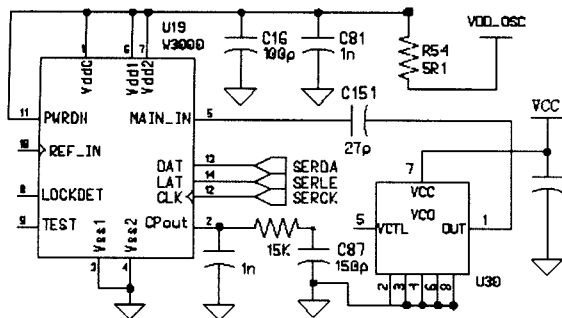


图5 一个实用的VCO电路的电路图

声；对调谐端噪声的更高的灵敏度；压变电容两端过大的电压范围；降低了启动灵敏度；长的响应时间等，给环路滤波器的设计带来困难。所以很宽的调节范围在实际设计中是不可取的。要做到一个各项技术指标都符合要求的VCO环路并不容易。

GSM手机的调制方式是最小频移键控(GMSK)。我们知道，最小频移键控能最大限度的利用频率资源，当然，随之而来的问题是，这种信号对相位干扰非常敏感。所以，在GSM手机的VCO的设计中，VCO的相位噪声特性是设计的关键。较大的相位噪声的直接后果就是BER的恶化。

由于相位噪声和邻信道干扰信号混频也能产生中频信号，如图4。而且在实际使用中，邻信道干扰可能比载波信号高出70dB以上。假设现在接收机的灵敏度是-102dBm，邻信道干扰的电平为-30dB，则如果载波信号的强度大于90dB的话，必须保障手机能正常工作。要做到这一点，小的VCO环路相位噪声是关键。

在VCO的设计中，有两个方面的噪声源必须考虑：

1) 固有相位噪声：虽不可消除，但可减小。因为VCO的锁定就建立在有相位差异的基础上；它是一种动态的或者说是平均的锁定。一般情况下，振荡器对控制电压越

灵敏，固有相位越小。但是，如果对控制电压太灵敏则会导致控制环路振荡。所以在实际设计中，往往要在二者之间求得一个平衡。固有噪声的另一个

来源是，参考时钟。因为参考时钟也有相位噪声，这种噪声必然会反映到VCO环路中。

2) 散射噪声，这是载流子在导体中或半导体中做布朗运动产生的。散射噪声与电流有着密切的关系。散射噪声会引入频率调制的边带噪声。散射噪声也会随着调节范围的增加而增加。热噪声的增加有可能超过振荡器的固有相位噪声。所以在实际设计中要严格控制环路电流，以达到控制散射噪声的目的。距离中心频率 f_m 处的相位噪声(PN)可以由下面的公式给出：

$$PN = i_n^2 \times \frac{1}{V_o^2} \times \left(\frac{f_o}{2Q_o} \right)^2 \times \frac{R_{EO}^2}{f_m}$$

式中：

i_n 是散射噪声；

V_o 是谐振电压均方根；

f_o 是中心频率；

Q_o 是空载品质因数；

R_{EO} 是谐振电路等效并联电阻。

VCO的设计要求仔细、广泛的计算机仿真，通常要多次反复，在诸多要求各异的性能方面进行权衡和取舍，以便确保在各种工作条件下都能够满足所有的规范和要求。那么，VCO的相位指标达到什么程度才可以满足GSM的要求呢？在实际设计中，相位噪声引入的接收机性能的下降可用下面的公

式来表示：

$$L(\Delta f_c) = S_i - S_n - C/I_r - 10\log(BW)$$

式中：

$L(\Delta f_c)$ 是偏离载波 Δf_c 处的相位噪声；

S_i 是接收机能正常工作的最小电平；

S_n 最大干扰信号的电平；

C/I_r 基带要求的最小的载干比；

BW 接收机带宽。

利用这一公式就很容易计算出VCO的相位噪声需要做到什么程度。例如，假设带宽为200kHz，9dB的载干比，干扰信号强度为-40dB，要在离开载波600kHz处能够满足上面公式。相位噪声必须小于-115dBc/Hz。

这里的相位噪声的计算没有考虑元件的离散性和分布参数的影响。所以在设计时必须留有一定的余量。所以上面的公式变为：

$$L(\Delta f_c) = S_i - S_n - C/I_r - 10\log(BW) - B$$

式中B是设计余量。

由于GSM手机的接入模式是TDMA方式，这样VCO的工作在时间上是不连续的。实际上接收机只有1/8的时间处于接收状态。这种工作方式对VCO的启动和停止的要求很高。而且，在启动和停止的时间沿上，电路的工作状态要在很短的时间内发生剧烈的变化。因此VCO的仿真难度较大，设计的成败更多的依赖于设计师的经验。故在VCO的设计中，要仔细地考虑环路中每个器件的影响：由于分布而产生的分布电容和电感对振荡频率的影响在设计时必须加以考虑。分布元件常常造成设计频率难以预计的偏移，以至于产生较大的频率误差。所以，在设计时VCO的仿真精度相对于其他部分的电路应高一些。一个较好的方法是尽量使用在线仿真。 下转第18页

表 1 用升压拓扑结构改善功率因数校正

频率(Hz)	没有功率因数校正			有功率因数校正		
	输入AC	DC总线	pfc	输入AC	DC总线	pfc
25	110V	145V	0.62	110V	203V	0.98
34		141V	0.69		202V	0.98
50		139V	0.71		196V	0.97

许占空率 d_{max} 。

经典的PI方法可得到 d_{max} 。 V_{ref} 取决于不同的应用并且总是大于输入线电压的峰值。模/数变换同步于相应功率因数校正的PWM通道。图6示出不同控制环路的定时图。

升压变换器的大小远远小于各种无源滤波器。可以预料,有效的功率因数校正将满足将来各种严格的电源性能调整。

实验

250W 实验板已被制作用来实现上面所提到的所有功能。带风扇的3相感应马达(1/3HP, 4极)做为负载被连接到板上。输入是标准的

a c 线电压 (115V, 60Hz)。工作频率在0~60Hz之间变化。3相倒相器和升压变换器的功率

开关用IRF840功率MOSFET。升压电感器在150μH左右。软件用汇编语言编写,使用小于4KW的程序空间。控制器的片上闪存可存储程序。

由20KHz SVPWM产生无失真相位电流。表1示出在不同工作频率下的功率因数电平。

检测电流波形的某种失真。升压电感器在较高的工作频率会处于饱和状态而导致电流失真。然而,马达相位电流和线到线电压完全是无失真的。

软启动特性也包含在软件中。在启动期间驱动以预先确定的速率斜坡上升。通过斜坡上升或下降曲线,进行速度指令的突然改变。

表2列出对于不同软件模块的DSP带宽的使用率。很显然,多功能整合不能利用DSP带宽的

表 2 DSP 带宽的使用率

DSP功能	US	%BW
V/Hz描述	1.2	3.0
间隔向量PWM产生	4.3	10.7
轴速度测量	5.7	14.2
速度PI环控制器(32位积分器)	1.4	3.5
功率因数校正	4.8	19.0
通信(命令解释程序)	1.4	3.5

100%,因此,更先进的算法可实现应用要求。

结语

新型低成本DSP控制器正在成为成本敏感应用的一种有前途的选择方案。这些控制器具有足够的带宽并集成有片上功率电子设备的外设以实现马达驱动的多种功能。集成的多功能减少了系统元件数并加快了产品上市。■ (彭京湘译)

上接第 9 页

那么,设计到什么程度才算是性能良好呢?一个性能良好的VCO应具备以下特性:正确的起振特性、足够的频率范围、无需微调、严格控制的电流消耗,以及不受温度和电源电压波动的影响等。在GSM手机的设计中,最后两项指标的要求相对于一般的收发信机的要求要高一些。其原因是,GSM手机的发射功率较大,机内温度变化较大;GSM手机是以TDMA方式工作的,电源的波动很大。

一个小技巧:在设计时可以用PCB线条来微调VCO的外接电感,往往可以得到很好的效果。

由于GSM手机功率较大,在做敏感度分析时要结合温度的变化做

联合敏感度分析。由于敏感度分析不是本文的重点,这里不再赘述。

和LNA的设计一样,在完成了VCO的仿真计算之后,最好是能做在线仿真。以确保设计质量。图5是一个实用的VCO环路的电路图,在这个图中,所有器件的参数都是经过了仿真、灵敏度分析和实测确认这样过程得到的。

结语

手机接收的设计内容当然不止在本文中提到的这些。在一个完整的项目设计中,设计师所要面对的问题远比这里介绍的更多,更繁杂。但是只要按照本文提到的设计思想和原则来设计,就能得到较好的接收指标。本文所介绍的设计方

法和设计实例都在我们的设计和生产实践中得到了广泛的应用。相关产品的性能也得到了相关测试机构和用户的好评。■

参考文献

《ETSI TS 100 900》V7. 2. 0
《ETS 300 505》
《ETS 300 607-1》
《GSM 数字移动通讯工程》孙瑞石、丁怀元、穆万里、王泽权等编;
《数据通信工程》汪润生、周师熊等编
《RF Oscillator Analysis and Design by the loop Gain Method》By Noel Boutin;
《Exact Simulation of LNAs Reduces Design Cycle Time》By Sean Mercer.

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>