

чения или величина ΔZ не станет отрицательной. В указанных случаях переходят на другой исследуемый узел.

Аналогичным способом в произвольном порядке рассматриваются все основные узлы системы. Решение уточняется последующими циклами обхода узлов. Порядок обхода узлов устанавливается постоянным для каждого цикла. В большинстве случаев приемлемая точность расчета достигается за два—три цикла обхода.

Работоспособность данной методики была исследована на примере энергосистемы, состоящей из 106 узлов с 23 основными узлами нагрузки. Для расчета установившегося режима использовалась программа УЭР. Приведенная методика позволяет достаточно эффективно определять коэффициенты реактивной мощности основных узлов нагрузки электрической сети.

Л и т е р а т у р а

1. Рокотян С.С., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических систем. М., 1971.
2. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. М., 1974.

Л.П. Анисимов, В.Г. Пекелис, А.Е. Розенберг МЕТОДИКА СОВМЕСТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА ТОЧЕК НОРМАЛЬНОГО РАЗРЫВА И РАЗМЕЩЕНИЯ ШУНТОВЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В настоящее время задачи выбора оптимальных точек нормального разрыва в распределительных сетях и оптимального размещения шунтовых конденсаторных батарей решаются раздельно. При этом в целях упрощения указанных задач влияние питающей сети не учитывается или учитывается весьма приближенно, что приводит к существенным ошибкам.

Вместе с тем характер целевых функций рассматриваемых оптимизационных задач позволяет их объединить и решать совместно, причем с наиболее точным учетом питающей сети. В результате совместной оптимизации достигается весьма значительный дополнительный эффект.

Проиллюстрируем сказанное на примере схемы (рис. 1), состоящей из трех участков питающей сети (0—1, 1—II, II—III) и двух распределительных линий (1—1 и II—2), связанных между собой резервным участком 1—2. В узле 2, потребляющем энергию $\dot{A}_Q = A_{Qa} + jA_{Qp}$, намечается установка неотключаемой конденсаторной батареи мощностью Q . Потребление узла 1— $\dot{A} = A_a + jA_p$.

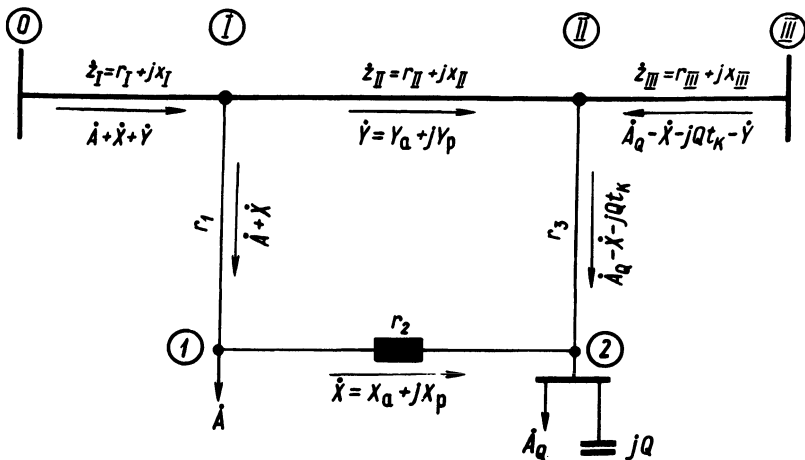


Рис. 1. Расчетная схема условно-замкнутой распределительной и питающей сети.

Обозначив контурные потоки энергии в питающей и распределительной сети соответственно через \dot{Y} и \dot{X} и, пренебрегая потерями при расчете потокораспределения, находим оптимальные значения указанных потоков, а также величины Q по критерию минимума приведенных затрат (3) на покрытие потерь. Используя то обстоятельство, что естественное потокораспределение в замкнутой питающей сети соответствует минимуму потерь полной мощности (энергии), одновременно с минимизацией целевой функции будем минимизировать и выражение полных потерь ΔA_{II} , что обеспечит получение оптимальных значений \dot{X} и Q при реальном значении \dot{Y} . Заметим, что минимизация полных потерь в замкнутой сети является одним из возможных способов расчета потокораспределения, применение которого в ряде случаев весьма рационально.

Для подстановки в целевую функцию и в уравнение полных потерь (дополнительное условие) используем выражение по-

ть энергии через ее потоки, приведенное в [1]. При этом составляющие потерь, зависящие от дисперсий нагрузок, можно не учитывать, поскольку они не влияют ни на оптимальную величину мощности конденсаторных батарей, ни на оптимальное положение точек нормального разрыва. Доказательство этого положения выходит за рамки данной статьи.

С учетом сказанного, целевую функцию и дополнительное условие можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 Z = & pa + bQ + \frac{c}{U_{ctk}^2} \left\{ R_y (y_a^2 + y_p^2) + R_x (x_a^2 + x_p^2) + \right. \\
 & + R_Q [A_{Qa}^2 + (A_{Qp} - Qt_k)^2] + R_A (A_a^2 + A_p^2) + 2R_{yx} (y_a x_a + \\
 & + y_p x_p) - 2R_{yQ} [y_a A_{Qa} + y_p (A_{Qp} - Qt_k)] + 2R_{yA} [y_a A_a + \\
 & + y_p A_p] - 2R_{xQ} [x_a A_{Qa} + x_p (A_{Qp} - Qt_k)] + 2R_{xA} [x_a A_a + \\
 & \left. + x_p A_p] \right\};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta \dot{A}_\Pi = & \dot{Z}_y (y_a^2 + y_p^2) + \dot{Z}_x (x_a^2 + x_p^2) + \dot{Z}_Q [A_{Qa}^2 + (A_{Qp} - \\
 & - Qt_k)^2] + \dot{Z}_A (A_a^2 + A_p^2) + 2\dot{Z}_{yx} (y_a x_a + y_p x_p) - 2\dot{Z}_{yQ} x \\
 & x [y_a A_{Qa} + y_p (A_{Qp} - Qt_k)] + 2\dot{Z}_{yA} [y_a A_Q + y_p A_p] - \\
 & - 2\dot{Z}_{xQ} [x_a A_{Qa} + x_p (A_{Qp} - Qt_k)] + 2\dot{Z}_{xA} [x_a A_a + \\
 & + x_p A_p]; \quad (1)
 \end{aligned}$$

где p — суммарный коэффициент нормативных и амортизационных отчислений; a — постоянная составляющая капитальных затрат на шунтовую конденсаторную батарею; b — коэффициент пропорциональности, учитывающий суммарные ежегодные отчисления от стоимости конденсаторов и стоимость потерь в них; c — удельная стоимость переменных потерь энер-

гии в сетях; U_c — среднее эксплуатационное напряжение; t_k — календарный период времени, и, наконец, вспомогательные величины:

$$\left. \begin{aligned}
 R_y &= r_I + r_{II} + r_{III} ; \\
 R_x &= r_I + r_1 + r_2 + r_3 + r_{III} ; \\
 R_Q &= r_3 + r_{III} ; \\
 R_A &= r_I + r_1 ; \\
 R_{yx} &= r_I + r_{III} \\
 R_{yQ} &= r_{II} \\
 R_{yA} &= r_I \\
 R_{xQ} &= r_3 + r_{III} ; \\
 R_{xA} &= r_I + r_1 .
 \end{aligned} \right\} (2)$$

Аналогично определяются вспомогательные величины полных сопротивлений.

Для решения реальных задач, где число неизвестных переменных Q, X, Y может быть гораздо больше, необходимо перейти к матричной форме записи целевой функции и дополнительного условия. Запишем матричное выражение для случая n батарей, мощности которых образуют вектор-столбец Q , а контурные потоки образуют соответственно комплексные векторы-столбцы $X_a + jX_p, Y_a + jY_p$. В свою очередь потребление энергии в узлах, где намечается установка конденсаторных батарей, характеризуется вектором-столбцом $A_{Qa} + jA_{Qp}$, а потребление всех остальных узлов $A_a + jA_p$.

С учетом сделанных замечаний

$$\begin{aligned}
 z &= n_t p a n + n_t b Q + \frac{c}{U_{c k}^2} \left\| \left\| Y_{at} - j Y_{pt} X_{at} - j X_{pt} A_{Qat} - \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - j (A_{Qpt} - Q t_k) A_{at} - j A_{pt} \right\| x \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{vmatrix} R_y & R_{yx} & R_{yA} & R_{yQ} \\ R_{xy} & R_x & R_{xA} & R_{xQ} \\ R_{Qy} & R_{Qx} & R_Q & R_{QA} \\ R_{Ay} & R_{Ax} & R_{AQ} & R_A \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Y_a + jY_p \\ X_a + jX_p \\ A_{Qa} + j(A_{Qp} - Qt_k) \\ A_a + jA_p \end{vmatrix}$$

$$\Delta \dot{A}_n = \frac{1}{U_{ctk}^2} \left\| \begin{matrix} Y_{at} - jY_{pt} \\ X_{at} - jX_{pt} \\ A_{Qat} - j(A_{Qpt} - Qt_k) \\ A_{at} - jA_{pt} \end{matrix} \right\| \times$$

$$\begin{vmatrix} \dot{Z}_y & \dot{Z}_{yx} & \dot{Z}_{yQ} & \dot{Z}_{yA} \\ \dot{Z}_{xy} & \dot{Z}_x & \dot{Z}_{xQ} & \dot{Z}_{xA} \\ \dot{Z}_{Qy} & \dot{Z}_{Qx} & \dot{Z}_Q & \dot{Z}_{QA} \\ \dot{Z}_{Ay} & \dot{Z}_{Ax} & \dot{Z}_{AQ} & \dot{Z}_A \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Y_a + jY_p \\ X_a + jX_p \\ A_{Qa} + j(A_{Qp} - Qt_k) \\ A_a + jA_p \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где $R_y, R_x, R_Q, R_A, \dot{Z}_y, \dot{Z}_Q, \dot{Z}_A$ — квадратные матрицы соответственно активных и полных сопротивлений; $R_{yx}, R_{yQ}, R_{xQ}, R_{xA}, \dot{Z}_{yx}, \dot{Z}_{yQ}, \dot{Z}_{yA}, \dot{Z}_{xQ}, \dot{Z}_{xA}, R_{yA}$ — прямоугольные матрицы активных и полных сопротивлений; n — единичный вектор-столбец; t — индекс, обозначающий транспонирование матриц.

Неоднородность целевой функции, обусловленная наличием величины a , значение которой

$$\begin{cases} 0, & \text{если } Q \leq 0, \\ a, & \text{если } Q > 0, \end{cases} \quad (4)$$

и дискретностью возможных значений Q, X , предопределяет необходимость поэтапного решения задачи оптимизации. При этом дискретность по Q вызвана тем, что батареи комплектуются из конденсаторов стандартных номинальных мощностей,

причем значительная часть батарей системного назначения на 6—10 кВ выполняется из конденсаторов более низкого напряжения, которые приходится соединять в последовательные ряды. Причина дискретности по \dot{X} состоит в том, что нагрузка любого узла распределительной сети привязана к определенному трансформатору, который может питаться лишь от одного источника.

Первый этап заключается в нахождении оптимальных значений Q , \dot{X} и \dot{Y} при допущении, что $a = 0$, путем решения приведенной ниже системы уравнений в частных производных.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial X_a} &= 0; \\ \frac{\partial Z}{\partial X_p} &= 0; \\ \frac{\partial Z}{\partial Q} &= 0; \\ \frac{\partial \Delta \dot{A}_n}{\partial Y_a} &= 0; \\ \frac{\partial \Delta \dot{A}_n}{\partial Y_p} &= 0. \end{aligned} \right\} (5)$$

Второй этап состоит в округлении полученных непрерывных значений Q и \dot{X} до ближайших по абсолютной величине дискретных значений.

На третьем этапе округленные величины Q , \dot{X} подставляются в целевую функцию и с учетом изменения постоянных затрат согласно (4) находится та из них, исключение которой вызывает наибольшее увеличение целевой функции. Найденное значение Q (\dot{X}) закрепляется и циклически осуществляется пересчет остальных Q и \dot{X} путем повторения всех предыдущих этапов. Этот циклический процесс продолжается до закрепления всех переменных.

На четвертом этапе осуществляется циклический процесс исключения наименее эффективных батарей до тех пор, пока

за счет преобладающего влияния дискретного уменьшения постоянных затрат над непрерывным увеличением стоимости потерь происходит уменьшение целевой функции.

Наконец, на пятом этапе определяется общий экономический эффект от выполнения данного комплексного мероприятия по снижению потерь. Этот эффект находится как разность затрат на покрытие потерь в исходном режиме и после его оптимизации.

Специальные исследования показали, что при практическом применении описанной методики в тех случаях, когда нельзя пренебречь неоднородностью замкнутой сети, необходимо приравнять нулю $\text{Im}Q$ и выполнять алгебраическое сложение $\text{Re} X_a - \text{Im} X_p$, $\text{Im} X_a + \text{Re} X_p$ для получения X , а аналогично и Y и во всех случаях приравнять нулю $\text{Re}Q < 0$.

В ы в о д ы

Разработана методика совместной оптимизации выбора точек нормального разрыва и размещения шунтовых конденсаторных батарей в распределительных сетях с учетом влияния пищевой сети, основанная на информации о потоках энергии, являющейся наиболее достоверной.

Методика предназначена для реализации в виде алгоритма и программы для ЭВМ.

Методику можно использовать для оценки целесообразности частичного или полного перевода замкнутых сетей напряжением 110 кВ и выше в нормально разомкнутый режим работы.

Л и т е р а т у р а

1. Анисимов Л.П., Левин М.С., Пекелис В.Г. Методика расчета потерь энергии в действующих распределительных сетях. — "Электричество", 1975, № 4.

Л.В. Ничипорович, В.Н. Радкевич, И.В. Колосова

ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6--20 КВ НА ЭВМ

Расчеты распределительных электрических сетей могут быть эффективно выполнены только с помощью ЭВМ. С этой целью применительно к ЭВМ ЕС-1020 на языке ФОРТРАН-IV была