



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111257634 A

(43)申请公布日 2020.06.09

(21)申请号 202010221855.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2020.03.26

G01R 23/02(2006.01)

G01R 23/167(2006.01)

(71)申请人 内蒙古电力(集团)有限责任公司内蒙古电力科学研究院分公司

地址 010020 内蒙古自治区呼和浩特市锡林南路21号

申请人 内蒙古电力(集团)有限责任公司电力调度控制分公司

(72)发明人 周磊 张谦 胡宏彬 霍红岩 杜荣华 赵炜 于海存 李巍 党少佳 郭瑞君 张国斌 秦成果 辛晓刚 殷建华 李旭

(74)专利代理机构 北京天江律师事务所 11537 代理人 任崇

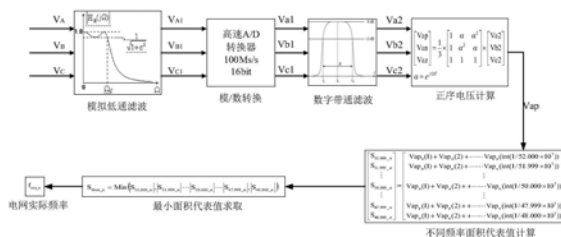
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种电网频率实时高精度测量新方法

(57)摘要

本发明公开了一种电网频率实时高精度测量新方法,包括以下步骤:模拟低通滤波;高速高精度模/数转换;数字带通滤波;正序电压计算;根据频率范围以及步长计算不同频率下的面积代表值;求取最小面积代表值,确定电网实际频率。本发明只需要通过高速采集一个周期的电网电压信号,且只需要进行简单累加以及比较计算,即可以得到高精度实时电网频率,实现高精度实时测量电源并网点的电网频率,不仅操作实施简单,效果显著,可靠性高,而且可以有效帮助电源点实现快速准确的一次调频功能。



1. 一种电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述方法包括以下步骤:模拟低通滤波;高速高精度模/数转换;数字带通滤波;正序电压计算;根据频率范围以及步长计算不同频率下的面积代表值;求取最小面积代表值,确定电网实际频率。

2. 根据权利要求1所述的电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述方法的具体步骤如下:

I、电网三相电压互感器的一次侧分别并联在线路上,利用电磁感应原理,使三相电压互感器的二次绕组中分别感应出与对应相相同频率的交流电压,将三相电压互感器的二次电压信号进行模拟低通滤波,剔除高次谐波;

II、利用高速模/数转换器对滤波后三相电压信号进行高精度采样;

III、采用带通滤波器对采集到的电网三相电压信号分别进行数字滤波,保留有用信号,剔除无用信号;

IV、利用经过数字滤波处理后的三相电压信号计算得到三相正序电压;

V、取三相正序电压中任意一相正序电压信号,根据频率与周期的一一对应关系,在相应的频率范围内以极小频率为步长,将对应周期内采样点进行相加得到测量信号不同频率下的面积代表值;

VI、求取不同频率下的面积代表值的绝对值,并进行比较,得到的最小面积代表值对应的频率值即为电网实际频率。

3. 根据权利要求1或2所述的电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述步骤I中,采用无源RC滤波器将三相电压互感器的二次电压信号进行模拟低通滤波,剔除高次谐波,即剔除电网基频的5次以上谐波,其中,电网基频为50Hz。

4. 根据权利要求3所述的电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述步骤II中高速模/数转换器的采样率为100Ms/s,分辨率为16bit。

5. 根据权利要求4所述的电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述步骤III中,带通滤波器的带通范围为40Hz~60Hz,超出该带通范围的三相电压信号均剔除。

6. 根据权利要求5所述的电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述步骤IV的具体计算过程为:利用经过数字滤波处理后的三相电压信号 $V_{a2}$ 、 $V_{b2}$ 、 $V_{c2}$ 得到任意一相A相正序电压 $V_{ap}$ ,计算公式如下:

$$\begin{bmatrix} V_{ap} \\ V_{an} \\ V_{az} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{a2} \\ V_{b2} \\ V_{c2} \end{bmatrix},$$

其中,复数运算子 $\alpha = e^{j120^\circ} = \cos(120^\circ) + j\sin(120^\circ)$ ,其中,j为虚数单位; $V_{an}$ 为A相负序电压, $V_{az}$ 为A相零序电压。

7. 根据权利要求6所述的电网频率实时高精度测量新方法,其特征在于:所述步骤V中,假设取计算得到的A相正序电压信号,根据频率与周期的一一对应关系 $f = \frac{1}{T}$ ,在48Hz~52Hz范围内以0.001Hz为步长,将对应周期内采样点进行相加得到A相正序电压不同频率对应周期下的面积代表值,计算公式如下:

$$\begin{bmatrix} S_{52.000\_n} \\ S_{51.999\_n} \\ \vdots \\ S_{50.000\_n} \\ \vdots \\ S_{47.999\_n} \\ S_{48.000\_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Vap}_n(1) + \text{Vap}_n(2) + \cdots + \text{Vap}_n(\text{int}(1/52.000 \times 10^7)) \\ \text{Vap}_n(1) + \text{Vap}_n(2) + \cdots + \text{Vap}_n(\text{int}(1/51.999 \times 10^7)) \\ \vdots \\ \text{Vap}_n(1) + \text{Vap}_n(2) + \cdots + \text{Vap}_n(\text{int}(1/50.000 \times 10^7)) \\ \vdots \\ \text{Vap}_n(1) + \text{Vap}_n(2) + \cdots + \text{Vap}_n(\text{int}(1/47.999 \times 10^7)) \\ \text{Vap}_n(1) + \text{Vap}_n(2) + \cdots + \text{Vap}_n(\text{int}(1/48.000 \times 10^7)) \end{bmatrix},$$

其中,  $S_{52.000\_n}$  为A相正序电压在第n次计算得到的52Hz对应的面积代表值, 由于采样周期为  $1 \times 10^{-8}$  s 为定值, 所以采样值之和即可代表面积之和。

8. 根据权利要求7所述的电网频率实时高精度测量新方法, 其特征在于: 所述步骤VI中, 最小面积代表值的求取公式为:

$$S_{f_{\min\_n}} = \text{Min}(|S_{52.000\_n}|, |S_{51.999\_n}| \cdots |S_{50.000\_n}| \cdots |S_{47.999\_n}|, |S_{48.000\_n}|),$$

其中, 最小值  $S_{f_{\min\_n}}$  对应的频率值  $f_{\min\_n}$  即为第n次计算的电网实际频率  $f_{R\_n}$ ,  $f_R$  即为电网实际频率, 测频精度为0.001Hz; 频率刷新时间最大不超过21ms。

## 一种电网频率实时高精度测量新方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种测量新方法,尤其涉及一种电网频率实时高精度测量新方法。

### 背景技术

[0002] 风电、光伏等新能源发电快速发展,电源结构发生较大变化,新能源发电的影响已从简单的局部电压波动、谐波污染等电能质量发展到对电网的安全问题;电网可用的一次调频响应资源逐步减少,造成频率安全风险进一步加大,精确实时测量电源并网点的电网频率是实现电网一次调频功能的基础。

[0003] 目前电源并网点配置的测频方法无法达到高精度、实时测量,不能用于快速准确的一次调频功能的实现。因此,急需研究出实时高精度测量的新方法来解决上述问题。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术所存在的不足之处,本发明提供了一种电网频率实时高精度测量新方法。

[0005] 为了解决以上技术问题,本发明采用的技术方案是:一种电网频率实时高精度测量新方法,包括以下步骤:模拟低通滤波;高速高精度模/数转换;数字带通滤波;正序电压计算;根据频率范围以及步长计算不同频率下的面积代表值;求取最小面积代表值,确定电网实际频率。

[0006] 进一步地,该方法的具体步骤如下:

[0007] I、电网三相电压互感器的一次侧分别并联在线路上,利用电磁感应原理,使三相电压互感器的二次绕组中分别感应出与对应相相同频率的交流电压,将三相电压互感器的二次电压信号进行模拟低通滤波,剔除高次谐波;

[0008] II、利用高速模/数转换器对滤波后三相电压信号进行高精度采样;

[0009] III、采用带通滤波器对采集到的电网三相电压信号分别进行数字滤波,保留有用信号,剔除无用信号;

[0010] IV、利用经过数字滤波处理后的三相电压信号计算得到三相正序电压;

[0011] V、取三相正序电压中任意一相正序电压信号,根据频率与周期的一一对应关系,在相应的频率范围内以极小频率为步长,将对应周期内采样点进行相加得到测量信号不同频率下的面积代表值;

[0012] VI、求取不同频率下的面积代表值的绝对值,并进行比较,得到的最小面积代表值对应的频率值即为电网实际频率。

[0013] 进一步地,步骤I中,采用无源RC滤波器将三相电压互感器的二次电压信号进行模拟低通滤波,剔除高次谐波,即剔除电网基频的5次以上谐波,其中,电网基频为50Hz。

[0014] 进一步地,步骤II中高速模/数转换器的采样率为100Ms/s,分辨率为16bit。

[0015] 进一步地,步骤III中,带通滤波器的带通范围为40Hz~60Hz,超出该带通范围的三相电压信号均剔除。

[0016] 进一步地,步骤IV的具体计算过程为:利用经过数字滤波处理后的三相电压信号Va2、Vb2、Vc2得到任意一相A相正序电压Vap,计算公式如下:

$$[0017] \begin{bmatrix} V_{ap} \\ V_{an} \\ V_{az} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{a2} \\ V_{b2} \\ V_{c2} \end{bmatrix},$$

[0018] 其中,复数运算子 $\alpha = e^{j120^\circ} = \cos(120^\circ) + j\sin(120^\circ)$ ,其中,j为虚数单位;Van为A相负序电压,Vaz为A相零序电压。

[0019] 进一步地,步骤V中,假设取计算得到的A相正序电压信号,根据频率与周期的一一对应关系 $f = \frac{1}{T}$ ,在48Hz~52Hz范围内以0.001Hz为步长,将对应周期内采样点进行相加得到A相正序电压不同频率对应周期下的面积代表值,计算公式如下:

$$[0020] \begin{bmatrix} S_{52.000\_n} \\ S_{51.999\_n} \\ \vdots \\ S_{50.000\_n} \\ \vdots \\ S_{47.999\_n} \\ S_{48.000\_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/52.000 \times 10^7)) \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/51.999 \times 10^7)) \\ \vdots \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/50.000 \times 10^7)) \\ \vdots \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/47.999 \times 10^7)) \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/48.000 \times 10^7)) \end{bmatrix},$$

[0021] 其中, $S_{52.000\_n}$ 为A相正序电压在第n次计算得到的52Hz对应的面积代表值,由于采样周期为 $1 \times 10^{-8}$ s为定值,所以采样值之和即可代表面积之和。

[0022] 进一步地,步骤VI中,最小面积代表值的求取公式为:

$$[0023] S_{f_{\min\_n}} = \text{Min}(|S_{52.000\_n}|, |S_{51.999\_n}| \dots |S_{50.000\_n}| \dots |S_{47.999\_n}|, |S_{48.000\_n}|),$$

[0024] 其中,最小值 $S_{f_{\min\_n}}$ 对应的频率值 $f_{\min\_n}$ 即为第n次计算的电网实际频率 $f_{R\_n}$ , $f_R$ 即为电网实际频率,测频精度为0.001Hz;频率刷新时间最大不超过21ms。

[0025] 本发明只需要通过高速采集一个周期的电网电压信号,且只需要进行简单累加以及比较计算,即可以得到高精度实时电网频率,实现精确实时测量电源并网点的电网频率,不仅操作实施简单,效果显著,可靠性高,而且可以有效帮助电源点实现快速准确的一次调频功能。本发明不仅可实现电网频率的高精度测量,而且测量速度快且不需要计算电网三相电压相角,降低了计算难度,提高了计算准确度,同时为电源快速、准确实现一次调频功能奠定了基础,可广泛适用于电网频率实时高精度测量。

## 附图说明

[0026] 图1为本发明的测量过程示意框图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0028] 如图1所示的一种电网频率实时高精度测量新方法,包括以下步骤:模拟低通滤波;高速高精度模/数转换;数字带通滤波;正序电压计算;根据频率范围以及步长计算不同

频率下的面积代表值；求取最小面积代表值，确定电网实际频率。

[0029] 该方法的具体步骤如下：

[0030] I、电网三相电压互感器的一次侧分别并联在线路上，利用电磁感应原理，使三相电压互感器的二次绕组中分别感应出与对应相相同频率的交流电压，将三相电压互感器的二次电压信号进行模拟低通滤波，剔除高次谐波；

[0031] 采用无源RC滤波器将三相电压互感器的二次电压信号进行模拟低通滤波，剔除高次谐波，即剔除电网基频的5次以上谐波，其中，电网基频为50Hz，即剔除250Hz以上谐波。

[0032] II、利用高速模/数转换器对滤波后三相电压信号进行高精度采样；高速模/数转换器的采样率为100Ms/s，分辨率为16bit。

[0033] III、采用带通滤波器对采集到的电网三相电压信号分别进行数字滤波，保留有用信号，剔除无用信号；带通滤波器的带通范围为40Hz~60Hz，超出该带通范围的三相电压信号均剔除。

[0034] IV、利用经过数字滤波处理后的三相电压信号计算得到三相正序电压；具体计算过程为：利用经过数字滤波处理后的三相电压信号Va2、Vb2、Vc2得到任意一相A相正序电压Vap，计算公式如下：

$$[0035] \begin{bmatrix} V_{ap} \\ V_{an} \\ V_{az} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{a2} \\ V_{b2} \\ V_{c2} \end{bmatrix},$$

[0036] 其中，复数运算子 $\alpha = e^{j120^\circ} = \cos(120^\circ) + j\sin(120^\circ)$ ，其中，j为虚数单位；Van为A相负序电压，Vaz为A相零序电压。

[0037] V、取三相正序电压中任意一相正序电压信号，根据频率与周期的一一对应关系，在相应的频率范围内以极小频率为步长，将对应周期内采样点进行相加得到测量信号不同频率下的面积代表值；

[0038] 假设取计算得到的A相正序电压信号，根据频率与周期的一一对应关系 $f = \frac{1}{T}$ ，在48Hz~52Hz的固定频率范围内以0.001Hz为步长，将对应周期内采样点进行相加得到A相正序电压不同频率对应周期下的面积代表值，计算公式如下：

$$[0039] \begin{bmatrix} S_{52.000\_n} \\ S_{51.999\_n} \\ \vdots \\ S_{50.000\_n} \\ \vdots \\ S_{47.999\_n} \\ S_{48.000\_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/52.000 \times 10^7)) \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/51.999 \times 10^7)) \\ \vdots \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/50.000 \times 10^7)) \\ \vdots \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/47.999 \times 10^7)) \\ V_{ap_n}(1) + V_{ap_n}(2) + \dots + V_{ap_n}(\text{int}(1/48.000 \times 10^7)) \end{bmatrix},$$

[0040] 其中， $S_{52.000\_n}$ 为A相正序电压在第n次计算得到的52Hz对应的面积代表值，由于采样周期为 $1 \times 10^{-8}$ s为定值，所以采样值之和即可代表面积之和。int代表int函数，取整数。本方法电网频率只在48Hz~52Hz的固定频率范围内采样。

[0041] 其理论依据为：根据三角函数特性，对于周期为T的正弦信号，其一个周期内的面

积和 $S_T$ 为零即：

$$[0042] \quad S_T = \int_0^T A \sin(2\pi ft + \theta) dt = 0$$

[0043] 其中， $f = \frac{1}{T}$ ， $\theta$ 为初始相角， $\theta$ 不影响计算结果，故不予考虑， $t$ 为时间，由上述可知， $S_{52.000\_n}$ 即可以代表A相正序电压在 $1/52 \approx 0.0192307$ ss周期内的面积和，其他同理，则最小值 $S_{f_{min\_n}}$ 对应的频率值 $f_{min\_n}$ 为最接近第 $n$ 次计算实际电网频率值 $f_{R\_n}$ ， $f_R$ 即为电网实际频率，测频精度为0.001Hz；由于频率测量范围下限为48Hz，所以频率刷新时间最大不超过21ms。

[0044] VI、求取不同频率下的面积代表值的绝对值，并进行比较，得到的最小面积代表值对应的频率值即为电网实际频率。

[0045] 最小面积代表值的求取公式为：

$$[0046] \quad S_{f_{min\_n}} = \text{Min}(|S_{52.000\_n}|, |S_{51.999\_n}| \cdots |S_{50.000\_n}| \cdots |S_{47.999\_n}|, |S_{48.000\_n}|),$$

[0047] 其中，最小值 $S_{f_{min\_n}}$ 对应的频率值 $f_{min\_n}$ 即为第 $n$ 次计算的电网实际频率 $f_{R\_n}$ ， $f_R$ 即为电网实际频率，测频精度为0.001Hz；频率刷新时间最大不超过21ms。

[0048] 上述实施方式并非是对本发明的限制，本发明也并不仅限于上述举例，本技术领域的技术人员在本发明的技术方案范围内所做出的变化、改型、添加或替换，也均属于本发明的保护范围。

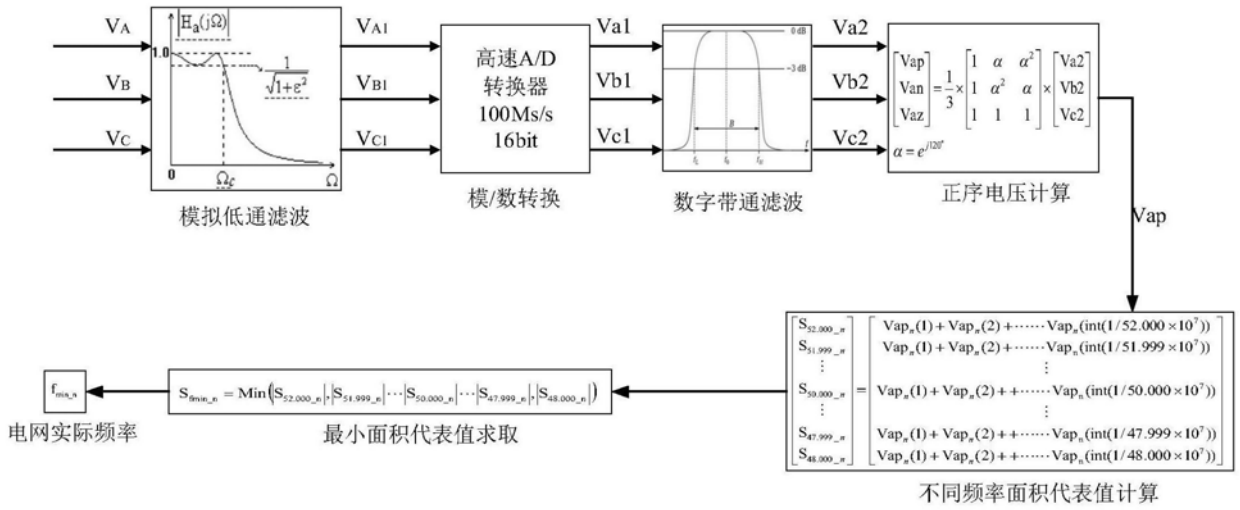


图1