

# 在 GSM 手机设计中如何减小相位误差

## How to Lower Phase Error in GSM Handset Design

李 航\*

[摘要] 相位误差 ( $P_e$ ) 是 GSM 手机四项非常重要的 RF 电气指标之一, 减小相位误差对提高手机的话音质量有重大的意义。本文介绍在 GSM 手机设计中, 减小相位误差的方法。

[关键词] GSM 手机; 相位误差  $P_e$  (phase error)

### 1 引言

GSM 手机不论是在研发、生产还是在维修中, 有四项 RF 电气指标肯定是必须测量的, 其中有三项是发射指标, 即: 射频输出功率、频率误差、相位误差, 还有一项是接收指标即灵敏度。相位误差 ( $P_e$ ) 是一项非常重要的指标。在欧洲 GSM 的电信标准中规定:  $P_e$  的峰值不得大于 20 度、有效值不得大于 5 度。当  $P_e$  指标有问题时, 轻则会影响话音质量 (失真度变大或有咯咯声), 严重时则会使手机脱离 GSM 服务网。

### 2 $P_e$ 的定义

要想提高某项指标的水平, 首先是必须了解那一项指标的定义。 $P_e$  的定义是: 它是指 I 路 (同相) 与 Q 路 (正交) 之间的相位平衡度 (phase balance), 换句话说即是: I 与 Q 之间的正交性误差 (quadrature error)。若某一时刻  $P_e$  的采样点设为  $P_e(j)$ , 根据欧洲电信标准 GSM11.10 则有:

$$\begin{aligned} \text{MAX } \{P_e(j)\} &\leq 20^\circ \\ \text{RMS } \{P_e(j)\} &= \left\{ \sum_{j=1}^n P_e^2(j) / n \right\}^{1/2} \leq 5^\circ, \\ J &= 1, 2, 3, \dots, n, n \geq 294 \end{aligned} \quad (1)$$

GSM 手机综测仪在测量和计算  $P_e$  时, 采样时间一般取当前的 10 个突发 (burst) 长度 (一个 burst 长度等于 577 微秒)。

### 3 减小 $P_e$ 的方法

#### 3.1 发射部分的方案考虑

目前主要有两种方案: 一种是上变频方案; 另一种是 OFFSET 频率方案。这两种方案的差别在于 RF 已调信号的形成方法: 前者是通过传统的由 IF 到 RF 的频谱搬迁, 而后者则是通过增加一个 IF PLL, 用其输出来控制一个专用的发射 VCO, 从而达到实现 RF 调制信号的目的。从性能来看, 后一方案的频率误差和  $P_e$  较小; 从电路的复杂程度来看, 前一方案简单; 从综合的性能价格比来看, 后一方案具有优势, 故现在绝大多数的手机都采用 OFFSET 频率方案, 这有利于减小频率误差和  $P_e$ 。详细的方案可参阅有关的技术文献, 在此不再进一步地说明。

#### 3.2 频率合成器参考频率 $F_r$ 的选择

$$\theta = \omega t, d\theta = t \cdot d\omega + \omega \cdot dt, \omega = 2\pi f$$

从上式可以看出: 在频率误差  $d\omega$  相同的情况下, 降低频率有利于减小  $d\theta$ , 因而可减小  $P_e$ 。手机的  $F_r$  有两种选择: 13MHz 或 26MHz, 从减小  $P_e$  的角度来考虑, 选 13MHz 为好。

#### 3.3 在 I/Q 正交调制器的输入端采用 LPF

该 LPF 一般采用无源 RC 型 LPF。在 GSM 体制中, 传输每一个 bit 的时间是 3.69 微秒, 故传输速率是  $1000/3.69 = 270.8\text{kbps}$ 。在理论上, GMSK 的调制频谱要利用调制 bit 的无限随机序列再通过复杂的计算来得到。理论和实际测量都表明: GMSK 调制频谱的 60dB 带宽为 330kHz, 在此带宽内的频谱已包含了绝大部分的能量, 因此选 LPF 的截止频率为 330kHz 是合适的<sup>[2]</sup>。我们可采用图 1 所示的

一阶 RC LPF 电路。其截止频率的计算公式为：

$$\tau = RC = 2 \times 1000 \times 220 \times 10^{-12} = 0.44\mu s$$

$$\text{截止频率} = 1000 / (2\pi \cdot \tau) = 1000 / (6.28 \times 0.44)$$

$$= 362\text{kHz}$$

(注：在工作频段内，电容呈现的阻抗应为几千欧姆左右)

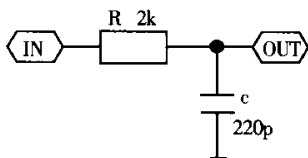


图 1

### 3.4 1/Q 正交调制器采用双端输入、输出方式

与单端方式相比较，双端方式可以降低串话 (cross-talk) 干扰，减小噪声和  $P_e$ 。要采用双端输入、输出方式，肯定会遇到单端与双端之间的转换问题，为了降低成本，一般均用无源器件来完成转换，常采用的电路是 LC 网络或 Balun (一种平衡 - 不平衡转换传输线变压器)。现介绍一下如何设计 LC 型单端  $\leftrightarrow$  双端转换电路。电路如图 2 所示。

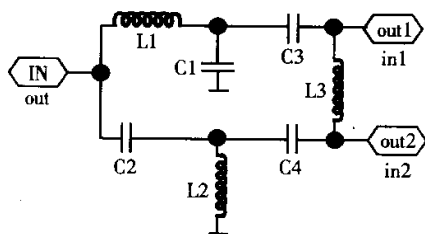


图 2

该电路的特点是：共用了 7 个 LC 元件，其成本比采用 Balun 要低，但指标比采用 Balun 要差一点。具体采用何种电路，得由设计者根据情况来确定。在图 2 中，由  $L_1$ 、 $C_1$  组成 LPF，其输出的电压滞后于电流； $L_2$  和  $C_2$  组成 HPF，其相位输出特性与 LPF 相反，即输出电压超前于电流； $C_3$ 、 $C_4$  在工作频率范围内呈现交流短路，同时隔离直流电压； $L_3$  对中心工作频率的阻抗等于与它相匹配器件的阻抗。对于 E-GSM 体制，发射的工作频率为 880 ~ 915MHz，中心频率为 897.5MHz。由 LC 一阶 LPF 和 HPF 截止频率的计算公式：

$$F_c = 1 / [2\pi (LC)^{1/2}] = 915\text{MHz (LPF)}$$

$$F_c = 1 / [2\pi (LC)^{1/2}] = 880\text{MHz (HPF)}$$

若取  $C_1 = 2.2\text{pF}$  (并臂阻抗取一百至数百欧姆左右)，则  $L_1 = 13.76\text{nH}$ 。若取  $C_2 = C_1$ ，则  $L_2 = 14.88\text{nH}$ 。取值处理：对于 LPF 为了保证有一定的频率设计余量， $F_c$  应加大一点即  $L_1$  要减小一点，而对于 HPF 则相反。在工程中我们可取  $L_1$  为 12nH， $L_2$  为 15nH。对于 900MHz 工作频段，可取  $C_3 = C_4 = 22\text{pF}$  (呈交流短路几个欧姆)。若无特别说明，一般双端 RF 的阻抗为  $2 \times 50\Omega = 100\Omega$ ，由此可算出：

$$L_3 = Z_L / 2\pi f = 100 / (2 \times 3.14 \times 897.5 \times 10^6)$$

$$= 17.74\text{nH (实际可取 18nH)}$$

对于工作在其它频率点的转换电路，同样可采用上述方法计算出各个元件的参数。

### 3.5 直流和交流偏置

1/Q 正交调制器的直流偏置电平和交流输入电平相当于器件的静态和动态工作点。若工作点不对，则肯定会对指标造成不良影响。一般 GSM 手机 1/Q 正交调制器的直流偏置电平为 1.0 ~ 1.4V，双端交流输入电平为 0.8 ~ 1.0Vpp。还有一个重要问题是 ITXP (同相端)、ITXN (反相端)、QTXP、QTXN 它们之间的交流电平平衡度问题，一般要求平衡度误差小于 20mV。若该误差变大，则会使调制频谱的边带指标变差，从而导致  $P_e$  变大。

(注：一般 1/Q 交流电平的幅度可用示波器来测量，但在研发和维修中还可采用一个更为简便和实用的方法，即用数字万用表的 AC200mV 档来测量，同样可获得很高的相对测量精度。用 VC9801 型万用表通过和示波器进行对比测量后，得出换算系数为  $1.65 \times 8$  (连续测量有 8 个 time-slot)。例如：若万用表测得的单端交流电压为 40mV，则实际上那一脚的单端交流对地电压为： $40 \times 1.65 \times 8 = 528\text{mVpp}$ )

### 3.6 频率合成器的输出频谱和直通效应

在 GSM 手机中用于调制的频率合成器，其谐波抑制指标一般要优于 30dBc。调制器的直通效应 (feed through effect 即 VCO 的输出载波直接作用于调制器的输出端) 要小。若这两项要求不能满足的话，则会降低调制器输出频谱的质量，从而引起  $P_e$  变大。

### 3.7 1/Q 时延调整

根据数学计算公式： $\theta = \omega t$ ，当频率一定时，若改变时间同样可改变相位。根据这一理论基础，通过物理层软件来控制 I 路或 Q 路基带信号的时延，可对  $P_e$  进行补偿校正。

### 3.8 I/Q 正交调制器工作频率的选择

若仅从减小  $P_e$  的角度来考虑, 选取较低的调制工作频率是有利的。现在 GSM 手机用于正交调制的调制频率一般选取在 150 ~ 300MHz 之间。若采用简单的一次调制即由基带信号直接调制到 RF 工作频率, 则  $P_e$  指标很难保证, 而且对整机的电磁屏蔽要求也非常高。

### 3.9 EMC 设计

良好的 EMC 设计对于保证  $P_e$  指标是极为重要的。EMC 设计主要采用三项措施: 接地、屏蔽和滤波。在 GSM 手机内采用大面积接地、地线层、汇流条来降低接地阻抗。在电磁屏蔽设计中, 屏蔽材料的选择是非常重要的。屏蔽效果取决于所选材料的吸收损耗指标, 而该指标与材料相对导磁率的平方根、与材料相对电导率的平方根成正比。因此, 选取具有高的相对导磁率和相对电导率的材料能获得好的电磁屏蔽效果。当然屏蔽材料的选择还要考虑到加工成型工艺、加工难度和成本。

### 3.10 PA 部分的设计

目前有两种 PA 方案可供选择: 开环方案(无功率检测)和闭环方案(有功率检测)。在  $P_e$  指标方面这两种方案没有优劣之分。在 PA 电路的设计中, 有时会出现这样的现象: 小功率输出时,  $P_e$  指标正常; 但当大功率输出时,  $P_e$  指标则超差。出现这种情况的原因在于: (1) 在大信号工作的条件下, PA 的线性动态范围不够; (2) 当输出功率加大时, 电源线上的电流也随之变大, 若 PCB 布线或电源去耦不良的话, 会造成此故障; (3) PA 输出匹配电路设计问题, 从而造成 VSWR 变大; (4) EMC 方案设计不佳, 屏蔽材料、屏蔽结构、屏蔽方式选择不当。

#### 参考文献

- [1] ETSI GSM 11.10 and GSM05.05 Telecommunication Standards.
- [2] (法) Machel Mouly 等著, 骆健霞等译. GSM 数字移动通信系统. 北京: 电子工业出版社.

## 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>