

基于带神经元分裂的模糊脉冲神经膜系统的风光储微网协调控制研究

李俊杰 于文萍* 郑雅玲

成都工业学院 电气与电子工程学院, 中国·四川 成都 611730

摘要: 随着一次能源的不断减少, 环境污染严重, 低碳环保的新能源电动汽车产业的发展随之水涨船高, 而把电动汽车接入微网在我国将成为一个未来发展的新趋势。模糊脉冲神经膜系统除了具有强大的计算能力, 更重要的是对于处理不确定性的信息具有一定的优势。另外, 利用神经元分裂的特性可以解决系统中具有多个变量的可满足性问题。因此, 本文结合了神经元分裂特性与模糊脉冲神经膜系统, 定义了一种带神经元分裂的模糊脉冲神经膜系统 (Fuzzy Reasoning Spiking Neural P System with Neuron Division, 简称 dFRSNP), 制定了规则的类型, 并将其应用到了包含新能源和电动汽车的风光储微网系统中, 建立了基于 dFRSNP 的微网功率协调控制模型。最后, 对该模型进行推理测试, 验证了其正确性和可行性。

关键词: 微网; 协调控制; 模糊脉冲神经膜系统; 电动汽车

Research on Coordinated Control of Wind-Solar-Storage Microgrid Based on Fuzzy Spiking Neural P Systems with Neuron Division

Li Junjie, Yu Wenping*, Zheng Yaling

School of Electrical and Electronic Engineering, Chengdu Technological University, China Sichuan Chengdu 611730

Abstract: With the continuous reduction of primary energy and serious environmental pollution, the development of the low-carbon and environmentally friendly new energy electric vehicle industry has risen, and the connection of electric vehicles to the microgrid will become a new trend in my country's future development. In addition to the powerful computing power, the fuzzy reasoning spiking neural P system has certain advantages in dealing with uncertain information. In addition, the multi-variable satisfaction issues with multiple initial neuron numbers in the system can be solved by using the characteristics of neuron division. Therefore, this paper combines the characteristics of neuronal division with the fuzzy pulsed neural membrane system to define a fuzzy reasoning spiking neural P system with neuron division (dFRSNP), formulates the type of rules, and applies them to microgrid systems containing new energy sources and electric vehicles. This paper proposes a power coordination control strategy for microgrids based on dFRSNP. Finally, the proposed control strategy based on dFRSNP microgrid is simulated by software MATLAB, and the simulation results verify the correctness and effectiveness of the strategy.

Keywords: Microgrid; Coordination control; Fuzzy reasoning spiking neural P system; Electric vehicles

0 引言

环境污染、能源稀缺与汽车行业的发展息息相关, 因此, 新能源的发展受到重视, 保护环境的新能源汽车应运而生。电动汽车 (Electric Vehicle, EV) 具有环保无污染、低碳节能、省钱经济等优点, 充分坚持了保护不可再生资源, 利用新能源和节能减排的环保目的。然而, 新能源和 EV 在联网过程中会造成电网频率波动、谐波影响, 以及电压不平衡等问题, 会给电网带来冲击, 影响电力系

统的正常运行^[1]。因此, 本文提出一种改进的带神经元分裂的模糊脉冲神经膜系统 (Fuzzy Reasoning Spiking Neural P System with Neuron Division, 简称 dFRSNP) 的微电网协同控制方法, 使新能源和 EV 接入微电网之后一系列问题得到有效改善。如图 1 所示为本文所研究的面向新能源与电动汽车的风光储微网系统, 由光伏发电、风力发电、EV、燃料电池及负荷组成, 系统母线为交流连接形式, 由公共连接点接入电网。

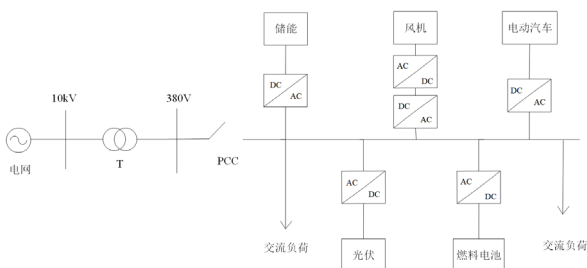


图1 面向新能源与电动汽车的风光储微网结构图

1 基于 dFRSNP 的风光储微网协调控制建模

膜计算由欧洲科学院院士 Păun 于 1998 年首次提出^[2]。膜计算具有分布性，其强大的并行计算能力、对不确定性信息的高效处理以及良好的自适应学习能力适用于求解各类应用问题^[3]。

一个度为 $m \geq 1$ 的带神经元分裂的模糊脉冲神经膜系统，具有如下结构：

$$\Pi = (A, H, \sigma_1, \dots, \sigma_m, syn, in, out) \quad (1)$$

其中：

(1) $A = \{a\}$ 代表单字母集合， a 代表脉冲；

(2) H 代表神经元标记的有限集合；

(3) $\sigma_1, \dots, \sigma_m$ 代表系统 Π 中的 m 个神经元，神经元 $\sigma_i = (\alpha_i, \tau_i, \gamma_i)$ ， $1 \leq i \leq m$ ，其中：

1) α_i 为区间 $[0,1]$ 中的实数，代表神经元 σ_i 的内部脉冲的脉冲值；

2) τ_i 为区间 $[0,1]$ 中的实数，代表神经元 σ_i 的模糊真值；

3) γ_i 代表进化规则的有限集合，具有以下两种形式的规则：

① 激发规则： $[E/a^\alpha \rightarrow a^\beta]_i$ ，其中 $i \in H$ ， E 为 α 上的正则表达式， α, β 皆为区间 $[0,1]$ 中的实数；

② 神经元分裂规则： $[E]_i \rightarrow [a]_j \parallel [a]_k$ ， E 为 α 上的正则表达式， $i, j, k \in H$ ；

(4) $syn \subseteq H \times H$ ，代表神经元之间的突触集合，其中 $(i, i) \notin syn \quad i \in H$ ；

(5) $in, out \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$ 分别代表输入 / 输出神经元集合。

基于 dFRSNP 的风光储微网协调控制模型如图 2 所示。其中圆形为命题神经元，当满足激发条件时，命题神经元接收到一个脉冲 a ，将在点火的同时向与其突触后相连的神经元发出一个新脉冲。矩形为“相减”规则神经元，若“相减”规则神经元接收到和前突触相等数量的脉冲 a 将会点火，同时向与其相连的突触后神经元发出一串

脉冲序列。如果一个“相减”规则神经元包含 2 个脉冲值分别为 α_i 和 α_{i+1} 的脉冲， $\alpha_i \geq \alpha_{i+1}$ ，且 $\alpha_i, \alpha_{i+1} \in [0,1]$ ，则满足其点火条件，并向与其相连的突触后神经元传递脉冲值为 $\beta = \alpha_i - \alpha_{i+1}$ 的脉冲序列。

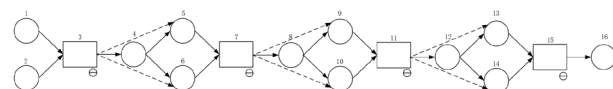


图2 基于dFRSNP的风光储微网协调控制模型

2 模型推理测试

首先，将输入量模糊化处理，即是将输入值转化为区间 $[0,1]$ 之间的数。在通过计算之后，可对输出的模糊值进行反转化，变为真实值。系统输入量的模糊化处理如表 1 所示。对于整个微电网系统而言，有卖电（极性：+）、平衡（极性：0）和买电（极性：-）三种状态。将功率的数值转化为 $[0,1]$ 之间的数值即为模糊化处理。该模型的各神经元及其所执行的规则如表 2 所示。

表1 系统输入量的模糊化处理

单元	模糊处理
储能装置	充电——极性：+ 保持——极性：0 放电——极性：-
可调电源	增加——极性：+ 保持——极性：0 减少——极性：-
可调负荷	增加——极性：+ 保持——极性：0 减少——极性：-
不可控电源	保持——极性：0
不可控负荷	保持——极性：0

表2 微网模型神经元及其规则

神经元	规则
σ_1, σ_2	$[a^\alpha \rightarrow a^\alpha]_i$
$\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{11}, \sigma_{15}$	$[a^\alpha \rightarrow a^\beta]_i$
$\sigma_4, \sigma_8, \sigma_{12}$	$[E]_i \rightarrow [a]_j \parallel [a]_k$
$\sigma_5, \sigma_9, \sigma_{13}$	$[a^\alpha \rightarrow a^\alpha]_i$
σ_6	$[a^\alpha \rightarrow a^{\beta_1}]_6$
σ_{10}	$[a^\alpha \rightarrow a^{\beta_2}]_{10}$
σ_{14}	$[a^\alpha \rightarrow a^{\beta_3}]_{14}$
σ_{16}	$[a^\alpha \rightarrow a^\alpha]_{16}$

当功率差额小于零时（ $\Delta P < 0$ ）：此时由于 $\Delta P < 0$ ，其模糊真值 τ_i 将与功率差额大于零时的 τ_i 不同，但依旧将功率差额模糊化处理得到属于区间 $[0,1]$ 之间的数作为输入神经元的脉冲值，这个脉冲值即为给初始神经元 σ_1 赋值 α_1 。再给初始神经元 σ_2 赋值 α_2 ， α_2 为系统的储能装置的电荷状态 SOC 通过模糊化处理的介于区间 $[0,1]$ 之间的数值。当命题神经元 σ_1 和 σ_2 满足激发条件后，接收脉冲点火并向后与之相连的突触后神经元发出新脉冲，若满足规则神经元 σ_3 的激发条件 $\alpha_1 \geq \alpha_2$ 时，则向与其相连的突触后神经元 σ_4 传递脉冲值为 $\beta_3 = \alpha_1 - \alpha_2$ 的脉冲序列。规定命题神经元 σ_4 执行神经元分裂规则，此时分裂成两个神经元分别为 σ_5 和 σ_6 ，分裂产生的两个子代神经元都继承父代神经元的突触

关系, 分别都与 σ_3 建立新的突触。

然后, 规则神经元 σ_3 分别向命题神经元 σ_5 和 σ_6 传输脉冲, 其中命题神经元 σ_5 的脉冲值和其模糊真值相等即 $\alpha_5=\beta_3$, 而命题神经元 σ_5 得到的脉冲值为 $\alpha_6=\theta_1$ 。下一步命题神经元 σ_5 和 σ_6 向后与其相连的突触后神经元 σ_7 传输脉冲, 若满足规则神经元 σ_7 的激发条件时 $\alpha_5 \geq \alpha_6$, 则向与其相连的突触后神经元 σ_8 传递脉冲值为 $\beta_7=\alpha_5-\alpha_6$ 的脉冲序列。规定命题神经元 σ_8 执行神经元分裂规则, 此时分裂成两个神经元分别为 σ_9 和 σ_{10} , 分裂产生的两个子代神经元都继承父代神经元的突触关系, 分别都与 σ_7 建立新的突触。

然后, 规则神经元 σ_7 分别向命题神经元 σ_9 和 σ_{10} 传输脉冲, 其中命题神经元 σ_9 的脉冲值和其模糊真值相等即 $\alpha_9=\beta_7$, 而命题神经元 σ_{10} 得到的脉冲值为 $\alpha_{10}=\theta_2$ 。下一步命题神经元 σ_9 和 σ_{10} 向后与其相连的突触后神经元 σ_{11} 传输脉冲, 若满足规则神经元 σ_{11} 的激发条件 $\alpha_9 \geq \alpha_{10}$ 时, 则向与其相连的突触后神经元 σ_{12} 传递脉冲值为 $\beta_{11}=\alpha_9-\alpha_{10}$ 的脉冲序列。规定命题神经元 σ_{12} 执行神经元分裂规则, 此时分裂成两个神经元分别为 σ_{13} 和 σ_{14} , 分裂产生的两个子代神经元都继承父代神经元的突触关系, 分别都与 σ_{11} 建立新的突触。

然后, 规则神经元 σ_{11} 分别向命题神经元 σ_{13} 和 σ_{14} 传输脉冲, 其中命题神经元 σ_{13} 的脉冲值和其模糊真值相等即 $\alpha_{13}=\beta_{11}$, 而命题神经元 σ_{14} 得到的脉冲值为 $\alpha_{14}=\theta_3$ 。下一步命题神经元 σ_{13} 和 σ_{14} 向后与其相连的突触后神经元 σ_{15} 传输脉冲, 若满足规则神经元 σ_{15} 的激发条件 $\alpha_{13} \geq \alpha_{14}$ 时, 则向与其相连的突触后神经元 σ_{16} 传递脉冲值为 $\beta_{15}=\alpha_{13}-\alpha_{14}$ 的脉冲序列。当输出神经元 σ_{16} 满足激发条件时, 将输出到环境中。将模糊化处理且经过系统计算的脉冲值进行反模糊化, 得到真实的计算结果。

代入具体数值时, 当功率差额小于零, 模糊化之后为 0.5, 代入系统模型计算, $\text{soc}=0.4$, 经过“相减”规则神经元, 即 0.1, 再经过神经元分裂规则, 分化为 0.1 和 0.1, 再经过“相减”规则神经元, 即 0, 即系统功率平衡, 不再进行计算。反之, 当功率差额大于零时, 模糊化之后为

0.8, 代入系统模型计算, $\text{soc}=0.4$, 经过“相减”规则神经元, 即 0.4, 再经过神经元分裂规则, 分化为 0.4 和 0.1, 再经过“相减”规则神经元, 即 0.3, 再经过神经元分裂规则, 分化为 0.3 和 0.05, 再经过“相减”规则神经元, 即 0.25, 再经过神经元分裂规则, 分化为 0.25 和 0.2, 再经过“相减”规则神经元, 即 0.05, 最后输出为 0.05, 即与大电网相连进行功率交互。由此可见, 系统在两种模式下都能维持其功率平衡, 验证了建模的正确性和可行性。

3 结语

随着不可再生能源的不断减少, 环境污染愈演愈烈, 新能源发展异军突起, 利用可再生能源发电以及切合低碳环保理念的新能源电动汽车产业成为保护环境节能减排的重要手段。针对微网功率协调控制中需要处理不确定性信息及包含多变量问题的需求, 本文结合神经元分裂特性与模糊脉冲神经膜系统, 定义了一种带神经元分裂的模糊脉冲神经膜系统。并将该系统应用于包含新能源和电动汽车的风光储微网中, 建立了基于 dFRSNP 的微网功率协调控制模型。推理测试结果表明, 该模型具有正确性和可行性, 为微网功率协调控制提供了一种新的可行思路。

参考文献:

- [1] 刘娜. 新能源联网对电能质量的影响[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(14): 114-115.
- [2] 刘希玉, 姜珍妮, 赵玉祯. 膜计算研究综述[J]. 山东师范大学学报 (自然科学版), 2018, 33(02): 127-138.
- [3] 王涛, 张庆. 计及 FCSNPS 路径寻优的综合能源系统优化调度策略[J]. 西华大学学报 (自然科学版), 2023, 42(06): 1-13.

基金项目: 获得成都工业学院校级大学生创新创业训练计划项目基金支持 (项目编号 QM2025030)。

作者简介: 李俊杰 (1976-), 男, 汉族, 本科, 讲师, 研究方向: 主要从事电气工程教学与研究工作。

* 通讯作者: 于文萍 (1991-), 女, 汉族, 硕士, 讲师, 研究方向: 主要从事电气工程教学与研究工作。