

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01R 23/02 (2006.01)

G01R 23/16 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510041231.8

[43] 公开日 2006年2月1日

[11] 公开号 CN 1727906A

[22] 申请日 2005.7.28

[21] 申请号 200510041231.8

[71] 申请人 泰州苏源集团科电有限公司

地址 225300 江苏省泰州市凤凰西路2号

[72] 发明人 许杏桃 丁伟 李进 卢春

[74] 专利代理机构 泰州地益专利事务所

代理人 纪新宇

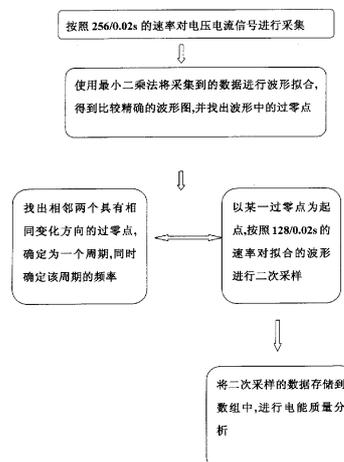
权利要求书1页 说明书11页 附图3页

[54] 发明名称

电网电能质量中的周波采样方法

[57] 摘要

本发明涉及一种电网电能质量中的周波采样方法，它针对现有技术均通过对系统当前周波的前数个周波的频率推算和预测出当前周波频率的方法，从而造成在采样过程中丢失有效的采样点，测量误差较大的缺陷，通过采用一固定的采样频率采样，然后通过波形拟合技术还原为波形，再利用最小二乘法找出该波形的过零点，以获得一个完整的周波，再在拟合的波形上进行二次采样，并根据这些点分析系统中的电能质量指标。本发明方法采样精度得到了提高，这为之后的电压和电流有效值、谐波、功率等电能质量指标分析提供了更为精确和可靠的数据。本发明方法在实践中获得了明显的效果。



1、一种电网电能质量中的周波采样方法，包括以下步骤：

(1) 按照固定的采样频率采集二次侧电压、电流，采集 n_1 个点 ($n_1=2^n$, $n \geq 6$)

(2) 通过波形拟合技术将采集到的 n_1 个点还原为波形

(3) 找出该波形的过零点，并据此确定出一个完整的周波

(4) 按照一固定的采样频率 ($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n=6, 7, 8, 9, \dots$)，对上述获得的拟合波形进行二次采样，采集 n_2 个点

(5) 根据 n_2 个点的电压和电流等交流信号值计算出电力系统中的各电能质量指标值。

2、根据权利要求1所述的电网电能质量中的周波采样方法，其特征在于：它包括以下步骤：

(1) 按照频率为 ($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n \geq 7$) 的采样频率采集二次侧电压、电流，采集 n_1 个点 ($n_1=2^n$, $n \geq 7$)

(2) 以最小二乘法进行波形拟合，将采集到的 n_1 个点还原为波形，

(3) 以最小二乘法找出该波形的过零点，并确定出一个完整的周波，

(4) 按照一固定的采样频率 ($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n \geq 7$)，对上述获得的拟合波形进行二次采样，采集 n_2 个点，

(5) 根据 n_2 个点的电压和电流等交流信号值分析电力系统中的各电能质量指标值。

电网电能质量中的周波采样方法

（一）技术领域：

本发明涉及一种电力系统中电能质量指标的测量方法，尤其是一种电网电能质量中的周波采样方法。

（二）背景技术：

随着经济的发展，电力在经济生活中扮演越来越重要的角色。电能质量的好坏直接关系着国民经济的总体效益。目前电网中冲击性、非线性负荷不断增多，导致电网谐波、电压波动闪变、三相不平衡等电能质量问题严重恶化；而大量基于计算机系统的控制设备和电子装置等一类敏感负荷的出现又使暂时过电压和瞬态过电压、电压凹陷与短时间间断等一些以前未被人们所重视的电能质量问题造成的经济损失也在不断增加，对电能质量的管理和电力污染的治理工作势在必行。

随着科学技术的发展，实现电网的自动化已成为电力系统发展的趋势。对电力系统中电能质量指标的测量成了一个基础工作。对于电网自动化管理而言，对其运行中电能质量指标进行准确的测量十分重要。这是保证电网安全、经济、可靠地运行的基本前提。由于准确进行周波采样是准确测量其它电能质量指标的基础，因此，周波采样方法成为电能质量指标的决定因素。

对电网电能质量中的周波采样的通行做法是，首先对电网中的电压和电流等交流信号进行交流采样，然后根据某种线性变换，提出相应的算法，从而计算出电压和电流的有效值、频率、相角、功率和电能等。其中，交流采样的方法多数是：由系统二次回路来的电压（或电流），经过二次电压互感器 PT（或电流互感器 CT）等变送到 A/D 适合的电压

后，由 CPU 控制 A / D 以一定的采样频率进行模数转换，获得离散的采样数据。然后，经过离散傅立叶变换（DFT），计算出基波有效值、各次谐波值及其它相关指标。

依靠上述方法能够获得准确各参数值的条件是：当前采样周波的系统的实时频率已知，据此，才能确定适合的采样频率进行采样。采样频率和电力系统的工频，二者之一发生变化，都会影响采样后有效值的计算。显然，系统的当前周波的是无法得知的。最为原始的方法是视系统频率不变，以一个固定的采样频率进行采样，但是，实际中系统频率是不断变化的，势必造成在采样过程中丢失有效的采样点，造成测量误差。

为了解决上述问题，现有技术纷纷采用通过对系统当前周波的前数个周波的频率推算和预测出当前周波频率的方法。在此，有各种理论、技术和算法，如过零技术、电平交叉技术、最小平方差技术等等，并据此进行测量，其中，最具广泛和代表性的为锁相环技术。

锁相环技术的原理如下：在典型 A / D 转换接口的基础上，增加了锁相环回路，该锁相环回路是一个反馈系统，通常由鉴相器 (Phase Detector, 简称 P D)、环路滤波器 (Loop Filter, 简称 L P F)、压控振荡器 (Voltage Control Oscillator, 简称 V C O) 所组成。鉴相器的功能可以分解为两个作用，首先是将两个输入信号的相位相减，即取得这两个输入信号之间的相位差；并将相位差转换为误差电压输出，所以它是相位差转换为电压的装置。环路滤波器能滤掉高频分量。压控振荡器是一种电压-频率变换器。在锁相环回路中，压控振荡器信号的频率受滤波器输出电压的控制，其输出信号的相位随锁相环回路输入信号的相位变化而变化，从而保持相位跟踪。

锁相环技术由于实现了对被测信号频率变化的自动跟踪和相位锁定，

有效地提高了测量系统的自动化水平和测量的准确性。但由于其是通过
对系统当前周波的前数个周波的频率进行自动跟踪和相位锁定，它与当
前周波频率不可能完全相等，在采样过程中仍然会丢失有效的采样点，
测量误差仍然较大。

(三) 发明内容：

本发明旨在提供一种准确度更高的电网电能质量中的周波采样方
法。

本发明的技术解决方案如下：

- 1、按照固定的采样频率采集二次侧电压、电流，采集 n_1 个点 ($n_1=2^n$, $n \geq 6$)
- 2、通过波形拟合技术将采集到的 n_1 个点还原为波形
- 3、找出该波形的过零点，并据此确定出一个完整的周波
- 4、按照一固定的采样频率 ($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n=6, 7, 8, 9, \dots$)，对上述获得的拟合波形进行二次采样，采集 n_2 个点
- 5、根据 n_2 个点的电压和电流等交流信号值计算出电力系统中的各电能质量指标值。

上述方法中，详细做法是：

由系统二次回路来的电压（或电流），经过电压互感器 PT（或电流互感器 CT）等变送到 A/D 适合的电压后，由 CPU 控制 A/D 以一定的采样频率进行模数转换，获得离散的采样数据。

如：

采用固定晶振 10.245MHz 和与非门电路组成振荡电路，经过 74F393，采用 8 分频信号取得 1.28MHz 的信号，通过二级 74F390 芯片 2—4 译码后变成 12.8KHz 的方波信号，通过单稳态电路形成脉冲宽度为

10uS 的 AD 采样的转换信号。这样 AD7874 可以每 0.000078125s 模数转换一次。

采样信号由于为高电压 100V 的交流正弦电压波形，为了高压信号对低压数字电路产生影响，可采用高精度的 100v/5v 的隔离变送器，从而可以将 100v 信号形成幅值只有 5v 的低压信号，再通过 Π 型滤波器，滤除 50 次以上谐波信号和杂波信号，这样可以很好的去除由于硬件电路或者印制板质量的工艺流程而引起的外部干扰。滤波之后的信号经过 1:1 的放大器，这样可以起到阻抗匹配作用，使采样芯片与前面的信号电路阻抗一致，使经过放大器的信号送到 AD7874 模数转换电路的信号，不会因为衰减而无法采样。

将上述采样获得的离散的采样数据送到 CPU 中，在 CPU 中通过数值分析方法，如最小二乘法、线性插值法等，利用采集到的数据，以最小二乘法为例，根据最小二乘法的如下公式

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \Lambda + a_mx^m$$

拟合出最接近真实的波形，算出该波形的相关参数，将参数存储于 RAM 中。然后，

将数据与零做比较，找出过零的点（采集的过零点），

再通过各种技术，如最小二乘法、小波变换法、基于过零点检测的线性插值法等，以最小二乘法为例，根据如下公式：

$$y = ax + b$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)(-x_i) = 0$$

,

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)(-1) = 0$$

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad b = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n x_i y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

找出相互间隔小于 1/4 周期的过零点, 利用这些相互间隔小于 1/4 周期的过零点, 计算出最接近真实过零点的数据, 作为真实的过零点,

并将该数据存储到 RAM 中。

根据真实过零点, CPU 进行比较, 判断出处于同一周期内的波形,

然后, 在获得完整周波的基础上再进行第二次采样, 即 CPU 在拟合出的波形上重新按照($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n=6,7,8,9,\dots$)的速率重新采点,

并将第二次采集的点存储于 RAM 中, 留做分析电能质量指标的数据源。

本发明采用一固定的采样频率($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n=6,7,8,9,\dots$) 采样, 通过波形拟合技术还原为波形, 再利用最小二乘法找出该波形的过零点, 以具备相同变化方向的最靠近的两个过零点中间的波形作为一个周波, 如此即可获得一个完整的周波, 求出其周期, 并以此类推, 这样就避免电网频率变化而产生的误差, 实时跟踪系统频率。同时, 在拟合的波形上以某一过零点为起点, 按照一定的采样频率, 进行二次采样, 采集 n_2 个点, 然后根据这 n_2 个点分析系统中的谐波、三相不平衡等电能质量指标。由于采用了波形拟合的数学手段, 拟合后的波形最接近真实的电压和电流波形, 因此, 在此基础上进行二次采样所采集到的点也最接近真实的点, 采样精度得到了提高, 这为之后的电压和电流有效值、谐波、

功率等电能质量指标分析提供了更为精确和可靠的数据。

本发明方法较锁相环技术有明显的优越性，其理由如下：

锁相环技术是通过系统刚刚过去的前数个周波进行自动跟踪和相位锁定，据此得到的周波宽度即周期只能代表过去的周波周期，锁相环技术却用此周期代替即将到来的周期宽度，用此周期除以采样点个数得到采样间隔，进行采样。而现实中前后两个周波的周期是不一样长的，这就必然带来误差，这是锁相环技术致命的缺陷，本身没有办法克服。本发明所叙述的方法从根本上解决了这个问题，理论上不存在误差。

本发明方法在实践中获得了明显的效果，按上述方法，以工频 50Hz 为例，按照 $n/0.02s$ 的采样频率采集二次侧电压、电流，然后通过波形拟合技术将采集到的 n_1 个点还原为波形，通过最小二乘法找出该波形的过零点，从而确定出一个完整的周波，再按照 $f=2^n * 50Hz$ 的采样频率对上述获得的拟合波形进行二次采样，最后根据二次采样所获得的电压和电流等交流信号值分析出电力系统中的各项电能质量指标，其测量的准确性较现有技术的测量准确性明显提高。

进一步的方案为：

- 1、按照频率为 $(f=2^n * 50Hz, n \geq 7)$ 的采样频率采集二次侧电压、电流，采集 n_1 个点 $(n_1=2^n, n \geq 7)$
- 2、以最小二乘法进行波形拟合，将采集到的 n_1 个点还原为波形，
- 3、以最小二乘法找出该波形的过零点，并确定出一个完整的周波，
- 4、按照一固定的采样频率 $(f=2^n * 50Hz, n \geq 7)$ ，对上述获得的拟合波形进行二次采样，采集 n_2 个点，
- 5、根据 n_2 个点的电压和电流等交流信号值分析电力系统中的各电

能质量指标值。

进一步的方案由于采用了更高的采样频率，增大了采集点，使得拟合的波形更精确，测量值的准确性也更高。

（四）附图说明：

以下将结合附图和实施例对本发明做进一步详细说明：

附图 1 为本发明第一个实施例中所涉及硬件的原理方框图。

附图 2 为上述实施例中所涉及软件的流程图。

（五）具体实施方式：

参见附图 1，本发明第一个实施例所依托硬件设备包括：一台内部存储有实现本发明方法的程序的普通计算机、插接于该计算机扩充卡插槽上的采集卡、16 台电压型及电流型变送器，上述 16 台变送器与电网的二次侧 PT、CT 相连，其信号输出端与采集卡的信号输入端相连。可同时采集十六路电压、电流信号，该采集卡由下列各模块部分组成，现分别介绍如下：

采样时钟源电路部分采用固定晶振 10.245MHz 和与非门电路组成的振荡电路，经过 74F393，采用 8 分频信号取得 1.28MHz 的信号，再通过二级 74F390 芯片 2-4 译码后变成 12.8KHz 的方波信号，通过单稳态电路形成脉冲宽度为 10uS 的 AD 采样的转换信号，这样 AD7874 可以每 0.000078125s 模数转换一次。

另外 AD 自己带有内部时钟电路，但也可以外加时钟，外加时钟的好处是可以在高频采样时协调外部采样频率。该实施例中，采取了自带外部时钟信号通过 10.245MHz 晶振四分频的 2.56MHz 频率，直接送各路 AD7874 的时钟引脚。

采样信号由于为高电压 100V 的交流正弦电压波形，为了高压信号对

低压数字电路产生影响，我们选用了高精度的 100v/5v 的隔离变送器，从而可以将 100v 信号形成幅值只有 5v 的低压信号，再通过 II 型滤波器，滤除 50 次以上谐波信号和杂波信号，这样可以很好的去除由于硬件电路或者印制板质量的工艺流程而引起的外部干扰。滤波之后的信号经过 1:1 的放大器，这样可以起到阻抗匹配作用，使采样芯片与前面的信号电路阻抗一致，使经过放大器的信号送到 AD7874 模数转换电路时，不会因为衰减而无法采样。

数据存储模块中，每片 AD 可以采四路信号，16 路共计需要 4 片 AD，经过 AD7874 采样后的数据储存在自己对应的 RAM 中，共计分为四路 RAM，每一部分 RAM 的写信号由 AD 采样结束信号提供，当 AD 采用结束后，可以自动送出采样结束脉冲标志，从而可以提供给 RAM，作为 RAM 的写脉冲标志。

由于本采集卡系计算机的即插即用模块，可以插到任一具有 PCI 插槽的计算机当中，因而可以使用插槽当中的正负 12V 和 5V 直流电源，另外再在本采集卡上添加电源芯片 7909，7809，可以变换回±9V 的直流电源，供电路中的放大器使用，5V 直流电压源供 RAM、AD7874、振荡源等使用。

由于硬件电路自身没有管理功能，只要在电源稳定情况下即可安全使用，但是如果电源电压不稳，硬件跑非现象时有发生，所以该实施例中添加了电压监视电路 MAX706，它工作于 4.75—5.25V 之间，平时正常工作时，它的控制脚对应于所有需要监视芯片的使能脚，使所有芯片正常工作。如果电压超出这个范围，其电压监视脚将输出“0”电平信号，其监视脚将停止所有芯片的使能脚，使其停止工作。

参见附图 2，通过上述采集卡的 AD 采样模块采样结束并将其数据(2

5 6 个点) 提供给 RAM 后, 计算机系统从 RAM 中的某一储存地址读取采集数据, 将数据传送到 CPU 中, 将数据与零做比较, 找出过零的点, 再找出相互间隔小于 $1/4$ 周期的过零点, 存储到 RAM 中, 然后, 在 CPU 中按照最小二乘法的公式, 利用这些相互间隔小于 $1/4$ 周期的过零点, 计算出最接近真实过零点的的数据, 作为真实的过零点, 将该数据存储在 RAM 中。在 CPU 中通过最小二乘法, 利用采集到的数据, 根据公式拟合出最接近真实的波形, 算出该波形的相关参数, 将参数存储于 RAM 中。另外, 根据真实过零点, CPU 进行比较, 判断出处于同一周期内的波形, 然后, 在获得完整周波的基础上再进行第二次采样, 即 CPU 在拟合出的波形上重新按照 6.4kHz 的速率重新采点, 获得 1 2 8 个点的的数据, 这样使得二次采集的点能最大程度地接近真实的点, 同时也确保了波形的完整, 从而为之后的电能质量分析提供了更为精确和可靠的数据。第二次采集的点存储于 RAM 中, 留做分析电能质量指标的数据源。

上述存储在计算机中的用以实现本发明方法的程序, 对于普通的中级程序员而言, 依靠上述指导, 利用 VC、Delphi 等通行的计算机语言可编制出。

实施例 2:

依次进行下列的步骤:

- 1、 按照频率为 6.4 KHz ($f=2^n * 50\text{Hz}$, $n=7$) 的采样频率采集二次侧电压、电流, 采集 1 2 8 个点
- 2、 以最小二乘法进行波形拟合, 将采集到的 1 2 8 个点还原为波形,
- 3、 以最小二乘法找出该波形的过零点, 并确定出一个完整的周波,

- 4、按照 $f=128*50\text{Hz}$ 的采样频率，对上述获得的拟合波形进行二次采样，采集 128 个点，
- 5、根据 128 个点的电压和电流等交流信号值分析电力系统中的各电能质量指标值。

实施例 2 的硬件的原理及软件的流程与实施例 1 相似，其中，变送器采用 16 台电压型及电流型变送器，本领域技术人员依上述指导和已公开的现有技术毋须付出创造性劳动即可实现，在此就不赘述了。

实施例 3：

依次进行下列的步骤：

- 1、按照频率为 $f=2^n*50\text{Hz}$ ， $n=8$ 的采样频率采集二次侧电压、电流，采集 256 个点
- 2、以线性插值法将采集到的 256 个点拟合还原为波形
- 3、以小波变换法找出该波形的过零点确定出一个完整的周波，
- 4、按照 $f=2^n*50\text{Hz}$ ， $n=6$ 的采样频率，对上述获得的拟合波形进行二次采样，采集 64 个点，
- 5、根据 64 个点的电压和电流等交流信号值分析电力系统中的各电能质量指标值。

实施例 3 的硬件的原理及软件的流程与实施例 1 相似。

实施例 4：

依次进行下列的步骤：

按照频率为 $f=2^n*50\text{Hz}$ ， $n=9$ 的采样频率采集二次侧电压、电流，采集 $n1$ 个点

以最小二乘法将采集到的 $n1$ 个点拟合为波形，

以最小二乘法找出该波形的过零点确定出一个完整的周波，

按照 $f=2n * 50\text{Hz}$, $n= 8$ 的采样频率, 对上述获得的拟合波形进行二次采样, 采集 n^2 个点,

根据 n^2 个点的电压和电流等交流信号值分析电力系统中的各电能质量指标值。

实施例 4 的硬件的原理及软件的流程与实施例 1 相似。

本发明上述实施例在实践中均已得到采用, 并取得了良好的技术效果。以本发明方法测量各电能质量指标值的准确性较现有技术的测量准确性明显提高。

当然, 在本发明的发明构思下, 本发明有多种实施形式, 本领域技术人员阅读本说明书后毋需付出创造性劳动即可再现出, 在此就不赘述了。

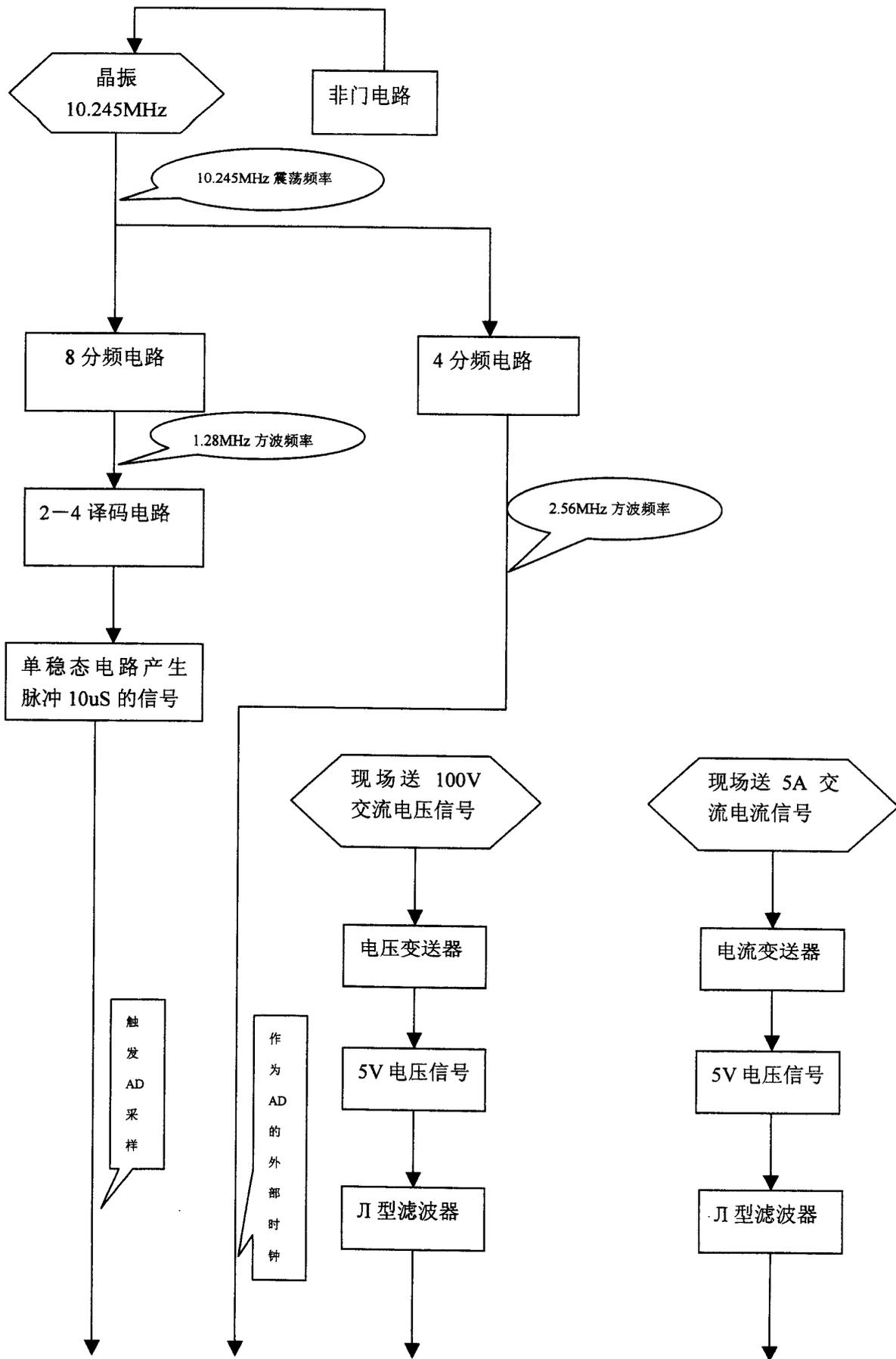


图 1-1

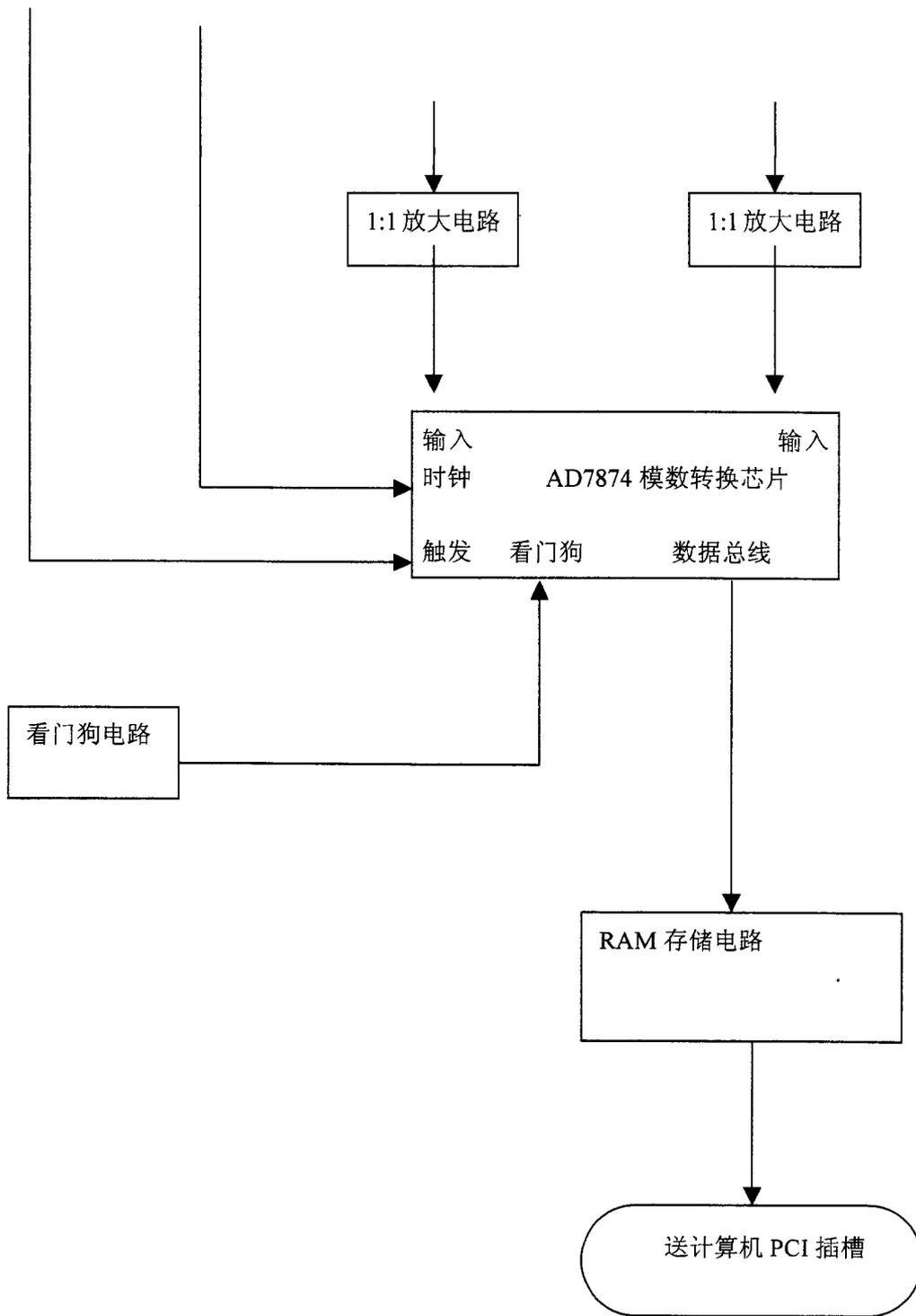


图 1-2

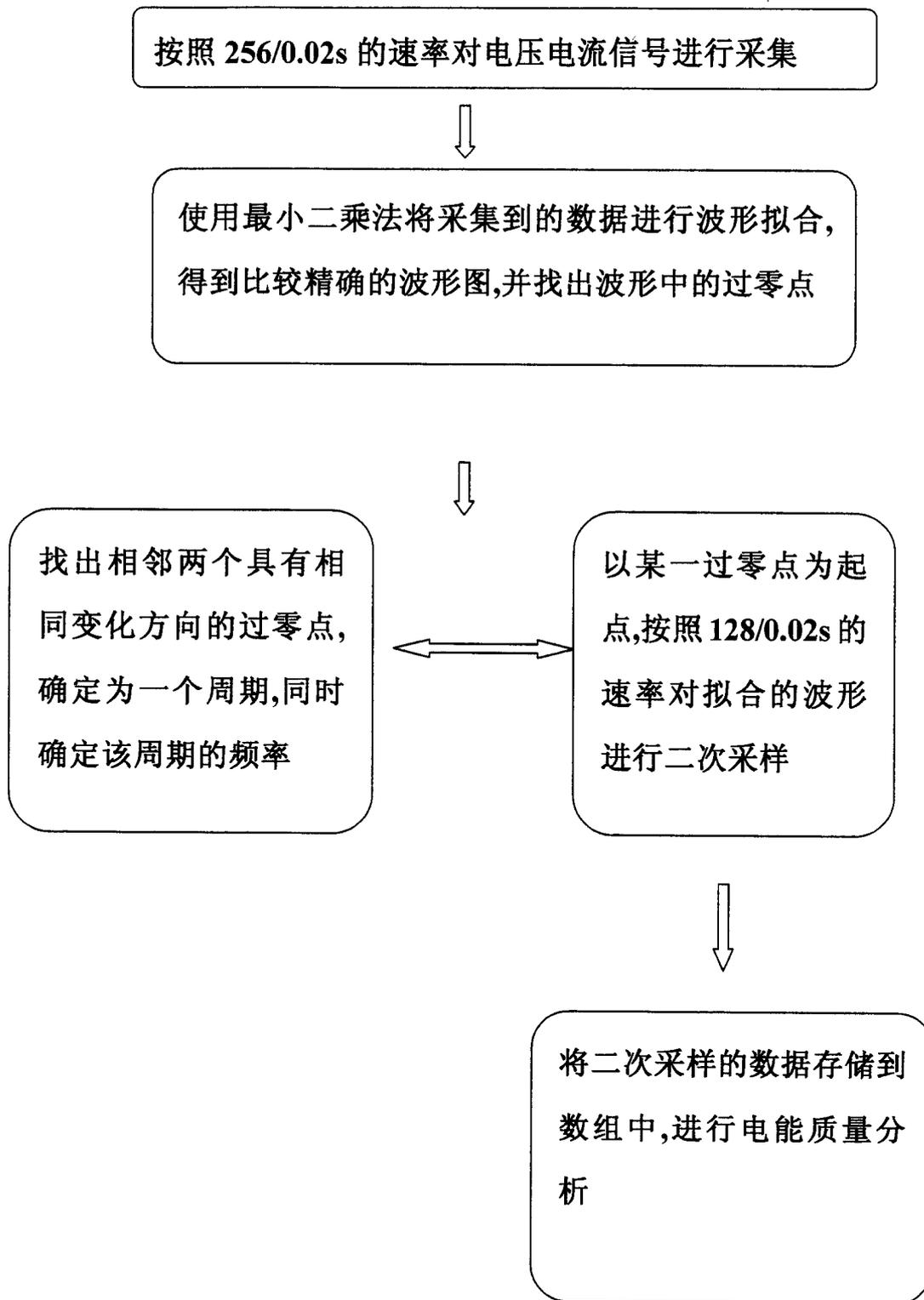


图 2