DOI: 10.17117/na.2016.02.02.397

Поступила (Received): 29.02.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.02.02.397.pdf>

Третьяков Е.А.
**Координация выработки реактивной мощности
для стабилизации напряжения в электрических
сетях железных дорог**

Tretyakov E.A.
**Coordination of production of reactive power to
stabilize the voltage in electrical networks of railways**

Для поддержания напряжений в требуемых нормируемых пределах в конкретных точках электрической сети железных дорог в процессе эксплуатации предлагается координировать выработку реактивной мощности между локальными контроллерами компенсирующих устройств. В работе представлены основные подходы к определению необходимых управляющих воздействий на параметры режима с помощью устройств компенсации реактивной мощности и представлены результаты моделирования

Ключевые слова: реактивная мощность, координация, стабилизация напряжения

Третьяков Евгений Александрович
Кандидат технических наук, доцент
Омский государственный университет путей
сообщения
г. Омск, пр. Маркса, 35

To maintain the required voltages in the range of standardized at specific points in the electrical network of railways in operation are invited to coordinate the production of reactive power between local controllers compensating devices. The paper presents the main approaches to the definition of the necessary control actions on the parameters of the regime with the help of reactive power compensation devices, and presents the results of modeling

Key words: reactive power, coordination, voltage regulation

Tretyakov Evgeny Aleksandrovich
Candidate of Engineering Sciences
Omsk state transport university
Omsk, Marksa ave., 35

В распределительных сетях переменного тока железных дорог 35/10/6/0,4 кВ, получающих питание от трансформаторных подстанций с трансформаторами, оборудованные системой РПН, существует задача поддержания напряжений в требуемых нормируемых пределах в конкретных точках электрической сети в процессе эксплуатации. При этом автоматический регулятор РПН понижающих трансформаторов центра питания, реализующий, как правило, встречное регулирование напряжения, не в полной мере может обеспечивать регулирование напряжения согласно предъявляемым требованиям.

Это ситуация возможна, например, когда возникает период несовместного регулирования разных групп потребителей, т.е. когда регулирование напряжения в центре питания не позволит обеспечить допускаемые отклонения

напряжений во всех точках отпуска электроэнергии потребителям во всем диапазоне изменения нагрузок.

Как известно [2], если потребители с неоднородной нагрузкой рассредоточены вдоль различных линий распределительной сети, то на центре питания нельзя или затруднительно разделить эти линии на группы электроприемников, для которых графики изменения нагрузок во времени являются практически однотипными. В этих случаях на шинах центра питания следует применять централизованное регулирование напряжения в соответствии с условиями, требуемыми для той группы однородных потребителей, которые имеют наибольшую долю в общей нагрузке линий, присоединенных к данному центру питания. Для обеспечения должного качества напряжения у остальных потребителей, получающих питание от этого центра питания, должны использоваться средства местного регулирования напряжения.

В этой связи возникает серьезная проблема координации устройств компенсации реактивной мощности, нагрузок, регуляторов РПН трансформатора.

Выполним моделирование рассматриваемого участка электрической сети (рис. 1) для исследования рассматриваемой проблемы.

Рис. 1. Схема электрической сети в нормальном режиме

Многочисленными исследованиями показано, что зависимость потерь активной мощности в сети от нагрузок отдельных узлов близка к квадратичной, относительных приростов потерь и мощностей – к линейной.

Основная идея заключается в достижении оптимального управления следующим образом [3]:

$$F = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{m_i} (k_P \Delta P_j + k_Q \Delta Q_j) \right] + k_T \Delta T \rightarrow \min, \quad (1)$$

где

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{m_i} (\alpha_{jk} \Delta P_j + \beta_{jk} \Delta Q_j) \right] + \gamma_T \Delta T = \Delta U_k; \\ T^{\min} \leq T^0 + \Delta T \leq T^{\max}; \\ P_j^{\min} \leq P_j^0 + \Delta P_j \leq P_j^{\max}; \\ Q_j^{\min} \leq Q_j^0 + \Delta Q_j \leq Q_j^{\max}; \\ \forall j = 1, \dots, m_i. \end{cases} \quad (2)$$

n – число участков, подключенных к той же шине с трансформатором; $T^0, T^{\min}, T^{\max}$ – настройка регулятора (ответвлений) трансформатора с РПН и его ограничения (в о. е.); k_P, k_Q – весовые коэффициенты по активной и реактивной мощности («стоимость» регулирования); k_T – весовой коэффициент для управления действиями регулятора РПН, характеризующий чувствительность напряжения на шине k ТП при изменении шага регулятора РПН трансформатора на ВН/СН; P_j, Q_j – активная и реактивная мощность (генерация и (или) потребление); α_{jk}, β_{jk} – коэффициенты чувствительности по напряжению для активной и реактивной мощности.

Таким образом, из (2) следует, что

$$\left(\frac{k_P}{\alpha_{jk}} \Delta P_j + \frac{k_Q}{\beta_{jk}} \Delta Q_j \right) = \Delta U_k. \quad (3)$$

Для определения управляющих воздействий [1], в виде изменения активных ΔP и реактивных ΔQ приращений используется линеаризованное уравнение:

$$\begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{pmatrix} = J^{-1} \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $\Delta \delta, \Delta U$ – изменения фаз и модулей напряжения; J – матрица Якоби для баланса мощности в полярных координатах, имеющая структуру

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{pmatrix}.$$

Определение чувствительности узлов электрической сети можно также определить через элементы используемой в расчетах режимов ньютоновскими методами матрицу Якоби (рис. 2).

Рис. 2. Значения элементов $\frac{\partial Q}{\partial U}$ матрицы Якоби в линеаризованном уравнении в декартовой системе координат

Рис. 3. Моделирование участка электрической сети с центром питания 2 сш Новотроицкая-110 в Matlab Simulink

Управляющие воздействия (инъекции) в узлах электрической сети в этом случае определяются по выражениям:

$$\begin{aligned}\Delta Q &= (J_{QP} - J_{Q\delta} J_{P\delta}^{-1} J_{PU}) \cdot \Delta U; \\ \Delta P &= (J_{PU} - J_{P\delta} J_{Q\delta}^{-1} J_{QU}) \cdot \Delta U.\end{aligned}\quad (5)$$

В результате моделирования системы управления выработкой реактивной мощности для стабилизации напряжения в электрических сетях железных дорог (рис. 3) получены потери активной мощности в ветвях электрической сети и инъекции реактивной мощности в узлах, необходимые для стабилизации напряжения (рис. 4) в мгновенный момент времени.

Рис. 4. Значения элементов матрицы Якоби в линеаризованном уравнении в декартовой системе координат

Современные компенсирующие устройства оборудованы локальными контроллерами, способными обеспечивать заданный уровень напряжения в точке подключения к электрической сети, однако использование скоординированного управления несколькими указанными устройствами позволяет это выполнять, учитывая необходимый уровень напряжения в прилегающей зоне.

Таким образом, создаются условия для удовлетворительного качества электроэнергии во всех точках электрической сети, а не основной группы потребителей. Как известно увеличение потерь в электрической сети происходит не столько за счет понижения или повышения напряжения, сколько за счет его быстрого разнонаправленного изменения.

Список используемых источников:

1. Гамм А.З., Голуб И.И. Сенсоры и слабые места в электроэнергетических системах. Иркутск: СЭИ СО РАН, 1996. 99 с.
2. Электрические системы. Т. 2. Электрические сети. М.: Высшая школа, 1971. 440 с.
3. Третьяков Е.А. Управление качеством электрической энергии в распределительных сетях железных дорог. Омск: ОмГУПС, 2013. 196 с.