

RDA TD-SCDMA/GSM 双模全集成 CMOS 射频收发器芯片的实现

作者：杨胜君，锐迪科微电子（上海）有限公司 研发工程师

在过去的几十年里，半导体技术取得了突飞猛进的发展，同时也极大的推动了现代通信技术的发展。在移动通信方面更是如此，从上世纪八十年代开始商用的第一代模拟移动通信技术到今天的第三代（3G）数字移动通信技术，短短二十多年的时间，移动通信技术的发展日新月异，全球已有数十亿的普通用户体验到了由移动通信技术所带来的极大便利。截至 2006 年底，全球有二十多亿移动通信用户，目前，用户数还在快速增长当中。这其中，中国就有四亿用户，占全球移动通信用户数的五分之一。因此可以说，中国是全球移动通信市场的重中之重。

随着移动通信技术的发展和进入应用到第三代，尤其是 WCDMA 和 CDMA2000 这两种第三代（3G）移动通信技术在越来越多的国家进入到商用阶段，全球的目光都在关注着中国的移动通信市场，这不仅仅是因为中国巨大的市场规模，更因为作为三种国际 3G 技术标准之一的 TD-SCDMA 是由中国自主提出的，被太多的人寄予了厚望。

TD-SCDMA 作为中国自主知识产权的国际移动通信标准之所以在国内迟迟未能正式投入商用，符合该标准的移动终端产品是其正式商业化进程中的一大瓶颈，而这其中 TD-SCDMA 终端射频芯片更成为了瓶颈中的瓶颈。锐迪科微电子经过数月的科研攻关，成功地开发出了全球第一款 CMOS 单芯片 TD-SCDMA/GSM 双模手机终端射频芯片。本文将详细介绍这款芯片的特点、功能以及应用原理。

RDA TD-SCDMA/GSM 双模射频收发器芯片基本特性

这是一款全集成的 CMOS 射频收发器芯片，采用了业界主流的 0.18 μm CMOS 半导体工艺制造，片内集成了射频接收机和射频发射机，同时还集成了模拟基带（ABB）功能，能够同时支持模拟基带信号接口和数字基带信号接口。该芯片采用标准的 48 脚 QFN 封装，封装尺寸只有 7mm \times 7mm，是目前市场上同类产品集成度最高，功能最全、成本最低的一款。该芯片能够同时支持 TD-SCDMA 3G 标准（3GPP）定义的两个工作频段（1880 ~ 1920MHz 和 2010 ~ 2025MHz）和 GSM 标准定义的四个工作频段（GSM 850 MHz、EGSM 900 MHz、DCS 1800MHz 和 PCS1900MHz），并且能够在这两种模式、六个频段之间自由切换。

在架构上，该芯片的 TD-SCDMA 接收机采用数字零中频（Digital Zero - IF Architecture）的架构，而发射机采用的是直接上变频（Direct - Upconversion Architecture）的架构；对于 GSM 模式，其接收机采用数字近零中频架构（Digital Low - IF Architecture），而发射机采用频率综合器直接调制架构（Sigma - Delta Frequency Synthesizer Modulation）。该芯片片上全集成了低噪声放大器（LNA），射频可变增益放大器（RF VGA），上、下变频混频器（Mixer），模拟滤波器（Filter），模数/数模转换器（A/D、D/A），频率合成器（Frequency Synthesizer）和数字信号处理器（DSP）。只需要少量外围元件，就能构成完整的射频子系统，并且可以通过选择模拟或数字基带接口支持目前市场上的所有基带芯片方案，同时比其他任何整体方案的 BOM 都少 20%以上。

此款芯片内还集成了数字补偿晶体振荡器 (DCXO)，只需要外接一个普通晶体就可以产生精确的片上参考时钟，这不但可以降低整个方案的成本，还使得整个系统对温度变化带来的频率漂移更加不敏感，进而满足发射接收频偏 $<0.1\text{ppm}$ 这样苛刻的 GSM 标准要求。而目前市场上大多数传统方案中，用户一般都选择更为昂贵的 TCXO（温补晶振）。

作为一款全集成的 TD-SCDMA/GSM 双模射频收发器芯片其有着优异的射频性能，其 TD-SCDMA 频段接收链噪声系数小于 4dB，发射链误差矢量幅度 (EVM) 小于 3%，远远好于 3GPP 标准要求；同时其 GSM 频段接收灵敏度达 -108dBm ，远超过 GSM 标准规定的 -102dBm ；其发射频谱 400kHz 的 ACPR 达到 -70dBc ，比同类产品提高了 3~5dB。

该芯片的另一卓越性能表现在其采用先进结构设计的频率合成器，它表现出了优异的相位噪声性能和快速锁相特性（小于 $20\mu\text{s}$ ）。受益于它的快速锁相性能，整个芯片在不同模式和不同频段之间都可以在非常短时间内完成无缝切换，接收链和发射链也能够非常短的时间内完全打开和建立。

RDA TD-SCDMA/GSM 双模射频收发器芯片工作原理

原理框图如图 1 所示。该芯片是一款双模芯片，以下分别描述其工作原理。

TD-SCDMA 模式

TD-SCDMA 的接收机采用先进的数字零中频架构。当芯片工作在 TD-SCDMA 模式的接收模式时，从天线接收下来的射频信号经过外接的声表面滤波器 (SAW filter) 送给芯片内部的低噪声放大器 (LNA)，经过放大的射频信号然后送给正交下变频混频器 (Down-conversion Mixer)，直接变频到零中频 (Zero-IF)，然后信号经过模拟滤波器 (Analog Filter) 后直接送给高性能的模数转换器 (Sigma-Delta A/D)，之后信号被转换为数字信号。

在芯片内部有一个功能强大的专用数字处理器 (DSP)，从 A/D 输出的数字信号通过 DSP 后被进一步的滤波。同时，为了消除整条接收链的直流失调 (DC offset)，在 DSP 中有一个带宽可调的数字高通滤波器用来滤除信号中的直流失调分量。

由于此款芯片支持两种基带信号接口模式，在采用模拟基带接口模式时，DSP 输出的数字信号经过一个高性能的数模转换器 (D/A) 后送给基带芯片。当采用数字基带接口模式时，经过 DSP 处理的数字信号调制到一定的采样频率后直接送给数字基带芯片进行进一步处理。

整个接收链为了能够接收不同强度的射频信号要具有很大的动态增益范围。这些动态增益范围在这里分别在模拟部分的 LNA、Mixer 和 Filter 和数字部分的 DSP 中实现，总的增益范围可以达到 100dB。另外，整个接收链的滤波器带宽选择在 800kHz 以内，以满足 TD-SCDMA 信号带宽的要求。

TD-SCDMA 的发射机采用直接上变频架构 (Direct - Upconversion)。在这一模式下，基带信号先经过一个带宽大于 800kHz 的低通滤波器滤波后送给上变频混频器 (Up-conversion Mixer)，信号被调制成射频信号，然后再经过一个射频增益放大器 (RF VGA) 对信号进行放大后再去驱动片外的功率放大器 (PA)。

相似地，在采用模拟基带接口模式时，基带信号送给片上低通滤波器。而当采用数字基带接口模式时，片上的数模转换器会先将基带数字信号转换成模拟，然后再送给片上低通滤波器。

整个发射链能够提供超过 80dB 范围的增益动态范围，从而能够有效地将基带信号发射出去。整个发射链的增益分别在混频器、射频增益放大器以及片外的功率放大器上实现。

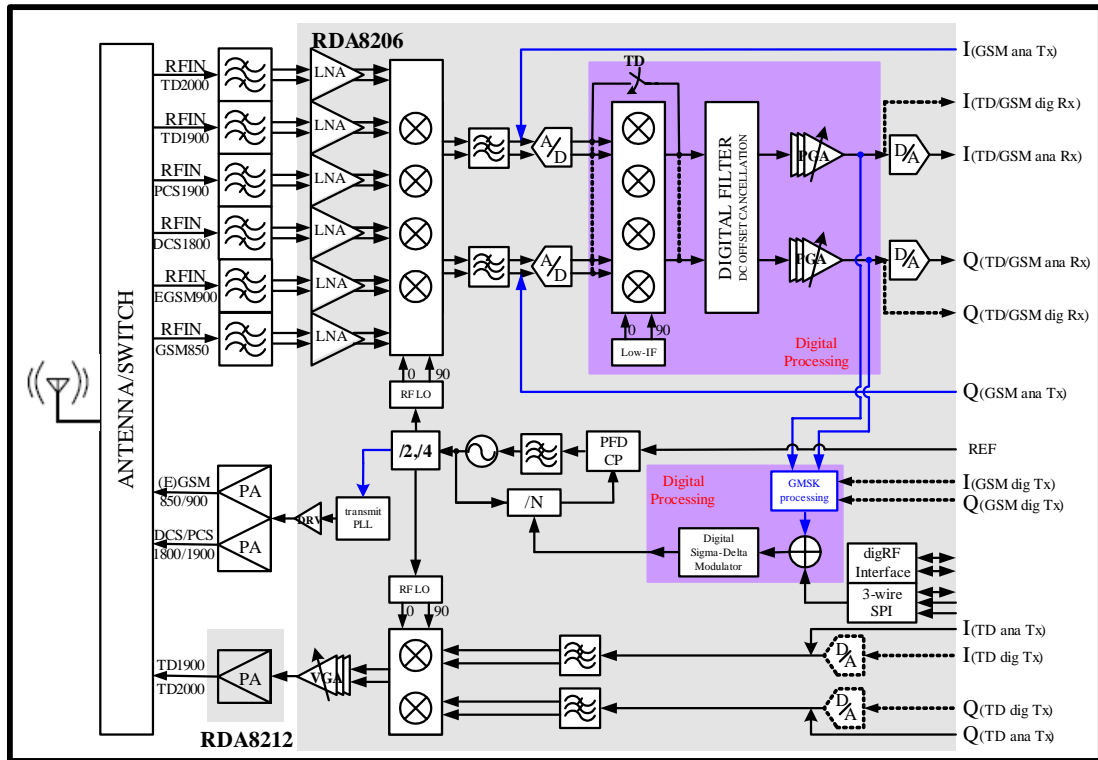


图 1 RDA 双模射频收发器芯片原理框图

GSM 模式

GSM 的接收机采用业界流行的数字近零中频架构。当芯片工作在 GSM 接收模式时，从天线接收的射频信号，通过差分端口输入芯片，首先进入前端的低噪音放大电路（LNA），随后信号进入正交下变频混频器（Mixer），下变频到 100kHz 的近零中频，然后再通过一个中心频率在 100kHz 的复数带通滤波器，滤除带外的干扰信号，之后，信号送给高性能的 A/D，模拟信号被转化成数字信号。

接下来，数字信号送给 DSP，在这里，中频为 100kHz 的信号被第二次下变频到零中频，之后，与 TD-SCDMA 接收机中类似，要完成直流偏移消除（DC offset cancellation），频率选择滤波，数字信号放大等功能。

相似地，在采用模拟基带接口模式时，DSP 输出的数字信号经过一个高性能的数模转换器（D/A）后送给基带芯片。当采用数字基带接口模式时，经过 DSP 处理的数字信号调制到一定的采样频率后直接送给数字基带芯片进一步处理。

整个 GSM 接收链路增益灵活可调，最大可以提供超过 100dB 的增益范围，在基带芯片的 AGC 策略下，可以在保证足够信噪比（SNR）的同时，接收从-102dBm 到-15dBm 不同强度的射频输入信号。

GSM 发射机采用当今国际先进的频率合成器直接调制架构。当芯片工作在 GSM 发射模式时，需要将基带芯片送来的模拟基带信号，变成射频信号，驱动射频前端功率放大器（PA）发射出去。

由于 GSM 标准采用了 GMSK 这种恒定包络调制方式，所有有用的信息都是携带在射频信号的相位域上，所以信号可以被射频载波直接调制后发射。

在模拟基带接口模式时，芯片输入的模拟基带信号，首先被片上的 A/D 采样量化，然后判决出其中携带的相位调制信息，将此相位调制信息进行微分处理，然后通过 Sigma-Delta 频率合成器，将调制信息叠加到当前的载波频率值上，这样频率合成器输出的本振信号就是已经调制过的射频发射信号。频率综合器输出的射频调制信号通过功率放大器驱动模块，可以直接驱动 50 欧姆的功率放大器。在数字基带接口模式时，芯片输入的数字基带信号在 DSP 部分直接进行相位调制操作，通过与上述一样的方法直接经过频率合成器调制后送给片外功率放大器。

整个芯片由一个频率合成器提供本振和产生载波射频信号，除了 850MHz 和 900MHz 这两个 GSM 频段模式下频率合成器输出 4 倍频的本振信号，其他模式下频率合成器都输出 2 倍频的本振信号。

RDA TD-SCDMA/GSM 射频收发器芯片应用

如上所述，RDA TD-SCDMA/GSM 双模射频收发器芯片可以支持目前市场上所有商用化基带芯片，实现 TD-SCDMA 的终端整体解决方案；同时，RDA TD-SCDMA/GSM 也支持市场上多数主流 GSM 基带芯片，实现 GSM 的终端整体解决方案；从而设计出体积小、性能优异、成本低廉的手机用户终端。

图 2 所示为 RDA TD-SCDMA/GSM 芯片的应用原理图，由于芯片具有很高的集成度，整个终端解决方案的射频部分，只包括射频天线、射频功率放大器、功放开关模块、射频声表面波滤波器（SAW）、DCXO 晶体和少量的分离元件，不仅大大降低了元件成本，而且降低了射频印刷电路板（PCB）的设计难度。

在接收模式下，从天线接收下来的射频信号经过一个单转双的 SAW，然后通过片外匹配网络送给芯片内部的 LNA。在 TD-SCDMA 发射模式下，芯片内部送出射频信号给 RDA8212 TD-SCDM 功率放大器，然后经天线发射出去，而该功率放大器所需要的偏置电压（PA BIAS）由 RDA 双模芯片输出；在 GSM 发射模式下，芯片内部的信号送给 RDA6212 GSM 功率放大器，再经过天线发射出去，该模块所需要的 PA RAMP 信号由 RDA 收发器芯片输出。

RDA8212 是一款高效率线性功率放大器，支持 TD-SCDMA 两个标准发射频段，该功率放大器支持高低功率两种模式，效率更加优化。RDA6212 是一款四频段非线性放大器，适用于 GSM

标准的四个发射频段，具有非常高的效率。同时，RDA 还可以根据不同的应用标准提供单刀双掷到单刀九掷等天线开关模块。

RDA TD-SCDMA/GSM 双模射频收发器芯片支持两种基带信号接口，可以同时支持带模拟基带功能的基带芯片，此时，只需要将该芯片的模拟基带接口与基带芯片的模拟基带接口直接相连即可；也可以支持纯数字的基带芯片（DBB），此时，只要按照所支持的工作模式将 RDA 双模芯片的数字基带接与数字基带芯片的基带接口连接。

RDA 此款芯片支持 3 线或 4 线串行数据接口（SPI）模式，所有的控制信号都可以通过 SPI 写入或读取，包括自动功率控制（APC）、自动增益控制（AGC）和自动频率控制（AFC）都可以通过 SPI 写入的方式来完成。另外，芯片内部还集成了高精度辅助模/数转换器，可以方便地通过 SPI 读取所需要的环境变量（如温度）。

由于芯片内部集成了一个 DCXO，因此只需外接一个普通晶体。该芯片同样可以支持 TCXO 模式，在这种模式下，芯片内部将会提供一个自动频率控制电压（AFC）给 TCXO，用于产生精确的参考频率。

可以说，RDA TD-SCDMA/GSM 双模芯片不但提供完整的射频解决方案，而且还是一款名副其实的基带用户接口友好型芯片。

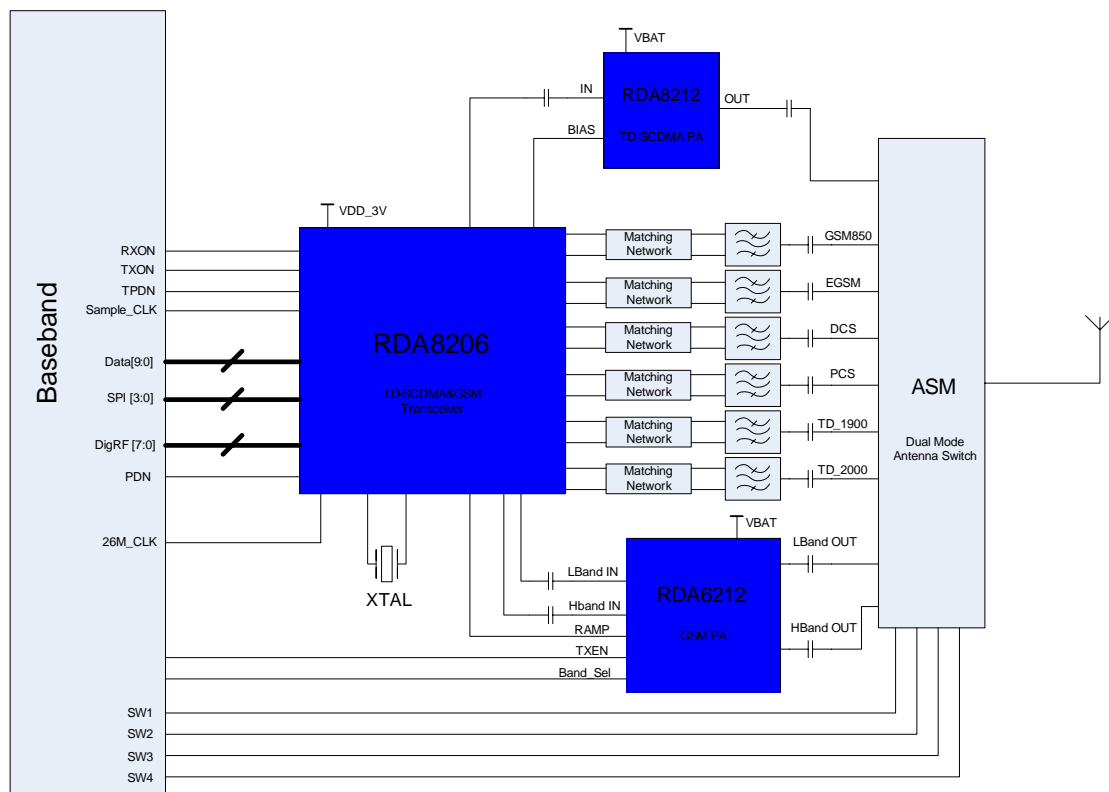


图 2 RDA TD-SCDMA/GSM 双模单芯片应用原理图

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>