

## ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТЕЙ, ЗАВИСЯЩИХ ОТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассматриваются вопросы построения функции потерь мощностей в сетях электроэнергетической системы с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов.

**Ключевые слова:** функция потерь, активная и реактивная мощности, электрическая сеть, ветвь с трансформатором, узел, модель, матрица.

Современная электроэнергетическая система (ЭЭС) характеризуется множеством участков электрических сетей, которые связываются трансформаторами, имеющими комплексные коэффициенты трансформации [1-15]. С учетом этих коэффициентов требуется построить соответствующие функции при решении задачи минимизации потерь активной мощности в сетях.

В [16, 17] предлагаются функции потерь мощностей, однако при отсутствии комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов, в [15] – функции потерь мощностей, где в качестве пассивных параметров электрической сети выбираются коэффициенты распределения, которые в настоящее время не применяются при решении режимных задач ЭЭС. Необходимо отметить, что данная функция слишком сложна даже при применении определенных допущений, что вызывает определенные затруднения и не обеспечивает необходимую маневренность.

В настоящей работе строятся функции потерь мощностей в сетях ЭЭС, зависящие от комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов. В качестве постоянных пассивных параметров применяются  $Z$  комплексные обобщенные параметры [19].

Поскольку трансформаторы функционируют в ветвях электрической сети ЭЭС, то, разумеется, необходимо построить такие функции потерь мощностей, в которых будут функционировать параметры ветвей.

Для общности предполагаем, что трансформаторы функционируют во всех ветвях схемы замещения ЭЭС. Если в какой-либо ветви отсутствует трансформатор, то принимаем  $\dot{K}_{тв} = 1$ .

Для построения функции потерь мощностей используем следующую систему индексов :

- для стационарных узлов:  $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma$ , где  $\Gamma$  – число независимых узлов. Стационарный узел с индексом “0” выбирается в качестве базисного (Б) по напряжениям и балансирующего по мощностям;

- для нагрузочных узлов:  $k(l) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N$ , где  $N$  – число нагрузочных узлов;

- для произвольных узлов, в состав которых входят как стационарные, так и нагрузочные узлы:  $i(j) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma, \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N$ .

Введем обозначения  $\Gamma + N = M$ , где  $M$  - число независимых узлов рассматриваемой ЭЭС. Предполагается также, что число ветвей в рассматриваемой ЭЭС составляет  $N$ .

Уравнение состояния при  $Z$  форме задания пассивной части ЭЭС имеет вид

$$\dot{U} = \dot{U}_B + Z\dot{I}, \quad (1)$$

где  $\dot{U}, \dot{I}$  - столбцевые матрицы комплексных напряжений и токов независимых узлов;  $\dot{U}_B$  - комплексное напряжение зависимого стационарного базисного узла;  $Z$  - неособенная квадратная матрица комплексных сопротивлений независимых узлов или матрица узловых сопротивлений.

Матричное уравнение (1) в алгебраической форме имеет вид

$$\dot{U}_i = \dot{U}_B + \sum_{j=1}^M Z_{ij} \dot{I}_j. \quad (2)$$

Умножая уравнение (2) на комплексно-сопряженное значение тока  $\hat{I}_i$ , получим выражение комплексной мощности  $i$ -го узла:

$$\dot{S}_i = \dot{U}_B \hat{I}_i + \sum_{j=1}^M \hat{I}_i Z_{ij} \dot{I}_j. \quad (3)$$

Алгебраическая сумма комплексных мощностей независимых и зависимых узлов дает потери активной и реактивной мощностей. Если потери активной и реактивной мощностей обозначить соответственно через  $\Pi_a$  и  $\Pi_p$ , то получим

$$\Pi_a + j\Pi_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \hat{I}_i Z_{ij} \dot{I}_j. \quad (4)$$

В функции (4) фигурируют комплексные и комплексно-сопряженные токи независимых узлов, тогда как трансформаторы с комплексными коэффициентами трансформации действуют в ветвях схемы замещения исследуемой ЭЭС. Функционирующие трансформаторы в ветвях учитываются при построении  $Z$  матрицы обобщенных параметров ЭЭС.

В [19] установлено следующее выражение для определения  $Z$  матрицы обобщенных параметров:

$$Z = (\hat{M}Z_B^{-1}\hat{M}^T)^{-1}. \quad (5)$$

В отличие от традиционной  $Z$ , при отсутствии трансформаторов матрицу обобщенных параметров с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов обозначим через  $Z$ .

В (5)  $\hat{M}$  и  $\hat{M}^T$  - прямоугольные матрицы соединения с комплексными элементами, имеющие соответственно порядок  $M(N)$  и  $N(M)$  и формирующиеся на основании следующих моделей:

$$\dot{M}^T = \begin{cases} +1, & \text{если ветвь направлена от узла,} \\ -\dot{K}_T, & \text{если ветвь направлена в узел,} \\ 0, & \text{если ветвь не связана с узлом;} \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{M} = \begin{cases} +1, & \text{если ветвь направлена от узла,} \\ -\hat{K}_T, & \text{если ветвь направлена в узел,} \\ 0, & \text{если ветвь не связана с узлом;} \end{cases} \quad (7)$$

$Z_B$  – диагональная матрица комплексных сопротивлений ветвей.

При действительных коэффициентах трансформации трансформаторов матрица (5) получается симметричной относительно главной диагонали и в структурном отношении ничем не отличается от  $Z$  в случае отсутствия коэффициентов трансформации.

С учетом (5) формула (4) принимает следующий вид:

$$\Pi_a + j\Pi_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \hat{I}_i (\hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T)^{-1} \hat{I}_j. \quad (8)$$

Фактически, полученное выражение изображает функцию потерь мощностей, зависящих от комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов. Требуется установить соответствующие выражения для потерь активной и реактивной мощностей. Для установления выражений  $\Pi_a$  и  $\Pi_p$  необходимо правую часть (8) также представить в виде действительной и мнимой слагающих.

Разлагая (4) на действительные и мнимые составляющие, получим

$$\Pi_a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [(I'_i I'_j + I''_i I''_j) R_{ij}], \quad (9)$$

$$\Pi_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [(I'_i I''_j - I''_i I'_j) X_{ij}], \quad (10)$$

где

$$I'_i(I'_j) = \text{Re}[\hat{I}_i(\hat{I}_j)], \quad (11)$$

$$I''_i(I''_j) = \text{Im}[\hat{I}_i(\hat{I}_j)]. \quad (12)$$

В матричной форме выражения (9) и (10) представляются в виде

$$\Pi_a = I'^T \underline{R} I' + I''^T \underline{R} I'', \quad (13)$$

$$\Pi_p = I'^T \underline{X} I' + I''^T \underline{X} I'', \quad (14)$$

где  $T$ - знак транспонирования.

Разлагая выражение (5) на действительные и мнимые составляющие, получим

$$\underline{Z} = \underline{R} + j\underline{X} = \text{Re} \left[ (\hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T)^{-1} \right] + j \text{Im} \left[ (\hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T)^{-1} \right], \quad (15)$$

при этом

$$\underline{R} = \operatorname{Re} \left[ \left( \hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T \right)^{-1} \right], \quad (16)$$

$$\underline{X} = \operatorname{Im} \left[ \left( \hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T \right)^{-1} \right], \quad (17)$$

где  $\underline{R}$  и  $\underline{X}$  - квадратные матрицы узловых активных и реактивных сопротивлений с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов.

С учетом (16) и (17) выражения (13) и (14) окончательно можно представить в виде

$$P_a = I'^T \operatorname{Re} \left[ \left( \hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T \right)^{-1} \right] I' + I''^T \operatorname{Re} \left[ \left( \hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T \right)^{-1} \right] I'', \quad (18)$$

$$P_p = I'^T \operatorname{Im} \left[ \left( \hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T \right)^{-1} \right] I' + I''^T \operatorname{Im} \left[ \left( \hat{M} Z_B^{-1} \dot{M}^T \right)^{-1} \right] I''. \quad (19)$$

Если  $I'^T, I''^T$  и  $I', I''$  - соответственно строчные и столбцовые матрицы порядков  $(1(M))$  и  $(M(1))$ , то  $\underline{R}$  и  $\underline{X}$  - квадратные матрицы порядков  $(M(M))$  или  $M$ . Выражения (18) и (19) изображают функции потерь активной и реактивной мощностей, зависящих от коэффициентов трансформации трансформаторов. Для большей ясности целесообразно рассмотреть конкретный численный пример.

Рассматривается схема замещения одной ЭЭС, состоящей из семи узлов и из десяти ветвей, причем в ветвях 5, 6, 7 функционируют трансформаторы (см. рис.).

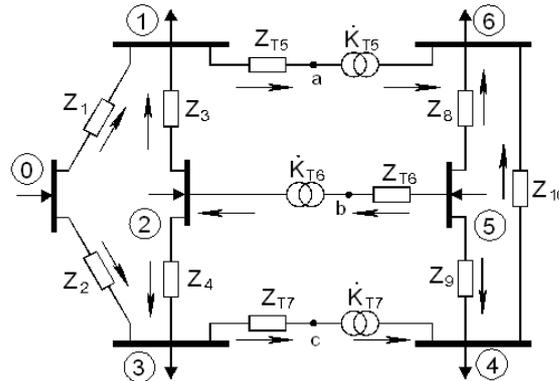


Рис. Электрическая схема замещения рассматриваемой ЭЭС

Неособенная матрица узловых комплексных проводимостей с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов имеет следующую структуру:

$$\begin{bmatrix} Y_1 + Y_3 + Y_5 & -Y_3 & 0 & 0 & 0 & -Y_3 \hat{K}_{T5} \\ -Y_3 & Y_3 + Y_4 + Y_6 K_{T6}^2 & -Y_4 & 0 & -Y_6 \hat{K}_{T6} & 0 \\ 0 & -Y_4 & Y_2 + Y_4 + Y_7 & -Y_7 \hat{K}_{T7} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -Y_7 \hat{K}_{T7} & Y_7 K_{T7}^2 + Y_9 & -Y_9 & 0 \\ 0 & -Y_6 \hat{K}_{T6} & 0 & -Y_9 & Y_6 + Y_8 + Y_9 & -Y_8 \\ -Y_5 \hat{K}_{T5} & 0 & 0 & 0 & -Y_8 & Y_5 K_{T5}^2 + Y_8 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Предположим, заданы численные значения комплексных проводимостей ветвей и коэффициенты трансформации трансформаторов:



$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} 6,538512 + & 4,626134 + & 2,807197 + & 3,311905 + & 3,949917 + & 6,808824 + \\ + j13,892331 & + j10,334948 & + j7,226781 & + j8,829036 & + j9,455223 & + j11,508021 \\ 4,626134 + & 9,906024 + & 5,637215 + & 5,862436 + & 5,642608 + & 6,729423 + \\ + j10,334948 & + j20,515057 & + j13,803853 & + j13,503431 & + j13,062897 & + j13,872145 \\ 2,807197 + & 5,637215 + & 6,904857 + & 6,060103 + & 4,038416 + & 4,428944 + \\ + j7,226781 & + j13,803853 & + j17,988570 & + j13,944318 & + j11,685791 & + j11,910643 \\ 3,311905 + & 5,862436 + & 6,060103 + & 9,510683 + & 2,521153 + & 2,267158 + \\ + j8,829036 & + j13,503431 & + j13,944318 & + j42,054061 & + j26,893885 & + j24,905766 \\ 3,949917 + & 5,642609 + & 4,038416 + & 2,521153 + & 6,109786 + & 4,814560 + \\ + j9,455223 & + j13,062897 & + j11,685791 & + j26,893885 & + j35,611131 & + j32,591404 \\ 6,808824 + & 6,729423 + & 4,428944 + & 2,267158 + & 4,814560 + & 16,988915 + \\ + j11,508021 & + j13,872145 & + j11,910643 & + j24,905766 & + j32,591404 & + j51,108280 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Полученная  $\underline{Z}$  матрица также является симметричной относительно главной диагонали, и она не приводит к несимметрии функции потерь (18) и (19). Как было отмечено выше, это связано с тем, что коэффициенты трансформации трансформаторов задаются в виде действительных чисел.

Теперь рассмотрим случай, когда они задаются в виде комплексных чисел, в данном случае:

$$\begin{aligned} \dot{K}_{T5} &= 0,49000 + j0,004780, & \dot{K}_{T6} &= 0,500000 + j0,004520, \\ \dot{K}_{T7} &= 0,682000 + j0,003300. \end{aligned} \quad (25)$$

При этом неособенная матрица узловых комплексных проводимостей имеет вид

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} 0,044667 - & - 0,023387 + & & & & - 0,000232 + \\ - j0,100296 & + j0,039258 & 0 & 0 & 0 & + j0,013665 \\ - 0,023387 + & 0,053634 - & - 0,030179 + & & - 0,000228 + & 0 \\ + j0,039258 & - j0,100812 & + j0,056280 & & + j0,010545 & \\ 0 & - 0,030179 + & 0,040757 - & - 0,000284 + & 0 & 0 \\ & + j0,056280 & - j0,107615 & + j0,013524 & & \\ 0 & 0 & - 0,000415 + & 0,014988 - & - 0,014750 + & 0 \\ & & + j0,013520 & - j0,034520 & + j0,025298 & \\ 0 & - 0,000004 + & 0 & - 0,014750 + & 0,035143 - & - 0,020126 + \\ & + j0,010548 & & + j0,025298 & - j0,074935 & + j0,028543 \\ - 0,000499 + & 0 & 0 & 0 & - 0,020126 + & 0,020305 - \\ + j0,013658 & & & & + j0,028543 & - j0,035238 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Можно заметить, что полученная неособенная матрица узловых комплексных проводимостей является несимметричной относительно главной диагонали, что является

результатом наличия трансформаторов с комплексными коэффициентами трансформации.

После обращения неособенной квадратной несимметричной матрицы  $\underline{Y}$  получим неособенную квадратную матрицу узлов  $\underline{Z}$  сопротивлений, в данном случае:

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} 6,422048 + & 4,509942 + & 2,589202 + & 4,048259 + & 4,118388 + & 6,861238 + \\ + j13,810095 & + j10,155279 & + j6,889253 & + j10,175757 & + j10,170621 & + j12,034803 \\ 4,485795 + & 9,673146 + & 5,198133 + & 6,787363 + & 5,876330 + & 6,908449 + \\ + j10,180788 & + j20,165795 & + j13,201076 & + j14,999822 & + j13,947617 & + j14,650794 \\ 2,576071 + & 5,209540 + & 6,261476 + & 6,442824 + & 4,040075 + & 4,402862 + \\ + j6,900661 & + j13,189479 & + j17,114905 & + j14,409036 & + j11,903657 & + j12,105554 \\ 3,968104 + & 6,766331 + & 6,375919 + & 14,252961 + & 3,694960 + & 3,194287 + \\ + j10,212992 & + j15,004277 & + j14,446369 & + j56,204920 & + j35,662071 & + j33,143074 \\ 4,045988 + & 5,888640 + & 4,013953 + & 3,718918 + & 5,858541 + & 4,645975 + \\ + j10,197802 & + j13,914946 & + j11,900092 & + j35,635910 & + j41,007945 & + j37,867104 \\ 6,737599 + & 6,879996 + & 4,351159 + & 3,188283 + & 4,617039 + & 17,210307 + \\ + j12,132493 & + j14,670081 & + j12,131392 & + j33,153676 & + j37,902807 & + j56,548979 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Как можно заметить, полученная матрица является несимметричной, поскольку коэффициенты трансформации трансформаторов являются комплексными величинами. Несимметричность матрицы  $\underline{Z}$  вызывает также несимметричность функции потерь мощностей. Отметим, что с точки зрения вычислительных работ, несимметричность матрицы узловых комплексных  $\underline{Z}$  вызывает определенное неудобство. Поэтому вопрос симметризации матрицы  $\underline{Z}$  важен для решения практических задач.

Предлагается следующий способ симметризации несимметричной матрицы  $\underline{Z}$ :

$$\underline{Z} = \frac{1}{2}(\underline{Z} + \underline{Z}^T) + \frac{1}{2}(\underline{Z} - \underline{Z}^T) \cdot \quad (28)$$

В результате матрица (27) представляется в виде

$$\begin{aligned}
& \left[ \begin{array}{l}
6,422048 + 4,509942 + 2,589202 + 4,048259 + 4,118388 + 6,861238 + \\
+ j13,810095 + j10,155279 + j6,889253 + j10,175757 + j10,170621 + j12,034803 \\
4,485795 + 9,673146 + 5,198133 + 6,787363 + 5,876330 + 6,908449 + \\
+ j10,180788 + j20,165795 + j13,201076 + j14,999822 + j13,947617 + j14,650794 \\
2,576071 + 5,209540 + 6,261476 + 6,442824 + 4,040075 + 4,402862 + \\
+ j6,900661 + j13,189479 + j17,114905 + j14,409036 + j11,903657 + j12,105554 \\
3,968104 + 6,766331 + 6,375919 + 14,252961 + 3,694960 + 3,194287 + \\
+ j10,212992 + j15,004277 + j14,446369 + j56,204920 + j35,662071 + j33,143074 \\
4,045988 + 5,888640 + 4,013953 + 3,718918 + 5,858541 + 4,645975 + \\
+ j10,197802 + j13,914946 + j11,900092 + j35,635910 + j41,007945 + j37,867104 \\
6,737599 + 6,879996 + 4,351159 + 3,188283 + 4,617039 + 17,210307 + \\
+ j12,132493 + j14,670081 + j12,131392 + j33,153676 + j37,902807 + j56,548979
\end{array} \right] =
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left[ \begin{array}{l}
6,422048 + 4,497868 + 2,582636 + 4,0081815 + 4,082188 + 6,799418 + \\
+ j13,810095 + j10,168033 + j6,894957 + j10,194374 + j10,184211 + j12,083648 \\
4,497868 + 9,673146 + 5,203836 + 6,776847 + 5,882485 + 6,894222 + \\
+ j10,168033 + j20,165795 + j13,195277 + j15,002049 + j13,931281 + j14,660437 \\
2,582636 + 5,203836 + 6,261476 + 6,409371 + 4,027014 + 4,377010 + \\
+ j6,894957 + j13,195277 + j17,114905 + j14,427702 + j11,901874 + j12,118473 \\
4,008181 + 6,776847 + 6,409371 + 14,252961 + 3,706939 + 3,191285 + \\
+ j10,194374 + j15,002049 + j14,427702 + j56,20492 + j35,648990 + j33,148375 \\
4,082188 + 5,882485 + 4,027014 + 3,706939 + 5,858541 + 4,631507 + \\
+ j10,184211 + j13,931281 + j11,901874 + j35,648990 + j41,007945 + j37,884955 \\
6,799418 + 6,894222 + 4,377010 + 3,191285 + 4,631507 + 17,210307 + \\
+ j12,083648 + j14,660437 + j12,118473 + j33,148375 + j37,884955 + j56,548979
\end{array} \right] +
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix}
0 & 0,012073 - & 0,006565 - & 0,040077 - & 0,0362 - & 0,061819 - \\
& - j0,012754 & - j0,005704 & - j0,018617 & - j0,013590 & - j0,048845 \\
- 0,012073 + & 0 & - 0,005703 + & 0,010516 - & - 0,006154 + & 0,014226 - \\
+ j0,012754 & & + j0,005798 & - j0,002227 & + j0,016335 & - j0,009643 \\
- 0,006565 + & 0,005703 - & 0 & 0,033452 - & 0,013061 + & 0,025851 - \\
+ j0,005704 & - j0,005798 & & - j0,018666 & + j0,001782 & - j0,012919 \\
- 0,040077 + & - 0,010516 + & - 0,033452 + & 0 & - 0,011979 + & 0,003001 - \\
+ j0,018617 & + j0,002227 & + j0,018666 & & + j0,013080 & - j0,005300 \\
- 0,0362 + & 0,006154 - & - 0,013061 - & 0,011979 - & 0 & 0,014467 - \\
+ j0,013590 & - j0,016335 & - j0,001782 & - j0,013080 & & - j0,017851 \\
- 0,061819 + & - 0,014226 + & - 0,025851 + & - 0,003001 + & - 0,014467 + & 0 \\
+ j0,048845 & + j0,009643 & + j0,012919 & + j0,005300 & + j0,017851 & 
\end{bmatrix}$$

Количественное и качественное исследование показывает, что последняя матрица не вызывает определенных изменений в величине потерь мощностей  $\Pi_a$  и  $\Pi_p$ .

В результате для исследования функций потерь  $\Pi_a$  и  $\Pi_p$  при учете комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов рекомендуется пользоваться расчетной матрицей

$$\begin{bmatrix}
6,422048 + & 4,497868 + & 2,582636 + & 4,0081815 + & 4,082188 + & 6,799418 + \\
+ j13,810095 & + j10,168033 & + j6,894957 & + j10,194374 & + j10,184211 & + j12,083648 \\
4,497868 + & 9,673146 + & 5,203836 + & 6,776847 + & 5,882485 + & 6,894222 + \\
+ j10,168033 & + j20,165795 & + j13,195277 & + j15,002049 & + j13,931281 & + j14,660437 \\
2,582636 + & 5,203836 + & 6,261476 + & 6,409371 + & 4,027014 + & 4,377010 + \\
+ j6,894957 & + j13,195277 & + j17,114905 & + j14,427702 & + j11,901874 & + j12,118473 \\
4,008181 + & 6,776847 + & 6,409371 + & 14,252961 + & 3,706939 + & 3,191285 + \\
+ j10,194374 & + j15,002049 & + j14,427702 & + j56,20492 & + j35,648990 & + j33,148375 \\
4,082188 + & 5,882485 + & 4,027014 + & 3,706939 + & 5,858541 + & 4,631507 + \\
+ j10,184211 & + j13,931281 & + j11,901874 & + j35,648990 & + j41,007945 & + j37,884955 \\
6,799418 + & 6,894222 + & 4,377010 + & 3,191285 + & 4,631507 + & 17,210307 + \\
+ j12,083648 & + j14,660437 & + j12,118473 & + j33,148375 & + j37,884955 & + j56,548979
\end{bmatrix} \quad (29)$$

Как известно,

$$I' = I'(P, Q, U, \Psi_U), \quad I'' = I''(P, Q, U, \Psi_U). \quad (30)$$

Тогда (18) и (19) в виде неявно выраженных функций можно написать в виде

$$\Pi_a = \Pi_a(P, Q; U, \Psi_U; K'_T, K''_T), \quad (31)$$

$$\Pi_p = \Pi_p(P, Q, U, \Psi_U; K'_T, K''_T), \quad (32)$$

где

$$K'_T = \operatorname{Re}(\dot{K}_T), \quad (33)$$

$$K''_T = \operatorname{Im}(\dot{K}_T). \quad (34)$$

Полученные выражения (31) и (32) позволяют рассмотреть чувствительность  $\Pi_a$  и  $\Pi_p$  относительно  $P, Q, U, \Psi_U$ , а также  $K'_T$  и  $K''_T$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мельников Н.А.** Расчет режимов работы сетей электрических систем. - М.: Госэнергоиздат, 1950.- 324 с.
2. **Фазылов Х.Ф.** Теория и методы расчета электрических систем.- Ташкент: АНУзССР, 1953.-176 с.
3. **Ward J.B., Hale H.W.** Digital computer solution of power – flow problems // Power Apparatus and systems. -1956.- V. 75, N 24.- P. 398-404.
4. **Холмский В.Г.** Учет ограничений при расчетах режимов электрической системы, обеспечивающих наименьшие потери //Электричество.-1962.- №4.-С.19-23.
5. **Brown H.E., Carter G.H., Happ H.H., Person C.E.** Power flow solutions impedance matrix iterative method // IEEE Transaction.-1963.-PAS-82.-N 65.- P. 1-10.
6. **Мельников Н.А.** Метод расчета рабочих режимов для схем, содержащих элементы трансформации с комплексными параметрами // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1964.-N 4.-С. 427-433.
7. **Холмский В.Г., Щербина Ю.В., Сулеймаков В.Н., Банин Д.Б., Метельский Е.Н.** Выбор оптимальных коэффициентов трансформации в замкнутых электрических сетях методом дискретного спуска // Электрические сети и системы: Межведомственный республиканский научно-технический сборник.-Львов, - 1967.-Вып. 3.-С. 86-91.
8. **Бартоломей П.Н.** Об учете коэффициентов трансформации при расчете режимов электрических сетей методом уравнений узловых напряжений // Электричество.-1971.- N 10.- С.88-90.
9. **Сенди К.К.** Современные методы анализа электрических систем.-М.: Энергия, 1971.-360 с.
10. **Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х., Брискин И.Л.** К расчету установившихся режимов энергосистем с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов // Электричество.-1972.-N 12.- С. 7-9.
11. **Гурский С.К., Новицкий Б.Б., Уласевич А.Ф.** Формирование обобщенных параметров и уравнений режима электроэнергетических систем с учетом комплексных коэффициентов трансформации // Известия вузов СССР. Энергетика.-1979.-N 2.- С. 8-15.
12. **Жуков Л.А., Стратан И.П.** Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем.- М.: Энергия, 1979.- 416 с.
13. **Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х.** Линейные расчетные модели сетей электрических систем.- Ташкент: ФАН УзССР, 1982.-96 с.
14. **Александров О.И., Бабкевич Г.Г.** Оперативная коррекция режима электрической сети изменением коэффициента трансформации с регулированием под нагрузкой // Изв. вузов. Энергетика.-1991.-N6. -19-С.-16.
15. **Александров О.И., Домников С.В., Бабкевич Г.Г.** Общая формула потерь мощности в электрических сетях с учетом комплексных коэффициентов трансформации в ветвях //Изв. вузов СССР. Энергетика.-1991.-№9.-С.6-11.

16. **Хачатрян К.В., Гладунчик Е.А., Мнацаканян М.А., Тохунц А.Р.** Минимизация потерь активной мощности в сетях электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2004.-Т. 57, N 3.-С. 434-444.
17. **Хачатрян В.С., Тохунц А.Р.** Минимизация потерь активной мощности в электрических сетях с учетом ограничений, налагаемых на режимные параметры // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2005.-Т. 58, N3.-С 481-489.
18. **Хачатрян В.С., Хачатрян К.В., Григорян С.Э., Мнацаканян М.А., Тохунц А.Р., Джаангирян В.В.** Метод построения Y матрицы обобщенных параметров с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов // Вестник ИАА.-2007.- Т. 4, N 3.-С. 340-349.
19. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В.** Построение и коррекция Z матрицы обобщенных параметров электрической сети с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2008.- N 1. - С. 34-46.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.09.2007.

**Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Կ.Վ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ,  
Ս.Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ**

**ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՖՈՒՆԿՑԻԱՅԻ ԿԱՌՈՒՑՈՒՄԸ՝  
ԿԱԽՎԱԾ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԻՑ**

Դիտարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի ցանցի հզորության կորուստների ֆունկցիաների կառուցումը՝ կախված տրանսֆորմատորների տրանսֆորմացիայի գործակիցներից:

**Առանցքային բառեր.** կորուստների ֆունկցիա, ակտիվ և ռեակտիվ հզորություններ, էլեկտրական ցանց, տրանսֆորմատորով ճյուղ, հանգույց, մոդել, մատրից:

**V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN, K.V. KHACHATRYAN,  
S.E. GRIGORYAN**

**POWER LOSS FUNCTION CONSTRUCTION DEPENDING ON TRANSFORMER  
TRANSFORMATION COEFFICIENTS**

The problem of power loss function construction in electrical power system networks based on complex coefficients of transformer transformation is considered.

**Keywords:** loss function, active and reactive powers, electric network, branch with the transformer, flow, unit, model, matrix.