

УДК 621.3.072.6

## К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ И МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭЭС

*Александров О. И., Демьянкова В.С*

*УЗ «Белорусский государственный технологический университет»,  
г. Минск, Беларусь*

При проектировании электрических сетей приходится решать задачу оптимального размещения источников реактивной мощности (ИРМ). Для решения задачи выбора мощности и целесообразного размещения ИРМ в электрической сети предложено и опубликовано несколько методов и алгоритмов, отличающихся разной степенью точности в формулировке и различными способами ее решения. Однако, для проведения многовариантных оценочных расчетов необходимо иметь вариант упрощенной (оценочной) модели. Предлагается статическая постановка задачи с представлением в ней интегральной нагрузки в виде кусочно-постоянного графика. Решение этой задачи определяет места размещения и мощности КУ, исходя из заданного уровня реактивных нагрузок узлов энергопотребления, что дает возможность выбрать оптимальную установленную мощность КУ с учетом целесообразного режима использования их. Результат решения указывает, какие КУ должны быть регулируемыми и какие нерегулируемыми.

Если в результате решения окажется, что

$$Q_1^{ky} = Q_2^{ky} = \dots = Q_9^{ky},$$

то мощность КУ должна быть нерегулируемой. В противном случае (т.е. при условии  $Q_1^{ky} \neq Q_2^{ky} \neq \dots \neq Q_9^{ky}$ ) должны быть

установлены регулируемые устройства компенсации. При этом регулируемой может быть не вся установка, а только часть ее, определяемая по формуле

$$Q_{\text{рег}}^{ky} = \max\{Q_1^{ky}, \dots, Q_{\nu}^{ky}\} - \min\{Q_1^{ky}, \dots, Q_{\nu}^{ky}\},$$

где  $\nu$  — число ступеней аппроксимации годового режима потребления реактивной мощности.

В отличие от эксплуатационных расчетов оптимального распределения реактивных мощностей при расчетах проектного характера целевой функцией являются не потери активной мощности, а приведенные затраты. Задача сводится к определению минимума составляющей приведенных затрат, которая изменяется при установке дополнительных КУ и связанном с этим перераспределением реактивных мощностей в системе. В приближенной постановке реактивную мощность компенсации нагрузки  $i$ -го узла можно определить по эмпирической формуле, используя средний расход электроэнергии за наиболее интенсивный месяц с учетом реального электропотребления:

$$Q_i^{ky} = \frac{W^{\Gamma} \cdot \Delta\varphi \cdot k_H^{\text{мес}} \cdot \alpha \cdot 10^3}{8760}, \text{ Мвар},$$

где  $W^{\Gamma}$  - годовое электропотребление,  $\text{Мвт} \cdot \text{ч}$ ;  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi$  - сдвиг фаз до и после компенсации;  $k_H^{\text{мес}}$  - коэффициент месячной неравномерности нагрузки;  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий потери в КУ.

Наиболее простой математической формулировке соответствует статическая постановка задачи, в которой режим потребления реактивной мощности представляется в виде  $Q_{\text{max}}$  и  $T_{\text{max}}$ . Математическая задача может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned} & (\sum_{i=1}^m Z_k \Delta Q_i^{ky} + \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^m \Delta Q_i^{ky} Z_{\text{п}} \Delta Q_i^{ky}) \rightarrow \min, \\ & Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}, i \in \overline{1, r}; \\ & U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max}; i \in \overline{1, n}; \\ & \sum_{i=1}^r Q_i + \sum_{i=1}^m Q_i^{ky} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{кн}} + \Delta q. \end{aligned}$$

где  $Z_k = [(Z_{\text{ам}} + Z_{\text{обсл}})k_{\text{уд}} + \pi h \beta]$  - удельные затраты на эксплуатацию КУ;  $k_{\text{уд}}$  - удельные капиталовложения в КУ;  $Z_{\text{ам}}, Z_{\text{обсл}}$  - нормы отчислений на амортизацию и обслуживания;  $\pi$  - удельные потери мощности в КУ;  $h$  - число работы КУ;  $h$  - стоимость 1  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$  установленной мощности;  $\Delta q$  - суммарные реактивные потери в сети;  $Z_n$  -

стоимость 1 кВт·ч потерь;  $Q_{kn}$  - реактивная мощность  $k$ -го нагрузочного узла;  $\Delta Q_i^{ky} = (Q_i - Q_i^{ky})$  степень компенсации;  $m$  - число узлов сети, в которых предполагается размещение КУ;  $r$  - число узлов генерирующих реактивную мощность;  $n$  - число нагрузочных узлов.

В векторно-матричной форме выражение примет вид:

$$F = \bar{Z}_k^* \bar{Q} + \bar{Q}^* [\bar{Z}_\Pi] \bar{Q},$$

где  $\bar{Q}$  - вектор-столбец реактивных мощностей, поступающих в сеть;  $\bar{Z}_k$  - вектор-столбец, составленный из компонентов  $Z_k$ ;  $[\bar{Z}_\Pi]$  - квадратная симметричная положительно определенная матрица коэффициентов потерь  $Z_\Pi$ , \* - знак транспонирования матрицы.

Вектор  $\bar{Q}$  разобьем на подвекторы

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_I \\ \bar{Q}_J \end{bmatrix}$$

где  $\bar{Q}_I$  - вектор искомых мощностей (регулируемые ИРМ);  $\bar{Q}_J$  - вектор заданных мощностей (нерегулируемые ИРМ, КУ, нагрузки).

Соответственно разбивается вектор  $\bar{Z}_k$  на подвекторы и матрица  $[\bar{Z}_\Pi]$  на клеточные субматрицы:

$$\bar{Z}_k = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{Ik} \\ \bar{Z}_{Jk} \end{bmatrix}; [\bar{Z}_\Pi] = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{\Pi}^{II} & \bar{Z}_{\Pi}^{IJ} \\ \bar{Z}_{\Pi}^{JI} & \bar{Z}_{\Pi}^{JJ} \end{bmatrix}$$

где  $\bar{Z}_{\Pi}^{II}$  - квадратная матрица порядка  $m$ ;  $\bar{Z}_{\Pi}^{JJ}$  - квадратная матрица порядка  $N-m=1$ ;  $\bar{Z}_{\Pi}^{IJ}$  - прямоугольная матрица размеров  $m \times 1$ ;

Поскольку в узлах группы I учитываются ограничения по загрузке источников и по напряжениям, а в узлах группы J учитываются ограничения по напряжениям и суммарной мощности, то

$$\bar{Q}_m^* \bar{k} \leq \bar{Q}_\Sigma^{max}; \quad -\bar{Q}_m^* \bar{k} \leq -\bar{Q}_\Sigma^{max};$$

Обозначим  $[\bar{A}]^* = colon[\bar{e} \quad -\bar{e} \quad \bar{k} \quad -\bar{k}]$  - матрица размеров  $m \times 2(m+1)$ ,  $e$  - диагональная единичная матрица порядка

$m$ ;  $\bar{k}$  –  $m$ -мерный вектор;  $[\bar{D}] = [\bar{V} \ \bar{W} \ \bar{Q}_\Sigma^{max} \ \bar{Q}_\Sigma^{min}]$  – строчная матрица ограничений с  $2(m+1)$  компонентами,

$$\bar{V} = \frac{1}{2}(\bar{B} + \bar{T}); \bar{W} = \frac{1}{2}(\bar{\Phi} - \bar{C})$$

$\bar{B}$  и  $\bar{\Phi}$  – соответственно векторы нижних и верхних граничных значений, вводимых реактивных мощностей.  $\bar{T}$  и  $\bar{C}$  – векторы нижних и соответственно верхних граничных значений напряжений,

Векторное выражение целевой функции примет вид:

$$\begin{aligned} F &= [\bar{z}_{kl}^* \ \bar{z}_{kj}^*] \begin{bmatrix} \bar{Q}_I \\ \bar{Q}_J \end{bmatrix} + [\bar{Q}_I^* \ \bar{Q}_J^*] \begin{bmatrix} \bar{z}_{II}^\Pi & \bar{z}_{IJ}^\Pi \\ \bar{z}_{JI}^\Pi & \bar{z}_{JJ}^\Pi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{Q}_I \\ \bar{Q}_J \end{bmatrix} = \\ &= [\bar{z}_{kl}^* \ \bar{Q}_I] + [z_{kj}^* \ \bar{Q}_J] + [\bar{Q}_I^* \ \bar{z}_{II}^\Pi \ \bar{Q}_I] + \\ &2 [\bar{Q}_I^* \ \bar{z}_{IJ}^\Pi \ \bar{Q}_J] + [\bar{Q}_J^* \ \bar{z}_{JJ}^\Pi \ \bar{Q}_J]. \end{aligned}$$

Обозначим

$$[\bar{z}_{II}^\Pi] = [\bar{H}]; -[\bar{z}_{IJ}^\Pi] \bar{Q}_J = [\bar{E}]; \bar{Q}_I = \bar{X}.$$

Пользуясь введенными обозначениями, сформулируем задачу таким образом:

найти

$$\min \bar{z} = \bar{\theta}^* \bar{X} + \bar{X}^* [\bar{H}] \bar{X},$$

где

$$\bar{\theta} = \bar{z}_{kj}^* + \bar{E},$$

при условиях

$$[\bar{A}] \bar{X} \leq \bar{D}; \bar{X} \geq 0.$$

Поскольку матрица  $[\bar{H}]$  является положительно определенной, а линейная система ограничений образует выпуклое допустимое множество, то сформулированная модель является задачей выпуклого квадратичного программирования, и может быть решена одним из методов, описанных в соответствующей математической литературе. В результате решения получаем оптимальный вектор  $\bar{X}$ , минимизирующий расчетные затраты.

Если же задача выбора размещения и мощности КУ решается как самостоятельная, то при этом возникает необходимость ее динамической формулировки. Например,

энергоузел, дефицитный по реактивной мощности в каком-либо году, может оказаться избыточным в следующем. В этой связи может оказаться практически полезной динамическая модель с представлением в ней нагрузки в традиционной форме. округляются до ближайших стандартных величин.

**УДК 621.396**

## **МИКРОКОНТРОЛЛЕР ФИРМЫ FUJITSU В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЧАСТОТЫ**

*Ахремчик О.Л.*

*ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический  
университет»,  
г. Тверь, Россия*

Применение дозирующих регулирующих органов в системах управления разнообразными технологическими процессами выводит на первый план задачу применения частотно-регулируемых приводов насосов для перекачки жидких реагентов. Использование частотно-регулируемого привода с векторным управлением позволяет экономить до 40 % энергии [1]. Указанные приводы реализуются с использованием микропроцессорных средств, обеспечивающих связь с разными уровнями управления для обмена информацией о состоянии привода для расчета и прогнозирования значений координат объекта управления. Рассмотрим, какие микроконтроллеры устанавливаются в применяемых на текущий момент преобразователях частоты.

Отечественной разработкой являются преобразователи серии «ЭПВ» (научно-технический центр электропривода «Вектор», г. Иваново). Как и подавляющая часть технических средств автоматизации и управления эти устройства имеют импортную начинку. Системы управления всех преобразователей серии выполнены на основе универсального