

A New Kind of Auto Testing Device Developed for Protection against Electric Shock

Peipei Li¹, Yi Zhao¹, Yanfeng Yang²

¹Chongqing Institute of Metrology and Quality Inspection, Chongqing

²Chongqing Municipal Public Security Bureau, Chongqing

Email: qingxianwawa05@126.com

Received: Nov. 8th, 2018; accepted: Nov. 21st, 2018; published: Nov. 28th, 2018

Abstract

In this paper, a new anti-shock protection automatic detection device is developed. When detecting, the detection device automatically realizes peak voltage off and releases residual energy through the discharge load. The system simultaneously collects discharge voltage and current, calculating residual energy. The detection device adopts the microcontroller STM32F407 as the control core, which is used to realize the initialization of the AD7606 liquid crystal display and the USB interface, the detection control and the acquisition, storage and data operation processing of the relevant measured data. The paper gives the circuit diagram and waveform diagram.

Keywords

Against Electric Shock, Testing Device, Discharge Load

一种新的防电击保护自动检测装置的研制

李培培¹, 赵 轶¹, 杨延峰²

¹重庆市计量质量检测研究院, 重庆

²重庆市公安局, 重庆

Email: qingxianwawa05@126.com

收稿日期: 2018年11月8日; 录用日期: 2018年11月21日; 发布日期: 2018年11月28日

摘 要

本文研制出一种新的防电击保护自动检测装置, 在进行检测时, 检测装置自动实现峰值断电并通过放电负载释放剩余能量, 同时采集放电电压电流、计算剩余能量。检测装置采用微控制器STM32F407作为控

制核心, 用于实现AD7606液晶显示器、USB接口的初始化, 检测控制和相关被测数据的获取、存储及数据运算处理等。文中给出了仿真的电路图和仿真波形图。

关键词

防电击保护, 检测装置, 放电负载

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

市电在一般情况下是连续和稳定的, 但是市电系统作为公共电网, 上面连接了成千上万各种各样的负载, 其中一些较大的负载不仅从电网中获得电能, 还会反过来影响电网, 造成电压不稳, 因此对于设备工作时的断电操作极其普遍。电子电气设备峰值断电后在一定的时间内保持有一定的电压, 剩余能量就是剩余电压泄放产生的能量, 由于设备电源环路存在储能器件, 例如: 电容器、电感材料等。当电气设备断电后, 电源回路中的储存电能由自身回路释放, 放电的速率根据回路中储能期间容量的大小和储存的电能的多少级回路电阻的大小决定。如果储能器件容量足够大, 释放回路阻值远大于人体阻值时, 就可能引起触电事故, 存在潜在危险。因此电子电气设备在峰值断电后的能量测试尤为重要, 能够及时了解设备断电后的能量剩余情况。

2. 国内外研究情况

现在市场上已经有结合示波器使用的峰值断电装置, 能够对用电设备进行适当断电, 但仅仅局限于频率固定的 50 Hz 及 60 Hz, 而且还要首先判断电器设备供电频率, 然后手动选择频率点, 再进行峰值断电, 具有很大的局限性, 仅能做断电动作, 不能对断电后的剩余能量进行测量。

国外的一些工程师一直使用示波器测试法测量剩余电压。示波器是指用插拔电源插头的方式, 存储示波器记录断电某时刻电源插头各极间的剩余电压, 并从存储示波器屏幕上读取记录的剩余电压波形幅值[1]。早期的测试中发现手动插拔插头带来了极大的误差, 并且被测仪器在开启状态时突然拔电源插头会产生强烈的火花干扰, 许多安规实验室自制拔断工装来配合示波器检测剩余电压。

3. 工作原理

防电击保护自动检测装置的工作原理如图 1 所示, 被测设备通过防电击保护自动检测装置和断路器 K 连接到电源。当闭合断路器 K 并启动自动检测装置工作, 自动检测装置接通被测设备供电电源; 进行检测时, 检测装置自动实现峰值断电并通过放电负载释放剩余能量, 同时采集放电电压电流、计算剩余能量。工作站计算机与防电击保护自动检测装置之间通过 USB 或 RS485 通信接口进行数据通信, 可根据需要实现检测数据的记录、分析、查询和管理等功能, 操作简单方便。

4. 装置组成

检测装置主要由 STM32F407 微控制器、AD 转换器 AD7606、隔离与信号调理电路、检测控制电路、液晶显示及按键、以及 RS485 和 USB 通信接口组成, 如图 2 所示。

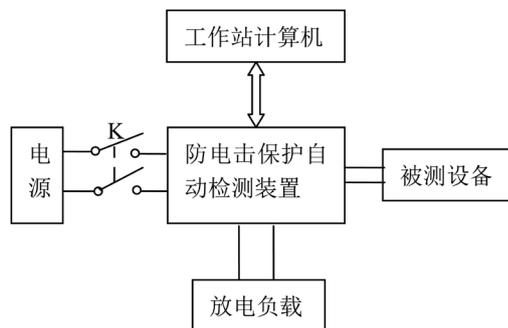


Figure 1. Design diagram of auto testing device

图 1. 自动检测装置工作原理

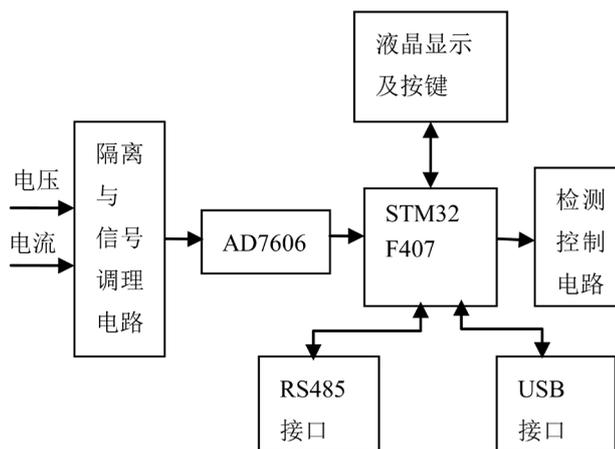


Figure 2. Frequency measurement system

图 2. 检测装置结构图

STM32F407 微控制器作为检测装置的控制核心，用于实现 AD7606、液晶显示器、USB 接口的初始化，检测控制和相关被测数据的获取、存储及数据运算处理[2]。并可根据需要实现与工作站计算机的通信功能。STM32F407 采用 Cortex M4 内核，带 FPU 和 DSP 指令集，主频高达 168 Mhz，具有 210 DMIPS 的处理能力。AD7606 为 8 通道 16 位的 AD 转换器，能实现 8 路同步采样输入，所有通道均具有 200 kSPS 的采样率。在本设计中，用于实现对被测设备供电电源电压以及峰值断电后放电电压、电流数据的采集[3]。STM32F407 通过控制 AD7606 对被测设备的供电电源电压进行采集，检测正向过零点，并根据正向过零点与峰值之间的时间差，以及检测控制电路的继电器动作延迟时间，设置峰值断电时间点，在峰值断电时间点通过控制检测控制电路断开被测设备供电电源，并控制 AD7606 对被测设备的放电电压电流数据进行采集，通过对放电电压电流数据的积分运算处理得到被测设备断电后的剩余能量。

4.1. 隔离与信号调理电路

隔离与信号调理电路的主要功能是信号隔离和信号调理。一方面实现被测电压、电流强信号与装置内部信号采集处理电路之间的隔离，另一方面是将被测设备供电电源电压以及放电电压、电流信号调理至 AD7606 输入所要求的电压信号范围，并实现抗混叠滤波[4]。信号隔离通过 AMC1301 实现，AMC1301 是一款高精度隔离式放大器，通过磁场抗扰度较高的隔离栅隔离输出和输入电路。该隔离栅可提供高达 $7\text{ kV}_{\text{PEAK}}$ 的增强型电隔离。由于 AMC1301 的输入电压范围为 $\pm 250\text{ mV}$ ，因此需要将输入的被测电压、电流信号进行调整。基于 AMC1301 隔离的电压、电流通路如图 3、图 4 所示[5]。

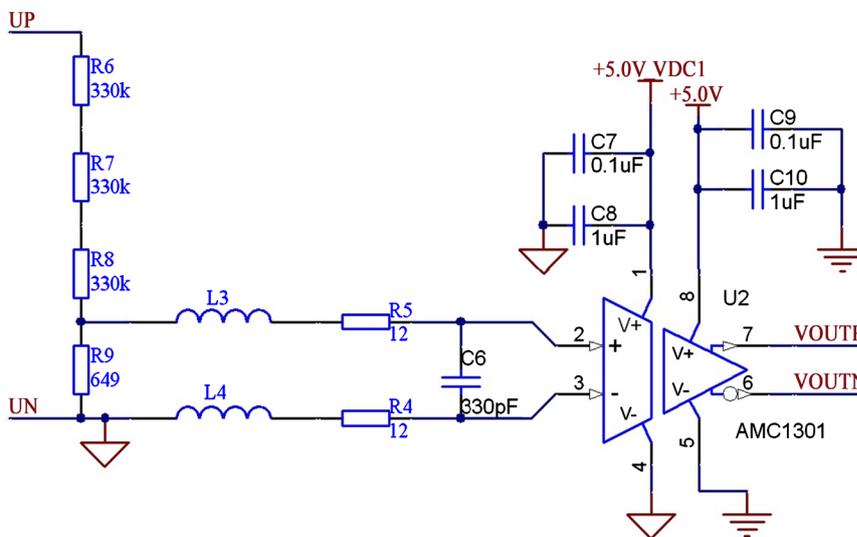


Figure 3. Voltage channel based on AMC1301
图 3. 基于 AMC1301 的电压通道

4.2. 电压调理电路

图 3 中，U₂ 为 AMC1301，L₃、L₄ 为磁珠，R₆、R₇、R₈ 为分压电阻，R₉ 为采样电阻。由图 3 可知允许输入的被测电压峰值为

$$U_{peak} = 0.25 \times \frac{R_6 + R_7 + R_8 + R_9}{R_9} = 381.6 \text{ V} \quad (1)$$

4.3. 电流调理电路

图 4 中，U₁ 为 AMC1301，L₁、L₂ 为磁珠，R₁ 为采样电阻。由图 4 可知允许输入的被测电流峰值为

$$U_{peak} = \frac{0.25}{R_1} = 5 \text{ A} \quad (2)$$

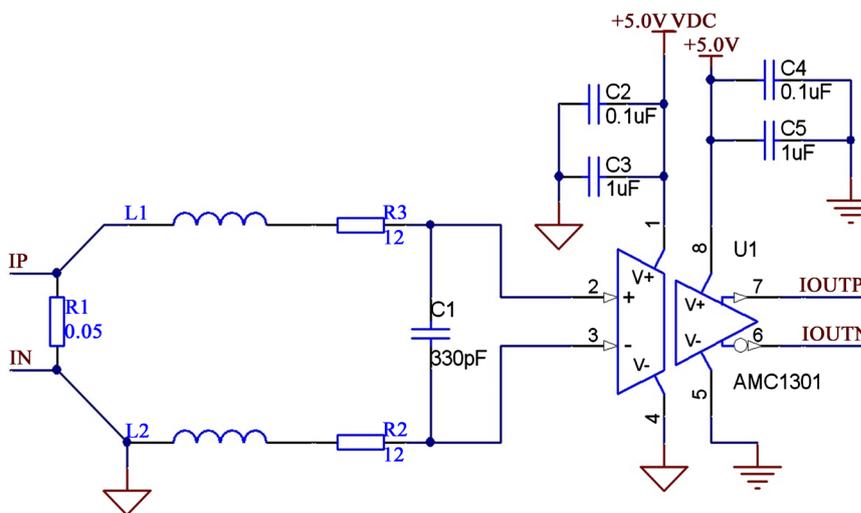


Figure 4. Current channel based on AMC1301
图 4. 基于 AMC1301 的电流通道

信号调理电路如图 5 所示, 用于对 AMC1301 输出信号的放大, 并将放大后的信号接入 AD7606, AD7606 的输入范围为 $\pm 5\text{ V}$ 或 $\pm 10\text{ V}$, 本设计选择 $\pm 10\text{ V}$ 。当 AMC1301 的输入为 $\pm 250\text{ mV}$ 时, 由于 AMC1301 的增益固定为 8.2 倍, 由式(3)可知 AD7606 的输入范围为 $\pm 9.29\text{ V}$, 满足要求。

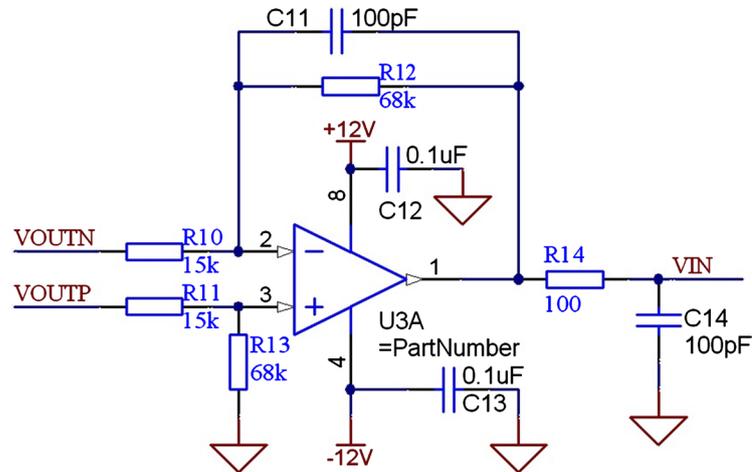


Figure 5. Signal conditioning circuit
图 5. 信号调理电路

由于图 3、图 5 可知检测装置电压信号的变比为

$$k_v = \frac{R_9}{R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \times 8.2 \times \frac{R_{12}}{R_{10}} = 0.02435 \quad (3)$$

由于图 4、图 5 可知检测装置电压信号的变比为

$$k_i = R_1 \times 8.2 \times \frac{R_{12}}{R_{10}} = 1.8587 \quad (4)$$

5. 仿真

5.1. 仿真电路图

本文使用 matlab 进行仿真, 仿真电路图具体见图 6。图中元件参数为: 交流电源 220 V、X 电容 0.47 μF 、泄放电阻 1 M Ω 、电感 1 μH 、Y 电容 2200 pF、电源滤波电容 4.7 μF 、无感电阻 2000 Ω 。

5.2. 仿真波形

根据上述仿真电路图得出, 总仿真时间 0.25 s, 理想开关在 0.105 s (电源电压达到峰值)时断开, 电容通过 2000 Ω 的无感电阻进行放电, 0.2 s 时, 电压接近于 0 V, 放电过程基本完毕。仿真波形图具体见图 7。

5.3. 放电过程能量计算

电子电气设备在峰值断电后的能量测试尤为重要, 能够及时了解设备断电后的能量剩余情况。下面为本文设备放电能量计算方法和结果值。

5.3.1. 理论计算值

断开电源后, 电路储存的能量主要是源于 X 电容 C_1 (0.47 μF)、电源滤波电容 C_2 (4.7 μF), 因此放电总能量的理论计算值为:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{理论}} &= 0.5C_1U^2 + 0.5C_2U^2 \\
 &= 0.5 \times 0.47 \times 10^{-6} \times 310.9998^2 \text{ J} + 0.5 \times 4.7 \times 10^{-6} \times 310.9998^2 \text{ J} \\
 &= 250.0232 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

5.3.2. 矩形法计算

$$\begin{aligned}
 E_{\text{计算}} &= \frac{\Delta t}{R} \times \left[\sum_{i=1}^n U_i^2 \right] \\
 &= \frac{6.066 \times 10^{-6}}{2000} \times (310.9998^2 + 310.8474^2 + 310.7041^2 + \dots) \\
 &= 250.6792 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

式中, Δt 为采样时间间隔, R 为无感电阻(阻值 2000 Ω), U_i 为每次采样电压值, 下同。

5.3.3. 梯形法计算

$$\begin{aligned}
 E_{\text{计算}} &= \frac{\Delta t}{2R} \times \left[U_1^2 + 2 \sum_{i=2}^n U_i^2 \right] \\
 &= \frac{6.066 \times 10^{-6}}{2 \times 2000} \times \left[310.9998^2 + 2 \times (310.8474^2 + 310.7041^2 + 310.5560^2 + \dots) \right] \\
 &= 250.5254 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

5.3.4. 辛普森法计算

$$\begin{aligned}
 E_{\text{计算}} &= \frac{\Delta t}{3R} \times \left[U_1^2 + 4 \sum_{i=1}^n U_{2i}^2 + 2 \sum_{i=1}^n U_{2i+1}^2 \right] \\
 &= \frac{6.066 \times 10^{-6}}{3 \times 2000} \times \left[310.9998^2 + 4 \times (310.8474^2 + 310.5560^2 + \dots) \right. \\
 &\quad \left. + 2 \times (310.7041^2 + 310.4084^2 + \dots) \right] \\
 &= 250.5253 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

5.3.5. 科特斯法计算

$$\begin{aligned}
 E_{\text{计算}} &= \frac{2\Delta t}{45R} \times \left[7U_1^2 + 32 \sum_{i=0}^n U_{4i+2}^2 + 12 \sum_{i=0}^n U_{4i+3}^2 + 32 \sum_{i=0}^n U_{4i+4}^2 + 14 \sum_{i=0}^n U_{4i+5}^2 \right] \\
 &= \frac{2 \times 6.066 \times 10^{-6}}{45 \times 2000} \times \left[7 \times 310.9998^2 + 32 \times (310.8474^2 + 310.2607^2 + \dots) \right. \\
 &\quad \left. + 12 \times (310.7041^2 + 310.1131^2 + \dots) + 32 \times (310.5560^2 + 309.9645^2 + \dots) \right. \\
 &\quad \left. + 14 \times (310.4084^2 + 309.8182^2 + \dots) \right] \\
 &= 250.5253 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

5.3.6. 误差计算

采用梯形算法误差 $\Delta E1 = 0.26\%$, 采用其他几种算法误差 $\Delta E2 = 0.20\%$

6. 结论

本文给出了防电击保护装置的国内外的研究现状, 并实现防电击保护装置具体电路图以及仿真波形图。本文介绍的技术对电子设备检测具有重要的意义, 开展检测时, 检测装置自动实现峰值断电并通过

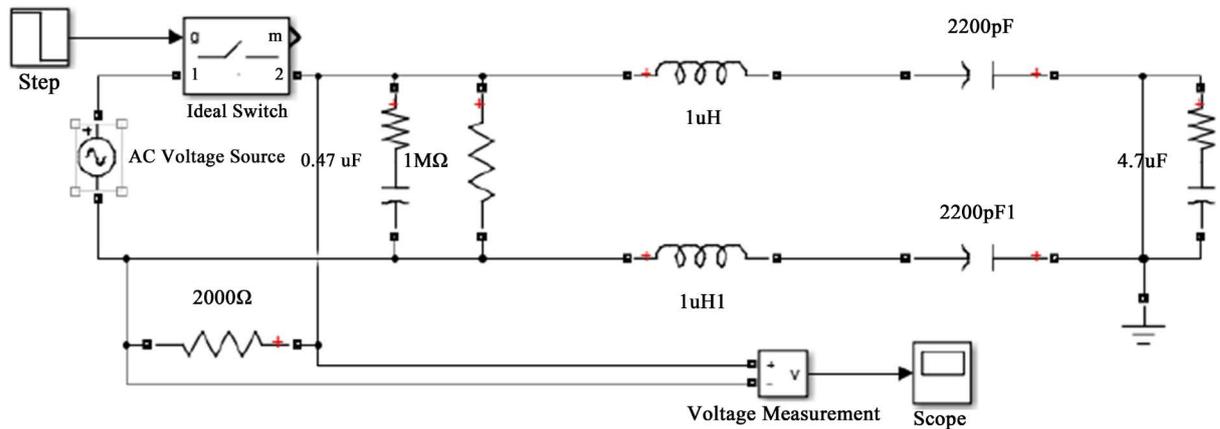


Figure 6. Simulation circuit diagram

图 6. 仿真电路图

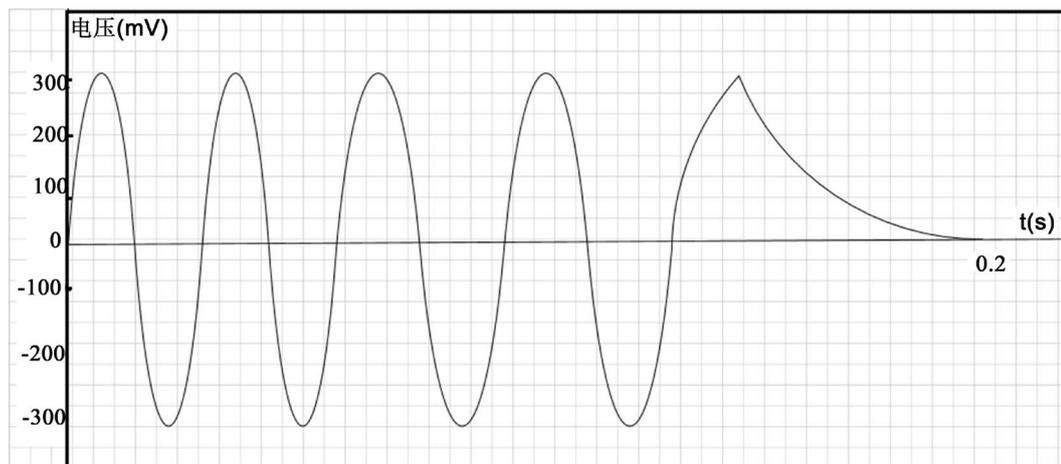


Figure 7. Simulation waveform diagram

图 7. 仿真波形图

放电负载释放剩余能量，同时采集放电电压电流、计算剩余能量，实现自动化操作；且该装置简单，操作灵活方便，对于实验室和企业开展该项目的检测也提供了很好的技术支持。

参考文献

- [1] 徐正明, 石晓晶. 峰值检测示波器的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(4): 14-15, 24.
- [2] 范兵兵, 艾信友, 曾研, 胡凯旋, 任泽明. 基于 STM32 的位置定位系统设计[J]. 科技创新与应用, 2018(12): 90-91.
- [3] 颜培玉, 段瑞彬, 刘文吉, 唐德渝, 王克宽. 基于 AD7606 的焊接电弧电信号高精度数据采集系统设计[J]. 热加工工艺, 2018(17): 176-179.
- [4] 张文忠, 刘继广, 林联君, 邵秀稳, 邓振进, 邱栋梁. IEC 61010-1: 2010 体外诊断设备电击防护要求分析[J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(11): 79-82.
- [5] 刘继广, 王伟, 邓振进, 徐勤, 尹勇. 医用电气设备可触及金属部件保护接地要求浅析[J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(2): 95-97.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2327-0853，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojcs@hanspub.org