

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№12 2023

Направления:

**1.2.2. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**2.3.1. – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**2.3.3. – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**2.3.6. – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2023**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №12 2023г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2023. – 710 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvprt.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2023 г.

| | |
|---|-----|
| <i>О.В. Воркунов, В.В. Максимов, О.Е. Куракина, Л.В. Долманюк, Л.А. Глоткина, Г.И. Павлов, О.Р. Ситников</i> ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗОК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0.4 КВ | 450 |
| <i>О.В. Воркунов, Е.В. Яковлева</i> ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОГО РЕАКТОРА | 453 |
| <i>А.В. Вынга</i> ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ | 457 |
| <i>Л.Г. Гагарина, Ю.С. Шевнина, Е.В. Конюхов, П.М. Хвостик</i> РАЗГРАНИЧЕНИЕ ДОСТУПА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ | 460 |
| <i>Е.Н. Долженко, А.М. Петров, А.Н. Попов</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ДАННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ | 463 |
| <i>Н.Э. Доронина, Л.И. Медведева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НОРМАЛИЗАЦИИ ТРУБ В ПЕЧИ | 471 |
| <i>М.Г. Доррер, М.А. Шумилина, С.А. Подскребышев</i> СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ АППАРАТА СТОХАСТИЧЕСКИХ GERT-СЕТЕЙ | 475 |
| <i>А.Л. Езепчук, Т.И. Афанасьева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ТРАВ | 481 |
| <i>Зо Хейн, Е.М. Портнов, В.В. Кокин, А.М. Баин</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБМЕНОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ | 484 |
| <i>К.И. Козлов</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА | 488 |
| <i>Г.Е. Кокиева, Л.А. Дарбасова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КОРНЕПЛОДОВ | 491 |
| <i>А.К. Лайша, Е.А. Пичугин, И.В. Фомкин, М.С. Лисин, А.А. Туманов, А.Ю. Сизов</i> МОБИЛЬНАЯ МЕХАТРОННАЯ ПЛАТФОРМА ТЕПЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ | 494 |
| <i>Е.Н. Леонов</i> КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ИНДУСТРИИ 4.0 | 499 |
| <i>Н.Н. Мальчукова, Е.А. Басуматорова</i> АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ | 502 |
| <i>В.И. Мельников, И.С. Кадуев, Д.С. Салейкин, И.А. Мельников</i> ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ АКУСТОЗОНДОВОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СВОБОДНОГО ГАЗА (ПАРОСОДЕРЖАНИЯ) В ПОТОКЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ | 505 |
| <i>С.Г. Николаева, А.И. Халиулина, Р.Р. Набиев</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКУПКАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ | 510 |
| <i>О.А. Пырнова, Д.А. Ахметшин, Д.П. Никоноров</i> ГЕЙМИФИКАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ | 514 |
| <i>О.А. Пырнова, О.Е. Коврижных</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЯВКАМИ НА ОКАЗАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ | 518 |
| <i>О.А. Пырнова, Д.П. Никоноров, А.Ю. Шарифуллина</i> РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ПРОГРАММНОГО КОДА | 522 |
| <i>А.С. Разносчиков, А.В. Жданов, А. Саид</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОДДЕРЖЕК БЛОЧНОГО ТИПА НА ДЕФОРМАЦИЮ НАВИСАЮЩИХ ЧАСТЕЙ ДЕТАЛИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ | 526 |

2.3.3.

¹О.В. Воркунов, ¹В.В. Максимов, ¹О.Е. Куракина,
²Л.В. Долманюк, ¹Л.А.Глоткина, ³Г.И. Павлов, ³О.Р. Ситников

Казанский государственный энергетический университет,
¹кафедра «Электроэнергетические системы и сети»,
²кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»,
 Казанский национальный исследовательский технический университет
 им. А.Н. Туполева-КАИ,
³кафедра «Специальных технологий в образовании»,
 Казань, leonid-888@mail.ru, vorcunov_oleg@mail.ru, random_jj@mail.ru,
 viktor.maksimov.1968@mail.ru, glotkina_lyuba@mail.ru, pavlov16@mail.ru,
 halmer169990@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗОК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0.4 КВ

В данной статье исследуется влияние несимметричной нагрузки в электрических сетях напряжением 0.4 кВ на их электрические параметры. Для проведения исследования создан экспериментальный стенд участка сети напряжением 0,4 кВ. Для оценки влияния величины несимметрии рассчитан коэффициент обратной последовательности по напряжению.

Ключевые слова: качество электрической энергии, коэффициент обратной последовательности, несимметрия напряжений.

Для обеспечения электроэнергией потребителей третьей категории широко используются электрические сети (ЭС) напряжением 0.4 кВ. Однако, по сравнению с ЭС среднего и высокого класса напряжений они более подвержены влиянию несимметричной нагрузки вследствие особенностей системы электроснабжения[1]. В следствии возникновения несимметричного режима, ухудшаются основные показатели качества нормального режима работы ЭС. Согласно[2] для определения допустимых значений показателей качества электрической энергии в трехфазных линиях электропередачи, используется коэффициент несимметрии напряжений обратной последовательности K_{2U} .

Коэффициент несимметрии обратной последовательности по напряжению можно вычислить по формуле:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

где U_2 – напряжение обратной последовательности; U_1 – напряжение прямой последовательности трехфазной системы электроснабжения[3]. Эти значения можно вычислить по следующим формулам:

$$U_1 = \sqrt{\frac{a_2 + 6a_{22} - 3a_4}{6}}$$

$$U_{2(\%)} = \frac{1 - \sqrt{3 - 6\frac{a_4}{a_2^2}}}{1 + \sqrt{3 - 6\frac{a_4}{a_2^2}}} \cdot 100\%$$

где коэффициенты a_2 , a_4 , a_{22} введены для упрощения записи, для представления несимметричной системы в виде суммы межфазных напряжений для симметричной электрической системы:

$$a_2 = U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2$$

$$a_4 = U_{AB}^4 + U_{BC}^4 + U_{CA}^4$$

$$a_{22} = U_{AB}^2 \cdot U_{BC}^2 + U_{BC}^2 \cdot U_{CA}^2 + U_{CA}^2 \cdot U_{AB}^2$$

где U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – значения межфазных напряжений между соответствующими фазами (в литературе условно обозначаются A, B, C).

Если значение K_{2U} вычисленного по формуле (1) не превышает 2%, то согласно[2], оно считается нормально допустимым. При этом выполнять симметрирование нагрузки не требуется. При превышении значения K_{2U} выше 4%, оно считается выше предельно допустимого. При этом мероприятия по симметрированию нагрузки применять обязательно[4].

Для оценки влияния несимметричной нагрузки в электрических сетях напряжением 0,4 кВ на K_{2U} были проведены исследования с помощью экспериментальной модели (рис. 1). Она состоит из следующих блоков: трехфазный источник питания напряжением 0,4 кВ; трехфазная трансформаторная группа (соединение обмоток «звезда-звезда» с нулевым проводом, мощность $S = 80$ ВА) – моделируют трансформатор, связывающий электрическую систему с линией электропередачи; модель линии электропередачи (пределы изменения: активное сопротивление $R = 50$ Ом, индуктивное сопротивление $\frac{L}{R_L} = \frac{0,6 \text{ Гн}}{16 \text{ Ом}}$, емкость линии $C = 0,18 - 0,58$ мкФ); трехфазная трансформаторная группа (соединение обмоток «звезда-треугольник», мощность $S = 80$ ВА) – для моделирования понижающего трансформатора; блока активной нагрузки на каждую фазу (каждая может изменяться в диапазоне 0-30 Вт); два коммутатора измерителя мощностей, один из которых подключен между первым трансформатором и линией, а второй между вторым трансформатором и активной нагрузкой (коммутаторы позволяют без переборки схемы производить измерение потоков активной и реактивной мощностей в трех фазах комплексной нагрузки); двух измерителей параметров однофазной сети.

Созданная экспериментальная модель позволяет проводить исследования влияния несимметричной нагрузки в электрических сетях напряжением 0.4 кВ. Моделирование несимметричного режима работы осуществляется с помощью блока «активных нагрузок», который моделирует последовательное включение резисторного блока.

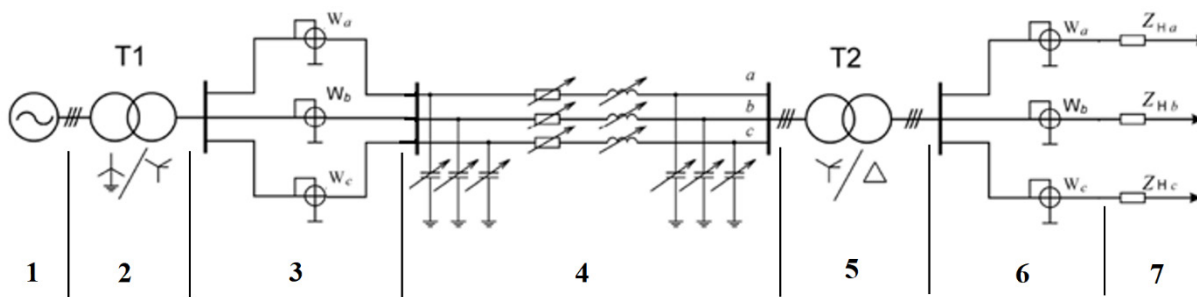


Рис. 1 - Экспериментальная модель

1 – трехфазный источник питания (0,4 кВ); 2 – трехфазная трансформаторная группа повышающего трансформатора; 3, 6 – коммутаторы измерителя мощности; 4 – модель линии электропередачи; 5 – трехфазная трансформаторная группа понижающего трансформатора; 6 – резисторный блок активных нагрузок.

Поскольку основной причиной появления несимметрии в электрических сетях 0,4 кВ является неравномерная нагрузка по фазам, для вычисления K_{2U} с помощью созданной экспериментальной модели были получены линейные значения фазных напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{AC} . Для этого активные нагрузки фаз A и C были установлены на 80% от их максимальной мощности, равной 30 Вт, а нагрузка фазы B изменялась от 0 до 100% (от значения максимальной мощности) с шагом 20 %. Для каждого шага были получены значения линейных напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{AC} представленные в табл. 1.

Таблица 1 - Экспериментальные значения напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{AC}

| U, В | Мощность, % | | | | | |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| U_{AB} | 109,2 | 110,6 | 115 | 120,7 | 126,3 | 131,5 |
| U_{BC} | 191,7 | 169,2 | 152 | 137,2 | 125,3 | 114,8 |
| U_{CA} | 109 | 111,9 | 116,3 | 121,5 | 126,5 | 131,1 |

С помощью формулы (1) используя метод симметричных составляющих был проведен математический расчет, найдены значения коэффициента K_{2U} для каждого значения активной мощности. Полученный результат представлен на рис. 2.

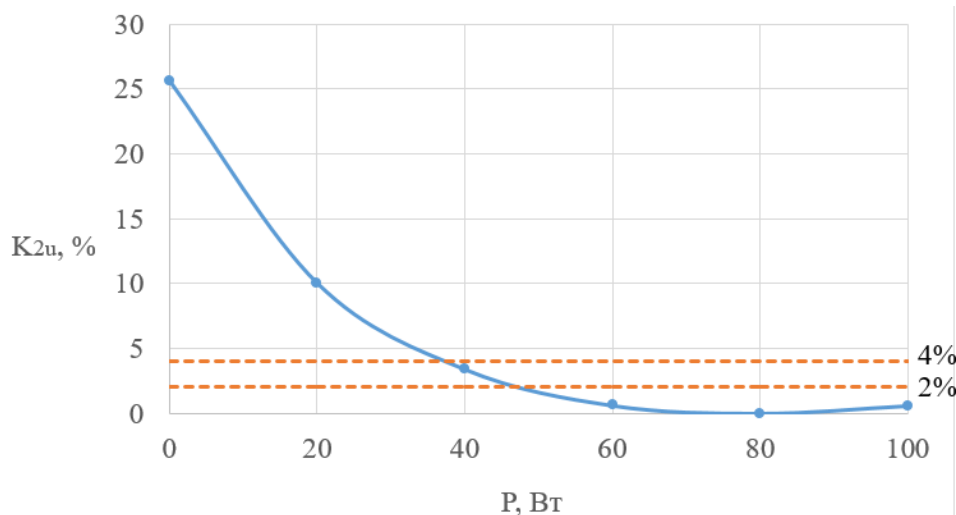


Рис. 2 – Зависимость значений K_{2U} для сети напряжением 0,4 кВ от мощности P при несимметричной нагрузке

Из графика видно, что зависимость K_{2U} от мощности нагрузки носит нелинейный характер. Чем больше разница нагрузок между фазами, тем больше коэффициент K_{2U} , что особенно заметно при минимальной нагрузке фазы В. Изменение нагрузки одной из фаз в пределах 20 % не оказывает существенного влияния на потери мощности в электрических сетях напряжением 0,4 кВ. Далее изменение мощности нагрузки дает более ощутимый эффект. Как видно из рис.1., при достижении значения активной мощности нагрузки равной 38% (12,6 Вт), значение коэффициента K_{2U} становится выше предельно допустимого (4%), а при 48% (14,4 Вт) становится ниже нормально допустимого (2%) значений.

Таким образом в результате проведенных исследований, с помощью созданного экспериментального стенда, установлено, что несимметричные фазные нагрузки оказывают значительное влияние на электрические параметры сети 0,4 кВ, приводя к неравномерному распределению напряжения и увеличению потерь мощности.

Список литературы

1. Куок Кьонг Л., Маклецов А.М., Альзаккар А. Разработка алгоритма симметрирования нагрузок в сетях 0,4 кВ при распределенной нагрузке вдоль линии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 2. – С. 87-97.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Руди Д.Ю. Исследование коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в распределительных сетях низкого напряжения // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы VI Международной научной конференции – Санкт-Петербург: Свое издательство. – 2018. – С. 38-44.
4. Орлов А.И., Волков С.В., Савельев А.А. Анализ влияния устройства выравнивания нагрузки на показатели несимметрии электрической сети // Вестник Чувашского университета. – 2016. – № 3. – С. 100-108.