

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ЕМКОСТНОЙ ДИСКРЕТНЫЙ УРОВНЕМЕР

А.Г. ГОДНЕВ, доц., вед. научн. сотрудник ООО «НТЦ ИИТ» канд. техн. наук

ntc-korolev@yandex.ru

ООО «Научно-технический центр информационно-измерительной техники»,
141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 2

Сущность разработки дискретного датчика уровня состоит в том, что опрос состояния чувствительных элементов происходит индивидуально только при формировании старшего разряда выходного кода. При формировании же остальных разрядов осуществляется групповой опрос состояния датчиков. В результате подключения датчиков к введенным разрядным шинам опроса по соотношению $m = 2^{n-1} (1+2k)$ и заданными программными формирователями очередности опроса разрядных шин обеспечивается непосредственное формирование выходного двоичного кода за число опросов, равное числу двоичных разрядов. Технический эффект состоит в сокращении числа вывода N выходных шин датчика до величины $R = \log_2 N$. Этот эффект резкого уменьшения выходных шин по логарифмическому закону практически снимает, в свою очередь, ограничение на расширение динамического диапазона измерения, поскольку увеличение числа чувствительных элементов практически не увеличивает число выходных шин датчика (при увеличении числа чувствительных элементов в два раза, т.е. расширение динамического диапазона в два раза) добавляется всего одна разрядная шина.

Ключевые слова: уровнемер, емкостной, дискретный, широкодиапазонный, уменьшенное число выходных шин.

Наиболее точный результат измерения уровня до долей миллиметра обеспечивают уровнемеры, построенные на основе дискретных сигнализаторов уровня [1, 2]. Однако расширение динамического диапазона измерений приводит к значительному возрастанию выходных шин, уменьшению быстродействия измерений и практически нереализуемой конструкции самого уровнемера. Так, например, при абсолютной погрешности измерения уровня ± 1 мм в динамическом диапазоне 1000 мм потребуются коммутация пяти сот выводов дискретных сигнализаторов, что приведет к серьезному усложнению и удорожанию конструкции уровнемера.

Автором совместно с соавторами [3] была разработана оригинальная конструкторско-технологическая документация на емкостной дискретный уровнемер, по сути реализующий собой емкостной аналого-цифровой преобразователь поразрядного уравнивания.

Сущность разработки дискретного датчика уровня состоит в том, что опрос состояния чувствительных элементов происходит индивидуально только при формировании старшего разряда выходного кода. При формировании же остальных разрядов осуществляется групповой опрос состояния датчиков. В результате подключения датчиков к введенным разрядным шинам опроса по соотношению $m = 2^{n-1} (1+2k)$ и заданны-

ми программными формирователями очередности опроса разрядных шин обеспечивается непосредственное формирование выходного двоичного кода за число опросов, равное числу двоичных разрядов.

Технический эффект состоит в сокращении числа вывода N выходных шин датчика до величины $R = \log_2 N$. Этот эффект резкого уменьшения выходных шин по логарифмическому закону практически снимает, в свою очередь, ограничение на расширение динамического диапазона измерения, поскольку увеличение числа чувствительных элементов практически не увеличивает число выходных шин датчика (при увеличении числа чувствительных элементов в два раза, т.е. расширение динамического диапазона в два раза) добавляется всего одна разрядная шина.

Сокращение числа выходных шин датчика одновременно ведет к уменьшению числа тактов опроса состояния N чувствительных элементов до $\log_2 N$, что повышает быстродействие устройства. Существенно, что расширение динамического диапазона и повышение быстродействия практически не зависят друг от друга и при уменьшении одной из этих характеристик ухудшение другой не происходит.

На рис. 1 приведена схема коммутации чувствительных элементов датчика при формировании выходного двоичного кода для случая $n = 16$; на рис. 2 – блок-схема устройс-

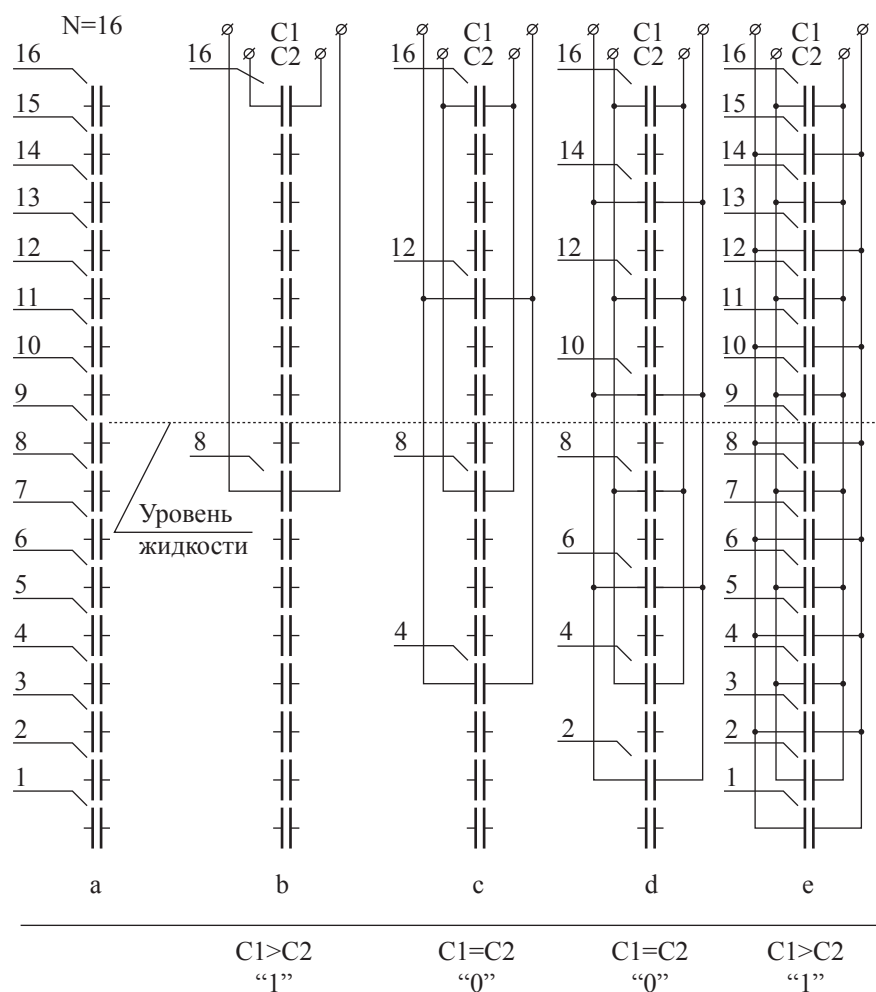


Рис. 1. Схема коммутации чувствительных элементов датчика при формировании выходного двоичного кода для случая $n = 16$

Fig. 1. The switching scheme of sensor elements when forming the output binary code in case of $n = 16$

тва дискретного измерения уровня нефтепродукта; на рис. 3 – пример выполнения формирователей кода; на рис. 4 – пример исходных данных для программирования формирователей кода; на рис. 5 – диаграмма сигналов, поясняющая работу дискретного емкостного уровнемера.

Уровнемер работает следующим образом. В рабочем состоянии часть рабочих элементов погружена в нефтепродукт.

На рис. 1 и 2 рассмотрен случай, когда первые девять чувствительных элементов погружены в нефтепродукт, а остальные находятся в сухом состоянии, т. е. граница раздела сред мокрый сухой проходит между чувствительными элементами 9 и 10.

Формирование выходного кода границы раздела сред начинается с формирования

первого (старшего разряда). Для определения его значения «0» или «1» импульсами противоположной полярности опрашиваются одновременно чувствительный элемент 8 и компенсационный чувствительный элемент 16 (рис. 2а). Указанные сигналы имеют одинаковую амплитуду (рис. 5) и поступают через емкости чувствительных элементов 8 и 16 на вход усилителя заряда 17.

Если уровень нефтепродукта не достиг места установки чувствительного элемента 8, то суммарный ток на входе усилителя заряда 17 будет равен нулю, так как в сухом состоянии емкости рабочих чувствительных элементов 1–15 и емкость компенсационного чувствительного элемента 16 равны. В рассматриваемом же случае емкость чувствительного элемента 8 больше

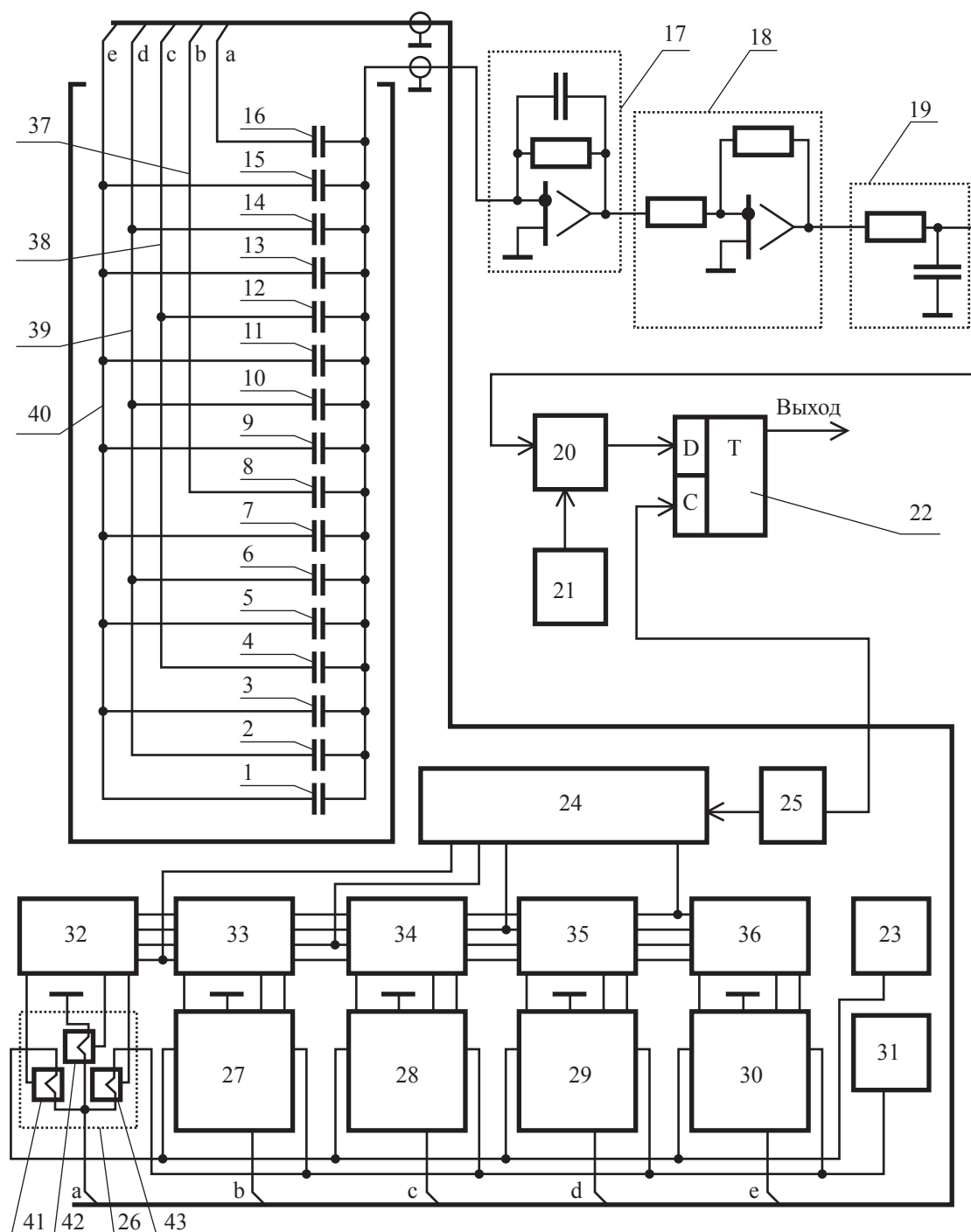


Рис. 2. Блок-схема устройства дискретного измерения уровня нефтепродукта
 Fig. 2. Block scheme of a device of discrete measurement of oil product level

емкости компенсационного чувствительного элемента 16, т. к. элемент 8 погружен в нефтепродукт и его емкость возрастает пропорционально диэлектрической проницаемости нефтепродукта (приблизительно в 2 раза). При этом на выходе усилителя заряда формируется импульс напряжения, который проходит через инвертирующий усилитель

18, фильтр нижних частот 19 и поступает на вход порогового элемента 20, уровень срабатывания которого определяется источником опорного напряжения 21. Уровень срабатывания выбран таким образом, чтобы амплитуда импульса на его входе при полностью заполненном чувствительном элементе была больше напряжения источника 21.

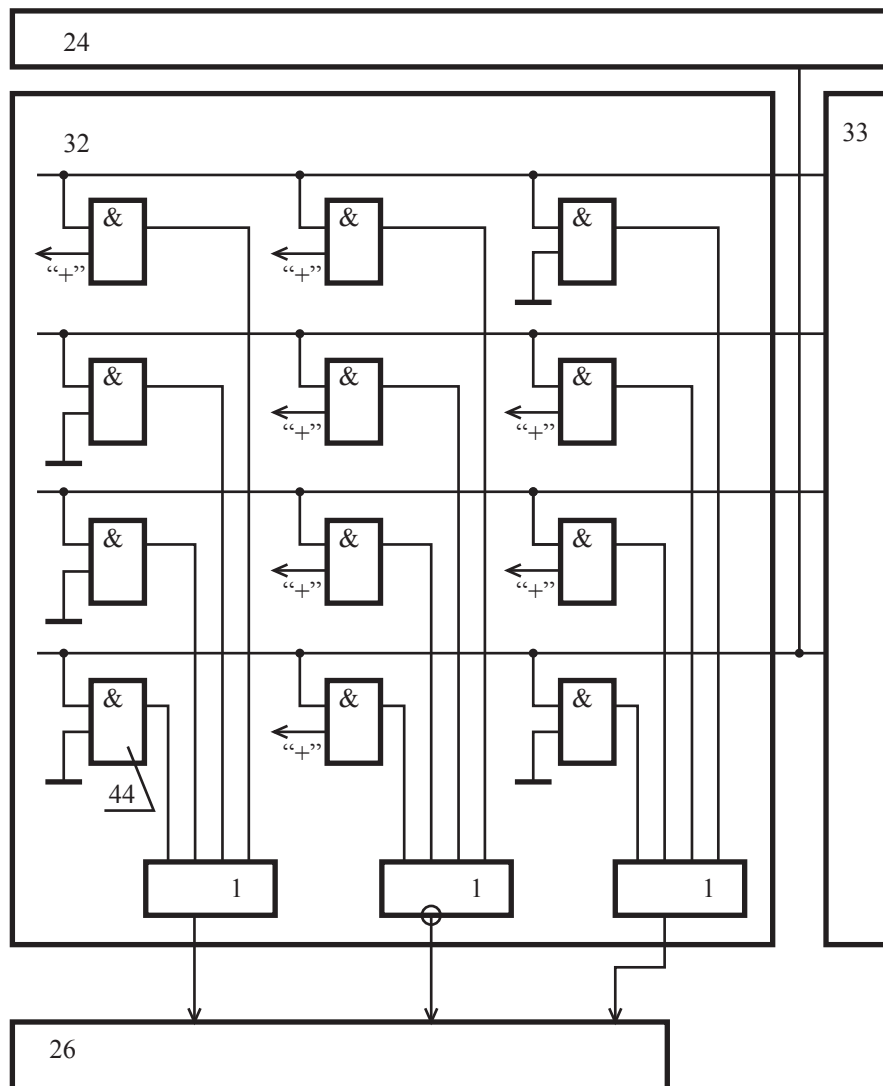


Рис. 3. Пример выполнения формирователей кода
Fig. 3. The example of operation of code generators

Такт	Формирователи				
	32	33	34	35	36
1	100	010	010	010	001
	010	010	010	010	010
2	001	100	010	010	001
	010	010	010	010	010
3	001	001	100	010	001
	010	010	010	010	010
4	001	001	001	100	001
	010	010	010	010	010

Рис. 4. Пример исходных данных для программирования формирователей кода
Fig. 4. The example of input data for code generators programming

В этом случае происходит срабатывание порогового элемента 20, факт срабатывания запоминается в элементе памяти 22. Таким образом заканчивается формирование зна-

чения первого старшего разряда двоичного кода уровня нефтепродукта. В данном случае по окончании первого такта работы в элемент памяти 22 будет записана «L», озна-

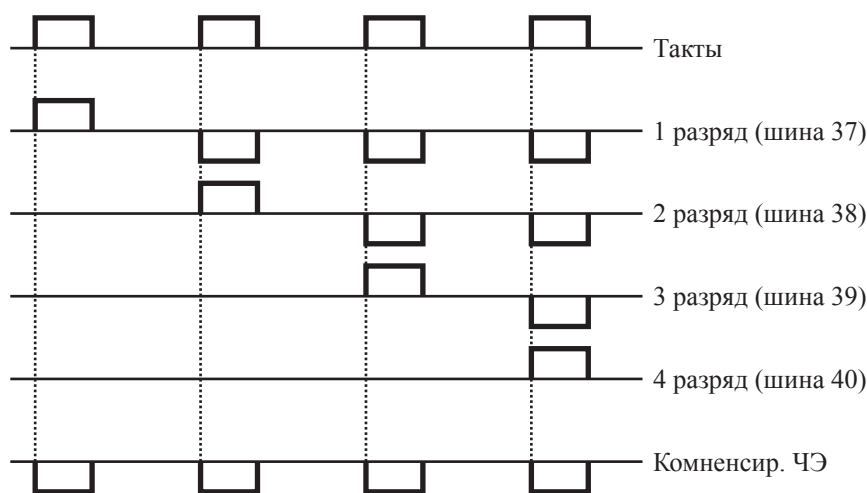


Рис. 5. Диаграмма сигналов, поясняющая работу дискретного емкостного уровнемера
 Fig. 5. Diagram of signals explaining the operation of a discrete capacitive transmitter

чающая равенство «единице» значения старшего разряда выходного кода.

По второму такту (рис. 5) по шине первого разряда 37 и обкладке компенсационного чувствительного элемента 16 формируются импульсы отрицательной полярности. Такое сочетание импульсов соответствует спросу состояния второго разряда, при котором одновременно опрашиваются 2 группы чувствительных элементов датчика уровня (рис. 2b), в одну из которых входят чувствительные элементы 8 и 16, а в другую группу – элементы 4 и 12. В каждой группе имеется равное число заполненных нефтепродуктом чувствительных элементов (12 и 16), поэтому суммарные емкости опрашиваемых групп оказываются равными. В связи с этим на выходе усилителя заряда 17 сигнал неравенства не формируется, пороговый элемент не срабатывает, а в элементе памяти информация изменяется на «ноль». Последнее означает, что значение второго разряда выходного кода равно нулю.

В третьем такте опроса (рис. 5) аналогичным образом спрашивается две группы чувствительных элементов, по результатам сравнения емкости которых выявляется значение третьего разряда выходного кода. В одной группе (рис. 2c) находятся чувствительные элементы 4, 8, 12, 16, подключенные к третьей разрядной шине 39. Нетрудно увидеть, что в каждой группе оказывается равное число сухих и заполненных нефтепродуктом

чувствительных элементов. По результатам сравнения в элементе памяти 28 остается значение «ноль», т. е. значение третьего разряда в выходном коде равно нулю.

В четвертом такте опроса, как следует из рис. 5 и иллюстрировано рис. 2e, сравниваются суммарные емкости чувствительных элементов с двух групп, в одну из которых входят чувствительные элементы с четными номерами, а в другую – с нечетными номерами. Так как в группе с нечетными номерами число мокрых чувствительных элементов больше, чем в другой группе, то суммарная емкость первой группы больше, чем второй, и значение четвертого разряда в последовательном коде на выходе элемента памяти 22 формируется последовательный двоичный код 1001, что соответствует девяти полностью заполненным чувствительным элементам.

Импульсы опроса разрядных шин формируются распределителем импульсов 24, управляемым от генератора 25. По каждому тактовому импульсу, появляющемуся на одном из выходов распределителя 24, осуществляется считывание информации одновременно со всех программируемых формирователей 32–36. В соответствии с программой (рис. 4), заложенной в формирователях 32–36, через ключи 26–30 формируются импульсы опроса разрядных шин (рис. 5). С помощью импульсов опроса циклически осуществляется описанная выше процедура формирования выходного кода на выходе элемента памяти 22.

Библиографический список

1. Андриенко А.Я. Проблемы измерения уровня топлива на борту жидкостной ракеты / А.Я. Андриенко, С.В. Балакин, С.Н. Ломтев, Ю.П. Портнов-Соколов // Датчики и системы. – 2003. – № 6.
2. Петров Б.Н. Бортовые терминальные системы управления (принципы построения и элементы теории) / Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов. – М.: Машиностроение, 1983.
3. Суслов В.М. Устройство дискретного измерения уровня жидкости / В.М. Суслов, А.Г. Годнев, Д.В. Потатюев, А.А. Свицын // Патент SU №1831659 А3 1993.
4. Нуберт Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин / Г.П. Нуберт. – Л.: Энергия, 1970.
5. Азизов, А.М. Точность измерительных преобразователей / А.М. Азизов, А.Н. Гордов. – Л.: Энергия, 1975.
6. Арутюнов П.А. Теория и применение алгоритмических измерений / П.А. Арутюнов. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 256 с.
7. Журавин, Л.Г. Методы электрических измерений: Учеб. пос. для вузов / Л.Г. Журавин, М.А. Мариненко, Е.И. Семенов, Э.И. Цветков. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с.
8. Курзенков Г.Д. Основы метрологии в авиаприборостроении: Учеб. пос. / Г.Д. Курзенков. – М.: МАИ, 1990. – 312 с.
9. Иоссель, Ю.Я. Расчет энергетической емкости / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский. – Л.: Энергоиздат. Ленгр. отд-ние, 1981. – 288 с.
10. Грановский, В.А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения / В.А. Грановский. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 224 с.

WIDE-RANGE CAPACITIVE DISCRETE LEVEL SENSOR

Godnev A.G., Assoc., a leading researcher of «SEC IIT», Ph.D (Tech.)

ntc-korolev@yandex.ru

Scientific and Technological Center of Information and Measuring Equipment,
141070, Moscow region. Queens, Pionerskaya St., 2

The essence of the development of a digital level sensor is that the polling of the state of sensing elements occurs individually only during the formation of a high-order bit of the output code. During the formation of the remaining bits a group polling of the state of sensors is carried out. As a result of connecting the sensors to the introduced bit lines of polling by the ratio $m = 2n-1 (1 + 2k)$, and the established programmatic formers of polling order of the bit lines a direct formation of the output binary code for the number of polls, equal to the number of bits is provided. The technical effect is to reduce the number of output of N output lines of the sensor to the value of $R = \log_2 N$. This effect of a sharp decrease in the number of the output lines, in its turn, logarithmically virtually lays off the limit on the expansion of the dynamic measurement range, since the increase in the number of sensitive elements hardly increases the number of output lines of the sensor (by increasing the number of sensitive elements in a two-fold, i.e. the extension of a dynamic range twice) only one bit line accrues.

Keywords: level sensor, capacitive, discrete, wide-range, a reduced number of output lines.

References

1. Andrienko A.Ya., Balakin S.V., Lomtev S.N., Portnov-Sokolov Yu.P. *Problemy izmereniya urovnya topliva na bortu zhidkostnoy rakety* [Problems of measuring the level of fuel onboard liquid rocket] *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems]. 2003. № 6.
2. Petrov B.N., Portnov-Sokolov Yu.P., Andrienko A.Ya., Ivanov V.P. *Bortovye terminal'nye sistemy upravleniya (printsipy postroyeniya i elementy teorii)* [Onboard terminal management system (principles and elements of the theory)]. Moscow: Mashinostroyeniye [Mechanical Engineering], 1983.
3. Suslov V.M., Godnev A.G., Potatuev D.V., Svitsyn A.A. *Ustroystvo diskretnogo izmereniya urovnya zhidkosti* [The device is a discrete measurement of liquid level]. Patent SU №1831659 1993 A3.
4. Nubert G.P. *Izmeritel'nye preobrazovateli neelektricheskikh velichin* [Measuring converters of electric sizes]. Leningrad: Energy, 1970.
5. Azizov A.M., Gordov A.N. *Tochnost' izmeritel'nykh preobrazovateley* [Precision transducers]. Leningrad: Energy, 1975.
6. Arutyunov P.A. *Teoriya i primeneniye algoritmicheskikh izmereniy* [The theory and application of measurement algoritmicheskikh]. Moscow: Energoatomizdat. 1990. 256 p.
7. Zhuravin, L.G., Marinenko M.A., Semenov E.I., Tsvetkov E.I. *Metody elektricheskikh izmereniy* [The methods of electrical measurements]. Leningrad: Energoatomizdat, 1990. 288 p.
8. Kurzenkov G.D. *Osnovy metrologii v aviapriborostroyenii* [Fundamentals of metrology in Aircraft Engineering]. Moscow: MAI, 1990. 312 p.
9. Iosel' Yu.Ya., Kochanov E.S., Strunskiy M.G. *Raschet energeticheskoy emkosti* [Calculation of energy capacity]. Leningrad: Energoizdat, 1981. 288 p.
10. Granovskiy V.A. *Dinamicheskie izmereniya: Osnovy metrologicheskogo obespecheniya* [Dynamic measurements: Fundamentals of metrology software]. Leningrad: Energoatomizdat. Leningrad, 1984. 224 p.