

Технические науки

УДК 621.311.16.001

Гайибов Тулкин Шерназарович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Электрические станции, сети и системы» Ташкентского государственного
технического университета, Республика Узбекистан

Сейтмуратов Байрамбай Турганбаевич

Студент 2- курса магистратуры по специальности
«Электроэнергетические системы и сети» Ташкентского государственного
технического университета,
Республика Узбекистан

Ширинов Бобур Ташимович

Студент 1- курса магистратуры по специальности
«Электроэнергетические системы и сети» Ташкентского государственного
технического университета,
Республика Узбекистан

Gayibov Tulkin Shernazarovich

doctor of technical sciences, professor, head of chair «Power electrical plants,
networks and systems» of Tashkent State technical University,
Republic of Uzbekistan

Seytmuratov Bayrambay Turganbaevich

2nd year student of master courses on specialty «Power electrical systems and
networks» of Tashkent State technical University, Republic of Uzbekistan

Shirinov Bobur Tashimovich

1st year student of master courses on specialty «Power electrical systems and
networks» of Tashkent State technical University, Republic of Uzbekistan

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО
КОЭФФИЦИЕНТАМ ТРАНСФОРМАЦИИ КОНТУРНЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ
OPTIMIZATION OF POWER NETWORK'S REGIME ON
TRANSFORMER COEFFICIENTS OF LOOP TRANSFORMERS**

Аннотация. В статье предложен алгоритм оптимизации режимов электрических сетей по комплексным коэффициентам трансформации множества регулируемых трансформаторов в контуре. Приведены результаты исследования эффективности описанного алгоритма.

Ключевые слова: электрическая сеть, потери мощности, оптимизация режима, алгоритм оптимизации, трансформатор, коэффициент трансформации, ограничение.

Summary. In this article an algorithm of power network's regime optimization on complex transformer coefficients of series controlling transformers in loop is offered. The results of research the efficiency of described algorithm are presented.

Key words: power network, power losses, optimization of regime, algorithm of optimization, transformer, transformer coefficient, limitation.

Актуальность проблемы. Задача оптимизации режимов электрических сетей по коэффициентам трансформации регулируемых контурных трансформаторов представляет собой сложную задачу нелинейного математического программирования.

Решению этой задачи посвящены множества работ, основные результаты которых отражены в [1, с. 337-347; 2, с. 346-357; 3, с. 218-237]. В них описаны ряд алгоритмов, применение которых позволяют эффективно решить рассматриваемую задачу при различных условиях. Вместе с тем, исследованиями установлено, что при одновременной оптимизации режимов электрических сетей по коэффициентам трансформации нескольких трансформаторов в контуре по этим алгоритмам сходимость итеративного вычислительного процесса носит колебательный характер и, иногда, не гарантирована. В данной работе на основе исследования этой проблемы предлагается эффективный алгоритм её решения.

Алгоритм оптимизации. Исследованиями установлено, что оптимизацию режима электрической сети по коэффициентам трансформации нескольких регулируемых трансформаторов в контуре

можно заменить оптимизацией по коэффициенту трансформации одного из трансформаторов.

В тех случаях, когда регулировочный диапазон трансформатора не достаточен для обеспечения его значения $\dot{K}_{pq,onn.}$, полученного в результате оптимизации без учета ограничения по диапазону регулирования, могут быть использованы регулировочные возможности других трансформаторов в контуре. Пусть, регулировочный диапазон трансформатора в ветви $p-q$ на рис. 1 не достаточен для обеспечения $\dot{K}_{pq,onn.}$. В таком случае, новый коэффициент трансформации этого трансформатора с учетом ограничения принимается равным на его соответствующее предельное значение $\dot{K}_{pq,нов.} = \dot{K}_{pq,пр.}$, а остальная часть оптимального коэффициента трансформации, которая должна покрываться за счет регулирующей способности другого трансформатора в некоторой ветви $i-j$ в этом контуре определяется как

$$\Delta \dot{K}_{pq} = \frac{\dot{K}_{pq,onn.}}{\dot{K}_{pq,нов.}}. \quad (1)$$

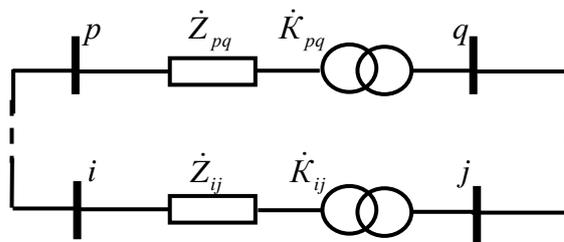


Рис. 1. Контур электрической сети с множеством регулируемых трансформаторов.

Новый коэффициент трансформации трансформатора ветви $i-j$ (рис. 1), при котором компенсируется $\Delta \dot{K}_{pq}$, определяется по следующей формуле:

$$\dot{K}_{ij,нов.} = \frac{\dot{K}_{ij,исх.}}{\Delta \dot{K}_{pq}}, \quad (2)$$

где $K_{i,j_{исх}}$ –исходный коэффициент трансформации трансформатора ветви $i-j$.

Таким образом, предлагаемый алгоритм оптимизации режимов электрических сетей по коэффициентам трансформации множества регулируемых трансформаторов в контуре имеет следующий вид:

1. Осуществляется оптимизация по коэффициенту трансформации одного из контурных трансформаторов, который имеет наибольший диапазон регулирования, без учета ограничений по его регулирующей способности.

2. Проверяется выполнение ограничений по коэффициенту трансформации и уровню напряжения на вторичной стороне трансформатора.

В случае выполнения этих ограничений полученный результат считается оптимальным и процесс расчета останавливается. В противном случае – при нарушении ограничения по коэффициенту трансформации трансформатора осуществляется переход к пункту 3, а при нарушении ограничения по уровню напряжения на вторичной стороне – к пункту 4.

3. Коэффициент трансформации трансформатора принимается равным на соответствующему предельному значению и на основе использования формул (1) и (2) определяется новый оптимальный коэффициент трансформации второго регулируемого трансформатора в контуре и осуществляется переход к пункту 5.

4. Коэффициент трансформации трансформатора определяется из условия обеспечения допустимого уровня напряжения на вторичной стороне. Затем на основе использования формул (1) и (2) находится новый оптимальный коэффициент трансформации второго трансформатора в контуре и осуществляется переход к пункту 5.

5. На основе расчета установившегося режима электрической сети определяются напряжение узла на вторичной стороне второго

трансформатора. В случае выполнения ограничения по напряжению этого узла полученный результат считается оптимальным и процесс расчета останавливается. В противном случае, решается задача оптимизации по коэффициенту трансформации второго трансформатора с учетом ограничения по уровню напряжения на его вторичной стороне.

Расчетно-экспериментальные исследования. Эффективности описанного алгоритма исследуем на примере оптимизации режима электрической сети, схема которой представлена на рис. 2, по коэффициентам трансформации трансформаторов $K_{12}^{(1)}$ и $K_{12}^{(2)}$, которые являются регулируемыми. Исходные значения коэффициентов трансформации приведены на рис. 2.

Для сравнения результатов исследований приведем параметры и суммарные потери активной мощности в исходном установившемся режиме электрической сети: $U_1 = 227,150 \text{ кВ}$, $\delta_1 = -0,0166 \text{ рад.}$,

$$U_2 = 102,653 \text{ кВ}, \quad \delta_2 = -0,0501 \text{ рад.}, \quad \pi = 0,949 \text{ МВт.}$$

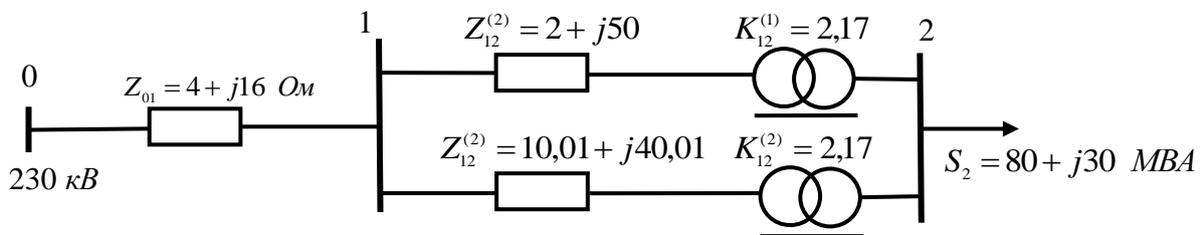


Рис. 2. Экспериментальная схема электрической сети

Выявлено, что оптимизация по коэффициенту трансформации любого из регулируемых трансформаторов в контуре обеспечивает одинакового оптимального (экономичного) распределения мощностей и, соответственно, одинаковые минимальные потери. В таблице приведены результаты отдельной оптимизации режима электрической сети по коэффициентам трансформации трансформаторов $K_{12}^{(1)}$ и $K_{12}^{(2)}$ алгоритмом, предложенным в [4, с. 24-27].

Таблица

Результаты отдельной оптимизации по коэффициентам трансформации трансформаторов

Оптимизируемый параметр	$K_{12}^{(1)}$	$K_{12}^{(2)}$	$U_1, \text{кВ}$	$U_2, \text{кВ}$	$\delta_1, \text{рад.}$	$\delta_2, \text{рад.}$	$\pi, \text{МВт}$
$K_{12}^{(1)}$	2,1224-j0,1150	2,17	227,05	103,80	-0,0165	-0,2680	0,696
$K_{12}^{(2)}$	2,17	2,2103+j0,1150	227,06	101,72	-0,0164	-0,0795	0,696

При одновременной оптимизации режима рассматриваемой электрической сети по $K_{12}^{(1)}$ и $K_{12}^{(2)}$ алгоритмами, приведенными в [1, с. 337-347; 2, с. 346-357; 3, с. 218-237; 4, с. 24-27], итеративный процесс не сходится. Поэтому, для обеспечения надежности сходимости итеративного процесса можно выполнить оптимизацию по $\dot{K}_{12}^{(1)}$ и $\dot{K}_{12}^{(2)}$ в отдельности.

В рассматриваемом примере после определения $\dot{K}_{12.onm.}^{(1)} = 2,1224 - j0,1150$ осуществлена оптимизация по $\dot{K}_{12}^{(2)}$. При этом получен $\dot{K}_{12.onm.}^{(2)} = 2,17$ и $\pi = 0,696$ МВт, где режим электрической сети не изменился (таблица). Аналогично, в результате оптимизации по $\dot{K}_{12}^{(1)}$ при оптимальном $\dot{K}_{12.onm.}^{(2)} = 2,2103 + j0,1150$ получен $\dot{K}_{12.onm.}^{(1)} = 2,17$ и $\pi = 0,696$ МВт.

Исследуем эффективности алгоритма оптимизации при ограниченном диапазоне регулирования вещественной и мнимой составляющих комплексного коэффициента трансформации $\dot{K}_{12}^{(1)}$:

$$1,95 \leq K_{12}^{(1)'} \leq 2,05, \quad -0,05 \leq K_{12}^{(1)''} \leq 0,05.$$

В таком случае, регулировочный диапазон трансформатора не достаточен для обеспечения коэффициента трансформации $\dot{K}_{12.onm.}^{(1)} = 2,1224 - j0,1141$, полученного в результате оптимизации без учета этих ограничений.

Согласно описанному алгоритму принимаем

$$\dot{K}_{12.нов.}^{(1)} = K_{12.пр.}^{(1)} = 2,05 - j0,05.$$

По (1) находим остальную часть оптимального коэффициента трансформации трансформатора, которая должна покрываться вторым трансформатором в контуре: $\Delta \dot{K}_{12} = 1,0360 - j0,0304$.

Оптимальный коэффициент трансформации второго трансформатора в контуре определим по формуле (2): $\dot{K}_{12,нов.}^{(2)} = 2,0937 + j0,0614$.

На основе расчета установившегося режима электрической сети при новых коэффициентах трансформации трансформаторов $K_{12,нов}^{(1)}$ и $\dot{K}_{12,нов}^{(2)}$ находим суммарные потери активной мощности в электрических сетях $\pi = 0,696$ МВт, что с высокой точностью совпадает с оптимальным результатом, приведенным выше (таблица).

Вычислительная эффективность описанного алгоритма также исследована на примере оптимизации режима сложной электрической сети, схема которой приведена в [5, с. 71-73], по коэффициентам трансформации трансформаторов в ветвях 8-6 и 0-1 при $Q_9 = 480$ МВАР и $Q_{\Sigma} = 12$ МВАР. Полученные результаты показали, что приведенный алгоритм обладает высокой вычислительной эффективностью.

Выводы. 1. Сходимость вычислительного итеративного процесса при оптимизации режимов электрических сетей одновременно по коэффициентам трансформации нескольких регулируемых трансформаторов в контуре существующими алгоритмами носит колебательный характер и, в общем случае, не гарантирована.

2. Оптимизацию режима электрической сети по коэффициентам трансформации нескольких регулируемых трансформаторов в контуре можно заменить оптимизацией по коэффициенту трансформации одного из трансформаторов.

3. Предложен эффективный алгоритм оптимизации режимов электрических сетей по коэффициентам трансформации множества регулируемых трансформаторов в контуре с учетом ограничений.

Литература

1. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Расчеты установившихся режимов электроэнергетических систем и их оптимизация. Т.: Молия, 1999. – 377 с.
2. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/ Под общей ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова.–М.: Изд. МЭИ, 2000.–648 с.
3. Методы оптимизации режимов энергосистем/ В.М.Горнштейн, Б.П.Мирошниченко, А.В.Пономарев и др.; Под ред. В.М. Горнштейна – М.: Энергия, 1981. – 336 с.
4. Гайибов Т.Ш., Гафуров Т.Ф. Минимизация потерь активной мощности электрических сетях.//Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». Ташкент. 2003. с 24-27.
5. Гайибов Т.Ш., Сейтмуратов Б.Т. Оптимизация режимов электрических сетей по напряжениям узлов.// *International Scientific Journal*. – Киев, 2016 - №1, С. 71-73.

References

1. Fazilov Kh.F., Nasirov T.Kh. Calculations of steady state regimes of power electrical systems and their optimization. Tashkent: Moliya, 1999.–377 p.
2. Automation of dispatching management in power energetics/ Under general edition of Yu.N. Rudenko and V.A. Semyonov. – M.: Publishing house of MEI, 2000. – 648 p.
3. The methods of power systems regime optimization/ Under ed. Of V.M. Gornshteyn. – M.: Energiya, 1981. – 336 p.
4. Gayibov T.Sh., Gafurov T.Yu. Minimization of fctive power losses in electrical networks.// The Materials of International Scientific-technical conference “Problems of Energy and Resource Saving”. Tashkent. 2003. p.24-27.
5. Gayibov T.Sh., Seytmuratov B.T. Optimization of Power Networks Regime on voltages of nodes.// *International Scientific Journal*. – Kiev, 2016 - №1, p. 71-73.