

# Использование параметров сети и обобщенных показателей режима для расстановки компенсирующих устройств

ЛОПАТИН О.А., ЧЕМБОРИСОВА Н.Ш.

*При проектировании предварительный анализ структуры и параметров сети позволяет до расчета установившихся режимов выбрать узлы для эффективной установки устройств компенсации реактивной мощности. Использование обобщенных показателей режима позволяет уточнить список таких узлов и оценить объемы компенсации.*

**Ключевые слова:** электрические сети, режимы, напряжение, реактивная мощность, компенсация, выбор узлов

В настоящее время для сетей разного уровня напряжения характерен ряд проблем, таких как необходимость повышения управляемости, снижения потерь активной мощности в сети р и т.п., при решении которых необходимо регулирование напряжения и реактивной мощности. Например, наличие в сети быстро изменяющейся нагрузки приводит к необходимости быстрого реагирования на складывающуюся схемно-режимную ситуацию, регулирования реактивной мощности. Реактивную мощность нецелесообразно передавать на большие расстояния, т.е. требуется быстрое и плавное регулирование реактивной мощности источников (или перетоков от них), перераспределения перетоков для обеспечения допустимого напряжения в контрольных точках сети. В связи с требованиями к быстродействию возможности плавного регулирования реактивной мощности  $Q$  и уровней напряжения  $U$  в сети возникает необходимость использования устройств, отвечающих этим требованиям. Все это делает возможными оптимизацию управления и более эффективное использование устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ).

Расстановка устройств является сложной задачей, упростить которую можно, используя предварительный анализ схемы сети и обобщенных характеристик режима (вторых производных от суммарных потерь активной мощности в сети по реактивной мощности рассматриваемых узлов с УКРМ) [1].

**Анализ параметров схемы.** На установившийся режим в электрической сети сильное влияние оказывают не только параметры, но и структура сети, уровень неоднородности её элементов. В связи с этим необходим предварительный анализ структуры сети и её параметров, на основе которого можно получить ранжирование узлов сети по степени

*A preliminary analysis of the network structure and parameters carried out in the course of designing a power grid makes it possible to select suitable nodes for installing reactive power compensating devices before carrying out loadflow calculations. The use of generalized indicators of operating conditions makes it possible to determine the list of such nodes more exactly and estimate the required amounts of reactive power compensation.*

**Key words:** electric networks, operating conditions, voltage, reactive power, compensation, selection of nodes

их «жесткости» [1]. Под «жесткостью» узла понимают способность узла поддерживать напряжение на своих шинах при изменении его нагрузки на условную единицу.

При большом числе подходящих линий, связывающих узел с регулируемым по напряжению узлами (или при большом значении суммарной емкостной проводимости в узле), его «жесткость» может быть повышенной, что положительно влияет на статическую аperiodическую устойчивость узла. Одним из критериев устойчивости является оценка знака регулирующего эффекта реактивной мощности нагрузки по напряжению [2]. Но если нагрузка характеризуется относительным постоянством мощностей, то её регулирующей эффект равен нулю, а связность с другими узлами сети остается. Тогда приблизительно оценить степень «жесткости» узлов можно, используя принцип, изложенный в [1], при котором учитываются структура и параметры сети, а расчета установившегося режима не требуется. Таким образом, предварительное ранжирование узлов по степени их «жесткости» позволяет провести рациональную расстановку устройств корректировки режима по напряжению или реактивной мощности до расчета режима. Установка УКРМ может осуществляться для двух вариантов: при необходимости изменения уровней напряжения (приближение к номинальному значению) в узле управления и примыкающих к нему узлах и изменения реактивной мощности при условии относительного постоянства напряжения в узле управления и примыкающих к нему узлах (например, если это контролируемый узел, напряжение которого находится на границе допустимого диапазона, указанного в [3]). В первом случае выбирается наименее «жесткий» или сенсорный узел, во втором — наиболее «жесткий». В обеих задачах формализо-

важный выбор узла управления может существенно упростить расчеты и сократить их объем.

Сравнительная оценка степени «жесткости» узлов схемы проводится с использованием значений мнимых составляющих матрицы узловых проводимостей  $B$ . Чем больше разница между собственной и суммой взаимных проводимостей  $DB$  каждого узла, тем более жестким (емкостный характер  $DB$ ) или сенсорным (индуктивный характер  $DB$ ) является узел. Ранжирование узлов по таким признакам позволяет выявить жесткие и сенсорные узлы до расчета установившихся режимов.

Проверить, являются ли полученные узлы жесткими или сенсорными, позволяют результаты расчетов установившихся режимов с последующим анализом изменения уровней напряжения в зависимости от степени компенсации реактивной мощности в узлах. Например, для двух узлов 110 кВ (сенсорного и жесткого) Московской энергосистемы (ретроспективная схема) получены следующие результаты:

при изменении реактивной мощности на 40 Мвар в каждом из узлов напряжение в жестком узле изменилось на 1 кВ, а в сенсорном – на 7 кВ;

при увеличении проводимости индуктивного шунта на 9000 мкСм в каждом из узлов напряжение в жестком узле изменилось на 2 кВ, в сенсорном – на 5,5 кВ.

Таким образом, предварительное суждение о степени «жесткости» узлов было справедливым.

Аналогичные результаты были получены для Ленинградской энергосистемы, которые представлены на рис. 1, где показаны зависимости максимального и минимального изменения напряжения в узлах, непосредственно связанных с рассматриваемыми, при изменении значения в последних реактивной мощности на  $DQ$ .

Сопоставление данных для Московской энергосистемы и графиков для Ленинградской позволяет сделать вывод о корректности предварительного выбора жестких и сенсорных узлов до расчета установившегося режима.

Сравнительная оценка «жесткости» узлов и выявление допустимой степени компенсации реактивной мощности могут быть выполнены на основе расчетов установившихся режимов при использовании их обобщенных показателей.

**Использование обобщенных показателей режима.** Оценка статической апериодической устойчивости по традиционным критериям устойчивости и использование их в качестве показателей запаса освещались в литературе достаточно подробно [2]. Рассматриваются и исследуются зависимости критерия от утяжеляемого параметра или контролируемого перетока.

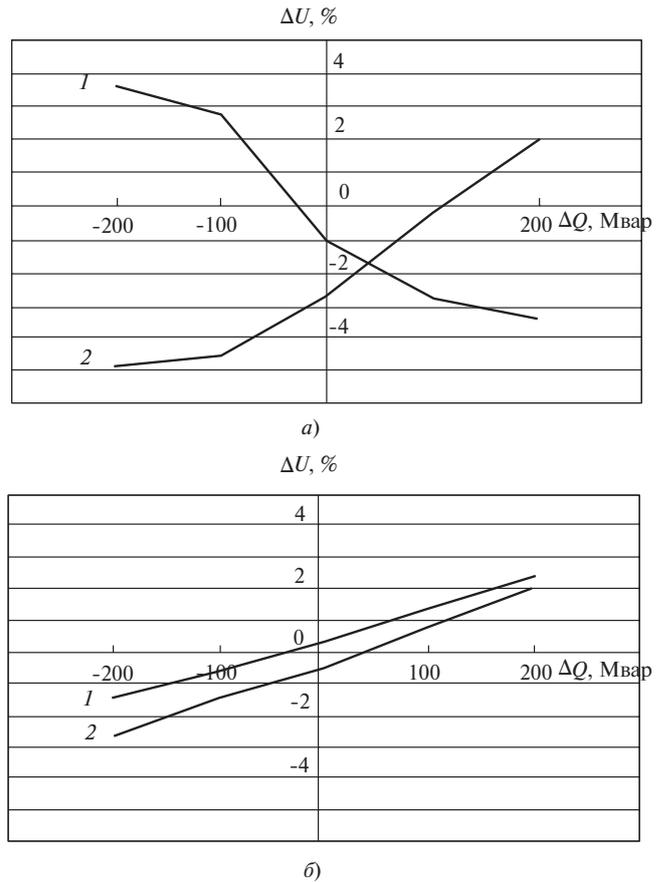


Рис. 1. Изменения максимального и минимального отклонения напряжения для узлов, электрически связанных с сенсорным узлом (а) и с жестким узлом (б): 1 –  $DU_{max}$ ; 2 –  $DU_{min}$

В [1] показано, что в качестве обобщенного показателя режима можно использовать вторые производные от суммарных потерь активной мощности в сети по реактивной мощности источников (объему компенсации). Такой подход является достаточно обоснованным, если учесть, что с помощью якобиана уравнений установившегося режима (УУР), записанного для напряжений  $J_u$ , производную от суммарных потерь активной мощности в сети по параметру  $\Pi_i$  можно получить в виде [4]:

$$\frac{\partial p}{\partial \Pi_i} = \frac{\partial \bar{p}}{\partial \Pi_i} - \left| \frac{\partial p}{\partial U_{\phi}} \times \frac{\partial p}{\partial U_{\phi}} \right| J_u^{-1} \left| \frac{\partial W_{\phi}}{\partial \Pi_i} \right|$$

где  $\left| \frac{\partial W_{\phi}}{\partial U_{\phi}} \right| \frac{\partial W_{\phi}}{\partial W_{\phi}} \left| \frac{\partial U_{\phi}}{\partial \Pi_i} \right| = \left| \frac{\partial W_{\phi}}{\partial \Pi_i} \right|$ ;  $p$  – суммарные поте-

ри активной мощности в сети;  $U_{\phi}$   $U_{\phi}$  – активная и реактивная составляющая напряжений в узлах соответственно;  $W_{\phi}$   $W_{\phi}$  – соответственно активная и реактивная составляющая небалансов в узлах.

Условием существования производной  $\partial r / \partial P$  будет  $\det[J_u] \neq 0$ . Если же  $\det[J_u]$  равен нулю, то в этой точке  $\partial r / \partial P = \infty$ .

Такие же условия существования справедливы и для якобиана УУР в форме баланса мощностей.

Поскольку формула производной потерь и сделанные выводы носят общий характер, можно в качестве параметра  $P$  выбрать реактивную мощность в узлах сети. При приближении к оптимальному режиму по условию минимума активных потерь  $r$  производная стремится к нулю; при уходе от точки оптимума производная бесконечно возрастает, а режим приближается к границе области своего существования. Возрастание этой производной указывает на рост потерь в сети, что делает режим менее экономичным.

Следует отметить, что возрастание второй производной означает не только уход от экономичных режимов работы, но и приближение к границе области существования режимов, а также к границе области аperiodически устойчивых режимов [5]. Тогда анализ обобщенных показателей режима позволяет одновременно судить об экономичности, статической аperiodической устойчивости режима и его приближении к границе области существования.

Для примера на рис. 2 приведены зависимости обобщенных показателей режима для жесткого узла с большим диапазоном управления ( $r_{\text{ж}}$ ) и сенсорного узла с контролем уровня напряжения ( $r_{\text{с}}$ ) от объема компенсации реактивной мощности в этих узлах.

Полученные на рис. 2 графики наглядно показывают, что для сенсорного узла диапазон изменения реактивных мощностей составляет  $[-100, 400]$  Мвар, а для жесткого узла —  $[-100, 600]$ . Следует отметить, что исходная нагрузка в обоих узлах была приблизительно одинаковой, а возможная степень компенсации достаточно сильно отличается. Таким образом, при нормализации уровней напряжения в узлах сети с помощью изменения реактивных мощностей одновременно можно получить и уменьшение потерь активной мощности в сети.

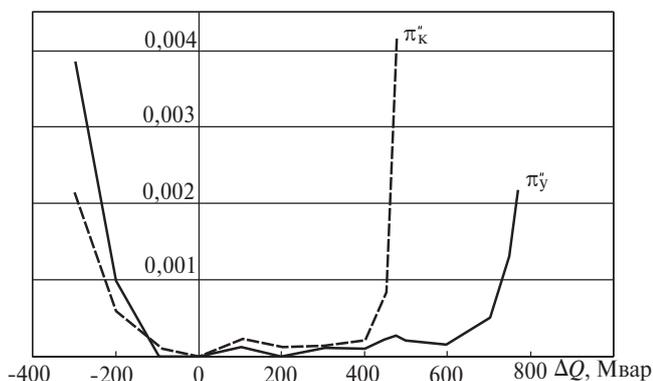


Рис. 2. Сопоставление вторых производных от суммарных потерь активной мощности в сети в координатах объема компенсации в узлах

Использование при этом жестких узлов увеличивает регулируемый диапазон изменения реактивных мощностей в узле. Использование сенсорных узлов позволяет более значительно изменять значения напряжения, но диапазон изменения реактивных мощностей в задачах оптимизации режима будет значительно меньше.

**Выводы.** 1. Нормализацию уровней напряжения в узлах сети следует проводить с использованием ранжированного списка узлов. При необходимости минимальных изменений напряжения при изменении реактивной мощности в достаточно больших объемах следует выбирать жесткие узлы. При этом напряжения будут слабо изменяться и в их ближайшем окружении. При необходимости значительного изменения напряжения в узле для приближения к номинальному значению следует использовать сенсорные узлы.

2. Нормализация уровней напряжения с использованием ранжированного по степени «жесткости» списка узлов позволяет одновременно уменьшить потери активной мощности в сети, т.е. оказать помощь при решении задачи оптимизации режима по условию минимизации активных потерь в сети.

3. Диапазон изменения реактивной мощности в узлах компенсации позволяет оценить границы области экономичных (без быстрого роста активных потерь в сети) режимов и возможность повышения качества управления режимом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фарафонов В.Е., Чемборисова Н.Ш.** Использование «жестких» узлов для расстановки компенсирующих устройств. Энергосистема: управление, конкуренция, образование. — Сб. докладов III Международ. научно-практической конференции, т. 2. — Екатеринбург: УГТУ — УПИ, 2008.
2. **Веников В.А.** Переходные процессы в электрических системах. 3 изд. — М.: Высшая школа, 1978.
3. **Методические указания по устойчивости энергосистем.** — Утв. Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 №277.
4. **Фазылов Х.Ф., Юлдашев Х.Ю.** Оптимизация режимов электроэнергетических систем. — Ташкент: Фан, 1987.
5. **Идельчик В.И.** Расчеты установившихся режимов электрических систем. — М.: Энергия, 1977.

[30.09.10]

Авторы: **Лопатин Олег Анатольевич** окончил в 1994 г. факультет тепловой электрификации (специальность АСУ ТП) Алма-Атинского энергетического института. Начальник управления связи ОАО «Ленэнерго».

**Чемборисова Наиля Шавкатовна** окончила в 1974 г. энергетический факультет Ташкентского политехнического института по специальности «Электрические системы и сети». В 2004 г. защитила докторскую диссертацию «Обобщенные показатели в задачах управления установившимися режимами электроэнергетических систем» в ИСЭМ СО РАН (г. Иркутск). Профессор кафедры ТЭЭ С.Петербургского государственного политехнического университета.