



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112083284 B

(45) 授权公告日 2021.10.12

(21) 申请号 202010926121.4

CN 104155582 A, 2014.11.19

(22) 申请日 2020.09.07

CN 107064741 A, 2017.08.18

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110542833 A, 2019.12.06

申请公布号 CN 112083284 A

CN 106786424 A, 2017.05.31

(43) 申请公布日 2020.12.15

CN 103954884 A, 2014.07.30

(73) 专利权人 昆明理工大学

CN 104052033 A, 2014.09.17

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路
253

CN 104483598 A, 2015.04.01

CN 110221176 A, 2019.09.10

US 2008211511 A1, 2008.09.04

WO 2004068151 A1, 2004.08.12

(72) 发明人 束洪春 高钰莹 董俊 安娜
梁雨婷 薄志谦

张大波等.基于相差统计的小电流单相接地
选线新判据.《电力系统自动化》.2007,第31卷
(第11期),

(74) 专利代理机构 昆明明润知识产权代理事务
所(普通合伙) 53215

齐郑等.配电网单相接地故障区段定位矩阵
算法的研究.《电力系统保护与控制》.2010,第38
卷(第20期),

代理人 王鹏飞

董俊等.放射型馈线故障段的主-被动联合
检出方法.《电力系统自动化》.2020,第44卷(第
11期),

(51) Int. Cl.

G01R 31/08 (2006.01)

G01R 25/00 (2006.01)

G01R 31/52 (2020.01)

G01R 31/58 (2020.01)

审查员 朱刘路

(56) 对比文件

CN 102928739 A, 2013.02.13

权利要求书2页 说明书5页 附图6页

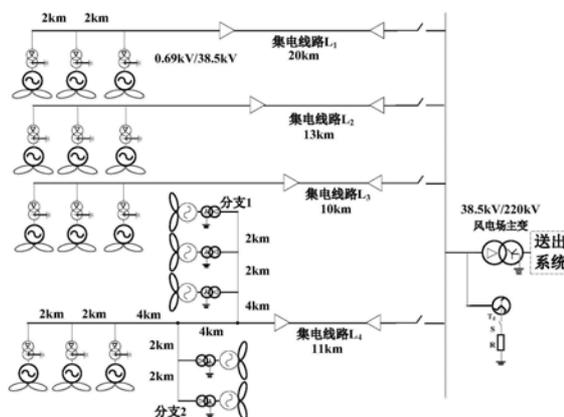
(54) 发明名称

一种风电场集电线路故障区段与故障分支
识别方法

仅采用风电场集电线路零序电流构造判据识别
故障区段及分支,原理简单,贴合工程实际应用。

(57) 摘要

本发明涉及一种风电场集电线路故障区段
与故障分支识别方法,属于电力系统继电保护技
术领域。首先提取集电线路各个测点的故障后
一个周波的零序电流数据,并选用Hanning窗函
数对其进行加窗处理,计算得到加窗后的零序电
流序列值。对各个测点加窗后的零序电流序列值
进行FFT变换,得到变换后的零序电流序列值,计
算两个相邻测点的零序电流故障分量相位谱及
其相位谱均值。若相邻两个测点均在主干线上,
根据故障区段识别判据判断该区段是否故障;若
两个相邻测点分别位于主干线、分支上,则根据
故障分支识别判据判断该分支是否故障。本发明



CN 112083284 B

1. 一种风电场集电线路故障区段与故障分支识别方法,其特征在于:首先提取集电线路各个测点的故障后一个周波的零序电流数据,并选用Hanning窗函数对其进行加窗处理,得到加窗后的零序电流序列值,对各个测点加窗后的零序电流序列值进行FFT变换,得到变换后的零序电流序列值,计算两个相邻测点的零序电流故障分量相位谱及其相位谱均值,若相邻两个测点均在主干线上,根据故障区段识别判据判断该区段是否故障,若两个相邻测点分别位于主干线、分支上,则根据故障分支识别判据判断该分支是否故障;

具体步骤为:

Step1:首先选用Hanning窗函数根据式(1)计算Hanning卷积窗并归一化,提取各个测点故障后一个周波的零序电流数据,对其进行加窗处理,根据式(2)分别计算得到 $2N-1$ 项的零序电流序列 $i_{0w_H}(n)$;

$$\overline{w_H^p(n)} = \frac{\sum_{x=-\infty}^{+\infty} w_H^{p-1}(x) \cdot w_H(n-x)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \quad (1)$$

$$i_{0w_H}(n) = \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(2\pi h f_0 n / f_s + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \quad (2)$$

Step2:对各个测点的 $i_{0w_H}(n)$ 分别进行FFT变换,得到 $I_{0w_k}(k)$,根据式(3)~(4)分别计算各个测点的 $I_{0w_k}(k)$ 的实部 $\text{Re} I_{0w_k}(k)$ 和虚部 $\text{Im} I_{0w_k}(k)$;

$$\text{Re} I_{0w_k}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(W_N^{i,n} + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \cos W_N^{kn} \quad (3)$$

$$\text{Im} I_{0w_k}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(W_N^{i,n} + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \sin W_N^{kn} \quad (4)$$

Step3:根据式(5)分别求取两个相邻测点u、v的零序电流故障分量的相位谱 $\phi_u(k)$ 、 $\phi_v(k)$;

$$\phi_{I_{0w_k}}(k) = \arctan \left[\text{Re} I_{0w_k}(k) / \text{Im} I_{0w_k}(k) \right] \quad (5)$$

Step4:根据式(6)求取第u、v个测点零序电流故障分量的相位差序列均值 $\Delta \phi_{u-v}$;

$$\Delta \phi_{u-v} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} |\phi_u(k) - \phi_v(k)| \quad (6)$$

Step5:若第u、v个测点均在主干线上,则根据式(7)判断该区段是否故障;

若第u个测点位于主干线、而第v个测点位于分支,则根据式(8)判断分支是否故障;

$$\begin{cases} \text{若}\Delta\phi_{u-v}\in[0^\circ,5^\circ],\text{则为健全区段} \\ \text{若}\Delta\phi_{u-v}\in[160^\circ,180^\circ],\text{则为故障区段} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \text{若}\Delta\phi_{u-v}\in[0^\circ,5^\circ],\text{则为故障分支} \\ \text{若}\Delta\phi_{u-v}\in[160^\circ,180^\circ],\text{则为健全分支} \end{cases} \quad (8)。$$

一种风电场集电线路故障区段与故障分支识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风电场集电线路故障区段与故障分支识别方法,属于电力系统继电保护技术领域。

背景技术

[0002] 与传统单侧电源辐射型的配电网结构类似,许多大型风电场在地理分布上多呈现出多分支的特征,在风电场中下游风机一般为辐射式或链式的接线形式。然而,沿袭配网的一般性架构,风电场一般在与母线直接相连的初级馈线出口装设可获取三相电流、母线三相电压、零序电流、母线零序电压等多种电气量的传感器。只在集电线路主干线出口设置断路器,对其下游分支线路并没有设置测点及断路器,仅在风机箱变高压侧设置熔断器,切除故障风机。当下游分支架空线发生单相接地时,只能靠集电线路出口断路器切除故障。如此以来,整条集电线路被切除,将导致大量风机脱网。

[0003] 为实现风电场单相接地故障的选择性切除,除应深入对集电线路的单相接地保护进行改进外,还需从集电线路结构入手,借助配网故障识别及保护的理论和理论,合理且有针对性的为复杂集电线路及分支线路关键节点装设测点。确定故障集电线路后,应对故障集电线路进行故障区段有效识别,及时确定故障范围,减小停电时间,降低给风电场带来的损失。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是对集电线路结构的复杂性及配置保护的单一性,为集电线路关键节点合理增设测点,提出一种风电场集电线路故障区段与故障分支识别方法,用以解决上述问题。

[0005] 本发明的技术方案是:一种风电场集电线路故障区段与故障分支识别方法,首先提取集电线路各个测点的故障后一个周波的零序电流数据,并选用Hanning窗函数对其进行加窗处理,得到加窗后的零序电流序列值,对各个测点加窗后的零序电流序列值进行FFT变换,得到变换后的零序电流序列值,计算两个相邻测点的零序电流故障分量相位谱及其相位谱均值,若相邻两个测点均在主干线上,根据故障区段识别判据判断该区段是否故障,若两个相邻测点分别位于主干线、分支上,则根据故障分支识别判据判断该分支是否故障。

[0006] 具体步骤为:

[0007] Step1:首先选用Hanning窗函数根据式(1)计算Hanning卷积窗并归一化,提取各个测点故障后一个周波的零序电流数据,对其进行加窗处理,根据式(2)分别计算得到 $2N-1$ 项的零序电流序列 $i_{0w_H}(n)$ 。

$$w_H^p(n) = \frac{\sum_{x=-\infty}^{+\infty} w_H^{p-1}(x) \cdot w_H(n-x)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \quad (1)$$

$$[0009] \quad i_{0w_H}(n) = \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(2\pi h f_0 n / f_s + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \quad (2)$$

[0010] Step2:对各个测点的 $i_{0w_H}(n)$ 分别进行FFT变换,得到 $I_{0w_k}(k)$,根据式(3)~(4)分别计算各个测点的 $I_{0w_k}(k)$ 的实部 $\text{Re} I_{0w_k}(k)$ 和虚部 $\text{Im} I_{0w_k}(k)$ 。

$$[0011] \quad \text{Re} I_{0w_k}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(W_N^{i,n} + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \cos W_N^{kn} \quad (3)$$

$$[0012] \quad \text{Im} I_{0w_k}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(W_N^{i,n} + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \sin W_N^{kn} \quad (4)$$

[0013] Step3:根据式(5)分别求取两个相邻测点u、v的零序电流故障分量的相位谱 $\phi_u(k)$ 、 $\phi_v(k)$ 。

$$[0014] \quad \phi_{I_{0w_k}}(k) = \arctan[\text{Re} I_{0w_k}(k) / \text{Im} I_{0w_k}(k)] \quad (5)$$

[0015] Step4:根据式(6)求取第u、v个测点零序电流故障分量的相位差序列均值 $\Delta \phi_{u-v}$ 。

$$[0016] \quad \Delta \phi_{u-v} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} |\phi_u(k) - \phi_v(k)| \quad (6)$$

[0017] Step5:若第u、v个测点均在主干线上,则根据式(7)判断该区段是否故障。

[0018] 若第u个测点位于主干线、而第v个测点位于分支,则根据式(8)判断分支是否故障。

$$[0019] \quad \begin{cases} \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [0^\circ, 5^\circ], \text{则为健全区段} \\ \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [160^\circ, 180^\circ], \text{则为故障区段} \end{cases} \quad (7)$$

$$[0020] \quad \begin{cases} \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [0^\circ, 5^\circ], \text{则为故障分支} \\ \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [160^\circ, 180^\circ], \text{则为健全分支} \end{cases} \quad (8)。$$

[0021] 对于主干线末端,因只有一个测点,若主干线路两两测点计算的相位差序列均值均接近于零时,可判断线路末端区段故障。

[0022] 本发明的有益效果是:

[0023] 1、本发明仅采用风电场集电线路零序电流构造判据识别故障区段及分支,原理简单,贴合工程实际应用。

[0024] 2、本发明采用apFFT频谱分析法对集电线路零序电流相位进行计算,相较于传统FFT分析法,可避免测点之间的非同步采样、非周期截断可能引起的频谱泄露,可减小因故障点下游零序电流数值较小且存在大量高频谐波引起的误差。

附图说明

- [0025] 图1是本发明实施例风电场集电系统仿真模型图；
 [0026] 图2是本发明实施例1风电场集电线路 L_4 的测点分布图；
 [0027] 图3是本发明实施例1测点W4的零序电流相位谱分布图；
 [0028] 图4是本发明实施例1测点1的零序电流相位谱分布图；
 [0029] 图5是本发明实施例1测点2的零序电流相位谱分布图；
 [0030] 图6是本发明实施例1测点3的零序电流相位谱分布图；
 [0031] 图7是本发明实施例1测点4的零序电流相位谱分布图；
 [0032] 图8是本发明实施例1测点5的零序电流相位谱分布图；
 [0033] 图9是本发明实施例2风电场集电线路 L_4 的测点分布图；
 [0034] 图10是本发明实施例2测点W4的零序电流相位谱分布图；
 [0035] 图11是本发明实施例2测点1的零序电流相位谱分布图；
 [0036] 图12是本发明实施例2测点2的零序电流相位谱分布图；
 [0037] 图13是本发明实施例2测点3的零序电流相位谱分布图；
 [0038] 图14是本发明实施例2测点4的零序电流相位谱分布图；
 [0039] 图15是本发明实施例2测点5的零序电流相位谱分布图。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图和具体实施方式,对本发明作进一步说明。

[0041] 一种风电场集电线路故障区段与故障分支识别方法,首先提取集电线路上各个测点的故障后一个周波的零序电流数据,并选用Hanning窗函数对其进行加窗处理,得到加窗后的零序电流序列值,对各个测点加窗后的零序电流序列值进行FFT变换,得到变换后的零序电流序列值,计算两个相邻测点的零序电流故障分量相位谱及其相位谱均值,若相邻两个测点均在主干线上,根据故障区段识别判据判断该区段是否故障,若两个相邻测点分别位于主干线、分支上,则根据故障分支识别判据判断该分支是否故障。

[0042] 具体步骤为:

[0043] Step1:首先选用Hanning窗函数根据式(1)计算Hanning卷积窗并归一化,提取各个测点故障后一个周波的零序电流数据,对其进行加窗处理,根据式(2)分别计算得到 $2N-1$ 项的零序电流序列 $i_{0w_H}(n)$ 。

$$[0044] \quad w_H^p(n) = \frac{\sum_{x=-\infty}^{+\infty} w_H^{p-1}(x) \cdot w_H(n-x)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \quad (1)$$

$$[0045] \quad i_{0w_H}(n) = \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(2\pi h f_0 n / f_s + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \quad (2)$$

[0046] Step2:对各个测点的 $i_{0w_H}(n)$ 分别进行FFT变换,得到 $I_{0w_k}(k)$,根据式(3)~(4) 分别

计算各个测点的 $I_{0w_k}(k)$ 的实部 $\text{Re} I_{0w_k}(k)$ 和虚部 $\text{Im} I_{0w_k}(k)$ 。

$$[0047] \quad \text{Re} I_{0w_k}(k) = \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(W_N^{l_n n} + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \cos W_N^{kn} \quad (3)$$

$$[0048] \quad \text{Im} I_{0w_k}(k) = \frac{\sum_{h=0}^{H-1} A_h \exp(W_N^{l_n n} + \varphi_h) \cdot w_H^p(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} w_H^p(i)} \sin W_N^{kn} \quad (4)$$

[0049] Step3: 根据式 (5) 分别求取两个相邻测点 u 、 v 的零序电流故障分量的相位谱 $\phi_u(k)$ 、 $\phi_v(k)$ 。

$$[0050] \quad \phi I_{0w_k}(k) = \arctan [\text{Re} I_{0w_k}(k) / \text{Im} I_{0w_k}(k)] \quad (5)$$

[0051] Step4: 根据式 (6) 求取第 u 、 v 个测点零序电流故障分量的相位差序列均值 $\Delta \phi_{u-v}$ 。

$$[0052] \quad \Delta \phi_{u-v} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} |\phi_u(k) - \phi_v(k)| \quad (6)$$

[0053] Step5: 若第 u 、 v 个测点均在主干线上, 则根据式 (7) 判断该区段是否故障。

[0054] 若第 u 个测点位于主干线、而第 v 个测点位于分支, 则根据式 (8) 判断分支是否故障。

$$[0055] \quad \begin{cases} \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [0^\circ, 5^\circ], \text{则为健全区段} \\ \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [160^\circ, 180^\circ], \text{则为故障区段} \end{cases} \quad (7)$$

$$[0056] \quad \begin{cases} \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [0^\circ, 5^\circ], \text{则为故障分支} \\ \text{若} \Delta \phi_{u-v} \in [160^\circ, 180^\circ], \text{则为健全分支} \end{cases} \quad (8)$$

[0057] 对于主干线末端, 因只有一个测点, 若主干线路两两测点计算的相位差序列均值均接近于零时, 可判断线路末端区段故障。

[0058] 下面结合具体的例子, 对本发明进行详细说明。

[0059] 实施例1: 如图1所示, 构建典型风电场集电系统仿真模型, 模型具体参数如下:

[0060] (1) 35kV 汇集母线上有4条集电线路 $L_1 \sim L_4$, 其中 $L_1 \sim L_3$ 每条线路有3台双馈风电机组, L_4 含有分支, 共有8台双馈风电机组; 共接入17台双馈风机。双馈风电机组经由0.69kV/38.5kV的Y/ Δ 型箱变升压连接到集电线路。每台风机容量为2MW, 风电机组总容量为 $17 \times 2\text{MW} = 34\text{MW}$ 。

[0061] (2) $L_1 \sim L_4$ 主干线路总长分别为: 24km、17km、14km、23km, 其中 $L_1 \sim L_4$ 上游为电缆线路, 分别长20km、13km、10km、11km, 下游风机之间为架空线路, 每两台风电机组间距为2km。 L_4 线路分支1、分支2长度分别为8km、4km。

[0062] (3) 35kV 母线经由38.5kV/220kV主变升压至220kV, 主变容量为100MVA, Ynd11 连接。主变低压侧通过Z型变压器经50 Ω 电阻接地, 主变高压侧经送出线路与220kV 大电网系统相连。

[0063] 如图2所示, 集电线路 L_4 主干线上的测点W4、1、2、3距离母线的间距分别为

0.01km、11km、15km、19km；分支测点4、5距离分支1、2出口0.01km，测点采样率为10kHz。设置距离汇集母线6km，集电线路 L_4 的主干线发生A相接地故障，过渡电阻为300 Ω ，故障时刻为0.23s，持续时长为0.05s。本例风电场集电线路故障区段与分支识别方法的具体步骤如下：

[0064] 按照步骤(1)、(2)、(3)，提取各个测点故障后一个周波的零序电流数据，采样点数 $N=128$ ，对其进行加窗处理，对加窗后的零序电流序列进行FFT变换。得到的各个测点的相位谱如图3~图8所示。

[0065] 按照步骤(4)计算得到线路各个区段及分支零序电流故障分量的相位差序列均值，W4-1:174.2463;1-2:0.1763;2-3:0.0916;1-4:174.3396;1-5:174.1368。

[0066] 按照步骤(5)，可判断线路W4-1区段发生故障。

[0067] 实施例2:如图1所示，构建典型风电场集电系统仿真模型，模型具体参数如下：

[0068] (1) 35kV汇集母线上有4条集电线路 $L_1\sim L_4$ ，其中 $L_1\sim L_3$ 每条线路有3台双馈风电机组， L_4 含有分支，共有8台双馈风电机组；共接入17台双馈风机。双馈风电机组经由0.69kV/38.5kV的Y/ Δ 型箱变升压连接到集电线路。每台风机容量为2MW，风电机组总容量为 $17*2MW=34MW$ 。

[0069] (2) $L_1\sim L_4$ 主干线路总长分别为:24km、17km、14km、23km，其中 $L_1\sim L_4$ 上游为电缆线路，分别长20km、13km、10km、11km，下游风机之间为架空线路，每两台风电机组间距为2km。 L_4 线路分支1、分支2长度分别为8km、4km。

[0070] (3) 35kV母线经由38.5kV/220kV主变升压至220kV，主变容量为100MVA，Ynd11 连接。主变低压侧通过Z型变压器经50 Ω 电阻接地，主变高压侧经送出线路与220kV 大电网系统相连。

[0071] 如图9所示，集电线路 L_4 主干线上的测点W4、1、2、3距离母线的间距分别为0.01km、11km、15km、19km；分支测点4、5距离分支1、2出口0.01km，测点采样率为10kHz。设置距离汇集母线13km，集电线路 L_4 的分支1出口2km处发生A相接地故障，过渡电阻为0.01 Ω ，故障时刻为0.23s，持续时长为0.05s。本例风电场集电线路故障区段与分支识别方法的具体步骤如下：

[0072] 按照步骤(1)、(2)、(3)，提取各个测点故障后一个周波的零序电流数据，采样点数 $N=128$ ，对其进行加窗处理，对加窗后的零序电流序列进行FFT变换。得到的各个测点的相位谱如图10~图15所示。

[0073] 按照步骤(4)计算得到各个线路区段的零序电流故障分量的相位差序列均值，即，W4-1:0.2375;1-2:174.6499;2-3:0.0099;1-4:0.0128;1-5:174.6390。

[0074] 按照步骤(5)，可判断线路2-3区段发生故障；区段2-3有分支1和分支2，根据分支判据，进一步判断分支1故障。

[0075] 以上结合附图对本发明的具体实施方式作了详细说明，但是本发明并不限于上述实施方式，在本领域普通技术人员所具备的知识范围内，还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

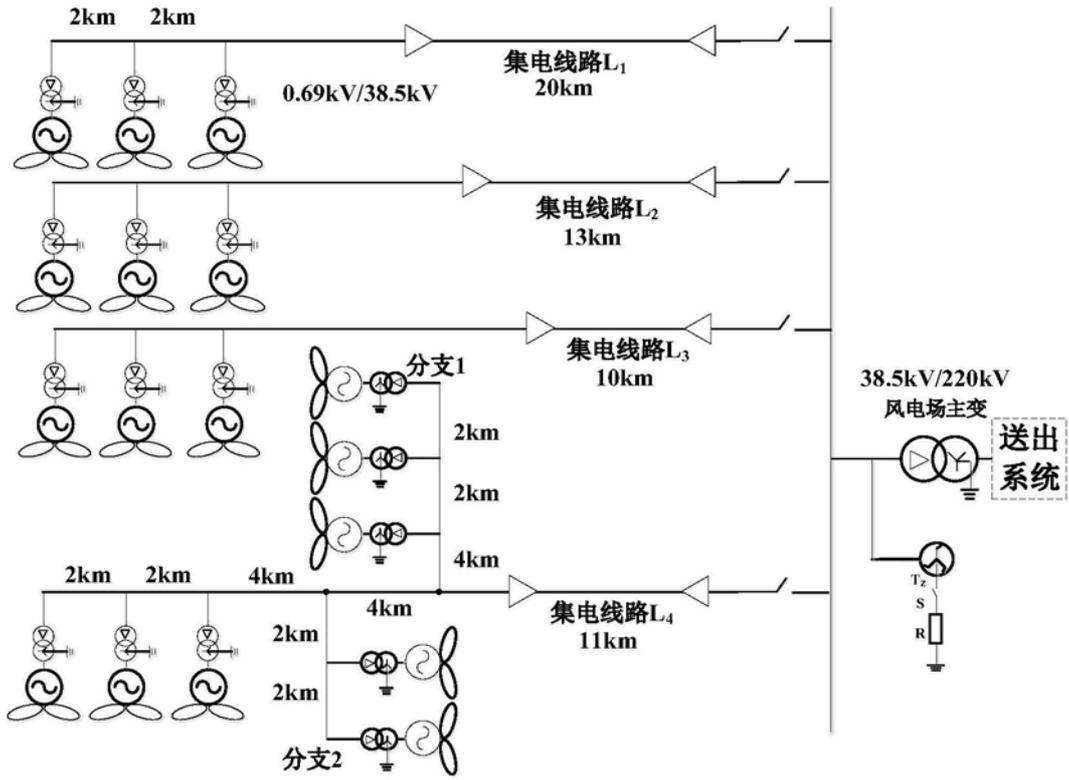


图1

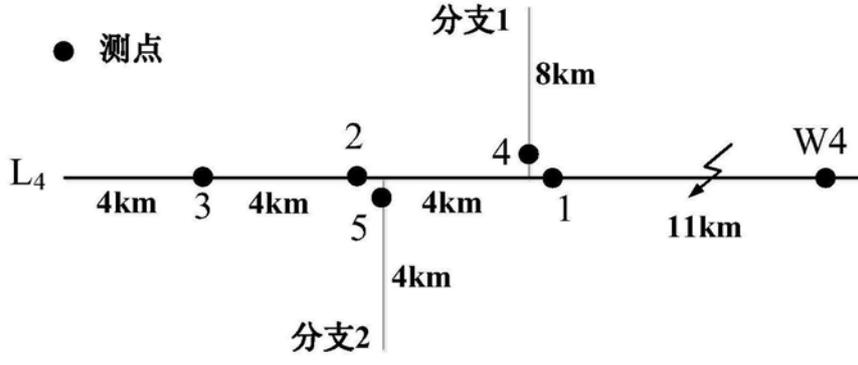


图2

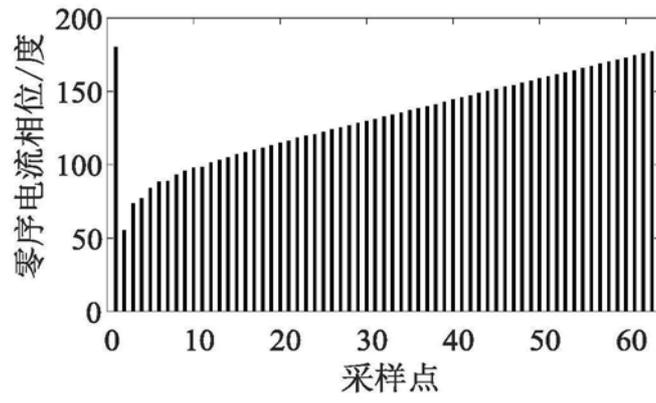


图3

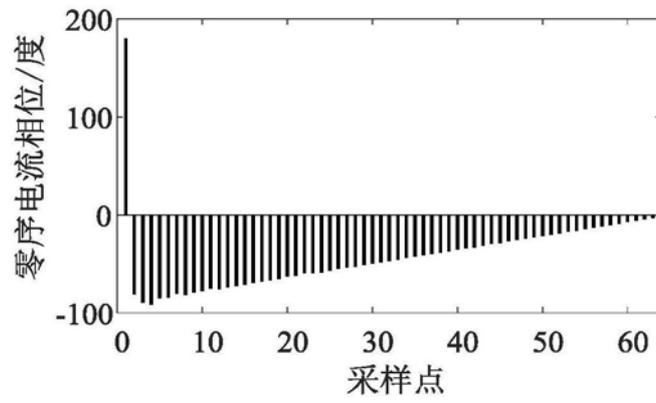


图4

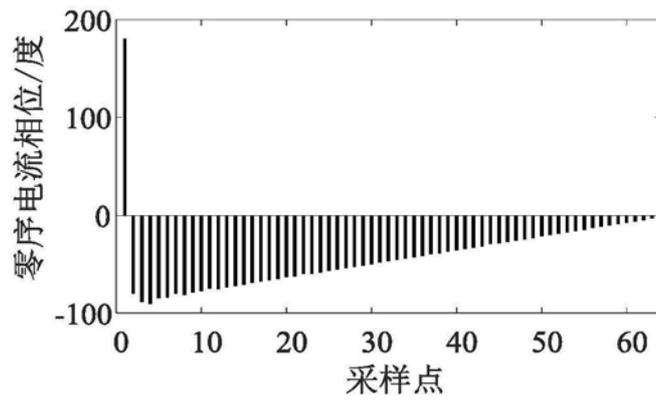


图5

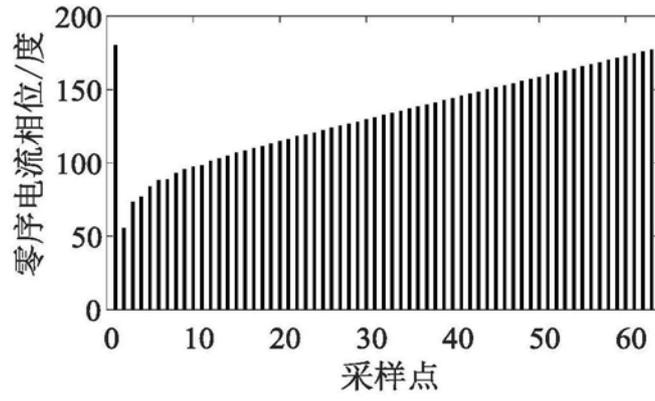


图6

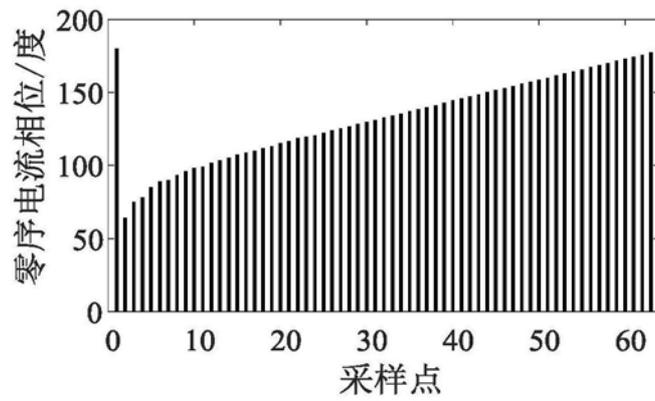


图7

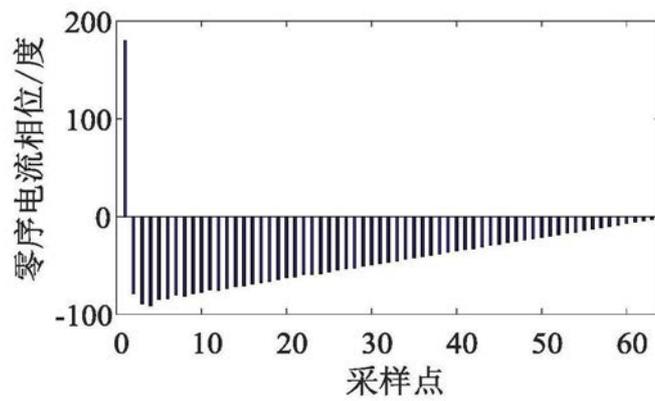


图8

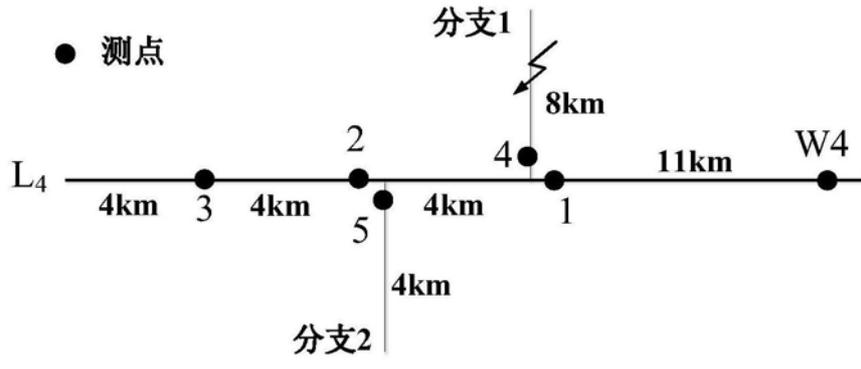


图9

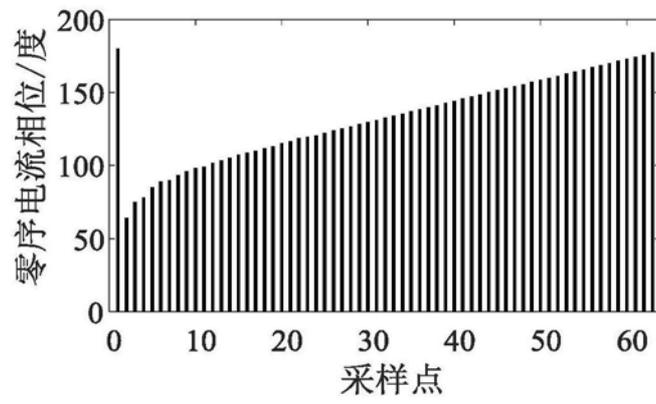


图10

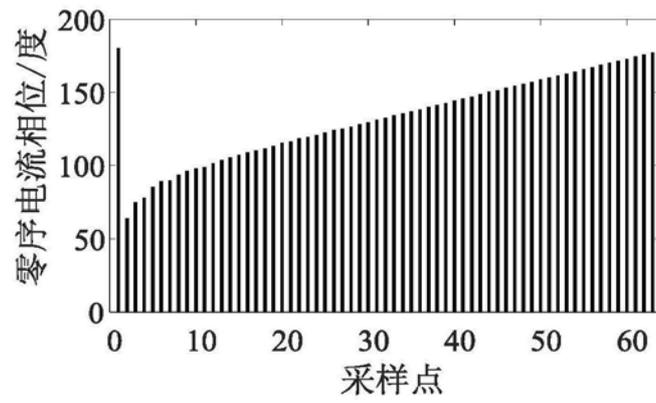


图11

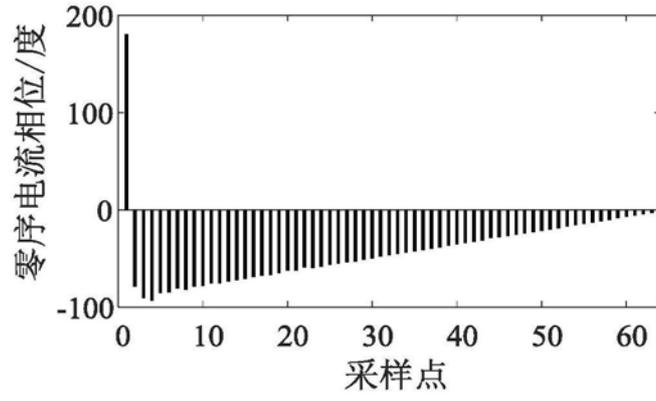


图12

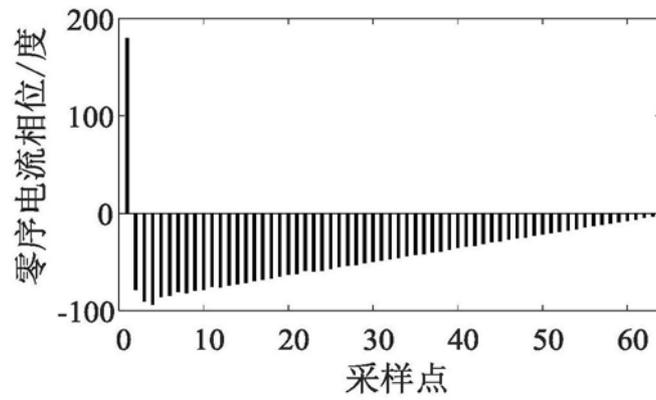


图13

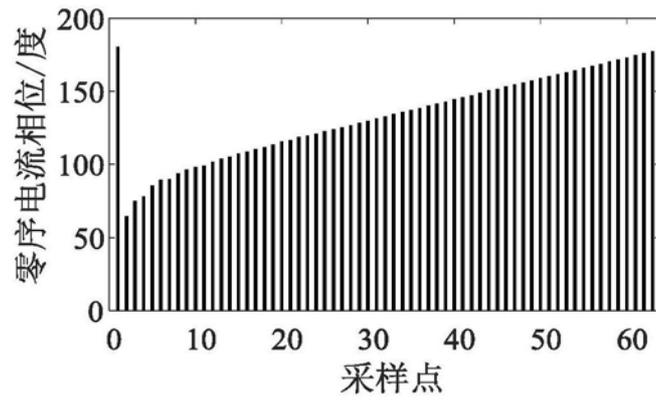


图14

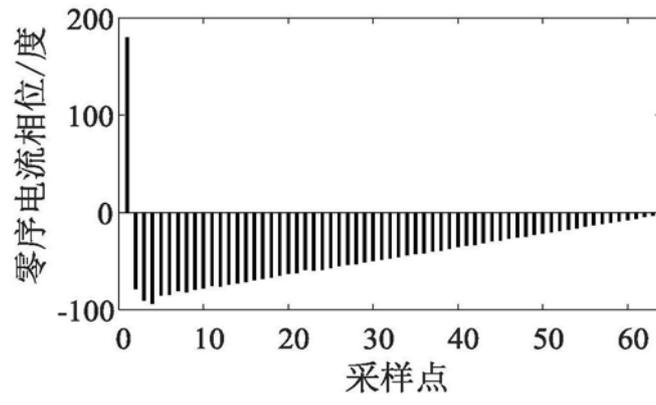


图15