

Литература

1. STM32F407/417. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407-417.html>. – Дата доступа: 10.09.2022.
2. Анализ данных MPU6050. – Режим доступа: <https://russianblogs.com/article/6012840510/>. – Дата доступа: 10.09.2022.
3. Madgwick, S. O. H. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays / S. O. H. Madgwick. – Режим доступа: [https://x-io.co.uk/downloads/madgwick\\_internal\\_report.pdf](https://x-io.co.uk/downloads/madgwick_internal_report.pdf). – Дата доступа: 10.09.2022.

УДК 621.317.39

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМИТАТОРА ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ И-02

Л. А. Захаренко, В. А. Карпов

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

Представлены результаты работы по модернизации имитатора электродной систем И-02 с применением прецизионного 16-битного цифро-аналогового преобразователя.

**Ключевые слова:** цифро-аналоговое преобразование, потенциометрический метод измерения, рН-метр.

### MODERNIZATION OF I-02 ELECTRODE SYSTEM SIMULATOR

L. A. Zakharenko, V. A. Karpov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of work on the modernization of the I-02 electrode system simulator using a precision 16-bit digital-to-analog converter are presented.

**Keywords:** digital-to-analog conversion, potentiometric measurement method, pH meter.

Имитатор электродной системы И-02 предназначен для проверки работоспособности рН-метров, редоксометров и рХ-метров (иономеров) в условиях производственных цехов и мастерских контрольно-измерительных приборов (КИП) (рис. 1).

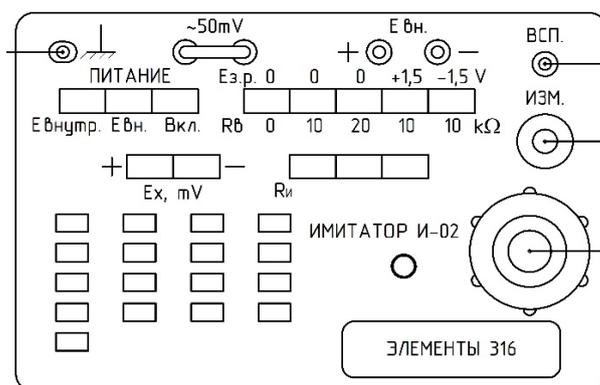


Рис. 1. Лицевая панель имитатора

Основные технические характеристики [1]:

– диапазоны выходного напряжения имитатора от 0 до  $\pm 2011$  мВ с дискретностью установки 0,1 мВ;

- значения сопротивлений, имитирующих внутреннее сопротивление измерительного электрода ( $R_{и}$ ), составляют 0; 500 и 1000 МОм;
- значения сопротивлений, имитирующих внутреннее сопротивление вспомогательного электрода ( $R_{в}$ ), составляют 0; 10 и 20 кОм;
- выходное сопротивление имитатора при  $R_{и} = R_{в} = 0$  составляет не более 0,55 кОм на 1 мВ выходного напряжения;
- предел допускаемой основной абсолютной погрешности установки выходного напряжения имитатора должен соответствовать значениям, определяемым по формуле

$$\Delta = \pm(0,005U_x + 0,1). \quad (1)$$

Достоинства прибора:

- ток потребления имитатора не более 1 мА, что позволяет осуществлять автономное питание от четырех батарей А316;
- достаточно высокая точность.

Схема задания и формирования выходного напряжения состоит из большого количества резисторов и 17 переключателей П2К. Исходя из этого, к недостаткам имитатора можно отнести морально устаревшую элементную базу, трудоемкость сборки и изготовления прибора и достаточно большое содержание драгоценных металлов (по паспорту И-02 содержит золота – 0,000742 г, серебра – 0,7843885 г, палладия – 0,03299 г).

Предлагаемая структурная схема модернизированного имитатора электродной системы приведена на рис. 2.

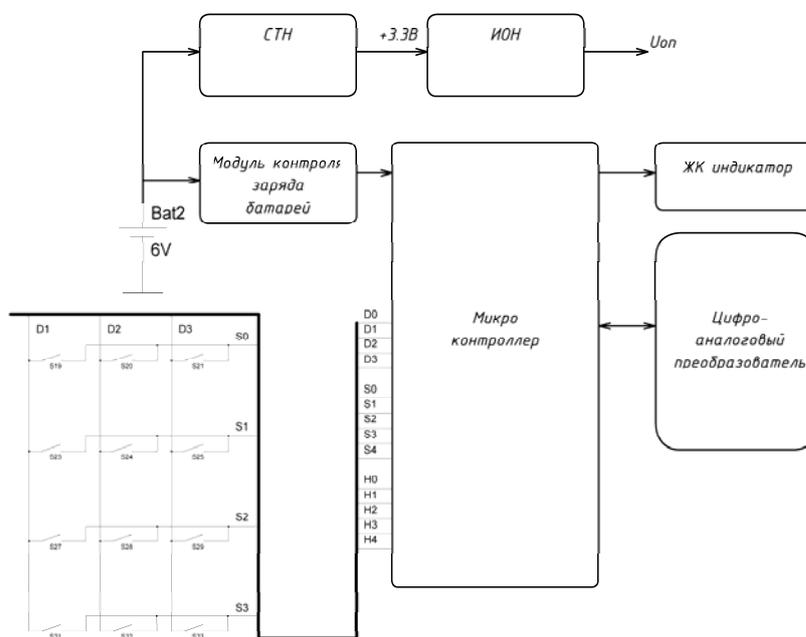


Рис. 2. Структурная схема модернизированного имитатора электродной системы

Изменения касаются способа формирования выходного напряжения. Взамен 17 переключателей П2К ставится 12-кнопочная цифровая клавиатура, которая подключается к микроконтроллеру. Выходное напряжение имитатора задается нажатием

соответствующих кнопок. Микроконтроллер в соответствии с нажатыми кнопками подает код на прецизионный 16-разрядный цифро-аналоговый преобразователь.

На ЖК-индикаторе отображается установленное значение выходного напряжения.

Схема изменения полярности, схема включения сопротивлений 500 и 1000 МОм, имитирующих внутреннее сопротивление измерительного электрода, и схема включения сопротивлений 0, 10, 20 кОм, имитирующих внутреннее сопротивление вспомогательного электрода, остаются без изменения.

Для решения поставленной задачи требуется недорогой прецизионный 16-битный ЦАП с низким потреблением. Было принято решение применить ЦАП AD5541A [2] производства Analog Device.

Упрощенная принципиальная схема модуля ЦАП AD5541A показана на рис. 3. В схеме ЦАП AD5541A можно выделить две части. Четыре старших бита 16-битного слова данных декодируются для управления 15 переключателями, от E1 до E15. Каждый переключатель подключает один из 15 согласованных резисторов либо к AGND, либо к VREF. Остальные 12 бит слова данных управляют переключателями от S0 до S11 стандартной 12-битной матрицы R-2R в режиме напряжения.

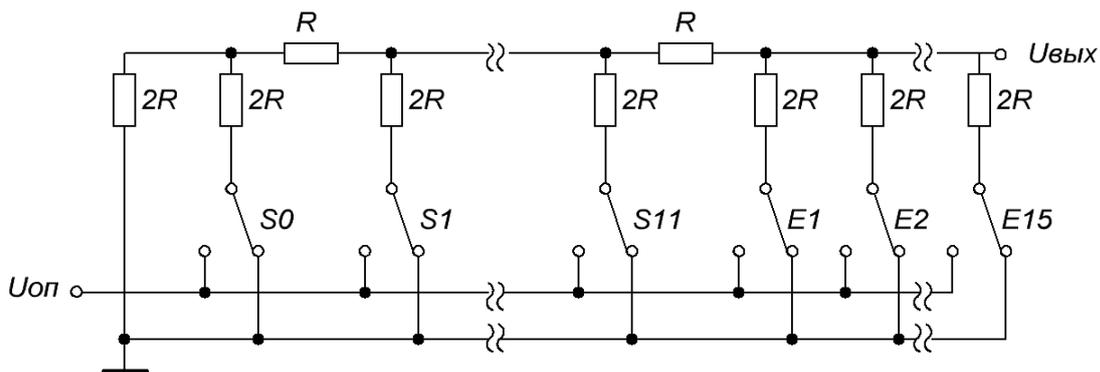


Рис. 3. Упрощенная схема модуля цифро-аналогового преобразователя AD5541A

Основные параметры ЦАП AD5541A:

- интегральная нелинейность –  $\pm 1$  ЕМР;
- дифференциальная нелинейность –  $\pm 1$  ЕМР;
- напряжение смещения –  $\pm 0,7$  ЕМР;
- погрешность полной шкалы –  $\pm 2$  ЕМР;
- потребляемый ток – 155 мкА

При опорном напряжении 2 В, 1 ЕМР равняется 38 мкВ, таким образом данный ЦАП подходит для применения в схеме модернизированного имитатора электродной системы.

Таким образом, применение современной элементной базы позволит значительно снизить трудоемкость сборки и изготовления имитатора электродной системы при сохранении точностных и эксплуатационных характеристик.

Литература

1. 5M2.890.003 РЭ Имитатор электродной системы И-02 : руководство по эксплуатации.
2. Analog Devices. – 2022. – Режим доступа: [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad5541\\_5542.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad5541_5542.pdf). – Дата доступа: 20.02.2022.