



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103344825 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201310284687. 1

CN 102230959 A, 2011. 11. 02, 全文 .

(22) 申请日 2013. 07. 08

EP 1498740 A1, 2005. 01. 19, 全文 .

(73) 专利权人 深圳市亚特尔科技有限公司

CN 202486210 U, 2012. 10. 10, 权利要求

地址 518000 广东省深圳市天安数码城天济大厦 F4. 8 栋 8D 座

1-3, 说明书第 0017-0035 段, 附图 1.

审查员 李萍萍

(72) 发明人 任家爱 熊皓

(74) 专利代理机构 北京英特普罗知识产权代理有限公司 11015

代理人 齐永红 常春

(51) Int. Cl.

G01R 22/06(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102565523 A, 2012. 07. 11, 权利要求 1-3, 说明书第 0011、0012 段, 附图 1.

CN 201289504 Y, 2009. 08. 12, 全文 .

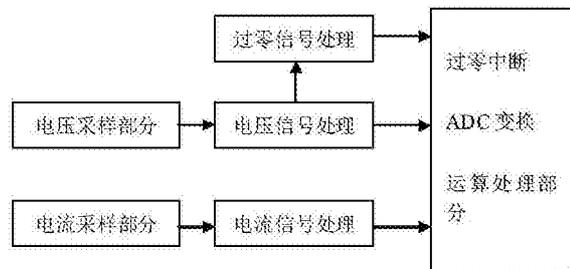
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

基于交流采样的电能计量系统

(57) 摘要

一种基于交流采样的电能计量系统,其包括电压采样部分、用于对接入的来自电网的信号进行采样以获得电压模拟量采样值;电流采样部分;用于对接入的来自电网的信号进行采样以获得电流模拟量采样值;电压信号处理部分;对获得的电压模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电压模拟量采样值;电流信号处理部分;对获得的电流模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电流模拟量采样值;过零信号处理部分,接收来自电压采样部分的电压模拟量采样值,对电压模拟量采样值进行过零比较和整形滤波,获得过零脉冲信号送给处理器部分电压过零检测;还包括带模数转换器的基于 ARM 的处理器部分。该基于交流采样的电能计量系统的优势之一在于响应时间短。



1. 一种基于交流采样的电能计量系统,其特征在于:该系统包括

电压采样部分,用于对接入的来自电网的信号以可变的电压采样频率进行采样以获得电压模拟量采样值;

电流采样部分,用于对接入的来自电网的信号以可变的电流采样频率进行采样以获得电流模拟量采样值;

电压信号处理部分,对获得的电压模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电压模拟量采样值;

电流信号处理部分,对获得的电流模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电流模拟量采样值;

过零信号处理部分,接收来自电压采样部分的电压模拟量采样值,对电压模拟量采样值进行过零比较和整形滤波,获得过零脉冲信号送给处理器部分电压过零检测;以及

带模数转换器的基于 ARM 的处理器部分:包括电压采样值模数转换器、电流采样值模数转换器、过零中断部分以及参数运算部分;其中,电压采样值模数转换器用于由过零脉冲信号启动对来自电压信号处理部分的预设阈值内的电压模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电压采样值保存在一电压值存储部;电流采样值模数转换器用于由过零脉冲信号启动对来自电流信号处理部分的预设阈值内的电流模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电流采样值保存在一电流值存储部;该参数运算部分根据得到的数字化的电压采样值和数字化的电流采样值依据交流采样原理计算出针对该电网的电能计量参数。

2. 根据权利要求 1 的基于交流采样的电能计量系统,其特征在于:该电压采样部分还包括相位补偿部用于消除采样过程中产生的相位差。

3. 根据权利要求 1 的基于交流采样的电能计量系统,其特征在于:该电流采样部分还包括相位补偿部用于消除采样过程中产生的相位差。

4. 根据权利要求 1 的基于交流采样的电能计量系统,其特征在于:采样频率调整部,用于实时检测电网的频率,并根据测得的电网的频率对电压、电流的采样频率进行调整。

5. 根据权利要求 1 的基于交流采样的电能计量系统,其特征在于:该存储部是 RAM。

6. 一种基于交流采样的电能计量方法,其特征在于:包括

对接入的来自电网的信号以可变的电压采样频率进行采样以获得电压模拟量采样值;

对接入的来自电网的信号以可变的电流采样频率进行采样以获得电流模拟量采样值;

对获得的电压模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电压模拟量采样值;

对获得的电流模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电流模拟量采样值;

接收来自电压采样部分的电压模拟量采样值,对电压模拟量采样值进行过零比较和整形滤波,获得过零脉冲信号送给处理器部分电压过零检测;以及

由过零脉冲信号启动对来自电压信号处理部分的预设阈值内的电压模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电压采样值保存在一电压值存储部;

由过零脉冲信号启动对来自电流信号处理部分的预设阈值内的电流模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电流采样值保存在一电流值存储部;以及

根据得到的数字化的电压采样值和数字化的电流采样值依据交流采样原理计算出针

对该电网的电能计量参数。

基于交流采样的电能计量系统

技术领域

[0001] 本实用新型属于电能计量采样系统,具体的讲,属于基于交流采样的电能计量系统。

背景技术

[0002] 随着电力系统自动化水平的日益提高,电力参数的获取和管理变得越来越重要。微机技术在电力系统中的普及应用,使电力系统的测量和监控技术得到了快速发展。从品种繁多的传统仪表获取电力参数已不能满足系统的要求,研制高精度、多参数、多功能、数字化的模块化电力仪表已成为当今的一个热门课题。

[0003] 现有技术中通常采用电能计量芯片 ADE7753 作为电力侧控仪方案,ADE7753 的推出对电能开发提供了便利,但作为电力测控仪方案,它存在着响应时间和谐波测量及成本方面存在着一定的局限性。

[0004] 意法半导体推出 STM32 系列 32 位的 Cortex™-M3 内核的 ARM 是意法半导体公司在业界最先推出的基于 ARM Cortex-M3 内核产品,继承了 Cortex-M3 内核的优良血统,同时增加了 ST 高性能的外设资源,FLASH、SRAM 存储器,丰富的串行通信接口,如 IIC、SPI、USART、CAN、USB 等,以及 12 位的 ADC 和 DAC 模块,支持外部存储器访问的灵活的静态存储器控制器 FSMC。其 1M 的采样速率,双 ADC 为实现交流同步采样提供基础。强大的外设功能形成一个稳定可靠的片上系统,具有良好性价比,开发出交流采样的电测量仪表平台。

实用新型内容

[0005] 本实用新型旨在解决前述问题,提供一种基于交流采样的电能计量系统,其响应时间短。

[0006] 本实用新型的一个方面提供了一种基于交流采样的电能计量系统,其包括

[0007] 电压采样部分,用于对接入的来自电网的信号进行采样以获得电压模拟量采样值;

[0008] 电流采样部分,用于对接入的来自电网的信号进行采样以获得电流模拟量采样值;

[0009] 电压信号处理部分,对获得的电压模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电压模拟量采样值;

[0010] 电流信号处理部分,对获得的电流模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电流模拟量采样值;

[0011] 过零信号处理部分,接收来自电压采样部分的电压模拟量采样值,对电压模拟量采样值进行过零比较和整形滤波,获得过零脉冲信号送给处理器部分电压过零检测;

[0012] 带模数转换器的基于 ARM 的处理器部分:包括电压采样值模数转换器、电流采样值模数转换器、过零中断部分以及参数运算部分;其中,电压采样值模数转换器用于由过零脉冲信号启动对来自电压信号处理部分的预设阈值内的电压模拟量采样值进行模数转换

并将数字化的电压采样值保存在一电压值存储部；电流采样值模数转换器用于由过零脉冲信号启动对来自电流信号处理部分的预设阈值内的电流模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电流采样值保存在一电流值存储部；该参数运算部分根据得到的数字化的电压采样值和数字化的电流采样值依据交流采样原理计算出针对该电网的电能计量参数。

[0013] 该电压采样部分还包括相位补偿部。

[0014] 该电流采样部分还包括相位补偿部。

[0015] 本实用新型的的基于 ARM 处理器的交流采样系统和方法,采用了 ST 公司的 ARM 处理器 STM32F103RC,建立了交流数据采集的公共采样电路,软件算法平台,STM32 的强大外设功能和处理速度,可以方便实现电力测控仪,多功能电能表,数字显示仪表及谐波仪表等电测量仪表开发,建立了标准化的采样模块,实现资源重用,提高了产品开发速度和开发质量。

附图说明

[0016] 图 1 为根据本实用新型的基于交流采样电能计量系统的原理框图；

[0017] 图 2 为根据本实用新型的基于交流采样电能计量系统的电压采样部分和电压信号处理部分的一种实施例的电路图；

[0018] 图 3 为根据本实用新型的基于交流采样电能计量系统的电流采样部分和电流信号处理部分的一种实施例的电路图；

[0019] 图 4 为过零信号处理部分的一种实施例的电路图；

[0020] 图 5 为根据本实用新型的基于交流采样电能计量方法的流程图。

[0021] 图 6 为采样方法一实施例的流程图。

具体实施方式

[0022] 本实用新型的交流采样系统的一种实施例如图 1 所示,其中,该交流采样系统的硬件包括电压采样部分、电流采样部分等采样电路；电压信号处理部分、电流信号处理部分、和过零信号处理部分等前端处理电路；以及带模数转换器的基于 ARM 的处理器部分(MCU),例如可以是意法半导体(TM)的 STM32F103RC 的处理器模块。

[0023] 电压采样可以通过电阻分压获取,如图 2 所示。其中,以 A 相电压采样为例,通过电阻 R6、R9、R23、R11、R24、R25、R27、R28 分压,信号经 VREF 偏置电压 1.65VDC,在 R24、R25 获得信号变换处理后,再由滤波放大器 U4-B 滤波放大后,一路传送给处理器运算部分(MCU)的 ADC1 采样,另一路传给过零信号处理电路(图 4)UA_PLUS 经 U1-B 过零比较和整形滤波,获得 UA-INT 过零脉冲信号送给 MCU 的外部中断 IO 口,进行 A 相电压过零检测。

[0024] 图 3 示出了针对某一相,例如 A 相,的电流采样部分和电流信号处理部分的一种实施例的电路图。其中,以 A 相电流为例,A 相电流经电流互感器 T2 采样,再通过 U4-A 滤波放大后,传送给 MCU 的 ADC2 采样；

[0025] 上述以 A 相电流电压为例,对电压、电流的采样电路进行了描述,B、C 相电流电压采样电路原理、实现可与 A 相完全一致,这里不再赘述。

[0026] 三相电压和三相电流经信号调理电路和 1.65V 基准偏置电路转换为 0V ~ 1.65V ~ 3.3V 电压,分别送入 ADC1 和 ADC2 转换器,实现 6 路模拟信号同相采样与转换,确

保了每相电压、电流检测是同相位,它的精度为 12 位;为消除互感器与电路所产生的相位延迟,可以在电路设计时提供相位补偿,如图 2 中的电容 C10,如图 3 中的电容 C14。

[0027] 得到的数据可经 DMA 队列存储器转移,对 CPU 资源占用量少;电压信号经过零比较电路转换成方波送 STM32 外部中断输入口检测,获得交流信号的周期;

[0028] STM32 具有强大的外设和运算处理能力,很方便实现仪表实时测量、分析:U、I、P、Q、S、 $\cos\Phi$ 、F、kWh、kvarh 等电力参数。

[0029] 系统中 STM32 处理器运行程序完成:控制 A/D 数据采样、对采样结果进行 FFT 运算,根据交流采样原理结合系统的硬件参数计算电量中所有参数,将结果送入 RAM 备用。其流程如下图 5 所示。

[0030] 该方法包括:对接入的来自电网的信号进行采样以获得电压模拟量采样值;对接入的来自电网的信号进行采样以获得电流模拟量采样值;对获得的电压模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电压模拟量采样值;对获得的电流模拟量采样值进行调理并偏置为预设阈值内的电流模拟量采样值;接收来自电压采样部分的电压模拟量采样值,对电压模拟量采样值进行过零比较和整形滤波,获得过零脉冲信号送给处理器部分电压过零检测;以及由过零脉冲信号启动对来自电压信号处理部分的预设阈值内的电压模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电压采样值保存在一电压值存储部;由过零脉冲信号启动对来自电流信号处理部分的预设阈值内的电流模拟量采样值进行模数转换并将数字化的电流采样值保存在一电流值存储部;根据得到的数字化的电压采样值和数字化的电流采样值依据交流采样原理计算出针对该电网的电能计量参数。

[0031] 其中,还包括消除电压采样过程中产生的相位差。

[0032] 其中,还包括消除电流采样过程中产生的相位差。

[0033] 其中,还包括对经过数字化的电压和电流采样值进行 FFT。

[0034] 其中,根据实时检测的电网的频率对电压、电流信号的采样频率实时地调整。

[0035] 具体采样方法为,如图 6 所示:

[0036] 首先,通过 DMA1 不断地将电压、电流的 AD 值放入一数组 AD_Value[7] 中 S101,然后通过一个 UA_INT 外部过零中断找到一个起始点,在一个周期内通过一个定时器采 128 次,并将每一次采样的 7 个数据放到一个 Tmp_AD_Value[128*7] 的数组中,在一个周期内的第 128 次采样时同时启用 DMA2 将 Tmp_AD_Value[128*7] 的数组里的数据放到 Ca1_AD_Value[128*7] 中,用于计算时用到,在 DMA2 完成中断中禁止 DMA2 且启动计算过程 S103。

[0037] 其中,通过一个 UA_INT 外部过零中断找出周期时间 T,则频率就是 $F = 1/T$;

[0038] 通过另一下外部中断 UC-INT 的过零中断找出 UA 与 UC 的相角;

[0039] 通过另一下外部中断 IA-INT 的过零中断找出 U 与 I 的相角;

[0040] 交流周期检测,电压转换成的方波信号送入 STM32 的外部硬件中断,在中断服务程序中读取定时器的计数值,转换成周期(频率),根据周期调整系统采样的周期。

[0041] 采用交流采样在硬件电路基础上,通过 1-15 公式非常方便获得 U、I、P、Q、S、 $\cos\Phi$ 、F、kWh、kvarh 等电力参数

[0042] 交流采样是按一定规律对被测信号的瞬时值进行采样,再用一定的数值算法求得被测量的值,相对于经过直流整流后再进行采样测量的直流采样更精确。

[0043] 在本实用新型中,可以应用 STM32F103RC 为仪表智能核心部件,采用该芯片内部

的 A/D 变换器作为数据采集器,对接入的电网中的电信号进行逐点瞬间采样,再由单片机计算出电压、电流有效值,有功功率,无功功率,视在功率,功率因数,信号频率,有功电能,无功电能及谐波分析等。

[0044] 其中,电压有效值的计算步骤如下:

[0045] 首先,将电压有效值公式

$$[0046] \quad U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (1)$$

[0047] 离散化,以一个周期内有限个采样电压数字量来代替一个周期内连续变化的电压函数值,则得到

$$[0048] \quad U_c \approx \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{m=1}^N u_m^2 \Delta T_m} \quad (2)$$

[0049] 式中: ΔT_m 为相邻两次采样的时间间隔; u_m 为第 $m-1$ 个时间间隔的电压采样瞬时值; N 为 1 个周期的采样点数。令相邻两采样的时间间隔相等,即 ΔT_m 为常数 ΔT ,考虑到 $N = (T/\Delta T)+1$,则有

$$[0050] \quad U_c = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N u_m^2} \quad (3)$$

[0051] 式 (3) 就是根据一个周期各采样瞬时值及每周期采样点数计算电压信号有效值的公式。

[0052] 同理,电流有效值计算公式如下:

$$[0053] \quad I_c = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N i_m^2} \quad (4)$$

[0054] 式 (1) 就是根据一个周期各采样瞬时值及每周期采样点数计算电压信号有效值的公式。

[0055] 计算某一相有功功率,功率的计算从连续周期信号有效值的定义和功率的定义出发,用数值积分近似代替连续积分。有功功率的计算公式如式 (5)

$$[0056] \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T i u dt \quad (5)$$

[0057] 离散化后为

$$[0058] \quad P = \frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N i_m u_m \quad (6)$$

[0059] 式中: i_m 、 u_m 为同一时刻的电流、电压采样值。

[0060] 视在功率: $S = UI$

[0061] 式中 U , I 为电压和电流的有效值;

[0062] 功率因数可由下式求得：

$$[0063] \quad \cos \phi = P/S = P/UI$$

[0064] 计算无功功率有多种算法,采用数字移相法微机计算量较小,数据处理实时性好。因为有功功率 P 和无功功率 Q 仅在电压和电流相位上差 90° , 所以将无功功率写成

$$[0065] \quad Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u_k \times i_{(k+\frac{N}{4})}) \quad (7)$$

[0066] 式中 $i_{(k+N/4)}$ 表示第 $(k+N/4)$ 次的电流采样值 (移相 90° 后的采样值), 当 $(k+N/4)$ 大于 N 时, $(k+N/4)$ 取为 $(k-3N/4)$ 。

[0067] 在三相四线制中用三元法,离散后求功率的表达式如下：

$$[0068] \quad P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u_{uK} \times i_{uK} + u_{vK} \times i_{vK} + u_{wK} \times i_{wK}) \quad (8)$$

$$[0069] \quad Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u_{uK} \times i_{v(k+\frac{N}{4})} + u_{vK} \times i_{w(k+\frac{N}{4})} + u_{wK} \times i_{u(k+\frac{N}{4})}) \quad (9)$$

[0070] 式中 u_{uK}, u_{vK}, u_{wK} 表示一个周期内三个相电压的第 k 次采样值; i_{uK}, i_{vK}, i_{wK} 表示一个周期内三个相电流的第 k 次采样值。

[0071] 在三相三线制中用两元法,离散化后求功率的公式如下：

$$[0072] \quad P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u_{uvK} \times i_{uK} + u_{vwK} \times i_{wK}) \quad (10)$$

$$[0073] \quad Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u_{uvK} \times i_{v(k+\frac{N}{4})} + u_{vwK} \times i_{w(k+\frac{N}{4})}) \quad (11)$$

[0074] 式中 u_{uvk}, u_{vwk} 分别表示 1 个周期内两个线电压的第 k 次采样值。

[0075] 视在功率 S 及功率因数 $\cos \phi$ 可以用以下公式求出：

$$[0076] \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (12)$$

[0077]

$$\cos \phi = P/S \quad (13)$$

[0078] 将有功功率和无功功率分别对时间积分就可以求出有功电能和无功电能。

[0079] FFT 运算：

[0080] 电力输电线路中的电压和电流的余弦信号,受非线性负载的影响,电网的波形会发生畸变,畸变后仍然为周期函数,且满足狄里赫利条件,可以用傅立叶级数分解法把电压

和电流分解成基波和一系列谐波的叠加,即

$$[0081] \quad u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos(n\omega t + \alpha_n) \quad (14)$$

$$[0082] \quad i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t + \beta_n) \quad (15)$$

[0083] 式中 U_0 、 I_0 —电压、电流的直流分量；

[0084] U_n 、 I_n —各次谐波幅度的峰值； α_n 、 β_n —之差为谐波相位差。

[0085] 对电网的连续时间信号进行实时采样得到离散的采样序列,用 FFT 算法对其进行时频域转换,可以分析基波和各次谐波的幅度和相位情况,以实现谐波的监控。另外,电网中每一路的相电压和相电流之间存在相位差,对电压和电流信号同步采样并进行 FFT 变换,就可以算出各次谐波的相位差,准确地测出各次谐波的有功和无功功率。

[0086] 而对于 FFT 计算来说,如果采样数据集的端点不连续,就需要引入窗函数,从而增加了计算的繁琐程度。而在满足相关采样原理,采样的数据点集正好为整周期的情况下,采样数据集两端点连续,就可以把采样信号序列近似看成无穷的周期信号,从而使 FFT 计算量减少。

[0087] 采样点数的确定：

[0088] 根据时域取样定理 $f_s \geq 2f_m$, 本系统要求分析出 63 次谐波,因此在一个周期内最少的采样点数为 78 点,FFT 蝶形算法本身要求采样点数为 2 的幂时,计算速度最快,装置的采样频率为基波频率的 256 倍。由于电网频率,会在 50Hz 左右上下波动,因此在硬件实现上,不可以用固定频率对电压、电流信号进行采样,而要根据电网的频率,实时地调整采样频率。

[0089] 本系统采用 128 点 FFT 算法,即在采样两个周期后完成一次 FFT 运算,其中有一个周期为上次采样的结果;完成一次 128 点 FFT 运算的时间约为 0.5ms,因而能满足仪器在线检测与分析。

[0090] 交流电网的频率确定,确定的方法也比较多,本系统采用由硬件的方法来测量周期,即将交流电压经调理与整形以后送 STM32F103RC 进行定时,从而得到交流电网的频率;由于电网的频率变化具有较大的惯性,因而可以采用软件低通滤波器对所测量的数据进行处理。

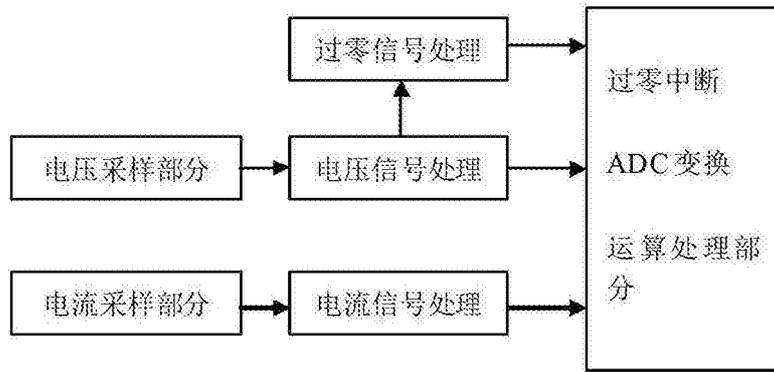


图 1

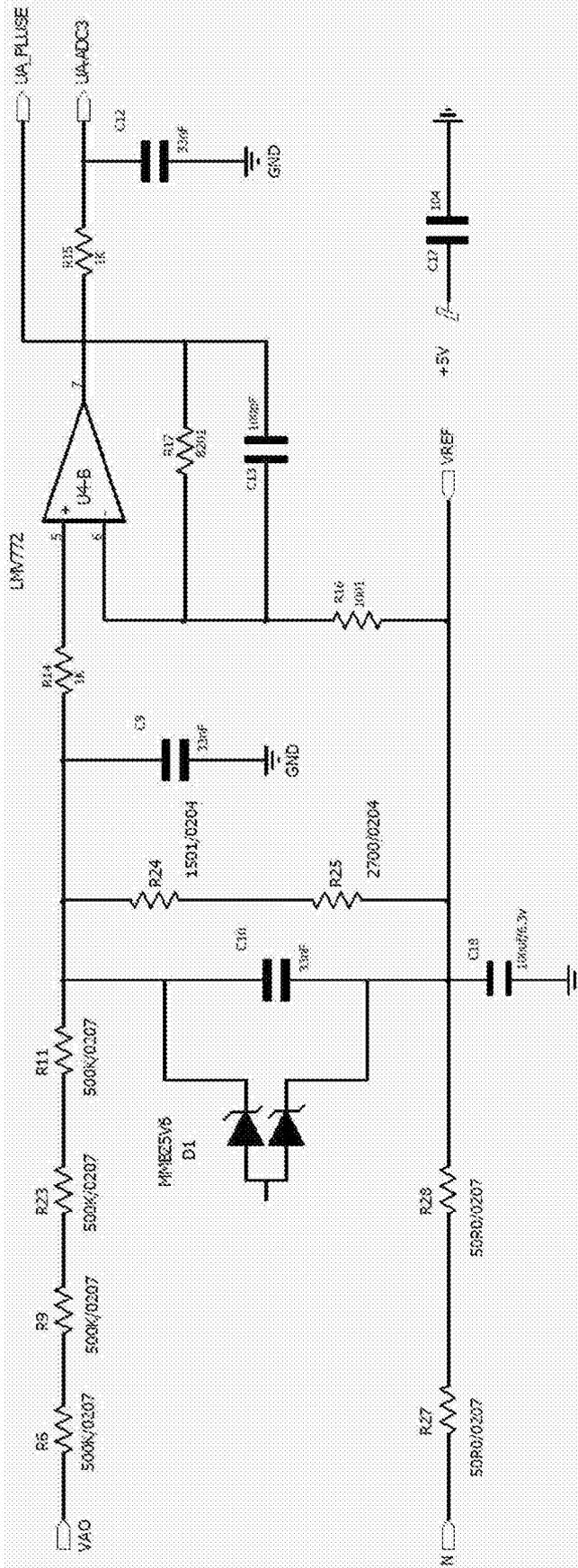


图 2

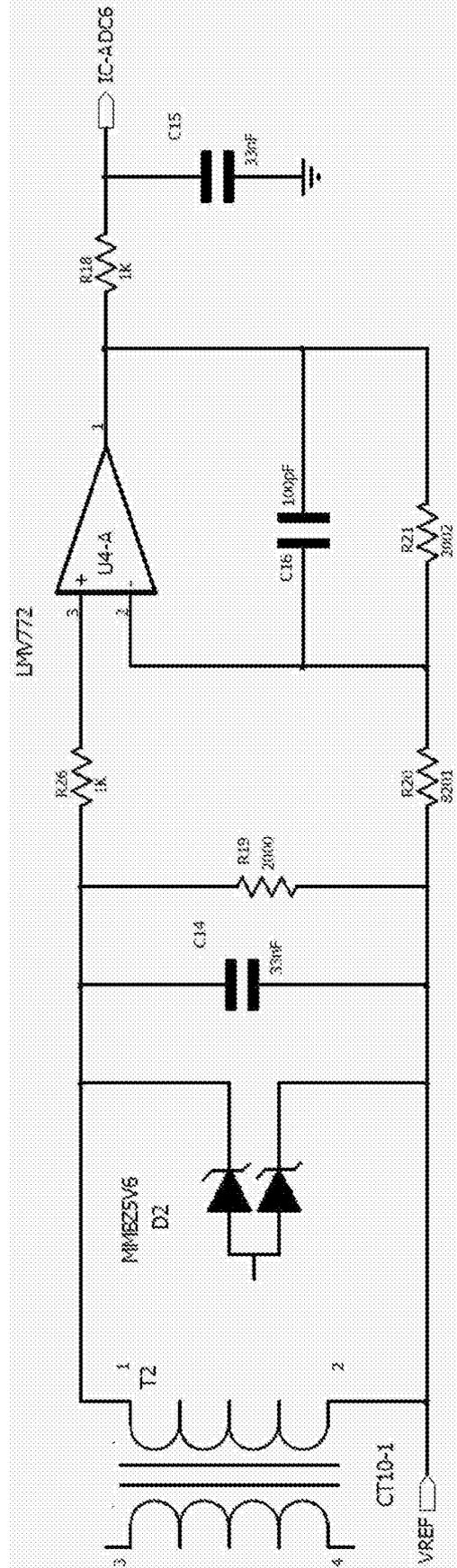


图 3

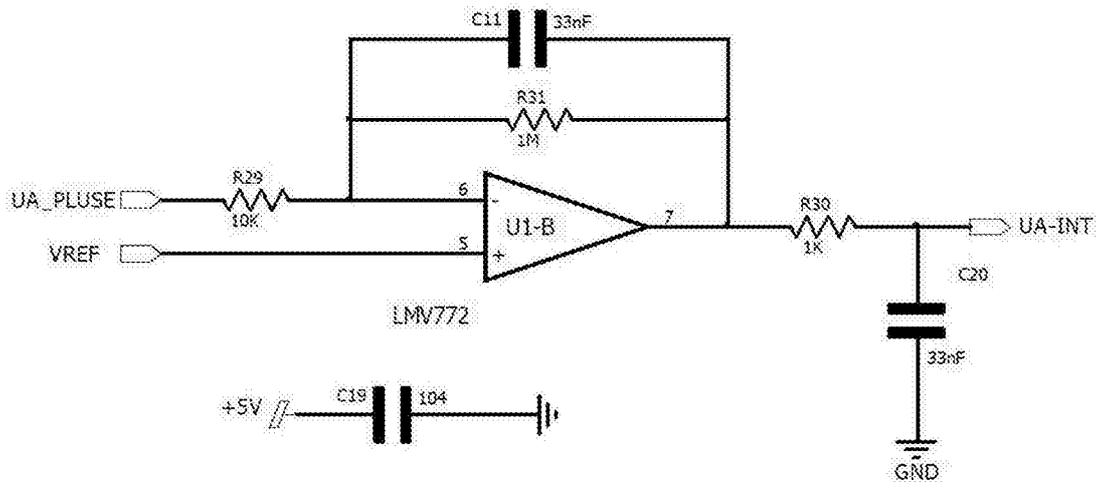


图 4

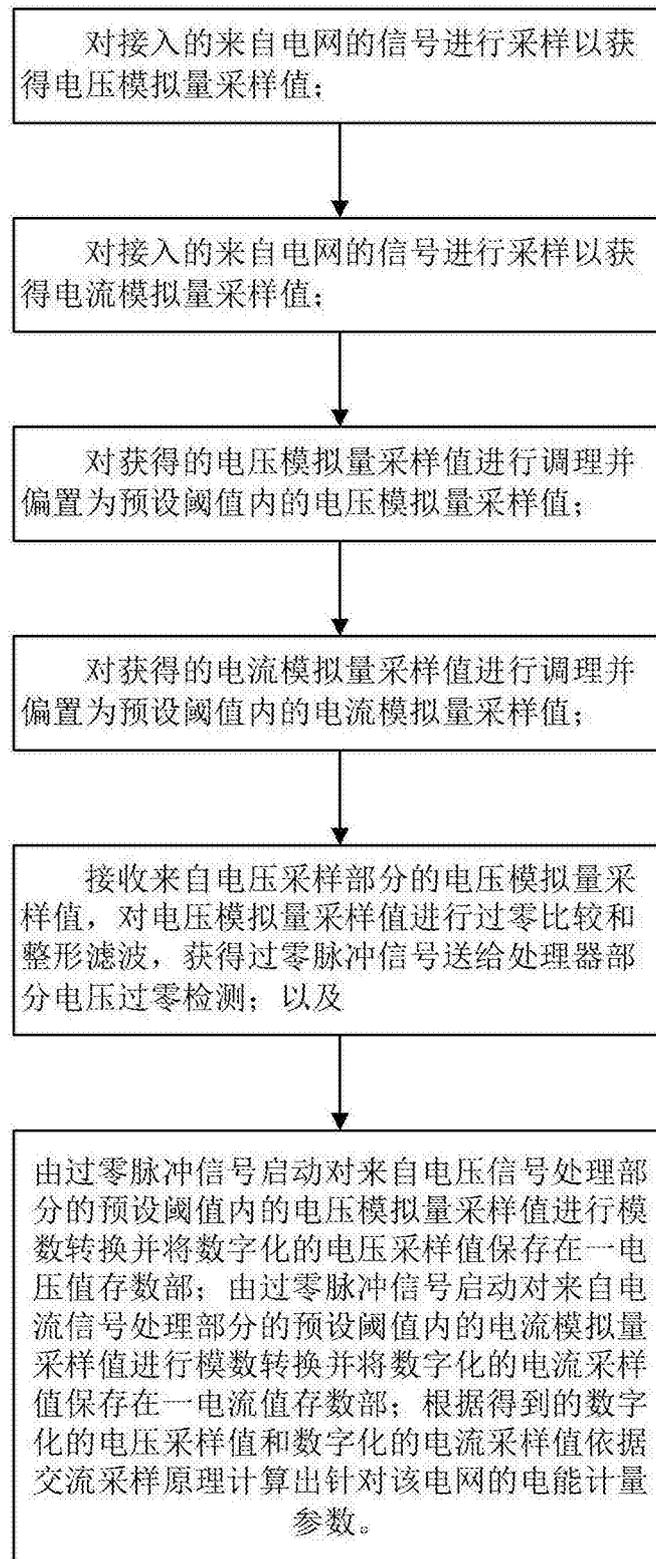


图 5



图 6