УДК 621.316

АЛГОРИТМЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ УСТАВОК РПН В РЕЖИМЕ ONLINE

ALGORITHMS AND MATHEMATICAL MODELS FOR AUTOMATIC CHANGING OF SETTINGS OF REGULATION UNDER LOAD IN THE ONLINE MODE

Д. Н. Нурбосынов, Т. В. Табачникова, А. В. Шарыгин
D. N. Nurbosynov, T. V. Tabachnikova, A. V. Sharygin

Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск

Ключевые слова: регулирование напряжения под нагрузкой; автоматическая стабилизация уровня напряжения; зона нечувствительности
Key words: voltage regulating under load; automatic stabilization of voltage level; dead zone

Задача управления энергетическими параметрами на всех уровнях систем электроснабжения, являясь многофакторной, всегда остается достаточно сложной и весьма актуальной. Несмотря на быстрое развитие микропроцессорных систем автоматического управления режимными параметрами распределительных электрических сетей, их потенциальные возможности не до конца используются энергетическими службами предприятий.

Комплексная оценка систем контроля и управления распределительных электрических сетей показывает, что параметрическая информация с отдельных систем не интегрирована в единую структуру, которая позволила бы вести непрерывный контроль, анализ и управление режимами работы всех элементов электрических сетей различных уровней напряжения с целью минимизации потерь электроэнергии в них. Проекты на базе концепции Smart Grid являются единственно верным решением задачи интеграции информационной и электрической инфраструктур для комплексного управления всей энергетической системой.

Объектом исследования в данной статье являются основные технические устройства, используемые для автоматического поддержания требуемых режимов напряжения и соотношений реактивной и активной мощностей в распределительной электрической сети. Такими устройствами являются: РПН силового трансформатора, индивидуальные, узловые и централизованные компенсирующие установки с дискретно изменяющимися параметрами и синхронные двигатели, находящиеся в технологическом процессе, с плавно изменяющимися параметрами [1].

Авторами исследованы рабочие режимы силовых трансформаторов с РПН, с целью разработки алгоритма и математической модели автоматического изменения в режиме online уставок микропроцессорной системы управления электроприводом РПН. Рассматривались две системы устройства РПН: встроенная в бак первичной обмотки (механическая) и вынесенная за его пределы (тиристорная).

Автоматическое регулирование уровня напряжения и управление потоками реактивной мощности в распределительной электрической сети с использованием современных технических средств позволит снизить потери в ней и повысить качество электроэнергии.

Согласно [2] автоматическое регулирование напряжения изменением коэффициента трансформации можно осуществить по двум законам:

- по закону встречного автоматического регулирования напряжения с целью изменения потерь напряжения и электрической энергии в элементах сети;
- по закону автоматической стабилизации уровня напряжения в центре питания.

Наиболее эффективным техническим решением в распределительной электрической сети промысловой подстанции, где используются радиальные схемы, является автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения с использованием микропроцессорной системы управления электроприводом РПН [1, 3].

В настоящее время большинство существующих электроприводов РПН силовых трансформаторов имеют техническое ограничение по количеству переключений в сутки — не более 25 переключений. Поэтому, проблемой при использовании автоматической стабилизации заданного уровня напряжения является выбор правильных параметров управления с целью обеспечения допустимых технических ограничений по переключению ступеней регулирования РПН. В связи с этим, предлагается применять адаптивную систему управления, которая позволит усовершенствовать существующие технические решения. Обеспечивая адаптивное управление режимами работы регулирующих устройств, базируясь на данных измерений, можно достичь высокой эффективности регулирования.

Авторами рассмотрена возможность изменения уставок зоны нечувствительности и выдержки времени в режиме online на программном уровне. Предлагаемые алгоритмы управления представлены на рисунке 1. Алгоритмы управления позволяют осуществить корректировку работы РПН силового трансформатора на основе поступающих данных в режиме online.

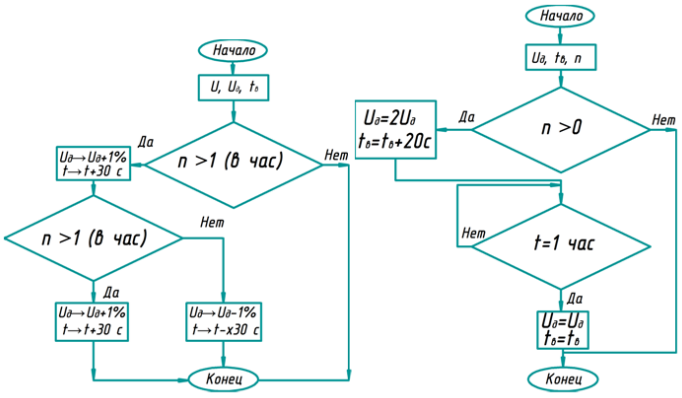

Рис. 1. ***Алгоритмы автоматического определения уставок микропроцессорных систем управления привода РПН:*** *а — механического, б — тиристорного*

Задаваемые начальные данные: поддерживаемый уровень напряжения U, допустимый диапазон отклонения уровня напряжения $U_д$ (зона нечувствительности), выдержка времени переключения $t_в$.

Принцип работы заключается в автоматическом изменении диапазона зоны нечувствительности и выдержки времени в зависимости от количества переключений в единицу времени. Изменение уставок осуществляется на основе количества переключений n ступеней электропривода РПН. Осуществить данное решение предлагается с помощью программно-логических контроллеров.

В Matlab (Simulink) построена модель (рис. 2) для обоих алгоритмов. Алгоритмы реализованы с помощью Stateflow — инструмента моделирования сложных управляемых событиями систем, который предлагает решения для встроенных систем с контролирующей логикой (рис. 3) [4].

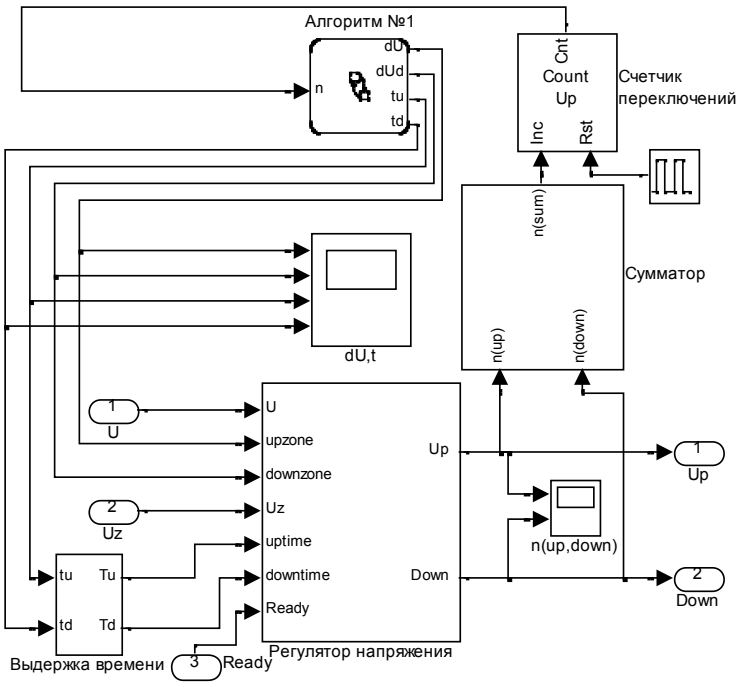

Рис. 2. ***Математическая модель автоматического определения уставок системы управления электроприводом РПН***

Математическая модель играет ключевую роль в управлении энергетическими параметрами РЭС. В качестве базовой математической модели для первого варианта использована модель блока автоматического регулирования привода РПН силового трансформатора.

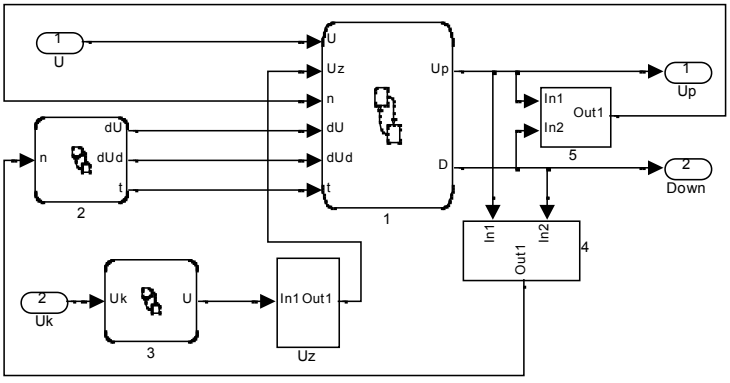

Рис. 3. ***Алгоритм для управления электроприводом РПН построенный в Stateflow***

На рисунке 3 приведены следующие обозначения: 1 — блок управления электроприводом РПН; 2 — блок корректировки уставок зоны нечувствительности и выдержки времени; 3 — блок корректировки поддерживаемого уровня напряжения; 4 — счетчик переключений электропривода РПН; 5 — блок для контроля положения электропривода РПН.

Рассматриваемая модель блока автоматического регулирования была дополнена пятью входами, позволяющими автоматически определять уставки микропроцессор-

ной системы управления привода РПН и изменять значение зон нечувствительности и уставок выдержки времени. Это изменение позволяет определять параметры в режиме online в зависимости от энергетических параметров сети, представленных в алгоритмах управления. В первую модель добавлен счетчик числа переключений привода РПН, который получает данные о количестве его переключений через блок, суммирующий управляющие сигналы (импульсы).

Счетчик обнуляется через заданное время. Выходной сигнал счетчика (n) передается в блок управляющего алгоритма. Это блок Stateflow, в котором построен алгоритм, представленный на рисунке 1 б. Выходные сигналы с данного блока (dU_u, dU_d — верхняя и нижняя граница зоны нечувствительности и t_u и t_d — выдержка времени) подаются на регулятор напряжения.

По известной методике расчета режима напряжения [1] определяются энергетические параметры электротехнического комплекса отходящей линии.

Потери активной и реактивной мощности на участке линии:

$$\Delta P_{n-1;n} = \frac{P_{n-1;n}^2 + Q_{n-1;n}^{\ 2}}{U_n^{'2}} R_{n-1;n};$$

$$\Delta Q_{n-1;n} = \frac{P_{n-1;n}^2 + Q_{n-1;n}^{\ 2}}{U_n^{'2}} X_{n-1;n}.$$

Потери напряжения на участке

$$\Delta U_{n-1;n} = \frac{P_{n-1;n} \cdot R_{n-1;n} + Q_{n-1;n} \cdot X_{n-1;n}}{U_n^{'}}.$$

Напряжение в точке электрической сети

$$U_{n-1}^{'} = U_n^{'} + \Delta U_{n-1}.$$

Для расчета режима напряжения отходящей линии используются следующие параметры схемы замещения: $P_{n-1;n}$ — потребляемая активная мощность в точках $n-1,n$; $Q_{n-1;n}$ — реактивная мощность в точках $n-1,n$; $R_{n-1;n}$ — активные сопротивления участков $n-1,n$; $X_{n-1;n}$ — реактивные сопротивления участков $n-1,n$.

Рациональный уровень напряжения определяется по принципу, изложенному в [1, 3].

В блоке 2 осуществляется корректировка уставок зоны нечувствительности и выдержки времени в зависимости от количества переключений электропривода РПН в единицу времени в режиме online.

Блок 3 осуществляет корректировку поддерживаемого уровня напряжения в зависимости от напряжения в конце линии. Входным сигналом в данном блоке РПН является измеряемая величина уровня напряжения в конце линии (U_k).

На рисунках 4 и 5 показаны графики автоматического изменения уставок микропроцессорных систем управления приводом РПН и изменения зон нечувствительности и выдержки времени, полученные в результате моделирования системы с использованием алгоритмов, представленных на рисунке 1.

Математическая модель, в которой реализуется алгоритм управления, представленный на рисунке 1 *б*, отличается от модели для алгоритма с механической системой управления электроприводом РПН отсутствием счетчика переключений привода РПН.

Управление в ней осуществляется за счет подаваемых импульсов в блок управляющего алгоритма. Принцип функционирования алгоритма заключается в увеличении уставок зоны нечувствительности и времени выдержки регулятора при переключении электропривода.

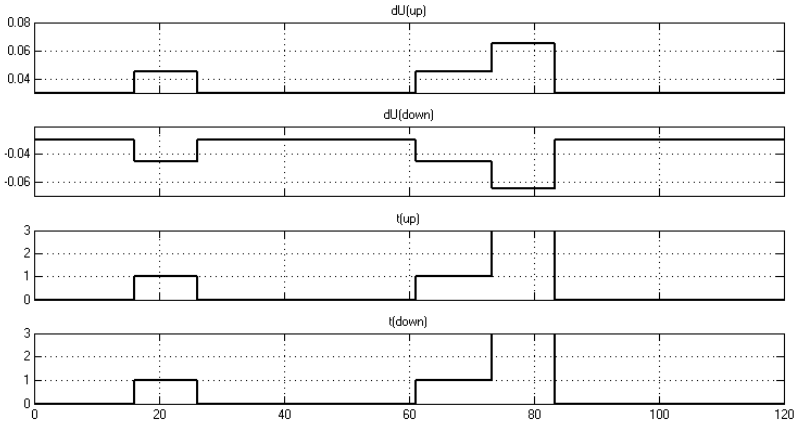

Рис. 4. ***График автоматического изменения уставок*** $dU_{1.up}$, $dU_{1.down}$, $t_{1.up}$, $t_{1.down}$ ***в функции времени при механической системе управления электроприводом РПН***

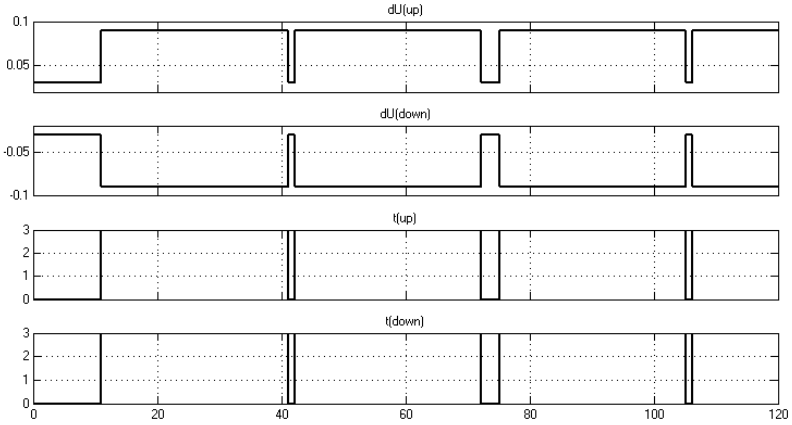

Рис. 5. ***График автоматического изменения уставок*** $dU_{2.up}$, $dU_{2.down}$, $t_{2.up}$, $t_{2.down}$ ***в функции времени при тиристорной системе управления электроприводом РПН***

Список литературы

1. Нурбосынов Д. Н. Методы расчетов и математическое моделирование режима напряжения и электропотребления в установившихся и переходных процессах. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт–Петербургское отделение, 1999. – 216 с.
2. Солдаткина Л. А. Электрические сети и системы. – М.: Энергия, 1978.
3. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Шарыгин А.В. Двухуровневая автоматическая стабилизация уровня напряжения в электротехническом комплексе предприятия. // Газовая промышленность. – 2014. – № 701. – С. 77-78.
4. Рогачев Г. Н. Stateflow 5. Руководство пользователя Электронный ресурс. – Режжим доступа: http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1.

Сведения об авторах

Нурбосынов Дуйсен Нурмухамедович, *д. т. н., профессор кафедры электроэнергетики, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, тел. 8(8553)310142, e-mail: ee@agni-rt.ru*

Табачникова Татьяна Владимировна, *к. т. н., доцент кафедры электроэнергетики, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, 8(8553)310142, e-mail: ee@agni-rt.ru*

Шарыгин Александр Владимирович, *аспирант кафедры автоматизации и информационных технологий, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, тел. 8(8553)310151, e-mail: agni.fea@mail.ru*

Information about the authors

Nurbosynov D.N., *Doctor of Engineering, professor of the Department of Electrical Power Engineering, Almetievsk State Petroleum Institute, Almetievsk, tel. 8(8553)310142, e-mail: ee@agni-rt.ru*

Tabachnikova T. V., *Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Department of Electrical Power Engineering, Almetievsk State Petroleum Institute, Almetievsk, tel. 8(8553)310142, e-mail: ee@agni-rt.ru*

Sharygin A. V., *postgraduate of the Department of Automation and Information technologies, Almetievsk State Petroleum Institute, Almetievsk, tel. 8(8553)310151, e-mail: agni.fea@mail.ru*