



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113917384 B

(45) 授权公告日 2024.08.16

(21) 申请号 202111336731.X

(22) 申请日 2021.11.12

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113917384 A

(43) 申请公布日 2022.01.11

(73) 专利权人 国网河南省电力公司电力科学研究院

地址 450052 河南省郑州市二七区嵩山南路85号

专利权人 国家电网有限公司

(72) 发明人 李琼林 杨柳 代双寅 刘书铭  
张博 郑晨 唐钰政 王毅

(74) 专利代理机构 北京知己知识产权代理有限公司 41132

专利代理师 姜新宇

(51) Int.Cl.

G01R 35/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109239638 A, 2019.01.18

CN 109470920 A, 2019.03.15

审查员 谢梦琪

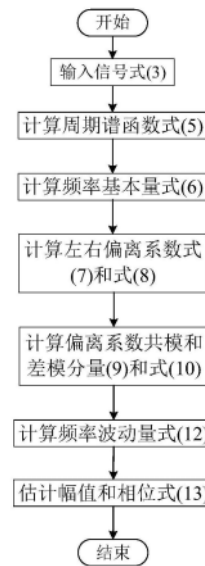
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

电容式电压互感器输出谐波参数估测方法

(57) 摘要

一种电容式电压互感器输出谐波参数估测方法,包括:采样电容式电压互感器在单一频率信号激励下的输出信号,获得多个采样点数据;计算用于估测谐波频率基本值的周期谱函数,求解以周期谱函数最大为优化目标的优化问题,得到谐波频率基本值;计算谐波频率基本值处的左右偏离系数,计算左右偏离系数的共模和差模分量;计算谐波频率的波动值估计系数,估计谐波频率的波动值;估算谐波频率的复向量;根据单一频率信号的复向量和谐波频率的复向量得到电容式电压互感器的谐波变比。它可以准确估测单一频率输入信号激励下,电容式电压互感器输出的谐波参数,提高电容式电压互感器的谐波变比计算精度。



1. 一种电容式电压互感器输出谐波参数估测方法, 其特征在于, 包括以下步骤: 采样电容式电压互感器在单一频率信号激励下的输出信号, 获得多个采样点数据; 计算用于估测谐波频率基本值的周期谱函数, 求解以周期谱函数最大为优化目标的优化问题, 得到谐波频率基本值; 计算谐波频率基本值处的左右偏离系数, 计算左右偏离系数的共模和差模分量; 计算谐波频率的波动值估计系数, 估计谐波频率的波动值; 估算谐波频率的复向量; 根据单一频率信号的复向量和谐波频率的复向量得到电容式电压互感器的谐波变比;

获得输出信号采样点数据的方法是: 设电容式电压互感器在单一频率信号激励下的输出信号 $v_{out}(t)$ 为:

$$v_{out}(t) = \sum_{n=1}^N V_n \sin(2\pi f_n t + \theta_n) + \Psi(t)$$

其中,  $V_n$  为输出信号中第 $n$ 次谐波的幅值,  $f_n$  为输出信号中第 $n$ 次谐波的频率,  $\theta_n$  为输出信号中第 $n$ 次谐波的相位角,  $N$  为需要考虑的最大谐波次数;  $\Psi(t) \sim N(0, \sigma^2)$  为测量高斯白噪声,  $\sigma^2$  为噪声方差;

以采样频率 $f_w$ 对输出信号进行采样, 获得 $M$ 个采样点数据, 采样点数据为:

$$v_{out}(m) = \sum_{n=1}^N V_n^g \exp(j \frac{2\pi}{f_w} \frac{f_n}{M} m) + \Psi(m), m = 0, L, M-1$$

其中,  $V_n^g = V_n \exp(j\theta_n)$ ;

谐波频率 $f_1$ 可分解为:

$$f_1 = \xi_1 + \zeta_1$$

其中,  $\xi_1$  为谐波频率 $f_1$ 的基本值,  $\zeta_1$  为谐波频率 $f_1$ 的波动值;

计算用于估计 $\xi_1$ 的周期谱函数为:

$$A(x) = \left| \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{M} xm\right) \right|^2$$

最大优化求解周期谱函数, 得到 $\xi_1$ :

$$\xi_1 = \arg \max_x A(x) \quad x = 0, 1, \dots, M-1$$

计算左右偏离系数:

$$Q_{left} = \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} (\xi_1 - \lambda)m\right)$$

$$Q_{right} = \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} (\xi_1 + \lambda)m\right)$$

其中,  $\lambda$  为常数, 可在 $(0, 1)$ 范围内调整;

计算左右偏离系数的共模分量 $Q_{com}$ 和差模分量 $Q_{diff}$ :

$$Q_{diff} = Q_{left} - Q_{right}$$

$$Q_{com} = Q_{left} + Q_{right}$$

计算谐波频率的波动值估计系数:

$$q(\lambda) = \frac{\lambda \cos^2(\pi\lambda)}{1 - \pi\lambda \cot(\pi\lambda)}$$

估计谐波频率的波动值：

$$\zeta_1 = q(\lambda) \operatorname{Re} \left\{ \frac{Q_{diff}}{Q_{com}} \right\}$$

估计谐波频率 $f_1$ 的复向量：

$$V_1^g = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp \left( -j \frac{2\pi}{M} (f_1) m \right)$$

计算电容式电压互感器的谐波变比：

$$k(f_1)^g = \frac{V_1^g}{V_{in}^g}$$

式中， $V_{in}^g$  为输入单一频率信号的复向量。

## 电容式电压互感器输出谐波参数估测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电容式电压互感器输出谐波参数测算领域,具体涉及一种电容式电压互感器输出谐波参数估测方法。

### 背景技术

[0002] 电容式电压互感器(CVT)被广泛应用于中性点直接接地高压系统的电压测量,是目前高电压等级系统谐波测量最主要的二次信号来源,但目前国内外标准均明确规定不能将其应用于谐波测量领域。

[0003] 目前的相关研究多集中于对电容式电压互感器(CVT)谐波测量误差的原理分析。通过建立谐波等效电路,给出其对应参数的计算方法,对电容式电压互感器(CVT)谐波测量精度开展理论研究,并通过仿真或实验方法对理论研究结果的正确性进行验证。验证过程中需准确获取CVT在不同频率输入下的输出信号,但由于CVT自身的非线性,单一频率信号输入情况下将导致输出信号含有多个谐波分量,且输出信号中与输入信号频率对应的分量的频率出现偏离。现有研究均忽略了谐波分量的影响,且未准确提取输出信号中对应的分量,导致计算电压传输比的精度不高,影响了对CVT谐波测量特性分析的准确性。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种电容式电压互感器输出谐波参数估测方法,以准确估测单一频率输入信号激励下,电容式电压互感器输出的谐波参数。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 一种电容式电压互感器输出谐波参数估测方法,包括以下步骤:采样电容式电压互感器在单一频率信号激励下的输出信号,获得多个采样点数据;计算用于估测谐波频率基本值的周期谱函数,求解以周期谱函数最大为优化目标的优化问题,得到谐波频率基本值;计算谐波频率基本值处的左右偏离系数,计算左右偏离系数的共模和差模分量;计算谐波频率的波动值估计系数,估计谐波频率的波动值;估算谐波频率的复向量;根据单一频率信号的复向量和谐波频率的复向量得到电容式电压互感器的谐波变比。

[0007] 优选的,获得输出信号采样点数据的方法是:设电容式电压互感器在单一频率信号激励下的输出信号 $v_{out}(t)$ 为:

$$[0008] \quad v_{out}(t) = \sum_{n=1}^N V_n \sin(2\pi f_n t + \theta_n) + \Psi(t) \quad (1)$$

[0009] 其中, $V_n$ 为输出信号中第 $n$ 次谐波的幅值, $f_n$ 为输出信号中第 $n$ 次谐波的频率, $\theta_n$ 为输出信号中第 $n$ 次谐波的相位角, $N$ 为需要考虑的最大谐波次数; $\Psi(t) \sim N(0, \sigma^2)$ 为测量高斯白噪声, $\sigma^2$ 为噪声方差;

[0010] 以采样频率 $f_w$ 对输出信号进行采样,获得 $M$ 个采样点数据,采样点数据为:

$$[0011] \quad v_{out}(m) = \sum_{n=1}^N V_n \exp(j \frac{2\pi f_n f_w}{f_w} m) + \Psi(m), \quad m = 0, L, M-1 \quad (3)$$

[0012] 其中,  $V_n^g = V_n \exp(j\theta_n)$ 。

[0013] 优选的, 谐波频率  $f_1$  可分解为:

$$[0014] \quad f_1 = \xi_1 + \zeta_1 \quad (4)$$

[0015] 其中,  $\xi_1$  为谐波频率  $f_1$  的基本值,  $\zeta_1$  为谐波频率  $f_1$  的波动值;

[0016] 计算用于估计  $\xi_1$  的周期谱函数为:

$$[0017] \quad A(x) = \left| \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{M} xm\right) \right|^2 \quad (5)$$

[0018] 最大优化求解周期谱函数, 得到  $\xi_1$ :

$$[0019] \quad \xi_1 = \arg \max_x A(x) \quad x=0, 1, \dots, M-1 \quad (6)$$

[0020] 计算左右偏离系数:

$$[0021] \quad Q_{left} = \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} (\xi_1 - \lambda)m\right) \quad (7)$$

$$[0022] \quad Q_{right} = \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} (\xi_1 + \lambda)m\right) \quad (8)$$

[0023] 其中,  $\lambda$  为常数, 可在 (0, 1) 范围内调整;

[0024] 计算左右偏离系数的共模分量  $Q_{com}$  和差模分量  $Q_{diff}$ :

$$[0025] \quad Q_{diff} = Q_{left} - Q_{right} \quad (9)$$

$$[0026] \quad Q_{com} = Q_{left} + Q_{right} \quad (10)$$

[0027] 计算谐波频率的波动值估计系数:

$$[0028] \quad q(\lambda) = \frac{\lambda \cos^2(\pi\lambda)}{1 - \pi\lambda \cot(\pi\lambda)} \quad (11)$$

[0029] 估计谐波频率的波动值:

$$[0030] \quad \zeta_1 = q(\lambda) \operatorname{Re} \left\{ \frac{Q_{diff}}{Q_{com}} \right\} \quad (12)$$

[0031] 估计谐波频率  $f_1$  的复向量:

$$[0032] \quad V_1^g = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{M} (f_1)m\right) \quad (13)$$

[0033] 计算电容式电压互感器的谐波变比:

$$[0034] \quad k(f_1) = \frac{V_1^g}{V_{in}^g} \quad (14)$$

[0035] 式中,  $V_{in}^g$  为输入单一频率信号的复向量。

[0036] 本发明的有益效果是:

[0037] 1. 本发明方法可有效避免电容式电压互感器非线性造成的输出信号频率波动, 有效避免其他谐波成分影响, 同时有效应对测量噪声, 提高了 CVT 谐波变比计算的精度, 该方法计算简单, 具有良好实际应用价值。

## 附图说明

[0038] 图1为一种本发明的电容式电压互感器输出谐波参数估测方法的流程图。

## 具体实施方式

[0039] 下面结合附图,以实施例的形式说明本发明,以辅助本技术领域的技术人员理解和实现本发明。除另有说明外,不应脱离本技术领域的技术知识背景理解以下的实施例及其中的技术术语。

[0040] 设电容式电压互感器在单一频率信号激励下的输出信号 $v_{out}(t)$ 为:

$$[0041] \quad v_{out}(t) = \sum_{n=1}^N V_n \sin(2\pi f_n t + \theta_n) + \Psi(t) \quad (1)$$

[0042] 其中, $V_n$ 为输出信号中第 $n$ 次谐波的幅值, $f_n$ 为输出信号中第 $n$ 次谐波的频率, $\theta_n$ 为输出信号中第 $n$ 次谐波的相位角, $N$ 为需要考虑的最大谐波次数; $\Psi(t) \sim N(0, \sigma^2)$ 为测量高斯白噪声, $\sigma^2$ 为噪声方差。

[0043] 以采样频率 $f_w$ 对输出信号进行采样,获得 $M$ 个采样点数据,采样点数据为:

$$[0044] \quad v_{out}(m) = \sum_{n=1}^N V_n \sin\left(2\pi \frac{nf_w f_n}{f_w} m + \theta_n\right) + \Psi(m), \quad m = 0, L, M-1 \quad (2)$$

[0045] 进一步可得到:

$$[0046] \quad v_{out}(m) = \sum_{n=1}^N V_n^g \exp\left(j \frac{2\pi}{f_w} \frac{f_n}{M} m\right) + \Psi(m), \quad m = 0, L, M-1 \quad (3)$$

[0047] 其中: $V_n^g = V_n \exp(j\theta_n)$ ,  $j$ 是复数的虚部符号;

[0048] 谐波频率 $f_1$ 可分解为:

$$[0049] \quad f_1 = \xi_1 + \zeta_1 \quad (4)$$

[0050] 其中 $\xi_1$ 和 $\zeta_1$ 分别为谐波频率 $f_1$ 的基本值和波动值。

[0051] 步骤(1):计算用于估计 $\xi_1$ 的周期谱函数为:

$$[0052] \quad A(x) = \left| \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{M} xm\right) \right|^2 \quad (5)$$

[0053] 步骤(2):采用成熟优化方法求解如下优化问题,得到 $\xi_1$ :

$$[0054] \quad \xi_1 = \arg \max_x A(x) \quad x = 0, 1, \dots, M-1 \quad (6)$$

[0055] 步骤(3):计算左右偏离系数:

$$[0056] \quad Q_{left} = \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} (\xi_1 - \lambda)m\right) \quad (7)$$

$$[0057] \quad Q_{right} = \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} (\xi_1 + \lambda)m\right) \quad (8)$$

[0058] 其中, $\lambda$ 为常数,可在 $(0, 1)$ 范围内调整;

[0059] 步骤(4):计算偏离系数的共模分量、差模分量:

$$[0060] \quad Q_{diff} = Q_{left} - Q_{right} \quad (9)$$

$$[0061] \quad Q_{com} = Q_{left} + Q_{right} \quad (10)$$

[0062] 步骤(5):计算谐波频率的波动值估计系数:

$$[0063] \quad q(\lambda) = \frac{\lambda \cos^2(\pi\lambda)}{1 - \pi\lambda \cot(\pi\lambda)} \quad (11)$$

[0064] 步骤(6):估计谐波频率的波动值:

$$[0065] \quad \zeta_1 = q(\lambda) \operatorname{Re} \left\{ \frac{Q_{diff}}{Q_{com}} \right\} \quad (12)$$

[0066] 步骤(7):估计谐波频率 $f_1$ 的复向量:

$$[0067] \quad V_1^g = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} v_{out}(m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{M} (f_1)m\right) \quad (13)$$

[0068] 步骤(8):计算电容式电压互感器的谐波变比:

$$[0069] \quad k(f_1)^g = \frac{V_1^g}{V_{in}^g} \quad (14)$$

[0070] 式中, $V_{in}^g$ 为输入单一频率信号的复向量。

[0071] 可以看到,根据本文方法可有效避免电容式电压互感器非线性造成的输出信号频率波动,有效避免其他谐波成分影响,同时有效应对测量噪声,提高了电容式电压互感器谐波变比计算的精度,同时该方法计算简单,具有良好实际应用价值。

[0072] 上面结合附图和实施例对本发明作了详细的说明。应当明白,实践中无法穷尽地说明所有可能的实施方式,在此通过举例说明的方式尽可能的阐述本发明得发明构思。在不脱离本发明的发明构思、且未付出创造性劳动的前提下,本技术领域的技术人员对上述实施例中的技术特征进行取舍组合、具体参数进行试验变更,或者利用本技术领域的现有技术对本发明已公开的技术手段进行常规替换形成的具体的实施例,均应属于为本发明隐含公开的内容。

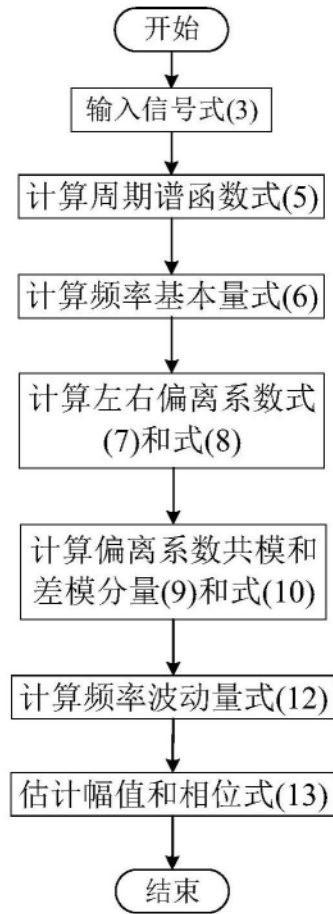


图1