

# Нормирующие преобразователи действующих значений напряжения и тока



Статья посвящена особенностям применения нормирующих преобразователей для измерения и преобразования действующих значений напряжения и тока несинусоидальной формы, а также в случае плавающей частоты сети.

ООО НПФ «КонтраВТ», г. Нижний Новгород

Настоящая статья является продолжением цикла уже опубликованных статей в журнале «ИСУП», посвященных нормирующим преобразователям (№ 3 за 2010 год, № 1 за 2012 год). Ранее обсуждались функции нормирующих преобразователей, которые оказываются наиболее ценными в системах с большим числом разнообразных сигналов и с удаленными датчиками. Кратко напомним о них.

Во-первых, нормирующие преобразователи реализуют схему и метод измерения первичных сигналов. Особенно это важно при измерении сигналов термометров сопротивления и термоэлектрических преобразователей (термопар) при измерении температуры. Нормирующие преобразователи обеспечивают трех-, четырехпроводную схему подключения (для термосопротивлений), компенсацию влияния «холодных спаев» (для термопар), линеаризацию нелинейных статических характеристик, фильтрацию помех и проч. Тем самым нормирующие преобразователи разгружают

и упрощают второй уровень измерительной системы.

Во-вторых, нормирующие преобразователи, как правило, обеспечивают гальваническую развязку сигналов. Это позволяет подключать удаленные датчики, находящиеся под разными потенциалами, и сокращает уровень электромагнитных помех, проникающих в измерительный тракт.

В-третьих, нормирующие преобразователи унифицируют сигналы в системе, что опять же упрощает построение второго уровня многоканальных систем.

При этом, обсуждая применение нормирующих преобразователей сигналов, мы до сих пор имели дело с так называемыми постоянными сигналами, значение которых если и изменялось, то очень медленно. Так, если говорить об измерении температуры в технологических процессах, характерное время изменения температуры — единицы и десятки секунд. Для того, чтобы нормирующий преобразователь без искажения передавал такие медленно изменяющиеся

измеренные сигналы, его полоса пропускания должна составлять всего единицы Герц.

В данной статье речь пойдет о преобразовании переменных сигналов тока и напряжения в сети частотой 50 Гц. Роль гальванической развязки и унификации сигналов при измерении параметров электрических сигналов тока и напряжения очевидна и стандартна. Впрочем, достойным обсуждением, является метод измерения действующих значений переменных сигналов, реализованный в нормирующем преобразователе, а также некоторые особенности измерения реальных сигналов.

Интересно, что на практике само значение переменного сигнала — все время изменяющаяся величина — редко представляет самостоятельный интерес. Более интересным оказывается знание некоторых определенных характеристик переменных сигналов, дающих представление о сигнале в целом.

Когда говорят о сигнале в сети переменного тока 50 Гц, то обычно

имеют в виду гармонический (синусоидальный) сигнал. Как известно, всего три параметра – амплитуда, частота и фаза – полностью характеризуют сигнал, и когда хотят получить информацию о самом сигнале, именно их и измеряют.

В задачах контроля и управления технологическими процессами, учета электроэнергии, контроля за работоспособностью и функционированием силовой коммутационной техники и прочих важно знать энергетические свойства переменного сигнала, характеризующие его способность совершать работу. Таким параметром переменного сигнала является его среднеквадратичное значение. Не менее широко применяются также термины «действующее значение», «эффективное значение». В дальнейшем мы будем использовать термин «действующее значение».

В соответствии с ГОСТ 16465-70 «Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения» среднеквадратичное значение (действующее, эффективное значение) есть корень квадратный из среднего значения квадрата сигнала. Усреднение проводится по времени за период переменного сигнала  $T$ , поэтому выражение можно переписать для сигналов напряжения и тока в следующем виде:

$$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad I_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

где  $u(t), i(t)$  – мгновенные значения напряжения и тока.

Физический смысл среднеквадратичного значения напряжения заключается в том, что оно равно такому постоянному напряжению, которое выделяет на активной нагрузке такое же тепло. Отсюда и другие термины: «действующее» или «эффективное» значение. Таким образом, действующее значение позволяет сравнивать с энергетической точки зрения переменный сигнал с постоянным.

Действующие значения напряжения  $U_D$  и тока  $I_D$  для гармонического (синусоидального) сигнала определяются его амплитудами  $U_m$  и  $I_m$ :

$$U_D = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \quad I_D = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m$$

Часто рассматривается другая характеристика переменного сигнала – средневыпрямленное значение. Средневыпрямленное значение – это среднее значение модуля сигнала. В интегральной форме средневыпрямленное значение сигнала напряжения и тока записывается в следующей форме:

$$U_{CB} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) dt \quad I_{CB} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i(t) dt$$

Средневыпрямленные значения напряжения и тока для гармонического сигнала выражаются через их амплитуды соотношениями:

$$U_{CB} = \frac{2}{\pi} U_m \quad I_{CB} = \frac{2}{\pi} I_m$$

Как видим, среднеквадратичные и средневыпрямленные значения линейно связаны между собой:

$$U_D = \frac{\pi U_{CB}}{2\sqrt{2}} \quad I_D = \frac{\pi I_{CB}}{2\sqrt{2}}$$

В связи с этим для измерения среднеквадратичного значения часто используют результаты измерения средневыпрямленного. Метод измерения действующего значения на основе средневыпрямленного весьма распространен, прежде всего потому, что его реализация аналоговыми схмотехническими решениями достаточно проста.

Однако недостаток этого метода заключается в том, что это соотношение справедливо только для синусоидального сигнала. На практике сигналы тока и напряжения могут сильно отличаться от правильной синусоидальной формы. Поэтому попытка измерения среднеквадратичного значения с помощью выпрямительных приборов приводит к большим погрешностям измерения. Это значит, что, выбирая измерительный прибор для измерения действующих значений напряжения и тока, следует выяснить, является ли сигнал синусоидальным и какой метод измерения действующего значения реализуется измерительным прибором.

В реальных условиях вследствие использования нелинейной нагрузки потребителем, в результате процесса передачи и преобразования электроэнергии и ряда других факторов, форма напряжения и тока от-

личается от синусоидальной формы. Процентное увеличение доли нелинейных несимметричных импульсных нагрузок потребителя (персональные компьютеры, приводы с регулируемой скоростью, сварочные инверторы, осветительное оборудование, выпрямительные агрегаты и др.) с каждым годом все больше растет. Измерение действующих значений на таком оборудовании с помощью обычных аналоговых измерителей с выпрямленными показаниями может оказаться некорректным.

Применение цифровых методов измерения и обработки сигналов позволяет проводить измерение действующих значений более точно и для сигналов несинусоидальной формы. Дело в том, что цифровые методы измерения позволяют рассчитывать действующее значение сигнала путем непосредственного вычисления интеграла. Однако и в этом случае есть некоторые особенности измерения, которые надо учитывать.

Первая особенность заключается в том, что при цифровом интегрировании непрерывный интеграл заменяется суммой дискретных отсчетов, при этом точность интегрирования напрямую зависит от периода дискретизации  $\Delta t$ . При измерении действующих значений синусоидальных сигналов погрешность вычислений пропорциональна отношению  $(\Delta t \times f_{\max})^2$ , где  $f_{\max}$  – максимальная частота сигнала. Предположим, что частота дискретизации составляет 10 кГц и нас интересует погрешность измерения действующего значения не ниже 0,5%. Для сетевого напряжения 50 Гц погрешность вычислений составляет всего 0,0025%, и ее можно не принимать в расчет. На частоте 300 Гц эта вычислительная погрешность составляет уже 0,1%. Поэтому при частоте дискретизации 10 кГц можно измерять действующие значения сигналов с частотой до 300 Гц без появления дополнительной погрешности, а на частоте 1 кГц погрешность составляет 1%.

Практический интерес представляет ситуация, когда измеряется действующее значение напряжения (тока) сети частотой 50 Гц,

но форма сигнала не является чисто гармонической (синусоидальной). Как известно, периодический негармонический сигнал сети можно представить в виде суперпозиции гармонических составляющих с частотами, кратными 50 Гц. Относительную погрешность вычислений  $\delta$  в этом случае можно оценить по следующей формуле:

$$\delta = 0,0025\% \sqrt{1 + \sum K_n n^2},$$

где  $K_n = U_n / U_1$  – коэффициент гармоник n-й гармоники. Суммирование ведется по всем учитываемым гармоникам.

Вторая особенность заключается в том, что усреднение должно производиться на периоде сетевого напряжения T, который, вообще говоря, заранее неизвестен, поскольку частота сети может изменяться. Российскими стандартами установлено, что нормально допустимые и предельно допустимые отклонения частоты сети не должны превышать соответственно  $\pm 0,2$  Гц и  $\pm 0,4$  Гц. Отклонение частоты на 0,4 Гц от частоты 50 Гц вызывает погрешность измерения, связанную с несовпадением периодов усреднения и сигнала, около 0,8%. Такой уровень погрешности не позволяет достичь требуемого уровня погрешности измерения 0,5%.

Существует несколько способов устранения указанной погрешности. Первый способ заключается в том, что увеличивают время усреднения по сравнению с периодом сигнала. Это простой метод, но его применение приводит к повышению инерционности измерения. Для отклонений частоты на 0,4 Гц требуется около 10 периодов усреднения, чтобы погрешность, вызванную несовпадением периодов усреднения и сигнала, свести к уровню 0,1%. Таким образом, при времени инерции измерения 0,2 сек. мы практически устраняем влияние изменений частоты сигнала, если частота лежит в пределах  $50 \pm 0,5$  Гц.

Второй способ предполагает применение алгоритма измерения частоты в процессе усреднения. Этот метод значительно сложнее первого, при этом он не позволяет отслеживать быстрые изменения

Таблица. Типы и диапазоны переменных входных и постоянных выходных сигналов преобразователя НПСИ-ДНТВ

Типы и диапазоны переменного входного сигнала (программируется пользователем)	Переменный ток	Переменное напряжение
	0...1 А 0...2,5 А 0...5 А	0...150 В 0...300 В 0...400 В
Типы и диапазоны постоянного выходного сигнала (программируется пользователем)	Постоянный ток	Постоянное напряжение
	0...5 мА 0...20 мА 4...20 мА	0...1 В 0...2,5 В 0...5 В 0...10 В

частоты, не дает точных результатов в условиях наличия помех в измеряемом сигнале, работает неустойчиво, если сигнал несинусоидальный.

#### Характеристики преобразователей унифицированных сигналов

Рассмотрим основные характеристики и особенности, которые необходимо учитывать при выборе нормирующих преобразователей действующих значений переменных сигналов. В качестве примера приведем нормирующие преобразователи НПСИ-ДНТВ, выпускаемые Научно-производственной фирмой «КонтрАвт» (рис. 1).

В силу своего основного функционального предназначения нормирующие преобразователи, прежде всего, характеризуются типами

и диапазонами входных и выходных сигналов.

В преобразователях НПСИ-ДНТВ выбор входных и выходных сигналов программируется пользователем. Устанавливаются не только диапазоны, но и типы сигналов (ток и напряжение). Типы и диапазоны сигналов преобразователя приведены в таблице.

Особенность нормирующих преобразователей НПСИ-ДНТВ заключается в том, что наряду с переменным напряжением и током они могут измерять и преобразовывать постоянное напряжение и ток. С учетом физического смысла действующего значения, измеренное действующее значение постоянного сигнала будет равно уровню самого постоянного сигнала.

Преобразователи НПСИ-ДНТВ обеспечивают гальваническую развязку входных и выходных сигналов. Напряжение изоляции составляет 1500 В.

Основная погрешность измерения действующих значений напряжения и тока в сети частотой 50 Гц и их преобразования в постоянные унифицированные сигналы тока и напряжения составляет 0,5%. Частота выборки в преобразователе равна 10 кГц, это позволяет измерять с указанной точностью синусоидальные сигналы, кратные 50 Гц вплоть до частот 300 Гц (на частоте 1 кГц погрешность составляет 1%). Преобразователь можно использовать и для измерения действующих значений напряжения и тока несинусоидальной формы, например, в цепях с симисторными коммутаторами. В этом случае может появиться дополнительная погрешность, которую следует оценить по приведенным выше формулам.

С точки зрения надежности и безопасности, в системе должна присутствовать сигнализация,



Рис. 1. Внешний вид нормирующего преобразователя действующих значений сигналов НПСИ-ДНТВ, выпускаемого НПФ «КонтрАвт»

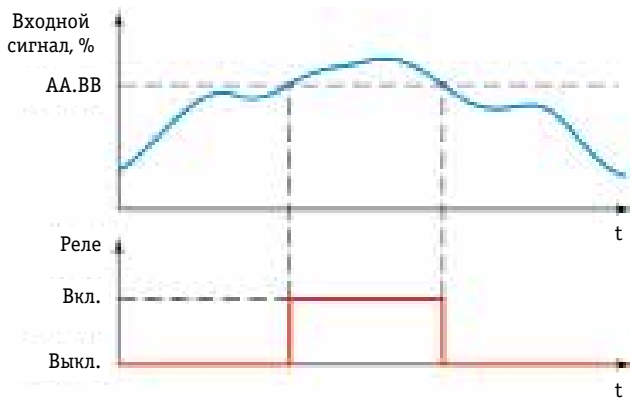


Рис. 2. Диаграмма работы сигнализации «превышение» без защелки

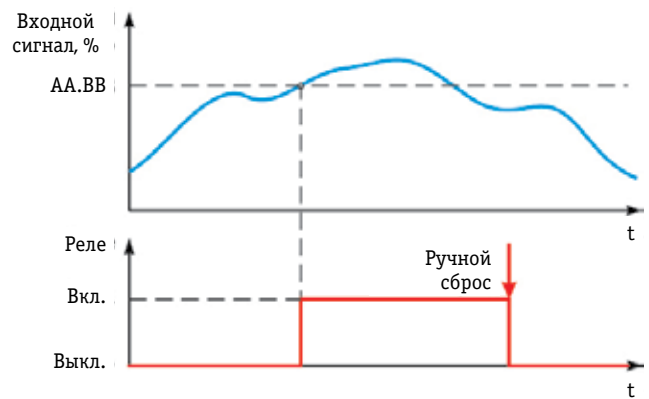


Рис. 3. Диаграмма работы сигнализации «превышение» с защелкой

которая должна срабатывать при достижении сигналами недопустимых уровней. Лучше всего такую сигнализацию реализовать в устройствах, которые максимально приближены к источникам сигнала. Поскольку нормирующие преобразователи находятся на переднем крае на пути прохождения сигналов, то представляется целесообразным возложить выполнение функций сигнализации именно на них. Таким образом, некоторые нормирующие преобразователи наряду с преобразованием и гальваническим разделением сигналов выполняют важнейшую функцию сигнализации.

Преобразователи НПСи-ДНТВ выпускаются как с функцией сигнализации, так и без нее. В модификациях с сигнализацией выполняемая функция выбирается пользователем из четырех возможных вариантов:

- функция 1. Сигнализация срабатывает, если сигнал больше заданного уровня;
- функция 2. Сигнализация срабатывает, если сигнал меньше заданного уровня;
- функция 3. Сигнализация срабатывает, если сигнал больше заданного уровня, и фиксируется в этом состоянии до сброса пользователем;
- функция 4. Сигнализация срабатывает, если сигнал меньше заданного уровня, и фиксируется в этом состоянии до сброса пользователем.

Действие сигнализации для функций 1 и 3 иллюстрируют рис. 2, 3. Функции 3 и 4 представляют собой

сигнализацию с защелкой. Сбросить ее может пользователь только с передней панели преобразователя. Даже временное отключение питания не может сбросить защелку – после возобновления питания сигнализация будет включена. Таким образом, сигнализация с защелкой позволяет зафиксировать факт аварийной ситуации, а необходимость выполнения процедуры сброса с панели гарантирует, что обслуживающий персонал обнаружит аварийную ситуацию и примет действия, предусмотренные технологическим регламентом.

Помимо выполнения функций сигнализации, преобразователи обнаруживают аварийные ситуации, которые могут возникнуть в системе: обрыв линий связи входных и выходных сигналов (только для 4...20 мА), выход сигналов за допустимый диапазон, целостность параметров в энергонезависимой памяти. При обнаружении аварийных ситуаций (не путать с работой сигнализации) на преобразователе загорается индикатор АВАРИЯ, на дисплее отображается код аварийной ситуации, а выходной ток принимает значение, которое при конфигурировании задает пользователь – низкий или высокий аварийный уровень. Измерительные системы, принимающие сигналы преобразователей, регистрируют эти аварийные уровни и, следовательно, обнаруживают аварийные ситуации.

Питание преобразователей НПСи-ДНТВ в зависимости от модификации производится либо от сети переменного напряжения

220 В (допустимый диапазон рабочих напряжений 85...265 В), либо от постоянного напряжения 24 В (допустимый диапазон рабочих напряжений 10...42 В).

Конструктивно преобразователи НПСи-ДНТВ выполнены в корпусе с габаритными размерами (D×H×W) 115 × 110 × 22,5 мм, который обеспечивает монтаж на DIN-рельс 35 мм по стандарту EN 50022.

Настройка преобразователя (конфигурирование) осуществляется пользователем с передней панели с помощью кнопок с контролем по цифровому двухразрядному дисплею (рис. 4). На цифровом дисплее отображается уровень сигнала в процентах от диапазона. Уровень сигнала наглядно показывает и линейный бар-граф.



Рис. 4. Органы индикации и управления на передней панели преобразователя



Рис. 5. Подключение внешних линий с помощью разъемных клеммных соединителей

Для удобства монтажа и обслуживания подключение внешних соединений производится с помощью разъемных клеммных соединителей (рис. 5).

Нормирующие преобразователи НПСИ-ДНТВ, выпускаемые НПФ «КонтрАвт», рассчитаны на эксплуатацию при температуре от  $-40$  до  $+70$  °С и относительной влажности 95%.

Преобразователи предоставляются в опытную эксплуатацию, поэтому пользователь имеет возможность опробовать преобразователи в работе, оценить их характеристики и принять обоснованное решение об их применении.

Д. В. Громов, технический директор,  
О. А. Баранов, коммерческий директор,  
С. А. Суяков, старший инженер,  
ООО НПФ «КонтрАвт», г. Нижний Новгород,  
тел./факс: (831) 260-0308,  
e-mail: sales@contravt.nnov.ru,  
[www.contravt.ru](http://www.contravt.ru)

Санкт-Петербург,  
25-28 сентября 2012 г.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ  
И ВСТРАИВАЕМАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА 2012**

Российская специализированная выставка  
электронных модулей и систем  
промышленного, бортового  
и специального назначений