[电气系统]

基于模糊控制算法的变电站电压/无功研究

文/国网山东省电力公司枣庄供电公司　陈　宁　王传勇　韩　蓬
山东国研电力技术有限公司　黄晓萍

针对变电站电压／无功控制过程中存在的变压器分接头振荡、超调问题，以及投切电容器组存在的实时性差的问题，在分析传统控制方式的基础上结合智能控制算法，提出一种基于模糊控制算法的变电站电压无功控制系统。仿真结果证明，该系统能够准确、有效地解决存在的问题，可以更好地控制变压器的分接头和电容器组的调节次数。

随着社会的发展和生活水平的日益提高，用户对电能质量要求也越来越高，从衡量电能质量的三个指标——电压、频率、波形考虑，结合电网的实际运行情况，来提高其电能质量。通常，输配电系统可以通过解耦来对其进行电能质量分析，可以得到频率/有功功率和电压/无功功率的关系，就多数地区的电网调度而言，通过控制电网的频率来改善电能质量不是其主要职责，而电压/无功功率控制成为提高电能质量所关注的重点。

目前变电站在电压/无功控制方面主要采用基于九分区图的电压无功综合控制器的自动控制方式或者站内运行人员的手动操作方式，前者在控制的过程中会出现投切振荡和超调的问题，并且操作次数会比较多，而后者因主要依靠人工操作，其实时性较差，存在时延问题。但是电压/无功功率的控制过程不是一次完成的，其控制过程中调节次数的多少直接关系到变压器分接头的使用寿命和电容器的使用寿命，因此，如何快速准确地完成电压/无功功率的控制过程是重中之重。针对此问题，本文在充分考虑电网系统特点的基础上提出将模糊控制算法应用在电压/无功功率的控制上。结果证明，这种控制方式可以达到快速、准确的控制效果，并且可以更好地控制变压器的分接头和电容器的调节次数，减少对变压器的分接头和电容器的使用寿命的影响。

模糊控制理论介绍

模糊控制系统是一种基于模糊数学、模糊语言形式的知识表示和模糊逻辑的规则推理为理论基础的自动控制系统，并且将计算机控制技术应用其中，构成具有反馈通道的闭环数字控制系统。其不依赖于控制系统精确的数学模型，适用于一些数学模型无法获得或者获得困难的系统，如特别复杂的系统。此外，模糊控制系统的知识库由数据库和规则库构成，两者是基于专家系统和操作者的成熟经验，可以通过学习不断更新，使知识表示、模糊规则以及推理规则得以更新，使整个控制系统具有自学习性和智能性。模糊控制系统的具体结构如图1所示。

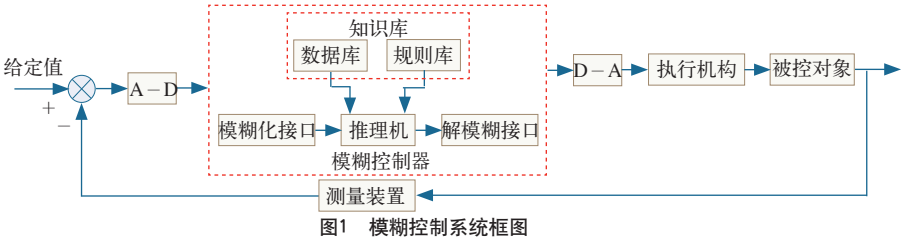

图1　模糊控制系统框图

模糊控制系统由输入/接口、模糊控制器、执行机构、被控对象和测量装置等几部分组成，而模糊控制器是整个控制系统的关键部分，包括模糊化接口、推理机和解模糊接口三部分，其中推理机是根据知识库（包括数据库和规则库）进行的。

输入/接口主要是包括A－D和D－A模块，起到模数转换的作用，模糊控制器是对输入量进行处理，将模拟信号转换为数字信号，是后续信号处理的前提。执行机构作为动作的实施机构，根据模糊控制器做出的指令对被控对象进行动作，被控对象做出相应动作后，测量装置对其动作进行检测，并将检测信号与给定值比较，构成闭环控制，做出下一步的处理信号。模糊控制器作为整个控制系统的核心，将计算机控制技术应用其中，可以达到数学控制方面精确、软件编程方便的目的。

考虑变电站电压/无功调节不确定性强、无精确数学模型，以及电压与无功功率之间存在一定关系的特点，适合模糊控制系统的范畴，因此，将模糊控制算法应用在变电站电压/无功调节中。

变电站电压无功模糊控制系统

1．电压无功模糊控制目标

变电站电压无功控制的目的是在保证电压和无功正常的情况下尽量减少变压器分接头和并联补偿电容器的调节次数，如图2所示，控制目标是关于变压器二次电压U和变压器一次侧无功Q的。

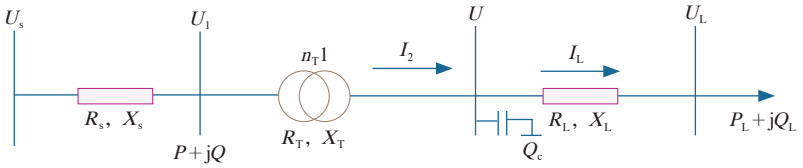

图2　变压器等效电路图

2．电压无功模糊控制器设计

变压器二次电压的偏差和一次侧的无功偏差作为模糊控制器的两个输入量e_u、e_q，将其求导之后得到e'_u、e'_q作为模糊器的输入量，依据模糊推理机中的模糊规则库以及专家经验做出决策，经过解模糊、还原之后作为控制指令分别传达给被控装置变压器和电容器，控制变压器分接头的切换和电容器的投切。被控装置做出动作之后，由电压无功测量装置对执行机构进行检测，并将测量值反馈到给定值处，两者相减作为电压偏差和无功偏差，构成闭环控制，如图3所示。

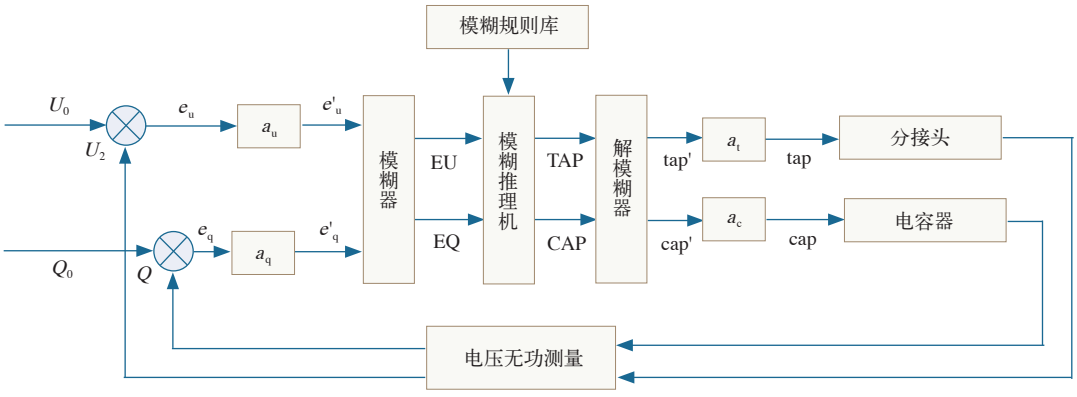

图3　电压无功模糊控制器

仿真分析

根据电力系统变压器进线侧对无功功率的要求可知，其值处于一个具有上下边界的范围内，并且上下边界是一条受变压器二次电压影响的斜线。通过调节变电站装设的多组并联补偿电容器来调整系统的电压和无功，因此，当系统的电压和无功发生偏移时可对电容器组进行操作，可根据计算结果来确定需要投切的电容器组数。为了

能够满足在不同电压偏差和无功偏差条件下更精确地计算投切电容器组数以及提高无功补偿效果，在改进的九宫图的基础上进行划分，如图4所示，无功偏差和电容器投切的控制量的模糊词集为｛NB，NM，NS，Z，PS，PM，PB｝，其中，正表示投入电容器，负表示切开电容器。

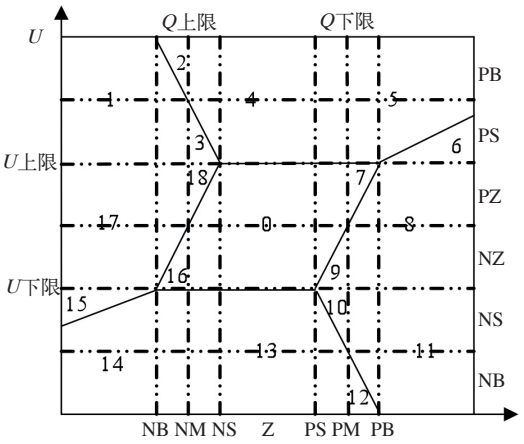

图4　模糊控制规则依据图

定义模糊输入变量e_u（电压偏差）、e_q（无功偏差）和输出变量tap（电容器投切控制量）的模糊集论域为[－6，＋6]，另一输出变量cap（分接头控制量）的模糊集论域为[－4，＋4]。根据变电站电压与无功之间的关系和基本控制原则，以及输出控制量tap和cap非连续量的特点，将输入变量与输出变量的隶属度函数设置为梯形隶属度函数。将依据图4制定的42条模糊规则输入模糊控制器，得到的结果如图5所示。

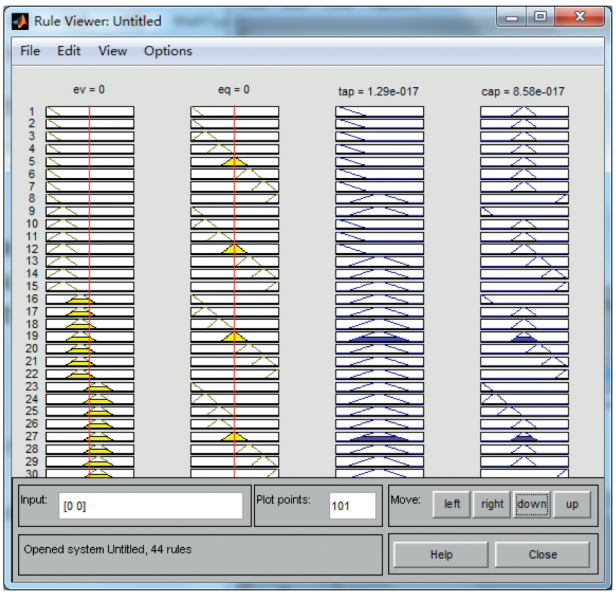

图5　模糊控制规则

由仿真数据可以得到当电压偏差、无功偏差在不同情况下时，变压器分接头及电容器组投切的结论，如表所示。

表　电压偏差、无功偏差与变压器分接头及电容器组投切情况表

	变压器分接头	电容器组
e_v很小	–	–
e_v正大	↑	–
e_v负大	↓	–
e_q很小	–	–
e_q负大、e_v负零	–	↑ ↓
e_q正大、e_v负零	–	↑ ↓
e_q负大、e_v负零或正大	–	↑
e_q正大、e_v正零或负大	–	↓
e_q负大、e_v负大	–	–

电压偏差很小时，变压器分接头不动作，电容器组不投切；电压偏差为正大时，变压器分接头升高，但电容器组不投切；无功偏差很小时，两者都不动作；无功偏差为负大，电压偏差为负零时，变压器分接头不动作，切除较多组数的电容器组；无功偏差为正大，电压偏差为负零时，变压器分接头不动作，投入较多组数的电容器组；无功偏差为负大，电压偏差为负零或正大时，变压器分接头不动作，投入适当组数的电容器组；无功偏差为正大，电压偏差为正零或负大时，变压器分接头不动作，切除适当组数的电容器组；无功偏差与电压偏差均为负大时，两者都不动作。

假设母线的电压为10 kV，正常时电压允许偏差为±7%，则电压的合格范围是9.3～10.7 kV，假设10 kV母线上的并联电容器每一组的额定容量为2 400 kvar，仿真中，取电压10.439 kV，无功为3.699 kvar时，得到tap为PS，cap为PB，电压合格但偏上限无功功率越上限，基于模糊控制规则的仿真结果是变压器分接头和电容器组均不动作，而九分区则采用的是投电容器组，但投电容器组会导致电压越上限，从而造成振荡动作的现象。因此，变电站电压无功模糊控制策略比传统的九分区更加有优势，因为电压无功模糊控制策略减少了振荡动作的现象，从而减少了分接头和电容器的动作次数。

结束语

基于变电站电压控制过程中存在的变压器分接头出现振荡和超调的问题，无功控制过程中存在的时延问题，本文提出一种基于模糊控制算法的电压/无功控制方法，通过仿真结果证明，该方法能够快速、准确、有效地解决目前电压/无功控制存在的问题，并且可以减少变压器分接头和电容器的动作次数，延长其使用寿命。**EA**

（收稿日期：2015.07.31）
（编辑：白文亭）