

变压器调压区均压环的设计与优化

梅文哲, 赵建, 范小辉, 黄郑宇
(苏州供电公司, 江苏苏州 215000)

摘要:为改善变压器调压区电场环境,提出在变压器调压区安装均压环以改善其电场分布。利用有限元法计算了均压环各结构参数时的调压区电场。提出了在均压环参数设计的2种不同的优化方式(常规的分步优化方式和神经网络最优化方式),并加以比较后得出其对最终优化结果的不同影响。在神经网络最优化方式中,通过神经网络构建均压环参数—调压区电场的输入—输出模型,利用最优化方法构建优化算法,并利用程序语言实现完成了变压器调压区均压环结构参数的神经网络最优化设计,真正实现了均压环参数的全局优化设计。

关键词:变压器调压区;均压环;有限元;分步优化;神经网络;全局优化

中图分类号:TM402

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)04-0048-04

变压器作为电力系统传输电能的核心部件,其正常运行极具重要性。调压区是变压器中完成电压调节的重要区域,随着电压等级的攀升,调压区的电场环境更加恶劣。通常情况下,调压区分接开关电极的不规则形状,金具结构会导致高压电极和接地端附近电位的快速衰减,在临近高压电极和接地端处产生较高的电场。长期运行中容易导致局部放电,引起局部油温升高和油的裂解,加速绝缘油的热老化及击穿,成为了变压器运行的重大隐患。优化其电场分布对整个变压器的安全运行起着非常关键的作用。

在调压区安装均压环改善其电场分布。均压环的作用主要是降低调压区内某些部位(比如套筒)和两端金具表面过高的电位梯度,可以将最大场强从高压电极与接线端金具转移到保护环的外侧,最大场强值也会显著降低,电场分布趋于均匀。另外,均压环还有引弧、防止金具表面放电、漏电起痕及电腐蚀,并且能消除沿面放电引起的绝缘油老化^[3]。因此,采用均压环改善调压区电场和电位分布具有重要的工程和学术意义。均压环的尺寸、安装位置等参数的确定以及方案的最优化是至关重要的。通常采用的分步优化只是一种局域优化方法,具有一定的局限性。为实现多参数多输出量下的优化设计,试图探索合适的优化方法,拟采用神经网络方法及最优化理论进行其全局优化设计。

1 带均压环调压区电场分布的计算

1.1 有限元计算模型的确定

根据实际结构特点,在仿真之前,从工程的角度进行如图1、图2所示简化。

均压环、电极、套筒和垫片等合起来组成的系统场域是一个有界的三维电场,使用有限元法进行电场

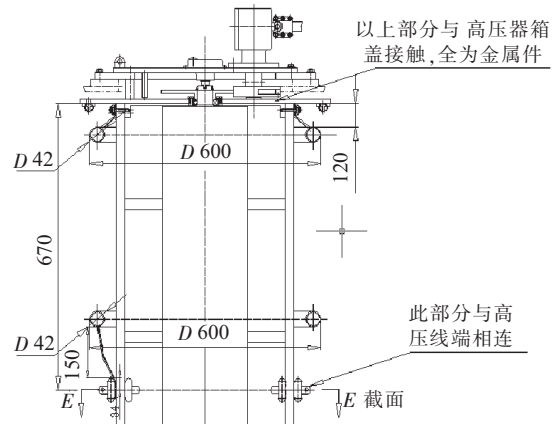


图1 变压器调压区结构示意图

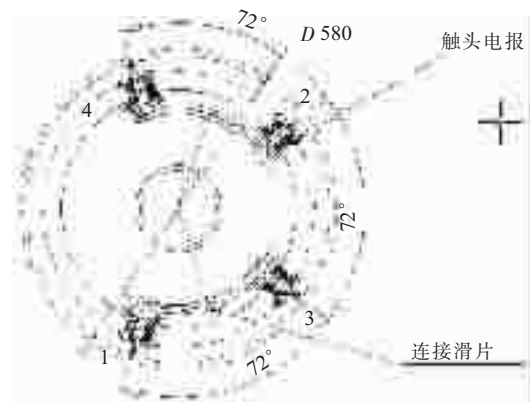


图2 调压区剖面结构示意图

分布计算^[2]。得到调压区电场的计算方程和边界条件。

(1) 计算区域内电位满足 Laplace 方程:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

(2) 变压器箱盖及低压端均压环表面电位满足:

$$\varphi = \varphi_{st1} \quad (2)$$

(3) 高压触头及高压端均压环表面电位满足:

$$\varphi = \varphi_{st2} \quad (3)$$

(4) 介质分界面上满足:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 \\ \varepsilon_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial n} = \varepsilon_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} \end{cases} \quad (4)$$

调压区有限元模型如图3所示。

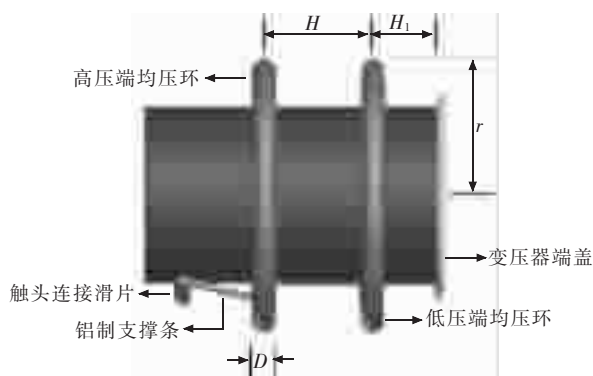


图3 变压器调压区的有限元模型

1.2 计算结果

以均压环的结构尺寸(环径 r ,管径 D ,均压环间距 H ,低压端均压环与接地板间距 H_1)为参数分析其值选取对调压区电场分布的影响。首先设定均压环各参数范围,如表1所示。

表1 仿真中均压环的参数设置 mm

结构参数	最小值	最大值
均压环半径 r	272	322
管径 D	22	44
均压环间距 H	278	358
低压端均压环与接地板间距 H_1	188	78

当均压环参数值取 $r=272$ mm, $D=22$ mm, $H=318$ mm, $H_1=168$ mm时,得到了一组仿真结果,包括高、低压端均压环电场,变压器端盖电场,内、外绝缘筒电场分布情况。由仿真结果分析可发现,绝缘圆筒的表面最大场强远低于高、低压均压环及接线端金具的表面最大场强,故在分析中以均压环及接线端金具的表面最大场强最小为目标,重点考虑通过改变均压环的结构尺寸及安放位置来实现电场最优分布。

2 均压环的常规分步优化设计

将探索在均压环参数设计的2种不同的优化方式(常规的分步优化方式^[2-10]和神经网络最优化方式^[11])对电场分布最终结果的影响。在均压环设计中多采用分步优化的方法,即每次先确定一个参数作为优化变量,其余为定值,进行目标函数的求解。根据不同参数下目标函数取值的大小,断定所选参数对目标函数的影响。这种分步优化的方法可以缩小优化变量的取值范围,并了解其与目标函数可能存在的规律。现依次选取环径 r ,管径 D ,均压环间距 H ,低压端均压环与端盖

间距 H_1 作为分步优化变量,探究其各自取值与调压区电场分布的关系。得到的 r,D,H,H_1 与调压区电场分布关系如图4—7所示。

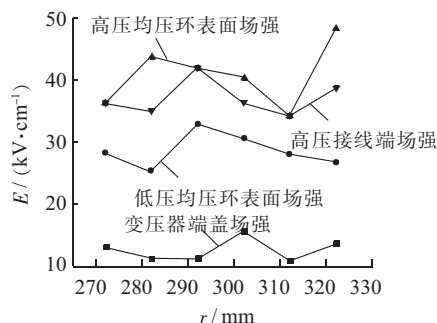


图4 均压环环径改变对电场分布的影响

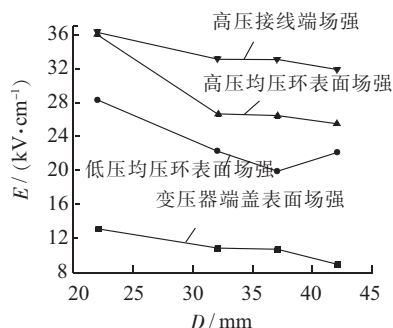


图5 均压环管径改变对电场分布的影响

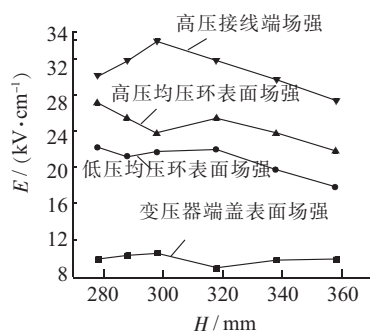


图6 均压环间距改变对电场分布的影响

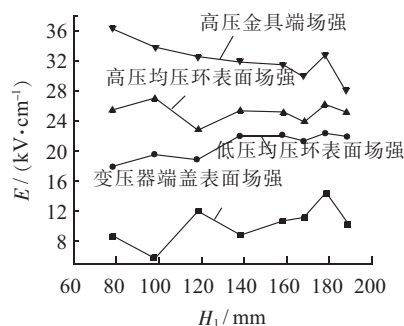


图7 低压端均压环与箱盖间距改变对电场分布的影响

分步优化虽然可以明确反映均压环不同参数对电场分布的影响,但是这些参数的组合并不是一组准确的最优参数,即它们只是近似或局部最优解。这是由于均压环结构参数与调压区电场分布之间是一个非线性的关系,无法简单的利用各参数的局部最优值组合出所有参数的全局最优值。

3 均压环结构参数的神经网络优化设计

随着电压等级不断攀升,对电场环境的严格要求显然需要更加优良的优化方法。为获得最优化解,提出通过神经网络构建均压环参数—调压区电场的输入—输出模型,利用最优化方法构建优化算法,并利用程序语言实现来完成变压器调压区均压环结构参数的优化设计。均压环参数优化设计的目标就是求取一组 r, D, H, H_1 的值,使得 E_1 与 E_2 取得最小值。然而, r, D, H, H_1 与 E_1, E_2 之间的关系是一种多维非线性关系,这种关系很难用简单函数直接给出。通过让神经网络学习和训练,就可以得出隐含输入/输出数据关系的非线性映射模型。这种模型可以逼近输入和输出之间的多维非线性特性,从而建立输入与输出之间的关系。

为了利用神经网络建立 r, D, H, H_1 和 E_1, E_2 之间的映射关系,采用如前所述的有限元方法计算出一些样本供神经网络训练和验证使用,再由已建立的神经网络模型计算出各结构参数变化下的 E_1, E_2 , 根据合适的算法从中找出满足优化目标的均压环的最优结构参数。

3.1 均压环结构参数神经网络优化模型

调压区电场分布与均压环结构参数之间满足如下映射关系:

$$(E_1, E_2) = f(D, r, H, H_1) \quad (5)$$

这里采用三层前馈式神经网络来构建均压环优化模型,网络的输入为均压环环径、管径、均压环间距和低压端均压环与端盖间距。网络的输出为高、低压端均压环表面最大场强。其结构如图 8 所示。

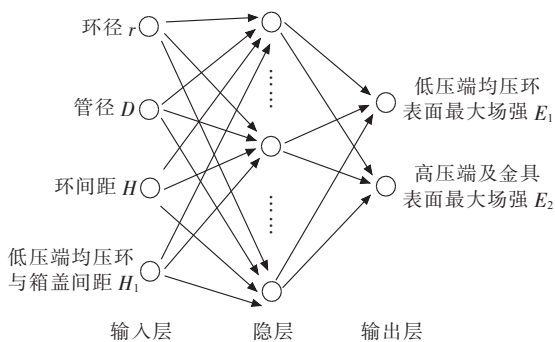


图 8 神经网络模型结构

3.2 神经网络模型构建

为了使网络模型快速收敛,按下式进行归一化的处理:

$$x^* = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

网络输入层与隐含层的传递函数取为 $\log[s(x)]$, 隐含层与输出层的传递函数取为 $\tan[s(x)]$ 。通过反复试验对比,网络隐层神经元个数取为 13 个。网络训练算法取为 L-M 方法,则:

$$\log[s(x)] = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (7)$$

$$\tan[s(x)] = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (8)$$

3.3 均压环参数最优化方法的研究

最优化方法是指在给定的约束条件下,构建问题的数学模型并确定目标函数,找出决策变量的值,使得目标函数达到最小或最大值。这里构建的神经网络模型有 2 个输出变量。当均压环参数变化时,对应的 2 个输出(高、低压均压环表面最大场强)均会变化。在均压环结构参数的优化设计中,由于输入输出模型的非线性特性,无法简单的通过诸如 $E_1 + E_2$ 和 $E_1 - E_2$ 之类的简单函数作为寻求最优解问题的目标函数,如图 9 所示。而且由于神经网络的双参数输出,与以往的均压环结构参数的神经网络优化设计相比又存在特殊性。如何在双参数输出的情况下,通过合适的算法寻求到均压环结构参数的全求解域最优解是优化设计的关键。对于不同的结构参数输入,通过神经网络可以得到相应的电场强度输出。将均压环结构参数 r, D, H, H_1 依次在 [302, 322], [32, 42], [318, 358] 和 [118, 168] 区间内都以 1 为步长变化(单位 mm),作为输入向量,通过神经网络模拟输出。

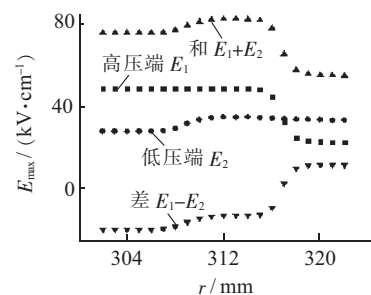


图 9 改变 r 对电场分布及简单目标函数 $E_1 + E_2$ 和 $E_1 - E_2$ 的影响

基于最优化理论,得到的目标函数算法和最优化求解模型。

$$\text{目标函数: } \min[\max(E_1, E_2)]$$

$$\text{约束条件: } x \in S$$

其中 S 为输入向量 x 的可行域 (Feasible Region 可取值集合)。 E_1, E_2 分别为高低压端均压环表面最大电场输出向量。采用方法 $\max()$ 比较 E_1 和 E_2 返回较大值作为输出向量元素。同时采用方法 $\min()$ 寻找输入向量的最小值,返回其寻获值及对应结构参数。利用程序设计方法实现算法后,得到的最优化结果:均压环环径 $r=322$ mm; 管径 $D=42$ mm; 均压环间距 $H=357$ mm; 低压端均压环与端盖间距 $H_1=166$ mm。此时,高压端均压环表面最大场强 $E_1=27.4169$ kV/cm, 低压端均压环表面最大场强 $E_2=23.5594$ kV/cm。

4 结束语

(1) 经过对变压器调压区模型的适当简化,利用有限元法计算出在不同结构参数条件下调压区的电场分布情况。对均压环结构参数进行了分步优化设计并分析了均压环的结构参数改变对电场分布的影响。

(2) 提出采用神经网络方法构建均压环参数—调压区电场的输入—输出模型,利用最优化方法构建优化求解模型,并利用程序语言实现来完成变压器调压区均压环结构参数的全局优化设计。

(3) 针对均压环神经网络最优解寻求过程中遇到的如何在双输出时寻求正确的目标函数算法及其实现这一问题,详细探索并给出准确算法及其实现方法。该方法在对于多输入结构参数多场强约束的匀场设计具有普遍的指导意义。

参考文献:

- [1] 文远芳. 高电压技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001: 1-80.
- [2] 王斌, 彭宗仁. 500 kV 线路绝缘子电压分布的有限元法计算[J]. 电瓷避雷器, 2003(1): 13-15.
- [3] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992: 25-100.
- [4] 甄永赞. 直流输电线下存在建筑物时合成电场计算的有限元方

- 法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(9): 121-122.
- [5] 杨杰, 吉晓波, 周国华. 均压环对复合绝缘子电场分布影响的研究[J]. 高电压技术, 2004, 30(2): 24-25.
- [6] 刘振, 卞星明, 王黎明, 等. 特高压直流复合绝缘子均压环设计[J]. 高电压技术, 2006, 32(12): 137-141.
- [7] 韩社教, 戴栋马, 马西奎, 等. 应用有限元法计算氧化锌避雷器电位分布[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(12): 105-108.
- [8] 韩长伟, 戈兴茹, 刘兵, 等. 电容式电压互感器均压环优化设计[J]. 电力电容器与无功补偿, 2008, 29(3): 21-25.
- [9] 毛凤麟, 王雪松. 复合绝缘子均压环对电场分布的影响[J]. 高电压技术, 2000, 26(4): 39-42.
- [10] 卫李静. 伞盘及绝缘长度对 220 kV 复合绝缘子场强的影响[J]. 水电能源科学, 2011, 29(7): 60-62.
- [11] 司马文霞, 杨庆, 孙才新, 等. 基于有限元和神经网络方法对超高压合成绝缘子均压环结构优化的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(17): 115-120.

作者简介:

- 梅文哲(1989), 男, 湖北松滋人, 工程师, 研究方向为电力系统无功补偿、继电保护及电场计算;
- 赵建(1980), 男, 江苏泰州人, 工程师, 研究方向为电力电子在电力系统中的应用;
- 范小辉(1984), 男, 江苏苏州人, 工程师, 研究方向为电力系统状态检修;
- 黄政宇(1989), 男, 江苏常熟人, 工程师, 研究方向为配网自动化。

Design and Optimization of Transformer Voltage Adjusting Zone Grading Ring

MEI Wenzhe, ZHAO Jian, FAN Xiaohui, HUANG Zhenyu
(Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215000, China)

Abstract: The Voltage Adjusting Zone (VAZ) is critical to transformer voltage regulation. When the voltage level rises, the electric field environment of the VAZ becomes worse. Grading rings for improving the electric field distribution in VAZ are designed, and two methods to optimize the locations of grading ring are proposed. One optimization method is the normal step-by-step calculation method in which the grading parameters are optimized one by one and the other one is based on neural network model which is capable to obtain the global solution.

Key words: grading ring; voltage adjusting zone; finite element; step-by-step calculation; neural network; global optimization

新能源汽车打九折有望拉动需求

日前国务院决定对新能源汽车免征车辆购置税,有业内人士认为,这一决定所形成的优惠力度,对消费者具有比较大的吸引力。免征车辆购置税以后,购买新能源汽车的花费将减少 1~2 万元。以比亚迪为例,扣除国家和上海市的补贴之后,原本购买一辆比亚迪上路的总花费在 16 万元左右,现在免去车辆购置税 1.2 万元,相当于打了个九二折,降价幅度不小。然而,市场对新能源汽车充电难的问题始终有所顾虑。从使用的实际情况来看,购买电动车的消费者大多都能在自己家里或单位完成充电。退一步说,即使公共充电桩在短期内无法建设到位,目前有条件购买新能源汽车的消费者数量也已经能消化地方上的相关指标。"记者从经销商处了解到,70%~80%有固定车位的车主都能与小区协调好建设充电桩的事宜,不会影响新能源汽车的使用。而从长期来看,充电设施的不足的确阻碍了部分潜在消费者购买新能源汽车,这也成为行业发展的隐患。不过,近期各地方政府关于充电桩的政策也在陆续出台。北京到 2017 年将建设 1 万个快速充电桩,上海明年充电桩数量将超过 6000 个。近日又传北京将出台措施,要求新建小区停车位配建充电桩的比例不低于 18%。相应的,各大厂商也在积极布局充电桩设施,充电桩接口标准不统一的难题有望得到解决。2014 年 7 月 8 日,中德签署合作协议,2 国电动汽车的充电接口将完全统一,未来比亚迪、宝马、奔驰等车企将采用同样标准的充电接口。

摘自《江苏电力信息网》