ВЫЯВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА ФЛИКЕРА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Бирюлин¹ В.И., Куделина² Д.В., Ларин³ О.М.

^{1,2,3}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

ORCID¹: 0000-0002-1681-184X, bir1956@mail.ru, ORCID²: 0000-0003-2304-9547,

mary_joy@mail.ru, ORCID³: 0000-0002-6436-997X, larin77@mail.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. Рассмотреть вопросы, связанные с изучением способов определения источников, нарушения качества электрической энергии в системах электроснабжения, в частности потребителей, создающих быстрые изменения напряжения или же колебания напряжения, создающих быстрые изменения светового потока в установках электрического освещения. Показать, что электроприемники с резко переменным режимом работы являются источниками колебаний потребляемого тока и напряжения в электрической сети систем электроснабжения, что в свою очередь проявляется в виде недопустимых значений одного из показателей качества электроэнергии – фликера, определяемого как субъективное восприятие колебаний светового потока осветительных приборов. Изучить возможности определения мест возникновения значительных колебаний напряжения, без применения дорогостоящих и сложных приборов для измерения значений фликера в электрической сети. Разработать упрощенный метод для определения мест нахождения потребителей электроэнергии, негативно влияющих на работу систем электрического освещения и в конечном итоге на зрение персонала. Провести проверку на компьютерной модели упрощенного метода определения мест возникновения недопустимых по своей величине колебаний напряжения, выражающихся в появлении значительных доз фликера, превышающих нормативные значения. МЕТОДЫ. При решении поставленной задачи использовалась компьютерная модель, созданная в пакете расширения Simulink системы научно-технических расчетов Matlab. РЕЗУЛЬТАТЫ. В статье описана актуальность темы, рассмотрены вопросы качества электроэнергии в системах электроснабжения. Показано с использованием экспериментальных данных, что в электрических сетях возникает превышение нормативных значений доз фликера. Рассмотрена возможность использования для определения источников недопустимых доз фликера интергармонических составляющих сетевого напряжения. Приведен упрощенный способ нахождения источников фликера на основе получения значений производных токов в различных точках электрической сети. Выполнено компьютерное моделирование схемы электрической сети с электроприемниками, имеющими как спокойный, так и резко переменный характер работы. Показано, что использование значений производных тока в различных точках электрической сети позволяет выявлять источники возникновения недопустимых доз фликера. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Возникновение значительных быстрых изменений напряжения в электрической сети негативно влияют на зрение, что неизбежно сопровождается повышенной утомляемостью персонала и может привести к производственному травматизму. Результаты, полученные авторами статьи, показывают, возможность использования для определения мест возникновения больших колебаний напряжения, проявляющихся в недопустимых дозах фликера производных токов. Это следует учитывать при проведении обследований систем электроснабжения, чтобы использовать довольно простые аппаратные средства для выявления источников нарушения качества электрической энергии.

Ключевые слова: качество; напряжение; ток; электроэнергия; колебания напряжения; фликер; переменная нагрузка.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках поддержанного ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» гранта в соответствии со стратегией развития университета (Приоритет-2030).

Для цитирования: Бирюлин В.И., Куделина Д.В., Ларин О.М. Выявление источника фликера в системах электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 3-12. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-12.

IDENTIFICATION OF THE FLICKER SOURCE IN THE POWER SUPPLY SYSTEMS

VI. Biryulin¹, DV. Kudelina², O.M. Larin³

^{1,2,3}Southwest State University, Kursk, Russia

ORCID¹: 0000-0002-1681-184X, bir1956@mail.ru, ORCID²: 0000-0003-2304-9547,

mary_joy@mail.ru, ORCID³: 0000-0002-6436-997X, larin77@mail.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* To consider issues related to the study of methods for determining the sources of violations of the quality of electrical energy in power supply systems, in particular consumers which create rapid voltage changes or voltage fluctuations that create rapid changes in the luminous flux in electric lighting installations. Show that electrical receivers with a sharply variable operating mode are sources of fluctuations in the consumed current and voltage in the electrical network of power supply systems, which in turn manifests itself in the form of unacceptable values of one of the indicators of the quality of electricity - flicker, defined as the subjective perception of fluctuations in the luminous flux of lighting devices. To study the possibilities of determining the places of occurrence of significant voltage fluctuations without the use of expensive and complex instruments for measuring flicker values in the electrical network. To develop a simplified method for determining the locations of electricity consumers that negatively affect the operation of electric lighting systems and, ultimately, the vision of personnel. Conduct a check on a computer model of a simplified method for determining the places of occurrence of voltage fluctuations that are inadmissible in their magnitude, which are expressed in the appearance of significant doses of flicker that exceed the standard values. *METHODS.* Solving the problem, a computer model was used, created in the Simulink extension package of the Matlab scientific and technical calculation system. *RESULTS.* The article describes the relevance of the problem, discusses the quality of electricity in power supply systems. It has been shown using experimental data that in electrical networks there is an excess of the standard values of flicker doses. The possibility of using interharmonic components of the mains voltage to determine the sources of unacceptable doses of flicker is considered. A simplified method for finding flicker sources based on obtaining the values of the derivatives of currents at various points of the electrical network is presented. Computer simulation of an electrical network diagram with electrical receivers, which have both calm and sharply variable nature of work, has been performed. It is shown that the use of the values of the derivatives of the current at various points of the electrical network makes it possible to identify the sources of the occurrence of unacceptable doses of flicker. *CONCLUSION.* The occurrence of significant rapid voltage changes in the electrical network negatively affects vision, which is inevitably accompanied by increased personnel fatigue and can lead to industrial injuries. The results obtained by the authors of the article show that it is possible to use it to determine the places of occurrence of large voltage fluctuations, which are manifested in unacceptable doses of flicker of the derivatives of currents. It should be taken into account when conducting surveys of power supply systems in order to use fairly simple hardware to identify sources of disturbance in the quality of electrical energy.

Keywords: quality; voltage; current; electricity; voltage fluctuations; flicker; variable load.

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of a grant supported by the South-West State University in accordance with the university development strategy (Priority-2030) №ПР2030/2021-23.

For citation: Biryulin VI, Kudelina DV, Larin OM. Identification of the flicker source in the power supply systems. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021; 23(5): 3-12. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-12.

Введение

В настоящее время электрическая энергия является товарной продукцией, производимой для ее реализации потребителям. Следовательно, при поставке

электроэнергии потребителям должны соблюдаться утвержденные нормы качества электрической энергии, так как только при использовании электроэнергии надлежащего качества создаются нормальные условия работы различного электрического оборудования и электроприемников.

Само же качество электроэнергии устанавливается как степень соответствия определенных характеристик электроэнергии в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц [1]. Данные точки находятся на линии разделения поставщиков и потребителей электроэнергии по признаку собственности.

Нормативные значения данных показателей устанавливаются для параметров напряжения электрической сети [1, 2]. Эти параметры в системах электроснабжения постоянно изменяются в результате проявления различных факторов, например, суточных или сезонных изменений электрических нагрузок потребителей электроэнергии, возникновения электромагнитных помех при включении и отключении электрооборудования, также других причин, описанных в различных источниках, например [2, 3].

Одним из факторов нарушения качества электроэнергии являются колебания напряжения в электрической сети. Эти колебания неблагоприятно влияют на работу электроприемников, особенно на осветительные установки, вызывая у них быстрые изменения светового потока, воспринимаемые человеком в виде мерцания света, это явление называется фликером. Фликер вызывает у человека утомление, в связи, с чем возникает увеличение брака продукции и травматизма на производстве [4 - 6].

Превышение допустимых значений кратковременной и длительной доз фликера возникает в электрических сетях с той или иной степенью повторяемости. На ниже приведенных рисунках 1 и 2 показаны суточные графики изменения показателей качества электроэнергии, относящихся к фликеру.

В различных источниках указывается, что появление значительных доз фликера связано, прежде всего, с наличием в составе потребителей электроприемников с резко переменным режимом [4-9]. Большое внимание проблеме возникновения больших доз фликера уделяется и в зарубежных источниках, что показывает значительную актуальность данной проблемы [10-15]. Выявление потребителей электроэнергии, создающих значительные колебания напряжения, может производиться приборами, предназначенными для измерений показателей качества электроэнергии. Но такие приборы имеют довольно высокую стоимость, что делает задачу разработки сравнительно простых средств определения мест возникновения фликера достаточно привлекательной и практически значимой.

Рис. 1. Суточный график кратковременной дозы фликера

Fig. 1. Daily schedule of a short-term dose of flicker

Рис.2. Суточный график длительной дозы фликера Fig. 2. Long-term dose flicker daily schedule

Сравнительно недавно в состав показателей качества электроэнергии введены интергармонические составляющие сетевого напряжения [1, 2], которые имеют частоту выше значения номинальной частоты 50 Гц, но не кратны ей целым числом, в отличие от высших гармоник. Появление этих составляющих вызывается электрическими нагрузками, быстро изменяющими потребление мощности из электрической сети [16]. Это обстоятельство наводит на мысль использовать для выявления источников колебаний на появление интергармонических составляющих сетевого напряжения.

Таблица

Значения интергармонических составляющих напряжения

Дата	Время	Интергармонические составляющие				
		$K_{UB\ ig(1)}$	$K_{UB\ ig(2)}$	$K_{UB\ ig(3)}$	$K_{UB\ ig(4)}$	$K_{UB\ ig(5)}$
20.08.20	17:50	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
20.08.20	18:00	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
20.08.20	18:10	0,12	0,04	0,02	0,02	0,02
20.08.20	18:20	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
20.08.20	18:30	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03
20.08.20	18:40	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03
20.08.20	18:50	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02

Для рассмотрения такой возможности обратимся к численным результатам измерений показателей качества электрической энергии на том же энергетическом объекте, для которого выше приведены графики изменения кратковременной и длительной доз фликера. Приведем в табл.1 полученные результаты измерений наибольших интергармонических, составляющих напряжения фазы В, усредненных за 10 минут, полученные в интервал времени, включающий в себя возникновение нарушения

Из этой таблицы видно, что между значениями фликера и интергармонических составляющих имеется взаимосвязь, что можно использовать для поиска мест возникновения недопустимых значений фликера. Но, аппаратная реализация такого устройства регистрации интергармоник требует использования фильтров различных частот с высоким уровнем добротности, чтобы обеспечить высокую селективность выявления интергармоник.

Поэтому для определения дозы фликера предлагаются различные способы. Так, авторы работы [4] предлагают выполнять расчет дозы фликера по следующему алгоритму:

- выполнение расчета графика электрических нагрузок отдельных электроприемников (авторы данной статьи рассматривали электроприводы);
- проведение расчета группового графика электрических нагрузок;
- осуществление расчета графика напряжения электрической сети;
- определение размахов напряжения электрической сети;
- выполнение расчета дозы фликера.

При проведении этих расчетов используется представление графиков активной $P(t)$ и реактивной $Q(t)$ мощностей ретчататыми моделями, интерполируемыми сплайн-функциями первой степени, имеющими следующий вид:

$$P(t) = \sum_i^{n-1} \sum_{t=t_i}^{t=t_{i+1}} \left(\frac{t_{i+1}-t}{t_{i+1}-t_i} \cdot P_{t_i} + \frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i} \cdot P_{t_{i+1}} \right), \quad (1)$$

где n – число циклов, измеренных в результате опыта; t_i – момент появления i -го экстремума; t_{i+1} – момент появления $(i+1)$ -го экстремума; P_{t_i} , $P_{t_{i+1}}$ – значение активной нагрузки в точке экстремума в момент времени t_i и t_{i+1} соответственно.

Дозу фликера авторы рассматривают как случайную величину, которая характеризуется основными числовыми характеристиками: математическим ожиданием $M[P_{sti}]$ и дисперсией $D[P_{sti}]$ для каждого момента времени t_i . Сами же величины математического ожидания $M[P_{st10}]$ и дисперсии $D[P_{st10}]$ кратковременной дозы фликера за интервал времени, равный 10 минут, как определяется нормативными документами в этой статье предлагается вычислять по следующим формулам:

$$M[P_{st10}] = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n [M^3[P_{sti}] + 3 \cdot (M[P_{sti}] \cdot D[P_{sti}])]}. \quad (2)$$

$$D[P_{st10}] = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{1}{3} \cdot \left[M^3[P_{sti}] - \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot M[P_{sti}]^2 \right]^2 \right) + D[P_{sti}] \right]. \quad (3)$$

Проведение расчетов дозы фликера по этому алгоритму требует проведения большой подготовительной работы по получению исходной информации для проведения расчетов. Это не позволяет реализовать данный подход для выполнения обследований электрической сети системы электроснабжения с целью выявления источников больших доз фликера за ограниченный период времени.

Авторы работы [5] предлагают определять значение дозы фликера электрических сетей, к которым подключаются дуговые сталеплавильные печи, на основе значений плотности распределения вероятности колебаний напряжения. Эти расчеты должны выполняться по таким исходным данным, как сопротивление системы в месте подключения, номинальное напряжение рассматриваемой электрической сети, мощность печного трансформатора и номинальный ток печи.

Данная методика имеет ограниченную область применения, так как для ее использования необходимо проводить сбор исходной информации и проведение последующих расчетов, что не подходит для проведения инструментальных обследований электрических сетей систем электроснабжения.

Таким образом, проблема создания достаточно простых аппаратных средств, позволяющих проводить с высокой производительностью обследования электрических сетей, не привлекая для этого большое количество дорогостоящего измерительного оборудования.

Материалы и методы

Приведенные выше результаты измерений показывают, что в момент превышения норм фликера значения интергармонических составляющих возрастают по сравнению с моментами времени, когда фликер отсутствует, что теоретически может использоваться для поиска мест возникновения недопустимых значений фликера. Но на практике для выполнения этой цели потребуется разработка и применение технического устройства, содержащего большое количество частотных фильтров для выполнения одновременного измерения составляющих сетевого напряжения различных частот. Такое техническое решение неизбежно приведет к большой схемной сложности регистрирующей аппаратуры и в конечном итоге довольно высокой стоимости.

Стоит также учитывать, что применение напряжения в качестве информативного параметра не всегда может оказаться успешным. Рассмотрим пример определения дозы фликера в точке передачи электрической энергии от поставщика (энергоснабжающей организации) к потребителю. Используем для этой цели схему приведенную на рисунке 3, на которой приведена довольно простая система электроснабжения, включающая энергоснабжающую организацию с потенциальным источником фликера А, точку передачи электроэнергии ТПЭ и электрическую сеть потребителя с двумя электроприемниками Р1 и Р2, один из которых – Р1 представляет нагрузку, создающую быстрые изменения напряжения, служащие причиной недопустимой дозы фликера.

Рис. 3. Схема простой системы электроснабжения

Fig. 3. Diagram of a simple power supply system

Предположим, что в точке передачи электроэнергии устанавливаются приборы для контроля показателей качества электроэнергии, в том числе и дозы фликера. Примем в качестве первого случая, что электроприемник P1 не работает в рассматриваемый момент времени, а потенциальный источник фликера A, входящий в состав энергоснабжающей организации создает недопустимо большую дозу фликера, которую фиксируют приборы, установленные в точке передачи электроэнергии. Перейдем ко второму случаю – источник фликера A1 не создает большой дозы фликера в рассматриваемый момент времени, а электроприемник P1 вызывает значительные колебания напряжения и в итоге – недопустимую дозу фликера.

Как в первом, так и во втором случае использование в качестве исходной информации значений напряжений в точке передачи электрической энергии не позволяет сделать однозначный вывод о том, где же находится источник фликера. Можно использовать для выявления расположения источника фликера дополнительную информацию, но это потребует неизбежного усложнения устройства контроля.

Например, наличие интергармонических составляющих в напряжении электрической сети само по себе не слишком информативно. Но, можно применить дополнительно фильтры для выделения из тока, протекающего от поставщика к потребителю, интергармонических составляющих и последующего нахождения фазовых углов между напряжениями интергармоник и соответствующими им токами. На основе такой информации уже можно делать выводы о месте расположения источника фликера.

Предположим, что токи интергармоник имеют фазовые углы, при которых данные тока имеют направления от энергоснабжающей организации к электрической сети потребителя. Для этого случая можно делать однозначный вывод – источник недопустимой дозы фликера находится в электрической сети энергоснабжающей организации и происходит поставка некачественной электроэнергии. В противоположном случае, когда токи интергармоник имеют направление от электрической сети потребителя к энергоснабжающей организации недопустимая доза фликера создается электроприемниками потребителя.

Рассмотрим возможность применения более простого способа поиска источника возникновения колебаний напряжения в электрической сети с использованием операций дифференцирования токов в электрической сети.

Применение этого способа основывается на высокой скорости изменения потребляемой мощности и тока электроприемником, работающим в резко переменном графике нагрузки. Для проверки возможности данного предложения произведем компьютерное моделирование работы простой схемы, содержащей два электроприемника, приведенной ниже на рисунке 4.

Рис. 4. Схема простейшей исследуемой электрической сети

Fig. 4. Diagram of the simplest electrical network under study

Схема, приведенная на рисунке 4, содержит две нагрузки или электроприемника. Нагрузка R_1 моделирует электроприемник с резко переменным режимом работы, а R_2 – со спокойным режимом работы. Исходя из этого, суммарный ток I будет содержать следующие составляющие I_1 – ток резко переменной нагрузки, I_2 – ток спокойной нагрузки. Проведение измерений производных токов I и I_2 , можно выполнять с помощью хорошо

известных схем дифференцирования входного сигнала, рассмотренных во многих источниках, что позволит в случае наличия большой разницы в полученных значениях производных токов осуществить локализацию места возникновения колебаний напряжения – источника недопустимой дозы фликера.

Для исследования данной схемы авторами статьи была создана компьютерная модель с использованием пакета визуального программирования *Simulink*, входящего в состав системы научно-технических расчетов *MatLab*. Эта модель представлена на рисунке 5.

Данная модель реализует однофазную схему в соответствии с рис.4. Она содержит два блока нагрузки - *Load1* (резко переменный характер работы), *Load2* (спокойный характер работы). Ток, потребляемый этими нагрузками, измеряется блоками *Tok I1*, *Tok I2*. Суммарный ток этих двух нагрузок измеряется блоком *Tok I*, и для этого тока определяется производная блоком *Derivative1*. Измерительные блоки *Tok I21* и *Derivative2* используются для определения производной тока нагрузки *Load2* (или *R2* согласно схеме, приведенной на рисунке.3). Численные значения измеренных величин выводились на соответствующие дисплеи.

Рис. 5. Компьютерная модель простейшей исследуемой электрической сети

Fig. 5. Computer model of the simplest electrical network under study

Резко переменный режим работы нагрузки *Load1* создавался при помощи блока выключателя *Breaker*, периодически подключающего и отключающего эту нагрузку от электрической сети. Управление этим блоком осуществлялось от импульсного генератора *Pulse Generator*, параметры работы которого устанавливаются при моделировании.

Результаты

Значения контролируемых токов и производных, полученных при работе компьютерной модели, приведены на дисплеях. Для большей наглядности эти значения дополнительно рассмотрим в тексте статьи. Итак, получены следующие величины производных:

- суммарный ток двух нагрузок имеет значение производной, равное 620,4 (блок *dI/dt*);
- ток нагрузки со спокойным режимом имеет значение производной, равное 413,6 (блок *dI2/dt*).

Данные результаты показывают, что наличие нагрузки с резко переменным режимом работы приводит к тому, что в разных точках системы электроснабжения потребителей значения производных тока оказываются различными, что может служить основой для выявления мест расположения источников фликера.

Обсуждение

Для оценки места расположения источников фликера могут применяться различные способы, но большая часть их требует сложной и дорогостоящей аппаратуры. Между тем, для проведения обследований протяженных систем электроснабжения необходимо одновременное использование большого количества такой аппаратуры, что делает такие обследования дорогостоящими и практически не выполнимыми.

Если использовать достаточно простые устройства, позволяющие определять значения производных токов в разных точках электрической сети, то в этом случае можно выделять с той или иной степенью точности примерное расположение электроприемников,

создающих при своей работе значительные быстрые изменения напряжения, связанные с быстрыми изменениями тока, потребляемого этими приемниками электрической энергии из питающей сети.

Данные устройства не требуют определения большого количества параметров электрической сети (например, токов и напряжений интергармоник), имеют достаточно простую схемную реализацию и, следовательно, невысокую стоимость, что позволит применять такие устройства в достаточно большом количестве. Это обстоятельство должно обеспечить успешный поиск источников больших доз фликера и одновременно избежать применения большого количества сложной и дорогостоящей измерительной аппаратуры.

Заключение

Предложенный способ регистрации колебаний напряжения в электрических сетях позволяет сравнительно простыми аппаратными средствами достаточно точно определять электроприемники или электрооборудование, служащие причинами возникновения превышающих допустимые значения доз фликера. Также такой способ позволяет устанавливать, где именно возникают большие колебания напряжения – в электрических сетях энергоснабжающей организации или в сетях потребителя по значениям производной тока нагрузки.

Это позволяет принимать обоснованные решения как энергоснабжающей организации, так и потребителям по снижению колебаний напряжения и повышению качества электроэнергии, что в конечном итоге должно обеспечивать положительный эффект из-за уменьшения негативных последствий, возникающих при нарушениях качества электроэнергии.

Литература

1. Коверникова Л.И., Суднова В.В., Шамонов Р.Г. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению. Новосибирск: Наука, 2017. 219 с.
2. Коверникова Л.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Н. Качество электроэнергии в ЕЭС России: Текущие проблемы и необходимые решения // Электроэнергия: Передача и распределение. 2016. № 2(35). С. 28–38.
3. Дед А.В., Сикорский С.П., Смирнов П.С. Результаты измерений показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий и организаций // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 60–64.
4. Черепанов В.В., Калинина Е.А. Расчет кратковременной дозы фликера, возникающей при стохастическом характере изменения электрических нагрузок // Фундаментальные исследования. 2016. № 11-5. С. 960-967. Доступно по URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41284> Ссылка активна на: 19.05.2021.
5. Корнилов, Г.П., Баранкова, И.И., Лукьянов, Г.И., Карякин А.Л. Расчет кратковременной дозы фликера в электрических сетях предприятий // Электротехнические системы и комплексы. 2019. №3. С.10-15.
6. Лисицкий К.Е. Совершенствование методов и средств оценки фликера при использовании источников света с разной чувствительностью к колебаниям напряжения в электрической сети // Известия высших учебных заведений, проблемы энергетики. 2018. Т.20. №5-6. С.55-66.
7. Лисицкий К.Е. Совершенствование средств оценки и методов нормализации фликера при использовании источников света с различной чувствительностью к колебаниям напряжения в электрической сети // Промышленная энергетика. 2018. № 10. С. 15-21.
8. Булатов Ю.Н., Крюков А.В. Устранение фликера в сетях с установками распределенной генерации на основе согласованно настроенных регуляторов // Системы Методы Технологии. 2017. N4 (36). С.108-114.
9. Гапиров Р.А., Осипов Д.С. Нормирование интергармоник как показателя качества электроэнергии в России и за рубежом // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. Доступно по URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=15253>. Ссылка активна на: 14.05.2021).
10. Пономарев В.А., Моделирование электрической дуговой печи и влияние фликера на качество электроэнергии // Электроцех. 2018. №12. С. 10-12.
11. Bątkiewicz-Pantula M. Elimination of disruption on the example of flicker, 2017, Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE); 25-30 June; Koscielisko, Poland: IEEE, 2017.
12. Bątkiewicz-Pantula M. The algorithm for determining the coefficient of flicker on the example of a wind power plant, Electronics Computers and Artificial Intelligence (ECAI) 2018 10th International Conference on. 2018. pp. 1-6.
13. Maksić M., Papić I., Blažić B. «Simple Continuous Assessment of Transmission-Network Flicker Levels Caused by Multiple Sources», IEEE Transactions on Power Delivery.

2016. V.31. Issue 6. pp. 1-6.

14. Chang G.W., Lu H. J., Chuang C.S. An accurate hybrid intelligent approach for forecasting flicker severity caused by electric arc furnaces, *Elect. Power Syst. Res.* 2015. V. 121. Apr. 2015. Chia-Yi, Taiwan: National Chung Cheng University, 2015. pp. 101-108.

15. George Cristian Lazaroiu, Nicolae Golovanov, Luminita Elefterescu, et al. «Assessment of flicker perturbations in power systems with multiple disturbing consumers», *Harmonics and Quality of Power (ICHQP) 2018 18th International Conference on*, pp. 1-6, 2018.

16. Li F., Gao Y., Cao Y. and Iravani R. «Improved teager energy operator and improved chirp-Z transform for parameter estimation of voltage flicker», *IEEE Trans. Power Del.* 2016. V. 31. №. 1. pp. 245-253.

17. Сендерович Г.А., Дьяченко А.В. Актуальность определения ответственности за нарушение качества электроэнергии по показателям колебаний напряжения // *Электротехника и Электромеханика*. 2016. №2. С.54–60.

18. Дворкин Д.В., Силаев М.А., Тульский В. Н. [и др.]. Проблемы оценки вклада потребителя в искажение качества электроэнергии // *Электричество*. 2017. № 7. С. 12–19.

Авторы публикации

Бирюлин Владимир Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения Юго-Западного государственного университета.

Куделина Дарья Васильевна – канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения Юго-Западного государственного университета.

Ларин Олег Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения Юго-Западного государственного университета.

References

1. Kovernikova LI, Sudnova VV, Shamonov RG. *Kachestvo elektricheskoy energii: sovremennoe sostoyanie, problemy i predlozheniya po ih resheniyu*. Novosibirsk. Nauka; 2017.

2. Kovernikova LI, Tul'sky VN, Shamonov RN. Electricity quality in the UES of Russia: Current problems and necessary solutions. *Electricity: Transmission and distribution*. 2016; 2 (35):28–38.

3. Dedov AV, Sikorskiy SP, Smirnov PS. Results of measurements of power quality indicators in power supply systems of enterprises and organizations. *Omsk Scientific Bulletin*. 2018; 2 (158):60–64. doi: 10.25206/1813-8225-2018-158-60-64.

4. Cherepanov VV, Kalinina EA. Calculation of the short-term dose of flicker arising from the stochastic nature of the change in electrical loads. *Fundamental research*. 2016; 5(11): 960-967.

5. Kornilov GP, Barankova II, Lukyanov GI, Karyakin AL Calculation of the short-term dose of flicker in the electrical networks of enterprises. *Electrotechnical systems and complexes*. 2019; 3:10-15. doi: 10.18503/2311-8318-2019-3(44)-10-15.

6. Lissitzky KE. Improvement of methods and means for assessing flicker when using light sources with different sensitivity to voltage fluctuations in the electrical network. *News of higher educational institutions, energy problems*. 2018; V.20; 5-6: 55-66.

7. Lissitzky KE. Improvement of assessment tools and methods of flicker normalization when using light sources with different sensitivity to voltage fluctuations in the electrical network. *Industrial energy*. 2018; 10: 15-21.

8. Bulatov YuN, Kryukov AV. Elimination of flicker in networks with distributed generation installations based on coordinated controllers. *Systems Methods Technologies*. 2017; 4(36):108-114. doi: 10.18324 / 2077-5415-2017-4-108-114.

9. Gapirov RA, Osipov DS. Standardization of interharmonics as an indicator of the quality of electricity in Russia and abroad. *Modern problems of science and education*. 2014; 5. Available at: URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=15253>. Access to: 19.05.2021.

10. Ponomarev VA. Simulation of an electric arc furnace and the influence of flicker on the quality of electricity. *Electrical shop*. 2018; 12:10-12.

11. Bałkiewicz-Pantula M. Elimination of disruption on the example of flicker, 2017, *Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*; 25-30 June; Koscielisko, Poland: IEEE, 2017. doi: 10.1109 / PAEE.2017.8009000.

12. Marta Bałkiewicz-Pantula. The algorithm for determining the coefficient of flicker on the example of a wind power plant, *Electronics Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 10th International Conference; 28-30 June; Lasi, Romania: IEEE, 2018. pp. 1-6. 2018. doi: 10.1109 / ECAI.2018.8679059.

13. Maksić M, Papić I, Blažič B. Simple Continuous Assessment of Transmission-Network Flicker Levels Caused by Multiple Sources, *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2016;31(6):2546–2552. doi: 10.1109/TPWRD.2015.2502984.

14. Chang G.W, Lu HJ, Chuang CS. An accurate hybrid intelligent approach for forecasting flicker severity caused by electric arc furnaces, *Elect. Power Syst. Res.* 2015;121:101-108. Apr. 2015. Chia-Yi, Taiwan: National Chung Cheng University. doi: 10.1016/j.epsr.2014.12.007.

15. Lazaroiu GC, Golovanov N, Elefterescu L, Roscia M, Zaninelli D. Assessment of flicker perturbations in power systems with multiple disturbing consumers, *Harmonics and Quality of Power (ICHQP) 2018 18th International Conference*. 2018. pp. 1-6. doi: 10.1109 / ICHQP.2018.8378847.

16. Li F, Gao Y, Cao Y, Iravani R. Improved teager energy operator and improved chirp-Z transform for parameter estimation of voltage flicker, *IEEE Trans. Power Del.* 2016;31:245-253. Feb. doi: 10.1109/TPWRD.2015.2448943.

17. Senderovich GA, Dyachenko AV. Relevance of determining responsibility for violation of the quality of electricity by indicators of voltage fluctuations. *Electrotechnics and Electromechanics*. 2016; 2:54–60.

18. Dvorkin DV, Silaev MA, Tulskey VN, et al. Problems of assessing the consumer's contribution to the distortion of the quality of electricity. *Electricity*. 2017; 7:12–19. doi: 10.24160 / 0013-5380-2017-7-12-19.

Authors of the publication

Vladimir I. Biryulin – Southwest State University. Email: bir1956@mail.ru.

Daria V. Kudelina – Southwest State University. Email: mary_joy@mail.ru.

Oleg M. Larin – Southwest State University. Email: larin77@mail.ru.

Получено

13.10.2021г.

Отредактировано

21.10.2021г.

Принято

21.10.2021г.