

Турдуев Ильяз Эрмекович - к.т.н., доцент,  
Намазбеков Тимур Фархатович – магистрант,  
Ошский технологический университет,  
E-mail: [il\\_turduev@mail.ru](mailto:il_turduev@mail.ru)

## **СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 КВ С ПОМОЩЬЮ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

*Рассмотрен вопрос использования мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ с применением симметрирующих устройств, для уменьшения нагрузки более загруженной фазы.*

*Ключевые слова: мероприятия, симметрирующее устройство, питающая линия, нагрузка, потребитель электроэнергии, ток, фаза, электрическая сеть, электроснабжение, сопротивление, потеря, напряжение, питающая линия.*

Turduev Ilyaz Ermekovich, candidate technical science,  
associate professor, Namazbekov Timur Farhatovich –  
graduate student, Osh Technology University

## **REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN 0.4 KV NETWORKS USING SYMMETRIZING DEVICES**

*The question of the use of measures to reduce electricity losses in 0.4 kV networks using balancing devices to reduce the load of a more loaded phase is considered.*

*Key words: measures, balancing device, power line, load, electricity consumer, current, phase, electric network, power supply, resistance, loss, voltage, power line.*

Недостаточность знаний об уровне несимметрии токов и напряжений в низковольтных сетях 0,4 кВ, а также о способах и технических средствах ее снижения, не позволяют составить достоверной картины о действительном характере изменения потерь электрической энергии в тех сетях, а без этого невозможно разработать и применить на практике мероприятия по снижению потерь (МСП) электрической энергии.

Таким образом, решение задач энергоснабжения и улучшения качества электрической энергии в низковольтных сетях 0,4 кВ тесно связано с проблемой снижения несимметрии токов в этих сетях. Поэтому актуальным и своевременным является рассмотрение вопросов, связанных с проблемой снижения не симметрии токов в сетях 0,4 кВ и подготовкой практических рекомендаций по эффективности использования МСП.

В распределительных сетях 0,4 кВ существует проблема, связанная со значительными перекасами напряжений по фазам: на нагруженных фазах напряжение падает до 200...208 В, а на менее нагруженных за счет смещения «нуля» может возрастать до 240 В и более. Повышенное напряжение может привести к выходу из строя электрических приборов и оборудования потребителей. Нессимметрия напряжений возникает из-за разного падения напряжения в проводах линии при перекасах фазных токов, вызванных неравномерным распределением однофазных нагрузок. При этом в нулевом проводе четырехпроводной линии появляется ток, равный геометрической сумме фазных токов. В некоторых случаях (например, при отключении нагрузки одной или двух фаз) по нулевому проводу может протекать ток,

равный фазному току нагрузки. Это приводит к дополнительным потерям в ЛЭП (линии электропередач) 0,4 кВ, распределительных трансформаторах 10/0,4 кВ и, соответственно, в высоковольтных сетях. Подобная ситуация характерна для многих сельских районов и может возникнуть в жилых многоквартирных домах, где практически не реально равномерно распределить нагрузку по фазам питания, в результате чего в нулевом проводе появляются достаточно большие токи, что приводит к дополнительным потерям в проводниках групповых и питающих линий и вызывает необходимость увеличения сечение нулевого рабочего провода до уровня фазных.

У современного сельского электроснабжения существует ряд особенностей, одной из которых является однофазное подключение электроприемников к трехфазной четырехпроводной сети. Другой особенностью является наличие у большинства электроприемников на входе импульсных блоков питания, которые представляют собой нелинейные нагрузки, генерирующие в сеть 0,4 кВ высшие гармоники тока. В результате протекания по четырехпроводной электрической сети токов обратной, нулевой последовательностей и высших гармоник создаются дополнительные потери электроэнергии как в самой электрической сети, так и в силовом трансформаторе, к которому подключена такая сеть. Это приводит к дополнительному нагреву проводов линий электропередачи и обмоток силового трансформатора, что снижает срок их службы, уменьшает пропускную способность электрической сети, повышает вероятность разрыва нулевого проводника и последующего возникновения в электрической сети внутренних перенапряжений. В структуре сельского электроснабжения за последнее время доля потребляемой электроэнергии бытовым сектором выше, чем величина потребляемой электроэнергии производственными нагрузками. Поэтому точное знание о реальных нагрузочных режимах работы четырехпроводной электрической сети, количественных и качественных изменениях токов, протекающих в нулевом рабочем проводе, позволяет разрабатывать методы и технические средства для повышения эффективности передачи электроэнергии в сельских электрических сетях напряжением 0,4 кВ. В статье представлены результаты исследований в реальной электрической сети напряжением 0,4 кВ при режимах работы, характеризующихся протеканием несимметричных и несинусоидальных токов. Полученные результаты исследований позволяют не только рассчитать дополнительные потери электроэнергии в элементах сети, обусловленные несинусоидальностью для силовых трансформаторов, линий электропередачи и системы электроснабжения в целом, но и лучше спроектировать технические средства для снижения тока в нулевом рабочем проводе трехфазной четырехпроводной сети.

Потеря напряжения в системе электроснабжения — величина, равная разности между установившимися значениями действующего напряжения, измеренными в двух точках системы электроснабжения «Качество электрической энергии».

На вторичных обмотках трансформаторов ТП напряжение 0,4 кВ т.е. 105% от номинального напряжения электрической сети 0,4 кВ. Имеем от шин ТП до ВРУ “располагаемую” потерю напряжения в нормальном режиме 5% — среднее значение в пределах 4-6%. Нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах ЭП  $\pm 5\%$  от номинального напряжения сети.

**Определение допустимой потери напряжения в сети 0,4 кВ.** Допустимая потеря напряжения в сети 0,4 кВ определяется для правильного выбора сечения проводов линии 0,4 кВ.

В режиме минимальной нагрузки проверяется отклонение напряжения, у ближайшего потребителя, которое не должно превышать +5%. В максимальном режиме отклонение напряжения у наиболее удалённого потребителя должно быть не более минус 5%. На районной подстанции осуществляется режим встречного регулирования  $U^{100}=5\%$ ;  $U^{25}=2\%$ .

В минимальном режиме определяется регулируемая надбавка трансформатора

$$V_{рег} \leq 5 - \delta U_{ш}^{25} + \Delta U_{Л35}^{25} + \Delta U_{тр}^{25} - V_{к} \delta U_{ш}^{25}$$

где - надбавка на шинах РТП в минимальном режиме, %;

$$\Delta U_{Л35}^{25}$$

- потеря напряжения в линии 35 кВ в минимальном режиме, %;

$$\Delta U_{тр}^{25}$$

- потеря напряжения в трансформаторе в минимальном режиме, %;

- конструктивная надбавка трансформатора, %.

Допустимая потеря напряжения в линии 0,38 кВ в максимальном режиме определяется по формуле:

$$\Delta U_{доп} = \delta U_{ш}^{100} - \Delta U_{Л35}^{100} - \Delta U_{тр}^{100} + V_{к} + V_{рег} - (-5)$$

$V_{рег} = 5 - 1 + 0,081 + 0,243 - 5 = -0,675$  %, принимается стандартная регулируемая надбавка равная 0 %,

$?U_{доп} = 9 - 0,326 - 0,972 + 5 - 5 - (-5) + (0) = 12,701$  %, что составляет 48,26 В.

Сечения проводов ВЛ-0,4 кВ определяются по экономическим интервалам, или по допустимой потере напряжения по формулам, соответствующим конфигурации сети.

Сечения проводов магистрали по допустимой потере напряжения определяются по формуле

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot L_i}{\gamma \cdot \Delta U_{доп.а} \cdot U_{ном}} \quad (1)$$

где - удельная проводимость провода, (для алюминия  $= 32$  Ом м /мм<sup>2</sup>);

$U_{доп.а}$  - активная составляющая допустимой потери напряжения, В;

$P_i$  - активная мощность  $i$ -го участка сети, Вт;

$L_i$  - длина  $i$ -го участка сети, м;

$U_{ном}$  - номинальное напряжение сети, В.

### Использование симметрирующих устройств с различными видами нагрузки.

При отсутствии в узле нагрузок трехфазной симметричной нагрузки комплексные проводимости  $\underline{Y}_{s1} = \underline{Y}_{s2} = 0$ . Вследствие этого выражения для  $\underline{Y}_{p1} = \underline{Y}_{p2}$  примут следующий вид:

$$\underline{Y}_{p1} = \underline{Y}_{cy1}; \quad \underline{Y}_{p2} = \underline{Y}_{cy2}.$$

Тогда комплексные эквивалентные проводимости для схем прямой и обратной последовательностей (рис.2.6.) будут определяться по формулам:

$$\underline{Y}'_{\alpha 1} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_{cy1}; \quad \underline{Y}'_{\alpha 2} = \underline{Y}_2 + \underline{Y}_{cy2} \quad (1)$$

Комплексная эквивалентная проводимость для схемы нулевой последовательности остается без изменений. Выражения для определения показателей не симметрии токов и напряжений также останутся без изменений. Выражения для определения показателей не симметрии токов и направлений также останутся без изменений. В них нужно только заменить  $\underline{Y}_{s1}$  и  $\underline{Y}_{s2}$  на  $\underline{Y}'_{s1}$  и  $\underline{Y}'_{s2}$ .

Для расчета показателей не симметрии токов и направлений сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством, трехфазной симметричной и двухфазной (однофазной) нагрузками необходимо принять в выражениях проводимость одной из фаз (или, в случае однофазной нагрузки, проводимость двух фаз) трехфазной несимметричной нагрузки равной нулю и далее использовать полученные выражения.

**Расчеты потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ.** Электрические сети 0,38 кВ являются последним звеном в цепи передачи и распределения

электроэнергии от электростанций к потребителям. В целом они составляют около 40% от суммарной протяженности всех электрических сетей. От надежности работы сетей 0,38кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей, а от точности расчетов технических потерь в сетях 0,38кВ – точность выявления коммерческих потерь в электрических сетях в целом. Расчет потерь электроэнергии в этих сетях является одним из наиболее трудоемких. Это связано со следующими особенностями распределительных сетей:

- Большим объемом информации с одновременно низкой ее достоверностью;
- большой протяженностью и разветвленностью;
- динамикой изменения схемных и особенно режимных параметров;
- различным исполнением участков: пятипроводные (три фазы, ноль и фонарный провод), четырехпроводные (три фазы и ноль), трехпроводные (две фазы и ноль), двухпроводные (одна фаза и ноль);
- неравномерностью загрузки фаз;
- неодинаковостью фазных напряжений на шинах питающей ТП.

Следует также отметить, что методы расчета режимов электрических сетей, уровней напряжения в узлах, потерь мощности и электроэнергии должны быть в максимальной степени адаптированы к имеющейся в условиях эксплуатации сетей схемных и режимных параметров.

В данной статье представлены методы расчета технических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ при различных вариантах исходной информации. Методики приводятся в порядке повышения их точности и, соответственно, увеличения необходимого для расчетов объема исходной информации.

**Симметрирующее устройство с симметричными нагрузками.** Для схем (рис.2.11) составим три основных уравнения:

$$\frac{I'_{n1}}{Y_{\vartheta 1}} + U_{n1} = U_{\vartheta 1}; \quad \frac{I'_{n2}}{Y_{\vartheta 2}} + U_{n2} = U_{\vartheta 2}; \quad \frac{I'_{n0}}{Y_{\vartheta 0}} + U_{n0} = U_{\vartheta 0}; \quad (2)$$

Дополнительные уравнения (2.12) останутся без изменений, т.к. схема включения трехфазной несимметричной нагрузки осталась без изменения (рис.2.3.).

В уравнениях (1.1) выразим  $U_{\vartheta 1}$ ,  $U_{\vartheta 2}$ ,  $U_{\vartheta 0}$  через  $U_{n1}$ , используя выражения:

$$\begin{aligned} \frac{I'_{n1}}{Y_{\vartheta 1}} + U_{n1} &= \underline{m}_1 * U_{n1}; \\ \frac{I'_{n2}}{Y_{\vartheta 2}} + U_{n2} &= \underline{m}_2 * U_{n1}; \\ \frac{I'_{n0}}{Y_{\vartheta 0}} + U_{n0} &= \underline{m}_3 * U_{n1} \end{aligned} \quad (3)$$

где,

$$\underline{m}_1 = \frac{Y_1}{Y_1 + Y_{p1}}; \quad \underline{m}_2 = \frac{\varepsilon_{un1} * Y_2}{Y_2 + Y_{p2}}; \quad \underline{m}_3 = \frac{K_{un1} * Y_0}{Y_0 + Y_{cy0}} \quad (4)$$

В выражения (2.42) коэффициенты  $\varepsilon_1$ ,  $K_1$  определяются по выражениям полученных ранее.

Определив из уравнений (1.3)  $U'_{n1}$ ,  $U'_{n2}$  и  $U'_{n0}$  и подставив их в уравнения после преобразований получим исходную систему уравнений:

$$I'_{n1} * \left( \frac{Y_a + Y_{\vartheta 1}}{Y_a * Y_{\vartheta 1}} \right) + I'_{n2} * \left( \frac{Y_a + Y_{\vartheta 2}}{Y_a * Y_{\vartheta 2}} \right) + I'_{n0} * \left( \frac{Y_a + Y_{\vartheta 0}}{Y_a * Y_{\vartheta 0}} \right) = U_{n1} * (\underline{m}_1 + \underline{m}_2 + \underline{m}_3); \quad (1.4)$$

$$\underline{a}^2 * I'_{n1} * \left( \frac{\underline{Y}_e + \underline{Y}_{\vartheta 1}}{\underline{Y}_e * \underline{Y}_{\vartheta 1}} \right) + \underline{a} * I'_{n2} * \left( \frac{\underline{Y}_e + \underline{Y}_{\vartheta 2}}{\underline{Y}_e * \underline{Y}_{\vartheta 2}} \right) + I'_{n0} * \left( \frac{\underline{Y}_e + \underline{Y}_{\vartheta 0}}{\underline{Y}_e * \underline{Y}_{\vartheta 0}} \right) = U_{n1} * (\underline{a}^2 * \underline{m}_1 + \underline{a} * \underline{m}_2 + \underline{m}_3);$$

$$\underline{a} * I'_{n1} * \left( \frac{\underline{Y}_c + \underline{Y}_{\vartheta 1}}{\underline{Y}_c * \underline{Y}_{\vartheta 1}} \right) + \underline{a}^2 * I'_{n2} * \left( \frac{\underline{Y}_c + \underline{Y}_{\vartheta 2}}{\underline{Y}_c * \underline{Y}_{\vartheta 2}} \right) + I'_{n0} * \left( \frac{\underline{Y}_c + \underline{Y}_{\vartheta 0}}{\underline{Y}_c * \underline{Y}_{\vartheta 0}} \right) = U_{n1} * (\underline{a} * \underline{m}_1 + \underline{a}^2 * \underline{m}_2 + \underline{m}_3);$$

Решая систему уравнений по методу Крамера (см. 1 п.2 приложения 1), получим выражения для симметричных составляющих токов несимметричной нагрузки в узле 2:

$$I'_{n1} = \frac{U_{n1} * \underline{Y}_e^3 * \underline{Y}_{\vartheta 1}}{\underline{Y}_m^3}; I'_{n2} = \frac{U_{n1} * \underline{Y}_\rho * \underline{Y}_{\vartheta 2}}{\underline{Y}_m^3}; I'_{n0} = \frac{U_{n1} * \underline{Y}_\psi^3 * \underline{Y}_{\vartheta 0}}{\underline{Y}_m^3}; \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \underline{Y}_\beta^3 &= \underline{m}_1 * \underline{Y}_{n1}^3 + \underline{m}_2 * \underline{Y}_{\vartheta 2} * \underline{Y}_f^2 + \underline{m}_3 * \underline{Y}_{\vartheta 0} * \underline{Y}_\alpha^2; \\ \underline{Y}_\rho^3 &= \underline{m}_2 * \underline{Y}_{n2}^3 + \underline{m}_1 * \underline{Y}_{\vartheta 1} * \underline{Y}_\kappa^2 + \underline{m}_3 * \underline{Y}_{\vartheta 0} * \underline{Y}_\alpha^2; \\ \underline{Y}_\psi^3 &= \underline{m}_3 * \underline{Y}_{n0}^3 + \underline{m}_1 * \underline{Y}_{\vartheta 1} * \underline{Y}_L^2 + \underline{m}_2 * \underline{Y}_{\vartheta 2} * \underline{Y}_\tau^2; \\ \underline{Y}_{n2}^3 &= 3\underline{Y}_a * \underline{Y}_e * \underline{Y}_c + (\underline{Y}_{\vartheta 0} + \underline{Y}_{\vartheta 1}) * \underline{Y}_{p0}^2 + \underline{Y}_{\vartheta 1} * \underline{Y}_{\vartheta 0} * \underline{Y}_{E0}; \\ \underline{Y}_{n0}^3 &= 3\underline{Y}_a * \underline{Y}_e * \underline{Y}_c + (\underline{Y}_{\vartheta 1} + \underline{Y}_{\vartheta 2}) * \underline{Y}_{p0}^2 + \underline{Y}_{\vartheta 1} * \underline{Y}_{\vartheta 2} * \underline{Y}_{\vartheta 0}; \\ \underline{Y}_f^2 &= \underline{Y}_{\vartheta 0} * \underline{Y}_{E2} - \underline{Y}_{D1}^2; \quad \underline{Y}_\alpha^2 = \underline{Y}_{32} * \underline{Y}_{E1} - \underline{Y}_{D2}^2; \\ \underline{Y}_\kappa^2 &= \underline{Y}_{\vartheta 1} * \underline{Y}_{E2} - \underline{Y}_{D1}^2; \quad \underline{Y}_\tau^2 = \underline{Y}_{\vartheta 1} * \underline{Y}_{E1} - \underline{Y}_{\Delta 2}^2; \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя выражения (1.5 2.44) в (1.1 2.40), получим симметричные составляющие системы фазных напряжений на зажимах нагрузки в узле 2:

$$U'_{n1} = \frac{U_{n1} (\underline{m}_1 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_\beta^3)}{\underline{Y}_m^3}; \quad U'_{n2} = \frac{U_{n2} (\underline{m}_2 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_\rho^3)}{\underline{Y}_m^3};$$

$$U'_{n0} = \frac{U_{n1} (\underline{m}_3 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_\psi^3)}{\underline{Y}_m^3}; \quad (6)$$

Для определения симметричных составляющих токов в линии. Определим симметричные составляющие токов прямой  $I_{s1}$  и обратной  $I_{s2}$  последовательностей трехфазной симметричной нагрузки, а также симметричные составляющие токов прямой  $I_{cy1}$ , обратной  $I_{cy2}$  и нулевой  $I_{cy0}$  последовательности симметрирующего устройства.

Подставляя выражения (1.6) в после преобразований получим

$$I_{L1} = I'_{n1} + I_{s1} + I_{cy1} = \frac{U_{n1} * [\underline{Y}_\beta^3 * \underline{Y}_{\vartheta 1} + (\underline{m}_1 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_\beta^3) * (\underline{Y}_{s1} + \underline{Y}_{cy1})]}{\underline{Y}_m^3};$$

$$I_{L2} = I'_{n2} + I_{s2} + I_{cy2} = \frac{U_{n1} * [\underline{Y}_\rho^3 * \underline{Y}_{\vartheta 2} + (\underline{m}_2 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_\rho^3) * (\underline{Y}_{s2} + \underline{Y}_{cy2})]}{\underline{Y}_m^3}; \quad (7)$$

$$I_{L0} = I'_{n0} + I_{cy0} = \frac{U_{n1} * [\underline{Y}_\psi^3 * \underline{Y}_{\vartheta 0} + (\underline{m}_3 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_\psi^3) * \underline{Y}_{cy0}]}{\underline{Y}_m^3}.$$

На основании полученных выражений (5). (6) и (7) определяем комплексные показатели не симметрии токов и напряжений.

Коэффициенты не симметрии  $\underline{\varepsilon}_{in}$  и неуравновешенности  $\underline{K}_{in}$  токов несимметричной нагрузки:

$$\underline{\varepsilon}_{in} = \frac{I'_{n2}}{I_{n2}} = \frac{\underline{Y}_\rho^3 * \underline{Y}_{\vartheta 2}}{\underline{Y}_\beta^3 * \underline{Y}_{\vartheta 1}}; \quad \underline{L}_{in} = \frac{I'_{n0}}{I_{n1}} = \frac{\underline{Y}_\psi^3 + \underline{Y}_{\vartheta 0}}{\underline{Y}_\beta^3 * \underline{Y}_{\vartheta 1}} \quad (8)$$

Коэффициенты не симметрии  $\underline{\varepsilon}_{in}$  и неуравновешенности  $\underline{K}_{in}$  токов в линии:

$$\underline{\varepsilon}_{i\lambda} = \frac{I'_{\lambda 2}}{I_{\lambda 2}} = \frac{\underline{Y}_{\rho}^3 * \underline{Y}_{\varrho 2} + (\underline{m}_2 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\rho}^3) * (\underline{Y}_{s2} + \underline{Y}_{cy2})}{\underline{Y}_{\beta}^3 * \underline{Y}_{\varrho 1} + (\underline{m}_1 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\beta}^3) * (\underline{Y}_{s1} + \underline{Y}_{cy1})};$$

$$\underline{K}_{i\lambda} = \frac{I'_{\lambda 0}}{I_{\lambda 1}} = \frac{\underline{Y}_{\psi}^3 + \underline{Y}_{\varrho 0} + (\underline{m}_3 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\psi}^3) * \underline{Y}_{cy0}}{\underline{Y}_{\beta}^3 * \underline{Y}_{\varrho 1} + (\underline{m}_1 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\beta}^3) * (\underline{Y}_{s1} + \underline{Y}_{cy1})} \quad (9)$$

Коэффициенты не симметрии  $\underline{\varepsilon}'_{un}$  и неуравновешанности  $\underline{K}'_{un}$  фазных напряжений на зажимах нагрузки в узле 2:

$$\underline{\varepsilon}'_{un} = \frac{U'_{n2}}{U'_{n1}} = \frac{\underline{m}_2 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\rho}^3}{\underline{m}_1 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\beta}^3}; \quad \underline{K}'_{un} = \frac{\underline{m}_3 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\psi}^3}{\underline{m}_1 * \underline{Y}_m^3 - \underline{Y}_{\beta}^3} \quad (10)$$

Проверка выражений (9) – (10) приведена в приложении 1.

Аналогично можно найти показатели не симметрии токов и напряжений в последующих узлах нагрузки и участках линий. Подставляя в выражение (4). (5) и (8)-(10) вместо  $\underline{\varepsilon}_{un1}$ ,  $\underline{K}_{un1}$  значение коэффициентов несимметрии и неуравновешенности напряжений на зажимах предыдущего узла нагрузки. Таким образом, могут быть определены показатели не симметрии напряжений во всех узлах нагрузки и показатели не симметрии токов на всех участках линии 0,38кВ.

Следует отметить, что при расчете показателей не симметрии токов и напряжений в узле n нагрузки должна учитываться суммарная нагрузка, распределенная вдоль участка линии от ее конца до n-го узла включительно. При определении проводимостей  $\underline{Y}_{\varrho 1}$ ,  $\underline{Y}_{\varrho 2}$  и  $\underline{Y}_{\varrho 0}$  необходимо учитывать проводимости  $\underline{Y}_1$ ,  $\underline{Y}_2$  и  $\underline{Y}_0$  участка линии между n и (n-1) узлами нагрузки.

#### Выводы:

Получены выражения для определения показателей несимметрии токов и напряжений в электрической сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством при наличии в узле нагрузок трехфазных симметричной и несимметричной нагрузок, а также для частных случаев – двухфазной и однофазной нагрузок.

Эти выражения могут быть использованы для потерь мощности в сети 0,38 кВ, обусловленных несимметрией токов, а также показателей несимметрии токов и напряжений в данной сети.

Кроме этого, по этим выражениям можно определить данные симметрирующий устройства на потери электрической энергии и несимметрии токов и напряжений сети 0,4 кВ при включении СУ в узле нагрузок и на шинах трансформатора потребительской трансформаторной подстанции.

#### Литература:

1. **Воротницкий, В.Э.** Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем [Текст] / Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др. //; Под ред. В.Н.Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 187.
2. **Ермаков, Ю. А.** Обзор работы некоторых симметрирующих устройств для сельских сетей. [Текст]//Электрификация сельскохозяйственного производства: Сб. науч. тр. - Вып. 15. - Саратов: 1972. С.18-21.
3. **Турдуев, И.Э.** Анализ потерь мощности, токов, показателей несимметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ с шунто-симметрирующим устройством [Текст] // Вестник КНАУ. Бишкек, 2018, №2(47). – С. 384-387.
4. **Наумов, И.В.** Выбор способов симметрирования режимов работы электрической сети 0,38 кВ в условиях несимметричной нагрузки. [Текст] /Г.В. Лукина, С.В. Сукьясов, С.В. Подъячих// - Иркутск, 2001. С.12-15.

5. **Наумов, И.В.** Способы и технические средства снижения несимметрии токов и потерь электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ [Текст] // дисс.канд. техн. наук. - Л.: 1989. С.227.