

УДК 621.31

https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/41

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ 0,38 КВ С ТРЕХФАЗНЫМИ НАГРУЗКАМИ И КОНДЕНСАТОРНЫМ ШУНТО-СИММЕТРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

©Турдыев И. Э., ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-код: 1247-0259, канд. техн. наук,
Ошский технологический университет им. академика М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, ilyaz_turduiev@mail.ru

0.38 KV ELECTRICAL NETWORK WITH THREE-PHASE LOADS AND CAPACITOR SHUNT-BALANCING DEVICE

©Turduiev I., ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-code: 1247-0259, Ph.D.,
Osh Technological University named after Academician M.M. Adyshev,
Osh, Kyrgyzstan, ilyaz_turduiev@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос уменьшения коэффициента несимметрии токов и коэффициента неуравновешенности токов (при отсутствии КШСУ, КШСУ в узле нагрузок, КШСУ на шинах трансформатора) с помощью шунто-симметрирующих устройств. Предлагаемое симметрирующее устройства имеет дополнительно две ступени мощности и позволяет повысить эффективность симметрирования за счет регулируемых, автоматически изменяемых параметров, которые меняются в зависимости от уровня несимметрии токов, т.е. от величины тока нулевой последовательности.

Abstract. The issue of reducing the current asymmetry coefficient and the current unbalance coefficient (in the absence of KSHSU, KSHSU in the load node, KSHSU on transformer buses) with the help of shunt-balancing devices is considered. The proposed symmetrical device has an additional two power stages and allows to increase the efficiency of symmetry due to adjustable, automatically changeable parameters that vary depending on the level of current asymmetry, i.e. on the magnitude of the zero sequence current.

Ключевые слова: не симметрия, электрическая энергия, мощность, нагрузка, коэффициент, шина, ток, шунто-симметрирующее устройство, технические средства.

Keyword: asymmetry, electrical energy, power, load, ratio, tire, current, shunto-symmetrical device, technical means.

Предметом исследования является несимметрия токов в фазах сети 0,38 кВ, приводящая к увеличению потерь электрической энергии, а также не симметрирующее устройство, или средства снижения этих потерь.

1) проведен анализ существующих способов и технических средств снижения потерь электрической энергии в сетях 0,38 кВ;

2) на основе проведенного анализа этих средств и способов создана классификация ТС для снижения потерь электрической энергии;

3) разработана методика расчета потерь мощности и показателей не симметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ с сосредоточенной нагрузкой и симметрирующим устройством.

Разработан методика расчета потерь мощности и показателей токов и напряжений в сети 0,38 кВ. обусловлен целесообразность применения шунто-симметрирующих устройств как наиболее эффективных технических средств снижения потерь электрической энергии, обусловленных несимметрией токов. Различие между коэффициентами несимметрии напряжений при наличии и отсутствии трехфазной симметричной нагрузки составляет 30 и более процентов. Коэффициенты неуравновешенности напряжений с изменением трехфазной симметричной нагрузки практически не изменяется. Токи прямой последовательности могут создавать дополнительные потери мощности и электрической энергии в самом устройстве, что значительно снижает экономическую целесообразность использования шунто-симметрирующих устройств в течение всего времени суток. Возникает проблема автоматизации таких устройств его работы только в заданном временном или нагрузочном интервале. Применяемые средства симметрирования должны соответствовать определенным требованиям.

Целью работы является подтверждения зависимостей, в котором был произведен теоретический эксперимент по программе «Несимметрия – 2». Исследование проводилось при постоянной трехфазной несимметричной нагрузке. Трехфазная симметричная нагрузка включалась в пределах от 0 до 0,9. По результатам расчетов построен график зависимости коэффициентов не симметрии ε_{UH} и неуравновешенности K_{UH} напряжений в узле нагрузок от мощности трехфазной симметричной нагрузки. Как видно из графика с увеличением P_S от 0 до 0,9 происходит снижение коэффициента несимметрий напряжений.

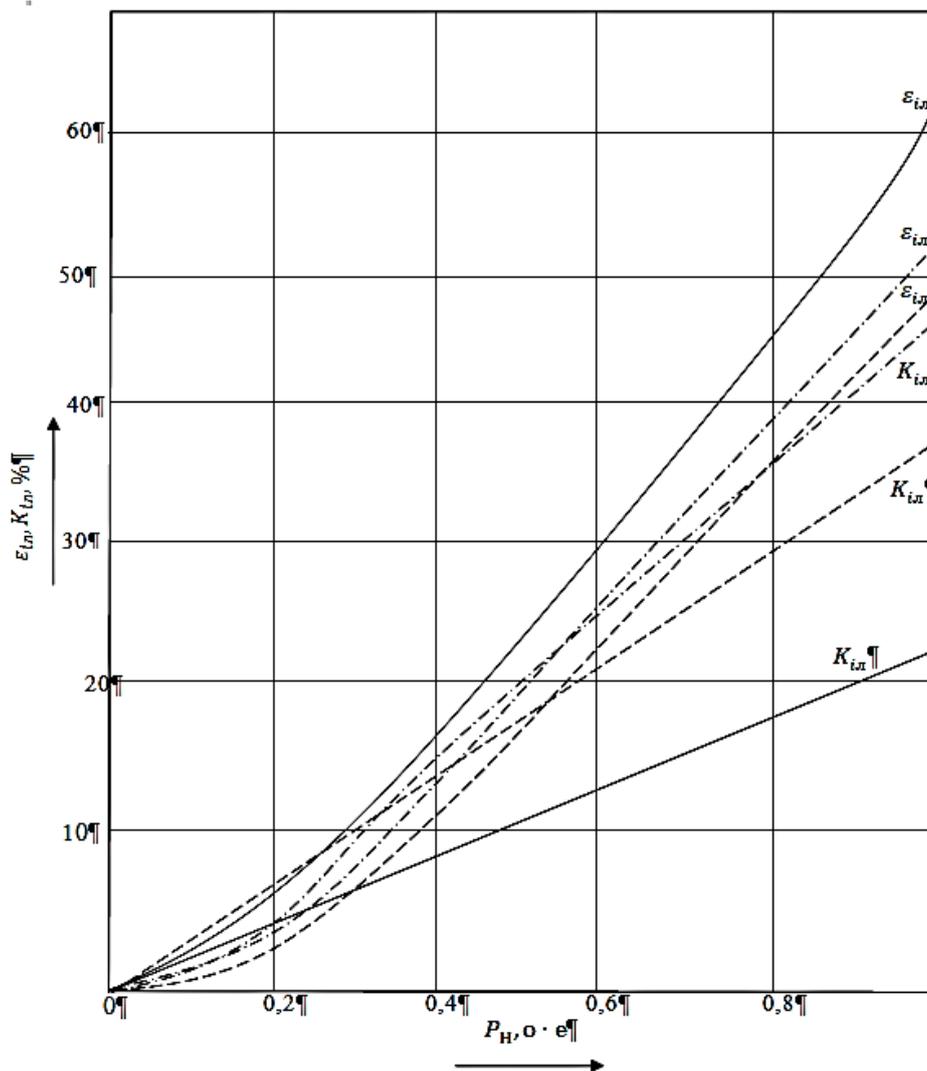
Материалы и методы исследования

Методами исследования является несимметрия токов в фазах сети 0,38 кВ приводящая к увеличению потерь электрической энергии, а также несимметрирующее устройство или средства снижения потерь. ШСУ который является материалом, подключается к сети и к самому устройству. Данное устройство замыкают на себя (шунтируют) токи нулевой последовательности и почти не пропускают их на другие участки линии 0,38 кВ.

На Рисунке 1 представлены графики изменения коэффициентов несимметрии $\varepsilon_{iЛ}$ и неуравновешенности $K_{iЛ}$ токов в линии 0,38 кВ от изменения мощности несимметричной нагрузки. В этом случае трехфазная симметричная нагрузка изменяется в соответствии с табл.3.3. Как видно из графика (Рисунок 1), при отсутствии в сети несимметричной нагрузки, то есть при $P_H = 0$ коэффициенты $\varepsilon_{iЛ}$ и $K_{iЛ}$ имеют нулевые значения.

С ростом несимметричной нагрузки коэффициенты $\varepsilon_{iЛ}$ и $K_{iЛ}$ такие увеличиваются и достигают своего максимума в точке максимальной не симметрии, то есть при $P_H = 1,0$. Наибольшие значения коэффициенты не симметрии и неуравновешенности токов составляют: при отсутствии КШСУ $\varepsilon_{iЛ} = 4,4\%$, $K_{iЛ} = 34,7\%$; при включенных КШСУ на шинах трансформатора $\varepsilon_{iЛ} = 47,3\%$, $K_{iЛ} = 42,5\%$; при включении КШСУ в узле нагрузок $\varepsilon_{iЛ} = 54,2\%$ и $K_{iЛ} = 20,3\%$.

Следует отметить, что включение КШСУ на шинах трансформатора приводит к увеличению коэффициентов несимметрии и неуравновешенности токов, по сравнению с этими же показателями при отсутствии КШСУ. Так, например, при максимальной мощности несимметричной нагрузки, то есть при $P_H = 1,0$ коэффициенты $\varepsilon_{iЛ}$ и $K_{iЛ}$ увеличивается соответственно в 1,37 и 1,23 раза. Вместе с тем, при включении КШСУ в узле нагрузок наблюдается увеличение нагрузок E (максимально в 1,2 раза), однако коэффициент K значительно уменьшается (в 1,71 раза в течение $P_H = 1,0$), то сравнение с режимом работы линии, когда ШСУ отключено.



- - - - - при отсутствии КШСУ;
 ————— КШСУ включено в узле нагрузок;
 - · - · - КШСУ включено на шинах трансформатора

Рисунок 1. Зависимости коэффициентов несимметрии ε_{il} и не уравновешенности K_{il} токов линии 0,38 кВ от мощности и трехфазной несимметричной нагрузкой при наличии в узле трехфазной симметричной нагрузки:

При отсутствии в узле нагрузок трехфазной симметричной нагрузки, то есть при $P_s = 0$ коэффициенты ε_{il} и K_{il} убывают как при отсутствии КШСУ, так и при заключении его на шинах трансформатора (Рисунок 2). При включении КШСУ в узле нагрузок в диапазоне изменения мощности несимметричной нагрузки от 0,1 до 0,5 происходит увеличения коэффициентов ε_{il} и K_{il} соответственно от 21,5% и 8,7% и 22,5%. С дальнейшим ростом P_n от 0,5 до 1,0 наблюдается уменьшение ε_{il} и K_{il} соответственно до 54% до 30,3%.

Симметрирующий эффект, который оказывает трехфазная симметричная нагрузка, можно отчетливо увидеть, сравнивая графики (Рисунок 1, 2). Например, для точки $P_n=0,5$ коэффициенты ε_{il} и K_{il} соответственно увеличивается при отключении трехфазной симметричной нагрузки: в случае отсутствия КШСУ — ε_{il} в 2,58 раза, K_{il} в 2,05 раза; при включении КШСУ на шинах трансформатора — ε_{il} в 2,55, K_{il} в 2,0 раза; при включении КШСУ в узле нагрузки — ε_{il} в 2,42, K_{il} в 1,67 раза.

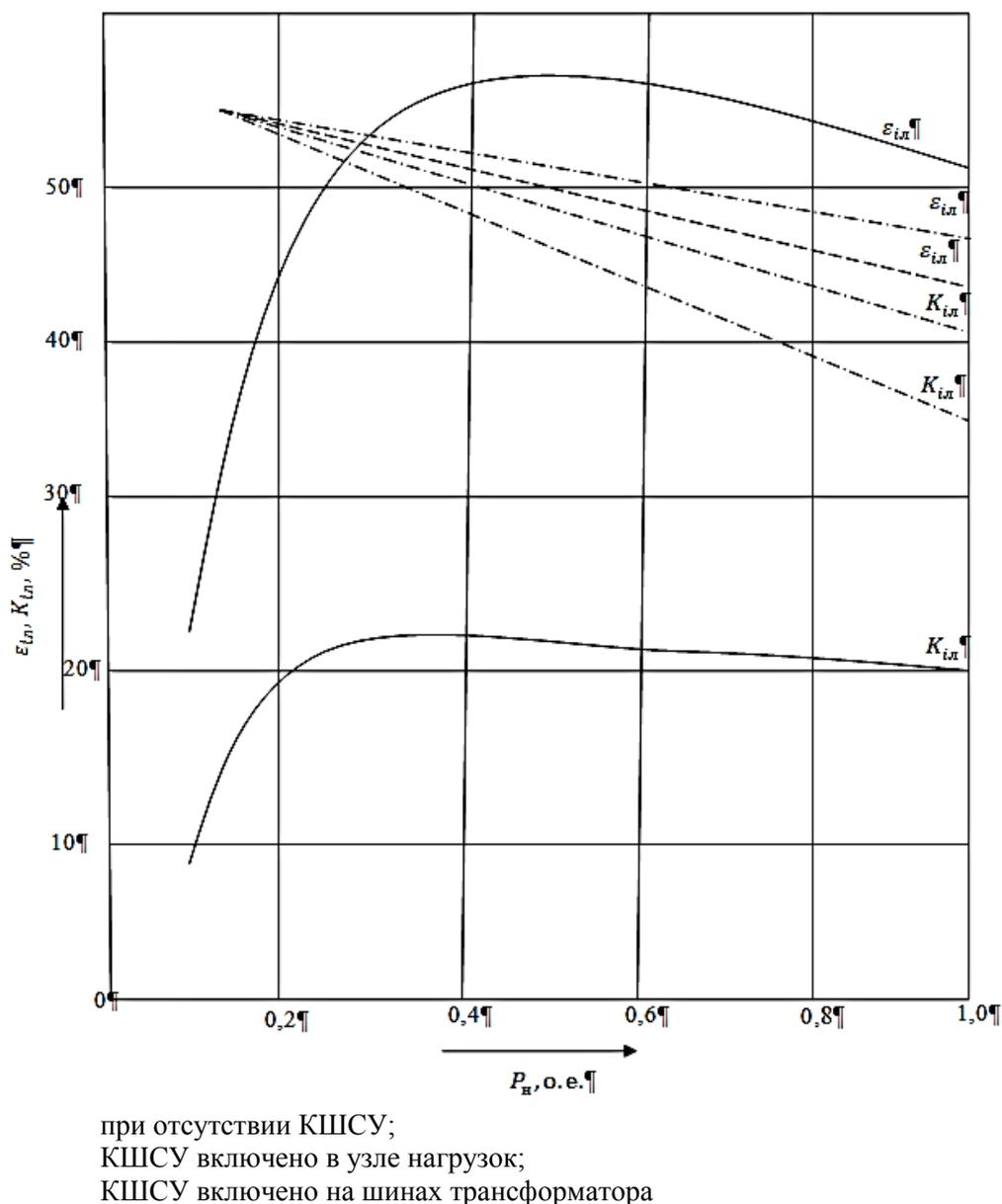


Рисунок 2. Зависимости коэффициентов несимметрии ϵ_{il} и не уравновешенности K_{il} токов линии 0,38 кВ от мощности и трехфазной не симметричной нагрузкой при наличии в узле трехфазной симметричной нагрузки

Таким образом, включение шунто-симметрирующего устройства в сеть 0,38 кВ приводит к незначительному увеличению коэффициента несимметрии токов (независимо от места включения КШСУ), к увеличению коэффициента неуравновешенности токов (при включении КШСУ на шинах трансформатора) и к значительному снижению коэффициента K при включении КШСУ в узле нагрузок. Кроме того, наличие в узле нагрузок трехфазной симметричной нагрузки также улучшает показатели несимметрии токов в линии 0,38 кВ.

На Рисунке 3 и 4 представлены графики зависимостей коэффициентов не симметрии ϵ_{UH} и неуравновешенности K_{UH} напряжений в узле нагрузок от мощности трехфазной несимметричной нагрузки, соответственно, при наличии и отсутствии в узле трехфазной симметричной нагрузки. Как видно из этих графиков при отсутствии несимметричной нагрузки, то есть при $P_n=0$, коэффициенты не симметрии и неуравновешенности напряжений имеют нулевые значения.

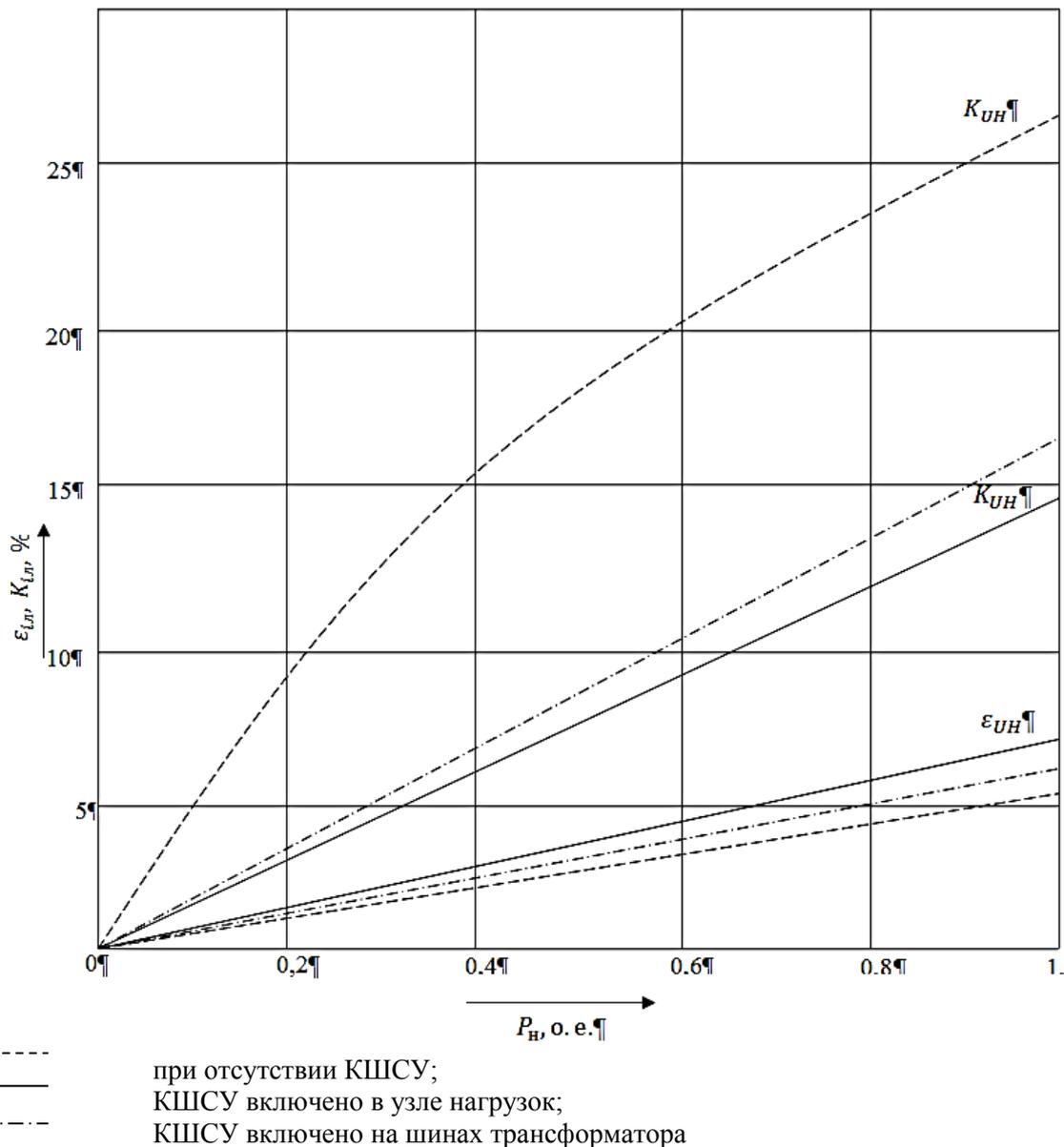
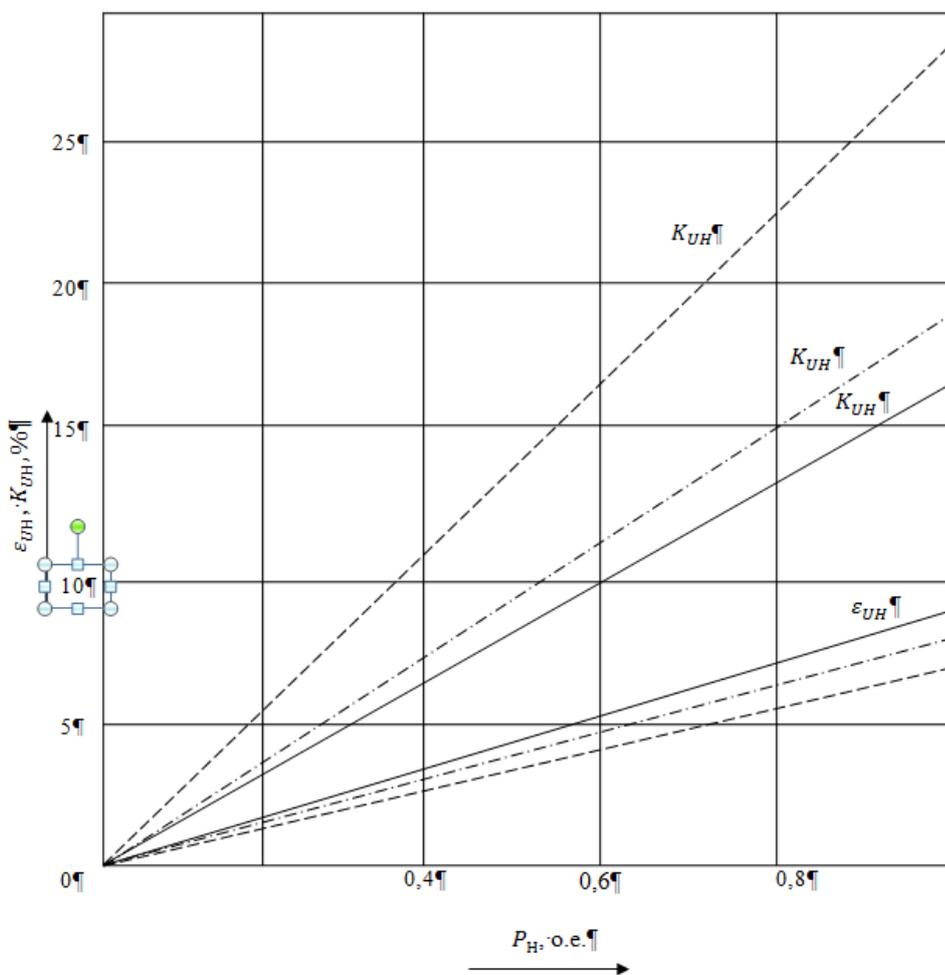


Рисунок 3. Зависимость коэффициентов несимметрии K_{UH} напряжений в узле нагрузок от мощности трехфазной несимметричной нагрузки при отсутствии трехфазное симметричной нагрузки:

При изменении трехфазной симметричной нагрузки будут изменяться эквивалентной проводимости $\underline{Y}_{\Sigma 1}$ и $\underline{Y}_{\Sigma 2}$. В соответствии с выражением величины \underline{Y}_L^2 и \underline{Y}_{F1}^2 могут изменяться только за счет изменения при соответствии изменения трехфазной симметричной нагрузки. Так как входит как в числитель, так и в знаменатель выражения, то любое изменение трехфазной симметричной нагрузки изменяет и соответствующее изменение и числителя и знаменателя одновременно, а самовыражение остается без изменения, то есть трехфазная симметричная нагрузка не влияет на величину коэффициента неуравновешенности напряжения на зажимах нагрузки.



----- при отсутствии КШСУ;
 _____ КШСУ включено в узле нагрузок;
 - · - · - КШСУ включено на шинах трансформатора

Рисунок 4. Зависимость коэффициентов несимметрии ϵ_{UH} и не уравновешенности K_{UH} напряжений в узле нагрузок от мощности трехфазной не симметричной нагрузки при отсутствии трехфазной симметричной нагрузки

На Рисунке 6 представлен график изменения показателей не симметрии напряжений на шинах 0,4 кВ трансформатора 10/0,4 кВ от мощности трехфазной несимметричной нагрузки при наличии в узле трехфазной симметричной нагрузки. При изменении несимметричной нагрузки от 0 до 1,0 коэффициенты U_{UT} и K_{UT} увеличиваются от нулевых до максимальных значений при $P_H = 1,0$. В этой точке показателя несимметрии напряжений. Следовательно, максимальное снижение коэффициента увеличения потерь мощности, а, следовательно и дополнительных потерь мощности и электрической энергии, возможно при включении шунто-симметрирующего устройства в узле нагрузок.

На Рисунке 8 представлены зависимости коэффициента увеличения потерь мощности K_p от мощности несимметричной нагрузки. Как видно из данного графика, при наличии в сети трехфазной симметричной нагрузки, в случае, когда $P_H = 0$, коэффициент K_p для всех расчетов режимов работы КШСУ едины. По мере увеличения трехфазной несимметричной нагрузки от 0 до 1,0 происходит увеличение коэффициента K_p . Для случая, когда ШСУ отключено, небольшое значение коэффициента K_p в точке $P_H = 1,0$ составляет 1,677. При включении КШСУ на шины трансформатора K_p увеличивается и при $P_H = 1,0$ он равен

1,9463. При включении КШСУ в узле нагрузок, по сравнению с первым случаем, то есть когда КШСУ отсутствует, K_p увеличивается медленнее по мере возрастания мощности несимметричной нагрузки и в точке, соответствующей $P_H = 1,0$ K_p достигает значения 1,4583, то есть в 1,15 раза меньше по сравнению с коэффициентом K_p при отключении КШСУ.

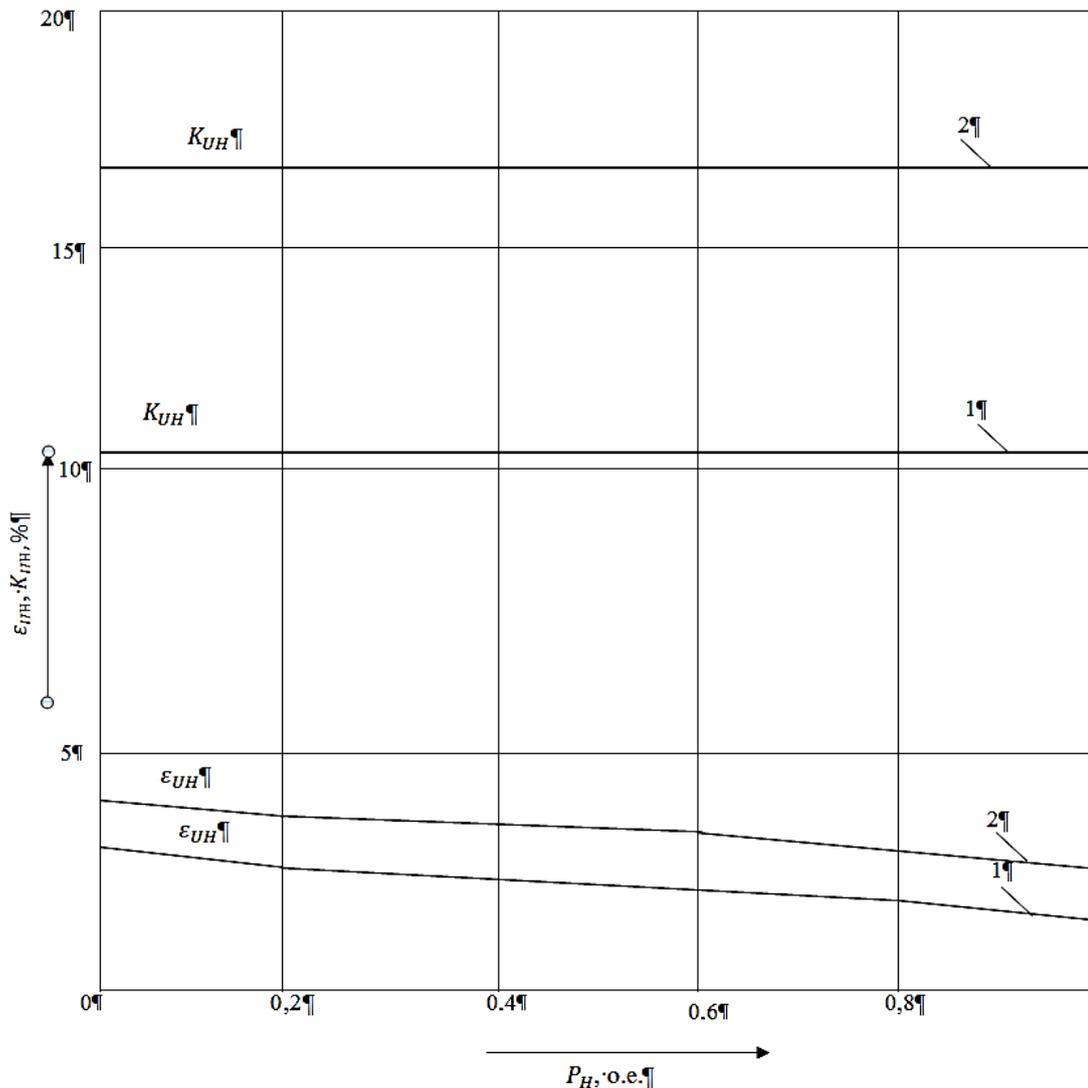
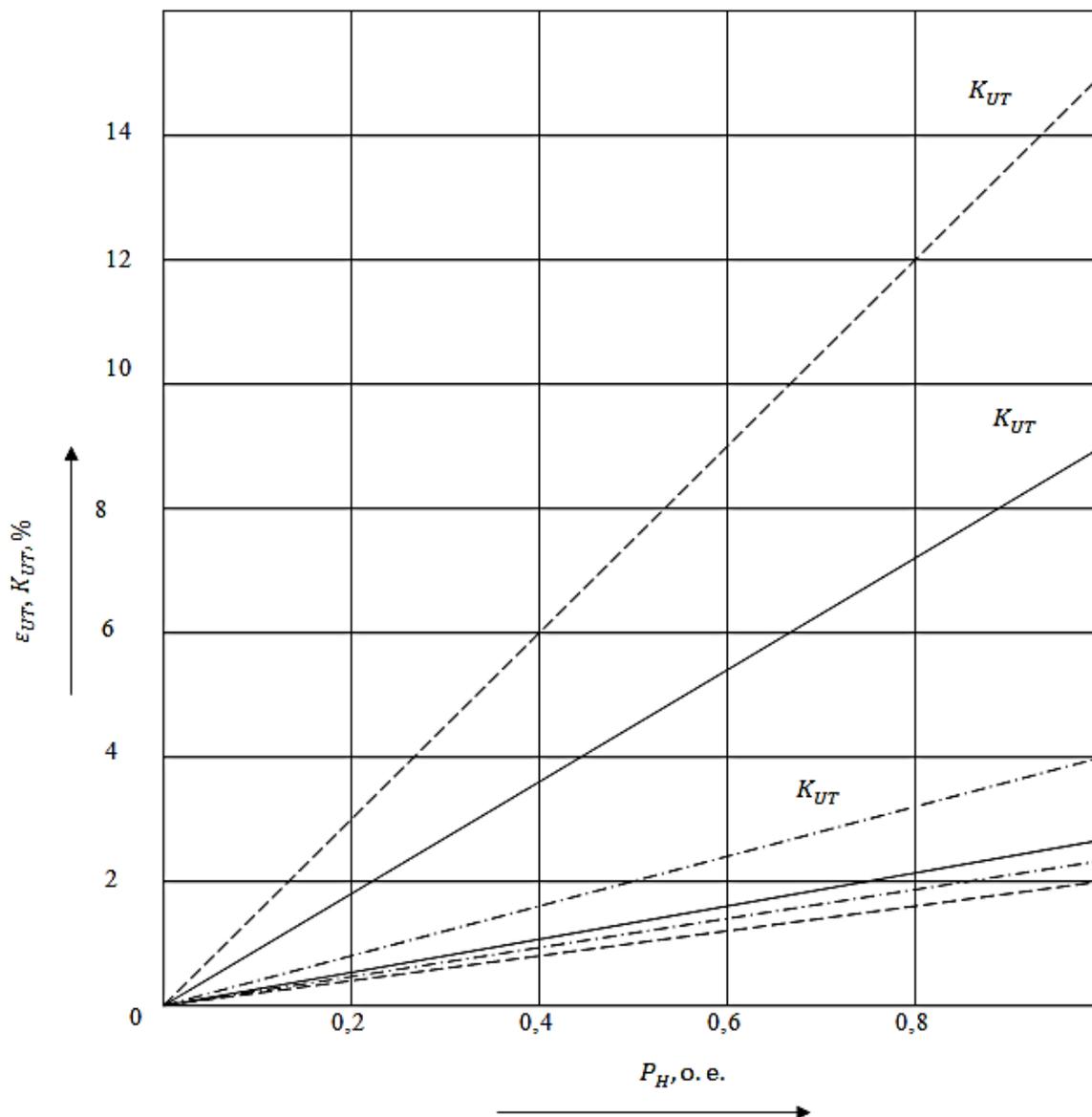


Рисунок 5. График зависимости коэффициентов не симметрии ϵ_{UH} и не уравновешенности K_{UH} напряжений в узле нагрузок от мощности трехфазной симметричной нагрузки: 1 - $P_H = 0,3$; 2 - $P_H = 0,6$

Рассмотрим, как изменяется коэффициент увеличения потерь мощности при отключении трехфазной симметричной нагрузки. Как видно из графика (Рисунок 7), при $P_H = 1,0$ значение K_p для случаев отсутствия ШСУ и включения его на шины трансформатора меняет максимальное значение, составляющее соответственно 2,4324 и 2,5039. С увеличением мощности не симметричной нагрузки от 0,1 до 1,0 K_p уменьшается и составляет при $P_H = 1,0$: при отсутствии ШСУ – 1,67; при включении ШСУ на шины трансформатора 1,9463. В случае включения ШСУ в узле нагрузок при $P_H = 1,0$ коэффициент K_p имеет максимальное значение, равное 1,0766. В диапазоне изменения P_H от 0,1 до 0,5 происходит

увеличение K_p до значения, равного 1,5368, а затем, с дальнейшим ростом несимметричной нагрузки, K_p уменьшается и в точке, соответствующей $P_H = 1,0$ достигает значения, равного 1,4563.



- при отсутствии КШСУ;
- _____ КШСУ включено в узле нагрузок;
- · - · - КШСУ включено на шинах трансформатора

Рисунок 6. Зависимость коэффициентов несимметрии $\epsilon_{УТ}$ и неуровновешенности $K_{УТ}$ на шинах 0,4 кВ трансформаторе 10/0,4 кВ от мощности трехфазной несимметричной нагрузки при наличии в узле трехфазной симметричной нагрузки

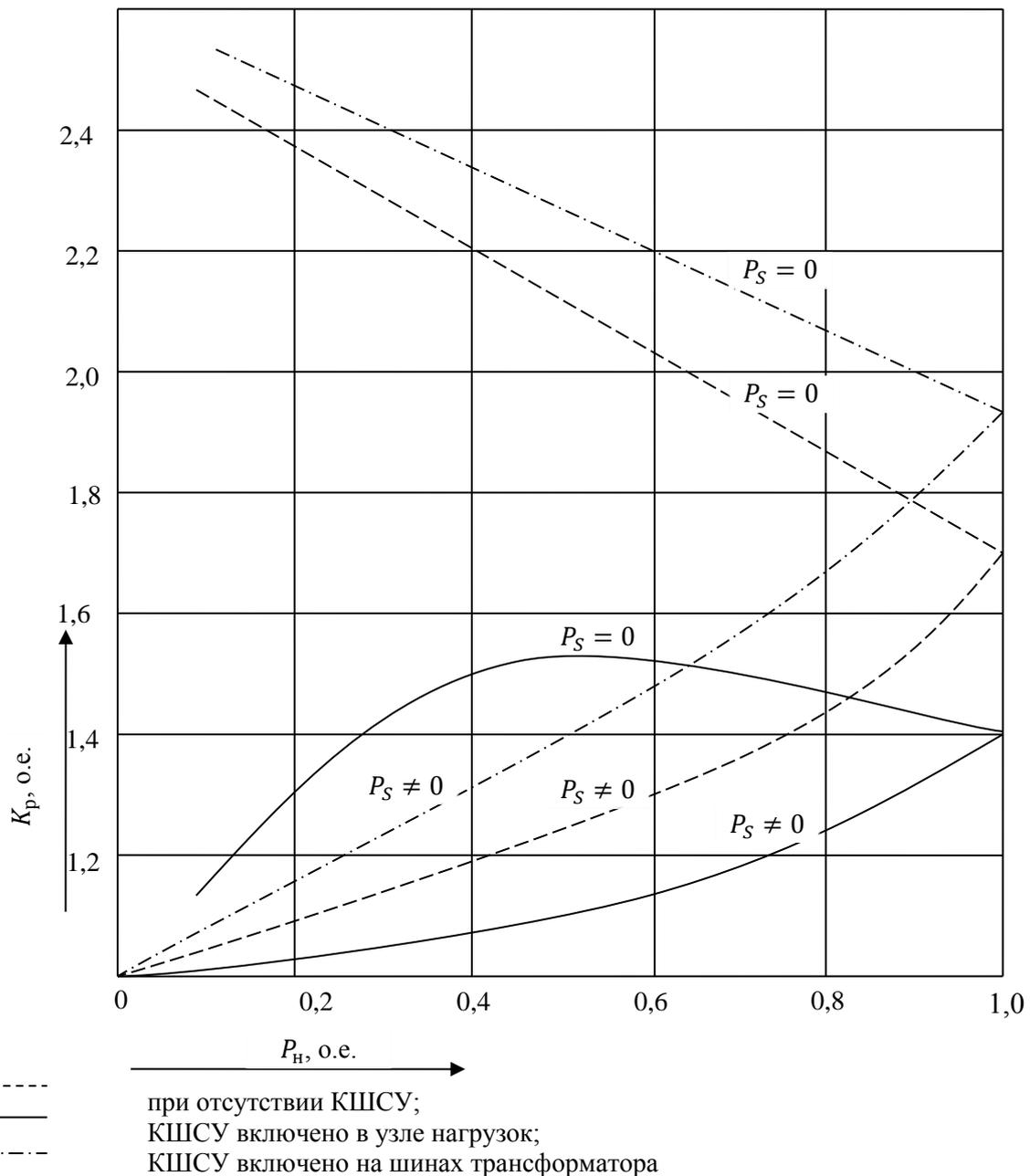


Рисунок 7. Зависимость коэффициента увеличения потерь мощности сети 0,38 кВ от мощности трехфазной несимметричной нагрузки

Таким образом, включение в сеть ШСУ приводит к следующему изменению коэффициента потерь мощности по сравнению с сетью без ШСУ при изменении мощности несимметричной нагрузки в диапазоне от 0,1 до 1,0 и P_S : при включении ШСУ на шины трансформатора K_p увеличивается в 1,03...1,16 раза; при включении ШСУ в узел нагрузки K_p уменьшается в 2,26...1,35 раза.

По результатам расчетов построены зависимости показателей и несимметрией токов и напряжений и коэффициента потерь мощности сети 0,38 кВ от мощности несимметричной нагрузки.

Выводы

Разработана программа расчета дополнительных потерь мощности и показателей несимметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством.

В результате анализа потерь мощности и показателей несимметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ установлено:

-снижение потерь мощности, обусловленных несимметрией токов, достигается применением шунто-симметрирующих устройств, имеющих малое сопротивление нулевой последовательности;

-включение ШСУ на шинах трансформатора потребительской ТП несколько снижает коэффициент неуравновешенности напряжений в узле нагрузок, но вместе с тем приводит к увеличению потерь мощности, обусловленных не симметрией токов, за счет увеличения токов нулевой последовательности в линии 0,38 кВ;

Список литературы:

1. Воротницкий В. Э., Железко Ю. С., Казанцев В. Н. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1983. 366 с.
2. Ермаков Ю. А. Обзор работы некоторых симметрирующих устройств для сельских сетей // Электрификация сельскохозяйственного производства. 1972. №15. 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 // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. КИ Скрябина. 2018. №2. С. 383-386.
4. Турдуев И. Э., Жусупов И. М. Схемы соединения обмоток и установка шунто-симметрирующих устройств на шинах распределительных трансформаторов // Известия Ошского технологического университета. 2019. №1. С. 109-115.
5. Наумов И. В., Белоусова Е. А. Выбор параметров устройств симметрирования в распределительных электрических сетях 0,38 кВ // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. №1. С. 12-15.
6. Наумов И. В. Способы и технические средства снижения несимметрии токов и потерь электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ: автореф. ... канд. техн. наук. Л., 1989. 15 с.
7. Инц М. Я. А.С. 1504724 (СССР) Способ симметрирования трехфазной сети. 1986.
8. Шидловский А. К., Кузнецов В. Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. Киев: Наук. думка, 1985. 267 с.
9. Рожавский М. Несимметричные режимы работы сельскохозяйственных электрических сетей. М.: МИИСП, 1980. 55 с.

References:

1. Vorotnitskii, V. E., Zhelezko, Yu. S., & Kazantsev, V. N. (1983). Poteri elektroenergii v elektricheskikh setyakh energosistem. Moscow. (in Russian).
2. Ermakov, Yu. A. (1972). Obzor raboty nekotorykh simmetriruyushchikh ustroystv dlya sel'skikh setei. *Elektrifikatsiya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva*, (15), 18-21. (in Russian).
3. Turduev, I. E. (2018). Analiz poter' moshchnosti, tokov, pokazatelei nesimmetrii tokov i napryazhenii v seti 0, 38 kV s shunto-simmetriruyushchim ustroystvom. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. KI Skryabina*, (2), 383-386. (in Russian).
4. Turduev, I. E., & Zhusupov, I. M. (2019). Skhemy soedineniya obmotok i ustanovka shunto-simmetriruyushchikh ustroystv na shinakh raspredelitel'nykh transformatorov. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (1), 109-115. (in Russian).
5. Naumov, I. V., & Belousova, E. A. (2017). Vybor parametrov ustroystv simmetrirovaniya v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh 0,38 kV. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (1), 12-15. (in Russian).

6. Naumov, I. V. (1989). Sposoby i tekhnicheskie sredstva snizheniya nesimmetrii tokov i poter' elektricheskoi energii v sel'skikh raspredelitel'nykh setyakh 0,38 kV: avtoref. ... kand. tekhn. nauk. Leningrad. (in Russian).

7. Ints, M. Ya. (1986). A.S. 1504724 (SSSR) Sposob simmetrirovaniya trekhfaznoi seti. (in Russian).

8. Shidlovskii, A. K., & Kuznetsov, V. G. (1985). Povyshenie kachestva energii v elektricheskikh setyakh. Kiev. (in Russian).

9. Rozhavskii, M. (1980). Nesimmetrichnye rezhimy raboty sel'skokhozyaistvennykh elektricheskikh setei. Moscow. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 18.03.2023 г.*

*Принята к публикации
25.03.2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Турдуев И. Э. Электрическая сеть 0,38 кВ с трехфазными нагрузками и конденсаторным шунто-симметрирующим устройством // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №4. С. 358-368. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/41>

Cite as (APA):

Turduev, I. (2023). 0.38 kV Electrical Network With Three-phase Loads and Capacitor Shunt-balancing Device. *Bulletin of Science and Practice*, 9(4), 358-368. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/89/41>