



УДК 630.279.142.6  
doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-9



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Разработка устройства для определения параметров бытовой электрической сети

**Антон Сергеевич Ишков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
ishkovanton@mail.ru

**Никита Алексеевич Учьев**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
nekit\_osina@mail.ru

**Дмитрий Викторович Земляков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
zemliakov.mitya2016@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрена проблема, заключающаяся в отклонении значений параметров бытовой электрической сети от значений, установленных в нормативных документах. С целью решения проблемы был выполнен обзор основных показателей качества электроэнергии. Для некоторых из них приведены нормально и предельно допустимые значения отклонения. Рассмотрены причины, по которым данные показатели могут изменяться. На основе проблемы в отклонениях показателей энергосистемы было осуществлено создание устройства для определения параметров энергосистемы. Реализация устройства включала в себя разработку и обоснование структурной и функциональной схем. В итоге была построена функциональная схема, на основе которой можно осуществить создание устройства для определения технических параметров бытовой электрической сети.

**Ключевые слова:** показатели качества электроэнергии, энергосистема, нормально допустимое значение, предельно допустимое значение, качество электроэнергии, перенапряжение, триггер, транзистор, микропроцессор

**Для цитирования:** Ишков А. С., Учьев Н. А., Земляков Д. В. Разработка устройства для определения параметров бытовой электрической сети // Инжиниринг и технологии. 2023. Т. 8 (1). С. 1–6. doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-9

## Development of a device for determining the parameters of a household electric network

**Anton S. Ishkov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
ishkovanton@mail.ru

**Nikita A. Uchuev**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
nekit\_osina@mail.ru

**Dmitry V. Zemlyakov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
zemliakov.mitya2016@yandex.ru

**Abstract.** The problem of deviation of the values of the parameters of the household electrical network from the values established in regulatory documents is considered. In order to solve the problem, a review of the main indicators of electricity quality was carried out. For some of them, normal and maximum permissible deviation values are given. The reasons why these indicators may change are considered. Based on the problem in the deviations of the indicators of the power system, a device was created to determine the parameters of the power system. The implementation of the device included the development of and substantiation of structural and functional schemes. As a result, a functional scheme was built on the basis of which it is possible to create a device for determining the technical parameters of the household electrical network.



**Keywords:** power quality indicators, power system, normally permissible value, maximum permissible value, power quality, overvoltage, trigger, transistor, microprocessor

**For citation:** Ishkov A.S., Uchuev N.A., Zemlyakov D.V. Development of a device for determining the parameters of a household electric network. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2023;8(1):1–6. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-9

## Введение

Электричество является неотъемлемой частью в любой сфере деятельности человечества. Электрическая энергия имеет ряд присущих только ей свойств и выступает в качестве главного участника в производстве других видов энергии, сырья и продукции. Все потребители электроэнергии нуждаются в строго определенных параметрах, так как небольшие отклонения от норм и стандартов могут привести к их выходу из строя. К числу таких параметров можно отнести номинальную частоту, напряжение и т.п. Поэтому, чтобы устройства выполняли свои функции нормально, необходимо их обеспечить максимально качественной электрической энергией [1, 2].

При выходе показателей качества электроэнергии (ПКЭ) за допустимые пределы происходит нарушение работы устройства, что может привести к частичному или полному выходу его из строя. Но с повышенными требованиями к показателям происходит увеличение стоимости электроэнергии и уменьшение срока эксплуатации оборудования, генерирующего электрическую энергию.

Стоит обратить внимание и на то, что несоответствие заданным требованиям ПКЭ является следствием превышения допустимой к использованию мощности самим потребителем. Вышеперечисленные проблемы и формируют поиск решения в контроле и регулировании качества электроэнергии (КЭ).

## Обзор основных показателей качества электроэнергии

Качество электрической энергии регламентируется нормативным документом, в котором устанавливаются следующие основные показатели качества: установившееся отклонение напряжения, размах изменения напряжения, доза фликера, длительность провала напряжения, коэффициент искажения несинусоидальности, коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, импульсное напряжение, коэффициент временного перенапряжения, отклонение частоты [2].

### *Отклонение напряжения.*

Колебания напряжения проявляются в виде быстрого изменения значения напряжения или явления непрерывного отклонения напряжения, и период его изменения больше, чем период частоты сети. Отношение разницы между максимальным и минимальным значениями среднеквадратичного значения изменяющегося напряжения к номинальному является математическим описанием колебания напряжения [2].

### *Колебание напряжения.*

Такие параметры, как размах изменения напряжения  $\delta U t$ , частота повторения изменений напряжения  $F \delta U t$ , интервал между изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1}$  и доза фликера  $P t$  – характеризуют колебание напряжения. Значение данного показателя выходит за пределы норм, как правило, из-за изменения нагрузки на исследуемом участке сети или из-за установок с быстропеременными режимами работы. К приборам, виновным в возникновении колебаний напряжения, можно отнести тяговые подстанции, приводы реверсивных прокатных станков, дуговые сталеплавильные печи, сварочные аппараты, электролизные установки [2].

Размах изменения напряжения определяется отношением разности  $i$ -го и  $i+1$ -го значения экстремумов к номинальному значению напряжения. Отличие данного параметра от отклонения напряжения состоит в том, что длительность процесса не должна быть более одной минуты. Нормально и предельно допустимые колебания напряжения по значению аналогичны допустимым отклонениям напряжения.

### *Провал напряжения.*

Данный показатель характеризуется длительностью  $\Delta t_n$  этого провала и определяется разностью конечного  $t_{к пер}$  и начального  $t_{н пер}$  моментов времени провала.



Провал же напряжения  $\delta U_n$  определяется как отношение разности номинального  $U_{\text{ном}}$  и минимального действующего  $U_{\text{мин}}$  значений напряжения к номинальному значению напряжения  $U_{\text{ном}}$ .

В электросетях напряжением до 20 кВ включительно предельно допустимым значением длительности провала напряжения считается 30 с. Период времени, в течение которого будет автоматически устранен провал напряжения, главным образом зависит от времени релейной защиты и времени срабатывания автоматики.

Регистрация провала происходит в случаях, когда напряжение падает от номинального на 10 % в интервале времени от 0 до 30 с [2].

#### *Несинусоидальность напряжения.*

В качестве нормируемых показателей здесь выступает коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения.

Формула для определения коэффициента искажений  $K_U$  приведена ниже:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_{\text{ном}}},$$

где  $U_n$  – действующее значение  $n$ -й гармонической составляющей напряжения;  $n$  – порядок гармонической составляющей;  $N$  – порядок последней гармонической составляющей. По установленным нормам,  $N$  устанавливается равной 40.

Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей определяется отношением действующего значения  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $U_n$  к номинальному значению напряжения  $U_{\text{ном}}$ . В основном показатель выходит за пределы норм из-за применения нелинейных электроприборов. К ним можно отнести индукционные печи, электродуговые и руднотермические электропечи, установки дуговой и контактной сварки, вентильные преобразователи, преобразователи частоты, газоразрядные лампы и т.п. [3].

При работе этих устройств происходит генерация потока высших гармоник, которые могут поступать во внешнюю сеть, что и является причиной появления отклонений.

#### *Несимметрия трехфазной системы напряжений.*

Нормируемыми показателями несимметрии трехфазной системы напряжений являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Такие электроприборы, как дуговые сталеплавильные печи, тяговые нагрузки железных дорог на переменном токе, электросварочные агрегаты, осветительные установки, однофазная коммунально-бытовая нагрузка – являются причиной выхода за пределы нормируемых показателей.

При протекании по компонентам системы электроснабжения несимметричного тока нагрузки на их концах возникает несимметричная разность потенциалов. При работе электроприборов на одной фазе происходит ее перегрузка, что ведет к нарушению условий работы как самих устройств, так и всей совокупности электросети, что в свою очередь является причиной снижения надежности электрооборудования и системы электроснабжения в целом [3].

#### *Отклонение частоты.*

Частота есть величина, обратная периоду. Разница между фактическим значением частоты и значением промышленной частоты энергосистемы представляет собой девиацию частоты. Отклонения частоты губительно сказываются на электрооборудовании. При понижении частоты срок службы работающих в сети устройств уменьшается из-за увеличения тока намагничивания, что ведет к дополнительному нагреву стальных сердечников.

#### *Оценка работоспособности источника питания.*

Электроснабжение – это сервисное поведение, а повышение качества обслуживания – важная мера для оптимизации производственной структуры и повышения удовлетворенности людей. Индекс обслуживания представляет собой количественную оценку посредством оценки услуги энергоснабжения опытным пользователем.



### Временное перенапряжение.

Временным перенапряжением можно считать увеличение напряжения в точки сети свыше  $1,1 U_{ном}$  длительностью выше 10 мс. Данный показатель определяется коэффициентом временного перенапряжения [3].

### Коэффициент $n$ -й гармонической составляющей.

Отношение действующего значения  $n$ -й гармонической составляющей напряжения к действующему значению напряжения основной частоты называется коэффициентом  $n$ -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка.

## Разработка структурной и функциональной схем устройства

Для более точного контроля ПКЭ необходимо использовать вычислительную технику. Анализ нынешних приборов и устройств, применяемых в контроле параметров, показал, что их внедрение является дорогостоящим и затратным. Это связано с большой сложностью устройств и высоким уровнем квалификации обслуживающего персонала данной аппаратуры.

В данной работе описано создание прибора с учетом недостатков его аналогов. Полученное устройство не будет являться мощным средством анализа всех ПКЭ, его основная задача – сверхбыстрый анализ сетевого напряжения, определение узкого диапазона основных показателей ПКЭ и быстрое выявление несоответствия напряжения стандарту.

### Структурная схема.

Структурная схема анализатора приведена на рис. 1.

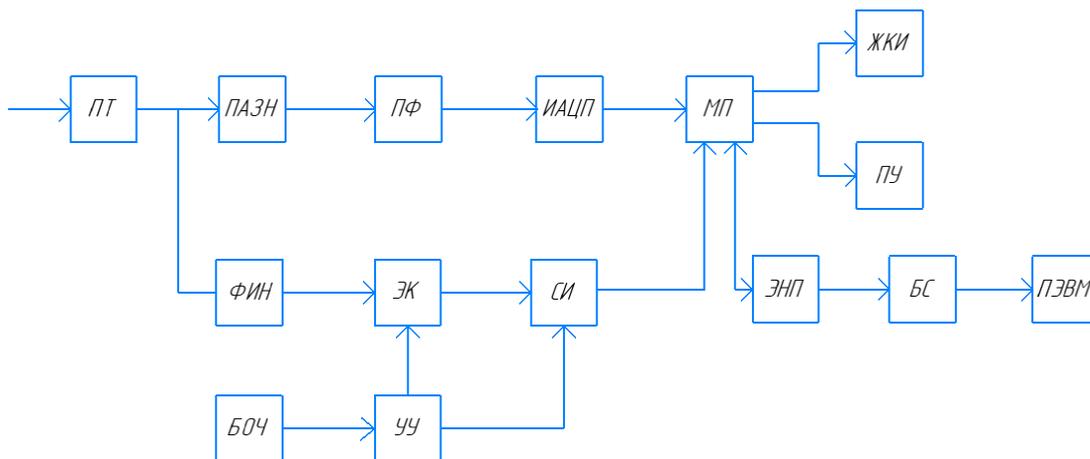


Рис. 1. Структурная схема анализатора

Измеритель включает в себя: понижающий трансформатор (ПТ), преобразователь амплитудного значения напряжения (ПАЭН), полосовой фильтр (ПФ), интегрирующий аналого-цифровой преобразователь (ИАЦП), микропроцессор (МП), формирователь импульсного напряжения (ФИН), электронный ключ (ЭК), счетчик импульсов (СИ), блок образцовой частоты (БОЧ), управляющее устройство (УУ), жидкокристаллическая индикация (ЖКИ), пульт управления (ПУ), энергонезависимая память (ЭНП), блок сопряжения (БС) и персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ), принимающая данные из памяти через интерфейс RS-232 [4].

### Функциональная схема.

Функциональная схема построена на основе структурной схемы и приведена на рис. 2.

Преобразуемое напряжение поступает на понижающий трансформатор, где происходит уменьшение напряжения, при этом значение силы тока возрастает, так как мощность на первичной и вторичной обмотках одинакова.

Уменьшенное по амплитуде напряжение с вторичной обмотки трансформатора поступает на преобразователь амплитудного значения напряжения и на цифровой частотомер, где происходят соответствующие преобразования. Кроме того, сигнал с трансформатора подается на вход генератора прямоугольных импульсов. Импульсы прямоугольной формы подаются на один вход электронного



клапана. На второй вход подаются импульсы образцовой частоты, но их подача осуществляется в строго определенное время, которое определяется устройством управления. В результате с выхода электронного клапана выводятся группы импульсов, поступающие на вход двоично-десятичного счетчика [5]. Счет количества пришедших на его вход импульсов осуществляется счетчиком, причем в режиме счета устройство управления блокирует источник образцовой частоты.

Канал измерительного преобразователя амплитудного значения (ИПАЗ) осуществляет выпрямление и усиление операционными усилителями сигнала. Сигнал с выхода ИПАЗ фильтруется с помощью полосового фильтра. Выделенная полоса частот поступает на аналогово-цифровой преобразователь, где происходит преобразование сигнала в цифровой сигнал [6].

Далее происходит преобразование сигнала в цифровой вид. Данная операция производится ИАЦП. После преобразования сигналы цифрового вида обрабатываются на центральном микропроцессоре.

Присутствующая жидкокристаллическая индикация управляется CPU. С помощью кнопок «ВЫБОР», «ЗАПИСЬ», «СБРОС» и «ОЧИСТКА» формируется соответственно выбор, запись, сброс или очистка сигнала. Кнопка «ПЕРЕДАЧА» осуществляет перенос информации о сигнале на переносной блок энергозависимой памяти.

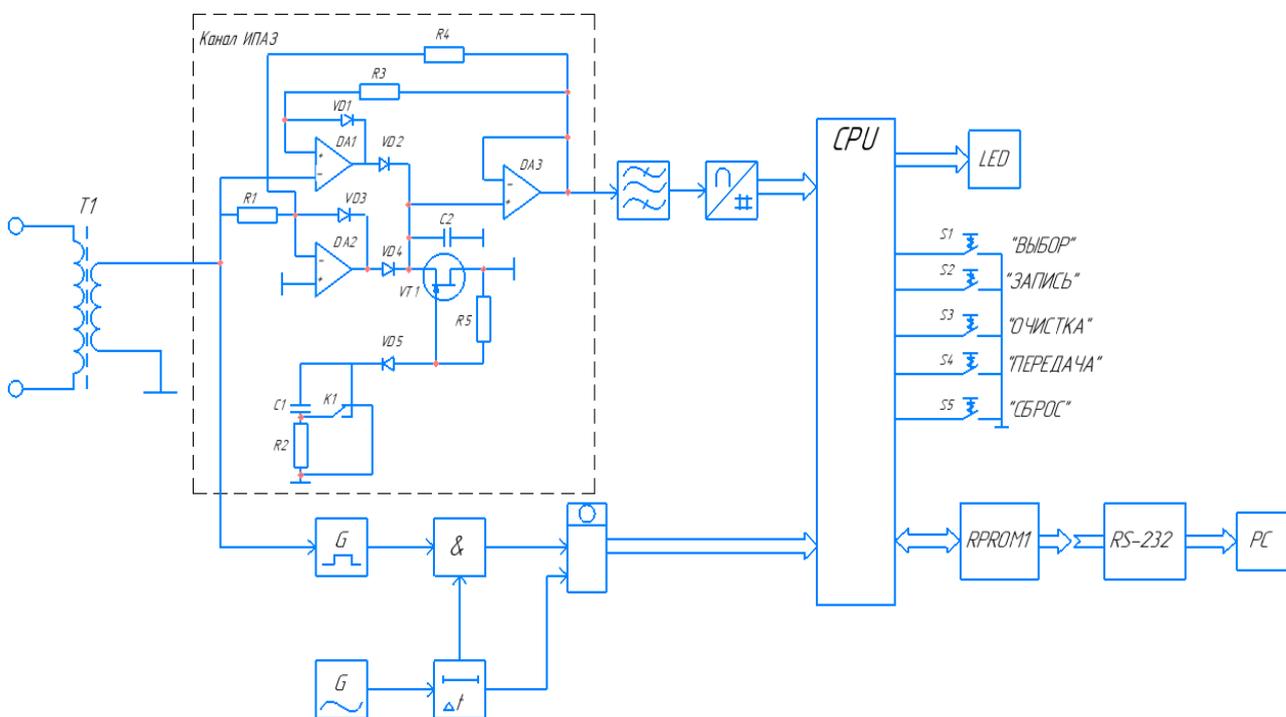


Рис. 2. Функциональная схема измерителя

## Заключение

В данной работе были рассмотрены основные показатели качества электроэнергии, среди них: установившееся отклонение напряжения, размах изменения напряжения, доза фликера, длительность провала напряжения, коэффициент искажения несинусоидальности, коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, импульсное напряжение, коэффициент временного перенапряжения, отклонение частоты. Для некоторых из них приведены нормально и предельно допустимые значения отклонения. Рассмотрены причины, по которым данные показатели могут изменяться.

На основе проблемы в отклонениях некоторых параметров энергосистемы было осуществлено создание устройства для определения параметров энергосистемы. Реализация устройства включала в себя разработку и обоснование структурной и функциональной схемы. В итоге была построена функциональная схема, на основе которой можно осуществить создание устройства для определения технических параметров бытовой электрической сети.



### Список литературы

1. Электричество – неотъемлемая часть нашей жизни // Тмрсила-м. URL: <https://tmr-power.com/blog-tmr-power/elektrichestvo-neot-emlemaya-chast-nashej-zhizni> (дата обращения: 21.02.2023).
2. Показатели качества электроэнергии // СКАТ. URL: <https://skat-ups.ru/articles/kachestvo-elektroenergii-elektricheskoy-energii/> (дата обращения: 22.02.2023).
3. Показатели качества электроэнергии // StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/4614841/page:2/> (дата обращения: 22.02.2023).
4. Обзор стандарта RS-232 // Рынок Микроэлектроники. URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm> (дата обращения: 27.02.2023).
5. Двоично-десятичные счетчики // StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/9767103/page:8/> (дата обращения: 27.02.2023).
6. АЦП – что это такое? // LCARD. URL: <https://www.lcard.ru/lexicon/adc> (дата обращения: 27.02.2023).

### References

1. Electricity is an integral part of our life. *Tmrсила-м*. (In Russ.). Available at: <https://tmr-power.com/blog-tmr-power/elektrichestvo-neot-emlemaya-chast-nashej-zhizni> (accessed 21.02.2023).
2. Electricity quality indicators. *СКАТ*. (In Russ.). Available at: <https://skat-ups.ru/articles/kachestvo-elektroenergii-elektricheskoy-energii/> (accessed 22.02.2023).
3. Electricity quality indicators. *StudFiles*. (In Russ.). Available at: <https://studfile.net/preview/4614841/page:2/> (accessed 22.02.2023).
4. Overview of the RS-232 standard. *Rynok Mikroelektroniki = Microelectronics market*. (In Russ.). Available at: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm> (accessed 27.02.2023).
5. Binary-decimal counters. *StudFiles*. (In Russ.). Available at: <https://studfile.net/preview/9767103/page:8/> (accessed 27.02.2023).
6. ADC – what is it? *LCARD*. (In Russ.). Available at: <https://www.lcard.ru/lexicon/adc> (accessed 27.02.2023).

Поступила в редакцию / Received 03.04.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 15.05.2023

Принята к публикации / Accepted 01.06.2023