

В.Г.Пекелис, канд.техн.наук,
А.Е.Розенберг

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗМЕЩЕНИЯ ШУНТОВЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Известно, что одним из наиболее эффективных мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии в электрических сетях и повышение их пропускной способности является компенсация реактивных нагрузок с помощью батарей статических конденсаторов (шунтовых конденсаторных батарей - ШКБ).

Для эффективного использования последних необходимо решить задачу оптимального размещения ШКБ и выбора их рабочих параметров, т.е. решить так называемую задачу рациональной компенсации.

Данная оптимизационная задача имеет нелинейную неоднородную (с разрывами первого рода) целевую функцию, что обусловлено наличием в последней постоянных (фиксированных) затрат на установку ШКБ, независящих от их мощности.

Выделение указанных затрат позволяет оптимизировать общее количество батарей, что особенно необходимо при рассмотрении распределительных сетей 6-10-35 кВ, где величина этих затрат сопоставима со стоимостью самих конденсаторов. Наличие в целевой функции фиксированных затрат обусловливает многоэкстремальность целевой функции, что резко усложняет процесс поиска ее глобального экстремума.

В настоящее время предложено несколько приближенных методов [1...3] решения поставленной задачи, основанных на поочередном исключении или добавлении (наращивании) батарей в порядке убывания их долевого эффекта, который определяется для некоторого заранее заданного состава батарей. Указанные методы не гарантируют нахождения оптимального решения, поскольку они не учитывают динамику изменения долевого эффекта в процессе оптимизации при изменении состава батарей.

Авторами предлагается инженерная методика решения поставленной задачи, в которой устранены указанные недостатки существующих методов за счет учета динамики изменения долевого эффекта при изменении состава батарей.

Предлагаемая методика базируется на применении квадратичной целевой функции, выражающей суммарные приведенные

затраты на покрытие потерь от передачи реактивных нагрузок с учетом установки шунтовых конденсаторных батарей.

Процесс оптимизации целевой функции выполняется по специальному алгоритму в несколько последовательных этапов.

1. Для всех i -х узлов электрической сети ($i = 2, \dots, m$), где по техническим условиям возможна установка ШКБ, находятся оптимальные значения мощностей батарей в области непрерывного изменения целевой функции, что сводится к решению системы линейных уравнений в частных производных [4].

В результате решения указанной системы уравнений могут быть получены отрицательные значения искомым мощностей ШКБ, что противоречит физическому смыслу задачи. Характер целевой функции позволяет учитывать данное ограничение путем приравнивания нулю всех мощностей ШКБ, принявших отрицательное значение, после чего находится оптимальное решение задачи пониженной размерности.

Данная оптимизационная процедура завершается расчетом годового экономического эффекта от установки конденсаторных батарей, мощности которых Q_{ki}^n ($i = 1, \dots, n$) приняли положительные значения, по формуле

$$\Xi_i^{(n)} = Q_{ki}^{(n)} V_i - p A_i, \quad (1)$$

где V_i - свободный член i -го уравнения системы линейных уравнений, в результате решения которой найдена величина $Q_{ki}^{(n)}$; p - коэффициент общих ежегодных отчислений от капитальных затрат на установку ШКБ; A_i - постоянная составляющая капитальных затрат на i -ую ШКБ.

Заметим, что при расчете эффекта по формуле (1) обеспечивается одинаковое удельное снижение потерь мощности в общих участках распределительной линии, к которой подключено несколько батарей в расчете на единицу генерируемой мощности любой из них.

2. Рассчитывается годовой экономический эффект от индивидуальной установки шунтовых конденсаторных батарей $\Xi_i^{(1)}$ (в предположении, что батарея устанавливается только в рассматриваемом узле) для всех узлов сети $i \in n$.

При этом искомые величины определяются по формуле

$$\Xi_i^{(1)} = \frac{B_i^2}{R_{ii}} - p A_i, \quad (2)$$

где R_{ii} - собственное сопротивление i -го узла сети относительно балансирующего узла.

3. Находится ШКБ, обеспечивающая наибольший годовой экономический эффект, для которой выполняется следующее условие:

$$\mathfrak{E}_j^{(1)} = \max_{i \in n} \mathfrak{E}_i^{(1)} \quad (3)$$

4. Для всех i -х узлов сети ($i \in n$) рассчитывается годовой экономический эффект от установки батарей при попарной (совместной) их работе с j - ШКБ, найденной по п. 3. С этой целью первоначально рассчитываются новые оптимальные мощности всех конденсаторных батарей по формуле

$$Q_{ki}^{(2)} = \frac{B_i R_{jj} - B_j R_{ij}}{R_{ii} R_{jj} - R_{ij}^2}, \text{ где } i \in n. \quad (4)$$

Далее по формуле (1) определяются искомые величины долевого эффекта $\mathfrak{E}_i^{(2)}$.

Таким образом находим три точки искомой зависимости долевого эффекта, обеспечиваемого каждой батареей от их общего числа.

5. Рассчитываются коэффициенты указанной аппроксимирующей зависимости, имеющей следующий вид:

$$\mathfrak{E}_i(\xi) = \mathfrak{E}_i^{(n)} + \frac{\mathfrak{E}_i^{(1)} - \mathfrak{E}_i^{(n)}}{2} \left[1 + \left(\frac{n-\xi}{n-1} \right)^{\lambda_1} - \left(\frac{\xi-1}{n-1} \right)^{\lambda_2} \right], \quad (5)$$

где ξ - текущий параметр ($\xi = 1, \dots, n$); λ_1, λ_2 - искомые коэффициенты, определяемые в свою очередь по формулам

$$\lambda_1 = \frac{\ln \frac{\mathfrak{E}_i^{(2)} - \mathfrak{E}_i^{(n)}}{\mathfrak{E}_i^{(1)} - \mathfrak{E}_i^{(n)}}}{\ln \frac{n-2}{n-1}}; \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \frac{\ln \frac{\varepsilon_i^{(1)} - \varepsilon_i^{(2)}}{\varepsilon_i^{(1)} - \varepsilon_i^{(n)}}}{\ln \frac{1}{n-1}}. \quad (7)$$

6. Строится зависимость суммарного эффекта от установки ШКБ от количества и состава батарей для чего используются результаты расчетов, найденных по п. 5.

7. По кривой изменения суммарного эффекта от установки ШКБ определяется точка экстремума, после чего выполняется процедура корректировки состава и количества батарей. В результате находится оптимальный вариант размещения ШКБ в рассматриваемой сети.

Л и т е р а т у р а

1. Ковалев И.Н., Татевосян Г.М. Один из методов компенсации реактивных нагрузок в электрических сетях. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1964, № 5. 2. Пекелис В.Г., Розенберг А.Е. О размещении шунтовых конденсаторных батарей в высоковольтных распределительных сетях энергосистем. - "Электричество", 1976, № 12. 3. Зорин В.В., Экель П.Я. Определение мест установки и мощности конденсаторных батарей в распределительных электрических сетях. - В сб.: Методы и устройства для снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Киев, 1977. 4. Пекелис В.Г., Розенберг А.Е. Оптимизация размещения шунтовых конденсаторных батарей на распределительных системных подстанциях. - В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики вып. 3. Минск, 1976.

УДК 621.311.017.2/39:681.3

И.З.Шапиро

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Планирование потерь электроэнергии на самом верхнем иерархическом уровне (Минэнерго СССР) и более низких уровнях сводится к задаче оптимального распределения плана по-