



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113591029 B

(45) 授权公告日 2023.06.30

(21) 申请号 202110865249.9

(22) 申请日 2021.07.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113591029 A

(43) 申请公布日 2021.11.02

(73) 专利权人 东方电气集团东方电机有限公司
地址 618000 四川省德阳市旌阳区黄河西路188号

(72) 发明人 刘雄 王勇 倪海雁 赵政雷
铎林 刘云平 黄杨森

(74) 专利代理机构 成都天嘉专利事务所(普通合伙) 51211

专利代理师 冉鹏程

(51) Int. Cl.

G06F 17/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 112504511 A, 2021.03.16

CN 104133506 A, 2014.11.05

CN 204030866 U, 2014.12.17

CN 108847799 A, 2018.11.20

JP 2013146155 A, 2013.07.25

Claudio Sciascera等. Analytical Thermal Model for Fast Stator Winding Temperature Prediction.《IEEE Transactions on Industrial Electronics》. 2017, 第64卷(第8期), 第6116-6126页.

何群等. 基于相关主成分分析和极限学习机的风电机组主轴承状态监测研究.《计量学报》. 2018, 第39卷(第01期), 第89-93页.

审查员 何俊伟

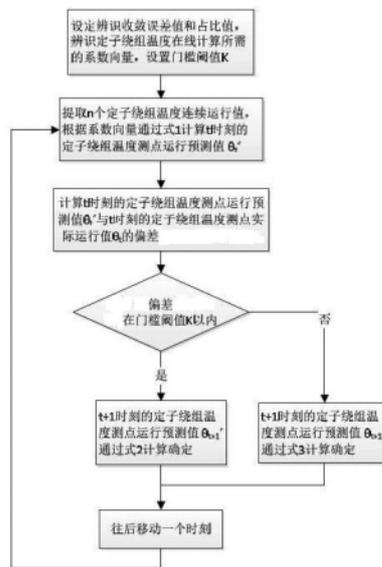
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

一种定子绕组温度在线计算方法

(57) 摘要

本发明公开了一种定子绕组温度在线计算方法,属于发电机技术领域,其特征在于,包括以下步骤:a、辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量,设置阈值K;b、计算t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t ;c、若偏差在阈值K以内时,则 θ'_{t+1} 通过式2计算确定;d、若偏差超出阈值K时,则 θ'_{t+1} 通过式3计算确定;e、往后移动一个时刻,跳转步骤b,如此反复。本发明无需注入高频信号,避免了发电机安全风险,适用于不同负载工况,对定子绕组各个温度测点的适配性高,能够满足各测点个性化的运行特征,实时在线计算得出定子绕组局部温度,且计算精度高,极大的提高了对发电机健康评估的效果。



1. 一种定子绕组温度在线计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

a、设定辨识收敛误差值和占比值,辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量,设置门槛阈值K;

b、提取n个定子绕组温度连续运行值,根据系数向量通过式1计算t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t ;

$$\theta'_t = \alpha_1 \theta_{t-1} + \alpha_2 \theta_{t-2} + \cdots + \alpha_n \theta_{t-n} + \varphi \quad \text{式 1}$$

式中, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值, $\theta_{t-1}, \theta_{t-2} \cdots \theta_{t-n}$ 为t时刻以前的定子绕组温度测点实际运行值, $\alpha_1, \alpha_2 \cdots \alpha_n$ 为加权系数向量, φ 为扰动量;

c、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差在门槛阈值K以内时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式2计算确定;

$$\theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t+1-i} + \varphi \quad \text{式 2}$$

式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t+1-i} 为t+1-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

d、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差超出门槛阈值K时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式3计算确定;

$$\theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t-i} + \varphi \quad \text{式 3}$$

式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t-i} 为t-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

e、往后移动一个时刻,跳转步骤b,如此反复。

2. 根据权利要求1所述的一种定子绕组温度在线计算方法,其特征在于:所述t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差采用绝对偏差 σ ,绝对偏差 σ 通过式4计算;

$$\sigma = |\theta_t - \theta'_t| \quad \text{式 4}$$

式中, σ 为绝对偏差, θ_t 为t时刻的定子绕组温度测点实际运行值, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值。

3. 根据权利要求1所述的一种定子绕组温度在线计算方法,其特征在于:所述t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差采用相对偏差 λ ,相对偏差 λ 通过式5计算;

$$\lambda = |\theta_t - \theta'_t| / \theta_t \quad \text{式 5}$$

式中, λ 为相对偏差, θ_t 为t时刻的定子绕组温度测点实际运行值, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值。

一种定子绕组温度在线计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及到发电机技术领域,尤其涉及一种定子绕组温度在线计算方法。

背景技术

[0002] 大型发电机的定子绕组放在定子铁芯的槽内,直线部分处于旋转的主磁场中,感应出高电压与大电流,输向电网。定子绕组作为发电机能量转换及输出电能的关键部件,其运行状态的优劣直接影响整个机组能否安全稳定运行。由于大型发电机的定子绕组电流很大,功率在300MW和600MW的汽轮发电机定子电流分别超过10000A和20000A,因此定子绕组是发电机损耗发热最大的部件之一。

[0003] 统计数据表明,定子热故障是发电机的常见故障,由于定子绕组温度是该类故障的关键性征兆,因此,每个电厂对定子绕组温度给予格外的关注,以水内冷的大型汽轮发电机为例,定子绕组的进出水端都装有温度检测计,同时,在每个槽的上下层线棒之间也都埋有槽内检温计。目前电厂普遍采用固定极限值报警机制,即设置一个温度极限值,一旦布置在定子绕组上的温度测点数据超过该值,就发出报警信号,提醒电厂监控人员确认与处理,温度极限报警值一般根据设计或相关标准来进行设定,对于大型水内冷汽轮发电机,定子绕组出水端温度报警值是85℃,槽内报警值是90℃。这种报警机制是在发电机定子绕组出现明显故障并达到极限时才报警,然而为满足电网要求,大型发电机组的运行方式较以往更为灵活,频繁地深度调峰,长时间低负荷运行,使得定子电流远低于额定电流,相应地,定子绕组出水端与槽内温度对比正常额定工况也低得多,在这种情况下,当出现早期热故障但并没超过极限值时,固定极限报警的监控作用就大大减弱了,不能有效及时地发现定子热故障的早期征兆。

[0004] 公开号为CN 108847799A,公开日为2018年11月20日的中国专利文献公开了一种基于信号注入的PMSM定子绕组温度在线检测的方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0005] 步骤一,建立永磁同步电机定子绕组的实时温度观测方法;

[0006] 步骤二,在步骤一的温度观测方法中加入最优注入信号策略。

[0007] 该专利文献公开的基于信号注入的PMSM定子绕组温度在线检测的方法,通过在线估计永磁同步电机定子绕组温度,能够监测电机健康状况,防止过温发生,还可用于主动热管理电机优化控制中,有利于提高电驱动系统性能。但是,需要注入高频信号,通过辨识定子电阻的变化,间接估计出定子温度,对大型发电机而言,存在的问题是:一是在线实时注入高频信号对处于大电流高电压运行中的定子绕组存在安全隐患,可能引发电力系统故障;二是通过定子电阻变化估计定子绕组温度,这一温度值是运行中定子绕组的平均温度,对大型发电机而言,定子绕组一般长达4-8米,因局部发热和通风条件的差异,存在着明显的温度梯度,定子绕组冷却水出水温度相较进水温度,可高出20℃以上,因此平均温度对定子绕组运行健康状态评估的实际效用较差。

发明内容

[0008] 本发明为了克服上述现有技术的缺陷,提供一种定子绕组温度在线计算方法,本发明通过引入以往时刻温度的正常运行值,无需注入高频信号,避免了发电机安全运行风险,适用于不同负载工况,对定子绕组各个温度测点的适配性高,能够满足各测点个性化的运行特征,实时在线计算得出定子绕组局部温度,且计算精度高,极大的提高了对发电机健康评估的效果。

[0009] 本发明通过下述技术方案实现:

[0010] 一种定子绕组温度在线计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0011] a、设定辨识收敛误差值和占比值,辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量,设置门槛值K;

[0012] b、提取n个定子绕组温度连续运行值,根据系数向量通过式1计算t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t ;

$$[0013] \quad \theta'_t = \alpha_1 \theta_{t-1} + \alpha_2 \theta_{t-2} + \dots + \alpha_n \theta_{t-n} + \varphi \quad \text{式 1}$$

[0014] 式中, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值, $\theta_{t-1}, \theta_{t-2}, \dots, \theta_{t-n}$ 为t时刻以前的定子绕组温度测点实际运行值, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 为加权系数向量, φ 为扰动量;

[0015] c、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差在门槛值K以内时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式2计算确定;

$$[0016] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t+1-i} + \varphi \quad \text{式 2}$$

[0017] 式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t+1-i} 为t+1-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0018] d、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差超出门槛值K时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式3计算确定;

$$[0019] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t-i} + \varphi \quad \text{式 3}$$

[0020] 式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t-i} 为t-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0021] e、往后移动一个时刻,跳转步骤b,如此反复。

[0022] 所述步骤a中,辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量具体是指选定系数向量总数n值,选取一段时间定子绕组温度测点的连续运行数据,设定系数向量迭代初始值,通过最小二乘法或神经网络辨识系数向量,统计辨识过程中计算误差稳定后,判断误差小于收敛误差值的数量占总数的比例值是否达标,若否,则重新选定系数向量总数n值,调整参数继续辨识;若是,则输出系数向量 $[\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]$ 。

[0023] 所述t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际

运行值 θ_t 的偏差采用绝对偏差 σ ,绝对偏差 σ 通过式4计算;

$$[0024] \quad \sigma = |\theta_t - \theta'_t| \quad \text{式4}$$

[0025] 式中, σ 为绝对偏差, θ_t 为t时刻的定子绕组温度测点实际运行值, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值。

[0026] 所述t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差采用相对偏差 λ ,相对偏差 λ 通过式5计算;

$$[0027] \quad \lambda = |\theta_t - \theta'_t| / \theta_t \quad \text{式5}$$

[0028] 式中, λ 为相对偏差, θ_t 为t时刻的定子绕组温度测点实际运行值, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值。

[0029] 本发明的基本原理如下:

[0030] 大型发电机的热容量大,且机组功率变化速率在一定范围内,因此部件温度的变化也相对较慢,而一般大型电厂的温度采样周期均很短,约为1s左右,这些温度数据上传至电厂的管理信息大区,其时间间隔也在10s以内,因此正常情况下,定子绕组温度测点的运行值与前一段时间该测点运行的温度数据大有关联,并且相邻时间越短,关联越大,这种关联性在通过对几个大型火电厂的运行数据进行长期监视后已得到验证。

[0031] 本发明的有益效果主要表现在以下方面:

[0032] 1、本发明,通过引入以往时刻温度的正常运行值,无需注入高频信号,避免了发电机安全运行风险,适用于不同负载工况,对定子绕组各个温度测点的适配性高,能够满足各测点个性化的运行特征,实时在线计算得出定子绕组局部温度,且计算精度高,极大的提高了对发电机健康评估的效果。

[0033] 2、本发明,依据定子绕组运行温度特性,仅引入近期温度运行值及一组系数向量就能够描述定子绕组温度测点所在局部的正常运行特征,实时在线计算得出定子绕组局部温度,而不是定子绕组的平均温度,因而对发电机健康评估的有效性更好。

[0034] 3、本发明,适用于发电机灵活性运行的不同负载工况,可对定子绕组各温度测点分别建模,提取出符合各自运行特征的系数向量,以此构建高精度计算模型,相对计算误差能够控制在1%以内,确保计算精度。

附图说明

[0035] 下面将结合说明书附图和具体实施方式对本发明作进一步的具体说明:

[0036] 图1为本发明的流程框图;

[0037] 图2为本发明系数向量辨识流程框图;

[0038] 图3为本发明应用实例定子绕组温度在线计算与实际运行值对比曲线的辨识效果图;

[0039] 图4为本发明应用实例定子绕组温度在线计算相对误差曲线的辨识效果图;

[0040] 图5为本发明应用实例定子绕组温度在线计算与实际运行值对比曲线的实际运用效果图;

[0041] 图6为本发明应用实例定子绕组温度在线计算相对误差曲线的实际运用效果图。

具体实施方式

[0042] 实施例1

[0043] 参见图1和图2,一种定子绕组温度在线计算方法,包括以下步骤:

[0044] a、设定辨识收敛误差值和占比值,辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量,设置阈值K;

[0045] b、提取n个定子绕组温度连续运行值,根据系数向量通过式1计算t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t ;

$$[0046] \quad \theta'_t = \alpha_1 \theta_{t-1} + \alpha_2 \theta_{t-2} + \dots + \alpha_n \theta_{t-n} + \varphi \quad \text{式 1}$$

[0047] 式中, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值, $\theta_{t-1}, \theta_{t-2}, \dots, \theta_{t-n}$ 为t时刻以前的定子绕组温度测点实际运行值, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 为加权系数向量, φ 为扰动量;

[0048] c、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差在阈值K以内时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式2计算确定;

$$[0049] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t+1-i} + \varphi \quad \text{式 2}$$

[0050] 式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t+1-i} 为t+1-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0051] d、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差超出阈值K时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式3计算确定;

$$[0052] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t-i} + \varphi \quad \text{式 3}$$

[0053] 式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t-i} 为t-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0054] e、往后移动一个时刻,跳转步骤b,如此反复。

[0055] 本实施例为最基本的实施方式,通过引入以往时刻温度的正常运行值,无需注入高频信号,避免了发电机安全运行风险,适用于不同负载工况,对定子绕组各个温度测点的适配性高,能够满足各测点个性化的运行特征,实时在线计算得出定子绕组局部温度,且计算精度高,极大的提高了对发电机健康评估的效果。

[0056] 实施例2

[0057] 参见图1和图2,一种定子绕组温度在线计算方法,包括以下步骤:

[0058] a、设定辨识收敛误差值和占比值,辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量,设置阈值K;

[0059] b、提取n个定子绕组温度连续运行值,根据系数向量通过式1计算t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t ;

$$[0060] \quad \theta'_t = \alpha_1 \theta_{t-1} + \alpha_2 \theta_{t-2} + \cdots + \alpha_n \theta_{t-n} + \varphi \quad \text{式 1}$$

[0061] 式中, θ'_t 为 t 时刻的定子绕组温度测点运行预测值, $\theta_{t-1}, \theta_{t-2} \dots \theta_{t-n}$ 为 t 时刻以前的定子绕组温度测点实际运行值, $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ 为加权系数向量, φ 为扰动量;

[0062] c、若 t 时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与 t 时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差在阈值 K 以内时, 则 t+1 时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式 2 计算确定;

$$[0063] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t+1-i} + \varphi \quad \text{式 2}$$

[0064] 式中, θ'_{t+1} 为 t+1 时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t+1-i} 为 t+1-i 时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0065] d、若 t 时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与 t 时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差超出阈值 K 时, 则 t+1 时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式 3 计算确定;

$$[0066] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t-i} + \varphi \quad \text{式 3}$$

[0067] 式中, θ'_{t+1} 为 t+1 时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t-i} 为 t-i 时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0068] e、往后移动一个时刻, 跳转步骤 b, 如此反复。

[0069] 所述步骤 a 中, 辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量具体是指选定系数向量总数 n 值, 选取一段时间定子绕组温度测点的连续运行数据, 设定系数向量迭代初始值, 通过最小二乘法或神经网络辨识系数向量, 统计辨识过程中计算误差稳定后, 判断误差小于收敛误差值的数量占总数的比例值是否达标, 若否, 则重新选定系数向量总数 n 值, 调整参数继续辨识; 若是, 则输出系数向量 $[\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n]$ 。

[0070] 本实施例为较佳实施方式, 依据定子绕组运行温度特性, 仅引入近期温度运行值及一组系数向量就能够描述定子绕组温度测点所在局部的正常运行特征, 实时在线计算出定子绕组局部温度, 而不是定子绕组的平均温度, 因而对发电机健康评估的有效性更好。

[0071] 实施例 3

[0072] 参见图 1 和图 2, 一种定子绕组温度在线计算方法, 包括以下步骤:

[0073] a、设定辨识收敛误差值和占比值, 辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量, 设置阈值 K;

[0074] b、提取 n 个定子绕组温度连续运行值, 根据系数向量通过式 1 计算 t 时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t ;

$$[0075] \quad \theta'_t = \alpha_1 \theta_{t-1} + \alpha_2 \theta_{t-2} + \cdots + \alpha_n \theta_{t-n} + \varphi \quad \text{式 1}$$

[0076] 式中, θ'_t 为 t 时刻的定子绕组温度测点运行预测值, $\theta_{t-1}, \theta_{t-2} \dots \theta_{t-n}$ 为 t 时刻以前的定子绕组温度测点实际运行值, $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ 为加权系数向量, φ 为扰动量;

[0077] c、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差在门槛阈值K以内时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式2计算确定;

$$[0078] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t+1-i} + \varphi \quad \text{式 2}$$

[0079] 式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t+1-i} 为t+1-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0080] d、若t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差超出门槛阈值K时,则t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_{t+1} 通过式3计算确定;

$$[0081] \quad \theta'_{t+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \theta_{t-i} + \varphi \quad \text{式 3}$$

[0082] 式中, θ'_{t+1} 为t+1时刻的定子绕组温度测点运行预测值, α_i 为加权系数向量, θ_{t-i} 为t-i时刻的定子绕组温度测点实际运行值, φ 为扰动量;

[0083] e、往后移动一个时刻,跳转步骤b,如此反复。

[0084] 所述步骤a中,辨识定子绕组温度在线计算所需的系数向量具体是指选定系数向量总数n值,选取一段时间定子绕组温度测点的连续运行数据,设定系数向量迭代初始值,通过最小二乘法或神经网络辨识系数向量,统计辨识过程中计算误差稳定后,判断误差小于收敛误差值的数量占总数的比例值是否达标,若否,则重新选定系数向量总数n值,调整参数继续辨识;若是,则输出系数向量 $[\alpha_1, \alpha_2 \cdots \alpha_n]$ 。

[0085] 所述t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差采用绝对偏差 σ ,绝对偏差 σ 通过式4计算;

$$[0086] \quad \sigma = |\theta_t - \theta'_t| \quad \text{式4}$$

[0087] 式中, σ 为绝对偏差, θ_t 为t时刻的定子绕组温度测点实际运行值, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值。

[0088] 所述t时刻的定子绕组温度测点运行预测值 θ'_t 与t时刻的定子绕组温度测点实际运行值 θ_t 的偏差采用相对偏差 λ ,相对偏差 λ 通过式5计算;

$$[0089] \quad \lambda = |\theta_t - \theta'_t| / \theta_t \quad \text{式5}$$

[0090] 式中, λ 为相对偏差, θ_t 为t时刻的定子绕组温度测点实际运行值, θ'_t 为t时刻的定子绕组温度测点运行预测值。

[0091] 本实施例为最佳实施方式,适用于发电机灵活性运行的不同负载工况,可对定子绕组各温度测点分别建模,提取出符合各自运行特征的系数向量,以此构建高精度计算模型,相对计算误差能够控制在1%以内,确保计算精度。

[0092] 下面结合具体应用实例对本发明进行说明:

[0093] 为验证本发明的计算精度,选取某电厂2号1000MW发电机一段时间的定子绕组温度实际运行数据来进行测试与验证。

[0094] 选定系数向量元素总数n值为3,收敛相对误差值为1%。利用最小二乘法辨识得到

的系数向量为 $[0.5243, 0.2246, 0.2511]$ ，辨识效果参见图3和图4。相对误差范围为 $(-0.6\%, 0.6\%)$ ，符合既定要求，系数向量可用。

[0095] 将上述系数向量应用到后续一个时段的定子绕组温度计算中，其实际运用效果参见图5和图6。为展示直观方便，本次测试仅使用了很少一段时间的电厂实际数据，对于长时间的实时在线定子绕组温度计算，本方明方法的计算精度和效果均很好。

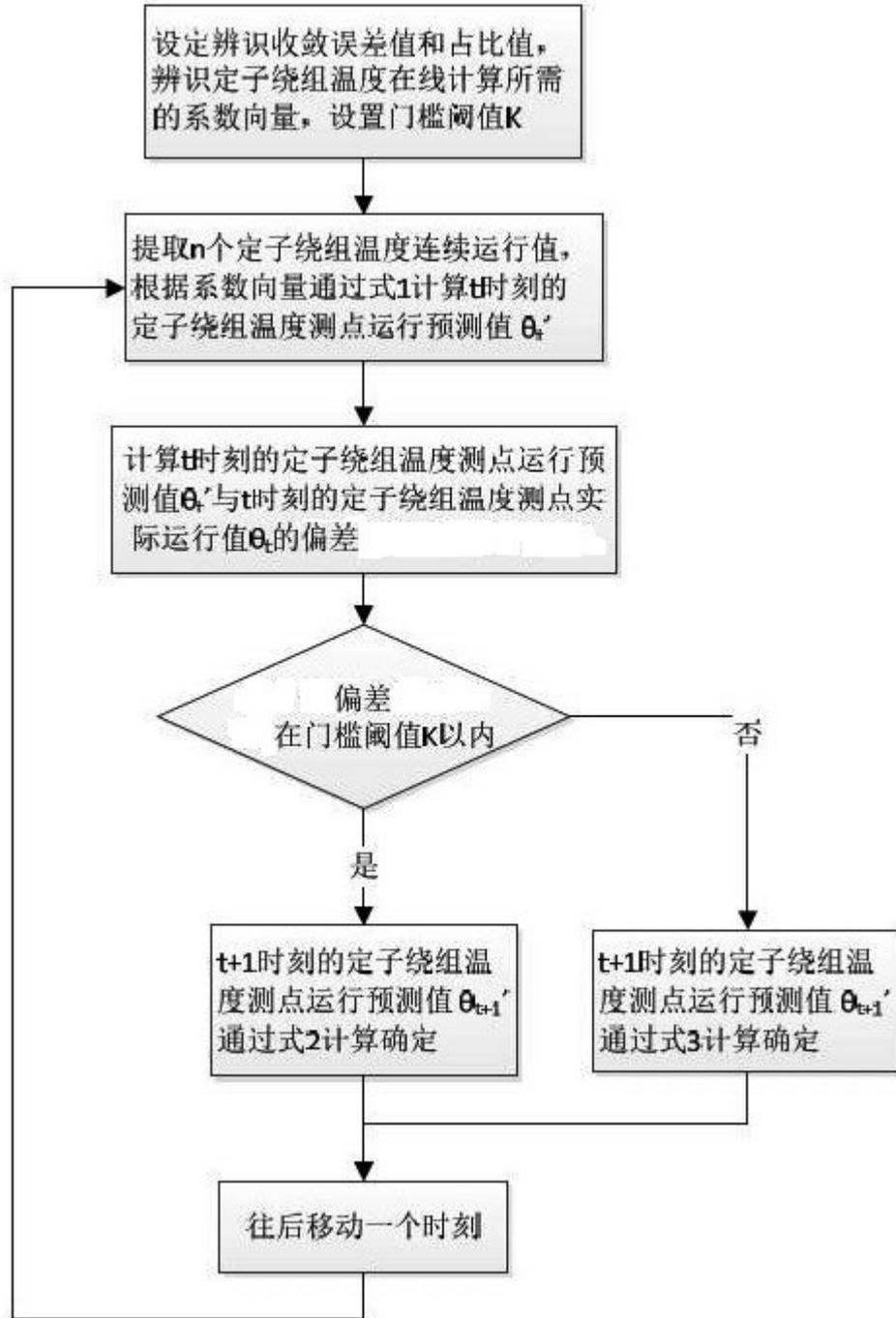


图 1

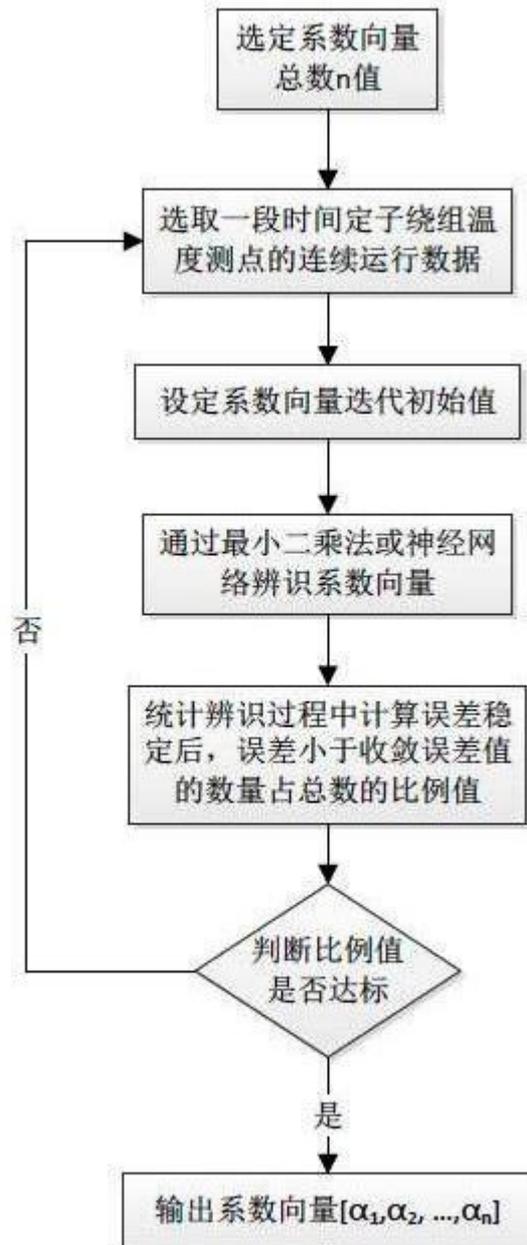


图 2

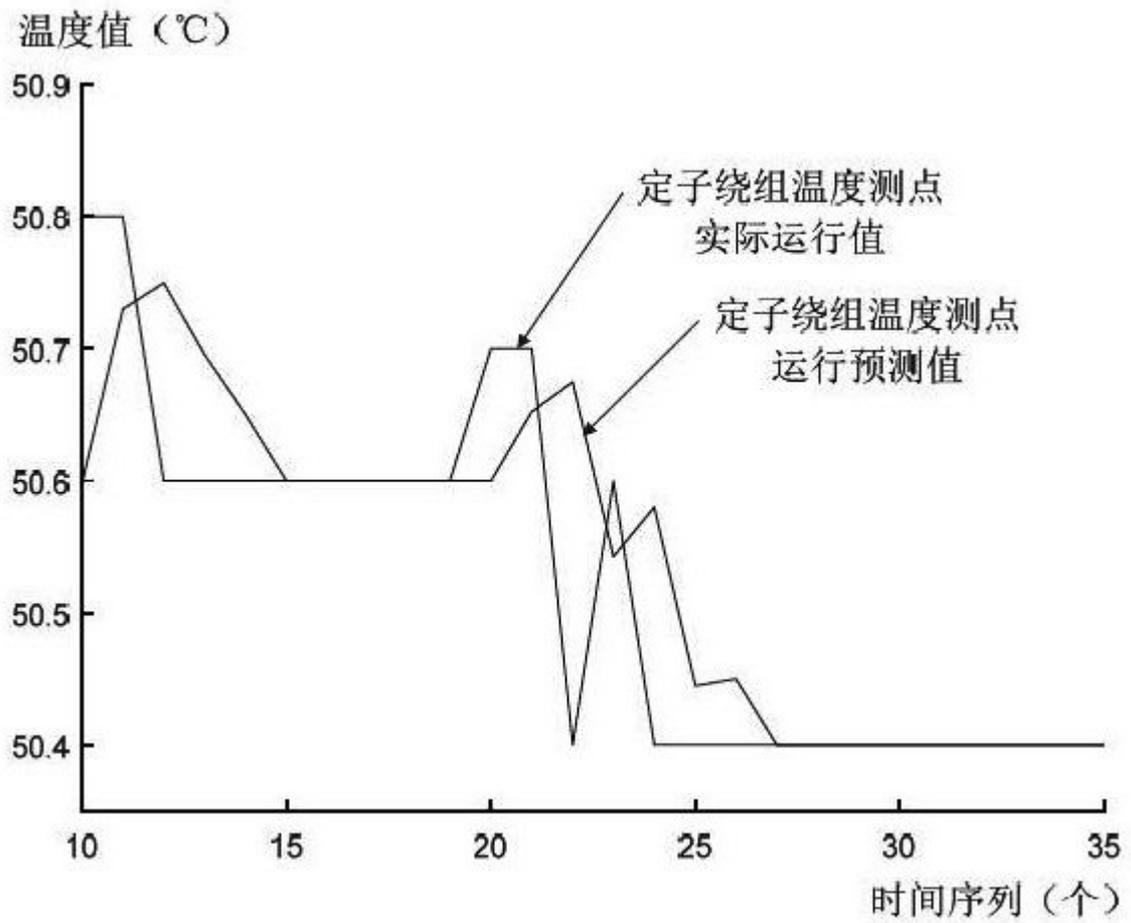


图 3

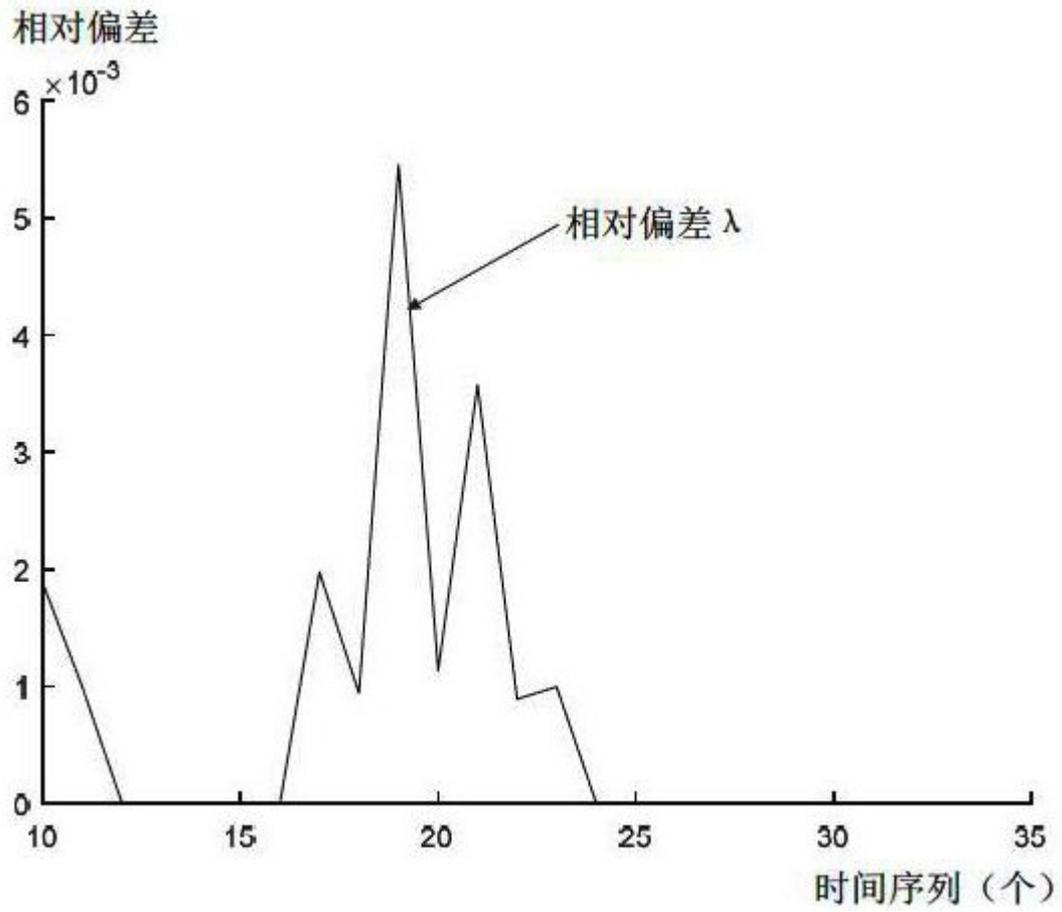


图 4

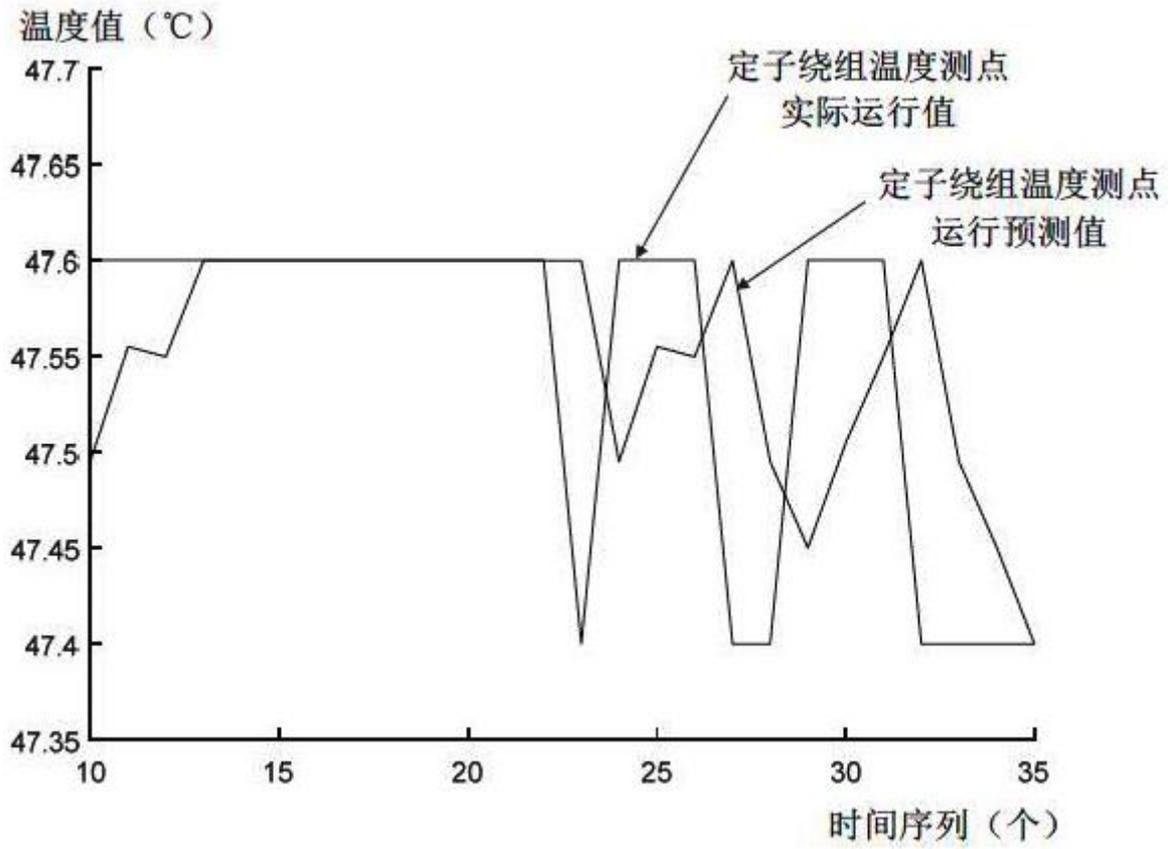


图 5

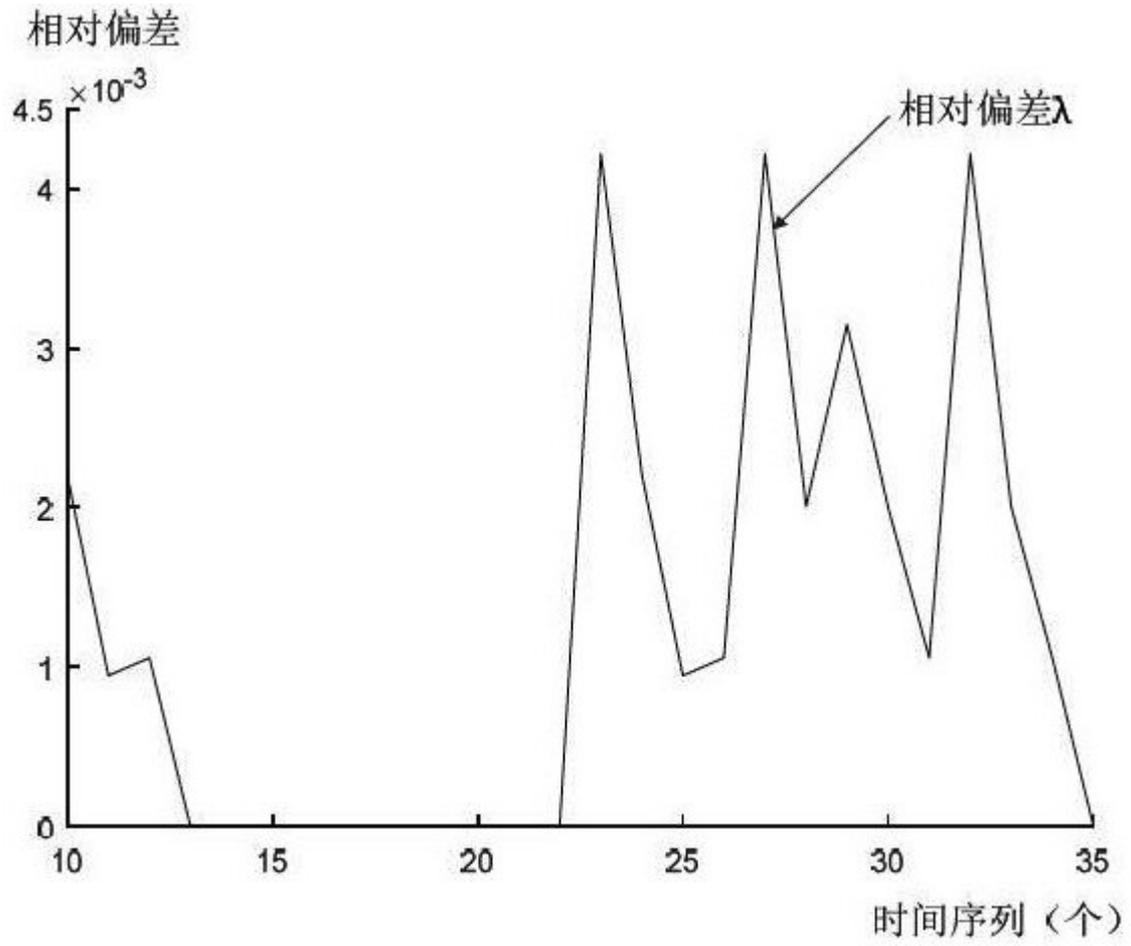


图 6