

З. Нейман Л. Р., Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники. — Л.: Энергия, 1975.

Представлена научно-техническим советом

Поступила 21.09.1999

УДК 621.311

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ОСНОВНЫХ СЕТЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО МЕТОДА

Инж. КОРОТКЕВИЧ А. М.

Производственное энергетическое предприятие «ОДУ»

Канд. техн. наук, доц. ПРОКОПЕНКО В. Г.

Белорусская государственная политехническая академия

Одним из направлений решения задачи планирования оптимальных режимов основных сетей энергосистем по напряжению и реактивной мощности служит применение методов, позволяющих вводить дискретные значения переменных [1]. В этом случае удастся учесть важную специфику задачи: ступенчатость, разные законы изменения коэффициентов трансформации автотрансформаторов связи и связанность регулирования. Кроме того, в процессе оптимизационного расчета легко организовать контроль режимных ограничений по величинам напряжений узлов схемы сети, перевозбуждению трансформаторов и автотрансформаторов и т. д. Получающийся в результате расчетов окончательный режим не нуждается в коррекции и уточнении, что компенсирует дополнительные затраты времени на реализацию дискретных методов в отношении к методам, оперирующим с переменными как с непрерывными величинами.

Недостатком дискретных методов является то, что при их реализации несколько увеличивается время расчетов, однако с ростом быстродействия ЭВМ и усовершенствованием программ расчета установившихся режимов электрических сетей этот недостаток становится не столь существенным.

Нами для оптимизации режима основных сетей энергосистем по напряжению и реактивной мощности применен метод, учитывающий дискретность изменения переменных.

В качестве целевой функции выступает зависимость суммарных потерь активной мощности ΔP от изменения значений независимых переменных, которыми в данной задаче служат источники реактивной мощ-

ности Q и коэффициенты трансформации автотрансформаторов связи k_r . Цель оптимизационных расчетов — минимизировать целевую функцию

$$\Delta P = f(Q; k_t) \rightarrow \min. \quad (1)$$

При этом напряжения в узлах схемы сети U не должны выходить за допустимые пределы

$$U^{\min} \leq U \leq U^{\max}.$$

Сущность метода заключается в следующем.

Рассчитывается исходный режим схемы электрической сети при некотором значении вектора независимых переменных x_0 и определяется величина целевой функции $f(x_0)$. Далее с учетом особенностей изменения переменных [1] вычисляется значение $x_{11} = x_1 + \Delta x_1$ первого элемента вектора независимых переменных x и рассчитывается режим схемы сети с новым значением вектора независимых переменных x_1 . Вычисляется новое значение целевой функции и, если оно стало меньше предыдущего, то в информацию о схеме сети возвращается прежнее значение переменной x_1 и отмечается направление ее изменения, при котором целевая функция уменьшилась. Если целевая функция увеличилась, то вычисляется значение $x_{11} = x_1 - \Delta x_1$ и опять рассчитывается режим схемы сети и вычисляется значение целевой функции. Если оно уменьшилось, то опять же в информацию о схеме сети возвращается прежнее значение переменной x_1 и отмечается направление ее изменения, при котором целевая функция снизилась.

После описанной процедуры осуществляется переход к изменению следующей переменной x_2 .

После перебора компонент вектора x будут выявлены все переменные, изменение которых в сторону увеличения или уменьшения привело к уменьшению целевой функции. Далее одновременно на величины $\pm \Delta x$ изменяются все переменные и рассчитывается установившийся режим схемы сети и, если значение целевой функции уменьшилось, то новые компоненты вектора x остаются в информации о схеме сети и полученный режим будет являться исходным для дальнейшего циклического расчета. Если значение целевой функции увеличилось, то в информацию о схеме сети возвращаются прежние значения компонент вектора x и расчет продолжается с помощью любого другого оптимизационного алгоритма, например покоординатного спуска [2].

В ходе оптимизационного расчета осуществлялся контроль ограничений величин напряжений узлов расчетной схемы сети по следующему алгоритму.

При изменении значений переменных x_i на величину $\pm \Delta x_i$, в случае, если произошло уменьшение целевой функции и при этом напряжения в контролируемых узлах не вышли за допустимые пределы, то рассчитываются и запоминаются матрицы приращения напряжений узлов (матрицы чувствительности)

$$\Delta U_i = U_i - U_{i-1}, \quad (2)$$

где ΔU_i – матрица ожидаемых приращений напряжений узлов (матрица чувствительности) при изменении i -й переменной;

U_i – матрица напряжений в контролируемых узлах схемы сети после изменения x_i на величину $\pm \Delta x_i$;

U_{i-1} – то же, до изменения x_i на величину $\pm \Delta x_i$.

Далее при внесении в расчетную схему всех новых значений переменных, которые при поочередном изменении снижали целевую функцию, рассчитываются ожидаемые величины напряжений в контролируемых узлах

$$U_{\text{ож}} = U_n + \sum_{i=1}^n U_{i-1}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ож}}$ – матрица ожидаемых напряжений в контролируемых узлах схемы сети;

U_n – матрица напряжений в контролируемых узлах схемы сети после внесения в расчетную схему сети n переменных.

По мере приращения напряжений узлов в соответствии с выражением (3) осуществляется проверка напряжений в контролируемых узлах. Если при изменении переменной x_i на $\pm \Delta x_i$ ожидаемые напряжения превышают допустимые, то эта переменная на данном этапе исключается из расчетов.

Возможность использования допущения о существовании линейного характера зависимостей напряжений узлов расчетной схемы от величин переменных x_i и принципа наложения, положенных в основу алгоритма контроля напряжений узлов, проверена нами экспериментальными расчетами, проведенными для разных схем. В качестве примера в табл. 1 и 2 приведены результаты расчета матриц чувствительности для одной из схем и результаты сравнения действительных напряжений с прогнозируемыми при изменении значений независимых переменных (коэффициентов трансформации автотрансформаторов связи – сразу на половину диапазона регулирования, источников реактивной мощности – только максимальные и минимальные значения). На рис. 1 показана зависимость изменения напряжения в узлах разных номинальных напряжений одной из схем сети от изменения коэффициента трансформации автотрансформатора. Эта зависимость имеет практически линейный характер. Аналогичные зависимости получены для всех узлов схемы сети, где не фиксировалось напряжение. Такие же результаты получены при расчетах и других схем электрических сетей.

Расчетная схема электрической сети содержала линии трех номинальных напряжений – 330, 220, 110 кВ и насчитывала 32 узла, 47 ветвей, 7 автотрансформаторов связи с регулированием напряжения под нагрузкой на линейных выводах обмотки среднего напряжения или вольтодобавочным трансформатором в нейтрали. Суммарная нагрузка узлов составляла примерно 900-1400 МВ·А.

Результаты расчета матриц чувствительности схемы

Номер компонента	Матрица чувствительности, кВ				
	Узел 2	Узел 3	Узел 10	Узел 17	Узел 27
1	0,47	0,37	1,20	0,30	0,10
2	-0,50	0,13	0,34	0,13	0,04
3	0,17	-0,53	0,57	0,29	1,13
4	0,12	-0,36	0,31	0,23	0,79
5	-0,17	0,28	0,09	1,11	0,15
6	-0,03	0,31	0,01	0,86	0,16
7	-0,08	0,57	-0,93	0,05	0,29

Таблица 2

Результаты сравнения спрогнозированных и действительных напряжений узлов при изменении независимых переменных

Узел	Действительные напряжения узлов, кВ	Спрогнозированные напряжения узлов, кВ	Погрешность, кВ
2	339,11	339,11	0
3	333,16	333,15	0,01
10	241,82	241,75	0,07
17	121,94	122,08	0,14
27	119,78	119,86	0,06

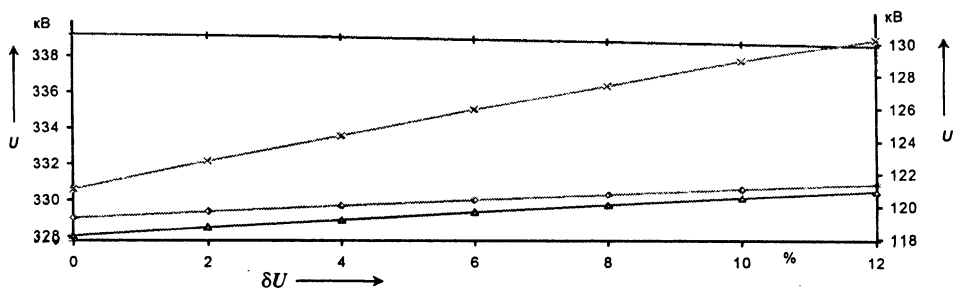


Рис. 1. Зависимости изменения напряжения в узлах от варьирования коэффициента трансформации автотрансформатора: \oplus — U_2 , сеть 330 кВ; \ominus — U_3 , сеть 330 кВ; \times — U_{17} , сеть 110 кВ; \triangle — U_{27} , сеть 110 кВ; δU — добавка напряжения

В табл. 2 приведены результаты расчета для пяти узлов разного номинального напряжения расчетной схемы. Близкие результаты получены и для других узлов. Как видно из результатов расчетного экспери-

мента, спрогнозированные напряжения незначительно отличаются от действительных. При проверке алгоритма на других схемах электрических сетей наибольшая погрешность спрогнозированных величин напряжений узлов составила 1 % от действительных.

Возможность использования принципа наложения и допущения о линейности напряжений узлов для контроля напряжений при изменении реактивной мощности узлов нагрузки показана также в [3, 4].

Предложенный метод оптимизации сравнивался с известным методом покоординатного спуска, использовавшимся для решения задачи оптимизации режимов основных сетей энергосистем по напряжению и реактивной мощности. Так, для описанной расчетной схемы сети снижение потерь активной мощности, полученное при использовании метода покоординатного спуска, составило 1,9 МВт (6 %), а при использовании предложенного — 2,7 МВт (10 %), т. е. величина относительных потерь снизилась примерно на 40 %. Напряжения в контролируемых узлах в послеоптимизационном режиме не превысили допустимых пределов. При оптимизации же градиентными методами для приведенной схемы нам вообще не удалось добиться снижения целевой функции.

ВЫВОД

Предложен эффективный метод оптимизации режимов основных сетей энергосистем по напряжению и реактивной мощности и алгоритм контроля напряжений узлов расчетной схемы в процессе оптимизации, который полностью формализован и программно реализован на ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федин В. Т., Проккопенко В. Г. Планирование характерных режимов электрических сетей 110–750 кВ по напряжению и реактивной мощности // Электрические станции. — 1977. — № 12. — С. 51–55.
2. Крылов В. И., Бобков В. В., Монастырский П. И. Вычислительные методы высшей математики. — Мн.: Выш. шк., 1972. — Т. 1. — 584 с.
3. Лисеев М. С. К задаче автоматизации регулирования напряжения режимов электрических сетей по напряжению и реактивной мощности // Энергетика и транспорт. Изв. АН СССР. — 1973. — № 2. — С. 18–21.
4. Федин В. Т., Проккопенко В. Г. Алгоритм и программа на ЭЦВМ определения оптимальной компенсации реактивных нагрузок узлов электрической сети // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1978. — № 10. — С. 16–22.

Представлена кафедрой
электрических систем

Поступила 30.12.1999