

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

## ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГЕТИКИ

Д. И. Зализный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены базовые принципы функционирования современных электронных измерительных приборов, применяющихся для задач энергетики. Показано, что основными блоками таких устройств являются аналого-цифровой преобразователь и микроконтроллер. Приведены алгоритмы расчета действующих значений напряжения и тока, а также электрической мощности и энергии в программном обеспечении микроконтроллера. Даны сведения о последних разработках измерительных приборов для учебных стендов в лабораториях кафедры «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого. Отмечена роль студентов в этом процессе.

**Ключевые слова:** измерительный прибор, датчик, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, дискретизация, алгоритм.

Электронные измерительные приборы используются практически во всех отраслях человеческой деятельности, в том числе и в энергетике, которую подразделяют на электроэнергетику и теплоэнергетику. Для задач электроэнергетики применяют амперметры, вольтметры, вольтамперфазометры, измерители сопротивлений, счетчики электроэнергии и многие другие приборы. В теплоэнергетике наиболее актуальны термометры, манометры, измерители расхода, счетчики тепловой энергии.

Несмотря на то, что в электронных измерительных приборах для нужд энергетики имеются свои особенности, они функционируют по тем же принципам, что и все остальные современные микропроцессорные приборы, т. е. в соответствии со структурной схемой, показанной на рис. 1.

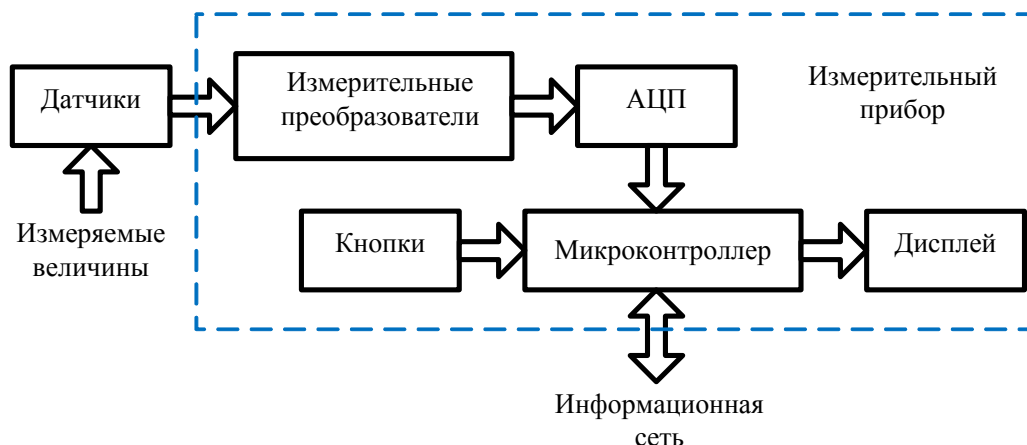


Рис. 1. Обобщенная структурная схема микропроцессорного измерительного прибора

Измеряемые электрические или неэлектрические величины с помощью соответствующих внешних датчиков преобразуются в пропорциональные их значениям напряжения или токи, которые поступают затем на входы измерительных преобразователей. Эти преобразователи усиливают, ослабляют или масштабируют полученные сигналы и подают сформированные в соответствии с текущим пределом измерения напряжения на входы многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

В АЦП осуществляется процесс дискретизации, т. е. разбиения измеряемого сигнала на отсчеты, выборки, как показано на рис. 2.

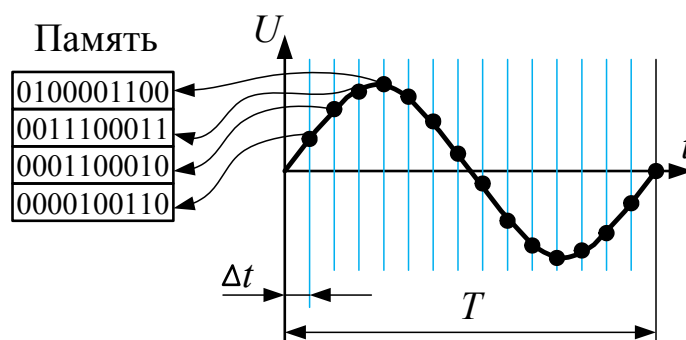


Рис. 2. Дискретизация аналогового сигнала

Через равные интервалы времени  $\Delta t$ , которые называются периодом дискретизации, АЦП преобразует мгновенные значения измеряемого напряжения (показаны жирными точками на рис. 2) в соответствующие двоичные коды, которые далее записываются в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) микроконтроллера.

Микроконтроллер – это наиболее универсальная цифровая интегральная микросхема в современной электронике, содержащая центральный процессор, память, порты ввода-вывода, таймеры-счетчики и многие другие функциональные блоки. Можно сказать, что микроконтроллер является «мозгом» современного электронного прибора.

Работой микроконтроллера управляет программа, записанная в его внутреннюю *Flash*-память. Стандартные действия, осуществляемые микроконтроллером:

- выполнение необходимых математических расчетов;
- вывод результатов на дисплей;
- опрос управляющих кнопок;
- обмен данными с другими приборами через информационную сеть посредством интерфейсов связи.

Важнейшими видами математических расчетов в микроконтроллере для задач энергетики являются:

- умножение измеренных величин на масштабирующие коэффициенты с целью получения результатов требуемой размерности;
- расчеты действующих значений переменных напряжений и токов электрической сети;
- расчеты электрических мощностей и энергий;
- расчеты уровня расхода жидкости или газа;
- расчеты тепловых мощностей и энергий.

В качестве примера рассмотрим формирование алгоритма для расчета действующего значения напряжения. Исходная формула записывается следующим образом:

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}, \quad (1)$$

где  $U_{RMS}$  – действующее значение напряжения;  $T$  – период напряжения электрической сети (см. рис. 2);  $u(t)$  – зависимость измеряемого напряжения от времени.

Для того чтобы формулу (1) можно было использовать в программном обеспечении микроконтроллера, от интеграла необходимо перейти к приближенной сумме:

$$U_{RMS} \approx \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^n U_j^2 \Delta t} = \sqrt{\frac{\Delta t}{T} \sum_{j=1}^n U_j^2}, \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – период дискретизации;  $j$  – номер отсчета (выборки) напряжения в процессе дискретизации (см. рис. 2);  $n$  – количество отсчетов за интервал времени  $T$ .

Из рис. 2 следует, что если разделить  $T$  на  $\Delta t$ , то получим количество отсчетов  $n$ . Тогда выражение (2) приобретет вид:

$$U_{RMS} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j^2}. \quad (3)$$

Формула (3) и является алгоритмом расчета действующего (эффективного) значения напряжения. Аналогичным образом рассчитывается и действующее значение тока  $I_{RMS}$ .

В зарубежной литературе действующее значение обозначается: *RMS – Root Mean Square* – среднеквадратическое значение.

Очевидно, что чем меньше значение периода дискретизации  $\Delta t$ , тем выше точность алгоритма (3) по отношению к формуле (1). Однако при уменьшении  $\Delta t$  возрастают требования к быстродействию АЦП и объему памяти микроконтроллера. Поэтому, как правило, выбирают оптимальное значение  $\Delta t$  в соответствии с теоремой Котельникова.

Действующие значения напряжения и тока позволяют микроконтроллеру рассчитывать мощности и энергии в электрической сети. Так активная мощность определяется по известной формуле

$$P = U_{RMS} I_{RMS} \cos \varphi, \quad (4)$$

где  $\varphi$  – разность фаз между напряжением и током.

За последние несколько лет на кафедре «Электроснабжение» разработаны и внедрены в учебный процесс ряд лабораторных стендов с микропроцессорными измерительными приборами, которые также разработаны на кафедре. Данные приборы функционируют на основе микроконтроллеров серии *Atmega* фирмы *Atmel*. Это следующие приборы:

– секундомер со светодиодным дисплеем для измерения быстродействия высоковольтного выключателя с электромагнитным приводом;

- амперметр-секундомер с жидкокристаллическим дисплеем для измерения электропотребления и быстродействия высоковольтного выключателя с пружинным приводом;
  - микроомметр для измерения сопротивлений замкнутых контактов высоковольтного разъединителя;
  - ваттварметр для измерений мощности электроприемников.
- Внешний вид разработанного ваттварметра показан на рис. 3.



Рис. 3. Ваттварметр лабораторный

Данный прибор имеет следующие преимущества перед аналогами:

- низкая стоимость (себестоимость не более 200 бел. руб. без учета стоимости корпуса);
- защита от коротких замыканий и перегрузки встроенным автоматическим выключателем;
- удобство подключения к лабораторным стендам;
- отсутствие отдельной цепи питания;
- одновременное отображение значений активной и реактивной мощности;
- автоматическое определение знаков активной и реактивной мощности.

Основной недостаток прибора – низкая точность из-за простоты и низкой стоимости внутренней схемы. Класс точности составляет около 5. Однако этой точности достаточно для выполнения лабораторных работ, в которых осуществляется контроль электропотребления различных электроприемников. Такой прибор можно рассматривать как эффективную замену электромеханическим ваттметрам.

В монтаже всех перечисленных лабораторных стендов и измерительных приборов принимали участие студенты кафедры «Электроснабжение» в рамках УИЛС «Электроника и программирование в энергетике». Автор выражает благодарность этим студентам за проявленную работоспособность и энтузиазм. Автор считает, что на всех кафедрах университета необходимо привлекать студентов к совершенствованию лабораторной базы, так как это, несомненно, способствует совершенствованию их профессиональных навыков.

## Литература

1. Информационно-измерительная техника и электроника / Г. Г. Раннев [и др.] ; под ред. Г. Г. Раннева. – 2-е изд. – М. : Академия, 2007. – 511 с.
2. Зализный, Д. И. Электроника и информационно-измерительная техника : учеб. пособие / Д. И. Зализный, О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 177 с.
3. Зализный, Д. И. Микроэлектронные и микропроцессорные устройства в энергетике : учеб. пособие / Д. И. Зализный – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 194 с.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1996. – 638 с.

## РАЗВИТИЕ ВИДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

И. В. Рачкова

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Автором разработана методика определения направлений перспективной специализации региона, состоящая в количественной оценке вклада различных ВЭД в экономический рост региона и его конкурентных преимуществ в данных ВЭД на основе анализа структурных сдвигов, расчета коэффициента локализации, скорректированного на коэффициент душевого производства. Определены ВЭД перспективной специализации Гомельской области. Установлен перечень технологических компетенций, развитие которых в регионе будет способствовать росту конкурентных преимуществ его ВЭД перспективной специализации.*

**Ключевые слова:** вид экономической деятельности, конкурентное преимущество, коэффициент локализации, перспективная специализация, регион, сфера производства, сфера услуг, технологические компетенции.

Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. предусматриваются дифференцированный подход к региональному развитию и реализация точечных мер поддержки и стимулирования в зависимости от специализации, компетенций и потенциала территорий [1]. В этой связи актуальным является определение перспективной специализации регионов и технологических компетенций, требующих развития в ее рамках.

Для определения направлений перспективной специализации региона нами была разработана методика [2], состоящая в количественной оценке вклада различных видов экономической деятельности (ВЭД) в экономический рост региона и его конкурентных преимуществ в данных ВЭД. Алгоритм применения методики включает следующие этапы:

Этап 1. *Определение коэффициентов локализации ВЭД региона.*

На данном этапе последовательно рассчитываются частные коэффициенты локализации ВЭД по валовой добавленной стоимости (ВДС), численности занятых, интегральный коэффициент локализации.

Значение частного коэффициента локализации ВЭД определяется:

а) при рассмотрении одного региона без необходимости сопоставления регионов по направлениям перспективной специализации – без учета размера экономики региона по формуле (1):