

Модуль радиосвязи nRF24L01 для Интернета вещей

Олег Вальпа (sandh@narod.ru)

Важным компонентом для проектов Интернета вещей является средство коммуникации. С одним из таких недорогих и доступных компонентов в виде модуля радиосвязи nRF24L01 и знакомит статья.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых популярных и доступных радиомодулей для проектов Интернета вещей является модуль nRF24L01 от компании Nordic Semiconductor [1]. С помощью такого модуля можно организовать достаточно надёжную многоканальную скоростную связь с подтверждением доставки пакетов между двумя или несколькими микроконтроллерами устройствами. Модуль nRF24L01 легко найти в интернет-магазинах, он имеет миниатюрные размеры и стоит всего \$1.

При помощи такого модуля можно объединить до семи приборов в одну общую радиосеть, один из модулей будет выступать в качестве ведущего, а остальные в качестве ведомых модулей связи. Благодаря высокой скорости передачи информации через эти радиомодули можно транслировать даже оцифрованный звук и изображение.

Модуль nRF24L01 с успехом можно применять в следующих областях: мобильная электроника; компьютерные сети; автоматизированные системы; системы умного дома; сигнализация; игровые устройства; беспроводные клавиатуры и манипуляторы; бытовая электроника; беспроводный опрос датчиков; системы радиоуправления различными роботами; портативные приёмопередатчики для голосового общения по радиоканалу.

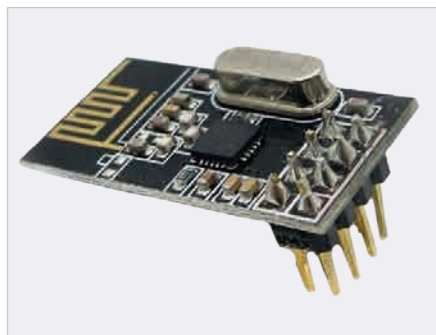


Рис. 1. Внешний вид модуля nRF24L01

ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ

Название модуля nRF24L01 образовано от сокращения слов Nordic Radio Frequency 2,4 ГГц. Он предназначен для передачи и приёма данных по радиоканалу в разрешённом диапазоне радиочастот ISM (Industrial Scientific Medical). Внешний вид модуля приведён на рисунке 1.

Частотный диапазон модуля nRF24L01 разбит на 128 каналов с шагом 1 МГц; от 2,4 ГГц до 2,527 ГГц. Например, на канале 0 передача и приём и будут вестись на частоте 2,4 ГГц, а на канале 37 будет использована частота 2,437 ГГц. Модуль способен работать на любом из 128 каналов. На каждом канале можно сформировать сеть из шести передатчиков и одного приёмника.

Модуль nRF24L01 создан на базе 20-выводной высоко интегрированной одноимённой микросхемы nRF24L01 в корпусе QFN20, включающей синтезатор частот, демодулятор, усилители и другие составляющие. Принципиальная электрическая схема радиомодуля nRF24L01 приведена на рисунке 2.

Модуль имеет интерфейс SPI для связи с внешним управляющим устройством. По интерфейсу SPI производится настройка протокола, устанавливается выходная мощность сигнала, задаются каналы обмена данными и другие параметры.

Модуль имеет четыре рабочих режима: приём данных – RX Mode, передача данных – TX Mode, спящий режим – Standby, отключённое состояние – Power Down.

Стабильную и надёжную связь радиомодулей обеспечивает протокол Enhanced ShockBurst, согласно которому принимающее устройство формирует ответ о приёме данных, подтверждая тем самым исправность канала связи. Данный протокол является усовершенствованным протоколом ShockBurst. Основным отличием усовершенствованного протокола является возможность простой и эффективной передачи данных с обратной связью. Таким образом в трансивере аппаратно реализована отправка подтверждения приёма пакета. В противном случае передача пакета повторяется. Использование вышеупомянутой функции позволяет снизить нагрузку управляющего микроконтроллера, сняв с него задачу анализа потерянных пакетов. Также данный протокол

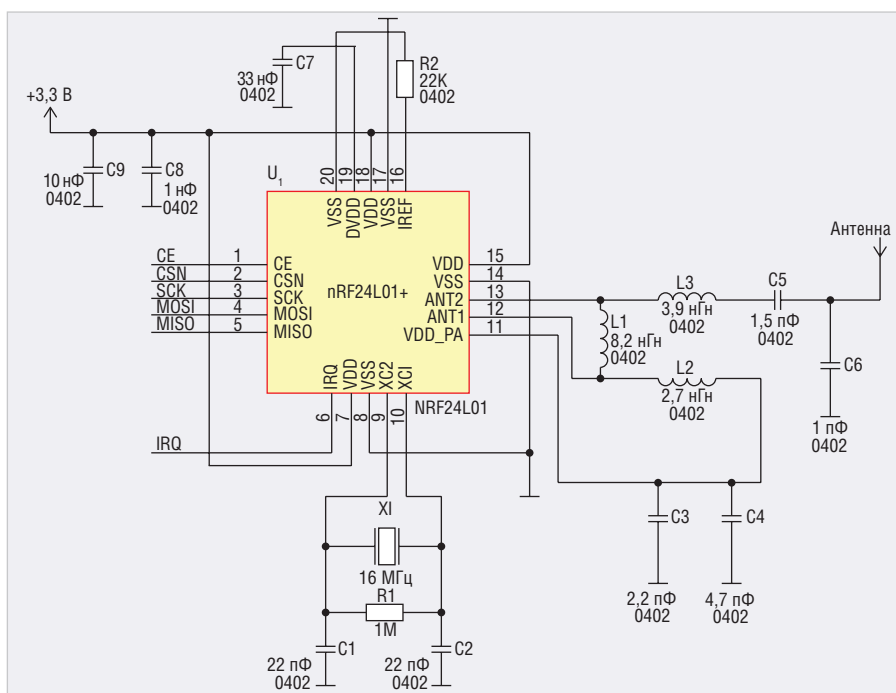


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема модуля nRF24L01

удобен для передачи данных в режиме «точка-точка» или создания беспроводной сети топологии «звезда».

Благодаря многоканальности модуль позволяет создавать сеть из множества устройств, которые могут связываться между собой, не мешая друг другу. Для передачи данных используется собственный запатентованный протокол. Достоверность принимаемых данных обеспечивается передачей контрольной суммы данных в виде циклически избыточного кода CRC.

Все данные, передаваемые по беспроводной сети, представляют собой пакеты, состоящие из множества байт, как показано на рисунке 3.

В таком пакете 32 байта зарезервированы для информационных данных, остальные байты являются служебными.

Для обеспечения групповой связи из семи модулей на одном канале, шесть модулей должны иметь уникальные идентификаторы для передатчиков – Pipe ID, а седьмой модуль – все идентификаторы этих передатчиков, от которых требуется принимать данные. Таким образом, для передающих модулей требуется только один идентификатор, а принимающему модулю нужно от одного до шести идентификаторов: Pipe 0 – Pipe 5. По этим идентификаторам приёмник распознаёт источник данных. Номера идентификаторов должны состоять из пяти байт. При этом требуется соблюдать некоторые условия их задания. Идентификатор каждого передатчика на одном канале должен быть уникальным. Идентификаторы передатчиков задаются так, что у приёмника Pipe 0 и Pipe 1 могут отличаться всеми байтами, а Pipe 2 – Pipe 5 должны отличаться от Pipe 1 только младшим байтом. Пример идентификаторов для описанного режима приведён в таблице 1.

Кроме канала и идентификатора для модулей задаются программным образом мощность передатчика, скорость передачи данных и другие параметры. Модуль nRF24L01 имеет следующие технические характеристики:

- частотный диапазон: ISM от 2,400 до 2,527 ГГц;
- количество поддерживаемых каналов: 128 с шагом 1 МГц;
- тип модуляции: GFSK;
- расстояние между передатчиком и приёмником: до 100 м в условиях прямой видимости;

Преамбула	Адрес от 3 до 5 байт	Флаги 9 бит	Информация от 1 до 32 байт	CRC от 0 до 2 байт
-----------	----------------------	-------------	----------------------------	--------------------

Рис. 3. Формат пакета модуля nRF24L01

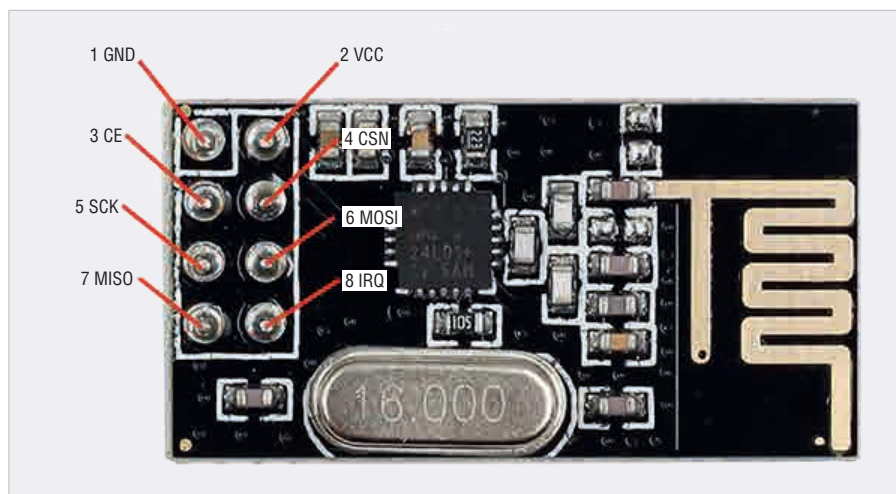


Рис. 4. Назначение выводов модуля nRF24L01

- скорость передачи данных: 0,25; 1,2 Мбод, на скорости 2 Мбод используются два канала;
- мощности передатчика: –18; –12; –6 и 0 дБм;
- чувствительность приёмника: –82 дБм;
- коэффициент усиления антенны: 2 дБм;
- интерфейс связи: SPI;
- входы толерантны к 5 В;
- тип ускорителя аппаратного протокола: ShockBurst;
- операционная система: ISM;
- напряжение питания: от 1,9 до 3,3 В;
- потребляемый ток в режиме передачи данных: 11,3 мА, при максимальной мощности передачи 0 дБм;
- потребляемый ток в режиме приёма данных: 12,3 мА, при максимальной скорости передачи 2 Мбод;
- потребляемый ток в режиме энергосбережения: 85 мкА;
- диапазон рабочей температуры: от –40 до +85°C;
- габариты: 29×16×14 мм;
- вес: 2 г.

Модуль не требует подключения внешней антенны, поскольку она входит в состав модуля в виде топологии печатной платы.

Подключение модуля

Модуль подключается к управляющему устройству по протоколу SPI, с дополнительным сигналом управления приёмом-передачей и выходом прерывания. Назначение выводов модуля приведено на рисунке 4, а описание выводов модуля nRF24L01 приведено в таблице 2.

Таблица 1. Пример идентификаторов

Идентификатор	Байт 4	Байт 3	Байт 2	Байт 1	Байт 0
Pipe 0	0x3F	0xE5	0x7C	0x57	0xF3
Pipe 1	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x25
Pipe 2	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x38
Pipe 3	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x17
Pipe 4	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x78
Pipe 5	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x83

Таблица 2. Описание выводов модуля nRF24L01

Название	Тип вывода	Описание
CSN	Вход	Выбор микросхемы модуля
SCK	Вход	Сигнал тактирования с частотой не более 10 МГц
MOSI	Вход	Входной сигнал данных
MISO	Выход	Выходной сигнал данных
CE	Вход	Управление режимом приём-передача
IRQ	Выход	Сигнал прерывания, формируемый при приёме данных
VCC	Питание	Напряжение питания 3,3 В
GND	Общий	Общий вывод

Рассмотрим пример подключения модуля к широкораспространённому контроллеру Arduino. Модуль подключается к контроллеру по интерфейсу SPI с помощью выводов: SCK, MOSI, MISO и CSN. Вход модуля CE для выбора режима подключается к любому цифровому выходу контроллера Arduino, а выход прерывания IRQ радиомодуля можно не использовать. Модуль позволяет подавать на свои входы сигналы с уровнем от 0 до 5 В. Выходные сигналы модуля могут принимать значения от 0 до напряжения источника питания V_{cc} .

Подключение модуля к источнику питания с напряжением 5 В приводит к выходу его из строя, поэтому для под-

Таблица 3. Соответствие цепей модуля nRF24L01

Модуль nRF24L01	Контроллер Arduino	Назначение цепей
CSN	10 (задаётся программно)	Выбор микросхемы модуля
SCK	13 (SCK)	Сигнал тактирования
MOSI	11 (MOSI)	Входной сигнал данных
MISO	12 (MISO)	Выходной сигнал данных
CE	9 (задаётся программно)	Управление режимом: 0 – приём, 1 – передача
IRQ	Не используется	Прерывание

Листинг 1

```
// Программа для ежесекундной передачи данных с аналогового датчика
// по радиоканалу
#include <SPI.h> // Подключить библиотеку интерфейса SPI
#include <nRF24L01.h> // Подключить файл настроек библиотеки RF24
#include <RF24.h> // Подключить библиотеку функций для модуля nRF24L01
const uint64_t pipe = 0x123456789aLL; // Назначить идентификатор
// канала связи
int data; // Создать переменную для данных
RF24 radio(9,10); // Создать класс radio с выводами управления CE и
//CSN модулем
// Настройки
void setup()
{
  pinMode(A1,INPUT); // Задать порт для чтения аналогового датчика
  delay(2000); // Задержка на 2 с
  radio.begin(); // Включить радиомодуль
  radio.setChannel(1); // Выбрать канал 1
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS); // Задать скорость канала связи 1 Мбод
  radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH); // Задать мощность передатчика модуля
  radio.openWritingPipe(pipe); // Открыть канал связи для передачи
}
// Главный цикл программы
void loop()
{
  data = analogRead(A1); // Читать данные с датчика
  radio.write(&data, sizeof(data)); // Передать данные
  delay(1000); // Задержка на 1 с
}
```

Листинг 2

```
// Программа для приёма данных и трансляции их в последовательный
// порт UART
#include <SPI.h> // Подключить библиотеку интерфейса SPI
#include <nRF24L01.h> // Подключить файл настроек библиотеки RF24
#include <RF24.h> // Подключить библиотеку функций для модуля nRF24L01
const uint64_t pipe1 = 0x123456789aLL; // Назначить идентификатор
//канала связи
int data; // Создать переменную для данных
uint8_t npipe; // Создать переменную для номера канала связи
RF24 radio(9,10); // Создать класс radio с выводами управления CE и
CSN модулем
// Настройки
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Задать скорость для последовательного порта
UART
  delay(2000); // Задержка на 2 с
  radio.begin(); // Включить радиомодуль
  radio.setChannel(1); // Выбрать канал 1
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS); // Задать скорость канала связи 1 Мбод
  radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH); // Задать мощность передатчика модуля
  radio.openReadingPipe(1, pipe1); // Открыть канал связи для приёма
  radio.stopListening(); // Начать приём
}
// Главный цикл программы
void loop()
{
  if(radio.available(&npipe)) // Проверить буфер обмена
  {
    radio.read(&data, sizeof(data)); // Читать данные
    if(npipe==1) Serial.println(data); // Транслировать данные канала 1
  }
  //в порт UART
}
```

ключения модуля nRF24L01 к контроллеру Arduino можно воспользоваться адаптером, в составе которого имеется стабилизатор напряжения на 3,3 В. Сам адаптер при этом подключается к источнику питания постоянного тока с напряжением 5 В. В таблице 3 приведено соответствие цепей при подключении модуля к контроллеру Arduino.

При питании радиомодуля от платы контроллера Arduino могут возникнуть проблемы, связанные с недостаточной мощностью источника питания, которые приводят к потере связи и нестабильной работе. Подобные трудности появляются, когда используются платы Arduino, в которых не хватает мощности источника питания. Для решения этой проблемы лучше всего использовать отдельный источник питания 3,3 В для радиомодуля.

Программирование модуля

Для создания программного кода в среде разработки ARDUINO IDE достаточно будет дополнить её основной библиотекой RF24 [2], которая содержит все необходимые функции для работы с модулем на языке высокого уровня.

В листинге 1 приведён пример программ для модуля, ежесекундно передающего данные с аналогового датчика, а в листинге 2 – для модуля, принимающего эти данные с трансляцией их в последовательный порт UART. Обе программы снабжены подробными комментариями, поясняющими назначение всех операторов и функций.

Во время записи программы в контроллер Arduino необходимо отключить от него радиомодуль, чтобы он не мешал загрузке программы. Перед первой инициализацией модуля нужно делать в программе паузу на 2 с после подачи напряжения питания.

При необходимости в программе можно изменять порты для подключения модуля nRF24L01, номер канала связи, скорость, мощность передачи и другие параметры. Вместо передачи данных с аналогового порта можно передавать любые другие данные, в зависимости от решаемой задачи.

В данной программе каждому модулю программно задаётся роль передатчика или приёмника, но в ходе выполнения программы эту роль можно менять.

Для добавления в созданную сеть из двух модулей дополнительного модуля nRF24L01 можно использовать для него программу из листинга 1, изменив

в ней лишь адрес `Pipe=0x123456789aLL`, например на `Pipe=0x123456789bLL`. В программе приёмника потребуется при этом добавить дополнительный идентификатор канала связи, например с именем `Pipe2=0x123456789bLL`, и открыть второй канал связи для приёма с помощью команды `radio.openReadingPipe(2, Pipe 2)`. В главном цикле программы приёмника можно разделять данные, полученные от разных передатчиков с помощью операторов `if(npipe==1)` и `if(npipe==2)` соответственно.

Дополнительно в программах для модулей nRF24L01 можно использовать библиотеку SerialFlow [3]. Эта библиотека нужна для пакетной передачи данных, чтобы можно было задавать формат передаваемого пакета,

устанавливать функции для упаковки информации в пакет и их распаковки.


Помимо библиотек RF24 и SerialFlow существует и библиотека Mirf [4] для поддержки радиомодулей nRF24L01. Выбор той или иной библиотеки определяется самим программистом, исходя из удобства работы с ней или личных предпочтений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Беспроводной модуль nRF24L01 не является простым в освоении устройством. Его подключение и программирование требуют определённых навыков. Но стоимость и доступность модуля позволяют рекомендовать его тем, кто занимается проектами Интернета вещей или нуждается в простых устройствах для

коммуникаций. Использование рекомендуемых здесь библиотек позволяет максимально упростить код программы и создавать многофункциональные проекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nordic Semiconductor: <https://www.nordicsemi.com>.
2. Основная библиотека «Arduino driver for nRF24L01». GitHub development platform: <https://github.com/maniacbug/RF24>.
3. Библиотека «SerialFlow library for Arduino». GitHub development platform: <https://github.com/oevsegneevev/arduino-dev/tree/master/libs/SerialFlow>.
4. Библиотека Mirf для поддержки радиомодулей nRF24L01. GitHub development platform: <https://github.com/aaronds/arduino-nrf24l01/tree/master/Mirf>. 

НОВОСТИ МИРА

МИКРОН PARKING: RFID-ПАРКОВКА С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ НА РАССТОЯНИИ ДО 15 М

Линейка RFID-решений Микрона пополнилась системой автоматизации доступа на парковку. Бесконтактная RFID-система управления проездом на территорию обеспечивает контроль въезда/выезда автомобилей в автоматическом режиме с использованием радиочастотных меток дальнего радиуса действия производства Микрона. Система увеличит пропускную способность КПП за счёт сокращения времени проезда автомобиля через шлагбаум или ворота, также обеспечивается устойчивая к помехам идентификация транспортных средств на расстоянии до 15 м.

Контроль и фиксация проезда с применением RFID-технологии ускоряет проезд и делает его комфортней, при этом несанкционированный заезд автомобиля на территорию полностью исключён и минимизируются затраты на операторов паркинга. Система обеспечивает идентификацию транспортных средств «свой-чужой» с 15 м и автоматическое открывание шлагбаумов, поэтому водителю не нужно выходить из машины или открывать окно. Отлично подходит для организации проезда на территорию гаражных комплексов и парковок с высокой интенсивностью автомобилепотока, например бизнес-центры, предприятия с собственным КПП, многоквартирные дома и коттеджные поселки.

RFID-система идентификации автомобиля работает автономно, не требует специальных условий эксплуатации и может инте-



грироваться с имеющейся системойСКУД. Система включает автомобильные метки, стандартное программное обеспечение, RFID-считыватель и контроллер, которые монтируются на имеющемся оборудовании КПП: шлагбаум, ворота или другие устройства контроля периметра.

Автомобили, имеющие доступ на территорию, маркируются ультравысокочастотными (УВЧ) RFID-метками производства Микрона, которые наклеиваются на лобовое стекло или тыльную часть зеркала заднего вида. Метки устойчивы к механическим повреждениям, воздействию тепла и света. В память метки записывается необходимая для идентификации объекта информация и вносится в единую информационную базу с целью привязки к конкретному владельцу. Метки невозможно подделать

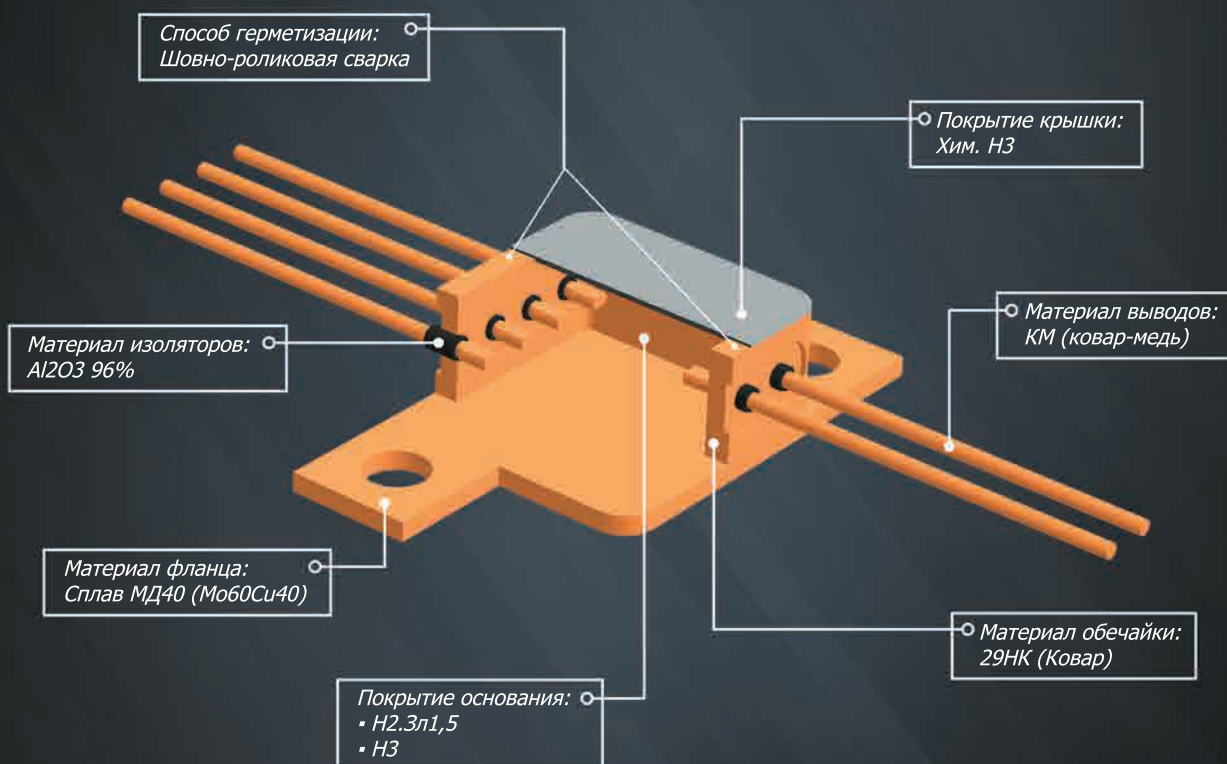
ввиду использования цифрового кодирования, что исключает несанкционированный заезд транспорта и упрощает контроль безопасности на территории. Подъезжающий автомобиль автоматически идентифицируется на расстоянии от 0,5 до 15 м (дальность идентификации зависит от поставленных задач).

При приближении транспорта к КПП происходит считывание информации с метки и обмен данными с системойСКУД о праве доступа. Если проезд разрешён, шлагбаум автоматически открывается. При необходимости могут быть реализованы дополнительные опции, например распознавание номеров, автоматизация проезда гостевых автомобилей, мониторинг перемещения транспорта и другие.

Пресс-служба ПАО «Микрон»

КОРПУСА ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

АО «ТЕСТПРИБОР» освоено серийное производство полной номенклатуры металлокерамических корпусов для мощных дискретных полупроводниковых приборов, являющихся конструктивными аналогами зарубежных корпусов серий TO и SMD.



125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А
тел./факс: (495) 657-87-37
testpribor@test-expert.ru
www.test-expert.ru

В результате выполнения ОКР разработана серия выводных корпусов из 9 типонаименований (типа КТ-97, КТ-105, КТ-110, КТ-116 и КТ-117) и серия безвыводных корпусов из 4 типонаименований (типа КТ-120, КТ-121, КТ-122 и КТ-123).

Данные корпуса могут быть использованы для изготовления дискретных полупроводниковых приборов, в том числе диодов Шоттки, выпрямительных диодов, импульсных диодов, полевых и биполярных транзисторов с изолированным затвором.

* По отдельным требованиям заказчика возможна разработка корпусов для дискретных полупроводниковых приборов с металлизированными монтажными площадками, изолированными от оснований керамикой AlN или BeO.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОРПУСОВ ТИПА КТ-97, КТ-105, КТ-110, КТ-116 И КТ-117*

Корпуса типа КТ-97, КТ-105, КТ-110, КТ-116 и КТ-117 изготавливаются в четырех вариантах:

- 1) С фланцем, изолированным от выводов, и никелевым покрытием основания корпуса.
- 2) С фланцем, изолированным от выводов, и золотым покрытием основания корпуса.
- 3) С неизолированным фланцем, при этом он электрически соединен с одним из выводов корпуса. Покрытие металлических частей и металлизированных поверхностей оснований корпусов Н2. Зл1,5.
- 4) С неизолированным фланцем, при этом он электрически соединен с одним из выводов корпуса. Покрытие металлических частей и металлизированных поверхностей оснований корпусов Н3.

Тип	КТ-97В	КТ-105А	КТ-116	КТ-97А	КТ-97L	КТ-117	КТ-97А-4	КТ-110А	КТ-105В
Наименование параметра	КТ-97В-22 КТ-97В-22.01 КТ-97В-22Н КТ-97В-22.01Н	КТ-105А-А КТ-105А-В КТ-105А-АН КТ-105А-ВН	КТ-116-1 КТ-116-1.01 КТ-116-1Н КТ-116-1.01Н	КТ-97А-5 КТ-97А-5.01 КТ-97А-5Н КТ-97А-5.01Н	КТ-97L-1 КТ-97L-1.01 КТ-97L-1Н КТ-97L-1.01Н	КТ-117-1 КТ-117-1.01 КТ-117-1Н КТ-117-1.01Н	КТ-97А-4-1 КТ-97А-4-2 КТ-97А-4-1Н КТ-97А-4-2Н	КТ-110А-А КТ-110А-В КТ-110А-АН КТ-110А-ВН	КТ-105В-А КТ-105В-В КТ-105В-АН КТ-105В-ВН
Внешний вид									
Габаритный размер тела корпуса, мм	20,2×13,7×6,45	13,7×26,5×6,45	13,7×26,5×6,45	16,5×10,6×4,9	21,0×17,5×6,6	13,7×30,15×6,5	10,6×10,6×4,9	21,0×17,5×4,9	13,7×30,15×4,9
Размер МП, не менее, мм	11,0×7,76	11,0×5,85	11,0×5,85	8,15×5,45	15,35×8,4	15,35×8,4	8,15×5,45	15,35×8,7	15,35×5,85
Шаг выводов, мм	3,81	2,54	2,54	2,54	5,08	5,08	5,08	2,54	2,54
Количество силовых выводов	3	6	8	3	3	3	2	5	7
Диаметр выводов, мм	1,0	0,8	0,8	0,8	1,5	1,5	0,8	0,8	0,8
Материал МП (фланца)	МД40								
Материал выводов	КМ (ковар-медь)								
Материал обечайка	29НК								
Сопротивление изоляции, не менее, Ом	10 ⁹								
Напряжение между выводами до, В	1500	1200			1600		1200		
Максимальное значение тока, через выводы, А	20			15	20		10		
Способ герметизации	Шовная контактная сварка								

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОРПУСОВ ТИПА КТ-120, КТ-121, КТ-122 И КТ-123

Тип	КТ-120	КТ-121	КТ-122	КТ-123
Внешний вид				
Габаритный размер корпуса, мм	19,4×15,8×3,1	15×15×3,92	21,05×15,8×3,47	17,0×12,06×3,47
Размер МП, не менее, мм	10,45×9,25	4,5×4,5	8,8×6,8	8,8×6,8
Диаметр выводов, мм	1,15	1,95	1,15	1,15
Количество управляющих выводов	8	5	12	6
Количество силовых выводов	4	4	2	2
Материал МП	МД40			
Материал выводов	Медь (М06)			
Сопротивление изоляции, не менее, Ом	10 ⁹			
Напряжение между выводами до, В	1000			
Максимальное значение тока, через выводы, А	40		50	
Способ герметизации	Шовная контактная сварка			

* В данных корпусах вместо стеклянных изоляторов применены керамические втулки, что позволило в значительной степени повысить надежность корпусов при воздействии механических нагрузок и резком изменении температуры среды.