

Влияние несимметрии напряжения на потери электроэнергии в системах электроснабжения

*Сариев Б.И. Абдиева З.Э., Куржумбаева Р.Б., Касмамбетов Х.Т.
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан*

Аннотация: Сделан анализ несимметрии напряжения и токов в сетях 0,4 кВ ОАО «СЭ». Произведен расчет коэффициента несимметрии по обратной и нулевой последовательности за исследуемый период. Отмечено то, что несимметрия напряжения приводит к потерям активной мощности и напряжения в сети и является актуальной проблемой, которую необходимо решать. Перечислены мероприятия по улучшению ПКЭЭ. Подробно описано СУ предложенное авторами по устранению несимметрии в сетях низкого напряжения. Выполнен эксперимент с помощью СУ по устранению несимметрии нагрузок фаз.

Ключевые слова: Качество электроэнергии, несимметричная нагрузка, перегрузка электрических сетей, потери мощности и электроэнергии, трехфазные линии, симметрирующее устройство

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим направлением развития и совершенствования государственной системы управления энергосбережением является решение комплекса задач по улучшению качества и снижению потерь энергии в электрических сетях. Под энергосбережением понимается комплекс мер по уменьшению потерь при передаче и распределении электроэнергии (ЭЭ). Важным фактором энергосбережения является качество электроэнергии (КЭ), которое нормируется государственным стандартом ГОСТ 32144-2013. Качество ЭЭ определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники (ЭП) могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц. [1]. В перечень характеристик, которые определяют качество электроэнергии, входит более десяти параметров, среди которых – коэффициент несимметрии, коэффициент искажения синусои-

дальности, отклонение напряжения и частоты, коэффициент временного перенапряжения и так далее. Качество электрической энергии в настоящее время стало привычным и ясным понятием в области снабжения потребителей электрической энергии. Увеличение количества и повышение установленной мощности электроприемников с нелинейным и несимметричным характером нагрузки на транспорте, в быту, развитие технологических установок в промышленности приводит к ухудшению качества электрической энергии в системах электроснабжения и, как следствие, к снижению эффективности работы, как самих систем электроснабжения, так и потребителей, подключенных к ним.

Экономический ущерб от снижения качества электроэнергии, возникающий в результате воздействия несимметрии токов и напряжений, обусловлен ухудшением энергетических показателей и сокращением срока службы электрооборудования, общим снижением надежности функционирования электрических сетей, увеличением потерь активной мощности и потребления активной и реактивной мощностей, нарушаются условия нормального функционирования электроприемников и потребителей в целом [4].

Сокращение потерь электроэнергии до уровня, установленного нормативными документами можно добиться за счет повышения качества электрической энергии в сетях общего назначения.

Факторами, увеличивающими потери в сетях и элементах распределения ЭЭ являются несимметрия токов и напряжений, а также перегрузка электрической сети выше ее пропускной способности.

АНАЛИЗ

Результатом представленной работы является экспериментальное исследование влияния несимметрии нагрузок на потери ЭЭ в электрических сетях. Известно, что потери мощности имеют минимальное значение в симметричных режимах при неизменной во времени нагрузке, а несимметрия нагрузки во времени приводит к их увеличению, и снижает качество напряжений в электрических сетях, что

отрицательно сказывается на работе потребителей [1].

Несимметрия напряжений происходит только в трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам.

Несимметрия напряжений характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности (K_{2U}) в процентах определяется по формуле [1]

$$U_{2(1)} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left\{ \sqrt{3} \cdot U_{AB(1)} - \left[\left(4 \cdot U_{BC(1)}^2 - \left(\frac{U_{BC(1)}^2 - U_{CA(1)}^2}{U_{AB(1)}} + U_{AB(1)} \right)^2 \right)^{1/2} \right]^2 + \left(\frac{U_{BC(1)}^2 - U_{CA(1)}^2}{U_{AB(1)}} \right)^2 \right\}^{1/2}. \quad (2)$$

Здесь U_{BA} , U_{BC} , U_{AC} - действующие значения междуфазных напряжений основной частоты, кВ;

- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности (K_{0U}), в процентах вычисляют по формуле

$$K_{2U} = 100 \cdot U_{0(1)} / U_{ном \phi}. \quad (3)$$

$$U_{0(1)} = \frac{1}{6} \left\{ \left(\frac{U_{BC(1)}^2 - U_{CA(1)}^2}{U_{AB(1)}} - 3 \frac{U_{B(1)}^2 - U_{A(1)}^2}{U_{AB(1)}} \right)^2 + \left[4U_{BC(1)}^2 - \left(U_{AB(1)} - \frac{U_{BC(1)}^2 - U_{A(1)}^2}{U_{AB(1)}} \right)^2 \right]^{1/2} - \left[4U_{B(1)}^2 - \left(U_{AB(1)} - \frac{U_{B(1)}^2 - U_{A(1)}^2}{U_{AB(1)}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2}. \quad (4)$$

Здесь U_{BA} , U_{BC} , U_{AC} - действующие значения междуфазных напряжений основной частоты, кВ; $U_{A(1)}$, $U_{B(1)}$ - действующие значения фазных напряжений основной частоты, кВ.

ГОСТ 32144-2013 устанавливает значения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной (K_{2U}) и нулевой (K_{0U}) последовательностям, - нормально допустимое 2 % и предельно допустимое 4 %.

Экспериментальное исследование показателей КЭ проводилось на отходящих линиях трансформаторных подстанций (ТП) ОАО «Северэлектро» Кыргызской Республики (КР). Замеры напряжений производились на шинах трансформатора ТМ-400 кВА, и сведены в Таблицу 1, зависимости коэффициента несимметрии по обратной и нулевой последовательностям показаны на Рис. 1.

В целях снижения потерь электроэнергии и выполнения требований нормативных документов по потерям и качеству электроэнергии необходимо проведение следующих мероприятий [3]:

$$K_{2U} = 100 \cdot U_{2(1)} / U_{ном}, \quad (1)$$

где $U_{2(1)}$ - действующие значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы, кВ; $U_{ном}$ - номинальное значение междуфазного напряжения, кВ.

Действующие значение напряжения обратной последовательности основной частоты ($U_{2(1)}$) определяется по формуле

где $U_{0(1)}$ - действующие значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы, кВ; $U_{ном \phi}$ - номинальное значение фазного напряжения, кВ.

Действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты ($U_{0(1)}$) вычисляют по формуле

Технические мероприятия – основная цель таких мероприятий – обеспечить качество электроэнергии: провести анализ КЭЭ, проведя контрольные измерения и необходимые расчеты для определения уровня несимметрии; выработать рекомендации и разработать мероприятия по снижению несимметрии; реализовать разработанные мероприятия и провести контрольные измерения; применение симметрирующих устройств (СУ). Сопротивления в фазах СУ подбираются таким образом, чтобы компенсировать ток обратной последовательности, генерируемый нагрузкой как источником искажения.

Методические задачи - в части управления качеством электроэнергии необходимо разработать специальный технический регламент – «Методы измерения и мониторинг качества электроэнергии». Неотложными задачами методического обеспечения является разработка методики расчета допустимого влияния потребителя на качество электроэнергии в точке общего присоединения; методики оценки фактического влияния

Таблица 1

Замеры напряжений на шинах трансформатора

дата	день недели	время	U фазное В,			U линейное В,			K _{2U} %	K _{0U} %
			U _A	U _B	U _C	U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}		
20.02.14	Четверг	7:00	220	222	229	382	392	388	1,52	2,11
		8:00	219	222	228	381	391	386	1,51	2,69
		9:00	221	224	230	384	394,5	390	1,59	1,06
		12:00	225	227	233	390,7	400	396	1,41	2,25
		15:00	226	226	232	390,7	398	395,5	1,12	2,07
		18:00	218	221	228	379	390	385,6	1,68	3,45
		19:00	217	219	227	377	387,5	383,8	1,61	4,45
		20:00	216	220	226	377	387,5	382	1,59	4,60
18.03.14	Вторник	7:00	225	224	230	381,7	394,5	393	2,11	1,65
		8:00	220	222	228	382	391	387	1,36	2,29
		9:00	221	221	229	382	391	389	1,43	2,16
		12:00	220	219	233	379,5	392,8	391,6	2,22	2,60
		15:00	216	226	232	382	398	387	2,49	1,92
		18:00	227	221	228	387	390	393	0,91	1,26
		19:00	219	223	229	382	392,7	387,3	1,62	2,11
		20:00	218	220	227	378,6	388,4	384,7	1,50	3,80

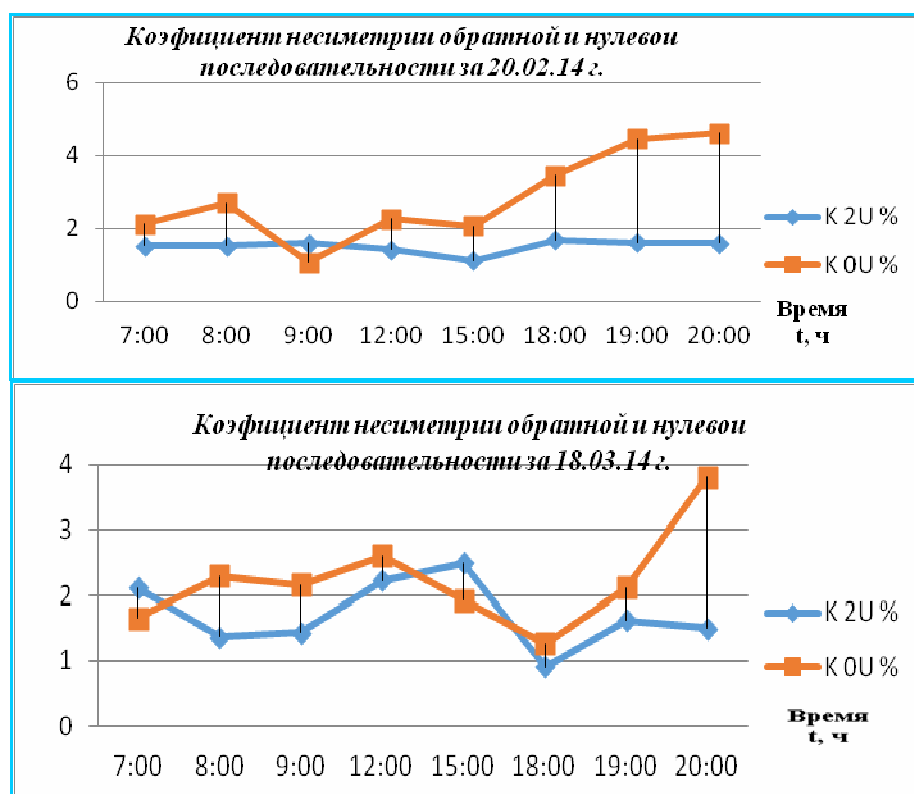


Рис. 1. Коэффициент несимметрии обратной и нулевой последовательности за исследуемый период

Организационные задачи — на сегодняшний день отечественная электроэнергетика находится на начальной стадии организационного процесса в части управления качеством электроэнергии. Еще остаются актуальными задачи создания испытательных и измерительных лабораторий, подготовки специалистов в структуре управления энергетическим хозяйством, формирования

взаимоотношений на оптовом рынке электроэнергии и мощности. Поэтому определенный интерес представляет зарубежный опыт.

В качестве технического снижения несимметрии в сети предложено разработанное нами устройство для автоматического переключения однофазных потребителей, на которое

получено патент № 187, 27 июня 2015 от Кыргызпатента.

Созданное СУ применяли в эксплуатации, в сетях 0,4 кВ ОАО «Северэлектро» КР и в учебном процессе на кафедрах «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова и «Электрификация сельского хозяйства и безопасность жизнедеятельности» Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина г. Бишкек внедрено в учебный процесс для проведения исследований и использования в лабораторных работах.

Загрузка параметров и режимов измерений в приборы, а так же скачивание результатов измерений с памяти приборов осуществляется по протоколу RS232 через COM-порт и через радиоканал связи (bluetooth). После скачивания результатов измерений с приборов Программа «Com port toolkit» позволяет получать следующие показатели, характеризующие напряжение у абонента: в какое время было переключение из одной фазы на другую; какие напряжения были в фазах A, B, C в момент переключения (Табл. 2).

Результаты измерений показаны на Рис. 3.

Таблица 2

Журнал переключений СУ

U_A	U_B	U_C	Какая фаза выбр.	Число	Месяц	Год	часы	мин.	сек.
0	173	0	В	22	1	13	16	19	2
222	173	0	А	22	1	13	16	21	40
8,2	0	208	С	22	1	13	16	21	45
245	0	208	С	22	1	13	16	21	49
0	171	0	В	22	1	13	16	21	53
208	173	0	А	22	1	13	16	21	54
0	0	207	С	22	1	13	16	21	55
212	171	0	А	22	1	13	16	21	56

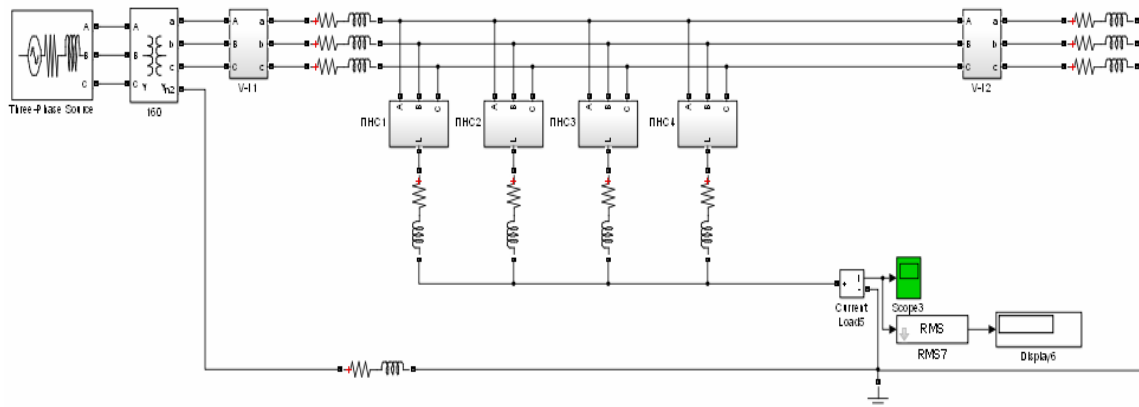


Рис. 2. Схема модели электрической сети с подключенным СУ

Из Рис. 3 видно, что при использовании СУ ток в нулевом проводе уменьшается в использовании переключателя напряжения.

Применение предложенного устройства для симметрирования однофазных нагрузок потребителей в распределительных электрических сетях 0,4 кВ по сравнению с существующими СУ обеспечивает следующие преимуще-

ства: высокую точность определения загруженности фаз сети и тем самым высокую точность симметрирования режима, быстрое действие процесса переключения однофазных потребителей, повышенную надежность в работе устройства в процессе эксплуатации и достаточно малые весогабаритные показатели.

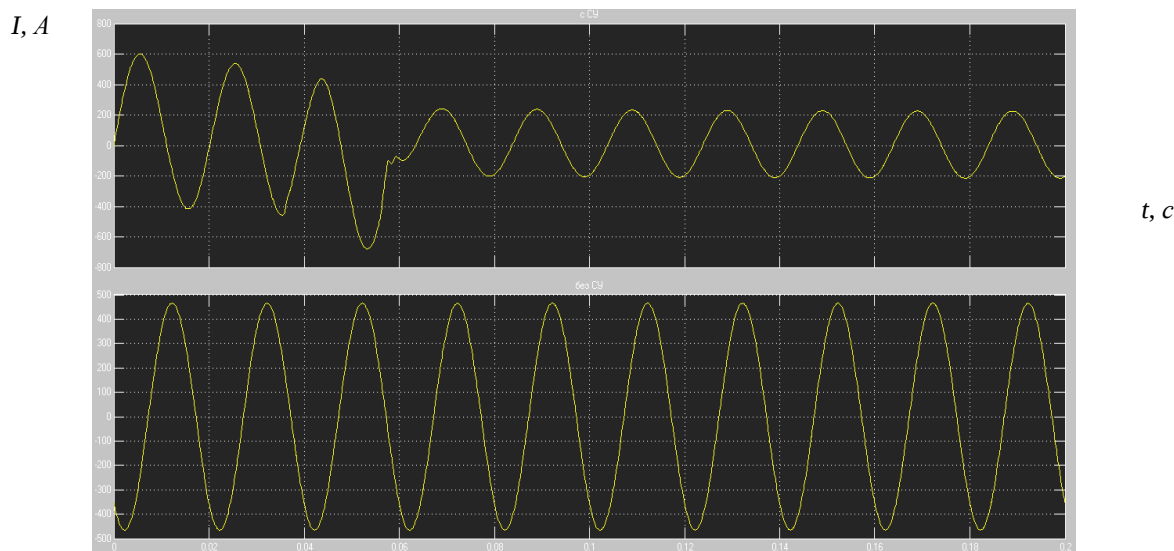


Рис. 3. Результаты с СУ и без СУ

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
- [2] Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009, 456 с.
- [3] Научно-исследовательский отчет на тему «Повышение эффективности распределительных электрических сетей и режимов работы их элементов», ОАО «Северэлектро», общественный фонд «Энергосбережение». Бишкек, 2013.
- [4] И.И. Карташев, В.Н. Тульский. Управление качеством электроэнергии/ Р.Г. Шамонов. Издательский дом МЭИ, 2008.

Influence of Voltage Asymmetry on Power Losses in Power Supply Systems

B.I. SARIEV, Z.E. ABDIEVA,
R.B. KURZHUMBAEVA,
K.T. KASAMBETOV

Kirgizian State Technical University by
I.Razzakov,

Biskek, Kirgizstan

Abstract: The analysis of asymmetry of voltage and currents in networks 0.4 kV JSC "SE" is made. The calculation of the coefficient of asymmetry in the inverse and zero sequence for the period under investigation was made. It is noted that voltage unbalance leads to losses of active power and voltage in the network and is an actual problem that must be solved. Enumerated activities to improve EEEP. In detail, the SU proposed by the authors to eliminate asymmetry in low voltage networks is described. The experiment was carried out with the help of SS to eliminate the asymmetry of the phase loads.

Keywords: Electricity quality, unbalanced load, electrical network overload, power and power losses, three-phase lines, balancing device

REFERENCES

- [1] GOST 32144-2013 «Normy kachestva jelektricheskoy jenerгии v sistemah jelektronsnabzhenija obshhego naznachenija» [Norms of quality of electric energy in general-purpose power supply systems].
- [2] Zhelezko Ju.S. Poteri elektroenergii. Reaktivnaja moshhnost'. Kachestvo jelektrenergii: Rukovodstvo dlja prakticheskikh raschetov [Loss of electricity. Reactive power. Quality of electricity: A guide for practical calculations]. – М.: JeNAS, 2009, p. 456.
- [3] Nauchno-issledovatel'skij otchet na temu «Povyshenie jeffektivnosti raspreditel'nyh jelektricheskikh setej i rezhimov raboty ih jelementov», ОАО «Severjelektro», obshhestvennyj fond «Energoberezhenie» [Research report on the topic "Improving the efficiency of distribution electrical networks and operating modes of their elements", ОАО "Severelectro", public fund "Energy Saving"]. Bishkek, 2013.
- [4] I.I. Kartashev, V.N. Tul'skij. Upravlenie kachestvom elektroenergii [Electricity Quality Management]. Publishing house MPEI, 2008.



Куржумбаева Роза Бейшенбековна - к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Сариев Бактыбек Имангазиевич - ст. преподаватель кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.



Абдиева Зарина
Эдильбековна - ст.
преподаватель кафедры
«Электроснабжение»
Кыргызского
государственного
технического университета
им. И. Раззакова.



Касмамбетов Хусеин
Талатбекович - ст.
преподаватель кафедры
«Электроснабжение»
Кыргызского
государственного
технического университета
им. И. Раззакова.