



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106324315 B

(45)授权公告日 2018.05.18

(21)申请号 201610680771.9

(22)申请日 2016.08.17

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106324315 A

(43)申请公布日 2017.01.11

(73)专利权人 云南电网有限责任公司电力科学  
研究院

地址 650217 云南省昆明市经济技术开发  
区云大西路105号

(72)发明人 翟少磊 朱梦梦 曹敏 杨超  
付志红 林聪 于辉 沈鑫

(74)专利代理机构 北京弘权知识产权代理事务  
所(普通合伙) 11363

代理人 逯长明 许伟群

(51)Int.Cl.

G01R 15/18(2006.01)

G01R 23/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 104836770 A,2015.08.12,

刘冬梅.Rogowski线圈宽范围电流测量的研  
究.《中国优秀硕士论文信息科技辑》.2016,第  
61-74页.

审查员 张序

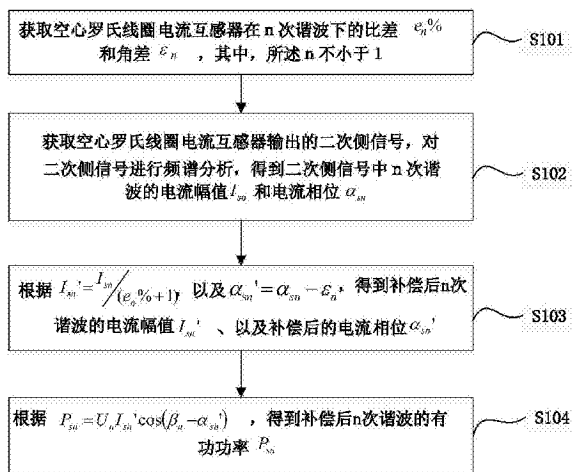
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性  
补偿方法

(57)摘要

本发明实施例公开了一种空心罗氏线圈电  
流互感器的谐波特性补偿方法,包括:获取空心  
罗氏线圈电流互感器在n次谐波下的比差 $e_n\%$ 和  
角差 $\varepsilon_n$ ,其中,n不小于1;获取空心罗氏线圈电  
流互感器输出的二次侧信号,对二次侧信号进行  
频谱分析,得到二次侧信号中n次谐波的电流幅  
值 $I_{sn}$ 和电流相位 $\alpha_{sn}$ ;根据 $I_{sn}' = I_{sn}/(e_n\% + 1)$ 以  
及 $\alpha_{sn}' = \alpha_{sn} - \varepsilon_n$ ,得到补偿后n次谐波的电流  
幅值 $I_{sn}'$ 、以及补偿后的电流相位 $\alpha_{sn}'$ 。利用空  
心罗氏线圈电流互感器在n次谐波下的比差 $e_n\%$   
和角差 $\varepsilon_n$ 对不同二次侧信号进行谐波补偿,补  
偿精确度高,通用性强,大幅提升了空心罗氏线  
圈电流互感器在用于高精度电能计量时的准确  
性和可靠性。



1. 一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,其特征在于,包括:
  - 获取空心罗氏线圈电流互感器在n次谐波下的比差 $\epsilon_n\%$ 和角差 $\epsilon_n$ ,其中,所述n不小于1;
  - 获取所述空心罗氏线圈电流互感器输出的二次侧信号,对所述二次侧信号进行频谱分析,得到所述二次侧信号中n次谐波的电流幅值 $I_{sn}$ 和电流相位 $\alpha_{sn}$ ,其中,对所述二次侧信号进行频谱分析包括,
    - 对所述二次侧信号以10周波时间长度为单位进行截断,得到截断后的信号;
    - 计算所述截断后的信号相邻周波间信号的绝对最大值的比值;
    - 判断所述比值是否大于预设阈值;
    - 如果所述比值大于所述预设阈值,则将所述截断后的信号采用滑动窗Esprit算法进行频谱分析;
    - 如果所述比值小于所述预设阈值,则将所述截断后的信号采用加窗插值FFT算法进行频谱分析;
  - 根据 $I_{sn}' = I_{sn} / (\epsilon_n\% + 1)$ 以及 $\alpha_{sn}' = \alpha_{sn} - \epsilon_n$ ,得到补偿后n次谐波的电流幅值 $I_{sn}'$ 、以及补偿后的电流相位 $\alpha_{sn}'$ 。
2. 根据权利要求1所述的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,其特征在于,所述方法还包括:
  - 根据 $P_{sn} = U_n I_{sn}' \cos(\beta_n - \alpha_{sn}')$ ,得到所述补偿后n次谐波的有功功率 $P_{sn}$ ;
  - 其中, $U_n$ 为所述二次侧信号中n次谐波的电压幅值, $\beta_n$ 为所述二次侧信号中n次谐波的电压相角 $\beta_n$ 。
3. 根据权利要求1所述的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,其特征在于,获取空心罗氏线圈电流互感器在n次谐波下的比差 $\epsilon_n\%$ 和角差 $\epsilon_n$ ,包括:
  - 将n次谐波信号输入所述空心罗氏线圈电流互感器,其中,所述n次谐波信号的电流幅值为 $I_{an}$ ,电流相位为 $\alpha_{an}$ ;
  - 获取所述空心罗氏线圈电流互感器输出信号的电流幅值 $I_{bn}$ 和电流相位 $\alpha_{bn}$ ;
  - 根据 $\epsilon_n\% = (k I_{bn} - I_{an}) / I_{an} \cdot 100\%$ ,得到所述n次谐波对应的比差 $\epsilon_n\%$ ;
  - 根据 $\epsilon_n = \alpha_{bn} - \alpha_{an}$ ,得到所述n次谐波对应的角差 $\epsilon_n$ 。
4. 根据权利要求1所述的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,其特征在于,所述滑动窗Esprit算法的滑动窗口大小为所述截断后的信号的2个周波信号长度。
5. 根据权利要求1所述的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,其特征在于,所述加窗插值FFT算法为加汉宁窗插值FFT算法。

## 一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电气技术领域,特别是涉及一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法。

### 背景技术

[0002] 随着中国智能电网的发展,对变电站的智能化和数字化要求越来越高,规模不断加大。智能变电站技术应用,带来常规测量方式向数字式测量方式改变,理论上数字式测量方式能提高测量系统的准确性和可靠性,是智能变电站测量技术发展方向。电子式互感器是数字化变电站区别与常规变电站的重要标志,它的应用是智能变电站技术体系中重要的一个环节,是全站可靠运行的基础。

[0003] 电子式互感器的应用取得了一系列进展,特别是空心罗氏线圈电流互感器,由于其线性传递特性、电流可实时测量、响应速度快、不会饱和及几乎没有相位误差的特点,故其可应用于继电保护、可控硅整流、变频调速和电阻焊等信号严重畸变的场合,以及电炉、短路测试和雷电信号采集等大电流的场合。

[0004] 但是,在现场运行过程中,随着非线性负载大量应用,电力信号中谐波大量出现,使得空心罗氏线圈电流互感器在这些非正弦信号情况下存在传变误差,严重影响其在电能计量方面的应用和推广。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例中提供了一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,以解决现有技术中的空心罗氏线圈在谐波情况下电能计量误差问题。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明实施例公开了如下技术方案:

[0007] 本发明实施例提供一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,包括:

[0008] 获取空心罗氏线圈电流互感器在 $n$ 次谐波下的比差 $e_n\%$ 和角差 $\epsilon_n$ ,其中,所述 $n$ 不小于1;

[0009] 获取所述空心罗氏线圈电流互感器输出的二次侧信号,对所述二次侧信号进行频谱分析,得到所述二次侧信号中 $n$ 次谐波的电流幅值 $I_{sn}$ 和电流相位 $\alpha_{sn}$ ;

[0010] 根据 $I_{sn}' = I_{sn} / (e_n\% + 1)$ ,以及 $\alpha_{sn}' = \alpha_{sn} - \epsilon_n$ ,得到补偿后 $n$ 次谐波的电流幅值 $I_{sn}'$ 、以及补偿后的电流相位 $\alpha_{sn}'$ 。

[0011] 优选的,所述方法还包括:

[0012] 根据 $P_{sn} = U_n I_{sn}' \cos(\beta_n - \alpha_{sn}')$ ,得到所述补偿后 $n$ 次谐波的有功功率 $P_{sn}$ ;

[0013] 其中, $U_n$ 为所述二次侧信号中 $n$ 次谐波的电压幅值, $\beta_n$ 为所述二次侧信号中 $n$ 次谐波的电压相角 $\beta_n$ 。

[0014] 优选的,获取空心罗氏线圈电流互感器在 $n$ 次谐波下的比差 $e_n\%$ 和角差 $\epsilon_n$ ,包括:

[0015] 将已知 $n$ 次谐波信号输入所述空心罗氏线圈电流互感器,其中,所述 $n$ 次谐波信号的电流幅值为 $I_{an}$ ,电流相位为 $\alpha_{an}$ ;

- [0016] 获取所述空心罗氏线圈电流互感器输出信号的电流幅值 $I_{bn}$ , 电流相位 $\alpha_{bn}$ ;
- [0017] 根据 $e_n\% = (kI_{bn} - I_{an}) / I_{an} \cdot 100\%$ , 得到所述比差 $e_n\%$ ;
- [0018] 根据 $\varepsilon_n = \alpha_{bn} - \alpha_{an}$ , 得到所述角差 $\varepsilon_n$ 。
- [0019] 优选的, 对所述二次侧信号进行频谱分析, 包括:
- [0020] 对所述二次侧信号以10周波时间长度为单位进行截断;
- [0021] 计算所述截断后的信号相邻周波间信号的绝对最大值的比值;
- [0022] 判断所述比值是否大于预设阈值;
- [0023] 如果所述比值大于所述预设阈值, 则将所述截断后的信号采用滑动窗Esprit算法进行频谱分析;
- [0024] 如果所述比值小于所述预设阈值, 则将所述截断后的信号采用加汉宁窗插值FFT算法进行频谱分析。
- [0025] 优选的, 所述滑动窗Esprit算法的滑动窗口大小为所述截断后的信号的2个周波时间长度。
- [0026] 优选的, 所述加窗插值FFT算法为加汉宁窗插值FFT算法。
- [0027] 由以上技术方案可见, 本发明实施例提供的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法通过获取空心罗氏线圈电流互感器在 $n$ 次谐波下的比差和角差, 获取空心罗氏线圈电流互感器输出的二次侧信号的 $n$ 次谐波的电流幅值和电流相角, 然后利用获取到的比差和角差, 分别对 $n$ 次谐波的电流幅值和电流相角进行幅值校正和相位校正, 从而实现了对空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿, 提升了空心罗氏线圈电流互感器在用于高精度电能计量时的准确性和可靠性; 由于空心罗氏线圈电流互感器的比差和角差与一次侧信号无关, 因此, 获取的空心罗氏线圈电流互感器的比差和角差可应用于不同一次侧信号对应的二次侧信号的谐波特性补偿, 通用性强。

## 附图说明

- [0028] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 对于本领域普通技术人员而言, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。
- [0029] 图1为本发明实施例提供的一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法的流程示意图;
- [0030] 图2为图1中获取空心罗氏线圈电流互感器在 $n$ 次谐波下的比差 $e_n\%$ 和角差 $\varepsilon_n$ 的方法的流程示意图;
- [0031] 图3为图1中对空心罗氏线圈电流互感器的二次侧信号进行频谱分析的方法的流程示意图。

## 具体实施方式

- [0032] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明中的技术方案, 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都应当属于本发明保护

的范围。

[0033] 参见图1,为本发明实施例提供的一种空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法的流程示意图,具体包括如下步骤:

[0034] S101:获取空心罗氏线圈电流互感器在n次谐波下的比差 $e_n\%$ 和角差 $\epsilon_n$ ,其中,n不小于1。

[0035] 空心罗氏线圈电流互感器为线性互感器,其不同谐波下的比差和角差为恒定值,可通过对已知n次谐波信号进行频率相应测试得到,如图2所示,为本发明实施例提供的获取空心罗氏线圈电流互感器在n次谐波下的比差 $e_n\%$ 和角差 $\epsilon_n$ 的方法的流程示意图,具体包括如下步骤:

[0036] S1011:将n次谐波信号输入空心罗氏线圈电流互感器,其中,n次谐波信号的电流幅值为 $I_{an}$ ,电流相位为 $\alpha_{an}$ ;

[0037] 具体的,将已知电流幅值为 $I_{an}$ 、电流相位为 $\alpha_{an}$ 的n次谐波信号输入空心罗氏线圈电流互感器。在获得空心罗氏线圈电流互感器输出端信号之后,需重复该步骤,以获得空心罗氏线圈电流互感器在不同谐波下的比差和角差。

[0038] S1012:获取空心罗氏线圈电流互感器输出信号的电流幅值 $I_{bn}$ 和电流相位 $\alpha_{bn}$ ;

[0039] S1013:根据 $e_n\% = (kI_{bn} - I_{an}) / I_{an} \cdot 100\%$ ,得到n次谐波对应的比差 $e_n\%$ ;

[0040] 其中,互感器的比差即为比值误差,即互感器的二次侧电流(电压)乘上额定变比与一次侧电流(电压)的差,对一次侧电流(电压)的百分数。式中,k为额定变比。在本发明实施例中,空心罗氏线圈电流互感器的一次侧的n次谐波信号和二次侧的n次谐波信号均为电流信号,因此可以得出空心罗氏线圈电流互感器的比差公式为 $e_n\% = (kI_{bn} - I_{an}) / I_{an} \cdot 100\%$ ,式中,k为额定变比,然后将一次侧信号的电流幅值 $I_{an}$ 以及步骤S1012中获得的二次侧信号的电流幅值 $I_{bn}$ 代入上述比差公式中,便可以得出n次谐波的比差 $e_n\%$ 。

[0041] S1014:根据 $\epsilon_n = \alpha_{bn} - \alpha_{an}$ ,得到n次谐波对应的角差 $\epsilon_n$ 。

[0042] 其中,互感器的角差即为互感器一次侧信号与二次侧信号的相位之差。在本发明实施例中,可以得出空心罗氏线圈电流互感器的角差公式为 $\epsilon_n = \alpha_{bn} - \alpha_{an}$ ,然后将一次侧电流相位 $\alpha_{an}$ 以及步骤S1012中获得的二次侧电流相位 $\alpha_{bn}$ 代入上述角差公式中,便可以得出n次谐波的角差 $\epsilon_n$ 。

[0043] S102:获取空心罗氏线圈电流互感器输出的二次侧信号,对二次侧信号进行频谱分析,得到二次侧信号中n次谐波的电流幅值 $I_{sn}$ 和电流相位 $\alpha_{sn}$ 。

[0044] 具体的,在空心罗氏线圈电流互感器的工作现场,获取空心罗氏线圈电流互感器输出的二次侧信号 $i_s$ ,对二次侧信号 $i_s$ 进行频谱分析,如图3所示,为本发明实施例提供的对空心罗氏线圈电流互感器的二次侧信号 $i_s$ 进行频谱分析的方法的流程示意图,具体包括如下步骤:

[0045] S1021:获取空心罗氏线圈电流互感器的二次侧信号;

[0046] 具体的,在空心罗氏线圈电流互感器的工作现场,将一次侧电流信号 $i_p$ 接入空心罗氏线圈电流互感器的输入端,在空心罗氏线圈电流互感器的输出端获取二次侧电流信号 $i_s$ 。

[0047] S1022:对二次侧信号以10周波时间长度为单位进行截断,得到截断后的信号;

[0048] 其中,对二次侧信号 $i_s$ 采用10周波时间长度的数据窗进行截断分析,符合IEC

(International Electro technical Commission, 国际电工委员会) 标准中对电网频率为 50Hz 信号进行加窗处理的建议, 为后续算法奠定了基础。

[0049] S1023: 计算截断后的信号相邻周波间信号的绝对最大值的比值;

[0050] S1024: 判断比值是否大于预设阈值;

[0051] 具体的, 如果比值大于所述预设阈值, 则将截断后的信号采用滑动窗 Esprit 算法进行频谱分析; 如果比值小于所述预设阈值, 则将截断后的信号采用加窗插值 FFT 算法进行频谱分析。

[0052] 其中, 滑动窗 Esprit 算法的滑动窗口大小为截断后的信号的 2 个周波信号长度, 加窗插值 FFT 算法为加汉宁窗插值 FFT 算法。

[0053] 加汉宁窗插值 FFT 算法具有信号处理速度快、精度高、稳定性强等优点, 但只能应用于纯谐波信号的分析, 由于实际信号中会含有少量间谐波信号, 因此, 利用滑动窗 Esprit 算法具有无限频率分辨率的特性, 对上述间谐波信号进行分析, 扩大了整个频谱分析算法的适用范围, 能够对非平稳信号进行频谱分析。而应用滑动窗 Esprit 算法进行频谱分析时, 信号的幅值和相位易受 LS 自身特点和噪声影响, 时间窗口取 2 个周波信号长度, 能有效保证计算精度。频谱分析采用滑动窗 Esprit 算法和加汉宁窗算法相结合的方式, 能够对一次侧非平稳信号进行谐波分析, 同时兼顾了计算精度和效率。

[0054] S1025: 得到二次侧电流幅值和电流相位。

[0055] 具体的, 根据滑动窗 Esprit 算法和加汉宁窗插值 FFT 算法的频谱分析结果, 得到空心罗氏线圈电流互感器的二次侧信号  $i_s$  的电流幅值  $I_{sn}$  和电流相位  $\alpha_{sn}$ 。

[0056] S103: 根据  $I_{sn}' = I_{sn} / (e_n \% + 1)$  以及  $\alpha_{sn}' = \alpha_{sn} - \epsilon_n$ , 得到补偿后  $n$  次谐波的电流幅值  $I_{sn}'$ 、以及补偿后的电流相位  $\alpha_{sn}'$ 。

[0057] 其中, 补偿后  $n$  次谐波的电流幅值为  $I_{sn}'$ , 根据空心罗氏线圈电流互感器的一次侧信号与二次侧信号之间有额定变比关系, 得到一次侧信号  $i_p$  的电流幅值为  $kI_{sn}'$ , 然后将电流幅值  $kI_{sn}'$  和步骤 S1025 中获得的电流幅值  $I_{sn}$  带入上述比差公式中, 便可以得到  $e_n \% = (kI_{sn} - kI_{sn}') / (kI_{sn}') \cdot 100\%$ , 计算后得出补偿后  $n$  次谐波的电流幅值  $I_{sn}'$ ;

[0058] 空心罗氏线圈电流互感器的二次侧信号  $i_s$  中的  $n$  次谐波信号补偿之后的电流相位  $\alpha_{sn}'$ , 与一次侧信号  $i_p$  中的  $n$  次谐波信号的电流相位相同, 将步骤 S1014 中得到的角差  $\epsilon_n$  和步骤 S1025 中得到的电流相位  $\alpha_{sn}$  代入上述角差公式, 便可以得到  $\epsilon_n = \alpha_{sn} - \alpha_{sn}'$ , 得出  $n$  次谐波补偿之后的电流相位  $\alpha_{sn}'$ 。

[0059] S104: 根据  $P_{sn} = U_n I_{sn}' \cos(\beta_n - \alpha_{sn}')$ , 得到补偿后  $n$  次谐波的有功功率  $P_{sn}$ 。

[0060] 其中,  $U_n$  为二次侧信号中  $n$  次谐波的电压幅值,  $\beta_n$  为二次侧信号中  $n$  次谐波的电压相角  $\beta_n$ 。根据  $n$  次谐波的有功功率计算公式:  $P = UI \cos \varphi$ , 式中,  $U$  为  $n$  次谐波的电压,  $I$  为  $n$  次谐波的电流,  $\varphi$  为  $n$  次谐波电压与电流的相位差, 得到补偿后  $n$  次谐波的有功功率  $P_{sn}$ , 实现精确地电能计量。

[0061] 进一步的, 对空心罗氏线圈电流互感器的二次侧信号进行谐波补偿之后, 谐波补偿之后的二次侧信号与一次侧信号的幅值符合空心罗氏线圈电流互感器的额定变比关系, 角差可忽略不计, 根据谐波补偿之后的二次侧信号, 最终得到一次侧谐波信号, 因此, 本发明实施例提供的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法还对分析空心罗氏线圈电流互感器的一次侧谐波信号具有重要意义。

[0062] 由上述实施例可见,本发明实施例提供的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,通过利用空心罗氏线圈电流互感器对已知 $n$ 次谐波信号进行分析,分别获取空心罗氏线圈电流互感器一次侧和二次侧 $n$ 次谐波信号的电流幅值和一次侧和二次侧 $n$ 次谐波信号的电流相角,计算出空心罗氏线圈电流互感器在不同谐波下的比差和角差,为后续谐波补偿奠定基础;针对实际未知一次侧信号,对空心罗氏线圈电流互感器输出的二次侧信号进行频谱分析,根据频谱分析结果对二次侧信号进行校正。本发明实施例提供的空心罗氏线圈电流互感器的谐波特性补偿方法,补偿依据合理充分,补偿效果优异,大大提高了空心罗氏线圈电流互感器在用于高精度电能计量时的准确性和可靠性。谐波特性补偿是对空心罗氏线圈电流互感器输出端的二次侧电流信号的谐波特性补偿,补偿方法是非侵入补偿方法,不改变空心罗氏线圈电流互感器的线圈的原有线性频带传输特性。通过改变频谱分析算法,实现在一次侧信号为正弦信号和非正弦信号、平稳信号和动态非平稳信号的空心罗氏线圈电流互感器的电能计量误差校正,通用性强。

[0063] 需要说明的是,在本文中,诸如“第一”和“第二”等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0064] 以上所述仅是本发明的具体实施方式,使本领域技术人员能够理解或实现本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

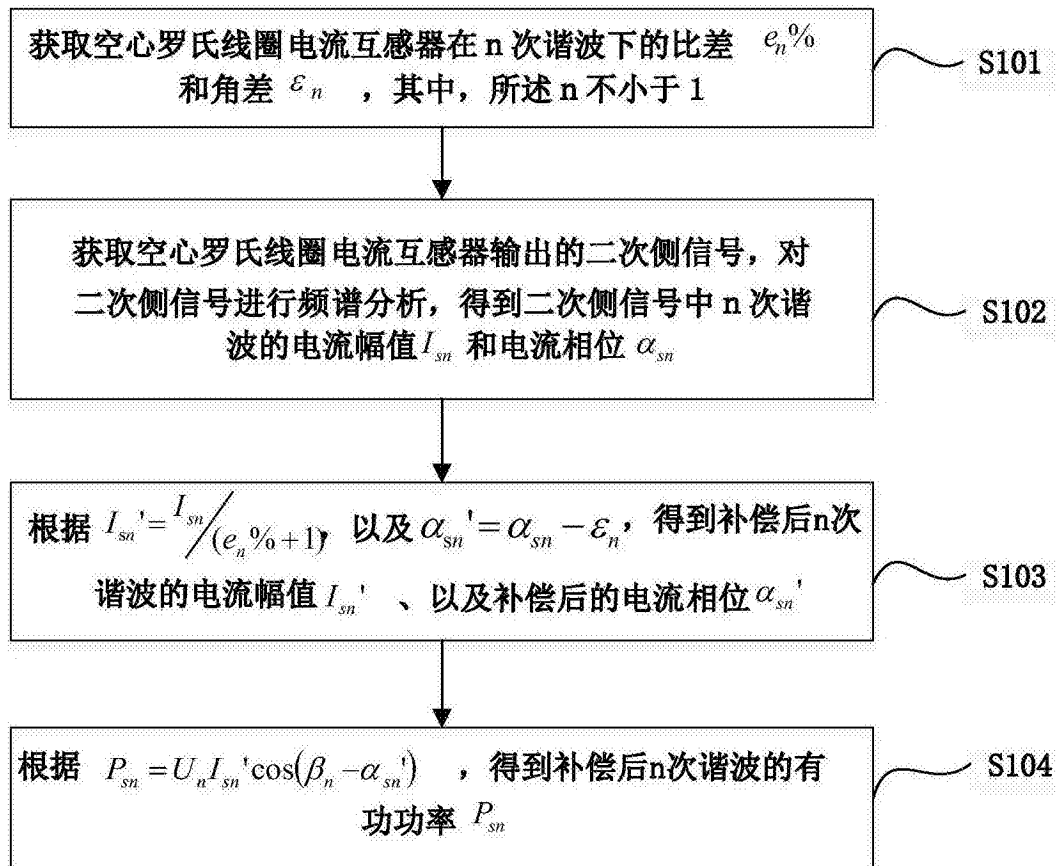


图1

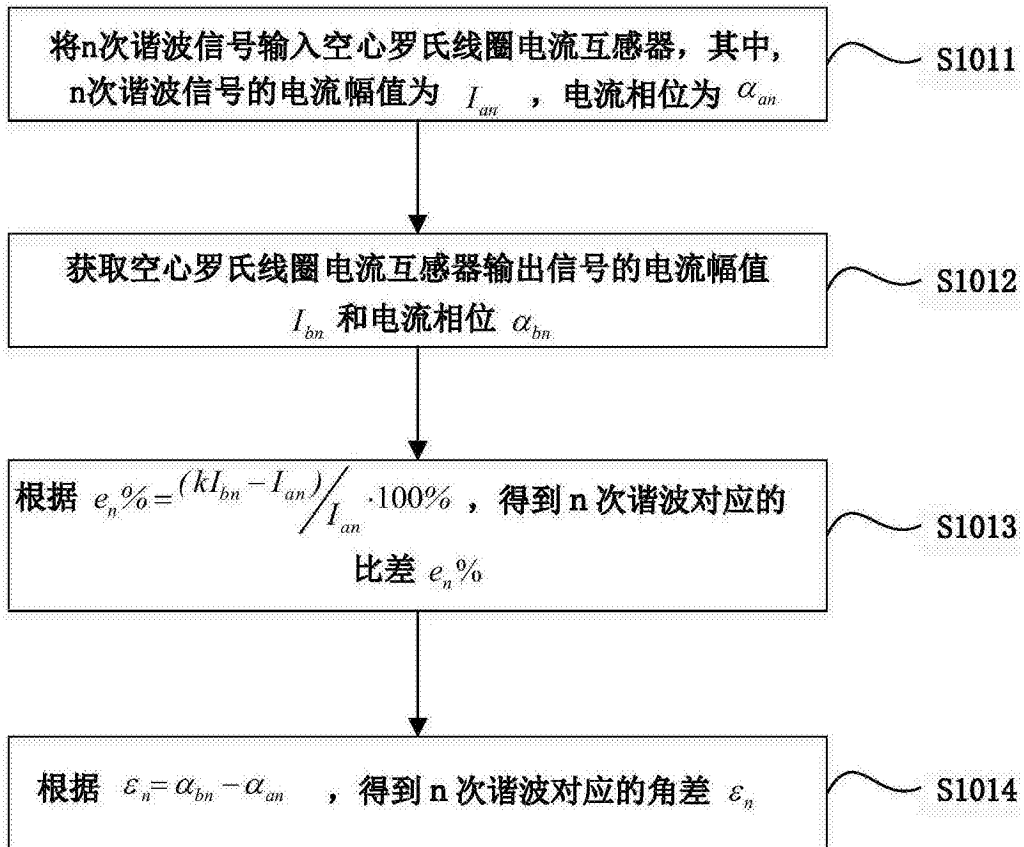


图2

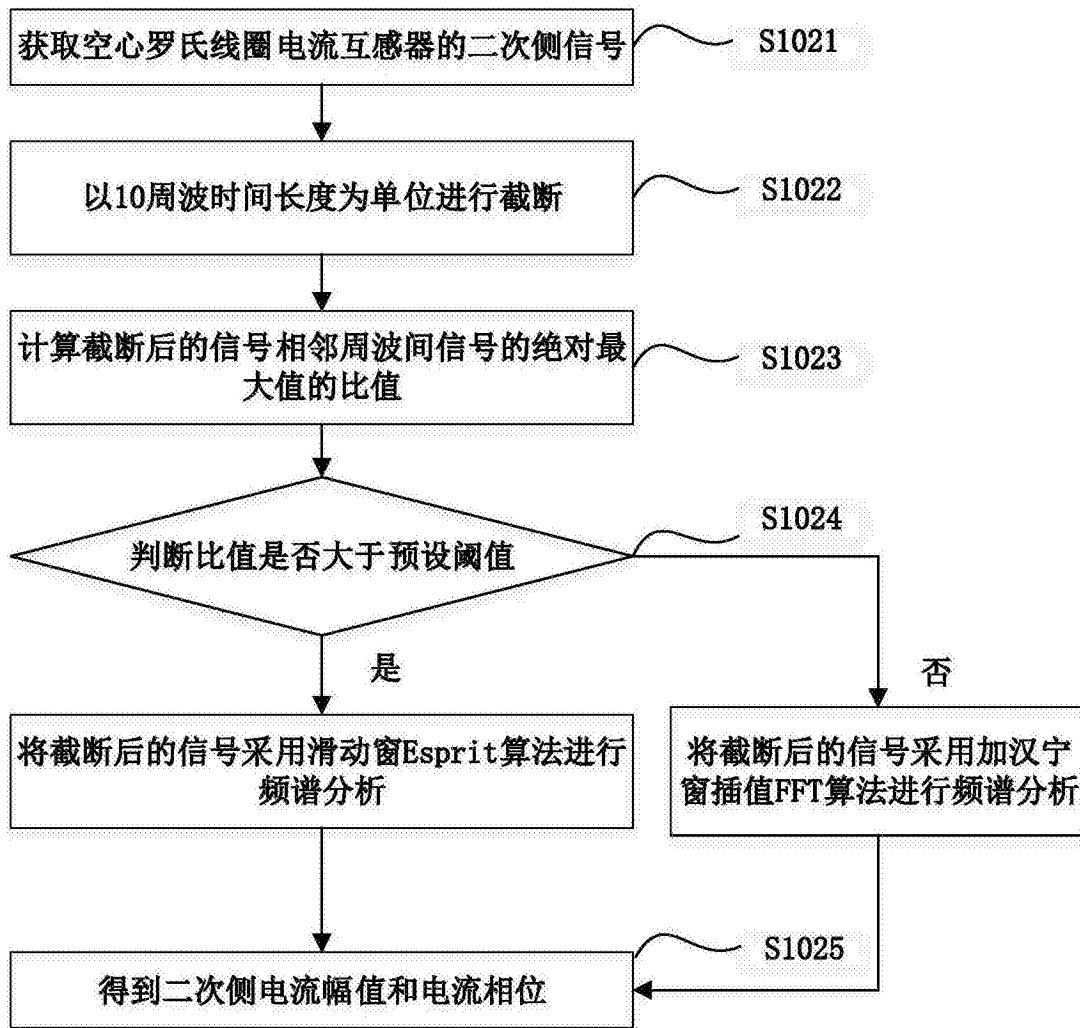


图3