

电能质量检测装置的设计与研制

吕曙东

(盐城工学院 实验教学部, 江苏 盐城 224051)

摘要:对电能质量检测装置的整体架构、检测装置硬件结构和软件结构进行了设计,介绍了电能质量检测仪试验样机各部分的电路元件,阐述了各种电能质量参数算法在DSP上的实现方法。

关键词:检测装置;电路;DSP;抗干扰

中图分类号:TM932

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2010)03-0047-07

随着新型电力负荷迅速发展以及它们对电能质量的要求不断提高,电能质量已经成为电力企业和用户共同关心的问题。目前,一些公司已经生产出各种类型的电能质量监测仪来测量各种电能干扰,电能质量检测装置通常采用先进的数据采集和DSP技术,以及微机现场显示、存储、管理、通讯技术,实现了对全部电能质量指标以及多种常用电参数的实时测量和存储,具有电能质量指标超限报警、数据录取、电能质量故障分析预报,互联网功能等,但尚未有统一的数据存储和交换的技术标准^[1]。

本文的电能质量检测装置主要由电源管理电路、电压电流检测电路、液晶与键盘电路、DSP核心板、通讯接口电路组成,集检测、运算、显示、存储和通讯于一身。

1 电源管理电路的设计

电源管理电路为整个检测仪供电,包括DSP、液晶、传感器以及检测板上的各个电子器件,其中具体使用到的电压值为 $\pm 15\text{ V}$ 、 $+5\text{ V}$ 、 $+3\text{ V}$ 和 $+1.5\text{ V}$ 。对电源的要求主要体现在电压值的精确度和电源的功率上。电源板的原理图设计如图1。

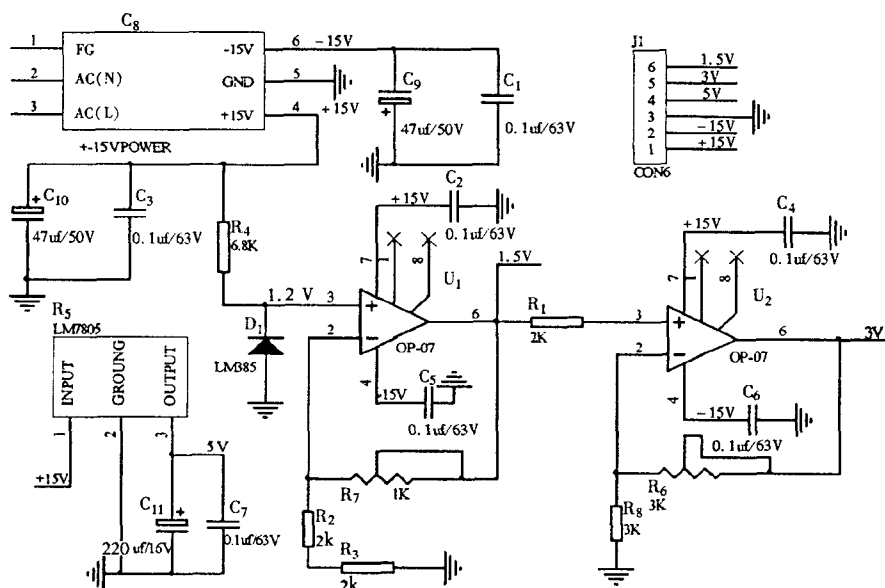


图1 电源管理电路

Fig. 1 Power manage circuits

收稿日期:2010-08-13

作者简介:吕曙东(1972-),男,江苏大丰市人,实验师,南京理工大学在读硕士研究生,主要研究方向为软件工程。

作为精密测量器件的供电电源,首先要求其输出电压的精确性,其次,要求其纹波要尽可能的小。图中 C_8 为 ANSI 公司的集成电源模块 HAW10-220D15,功率是 10 W,可将 220 V 交流信号转换为 ± 15 V 的直流信号,为传感器供电。该电源模块体积小,输入输出隔离使用方便,开关频率为 300 kHz,精确度可达 0.5%,纹波控制在 ± 25 mV 以内,并集成了输入过电压保护和输出过电流保护,转换效率可达 90%。电容 C_1 、 C_3 、 C_9 、 C_{10} 起到滤波的作用,最大限度的消除纹波的干扰。

LM7805 为固定正压集成稳压器,可将 +15 V 电压转换为 +5 V,输出电流可达 1 A。该 +5 V 电压为 DSP 控制板供电。考虑到 DSP 控制板上面的器件较多,消耗的功率稍大,因此,在 LM7805 上放置一个小型散热器,防止因元件过热引起自身和电路板的损坏。电容 C_7 和 C_{11} 为滤波电容。

图 1 中,LM385 为一款低功耗电压基准二极管,可将 +15V 电压信号降低到 1.2 V,再经过由高精度运算放大器 op07 组成的同相比比例运算电路放大到 1.5 V,提供基准信号。电阻 R_4 起到限流的作用。3 V 信号是由 1.5 V 信号再次经同相比比例运算电路放大后得到的。由于电阻的精度为 1%,为了精确的输出 1.5 V 和 3 V 电压,设计了滑动变阻器 R_6 、 R_7 ,对输出电压进行微调,使其更加精确^[2]。

2 电压、电流检测电路设计

2.1 传感器选择

为了实时、准确的检测电压和电流的瞬时信号值,必须选用精度高、转换时间快的传感器。LEM 霍尔传感器作为当前主流的高精度传感器而被广泛使用。

LEM 模块的工作方式为:当主电路有一大电流流过时,将在导线周围产生一个磁场,这一磁场被聚磁环采集,并感应霍尔元件,使其有一信号输出,该信号被放大后经过多匝绕组。这个绕组产生的磁场与主电路所产生的磁场相反,从而补偿了原来的磁场,使霍尔元件的输出为零,达到零磁通检测的目的,以提高检测精度。

2.1.1 电压传感器

采用 LEM 公司的 LV28-P 型霍尔闭环电压传感器,其优点是精度高,线性度好,低温漂,抗外界干扰和共模抑制比能力强,反应时间快,频带

宽。其输出为与瞬时电压信号成比例的瞬时电流信号。该模块的接线原理如图 2 所示。

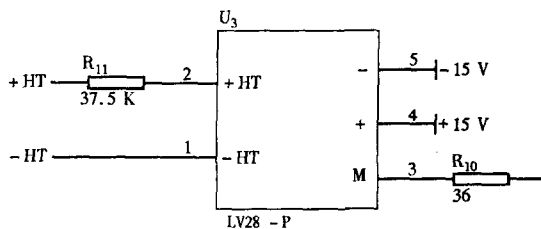


图 2 LEM 电压模块接线原理图

Fig.2 LEM voltage module circuits

图 2 中, + HT 和 - HT 是交流电压输入,4 号、5 号引脚分别接 +15 V 和 -15 V 电源,3 号引脚输出的瞬时电流结果经由 R_{10} 转换成电压信号。下面分别计算测量电阻值 R_{10} 和分压电阻值 R_{11} 。

系统要检测的额定电压为 380 V,原边额定有效值电流为 10 mA,则原边总电阻应为: $R_1 = 380 \text{ V} / 10 \text{ mA} = 38 \text{ k}\Omega$,则原边应串联的分压电阻为: $R_2 = R_1 - R_{pi} = 37.75 \text{ k}\Omega$, R_1 的额定功率为: $P = 37.75 \text{ k}\Omega \times (10 \text{ mA}) \times 2 = 3.775 \text{ W}$

2.1.2 电流传感器

采用 LEM 公司的 LTS25-NP 型霍尔闭环电流传感器,其优点是精度高,线性度好,低温漂,反应时间快,频带宽。

传感器的接线功能表如表 1 所示。

2.2 信号调理电路

经由传感器输出的电压和电流的瞬时值信号不能直接输入 DSP 进行 A/D 转换,因为 DSP 的 A/D 转换引脚只能接受 0-3 V 的电压信号,因此需要信号调理电路将其线性的转换为 0-3 V 的电压信号^[3]。

2.2.1 电压调理电路

电压调理电路由两级组成,第 1 级为电压转换电路,如图 3 所示。

电压传感器的输出是一个电流信号, R_{40} 为精密电阻,将该电流信号线性的转化为电压信号。该信号再经由电压跟随器进行隔离,大大降低了其输出阻抗。运放 U_{28} 组成了一个加法器电路,将电平的中心点由 0 V 抬高到 1.5 V。运放 U_{32} 为一个反相器,使电压输出范围在 0.228 V 到 2.772 V 之间。

第 2 级为箝位电路,以防止瞬时的电压过大,造成对 DSP 的损害,如图 4 所示。

表 1 LEM 电流模块接线表

Table 1 Connection table for LEM current module

原边匝数	原边额定 r. m. s 电流 I_{PN}/A	额定 输出电压 V_{OUT}/V	原边电阻 $R_P/m\Omega$	原边插入电感系数 $LP/\mu H$	推荐的连接点
1	± 25	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 12	2.5 ± 0.600	0.81	0.05	
3	± 8	2.5 ± 0.600	1.62	0.15	

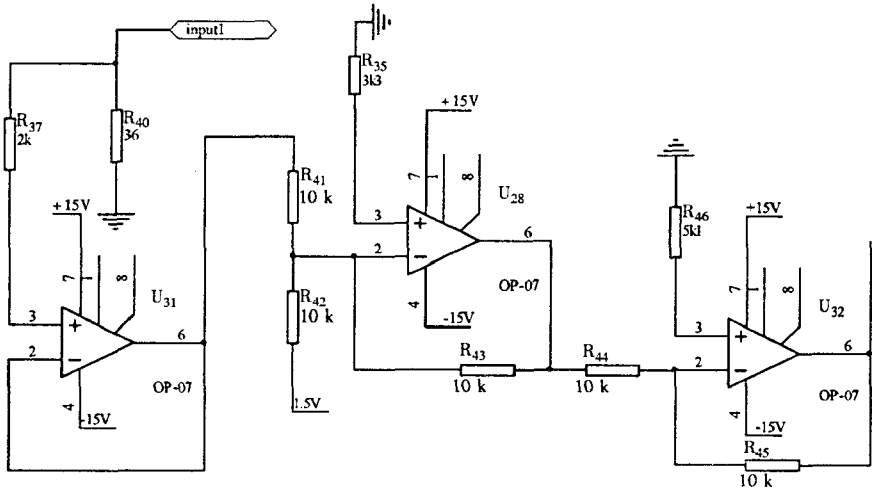


图 3 电压调理电路

Fig. 3 Voltage conversion circuits

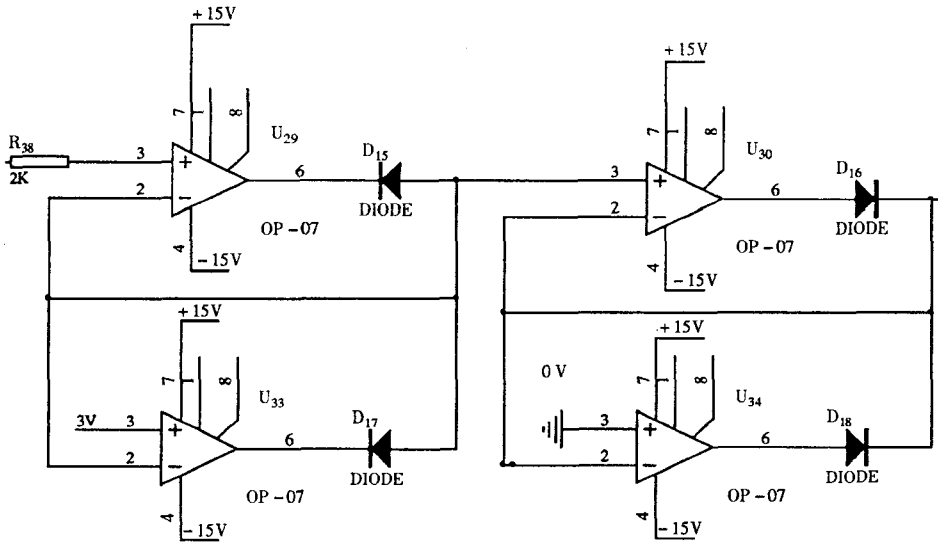


图 4 钳位保护电路

Fig. 4 Voltage protecting circuits

当输入电压大于 3 V 时,运放 U_{29} 的 2、3 号脚“虚短”,2 号脚的电压也将大于 3 V,由于 U_{29} 和 U_{33} 的 2 号脚相连,而 U_{33} 的 3 号脚输入为 3 V,此时, U_{33} 的 6 号脚输出为负最大值,经过二极管 D_{17} 形成负反馈,迫使 2 号脚的电压降低,直至 3 V,因此起到了箝位的作用。同理,当输入电压小于 0 V 时,运放 U_{16} 和 U_{18} 将电压强制箝位到 0 V。这种情况往往是尖峰干扰,因此持续时间必然很短,不会对器件造成损害。

2.2.2 电流调理电路

电流调理电路同样由 2 级组成,第 1 级为信

号转换电路,如图 5 所示。

电流传感器的输出为瞬时电压信号,该电路的第 1 部分是由运放 U_{11} 组成的同相输入放大电路,第 2 部分是由运放 U_{12} 组成的加法器电路。经过该电路可将信号线性转换到 0.3 V 到 2.7 V 的瞬时电压信号,以供 DSP 进行 A/D 采样。

第 2 级电路与电压调理电路的箝位电路相同,将电压箝位在 0 V 到 3 V 之间。

2.3 抗混频滤波电路

为了避免信号的混叠,设计了图 6 所示的抗混频滤波器作为输入前置电路。

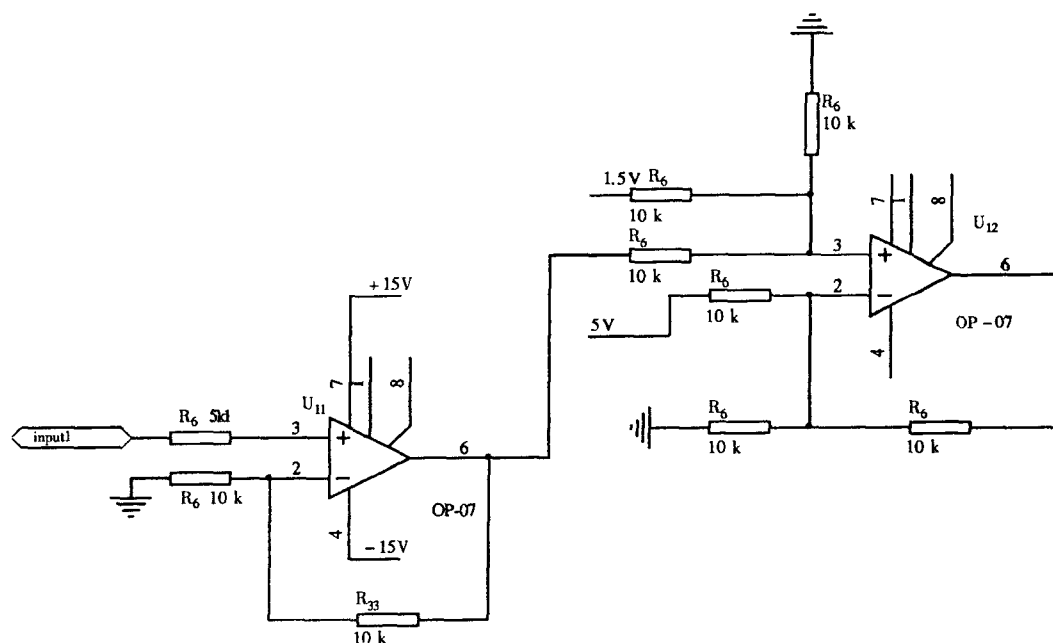


图 5 电流调理电路

Fig. 5 Circuit conversion circuits

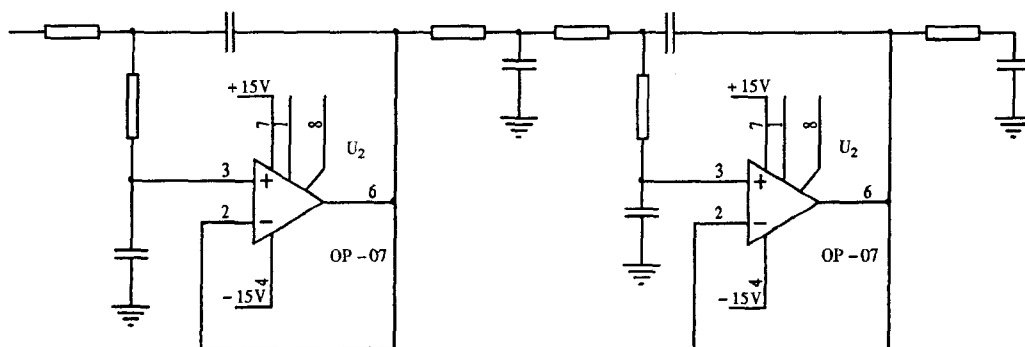


图 6 前置滤波电路

Fig. 6 Front filtering circuits

该抗混频滤波电路由3部分组成,第1级和第3级是对称的二阶有源低通滤波器,输入电压经过两级RC低通滤波以后,再接到集成运放的同相输入端。因此,在高频段,对数幅频特性将以 $-40\text{dB}/十倍频$ 的速度下降,与一阶有源低通滤波器相比,下降的速度提高了一倍,使得滤波特性比接近于理想情况。

该电路中第1级的电容C不接地而改接到输出端,这种接法相当于在二阶有源滤波电路中引入了一个负反馈,其目的是为了使输出电压在高频段迅速下降,但在接近于通带截止频率的范围内有不至于下降太多,从而有利于改善滤波特性。

中间级由一阶RC低通滤波器组成,将3级滤波器串联起来,大大的提高了抗混频滤波器的性能。

2.4 监测仪的软件开发环境

编写DSP程序的软件为CCS(Code Composer Studio),CCS提供了配置、建立、调试、跟踪和分析程序的工具,它便于实时、嵌入式信号处理程序的编制和测试,它能够加速开发进程,提高工作效率。

CCS提供了基本的代码生成工具,它们具有一系列的调试、分析能力。CCS包括:CCS代码生成工具,CCS集成开发环境(IDE),DSP/BIOS插件程序和API,RTDX插件、主机接口和API。

3 主程序文件结构与整体流程

3.1 主程序的文件结构

主程序文件主要由四部分组成^[4]:

(1)头文件:用于定义程序中的函数、参数、变量和一些宏单元,同库函数配合使用。

(2)库文件:包含支持源程序所引用的库函数。

(3)源文件:包含实现用户所需功能成主程序和各子程序。

(4)链接命令文件:用来给程序段和数据段分配存储空间。

3.2 主程序流程

软件设计重点主要放在了功能的实现、测量精度、可靠性和便捷性上面。软件要实现的主要功能包括:

- (1)三相电网电压、电流有效值的计算;
- (2)三相电网有功功率、无功功率、功率因数;
- (3)各次谐波幅值的计算;
- (4)三相不平衡度的计算;

(5)基波频率的实时跟踪;

(6)各项电压、电流实时曲线的计算与显示;

(7)人机交互界面的设计;

3.3 数据采集子程序

数据采集子程序是在频率测量之后进行的,根据电网的基波计算出系统的采样时间,是每个周期刚好采集256个点。图7为数据采集子程序的流程图,其中N为进行A/D转换的次数。

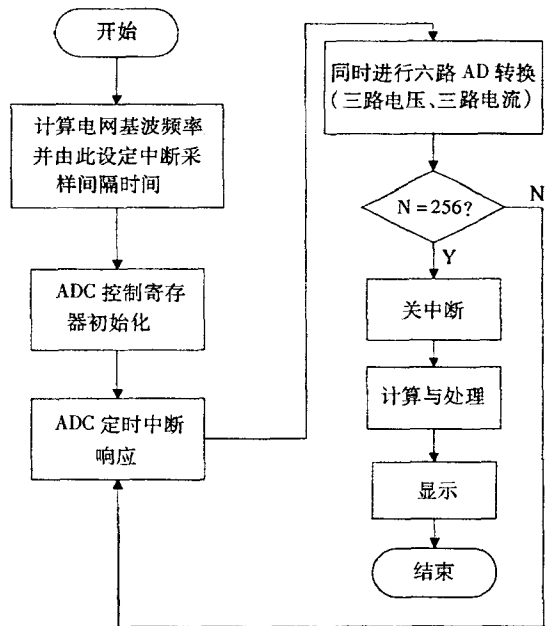


图7 数据采集子程序的流程图

Fig.7 The flow chart of data collection

3.4 人机界面子程序

人机界面是用户与机器进行交互的操作方式,即用户与机器互相传递信息的媒介,其中包括信息的输入和输出。好的人机界面美观易懂、操作简单且具有引导功能,使用户感觉愉快、兴趣增强,从而提高使用效率。

本设计的重点放在了系统的可靠性和便捷性。人机交互的按键只有8个,为“上”、“下”、“左”、“右”、“进入”、“返回”、“向前翻页”、“向后翻页”,足以方便的实现各种操作功能。

开机时,系统首先进行自检,包括测试系统内、外部存储器是否正常工作等等,并进行液晶的初始化,使液晶工作在指定的工作方式上。然后载入欢迎界面图片库,标志系统正常启动。欢迎界面是一个可自行设计的图片,通过液晶绘图软件可以在计算机上绘图,然后生成对应的图片二进制代码库,在DSP运行的时候,调用该代码库,

就可以在液晶上显示事先编辑好的图形。此时,按任意键即可进入主界面。

主界面是一个功能菜单,可通过“上”、“下”键挪动光标,选择想要进入的监测功能页面,按确定便可显示出指定的页面。在页面中,如想返回主菜单,按“返回”键即可回到主页面。在“三相电网电压电流的瞬时波形”显示页面中,是一个二级的选择菜单,可以选择需要显示的某项电压或电流的实时波形,并按“确定”键进入该页面;当然也可以按“返回”键回到主菜单界面。DSP 对上述按键的判断是中断方式的,以便迅速响应。

3.5 软件抗干扰

软件抗干扰就是 CPU 在软件运行过程中对自己进行监视和检测,及时诊断机器运行故障并修复错误,确保程序正确运行的编程方法。本设计采取的软件抗干扰措施有以下几点:

3.5.1 设置看门狗定时器

看门狗定时器利用定时中断来监视程序的运行状态,其中断时间大于主程序正常运行的最大循环时间,在主程序循环中执行一次看门狗定时器常数刷新操作,只要程序正常运行,就不会出现定时中断。而当程序运行失常,不能及时刷新看门狗定时器时间常数时,在看门狗定时中断程序中将程序系统软复位,从而防止程序跑飞。

3.5.2 程序计数器监测

计算机正常运行,其 PC(程序计数器)值一定在程序区内。在一个经常要产生外部中断的某个中断服务程序中,读取转入该中断时压入堆栈的断点地址。如果该地址在程序区内,则认为 PC 值正常,否则一定是程序跑飞了。此时,程序跳转到机器的重新启动入口或者复位入口,机器重新启动。

3.5.3 特殊功能寄存器重复设定

为防止干扰改变 DSP 内部寄存器或者接口芯片的功能寄存器,把中断的类型、中断的优先级别、串行口、并行口的设定修改了,可以采取在主程序的循环中,重复设定不影响其当前连续工作的特殊功能寄存器值,避免了偶然不测发生。

3.5.4 重要数据的备份

对一些关键数据,至少有两个以上的备份副本,当操作这些数据时,可以把主、副本进行比较,如其改变,就要分析原因,采取预先设计好的方法处理。还可以把重要数据进行校验,这两种方法一并使用则更可靠。

3.5.5 键盘输入的软件防抖动

当 DSP 采集到有按键按下时,并不急于进行处理,而是隔 10 ms 再进行采集,如仍有按键按下,方才确认输入信息,否则认为是干扰,以防止由于设备抖动等原因造成的误操作。

4 总结

本文主要针对电网电能质量中频率和谐波的测量算法进行了研究,并对现有的算法进行了一些改进,提高了运算的精度和速度,弥补了当前电能质量检测方法的一些不足,充分发挥了 DSP 运算能力强、速度快等特点。将本电能质量检测仪与 FLUCK 公司的设备在相同输入环境下进行比较,试验结果表明,本系统能够精确的测量各项电网质量参数,并能达到绪论中声明的精度。本设计采用先进的算法实现了电能质量检测仪的基本功能,但还存在一些不足,如本文使用算法虽然节省存储空间,但是以增加计算量为代价,降低了响应速度。

参考文献:

- [1] 罗德凌,唐朝晖. 电力系统谐波检测方法的研究现状及其发展[J]. 国外电子测量技术,2006,25(4):5-8.
- [2] 邓少军,张振川. 电能质量监测设备的发展[J]. 电测与仪表,2005,42(05):7-9.
- [3] 周霖. DSP 系统设计与实现[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [4] 俞万能,刘欢,许晓彦. 船舶电网参数基于 DSP 的液晶显示的研究[J]. 中国航海,2006(3):90-94.

Design and Development of Power Quality Detection Device

LV Shu-dong

(Department of Experiment Teaching, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: The paper designs the overall structure of power quality detector device, the hardware architecture and software architecture of the test equipment, introduces the circuit component of each part in power quality measurement device, at last various implementation methods of power quality parameter algorithms on DSP is illustrated.

Keywords: test equipment; circuit; DSP; anti-jamming

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)

(上接第46页)

- [6] 李海方,徐长生. 基于 ADAMS 的船用起重机金属结构动力学仿真[J]. 起重运输机械, 2009(6): 19-21.
- [7] 李伟光,刘建华. 基于 ADAMS 的工业机器人大臂关节运动学分析[J]. 机械与电子, 2010(5): 67-69.
- [8] 梁青,宋宪玺,周烽,等. 基于 ADAMS 的双足机器人建模与仿真[J]. 计算机仿真, 2010, 27(5): 162-165, 238.
- [9] 霍鹏飞,杨洁明,任锡义,等. 基于 Pro/E 和 ADAMS 的直线振动筛动力学仿真[J]. 煤矿机电, 2010, (3): 14-17.
- [10] 王国有,陈新响,李文华,等. 基于 ADAMS/Hydraulics 模块的液压离合器液压系统仿真[J]. 机床与液压, 2010, 38(9): 69-70.
- [11] 武有勤,李建华. 基于 ADAMS 的织机阻尼弹簧减振器的开发[J]. 四川纺织科技, 2005(3): 77-79.
- [12] 宋健. 基于 ADAMS 的虚拟样机技术研究综述[J]. 潍坊学院学报, 2006, 6(6): 72-75.
- [13] 丁寿滨. ADAMS 与常用 CAD 软件之间的接口[J]. 微计算机信息, 2005, 21(3): 202-204.
- [14] 侯红玲. 基于 ADAMS 和 ANSYS 的动力学仿真分析[J]. 现代机械, 2005(4): 75-77.

The Research Status and Development of ADAMS in the Analysis of Mechanism System

HUI Xue-qin, CHEN Xi-fu

(School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: The applying application and research status of ADAMS in the analysis of mechanism systems were introduced. According to the characteristic of ADAMS and the experience of using ADAMS software, three attractive research objectives were provided for ADAMS in the use of mechanism system which includes the aggrandizement of modeling function, parameter identification and the simulation of flexible multibody system.

Keywords: ADAMS; mechanism system; modeling; parameter identification; flexible multibody system

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)