

[电网电流]

一种基于用电信息采集系统中通信性能的检测

文/国网山西技培中心大同分部 李红怡 李 兵 霍宇平 刘鸿雁 李 艳

用电信息采集通信性能的检测主要对窄带载波和宽带载波通信性能进行性能测试，有效评估通信单元在智能用电信息系统中的实际通信能力，以保证电网本地通信方式稳定、可靠地运行。通信性能检测采用模拟装置，通过采用点对点通信和组网通信两种方式对通信性能进行监测。

随着我国坚强智能电网建设的不断推进与贯彻宣传，用电信息采集系统的应用领域已覆盖配电网中的自动抄表系统、负载控制、变压器监控、电能质量远程测量、安全监视、分时费率、动态计费、电力线语音话务、电力线室内宽带接入和高速视音频等服务。用电信息采集系统已经成为智能电网重要的组成因素之一，肩负着配电网千家万户居民用电信息的采集与分析任务。随着采集覆盖范围的扩大，采集系统的应用工作不断深化，数据采集范围及频度要求不断提高，采集信道通信性能压力凸显。通信信道传输速率、稳定性和可靠性等已经成为提升采集系统建设应用效果的关键点。

本地电力载波通信的应用

1. 电力线窄带载波

用电信息采集本地通信技术主要以窄带载波为主，考虑到低频噪声分布、不同应用的频带划分、抗干扰通信技术和调制方式等因素，实际应用速率在10 Kbit/s 以下。目前国内应用窄带载波的主要技术指标如表1所示。

由表1可知，电力线窄带载波技术繁杂、没有统一的技术标准，大部分通信厂家采用各自的企业标准，频率选择、调制方式、传输技术及组

表1 电力线窄带载波应用厂家

中心频率 /kHz	通信方式	频带宽度 /kHz	波特率 / (bit/s)	典型厂商
76.8	QPSK + 扩频	32	200 ~ 1.6 K	上海弥亚微
120	BPSK + 扩频	15	250/500	北京福星晓程
132	BPSK	6	5.48 K	深圳瑞斯康
270	BFSK + 扩频	30	100 ~ 800	青岛东软
390	OFDM	48	2 ~ 10 K	深圳力合微
421	BFSK + 扩频	40	50 ~ 1.2 K	青岛鼎信

网技术各有特点，难以实现互联互通，不利于行业标准化的制定。电力线窄带载波技术速率相对较低，对满足实时用电信息采集存在较大难度，窄带载波对电力线噪声、台区串扰等问题没有很好的解决办法，很大程度地影响了采用该技术组网方案的用电信息采集成功率。

2. 电力线宽带载波

宽带载波通信频率范围为1 ~ 50 MHz，理想最大速率可达500 Mbit/s 以上，特点是通信速率高、实时性强、抗干扰能力强且传输可靠性高，相对于窄带载波通信传输距离较短，适用于对通信实时性和通信带宽要求较高的通信业务应用。针对满足用电信息采集业务对通信速率和实时性要求较高的特点，国内某厂商研制自主知识产权的基于中频带（2 ~ 12 MHz）电力线宽带芯片，物理层通信速率可达20 Mbit/s，目前已经在中国北方十几个省市开展验证工作，通信稳定、采集

成功率100%，是针对国内电网环境研制的专用通信芯片，填补了国内技术空白。

3. 本地通信方式技术对比

由于电力线环境因素，窄带载波和宽带载波目前在国内都得到广泛使用。宽带载波通信技术凭借技术的不断完善，在国外广泛应用于电力通信，在国内自动抄表领域也已经有逐渐替代窄带通信的趋势。

宽带载波技术提供更高通信带宽，为全双工双向通信机制，适合应用在对通信实时性要求高、用户相对密集的区域及多业务应用场合。电力线宽带载波通信的高频信号在信道中衰减较快，但芯片设计都支持多级中继组网，在一定程度上解决了通信距离较短的问题。表2为窄带载波通信和宽带载波通信的技术对比。

表2 本地通信技术对比

通信方式	窄带载波	宽带载波
施工方式	无需布线	无需布线
可靠性	可靠性较高	可靠性较高
运行维护	维护量小	维护量小
传输速率	<2 400 bit/s	>512 bit/s
访问机制	半双工，轮询机制	全双工，双向同时通信
影响因素	受负载特性影响大，需要组网优化	高频信号衰减较快，在长距离通信中需加装中继组网
可扩展性	只能抄表	能够通过网络实现预付费功能

综合来看，用电信息采集业务中使用的电力线载波通信技术正呈现窄带技术宽带化，宽带技术窄带化的相互融合趋势，二者在整个采集系统中是优势互补的应用关系，最终平衡于采集业务对速率（带宽）的需求，以及系统总体运营成本的要求。

影响本地通信的因素

结合目前国内电网运行环境，分析总结影响本地载波通信的因素有以下几点。

电线本身具有脉冲干扰特性，目前使用的交流电有50 Hz和60 Hz，其周期分别为20 ms和16.7 ms。在每个交流周期中，出现2次峰值，2次峰值会带来2次脉冲干扰，即电力线上固有的100 Hz或120 Hz脉冲干扰，干扰时间约为2 ms。这种固定干扰必须加以处理。有一种方法是在波形过零点的短时间内进行数据传输，但由于过零点的时间短，实际应用与交流波形同步不易控

制，现代通信技术帧较长，所以难以实施。

低压电线上的噪声干扰制约了信号的传输质量。噪声干扰主要来自与低压电网相连的负载以及无线电的干扰。在这样恶劣的电力线通信环境下，很难保证数据传输的质量，并且电力线通信的噪声和信号衰减随时间而变化，很难找出其变化规律，所以在利用电力线进行信号传输时，必须对信号进行一定的处理，并贯穿从信号发送到接收的全过程，这正是电力载波通信技术所涉及的重点和难点。

造成载波抄表不成功的因素还有电压、电流的不稳定，以及谐波干扰源的增多，另外载波抄表方式适合低压线路规划较好的台区，对于线路运行状况较差、较杂的台区，载波抄表成功率也极不稳定，需要使用消谐装置，加大传输带宽或提高谐波在复杂环境下稳定运行的可靠性。

低压载波通道阻抗变化大，远大于高压电力线阻抗。在负荷很重时，线路阻抗可能低于1，这使得载波装置不能采用固定的阻抗输出。而且电力线路的阻抗随信号频率和时间的变化而变化，造成载波信号的衰减非常严重。实际应用中，当电线空载时，点对点载波信号可传输到几千米；但是当电线上负荷很重时，只能传输几十米。因此，只有进一步提高载波信号功率来满足数据传输的要求。提高载波信号功率会增加产品成本和体积，而且，单一提高载波信号功率往往不是有效的方法。

低压载波通道衰减大，时变性强。信号的衰减与传输距离和信号频率有关。信号传输的距离越远，信号的频率越高，则信号的衰减就越大。电力网络的阻抗特性及其衰减制约了信号的传输距离，这与通信信道的物理长度和低压电网的阻抗匹配相关。

点对点的采集存在不确定性。就低压电力线路上的载波集中器与载波电能表而言，其采集成功率与时间有很大的关联，在电气设备使用低谷时（一般为夜间），调制的信号可以被传输得很远，集中器与电能表采集成功率很高，而在电气设备使用高峰时（一般为尖和峰时段），调制信号很快被衰减，并受到很强的干扰，集中器与电能表采集成功率较低。

在三相电力线之间，由于相互之间的影响，会存在较大的信号损失，在通信距离较近时，不同的相间可能会同时收到信号，影响数据的准确

性。因此，一般的电力载波信号，只能在单相电力线中进行传输。

综上，影响载波通信性能的因素包含组网方式、外部干扰、噪声、衰减和负载等因素，为保证电网本地通信方式稳定、可靠地运行，需要对载波通信、通信组网环境在用电信息系统中的实际通信能力进行有效评估。

通信性能的检测

1. 通信性能检测模拟装置的设计

用电信息采集系统通信性能检测模拟装置设计能实现测试过程智能化，试验项目微机程控。实现点对点通信检测进行通信工作频段测试、发射功率谱密度测试、模块互换性测试、功耗测试、抗噪性能和杂散辐射。组网通信测试进行业务功能与性能测试、通信抗串扰、实际噪声仿真、载波信道衰减仿真和拓扑结构路由仿真等性能检测。

通信性能自动测试软件包含以下6个基本功能：

- 1) 用户界面。所有用户界面都在此模块中，主要实现操作员和管理平台的数据交互。
- 2) 控制中心模块。此模块负责协调整个程序的资源分配，采用多线程机制，通过以太网TCP/IP协议、RS485接口以及串口和各个设备通信，完成自动化或者手动控制设备流程。
- 3) 数据中心。专门针对各个仪器数据交互处理模块。
- 4) 参数管理。处理本系统参数，包括各仪器的参数以及部件测试参数的设置以及管理。
- 5) 设备管理。本平台可以控制的所有设备的底层驱动，状态读取等。
- 6) 数据库管理。对数据库进行查询、写入、编辑和删除等。

2. 点对点通信性能的检测

点对点通信性能测试系统可对窄带载波通信性能和宽带载波通信性能进行测试。测试内容包括信号频带、通信数据传输性测试、接收灵敏度测试、发射功率、发射频偏、带外杂散分量、接收动态范围及抗噪声等性能。系统具备信号功率测试、频谱分析、程控衰减、噪声模拟、电源滤波和隔离以及信号屏蔽等功能。点对点通信性能测试架构如图1所示。

- 1) 主节点屏蔽小室。用于装载主节点测试设备，每个屏蔽小室内放置集中器本地通信模块，

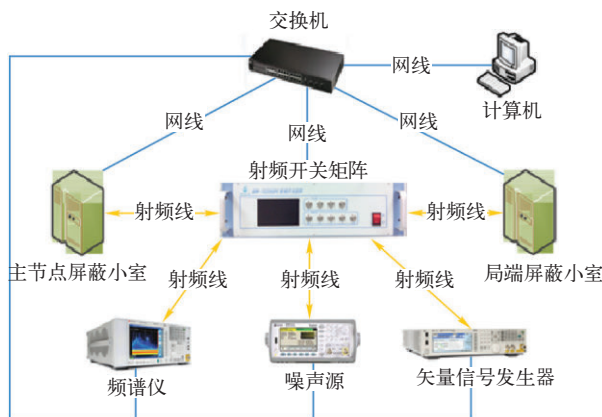


图1 点对点测试通信测试架构图

与子节点屏蔽箱和测试仪器之间通过可衰减器进行网络隔离，并能屏蔽来自于空间的相互辐射干扰，提供纯净的网络环境。

- 2) 局端屏蔽小室。用于装载子节点测试设备，每个屏蔽小室内放置20个子节点测试模块。屏蔽箱能屏蔽来自于空间的相互辐射干扰，并通过隔离电源提供纯净的电源环境。

- 3) 频谱仪。主要用于射频和微波信号的频域分析，包括测量信号的功率、频率和失真等。

- 4) 噪声源。用于产生白噪声，仿真现场通信环境，以评估设备在实际通信环境中的通信性能。

- 5) 矢量信号发生器。射频矢量信号发生器可以提供中频射频性能和高达200 MHz调制带宽，并且可以改变载波的角度(频率或者相位)或者幅度。

- 6) 射频开关矩阵。自动测试用于控制信号通断、流向等任务。

(1) 工作频段测试

测试目的：测试电力线通信单元在连续发射状态下工作频段范围是否符合Q/GDW 374.3通信单元技术规范。

测试方法：在集中器或电表模块处于连接发射或抄表状态下，通过控制频谱仪测试出集中器或电表模块的工作频段范围。工作频段测试原理图如图2所示。

(2) 发射功率谱密度测试

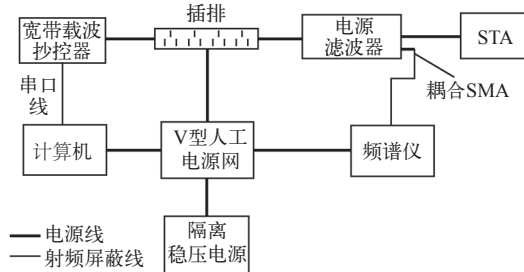


图2 工作频段测试

测试目的：测试电力线通信单元在连接发射状态或抄表状态下工作频带内和工作频带外的功率频谱密度是否符合Q/GDW 374.3通信单元技术规范。

测试方法：在连续发射或抄表状态下，通过控制频谱仪测试出集中器或电表模块在指定工作频段内功率谱密度，然后测试0.1 MHz—起始工作频率的功率谱密度，接着测试出终止工作频率—30 MHz的功率谱密度，最后测试终止工作频率—50 MHz的功率谱密度。发射功率谱密度测试原理如图3所示。

(3) 模块互换性测试

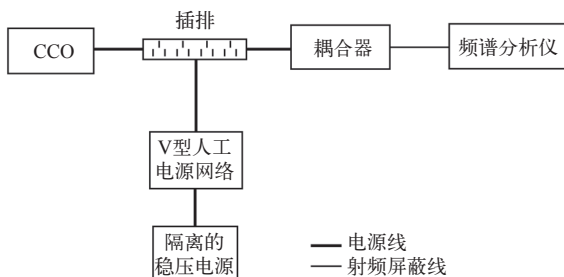


图3 发射功率谱密度测试

测试目的：评估集中器 I 型通信单元与集中器通信协议是否符合Q/GDW 1376.2规范；评估单/三相电能表模式是否符合645—1997、645—2007协议规范。

测试方法：PC软件做虚拟集中器和虚拟电能表，向集中器本地模块互发Q/GDW 1376.2指令帧，向电能表模块互发645数据帧，检测模块响应帧的响应时间、帧格式、帧内容是否符合协议规范。集中器本地模块互换性测试设备连接示意图如图4所示。

(4) 功耗测试

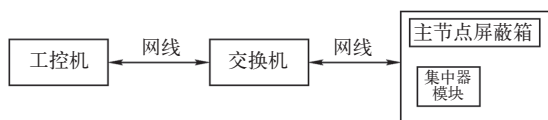


图4 集中器本地模块互换性测试设备连接示意图

功耗测试原理如图5所示，通过PC端软件控制模块控制板，让被测模块处于非通信状态。模块控制板对模块输出电流进行采样。PC端软件收集相关数据，计算出被测模块功耗。

(5) 抗噪性能测试

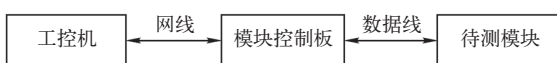


图5 功耗测试原理

抗噪性能测试原理如图6所示。通过PC端软件控制小型开关矩阵，设置衰减量，中断与局端屏蔽小室的通信链路连接，让主节点模块进入测试状态，测试其经过衰减后的发射功率。用PC端软件控制信号发生器发出指定频段的白噪声。通过PC端软件控制小型开关矩阵，设置衰减量，开启与局端屏蔽小室的通信链路连接，让主节点模块发射请求确定数据帧，PC端软件对子节点的返回确认帧进行监测，保存数据结果。

重复以上步骤，进行极限测试，得到在噪声干扰下能正常通信的接收动态范围。

(6) 杂散辐射

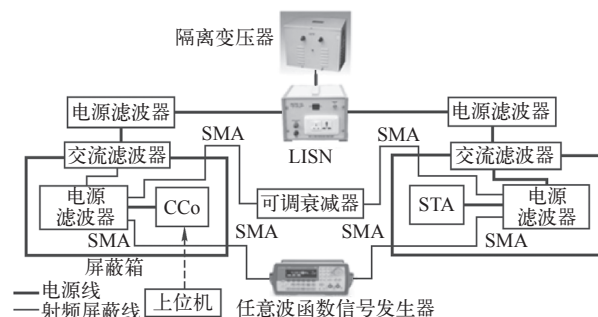


图6 抗噪性能测试原理

杂散辐射测试原理如图7所示。通过PC软件控制模块控制板，让被测模块进入发射态。通过PC端软件控制频谱仪通过射频线检测模块输出信号，读取信号中心频率1倍频及2倍频处 ± 200 kHz、 ± 500 kHz频率范围内的杂散辐射功率变化。PC端软件收集相关数据，计算出被测模块杂散辐射。

3. 通信组网性能测试

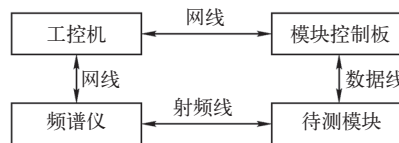


图7 杂散辐射测试原理

用电信息采集系统的组网性能测试可测试窄带通信及宽带通信组网性能。组网性能评估测试具有开放性，兼容不同厂家通信模块组网路由算法存在的差异，通过计算机可以设定多种路径方案，包括直通路、衰减路径和信噪比路径，通过预先设想的程序，进行不同的排列组合，用来评估用电信息采集系统本地通信路由组网的能力，如在最短时间内完成不同路径深度的路由表构建、路由收敛、路由抄收和自适应路由修改等。

通信组网性能仿真系统实现设备通信组网性能指标的评估测试,主要有以下性能指标。

1) 中继深度评估:路由中继深度评估通过调节各节点屏蔽箱间的衰减,使路由中继级数达到最大。

2) 路由收敛特性评估:路由收敛是指路由域中所有路由设备对当前的网络结构和路由转发达成一致的状态。通过测量通信系统组网时间,评估通信系统路由收敛特性。

3) 自组网特性评估:通过删除或添加通信节点两种方式,评估通信方案的路由收敛性的优劣;

4) 节点容量评估:在一定的网络结构下,用模拟电表和通信模块相结合的方式,评估各种通信方案支持的网络节点容量,系统最大设计容量为500个节点。

5) 通信抗串扰评估:对不同厂家的通信设备间抗扰情况进行评估,本系统最大同时对2组通信设备进行评估。

(1) 抄表业务功能与性能测试

抄表业务功能与性能测试通过统计多个屏蔽小室内电能表模块的抄表成功率和抄表耗时,进行模块质检和实际组网效果评估。

(2) 通信抗串扰测试

1) 通信抗串扰测试通过PC软件控制信号矩阵,将所有局端屏蔽小室内的设备均为主节点屏蔽小室内设备的第一层通信网络。

2) 将所有局端屏蔽小室分成两组,每组选定10个局端屏蔽小室。将第一组局端屏蔽小室的所有测量点档案载入主节点模块;PC端软件执行抄表操作,计算出当前的一次抄表成功率和抄表时间。

3) 加设一干扰源集中器,将第二组局端屏蔽小室的所有测量点档案载入干扰源集中器主节点模块,连入矩阵通信链路。

4) PC端软件再次执行第一组主节点模块抄表操作,计算出此时的一次抄表成功率和抄表时间。

5) 比较两次的抄表成功率和抄表时间,差值越小,抗串扰能力越强,可作为两个厂家之间的抗串扰能力衡量标准。

(3) 实际噪声测试

1) 实际噪声仿真测试通过工控机控制信号矩阵,让子节点屏蔽箱内的设备与主节点屏蔽箱中的通信单元形成所需层次的网络结构。

2) 通过工控机控制主节点屏蔽箱内设备,查

看组网情况及电表抄读情况。

3) 通过工控机控制开关矩阵引入矢量信号发生器发生仪或其他噪声源,向组网系统内发送噪声。

4) 通过工控机控制主节点屏蔽箱内设备,查看引入噪声后组网情况及电表抄读情况。

5) 工控机收集相关数据,评估被测设备抗扰能力。

(4) 载波信道衰减测试

载波信道衰减测试设置开关矩阵内置衰减器以及信号矩阵连接各节点间的衰减路径,从而构建一定的网络结构实现对信道衰减的测试。

通过主节点屏蔽箱查询各通信子节点屏蔽箱内的抄表成功率等信息,实现对当前信道衰减网络的评估。

(5) 拓扑结构及路由测试

拓扑结构及路由测试结合实际运用需求和组网设备网络拓扑结构设置条件,设置开关矩阵内置衰减器以及信号矩阵连接各节点间的衰减器。从而构建一定的网络拓扑结构来模拟实际组网环境。

通过集中器本地通信单元查询各局端屏蔽小室内电能表通信单元的中继级别,路由信息,从而实现当前拓扑网络结构下通信单元的组网性能的评估。

结束语

用电采集通信性能作为采集率提升的重要技术环节,通信性能的评估及检测能有效决定电力营销通信组网的优劣。作为通信性能检测模拟装置,有效快速地进行点对点通信检测,通信工作频段测试、发射功率谱密度测试、模块互换性测试、功耗测试、抗噪性能和杂散辐射模拟真实通信技术环境。组网通信测试模拟实际工况,进行业务功能与性能测试、通信抗串扰、实际噪声仿真、载波信道衰减仿真和拓扑结构等组网。智能检测、结果判别、性能评估及数据管理。检测结果直接作为管理人员数据采集及组网工作依据,为用电信息采集率的提高提供基础支持。通信性能的检测作为电力营销工作的顺利进行及未来规划具有指导作用,在以后电力营销的工作中还可能会遇到更多、更新且更复杂的问题,只有不断学习,不断地去研究、探索,使电力营销用电信息采集工作发展到更高的层次。**EA**

(收稿日期:2019.10.19)

(编辑:朱金凤)