УДК 621.316.72

Т.С. АНИСИМОВ, студент гр. ФЭ12-05Б (СФУ)
Научный руководитель: Р.А. ПЕТУХОВ, ст. преподаватель (СФУ)
г. Красноярск

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Современные нормативные документы предъявляют довольно жесткие требования к качеству электроэнергии. Однако, в ныне существующих сетях электроснабжения класса напряжения 35 кВ и ниже существует проблема, заключающаяся в отклонении качества электроэнергии от допустимых границ, устанавливаемых ГОСТ Р 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1]. Одним из параметров, поддающийся регулированию в сетях класса напряжения 35 кВ и ниже является уровень установившегося напряжения. В целях поддержания данного параметра в допустимых пределах могут использоваться следующие методы:

- регулирование напряжения на отходящих линиях;
- регулирование напряжения на шинах ПС;
- регулирование за счет изменения схемы электроснабжения.

Одним из наиболее распространенных способов регулирования напряжения на распределительных линиях, отходящих от центра питания, является применение трансформаторов с регулированием под нагрузкой. Однако, в распределительных сетях наблюдается довольно высокое потребление реактивной мощности, что еще сильнее снижает уровень установившегося напряжения. В этом случае регулирование напряжения с помощью трансформатора с РПН может оказаться малоэффективным. Для компенсации реактивной мощности в распределительных сетях применяются, как правило, батареи статических конденсаторов, которые помимо компенсации реактивной мощности также позволяют повысить уровень напряжения при большом потреблении реактивной мощности.

Для регулирования напряжения в распределительных сетях было принято решение использовать аппарат нечеткой логики для создания алгоритма, который будет отвечать за управление переключателем отпаек и РПН и принимать решение о включении или отключении БСК.

В основе алгоритма используется теория нечетких (fuzzy) множеств. Преимущества fuzzy-систем по сравнению с другими системами управления доказаны в работах [2,3]. Основными из них являются:

- возможность оперировать нечеткими входными данными;

– возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения;

– возможность проведения качественных оценок, как входных данных, так и выходных результатов: возможность оперирования не только значениями данных, но и их степенью достоверности и ее распределением;

– возможность проведения быстрого моделирования сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности [1].

Для создания модели распределительной сети, регулирование напряжения в которой осуществляется с помощью нечеткого контроллера, была выбрана прикладная библиотека SimPowerSystems пакета Simulink. В составе системы MatLab, а для создания нечеткого алгоритма регулирования был использован встроенный в MatLab пакет Fuzzy Logic.

В качестве нечеткого алгоритма для работы контроллера был выбран алгоритм Мамдани, т.к. он более понятен для программирования, а также ему не столь важна точность вывода, сколько наглядность всех составляющих алгоритма.

Входными переменными для контроллера являются: напряжения на шинах подстанции, положение отпайки РПН силового трансформатора, количество включенных в работу БСК. Выходными данными являются: решение контроллера об изменении положения отпайки РПН и решение о подключении или отключении устройств компенсации реактивной мощности (БСК) (рис. 1).

Рис. 1. Входные и выходные данные контроллера

В качестве входных данных использовались следующие нечеткие функции принадлежности:

– напряжения – 5 треугольных функций принадлежности (очень низкое, низкое, нормальное, высокое, очень высокое);

– количества БСК – 4 треугольные функции принадлежности (0, 1, 2, 3);

– положения отпайки РПН - 5 треугольных функций принадлежности (очень низкое, низкое, нормальное, высокое, очень высокое).

С выхода контроллера снимались следующие нечеткие функции принадлежности:

– управления РПН – 3 треугольные функции принадлежности (вниз, не менять, вверх);

– управления БСК – 3 треугольные функции принадлежности (отключить, не подключать, подключить).

Выбор в пользу треугольных функций принадлежности объясняется тем, что в данной модели используется ступенчатое регулирование.

После выбора функций принадлежности была создана база из 163 продукционных правил для управления выходными переменными величинами. Правила создавались по следующим принципам:

– если напряжение на шинах потребителя очень низкое или низкое, то положение отпайки РПН должно перемещаться вниз и/или должна быть подключена БСК;

– если напряжение на шинах потребителя очень высокое или высокое, то положение отпайки РПН должно перемещаться вверх и/или должна быть отключена БСК.

Помимо этих, основных, принципов создания правил также учитывалось положение отпайки РПН, т.е. в случае если отпайка находится в крайнем верхнем или нижнем положении, то регулирование должно производиться только за счет включения/отключения БСК. Аналогично и с количеством БСК: если их подключено максимальное количество, то регулирование должно осуществляться только с помощью изменения положения отпайки.

Создав базу правил, были построены поверхности отклика по которым можно сделать вывод об адекватной работе контроллера.

После создания модели контроллера была создана модель распределительной сети, состоящая из внешней энергосистемы мощностью 1000 МВ·А класса напряжения 110 кВ, трансформатора ТДН 63000/110, блока активно-индуктивной нагрузки, блоков БСК мощностью 5 Мвар каждая, а также из измерительных приборов. Регулирование напряжения с помощью РПН осуществляется на стороне высшего напряжения.

Созданная модель работает в диспетчерском режиме, т.е. решение, принимаемое контроллером, выводится в виде сигнала об изменении положения отпайки РПН и сигнала о включении или отключении БСК.

Рассмотрим работу контроллера на созданной модели:

В распределительной сети установилось пониженное напряжение (рис. 2), включено 2 БСК, положение отпайки РПН находится в -3 положении. Контроллер принимает решение о том, что необходимо отпайку РПН переместить вниз (значение -0.6683 округляется до -1 по правилам математики), а также подключить БСК (значение 0.7394 также округляется по правилам математики до 1).

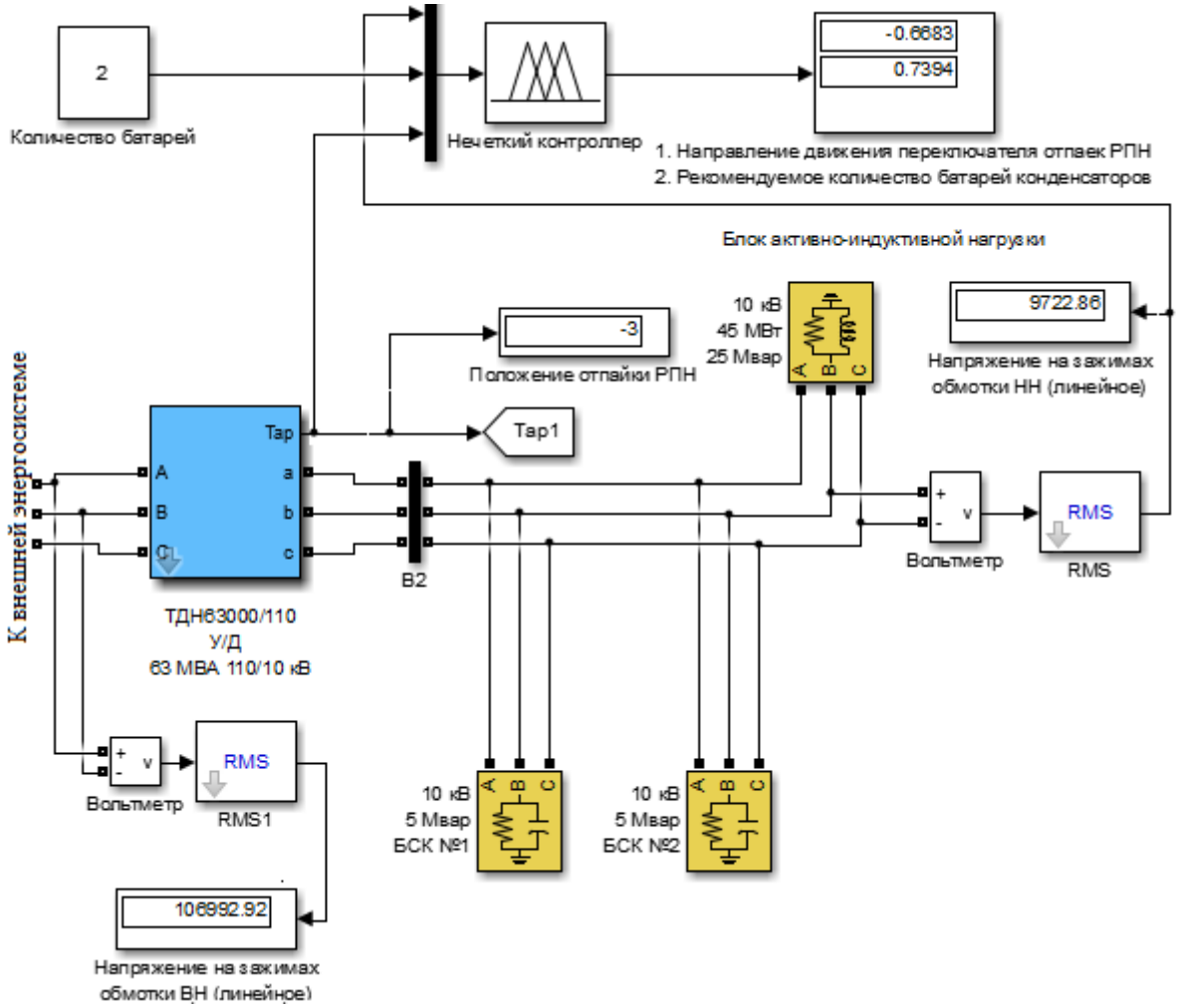

Рис. 2. Модель системы электроснабжения
с пониженным напряжением

Проанализировав созданную модель, видно, что компенсации реактивной мощности двумя БСК недостаточно, т.к. их суммарная мощность существенно превышает потребляемую реактивную мощность. Однако, подключение еще одной БСК не сможет полностью скомпенсировать недостаток реактивной мощности в сети, поэтому для поддержания напряжения как можно ближе к номинальному значению принимается решение об изменении отпайки РПН. Данная мера, действительно, повысит напряжение у потребителя.

Т.к. на данном этапе моделирования схема работает в диспетчерском режиме в ручном режиме необходимо подключить БСК и изменить отпайку РПН. Смоделируем данную схему (рис. 3).

Принятые меры позволили поднять напряжение практически до номинального значения. Также видно, что контроллер принимает решение о том, что никаких мероприятий по изменению напряжения не требуется.

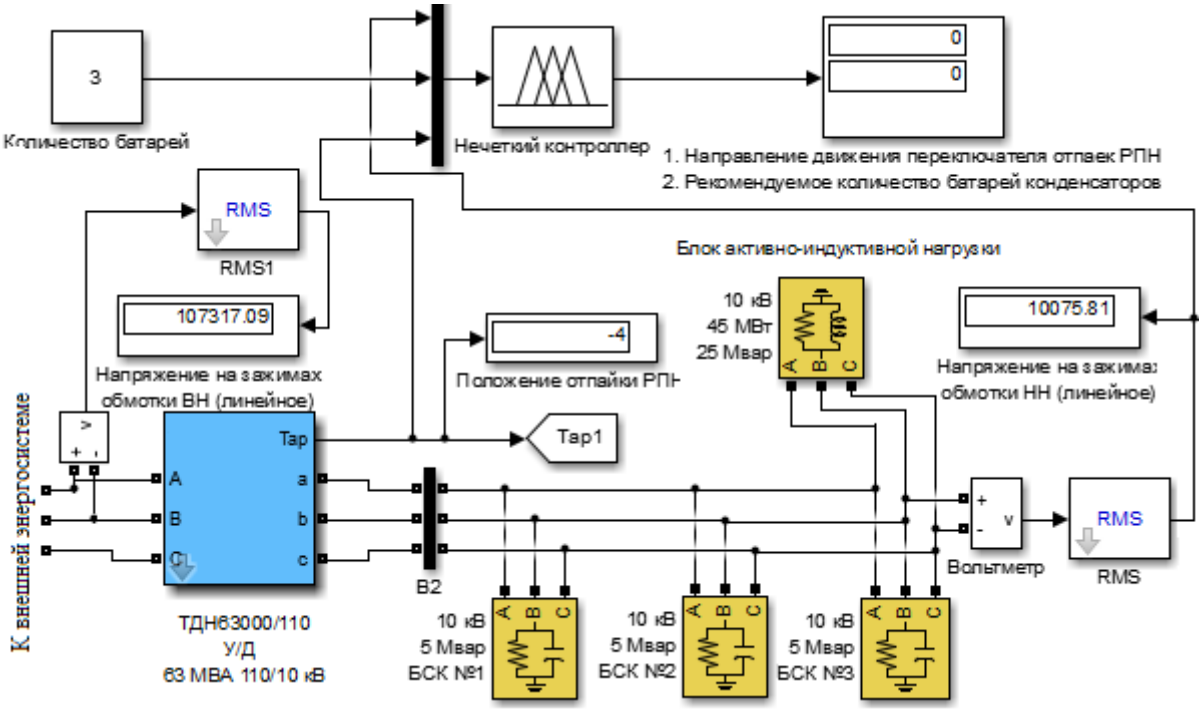

Рис. 3. Модель системы электроснабжения после принятия мер по повышению напряжения

Выводы:

1. Контроллер принимает адекватные решения о поведении энергосистемы на изменение напряжения при изменении нагрузки.

2. Полученная автоматизированная система регулирования, основанная на принципах нечеткой логики, позволяет поддерживать напряжение на зажимах потребителя в нормируемых пределах.

3. Использование нечеткого контроллера позволило использовать одновременно возможности трансформатора с РПН и БСК для регулирования напряжения в сети электроснабжения общего назначения.

Список литературы:

1. Жмак, Е.И. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах на основе нечеткой логики: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.14.02 / Науч. рук. В.З. Манусов. – Новосибирск, 2004. – 117 с.

2. Жмак, Е.И.Обоснование принципа нечеткого регулирования напряжения с помощью РПН трансформаторов / Е.И. Жмак, В.З. Манусов // Электроэнергетика: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.

3. Манусов, В.З. Моделирование режимов систем электроснабжения в условиях неполной информации / В.З. Манусов, С.И. Моисеев, И.Л. Озерных – Новосибирск: НЭТИ, 1985. – 75 с.