

УДК 621.382.33:621.382.6.011.222

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ОСВОЕНИЯ СЕРИЙНОГО ВЫПУСКА ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ: ДАТЧИКОВ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И ДАТЧИКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Г.Я. Портной  
(ОАО «НИИЭМ»)

*Рассматриваются вопросы, связанные с особенностями проектирования конструкции и опытом освоения серийного выпуска датчиков измерения постоянного и переменного токов, датчиков напряжения и датчиков активной мощности. Приведены основные технические требования к датчикам. Разработана серия датчиков ДТХ, ДТТ, ДНХ и ДИМ, представлены технические характеристики этих приборов. Типовые модели датчиков включены в Госреестр Средств измерений РФ. Цены на эти приборы ниже зарубежных аналогов.*

**Ключевые слова:** датчик Холла, датчик тока и напряжения, датчик активной мощности, магнитная индукция, токовая шина, компенсационная обмотка, кольцевой магнитопровод.

В ОАО «НИИЭМ» начиная с 1961 г. и по настоящее время накоплен значительный опыт разработки и изготовления магниточувствительных датчиков Холла. Эти миниатюрные полупроводниковые приборы сейчас все чаще используются в аппаратуре, поскольку, кроме малых габаритов и массы, датчики Холла отличаются высокой надежностью, быстродействием и строго линейной зависимостью выходного сигнала от магнитной индукции.

В 70-е годы XX века нужда в таких датчиках возникла, прежде всего, в связи с применением датчиков Холла для комплектации серии малогабаритных бесщеточных двигателей постоянного тока разработки ФГУП «НПП ВНИИЭМ». Использование датчиков Холла в качестве датчика положения ротора позволило существенно улучшить надежностные и массогабаритные характеристики ряда бесщеточных двигателей.

В дальнейшем опыт работы с датчиками Холла позволил нам создать многочисленные устройства на их основе. Наибольшее распространение среди них получил прецизионный датчик угла поворота, бесконтактный датчик линейных перемещений, измеритель диаметра металлизированных отверстий печатных плат и др. Однако наиболее широко начали применяться датчики Холла для создания современных приборов контроля и измерения тока, напряжения и активной мощности.

### Модули измерения тока на основе датчиков Холла

До настоящего времени измерения различных видов тока проводятся с помощью токовых шунтов, трансформаторов тока или магнитных усилителей. Недосток этих приборов не только в том,

что все они морально устарели, но и в том, что все они ограниченного применения. Например трансформатором тока можно измерять только переменный ток. Шунты позволяют измерять постоянный ток, но в процессе работы они выгорают, что сразу же снижает точность измерения. Однако общим недостатком этих приборов является то, что они не обеспечивают гальваническую развязку между токовой шиной и измерительными цепями. Датчики измерения тока на основе датчика Холла [1] обеспечивают гальваническую развязку до 10 кВ и обладают целым рядом других преимуществ: малые габариты и масса, хорошее быстродействие, отсутствие вносимых в систему потерь, возможность крепления их на DIN-рейку и пр. Все эти преимущества определяются физикой работы самого датчика измерения тока, блок-схема которого представлена на рис. 1.

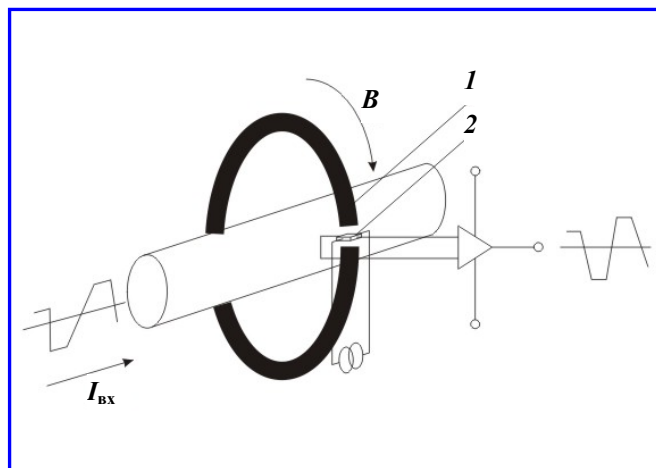


Рис. 1. Принцип работы датчика тока на основе датчика Холла



**Рис. 2. Серийная продукция ОАО «НИИЭМ»**

Конструкция датчика тока, как правило, включает в себя кольцевой или прямоугольный магнитопровод  $I$ , в зазоре которого находится датчик Холла 2. В зависимости от требований к точности измерения тока и особенностей схемотехнических решений датчики тока делятся на два типа: датчики прямого усиления и датчики компенсационного типа. В первом случае, магнитная индукция  $B$ , создаваемая первичным током  $I_p$ , приводит к появлению выходного сигнала у магниточувствительного датчика Холла 2. Этот сигнал повторяет форму и пропорционален величине первичного тока. Датчики компенсационного типа, кроме магнитопровода, датчика Холла и печатной платы обработки сигнала, содержат компенсационную обмотку, т. е. имеют стопроцентную обратную связь, и иногда называются еще датчиками с «нулевым потоком». Такие датчики тока имеют точность измерения лучше 1% и способны измерять постоянный, переменный ток и токи других форм.

### **Особенности создания датчиков ДТХ – универсальных датчиков измерения тока**

Универсальность датчиков заключается в том, что одним и тем же прибором можно измерять постоянные, переменные и импульсные токи.

Конструктивно датчик тока представляет собой миниатюрный автономный модуль, электронная начинка которого питается от постоянного напряжения  $\pm 15$  В (по требованию заказчиков источник питания ИПС может поставляться в комплекте с датчиками тока и, при необходимости, крепиться на DIN-рейку). Датчик Холла и компенсационная обмотка обеспечивают необходимую точность измерений. Потребитель должен только пропустить токовую шину через отверстие в корпусе датчика тока. Выходной сигнал такого датчика строго пропорционален измеряемому току.

Понятно, что в зависимости от величины измеряемого тока и внешних условий эксплуатации датчиков, меняется диаметр отверстия и конструкция корпуса этих приборов. На рис. 2 представлены типовые образцы датчиков тока, серийно выпускаемых ОАО «НИИЭМ». В табл. 1 приведена классификация универсальных датчиков серии ДТХ в зависимости от величины измеряемого тока.

Из табл. 1 видно, что диапазон измерения тока датчиков серии ДТХ составляет от десятков миллиампер до трех тысяч ампер. Наиболее популярными и часто используемыми являются датчики ДТХ-50 ÷ ДТХ-200 (рис. 3, а). Такие модули имеют минимальные размеры, массу и монтируются, как правило, на печатной плате. Для этого служат штырьевые соединители (выводы) датчика, которые изготовлены со стандартным шагом 2,5 мм и впаиваются в металлизированные отверстия печатной платы. Одновременно выводы являются и элементами крепежа датчика. При необходимости использования датчиков ДТХ в более жестких условиях, связанных с внешними механическими воздействиями, предусмотрена более жесткая конструкция датчика (ДТХ-Т на рис. 3, б). Электрическое соединение датчика ДТХ-Т осуществляется с помощью разъема.

Выходной сигнал стандартного датчика ДТХ и ДТХ-Т – токовый и строго пропорционален мгновенному значению измеряемого тока. Однако, по требованию заказчика, электронная схема датчика легко трансформируется, и тогда датчик может измерять действующее значение тока (TRUE-RMS), либо обладает стандартным токовым выходом 4 – 20 мА (0 – 20 мА). Это создает дополнительные удобства при использовании датчиков в электротехнических комплексах, в системах автоматизации или связи.

Из табл. 1 видны основные преимущества датчиков ДТХ и ДТХ-Т: высокая точность измерений (до 1%), гальваническая развязка, малые массогабаритные характеристики и температурный дрейф характеристик. Диаметр отверстий под токовую шину колеблется от 10 (ДТХ-50) до 40 мм (ДТХ-3000).

### **Датчики измерения переменного тока**

Анализ рынка показывает, что примерно в 50% случаев потребителям необходимо измерять только переменные токи. Причем в большинстве случаев это токи синусоидальной формы промышленной частоты 50 Гц. Именно для таких измерений разработана серия датчиков ДТТ, которые можно рассматривать как частный случай универсальных датчиков ДТХ. Конструктивно датчики ДТТ выполнены в корпусах ДТХ, однако, имеют более дешевую электронную начинку (табл. 2). Цена таких

Таблица 1

**Основные технические характеристики выпускаемых датчиков измерения  
постоянного и переменного токов (ДТХ, ДТР)**

| Характеристика                              | ДТХ          |         |              |         | ДТХ-Т        | ДТР-01       | ДТХ           |         |                 |          |          | ДТХ-Ж          |          |          |     |
|---|--------------|---------|--------------|---------|--------------|--------------|---------------|---------|-----------------|----------|----------|----------------|----------|----------|-----|
|   | 50           | 100     | 150          | 200     |              |              | 500           | 750     | 1000            | 1500     | 3000     | 1000           | 1500     | 3000     |     |
| Диапазон измеряемых токов, А (В)            | 0 – 50       | 0 – 100 | 0 – 150      | 0 – 200 | 50 – 200     | 5 – 300      | 0 – 500       | 0 – 750 | 0 – 1000        | 0 – 1500 | 0 – 3000 | 0 – 1000       | 0 – 1500 | 0 – 3000 |     |
| Диапазон рабочих температур, °С             | –20 ... +80  |         |              |         | –40 ... +70  | 0 ... +70    | –20 ... +70   |         |                 |          |          | –20 ... +80    |          |          |     |
| Выходной сигнал датчика, В (мА)             | (25)         | (50)    | (75)         | (50)    | (25 – 100)   | (4/20)       | 5             | 7,5     | (200)           | (300)    | (600)    | (200)          | (300)    | (600)    |     |
| Основная погрешность измерения, не более, % | 1,0          |         |              |         | 1,0          | 1,5          | 1,0           |         | 0,7             |          |          | 2,5            |          |          |     |
| Питание, В                                  | ±15          |         |              |         | ±15          | +10...+30    | ±15           |         | ±18...+24       |          |          |                |          |          |     |
| Диапазон воспроизводимых частот, Гц         | 0 – 50000    |         |              |         | 0 – 50000    | 40 – 65      | 0 – 50000     |         |                 |          |          |                |          |          |     |
| Габаритные размеры, мм                      | 44 × 33 × 22 |         | 58 × 48 × 30 |         | 70 × 55 × 34 | 85 × 55 × 35 | 68 × 90 × 101 |         | 125 × 120 × 110 |          |          | 194 × 118 × 82 |          |          |     |
| Размер отверстия под токовую шину, мм       | 10           |         | 12           |         | 14           | 19 × 19      |               | 20      |                 | 40       |          |                | 10 × 87  |          |     |
| Масса, г                                    | 70           |         | 100          |         | 70           | 130          |               | 500     |                 | 700      | 800      | 900            | 700      | 900      | 900 |

Таблица 2

**Основные технические характеристики выпускаемых датчиков измерения  
переменного тока ДТТ**

| Характеристика  | ДТТ-02                       | ДТТ-03    | ДТТ-04                | ДТТ-04Б                      | ДТТ-06-Н       | ДТТ-07-Н | ДТТ-08                          | ДТТ-09 | ДТТ-03Т                           |  |
|---|------------------------------|-----------|-----------------------|------------------------------|----------------|----------|---------------------------------|--------|-----------------------------------|--|
| Диапазон измеряемых токов, А                          | 5; 10; 20; 50; 100; 200; 300 |           | 1; 5; 10; 20; 50; 100 | 5; 10; 20; 50; 100; 200; 300 | 300; 500; 750  |          | 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000 |        | 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300 |  |
| Номинальный выходной сигнал, В (мА)                   | +2                           | (4/20)    | ~2                    |                              | +2             | (4/20)   | +2                              | (4/20) | (4/20)                            |  |
| Источник питания, В                                   | ±8...±15                     | +15...+30 | ±8...±15              |                              | +10...+36      | +9...+36 | +15...+30                       |        | +15...+30                         |  |
| Ток потребления, мА                                   | 5                            | 7/24      | 5                     |                              | 2              | –        | 5                               | 7/24   | 7/24                              |  |
| Диапазон рабочих температур, °С                       | –20...+80<br>–40...+80       |           | –40...+80             |                              |                |          | –20...+80<br>–40...+80          |        | –10...+70<br>–40...+70            |  |
| Допустимая перегрузка по измеряемому току             | 1,5 раза                     |           |                       |                              |                | 1,3 раза | 1,5 раза                        |        |                                   |  |
| Основная приведенная погрешность для частоты 50 Гц, % | 0,5                          |           |                       |                              |                |          |                                 |        |                                   |  |
| Нелинейность выходной характеристики, %               | 0,2                          |           |                       |                              |                |          |                                 |        |                                   |  |
| Полоса пропускания, Гц                                | 20 – 5000                    |           |                       |                              |                |          |                                 |        |                                   |  |
| Габариты, мм  | 58 × 48 × 30                 |           | 44 × 33 × 22          | 58 × 48 × 30                 | 100 × 95 × 102 |          | 120 × 110 × 106                 |        | 70 × 55 × 34                      |  |
| Диаметр отверстия под токовую шину, мм                | 12                           |           | 10                    | 12                           | 30             |          | 40                              |        | 14                                |  |
| Масса, г  | 100                          |           | 70                    | 100                          | 330            |          | 700                             |        | 200                               |  |

датчиков приблизительно в 1,5 раза ниже, а уровень технических характеристик весьма высок.

Датчики ДТТ могут работать в широком температурном диапазоне от  $-40$  до  $80$  °С с минимальной температурной погрешностью, линейность амплитудно-частотной характеристики не хуже 1% в диапазоне частот от 20 Гц до 10 кГц. Кроме того, потребитель сам выбирает с каким выходным сигналом датчика ему удобно работать: это может быть потенциальный сигнал или токовый выход 4 – 20 мА (0 – 20 мА).

### Разъемные датчики тока

Большое количество модификаций датчиков тока обеспечивает свободу выбора пользователям этих приборов. Однако существует целая отрасль измерений, которая принципиально не может использовать вышеописанные стационарные датчики.

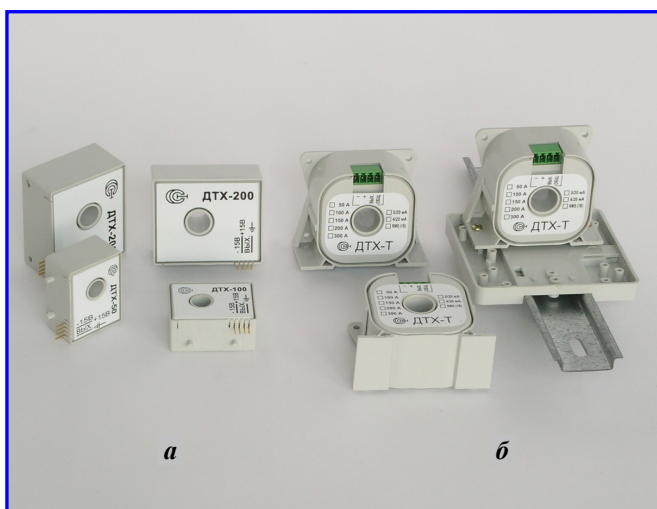


Рис. 3. Датчики тока для монтажа на печатную плату (а) и в транспортном варианте (б)

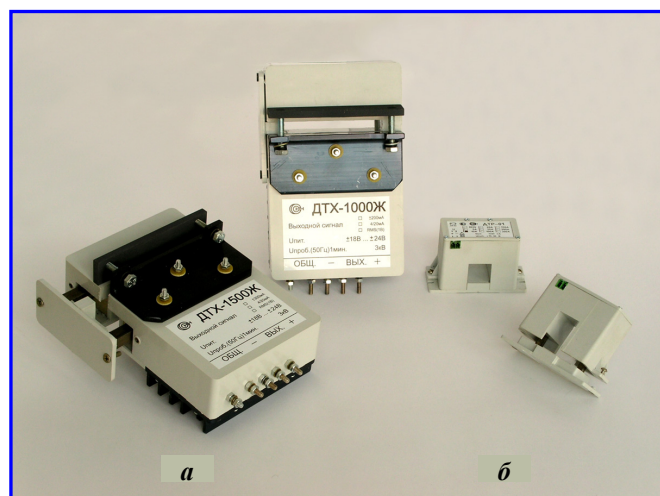


Рис. 4. Внешний вид разъемных датчиков тока под плоскую (а) и круглую (б) токовые шины

Это касается вопросов мониторинга токовых цепей, которые давно собраны и функционируют. Кроме того, целый ряд производств с непрерывным циклом работы не допускает длительного отключения токовых цепей и переустановку оборудования. Для таких случаев нами специально разработана конструкция разъемных датчиков тока серии ДТР-01 и ДТХ-Ж (табл. 1).

Основой таких датчиков является разъемный магнитопровод, позволяющий монтировать датчики непосредственно на токовой шине, без разрыва последней и с гальванической изоляцией измеряемого тока от измерительных цепей. При необходимости такие датчики можно закрепить и на DIN-рейке.

При протекании измеряемого тока по шине, охватываемой магнитопроводом, в обмотке датчика наводится ток, пропорциональный измеряемому току. Выходной сигнал с обмотки подается либо на выпрямитель (детектор) амплитудных значений (маркировка датчика ДТР-01), либо на детектор истинных среднеквадратичных значений (ДТР-01 RMS). Напряжение постоянного тока с выхода детектора преобразуется в сигнал интерфейса «токовая петля 4 – 20 мА».

Разъемные датчики тока относятся к числу последних разработок ОАО «НИИЭМ», и на сегодняшний день освоено производство только двух модификаций датчиков, внешний вид которых представлен на рис. 4. Датчик ДТР-01 рассчитан для монтажа на круглой шине и предназначен для измерения токов в диапазоне от 5 до 400 А с допустимой перегрузкой по входному току в 1,5 раза. Разъемная конструкция датчиков ДТХ-1000Ж, ДТХ-1500Ж или ДТХ-3000Ж позволяет закрепить их на плоской шине. Соответственно, номинальный измеряемый ток у этих датчиков 1000, 1500 или 3000 А. Датчики выдерживают перегрузку по входному току и способны работать в диапазоне температур от  $-60$  до  $+85$  °С.

### Датчик больших токов ДБТ

Отдельного описания заслуживает датчик ДБТ, конструкция которого разрабатывалась нами, исходя из типовых требований к измерению постоянного тока  $8 \div 25$  кА. Привязка конструкции к конкретным требованиям заказчика осуществлялась непосредственно на Иркутском алюминиевом заводе (г. Шелехов). На рис. 5 представлен датчик ДБТ уже в сборе, смонтированный непосредственно на токовой шине ванны электролиза алюминия.

Конструктивно датчик больших токов состоит из двух блоков: измерительного контура и блока питания. Разъемный измерительный контур массой до 40 кг предназначен для монтажа непосредственно на токо-



ведущей шине. Размеры внутреннего окна могут составлять  $400 \times 400$  мм. Удобство монтажа датчика без разрыва токовой шины – это только одно из преимуществ датчика ДБТ по сравнению с традиционно используемыми шунтами. Электрическая связь между измерительным контуром и блоком питания и индикации осуществляется с помощью кабеля длиной до 5 м. Блок питания и индикации смонтирован в удобном переносном корпусе и питается от однофазной промышленной сети переменного тока 220 В (50 Гц)  $\pm 10\%$ . Блок обеспечивает измерительный контур необходимым питанием и формирует выходной сигнал стандартной токовой петли 0 – 5 А. Основная приведенная погрешность датчика составляет 0,4%. Датчик ДБТ полностью сохраняет работоспособность при 1,5-кратной перегрузке измеряемого тока.

Датчик больших токов ДБТ реализует тот же принцип работы датчиков измерения тока, который описан выше. Однако области использования датчика ДБТ весьма специфичны: это энергоемкие производства медеплавильной промышленности, предприятия нефтяной промышленности и электрометаллургии с высоким уровнем паразитных магнитных полей, нефтехимия и электроэнергетика. Это накладывает целый ряд дополнительных требований и ограничений на схемотехнику датчика, его конструктивные особенности. Учитывая тяжелые температурные условия работы прибора и высокий уровень электромагнитных помех, в датчике предусмотрена специальная система теплоотвода, повышены изолирующие свойства измерительного контура и предусмотрены меры электромагнитной защиты.

В настоящее время датчик больших токов выпускается в трех модификациях: на 8 кА (ДБТ-8), 15 кА (ДБТ-15) и на 25 кА (ДБТ-25). При измерении таких токов особенно остро встает проблема метрологии измерительного датчика. Для решения этой задачи и с целью максимального удобства использования такого прибора в конструкции датчика ДБТ предусмотрена специальная поверочная обмотка. С помощью этой обмотки можно производить настройку и периодическую поверку датчика ДБТ непосредственно на предприятии заказчика.

Не менее существенным преимуществом датчика больших токов является его цена: она приблизительно в 3 – 4 раза ниже существующих зарубежных аналогов.

#### Датчики измерения напряжения

Если измеряемое напряжение цепи превратить в ток (для этого достаточно использовать токозадающее сопротивление), то величина этого тока будет пропорциональна напряжению в измерительной це-

пи. Именно этот принцип лежит в основе работы датчиков напряжения, а наличие в их конструкции датчика Холла обеспечивает гальваническую развязку силовых цепей и цепей контроля.

В табл. 3 приведены основные технические характеристики датчиков измерения напряжения постоянного тока (ДНХ) и датчиков напряжения переменного тока (ДНТ). Конструкция датчиков напряжения представлена на рис. 6. Датчик напряжения может монтироваться на печатную плату, а токозадающее сопротивление подключается одним концом к измерительной цепи, а вторым – к винтовому выводу датчика (рис. 6, а). Второй винтовой вывод датчика соединяется с измерительной цепью. Иногда более удобным является размещение датчика на DIN-рейке. Для этих целей разработана специальная переходная планка. В ряде случаев более удобным является клеммное устройство датчика напряжения (рис. 6, б). Такой датчик напряжения имеет возможность непосредственного монтажа на DIN-рейке.

Датчики напряжения позволяют контролировать постоянное и переменное напряжение до 1000 В в широком температурном диапазоне. Электронная схема датчика предусматривает получение выходного сигнала в виде напряжения или в виде токового сигнала 4 – 20 мА (0 – 20 мА). Так, например, датчик ДНХ-03 (табл. 3) предназначен для преобразования входного постоянного, импульсного напряжения положительной полярности в стандартное (мгновенное) значение токового выхода 4 – 20 мА. А модификация этого же датчика ДНХ-03RMS преобразует входное напряжение в действующее выпрямленное значение стандартного токового выхода 4 – 20 мА. Питание датчика ДНХ-03 осуществляется по токовой петле 4 – 20 мА, а монтаж – на DIN-рейку.

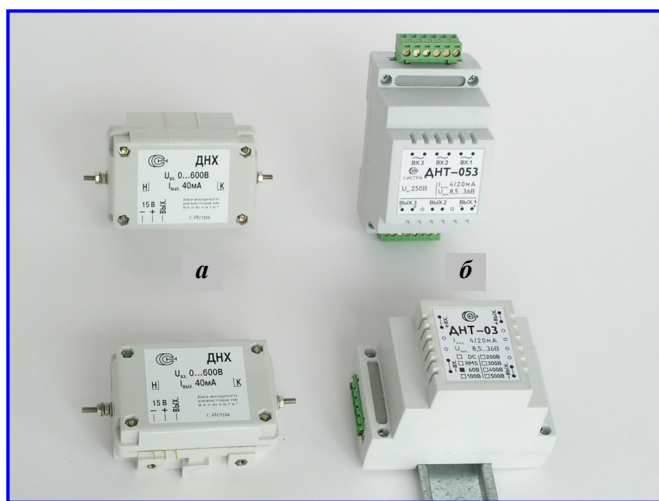


Рис. 5. Датчик больших токов ДБТ, смонтированный на шинопроводе электролизера алюминия

Таблица 3

**Основные технические характеристики выпускаемых датчиков напряжения постоянного и переменного токов (ДНХ, ДНТ)**

| Характеристика  | ДНХ              | ДНТ-051                | ДНТ-053                | ДНХ-01                 | ДНХ-03RMS              | ДНХ-03DC               |
|---|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Диапазон измеряемых напряжений, В                     | (0 – 1000)       | 50, 100, 250, 500      | 250                    | 60, 100, 200, 300, 500 | 60, 100, 200, 300, 500 | 60, 100, 200, 300, 500 |
| Номинальный выходной сигнал, мА                       | 40               | 4/20                   |                        | 40                     | 4/20                   | 4/20                   |
| Источник питания, В                                   | ±15              | 8,5...36               |                        | ±15                    | 8,5...36               |                        |
| Ток потребления, мА                                   | 60               | –                      |                        | 50                     | –                      |                        |
| Диапазон рабочих температур, °С                       | –20 ... +70      | 0...+70<br>(–40...+70) | 0...+50<br>(–40...+50) | 0...+70<br>(–40...+50) | 0...+70<br>(–40...+70) |                        |
| Допустимая перегрузка по измеряемому току             | 1,5 раза         | 1,3 раза               |                        | 1,5 раза               | 1,3 раза               |                        |
| Основная приведенная погрешность для частоты 50 Гц, % | 1,0              | 0,5                    |                        | 1,0                    | 1,5                    |                        |
| Нелинейность выходной характеристики, %               | 0,5              | 0,3                    |                        | 0,1                    | 0,1                    | 0,3                    |
| АЧХ в пределах 1%, не более, кГц,                     | –                | 0,02...10              |                        | –                      | 0...1                  |                        |
| Габариты, мм  | 73,5 × 52,5 × 39 | 90 × 35 × 62           | 95 × 54 × 65           | 73,5 × 52,5 × 39       | 95 × 54 × 65           | 95 × 54 × 65           |
| Масса, г  | 100              | 180                    | 210                    | 100                    | 210                    | 210                    |



**Рис. 6. Конструкция датчика напряжения ДНХ (а) и ДНТ (б)**

Линейка датчиков напряжения предусматривает также модификации более дешевых датчиков для контроля только переменного напряжения (ДНТ-05 – в табл. 3). В этом случае датчик ДНТ-051 можно использовать для работы в однофазных цепях, а датчик ДНТ-053 предназначен для работы в трехфазных цепях. Для этих целей датчик ДНХ-053 содержит в одном корпусе три независимых, гальванически изолированных канала, каждый из которых идентичен датчику ДНТ-051. Датчик напряже-

ния ДНТ-05 преобразует входное напряжение в средневыпрямленное значение выходного тока, проградуированное в среднеквадратических значениях.

**Датчики измерения мощности**

Логическим продолжением описанных выше приборов является датчик измерения мощности ДИМ, приборно реализующий формулу измерения мощности  $P = IU$ . Датчик ДИМ предназначен для преобразования активной мощности, потребляемой нагрузкой в цепях переменного тока частоты 50 Гц и постоянного тока, в пропорциональный сигнал токового интерфейса 0 – 20 мА или 4 – 20 мА, гальванически изолированного от измерительных цепей и без разрыва токовой шины. Для этого токовая шина пропускается в отверстие в датчике, а напряжение подводится к входным клеммам датчика.

Конструктивно данный принцип реализован в стационарных или разъемных корпусах для датчика ДИМ. В первом случае диаметр отверстия под токовую шину составляет 30 или 40 мм. Во втором случае датчик мощности ДИМ выполнен в разъемном корпусе, что позволяет измерять активную мощность на участках ранее смонтированных электрических цепей без их разрыва или демонтажа. Разъемный датчик предназначен для измерения мощности, когда ток течет по плоской шине. В случае, ко-

гда ток течет по круглой шине, целесообразно использовать датчик мощности, смонтированный в корпусе токовых клещей с разъемными губками.

В табл. 4 приведены основные технические характеристики датчиков активной мощности ДИМ. Видно, что точность преобразования датчиков ДИМ относительно невелика (около 2%), однако, этот датчик имеет ряд преимуществ по сравнению со своими аналогами. В датчике ДИМ для получения значения мощности применен способ, при котором перемножаются мгновенные значения тока и напряжения. В дальнейшем это произведение усиливается и усредняется.

Дальнейшее прохождение сигнала контролируется микроЭВМ, входящей в электронную начинку датчика (рис. 7). С помощью АЦП сигнал оцифровывается. Далее при помощи калибровочных коэффициентов, записанных в энергозависимой памяти, рассчитывается значение мощности и выходного тока датчика. Формируется выходной ток с помощью ЦАП и преобразователя напряжение-ток. Электрическая схема датчика сформирована таким образом, что выводы питания и выходного сигнала имеют защиту от

переплюсовки и перегрузки по току и напряжению.

По требованию заказчиков разработана и выпускается модификация датчика ДИМ-Т, которая позволяет общаться с датчиком по последовательному интерфейсу RS-485 по протоколу Modbus®. Питание датчика мощности осуществляется от источника однополярного постоянного напряжения 15...35 В. Датчик выдерживает длительную перегрузку по входу до 120% от номинальных значений напряжения и тока.

Для измерения мощности в трехфазных цепях с несимметричной нагрузкой применяются три датчика ДИМ, по одному в каждой фазе. В этом случае выходы датчиков объединяются, а выходной сигнал будет равен сумме сигналов всех датчиков.

Примененный в конструкции датчика ДИМ принцип преобразования позволил измерять мощность в цепях, как переменных, так и постоянных токов. Кроме того, существенно расширен частотный диапазон, что позволяет измерять мощность в цепях нагрузок импульсных и сложных форм тока и напряжения, например, в преобразователях частоты.

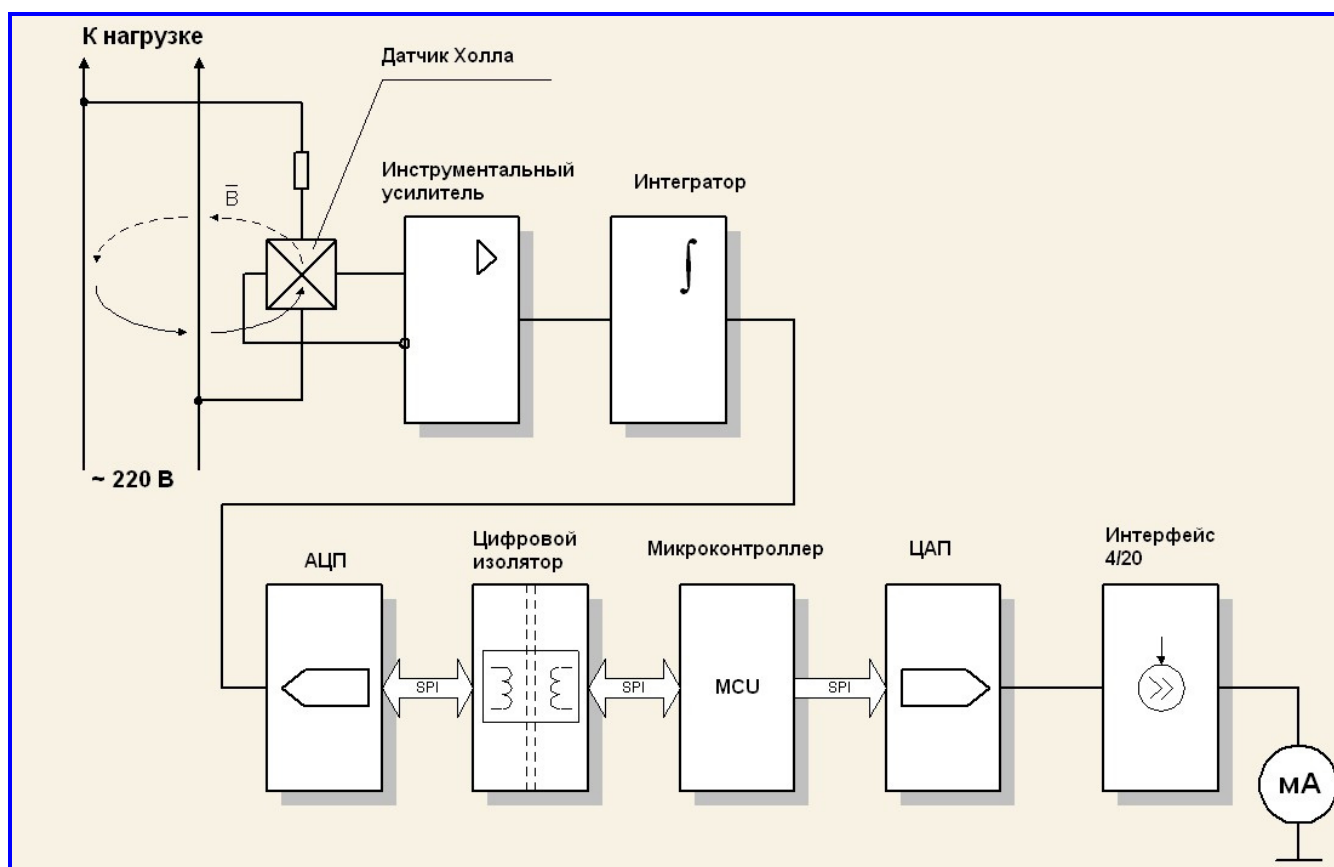


Рис. 7. Блок-схема датчика мощности ДИМ



Диапазон мощностей, измеряемых датчиками ДИМ, составляет от 5 до 200 кВт. При этом диапазон входных напряжений колеблется от 20 до 380 В, а диапазон входных токов составляет от 20 до 600 А. Коэффициент мощности  $\cos\phi$  датчика ДИМ на частоте 50 Гц составляет  $0,3 \div 1$ , основная приведенная погрешность  $\pm 2\%$ .

Конструкция датчика мощности такова, что позволяет в процессе изготовления прибора изменять (в сторону уменьшения) номинальные значения измеряемой мощности. При этом необходимо учесть, что при токах менее 50 А точность преобразования падает. Напряжение может быть снижено до единиц вольт без ухудшения точности. В случае измерения мощности, когда ток значительно ниже номинального, для сохранения заданной точности допускается в отверстие пропускать токовую шину несколько раз. В этом случае полученный с помощью датчика результат необходимо разделить на количество витков обмотки.

#### Датчик мощности ДИМ-1Ф

Датчики ДИМ-200, как это показано выше, предназначены для преобразования активной мощности, потребляемой в цепях переменного и постоянного токов. Однако в большинстве случаев мы имеем дело с сетями частотой 50 Гц. Такие типы сетей широко используются в промышленности и

повсеместно в быту. Именно для таких сетей и был разработан датчик мощности ДИМ-1Ф. Такой датчик преобразует активную мощность, потребляемую нагрузкой в сетях переменного тока частотой 50 Гц, в пропорциональный сигнал токового интерфейса 0 – 20 мА или 4 – 20 мА, гальванически изолированного от измерительных цепей.

Измерение мощности в цепях переменного тока может быть осуществлено с большей точностью, чем в цепях постоянного. Дополнительным преимуществом датчика мощности ДИМ-1Ф является также возможность подключения первичного трансформатора тока (аналогично счетчикам электроэнергии), при этом номинальная измеряемая мощность ДИМ-1Ф увеличивается пропорционально коэффициенту трансформатора тока.

Конструктивно датчик выполнен в прямоугольном пластмассовом корпусе и предназначен для монтажа на DIN-рейку (рис. 8). Электрическая схема датчика ДИМ-1Ф выполнена на основе интегральной микросхемы-счетчика электрической энергии ADE7753, выпускаемой фирмой Analog Devices [2]. Блок-схема датчика ДИМ-1Ф представлена на рис. 9. Датчик работает под управлением микроконтроллера, который осуществляет чтение данных из счетчика электроэнергии, их преобразование и выдачу на ЦАП.



Рис. 8. Датчик измерения мощности ДИМ-1Ф



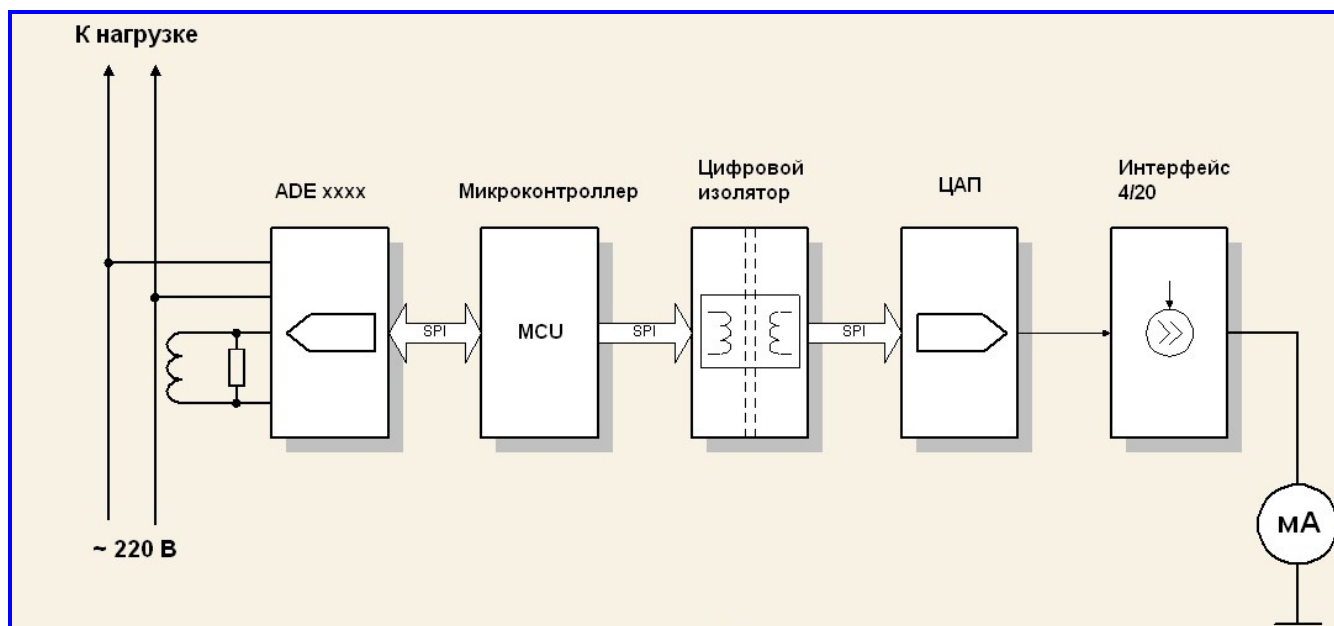


Рис. 9. Блок-схема датчика мощности ДИМ-1Ф

Таблица 4

## Основные технические характеристики датчиков активной мощности ДИМ

| Характеристика                      | ДИМ-200                            |                         | ДИМ-1Ф            |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
|                                     | Диапазон измеряемых мощностей, кВт | 0 – 200                 | 0 – 200           |
| Род напряжения в сети               | Переменное и постоянное            | Переменное и постоянное | Переменное, 50 Гц |
| Диапазон входных напряжений, В      | 20 – 380                           | 20 – 380                | 0 – 250           |
| Диапазон входных токов, А           | 20 – 600                           | 20 – 60                 | 0 – 5             |
| Основная приведенная погрешность, % | 2                                  | 2                       | 1                 |
| Отверстие под токовую шину, мм      | 30                                 | 40                      | –                 |
| Габаритные размеры, мм              | 115 × 95 × 102                     | 120 × 110 × 106         | 95 × 54 × 66      |

Питание датчика осуществляется от стабилизированного источника постоянного напряжения 15...35 В, что позволяет без проблем запитать его практически в любом щите промышленной автоматики. Для обеспечения гальванической изоляции цепей измерения от цепей интерфейса в датчике применен вторичный источник питания, гальванически развязанный от первичного посредством трансформатора. Вторичный источник, имеющий электрическую мощность порядка 1 Вт, обеспечивает питание измерительной части датчика ДИМ-1Ф.

При реализации программы измерения мощности необходимо было выбрать период следования прерываний таймера. Выбирать это значение произвольно нежелательно, потому что в

сигнале активной мощности присутствует переменная составляющая удвоенной частоты сети. Несмотря на наличие ФНЧ в тракте прохождения сигнала активной мощности (рис. 9), полностью избавиться от переменной составляющей невозможно. Единственный выход – производить выборки регистра активной мощности с частотой кратной частоте переменной составляющей сигнала активной мощности. Этот способ и реализован в датчике ДИМ-1Ф. Для получения достаточного быстродействия датчика мощности и учитывая возможности используемого микроконтроллера, период следования прерываний таймера выбран равным 260 мс (26 полупериодов частоты сети), что позволяет обновлять данные на выходе датчика

примерно четыре раза в секунду. Фактически датчик мощности ДИМ-1Ф выдает на выход информацию об активной энергии, переданной нагрузке за каждую четверть секунды.

### **Литература**

1. Отечественные датчики для энергетике и ресурсосбережения // Энергоанализ и энергоэффективность. – 2005. – № 4,5. – С. 37.
2. Analog Devices ADE7753 Datasheet. – URL: <http://www.analog.com/UploadedFiles/DataSheets/ADE7753.pdf>.

*Поступила в редакцию 03.08.2010*

**Григорий Яковлевич Портной**, канд. техн. наук, начальник отдела, заместитель главного конструктора,  
т. (495)-994-51-88, e-mail: [Portnoy@istra.net.ru](mailto:Portnoy@istra.net.ru).