

# Методы измерения и преобразования частотно- временных параметров сигналов



Статья о том, как измерить и передать в систему измерения частотно-временные параметры переменных сигналов (частоту, период, длительность импульса) с помощью нормирующих преобразователей.

ООО НПФ «КонтрАвт», г. Нижний Новгород

Этой статьей мы продолжаем цикл материалов, посвященных нормирующим преобразователям («ИСУП» № 3 за 2010 год, №№ 1 и 3 за 2012 год). Напомним, что в системах с большим числом разнообразных сигналов и удаленными датчиками на нормирующие преобразователи возлагают решение следующих трех основных задач.

Во-первых, нормирующие преобразователи реализуют схему и метод измерения первичных сигналов и их параметров и осуществляют предварительную обработку результатов измерения, включая, в зависимости от измеряемых сигналов и параметров, линеаризацию характеристик, фильтрацию, компенсацию холодных спаев термопар 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 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.

В предыдущих статьях мы обсуждали преобразователи, которые измеряли и преобразовывали в унифицированные сигналы термопар, термометров сопротивления, унифицированные постоянные сигналы тока и напряжения. Были также представлены преобразователи, которые измеряли не сами сигналы, а их параметры, а именно действующие значения переменного тока и напряжения. В данной статье речь пойдет о нормирующих преобразователях, которые предназначены для измерения и преобразования частотно-временных параметров сигналов: частоты, периода, длительности импульсов.

Прежде чем описывать конкретные преобразователи, остановимся подробнее на методах измерения частотно-временных параметров сигналов и возникающих погрешностях измерения.

## Измерение периода и частоты сигнала

По определению период  $T$  — это наименьший временной интервал, через который периодический сигнал повторяет свои значения (рис. 1). Частота  $f$  равна количеству периодов в единицу времени. Частота связана с периодом простым обратным соотношением  $f = 1/T$ , поэтому, измерив период, легко рассчитать и обратную величину — частоту, и наоборот.

Все достаточно просто, когда речь идет о синусоидальном (или гармоническом) сигнале. Он в принципе характеризуется только одной частотой  $f_0$  (и соответствующим периодом  $T_0$ ). Метод измерения периода заключается в следующем. Компаратором формируется временной строб, равный периоду  $T_0$ . Этот строб заполняется импульсами с фиксированной стабильной частотой  $F$  (и периодом  $t = 1/F$ ), число импульсов  $N$  в стробе подсчитывается. Тогда измеряемый период будет равен  $T_0 = N \times (1/F) = N/F$ , а частота  $f_0 = F/N$ .

Рассмотрим погрешности, которые могут здесь возникать.

Во-первых, во временной строб в общем случае попадает не целое число периодов сигнала заполнения. Поэтому абсолютная погрешность измерения длительности временного строба (а следовательно, и измеряемого периода  $T_0$ ) складывается из погрешностей  $\Delta n$  и  $\Delta k$  в начале и в конце строба и будет равна одному периоду сигнала заполнения  $t$ , а относительная —  $\delta T_0 = t/T_0 = f_0/F = 1/N$ . Соотношение для расчета относительной погрешности измерения периода показывает, что при измерении по одному периоду сигнала нужно использовать сигнал заполнения, частота которого значительно превосходит частоту измеряемого сиг-

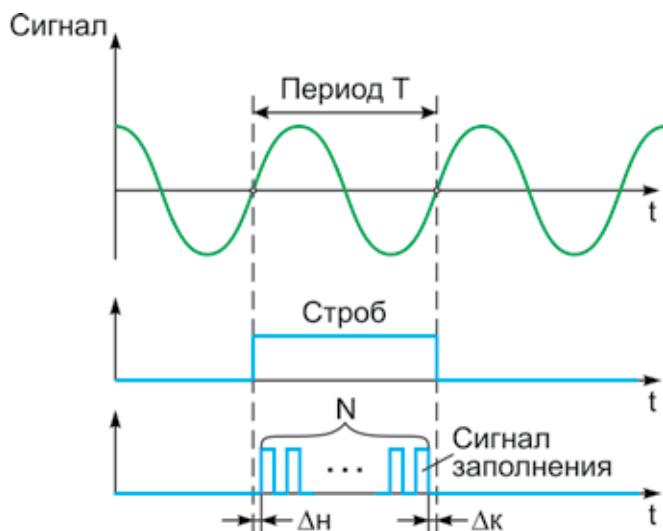


Рис. 1. Метод стробирования для измерения периода сигнала

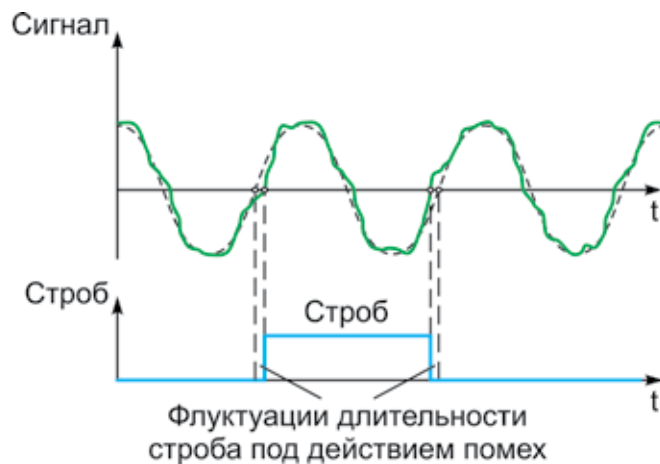


Рис. 2. Влияние помехи на измерение периода сигнала методом стробирования

нала. Например, если мы хотим измерять частоту сигнала до  $10 \text{ кГц} = 10^4 \text{ Гц}$  с относительной погрешностью  $0,01\%$ , то частота заполнения должна быть не менее  $100 \text{ МГц} = 10^8 \text{ Гц}$ .

Для того чтобы смягчить требования к высокой частоте сигнала заполнения, можно воспользоваться принципом, хорошо известным специалистам, который гласит: «Точно мерить — долго мерить». Применительно к нашей задаче этот принцип дает следующее решение. Строб должен формироваться не в течение одного измеряемого периода, а в течение нескольких периодов  $M$ . В этом случае относительная погрешность будет рассчитываться по формуле  $\delta T_0 = t / (M \times T_0) = f_0 / (M \times F) = 1 / (M \times N)$ , из которой видно, что точность повышается в  $M$  раз. Этот результат можно интерпретировать и по-иному: при том же требуемом уровне погрешности измерение по  $M$  периодам сигнала позволяет снизить необходимую частоту заполнения в  $M$  раз. «Расплатой» за это в соответствии с указанным принципом является замедление процесса измерения так же в  $M$  раз.

Кроме того, на погрешность измерения  $\delta T_0$  периода  $T_0$  (соответственно, частоты  $f_0$ ) будет влиять нестабильность (и/или погрешность установки) частоты сигнала заполнения  $\delta F$ , при этом  $\delta T_0 = \delta F$ . Понятия стабильности и погрешности частоты сигнала заполнения, вообще говоря, следует различать.

Под погрешностью следует понимать отклонение частоты от той, которую мы принимаем в расчетах. Такое отклонение может быть вызвано, например, неточной настройкой генератора сигнала заполнения. В то же время нестабильность частоты принципиально всегда существует в генераторах с конечной добротностью и, следовательно, с конечной шириной спектра сигнала. Более того, как нестабильность, так и погрешность могут меняться как во времени, так и под воздействием различных факторов, главными из которых являются изменения температуры и напряжения питания генератора. Таким образом, выбирая источник сигнала заполнения, всегда следует оценивать нестабильность (и погрешность установки) его частоты.

Третьей причиной погрешности измерения может быть помеха, которая искажает синусоидальный сигнал (рис. 2). Влияние помехи проявляется в том, что начало и конец строба начинают флуктуировать, причем несинхронно. Это приводит к флуктуациям длительности строба и, следовательно, к погрешности измерения периода (частоты). Детальный анализ погрешности, связанной с помехой, достаточно сложен и выходит за рамки данной статьи. Здесь мы только обращаем внимание на важный источник погрешности.

Следует заметить, что наличие даже сильной помехи вовсе не означает, что измерение периода (ча-

стоты) становится невозможным. Становится неприменим метод стробирования. Дело в том, что он жестко привязан к порогу (а значит и к моменту) срабатывания компаратора, который собственно и формирует строб. Это значит, что метод стробирования определяется поведением сигнала в области порогов и совсем не учитывает поведение всего сигнала в целом. Наоборот, методы, основанные на анализе сигнала и помехи в целом, в ряде случаев позволяют исключить влияние помехи. В частности, спектральный анализ сигнала позволяет рассчитать частоту сигнала, при условии, что спектр помехи сосредоточен в области, удаленной от частоты сигнала. Разделение спектра сигнала и помехи, позволяющее измерить частоту сигнала, показано на рис. 3.

Аналогичная проблема возникает при измерении периода (частоты) сильно несинусоидального сигнала. Он хоть и остается периодическим, но в его спектре могут присутствовать достаточно сильные высшие гармоники, которые приводят к такому искажению формы сигнала, что применение метода стробирования способно привести к ошибочным результатам. Сказанное иллюстрирует рис. 4, на котором показаны несинусоидальные сигналы с одинаковым периодом. Однако метод стробирования для второго сигнала не будет работать, так как будут формироваться «ложные» стробы (причем в нашем слу-



Рис. 3. Измерение периода сигнала спектральным методом при наличии помехи

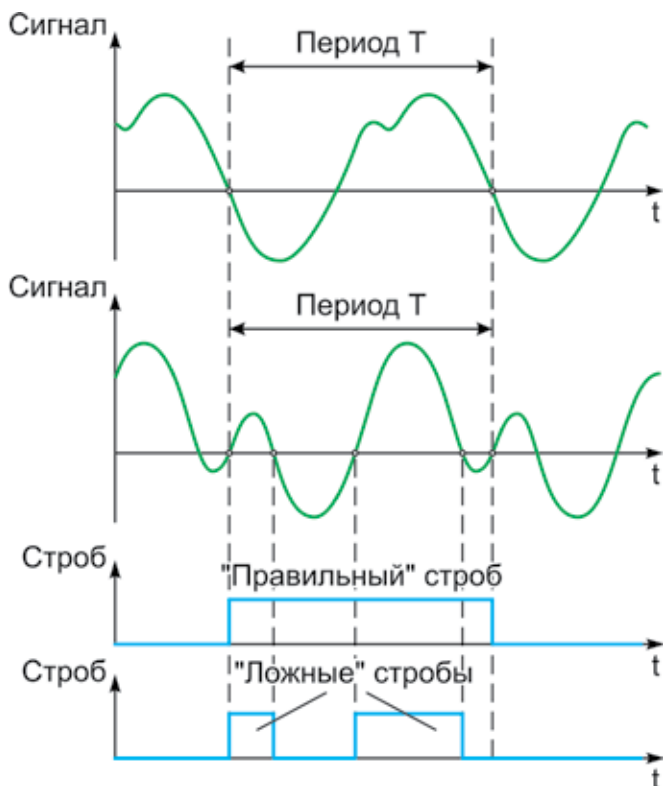


Рис. 4. Искажение негармонического сигнала, исключающее применение метода стробирования для измерения периода

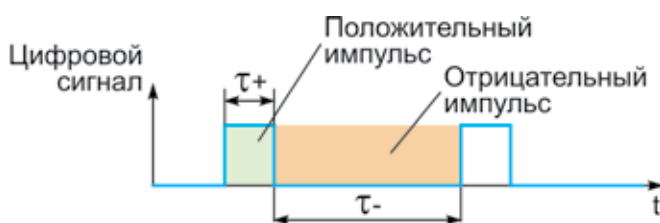


Рис. 5. Измерение длительности импульсов

Очевидно, измерение длительности импульсов производится методом стробирования, причем в качестве строба выступают сами импульсы. Для повышения точности измерения при ограниченной частоте сигнала заполнения применяют усреднение измеренных длительностей по большому числу импульсов.

**Характеристики преобразователей частотно-временных параметров серии НПСи**

Рассмотрим основные характеристики и особенности нормирующих преобразователей частотно-временных параметров серии НПСи, выпускаемых Научно-производственной фирмой «КонтрАвт». В серии НПСи представлены два прибора такого назначения. Преобразователь НПСи-ЧВ измеряет период, частоту, длительность как дискретных, так и аналоговых сигналов. Преобразователь НПСи-ЧС является более специализированным прибором, его основное назначение – измерение и преобразование частоты сетевого напряжения. Внешний вид нормирующего преобразователя частотно-временных параметров периодических сигналов НПСи-ЧВ показан на рис. 6, преобразователь НПСи-ЧС выглядит аналогично.

В преобразователях НПСи-ЧВ выбор входных сигналов (аналого-



Рис. 6. Внешний вид нормирующего преобразователя частотно-временных параметров периодических сигналов НПСи-ЧВ, выпускаемого НПФ «КонтрАвт»

чае их два на периоде), не соответствующие периоду сигнала.

Всё это означает, что прежде чем применять метод стробирования, следует проанализировать возможную форму исследуемого сигнала.

**Измерение длительности импульсов**

В данной статье под длительностью импульса будем понимать интервал времени между двумя следую-

щими друг за другом фронтами разной направленности (рис. 5). Причем здесь мы рассматриваем только периодические положительные сигналы. Импульс между нарастающим и спадающим фронтами считается положительным, а между спадающим и нарастающим – отрицательным. Конечно, сумма длительностей положительного и отрицательного импульсов равна периоду.

Таблица 1. Типы и диапазоны переменных входных и постоянных выходных сигналов преобразователя НПСИ-ДНТВ

Модификация	Тип входного сигнала	Тип измеряемого параметра	Диапазоны преобразования	
НПСИ-ЧВ	Цифровой	Частота		0,02...10000 Гц
		Длительность импульсов	малая	0,0001...1 с
			большая	1...99 с
		Период	малый	0,0001...1 с
	большой		1...99 с	
	Аналоговый	Частота		0,02...10000 Гц
Период		малый	0,0001...1 с	
		большой	1...99 с	
НПСИ-ЧС	Аналоговый	Частота		0...100 Гц

Таблица 2. Типы и диапазоны выходных сигналов преобразователей НПСИ-ЧВ и НПСИ-ЧС

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

вый/цифровой), а также диапазон измерения программируется пользователем. Типы и диапазоны преобразования приведены в табл. 1. Диапазон преобразования по входу пользователь может дополнительно ограничить, задавая нижнюю и верхнюю границу диапазона преобразования.

В качестве аналогового сигнала может выступать переменный сигнал без постоянной составляющей. Максимальное напряжение «от пика до пика» аналогового сигнала не должно превышать 800 В, при этом минимальное напряжение «от пика до пика» не должно быть меньше 1 В. Ширина гистерезиса компаратора при работе с аналоговым сигналом 0,8 В.

Цифровыми считаются следующие типы сигналов: «открытый коллектор», «логический сигнал», «сухой контакт». Максимальное

напряжение до 30 В, ток не более 10 мА.

В преобразователях НПСИ-ЧВ и НПСИ-ЧС пользователем программируется и выходной сигнал, причем устанавливаются не только диапазон преобразования, но и тип сигнала (ток и напряжение). Типы и диапазоны преобразования приведены в табл. 2.

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

Основная погрешность измерения частотно-временных параметров сигналов и их преобразования в унифицированные сигналы тока (или напряжения) составляет 0,1%.

С точки зрения надежности и безопасности в системе должна присутствовать сигнализация, которая срабатывает, когда сигналы

достигают недопустимого уровня. 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-ЧВ и НПСИ-ЧС имеют модификации 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 измеренный параметр сигнала больше заданного уровня;
- функция 2. Сигнализация срабатывает, если измеренный параметр сигнала меньше заданного уровня;
- функция 3. Сигнализация срабатывает, если измеренный параметр сигнала больше заданного уровня, и фиксируется в этом состоянии до сброса пользователем;
- функция 4. Сигнализация срабатывает, если измеренный параметр сигнала меньше заданного уровня, и фиксируется в этом состоянии до сброса пользователем.

Действие сигнализации для функций 1 и 3 иллюстрируют рис. 7, 8. Функции 3 и 4 представляют собой сигнализацию с защелкой. Сбросить ее пользователь может только с передней панели преобразовате-

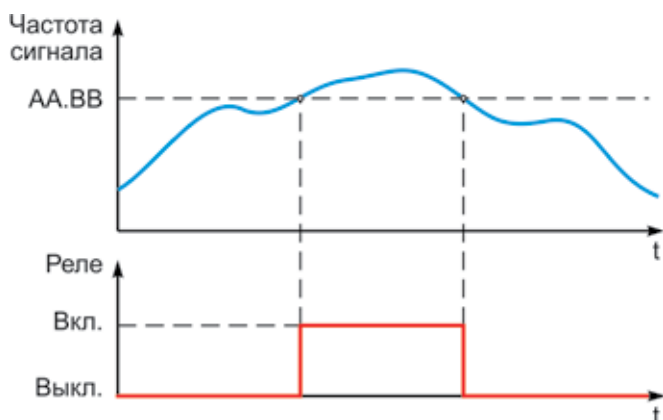


Рис. 7. Диаграмма работы сигнализации «превышение» без защелки

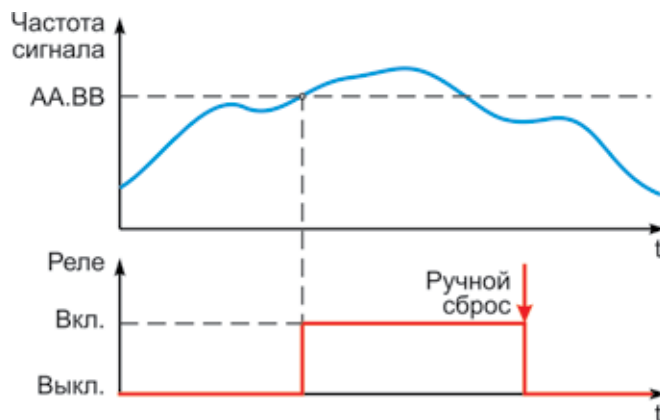


Рис. 8. Диаграмма работы сигнализации «превышение» с защелкой





Рис. 9. Органы индикации и управления на передней панели преобразователя



Рис. 10. Подключение внешних линий с помощью разъемных клеммных соединителей

ля. 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 предпримет действия, предусмотренные технологическим регламентом.

Помимо выполнения функций сигнализации, преобразователи обнаруживают аварийные ситуации, которые могут возникнуть в системе: обрыв линий связи выходных сигналов (только для 4...20 мА), выход параметров 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 ото-

бражается 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-ЧВ/ЧС 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-ЧВ/ЧС 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 поль-

зователем с передней панели с помощью кнопок с контролем по цифровому двухразрядному дисплею (рис. 9). На цифровом дисплее отображается уровень сигнала в процентах от диапазона. Уровень сигнала наглядно показывает и линейный бар-граф.

Для удобства монтажа и обслуживания подключение внешних соединений производится с помощью разъемных клеммных соединителей (рис. 10).

Нормирующие преобразователи НПСИ-ЧВ/ЧС, 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 эти устройства в работе, оценить их характеристики и принять обоснованное решение об их применении.

Д. В. Громов, технический директор,  
С. А. Суяков, ведущий инженер,  
ООО НПФ «КонтрАвт», г. Нижний Новгород,  
тел.: (831) 260-0308,  
e-mail: sales@contravt.nnov.ru,  
www.contravt.ru

# Видеографическая станция сбора и регистрации данных с распределённой архитектурой **ИНТЕГРАФ-1000**

Распределённое применение:

- близость к объекту
- экономия на соединительных проводах
- качество сигналов

Ethernet  
RS-485

рабочие  
температуры  
**-40...+60 °C**

удаление  
до **1000 м**

4/8 каналов  
**DI/DO**

RS-485

8/16 каналов  
**AI**

Применение  
в шкафах:

- малая глубина
- оптимальное размещение

80 мм

ГАРАНТИЯ НА ПРОДУКЦИЮ – 3 ГОДА

*Гибкость распределённых решений*