

Разработка электронной платы преобразователя температуры точки росы

С. Михин¹, О. Кошкур¹, В. Ганжа, д. т. н.², А. Романов, к. т. н.³

УДК 551.508.71 | ВАК 2.2.8

В статье приводится описание принципиальной схемы и конструкции опытных образцов печатных узлов преобразователя температуры точки росы (ТТР) по воде в природном газе, выполненного на отечественной электронной компонентной базе. На основе опытного образца была подтверждена работоспособность функциональной модели преобразователя и проведена апробация работы печатных узлов в составе конструкции преобразователя ТТР в рамках выполнения мероприятий по внесению данного изделия в Государственный реестр средств измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее авторами была разработана функциональная модель преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе «Гигросенс». Результаты данной работы приводятся в отдельной статье⁴. Функциональной моделью обеспечивается преобразование значения емкости чувствительного элемента и сопротивления терморезистора в выходной электрический сигнал постоянного тока 4–20 мА.

Для подтверждения работоспособности функциональной модели на практике необходимо разработать принципиальную электрическую схему печатных узлов (ПУ), реализованных на отечественной компонентной базе, осуществить разработку алгоритма и создание кода программного обеспечения (ПО), изготовить опытные образцы ПУ для проведения апробации в рамках мероприятий по утверждению типа средства измерений (СИ).

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ПУ

Выбор компонентной базы ПУ был осуществлен на основе анализа рынка электронных компонентов отечественного производства. Схемотехническое решение было определено исходя из требования обеспечения технической реализации контроля ТТР в диапазоне температур -60 до 20°C .

В преобразователе ТТР используется запатентованный сорбционно-емкостной чувствительный элемент влажности газа, который представляет собой конденсатор

переменной емкости, состоящий из диэлектрического сорбирующего слоя и электродов, пропускающих влагу, при этом диэлектрический сорбирующий слой выполнен из пористой керамики и заключен между двумя перфорированными металлическими электродами [1]. Для измерения температуры среды применяется второй чувствительный элемент в составе датчика – термосопротивление.

Для преобразования выходных сигналов датчика применяется сдвоенный таймер КР108ВИЗ. Схема подключения чувствительных элементов преобразователя ТТР к таймеру приведена на рис. 1.

Входы *THRS1* и *TRG1* первого измерительного контура таймера *IC2* подключены к конденсатору *C7*, на время разряда которого влияет значение сопротивления температурного чувствительного элемента *RT1*. Чем выше

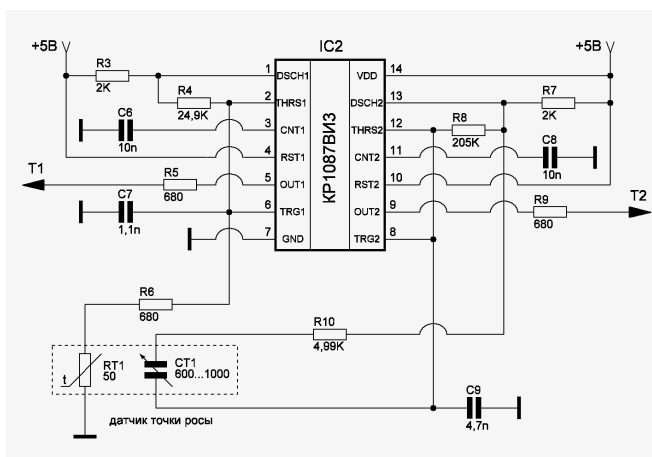


Рис. 1. Подключение чувствительных элементов преобразователя ТТР к ИМС таймера

¹ ООО «Завод высоковольтных электронных компонентов «Прогресс».

² ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», доцент.

³ ООО «Прогресс Спецэлектроника».

⁴ См.: АНАЛИТИКА. 2024. № 3.

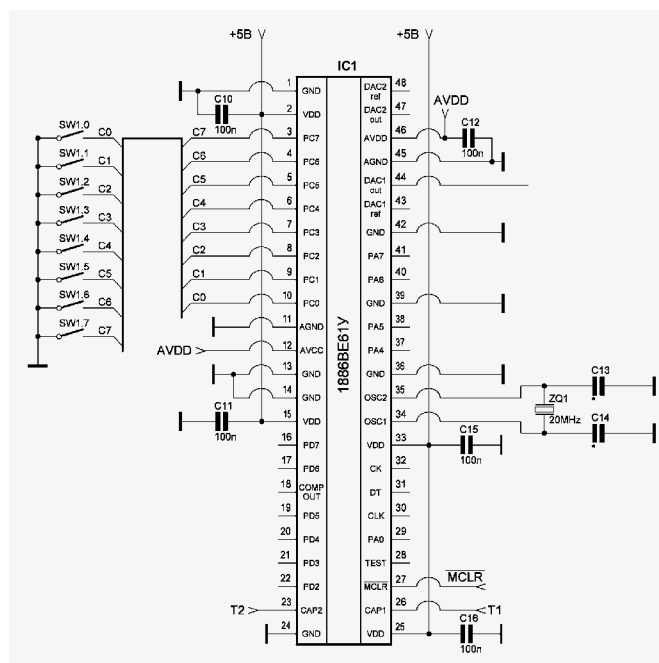


Рис. 2. Схема подключения центрального микроконтроллера

данное сопротивление, тем дольше на выходе таймера *OUT1* будет присутствовать низкий уровень напряжения. Таким образом, выходной сигнал таймера преобразуется в ширину импульсов низкого уровня.

Аналогичным образом выполняется преобразование в импульсный сигнал емкости чувствительного элемента влажности *CT1*, включенного в измерительный контур второго таймера ИМС *IC2*.

Импульсные сигналы с выходов *OUT1* и *OUT2* таймера *IC2* поступают на входы ШИМ / захвата / таймера *CAP1* и *CAP2* соответственно микроконтроллера 1886BE61Y производства ЗАО «ПМК Миландр» (рис. 2), в состав которого входят два блока 12-разрядных ЦАП и память программ типа EEPROM размером 4К×16 бит (8 Кбайт).

В энергонезависимой памяти микроконтроллера *IC1* хранится градуировочная таблица ТТР. Значение, записанное в каждую ячейку памяти, соответствует определенным значениям влажности и температуры среды, при этом массив данных заполняется для каждого чувствительного элемента индивидуально. Выбор массива данных в зависимости от типа датчика и требуемого выходного сигнала осуществляется с помощью набора конфигурационных перемычек *SW1.1–SW1.7*, подключенных ко входам ввода-вывода *PC0–PC7* микроконтроллера.

Микроконтроллером на основе сигналов, поступающих от таймера и кодирующих влажность и температуру среды, формируется адрес ячейки памяти. На основе значения данной ячейки микроконтроллером вычисля-

ется актуальное значение точки росы, которое поступает в ЦАП, формирующий выходное напряжение на выходе *DAC1 out* микроконтроллера.

Данное напряжение подается на операционный усилитель (ОУ) *IC3* (рис. 3). С выхода ОУ сигнал поступает на транзистор *Q4*, который в совокупности с резисторами *R13–R15* формирует передатчик интерфейса «токовая петля» с обратной связью по току, заведенной на ОУ, и с возможностью установки выходного сигнала 0–20, 4–20 мА или 0–5 мА. Стабилитроны *Z3–Z6* служат для защиты от превышения допустимого напряжения и образования искрового разряда с целью обеспечения взрывозащиты.

Для организации питания по четырехпроводной схеме используется регулятор напряжения *IC4* (рис. 4), который преобразует напряжение 24 В в 5 В постоянного тока. Стабилитроны *Z1–Z2* защищают электрическую схему от возможного пробоя ИМС регулятора.

Для обеспечения устойчивой работы микроконтроллера применяется супервизор питания *IC5* (рис. 5). При снижении напряжения ниже 4,9 В во избежание связанного с этим искажения результатов супервизор выдает на микроконтроллер сигнал сброса.

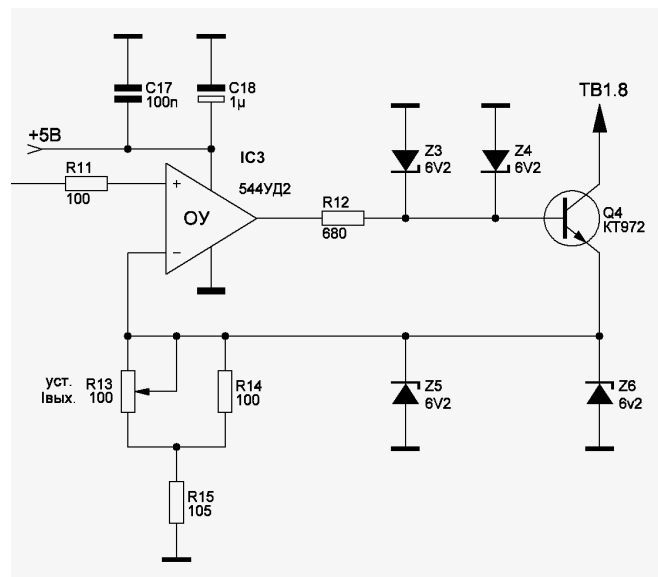


Рис. 3. Схема подключения операционного усилителя

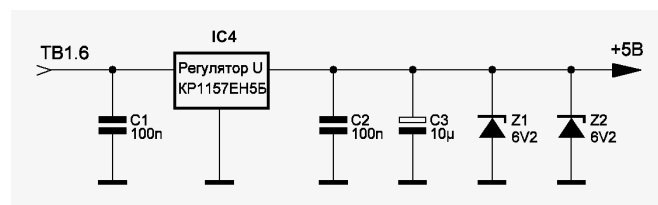


Рис. 4. Схема подключения регулятора напряжения

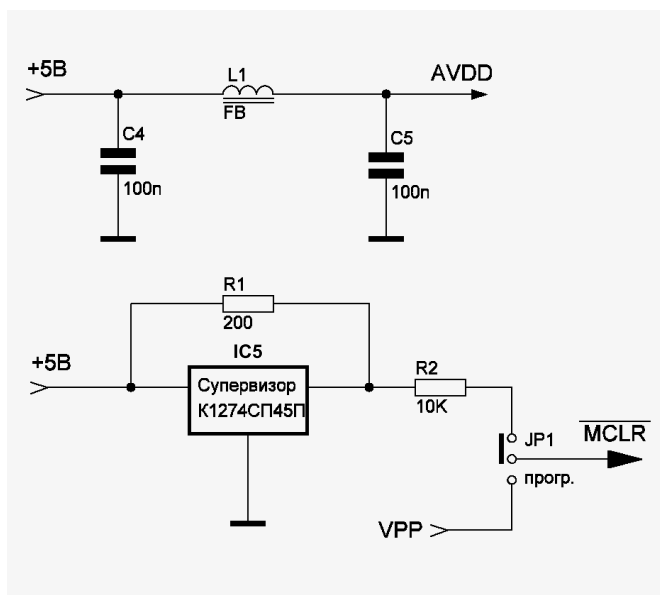


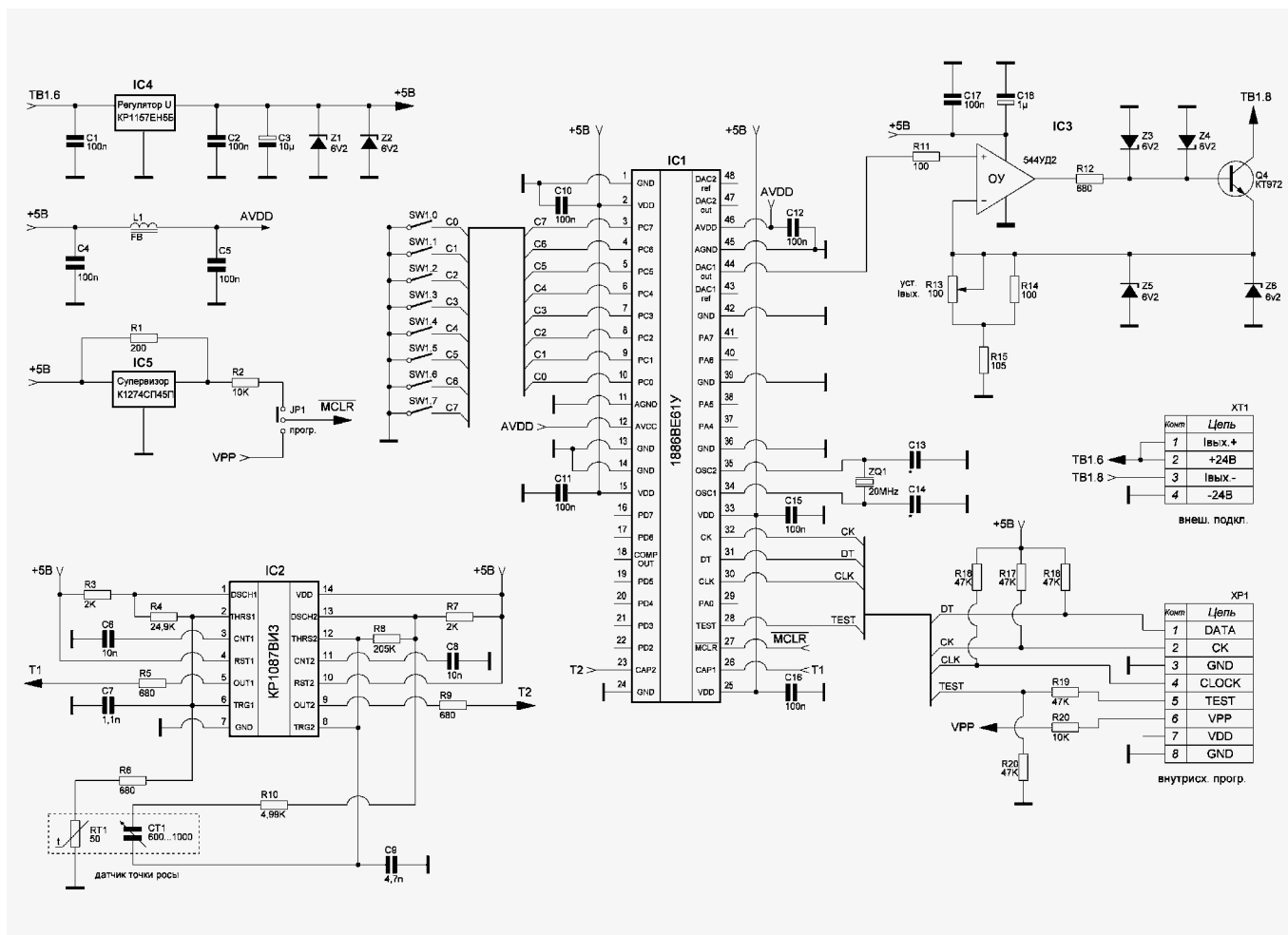
Рис. 5. Схема подключения супервизора питания

Таким образом, была сформирована принципиальная электрическая схема ПУ преобразователя ТТР на компонентной базе отечественного производства, приведенная на рис. 6. Выходной сигнал подается на соединитель ХТ1. Соединитель ХР1 служит для калибровки устройства и внутрисхемного программирования.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Разработка ПО для центрального микроконтроллера производилась ответственными исполнителями по договору на выполнение НИОКР совместно с ООО «Прогресс Спецэлектроника». Данная работа выполнялась в два этапа:

1. Разработка основного кода ПО перед проведением заводских приемо-сдаточных испытаний, а также испытаний в камере температуры точки росы на базе ФГУП «ВНИИМС» в рамках мероприятий по утверждению типа средства измерений – преобразователя температуры точки росы «Гигросенс» [3, 4].
2. Доработка основного кода ПО после входного контроля на испытаниях.



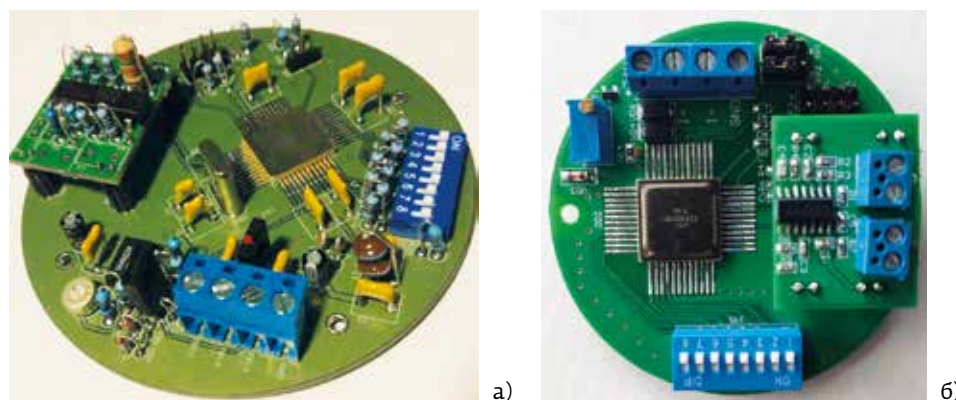


Рис. 7. Опытные образцы печатных узлов преобразователя ТТР:
а – на компонентах, монтируемых в отверстия;
б – на компонентах поверхностного монтажа

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Для проверки работоспособности предложенной принципиальной схемы устройства и проведения испытаний с целью внесения преобразователя ТТР «Гигросенс» в Государственный реестр средств измерений и утверждения типа СИ было изготовлено два опытных образца печатных узлов преобразователя. При проектировании и изготовлении образцов были применены центральный микроконтроллер, активные и пассивные электронные компоненты отечественного производства. Первый опытный образец, предназначенный для тестирования и испытаний, по результатам которых могли потребоваться доработки и (или) оперативный ремонт ПУ, был выполнен по технологии монтажа в отверстия (рис. 7а). Второй опытный образец был изготовлен на компонентах поверхностного монтажа (рис. 7б).

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

В рамках мероприятий по внесению преобразователя температуры точки росы «Гигросенс» в Государственный реестр средств измерений и утверждения типа СИ на базе ФГУП «ВНИИМС» были проведены испытания с применением аттестованного и поверенного оборудования ФГУП «ВНИИМС»: гигрометр точки росы *Michell Instruments S4000 TRS*; генератор влажного газа *MG101*; азот газообразный особой чистоты по ГОСТ 9293-74; прецизионный измеритель электрической емкости и иммитанса электрической цепи *Wayne Kerr 6440B*.

Испытания проводились в два этапа:

1. Проведение калибровки преобразователя температуры точки росы по 10 точкам путем задания необходимой точки росы генератором влажного газа; временной выдержки для стабилизации показаний чувствительного элемента; фиксирования показаний электрической емкости и температуры при данных значениях точки росы в градуировочной таблице ПЗУ с помощью ПО и переключения конфигурационных перемычек *SW1.1–SW1.7*,

предназначенных для гибкого онлайн-конфигурирования центрального микроконтроллера; фиксирования значения постоянного тока на выходе преобразователя.

2. Повторное прохождение соответствующих точек в режиме измерения в рамках утверждения типа СИ и подтверждения линейности работы преобразователя, корректной работы электрической схемы.

Успешные результаты работы разработанной электрической схемы в конструкции преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе «Гигросенс» подтверждаются протоколом № 2 испытаний в целях утверждения типа средств измерений от 25 сентября 2019 года (рис. 8а) и Свидетельством об утверждении типа средств измерений ОС.Е.32.004.А № 76056 от 27 декабря 2019 года (рис. 8б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания опытных образцов ПУ преобразователя ТТР на отечественной компонентной базе, выполненных по приведенной в статье принципиальной электрической схеме, подтвердили работоспособность функциональной модели преобразователя температуры точки росы, разработанной авторами. В результате испытаний и апробации работы устройства в конструкции преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе «Гигросенс» в целях утверждения типа средств измерений на базе ФГУП «ВНИИМС» установлены:

- возможность выполнения измерения температуры точки росы в заявленном диапазоне от -60 до 20 °C при изменении параметров чувствительного элемента;
- возможность выполнения онлайн-калибровки и градуировки электронной платы на технологическом процессе;
- линейность выходного значения токового сигнала при изменении емкости чувствительного элемента.

Протокол № 2
испытаний в целях утверждения типа средства измерений

Дата и место проведения испытаний: с 15 по 25 апреля 2019 г., ФГУП «ВНИИМС», г. Москва.

Цель испытаний: определение абсолютной погрешности и проверка диапазона измерений преобразователя сорбционно-емкостной температуры точки росы по влаге в природном газе «Гигросенс».

Условия проведения испытаний:

– температура окружающей среды, °C	+23 ± 2
– относительная влажность, %	55 ± 10

Наименование эталонов и испытательного оборудования, с применением которых проводились испытания:

- гигрометр точки росы Michell Instruments мод. S4000 TRS, рег. № 50304-12, свидетельство о поверке № 1519-24 действительно до 30.01.2020 г.; генератор влажного газа MG101, рег. № 16525-97, свидетельство о поверке № 3476-0 действительно до 21.03.2020 г., входящие в состав рабочего эталона 1-го разряда в диапазоне молярной (объемной) доли влаги от $1 \cdot 10^{-3}$ до $12 \cdot 10^{-3}$ моль/м³ по ГОСТ 8.547-2009 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения влажности газов», рег. № 3.1.ZZM.0260.2013.
- кот газообразный особой чистоты по ГОСТ 9293-74;
- мультиметр цифровой АРРА 107N, рег. № 25900-03, свидетельство о поверке № 209-085-18 действительно до 26.07.2019 г.

Метод испытаний: п.4.2 Программы испытаний

Результаты испытаний: результаты определения абсолютной погрешности и проверки диапазона измерений преобразователя сорбционно-емкостной температуры точки росы по влаге в природном газе «Гигросенс» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения абсолютной погрешности и проверки диапазона измерений преобразователя сорбционно-емкостной температуры точки росы по влаге в природном газе «Гигросенс»

Показания гигрометра точки росы Michell Instruments, мод. S4000 TRS, °C темп. точки росы	Показания мультиметра цифрового АРРА 107N, мА	Показания преобразователя «Гигросенс», °C темп. точки росы	Абсолютная погрешность измерений, °C темп. точки росы	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, °C темп. точки росы
-57,45	4,51	-57,71	-0,26	±1
-49,8	6,04	-50,1	-0,3	±1
-39,67	8,16	-39,3	-0,37	±1
-31,21	9,68	-31,7	-0,49	±1
-21,69	11,62	-21,9	-0,21	±1
-12,68	13,27	-13,62	-0,94	±2
-2,27	15,37	-3,03	-0,76	±2
10,81	17,67	8,53	-2,29	±3
17,61	19,84	19,4	+1,79	±3

а)



б)

Рис. 8. Документы, подтверждающие результаты испытаний в целях утверждения типа средства измерений:

а – Протокол № 2 испытаний в целях утверждения типа средств измерений от 25 сентября 2019 года; б – Свидетельство об утверждении типа средств измерений ОС.Е.32.004.А № 76056 от 27 декабря 2019 года

ЛИТЕРАТУРА

1. **Михин С. О.** Пат. RU190945. Сорбционно-емкостной чувствительный элемент влажности газа // Бюл. – 2019. – № 20. – 1 с.
2. **Копчиков А. Е., Михин С. О.** Пат. RU2732108. Способ получения пористого керамического материала с высокой стойкостью к воздействию температуры и давления в агрессивных кислотных и щелочных средах // Бюл. – 2020. – № 26. – 1 с.
3. **Копчиков А. Е., Михин С. О.** Пат. RU191918. Преобразователь температуры точки росы по воде в природном газе // Бюл. – 2019. – № 25. – 1 с.
4. Преобразователь сорбционно-емкостной температуры точки росы по влаге в природном газе «Гигросенс». <https://all-pribors.ru/opisanie/77091-19-gigrosens#ot> (дата обращения: 25.03.2024).

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 3700 руб.
за два тома

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ. СПРАВОЧНИК. В 2-х КНИГАХ.

Под ред. К. Кумбза

В издании рассматриваются все процессы создания и применения печатных плат: проектирование и выбор базовых материалов, изготовление, обеспечение качества и оценки надежности печатных плат и печатных узлов, монтаж плат, включая особенности бессвинцовых технологий пайки, а также методы и средства испытаний применительно к специальным требованиям. Шестое издание дополнено информацией по ценообразованию, количественной оценке технологичности плат, управлению производством и решению экологических проблем.

Справочник рассчитан на широкий круг специалистов-технологов, конструкторов, схемотехников и специалистов по надежности, поскольку печатные платы являются фундаментом проектирования и производства изделий электроники.

Данная книга может служить учебным пособием для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 2032 с.,
ISBN 978-5-94836-258-8
Т. 1. – 1016 с. Т. 2. – 1016 с.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЭЛЕКОНД

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В,	3,2 ... 485
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ,	1,0 ... 470 000
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C	-60 ... 125



Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В,	3,2 ... 200
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ,	1,5 ... 60 000
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C	-60 ... 175



Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В,	2,5 ... 63
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ,	0,033 ... 2 200
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C	-60 ... 175



Суперконденсаторы K58-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В,	2,5 ... 2,7
Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф,	1,0 ... 4 700
Диапазон температур среды и эксплуатации, $T_{ср}$, °C	-60 ... 65



Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В,	5,0 ... 48
Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф,	0,08 ... 783
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C	-60 ... 65



Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, д. 3
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48
e-mail: elecond-market@elcudm.ru; www.elecond.ru



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphere.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru