

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.04.02

基于基站机房的能耗数据采集与分析

陈龙泉, 王欢

(中国信息通信研究院, 北京 100191)

摘要: 基站机房的节能降耗是通信行业的重中之重, 全面而透彻地分解和分析基站机房的能耗组成、来源是节能降耗的首要目标。文章通过在试点机房建立能耗数据采集系统以获取实时数据, 结合话务、数据流量等基础参数, 深入地进行了基站机房的能耗组成、变化规律及作用机制的研究分析。

关键词: 站机房; 能耗数据采集系统; 分析

中图分类号: TB22; TP274; TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795(2016)04-0005-06

Energy-consumption Data Acquisition and Analysis on Base Station Room

CHEN Longquan, WANG Huan

(China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China)

Abstract: Energy-saving on base station rooms is the most important in telecommunication industry, and the decomposition and analysis on the energy-consumption of base station rooms is the primary target. We set up energy-consumption data acquisition system on experimental base station to acquire real-time data. According to the practical traffic and data flow, we further studied the energy-consumption composition, alteration rules and working mechanisms on base station rooms.

Key words: base station room; energy-consumption data acquisition system; analysis

0 引言

截至 2014 年底, 我国移动通信用户已达 13 亿, 基站数量已达 200 万以上。用户数量及业务量爆炸式增长造成电信网络能耗居高不下。而在电信网络耗电中, 基站机房的耗电量占总耗电量的 60% 以上^[1], 因此解决好基站机房节能问题是电信行业的节能减排的重中之重。开展针对基站机房的能耗统计与分析, 是推进电信行业节能降耗的合理的出发点和有效的落脚点。

1 基站能耗数据采集系统的组成和工作机制

要达到基站机房的节能减排目标, 首先必须全面准确地获取基站机房的能耗组成、变化规律、作用机制等, 进而科学地规划节能方案、发掘节能潜力。基站机房的能耗组成来源复杂, 是话务量、温度、地理

环境等多重因素共同作用的结果, 而且随着时间的推移会有较大的起伏, 因此在开展基站机房的能耗统计活动中, 通常建立起针对试点机房的能耗采集系统, 获取实时数据, 进而能完整地展现出基站机房的能耗状况, 是对科学研究和节能方案设计的有力支持。

本文提出的主要流程如图 1 所示, 首先建立基站能耗数据采集系统, 并选取合适的试点基站机房, 并进行基础能耗数据采集工作; 然后由运营商提供统计报告期内的试点基站的话务量、数据流量、机房配置信息等基础参数; 最终在获取长达一年的能耗统计数据的基础上, 进行基站机房的能耗组成、变化规律及作用机制的研究分析。

1.1 基站能耗数据采集系统的组成

1) 多参数数据采集仪

采集仪集中了交流电参数(三相四线电参数和单相电参数)、直流电参数、温度参数等能耗参数, 其中交流电参数包括电压、频率、电流、有功功率、功率因数、有功电能等电参数, 直流电参数包括电压、电流、功率、电能等。输出为 RS-485 接口的数字信号, 支持 MODBUS-RTU 协议, 可以有效地监控机房内的电流、电压以及温度等信息。

收稿日期: 2016-05-05; 修回日期: 2016-05-18

作者简介: 陈龙泉(1986-), 男, 安徽淮北人, 工程师, 博士, 主要研究方向为仪表计量、通信系统测试、节能量评估; 王欢(1985-), 男, 江苏南京人, 工程师, 博士, 主要研究方向为电信产业政策研究和行业规划、通信产品电磁兼容测试等。

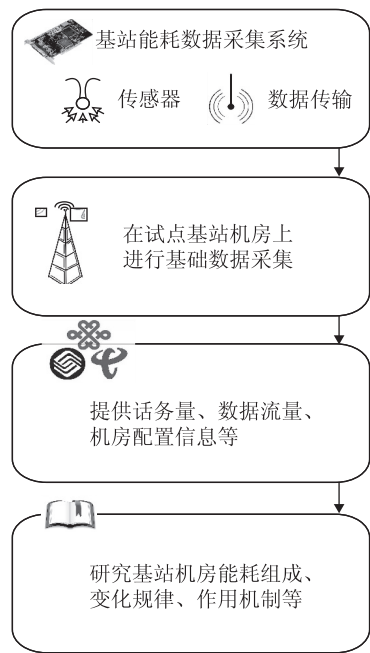


图1 项目执行流程

2) DTU 终端

DTU (Data Transfer Unit) 是一种无线数据终端, 具有利用公用运营商网络为用户提供无线长距离数据传输的功能。

3) 终端传感器

包含直流互感器、交流互感器和温度传感器。

1.2 基站能耗数据采集系统的工作机制

如图2, 终端传感器接收基站机房内的电流、电压、温度等信息, 馈送至多参数数据采集仪; 多参数数据采集仪将接收到的传感信息处理并经由数据传输终端, 通过 GPRS (General Packet Radio Service) 网络发送出去; 中心服务器接收 Internet 上的信息, 并通过应用软件进行数据处理、汇总和分析。

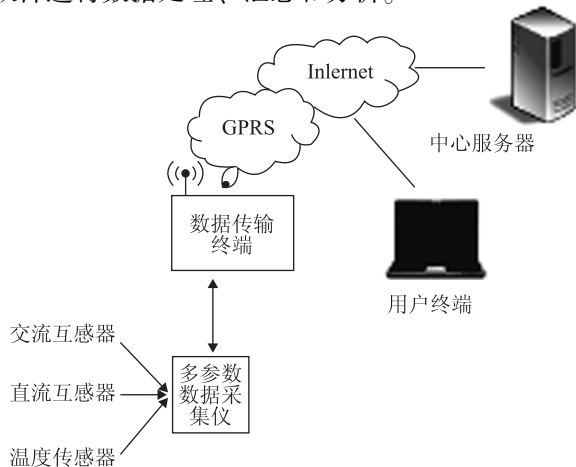


图2 采集系统工作机制

2 试点基站机房的选取

项目中选取的 X 市的试点基站机房一般按照以下原则以涵盖大多数的基站机房类型:

1) 主设备、传输设备运转正常, 蓄电池、空调等配套设备完好;

2) 地理位置均匀分布在评估区域内, 并涵盖各种地形 (平原、高原、山地等)、降水量、植被覆盖等因素;

3) 机房内的主设备型号应涵盖所有类型;

4) 机房的围护结构材质涵盖所有类型 (砖混结构、彩钢结构等);

5) 根据话务量和数据流量等级均匀采样, 不应有所遗漏;

6) 对某些环境因素或者业务量变化较大的基站机房集中区域可以考虑增加试点数量, 以提高采集数据的可信度;

7) 所采集基站设备种类必须涵盖目前存在的所有设备种类 (比如室外设备、监控系统等并非所有基站机房都有的耗电设备);

8) 所有基站类型应涵盖居民小区、商业中心区、办公楼宇区、工业园区、室外独立基站等各类基站;

9) 所采集基站应包括不具有节能措施、包含单一节能措施、包含两种及其以上节能措施等各种节能情况。

3 基站机房能耗组成与分析

3.1 基站机房的能耗组成

在进行基站机房的能耗组成分析时, 通常将总能耗按照设备种类进行分类讨论^[2]。一般来说, 基站机房内的设备主要分为两大类: 交流供电设备和直流供电设备。交流供电设备包括交流配电箱、直流开关电源柜、三相空调、照明设备、插座、新风设备、电池恒温柜等, 该类设备的供电端起于交流配电箱。而直流供电设备包括主设备 (如 RBS2206, RBS6201)、传输设备 (综合柜)、基带处理单元 (BBU)、蓄电池组等, 该类设备的供电端起于直流电源柜的输出端。因此基站能耗数据采集系统也针对三相四线电参数、单相电参数、直流电参数进行分类采集。

根据机房内各部分能耗的来源及影响因素不同, 一般将机房的总能耗分为: 交流配电箱能耗、直流电源柜能耗、基站主设备能耗、传输设备能耗、空调能耗及其他设备能耗等。

3.2 能耗分类讨论与分析

3.2.1 交流配电箱

交流配电箱是基站机房的市电输入起点，基站数据采集系统首先在配电箱的三相市电输入口处设置交流互感器以监测输入市电用量，站点的总耗电量是基站数据采集系统获取的首要信息。

如图 3，为 A1，A2，A3 三个站点的分月耗电量柱状图(单位： $\text{kW} \cdot \text{h}$)，由于二月份机房内温度较低，空调系统的启动时间较短，耗电量较少，可以明显看出二月份的基站耗电量均小于其他各月，而随着气温回升，空调利用率逐渐提高，运行时间也较之更长，以后各月耗电量也随之上升。

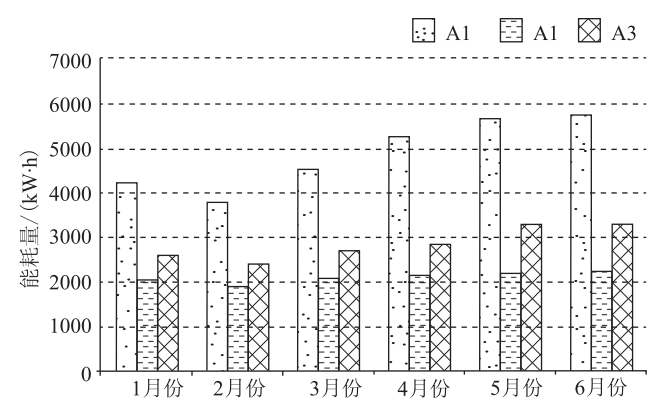


图 3 分月耗电量对比

3.2.2 直流电源柜

直流电源柜的主要作用是从交流配电箱引入交流电，将交流电通过整流模块整流为直流电后，为负载供电，给蓄电池组充电，是机房内直流供电电设备的起点。

直流电源柜因使用年限、环境的不同亦存在效率问题，基站能耗数据采集系统可以通过监测获知直流电源柜的直流电源柜的输出直流累积电量和输入交流累积电量，二者的比率即为直流电源柜的直流转换效率。

表 1 为 X 市各基站的直流电源柜效率对比，可见各基站的直流电源柜的效率一般保持在 0.86~0.90 之间。

3.2.3 基站主设备

基站主设备是基站机房的核心设备，接收来自无线网络控制器(RNC)的数字基带信号，进行射频调制、功放、合路、经双工器由天线发射信号；收信部分将从天线接收信号，经相反过程处理后送至 RNC，习惯上也将主设备能耗成为基站能耗^[3]。

表 1 各站点直流电源柜效率对比

基站名称	输入交流累积电量/($\text{kW} \cdot \text{h}$)	输出直流累积电量/($\text{kW} \cdot \text{h}$)	效率
B1	3844.142	3442.981	0.90
B2	3033.671	2714.681	0.89
B3	3141.447	2752.865	0.88
B4	2576.393	2303.267	0.89
B5	2767.998	2468.456	0.89
B6	2577.972	2217.806	0.86

目前 X 市的基站主设备主要为室内宏基站和分布式基站，一体化基站较为稀少，故主要参照 GB/T 29239-2012《移动通信设备节能参数和测试方法》中的基站功耗模型进行主设备能耗的分析。

以 C1 基站为例。图 4 为机房内三台全球移动通讯系统(GSM)在 24 h 内的功耗对比，三台 GSM 的物理载频数分别为 10，12，8。由于三台设备处于同一机房内，可认为三者所处的地区环境一致、业务负荷情况类似，对比其功耗情况见表 2。由表 2 可以计算出三台设备平均功耗比率为 1 :1.13 :0.86，与物理载频数 1 :1.2 :0.8 接近，这是由于 GSM 存在基础能耗的因素，使得载频数相差较大的 GSM 功耗比率达到一定的削弱。

表 2 C1 基站 GSM 功耗对比

设备	GSM-1	GSM-2	GSM-3
平均值/($\text{kW} \cdot \text{h}$)	2.400	2.709	2.057

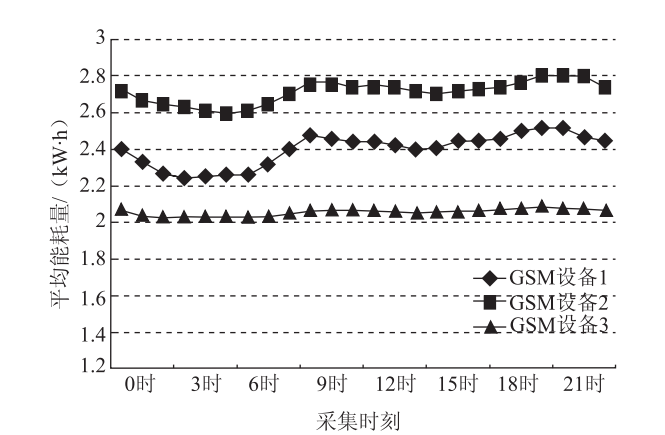


图 4 C1 基站 24 h 内 GSM 功耗对比

由于监测试点涉及的基站主设备类型涵盖 GSM/TD-SCDMA/TD-LTE，我们分别对三种网络制式进行能耗对比和分析，以 C2 基站为例，图 5 为 24 h 内各类主

设备的功率对比,可见,各类设备功耗在16~17时达到峰值,4G设备的功耗基本保持稳定,起伏较小;而GSM和TD-SCDMA/TD-LTE设备从5时开始逐渐攀升,直到16时达到峰值,然后缓慢下降。主设备的能耗与业务负荷直接相关。

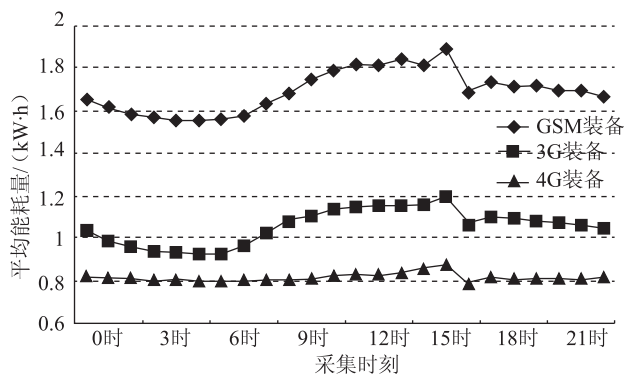


图5 C2基站24 h内各类主设备功耗对比

3.2.4 传输设备

基站机房中,传输设备是RNC与NodeB间远距离传输信号的关键。传输设备一般安置在配线架上,配线架有数字配线架和光纤配线架,在移动基站中所有信号线缆均要通过配线架进行连接。包含传输设备在内的整体配线架习惯上成为综合柜,在基站机房的能耗分析中作为一个整体来考虑,其能耗一般比较稳定。

截取多个基站24 h内综合柜的能耗状况,如图6,虽然各基站的综合柜单位能耗相差较大,但在24 h内保持稳定(其中C6-1, C6-2指C6基站内部的两个综合柜)。C6基站因地处商业区,业务负荷较高,单位功耗量在1.6 kW以上;其他对比基站的单位功耗量均在0.25 kW以下。

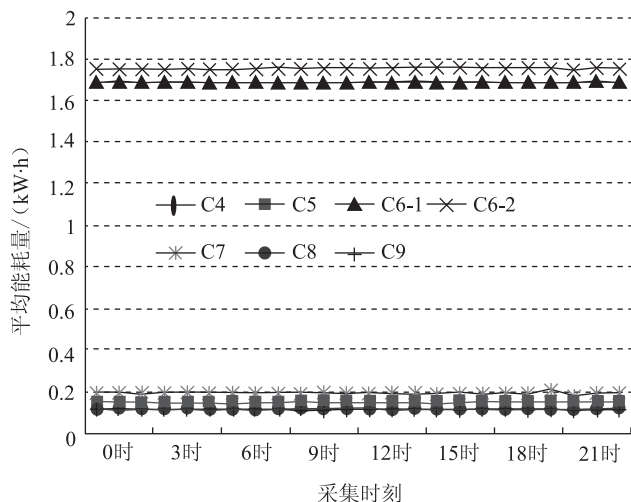


图6 各基站24 h内综合柜功耗对比

3.2.5 空调系统

为保证局站通信设备的安全运行,通信局站内的温度和湿度控制都是通过安装空调来实现,而空调设备的能耗在局站总能耗中占有相当大的比重,由于局站设备配置不同,空调能耗一般占局站总能耗的50%~75%。随着局站内的设备越来越多,设备的功耗和发热量将越来越大,空调的能耗也将随之迅速增加。日益膨胀的空调系统能耗是实现节能减排预定目标的最大阻碍。

如图7,为C10基站5月1~2日室内空气温度与空调耗电量在48 h内的变化情况,上方曲线所示为每小时空调耗电量,下方曲线所示为室内空气温度,可见空调的温度补偿作用为滞后性补偿,随着温度的上升,耗电量也会在延后一段时间持续上升,二者的波峰与波谷并不在同一时刻。

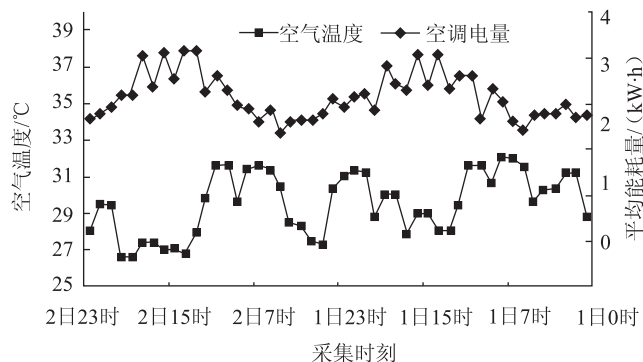


图7 C10基站的空调耗电量与室内温度关系曲线

3.2.6 蓄电池组

蓄电池在基站断电时起到维持基站运转的作用,在充放电时会产生少许能耗。在不出现突然断电的情形时,蓄电池处于浮充状态,消耗功率极小。

3.2.7 其他设备

其他设备包括机房监测设备、告警设备等,该类设备耗电功率较小且稳定。

3.3 总结

根据上述对各子系统能耗的来源及作用机理的分析,可知交流配电箱、直流配电柜等设备的效率相对固定,自身产生的能耗仅随机房的实际负载而变化;传输设备、蓄电池组及其他设备的能耗在不会出现极端情况(断电、故障等)下相对稳定;基站机房能耗的主要变化量产生在基站主设备、空调系统子系统上,机房内外的温度、机房所处位置的业务负荷等因素均会引起该类设备的能耗变化,进而导致机房总能耗的连锁反应,因此通过改善这类设备的运行环境、工作

条件等方式可以有效地影响机房的整体能耗。

3.4 基站机房能耗的组成比例分析

根据 3.2 节可知，基站机房内的总能耗由子系统能耗组成，包括主设备、传输设备、空调系统、直流配电柜等等，在明确其作用机理的基础上继续观察各子系统在总能耗中的构成，对于我们探索高效、合理的节能技术方案意义重大^[5]。

因此，我们选取两个面积一致、设备配置基本相同的基站机房进行对比，机房 D 处于商业区，属租用机房；机房 E 处于城乡结合部，属租用机房；机房 D 的负荷相对较高。我们截取两个机房在 5 月 1 日~15 日内的能耗数据进行能耗组成的对比，如图 8 所示。可见基站主设备在机房总能耗占比在 30% 以上、空调系统子系统约 40% 左右。二者均是基站机房能耗的主要组成部分，而且随着机房的业务负荷的增大，主设备的能耗水平提高，机房内的主要热源—主设备的产热量随之变大，导致空调系统的启动时间更长，能耗进一步提高；因此可见二者能耗的总占比也进一步提升。而其他部分能耗则是相对固定，在整体能耗大大增加的条件下，占比反而会略为下降。因此合理的节能技术方案需要集中于基站主设备、空调系统等机房能耗的主要载体，针对其能耗的关键环节，采取合理的技术手段是必然的选择。

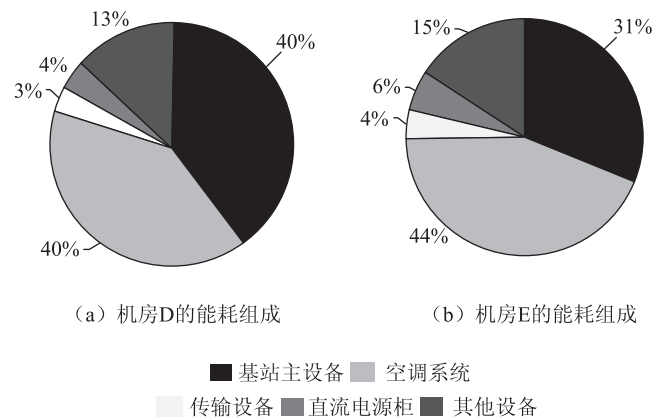


图 8 机房 D、E 的能耗组成对比

4 主流节能技术方案分析

在不大幅改动基站机房内部设备的前提下，目前较为通用的节能措施主要包括主设备节能和空调系统节能两方面。

- 1) 主设备节能
- 主设备节能包含时隙级功放关断、智能关断载频以及符号关断等措施，主要针对主设备进行节能。这

些措施在减少主设备能耗的同时也减少了主设备的散热量，与此同时，间接地降低了空调系统的能耗。

2) 空调系统节能

目前空调系统的节能方法主要包括智能通风系统与电池恒温柜两种。智能通风系统通过引进室外的低温空气来达到降低机房内空气温度的效果，从而降低空调系统的开启时间，减少空调系统的能耗。

电池恒温柜是通过将蓄电池的独立空间进行单独的温度控制来提高基站设备工作时的设计温度，使得空调系统的启动温度提高，减少空调系统的工作时间，以达到节能的目的。

针对上述两类技术，我们分别选取两个基站案例予以说明。

4.1 智能载频关断技术的节能效果分析

F 基站启用智能载频关断技术，设备通过判断业务负荷状态，将空闲时长超过设置门限时间的话音信道载频关闭，在业务负荷回复时重新打开以满足话务需求。

如表 3，可见启用智能载频关断技术后，主设备能耗优化约 17.1%，基站机房整体能耗优化约 7.4%。

表 3 F 基站节能效果对比

设备类型	基准能耗/(kW·h)	节能后能耗/(kW·h)
基站主设备	950.6	788.1
空调系统	1148.6	1124.9
传输设备	95.4	93.6
直流电源柜	147	145.1
其他设备	413	397.7
基站机房总能耗	2754.6	2549.4

4.2 智能新风系统的节能效果分析

G 基站启用智能新风系统技术，利用机房室内外的件温差，引入室外冷空气对机房内进行自然降温，排出热空气，依靠大量的空气流通，有效地将机房内的热量迅速向外迁移，实现室内散热。通过减少空调的使用时间，从而大幅度降低电能消耗。

如表 4，可见启用智能新风系统后，空调系统能耗下降约 35.0%，机房整体能耗优化约 10.8%。

综上，可知针对主设备和空调系统的节能技术方案均可有效地减小机房的整体能耗，是合理可行的技术手段。

表 4 G 基站节能效果对比

设备类型	基准能耗/(kW·h)	节能后能耗/(kW·h)
基站主设备	761.8	772.4
空调系统	753.4	489.7
传输设备	61.3	62.5
直流电源柜	81.7	82.3
其他设备	245.4	292.3
基站机房总能耗	1903.6	1699.2

5 结论

基站机房的能耗居高不下是通信行业长期存在的难题，也是实施节能减排战略的重要目标。在不了解机房内部的能耗组成、来源的情况下，单一地安装节能设备、启用节能策略并不能完全达到节能降耗的目的，造成资金的不必要浪费。需要准确地获取基站机房的能耗组成、变化规律、作用机制等，进而“因症制宜”地规划节能降耗方案、发掘节能潜力。开展针对基站机房的能耗统计与分析，是电信行业节能减排的重

要出发点和落脚点。

通过在 X 市设置的大量的试点机房，并在其中安装了能耗数据采集系统，详尽地勘测、采集试点机房的建筑信息、业务数据，在长期而稳定地获取基站能耗信息的基础上，本文全面地分解基站机房的能耗组成，透彻地分析了能耗来源及起作用的机制，并对启用节能技术的机房进行对比，寻求合理可行的节能技术方案。

参 考 文 献

[1] 龚霞,魏翼飞,宋梅,等.基于绿色基站的节能方案探讨[J].移动通信,2014(14):91-95.

[2] 付彩凤.绿色宏基站能耗模型关键参数研究[J].绿色建筑,2015(4):61-64.

[3] 张尧.移动通信基站节能系统的设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.

[4] 杨洋.关于几种通信基站节能改造方案的探讨[J].数字化用户,2014,(15):10.

[5] 张国辉.无线基站节能微排的优化控制[J].信息通信,2014(7):191.



(上接第 4 页)

参 考 文 献

[1] 李红星,张益农.自动控制原理[M].2版.北京:电子工业出版社,2014:130.

[2] 蔡晨光,樊尚春,邢维巍.一种谐振式传感器频率特性测试平台[J].计测技术,2007,27(1):11-13.

[3] Fasenfest B, Rockway J D, Champagne N J, et al. A generalized fast frequency sweep algorithm for coupled circuit-EM simulations[C]//Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004. Monterey, California: IEEE, 2004, 4: 3944-3947.

[4] Soliman E A. Rapid frequency sweep technique for MoM planar solvers[J]. IEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation, 2004, 151(4): 277-282.

[5] Al Murawwi E, Mardiana R, Su C Q. Effects of terminal connections on sweep frequency response analysis of transformers[J].Electrical Insulation Magazine IEEE, 2012, 28(3): 8-13.

[6] Simon A A A, Huq Riad M M, Ahmed E, et al. On site oil test for a transformer using sweep frequency response analysis [C]// Electrical and Computer Engineering (ICECE), 2014

International Conference on. Dhaka, Bangladesh: IEEE, 2014.

[7] Duda T F. Analysis of finite-duration wide-band frequency sweep signals for ocean tomography[J].Oceanic Engineering IEEE Journal of, 1993, 18(2): 87-94.

[8] Ye Q, Yang C, Chong Y. Measuring the Frequency Response of Photodiode Using Phase-Modulated Interferometric Detection[J].Photonics Technology Letters IEEE, 2014, 26(1): 29-32.

[9] Wang Z, Yuan M, Xu J, et al. Optimal design of chirp signals with applications to frequency response measurement[C]// Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012), International Conference on. Xiamen, China: IET, 2012: 1484-1488.

[10] 何学辉,陶海红,吴兆平,等.一种改进的非线性调频信号设计[J].电子学报,2009,(8):1784-1788.

[11] Alphonse S, Williamson G. Novel radar signal models using nonlinear frequency modulation[C]// Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2014 Proceedings of the 22nd European. Lisbon Portugal: IEEE, 2014: 1024-1028.

[12] 李康.非线性调频信号设计[D].西安:西安电子科技大学,2009.