*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**
==========

УДК 621.316.13

# Анализ потерь от реактивных токов в сельских электрических сетях 0,38 кВ с применением критерия потерь

***Горбунов А.О.***

***ООО «КОНТЕЛ»***

## Аннотация

*В статье представлен разработанный автором критерий потерь мощности от реактивных токов. Приводятся результаты экспериментальных исследований потерь мощности от реактивных токов в сельских электрических сетях 0,38 кВ на экспериментальной установке с приведением её схемы, на основе которых произведён расчёт критерия потерь мощности двумя разными способами. Вычисления показали высокую сходимость результатов.*

**Ключевые слова:** ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, РЕАКТИВНЫЕ ТОКИ, КРИТЕРИЙ ПОТЕРЬ

---

При передаче электрической энергии от источника к потребителю в передающих звеньях электросетей (трансформаторы, линии электропередач) возникают потери, так как часть передающейся энергии необратимо преобразуется, преимущественно, в тепло. Количество выделенного тепла, согласно закону Джоуля-Ленца, прямо пропорционально квадрату тока и резистивному сопротивлению R элемента, по которому этот ток протекает [1]. Вопросам снижения таких потерь посвящено немало работ, например, [2-6].

Если вся энергия, переданная от источника к потребителю, будет безвозвратно преобразована потребителем в другие виды энергии (тепло, свет), то это будет означать, что вся переданная через трансформаторы и линии электропередачи электроэнергия пошла на совершение полезной работы (с учётом КПД). При этом потери энергии на R в элементах сети всё равно будут присутствовать, но они являются вынужденными, без них обойтись нельзя, хотя можно их снизить за счёт, например, повышения напряжения или

увеличения сечения проводов (уменьшая R). Назовём такие потери **основными**.

Ситуации, близкие к описываемой, встречаются, когда в качестве нагрузки выступает, например, электрический водонагреватель или электроплита. В то же время существуют потребители, в которых безвозвратного преобразования энергии, переданной от источника к потребителю, не происходит.

Такими устройствами являются, к примеру, асинхронные электродвигатели. В них часть переданной источником электроэнергии расходуется на создание электромагнитного поля, но не постоянного во времени, а изменяющегося по величине. Важно, что при этом энергия источника, расходующаяся на создание этого поля при его уменьшении, не исчезает в никуда, она передаётся обратно – от потребителя к источнику. То есть, в потребителе не происходит безвозвратного преобразования этой части энергии, в связи с чем в передающем звене электросети возникают потери из-за необходимости передачи этой части энергии обратно к источнику.

Для сельских сетей промышленной частоты 50 Гц и линейной нагрузки за один период питающего напряжения «перекачка» этой части энергии осуществится четыре раза: два раза от источника к потребителю и два раза – в обратном направлении. При каждом таком «перетоке» часть этой энергии будет безвозвратно теряться на R элемента сети. Такие потери назовём **дополнительными.**

Сумму основных и дополнительных потерь назовём **суммарными** потерями.

Величина той части энергии, которая постоянно перетекает от источника к потребителю и обратно, определяется таким хорошо известным параметром нагрузки, как cos φ, или, что то же самое, углом сдвига φ между током и напряжением при гармоническом воздействии и линейной нагрузке [7]. Следовательно, можно ожидать, что и дополнительные потери в элементах сети будут зависеть только от величины этого угла.

Обозначим критерий потерь от реактивных токов в элементе электрической сети через $K_\varphi$. Определим эту величину как отношение дополнительных потерь к суммарным потерям, то есть:

$$K_\varphi = \frac{\Delta P_Д}{\Delta P_С} \qquad (1)$$

Суммарные потери – это такие потери, которые вызываются полным током:

$$\Delta P_{С} = I^2 \cdot R \quad (2)$$

Дополнительные потери – это такие потери, которые вызываются реактивным током:

$$\Delta P_{Д} = I_{Р}^2 \cdot R \quad (3)$$

Причём:

$$I_{Р} = I \cdot sin\varphi \quad (4)$$

Подставим (2) и (3) в (1):

$$K_{\varphi} = \frac{I_{Р}^2 \cdot R}{I^2 \cdot R} = \frac{I_{Р}^2}{I^2} \quad (5)$$

Перепишем (5) с учётом (4):

$$K_{\varphi} = \frac{(I \cdot sin\varphi)^2}{I^2} = \frac{I^2 \cdot sin^2\varphi}{I^2} = sin^2\varphi \quad (6)$$

Таким образом, полученный критерий зависит только от угла φ нагрузки и не зависит от внутренних параметров элементов сети (линии электропередачи, трансформатора). Приведённый вывод сделан для случая двухпроводной цепи (однофазная нагрузка), но совершенно естественно расширяется для трёхфазной симметричной нагрузки. В этом случае в формулах (2) и (3) появляется дополнительный множитель 3, который сокращается в формуле (5). Таким образом, итоговая формула (6) не претерпевает никаких изменений.

Некоторые авторы ([3]) предлагают использовать в качестве такого критерия «*... отношение потерь мощности от реактивного тока (при cos φ < 1,0) к потерям мощности от активного тока (при cos φ = 1,0). При φ = 0 (при cos φ = 0,0) критерий потерь мощности от реактивного тока* $K_{\varphi} = 0$*, а при* $\varphi = 90^0$ $K_{\varphi} \to \infty$».

Предложенный в настоящей статье метод расчёта критерия потерь от реактивных токов задаёт диапазон возможных значений этого критерия от нуля до единицы (включительно) при любом значении угла нагрузки (на практике угол нагрузки может принимать значения $-90^0 < \varphi < +90^0$. При чисто активной нагрузке (угол φ = 0) величина критерия потерь будет равна нулю, то есть потери от реактивной составляющей тока нагрузки в элементе сети тоже будут равны нулю, так как реактивного тока нет. При чисто

реактивной нагрузке (угол $\varphi = \pm 90^0$) величина этого критерия будет равна единице.

Такой диапазон значений очень удобен с точки зрения практического применения. Например, найдя разность потребления активных мощностей в начале и конце линии электропередачи и умножив эту величину на значение критерия потерь мощности от реактивных токов, получим величину потерь в линии от реактивных токов в ваттах. Аналогичную операцию можно провести и для трансформатора, найдя разность в потреблении активной мощности на шинах высокого и низкого напряжений.

Для проверки теоретических выводов настоящей статьи на базе учебной электростанции кафедры электроэнергетики и электрооборудования Санкт-Петербургского государственного аграрного университета была собрана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

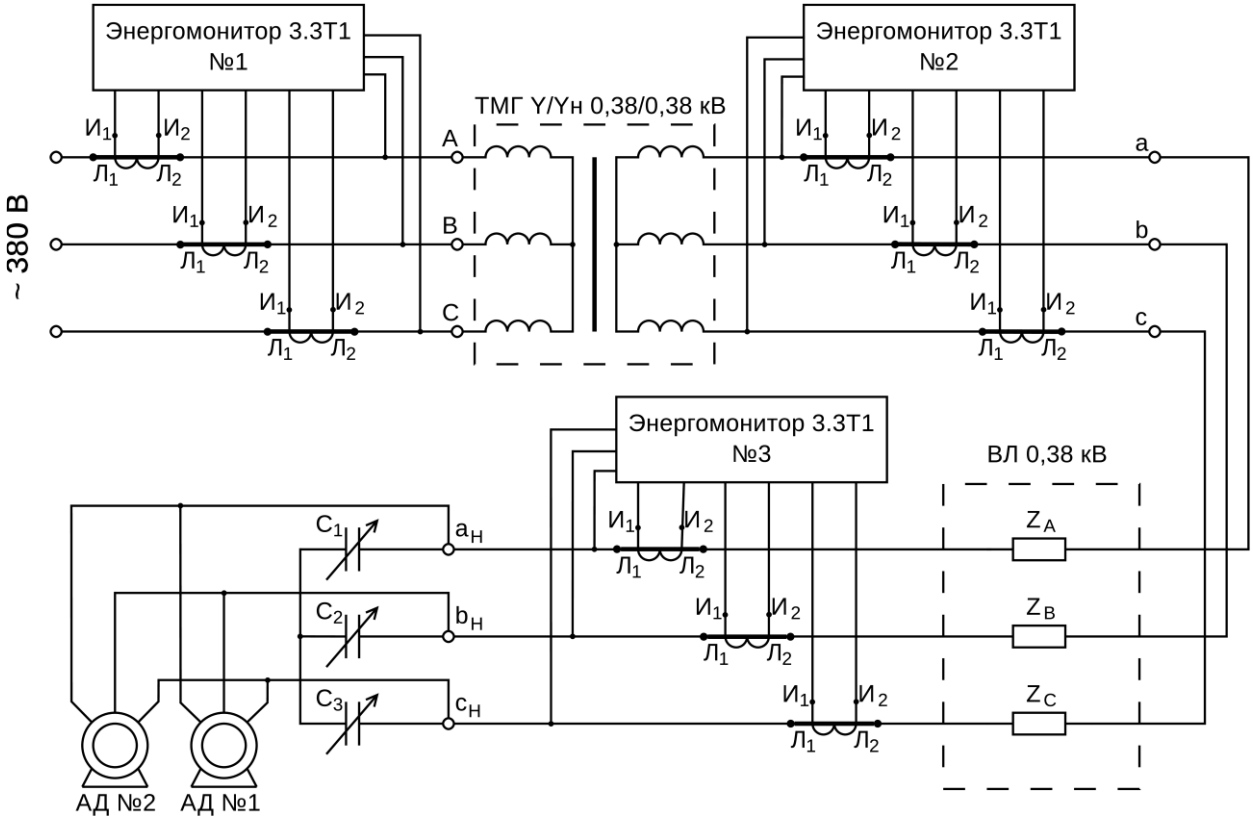


Рис. 1: Схема экспериментальной установки для исследования потерь мощности от реактивных токов

Измерения электрических величин проводились электроизмерительными комплексами Энергомонитор 3.3Т1 в количестве трёх экземпляров. В качестве нагрузки выступали трёхфазные асинхронные двигатели, нагружаемые генераторами постоянного

тока. Угол сдвига между током и напряжением изменялся путём синхронного регулирования величин ёмкостей С1, С2, С3. Было поставлено два эксперимента, их результаты, полученные автором лично, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1: Результаты экспериментальных исследований потерь мощности от реактивных токов в сети 0,38 кВ: трансформатор Y/Yн; симметричная нагрузка – трёхфазный АД мощностью 4,5 кВт (полностью загружен)

| | **Измеряемая величина** | **Единица измерения** | **Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар.** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **629** | **1283** | **1894** | **2610** |
| ЭМ №1 | $U_{AB}$ | В | 392 | 393,3 | 392 | 392,4 | 392,4 |
| | $U_{BC}$ | В | 395,6 | 397,3 | 396,4 | 396,8 | 396,4 |
| | $U_{CA}$ | В | 395,6 | 396,7 | 396,5 | 396,2 | 396 |
| | $I_A$ | А | 8,59 | 7,98 | 7,54 | 7,18 | 6,95 |
| | $I_B$ | А | 8,8 | 8,33 | 7,89 | 7,59 | 7,3 |
| | $I_C$ | А | 9,1 | 8,47 | 8,1 | 7,65 | 7,35 |
| | $P_{BX}$ | Вт | 4745 | 4822 | 4848 | 4805 | 4813 |
| | $S^2$-$P^2$ | вар | 3733 | 2930 | 2283 | 1624 | 899 |
| | $Q_{ПВA}$ | вар | 1248 | 985 | 781 | 570 | 343 |
| | $Q_{ПВB}$ | вар | 1198 | 952 | 727 | 529 | 295 |
| | $Q_{ПВC}$ | вар | 1305 | 1053 | 833 | 639 | 399 |
| | $Q_{ПВ\Sigma}$ | вар | 3751 | 2990 | 2341 | 1738 | 1037 |
| | UIsinφ | вар | 3750 | 2961 | 2350 | 1705 | 1005 |
| | $S_{BX}$ | ВА | 6080 | 5647 | 5345 | 5065 | 4888 |
| | $tg\varphi_{BX\Sigma}$ | о. е. | 0,78 | 0,61 | 0,47 | 0,33 | 0,18 |
| ЭМ №2 | $U_{ab}$ | В | 389,6 | 389,6 | 389,6 | 389,8 | 390,8 |
| | $U_{bc}$ | В | 393,5 | 393,2 | 393,7 | 393,7 | 394,6 |
| | $U_{ca}$ | В | 392,6 | 392,8 | 393,8 | 393,3 | 394,6 |
| | $I_a$ | А | 8,15 | 7,62 | 7,23 | 6,99 | 6,84 |
| | $I_b$ | А | 8,6 | 8 | 7,6 | 7,4 | 7,18 |
| | $I_c$ | А | 8,4 | 7,85 | 7,5 | 7,15 | 6,95 |
| | $P_{ВЫХ}$ | Вт | 4720 | 4729 | 4740 | 4735 | 4733 |
| | $S^2$-$P^2$ | вар | 3083 | 2276 | 1603 | 802 | 0 |
| | $Q_{ПВa}$ | вар | 1032 | 774 | 565 | 351 | 120 |
| | $Q_{ПВb}$ | вар | 1070 | 810 | 589 | 397 | 150 |
| | $Q_{ПВc}$ | вар | 1116 | 864 | 643 | 444 | 203 |
| | $Q_{ПВ\Sigma}$ | вар | 3218 | 2448 | 1797 | 1192 | 473 |
| | UIsinφ | вар | 3206 | 2438 | 1777 | 1172 | 451 |
| | $S_{ВЫХ}$ | ВА | 5620 | 5252 | 4999 | 4802 | 4681 |
| | $tg\varphi_{ВЫХ\Sigma}$ | о. е. | 0,65 | 0,48 | 0,33 | 0,17 | 0 |
| ЭМ №3 | $U_{abн}$ | В | 382,9 | 383,5 | 382,7 | 384,2 | 383,8 |
| | $U_{abн}$ | В | 385,6 | 387,3 | 386,4 | 387,9 | 387,5 |
| | $U_{abн}$ | В | 385,8 | 387 | 386,6 | 387,8 | 387,7 |

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **629** | **1283** | **1894** | **2610** |
| | $P_H$ | Вт | 4563 | 4624 | 4638 | 4635 | 4619 |
| | $S^2$-$P^2$ | вар | 3153 | 2336 | 1667 | 960 | 0 |
| | $Q_{ПВНa}$ | вар | 1057 | 796 | 589 | 382 | 147 |
| | $Q_{ПВНb}$ | вар | 1052 | 797 | 582 | 376 | 138 |
| | $Q_{ПВНc}$ | вар | 1118 | 870 | 650 | 456 | 213 |
| | $Q_{ПВН\Sigma}$ | вар | 3227 | 2463 | 1821 | 1214 | 498 |
| | UIsinφ | вар | 3237 | 2475 | 1823 | 1221 | 504 |
| | $S_H$ | ВА | 5550 | 5163,5 | 4936 | 4733 | 4639 |
| | $tg\varphi_{H\Sigma}$ | о. е. | 0,69 | 0,51 | 0,36 | 0,2 | 0 |

Таблица 2: Результаты экспериментальных исследований потерь мощности от реактивных токов в сети 0,38 кВ: трансформатор Y/Yн; симметричная нагрузка - два трёхфазных АД мощностью 4,5 кВт каждый (полностью загружены)

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1260** | **2395** | **3891** | **6552** |
| ЭМ №1 | $U_{AB}$ | В | 386,7 | 387,9 | 387,8 | 388,2 | 389 |
| | $U_{BC}$ | В | 391,3 | 392 | 391,5 | 391,7 | 392,5 |
| | $U_{CA}$ | В | 391,3 | 392,2 | 392 | 392,2 | 393,5 |
| | $I_A$ | А | 18,5 | 17,3 | 16,2 | 15,44 | 14,9 |
| | $I_B$ | А | 19 | 17,8 | 16,7 | 15,9 | 15,1 |
| | $I_C$ | А | 19,8 | 19,1 | 17,3 | 16,3 | 15,4 |
| | $P_{BX}$ | Вт | 10654 | 10686 | 10359 | 10283 | 10266 |
| | $S^2$-$P^2$ | вар | 7304 | 6174 | 4655 | 3096 | 1099 |
| | $Q_{ПВA}$ | вар | 2468 | 2090 | 1599 | 1101 | 312,8 |
| | $Q_{ПВB}$ | вар | 2253 | 1712 | 1415 | 922 | 175,7 |
| | $Q_{ПВC}$ | вар | 2541 | 2121 | 1638 | 1145 | 255,5 |
| | $Q_{ПВ\Sigma}$ | вар | 7262 | 5923 | 4652 | 3168 | 744 |
| | UIsinφ | вар | 7288 | 5950 | 4629 | 3168 | 714 |
| | $S_{BX}$ | ВА | 12912 | 12345 | 11326 | 10742 | 10285 |
| | $tg\varphi_{BX\Sigma}$ | о. е. | 0,68 | 0,58 | 0,45 | 0,308 | 0,11 |
| ЭМ №2 | $U_{ab}$ | В | 379,2 | 381 | 381,9 | 383,3 | 385,4 |
| | $U_{bc}$ | В | 383,5 | 384 | 385 | 386,4 | 388,8 |
| | $U_{ca}$ | В | 383,6 | 384,4 | 385,8 | 386,4 | 389,5 |
| | $I_a$ | А | 18 | 16,9 | 15,9 | 15,1 | 15 |
| | $I_b$ | А | 18,7 | 17,5 | 16,5 | 15,7 | 15 |
| | $I_c$ | А | 19,2 | 18,6 | 16,7 | 15,9 | 15,1 |
| | $P_{ВЫХ}$ | Вт | 10441 | 10465 | 10182 | 10093 | 10099 |
| | $S^2$-$P^2$ | вар | 6532 | 5430 | 3843 | 2300 | 437 |
| | $Q_{ПВa}$ | вар | 2216 | 1833 | 1214 | 857 | 58 |

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1260** | **2395** | **3891** | **6552** |
| | $Q_{ПВb}$ | вар | 2093 | 1549 | 1264 | 772 | 16 |
| | $Q_{ПВc}$ | вар | 2312 | 1881 | 1415 | 913 | 31 |
| | $Q_{ПВ\Sigma}$ | вар | 6621 | 5263 | 3893 | 2542 | 105 |
| | UIsinφ | вар | 6583 | 5240 | 4004 | 2516 | 64 |
| | $S_{ВЫХ}$ | ВА | 12356 | 11758 | 10886 | 10407 | 10113 |
| | $tg\varphi_{ВЫХ\Sigma}$ | о. е. | 0,62 | 0,515 | 0,376 | 0,229 | 0,04 |
| ЭМ №3 | $U_{abн}$ | В | 364,7 | 367 | 367,5 | 369,5 | 371,7 |
| | $U_{abн}$ | В | 368 | 369 | 370,1 | 371,8 | 375 |
| | $U_{abн}$ | В | 368,7 | 370 | 371,2 | 372,9 | 375,5 |
| | $P_H$ | Вт | 9894 | 9939 | 9704 | 9720 | 9763 |
| | $S^2$-$P^2$ | вар | 6634 | 5511 | 3930 | 2444 | 791 |
| | $Q_{ПВНa}$ | вар | 2239 | 1851 | 1359 | 888 | 83 |
| | $Q_{ПВНb}$ | вар | 2064 | 1510 | 1227 | 740 | 17 |
| | $Q_{ПВНc}$ | вар | 2319 | 1896 | 1431 | 924 | 33 |
| | $Q_{ПВН\Sigma}$ | вар | 6622 | 5257 | 4017 | 2552 | 133 |
| | UIsinφ | вар | 6612 | 5285 | 4040 | 2564 | 126 |
| | $S_H$ | ВА | 11908 | 11288 | 10473 | 9996 | 9764 |
| | $tg\varphi_{H\Sigma}$ | о. е. | 0,67 | 0,555 | 0,406 | 0,25 | 0,07 |

На основании представленных в таблицах 1 и 2 экспериментальных данных автором были произведены расчёты, результаты которых сведены в таблицы 3 и 4.

Таблица 3: Результаты расчёта критерия потерь мощности от реактивных токов в сети 0,38 кВ по данным измерений (табл. 1)

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **629** | **1283** | **1894** | **2610** |
| Трансформатор Y/Yн | $\varphi_{ВЫХ}$ | градусы | 34,29 | 27,36 | 20,76 | 14,14 | 5,73 |
| | $\Delta P_T$ | Вт | 25 | 93 | 108 | 70 | 80 |
| | $I_{RA}$ | А | 6,84 | 6,86 | 6,86 | 6,89 | 6,92 |
| | $I_{XA}$ | А | 4,67 | 3,55 | 2,60 | 1,74 | 0,69 |
| | $I_{RB}$ | А | 7,22 | 7,20 | 7,21 | 7,30 | 7,26 |
| | $I_{XB}$ | А | 4,92 | 3,73 | 2,73 | 1,84 | 0,73 |
| | $I_{RC}$ | А | 7,05 | 7,07 | 7,11 | 7,05 | 7,03 |
| | $I_{XC}$ | А | 4,81 | 3,66 | 2,70 | 1,77 | 0,70 |
| | $\Delta P_{TRA}$ | Вт | 9,451 | 9,506 | 9,506 | 9,589 | 9,673 |
| | $\Delta P_{TRB}$ | Вт | 10,530 | 10,472 | 10,501 | 10,765 | 10,647 |
| | $\Delta P_{TRC}$ | Вт | 10,040 | 10,097 | 10,212 | 10,040 | 9,983 |
| | $\Delta P_{TR}$ | Вт | 30,021 | 30,075 | 30,218 | 30,394 | 30,303 |
| | $\Delta P_{ТДА}$ | Вт | 4,405 | 2,546 | 1,366 | 0,612 | 0,096 |

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **629** | **1283** | **1894** | **2610** |
| | $\Delta P_{ТДВ}$ | Вт | 4,890 | 2,810 | 1,505 | 0,684 | 0,108 |
| | $\Delta P_{ТДС}$ | Вт | 4,673 | 2,706 | 1,473 | 0,633 | 0,099 |
| | $\Delta P_{ТД}$ | Вт | 13,969 | 8,062 | 4,344 | 1,928 | 0,303 |
| | $\Delta P_{ТС}$ | Вт | 43,99 | 38,14 | 34,56 | 32,32 | 30,61 |
| | $K\varphi_{вых}$ | о. е. | 0,3174 | 0,2113 | 0,1256 | 0,0597 | 0,0100 |
| | $K`\varphi_{вых}$ | о. е. | 0,3175 | 0,2114 | 0,1257 | 0,0597 | 0,0099 |
| Линия | $\varphi_{Н}$ | градусы | 35,26 | 28,04 | 21,44 | 14,67 | 6,17 |
| | $\Delta P_{Л}$ | Вт | 157 | 105 | 102 | 100 | 114 |
| | $I_{RA}$ | А | 6,70 | 6,82 | 6,79 | 6,85 | 6,81 |
| | $I_{XA}$ | А | 4,74 | 3,63 | 2,67 | 1,79 | 0,73 |
| | $I_{RB}$ | А | 7,07 | 7,16 | 7,14 | 7,25 | 7,15 |
| | $I_{XB}$ | А | 5,00 | 3,82 | 2,80 | 1,90 | 0,77 |
| | $I_{RC}$ | А | 6,91 | 7,03 | 7,05 | 7,00 | 6,92 |
| | $I_{XC}$ | А | 4,88 | 3,74 | 2,77 | 1,83 | 0,75 |
| | $\Delta P_{ЛRA}$ | Вт | 20,739 | 21,489 | 21,300 | 21,678 | 21,426 |
| | $\Delta P_{ЛRB}$ | Вт | 23,093 | 23,685 | 23,553 | 24,284 | 23,619 |
| | $\Delta P_{ЛRC}$ | Вт | 22,060 | 22,832 | 22,963 | 22,638 | 22,124 |
| | $\Delta P_{ЛR}$ | Вт | 65,892 | 68,006 | 67,815 | 68,600 | 67,168 |
| | $\Delta P_{ЛДА}$ | Вт | 10,380 | 6,088 | 3,294 | 1,480 | 0,246 |
| | $\Delta P_{ЛДВ}$ | Вт | 11,550 | 6,742 | 3,622 | 1,668 | 0,274 |
| | $\Delta P_{ЛДС}$ | Вт | 11,002 | 6,462 | 3,545 | 1,547 | 0,260 |
| | $\Delta P_{ЛД}$ | Вт | 32,932 | 19,292 | 10,461 | 4,695 | 0,780 |
| | $\Delta P_{ЛС}$ | Вт | 98,82 | 87,3 | 78,28 | 73,3 | 67,95 |
| | $K\varphi_{Н}$ | о. е. | 0,3333 | 0,2210 | 0,1336 | 0,0641 | 0,0116 |
| | $K`\varphi_{Н}$ | о. е. | 0,3333 | 0,2210 | 0,1336 | 0,0641 | 0,0115 |

Таблица 4: Результаты расчёта критерия потерь мощности от реактивных токов в сети 0,38 кВ по данным измерений (табл. 2)

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1260** | **2395** | **3891** | **6552** |
| Трансформатор Y/Yн | $\varphi_{вых}$ | градусы | 32,38 | 26,70 | 20,92 | 14,14 | 0,81 |
| | $\Delta P_{Т}$ | Вт | 213 | 221 | 177 | 190 | 167 |
| | $I_{RA}$ | А | 15,21 | 15,04 | 14,87 | 14,64 | 14,98 |
| | $I_{XA}$ | А | 9,65 | 7,56 | 5,69 | 3,69 | 0,16 |
| | $I_{RB}$ | А | 15,80 | 15,58 | 15,43 | 15,23 | 14,98 |
| | $I_{XB}$ | А | 10,02 | 7,83 | 5,90 | 3,83 | 0,16 |
| | $I_{RC}$ | А | 16,22 | 16,55 | 15,62 | 15,42 | 15,08 |
| | $I_{XC}$ | А | 10,29 | 8,33 | 5,97 | 3,88 | 0,16 |
| | $\Delta P_{TRA}$ | Вт | 46,732 | 45,693 | 44,666 | 43,295 | 45,329 |
| | $\Delta P_{TRB}$ | Вт | 50,427 | 49,033 | 48,093 | 46,854 | 45,329 |

| | Измеряемая величина | Единица измерения | Номинальная реактивная мощность конденсаторной батареи, вар. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0** | **1260** | **2395** | **3891** | **6552** |
| | $\Delta P_{TRC}$ | Вт | 53,144 | 55,328 | 49,285 | 48,031 | 45,936 |
| | $\Delta P_{TR}$ | Вт | 150,303 | 150,054 | 142,044 | 138,180 | 136,594 |
| | $\Delta P_{ТДА}$ | Вт | 18,811 | 11,545 | 6,540 | 2,750 | 0,005 |
| | $\Delta P_{ТДВ}$ | Вт | 20,281 | 12,384 | 7,032 | 2,963 | 0,005 |
| | $\Delta P_{ТДС}$ | Вт | 21,389 | 14,017 | 7,199 | 3,041 | 0,005 |
| | $\Delta P_{ТД}$ | Вт | 60,480 | 37,946 | 20,771 | 8,755 | 0,016 |
| | $\Delta P_{ТС}$ | Вт | 210,78 | 188 | 162,82 | 146,94 | 136,61 |
| | $K\varphi_{ВЫХ}$ | о. е. | 0,2868 | 0,2018 | 0,1275 | 0,0597 | 0,0002 |
| | $K`\varphi_{ВЫХ}$ | о. е. | 0,2869 | 0,2018 | 0,1276 | 0,0596 | 0,0001 |
| Линия | $\varphi_{Н}$ | градусы | 33,80 | 27,87 | 22,48 | 14,72 | 0,81 |
| | $\Delta P_{Л}$ | Вт | 547 | 526 | 478 | 373 | 336 |
| | $I_{RA}$ | А | 14,96 | 14,88 | 14,73 | 14,68 | 15,00 |
| | $I_{XA}$ | А | 10,01 | 7,87 | 6,10 | 3,86 | 0,20 |
| | $I_{RB}$ | А | 15,54 | 15,41 | 15,29 | 15,27 | 15,00 |
| | $I_{XB}$ | А | 10,40 | 8,15 | 6,33 | 4,01 | 0,20 |
| | $I_{RC}$ | А | 15,95 | 16,38 | 15,47 | 15,46 | 15,10 |
| | $I_{XC}$ | А | 10,68 | 8,66 | 6,41 | 4,06 | 0,21 |
| | $\Delta P_{ЛRA}$ | Вт | 103,396 | 102,293 | 100,241 | 99,562 | 103,950 |
| | $\Delta P_{ЛRB}$ | Вт | 111,569 | 109,710 | 108,008 | 107,726 | 103,950 |
| | $\Delta P_{ЛRC}$ | Вт | 117,534 | 123,957 | 110,566 | 110,423 | 105,341 |
| | $\Delta P_{ЛR}$ | Вт | 332,499 | 335,960 | 318,816 | 317,711 | 313,241 |
| | $\Delta P_{ЛДА}$ | Вт | 46,292 | 28,615 | 17,191 | 6,884 | 0,018 |
| | $\Delta P_{ЛДВ}$ | Вт | 49,970 | 30,687 | 18,512 | 7,429 | 0,018 |
| | $\Delta P_{ЛДС}$ | Вт | 52,697 | 34,648 | 18,983 | 7,615 | 0,020 |
| | $\Delta P_{ЛД}$ | Вт | 148,959 | 93,950 | 54,686 | 21,928 | 0,057 |
| | $\Delta P_{ЛС}$ | Вт | 481,46 | 429,91 | 373,5 | 339,64 | 313,3 |
| | $K\varphi_{Н}$ | о. е. | 0,3094 | 0,2185 | 0,1462 | 0,0645 | 0,0002 |
| | $K`\varphi_{Н}$ | о. е. | 0,3094 | 0,2185 | 0,1464 | 0,0646 | 0,0002 |

Из данных таблиц 3 и 4 видно, что критерий потерь Kφ, рассчитанный по формуле (6), практически совпадает по величине со значением критерия потерь K`φ, рассчитанным через величины активных и реактивных токов и, как следствие, через величины потерь от этих токов, что подтверждает корректность положений статьи.

**Выводы**

1. Автором статьи разработан критерий потерь мощности от реактивных токов.

2. Автором статьи проведены экспериментальные исследования потерь мощности от реактивных токов.

3. На основании проведённых экспериментальных исследований произведён расчёт критерия потерь мощности двумя разными способами. Вычисления показали высокую сходимость результатов.

**Список использованных источников**

1. Джоуля-Ленца закон // Советская энциклопедия, 1952. – (Большая советская энциклопедия: [в 51 т.] / гл. ред. Б.А. Введенский. – 1949-1958, т. 14).

2. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Горбунов А.О., Теремецкий М.Ю. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014, №6. – С. 16-20.

3. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Кузнецова Е.С. Новые научные направления в энергосбережении // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017, №2(47). – С. 300-309.

4. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Филиппов А.О., Борошнин А.Л., Горбунов А.О. Энергосбережение при транспортировке электрической энергии по линиям 0,38 кВ при несимметричной нагрузке // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2017, №5(44). – С. 64-71.

5. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Гущинский А.Г., Коломыцев М.В., Борошнин А.Л., Горбунов А.О. Расчёт потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ при несимметричной нагрузке // Энергоэксперт. – 2018, №2(66). – С. 27-30.

6. Горбунов А.О. Исследование потерь мощности от несинусоидальных токов в сельских электрических сетях 0,38 кВ // АгроЭкоИнфо. – 2019, №2. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_236.doc.

7. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов, перераб., 5-е изд. – М.: Энергоатомиздат. – 1989. – 528 с.

==========

**Цитирование:**

Горбунов А.О. Анализ потерь от реактивных токов в сельских электрических сетях 0,38 кВ с применением критерия потерь // АгроЭкоИнфо. – 2020, №1. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_117.pdf.