

全光纤网络在智能用电信息采集中的应用探究

为建设高速、实时的智能用电信息采集系统，全面推进费控系统的普及，进一步提升现有用电信息采集系统的准确性与完整性，将全光纤网络技术方案应用于智能用电系统，提出一种遵循智能用电信息采集设计原则的全光纤集抄方案，并将该方案运用于我省某地的集抄试点工程。试点运行结果表明：基于全光纤网络技术方案的远程集抄系统，可实现“分钟组网、秒级抄表”应用效果，使台区的集抄实时性、采集成功率以及费控电表装置响应时间实现质的飞跃，为智能用电系统的功能扩展和业务推广奠定基础。

杨爱冰 周 阳/贵州电网有限责任公司贵阳供电局
周 克/贵州大学电气工程学院

0 引言

为了促进资源节约型和环境友好型社会建设，科学促进节能减排，引导居民合理、节约用电，2012年7月，国家发改委出台了居民阶梯电价政策，该政策的出台，直接导致原有的量控计量模式不再适用。新模式以智能电表应用为起点，从单纯电量采集向用户侧综合数据采集和用户用电管理的转变，逐步实现高效、经济和智能化的电网应用成为大势所趋^[1]。

早在国家发改委发布阶梯电价政策前，国家电网、南方电网就已经针对用电采集信息系统的未来发展作出了部署：如国家电网公司2009年提出的实现用户用电信息采集系统建设的“全覆盖、全采集和全费控”理念。《中国南方电网有限责任公司“十二五”电能计量规划》中提出的智能计量系统能够实

现双向信息交互、能效评估和需求响应等新功能。这些基础设施的建设，为实现远程费控等智能用电应用奠定基础。

远程费控系统是一项庞杂的系统应用，涉及营销业务应用系统、用电信息采集系统、采集终端和智能电表等多个系统和硬件之间的远距离数据指令传输^[2]。系统之间、硬件之间各个环节如何衔接、可靠运行是远程费控系统设计中的主要难题。

针对远程费控系统的实用性，已有很多电力公司进行了大量尝试，试点结果表明：通信传输链路的可靠性是整套费控系统成功实施的基本保证，只有稳定、健壮的通信网络才能支撑费控系统各项功能的正确执行。

为了推进远程费控系统的深化应用，为阶梯电价政策实施提供业务支撑，引导用户转变缴费习惯，提高电费回收风险控制能力，本项目在现有在建的智能化用电信息管理平台的基础上，进行业务扩充，并选择部分台区进行费控试点，希望通过台区的试点工作，为本地区今后费控工作的开展提供借鉴依据。

1 智能用电采集系统

智能用电的指导思想就是采用信息化手段，利用价格杠杆，通过互动策略，调动电力用户参与需方响应，实现电力负荷需求的理想化^[3-4]。智能用电系统包括计量主站、远程信道、现场终端、本地信道和电力用户，其框架结构如图1所示。



杨爱冰/高级工程师

关键词/Keywords

智能用电 ·
光纤网络 ·
塑料光纤 ·
远程集抄 ·

贵州省科技厅基金项目（黔科合LH[2014]7614），
贵州电网科技项目（K-GZ2014-011）资助。

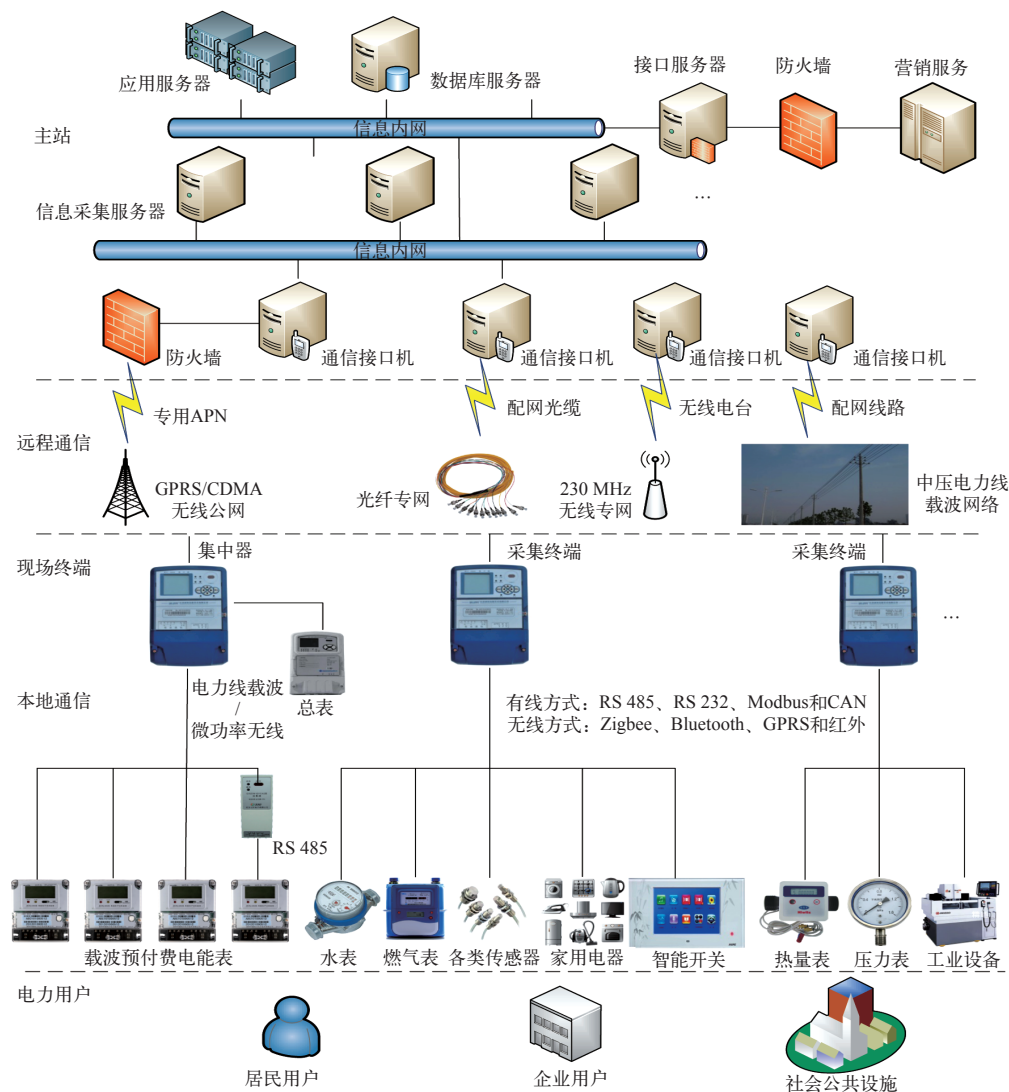


图1 智能用电系统框架

从图1可以看出，智能用电系统的主站由电力业务应用、信息采集、数据存储管理、营销支持和前置通信等组成。系统的远程信道将主站与现场终端进行有机的衔接，其上行用于传送采集终端收集的用户电能信息，下行则用于下发定抄命令、远程计量、事件监测和上报^[7]等。考虑到未来智能电网营销业务的拓展和用户参与的需要，可利用远程信道向电力用户推行梯形电价、实现多次结算、有序管理用电、在线监测设备运行和保障用电安全。目前常用的远程信道有GPRS/CDMA无线公网、光纤专网、230 MHz无线专网和中压电力线载波网络。由于国内各地的经济发展水平存在差异，不同地区的智能用电系统需对远程信道

进行特色化灵活配置，以加快建设进程。

现场终端包括采集终端、智能表计（电表、水表、热量表、燃气表和压力表）、各类传感器、家用电器、智能开关和工业设备等。一般工商业和居民用户的采集终端为集中器和采集器，其主要功能为：数据采集、数据处理、参数设置与查询、事件记录、数据传输、本地状态指示与接口维护和终端维护等。智能表计是自动测量体系（AMI）的基本计量设施，其设计应遵循以下三个原则：考虑分布式能源的接入；考虑通信信道的实际承受能力；考虑用户互动的便捷性^[3-4]。主要功能有：能效计量、费率控制、时段管理、预付费、数据存储、事件记录、用户加密和双向

通信。

本地通信主干网为低压电力线载波或微功率无线技术。家用电器、各类传感器、智能开关和工业设备等是智能用电系统架构下的基础通信单元。利用诸如RS 485、RS 232、ModBus和CAN总线等有线方式或ZigBee、GPRS、Bluetooth和红外等无线方式形成多信道融合互联自组网通信网络,对采集终端、智能表计和家电设备等注入控制策略,使其智能化、集成化和自动化,提供全方位的信息交互功能^[5]。

居民用户、企业用户和社会公共设施等构成了智能用电系统的电力用户,是供电营销系统的主要服务对象。通过实时采集、存储、分析和核算电力用户的用电信息,可帮助居民用户了解电价、停复电及缴费等信息,为企业用户提供节能减排、用电优化和安全用电等信息,指导社会科学用电,及时发现用电隐患、排查故障^[6]。

2 基于全光纤网络的用电信息采集系统

目前,我国在建的用电信息采集系统普遍采用的电力载波作为信号的主要传输方式。这种建设方式可以免去前期布线的步骤。但是,由于低压电力线的基本功能是用来传输电能,与双绞线、同轴电缆和光纤等专用通信介质不同,低压电力线是一种非均匀分布的传输线,低压电力线端用电设备种类繁多,数量巨大,造成低压电力网络的信道特性十分复杂,通信环境相当恶劣。在这种信道环境中进行数据传输,数据漏抄、误抄现象时常发生,很难满足费控功能所需的可靠性要求^[6]。

除了电力载波方式外,另外一种常用的传输方式是微功率无线技术。该技术利用470 MHz的高频无线链路传送数据,由于信号借助无线空间进行传输,因此在传输过程中既存在信道间干扰问题,又存在由于障碍物阻隔而导致信号衰减,该链路属于不可靠传输链路。为了保证传输效果,通常在系统设计中需要采取大量的技术手段:如自组网、中继、前向纠错编码和CRC纠错等方式来降低传输过程中的误码^[7]。

光纤通信作为现代通信的主要支柱技术之

一,在现代电信网中起着举足轻重的作用。光纤具有尺寸小、质量轻、容量大、抗电磁干扰强和传输质量好等优点,被广泛用于通信信号的传输载体。但是,传统的石英光纤在应用于信息采集系统时,需要面临多次弯曲、多次插拔的入户施工及维修、维护,传统光纤变得难以胜任,导致人们很少直接将石英光纤用作接入网的终端,而是依靠铜缆来替代^[8]。可喜的是,这一局面随着塑料光纤的出现而被打破^[9]。

塑料光纤(POF)是由高透明聚合物如聚苯乙烯(PS)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)和聚碳酸酯(PC)作为芯层材料,PMMA、氟塑料等作为皮层材料的一类光纤(光导纤维)。塑料光纤不但可用于接入网的最后100~1 000 m,也可以用于各种汽车、飞机和等运载工具上,是优异的短距离数据传输介质^[10]。与石英光纤相比,塑料光纤具有以下优点:

- 1) 快速安装。POF能够很容易地通过狭小的穿线管。
- 2) 容易连接。POF不用抛光也能达到很好的连接效果,也不用为了连接而采用专用的设备。
- 3) 低廉成本优势。由于具备以上两个优点,所以采用POF作传输介质的网络接入系统,其造价要比石英光纤接入系统低。
- 4) 坚固耐用。POF光缆比石英光缆更加柔韧耐用,弯曲半径也小。
- 5) 简单、安全的连通测试。采用对肉眼无害的可见光。

同其他现有的传输技术相比,塑料光纤技术也具有明显的优势,比较结果如表1所示。

从表1可知,塑料光纤的最大速率可达到100 Kbit/s,远远优于现有的铜缆和窄带电力载波技术^[11],且其最大的优势是传输不受电磁干扰,误码率较其他传输方式下降至 10^{-9} 以下,远远优于其他传输方式的误码率,这为实施费控功能奠定了强有力的基础条件。

3 塑料光纤通信技术应用

在本项目中,针对已有智能电表用户和新增

表1 各种通信技术对比

序号	比较项目	RS 485	窄带载波	宽带载波	塑料光纤
1	通信原理	差分电压信号传输，技术陈旧	数字调制弱电电压信号沿电力传输线路传输，原理上有较严重缺陷	数字调制弱电电压信号沿电力传输线路传输	数字脉冲调制可见光通信，技术先进成熟
2	通信速率	实际通信低于10 Kbit/s；系统响应能力一般	一般低于4.8 Kbit/s；系统响应能力低	根据调制方式和距离速率>1 000 Kbit/s；	>100 Kbit/s，系统响应迅速
3	误码率	通信速率越高，误码率越高	误码率高，通信效果很不稳定	较窄带方式有所下降，但功率较大	全频段内小于10 ⁻⁹
4	抗雷击能力	极弱，需重点保护	极弱，需重点保护	极弱，需重点保护	无金属纤芯，不受雷击电磁场影响，通信接口无须抗雷击保护，电路设计简单
5	抗电磁干扰辐射影响	极易受电磁骚扰影响，保护困难	传输线路完全处于开放的电磁空间，时时处于各种电磁骚扰影响	传输线路完全处于开放的电磁空间，时时处于各种电磁骚扰影响	不受电磁骚扰影响
6	系统组网能力	单一总线式结构通信，组网能力受限	系统内节点数越多，系统通信故障率越高，系统内节点主从应答式通信，通信效率极低	系统内节点数越多，系统通信故障率越高，有特定的通信协议遵从，但覆盖范围有限	可组任意复杂网络结构，组网方便随意
7	线材	多种规格双绞屏蔽线，量大，质重	普遍电力线，随着时间的增加，通信情况变差	普遍电力线，随着时间的增加，通信情况变差	2.2 mm ² 单/双芯塑料光纤，环保新型材料，规格简单，质轻
8	布线施工强度	线材质重，应尽量避免与强电线路接近	免布线。调试周期长，不能解决系统节点的通信“孤岛”	免布线。调试周期长，不能解决系统节点的通信“孤岛”	线材轻，约束少，布线接线简单。可沿强电线路走线
9	维护	故障定位及查找困难，工具技术要求高，故障分析排除困难	故障定位及查找困难，工具技术要求高，故障分析排除困难	故障定位及查找困难，工具技术要求高，故障分析排除困难	轻松定位，肉眼可判，故障排除简单
10	综合成本	设备通信器件成本低，布线施工要求高，后期管理维护量大	设备通信器件成本无优势，后期管理维护量过大，综合成本过高	一次投入成本无优势，后期管理维护量过大，综合成本过高	批量应用成本更低，布线施工要求少，后期管理维护量小
11	适用范围	无载波电表场合	载波电表已覆盖的密集小区，无需远程控制的小区	实时性要求较高的小范围信息采集	信息采集点集中的城市小区、楼宇和商业环境，工业控制，楼宇自动化

智能电表用户进行系统可行性试点，先后选取四个台区612户居民进行试点，其中A、B台区为老式智能电表台区，智能电表仅有RS 485接口可供数据采集通信。C、D两个台区为新增用户台区，智能电表通信模块采用深圳物联光通公司的生产的

塑料光纤通信模块，改造方案如表2所示。

对比上述方案，无论方案1或方案2，均是利用光纤作为上行通道进行数据传输，光纤通道资源可以是自身配电房已有的光纤资源，或是向第三方（如电信、移动和广电）租用的光纤资源。

表2 远程集抄试点台区改造实施方案

系统	模式			
主站	集中式			
远程信道	变电站内部的光纤资源或广电网络光纤			
实施方案1 (A/B台区)	现场终端	接口类型	原方案	现方案
	集中器	光纤	电力载波	光纤
	电能表	RS 485接口	半载波	光纤
实施方案2 (C/D台区)	现场终端	接口类型	原方案	现方案
	集中器	光纤接口		光纤
	电能表	光纤接口		光纤
电力用户	居民用户			

信号通过光纤通道接入到主站控制中心。但是,方案1和方案2在实际应用中有一些差别,具体如下。

在方案1中,智能电表的计量数据通过RS 485总线进行汇集至电力载波采集器或微功率无线采集器,然后采集器利用已有的电力载波信道或微功率无线信道将信号传输至集中器终端,这种方式属于半载波或半无线方式。对于这种台区情况的改造,只需要将原有的电力载波采集器或无线采集器换成具有光通信功能的采集器,同时将原有的集中器加装光通信模块即可,这种方式比较适用于对原有旧台区改造的场合。

方案2属于全光纤网络结构,该方案通过对原有智能电表加装光通信模块,方案中所有的采集器、集中器均采用带有光纤通信模块的终端,即可完成系统的组成。在这种方案中,由于采用的是TCP/IP协议进行数据传输,因此,当光模块出现问题后,可以选择其他厂家的产品直接进行替换,而不必像电力载波系统在进行模块替换时,需要整套替换,各厂家产品不能互联互通的问题可以得到有效解决。台区改造如图2所示。

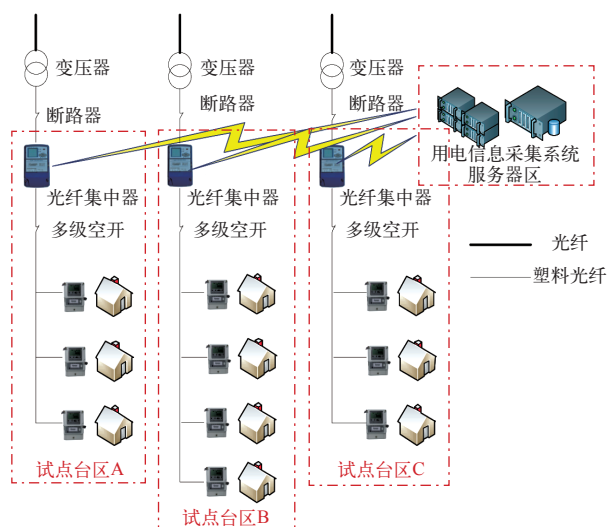


图2 台区改造施工示意图

改造完毕后,将各台区所辖居民用户的电表档案导入集中器及上位机“测试管理软件”。通过“测试管理软件”观察各台区电能表的上线情况。在被改造的台区中,最远的一个用户距集中器有250 m。为验证数据采集效果,选取该台区进行评估分析。首先分析该台区上电后,所需的组网时间,通过观察可知,当该台区230户用户全部上线时,组网耗时3 min左右。

此外,为验证系统的可靠性,以最高0.5 s/次的采集频率对系统进行了10万次不间断通信测试,测试结果如图3所示,100%完全成功。如此高的采集频次及通信成功率是低压电力载波、RS 485总线通信和微功率无线通信技术所不能比拟的。同时,对台区所有电能表进行抄读,最长耗时2.3 s,最短耗时0.7 s,真正实现了得到了“分钟组网,秒级抄表”的运行效果。

最后,对选取台区2015年4月连续5个工作日

任务名称	电表编号	通信参数	测试次数	成功次数	失败次数	执行进度	成功率	任务状态	↓↑
读取正向有功总电能	00000000000015	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000001	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000002	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000003	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000004	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000005	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000006	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000007	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000008	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000009	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000010	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000011	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000012	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000013	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000014	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0
读取正向有功总电能	00000000000015	0 DEFAULT	1000000	1000000	0	100%	100%	执行完毕	0 0

图3 通信测试效果图

的运行结果与2014年同期的运行结果进行对比分析, 分析结果如表3所示。

表3 试点台区运行数据对比

台区	载波	用电信息采集成功率(%)					平均轮抄耗时
	类型	日期1	日期2	日期3	日期4	日期5	
A	窄带	87.5	89.6	100	93.8	85.4	12 min
	光纤	100	100	100	100	100	1.9 s
B	窄带	85.7	77.8	88.9	90.5	82.5	39 min
	光纤	100	100	100	100	99.8	2.1 s
C	光纤	100	100	100	100	100	1.5 s
D	光纤	100	100	100	100	100	1.65 s

从以上数据对比可知, 光纤远程集抄方案不仅大大地提高了用电信息采集成功率, 几乎每次可达到100%, 而且在更大程度上降低了采集耗时, 将台区表计轮抄限定在了秒级, 减轻了抄表人员的工作强度。凭借光纤远程集抄系统高速、即时的用电信息采集效率, 可助力供电营销方对区域、行业和产业进行市场分析, 为费控功能的实现提供坚强的网络保证。

4 结束语

试点台区工程的建设结果表明, 利用光纤技术可以有效解决信息采集系统中数据的采集问题, 且具有组网速度快、抄表及时的优点。在实际工程实施过程中, 光纤方案的一些劣势也有所显现, 尤其对于一些表计集中安装台区, 全光纤方案应用的集中器数量要多于普通载波集中器, 主要原因是塑料光纤收发设备的传输距离受限(最远可达250 m左右), 因此全光纤方案前期设备购置费用略高于常规载波方案。另外, 从工程实施安装调试费用以及运行维护费用比较, 光纤方案较载波方案都没有明显优势。然而对于分散台区, 当部分未抄读成功或抄读不稳定的表计, 可以采用光纤方案作为有益补充, 从而达到很好的抄读效果。

从以上分析可知, 在以下场合推荐使用光纤方案:

1) 通信实时性要求较高的场合(需要远程控制以及预付费相关功能操作)。

2) 其他集抄方案抄读不稳定效果不佳的场合。

3) 台区现场负荷变化明显, 噪声干扰大等抄读成功率不佳场合。

4) 各种表计所属档案信息记录不明晰场合。

参考文献

- [1] 党存禄, 吴青峰, 葛智平. 智能电网技术在智能小区中的应用研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(11): 6-10.
- [2] 刘文, 杨慧霞, 祝斌. 智能电网技术标准体系研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(10): 120-126.
- [3] 李东东, 崔龙龙, 等. 家庭智能用电系统研究及智能控制器开发[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(4): 123-129.
- [4] 殷树刚, 张宇, 拜克明. 基于实时电价的智能用电系统[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 11-16.
- [5] 梁波, 周生伟, 韩云. 电力线载波技术在用电信息采集系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2013, 34(2): 78-81.
- [6] 黄友朋, 赵山, 许卓, 等. 本地费控电能表对阶梯电价支持功能分析[J]. 电测与仪表, 2013, 50(11): 59-62.
- [7] 尤中璞, 黄文江, 吴胜连. 电力线载波在用电信息采集系统中的应用及可靠性分析[J]. 企业科技与发展, 2011(24): 36-40.
- [8] 王辉, 郝旭东, 龚延兴, 等. 光纤复合导线在110~220 kV输电线路上的研究与应用[J]. 华北电力技术, 2014(10): 25-32.
- [9] 东方光通实业有限公司. POF塑料光纤智能抄表系统及塑料光纤技术在电力行业的应用[J]. 电气应用, 2013(增刊1): 650-653.
- [10] 吴胜明, 侯思祖, 崔小玲, 等. 基于塑料光纤的自动抄表系统的设计与实现[J]. 电力系统通信, 2012, 33(4): 23-30.
- [11] 何威, 周克, 等. 基于QoS策略的低压电力线信道容量研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 106-111.

(收稿日期: 2016-03-20) EA