

Л.В. ЕГИАЗАРЯН, С.Г. АКОПЯН, И.И. ШАРАБХАНИЯН, В.С. САФАРЯН,
А.С. АРУТЮНЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕМ ОТВЕТВЛЕНИЯМИ ТРАНСФОРМАТОРОВ СВЯЗИ

Исследована возможность регулирования напряжения и снижения потерь электроэнергии в электроэнергетических системах (ЭЭС) управлением коэффициентами трансформации трансформаторов (КТТ) связи. Оптимальные КТТ определяются методом покоординатного спуска, обеспечивающего охват всех трансформаторов связи (ТС) и их диапазона регулирования ответвлениями в целевую оптимизационную функцию и решение задачи за приемлемое время.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, коэффициент трансформации трансформаторов, оптимизация режимов, покоординатный спуск.

Вопросы разработки мероприятий по снижению потерь электрической энергии в ЭЭС являются актуальными, для осуществления которых необходимо оптимизировать их режимы. Из существующих способов оптимизации в первую очередь необходимо применять те, которые не требуют больших капиталовложений. Одним из таких способов является оптимизация режимов ЭЭС по КТТ связи, что является целью настоящей работы.

Постановка задачи. Из множества возможных вариантов установки ответвлений ТС питающей системы необходимо выбрать тот, который в пределах заданных ограничений обеспечивает минимальные потери энергии в ее сетях.

Математическая модель решаемой задачи имеет вид

$$\Delta P = \sum_{i=1}^b I_i^2 r_i + \sum_{i=1}^n U_i^2 g_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \dot{U}_j = \frac{\hat{S}_i}{\hat{U}_i}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad (2)$$

$$\dot{I}_i z_i = \sum_{j=1}^n a_{ji} \dot{U}_j, \quad i=1,2,\dots,b, \quad (3)$$

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max}, \quad (4)$$

$$I_i \leq I_{Ai}, \quad (5)$$

где ΔP - потери активной мощности в продольных (r) и поперечных (g) элементах сети; I_i - ток в i -й ветви; U_i - напряжение в i -ом узле; y_{ij} - элемент матрицы узловых проводимостей; a_{ji} - элемент первой матрицы инцидентий; n - число узлов; b - число ветвей; I_{Ai} - допустимое значение тока i -й ветви.

Так как в основе оптимизации лежит расчет установившегося режима (УР) ЭЭС, то уравнения УР можно представить в прямой Y [1,2], обратной Z [3] и гибридной Y - Z [4] формах, а решить их можно одним из существующих методов: простой итерации, Зейделя,

Ньютона. В настоящей работе принята Y форма представления уравнений УР, для решения которых используется метод Зейделя с применением ускоряющих коэффициентов [2].

Решение данной оптимизационной задачи можно осуществить полным перебором или одним из классических методов. Решение полным перебором с охватом всех ТС и их диапазона регулировочных ответвлений практически нереализуемо. Метод неопределенных множителей Лагранжа, при котором условная оптимизационная модель заменяется безусловной оптимизационной моделью, непригоден к решению подобных задач, поскольку при этом такие задачи сводятся к решению системы нелинейных уравнений с неопределенным исходом сходимости итерационного процесса.

Для решения данной задачи применяем метод покоординатной релаксации (спуска) [5]. Существуют два подхода к решению данной задачи методом покоординатного спуска: поиском в глубину и поиском в ширину.

Нами применяется второй метод, суть которого описывается ниже. В начале оптимизационного процесса в качестве начальной информации данные об ответвлениях ТС берутся из базы данных ЭЭС 220/110 кВ. На каждом шаге итерации изменяется ответвление только одного из ТС при фиксировании остальных. Для каждого ТС на каждом шаге итерации производятся три расчета УР (для текущего и соседних) и фиксируется то положение, при котором потери активной мощности минимальны и обеспечены технические ограничения. При определении оптимального ответвления следующего ТС ответвление предыдущего относится к множеству фиксированных ответвлений. Данный подход применяется к ответвлениям всех ТС. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока на k-ом и (k+1)-ом (k - номер итерации) итерациях ответвления останутся неизменными.

Рассмотрим пример 4-узловой схемы сети (рис.), на основании которой можно наглядно представить вышеописанный алгоритм.

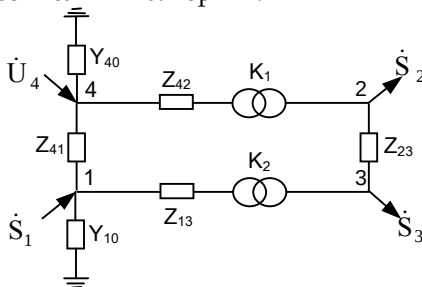


Рис.

В представленной схеме имеются два ТС с продольными комплексными сопротивлениями в Ом ($Z_{13}=1,084+j55,439$; $Z_{42}=1,005+j45,917$), поперечными проводимостями в Сим ($Y_{10}=(1,13-j4,017)\cdot 10^{-6}$; $Y_{40}=(1,62-j5,19)\cdot 10^{-6}$) и действительными номинальными КТТ 110/220 (K_1, K_2), а также две линии электропередач с комплексными сопротивлениями в Ом ($Z_{23}=1,543+j7,806$; $Z_{41}=1,543+j7,806$). Напряжение базисного узла 4: $U_4=220$ кВ, $\psi = 0$. Диапазон изменения ответвлений обоих ТС: ((3x2%)), мощности генераторного 1 и нагрузочных 2,3 узлов в МВА соответственно: $\dot{S}_1 = 80 + j50$; $\dot{S}_2 = 50 + j30$; $\dot{S}_3 = 100 + j60$. Ограничения на напряжения:

$198 \leq U_i \leq 253$, $100 \leq U_i \leq 127$. Описанным методом произведена оптимизация, в результате чего найдены оптимальные КТТ, обеспечивающие минимальные потери активной мощности в схеме (рис.) и технические ограничения. В табл.1 представлена динамика изменения КТТ при оптимизации на каждом шаге итерации и соответствующие им потери активной мощности ΔP .

Таблица 1

Номер итерации	K ₁	K ₂	ΔP (МВт.ч)
1	0,516	0,526	0,57634
	0,526	0,526	0,54919
	0,537	0,526	0,53794
2	0,537	0,516	0,54615
	0,537	0,526	0,53794
	0,537	0,537	0,54619
3	0,526	0,526	0,54919
	0,537	0,526	0,53794
	0,547	0,526	0,53565
4	0,547	0,516	0,56653
	0,547	0,526	0,53565
	0,547	0,537	0,53563
5	0,537	0,537	0,54619
	0,547	0,537	0,53563
	0,557	0,537	0,54731
6	0,547	0,526	0,53565
	0,547	0,537	0,53563
	0,547	0,547	0,53656

На каждом шаге итерации оптимальные КТТ отмечены темной полосой. На 6-ом шаге найдены оптимальные КТТ: $K_1=0,547$; $K_2=0,537$, которые соответствуют заданным расчетным режимным параметрам сети. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

N	P	Q	U'	U''	U
1	80	50	219,605	0,281	219,605
2	-100	-60	111,376	-9,968	111,811
3	-50	-30	112,491	-8,383	112,802
4	70,5	59,0	220	0	220
	36	33			

Здесь U' , U'' , U - соответственно действительные, мнимые составляющие и модуль комплексных расчетных узловых напряжений.

На основании представленного алгоритма в АрмНИИ энергетики была разработана программа оптимизации, которая применяется для оптимизации КТТ связи Армянской ЭЭС 220/110 кВ, схема которой содержит 650 узлов и 850 ветвей. Необходимая информация по активным и пассивным параметрам системы взята из разработанной в АрмНИИ энергетики базы данных. Оптимальные ответвления ТС были определены для их установки за период с 01.04.03 по 30.04.03. За этот период составлены прогнозируемые часовые графики мощностей нагрузочных и генераторных узлов и определены прогнозируемые положения ответвлений оптимизируемых КТТ. По этим данным произведены расчеты УР за принятый

расчетный период и определены потери энергии в ЭЭС. Аналогичный расчет УР выполнен по тем же режимным параметрам для оптимальных КТТ. Экономия энергии, определенная расчетным путем как разность потерь энергии при установке прогнозируемых и оптимальных КТТ за принятый расчетный период, равна 330 МВт.ч, что составило 0,1% от выработки энергии в ЭЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С.** К методам расчета рабочих режимов электрических сетей// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1967.- N 2.- С. 37-41.
2. **Сафарян В.С.** Об одном методе расчета установившихся режимов электрических систем// Изв. вузов СССР. Энергетика.-1982.- N 4.- С. 53-56.
3. **Жуков Л.А., Стратан И.П.** Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем.- М.: Энергия, 1979.- 415 с.
4. **Хачатрян В.С., Этемкчян Э.А., Бадалян Н.П.** Решение гибридных уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом диакоптики// Электричество .-1999.-N 4.- С. 7-12.
5. **Ортега Д., Рейнболдт В.** Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными. - М.: Мир, 1975.- 558 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.10.2003.

**Լ.Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ի.Ի. ՇԱՐԱԲԽԱՆՅԱՆ,
Վ.Ս. ՍԱԳՅԱՐՅԱՆ, Ա.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ
ԿԱՊԻՏՏՐԱՆՍՏՈՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՃՅՈՒՂԱՎՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱԳԱՎՈՐՄԱՄԲ
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ**

Հետազոտված է լարման կարգավորման և էլեկտրաէներգիայի կորուստների նվազեցման հնարավորությունը՝ էէՀ կապի տրանսֆորմատորների տրանսֆորմացիայի գործակիցների (ՏԳ) կառավարմամբ: Լավարկվող տրանսֆորմատորների ՏԳ-երը որոշվում են ըստ կոորդինատային էջի մեթոդի, որն ապահովում է բոլոր կապի տրանսֆորմատորների և դրանց ճյուղավորումների ընդգրկումը նպատակային լավարկվող ֆունկցիայի մեջ և վերջինիս լուծումն ընդունելի ժամանակահատվածում:

**L.V. YEGIAZARYAN, S.H. HAKOBYAN, I.I. SHARABKHANYAN, V.S. SAFARYAN, A.S.
HARUTIUNYAN
POWER SYSTEM MODE OPTIMIZATION BY BRANCHING
MANAGEMENT of COUPLING TRANSFORMERS**

The possibility of voltage regulation and reduction of electricity losses in power system by management of coupling transformer transformation coefficients (TC) is investigated. Optimum transformer TCs are defined by the method of coordinate-by-coordinate descent, providing inclusion of all coupling transformers and their range of regulation by branchings into target optimization function and task solution in acceptable time.