

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ВО ВНУТРИЗАВОДСКОМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ МЕТОДОМ СКОЛЬЗЯЩЕГО ДОПУСКА

Нелюбов В.М.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Задача оптимальной компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия заключается в выборе мощности и мест расстановки по узловым точкам сети низковольтных и высоковольтных конденсаторных батарей и определение загрузки по реактивной мощности имеющихся на предприятии синхронных электродвигателей при минимальных приведенных затратах при выполнении режимных и технических ограничений.

Экономико-математическая модель конденсаторной батареи (высоковольтной или низковольтной), как источника реактивной мощности, с учетом затрат на коммутационный аппарат имеет вид

$$Z_{KB} = p_{\Sigma} \cdot K_{v_KB} \cdot Q_{BK} + C_0 \cdot tg\varepsilon_{BK} \cdot Q_{BK} + Z_{KA}(Q_{KB}), \quad (1)$$

где Z_{KB} - приведенные затраты на установку и эксплуатацию конденсаторной установки;

p_{Σ} - суммарный коэффициент отчислений от капитальных вложений на конденсаторную установку, включающих нормативный коэффициент экономической эффективности;

K_{v_KB} - удельная стоимость конденсаторной батареи, руб/квар;

Q_{BK} - реактивная мощность конденсаторной батареи, квар;

C_0 - стоимость потерь активной мощности, руб/кВт;

$tg\varepsilon_{BK}$ - тангенс угла диэлектрических потерь;

$Z_{KA}(Q_{KB})$ - затраты на коммутационный аппарат, руб., которые зависят от мощности батареи и представляют собой дискретную функцию.

Экономико-математическая модель синхронного двигателя как источника реактивной мощности представляет собой стоимость дополнительных потерь активной мощности на генерацию реактивной мощности

$$Z_{CD} = C_0 \cdot \left(\frac{D_1}{Q_H} \cdot Q_{CD} + \frac{D_2}{Q_H^2} \cdot Q_{CD}^2 \right), \quad (2)$$

где D_1, D_2 - коэффициенты потерь, кВт;

Q_H - номинальная реактивная мощность синхронного двигателя;

Q_{CD} - генерируемая реактивная мощность синхронного двигателя в режиме перевозбуждения.

Целевая функция затрат задачи оптимальной компенсации реактивной мощности будет иметь вид

$$Z(Q_{НКБ}; Q_{ВКБ}; Q_{СД}) = Z(\bar{Q}_{KV}) = \sum_1^{N_{НКБ}} Z_{НКБ} + \sum_1^{N_{ВКБ}} Z_{ВКБ} + \sum_1^{N_{СД}} Z_{СД} + C_0 \cdot \Delta P(\bar{Q}_{KV}), \quad (3)$$

где $Q_{НКБ}, Q_{ВКБ}$ - соответственно реактивная мощность низковольтной и высоковольтной конденсаторной батареи, квар;

\bar{Q}_{KV} - вектор компенсирующих устройств;

$N_{НКБ}, N_{ВКБ}, N_{СД}$ - соответственно количество рассматриваемых низковольтных конденсаторных батарей, высоковольтных конденсаторных батарей и синхронных электродвигателей.

На целевую функцию (3) подлежащую минимизации наложено ограничение равенство в форме баланса реактивной мощности

$$H(\bar{Q}_{KV}) = Q_{НАГР} + \Delta Q(\bar{Q}_{KV}) + \sum_1^{N_{НКБ} + N_{ВКБ} + N_{СД}} Q_{KV} - Q_{Э1}, \quad (4)$$

где $Q_{НАГР}$ - суммарная реактивная нагрузка электропотребителей;

$\Delta Q(\bar{Q}_{KV})$ - потери реактивной мощности в сети предприятия, зависящие от вектора \bar{Q}_{KV} ;

$Q_{Э1}$ - экономическое значение входной реактивной мощности, задаваемое энергоснабжающей организацией в часы максимальных нагрузок, квар, определяемое по /1/.

Кроме того существуют ограничения неравенства (неотрицательности переменных и ограничение по располагаемой реактивной мощности синхронных двигателей)

$$G_j = \left| \begin{array}{l} Q_{KV} \geq 0 \\ Q_{СД} - Q_{СД}^{MAX} \geq 0 \end{array} \right|, \quad j = \overline{1, N_{НКБ} + N_{ВКБ} + 2 \cdot N_{СД}}, \quad (5)$$

где $Q_{СД}^{MAX}$ - предельная располагаемая мощность синхронного двигателя, квар.

Представленная задача относится к классу задач нелинейного программирования общего вида.

Для ее решения может быть использован метод /2/, согласно которому исходная задача минимизации целевой функции (3) с ограничениями (4) и (5), заменяется более простой задачей, - минимизировать функцию (3) при одном глобальном ограничении

$$\Phi^{(k)} - T(\bar{Q}_{KV}) \geq 0, \quad (6)$$

где $\Phi^{(k)}$ - значение критерия скользящего допуска на k-м этапе поиска;
 $T(\bar{Q}_{KV})$ - положительно определенный функционал, определенный над множеством всех функции задающих ограничения (4) и (5).

$$T(\bar{Q}_{KV}) = \left[H^2(\bar{Q}_{KV}) + \sum_1^{N_{HKБ} + N_{BKБ} + 2 \cdot N_{СД}} U_j \cdot G_j^2(\bar{Q}_{KV}) \right]^{1/2}, \quad (7)$$

где U_j - оператор Хевисайда.

$$U_j = \begin{cases} 0, & \text{при } G_j \geq 0 \\ 1, & \text{при } G_j \leq 0 \end{cases}, \quad (8)$$

Минимум функции (3) ищется одним из методов безусловной оптимизации с контролем на каждой k-ой итерации выполнения неравенства (6). Если оно нарушается, то алгоритм переключается на поиск допустимой или квазидопустимой точки путем минимизации функционала $T(\bar{Q}_{KV})$. По мере развития поиска уменьшается значение $\Phi^{(k)}$, что приводит к сужению области квазидопустимости, а так как в пределе $\Phi^{(k)}$ стремится к нулю, то по окончанию поиска оптимальное решение будет принадлежать к допустимой области с наперед заданной погрешностью.

В качестве метода безусловной оптимизации может быть применена процедура деформируемого многогранника Нелдера-Мида /2/.

Алгоритм применялся для поиска оптимального решения на ряде практических задач и показал высокую эффективность.

Список литературы

1. Приказ Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации от 22 февраля 2007 г. № 49 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения)
2. *Applied Nonlinear Programming [By] David M.; Himmelblau McGraw-Hill, 1972 - 498 с. – ISBN-13: 978-0070289215*