



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113625107 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 09

(21) 申请号 202110881486.4

(22) 申请日 2021.08.02

(71) 申请人 四川轻化工大学

地址 643000 四川省自贡市汇东学苑街180号

(72) 发明人 徐海燕 吴浩 李栋 陈雷 宋弘

(74) 专利代理机构 成都正华专利代理事务所
(普通合伙) 51229

代理人 李蕊

(51) Int. Cl.

G01R 31/08 (2006.01)

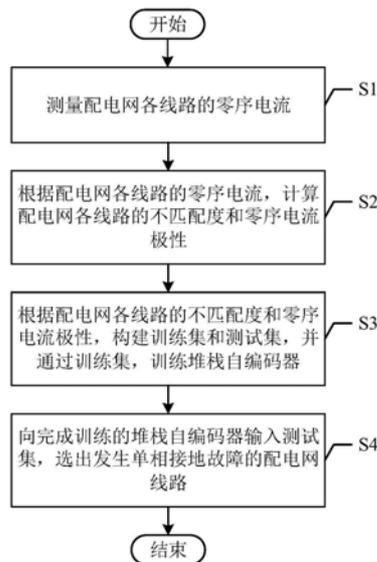
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种配电网单相接地故障选线方法

(57) 摘要

本发明公开了一种配电网单相接地故障选线方法,包括以下步骤:S1、测量配电网各线路的零序电流;S2、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度和零序电流极性;S3、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性,构建训练集和测试集,并通过训练集,训练堆栈自编码器;S4、向完成训练的堆栈自编码器输入测试集,选出发生单相接地故障的配电网线路。其充分利用配电网线路单相接地故障发生后,其零序电流波形会发生变化的物理现象,准确率较高,不受高阻接地现象的影响,具有较好的适用性、可靠性以及鲁棒性。



1. 一种配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、测量配电网各线路的零序电流;

S2、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度和零序电流极性;

S3、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性,构建训练集和测试集,并通过训练集,训练堆栈自编码器;

S4、向完成训练的堆栈自编码器输入测试集,选出发生单相接地故障的配电网线路。

2. 根据权利要求1所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤S2中,根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度的方法包括以下分步骤:

A1、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路间的电流量等效距离;

A2、根据配电网各线路间的电流量等效距离,计算配电网各线路的不匹配度。

3. 根据权利要求2所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤A1中配电网各线路间的电流量等效距离的计算表达式包括以下等式:

$$H(I, J) = \max(h(i, j), h(j, i))$$

$$h(i, j) = ||i_a - j_b||$$

$$h(j, i) = ||j_a - i_b||$$

其中, $H(I, J)$ 为线路I和线路J间的电流量等效距离, $\max()$ 为取最大值运算, i 为线路I的零序电流, j 为线路J的零序电流, $h(i, j)$ 为线路I到线路J的单向电流量等效距离, $h(j, i)$ 为线路J到线路I的单向电流量等效距离, $||\cdot||$ 为取欧氏距离运算, i_a 为线路I的零序电流 i 的最大数值, i_b 为线路I的零序电流 i 的最小数值, j_a 为线路J的零序电流 j 的最大数值, j_b 为线路J的零序电流 j 的最小数值。

4. 根据权利要求3所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤A2中配电网各线路的不匹配度的计算表达式为:

$$H_I = \sum_{J=1}^M H(I, J)$$

其中, H_I 为配电网线路I的不匹配度, M 为配电网的线路总数值。

5. 根据权利要求4所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤S2中,根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的零序电流极性的方法包括以下分步骤:

B1、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的零序电流平均值;

B2、记录零序电流平均值大于等于0的配电网线路的零序电流极性为正,并记录零序电流平均值小于0的配电网线路的零序电流极性为负。

6. 根据权利要求5所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤B1中的配电网各线路的零序电流平均值计算表达式为:

$$\bar{i} = \frac{1}{N} \int_0^T i(t) dt$$

其中, $i(t)$ 为线路I的零序电流 i 在 t 时刻采样点的数值, T 为采样时长, N 为采样时长 T 内的采样点总数, \bar{i} 为线路I的零序电流平均值。

7. 根据权利要求1所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述堆栈自编码器包括L个自编码器;所述自编码器用于进行配电网各线路特征的无监督学习,其包括编码器、隐藏层和解码器,所述隐藏层的输入端与编码器的输出端通信连接,所述解码器的输入端与隐藏层的输出端通信连接。

8. 根据权利要求7所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤S3包括以下分步骤:

S31、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性,构建训练集和测试集;

S32、通过训练集依次训练测试第1~L个自编码器,完成堆栈自编码器的L个自编码器的单独训练测试;

S33、联合堆栈自编码器的单独训练完成的L个自编码器;

S34、通过训练集对联合之后的L个自编码器进行训练,实现堆栈自编码器的网络微调,使堆栈自编码器完成训练。

9. 根据权利要求8所述的配电网单相接地故障选线方法,其特征在于,所述步骤S33包括以下分步骤:

C1、将L个自编码器各自的编码器、隐藏层和解码器之间的通信连接屏蔽;

C2、将第1个自编码器的编码器的输入端作为堆栈自编码器的输入端,其解码器的输出端作为堆栈自编码器的输出端;

C3、将第1个自编码器的编码器的输出序列作为其隐藏层的输入序列;

C4、将第m个自编码器的隐藏层的输出序列作为第m+1个自编码器的隐藏层的输入序列, $1 \leq m \leq L-1$;

C5、将第L个自编码器的隐藏层的输出序列作为其解码器的输入序列;

C6、将第n个自编码器的解码器的输出序列作为第n-1个自编码器的解码器的输入序列, $2 \leq n \leq L$ 。

一种配电网单相接地故障选线方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电网电力技术领域,具体涉及一种配电网单相接地故障选线方法。

背景技术

[0002] 我国低压配电网一般采用小电流接地方式,且配电网故障主要以单相接地故障为主,占故障类型总数的80%,故障发生时,电网产生的故障电流信号较弱,检测故障线路比较困难。因此,如何提高小电流接地系统故障选线的准确率以及可靠性对配电网的稳定运行具有重要意义。

[0003] 目前,针对小电流接地系统故障选线的方法主要有稳态法以及暂态法。系统发生单相接地故障时,消弧线圈的存在会改变电流稳态分量的分布,因此采用稳态法进行故障选线的效果差强人意。而故障电流暂态分量含有丰富的信息,并且暂态分量在故障后的一个工频周期内不受消弧线圈的影响,因此利用系统故障暂态分量进行选线是目前广泛研究的方向。

[0004] 目前基于暂态法的故障选线方法主要有时频分析法、相似度分析法、5次谐波分量分析法和能量法。但因配电网故障中存在高阻接地的情况,上述方法的识别准确率均有待提高。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的上述不足,本发明提供了一种配电网单相接地故障选线方法解决了当前基于暂态法的配电网单相接地故障选线方法识别准确率较低的问题。

[0006] 为了达到上述发明目的,本发明采用的技术方案为:一种配电网单相接地故障选线方法,包括以下步骤:

[0007] S1、测量配电网各线路的零序电流;

[0008] S2、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度和零序电流极性;

[0009] S3、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性,构建训练集和测试集,并通过训练集,训练堆栈自编码器;

[0010] S4、向完成训练的堆栈自编码器输入测试集,选出发生单相接地故障的配电网线路。

[0011] 本发明的有益效果为:利用配电网线路单相接地故障发生后,其零序电流波形会发生变化的物理现象,以零序电流反映出来的各线路不匹配度特征和零序电流极性特征作为出发点,通过一种具有机器学习能力的堆栈自编码器对各线路不匹配度特征和零序电流极性特征进行分析,最终识别出故障线路,准确率较高,不受高阻接地现象的影响,具有较好的适用性、可靠性以及鲁棒性。

[0012] 进一步地,所述步骤S2中,根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度的方法包括以下分步骤:

[0013] A1、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路间的电流量等效距离;

[0014] A2、根据配电网各线路间的电流量等效距离,计算配电网各线路的不匹配度。

[0015] 进一步地,所述步骤A1中配电网各线路间的电流量等效距离的计算表达式包括以下等式:

$$[0016] \quad H(I, J) = \max(h(i, j), h(j, i))$$

$$[0017] \quad h(i, j) = ||i_a - j_b||$$

$$[0018] \quad h(j, i) = ||j_a - i_b||$$

[0019] 其中, $H(I, J)$ 为线路I和线路J间的电流量等效距离, $\max()$ 为取最大值运算, i 为线路I的零序电流, j 为线路J的零序电流, $h(i, j)$ 为线路I到线路J的单向电流量等效距离, $h(j, i)$ 为线路J到线路I的单向电流量等效距离, $||\cdot||$ 为取欧氏距离运算, i_a 为线路I的零序电流 i 的最大数值, i_b 为线路I的零序电流 i 的最小数值, j_a 为线路J的零序电流 j 的最大数值, j_b 为线路J的零序电流 j 的最小数值。

[0020] 进一步地,所述步骤A2中配电网各线路的不匹配度的计算表达式为:

$$[0021] \quad H_I = \sum_{J=1}^M H(I, J)$$

[0022] 其中, H_I 为配电网线路I的不匹配度, M 为配电网的线路总数值。

[0023] 上述进一步方案的有益效果为:配电网某一线路发生单相接地故障发生后,其零序电流必将与配电网其余各线路出现差异,通过特定的比对每个线路与其余线路零序电流数值欧氏距离的模型,提取出线路间的不匹配特征,该特征相比于其他物理特征与故障事件呈更大的相关性,将其作为后续机器学习的输入特征,可有效提高训练效果,且相比于现有技术,不匹配度只与不同线路的电流大小差异有关,不需要判断接地等效电阻是否接近于0,因此不受高阻接地现象的影响。

[0024] 进一步地,所述步骤S2中,根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的零序电流极性的方法包括以下分步骤:

[0025] B1、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的零序电流平均值;

[0026] B2、记录零序电流平均值大于等于0的配电网线路的零序电流极性为正,并记录零序电流平均值小于0的配电网线路的零序电流极性为负。

[0027] 进一步地,所述步骤B1中的配电网各线路的零序电流平均值计算表达式为:

$$[0028] \quad \bar{i} = \frac{1}{N} \int_0^T i(t) dt$$

[0029] 其中, $i(t)$ 为线路I的零序电流 i 在 t 时刻采样点的数值, T 为采样时长, N 为采样时长 T 内的采样点总数, \bar{i} 为线路I的零序电流平均值。

[0030] 上述进一步方案的有益效果为:零序电流是一个动态变化的值,在工程中获得测量零序电流,保持一定的采样时间进行多点采样比单点采样更能得到零序电流的真实情况,在零序电流极性特征的提取过程中,以零序电流平均值的正负作为依据,更加合理且精确。

[0031] 进一步地,所述堆栈自编码器包括 L 个自编码器;所述自编码器用于进行配电网各

线路特征的无监督学习,其包括编码器、隐藏层和解码器,所述隐藏层的输入端与编码器的输出端通信连接,所述解码器的输入端与隐藏层的输出端通信连接。

[0032] 进一步地,所述步骤S3包括以下分步骤:

[0033] S31、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性,构建训练集和测试集;

[0034] S32、通过训练集依次训练测试第1~L个自编码器,完成堆栈自编码器的L个自编码器的单独训练测试;

[0035] S33、联合堆栈自编码器的单独训练完成的L个自编码器;

[0036] S34、通过训练集对联合之后的L个自编码器进行训练,实现堆栈自编码器的网络微调,使堆栈自编码器完成训练。

[0037] 上述进一步方案的有益效果为:先单独训练堆栈自编码器内部的每个组分,在网络参数训练完成后再联合训练,进行网络微调,相比于机器学习领域的常规训练方法,更能回避一级未收敛时的参数振荡传导向另一级的振荡传递现象,可进一步节省训练时间,也可回避堆栈自编码器陷入局部最优解的情况,使堆栈自编码器能够以较快速度达到全局最优解,提高故障选线的准确率。

[0038] 进一步地,所述步骤S33包括以下分步骤:

[0039] C1、将L个自编码器各自的编码器、隐藏层和解码器之间的通信连接屏蔽;

[0040] C2、将第1个自编码器的编码器的输入端作为堆栈自编码器的输入端,其解码器的输出端作为堆栈自编码器的输出端;

[0041] C3、将第1个自编码器的编码器的输出序列作为其隐藏层的输入序列;

[0042] C4、将第m个自编码器的隐藏层的输出序列作为第m+1个自编码器的隐藏层的输入序列, $1 \leq m \leq L-1$;

[0043] C5、将第L个自编码器的隐藏层的输出序列作为其解码器的输入序列;

[0044] C6、将第n个自编码器的解码器的输出序列作为第n-1个自编码器的解码器的输入序列, $2 \leq n \leq L$ 。

[0045] 上述进一步方案的有益效果为:所设计的自编码器联合方式,屏蔽了联合过程中冗余的编码器,且在各个自编码器隐藏层堆叠和解码器堆叠的过程中采用了类出栈入栈的方式,相比于自编码器简单的前后堆叠,可提高信号传播的稳定性和连贯性。

附图说明

[0046] 图1为一种配电网单相接地故障选线方法流程示意图;

[0047] 图2为本发明实施例所检测的配电网中3条正常线路的零序电流和1条故障线路的零序电流对比图,

[0048] 其中,L1、L3和L4为三条正常线路的零序电流,L2为故障线路的零序电流;

[0049] 图3为本发明实施例的堆栈自编码器的两个自编码器的联合示意图,

[0050] 其中,x为第1个自编码器的编码器, h_1 为第1个自编码器的隐藏层, h_2 为第2个自编码器的隐藏层, r_1 为第1个自编码器的解码器, r_2 为第2个自编码器的解码器。

具体实施方式

[0051] 下面对本发明的具体实施方式进行描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发

明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

[0052] 如图1所示,一种配电网单相接地故障选线方法,包括以下步骤:

[0053] S1、测量配电网各线路的零序电流。

[0054] 如图2所示,在本实施例所检测的配电网中,故障线路的零序电流和正常线路的零序电流拥有极大的差异。该差异的来源原因为:健全线路零序电流由母线流向线路且电流极性均相同,故障线路零序电流由线路流向母线,电流大小为所有健全线路零序电流以及消弧线圈的电流之和。因此,故障线路的零序电流不仅与正常线路零序电流不匹配,还呈现极性相反的特征。零序电流的该特点,为本发明所提出的故障选线方法奠定了理论基础。为了提高识别准确率,还需进一步的方案设计。

[0055] S2、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度和零序电流极性。

[0056] 步骤S2中,根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的不匹配度的方法包括以下分步骤:

[0057] A1、根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路间的电流量等效距离。配电网各线路间的电流量等效距离的计算表达式包括以下等式:

[0058] $H(I, J) = \max(h(i, j), h(j, i))$

[0059] $h(i, j) = ||i_a - j_b||$

[0060] $h(j, i) = ||j_a - i_b||$

[0061] 其中, $H(I, J)$ 为线路I和线路J间的电流量等效距离, $\max()$ 为取最大值运算, i 为线路I的零序电流, j 为线路J的零序电流, $h(i, j)$ 为线路I到线路J的单向电流量等效距离, $h(j, i)$ 为线路J到线路I的单向电流量等效距离, $|| ||$ 为取欧氏距离运算, i_a 为线路I的零序电流 i 的最大数值, i_b 为线路I的零序电流 i 的最小数值, j_a 为线路J的零序电流 j 的最大数值, j_b 为线路J的零序电流 j 的最小数值。

[0062] A2、根据配电网各线路间的电流量等效距离,计算配电网各线路的不匹配度。配电网各线路的不匹配度的计算表达式为:

[0063]
$$H_I = \sum_{J=1}^M H(I, J)$$

[0064] 其中, H_I 为配电网线路I的不匹配度, M 为配电网的线路总数值。

[0065] 配电网某一线路发生单相接地故障发生后,其零序电流必将与配电网其余各线路出现差异,通过特定的比对每个线路与其余线路零序电流数值欧氏距离的模型,提取出线路间的不匹配特征,该特征相比于其他物理特征与故障事件呈更大的相关性,将其作为后续机器学习的输入特征,可有效提高训练效果,且相比于现有技术,不匹配度只与不同线路的电流大小差异有关,不需要判断接地等效电阻是否接近于0,因此不受高阻接地现象的影响。

[0066] 步骤S2中,根据配电网各线路的零序电流,计算配电网各线路的零序电流极性的方法包括以下分步骤:

[0067] B1、根据配电网各线路的零序电流，计算配电网各线路的零序电流平均值，计算表达式为：

$$[0068] \quad \bar{i} = \frac{1}{N} \int_0^T i(t) dt$$

[0069] 其中， $i(t)$ 为线路I的零序电流 i 在 t 时刻采样点的数值， T 为采样时长， N 为采样时长 T 内的采样点总数， \bar{i} 为线路I的零序电流平均值。

[0070] B2、记录零序电流平均值大于等于0的配电网线路的零序电流极性为正，并记录零序电流平均值小于0的配电网线路的零序电流极性为负。

[0071] 零序电流是一个动态变化的值，在工程中获得测量零序电流，保持一定的采样时间进行多点采样比单点采样更能得到零序电流的真实情况，在零序电流极性特征的提取过程中，以零序电流平均值的正负作为依据，更加合理且精确。

[0072] S3、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性，构建训练集和测试集，并通过训练集，训练堆栈自编码器；

[0073] 堆栈自编码器包括 L 个自编码器；所述自编码器用于进行配电网各线路特征的无监督学习，其包括编码器、隐藏层和解码器，所述隐藏层的输入端与编码器的输出端通信连接，所述解码器的输入端与隐藏层的输出端通信连接。

[0074] 步骤S3包括以下分步骤：

[0075] S31、根据配电网各线路的不匹配度和零序电流极性，构建训练集和测试集。

[0076] S32、通过训练集依次训练测试第1~ L 个自编码器，完成堆栈自编码器的 L 个编码器的单独训练测试。

[0077] S33、联合堆栈自编码器的单独训练完成的 L 个自编码器。

[0078] 步骤S33包括以下分步骤：

[0079] C1、将 L 个自编码器各自的编码器、隐藏层和解码器之间的通信连接屏蔽；

[0080] C2、将第1个自编码器的编码器的输入端作为堆栈自编码器的输入端，其解码器的输出端作为堆栈自编码器的输出端；

[0081] C3、将第1个自编码器的编码器的输出序列作为其隐藏层的输入序列；

[0082] C4、将第 m 个自编码器的隐藏层的输出序列作为第 $m+1$ 个自编码器的隐藏层的输入序列， $1 \leq m \leq L-1$ ；

[0083] C5、将第 L 个自编码器的隐藏层的输出序列作为其解码器的输入序列；

[0084] C6、将第 n 个自编码器的解码器的输出序列作为第 $n-1$ 个自编码器的解码器的输入序列， $2 \leq n \leq L$ 。

[0085] 本实施例堆栈自编码器具有2个自编码器。第一个自编码器，隐藏层大小为100，其权值正则化系数为0.004，稀疏正则项系数为4，系数比例为0.15；第二个自编码器，隐藏层大小为50，权值正则化系数为0.002，稀疏正则化系数为4，稀疏比例为0.1。联合方式如图3所示。

[0086] 所设计的自编码器联合方式，屏蔽了联合过程中冗余的编码器，且在各个自编码器隐藏层堆叠和解码器堆叠的过程中采用了类出栈入栈的方式，相比于自编码器简单的前后堆叠，可提高信号传播的稳定性和连贯性。

[0087] S34、通过训练集对联合之后的L个自编码器进行训练,实现堆栈自编码器的网络微调,使堆栈自编码器完成训练。

[0088] 先单独训练堆栈自编码器内部的每个组分,在网络参数训练完成后再联合训练,进行网络微调,相比于机器学习领域的常规训练方法,更能回避一级未收敛时的参数振荡传导向另一级的振荡传递现象,可进一步节省训练时间,也可回避堆栈自编码器陷入局部最优解的情况,使堆栈自编码器能够以较快速度达到全局最优解,提高故障选线的准确率。

[0089] S4、向完成训练的堆栈自编码器输入测试集,选出发生单相接地故障的配电网线路。

[0090] 通过本实施例的上述方法,针对本实施例的配电网进行检测,依次测试了4条线路在故障初始角为 0° , 30° , 45° , 60° , 90° , 120° ,过渡电阻为 10Ω , 100Ω , 200Ω , 250Ω , 500Ω 以及 500Ω ,故障位置为距离母线10%,20%,50%,60%,90%的长度处设置不同故障情况下的情况,总共 $4\times 6\times 6\times 5$ 共计720个测试样本,在不同接地故障类型以及高阻接地情况下故障选线成功率均为100%。

[0091] 为了仿真户外环境下的效果,在实验室测试环境中给各线路零序电流施加高斯白噪声,如表1所示,在三种不同噪声干扰下,准确率均可达到98%之上,适用性、可靠性和鲁棒性高。

[0092] 表1高斯白噪声干扰下本发明实施例的准确率

	噪声/dB	准确率/%
[0093]	10	98.8
	20	100
	30	100

[0094] 综上,利用配电网线路单相接地故障发生后,其零序电流波形会发生变化的物理现象,以零序电流反映出来的各线路不匹配度特征和零序电流极性特征作为出发点,通过一种具有机器学习能力的堆栈自编码器解码器对各线路不匹配度特征和零序电流极性特征进行分析,最终识别出故障线路,准确率较高,不受高阻接地现象的影响,具有较好的适用性、可靠性以及鲁棒性。

[0095] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

[0096] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。本领域的普通技术人员可以根据本发明公开的这些技术启示做出各种不脱离本发明实质的其它各种具体变形和组合,这些变形和组合仍然在本发明的保护范围内。

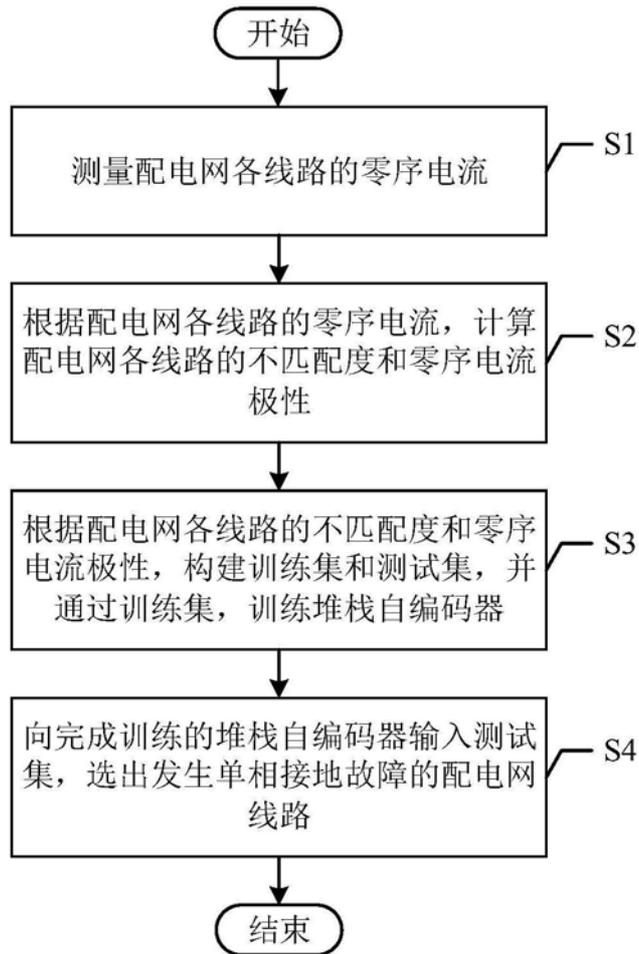


图1

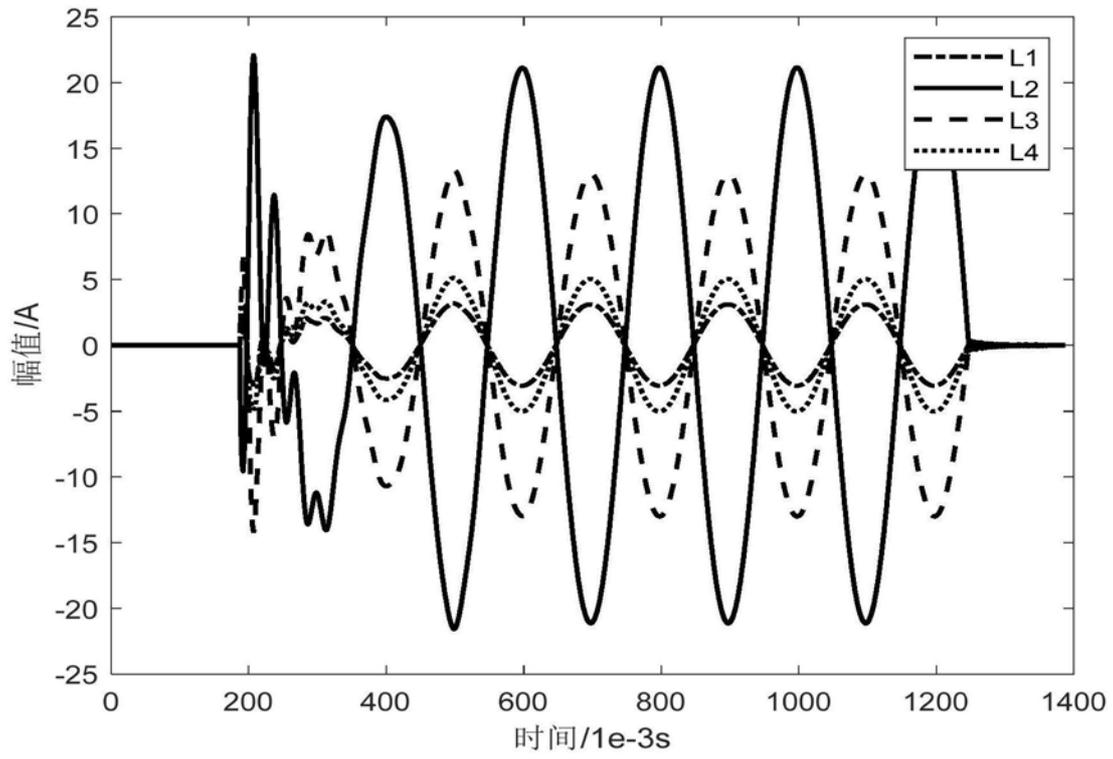


图2

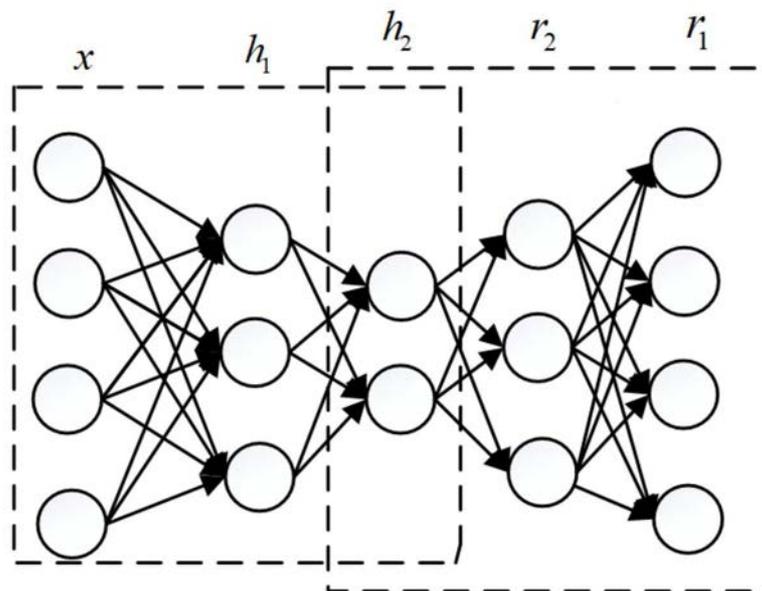


图3