

电力负荷管理终端及电能表一体化检测装置的研究

刘水¹, 聂方明¹, 李平²

(1.江西省电力科学研究所,南昌 330096; 2.南昌大学,南昌 330006)

摘要: 电力负荷管理终端和各种表计应用越来越广泛,但目前没有集现场终端和各种表计的各项技术指标及功能于一体的检测装置。本文介绍一种采用通讯控制技术,能仿真配电网的各种运行状态,将配变综测仪、网络电能表、大用户终端、多功能电能表的各项功能检测集成于一体的装置,其功率源采用数字 PWM 技术,减少了装置重量和体积,提高了效率。

关键词: 配电网;电能表;数字 PWM 技术

中图分类号: TM933

文献标识码: B

文章编号: 1001-1390(2009)07-0045-04

Measuring Device for Terminal and Meters of DMS

LIU Shui¹, NIE Fang-ming¹, LI Ping²

(1. Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China.

2. Nanchang University, Nanchang 330006, China)

Abstract: The application of terminal and meters in DMS is more and more popular, but now there is no integral device which can gather the function of terminal meter and other meters. This paper will introduce a device utilized by the modern communication technology, it can imitate kinds operating state of distribution network, and integrates all the measuring features for the instruments including the distribution transformer terminal, networked power meters, commercial customer terminals, and multi-function powers meters. The emulational source of the device is armed with the digital PWM technology, which reduces the weight and size of the device but increases the efficiency. This device is used in Jiangxi province successfully.

Key words: distribution network, Watt-hour meter, digital PWM technology

0 引言

随着国民经济的发展,全国用电负荷持续增长,根据国家电网公司集团化运作、集约化发展和精细化管理的要求,利用现代通讯技术,10kV 配电网的专、公变逐步在实施远程监测,电力负荷管理系统(DMS)电力需求侧的建设正日益普及和完善,目的一是为了更好地为专变用户提供优质、高效的个性化增值服务,二是为了保证公用变压器运行可靠、防止“带病”运行,从而保证配电网安全、经济运行。

电力需求侧一体化数据采集系统的运行好坏取决于两个方面,第一,主站系统的稳定性、可靠性、易用性;第二,终端与电能表在现场运行的准确性、可靠性。为了保证终端运行可靠,对终端的检测是非常重要的,目前国内外还缺乏此类设备。

目前配电变压器综测仪(配变终端)也进入了电

力需求侧一体化数据采集系统,网络电能表(带无线通讯功能的多功能电能表)也开始使用,而此类设备的检测装置在国内还是空白。

电力需求侧终端、表计一体化测试系统能仿真配电网现场运行的各种状态,集多功能电能表、网络电能表、大用户终端、配变终端各项检测功能于一体,为供电公司检测负荷需求侧一体化数据采集仪表(终端与电能表)提供通用、高效、可靠的检测装置。

1 检测装置硬件结构及原理

1.1 检测装置的组成

检测装置由上位机、三相可调电源、6路接线控制及终端功能测试板、6路误差运算器及电能表多功能测试板、24路串口扩展模块等5个主要部分组成,具体硬件如图1所示。

检测装置由上位机通过专门设计的串口扩展模

块与各功能测试板、三相可调电源及被检仪表进行通讯,开展检测。终端与电能表共用的三相可调电源提供检测所需的各种负荷。6 个误差运算器对电能表基本误差项目进行校验,电能表多功能测试模块对电能表的多功能项目进行检测。6 块接线控制及终端功能测试板控制继电器切换模拟现场接线,提供检测所需的各种工况,并检测大用户终端的数据抄录功能、负荷控制功能、异常报警功能,配变终端的统计数据及定点数据上送功能、无功投切补偿功能,网络电能表的异常报警功能。

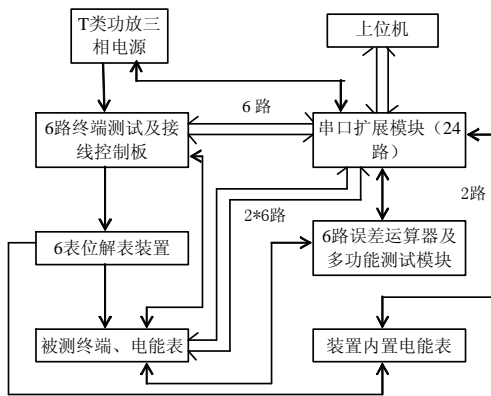


图 1 装置框图

Fig. 1 Device structure diagram

1.2 三相可调电源

检测负荷终端与各种电能表,需要能仿真配电网各种运行状态,产生测试所需的各种接线方式、量程、电压、电流、相位、频率,能模拟现场电压端相、失压、失流、反极性等状况的功率源。本装置设计终端与电能表共用一个三相可调电源,通过扩展的串口模块受控于计算机,提供检测所需的各种负荷和配电网运行的各种状态。电源采用 DSP 技术实现调制,控制放大器输出,电源功放按逻辑功能划分由以下五个部分组成:

- (1) 脉宽计算与误差补偿单元;
- (2) 脉冲调制发生器单元;
- (3) 译码与特殊功能寄存器单元;
- (4) AD 采样与信号调理单元;
- (5) 微机通讯单元五大部分。

其功能模块如图 2 所示。

其中,“脉宽计算与误差补偿单元”、脉冲调制发生器单元两部分为数字功放的技术难点。采用 DSP 技术通过全数字算法实现 PWM 调制。克服了传统的 PWM 功放没有考虑信号传输过程中开关点的变化,只能通过反馈控制方式来调节输出电压的有效值或平均值,存在负载突变时输出电压调整时间长的缺点。

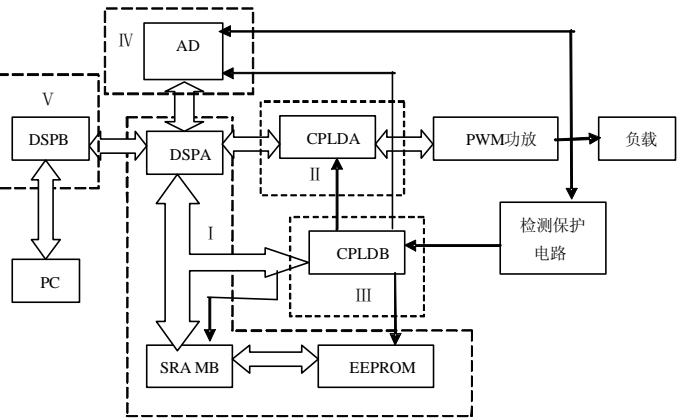


图 2 电源功放框图

Fig. 2 Power amplifier diagram

1.3 误差运算器及电能表多功能测试板

对电能表检测需要误差运算器计算并显示误差,装置每个表位装有一个误差运算器,可同时对多块电能表的基本误差、抓黑标、起动、潜动、标准偏差、计度器核验等项目进行校验,上位机通过专门设计的串口扩展模块给各误差运算器下发标准预置及校验圈数等参数,并从串口读取校验结果,进行数据处理、存档。

多功能表检测除上述基本误差等项目外,还需检测更多的试验项目。对于多功能电能表通讯功能的测试,装置通过扩展 RS485 接口按 DL/T645 规约按表位顺序自动对各表位多功能电能表进行通讯、多功能编程、抄表、需量误差等各项通讯功能测试,测试软件中可增加新拓展的通讯测试项目。

对多功能电能表的其它项目检测,装置特设计了电能表多功能测试模块。计算机通过串口扩展接口控制多功能测试模块,并结合串口扩展模块的 RS485 串口对电能表进行秒脉冲误差、晶振误差、时段投切误差、计度器组合误差、电压跌落试验等多功能项目的检测。

电能表多功能测试模块由 CPU、高稳定性恒温晶振(10MHz、稳定性:1×10⁻¹⁰/s,精度可达 2×10⁻⁶)。多功能测试板由计数器、存储器、多表位时段投切测试电路、通讯电路等部件组成。电路如图 3 所示。

电能表多功能测试模块具有以下 4 种功能:

(1) 多功能电能表秒脉冲误差测试:被检表秒脉冲信号输入作为开关启停信号,控制计算标准晶振输入的脉冲数,得出秒脉冲误差。

计算公式:秒脉冲误差 = ((理论值 - 实际值) ÷ 实际值) × 100%

(2) 多功能电能表晶振误差测试:在相同的时间

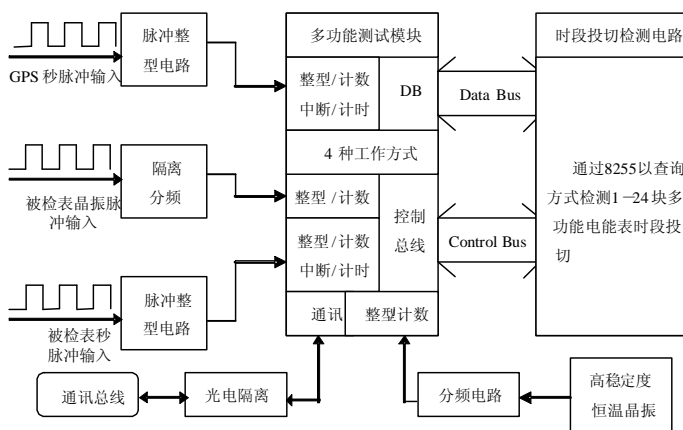


图 3 电能表多功能测试板框图

Fig. 3 Watt-hour meter multi-purpose testing board diagram

内计算输入的被检表的晶振脉冲 和输入的标准晶振脉冲 得出晶振误差。

计算公式：晶振误差 = ((被检表脉冲数 - 标准晶振脉冲数) ÷ 标准晶振脉冲数) × 100%

(3) 多功能电能表日计时误差测试：被检表秒脉冲信号、GPS 秒脉冲，分别输入作为开关启停信号，控制计算标准晶振输入的脉冲数，得出日计时误差。

计算公式：日计时误差 = 系数 × (被检表脉冲数 - GPS 脉冲数) ÷ GPS 脉冲数 × 100%

(4) 多功能电能表时段投切误差测试 通过 8255

检测多功能电能表时段投切输出，结合 485 口读取电能表的时段电量变化，同时读取 GPS 标准时间，并与设定的“峰”、“平”、“谷”等时间计算时段投切误差。

计算公式：时段投切误差 = 实际投切时间 - 设定投切时间。

1.4 接线控制及终端功能测试板

为了模拟对负控终端、网络表等测试所需的各种工况，装置设计了接线控制及终端功能测试板，可对装置每个位进行接线控制。测试板通过串口扩展模块的 RS232 串口受控于上位机，控制继电器切换各表位的模拟现场实际接线，提供检测所需的各种工况，以检测大用户终端等的数据抄录功能、负荷控制功能（保电、遥控、功控、临时限电控等）、异常报警功能（门节点变化、示度电量下降、电表设置改变、表计故障、停电、上电、电压断相、电压缺相、电压逆相序、电流反极性、CT 一次短路、CT 二次短路、CT 二次开路、三相负荷不平衡、负荷过载、无功过补和欠补等），配变终端的统计数据及定点数据上送功能、无功投切补偿功能，网络电能表的异常报警功能，并通过串口扩展模块的上传计算机。

2 终端功能及电能表的多功能测试方案的实现

2.1 终端通讯规约测试方案

以终端的部分测试项目及其检测方案为例，表 1 描述了软件的实现过程。

表 1 大用户终端部分测试项目

Tab.1 The part measuring features for commercial customer terminals

项目	测试内容	要求和标准
GPRS 登录及心跳机制试验	1. 上电登录	正常登录，主站回应登录信号，终端应处于在线状态。自动重复进行终端上电登录试验
	2. 心跳检测	设置心跳间隔（默认 15 分钟），检测监测仪心跳机制及时间
	3. 掉线重新登录	掉线重新登录机制检测
通道检测试验	通道自动切换	装置自动模拟主站切换 GPRS 或 SMS 方式，检测被检仪器能否根据信道情况，自动切换
通讯规约测试	是否符合通讯规约	采用 GPRS 或 SMS 作为信道，测试软件流程图见图 4
数据抄录功能测试	1. 终端抄表	远程读取终端存储的最新电能表数据，包括各时段的正、反向电量、电压、电流、费率、时段等，以检测终端的抄表与存储能力
	2. 中继抄表	终端将中继命令的中继包原样下发给电能表，而后将得到的电能表数据打包上传，以检测终端的实时抄表能力
	3. 终端参数抄录	检验终端参数是否正确
	4. 终端参数设置	包括数据总清、校时、修改参数、默认参数配置、任务配置等
异常报警功能测试	1. 门节点状态变化	程序控制终端功能测试板提供门节点状态变化，测试终端是否通过 GPRS 或 GSM 报警
	2. 示度电量下降	由模拟电能表程序设置电量下降，供终端读取，测试终端是否报警
	3. 用电异常报警	程序控制装置提供检测所需的各种工况：停电、上电、三相负荷不平衡、负荷过载、无功过补和欠补等，测试终端是否报警
	4. 回路异常报警*	程序控制装置提供检测所需的各种工况：电压断相、电压缺相、电压逆相序、电流反极性、CT 一次短路、CT 二次短路、CT 二次开路，测试终端是否报警
	5. 电表设置改变表计故障	由模拟电能表程序设置所需状况，供终端读取，测试终端是否报警
通讯成功率测试	通讯模块性能	检测终端等能否正确显示通讯状态、信号强度，检测通讯成功率

2.2 终端负荷控制功能测试方案

程序给终端下发功率定值、电量定值、时段、报警时间、报警延时时间等触发参数,再控制电源给出触发条件,或给终端直接下发跳闸命令。看是否能收到终端的跳闸报警(分保电和不保电两种情况),同时终端功能测试板检测终端的两轮跳闸继电器是否动作,以检测终端的负荷控制功能。

2.3 终端任务上传功能测试方案

任务分为普通任务、中继任务、异常任务三种。程序给终端下发任务参数并确认后,在规定的上送时间里看是否能收到终端的上传任务数据,以检测终端的任务上传功能。

2.4 多功能电能表通讯规约测试方案

上位机通过 RS485 接口实现对复费率表、多功能表进行包括“时钟同步”、“数据读取”、“设备编程”等通讯功能进行测试,测试项目可以拓展。其软件流程图如图 4 所示。

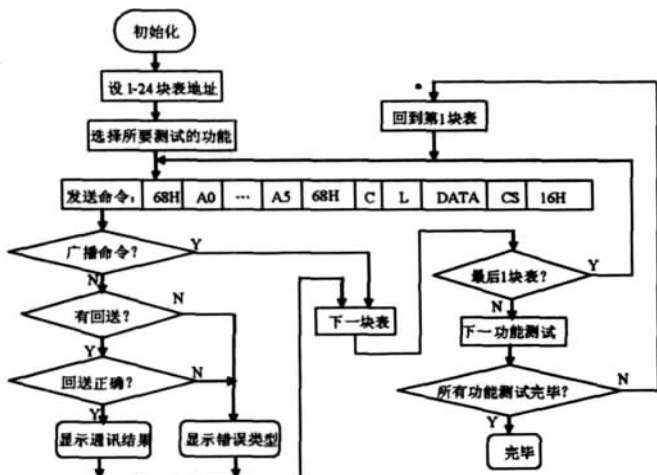


图 4 多功能通讯测试软件框图

Fig. 4 Multi-function watt-hour meter communication protocol Testing Diagram

2.5 需量示值误差测试方案

测试时以 PC 机为控制机,测试软件按设定的需量周期和滑差周期通过 RS485 接口读取各表位被检表的需量值,同时通过 RS232 串口读取多功能标准表的功率值。再按以下公式进行计算,分别得出“峰”、“平”、“谷”等时段的需量误差:

$$\text{需量误差} = \frac{(\text{被检表需量} - \text{标准表需量})}{\text{标准表需量}} \times 100\%$$

2.6 计度器合误差试验方案

计度器组合误差试验是为检定多功能电能表复费率的计度功能,各时段的计度与电能示值之间的误差,电能值之间的误差不应超出 $\pm 0.1\%$ 。被检表在参

比条件下,通电走字 100kW 以上,且连续走字不少于 120 小时。在通电期间,要求每 24 小时内尖、峰、平、谷时段任意交替,每 24 小时切换 7 次以上。PC 机通过 485 通讯口读取 1~24 块被检表尖、峰、平、谷时段及总的电能值,再按以下公式进行计算:

$$\text{计度器组合误差} = \frac{(\text{尖电能} + \text{峰电能} + \text{平电能} + \text{谷电能} - \text{总电能})}{\text{总电能}} \times 100\%$$

2.7 电压跌落等试验

机电式多功能表按下列条件实验,所有电压线路加参比电压,电流线路加基本电流。

(1) 中断电压:100%; 中断时间:10ms; 中断次数:20 次; 各次中断之间间隔 $\geq 1s$;

(2) 中断电压:100%; 中断时间:10min; 中断次数:2 次; 各次中断之间间隔 $\geq 1s$;

(3) 在工作状态下,抄表内各项数据,断开所有电压,在 24h 内断开备用电池 5min,然后恢复交直流供电,查看各项数据有无变化。

电压跌落和短时中断不应使被检表计度器产生大于 $x(kWh)$ 的改变,测试输出不应产生大于 $x(kWh)$ 的脉冲信号量。 x 由下式算出: $x = m \times U_n \times I_{max} \times 10^{-6}$, 式中 m 为测量单元数, U_n 为参比电压, I_{max} 为最大电流。

3 检测装置的软件功能设计

系统上位机软件能运行于 Windows95 及以上版本操作系统平台,支持客户机服务器系统结构,能够按照需要自动生成规定样式的报表,可存为 EXCEL 电子表格、ACCESS 数据库表等报表形式。数据可与其它系统应用程序实现高度共享和数据交换(具备 OLE 功能)。软件主要功能框图如图 5 所示。

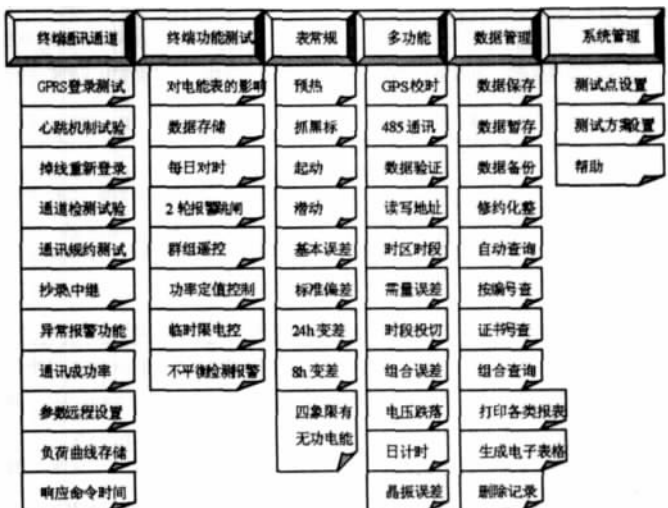


图 5 上位机软件功能框图

Fig. 5 Programme function diagram of master computer

(下转第 65 页)

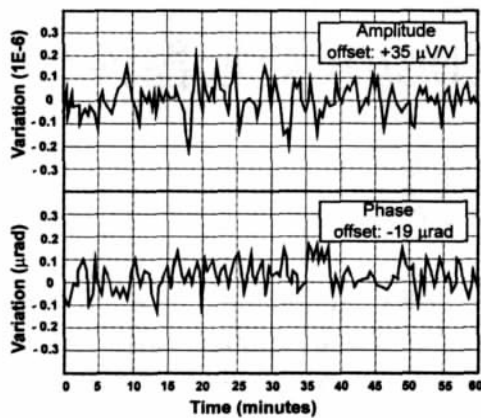


图 5 输出电压的频谱和谐波失真

Fig.5 The spectrum and distortion of the output

(THD)小于-93dB(0.0022%)。

(3)放大器其他指标如下：

小信号带宽: 5Hz~38kHz

输入电压: $V_i = 0.6V$ rms

输入电阻: $1M\Omega$ (60Hz)

输出电阻: $\sim 1\Omega$ (60Hz) $\sim 2\Omega$ (1kHz)

最大负载电容: $5nF$

4 结论

本文利用变压器升压原理和精密的电压反馈控制电路实现了一种实用的高压电压放大器,该放大器具有以下特点:

- (1) 超高的长期稳定度;
- (2) 极低的谐波失真;
- (3) 结构简单;
- (4) 所有电子运行在低电压状态(最高30V),可靠性高;
- (5) 极低的内部热量损耗;
- (6) 可以实现输出与输入之间完全电隔离;

(上接第 48 页)

4 结束语

本测试系统的研制采用 DSP 技术通过数字算法实现调制,控制放大器输出,仿真配电网现场运行的各种状态,具有体积小、功率大、效率高、负载特性好等优点。装置利用 GPRS 专网通讯或 RS232 串口实现了终端和网络表的检测。首次将检测多功能电能表、网络电能表、大用户终端、配变综测仪(配变终端)的功能融合在一起,为供电公司检测电力需求管理侧仪表提供了通用、高效、可靠的检测装置。

(7) 可利用计算机进行完全程控操作。

该放大器的不足之处是带宽受限于电压互感器,特别在大信号运行时,当信号频率太低(低于15Hz)易发生振荡,而在频率高时(如高于1kHz)稳定性有所下降。

参考文献

- [1] P.Sankaran, P.kanagasabapathy, V.G.K.Murti, "Electronic Error- Compensation of a Voltage Transformers," IEEE Trans.on Instrum.Meas.,vol.28,pp. 86- 88,No.1, March 1979.
- [2] W. G. K. Ihlenfeld, "A Simple, Reliable and Highly Stable AC- Voltage Amplifier for Calibration Purposes," IEEE Trans.on Instrum.Meas.,vol.54, pp.1964- 1967,No.5, October 2005.
- [3] G. Ramm, H. Moser, and A. Braun, "A New Scheme for Generating and Measuring Active, Reactive and Apparent Power at Power Frequencies with Uncertainties of 5 ppm," CPEM 1998, Washington DC, USA, Conference Digest, Inst.EEE Inc, New York(1998),pp.283- 284.
- [4] G. Ramm, H. Moser, and A. Braun, "A New Scheme for Generating Active, Reactive and Apparent Power at Power Frequencies with Uncertainties of 2.5×10^{-6} ", IEEE Trans. On Instrum. Meas., vol 48, pp. 422- 426, Apr. 1999.
- [5] W. G. K. Ihlenfeld, Maintenance and Traceability of ac Voltage Ratios and ac Power by Synchronous Digital Synthesis and Sampling, PTB, Braunschweig, Germany, Report E- 76, 2001.

作者简介:

金宁(1967-),女,安徽休宁人,硕士,副教授,研究方向为智能控制仪表与通信技术,曾在德国联邦物理技术研究院(PTB)进修半年,从事电能检测与仪表的计量检定系统电路研究与设计工作。

Email:jinning1117@cjlu.edu.cn

W.G.Kürten Ihlenfeld(1960-),男,西班牙人,1997年在德国布伦瑞克技术大学获电子工程博士学位,研究方向为电路与系统、信号处理、数值计算与半导体器件建模,现在德国联邦物理技术研究院(PTB)从事高精度交流电功率测量电路与电能信号处理工作。

收稿日期 2009-02-02

(田春雨 编发)

参考文献

- [1] GB/T 15148-94, 电力负荷控制系统通用技术条件[S].
- [2] DL/T535-93, 电力负荷控制系统传输规约[S].

作者简介:

刘水(1967-),男,高级工程师,主要从事电力系统自动化的开发研究工作。Email: liushuilijia@163.net

聂方明(1982-),男,主要从事电力测量技术工作。

李平(1962-),男,主要从事电力测量技术的研究开发工作。

收稿日期 2009-02-20

(杨长江 编发)