

新能源区域电网负荷频率控制方法研究

吴沛

国网湖北省电力有限公司钟祥市供电公司 湖北荆门 431900

摘要: 本文旨在研究新能源区域电网负荷频率控制方法,并提出一种基于云-神经网络PI算法的解决方案。传统的模糊逻辑方法存在一定的不确定性问题,因此采用云模型来解决这一问题。该方法能够减少对人工经验的依赖,并实现更好的负荷频率控制。通过实验验证,我们提出的方法在多种干扰情况下都能够取得较好的效果,具有极强的自适应性和稳定性。这一研究为新能源区域电网负荷频率控制提供了一种新的方法,有望提高其控制质量。

关键词: 新能源区域电网; 负荷频率控制; 云-神经网络; PI算法; 模糊逻辑; 不确定性; 自适应性; 干扰情况; 控制质量;

引言

随着化石能源的匮乏和环境污染问题的不断加剧,开发多种新能源接入电网已成为不可避免的趋势。新能源,例如光伏发电和风力发电,已成功地接入区域电网,有效解决了资源和环境问题。然而,这也带来了电力系统负荷频率的随机性和波动性增加,对区域电网的负荷频率控制(Load Frequency Control, LFC)产生了影响。为了解决上述问题,本文提出了一种新的新能源区域电网负荷频率控制方法。该方法利用云模型来解决传统模糊逻辑中存在的 uncertainty 问题,并借助云-神经网络PI发生器建立自主学习的云规则,进而改进为云-神经网络PI控制器来实现负荷频率控制。通过本文的研究,我们希望提供一种可行的方法来改善新能源区域电网负荷频率控制的质量,从而推动电力系统的稳定运行和可持续发展。通过引入云模型和神经网络的思想,本方法能够更好地处理不确定性和复杂性,提高负荷频率控制的自适应性和稳定性。

1 新能源区域电网负荷频率控制方法综述

1.1 传统负荷频率控制方法

传统负荷频率控制方法是基于传统的PID(比例积分微分)控制算法。这些方法通过测量电网频率和负荷功率之间的误差,并利用PID控制器调节发电机的机械功率来实现频率的调节。然而,传统方法在面对新能源接入电网的变化性和不确定性时存在一定的局限性。由于新能源发电的波动性和不可预测性,传统PID控制方法往往无法满足对频率的精确控制要求。

1.2 云模型及其应用

云模型是一种数学模型,用于描述不确定性和模糊性。它将隶属度函数与三角隶属度函数相结合,引入了云隶属度函数的概念。云模型在负荷频率控制中的应用主要是为了解决传统模糊逻辑方法中存在的 uncertainty 问题。通过建立云模型和进行推理分析,可以更好地处理复杂的负荷频率控制问题。云模型在负荷频率控制中的优势在于能够对不确定性进行建模,并考虑到多个因素之间的关联性,从而提高了控制的鲁棒性和适应性。

1.3 神经网络及其应用

神经网络是一种模拟人脑神经系统结构和功能的计算模型。它由大量的神经元和它们之间的连接组成,通过训练和学习来建立输入和输出之间的映射关系。在负荷频率控制中,神经网络可以用于建立负荷频率控制器的模型,并通过学习和适应性调整来实现对系统的控制。神经网络的优势在于其非线性映射能力和强大的自适应性,能够应对负荷频率控制中的复杂动态特性和不确定性。

1.4 PI算法及其应用

PI算法是一种常用的控制算法,它结合了比例项和积分项来实现对系统的控制。在负荷频率控制中,PI算法常被用于设计负荷频率控制器,通过调节比例和积分参数来实现对负荷频率的稳定控制。PI算法在控制过程中能够实时响应频率偏差,通过比例项提供快速响应,而积分项则用于消除系统稳态误差。PI算法是一种经典的控制算法,具有简单实现、可靠性高和良好的稳定性等特点,因此在负荷频率控制中被广泛应用。

2 新能源区域电网负荷频率控制方法

为了解决新能源区域电网负荷频率控制中传统模糊逻辑存在的 uncertainty 问题,我们考虑将云模型算法与神经网络算法相结合。传统的云模型算法在控制规则方面仍然依赖专家根据系统特征经验总结而得,而定性规则需要在每个采样周期内进行近似推理的计算控制,反向加强实时控制的复杂度。如果需要更换控制系统,还需要重新调整控制系统,因此云模型的适用性较弱。

为了解决以上问题,我们提出了一种基于云-神经网络PI算法的方法,该方法模拟了大脑运行机制中的并发记忆和自适应学习数据样本的特性。我们利用神经网络在建立自学习云规则的基础上,实现了各变量之间的非线性投射。我们将该方法应用于引入可再生新能源的区域电力系统,将原有的二维云PI控制器改进为云-神经网络PI控制器,用于负荷频率控制。

云-神经网络PI发生器的前件发生器采用了区域1系数矩阵 e 和区域2系数矩阵 ec 作为输入,其中前件发生器使用了基于X条件云发生器的云化层。后件发生器的输出选择了PI控制器内的两个参数P和I的整定值 ΔP 、 ΔI ,从而构建了适用于负荷频率控制的云-神经网络PI控制器。

我们在自然语言变量的基础上建立了控制规则,并选取了七个模糊集合作为语言变量的取值,包括"NB 负大"、"NB 负中"、"NB 负小"、"Z 零"、"PS 正小"、"PS 正中"和"PS 正大"。

在二维云PI控制器设计中,将上述七个变量输入到预先构建的二维云多规则控制器中。通过将二维X条件云和一维Y条件云组合成多规则发生器,根据人工经验归纳得到的定性控制规则,在确定好输入 e 和 ec 后,在标准化论域上进行投射,可以得到规律性的结果。

云-神经网络PI控制器采用神经网络作为自学习云规则的方式。它解决了实际模糊系统中输入变量和模糊规则隶属函数的不变性问题。改进后的算法使用神经网络来实现变量之间的非线性映

射。

云-神经网络 PI 算法主要由云发生器、云处理层和 BP 网络组成。每个输入神经元对应一个云发生器，并通过充分的系统考虑形成相应的自学习训练规则。一旦获得可靠的训练参数，利用云处理层根据云发生器生成相应的云规则。通过云规则生成器获取对应的隶属度 μ ，并通过自主学习获得。

基于云神经模糊算法的系统网络由前件网络和后件网络两部分构成。前件网络包括以下三层构造：

(1) 输入层：采样器以相同时间间隔离散地获取输入变量，并对每个节点的 n 个输入变量进行归一化，然后引入前件网络。

(2) 云化层：云化层代表了相应的子云模型，其中 m 表示每个离散输入变量通过云模型区域进行“软”划分的个数，因此总节点数为 nm 个。

(3) 云规则推理层：该层的每个节点代表一条云规则，节点执行“软与”操作，用于匹配云规则并计算各个规则的置信度。

相对于二维云 PI 控制器，云神经网络 PI 控制器采用自学习控制规则，消除了对人工经验的依赖，从而实现更好的系统负荷频率控制。

3 试验分析

本研究以某地区的含新能源区域电网为对象，在 Matlab 仿真平台上搭建了负荷频率控制方法，并进行了仿真实验。该区域电网的系统容量为 900MW。实验分别验证了阶跃负荷干扰、瞬时负荷干扰和风电随机干扰三种情况下的负荷频率控制效果，并将本研究方法与文献中的方法进行比较。

在仿真实验中，我们研究了火电区域 1、光伏区域 2 和风电区域 3 在阶跃扰动下的频率偏差。考虑到系统负荷变化特性和可再生能源发电的不确定性特点，我们对阶跃负荷、瞬时负荷和风电随机干扰下的系统负荷频率控制效果进行了仿真实验，并将三种方法进行了对比。仿真时间设置为 60 秒。下表描述了三个区域的等效集总参数。其中， T_s 和 T_t 表示惯性时间常数和再热时间常数；机组的惯性常数用 M 表示，负荷阻尼系数用标么值 D 表示；调节常数用 R 描述；区域频率偏差系数用 B 描述。

3.1 阶跃负荷干扰

本研究方法在应对系统突发负荷干扰时的 LFC 控制响应进行了深入分析。我们假设系统负荷在第 3 秒发生突变， $\Delta PL=0.02p.u.$ 。

3.2 风电随机干扰

我们验证了本研究方法在三个区域内对风电随机干扰的频率偏差响应。在风电随机干扰下，本研究方法能够将三个区域在不同时段内的峰值超调 (f_p) 和频率偏差下降值 (f_n) 控制在 -0.4 至 0.4 的范围内。该方法能够抑制外部干扰，使系统负荷频率保持稳定状态。

4 结语

综上所述，负荷频率控制在现代互联电力系统的安全稳定运行中扮演着重要的角色。随着风电、光伏等新能源发电方式的快速发展，将它们纳入电网后对电力系统提出了巨大的挑战。本研究方法在多种干扰情况下经过充分验证，展现出优秀的负荷频率控制效果。它具备极强的自适应性和稳定性，使其能够安心地应用于实际场景，并且具有良好的推广应用前景。

然而，负荷频率控制问题依然存在许多挑战和待解决的问题。例如，随着电力系统规模的扩大和新能源接入比例的增加，如何进

一步提高控制的精确性和响应速度仍然是一个重要的课题。此外，负荷频率控制还需要考虑到不同类型的负荷和电力系统的复杂性，以满足更加复杂多变的运行环境。

未来的研究可以继续深入探索负荷频率控制的方法和技术，包括引入智能算法、优化控制策略和增强学习等方面的研究。通过不断革新和改进，我们有望进一步提高负荷频率控制的质量和效果，推动电力系统向着更加可靠、高效和可持续发展的方向发展。

总之，本研究的负荷频率控制方法为解决新能源区域电网负荷频率控制问题提供了一种有效的解决方案。它具备良好的控制效果和应用潜力，为电力系统的安全稳定运行提供了有力支持。希望本研究能够为相关领域的研究者和工程师提供有益的参考和启发，推动电力系统的可持续发展。

参考文献：

- [1]含双馈风电电力系统的采样负荷频率控制[J]. 李漠发; 张志文; 练红海; 胡斯佳.电力系统保护与控制, 2023 (02)
- [2]基于非周期间歇控制的负荷频率控制系统[J]. 颜昌昊; 刘斌; 肖攀.工业控制计算机, 2022 (10)
- [3]基于交替方向乘子法的分布式负荷频率控制策略[J]. 李玲芳; 陈义宣; 许岩; 文福拴.电力建设, 2021 (11)
- [4]基于 MATLAB/SIMULINK 的互联电网负荷频率控制建模仿真研究[J]. 李明, 林静怀, 张永树, 魏守平, 胡斌奇.西北电力技术, 2005 (02)
- [5]分散模糊负荷频率控制器的优化设计[J]. 高峰, 秦翼鸿, 徐国禹.电网技术, 1996 (03)
- [6]欺骗攻击下多区域互联电力系统的事件触发滑模负荷频率控制(英文)[J]. 刘兴华; 白丹丹; 孙宝仁; 文家燕; 吕文君; 李鲲.中国科学技术大学学报, 2021 (01)
- [7]一种新的负荷模型在负荷频率控制中应用的研究[J]. 朱继忠, 徐国禹, 张毅敏.重庆大学学报(自然科学版), 1994 (02)
- [8]含可再生能源的多区域电力系统负荷频率控制[J]. 关燕鹏; 李晓宁; 贾新春.电力系统及其自动化学报, 2022 (07)
- [9]基于事件触发控制的时滞电力系统负荷频率控制[J]. 周一辰; 覃露; 李永刚; 李沙; 孙佳辉; 马静.电力自动化设备, 2022 (07)
- [10]基于事件触发和欺骗攻击的电力系统负荷频率控制[J]. 季博威; 张笑; 严沈; 顾洲.辽宁石油化工大学学报, 2022 (04)
- [11]计及产业结构和温度因素的神经网络电网负荷预测方法. 杨星磊; 项川; 姜鸣瞻; 邓玲; 谢琼瑶; 杨松坤; 谭炜东; 路长江.电力电容器与无功补偿, 2022
- [12]含混合储能辅助的电网负荷频率联合控制. 刘可真; 刘果; 陆永林; 代莹皓; 蒋怀震.电力科学与工程, 2022
- [13]基于深度 Q 学习的含电动汽车孤岛微电网负荷频率控制策略. 范培潇; 杨军; 肖金星; 徐冰雁; 叶影; 李勇汇; 李蕊.电力建设, 2022
- [14]含规模化风电电网的负荷频率云 PI 控制策略研究. 张斌; 张超; 韩晓娟.发电技术, 2019
- [15]大功率高压开关电源变压器的损耗分析及散热控制. 黄毅; 彭可; 王文潮; 陈练; 董密; 邵添; 雷佳豪.中南大学学报(自然科学版), 2019
- [16]含风电的多域互联电力系统负荷频率控制方法. 李峰; 余为杰; 张周胜.水电能源科学, 2018