

УДК 621.311

Н.Н. Сапига, П.Ф. Буданов, Т.Н. Захарова

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПУТЁМ ЗАМЕНЫ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА РЕГУЛИРУЕМЫЕ

*Предложен математический аппарат для составления программ расчёта на ЭВМ по оценке регулировочного эффекта компенсирующих устройств (КУ) при переводе нерегулируемых КУ в регулируемые с обеспечением минимума потерь активной мощности в энергосистеме, а также показано как по предложенному математическому аппарату могут быть составлены соответствующие программы для проведения расчётов на ЭВМ. Расчёт установившегося режима основан на решении системы уравнений установившегося режима балансирующего узла, для опорных и неопорных узлов при определённых начальных условиях. Кроме того, места установки регулируемых КУ заранее предопределены существующими подстанциями с нерегулируемыми КУ, что ограничивает область применения предлагаемой методики задачей модернизации существующей электрической сети.*

**Ключевые слова:** *потери электроэнергии, регулируемые и нерегулируемые компенсирующие устройства, активная и реактивная мощность, перетоки реактивной мощности.*

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Передача по сети реактивной мощности вызывает большие удельные потери, чем передача активной мощности, так как реактивные сопротивления сетей ВН превышают активные, что приводит к большему снижению напряжения. Для уменьшения перетоков реактивной мощности по электрическим сетям компенсирующие устройства (КУ) устанавливаются в непосредственной близости от мест её потребления или генерации. Как известно в ЛЭП ВН передача активных мощностей ниже натуральной сопровождается генерацией реактивной мощности, компенсация которой осуществляется шунтирующими реакторами или другими КУ, работающими в режиме потребления реактивной мощности.

В узлах нагрузки реактивная мощность носит, как правило, индуктивный характер. В качестве КУ здесь могут использоваться конденсаторные и фильтро-компенсирующие установки, СТК и синхронные компенсаторы. Область применения нерегулируемых конденсаторных батарей (НКБ) ограничивается компенсацией постоянных базовых частей графика узла нагрузки по реактивной мощности. В режиме ночных провалов или минимальных нагрузок в энергосистемах образуется избыток реактивной мощности, который усугубляется наличием НКБ и приводит к недопустимому повышению напряжения в узлах электрической сети. Для снижения повышенных напряжений приходится переводить в режим потребления реактивной мощности генераторы станций, имеющие эксплуатационные ограничения по минимальному возбуждению.

С влиянием реактивной мощности на режим напряжения связано понятие баланса реактивной мощности, который на практике означает не только равенство генерируемой и потребляемой мощностей, но и нахождение напряжения в узлах электрической сети в допустимых пределах. По мере развития энергосистем и создания, мощных энергетических объединений понятие баланса реактивной мощности всё в меньшей степени характеризует режим напряжений и для сложных электрических сетей утрачивает своё значение. Поэтому более правильным является требование обеспечение допустимого уровня напряжений во всех узлах электрической сети и всех режимах её работы. Вопросы выбора мощности и мест размещения КУ и оптимизационные расчёты потерь ЭЭ в сложных системах подробно отражены в существующих методиках [1,2].

Поэтому в данной статье рассматривается частная задача, связанная с применением нерегулируемых и регулируемых КУ в существующих питающих сетях энергосистем.

**Целью статьи** является разработка методики по оценке регулировочного эффекта компенсирующего устройства при переводе нерегулируемых компенсирующих устройств в регулируемые с обеспечением минимума потерь активной мощности в энергосистеме.

### Основной материал

Предлагаемая методика основана на применении математического аппарата для расчёта установившегося режима электрической сети, оптимального установившегося режима по критерию минимума потерь активной мощности.

Расчёт установившегося режима основан на решении системы уравнений установившегося режима при следующих начальных условиях:

- 1) балансирующего узла

$$U_{\delta} - U_{\delta}^* = 0, \delta_{\delta} = 0; \quad (1)$$

- 2) для опорных узлов

$$P_i - P_i^* = 0, U_i - U_i^* = 0; \quad (2)$$

- 3) для неопорных узлов

$$P_i - P_i^* = 0, Q_i - Q_i^* = 0, \quad (3)$$

где звездочкой обозначены заданные значения величин.

При этом в общем случае в (3) в нагрузочных узлах значения  $P_i^*$ ,  $Q_i^*$  зависят от напряжения по их статическим характеристикам нагрузки. Если в расчётной схеме узлами присоединения нагрузки служат шины ВН подстанций, трансформаторы которых

имеют РПН, то в длительных режимах работы энергосистемы такие расчётные нагрузки можно считать не зависящими от напряжений в узлах их присоединения, т.е.

$$P_H = \text{const}, Q_H = \text{const}.$$

Это существенно упрощает математическую постановку данной задачи.

Кроме указанных величин задаются коэффициенты трансформации  $n_{T_i}$  всех трансформаторов расчётной схемы.

В качестве опорных узлов считаются узлы с КУ, в которых фиксированы модули напряжения и заданы диапазоны изменения реактивной мощности. Остальные узлы с компенсирующими устройствами относятся к неопорным.

При расчётах используется нелинейное узловое уравнение установившегося режима, которое в матричной форме имеет вид [3]:

$$\hat{U}_D Y_y \cdot U + \hat{U}_D \cdot Y_{\delta} \cdot U_{\delta} = \hat{S}_y, \quad (4)$$

где  $Y_y$  – квадратная матрица узловых проводимостей порядка  $n - 1$  (кроме балансирующего);

$U_{\delta}$  – диагональная матрица линейных узловых напряжений порядка  $n - 1$ ;

$Y_{\delta}$  – матрица-столбец из  $n - 1$  элементов (кроме диагонального) матрицы  $Y_{y\Sigma}$ , соответствующий балансирующему узлу  $U$ ;

$S_y$  – матрица-столбец линейных узловых напряжений и полных мощностей соответственно порядка  $n - 1$ ; значком  $\hat{\phantom{x}}$  обозначен сопряжённый комплекс.

Для решения уравнения (4) используется метод Ньютона. В результате решения уравнения определяются активные и реактивные мощности и токи ветвей, потери активной и реактивной мощности в сети.

При расчётах предусматриваются ограничения реактивной мощности в опорных узлах

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}. \quad (5)$$

При нарушении ограничения  $Q_i$ , закрепляется на нарушенном пределе и узел переходит в разряд неопорных узлов с заданными  $P_i$  и  $Q_i$ .

В основе расчёта оптимального режима лежит оптимизация установившегося режима по напряжению и реактивным мощностям узлов, а также коэффициентам трансформации силовых трансформаторов.

Критерием оптимальности является минимум потерь активной мощности в сети, т.е. оптимизация сводится к минимизации целевой функции по независимым переменным  $U_i, Q_i$  и  $n_T$  при условии

обеспечения баланса мощностей в узлах и соблюдении ограничений:

- 1) для генераторных и нагрузочных узлов

$$U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max};$$

- 2) для генераторных узлов

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max};$$

- 3) для ветвей, содержащих силовые трансформаторы

$$n_{Ti}^{\min} \leq n_{Ti}^m;$$

- 4) для ветвей, контролируемых по току

$$I_i \leq I_i^{\max}.$$

В основу учёта ограничений может быть положен метод штрафных функций.

### Выводы

1. По предложенному математическому аппарату могут быть составлены соответствующие программы для проведения расчётов на ЭВМ.

2. При проведении исследования конкретной энергосистемы принимаются следующие допущения:

– значения  $n_{Ti}$  фиксированы;

– места установки регулируемых компенсирующих устройств заранее predeterminedены существующими подстанциями с нерегулируемыми КУ, что ограничивает область применения предлагаемой методики задачей модернизации существующей электрической сети.

### Список литературы

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах / Ю.С. Железко. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.

2. Ковалёв И.Н. Оптимизация выбора компенсирующих устройств в электрических сетях / И.Н. Ковалёв // Электричество. – 1986. – № 5. – С. 42-48.

3. Сапига Н.Н. Математические задачи в энергетике. 4.1. Уравнения установившегося режима: учебное пособие / Н.Н. Сапига. – Х.: УИПА, 2000. – 82 с.

Поступила в редколлегию 20.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

## ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ ШЛЯХОМ ЗАМІНИ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НА РЕГУЛЬОВАНІ

М.М. Сапіга, П.Ф. Буданов, Т.М. Захарова

*Запропоновано математичний апарат для складання програм розрахунку на ЕОМ за оцінкою регульовального ефекту компенсуючих пристроїв (КП) при перекладі нерегульованих КП в регульовані із забезпеченням мінімуму втрат активної потужності в енергосистемі, а також показано як по запропонованому математичному апарату можуть бути складені відповідні програми для проведення розрахунків на ЕОМ. Розрахунок сталого режиму засновано на рішенні системи рівнянь сталого режиму балансуєного вузла, для опорних і неопорних вузлів за певних початкових умов. Крім того, місця установки регульованих КП наперед зумовлені існуючими підстанціями з нерегульованими компенсуючими пристроями, що обмежує область застосування пропонованої методики завданням модернізації існуючої електричної мережі.*

**Ключові слова:** втрати електроенергії, регульовані і нерегульовані компенсуючі пристрої, активна і реактивна потужність, перетікання реактивної потужності.

## DECLINE OF LOSSES OF ELECTRIC POWER IN GRID BY SUBSTITUTING OF UNREGULATED COMPENSATING DEVICES BY MANAGED

N.N. Sapiga, P.F. Budanov, T.N. Zaharova

*A mathematical vehicle is offered for drafting of the programs of calculation on computer as evaluated by the regulation effect of compensating devices (CD) during the translation of unregulated compensating devices in managed with providing of a minimum of losses of active power in a grid, and also it is shown as on the offered mathematical vehicle the proper programs can be made for conducting of calculations on computer. The calculation of the set mode is based on the decision of the system of equalizations of the set mode of balancing knot, for supporting and un-supporting knots at certain initial conditions. In addition, the places of setting of managed compensating devices are beforehand predefined existent substations with unregulated compensating devices, that limits an application of the offered method the task of modernization of existent electric network domain.*

**Keywords:** losses of electric power, managed and unregulated compensating devices, active and reactive power, nepetoku of reactive power.