基于 MSP430F5529 的环路电流检测装置设计

胡光昊

（武汉工程大学邮电与信息工程学院，湖北 武汉 430073）

摘　要　为检测环路电流信号的幅度及频率，本研究设计了一种以 MSP430F5529 单片机作为控制核心的电流检测装置。该装置通过功率放大电路实现信号的采样和处理。借助 FFT 算法，将连续信号变为离散信号序列，得到电压、电流和频率。单片机通过数据采集和模数转换，在液晶屏上显示出检测波形的电压、电流和频率。该装置兼顾检测精度与运行稳定性，可适配电力配网、工业自动化等场景下的环路电流长期在线监测需求。

关键词　环路电流监测；MSP430F5529 单片机；电流信号；基波；FFT

中图分类号：TM933　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.003

0　引言

在检测环路电流时，不能将检测电路直接接入环路电流，否则会引入额外的回路阻抗，直接影响电路的正常工作状态，因此本设计采用非侵入式的电流采样方案。基于成本的考虑，本装置选择 MSP430F5529 单片机作为核心控制器。该型号 MCU 具备低功耗特性与丰富的外设接口，可在满足采样、运算与通信全流程功能需求的同时，大幅压缩硬件整体物料成本。

1　环路电流检测装置总体结构

AD9851 用作信号源，互感线圈用作电流互感电路。TL082 用作放大电路加滤波电路[1]，TDA2030 与设计电路相配合，使输出电流减小[2]，最后经过 LM311 整形电路后，方波信号传给 MSP430F5529 进行数据处理，显示在液晶屏上。总体方案如图 1 所示。

2　环路电流检测装置设计方案详述

为了检测非接触式电流，可参考以下几个案例。陈贺采用磁平衡式电流传感器、PCF8591AD 转换模块和 80C51 单片机实现电流的测量[3]；陈淼介绍了 MSP430 单片机的应用，且进行了采样原理的分析[4]；郭霞基于 STM32F103 单片机设计出了电流检测电路，可在低功耗的基础上高效检测电流峰值和频率[5]。

2.1　电流信号频率测量方法

选用 MSP430F5529 单片机的定时器 A 的三个通道，选用 1M 的晶振，可以达到的测量范围为 0 ～ 65 535，得到最小的测量频率，f_{min}=1/65.535 ms=15 Hz，最大频率为 1 MHz。频率计算 $f_{测}=f_{max}/(f_b-f_a)$，单位 μs。

2.2　电流信号峰峰值测量方法

利用 MSP430F5529 单片机的 AD 采样通道在一个周期内进行打点采样，再将采到的点的数值进行比较。频率为 50 Hz 时采样时间为 20 ms，频率为 1 kHz 的时候采样时间为 1 ms。采到的数值取出最大值和最小值进行相减得到峰峰值，即 $V_{pp}=A_{max}-A_{min}$。

2.3　基波及谐波频率

信号被预先处理后，对采集的信号进行 FFT 变换。设定采样频率为 F_c，采样点数是 $N=2^n$ 个。FFT 变换后，某一点 n 的频率为 $F_n=((n-1)\times F_c)/N$，该点的模值除以 N/2 就是对应该频率下的信号的相位。输出的 N 个数中，前 N/2 个和后 N/2 相同，只需要前 N/2 个数据，记第一个数代表直流分量，也称零次谐波；第二个数代表基波，也称一次谐波；第三个数代表二次谐波，再将任意信号输入前面所用的处理电路中，测得其频率以及幅值。总体流程图如图 2 所示。

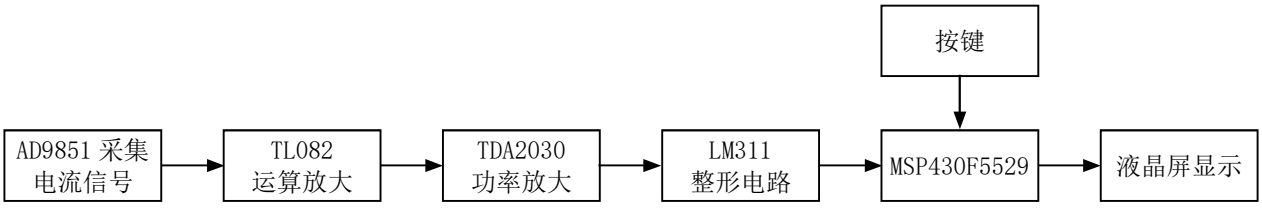


图 1　总体方案

作者简介：胡光昊（1995-），男，硕士研究生，助教，研究方向：检测技术与自动化装置。

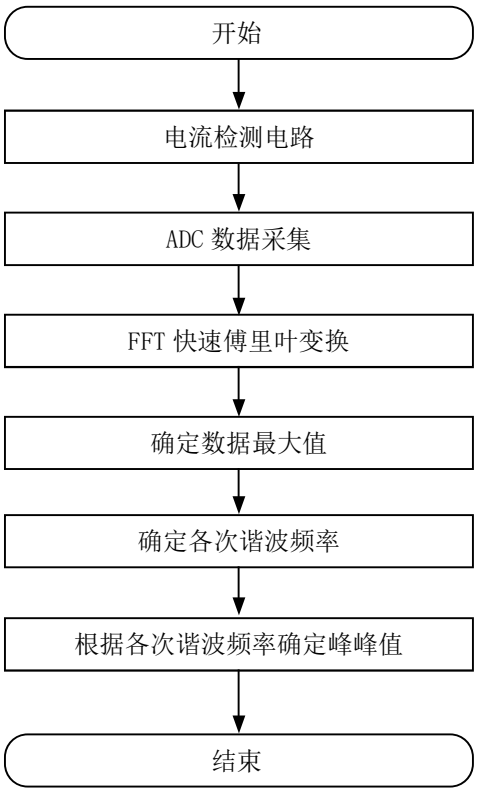


图2 总体流程图

3 环路电流检测装置硬件设计

3.1 信号源电路设计

AD9851芯片可以产生所需要的模拟正弦波，可直接作为基准信号，是验证检测精度的有效参考。

3.2 运算放大电路

TL082运算放大电路将小于5 V的信号缩小20倍，并且反相输出，如图3所示。V_{OUT}=(-R6/R5)*V_{IN}=(-100/2 000)*V_{IN}。

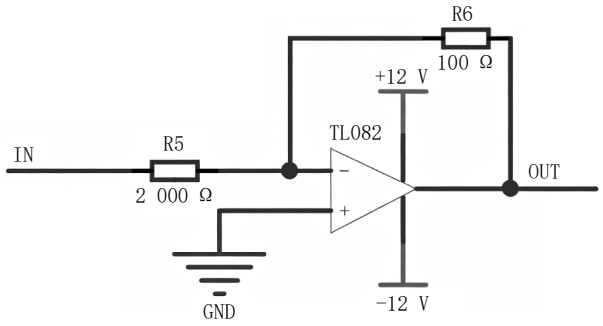


图3 运算放大电路

3.3 功率放大电路

TDA2030是音频功放电路，具有体积小、输出功率大、谐波失真和交越失真小的特点。C1起到输入隔直的作用。将前一级的电压信号进行功率放大，使输出的电流值为第一级放大电路输入电压值的0.1倍。设计电路中R7和R8均为100 Ω，使得VOUT:VIN=1:1（见图4）。

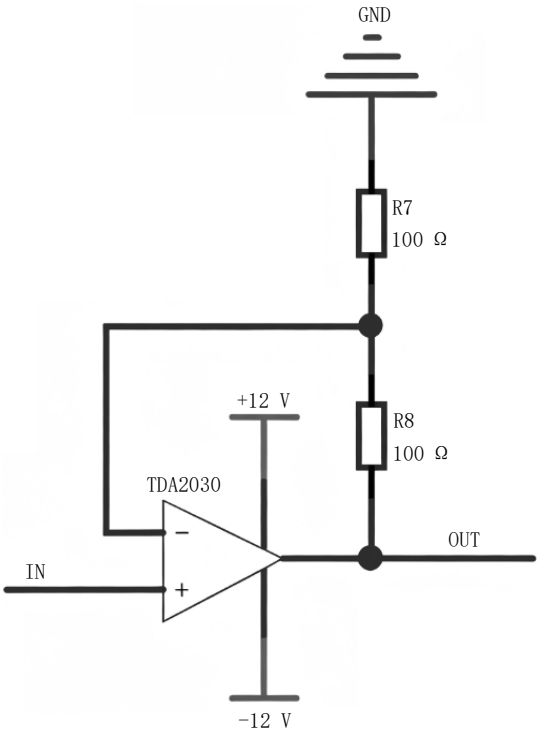


图4 功率放大电路

3.4 整形电路

整形电路由线性比较器LM311和电阻电容构成。正弦波信号由2脚输入，转换为方波输出，接入引脚P6.0，可用于测量频率。LM311输出的方波信号为5 V，但是控制器P6.0的工作电压为3.3 V，故增加R11和R12实现分压。整形电路如图5所示。

3.5 核心处理器介绍

核心处理器为MSP430F5529芯片，P2.3测试AD采样频率，P1.7定时器捕捉输入，P6.0AD采样输入，P1.1光标下移，P1.2确定按钮，P1.3返回按钮，P1.4刷新按键，P1.5选择控制AD采样频率值。

3.6 液晶显示电路

12864液晶显示电路，八位数据输入口连接MSP430F5529单片机的P7口，使其显示测得的频率和峰峰值。

4 环路电流检测装置软件设计

装置连接电源后，给各变量赋初始值，然后对采样到的数据进行FFT分析，最后通过按键显示对应的采集数据。主流程图如图6所示。

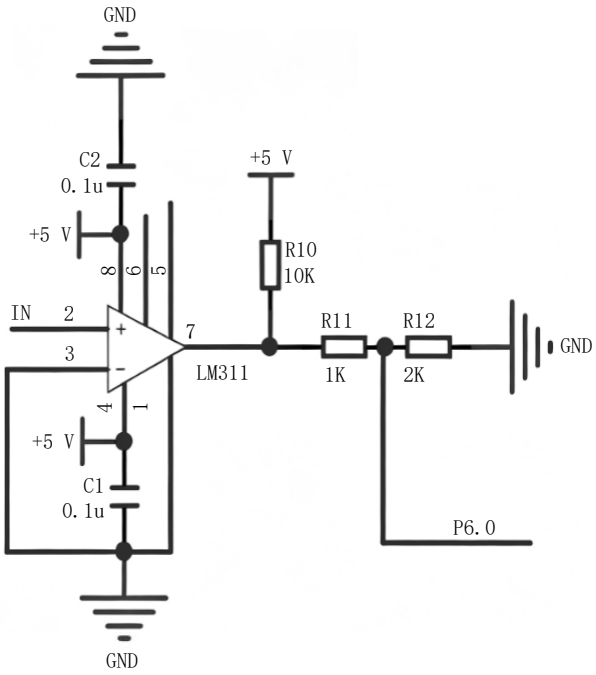


图 5 整形电路

5 环路电流检测装置测试结果与结论

在输入 1 kHz 的正弦信号时，分别改变输入电流的值。用第一级的运算放大电路将小于 5 V 的信号缩小 20 倍，将其送入功率放大电路，使其输出电流的值为输入信号的 0.1 倍。测试过程中用 ±12 V 的电源供电，输入峰峰值为 5 V 的信号。分别输入不同的电流，测试结果如表 1 所示。根据表中的误差显示，该装置测量所得数据与信号发生器信号参数误差在 2% 以内，达到了功率放大波形不失真的效果，电流信号的检测精度高。

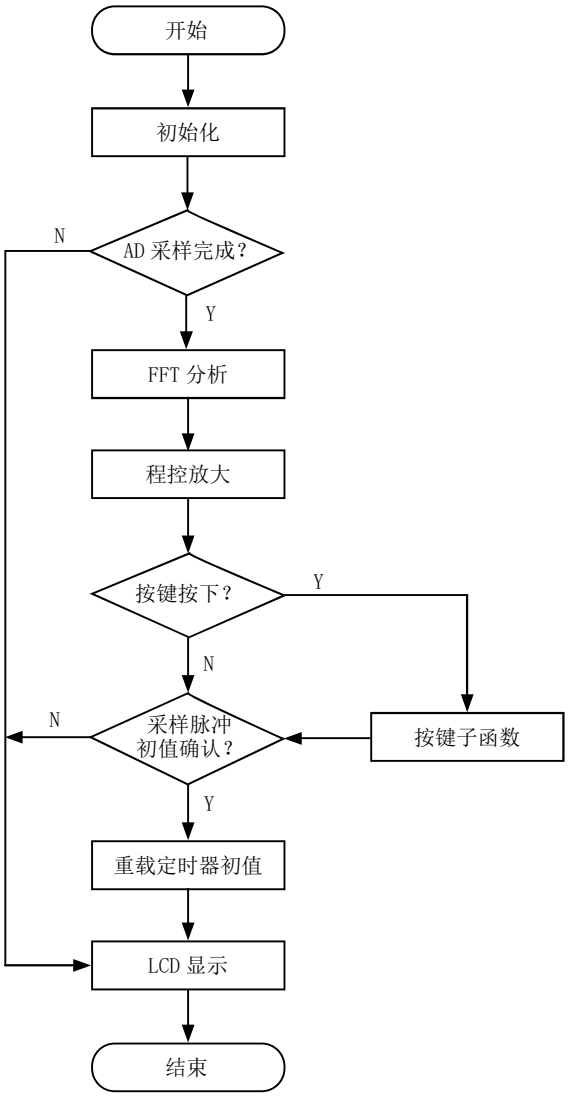


图 6 软件流程图

表 1 1 000 Hz 时不同电流测试结果

实际电流（mA）	10	50	100	400	600	800	1 000
显示电流（mA）	10.2	50.6	101.2	405.6	607.4	807.6	1 007.4
误差 %	2	1.2	1.2	1.4	1.2	0.9	0.7

参考文献：

[1] 季小榜,孙雷明.基于STM32F103RCT6的虚拟示波器硬件电路设计[J].河南工程学院学报(自然科学版),2020,32(01):37-40.

[2] 舒宁.一种基于TDA2030A的有源二分频音频放大电路设计[J].中国科技信息,2023(08):70-73.

[3] 陈贺,王利军,张少如,等.非接触式电流检测装置[J].电子世界,2019(13):91-92.

[4] 陈淼,羊开云,张胜利.基于MSP430的非接触式电流检测装置设计[J].集成电路应用,2023,40(05):306-309.

[5] 郭霞,何诚刚,张艳肖.基于STM32的非接触式环路电流检测装置的设计[J].电子设计工程,2019,27(16):185-188.