

Датчики измерения активной мощности и другие приборы контроля электрических параметров

Олег БОЛОТИН
Григорий ПОРТНОЙ,
к. т. н.
Константин РАЗУМОВСКИЙ
Олег ЯЦЕНКО
sensor@gorizont-plus.ru

В статье представлены результаты разработок, проведенных специалистами компании «НПО «Горизонт Плюс» и позволивших вывести на рынок современные малогабаритные приборы для измерения активной мощности в широком диапазоне. Приведены рекомендации по конкретному применению новых приборов. Указанные датчики измерения мощности удачно дополнили линейку выпускаемых компанией преобразователей измерения тока и напряжения.

Российский рынок электротехники и энергетики, так же как и зарубежный, уже давно адаптировался и предлагает современные средства измерения и контроля основных электрических параметров. Повсеместно наблюдается замена традиционных средств измерения в виде шунтов, трансформаторов тока, магнитных усилителей и т. д. современными преобразователями для измерения любых видов тока и напряжения. Эти приборы, как правило, имеют небольшой размер и удобны для монтажа в блок, шкаф или на печатную плату [1]. В ряде случаев, особенно когда электрическая цепь уже собрана или невозможна остановка производства для мониторинга токовых сигналов, потребитель

может использовать разъемные датчики тока, которые надеваются непосредственно на круглую или плоскую токовую шину [2, 3]. Дополнительное преимущество таких приборов — обеспечение гальванической развязки входных и выходных сигналов. Удобны для разработчиков и трехфазные датчики напряжений, изготовленные в стандартном корпусе с возможностью крепления его на DIN-рейку [4].

Последнее время к описанной категории приборов добавлены и датчики измерения активной мощности, интенсивно разрабатываемые фирмой «НПО «Горизонт Плюс» в г. Истре Московской области. Основные характеристики таких преобразователей приведены ниже.

Типовые представители преобразователей активной мощности от компании «НПО «Горизонт Плюс»

Преобразователь мощности является логическим продолжением описанных выше датчиков измерения тока и напряжения. Такой прибор аппаратно реализует вычисление мощности $P = I \times U \cos \phi$ и преобразует активную мощность, потребляемую нагрузкой, в пропорциональный сигнал интерфейса 0/20 или 4/20 мА, гальванически изолированный от измерительных цепей.

Конструктивно преобразователь мощности серии ПИМ состоит из первичного датчика тока (трансформатора или шунта) и печат-

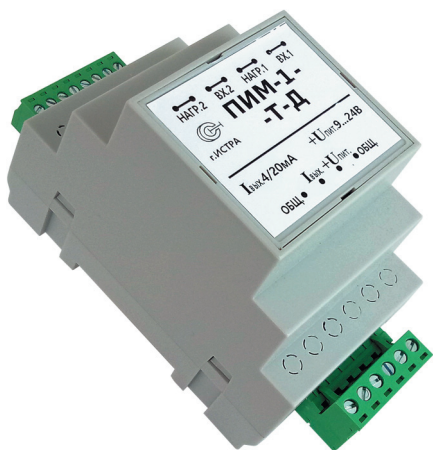


Рис. 1. Внешний вид преобразователя ПИМ-1-Т-Д для измерения активной мощности в диапазоне до 1 кВт

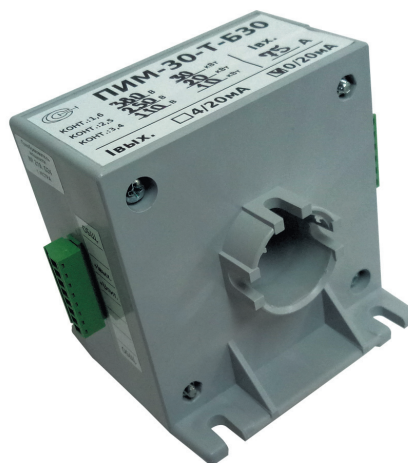


Рис. 2. Внешний вид преобразователя мощности ПИМ-30-Т-В30 для монтажа в блок под круглую токовую шину диаметром до 30 мм

Таблица. Характеристики типовых преобразователей активной мощности производства ООО «НПО «Горизонт Плюс»

Устройства	Выходной сигнал датчика, мА	Габаритные размеры, мм	Диаметр отверстия под токовую шину, мм	Диапазон измеряемых мощностей, кВт	Диапазон измеряемых мощностей, Вт	
ПИМ-...-У-Б30	4–20	115×95×102	30	0,75–400	—	
ПИМ-...-У-Б40		120×110×106	40			
ПИМ-...-П-Б30		105×95×102	30	5–1500 (только для постоянного тока и напряжения)		
ПИМ-...-П-Б40		120×110×107	40			
ПИМ-...-Т-Д		95×54×66	—	—		0,15–2000 (только 50 Гц)
ПИМ-...-Т-Б14 (в разработке)		70×55×34	14	0,075–75 (только 50 Гц)		—
ПИМ-...-Т-Б30		100×95×102	30	0,75–400 (только 50 Гц)		
ПИМ-...-Т-Б40		120×110×107	40	0,75–400 (только 50 Гц)		
ПИМ-...-ТА-Б30		105×95×102	30	0,75–200 (только 400 Гц)		
ПИМ-...-ТА-Б40		120×110×107	40	0,75–200 (только 400 Гц)		

ной платы, на которой установлены элементы электронной схемы обработки сигнала. Преобразователь ПИМ выполняет аналого-цифровое преобразование (АЦП) мгновенных значений тока и напряжения, поданных на соответствующие входы, перемножение соответствующих цифровых кодов и выдачу результата на цифро-аналоговый преобразователь. Гальваническая изоляция от входных цепей осуществляется применением оптопары или цифровыми изоляторами фирмы Analog Devices при передаче данных внутри преобразователя и использованием изолированного источника питания для входных каскадов. Интегральный измеритель активной энергии АДЕ фирмы Analog Devices выдает частотный сигнал, пропорциональный измеряемой активной мощности. Для преобразования частотного сигнала в выходной сигнал токового интерфейса 4–20 мА вместо обычно применяемой дорогостоящей связи — микроконтроллер с кварцевым резонатором и ЦАП — использован прецизионный преобразователь частота-напряжение с термостабильным конденсатором. Это позволило повысить надежность системы в целом и, что немаловажно, снизить ее себестоимость.

Предприятие ООО «НПО «Горизонт Плюс» сегодня выпускает линейку преобразователей в модульном исполнении, измеряющих электрическую мощность в цепях переменного тока. Примером может служить ПИМ-1-Т-Д на 1 кВт, включаемый в разрыв токовой цепи (рис. 1). Другие варианты преобразователей (ПИМ-***-Т-Б30 на рис. 2) изготавливаются в корпусах с отверстием, через которое пропускается токовая шина. Номинальная измеряемая мощность таких типов преобразователей варьируется от нескольких ватт до сотен киловатт, в зависимости от требований заказчика.

Для измерения активной мощности в больших диапазонах (до 1500 кВт) можно рекомендовать преобразователи ПИМ-***-У и ПИМ-***-П (таблица). Первый из них линейно преобразует величину активной мощности в цепях постоянного и переменного тока частоты 50 Гц. Второй — величину активной мощности в цепях постоянного тока. Конструктивно эти преобразователи выполнены в пластмассовом корпусе с диаметром отверстия под токовую шину 30 или 40 мм,

аналогично указанному на рис. 2. Питание приборов осуществляется от однополярного источника 10–30 В, потребляемый ток — не более 100 мА. Предел допустимой основной приведенной погрешности преобразования активной мощности — менее 2%. Выходной сигнал токового интерфейса — 0/20 или 4/20 мА.

ПИМ-Т — новый прибор в линейке выпускаемых преобразователей мощности

Вышеописанные приборы предназначены для измерения активной мощности в цепях переменного тока промышленной частоты 50 Гц. Однако в авиационной технике и в других областях промышленности часто необходимо обеспечить работу приборов при нестандартных частотах 400 Гц, а также более высоких частотах, вплоть до 7 кГц. Для этих целей специалистами компании был разработан преобразователь мощности ПИМ-Т, дополнивший линейку выпускаемых приборов для контроля мощности.

ПИМ-Т представляет собой упрощенный вариант более сложного преобразователя активной мощности на постоянный ток ПИМ-У, который давно выпускается фирмой с интерфейсом ModBus RTU 9600 БОД или 19200 БОД. Действительно, ПИМ-У имеет достаточно сложную магнитную систему с датчиками Холла, применение которой сопряжено с рядом технических сложностей. В частности, система в целом и конкретно датчики Холла требуют температурной компенсации. Кроме того, электрическая схема прибора должна обеспечить борьбу с помехами, неизбежно проявляющимися из-за невысокого соотношения сигнал-шум линейных арсенид-галлиевых датчиков Холла.

В связи с этим, а также с учетом указанных условий применения, в конструкции преобразователя мощности ПИМ-Т в качестве первичного датчика тока используется трансформатор тока, что упрощает и удешевляет конструкцию преобразователя по сравнению с преобразователем активной мощности на постоянный ток ПИМ-У.

Структурно ПИМ-Т состоит из трансформатора тока, счетчика активной энергии, реализованного на специализированной ИС производ-

ства Analog Devices, гальванической развязки и выходного интерфейса 4–20 мА. На входы счетчика активной энергии подаются сигналы, пропорциональные входному току и напряжению, счетчик производит их обработку, то есть преобразование «аналог-цифра», перемножение мгновенных значений тока и напряжения и интегрирование результата по времени. Выходной сигнал счетчика представляет собой серию импульсов, каждый из которых соответствует определенной, весьма малой порции потребленной энергии. Чем больше активная мощность нагрузки, тем чаще следуют выходные импульсы. Эта зависимость линейная, что позволяет сравнительно просто произвести преобразование «цифра-аналог», необходимое для обеспечения стандартизованного выхода 4–20 мА. Гальваническая изоляция сигнала активной мощности обеспечивается единственным оптроном. В качестве преобразователя «цифра-аналог» в конструкции прибора установлен прецизионный преобразователь частота-напряжение lm231. Нелинейность преобразования не превышает 0,02%. Выходной сигнал преобразователя частота-напряжение подается на вход интерфейса 4–20 мА, реализованного на ИС AD694.

Преобразователи ПИМ-Т предназначены для измерения активной мощности в диапазоне от единиц ватт до сотен киловатт. Поэтому конструктивно преобразователи мощности ПИМ-Т выпускаются в различных корпусах, в зависимости от предъявляемых к ним требований. Большая мощность подразумевает большое сечение токовой шины, и такие преобразователи выполнены в блочном корпусе с диаметром отверстия под токовую шину 30 или 40 мм. Если измеряемая мощность не превышает 1 кВт, что соответствует первичному току порядка 5–10 А, преобразователь может быть выполнен в компактном корпусе типа z-107, который монтируется на DIN-рейку. Особо следует отметить преобразователь ПИМ-Т в компактном корпусе Б14 с отверстием под токовую шину 14 мм (рис. 3). ПИМ-Т в этом корпусе измеряет мощность вплоть до 75 кВт, а малые размеры делают его по-своему уникальным прибором, представленным на отечественном рынке.



Рис. 3. Внешний вид преобразователя мощности ПИМ-Т-Б14



Рис. 4. Внешний вид токовых клещей без кольцевого магнитопровода для контроля токов до 10 000 А

Модернизация датчиков с целью снижения их стоимости

Описанные выше приборы используют один и тот же принцип бесконтактного измерения тока с помощью магниточувствительных датчиков Холла, которые находятся в зазоре специализированного сердечника и измеряют магнитное поле проходящего тока. В ряде применений, в частности при измерении постоянных токов, можно обойтись без дорогостоящих традиционных магнитопроводов из аморфного железа. В этом случае датчики Холла располагаются вокруг проводника с током, выходные сигналы датчиков суммируются и эта сумма используется в расчете измеряемого тока.

Конечно, помехозащищенность в таком случае снижается, но в некоторых приложениях это вполне допустимо. Например, хорошо известны и широко применяются энергетиками токоизмерительные клещи с U-образной измерительной головкой с датчиками Холла, размещенной на диэлектрической штанге. С помощью телескопической штанги U-образная головка подводится под проводник с током так, что проводник попадает между датчиками Холла, раз-

мещенными в головке. Результат измерения выводится на светодиодный индикатор.

В компании «НПО «Горизонт Плюс» были разработаны токовые клещи, использующие описанный метод преобразования тока без дорогостоящих жидкокристаллических индикаторов и кольцевых магнитопроводов. Такие клещи подключаются к измерительному устройству кабелем или с помощью приложения Bluetooth. Для наблюдения за формой тока или для измерения импульсных токов выходной сигнал после сумматора поступает, например, по кабелю, на вход осциллографа или устройства для измерения импульсных сигналов.

Внешний вид таких клещей, позволяющих измерять токи до 10 000 А, представлен на рис. 4. В конструкции клещей предусмотрены подвижные «плавающие» губки, в которых смонтированы четыре датчика Холла SS495А. Выходной сигнал с каждого датчика поступает на сумматор, изготовленный на операционном усилителе. С выхода сумматора сигнал поступает на неинвертирующий вход инструментального усилителя, на инвертирующий вход которого, с источника опорного напряжения, поступает напряжение, равное половине питания датчиков Холла SS495А. Опорный сигнал инструментального усилителя привязан к общему проводнику. Таким образом, положительное направление тока будет производить на выходе инструментального усилителя положительное, а отрицательное — отрицательное напряжение, пропорциональное измеряемому току. На выходе клещей установлен преобразователь, обеспечивающий преобразование напряжения в ток. ■

Литература

1. Портной Г. Я., Болотин О. А., Разумовский К. П. и др. Современные датчики для измерения тока и напряжения // ИСУП. 2016. № 1.
2. Портной Г. Разъемные датчики измерения тока под плоскую и круглую шины // Электронные компоненты. 2015. № 9.
3. Болотин О., Портной Г. и др. Разъемные датчики тока — актуальный сегмент на рынке датчиков // Компоненты и технологии. 2014. № 1.
4. Болотин О., Портной Г. и др. Применение датчиков измерения тока и напряжения для решения инженерных задач // Компоненты и технологии. 2016. № 1.