

文章编号: 1000-128X(2018)02-0115-04

# 便携式 LTE-R 测试设备设计及性能分析

白国岩

(中铁十六局集团电气化工程有限公司, 北京 100018)

**摘要:** 针对 LTE-R 专用测试仪器体积大、可操作性和便携性差、需要车载供电等问题, 利用软件无线电技术设计一款便携式 LTE-R 测试设备。通过混频电路、射频开关电路、高速 ADC 采样电路和 ARM 控制显示系统, 实现从射频信号预处理、数据采集、传输到显示、存储。该便携式 LTE-R 测试设备结合软件无线电技术和嵌入式系统技术, 最终实现了平板电脑尺寸的便携效果, 具有良好的可操作性及便携性。经朔黄线 LTE-R 覆盖测试分析和 SINR 测试统计分析证明, 该便携式 LTE-R 测试设备满足实际测量需要, 有效提高了现场施工测量效率。

**关键词:** LTE-R; 软件无线电; 无线列调; 混频; 测试仪器

**中图分类号:** U284.91; TN911.7

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.02.027

## Design and Performance Analysis of Portable LTE-R Test Equipment

BAI Guoyan

(Electrical Engineering Co., Ltd. of China Railway 16<sup>th</sup> Bureau Group, Beijing 100018, China)

**Abstract:** According to the problem of large volume, poor operability and portability, requiring vehicle power supply of the LTE-R specific testing instrument, a portable LTE-R testing equipment using software radio technology was designed, which realized RF signal pre-processing, data acquisition, transmission, storage and display with the mixer circuit, RF switch circuit, high-speed ADC sampling circuit and ARM control and display system. Combining software radio technology and embedded system technology, the portable LTE-R testing equipment finally achieved the effect of the size of the portable tablet computer with operability and good portability. The LTE-R coverage testing analysis and SINR testing analysis of Shuo-Huang line showed that the portable LTE-R testing equipment met the demand of actual measurement, and the efficiency in the field of construction measurement could be effectively improved.

**Keywords:** LTE-R; software radio; radio sequence modulation; mixing frequency; test instrument

## 0 引言

朔黄铁路的无线列调系统采用基于 800 MHz+400 kHz 无线通信网络, 为重载组合列车机车无线重联同步操控提供传输通道<sup>[1]</sup>。随着朔黄铁路运输业务的不断发展, 其每年的运输量逐年提升, 为保障运输安全, 对铁路移动通信系统的要求除可靠性外, 还需要高速率的带宽保障、高质量无线覆盖, 以及移动系统的可扩展性和演进性<sup>[2-3]</sup>。为解决朔黄线存在的长大重载列车纵向冲动问题, 需要采用列尾可控并与机车制动操

作联动技术<sup>[4]</sup>。主控机车头与列尾从控机车需要进行可靠通信, 而且通信距离将达到 2.5 km 以上<sup>[5]</sup>。目前的无线列调通信距离不够长, 通信过程的准确性和安全性无法保证, 是现存的 800 MHz 无线列调通信系统所存在的问题, 从而导致无法满足新业务的要求<sup>[6]</sup>。为满足朔黄重载铁路的众多通信需求, 采用 LTE-R 技术改造既有线路的无线列调系统<sup>[7-8]</sup>。在改造施工过程中, LTE-R 专用测试仪器存在体积大、可操作性和便携性差、必须车载供电等问题。为了保证施工质量、提高效率, 利用软件无线电技术设计一款便携式 LTE-R 测试设备。此设备具有良好的便携性和可操作性, 大大地提高了工程测试效率。

收稿日期: 2017-11-30

基金项目: 国家自然科学基金应急管理项目(61650207)

## 1 整体架构设计

整体架构设计如图1所示,所设计的便携式LTE-R测试系统采用基于软件无线电的架构实现。为了解决在实际应用中超宽带滤波器设计困难和AD采样频率要求过高的问题,采用中频数字化结构,即低通中频与数字化相结合的方法来实现便携式LTE-R测试设备。

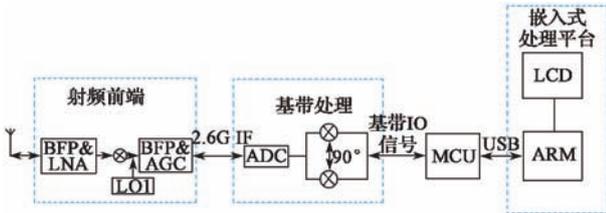


图1 便携式LTE-R测试设备整体架构

在LTE-R测试系统中射频信号通过天线进入射频前端处理,随后进入混频处理<sup>[9]</sup>。LTE-R测试系统通过芯片RFFC5072完成乘法混频,通过上位机发送命令将2 MHz~6 GHz指定频段信号变频到70 MHz。此时信号的最高频率就是信号的带宽,对于后续采样频率的选取不必取2倍带宽,仅需大于采样信号的带宽即可。

系统经过混频器后的中频带通信号的中频频率为 $f_0$  (70 MHz),通过数字下变频,乘以 $e^{-j\omega_0 t}$ 将该中频信号的正频谱部分搬运到基带,即进行如下运算:

$$x_B(t) = x(t)e^{-j\omega_0 t} = x(t)\cos(\omega_0 t) - jx(t)\sin(\omega_0 t) \quad (1)$$

基带信号通过低通滤波滤除 $x(t)$ 的高频信号,然后得到正交信号 $I$ 和 $Q$ 。式(1)中的实部和虚部是两个正交的基带信号,将其分别通过低通滤波后得到需要的信号,即

$$I(t) = [x(t)\cos(\omega_0 t)]h_{LP}(t) \quad (2)$$

$$Q(t) = [x(t)\sin(\omega_0 t)]h_{LP}(t) \quad (3)$$

$I$ 、 $Q$ 为正交信号,其带宽均为 $B/2$  ( $B$ 为采样信号带宽),因此 $I(t)$ 、 $Q(t)$ 的采样速率只需要取 $B$ ,即正交采样时采样率可以降为非正交采样时的一半。本系统中信号采样带宽为20 MHz,则其最高采样频率只需20 MHz,因此可以有效降低系统采样率,同时利用 $I$ 、 $Q$ 正交信号,有利于LTE-R信号的实时测量和分析处理。

## 2 硬件电路设计

便携式LTE-R测试系统首先通过射频前端实现信号的混频和射频开关功能将接收到的射频信号转换为中频信号,随后经过基带处理AD数字化,中频信号转变为基带IQ信号,并通过USB输出到嵌入式ARM平台,最后进行信号解调和测量分析处理。

### 2.1 射频前端设计

射频前端实现信号的混频和射频开关功能。混频

完成射频信号到中频信号的频谱搬移,射频开关实现信号收发转换和信号是否放大、是否经过滤波器的选择。

#### 1) 混频器

在本设计中采用压控振荡器和小数分频锁相环频率合成器集成的可配置频率转换器件RFFC5072来实现混频功能。设备的编程接口通过IIC总线实现<sup>[10]</sup>,图2为RFFC5072的原理图。

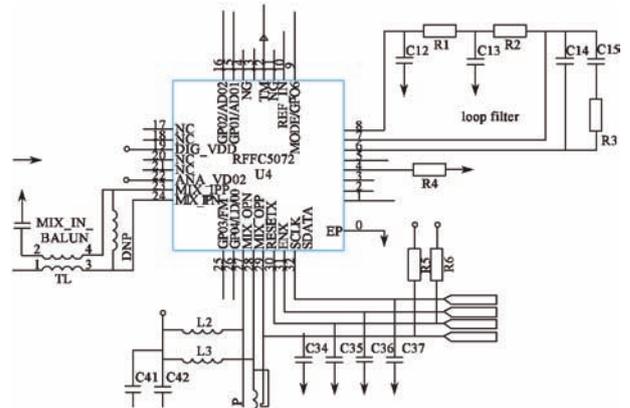


图2 混频电路图

#### 2) 射频开关

射频前端利用射频开关实现收发信号转换和放大滤波的选择。设计中采用SKY13317和SKY13350实现射频开关功能。这两款射频开关的特性在通带频率为2 MHz~6 GHz范围内传输损耗小于0.5 dB,隔离系数大于18 dB。图3为射频开关的电路图。

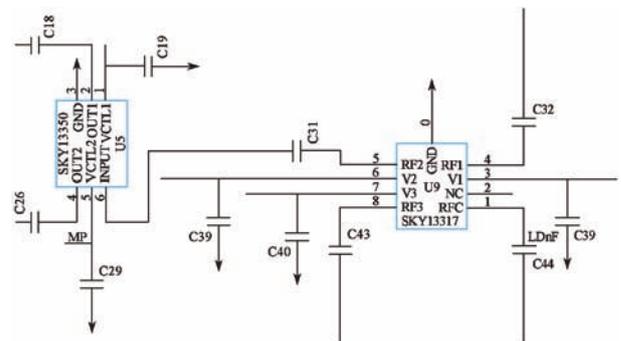


图3 射频开关电路图

### 2.2 基带处理

基带处理部分主要实现将中频信号AD数字化,中频信号转变为基带IQ信号。模数/数模转换采用MAX5864,平台采用USB2.0传输接口,则此时的数据带宽为40 Mbit/s,而这一数值已经接近USB2.0总线的实际峰值传输速率。图4为MAX5864基带处理电路图。

### 2.3 通信控制

通信控制部分主要实现射频信号频段选择和利用USB总线完成与嵌入式平台之间数据传送,在嵌入式系统中完成信号解调和测量分析处理。

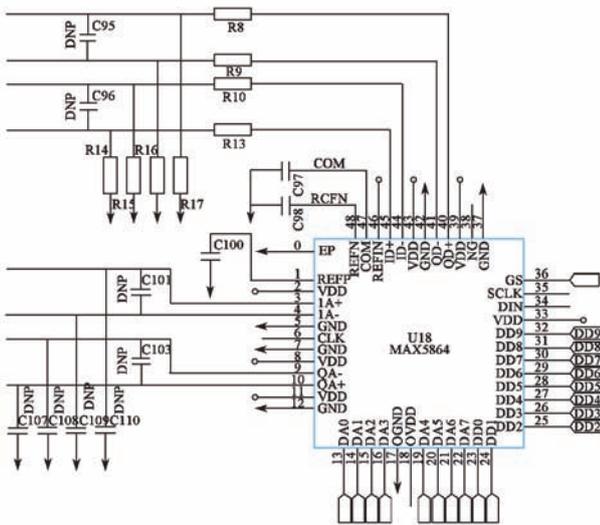


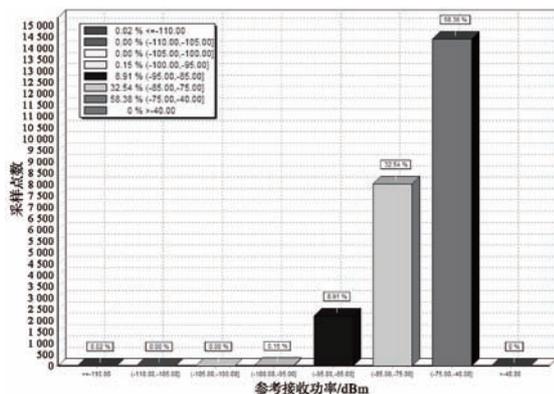
图 4 MAX5864 基带处理电路图

### 3 现场测试

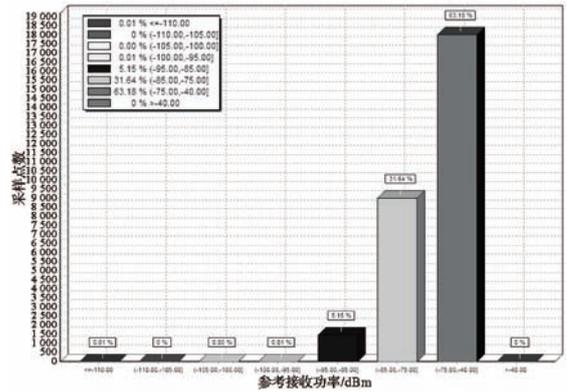
针对朔黄线重载列车对 LTE-R 通信系统的业务需求现状，利用便携式 LTE-R 测试设备对 LTE-R 通信系统无线数据中的电平进行相应测试分析，进而确定覆盖率，同时对本次测试过程中发现的潜在风险点做出分析。朔黄铁路的所有机车无线重联终端和列尾采用 A、B 两个通信模块驻留在 A、B 网，系统采用 A、B 网同址双网覆盖模式，分别承载 LTE-R 系统 A 网和 B 网业务，当 A 网或 B 网基站故障时，通过 A、B 两个通信模块自动切换网络，实现可靠的无线重联终端业务和可控列尾通信，保证 LTE-R 系统业务的安全可靠。本次轨道车上、下行测试覆盖具体指标如表 1 所示。这里，肃宁北—黄骅港为机车上行方向，通过测试得到机车上、下行方向网络覆盖区间分布情况。肃宁北—黄骅港机车上行方向网络覆盖区间分布如图 5 所示，这里没有列出下行方向网络覆盖区间分布图，但并不影响对结果的分析。

表 1 轨道车测试覆盖指标

测试区间	覆盖率	平均 RSRP/dBm	
肃宁北—黄骅港	A 网	99.98%	-72.69
	B 网	99.99%	-71.52
黄骅港—肃宁北	A 网	99.97%	-71.29
	B 网	100%	-72.28



(a) A 网机车上行方向网络覆盖区间分布



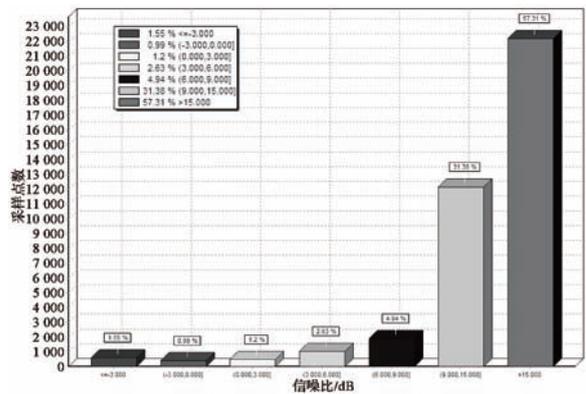
(b) B 网机车上行方向网络覆盖区间分布

图 5 A 网和 B 网机车上行方向网络覆盖区间分布

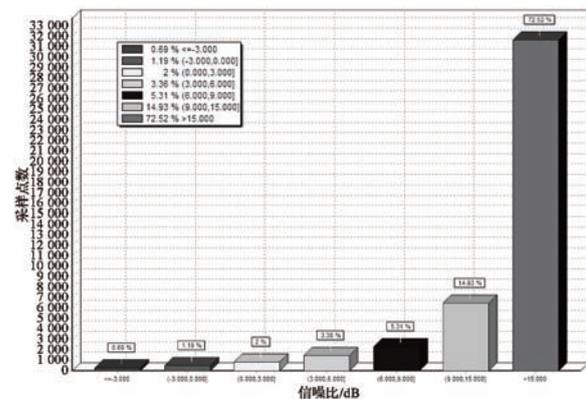
本次轨道车上、下行测试 SINR 具体统计值如表 2 所示，机车上行方向 SINR 值区间分布如图 6 所示。同样，这里没有列出下行方向 SINR 值区间分布图，但并不影响对结果的分析。

表 2 SINR 统计值

测试区间	SINR 平均值 /dB	SINR ≥ 0 dB 采样点占比	
肃宁北—黄骅港	A 网	15.78	97.46%
	B 网	19.38	98.12%
黄骅港—肃宁北	A 网	13.79	90.46%
	B 网	19.78	99.52%



(a) A 网机车上行方向



(b) B 网机车上行方向

图 6 A、B 网机车上行方向 SINR 值区间分布

### 4 结语

针对 LTE-R 专用测试仪器体积大、可操作性和便携性差、必须车载供电等问题，设计一款基于软件无

线和嵌入式系统技术的便携式 LTE-R 测试设备。系统通过混频和射频开关功能将接收到的射频信号转为中频信号,再经过基带处理 AD 数字化将中频信号转变为基带 IQ 信号,通过 USB 输出到嵌入式 ARM 平台,做信号解调和测量分析处理,并对 LTE-R 无线信号分析。经过朔黄线 LTE-R 工程施工测试,满足现场需要,提高了现场工作效率,具有较高的实际应用价值。

#### 参考文献:

- [1] Chen S K, Ho T K, Mao B H. Reliability evaluations of railway power supplies by fault-tree analysis [J]. IET Electric Power Applications, 2007, 1(2): 161-172.
- [2] Gao T, Sun B. A high-speed railway mobile communication system based on LTE [C] //2010 International Conference On Electronics and Information Engineering. Kyoto, Japan: IEEE, 2010: 414-417.
- [3] Ding X, Chen X, Jiang W. The Analysis Of GSM-R Redundant Network And Reliability Models On High-Speed Railway [C] //2010 International Conference On Electronics and Information

Engineering. Kyoto, Japan: IEEE, 2010: 154-158.

- [4] 王映民, 孙韶辉. TD-LTE 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [5] 苗沁, 周天星. 城市轨道交通折返站折返能力分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2010(11): 57-61.
- [6] Asadi A, Mancuso V. WIFI Direct and LTE D2D in action [C] //2013 IFIP Wireless Days(WD). Valencia, Spain: IEEE, 2013: 1-8.
- [7] 陆小红, 张晓风, 郑木火, 等. 重载列车智能化操作系统车地实时通信方案研究与实现 [J]. 铁道标准设计, 2016, 60(8): 130-133.
- [8] 孙永生, 刘德勇, 孙莹莹, 等. 朔黄铁路调度优化系统研究 [J]. 铁道标准设计, 2015, 59(12): 111-114.
- [9] 邱小群, 张钢. 基于 CMOS 的电子传感接收电路的设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2017, 40(18): 124-126.
- [10] 高晨亮. GSM-R 干扰评估及定位研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007.

作者简介: 白国岩 (1975—), 男, 高级工程师, 主要从事铁路“四电(通信、信号、电力、电气化)”专业、轨道交通机电安装专业的施工及技术研究。

(上接第 102 页)从表 1 可以看出,通过增加降噪优化措施,工况 2 的噪声降低量为 5.9~10.3 dB(A),工况 3 的噪声降低量为 8.6~12.2 dB(A),取得了明显的降噪效果。

表 1 优化前后的噪声测试结果对比 dB(A)

测点	优化前		优化后	
	工况 2	工况 3	工况 2	工况 3
N2	56.4	73.2	48.5	64.4
N5	54.7	71.7	48.1	63.1
N8	54.2	72.5	43.9	60.3
N11	57.8	76.8	49.1	65.2
N14	62.0	81.4	56.1	72.5

## 4 结语

本文对某地铁车辆辅助变流器进行振动噪声测试及噪声特性分析,通过优化风道结构和风道消声处理 2 个方面对辅助变流器进行了噪声控制,试验验证优化前后的风机高速整机满载工况的噪声降低量为 8.6~12.2 dB(A),有效提升了辅助变流器的噪声品质。目前,这些优化措施已应用在实际产品中,取得了明

显的应用效果。由于辅助变流器的噪声除风机、风道引起的气动噪声外,还有变压器、电抗器和电力电子器件等产生的电磁噪声,后续将进一步加强电磁噪声控制的相关研究,继续提升辅助变流器的噪声品质。

#### 参考文献:

- [1] 颜猛, 贺才春, 郭福林, 等. 轨道车辆用变流器的气动噪声控制 [J]. 大功率变流技术, 2015 (6): 49-52.
- [2] 魏周艳, 颜猛, 刘清, 等. 强迫风冷式地铁辅助变流器的噪声控制 [J]. 大功率变流技术, 2016 (4): 46-49.
- [3] 陈可安, 曾向阳, 杨有粮. 声学测量 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [4] 马大猷. 噪声与振动控制手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 袁昌明, 方云中, 华伟进. 噪声与振动控制技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [6] 钟祥璋. 建筑吸声材料与隔声材料 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2012.

作者简介: 丁杰 (1979—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为一般力学与力学基础、变流器结构仿真与热仿真。