

# ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Г.И. Янукович, проф., к. т. н., В.А. Дайнеко, доц., к. т. н.,  
В.М. Збродыго, инж., (БАТУ)

**Т**ехнический и социально-экономический прогресс тесно связан с электрификацией всех сфер человеческой деятельности. Поэтому, с ростом объема производства, наблюдается рост выработки и потребления электроэнергии. Увеличивается разнообразие способов ее применения, в том числе и таких, которые ведут к ухудшению качества электроэнергии.

Под качеством электроэнергии понимают степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. Качество электрической энергии характеризуется определенными показателями по одному или нескольким ее параметрам, таким как напряжение, частота тока, форма кривой напряжения или тока. Требования к качеству электроэнергии в электрических сетях общего назначения устанавливает ГОСТ 13109-87, согласно которому показатели качества электроэнергии подразделяют на две группы: основные (10 показателей) и дополнительные (3 показателя). Основные показатели определяют свойства энергии, характеризующие ее качество, дополнительные - представляют собой формы записи основных показателей, используемые в других нормативно-технических документах.

Одним из основных показателей качества электроэнергии, характеризующем форму кривой напряжения электрической сети, является коэффициент несинусоидальности кривой напряжения, который равен отношению действующего значения суммы гармонических составляющих к действующему значению основной составляющей напряжения переменного тока.

Причиной несинусоидальности напряжения является наличие высших гармоник тока. Источниками высших гармоник тока являются элементы электрических сетей с нелинейными вольт- и вебер-амперными характеристиками, к которым относятся установки электросварки, вентиляционные преобразователи, электродуговые печи, газоразрядные источники света, бытовая теле- и радиоаппаратура, силовые трансформаторы и двигатели. Проходя по элементам сети, токи высших гармоник вызывают падение напряжения в сопротивлениях этих элементов. Эти падения напряжений накладываются на основную синусоиду напряжения и приводят к искажению ее формы.

Высшие гармоники напряжения и тока неблагоприятно влияют на работу электрооборудования, систем автоматики, релейной защиты, телемеханики и связи: появляются дополнительные потери энергии в электрических машинах, трансформаторах и сетях; затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсато-

ров; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; возрастает аварийность в кабельных сетях; ухудшается качество работы, а иногда появляются сбои в работе систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. Учитывая это, возникает необходимость измерения коэффициента несинусоидальности кривой напряжения с целью его контроля и поддержания в установленных пределах.

Эксплуатационный контроль коэффициента несинусоидальности кривой напряжения должен осуществляться с установленной периодичностью, на шинах центра питания и границах раздела электрических сетей энергообеспечивающей организации с потребителями, имеющими источники высших гармоник. Измерение коэффициента несинусоидальности кривой напряжения производят также при подключении новых нелинейных нагрузок, реконструкции существующих сетей или изменении их конфигурации, вводе в эксплуатацию новых линий и т.д. Значение коэффициента несинусоидальности кривой напряжения в электрических сетях напряжением до 1 кВ не должно превышать 5%, а абсолютная погрешность измерения - не более 0,5% [1].

Для измерения уровней гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения можно использовать практический гармонический анализ осциллограмм и аппаратный анализ, основанный на применении специальных приборов-анализаторов. Второй способ менее трудоемок и получил большее распространение.

Существует ряд приборов для измерения коэффициента несинусоидальности напряжения электрической сети. Большинство этих приборов реализуют интегральный метод измерения, основанный на подавлении основной частоты. Этот метод прост и в то же время достаточно точен. Он заключается в раздельном измерении среднеквадратического значения полного сигнала и среднеквадратического значения высших гармоник (без первой) этого же сигнала и их сравнении. Подавление сигнала основной частоты осуществляется с помощью режекторного фильтра первой гармоники. Режекторный фильтр должен быть перестраиваемым в пределах диапазона частот измерения коэффициента несинусоидальности по первой гармонике и иметь усилитель, компенсирующий ослабление высших гармоник. Измерению среднеквадратического значения напряжения соответствует режим калибровки измерителя. Показания вольтметра в этом режиме устанавливаются на некоторую условную единицу. Тогда в режиме измерения показания его будут пропорциональны коэффициенту несинусоидаль-

ности [ 2 ].

Но все же, несмотря на разнообразие измерительных приборов, ни один из них серийно не выпускается в Республике Беларусь. Следовательно, при необходимости приобрести такие приборы белорусский потребитель сталкивается с такими проблемами, как дороговизна импортных приборов и необходимость производить оплату в свободно конвертируемой валюте, дефицит которой сейчас особо остро ощущается в нашей стране. К тому же, следует отметить, что подавляющее большинство серийно выпускаемых приборов имеют достаточно сложное устройство и значительные габаритные размеры, требуют определенной настройки перед началом работы. А это, в свою очередь, предъявляет высокие требования к квалификации обслуживающего персонала.

Учитывая вышесказанное, возникает необходимость создания отечественного измерительного прибора, простого, компактного, дешевого, надежного, не требующего настройки перед измерениями. Авторами разработано устройство, отвечающее этим требованиям.

На рис. 2 приведена блок-схема устройства, которое содержит входной делитель 1, аналоговый ключ 2, режекторный фильтр первой гармоники 3, детектор эффективных значений 4, устройство управления 5, устройства выборки-хранения 6 и 7, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) 8.

Принцип работы устройства состоит в следующем.

Исследуемый сигнал ( напряжение сети ) поступает на вход делителя 1, с выхода делителя 1 ослабленный сигнал поступает на вход двухпозиционного ключа 2, который управляется импульсами с четвертого выхода устройства управления 5. В первом такте измерения напряжение с выхода делителя 1 через ключ 2 поступает на вход детектора эффективных значений 4, а после детектирования фиксируется в устройстве выборки-хранения ( УВХ1 ) 6 при помощи управляющего импульса с первого выхода устройства управления 5. Во втором такте измерения устройство управления 5 переключает ключ 2 и сигнал с выхода делителя 1 проходит через режекторный фильтр 3 и поступает на вход детектора эффективных значений 4, а после детектирования фиксируется в устройстве выборки-хранения (УВХ2) 7.

Таким образом, на выходе УВХ1 устанавливается напряжение  $U_1$ , соответствующее среднеквадратическому значению напряжения сети, а на выходе УВХ2 -напряжение  $U_2$ , соответствующее напряжению сети с подавленной первой гармоникой. Затем на управляющий вход АЦП 8 поступает импульс управления с третьего выхода управляющего устройства 5. АЦП выполнен на основе преобразователя "напряжение -частота". Его функция преобразования имеет вид:

$$f_{\text{вых}} = f_0 ( U_2/U_1 ), \quad (1)$$

где  $f_0$  -частота тактового генератора устройства управления;

$f_{\text{вых}}$  -частота на выходе преобразователя, соответствующая коэффициенту несинусоидальности напряжения сети.

В АЦП происходит преобразование частотного сигнала в цифровой код и на цифровом индикаторе высвечивается значение коэффициента несинусоидальности кривой напряжения сети.

Схема обеспечивает полностью автоматизированный процесс измерения и не требует калибровки прибора перед измерениями.

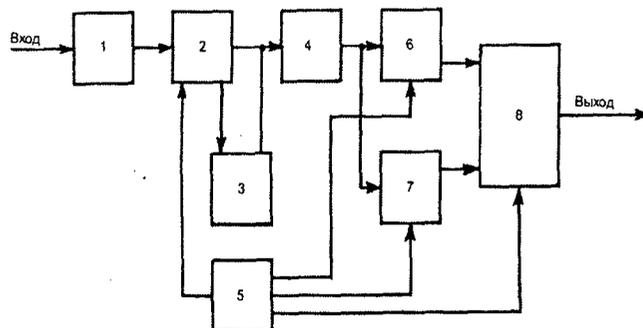


Рис. 2. Блок-схема измерителя несинусоидальности напряжения электрической сети.

Сам прибор переносной. Имеет небольшие габаритные размеры. Он позволяет измерять коэффициент несинусоидальности напряжения на шинах потребительских подстанций и непосредственно на зажимах потребителей. Абсолютная погрешность измерения составляет порядка 0,3%, что удовлетворяет требованиям стандарта на измерение данной величины. Процесс подключения и измерения предельно прост и не требует высокой квалификации персонала. Прибор можно использовать для непрерывной регистрации коэффициента несинусоидальности напряжения, для чего предусмотрена возможность подключения самописца.

Измерив величину коэффициента несинусоидальности напряжения, можно определить потери мощности в электрической сети, обусловленные наличием высших гармоник. Затем на основе технико-экономических расчетов, с учетом убытков потребителей от низкого качества электроэнергии, представляется возможным сделать выводы о степени целесообразности проведения тех или иных мероприятий по повышению его качества. В частности, снижение несинусоидальности напряжения обеспечивается либо рациональным построением схемы электрической сети, либо применением специальных схем присоединения нелинейных нагрузок, либо использованием корректирующих устройств, либо сочетанием этих методов.

#### Литература

- ГОСТ 13109-87. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. - М.: Издательство стандартов, 1988.
- Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. -Мн.: Вышэйшая школа, 1986.