

УДК 621.31

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/33>

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

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

THE QUALITY OF ELECTRICITY AND THE EFFECT OF ELECTRICITY ON THE OPERATION OF ELECTRIC RECEIVERS

©Turduev I., ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-code: 1247-0259,
Ph.D., Osh Technological University named by M.M. Adyshev,
Osh, Kyrgyzstan, ilyaz_turduev@mail.ru

Аннотация. Рассматривается как в том или в ином виде электроприемника вызывается несинусоидальность, несимметрия, колебания и отклонения напряжения. А также как электроприемник отвечает требованиям определяемого технологического процесса в промышленности.

Abstract. This article examines how non-sinusoidality, asymmetry, voltage fluctuations and deviations are caused in one form or another of an electric receiver. And also, how the electric receiver meets the requirements of the defined technological process in industry.

Ключевые слова: качество электроэнергии, несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжения, колебание и отклонения напряжения, электроприемник, конденсаторные батареи, высшие гармоники, электрические машины.

Keywords: power quality, non-sinusoidal voltage, voltage asymmetry, voltage fluctuation and deviation, electric receiver, capacitor banks, higher harmonics, electric machines.

Качество электроэнергии — это соответствие основных параметров энергетической системы установленным нормам производства, передачи и распределения электроэнергии. Характеристика качества электроэнергии выражается отклонениями напряжения и частоты, колебаний напряжений и частоты, коэффициентами несинусоидальности и несимметрии напряжения. Электромагнитная обстановка, создаваемая некоторыми наиболее интенсивными источниками помех, показана на Рисунке. На этом рисунке сеть иллюстрируется четырьмя вертикальными линиями, каждую из которых можно рассматривать как канал, по которому кондуктивные помехи, характеризующиеся показателями качества электроэнергии вида δU , K_U , K_{2U} , δU_t , проникают в сеть и распространяются по ней. Из Рисунка видно, что в большинстве случаев электроприемника, представляющий собой источник искажения по одному или нескольким видам показателя качества электроэнергии, оказывается восприимчивым к тем же помехам. При этом большинство электроприемников являются одновременно и источниками искажения напряжения и помеховосприимчивыми устройствами. Однако уровень вносимых помех и уровень помехоустойчивости могут существенно различаться, хотя эти величины нормируются [1–5].

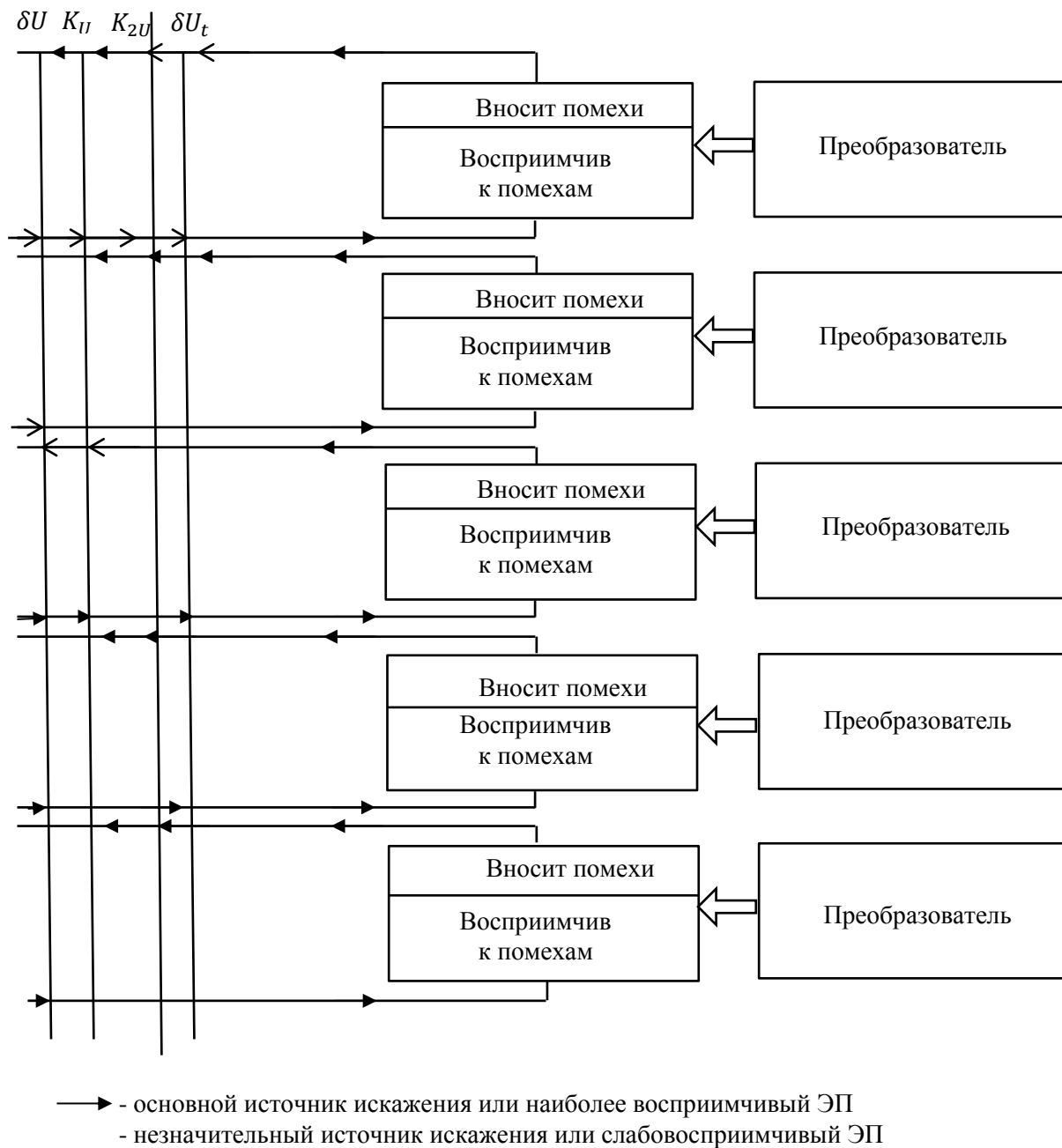


Рисунок. Электромагнитная обстановка, создаваемая некоторыми источниками помех

Некоторые электроприемники вносят искажение в установившихся режимах работы (Таблица 1), а другие — только в пусковых и регулируемых режимах (Таблица 2). Получить представление электроприемников в системе электроснабжения, при отклонении напряжений и частоты, несунисоидальности и несимметрии напряжении и токов, которые влияют на потери мощности и электроэнергии в электрических сетях. Существуют технические, технологические и коммерческие потери: технические потери ΔW_T , потери, обусловленные расходом на собственные нужды подстанций $W_{С.Н.}$, и потери $W_{изм}$, обусловленные инструментальными погрешностями измерения; коммерческие потери, разность $\Delta W_K = \Delta W - \Delta W_T - W_{С.Н.} - W_{изм}$, представляют собой результат воздействия «человеческого фактора» и включают в себя потери из-за хищения электроэнергии; в технологических потерях происходит потери обусловленные отклонениями режимов работы

электрооборудования и измерительных приборов от номинальных или нормируемых. Один из фактор отклонения режимов является ухудшенное качество электроэнергии. Дополнительные технические потери в сети при несинусоидальности менее 5% незначительны, а при возрастании коэффициента K_U до 7–15% потери от высших гармоник могут достигать 10–12%.

Таблица 1

ИСТОЧНИКИ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ,
СОЗДАЮЩИЕ ПОМЕХИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

<i>Потребитель электроэнергии</i>	<i>Помехи</i>
Целлюлозно-бумажная промышленность	Отклонение напряжения
Предприятие со сварочными установками	Отклонения, колебания, несимметрия напряжения
Предприятие с дугowymi сталеплавильными печами	Отклонения, колебания, несинусоидальность, несимметрия напряжения
Предприятие цветной металлургии	Отклонения, колебания, несинусоидальность напряжения
Предприятие с однофазными электроприемниками	Отклонения, несимметрия напряжения
Тяговые подстанции	Отклонения, несинусоидальность, несимметрия напряжения

Таблица 2

ИСТОЧНИКИ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ,
СОЗДАЮЩИЕ ПОМЕХИ В ПУСКОВЫХ РЕЖИМАХ

<i>Электроприемник</i>	<i>Режим работы</i>
Несинусоидальность напряжения	
Электродвигатели переменного тока	Пуск, торможение
Печи сопротивления	Тиристорное управление
Приборы освещения	Включение, тиристорное управление
Колебания напряжения	
Печи сопротивления	Включение, тиристорное управление
Преобразователи	Рекуперативное торможение
Временные напряжения	
Трансформаторы	Включение и отключение
Преобразователи	Рекуперативное торможение

Изменение напряжения может оказывать значительное влияние на работу электроприемников. Снижение напряжения уменьшает частота вращения и вращающий момент ротора электродвигателей, потому что увеличивается его скольжение. При значительном снижении напряжения на выводах двигателя, который работает с полной нагрузкой, может стать причиной его остановки, так как момент сопротивления механизма может стать больше чем вращающий момент. Снижение напряжения может стать причиной ухудшения условий пуска двигателя, снижение потребления им реактивной мощности, что приводит к перегреву изоляции и снижению срока его службы. Снижение напряжения также оказывает влияние на работу осветительных установок, также, уменьшается световой поток ламп и сокращается срок службы. Увеличение напряжения становится причиной повышения потребления реактивной мощности люминесцентными лампами. Несинусоидальность напряжения — это отклонение формы электрического

напряжения от идеальной синусоидальной формы. Несинусоидальность может проявляться в виде гармонических искажений, а также других особенных случаях, таких как импульсные помехи и переходные процессы:

$$K_{\text{нс}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{U_1} 100\% \approx \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{U_{\text{ном}}} 100\%$$

Несинусоидальность напряжения влияет на все виды электроприемников. Вызвано это не только тепловым дополнительным нагревом электроприемников от высших гармоник тока. Несинусоидальность напряжения, которая обусловлена электроприемниками с нелинейной вольтамперной характеристикой, становится причиной возникновения в сети высших гармонических напряжения и тока. Это может привести к дополнительным потерям активной мощности в элементах системы электроснабжения и ухудшению работы устройств автоматики и телемеханики. Высшие гармоники напряжения и тока неблагоприятно влияют на электрооборудование, системы автоматики, релейной защиты, создавая дополнительные потери в электрических машинах, трансформаторах и сетях, ухудшая условия работы конденсаторных батарей, срок службы изоляции электрических машин и аппаратов, повышая аварийность в кабельных сетях, вызывая сбои в работе РЗА. Кабели восприимчивы к высшим гармоникам. Качество диэлектрика которых характеризуется током утечки, определяющим и потери в изоляции кабеля. При $K_U=6,85\%$ за 2,5 года ток утечки возрастает на 36%, а за 3,5 года на 43%. Показателями качества электроэнергии, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} .

Несимметрия напряжения — это неравенство фазных или линейных напряжений по амплитуде и углам сдвига между ними. Не значительная несимметрия напряжения становится причиной возникновения токов обратной последовательности, которые накладываются на токи прямой последовательности, что становится причиной дополнительного нагрева ротора двигателя и ускоренного старения изоляции и уменьшения мощности [3]. Несимметрия оказывает значительное влияние на работу однофазных электроприемников, сокращая их срок службы. Нормируемые показатели напряжения — это коэффициент обратной последовательности напряжения, равный по отношению напряжения обратной последовательности U_2 к номинальному линейному напряжению $U_{\text{ном}}$. Несимметрия трехфазной системы напряжений приводит к возникновению токов обратной последовательности I_{2U} , а в четырех проводных сетях и токов нулевой последовательности I_{0U} . Помехоустойчивость некоторых видов электроприемников к провалам напряжения может быть проиллюстрирована следующими примерами:

- для оборудования общего назначения $\delta U_{\text{п}} \geq 80\%$ и $\Delta t_{\text{п}} \geq 0,5$ с;
- электромагнитные контакторы $\delta U_{\text{п}} \geq 50\%$ и $\Delta t_{\text{п}} \geq 0,02$ с;
- двигатели с электронным управлением $\delta U_{\text{п}} \geq 15\%$ и $\Delta t_{\text{п}} \geq 0,02$ с;
- газоразрядные лампы высокого напряжения $\delta U_{\text{п}} \geq 20\%$ и $\Delta t_{\text{п}} \geq 0,05$ с;
- реле минимального напряжения $\delta U_{\text{п}} \geq 20\%$ и $\Delta t_{\text{п}} \geq 0,5$ с.

Отклонение частоты — разность усредненная за минут между фактическим значением основной частоты и номинальным ее значением. Отклонение частоты от номинального значения в нормальном режиме работы допускается в пределах 0,1 Гц. Кратковременные отклонения могут достигать 0,2 Гц. Колебание частоты — разность между наибольшим и наименьшим значениями основной частоты в процессе достаточно быстрого изменения

параметров режима, когда скорость изменения частоты не меньше 0,2 Гц в секунду. Колебания частоты не должны превышать 0,2 Гц сверх допустимых отклонений 0,1 Гц.

$$\delta f = f_{\text{нб}} - f_{\text{км}} \quad \delta f\% = \frac{f_{\text{нб}} - f_{\text{км}}}{f_{\text{ном}}} 100\%$$

Отклонения напряжения в системах электроснабжения предприятий является изменения режимов работы приемников электроэнергии, изменения режимов питающей энергосистемы, значительные индуктивные сопротивления линий 6–10 кВ. Изменения напряжения на зажимах приемника электроэнергии даже в установленных пределах вызывает изменение его технико-экономических показателей. Отклонения напряжения — разность между фактическим значением напряжения и его номинальным значением для сети, возникающая при сравнительно медленном изменении режима работы, когда скорость изменения напряжения меньше 1% в секунду:

$$\Delta U = U \times U_{\text{и}} \quad \text{или} \quad \Delta U\% = \frac{U \times U_{\text{и}}}{U_{\text{н}}} 100\%$$

Колебания напряжения сети — это изменения напряжения переменного тока на входящем источнике питания. Некоторые из этих колебаний напряжения питания сети могут носить кратковременный характер. Однако в некоторых случаях, когда входящее сетевое снабжение имеет серьезные проблемы, они могут быть постоянной причиной беспокойства. Колебаниями напряжения очень чувствительны осветительные приборы. Они вызывает мигание источников света, что способствует утомлению глаз человека, снижению производительности труда, а в некоторых случаях может стать причиной травматизма на рабочем месте. Колебания напряжения нарушают работу таких приборов, как телевизоры, компьютеры, телефонной связи, бытовых приборов и т. п. в случае колебания напряжения более 15% нарушается работа электрических двигателей, могут отпадать магнитные пускатели, приводить отключению двигателя [4]. Колебание напряжения — оценивается размахом изменения напряжения. Размахом изменения напряжения ΔU т. е. разностью между наибольшим и наименьшим действующими значениями напряжения в процессе достаточно быстрого изменения параметров режима, когда скорость изменения напряжения не менее 1% в секунду.

$$\delta U\% = \frac{U_{\text{макс}} \times U_{\text{мин}}}{U_{\text{н}}}$$

Характер влияния электроприемников на помехи, равно как и показатели качества электроэнергии на условия функционирования электроприемника в точках общего присоединения, определяется условиями электромагнитного взаимодействия источников помех, средств их подавления, электроприемников и объединяющей их сети. Для оценки эффективности передачи, распределения и потребления электроэнергии, а также при пониженном качество электроэнергии необходимо учитывать и дополнительные потери электроэнергии. Нагрев электрических машин во многом определяется и системой их вентиляции и охлаждения обмоток, которая у явнополюсных машин более эффективна, чем у машин с гладким ротором. Так как, качество электроэнергии влияет на надежность электроснабжения, аварийность в сетях с низким качеством электроэнергии значительно выше, когда качество энергии находится в допустимых пределах.

Список литературы:

1. Баков Ю. В. Проектирование электрической части электростанций с применением ЭВМ. М.: Энергоатомиздат, 1991. 272 с.
2. Воротницкий В. Э., Венников В. А., Глазунов А. А., Жуков Л. А. Электрические сети. М. Энергоатомиздат. 1998.
3. Воротницкий В. Э., Железко Ю. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. М.: Энергоатомиздат. 1983.
4. Дыбко М. А. Оценка энергетической эффективности активных силовых фильтров для систем электроснабжения северных регионов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. №3. С. 138-152. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/3/3921>
5. Михеев Г. М., Атаманов М. Н., Дрей Н. М. Алгоритм расчёта тока высших гармоник в системе электроснабжения промышленных предприятий // Промышленная энергетика. 2018. №3. С. 40-45. EDN: XOWALR

References:

1. Bakov, Yu. V. (1991). Proektirovanie elektricheskoi chasti elektrostantsii s primeneniem EVM. Moscow. (in Russian).
2. Vorotnitskii, V. E., Vennikov, V. A., Glazunov, A. A., & Zhukov, L. A. (1998). Elektricheskie seti. Moscow. (in Russian).
3. Vorotnitskii, V. E., & Zhelezko, Yu. (1983). Poteri elektroenergii v elektricheskikh setyakh energosistem. Moscow. (in Russian).
4. Dybko, M. A. (2023). Otsenka energeticheskoi effektivnosti aktivnykh silovykh fil'trov dlya sistem elektrosnabzheniya severnykh regionov. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 334(3), 138-152. (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/3/3921>
5. Mikheev, G. M., Atamanov, M. N., & Drei, N. M. (2018). Algoritm rascheta toka vysshikh garmonik v sisteme elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatii. *Promyshlennaya energetika*, (3), 40-45. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 05.01.2024 г.*

*Принята к публикации
14.01.2024 г.*

Ссылка для цитирования:

Турдуюв И. Э. Качество электроэнергии и влияние электроэнергии на работу электроприемников // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №2. С. 359-364. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/33>

Cite as (APA):

Turduev, I. (2024). The Quality of Electricity and the Effect of Electricity on the Operation of Electric Receivers. *Bulletin of Science and Practice*, 10(2), 359-364. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/33>

