

多路并行工频通信设备及系统关键技术研究

王 媚¹,徐 剑¹,杨 健²,王 佳²,黄毕尧³,李建岐³,刘国军³,王智慧³

(1. 上海市电力公司,上海 200122;2. 上海久隆电力(集团)有限公司,上海 200070;

3. 中国电力科学研究院,北京 100192)

摘要: 开发了多路并行工频通信系统。该系统主要由子站系统和用户终端装置两部分组成,给出了各部分的关键硬件电路及其连接关系。研究了多路工频通信系统下行信号发送和接收、上行信号发送和接收的关键技术,并运用三相信号并行传输、单相 6 路信号并行传输及不同馈线信号并行传输来提高系统信息传输速率。设计了系统终端地址及与 DL/T698-41 等标准兼容的工频通信协议。多路并行工频通信系统速率较传统单路工频通信系统有明显提高,能更好地满足用电信息采集系统的需求。

关键词: 工频通信系统; 多路并行传输; 终端; 滤波; 协议; 通信

中图分类号: TN 913.6

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.02.024

0 引言

通信技术为电网远程监测和控制提供通道,双向、实时、可靠的电力系统通信是实现智能电网的重要基础之一,配用电直接面向广大电力用户,其智能化建设是智能电网发展的必然要求^[1]。我国在 110 kV 及以上电压等级的输电网电力通信方面,已建立了相对完善的以光通信技术为主的电力系统专用通信网,为电网调度自动化、管理信息化等提供了重要支撑。但在配用电环节,由于节点较多、通信环境复杂,目前存在电力线通信、无线通信、光通信等多种技术并存的局面。光通信和无线专网受成本等因素影响,大面积推广存在一定制约。传统电力线载波通信技术包括宽带电力线载波和窄带电力线载波,其信号不能直接穿越配电变压器传输,信号传输特征受到电网时变阻抗特征影响较大,传输质量时好时坏,且在多 T 型分支配电网中信号传输可靠性较差。

工频通信技术是以电网工频基波过零点为基准点传输信号,其在 20 世纪 80 年代初由美国学者 S. T. Mak 提出并不断进行技术改进,在负荷控制和远程抄表系统中获得应用并扩展了应用范围^[2-8]。工频通信系统下行信号使用电压畸变,上行信号使用电流畸变。目前,国外基于工频通信技术的高级量测(AMI)系统已有大量工程应用案例。国内也从 20 世纪 90 年代后期开始研究工频通信技术,并已在一些远程抄表系统中投入使用^[9-13]。

国外对单相多路工频通信进行了相关研究^[14],并已推出单相六路工频通信装置,而国内在这方面尚无系统研究。本文针对传统单路工频通信系统速率较低、应用受到限制的特点,研制了多路并行工频通信系统;设计了工频通信子站系统和用户终端装置;

根据多路工频通信信号三相并行传输、单相 6 路并行传输以及不同馈线并行传输的技术特点,给出多路并行工频通信系统终端地址设计方法和工频通信协议。本文研制开发的多路并行工频通信设备及系统,在多地多个电力公司现场挂网测试,并取得了成功的运行应用。

1 多路工频通信系统基本原理

基于配电网的多路工频通信系统组成如图 1 所示,主要由子站系统和用户终端装置两部分组成。

子站系统包括下行信号发送装置、上行信号接收装置和子站控制装置 3 个部分。其中下行信号发送装置通过 3 根火线和 1 根零线接到调制变压器低压侧,其主要功能是接收子站控制装置指令并按照指令调制下行电压畸变信号,调制信号采用三相并行

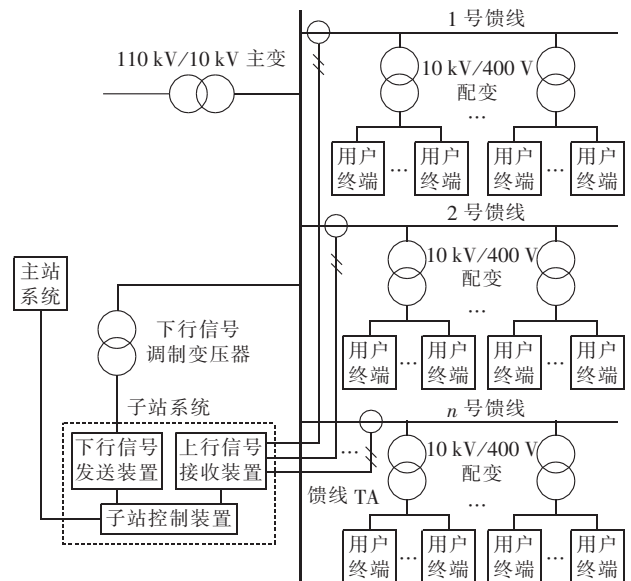


图 1 多路工频通信系统结构

Fig.1 Structure of multi-channel parallel power-frequency communication system

调制;调制的下行信号通过调制变压器耦合到变电站母线上,该母线下端馈线上的所有工频用户终端均能接收到此下行信号;工频用户终端根据接收到的下行信号,调制上行电流畸变信号,子站系统信号接收装置通过馈线 TA 提取上行电流畸变信号。对于多路并行工频通信系统,图 1 中同一相上的 6 个终端、不同相上的终端、变电站不同馈线上的用户终端均可以同时传输上行信号。子站控制装置用于启动下行信号发送及上行信号接收的同步时序控制,具备和主站系统的远程通信接口及变电站母线联络开关状态采集功能。子站和用户终端硬件设计采用集成有数字信号处理器的微控制器作为核心控制芯片,并集成有 12 位的数模转换器和硬件中断功能。

1.1 多路工频通信子站系统

图 2 为工频通信子站系统主要硬件连接关系示意图。

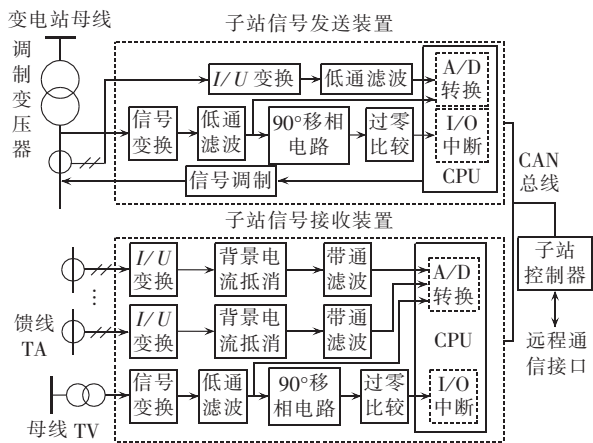


图 2 子站通信系统硬件结构

Fig.2 Hardware structure of substation communication system

子站信号发送装置通过三相四线外接调制变压器低压端,其功能包括下行信号调制、电压过零点检测、调制信号强度自检。下行信号调制需要以电压过零点作为调制时间基准计时起点,由于三相电压相位相差 120° ,为了实现子站发送装置三相信号同时并行调制,硬件电路设计在过零比较前端采用了 90° 移相电路,这样可以实现下行信号三相并行调制时三相可以采用各自的调制计时基准。信号强度自检电路能实时监测下行信号调制强度。过零比较电路及信号检测电路采用二阶有源低通滤波,滤除高频干扰,提高过零比较电路稳定性,低通滤波器截止频率为 5 kHz 。

子站信号接收装置从馈线 TA 取电流信号以获取上行电流畸变信号。每条馈线上的上行信号由子站信号接收装置的一块信号处理板处理。上行信号首先经过背景电流抵消电路,背景电流抵消电路根据上行信号跨 Y/yn_0 和 D/yn_{11} 2 种接线变压器传输

后耦合到其他相上的特点,可以在抵消背景电流的同时增加上行信号强度^[15-16],背景电流抵消电路完成下式运算:

$$\begin{cases} S_a = i_b - i_c + \sqrt{3} i_c \angle 90^\circ \\ S_b = i_c - i_b + \sqrt{3} i_a \angle 90^\circ \\ S_c = i_a - i_c + \sqrt{3} i_b \angle 90^\circ \end{cases} \quad (1)$$

其中, i_a 、 i_b 、 i_c 分别为 A、B、C 相上的电流信号,包括上行信号和背景电流噪声信号; S_a 、 S_b 、 S_c 分别为 A、B、C 相上合成后的上行信号。

经过背景电流抵消后,上行信号采用二阶有源带通滤波,通带在 $100\sim 1000\text{ Hz}$ 之间;过零检测电路从母线 TV 取电压信号获得电压过零点,子站信号接收装置采用模块化设计;子站控制器、子站发送装置和子站接收装置采用 CAN 总线相连。

对于用电信息采集系统而言,工频通信子站系统相当于传统电力线载波抄表系统中集中器的功能。

1.2 多路工频通信用户终端

工频通信用户终端通过电力线和子站通信,本地通过 RS-485 总线和相关配用电终端或者电能表通信。工频通信用户终端完成下行信号接收与上行信号发送,通过 RS-485 接口与电表或其他需要远程通信的配用电终端连接。1 个用户终端可以采集 $1\sim 32$ 个用户电能表数据。多路工频用户终端硬件主要部分原理如图 3 所示。

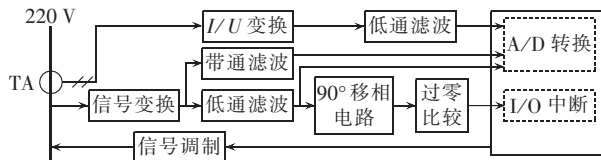


图 3 通信用户终端硬件原理

Fig.3 Hardware structure of user communication terminal

220 V 低压电网电压经过信号变换变为正弦弱信号,经过硬件二阶有源带通滤波提取下行信号,通带在 $100\sim 1000\text{ Hz}$ 之间。工频通信终端与工频子站发送装置具有自动监测上行信号调制强度功能。

2 下行信号发送与接收

工频通信下行信号发送的基本原理是在工频基波由正到负的过零点产生一个畸变,即在调制变压器每相电压上产生一个电压畸变,产生的方式是将晶闸管和电感串接在三相馈线和地线之间,每 2 个周期晶闸管导通一次,“1”表示前一个周期导通,“0”表示后一个周期导通。对于国内 50 Hz 工频,单路工频通信下行信号传输速率为 25 bit/s ,多路并行下行通信速率为 75 bit/s 。

如图 4 所示,晶闸管在所接相电压由正到负过零点前 30° 范围内导通,产生一个冲击电流引起过零点

附近电压畸变。该电压畸变通过调制变压器耦合到中压侧,其强度控制在电能质量指标范围内,不会对中压配电网产生干扰。

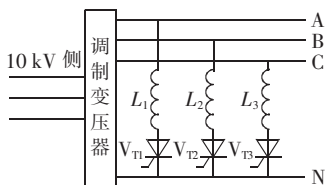


图 4 下行信号发送原理

Fig.4 Transmission circuit of downlink signal

实际下行信号发送时其冲击电流如图 5 所示。一般情况下,由于每相等效阻抗不同,即使每相调制导通角相同,产生的冲击电流也不一样。图 5 为子站信号发送装置实际发送下行信号时调制变压器低压侧零线上测试的电流(三相电流波形叠加)。下行调制的冲击电流幅值与变电站主变容量有关,一般在 300~600 A 之间。

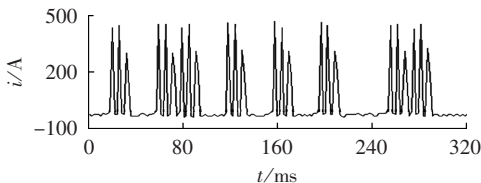


图 5 下行信号发送冲击电流

Fig.5 Impulse current of downlink signal transmission

下行信号经过用户终端硬件进行前端信号处理,主要包括信号变换和带通滤波。下行信号每 2 个周期调制一次,工频通信用户终端的接收端对 2 个周期中的前、后周期信号进行 A/D 采样(6.4 kHz, 12 位)后进行差分,其波形如图 6 所示。下行信号接收时由于存在相间信号串扰(图 6 为 A 相下行信号和 B 相下行串扰信号的叠加波形),信号处理时需要对信号进行强度分段并分别计算特征值。

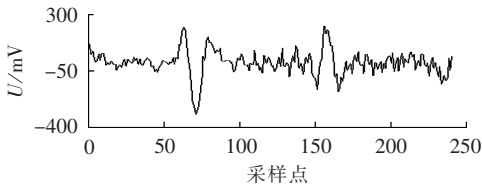


图 6 下行信号时域波形

Fig.6 Time-domain waveform of downlink signal

下行信号采用帧同步接收方式,每帧帧头同时调制 4 个周期的电压波形。下行信号通过 6.4 kHz、12 位 A/D 采样并进行前后 2 周期波形差分后,采用时域或者频域方法检测信号。

3 上行信号发送与接收

上行信号发送硬件原理同下行信号(图 4),由于用户端一般为单相,故上行信号多采用单相调制。

与下行信号调制相比,上行信号调制回路采用双向晶闸管,其可在工频电压由正到负或者由负到正的过零点前导通。为了完成单相 6 路终端并行传输上行信号,调制时以 4 个周期为 1 位调制周期,共有 8 个过零点前可调制^[15-16]。图 7 中编码方式为:在第 1、3、6、8 个过零点调制为“1”(左图),在第 2、4、5、7 个过零点调制为“0”(右图),具体编码见表 1。信号接收时采集冲击电流并依据其脉冲方向完成上行信号解调。图 7 中,在每个电压过零点分别设置检测窗口 W_1-W_8 ,通过 8 个检测窗口的运算($W_1+W_2+W_3+W_4-W_5-W_6-W_7-W_8$)抵消负载背景电流后得到上行信号。



图 7 上行信号调制和解调示意图

Fig.7 Modulation and demodulation of uplink signal

表 1 上行信号调制编码

Tab.1 Modulation code of uplink signal

信源编码	输入信道码图							
	1				0			
1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1	2	5	6	3	4	7	8
3	1	2	7	8	2	4	5	6
4	1	3	6	8	2	4	5	7
5	1	4	5	8	2	3	6	7
6	1	4	6	7	2	3	5	8

实际发送电流的实测波形如图 8 所示,电流冲击脉冲幅值控制在 25 A 以下。

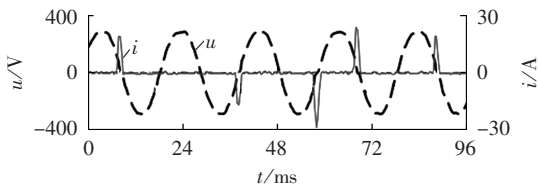


图 8 上行信号发送冲击电流

Fig.8 Impulse current of uplink signal transmission

上行信号检测时,经过模数转换后每位用 4 个电流脉冲表示,将 8 个电流脉冲组成信号向量:

$$\mathbf{F}=[a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8]^T$$

信号检测向量为:

$$\mathbf{D}=[d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5 \ d_6 \ d_7 \ d_8]$$

子站接收装置单片机软件程序完成式(2)检测运算:

$$\mathbf{A}=\mathbf{D} \cdot \mathbf{F}=d_1 a_1+d_2 a_2+d_3 a_3+d_4 a_4+d_5 a_5+d_6 a_6+d_7 a_7+d_8 a_8 \quad (2)$$

对应表 1 中 6 路信号调制方式的检测向量如表 2 所示。

根据式(2)运算结果即可分离识别出电源线单相 6 路同时传输的上行信号。

表 2 上行信号检测向量
Tab.2 Detection vector of uplink signal

通道编号	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8
1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
2	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
4	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
5	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1

某条馈线上每相的 6 个终端上传的数据经过子站接收装置信号变换、硬件背景电流抵消及带通滤波后,在上行信号接收端采集到的信号时域波形如图 9 所示,图中由上至下分别为 A 相、B 相、C 相的时域波形。

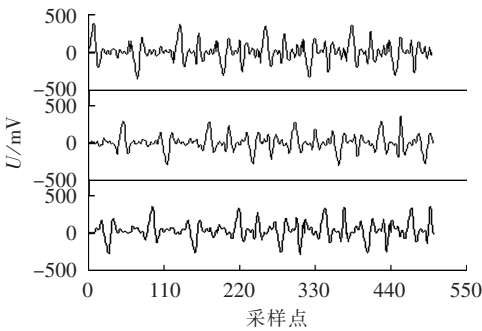


图 9 上行信号原始时域波形

Fig.9 Original time-domain waveforms of uplink signal

上行信号经过与检测向量信号处理后,子站接收终端采集到的时域波形如图 10 所示,图中给出了 A 相的 4 个终端、B 相的 1 个终端及 C 相的 1 个终端的波形,其中终端 A₄ 信号较弱。一般情况下,由于国内配网为小电流接地系统,上行信号相间存在串扰情况。

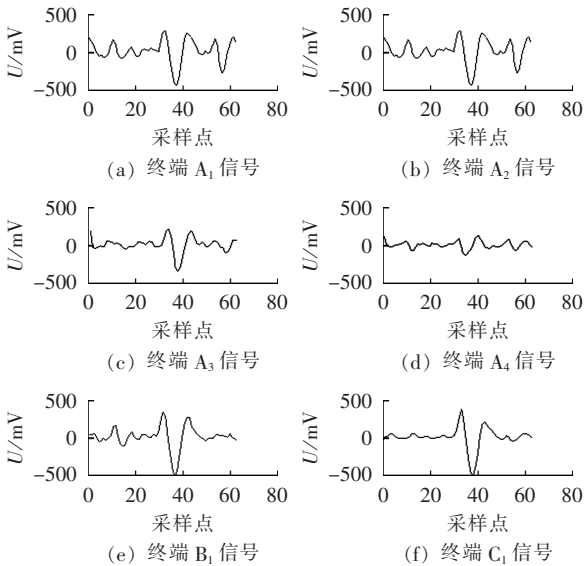


图 10 上行信号经过信号检测向量分离后的时域波形

Fig.10 Time-domain waveforms of uplink signal after signal detection

上行信号的接收同步采用时间同步方式,由于子站控制器控制子站发送装置的下行信号发送,并计算出上行信号的调制时间和所在馈线,通知相应子站接收装置接收上行信号。

4 多路工频通信应用设计

4.1 工频通信终端地址设计

工频通信用户终端安装在居民电表箱以及配电变压器台区计量电能表处,可抄收分表数据及总表数据,结合子站装置对变电站馈线电能及数据进行抄收。每个工频通信用户终端对应 1 个原始的物理地址,物理地址编号以 6 个字节表示。每个工频通信终端通过 RS-485 接口按照 DL/T645 标准读取电能表数据,电能表原始物理地址编号以 6 个字节表示,子站地址以 6 个字节表示。

多路工频通信主站软件系统具有终端相位自动判别功能,系统安装完成后,工频通信中按照子站装置的相位,子站下行信号三相并行传输对所有用户终端召测,子站接收装置同时接收三相的上行信号,根据接收上行信号所在相位可自动判断终端所在相。

多路工频通信主站软件系统运行前需要对所有终端初始化链路层终端地址和链路层终端组地址。终端物理层地址占 6 个字节,如果按照物理地址传输将占用不必要的信道带宽,链路层终端地址是根据所辖变电站终端安装数量,对终端地址的简化,简化后占 2 个字节。采用三相、每相 6 个终端同时传输上行数据,每个终端对应的组地址表示其上行调制信源编码格式,每组包括 18 个终端,A、B、C 相上各 6 个终端。每组中组地址 6m-5,6m-4,⋯,6m (m=1,2,3,⋯)的终端调制格式分别对应表 2 中编码 1~6 的调制格式。终端组地址用 2 个字节表示,每个终端调制编码标示和每个终端所带的电能表地址用 1 个字节表示。

利用变电站每条馈线上的 TA 提取上行电流畸变信号,实际一般选择测量用互感器,每条馈线上的终端可以同时传输上行数据。终端所在的馈线地址和所在相位用 1 个字节表示,高 6 位表示馈线地址、低 2 位表示相位。

系统初始化后,电能表地址需要加上的信息包括电能表所在的终端地址、电能表所在终端的组地址、电能表所在终端信源调制编码标示、电能表所在的馈线地址和所在相位。包括电能表初始化后的地址在内,电能表地址信息占 6 个字节。系统对每个工频通信终端初始化时,主要是把每个电能表对应的上述地址信息固化到每个工频通信终端的 FLASH 存储器中。同时在主站数据库中建立电能表出厂地址和上述地址信息一一对应的数据库。工频通信中下行

和上行数据传输时只需传输终端 2 个字节的初始化链路层地址。

一次下行信号帧最多可同时回传 18 个电能表数据,如果变电站有 20 条辐射状非闭环运行的馈线,则多路工频通信时一次下行信号帧可以同时召测 360 块电能表数据。

4.2 多路工频通信帧格式设计

多路工频通信系统物理层通信帧格式设计如第 2 节和第 3 节中下行信号发送和上行信号发送所述。本节主要是论述链路层和应用层帧格式。帧格式设计时一方面考虑到多路工频通信自身技术,另一方面也要符合目前用电信息采集等自动化系统中对通信规约的相关规定,主要是与 DL/T645、DL/T 698-41 以及 Q/GDW376.1 标准兼容。同时,由于工频通信物理层速率较低,要求设计高效的通信帧格式以提高其通信性能。在用电信息采集与管理系统中,工频子站装置主要完成 Q/GDW376.1 协议和工频通信协议的转换,工频用户终端装置主要完成 DL/T645 协议和工频通信协议的转换。

DL/T698-41 主站通信协议采用 GB/T18657.1 标准的 6.2.4FT1.2 异步式传输帧格式,如图 11 所示,其中长度 L 包括规约标识和用户数据长度,用户数据长度是控制域、地址域、链路用户数据(应用层)的总字节数。多路工频通信应用时,图 11 中地址域为工频通信子站地址,工频通信子站主要完成链路用户数据向工频协议的转换。

起始字符(68 H)
长度 L
长度 L
起始字符(68 H)
控制域 C
地址域 A
链路用户数据
校验和 CS
结束字符(16 H)

图 11 DL/T698-41 链路层通信协议

Fig.11 DL/T698-41 communication protocol of link layer

行业标准 DL/T698-41 以及国家电网公司标准 Q/GDW376.1 中,链路用户数据应用层功能规定的上行数据包括任务数据、1 类数据(实时数据)、2 类数据(历史数据)和 3 类数据(事件数据)。根据多路并行工频通信信号上行传输和下行传输相差较大的特点,需分别设计上行通信协议和下行通信协议。

以 1 帧下行数据抄收 18 个电能表数据为例,其下行帧格式如图 12 所示。

下行信号完成如下功能:终端相位初始化、电能表地址初始化、终端时钟校准、终端定时数据存储命令、单个电能表抄收、18 个电能表抄收(三相 6 路)。对应的上行信号功能分别是终端相位初始化回复确

起始字符(68 H)
长度 L
长度 L
起始字符(68 H)
控制域 C
组地址(18 个终端为 1 组)
数据标示
校验和 CS
结束字符(16 H)

图 12 多路并行工频通信链路层下行通信协议

Fig.12 Downlink protocol of link layer for multi-channel parallel communication

认、电能表地址初始化回复确认、终端时钟校准回复确认、终端定时数据存储命令回复确认、单个电能表数据回复、18 个电能表数据回复。图 13 为 18 个电能表数据回复的上行帧格式。

起始字符(68 H)
长度 L
长度 L
起始字符(68 H)
控制域 C
A ₁ —A ₆ 、B ₁ —B ₆ 、C ₁ —C ₆ 共 18 个终端回复数据
校验和 CS
结束字符(16 H)

图 13 多路工频并行通信链路层上行通信协议

Fig.13 Uplink protocol of link layer for multi-channel parallel communication

每组有 18 个终端,每条馈线上的组地址可以重合,这样 1 帧下行信号可以同时抄收 $18n$ 个终端(n 为同一个子站发送装置所带的馈线数量)。1 条下行信号为 16 个字节,1 条上行协议为 16 个字节,多路工频通信物理层速率为下行 25 bit/s,上行 12.5 bit/s,加上下行物理层调制帧同步需 80 ms,则抄收 18 个电能表数据时间约为 16 s;如果子站发送装置所在母线上有 10 条馈线,则 16 s 能抄收 180 个电能表数据,如果 1 个变电站下端有 4 万个电能表需要远程抄表,则抄收一遍大约需 1 h。实际应用时,主要是抄收电能表当前电量,1 条上行帧只需要 8 个字节,同时可把下行数据 1 帧缩短为 8 个字节,简化图 12 和图 13 中的起始字符和长度字符,则 0.5 h 可完成 4 万个电能表数据抄收。实际上许多变电站下端的电能表数量更少,循环抄收一遍的时间可以更短。

5 结论

本文研究分析了多路并行工频通信系统中上行、下行信号的发送与接收,分析并设计了工频子站系统及用户终端关键硬件电路,主要为信号处理回路的关键硬件电路。采用优化的系统地址编码和工频通信系统通信协议,极大提高了工频通信系统通信性能。

多路工频通信系统应用在用电信息采集系统中时,无需安装大量集中器,只需在终端变电站安装一套子站系统,充分利用配电网变电站多馈线并行传输、三相并行传输、单相 6 路正交编码调制并行传输的优势,并可以在 0.5 h 内完成 1 个变电站辖区 4 万户表计数量规模的电能表的当前电能量数据抄收。

开发的多路工频通信系统已在部分省市电力公司安装应用。目前,智能配用电网建设对于通信技术各方面性能提出了更高的要求,多路工频通信技术为配用电通信尤其是我国广大农村配电网通信提供了一种低成本、高可靠、易维护的通信解决方案。

参考文献:

- [1] 徐丙垠,李天友,薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):38-40.
XU Bingyin,LI Tianyou,XUE Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(17):38-40.
- [2] MAK S T. A new method of generating TWACS type outbound signals for communication on power distribution networks[C]//IEEE/PES Winter Meeting. Dallas,Texas,USA:IEEE,1984:2134-2141.
- [3] MAK S T. TWACS,a new viable two way automatic communication system for distribution networks part II:inbound communication[J]. IEEE Trans on Apparatus and Systems,1984,103(3):2141-2147.
- [4] MAK S T. Application of differential technique for characterization of waveform distortion[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2000,22(3):975-980.
- [5] MAK S T. Power delivery infrastructure differences and their impact on different types of power line communications for automatic meter reading[C]//CIRED. Chesterfield, Missouri,USA:[s.n.],2001:18-21.
- [6] SPENCER Q H. Short-block LDPRC codes for a low-frequency power-line communications system[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2005,9(2):95-99.
- [7] XU W,ZHANG G,LI C,et al. A power line signaling based technique for anti-islanding protection of distributed generators, part I:scheme and analysis a companion paper submitted for review[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2007,22(3):1758-1766.
- [8] WANG Wencong,KLIBER J,ZHANG Guibin. A power line signaling based scheme for anti-islanding protection of distributed generators,part II:field test results[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2007,22(3):1767-1771.
- [9] 周世伟,张绍卿,洪文学. 双向工频信号的特征提取与模糊分类方法[J]. 电网技术,1999,23(7):49-51.
ZHOU Shiwei,ZHANG Shaoqing,HONG Wenxue. Feature extraction and fuzzy classification for two way automatic communication system[J]. Power System Technology,1999,23(7):49-51.
- [10] 张世平,赵永平,刘瑞叶,等. 基于全通滤波器的 IIR 陷波器抑制工频通信中的谐波干扰[J]. 中国电机工程学报,2003,23(5):34-38.
ZHANG Shiping,ZHAO Yongping,LIU Ruiye,et al. Rejection harmonic interference in TWACS using IIR notch filter based on all-pass filter[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(5):34-38.
- [11] 张世平,周庆东,张绍卿. 基于时频分析的工频通信信号特征提取[J]. 中国电机工程学报,2004,24(7):85-89.
ZHANG Shiping,ZHOU Qingdong,ZHANG Shaoqing. Features extraction of TWACS signal based on time-frequency analysis[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(7):85-89.
- [12] 全玉生,刘赫,李文,等. 双向工频通信下行信号系统的准最优控制方法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(10):84-91.
QUAN Yusheng,LIU He,LI Wen,et al. Method of suboptimal control for two way power frequency automatic communication system inbounds signal[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(10):84-91.
- [13] 权楠,李建岐,冯侃,等. 工频通信信号在我国配电网中的传输特性[J]. 电网技术,2009,33(17):203-206.
QUAN Nan,LI Jianqi,FENG Kan,et al. Transfer characteristics of power frequency communication signals in medium-voltage power distribution networks in China[J]. Power System Technology,2009,33(17):203-206.
- [14] MAK S T. Simultaneous inbound multi-channel communication system using electricity distribution network:United States,4963853[P]. 1990-10-16.
- [15] 李建岐,黄毕尧,刘国军,等. 一种工频通信多路信号并行传输系统:中国,ZL200920247070.1[P]. 2009-11-17.
- [16] 王智慧,李建岐,黄毕尧,等. 基于 dsPIC 的工频通信系统装置研制[J]. 电力自动化设备,2011,31(2):84-91.
WANG Zhihui,LI Jianqi,HUANG Biyao,et al. Development of power frequency communication equipment based on dsPIC[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(2):84-91.

作者简介:

王 媚(1970-),女,上海人,高级工程师,从事电力系统及其自动化研究工作(E-mail:wangmei-jxgs@sq.sh.sgcc.com.cn);

徐 剑(1975-),男,上海人,高级工程师,从事电力系统供用电自动化及相关管理工作;

杨 健(1968-),男,上海人,高级工程师,从事电力系统自动化研究及相关管理工作(E-mail:yangj@jl.sh.sgcc.com.cn);

王 佳(1986-),女,上海人,工程师,从事电力系统自动化研究工作;

黄毕尧(1982-),男,云南昭通人,工程师,硕士,主要从事配网自动化及通信技术研究开发工作(E-mail:huang_dianqi@126.com);

李建岐(1969-),男,陕西宝鸡人,高级工程师,硕士,主要从事电力通信技术研究及相关标准管理工作;

刘国军(1983-),男,江西万安人,工程师,硕士,主要从事通信算法研究开发工作;

王智慧(1981-),男,河南开封人,工程师,硕士,主要从事配网通信技术研究开发工作。

(下转第 146 页 continued on page 146)

- QIU Zhiyong, CHEN Jianmin. Discussion of 500 kV digital substation network mode and VLAN partition[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2009, 28(4): 60-65.
- [15] 曹海欧, 严国平, 徐宁, 等. 数字化变电站 GOOSE 组网方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 143-150.
- CAO Haiou, YAN Guoping, XU Ning, et al. GOOSE networking scheme for digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(4): 143-150.
- [16] 梁国坚, 段新辉, 高新华. 数字化变电站过程层组网方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 94-98.
- LIANG Guojian, DUAN Xinhui, GAO Xinhua. Networking schemes

- for process level of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2): 94-98.
- [17] 李强, 窦晓波, 吴在军, 等. 数字化变电站通信网络规划与实时特性改进[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(5): 73-76.
- LI Qiang, DOU Xiaobo, WU Zaijun, et al. Communication network of digital substation and improvement of real-time performance [J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(5): 73-76.

作者简介:

李广华(1977-), 男, 河北冀州人, 工程师, 硕士, 主要从事电力自动化设备的研究与开发工作(E-mail: ligh@nari-relays.com)。

Digital substation networking technologies

LI Guanghua

(Nanjing NARI-Relays Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The extensive application of GOOSE and sample data transmission in digital substations requires the high performance of communication networks. Traditional shared multicast communication mode is not suitable for digital substations because it may aggravate the network conflict and increase the receiving error. VLAN partition technology supporting IEEE802.1Q and GMRP networking technology are discussed and it is pointed out that both, the former together with the isolated broadcast domain method and the latter with the dynamic multicast registered technology, can be used in theory to avoid the overloaded multicast flow of digital substation transmission, while the latter is better because of its simple project implementation & maintenance and precise flow control.

Key words: digital substation; communication; GMRP; VLAN; electric substations

(上接第 141 页 continued from page 141)

Key techniques of multi-channel parallel communication equipment and system

WANG Mei¹, XU Jian¹, YANG Jian², WANG Jia², HUANG Biya³,

LI Jianqi³, LIU Guojun³, WANG Zhihui³

(1. Shanghai Power Supply Company, Shanghai 200122, China;

2. Shanghai Jiulong Power Group, Shanghai 200070, China;

3. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: A kind of multi-channel parallel power-frequency communication system is developed, which contains mainly the substation system and the user terminal equipment. Key hardware circuits and their connections are given. The key technologies of downlink signal transmission/detection, uplink signal transmission/detection are researched. Three-phase signal parallel transmission, single-phase six-channel signal transmission and multi-feeder signal parallel transmission are applied to enhance the transmission rate of system data. The terminal address code and communication protocol compatible with DL/T698-41 standards are designed. The multi-channel parallel communication system transmits data much faster than the single-channel communication system does, which satisfies the demands of electric energy data acquisition system.

Key words: power-frequency communication system; multi-channel parallel transmission; terminals(electric); filtering; protocols; communication