

基于 230 MHz 电力频段的专用 LTE 射频芯片的设计

◆卢刚¹ 杨吉辉¹ 武侠¹ 刘晗² 柳培忠³

(1.国网山东省电力公司烟台供电公司 山东 264000;

2.国网山东省电力公司 山东 250001;

3.厦门大学 福建 361005)

摘要: 本文针对传统电路采用器件分立技术有占据空间大、成本高的问题,定制开发了电力专用射频芯片。着重介绍了射频芯片的设计方法,列举了开发使用的关键技术。该芯片内部集成射频和数字信号处理部分以及 MCU,与目前市面上的芯片相比,具有集成度高、固件加固、支持自动化测试等优势。此芯片性能、功耗均达到了产业化的要求。

关键词: LTE230; 无线通信; 射频芯片; 智能电网; TD-LTE

0 引言

从 2008 年起,关于智能电网的发展开始被国家电网公司及其相关机构关注与研究,第二年三月提出了“建设坚强智能电网”,中国智能电网正式进入前期研究阶段,并进一步提出了智能电网建设的发展构想。为了全面快速地建成统一坚强智能电网,国家电网公司加大了对该系统的建设力度。

目前,在无线专网的建设过程中,尝试采用了多种无线通信制式,包含 230M 电台专网、WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access,全球微波互联接入),Mobitex 专网、GPRS 公网(General Packet Radio Service,通用分组无线服务技术),CDMA 公网(Code Division Multiple Access,码分多址)和 LTE230^[1,2],对比以上几种制式以及经过多年在各个地区的试验点的考察结果,LTE230 更为适合,该方式有覆盖范围广、成本低、电力频段免费等好处,是国网无线建设的 4G 通信标准的重要参考。

新型 230MHz 电力无线宽带通信系统可以解决电力输电网以往存在的问题^[3],能满足电网用户对数据业务的速率要求,可有效节省带宽资源,从而提高了施工过程中的效率。在骨干电网建好之后,会有实时视频监控,保证及时发现故障,以最快的速度抢修线路,是电力光缆通信的一种良好补充,改善了以往通信方式的单一不全面。

LTE230 射频芯片的研发,能进一步完善智能电网的性能,也是对智能电网中配电自动化系统一种必要的补充。智能电网的通信方式有无线通信和有线通信,无线电力通信以其独特的特点在国家电网通信系统中起着越来越重要的作用。在无线通信领域中,射频技术具有广泛的、不可替代的作用,射频芯片的发展程度,能否商用对电力无线通信产业的发展水平具有决定性的作用。由于传统的电路采用器件分立技术,这种传统技术需要占用大量的空间面积,成本花费高,在智能电网中研发出内部集成了数字信号处理部分以及 MCU、固件加固、自动化测试等多种功能的射频芯片,具有集成度高、低功耗多功能、低成本、节约测试时间等突出优势,将为坚强智能电网的建设提供巨大的便捷以及用电信息的采集、配电自动化、视频传输等业务提供技术支撑。射频技术在通信领域的应用,目前仍处于开拓状态,该芯片的研发成功在未来有很大的市场及实用性。

1 智能电网无线通信技术对比

根据对主要无线宽带技术的频谱情况、覆盖范围程度及业务支持情况分析,LTE230 系统和 LTE 1800,McWill(Multi-Carrier Wireless Information Local Loop,多载波无线信息本地环路)制式

对电力业务是支持的。

综合分析,LTE230 系统效果最优,在频谱政策、电力业务适用性、应用广泛性和可维护性上都有不同程度的优势,是智能电网无线通信的首选系统^[1,3]。

表 1 智能电网无线通信技术对比

	McWill	LTE 1800	LTE 230
频谱情况	工作频段为 1785~1805MHz,存在较大干扰	工作频段为 1785~1805MHz,存在较大干扰	工作频段为 230MHz,频谱利用率高,传播干扰小,信号传播距离更远,绕射能力更强
覆盖程度	覆盖区域远小于 LTE230 系统,且各种成本高	覆盖区域远小于 LTE230 系统,且各种成本高	可适应复杂环境,具有良好的覆盖能力,部署和建设成本显著降低
业务支持情况	支持率低,有适用的终端,与国网标准匹配	支持率低,缺乏适用的终端	速率快,支持率高,支持海量终端,终端在有数据传输时动态分配资源

2 LTE230 相关介绍

2.1 TD-LTE 核心技术

(1) OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用技术)

通过将不同频率中的多种信号合并为单一的信号来完成无线通信系统中的传送信号,可以大大消除子载波间的干扰,而且在频谱资源有限的无线环境中,可以极大地提高系统的频谱效率。

(2) MIMO(Multiple-Input Multiple-Output, 多输入多输出系统)

该技术有下行 MIMO 技术和上行 MIMO 技术两种,其中下行链路中还包括发射分集、空分复用和波束赋形;上行 MIMO 实际上是一个虚拟系统,用于开发空间维度资源,用到的算法方案有随机配对、正交配对、基于路径损耗和慢衰落排序的配对。MIMO 技术最大的特点在于利用空间多径因素成倍提高通信系统的容量、扩大覆盖范围和频谱效率。

(3) 链路自适应

该技术通过 AMC(Adaptive modulation of encoding,自适应调制编码)、HARQ(Hybrid automatic repeat request,混合自动请求重传)、动态功率控制来实现其功能。可以达到最大限度发送

信息,使得误码率达到更低,同时发射功率保持恒定,把不同用户间的干扰降低,满足多种业务的不同需求,提高系统的整体性能及吞吐量。

2.2 LTE230 系统

由于无线公网接入存在多方面的问题,使其不适合作为智能电网的主要通信方式。LTE230 专网具有安全可靠、干扰较小、可维护性强等突出优势,成为解决电力通信发展的重要手段,是为智能电网量身定制的系统。LTE230 系统的数据传输通道安全稳定快速,并提供相应设备和模块的配置管理功能,组网方式灵活多样,建设成本及后期维护成本都相对较低。该系统主要分为以下几部分:

(1) UE(User Experience, 接入终端)

该终端模块可实时监控复杂地区的突发状况和故障,可与系统中的多种终端设备进行直接通信。其优势在于成本低、空间占据体积小、适用于电网行业、关键技术前沿、快速灵活等。

(2) eNodeB(基站)

该系统的无线基站,其工作频段为 230MHz,能够接入多路用户,在系统中用于支持无线信号的覆盖范围程度,完成终端无线接入控制。有固定基站和车载两种类型。

(3) EPC(Envoled Packet Core,无线核心网设备)

该系统的核心网为演进型核心网设备,接在主站和无线接入网络之间,通过 LTE230 EPC,能够完成业务数据的传输、终端认证、终端 IP 地址管理、移动性管理等核心网功能。

(4) eOMC(electronic Operation and Maintenance Center,操作维护中心)

该系统的操作维护中心主要对现存的电力信息管理进行融合,对 LTE230 网络中的相关网元进行远程、实时地统一集中调度指挥管理及运维。

3 电力无线宽带通信系统芯片设计

3.1 设计方案选择

工艺平台: 130nm RFCMOS 工艺平台。

收发机架构: 接收机采用低中频架构。通过复数滤波器进行信号处理,滤除带外及镜像干扰。利用高精度 ADC 提供大部分动态范围。由于目标是低成本方案,发射机基本都采用直接变频架构,结构简单、功耗低、集成度高。

调制解调方案: 采用数字调制解调方案。在数字域实现基带信号的解调,在模拟域进行下变频正交解调。在数字域实现基带信号调制,在频综或上变频调制器实现载波调制(发射架构二选一或两者同时兼容)。

3.2 总体设计思路

高精度 ADC: 在低中频接收机中,为了降低模拟信号处理的复杂度从而节省功耗和面积,最终的频道选择、信号强度估计、信号解调都是在数字域实现。模拟基带只是对信号进行粗略的滤波和幅度调整。进入模数转换器的除了信号外还有各种干扰。ADC 的底噪需要足够低以保证足够的信噪比,线性输入范围需要足够大以便能够保证干扰、直流失调分量数字化的线性度,产生的交调分量不会影响信噪比。

电源管理: 为了实现芯片低功耗的特性,简化应用方案设计,芯片的电源管理部分需要实现片上 DC-DC 或 LDO 功能。片上 DCDC 产生的几百 KHz 级的开关频率很容易耦合到压控振荡器的调谐端,使得本振信号不纯,影响系统性能。因此,系统设计时除了需要将 DCDC 与敏感模拟电路隔离外,还需仔细选择开关频率,减小对 VCO 的干扰。使用片上 LDO 供电噪声较小,但是供电效率较低。

射频模拟部分与基带部分 SOC 实现: 射频与基带的配合,仿真阶段很难发现问题,需要整体联调比较充分。为减小数字基

带功耗,实现上采用 ASIC 代替 DSP 核,但存在灵活性的风险,需要充分仿真验证,芯片测试验证,特别是在初步方案中对各种工作条件下的测试验证,全面发现问题并一次性加以修改。

SOC 芯片在方案中的验证: 新 SOC 芯片可能无法与原有芯片直接 pin-to-pin,因此在方案中的测试验证需要有一个平台,灵活地进行。可以考虑将 SOC 主芯片作为一个模块,MCU 及 IO 和人机界面部分作为一个标准模块,替他部分作为一个标准模块。以三个模块搭成完整的测试验证方案平台,只需替换 SOC 主芯片模块即可完成各种功能和性能的方案验证。

3.3 SOC 芯片架构

3.3.1 SOC 芯片总体架构

通过以上对设计的分析,研发出 230 MHz 电力频段的专用 LTE 射频芯片。该芯片内部集成 8 位 MCU(需外接 Flash),节省了方案面积和 BOM 成本。该芯片总体架构图如图 1 所示。

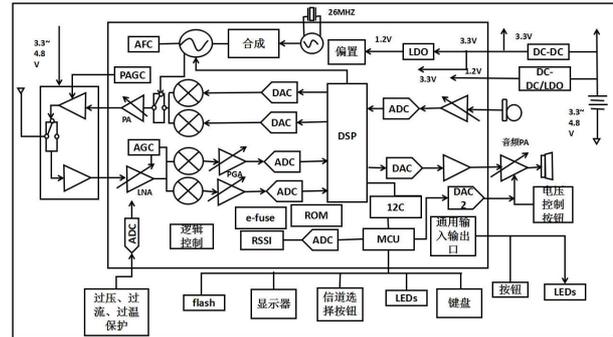


图 1 芯片总体架构图

3.3.2 数字基带 (DBB DSP) 架构

该芯片发送端和接收端的架构图,如图 2,图 3 所示。

(1) 发送端

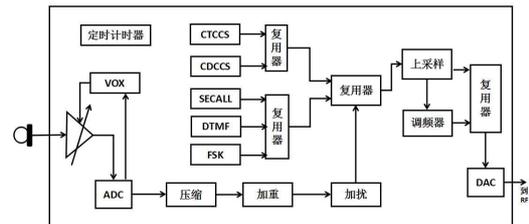


图 2 发送端架构图

(2) 接收端

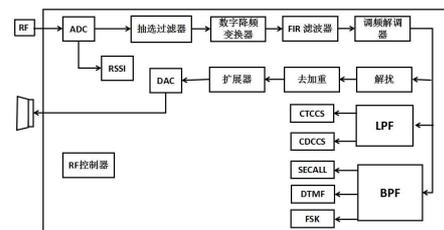


图 3 接收端架构图

3.3.3 SOC 芯片功能介绍

本芯片除了具有射频芯片的基本功能外,还在芯片内部集成 8 位 MCU,并在内部集成了语音,支持固件加固,支持产线自动化测试,大大提高了测试效率。

(1) 内部集成语音

本芯片内部集成 ROM 语音,可以满足无屏机使用,不需要外接一颗语音处理芯片,同时内部集成语音解压缩代码,在高端场合支持将语音存储到外接 Flash 内,使用内部解压缩播放语音,并且支持数字和模拟两种音量控制方式,节省硬件空间和成本,集成度更高。

工作原理图如图 4 所示。

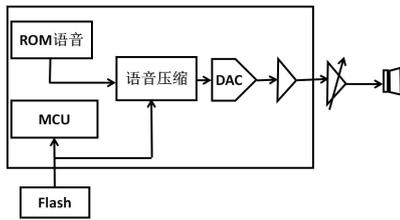


图4 语音集成原理图

(2) 支持固件加密

该芯片内部集成了 128Byte e-fuse，用于固件加密。因为芯片的 ID 每一颗或者每一批不同，因此即使固件程序被破译，该程序在别的 ID 芯片上是不能正常运行的，可以有效的保护方案商和终端厂商的方案，不会被抄袭，可保证智能电网系统的安全性，信息不外泄。具体方式如图 5 所示。

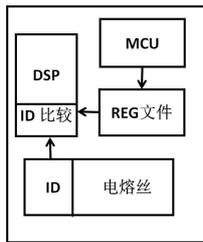


图5 固件加密原理图

4 系统测试

4.1 测试方法

目前的产线测试一般采用的是综测仪进行，而且需要进行很多步骤的测试，增加了整机的成本。该芯片研发过程中，在芯片内部建立测试通路，开发自动化测试程序，只需要电脑和该智能电网相互通信即可完成测试，通过开发软件点击“测试”，最终显示“PASS”和“FAIL”来提示测试结果。节省了智能电网的硬件成本，节省了人力成本。

4.2 测试结果

在 230MHZ 电力频段的 LTE 无线通信系统中，射频芯片用于接收无线信号。通过对数据率不同的情况下的系统进行测试，射频芯片性能测试结果如表 2、表 3 所示。

表 2 数据率=14.96Mbps

信道	结果	下限	上限	单位	PASS/FAIL
1	13.62557	-30	20	dBm	PASS
2	13.92583	-30	20	dBm	PASS
3	13.36956	-30	20	dBm	PASS
4	15.21514	-30	20	dBm	PASS
5	15.09190	-30	20	dBm	PASS
6	15.37422	-30	20	dBm	PASS
7	15.35692	-30	20	dBm	PASS
8	14.34720	-30	20	dBm	PASS
9	14.79514	-30	20	dBm	PASS
10	15.75739	-30	20	dBm	PASS
11	15.92585	-30	20	dBm	PASS
12	15.91722	-30	20	dBm	PASS
13	16.34184	-30	20	dBm	PASS

表 3 数据率=14296Mbps

信道	结果	下限	上限	单位	PASS/FAIL
1	13.62557	-30	20	dBm	PASS
2	13.92583	-30	20	dBm	PASS
3	13.36956	-30	20	dBm	PASS
4	15.21514	-30	20	dBm	PASS
5	15.09190	-30	20	dBm	PASS
6	15.37422	-30	20	dBm	PASS
7	15.35692	-30	20	dBm	PASS
8	14.34720	-30	20	dBm	PASS

9	14.79514	-30	20	dBm	PASS
10	15.75739	-30	20	dBm	PASS
11	15.92585	-30	20	dBm	PASS
12	15.91722	-30	20	dBm	PASS
13	16.34184	-30	20	dBm	PASS

5 结论

本芯片的设计规格切实符合电力市场的应用需求，其功能与性能均满足电力无线通信的要求，具有高性能、低功耗、低成本等诸多优点。该射频芯片的成功研制填补了我国在该领域的产品空白，为电力无线专网 LTE230 的建设和无线电网技术的推广奠定了技术基础。作为国家战略新兴产业的智能电网和高性能芯片设计的重要结合产品，不仅提高了电力无线通信专网的应用服务能力和应用前景。也提高了电网的互动化水平，为国家电网推广坚强智能电网的目标提供了可靠依据。该的研发具有重要的战略意义和现实意义。

参考文献:

[1]杨晓华.解析智能电网中的无线通信技术[J].通讯世界, 2014.Yang Xiaohua. Parsing the Wireless Communication Technology of the Smart Grid. Telecom World, 2014.

[2]张瀚峰, 闫淑辉, 冯世英. LTE230 系统在智能电网中的应用[J].电信网技术, 2015.Zhang Hanfeng, Yan Shuhui, Feng Shiyang. Application of LTE 230 System in Smart Grid[J]. Telecommunications NetworkTechnology, 2015.

[3]徐珂航. 无线通信技术在电力系统的应用[J]. 通讯世界. 2013 (11) .Xu Kehang. Application of Wireless Communication Technology in Electric Power System[J]. Telecom World, 2013.

[4]王子波, 张树华, 赵东艳. 230MHz 电力频段专用 LTE 基带芯片设计[J].电子技术应用, 2015.Wang Yubo, Zhang Shuhua,Zhao Dongyan. Custom LTE baseband chip in 230 MHz power band, Application ofElectronic Technique, 2015.

[5]侯周国.超高频射频识别系统测试关键问题的分析与研究[D].湖南大学, 2013.Hou Zhouguo. Analysis and Research of the Key Test Technologies of the Ultra-high Frequency Radio FrequencyIdentification Systems, Hunan University, 2013.

[6]孙千十.集成电路封装中的引线键合技术探究[J]. 电子制作, 2015.Sun Qianshi. Research of the wire Bonding Technology of Integrated Circuit Packaging. PracticalElectronics, 2015.

[7]陈安伟. 智能电网技术经济综合评价研究[D]. 重庆大学, 2013.Chen Anwei. Research on the Technical Economic Problems of the Smart Grid. Chongqing University, 2013.

[8]熊迁. 射频芯片自动测试系统设计与实现[D]. 中南大学, 2014.Xiong Qian. Design and Implementation of RFID Automatic Testing System. Zhongnan University, 2014.

[9]Li Songting, Li Jiancheng, Gu Xiaochen, Zhuang Zhaowen. Dual-band RF receiver for GPS-L1 and compass-B1 in a 55-nm CMOS[J]. Journal of Semiconductors, 2014.

[10]张仪. 亚洲 TD-LTE 的发展之路[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2011.Zhang Yi. TD-LTE's development in Asia.. Satellite TV & IP Multimedia, 2011..

[11]郭锡荣, 罗继鸿.射频技术在无线通信领域的应用探析[J]. 数字技术与应用, 2014.Guo Xirong, Luo Jihong. Analysis of the Application of RF Technology in Wireless Communication Field. DigitalTechnology and Application, 2014.

[12]Xie Le, Cui Shuguang. SMART GRID COMMUNICATIONS[J]. China Communications, 2015.

本文项目支撑:烟台科技项目编号: 5206051400K9; 潍坊科技项目编号是: 5206041400TP