

基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法

李山德

珠海万力达电气自动化有限公司

摘要: 传统电力系统电流保护整定优化方法直接对不同类型故障进行保护整定未对电力系统电流保护优化整定数学模型进行构建,造成传统方法保护整定效率低。提出基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法。构建电力系统电流保护优化整定数学模型,基于改进SVM对不同类型故障进行保护整定,计算出合适模型的参数,将优化后的电流保护整定模型应用于在线监测系统中,实现电力系统电流保护整定优化。设计对比实验,实验结果表明,该研究方法能够更好的缩短故障持续的时间,提高保护整定效率。

关键词: 改进SVM算法; 电力系统; 电流保护; 优化方法

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2022.04.235

引言

电力系统是现代生活中不可或缺的重要组成部分,其运行安全性与稳定性直接影响到社会生产与人们生活的方方面面。电流保护作为电力系统安全运行的关键环节,其准确性和快速性一直是研究的重点^[1]。传统的电流保护整定方法主要是根据经验公式和人工调整来确定,对于不同类型的故障可能存在保护不足或过度保护的问题,因此,研究一种基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法,旨在提高电流保护的准确性和快速性,具有重要的理论意义和实际应用价值。

传统的电力系统电流保护整定方法主要基于固定的电流阈值和时限,如三段式电流保护。然而,这些方法未考虑到电力系统的动态特性,对于不同类型的故障可能存在保护不足或过度保护的问题。随着人工智能技术的发展,一些学习算法被应用于电力系统电流保护整定优化,如神经网络、遗传算法等。这些方法在一定程度上提高了电流保护的准确性和快速性,但仍存在局限性和不足之处。本文提出了一种基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法,通过建立电力系统电流保护整定的数学模型和利用改进SVM算法对不同类型故障进行保护整定,实现了电流保护准确性和快速性的提高。

一、基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法设计

(一) 构建电力系统电流保护优化整定数学模型

目前电力系统的保护方法广泛应用于配电网中。 T 表示包含电流保护时间整定系数, I 表示启动电流两大

参数,电流保护操作的特征方程如式(1)所示。

$$t_{ij} = \frac{0.14T_i}{(I_{ij}/I_i)-1} \quad (1)$$

在公式中, T_i 是保护设备*i*的时间的整数系数, i 是保护装置的数量,它反映了电力系统中的保护设备数量。这些设备在检测到故障电流时会迅速作出反应,从而防止故障扩大并保护整个系统的稳定运行。 j 代表故障线路的数量,当系统发生故障时,它决定了需要切断多少线路以防止故障的扩大。 I_{ij} 则是流过保护的电流,它在保护设备启动和动作的过程中起着关键作用。当电流超过一定阈值时,保护设备会触发动作,从而切断电流或采取其他保护措施。 t_{ij} 则是保护动作时间,指的是从故障电流触发到保护设备动作所需的时间。这一参数对于保护设备的性能和系统的稳定性至关重要。 I_i 是保护设备*i*的启动电流,指保护设备在检测到电流超过预定阈值时开始启动并执行保护动作的电流值^[1]。该值的大小直接影响着保护设备的灵敏度和选择性。优化的目标是在满足可靠性和选择性的情况下,最大限度地减少任何传播网络中主流储备的保护和保护的总体工作时间。优化的目的是:

$$\min T_{OPR} = \sum \sum (t_{ij} + t_k) \quad (2)$$

在上述公式中, O 是故障线路的总数, P 为主要是保护装置的线路, R 是备用保护装置的数目, t_k 是在线路*k*中出现临时链路故障的情况下保护储备的时间。

为了相配合主保护和后备保护。在方程(3)中列出限制条件。

$$t_{ij}^b - t_{ki}^p \geq T_C \quad (3)$$

T_C 为动作时间差主保护与后备保护的最小值, 这个系数的取值不能太小, 通常需要根据实际系统和保护装置的性能进行合理的选择。此外, 对于本文中所提到的所有现有保护装置, 应当符合IEC255-3标准, 这一标准对保护装置的设计和应用提供了重要的指导和规范。

同时, 这些保护装置不仅需要满足IEC255-3标准, 还需符合公式(4)和(5)所规定的限制条件。

$$T_{p\min} \leq T_p \leq T_{p\max} \quad (4)$$

$$I_{p\min} \leq I_p \leq I_{p\max} \quad (5)$$

在上述公式中, T_p 为保护装置线路保护动作时间, I_p 是保护设备跳闸线圈电流, $T_{p\min}$ 和 $T_{p\max}$ 为保护装置线路保护动作时间最小值和最大值, $I_{p\min}$ 和 $I_{p\max}$ 保护设备跳闸线圈最小电流和最大电流, 为必须在允许的范围内进行取值, 以正常操作保护设备, 并两个参数均具有上下边界。构建电力系统电流保护优化整定数学模型。

$$W = t_{ij} \frac{IL_{\max i} \sum k_1 k_2}{IL_{\min} (k_1 k_2)} \quad (6)$$

其中, $IL_{\max i}$ 是配电网正常运行期间流经保护 i 的最大负载流量, IL_{\min} 是配电网运行期间流经保护的最小负载流量, $k_1 k_2$ 是灵敏度的置信因子的两个参数值。

(二) 基于改进SVM对不同类型故障进行保护整定

对不同类型故障进行保护整定, 可以借助改进的支持向量机(SVM)算法来实现。当发生相间短路故障时, 两相短路电流等于三相短路电流, 这是由电力系统的物理特性决定的^[2]。电流保护通常使用三相短链故障进行调整, 这是为了确保在发生故障时, 保护装置能够迅速、准确地切断电流, 以避免设备损坏和系统稳定性受到影响。然而, 在某些情况下, 例如临时线路的长度、头端之间的短期差异或与大容量总线的连接, 可能无法得到满足要求的整定值。此时, 需要借助改进的SVM算法, 通过两相短链故障验证保护的灵敏度, 从而确定最佳的保护整定值。

由于大多数平均电压配电网都使用微型计算机进行保护, 当发生故障时, 微机保护装置可以使用相位选择算法来确定故障类型^[3]。这种算法可以帮助保护装置精确地识别不同类型的故障, 从而采取相应的保护措施。在此基础上, 为了避免故障对电流保护的影响, 正常故障特性需符合IEC标准, 其特性方程为:

$$T_{ik} = \frac{0.14TDS}{I_i - 1} + 0.014 \quad (7)$$

在上述公式中, T_{ik} 反映了继电器在特定区域发生故障后的响应速度, 对于系统的稳定性和安全性至关重要。 TDS 是保护设备的时间整定系数^[4]。这个参数反映了继电器在接收到故障信号后作出反应的快慢程度, 它依赖于特定的故障类型和继电器的设计。短路电流是指电源或电路中的电流突然增加, 可能是由于电线、电器等设备的故障造成。而启动电流是指在电动机或电器启动时瞬间增加的电流。继电器的动作电流设为额定电流的1.3倍。这个设定是基于实验数据和实际应用的需求得出的。因为当电路出现故障时, 继电器需要快速作出反应, 避免故障对整个电路造成更大的影响, 而这个反应速度与继电器的电流密切相关。

限制条件:

继电器主保护与后备保护之间的临时协调关系:

$$T_k - T_{ik} \geq \Delta T \quad (7)$$

在上述公式中, ΔT 为保护时间间隔, T_k 为继电器后备保护动作时间, 通常为0.2秒。

设置继电器运行周期的时间因子和限制条件

$$TDS_{i\min} \leq TDS_i \leq TDS_{i\max} \quad (8)$$

$$T_{i\min} \leq T_i \leq T_{i\max} \quad (9)$$

在上述公式中, $T_{i\min}$ 和 $T_{i\max}$ 为保护设备时间整数系数的最小值和最大值, $TDS_{i\min}$ 和 $TDS_{i\max}$ 为是保护设备的最小时间整定系数和最大时间整定系数。

图1列出了基于改进SVM保护整定流程。其中基准值 P 的计算公式为:

$$p = WT \frac{1}{n} \quad (10)$$

在上述公式中，n为当前迭代次数。

通过改进SVM算法来解决继电保护问题的算法流程如图1所示。

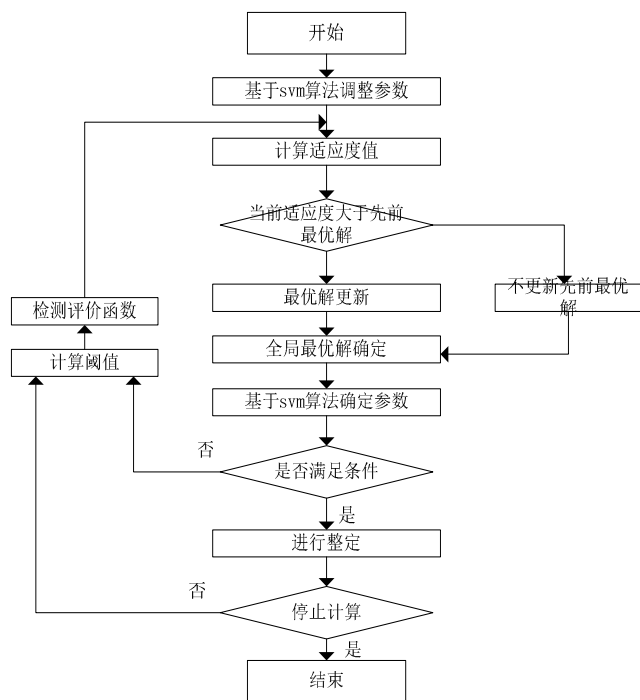


图1 基于改进SVM保护整定流程

根据上述方程式，获得了位置和速度的最佳参数。SVM有很多参数需要调整，如惩罚参数和核函数参数。参数的选择直接影响模型的功能，因此应使用相互验证和其他方法找到最佳参数。对于适应度值参考公式(11)。

$$fit = \frac{1}{\sum T_{ik}} (1 - \sum m) \quad (11)$$

在上述公式中，m是约束条件总数。若满足全部约束条件。将一致性值与以前的最佳值进行比较。如果一致性值优于先前的最佳值，则使用一致性值替换先前最佳值^[5]。当根据先前的最优值确定当前的全局最优值时，将当前全局最优值与先前最优值进行比较，并确定最优全局最优值。

进行迭代计算，并在达到最大迭代次数时停止计算。

(三) 实现电力系统电流保护整定优化

电流保护整定优化是一个复杂且关键的任务，需要

通过多个步骤来实现。要将优化后的电流保护整定模型应用于在线监测系统中，实时监测和控制电力系统的运行状态^[6]。优化过程应包括：

首先进行初始优化，以确定目标函数 $f(x)$ 、决策的变量 x 、变量数量 X_i 和每个变量的可能值。保护整定值计算如等式(13)所示。

$$\begin{cases} \min f(x) fit \\ s.t. x \in X_i \quad i = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (12)$$

其次定义基本参数。协调初始化大小记忆库 H_M ，保存协调概率 HMS ，验证调整概率 P 。重复最大次数。并根据方程(14)中所示的目标函数值进行区分。

$$H_M = [x^1 \ x^2 \ \dots \ x^{HMS}] \quad (13)$$

对电力系统原始数据进行预处理，以去除无效和异常数据，对数据进行归一化，将数据转化为能被模型接受的形式。生成新解 x_i^{new} 。根据具体的电力系统特性和保护需求，基于SVM算法设置参数，当使用HM选择值时，得出参数如式(15)所示。

$$x_i^{new} = \begin{cases} x_i + B_{wu}(-1,1) & r_2 \leq P_{AR} \\ x_i & r_2 > P_{AR} \end{cases} \quad (14)$$

在上述公式中， x_i 是函数生成的随机数。 B_{wu} 是电流系统的恒定定义的故障值， u 是单个分布函数。

根据输出结果，设定相应的保护整定值，带入上述建立模型。如果模型预测到某种类型的故障即将发生，可以根据模型的预测结果来设定相应的保护措施，如跳闸或联锁动作等。将优化后的电流保护整定模型应用于在线监测系统中，实时监测电力系统的运行状态，对可能出现的故障进行及时预警和处理。同时，根据电力系统的实时运行状态和模型预测结果，可以对电力系统的运行进行相应的优化控制，以实现电力系统的稳定、安全和经济运行。

二、实验论证

(一) 实验准备

在9节点系统上对上述所提方法进行验证。9节点系统单相接线图如下。

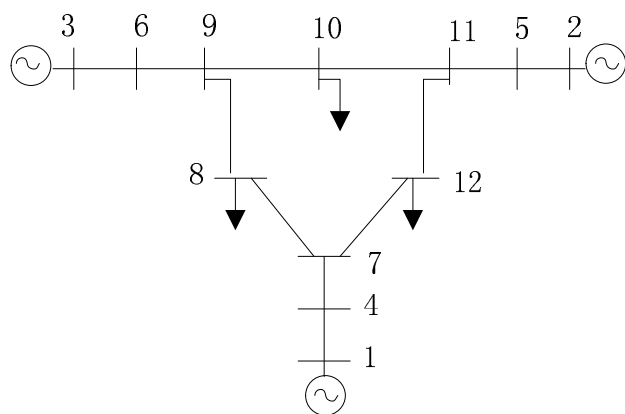


图2 9节点系统图

该系统包括12个传统的过电流保护装置。CTI值在0.2s到0.5s之间，k1值在[0.15, 12.9]之间，k2值在[0.01, 1.01]之间。保护动作时间间隔为[0.09, 1.7s]。模拟该配电网在不同过渡电阻和不同中性点接地方式下的故障情景，以验证本文方法的性能。配电网包括6条故障馈线，参数见表1。

表1 线路参数

馈线	长度/km	正序阻抗/(Ω /km)	零序阻抗/(Ω /km)	对地电容/(μ F/km)	负荷容量/MW
1	8	0.3+j0.05	3+j0.30	0.33	3
2	7	0.27+j0.08	2.4+j0.4	0.32	8
3	6	0.25+j0.04	2.7+j0.35	0.27	5
4	9	0.28+j0.08	2.7+j0.38	0.30	3
5	10	0.27+j0.05	2+j0.42	0.28	8
6	8	0.3+j0.05	3+j0.30	0.30	6

系统等效阻抗为0.5 Ω ，可靠系数均取0.95。按照优化整定参数计算各保护的動作时间，如表3所示。

(二) 对比实验

表2 三种方法保护动作时间对比结果

故障馈线	传统方法1保护动作时间/s	传统方法2保护动作时间/s	本文方法保护动作时间/s
1	2.673	3.643	1.053
2	2.564	3.652	1.134
3	2.754	3.643	1.163
4	2.633	3.631	1.056
5	2.643	3.351	1.083
6	2.354	3.134	1.254

在上述测试数据表2可以看出，本文方法保护动作

时间最短平均为1.124s，比传统方法1和传统方法2分别减少1.423s和2.134s，当线路发生故障时，本文方法能够更好的缩短故障持续的时间，提高保护整定效率。

三、结论

本文介绍了一种基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法。该方法通过建立电力系统电流保护整定的数学模型，利用改进SVM算法对不同类型故障进行保护整定，并实现了电力系统电流保护整定的优化。本文提出的基于改进SVM的电力系统电流保护整定优化方法，通过建立数学模型和利用改进SVM算法对不同类型故障进行保护整定，并实现了电流保护的优化。该方法在提高电力系统的安全性和稳定性方面具有重要的应用价值，并为未来电力系统的发展提供了有益的参考。

参考文献

[1] 高佳, 董上义, 彭章刚. 基于DE-PSO算法的流保护定值整定优化[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2022, 41(06): 84-90.

[2] 马明锐. 燃气轮机—蒸汽机联合循环发电机组调差系数优化整定分析与处理[J]. 科技风, 2021(36): 192-195.

[3] 张涵, 刘铁军, 刘波等. 遗传优化PID整定算法在阀门定位器中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(11): 215-222.

[4] 黄景光, 李浙栋, 张宇鹏等. 计及后备保护优化级数的改进阻抗修正流保护整定方法[J]. 电网技术, 2022, 46(07): 2768-2777.

[5] 马明, 廖鹏, 蔡雨希等. LCL并网逆变器一阶自抗扰控制及基于粒子群优化的控制参数整定方法[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(11): 174-182.

[6] 李道波, 梁晓军, 王灿文等. 基于粒子群算法的阀门流量特性整定优化[J]. 山东电力技术, 2021, 48(07): 58-63.

作者简介: 李山德(1981-), 男, 硕士, 技术总监, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护、配电网自动化与电力设备状态监测。