



230 MHz 电力无线通信技术的优化

赵训威, 白杰, 丁高泉, 相里瑜
(国网信息通信产业集团有限公司, 北京 102211)

摘要: 针对 230 MHz 频段电力无线专网连续分配载波的情况, 给出了提高频谱效率的优化设计。通过取消载波间的预留保护带, 采用连续子载波频域资源映射、自适应 FFT 与滤波处理, 减少了运算量, 提高了业务速率。针对 230 MHz 电力无线专网两种技术制式标准统一的问题, 给出了必要性和重用公网成熟终端与系统设备产业链的初步分析。

关键词: LTE 230; 连续子带; 频域资源映射; 中频滤波

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019195

Optimization of electric power wireless communication technology

ZHAO Xunwei, BAI Jie, DING Gaoquan, XIANG Liyu
State Grid Information & Telecommunication Group Co., Ltd., Beijing 102211, China

Abstract: An optimized design for improving spectral efficiency was given for the case where the power wireless private network in the 230 MHz band continuously allocates carriers. By canceling the reserved guard band between carriers, continuous subcarrier frequency domain resource mapping, adaptive FFT and filtering processing were used, which reduced the amount of computation and improves the service rate. Aiming at the problem of unification of two technical standards of 230 MHz power wireless private network, the necessity and the preliminary analysis of the mature terminal and system equipment industry chain of public network were given.

Key words: LTE 230, continuous subband, frequency resource mapping, intermediate frequency filtering

1 引言

230 MHz 是国家无线电管理委员会(以下简称无委)规定供遥测、遥控和数据传输使用的频段, 目前主要被气象、电力、水利、地矿等行业使用。230 频段总带宽为 12 MHz, 划分为 480 个

频点^[1], 每个频点对应的载波带宽为 25 kHz, 载波又称为子带, 其中主要有两段共 7 MHz 合计 278 个载波可供电力无线应用。在这 7 MHz 里, 有 43 个零散分布频点已被其他行业占用, 故电力行业总共可以使用 235 个离散分布的载波频点^[2], 其中, 能够连续分配的最大频点数为 41 个。

2 230 MHz 电力无线通信技术

电力无线通信技术的候选技术包括 4G/5G 公网技术、无线专网技术^[3]。230 MHz 频段电力行业分配的频点,其频谱特性较为离散^[4]、连续带宽较窄,如图 1 所示。而公网技术设计为适用连续频谱、较大带宽,目前暂不考虑采用。

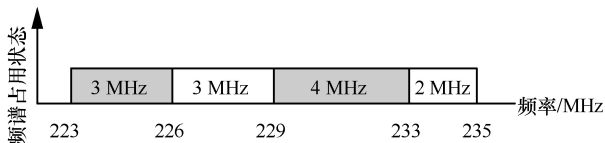


图1 电力专用频谱分布图

230 MHz 电力无线专网技术^[5]目前主要有两种制式:LTE-G 与 IoT-G,两者均基于 LTE/NB-IoT 技术,针对 230 MHz 频段离散频率资源进行设计,主要区别在于空口无线参数设计^[6],包括帧结构、时频资源结构、FFT 点数、子载波间隔及由此衍生出的调度控制机制等。

LTE-G 的一个无线帧长为 25 ms,包括 5 个时长 5 ms 的子帧^[7],分别为 1 个下行子帧、1 个特殊子帧和 3 个上行子帧,每个子帧包含 9 个 OFDM 符号,OFDM 符号采用 64 点 FFT,子载波间隔 2 kHz,每个子带包含 11 个子载波,基带采样速率为 128 ks/s,有效子载波共占用 22 kHz 带宽,每个

25 kHz 载波的两侧各留 1.5 kHz 的保护带,频谱占用率为 88%。

IoT-G 的帧结构与 LTE-G 类似,差别在于 DL 与 UL 子帧各占 2 个,第 3 个子帧是特殊子帧;其无线帧长为 10 ms^[8],包括 5 个时长 2 ms 的子帧,每个子帧包含 6 个 OFDM 符号,OFDM 符号采用 16 点 FFT,子载波间隔 3.75 kHz,每个子带包含 6 个子载波,基带采样速率为 60 ks/s,有效子载波共占用 22.5 kHz 带宽,每个 25 kHz 载波的两侧各留 1.25 kHz 的保护带,频谱占用率为 90%。

LTE-G 目前是按照各个载波单独处理的^[9-10],包括频域资源子载波映射、FIR 滤波以降低对邻带干扰、上采样与中频滤波等^[11-12],LTE-G 的处理流程如图 2 所示。IoT-G 的处理流程大致相同,区别仅在于 FFT 点数为 16,基带采样速率为 60 ks/s,中频采样速率为 15.36 Ms/s,是 256 倍上采样。

3 230 MHz 电力无线专网技术的优化设计

3.1 优化设计原理

每个载波单独处理,都有各自的保护带。但电力通信终端具有多种能力等级,已出现分别支持单子带、4 子带、16 子带、40 子带、280 子带等多种规格。

当多子带能力终端接入网络时,如果基站对

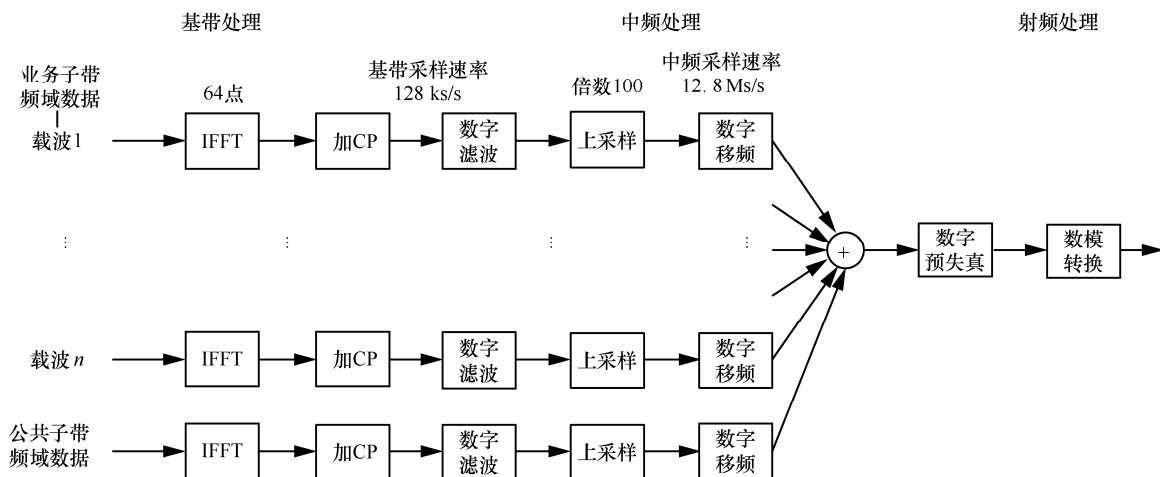


图2 LTE-G 信号处理过程



终端分配多个连续载波资源, 由于多个连续载波都分配给电力行业使用, 而载波中间仍然保留保护带, 这些保护带不能传输有效数据, 会造成这部分频率资源浪费, 频谱利用率不高, 影响业务速率。

本文设计一种优化基带频域资源映射与中频的方法, 在降低运算量复杂度的同时提高频谱利用率, 其原理如下。

- 分配给终端连续占用的载波子带, 不再单独进行单个载波的基带频域资源映射与滤波处理^[13], 而是把连续占用载波组合作为整体带宽资源进行资源映射与滤波处理, 仅在整体带宽的两侧预留保护带。
- 自适应 FFT 与滤波处理, 针对不同连续带宽分配, 对应采用不同 FFT 点数与 FIR 滤波器系数。

以两个连续载波为例, 如图 3 所示, 原来两

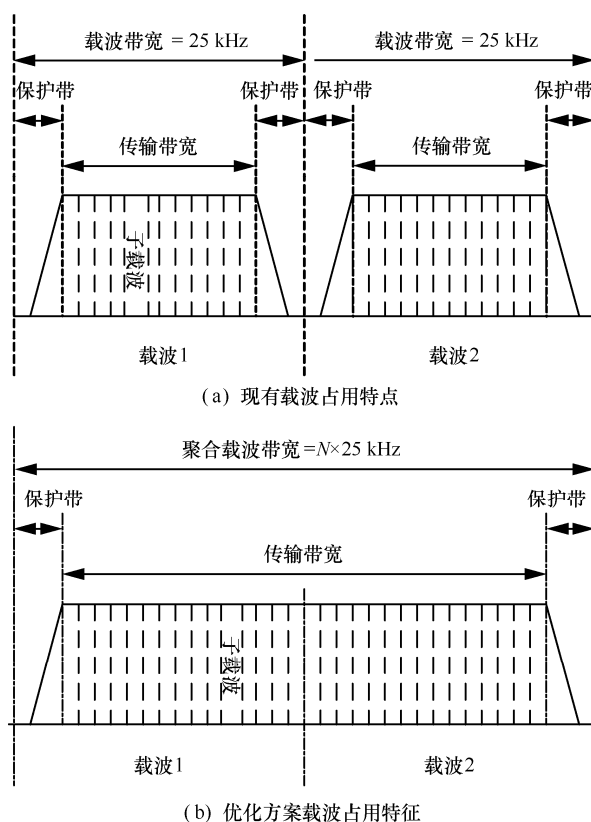


图3 优化的电力无线频谱资源占用

个载波中间的保护带宽部分, 采用优化设计方案后, 可以用于有效的基带频域子载波映射, 从而提高了频谱效率; 另外, 多个连续载波资源映射后, 仅需要进行一次 FFT 运算与 FIR 滤波处理, 相比现在每个载波都需要单独进行处理, 优化方案的运算量大大降低。

根据无委的频率规划使用表, 电力占用的频率资源, 最多可以分配连续的 41 个载波^[1], 故存在连续分配 1~41 个载波/子带的情况, 需要在此约束下分别设计针对 LTE-G 和 IoT-G 的优化方案。

3.2 LTE-G 优化设计方案

根据优化设计原理重新设计不同连续带宽所对应的参数^[14], 考虑到提高频谱占用率, 同时减小 FIR 滤波器阶数^[13], 按照频谱占用率不超过 96% 的原则, 分别计算有效子载波个数 N_{sc} 、保护带大小、FFT 点数、基带采样速率, 并根据这些参数计算频谱利用率和业务速率可提高的百分比。

由此, 可计算出 LTE-G 的优化设计参数如下。

- 分配两个连续子带时, 子载波个数 N_{sc} 为 23, 单侧保护带为 2 kHz, 频谱占用率为 92%。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为 3~40 时, 子载波个数 $N_{sc} = 12 \times N_{sb}$, 单侧保护带为 $0.5 \times N_{sb}$, 频谱占用率为 96%。
- 分配连续子带个数 $N_{sb} = 41$ 时, 子载波个数 $N_{sc} = 12 \times N_{sb} = 492$, 单侧保护带为 20 kHz, 频谱占用率为 96%。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为 1~5 时, FFT 点数为 64, 基带采样速率为 128 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为 6~10 时, FFT 点数为 128, 基带采样速率为 256 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为 11~20 时, FFT 点数为 256, 基带采样速率为 512 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为 21~41 时, FFT 点数为 512, 基带采样速率为 1 024 ks/s。

表 1 给出了示意几种分配连续带宽下计算的

参数配置,其他带宽配置同样可按照上面7条规则计算。

表1 LTE-G 优化设计参数

连续分配子带个数	带宽/kHz	子载波个数	保护带/kHz	FFT点数	基带采样速率/(ks·s ⁻¹)
1	25	11	1.5	64	128
2	50	23	2	64	128
3	75	36	1.5	64	128
6	150	72	3	128	256
11	275	132	5.5	256	512
21	525	252	10.5	512	1 024
40	1 000	480	20	512	1 024
41	1 025	492	20	512	1 024

3.3 IoT-G 优化设计方案

同样地,可以根据优化设计原理重新设计不同连续分配载波带宽对应的参数,考虑到提高频谱占用率^[15],同时减小FIR滤波器阶数,按照频谱占用率不超过96%的原则,分别计算各种带宽配置下的优化参数。

由于IoT-G的子载波间隔是3.75 kHz,不能被载波带宽15 kHz整除,故子载波个数 N_{sc} 和保护带大小并不随载波个数 N_{sb} 而线性变化,其优化设计参数计算如下。

- 按照不超过频谱占用率96%为限制,计算子载波个数 N_{sc} 及对应的保护带。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为1~2时,FFT点数为16,基带采样速率为60 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为3~4时,FFT点数为32,基带采样速率为120 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为5~9时,FFT点数为64,基带采样速率为240 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为10~19时,FFT点数为128,基带采样速率为480 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为20~38时,FFT点数为256,基带采样速率为960 ks/s。
- 分配连续子带个数 N_{sb} 为39~41时,FFT

点数为512,基带采样速率为1 920 ks/s。

表2给出了示意几种分配连续带宽下计算的参数配置,其他带宽配置同样可按照上面7条规则计算。

表2 IoT-G 优化设计方案

连续分配子带个数	带宽/kHz	子载波个数	保护带/kHz	FFT点数	基带采样速率/(ks·s ⁻¹)
1	25	6	1.25	16	60
2	50	12	2.5	16	60
3	75	19	1.875	32	120
5	125	32	2.5	64	240
10	250	64	5	128	480
20	500	128	10	256	960
39	975	249	20.625	512	1 920
40	1 000	256	20	512	1 920
41	1 025	262	21.25	512	1 920

3.4 复杂度与性能分析

采用连续子载波进行频域资源映射的优化设计后,不再需要每个子带分别进行FFT运算与FIR滤波处理,可以降低运算量,同时提高频谱效率。以LTE-G分配连续30子带为例,数字FIR滤波器性能如图4所示。

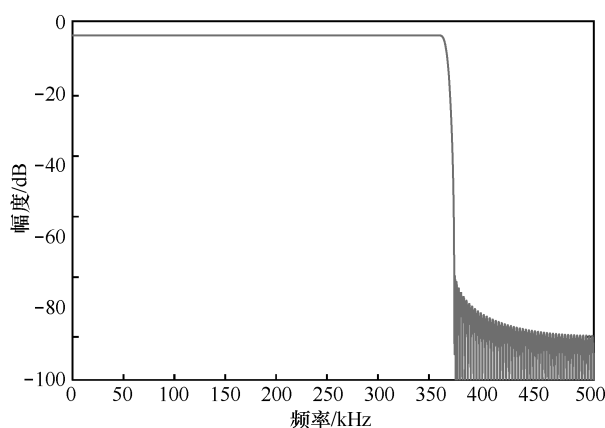


图4 连续分配30子带的FIR滤波器性能

可以看出,优化设计增加了过渡带比例,从而降低了滤波器设计难度^[16],数字域可达到对邻带ACLR 80 dB的抑制比,加上模拟器件的非线



性底噪抬升,总体可以达到 50~60 dB 的抑制性能,而无委的指标要求为 47 dB^[1];故经过滤波处理后的连续载波信号,同样可以满足无委的带内无用功率指标。

优化设计方案与现有各个载波分别进行中频处理的方案相比较,减少的运算复杂度与提升的性能对比见表 3。

表 3 复杂度与性能分析

	运算量减小	传输速率提升
LTE-G	77.46%	9.09%
IoT-G	16.18%	6.07%

以 LTE-G 为例,优化设计的信号处理流程如图 5 所示。IoT-G 的优化处理流程类似。

4 230 MHz 电力无线专网技术的标准统一

4.1 标准统一与融合

如前所述,230 MHz 目前有两种技术制式:LTE-G 与 IoT-G,两种制式标准均基于 4G/NB-IoT 相关技术,结合电网业务特点进行了一些共性针对性设计,如控制信道和数据信道的多帧分配与多次重复以提升可靠性与扩展覆盖范围,简化广播信息和 RRC 信令以简化协议栈复杂度,降低 RF 收发指标以降低终端设备实现与成本等;但两

种制式仍存在较大差异,如帧结构、载波间隔与时频资源、上下行配比、跳频与频谱感知、免调度传输与同帧调度等,这就造成两种技术制式的产业链力量较为分散,无法集中产业资源进行电力无线专网产业链的培育与促进,同时在实际网络部署时也需要考虑两种技术制式边界的交叉干扰问题,增加了工程实施的难度。

鉴于此,国家电网公司正在推动两种技术制式的标准统一,吸取两种技术制式的优点并进一步优化设计,同时考虑采用一些 5G 先进技术^[15]来完善 230 MHz 电力无线专网标准,以促进产业链的集中培育与壮大,使无线通信感知层的功能能够满足泛在电力物联网的需求,同时也为电力无线专网标准结合 5G 的国际化应用做必要的技术铺垫。

4.2 重用 4G 公网产业链分析

230 MHz 电力无线专网与 4G/NB-IoT 技术相比,最本质的差别在于采用了物理层的离散载波聚合技术,而非公网的 MAC 层载波聚合技术,此外系统设计基本参数存在差异,由此造成了电力无线专网的各设备网元复用 4G/NB-IoT 公网产业链的程度存在差异。

整体上,电力无线专网在系统设计时,已尽可能考虑最大化重用现有产业链^[17-18],充分利用

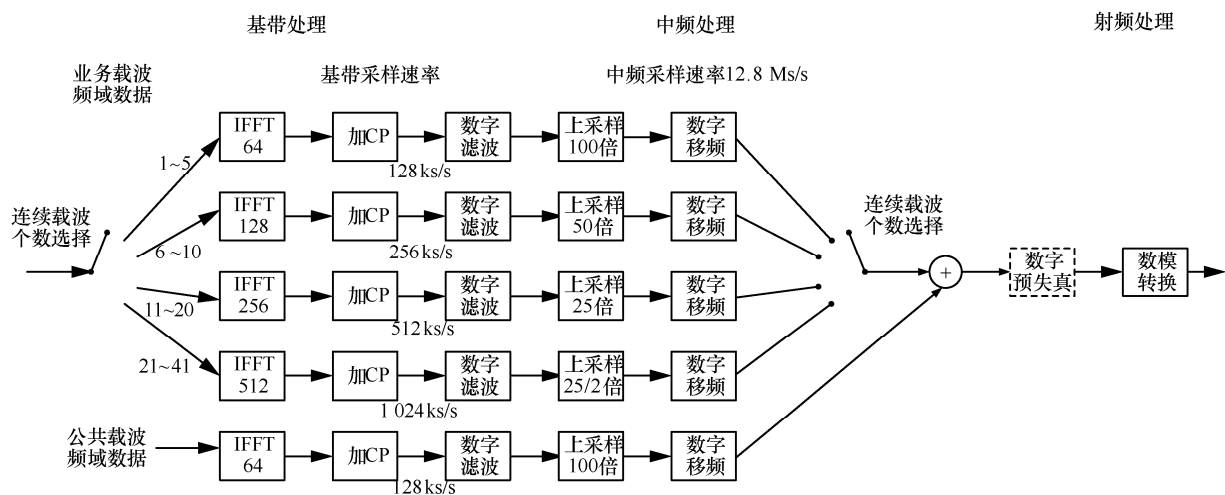


图 5 LTE-G 优化设计方案的信号处理过程

已成熟的各个环节,降低终端、系统设备研发与网络部署成本。

对于核心网、网管等,其功能与底层无线技术无关,可完全重用公网产业链。

对于基站,硬件部分,射频模拟部分、天线及RRU板卡由于230 MHz频段与公网不同,不能重用公网部分,需要重新设计板卡,其他如BBU板卡、时钟板、主控板等,可完全重用;软件部分,RRU的FPGA数字中频处理^[19]、基带PHY与MAC协议栈的复用程度较低,需较大改动,这些也是工作量最大的部分,RLC/PDCP/RRC/NAS/S1等改动较小,复用程度较高。整体上在RRU适配230 MHz频段而重新设计板卡后,基于目前基站能力,仅需要软件升级。

对于终端,硬件部分,如基带芯片^[20]、射频芯片、天线等,无法复用公网部分,需要重新设计,其他部分如载板、与电力业务终端的接口板等,可以重用;软件部分,与基站类似,主要修改数字中频、基带PHY与MAC协议栈,基于终端公网协议栈进行软件功能的修改升级即可。

对于测试仪表,频谱仪、信号源等不涉及协议分析功能,可以重用R&S、Keysight等公网常规仪表,涉及协议分析功能的仪表如协议一致性分析仪、综测仪等,需要重新设计硬件来适应230 MHz频段,同时进行软件部分的功能修改升级。

5 结束语

本文针对230 MHz频段电力无线通信技术,对专网技术方案进行了优化研究。

对于电力无线专网,根据电力行业频点占用的特性,给出了连续占用载波时的优化设计,通过取消连续载波间的预留保护带,可以有效降低运算复杂度、提高频谱效率、提升业务速率;并且适用于目前的两种电力专网技术制式,满足无委的邻带抑制指标要求,有较强的扩展性。

两种230 MHz电力无线专网技术制式——

LTE-G与IoT-G,有必要进行标准统一与融合,进一步优化系统设计,满足泛在电力物联网业务需求,最大化利用现有的成熟产业链,同时适合向5G技术演进^[21],待后续国网公司确定统一标准后,可进行进一步的研究。

参考文献:

- [1] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于调整 223~235 MHz 频段无线数据传输系统频率使用规划的通知[EB]. 2018. Ministry of Industry and Information Technology. Notice of the Ministry of Industry and Information Technology on adjusting the frequency use plan for wireless data transmission systems in the 223~235 MHz band[EB]. 2018.
- [2] 国家电网有限公司. 230 MHz 离散多载波电力无线通信系统 第 1 部分: 总体技术要求: Q/GDW 11806.1[S]. 2018. State Grid Co., Ltd. 230 MHz discrete multi-carrier power wireless communication system-part 1: general technical requirements: Q/GDW 11806.1[S]. 2018.
- [3] WU Z C, JIANG C L, MIAO W W, et al. Research on frequency band selection for lte power wireless private network supporting IMS services for state grid[J]. DEStech Transactions on Materials Science and Engineering, 2017.
- [4] 曹津平, 刘建明, 李祥珍. 基于 230 MHz 电力专用频谱的载波聚合技术[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(12): 63-68. CAO J P, LIU J M, LI X Z. Carrier aggregation technology on 230 MHz dedicated spectrum of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(12): 63-68.
- [5] 周建勇, 田志峰, 李艳, 等. 广覆盖 LTE 230 系统在电力配电应用中的研究与实践[J]. 电信科学, 2014, 30(3): 168-171. ZHOU J Y, TIAN Z F, LI Y, et al. Research and practice of LTE 230 system with wide coverage characteristics in the power distribution and utilization application[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(3): 168-171.
- [6] JIANG C L, JIANG S, GUO B, et al. An overview of LTE 230 system in smart grid[C]//International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy (ICISMME), April 11-13, 2015, Chongqing, China. [S.l.:s.n.], 2015: 1002-1005.
- [7] 国家电网有限公司. 230 MHz 离散多载波电力无线通信系统 第 2 部分: LTE-G 230 MHz 技术规范: Q/GDW 11806.1[S]. 2018. State Grid Co., Ltd. 230 MHz discrete multi-carrier power wireless communication system-part 2: LTE-G 230 MHz specification: Q/GDW 11806.1[S]. 2018.
- [8] 国家电网有限公司. 230 MHz 离散多载波电力无线通信系统 第 4 部分: IoT-G 230 MHz 技术规范: Q/GDW 11806.1[S]. 2018.



- State Grid Co., Ltd. 230 MHz discrete multi-carrier power wireless communication system-part 4: IoT-G 230 MHz specification: Q/GDW 11806.1[S]. 2018.
- [9] 周春良, 周芝梅, 王连成, 等. LTE230 数字中频发送机的设计[J]. 电子设计工程, 2018(6): 114-119.
ZHOU C L, ZHOU Z M, WANG L C, et al. Design of a digital IF transmitter for LTE230[J]. Electronic Design Engineering, 2018(6): 114-119.
- [10] 周春良, 周芝梅, 王连成, 等. LTE230 数字中频接收机的设计[J]. 电子技术应用, 2017(9): 46-49.
ZHOU C L, ZHOU Z M, WANG L C, et al. Design of a digital IF receiver for LTE230[J]. Application of Electronic Technique, 2017(9): 46-49.
- [11] 铁奎, 张慷, 凌云志. 通信系统中数字上变频技术的研究与设计[J]. 电子设计工程, 2012, 20(15): 190-192.
TIE K, ZHANG K, LING Y Z. Design and research of digital up conversion in communication system[J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(15): 190-192.
- [12] 田增山, 李路. TD-LTE 多带宽数字下变频设计与 FPGA 实现[J]. 电讯技术, 2016, 5(7): 808-814.
TIAN Z S, LI L. Design and FPGA implementation of multi-bandwidth digital down converter in TD-LTE system[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 5(7): 808-814.
- [13] 北京智芯微电子科技有限公司. 一种基于 LTE230 的中频信号处理装置和方法: CN 104768190 B[P]. 2018-08-17.
Beijing Smartchip Microelectronics Technology Co., Ltd. A LTE230 based IF signal processing device and method: CN 104768190 B[P]. 2018-08-17.
- [14] GAO Y Q, YIN Y, JIA W, et al. A reconfigurable digital intermediate frequency module for software defined radio transmitters[C]//The 12th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, Oct 28-31, 2014, Guilin, China. Piscataway: IEEE Press, 2014: 1-3.
- [15] DAHLMAN E, PARKVALL S, SKOLD J. 5G NR: the next generation wireless access technology[M]. Pittsburgh: Academic Press, 2018.
- [16] HAYKIN S. Adaptive filter theory[M]. New York: ACM Press, 2014.
- [17] YANG L X. The application of TD-LTE 230M wireless power broadband network technology in smart power-stealing prevention system[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015(738-739): 1217-1220.
- [18] ZHONG YQ, WANG H, CHEN B R. Research on application principles of communication technologies in smart distribution network[J]. Electric Power Information Technology, 2013, 11(5): 43-47.
- [19] ZHANG Y, YUAN X M, QIN J, et al. Research and implementation of the digital intermediate frequency in LTE superheterodyne transmitter[C]//The 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks, June 4-6, 2016, Beijing, China. Piscataway: IEEE Press, 2016: 287-292.
- [20] 周春良, 张峰, 程伦, 等. LTE230 无线通信基带芯片的设计与应用[J]. 电子技术应用, 2015(12): 48-50.
ZHOU C L, ZHANG F, CHENG L, et al. Design and application of baseband chip for LTE230 wireless communication[J]. Application of Electronic Technique, 2015(12): 48-50.
- [21] HASSEBO A, MOHAMED A A, DORSINVILLE R, et al. 5G-based converged electric power grid and ICT infrastructure[Z]. 2018.

[作者简介]



赵训威 (1974-), 男, 博士, 国网信息通信产业集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为无线通信技术和物联网技术。



白杰 (1981-), 男, 国网信息通信产业集团有限公司工程师, 主要研究方向为电力无线通信技术。



丁高泉 (1984-), 男, 国网信息通信产业集团有限公司工程师, 主要研究方向为电力无线通信技术。



相里瑜 (1978-), 男, 国网信息通信产业集团有限公司工程师, 主要研究方向为电力无线通信技术。